



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**

**Τμήμα Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού  
Περιβάλλοντος**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**

**«Αειφόρος και Βιώσιμη Φυτική Παραγωγή»**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΕΝΔΡΟΚΟΜΙΑΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ**

**«Παρακολούθηση της θερμικής και υδατικής καταπόνησης σε  
οπωροφόρα δέντρα με αναλύσεις αντιοξειδωτικών ουσιών και προλίνης»**



**Μπίσκος Χαράλαμπος**

**Βόλος 2022**

«Παρακολούθηση της θερμικής και υδατικής καταπόνησης σε οπωροφόρα δέντρα με αναλύσεις αντιοξειδωτικών ουσιών και προλίνης»

“Heat and water stress evaluation in fruit trees using antioxidants and proline analyses”

Μπίσκοκ Χαράλαμπος

Τριμελής Συμβουλευτική-Εξεταστική Επιτροπή

1. Νάνος Γεώργιος, Καθηγητής, Δενδροκομία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
2. Τσιρόπουλος Νικόλαος, Καθηγητής, Χημεία, Ανάλυση και Προσδιορισμός Οργανικών Ουσιών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
3. Μαλέτσικα Περσεφόνη, Επίκουρος Καθηγήτρια, Δενδροκομία – Ελαιοκομία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Copyright © ΜΠΙΣΚΟΣ 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.

## Πρόλογος

Η παρούσα διατριβή αποτελεί σημαντικό σημείο της έρευνάς μου στον γεωπονικό χώρο, το αντικείμενο της οποίας είναι πιο επίκαιρο από ποτέ. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου, κ. Γεώργιο Νάνο, Καθηγητή Δενδροκομίας, για την καθοδήγησή του, την συνέπειά του και την αγάπη που έδειξε καθ' όλη την διάρκεια του διδακτικού έτους. Επίσης, την κα Μαλέτσικα Περσεφόνη, Επίκουρος Καθηγήτρια Δενδροκομίας-Ελαιοκομίας, και την κα Παναγιωτάκη Ευαγγελίαγια, Μέλος Ε.ΔΙ.Π, για τις συμβουλές, την συμπαράσταση, την ενθάρρυνση και την βοήθειά τους για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής. Ακολούθως, το προσωπικό του εργαστηρίου Δενδροκομίας, τον καθένα προσωπικά, για την πολύτιμη βοήθεια που συνέσφερε κατά τη διάρκεια διεκπεραίωσης του πειράματος.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τους καθηγητές του μεταπτυχιακού προγράμματος αυτού, που με την τη διάθεση τους και την αγάπη που έδειξαν έβαλαν και αυτοί το λιθαράκι τους για τον εμπλουτισμό των γνώσεων της γεωπονικής επιστήμης. Ευελπιστώ να συνεχίσουν το σπουδαίο τους έργο, ώστε να δημιουργηθούν και άλλα σημαντικά προγράμματα σπουδών στο μέλλον, που θα προσελκύουν πολλούς συναδέλφους!

Κλείνοντας, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στους γονείς μου και τους φίλους μου που με στήριξαν κατά την διάρκεια εκπόνησης του μεταπτυχιακού μου και με στηρίζουν καθημερινά για την επιτυχία των στόχων μου.

## Περίληψη

Τα οπωροφόρα δέντρα αποτελούν σημαντικές καλλιέργειες στη ζωή του ανθρώπου. Η κλιματική, αλλά και η οικονομική, κρίση που βιώνει ο άνθρωπος αποτελεί έναυσμα για την ορθολογική χρήση του νερού και των θρεπτικών στις καλλιέργειες. Στην περιοχή της Λάρισας μελετήθηκαν μεταχειρίσεις ορθολογικής άρδευσης και λίπανσης σε διάφορες ποικιλίες μήλων, αχλαδιών και κερασιών με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων από τις αποκρίσεις των δέντρων σε ορθολογική άρδευση και λίπανση. Η ορθολογική άρδευση οδήγησε σε αυξημένη συσσώρευση προλίνης στα φύλλα μηλιάς Gala, αχλάδιας Κρυστάλλι αργά το καλοκαίρι και στα φύλλα των ποικιλιών κερασιών αμέσως μετά τη συγκομιδή τους. Γενικά, η διακοπή παροχής νερού συγκεκριμένες περιόδους που δεν αναμένονταν να επηρεάσουν την ηρτημένη παραγωγή δεν επηρέασε θετικά την παραγωγή φαινολικών και αντιοξειδωτικών ουσιών στις μηλιές. Στις αχλαδιές και στις κερασιές είχε και θετικό και αρνητικό αντίκτυπο στη συγκέντρωση των ουσιών αυτών. Συνοπτικά, η κάθε ποικιλία αντέδρασε διαφορετικά στην ορθολογική άρδευση σε κάθε χρονική στιγμή που αυτή εφαρμόστηκε. Η ορθολογική λίπανση επίσης δεν είχε κάποια ιδιαίτερα και σταθερά αποτελέσματα στις συγκεντρώσεις προλίνης, φαινολικών και αντιοξειδωτικών ουσιών στα φύλλα των τριών ειδών οπωροφόρων που μελετήθηκαν. Η διαφυλλική εφαρμογή καολίνη στις κερασιές κατά τη θερμή περίοδο του θέρους δεν είχε κάποια θετικά αποτελέσματα στην ποικ. Regina, ενώ φάνηκε να περιορίζει την ένταση καταπόνησης στην ποικ. Grace Star.

Λέξεις κλειδιά: *Malus\*domestica*, *Pyrus communis*, *Prunus avium*, καταπόνηση, δευτερογενείς μεταβολίτες

## **Abstract**

Fruit-bearing trees are an important crop in human life and health. The climate, but also the economic, crises are a trigger for the rational use of water and nutrients in crops. In the area of Larissa, rational use of water and nutrients were studied in different cultivars of apples, pears and cherries in order to draw conclusions from the responses of the trees to limited irrigation or nutrient availability. Limited irrigation led to increased proline accumulation of leaves in apple cv. Gala, in pear cv. Krystali at late summer, and in cherry cultivars immediately after fruit harvest. In general, the interruption of water supply did not affect the production of phenolic and antioxidant substances in apples. In pears and cherries it had both positive and negative impact on the concentration of these substances. In summary, each cultivar reacted differently to limited irrigation at each time point applied. The rational use of nutrients also did not show any significant and clear results in the concentration of proline, phenols and antioxidants in the leaves of the three species studied. Foliar application of kaolin to cherry trees did not show any positive results in cv. Regina, but showed a reduction in summer heat stress in cv. Grace Star compared to the control trees.

Index words: *Malus\*domestica*, *Pyrus communis*, *Prunus avium*, stress, secondary metabolites

Εγώ, ο Μπίσκοπος Χαράλαμπος, 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.

Υπογραφή

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. Μπίσκο Χαράλαμπο.

Υπογραφή



## Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	Σελ. 1
1.1.1 Ετήσιος κύκλος των φυλλοβόλων δέντρων και περίοδοι αβιοτικών καταπονήσεων.....	Σελ. 1
1.1.1 Επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών.....	Σελ. 2
1.1.2 Επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών.....	Σελ. 3
1.1.3 Επίδραση της ξηρασίας και της έλλειψης νερού.....	Σελ. 4
1.2 Δευτερογενής μεταβολισμός.....	Σελ. 7
1.2.1 Δευτερογενής μεταβολισμός και σημασία για τα φυτά.....	Σελ. 7
1.2.2 Δευτερογενής μεταβολισμός και σημασία για τη διατροφή των ζώων και του ανθρώπου.....	Σελ. 9
1.3 Επιδράσεις των καταπονήσεων στα φυτά.....	Σελ. 11
1.3.1 Αλατότητα.....	Σελ. 11
1.3.2 Υδατικός περιορισμός και ξηρασία.....	Σελ. 12
1.3.3 Θερμική καταπόνηση.....	Σελ. 12
1.4 Αντιοξειδωτικές ουσίες: λειτουργίες και καταπονήσεις.....	Σελ. 13
1.4.1 Πολυφαινόλες.....	Σελ. 13
1.4.2 Καροτενοειδή.....	Σελ. 15
1.4.3 Βιταμίνες E και C.....	Σελ. 16
1.5 Προλίνη-ρόλος στα φυτά.....	Σελ. 17
1.5.1 Προλίνη και καταπονήσεις.....	Σελ. 18
1.6 Σκοπός της παρούσας μελέτης.....	Σελ. 19
2. Υλικά και Μέθοδοι.....	Σελ. 20
2.1 Πειραματικοί αγροί.....	Σελ. 20
2.2 Μεταχειρίσεις.....	Σελ. 20
2.3 Μετρήσεις εργαστηρίου.....	Σελ. 24
2.4 Στατιστική ανάλυση.....	Σελ. 27
3. Αποτελέσματα.....	Σελ. 28
3.1 Συγκέντρωση Προλίνης, Φαινολικών, και αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH και FRAP σε μηλιές ποικιλίας Scarlett.....	Σελ. 28
3.2 Συγκέντρωση Προλίνης, Φαινολικών, και αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH και FRAP σε μηλιές ποικιλίας Gala.....	Σελ. 28

3.3 Συγκέντρωση Προλίνης, Φαινολικών, και αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH και FRAP σε μηλιές ποικιλίας Super Chief.....	Σελ.30
3.4 Συγκέντρωση Προλίνης, Φαινολικών, και αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH και FRAP σε αχλαδιές ποικιλίας Κρυστάλλι.....	Σελ.32
3.5 Συγκέντρωση Προλίνης, Φαινολικών, και αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH και FRAP σε αχλαδιές ποικιλίας Κρυστάλλι2.....	Σελ.34
3.6 Συγκέντρωση Προλίνης, Φαινολικών, και αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH και FRAP σε κερασιές ποικιλίας Regina.....	Σελ.35
3.7 Συγκέντρωση Προλίνης, Φαινολικών, και αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH και FRAP σε κερασιές ποικιλίας Grace Star.....	Σελ.36
4. Συζήτηση.....	Σελ.38
Συμπεράσματα.....	Σελ.41
Βιβλιογραφία.....	Σελ.43

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 2.1 Ημερομηνίες συλλογής φύλλων από τα δέντρα κάθε μεταχείριση..Σελ.24

Πίνακας 3.1 Συγκέντρωση προλίνης και ολικών φαινολικών συστατικών, και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο DPPH και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο FRAP των φύλλων του μάρτυρα (Μ), και της ορθολογικής άρδευσης (NW) του πιλοτικού αγρού μηλιάς Φουκ ποικιλίας Scarlett στις 17/6/21.....Σελ.28

Πίνακας 3.2 Συγκέντρωση προλίνης και ολικών φαινολικών συστατικών, και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο DPPH και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο FRAP των φύλλων του μάρτυρα (Μ), της ορθολογικής λίπανσης (Π) και της ορθολογικής άρδευσης (NW) του πιλοτικού αγρού μηλιάς Φουκ ποικιλίας Gala το θέρος 2021.....Σελ.30

Πίνακας 3.3 Συγκέντρωση προλίνης και ολικών φαινολικών συστατικών, και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο DPPH και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο FRAP των φύλλων του μάρτυρα (Μ), της ορθολογικής λίπανσης (Π) και της ορθολογικής άρδευσης (NW) του πιλοτικού αγρού μηλιάς Φουκ ποικιλίας Super Chief το θέρος 2021.....Σελ.32

Πίνακας 3.4 Συγκέντρωση προλίνης και ολικών φαινολικών συστατικών, και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο DPPH και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο FRAP των φύλλων του μάρτυρα (Μ), της ορθολογικής λίπανσης (Π) και της ορθολογικής άρδευσης (NW) του πιλοτικού αγρού αχλαδιάς Λεων ποικιλίας Κρυστάλι το θέρος 2021.....Σελ.33

Πίνακας 3.5 Συγκέντρωση προλίνης και ολικών φαινολικών συστατικών, και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο DPPH και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο FRAP των φύλλων του μάρτυρα (Μ), της ορθολογικής λίπανσης (Π) και της ορθολογικής άρδευσης (NW) του πιλοτικού αγρού αχλαδιάς Παπ ποικιλίας Κρυστάλι το θέρος 2021.....Σελ.34

Πίνακας 3.6 Συγκέντρωση προλίνης και ολικών φαινολικών συστατικών, και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο DPPH και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο FRAP των φύλλων του μάρτυρα (Μ), της ορθολογικής λίπανσης (Π) και της ορθολογικής άρδευσης (NW) παρουσία (NWK) ή μη ψεκασμένου καολίνη του πιλοτικού αγρού κερασιών Μπαρ ποικιλίας Regina το θέρος 2021.....Σελ.36

Πίνακας 3.7 Συγκέντρωση προλίνης και ολικών φαινολικών συστατικών, και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο DPPH και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο FRAP των φύλλων του μάρτυρα (Μ), της ορθολογικής λίπανσης (Π) και της ορθολογικής άρδευσης (NW) παρουσία (NWK) ή μη ψεκασμένου καολίνη του πιλοτικού αγρού κερασιών Μπαρ ποικιλίας Grace Star το θέρος 2021.....Σελ.37

## 1. Εισαγωγή

### 1.1 Ετήσιος κύκλος των φυλλοβόλων δέντρων και περίοδοι αβιοτικών καταπονήσεων

Η καλλιέργεια των οπωροφόρων δέντρων αποτελεί σημαντικό κομμάτι στην παγκόσμια παραγωγή. Στην Ευρώπη η συνολική έκταση των οπωροφόρων δέντρων (δεν συμπεριλαμβάνονται οι ξηροί καρποί και οι ελιές) υπολογιζόταν σε 13 εκατομμύρια στρέμματα το 2017, σύμφωνα με τη στατιστική υπηρεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Eurostat). Τις τρεις πρώτες θέσεις κατέχουν η Ισπανία με 4.228.000 στρ., η Ιταλία με 2.793.000 στρ. και η Πολωνία με 6.730.000 στρ. Η χώρα μας ακολουθεί στην τέταρτη θέση με 905.880 στρέμματα με τις μεγαλύτερες εκτάσεις να είναι των εσπεριδοειδών, ροδάκινων, μήλων και βερίκοκων. Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ, το σύνολο των εκτάσεων της Ελλάδας αποτελούν τα 337.700 στρέμματα καλλιέργειας ροδάκινου, 287.840 στρέμματα πορτοκαλιού, 93.770 στρέμματα μήλου, 64.640 στρέμματα μικρών εσπεριδοειδών, 49.030 στρέμματα βερίκοκου, 39.850 στρέμματα λεμονιού και 33.040 στρέμματα αχλαδιού. Συγκριτικά με το 2012, το 2017 παρατηρήθηκε αύξηση των συνολικών εκτάσεων οπωροφόρων δέντρων της χώρας. Στην χώρα μας οι καλλιεργούμενες εκτάσεις με ροδακινιές και κερασιές εντοπίζονται κυρίως στην Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας. Στην ίδια περιφέρεια εντοπίζεται και το μεγαλύτερο μέρος καλλιέργειας μήλων, τα οποία παράγονται και σε περιοχές των Περιφερειών Δυτικής Μακεδονίας και Θεσσαλίας. Η καλλιέργεια βερίκοκων παρατηρείται κυρίως στην Περιφέρεια Πελοποννήσου, η οποία αποτελεί την κύρια παραγωγική περιοχή και των εσπεριδοειδών. Τέλος, οι καλλιεργούμενες εκτάσεις με αχλαδιές εντοπίζονται κυρίως στην Περιφέρεια Θεσσαλίας (ΕΛΣΤΑΤ, 2017).

Γενικά, ο ετήσιος κύκλος των δέντρων ξεκινά την άνοιξη με τη βλαστική ανάπτυξη, ακολουθείται από την ανθοφορία και καρποφορία και ολοκληρώνεται το φθινόπωρο που ξεκινά η περίοδος του λήθαργου. Κατά τη διάρκεια του ετήσιου κύκλου, τα οπωροφόρα δέντρα επηρεάζονται μεν από τις καλλιεργητικές φροντίδες που δέχονται και τη γενετική τους σύσταση, αλλά επηρεάζονται άμεσα από το περιβάλλον και τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτό. Οι υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με έντονη ηλιακή ακτινοβολία τους θερινούς μήνες και οι χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα οδηγούν σε απώλειες παραγωγής με άμεσες επιπτώσεις στην οικονομία ολόκληρων περιοχών. Φυσικά, ζημιές παρατηρούνται και από τα ακραία καιρικά φαινόμενα χαλαζιού, έντονων βροχοπτώσεων και ανεμοθύελλων.

### 1.1.1 Επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών

Τα οπωροφόρα δέντρα χρειάζονται υψηλές θερμοκρασίες για τη βλαστική τους ανάπτυξη και καρποφορία. Ωστόσο, οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες (συνήθως άνω των 35 °C) έχουν αρκετές επιπτώσεις όπως απώλειες νερού, μέσω εξάτμισης και διαπνοής, μείωση της καθαρής φωτοσυνθετικής δραστηριότητας με αποτέλεσμα την απώλεια παραγωγής. Γενικά, είναι γνωστό ότι με την επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών, πάνω από 25 °C, παρεμποδίζεται η φυσιολογική ανάπτυξη των αναπαραγωγικών οργάνων, ιδιαίτερα του εμβρυϊκού σάκου, με αποτέλεσμα τη μειωμένη καρπόδεση (Berpu et al. 1997). Σύμφωνα με τον Kozai και τους συνεργάτες του (2004), η θερμοκρασία των 30 °C οδήγησε σε πρόωμη και σύντομη ανθοφορία στα ροδάκινα ποικιλίας Hakuho, αλλά είχε ως αποτέλεσμα το μειωμένο μέγεθος ανθέων, μειωμένη βλαστικότητα γύρης και λιγότερη καρπόδεση. Επίσης, σε καλλιέργεια ροδάκινου σε θερμοκήπιο ο Erez και οι συνεργάτες του (1998) παρατήρησαν αρνητικές συνέπειες των υψηλών θερμοκρασιών στην καρπόδεση. Συγκεκριμένα, θερμοκρασίες πάνω από 25 °C (ημέρα) και πάνω από 18 °C (νύχτα) οδήγησαν σε σημαντικά μειωμένη καρπόδεση. Όπως αναφέρθηκε, ο συνδυασμός υψηλών θερμοκρασιών και υψηλής εντάσεως φωτισμού είναι ο κύριος λόγος μερικής αναστολής της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών και δυσχεραίνεται η προσπάθεια ανάκαμψης του φυτού σε σύντομη χρονική περίοδο, εξαιτίας της αναστολής δραστηριότητας του ενζύμου Rubisco (Law και Crafts-Brandner 1996). Ακόμη, η επικράτηση τέτοιων συνθηκών οδηγεί σε αυξημένο σχηματισμό ενεργών ριζών οξυγόνου στους ιστούς των φυτών. Αυτές έχουν ως συνέπεια τη μειωμένη στοματική αγωγιμότητα, τη φωτοοξειδωση και τη μειωμένη φωτοσύνθεση που επηρεάζει άμεσα την ανάπτυξη των φυτών και τη θρέψη τους (Guo et al. 2006, Santini et al. 2012, Borges et al. 2019). Σε οπωρώνες εσπεριδοειδών, η αυξημένη θερμοκρασία και η αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία οδήγησαν σε έλλειψη θρεπτικών στοιχείων, ιδιαίτερα μαγνησίου (Mg) και αζώτου (N) (Boaretto et al. 2020). Σε μηλιές Fuji εμβολιασμένες σε M9 υποκείμενο διαπιστώθηκε ότι οι υψηλές θερμοκρασίες (άνω των 30 °C) κατά την περίοδο ανάπτυξης των καρπών, εκτός από τη μειωμένη βλαστική ανάπτυξη και μειωμένη φωτοσυνθετική δραστηριότητα επηρέασαν αρνητικά και την ποιότητα των καρπών. Συγκεκριμένα, βρέθηκε χαμηλή περιεκτικότητα Διαλυτών Στερεών Συστατικών (ΔΣΣ) καρπών και μειωμένο βάρος. Απεναντίας θερμοκρασίες γύρω στους 20 °C συνέβαλλαν σε αυξημένη φωτοσυνθετική

δραστηριότητα και περιεκτικότητα καρπών σε ΔΣΣ, αλλά και σε μειωμένο σχηματισμό κόκκινου επιχρώματος (Dong-Hoon et al. 2013).

Με την αύξηση της θερμοκρασίας η διαπνοή δεν λειτουργεί αποτελεσματικά, αφού τα στομάτια κλείνουν και οι ρίζες δεν απορροφούν νερό από το έδαφος. Έτσι, το νερό που περιέχουν οι φυτικοί ιστοί θερμαίνεται με απορρόφηση θερμότητας του ηλιακού φωτός και προκαλεί υπερθέρμανση αυτών με αποτέλεσμα την εμφάνιση εγκαυμάτων σε καρπούς, βλαστούς, αλλά και σε εκτεθειμένους από θερινό κλάδεμα ή κλάδεμα ανανέωσης βραχίονες και κορμούς.

### 1.1.2 Επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών

Χαμηλές θερμοκρασίες του αέρα είναι επιζήμιες για το φυτικό κεφάλαιο. Η πτώση της θερμοκρασίας υπό το μηδέν μπορεί να οδηγήσει σε ζημιά από παγετό, καθώς προκαλείται πήξη του περιεχόμενου στους ιστούς νερό. Η θερμοκρασία πήξης και η επίπτωση που αυτή επιφέρει εξαρτώνται από την εποχή που λαμβάνει χώρα ο παγετός και από το τμήμα του ιστού που προσβάλλεται. Οι ζημιές που προκαλεί ο παγετός οδηγεί σε απώλεια αρκετών εκατοντάδων εκατομμύριων ευρώ. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα ετήσιοι βλαστοί, αλλά και ολόκληροι βραχίονες μπορούν να νεκρωθούν σε  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  και χαμηλότερα, ενώ στους  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  νεκρώνονται και ολόκληρα δέντρα. Η αντοχή των φυτών εξαρτάται από τον γονότυπο, τη φαινολογία, την περιεχόμενη υγρασία και τη θρεπτική κατάσταση που βρίσκεται. Σε πείραμα που διενεργήθηκε στην Πολωνία σε δέντρα κερασιάς 12 ετών, παρατηρήθηκε μεγαλύτερη ζημιά από παγετό των  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  σε δέντρα ποικιλίας Summit, ενώ μεγαλύτερη αντοχή παρατηρήθηκε στα δέντρα ποικιλίας Regina. Στην ποικιλία Summit νεκρώθηκαν όλοι οι ετήσιοι βλαστοί και όλοι οι ανθοφόροι οφθαλμοί, με αποτέλεσμα την απώλεια της παραγωγής (Szewczuk et al. 2007). Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι στη χώρα μας κατά τη διάρκεια του Χειμώνα, αρχές Άνοιξης, αλλά και το Φθινόπωρο, δημιουργείται το φαινόμενο του παγετού ακτινοβολίας (πάχνη) αργά το βράδυ και τις πρώτες πρωινές ώρες, λόγω της επικράτησης άπνοιας και αίθριου ουρανού που προκαλούν απώλειες θερμότητας από το έδαφος προς τα επάνω με αποτέλεσμα η θερμοκρασία κοντά στο έδαφος να πέφτει κάτω από το μηδέν.

Ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα περιορίζουν την επέκταση μιας καλλιέργειας σε ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό εύρος, οι χαμηλές θερμοκρασίες της

άνοιξης είναι επιζήμιες για την παραγωγή, ακόμα και σε περιοχές όπου μια καλλιέργεια είναι παραδοσιακά εγκατεστημένη. Από την αρχαιότητα οι Ρωμαίοι λάμβαναν υπόψη την αντοχή των ειδών στις χαμηλές χειμερινές θερμοκρασίες και στους ανοιξιότικους παγετούς που θα καλλιεργούνταν σε συγκεκριμένες περιοχές. Στην Ελλάδα τα φυλλοβόλα οπωροφόρα κινδυνεύουν περισσότερο από τους ανοιξιότικους παγετούς και πιο σπάνια από χειμερινούς και φθινοπωρινούς παγετούς. Οι σοβαρές ζημιές παρατηρούνται στους οφθαλμούς, στα άνθη και στους αναπτυσσόμενους νεαρούς καρπούς. Την περίοδο της άνοιξης η άνοδος της θερμοκρασίας ωθεί την ανάπτυξη των ανθέων, με αποτέλεσμα να αυξάνεται και η ευαισθησία τους σε χαμηλές θερμοκρασίες. Με την έναρξη της ανθοφορίας τα άνθη είναι ικανά να αντιστέκονται μόνο σε ελαφρύ παγετό, χωρίς να υποστούν σημαντική ζημιά. Σε κάποια δέντρα, όπως η μηλιά, στις περισσότερες περιπτώσεις οι καλλιεργούμενες ποικιλίες είναι ξενόφερτες και δεν είναι καλά προσαρμοσμένες στο εγχώριο κλίμα, ώστε να αποφύγουν τον κίνδυνο των ανοιξιότικων παγετών. Έτσι, ένας μόνο παγετός είναι αρκετός για να βλάψει το ευαίσθητο άνθος της μηλιάς, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται σημαντικές απώλειες παραγωγής, όταν η ανθοφορία της μηλιάς και ο ανοιξιότικος παγετός συμπίπτουν (Vitasse et al. 2018).

Στην σύγχρονη εποχή που όλα εξελίσσονται ταχέως η ανθρωπότητα καλείται να αντιμετωπίσει την κλιματική κρίση. Οι θερμότεροι χειμώνες και οι αυξημένες θερμοκρασίες την άνοιξη οδηγούν σε πρόωρη άνθηση των οπωροφόρων δέντρων, γεγονός που ελλοχεύει αυξημένους κινδύνους εμφάνισης ημερών παγετού κατά και μετά την άνθησή τους (Pfleiderer et al. 2019). Στην Ευρώπη παρατηρείται μια πρωΐμηση της άνθισης των μηλιών τα τελευταία τριάντα έως σαράντα χρόνια με μέση πρόοδο δυο με τρεις ημέρες ανά δεκαετία (Hoffmann and Rath 2013). Μετά από το πέρας παγετού, η επιβίωση του κυττάρου εξαρτάται από την περιοχή σχηματισμού κρυστάλλων πάγου η οποία μπορεί να είναι είτε εντός κυττάρου είτε εκτός (Mazur 1969). Ο εξωκυτταρικός σχηματισμός πάγου αποτελεί προσωρινή και ήπια προστασία των κυττάρων, ενώ ο ενδοκυτταρικός οδηγεί σε κυτταρικό θάνατο (Rodrigo 2000).

### 1.1.3 Επίδραση της ξηρασίας και της έλλειψης νερού

Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών για μεγάλο χρονικό διάστημα, καθώς και η μειωμένη διαθεσιμότητα νερού έχει

προκαλέσει ανησυχία για τα άμεσα αρνητικά αποτελέσματα που θα επιφέρει η κλιματική κρίση στα ευρωπαϊκά οικοσυστήματα, ιδιαίτερα στις παραμεσόγειες περιοχές. Τα φυτά είναι ευαίσθητα στις γρήγορες κλιματικές αλλαγές που αποτρέπουν την ενεργοποίηση ή την εξέλιξη προσαρμοστικών μηχανισμών. Ένα από τα πιο επικίνδυνα στρες στον μεταβολισμό των φυτών αποτελεί το θερμικό, καθώς προκαλεί παράλληλα και άλλους παράγοντες στρες οι οποίοι επιδεινώνουν τις επιπτώσεις στο φυτική παραγωγή. Συγκεκριμένα, κατά την περίοδο των θερινών μηνών η αυξημένη ανάγκη για εξατμισοδιαπνοή και η επικράτηση καύσωνα αυξάνουν τη ζήτηση νερού στα φυτά, η διαθεσιμότητα του οποίου τείνει να μειώνεται, με άμεσο αποτέλεσμα τα φυτά να επιβιώνουν με δυσκολία λόγω της διαθεσιμότητας περιορισμένων υδάτινων πόρων.

Η ξηρασία αποτελεί σημαντικό παράγοντα περιορισμού της ανάπτυξης και της παραγωγικότητας των φυτών. Τα μέρη του δέντρου όπως φύλλα, ρίζες, βλαστοί, διαφέρουν στην αντοχή τους στην ξηρασία (Westgate και Boyer 1985, Bréda et al. 1999). Η ανεκτικότητα των φυτών σε αυτή εξαρτάται άμεσα από τη διατήρηση της σπαργής των κυττάρων, μέσω της συσσώρευσης διαλυτών ωσμωτικά ενεργών συστατικών, και την ωσμωτική ρύθμιση (Yakushiji et al. 1998). Κατά την ξηροθερμική περίοδο παρατηρούνται μείωση της στοματικής αγωγιμότητας, κλείσιμο στομάτων, μείωση του δυναμικού νερού των φύλλων και της πρόσληψης διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), μικρή ανάπτυξη ρίζας και πτώση των φύλλων, εφόσον ο περιοριστικός αυτός παράγοντας επικρατήσει για μεγάλο χρονικό διάστημα (Castel and Fereres 1982, Leuzinger et al. 2005). Επιπρόσθετα, το υποκείμενο στρες επηρεάζει και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών διαφόρων καλλιεργειών. Σε μηλιές και κερασιές οι οποίες έχουν υποστεί στρες ξηρασίας, παρατηρήθηκε μεγαλύτερη συγκέντρωση σακχάρων στους καρπούς συγκριτικά με τους καρπούς του μάρτυρα που αρδεύονταν κανονικά (Ranney et al. 1991, Wang et al. 1995). Σε εσπεριδοειδή παρατηρήθηκαν αυξημένα Διαλυτά Στερεά Συστατικά, λόγω της αυξημένης συσσώρευσης σακχάρων που συνήθως επάγεται από την αφυδάτωση που υφίστανται οι καρποί, μέσω της διαπνοής των στομάτων που βρίσκονται στην επιφάνεια του φλοιού τους ή και την απομάκρυνση νερού προς τα φύλλα, όπου και διαπνέεται (Sugai and Torikata 1976, Maotani και Machida 1980). Σύμφωνα με τον Yakushiji και τους συνεργάτες του (1998), η μάζα του καρπού δεν επηρεάζεται στα εσπεριδοειδή αλλά περιορίζεται η ανάπτυξή του, λόγω του μειωμένου υδατικού δυναμικού φύλλων, όταν το διαθέσιμο εδαφικό νερό



είναι περιορισμένο. Περιορισμό στην ανάπτυξη των καρπών σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης μπορούν να επιφέρουν οι ακόλουθοι φυσιολογικοί μηχανισμοί: α) η μείωση της σπαργής των κυττάρων ως απόκριση στο υδατικό στρες, που θα οδηγήσει σε άμεση μείωση της αναπτύξεως των καρπών (Kramer and Boyer 1995) και β) τα μειωμένα αποθέματα υδατανθράκων από τη μειωμένη φωτοσυνθετική δραστηριότητα (Naschitz et al. 2010). Συνθήκες λειψυδρίας στα οπωροφόρα δέντρα κατά την τελική περίοδο ανάπτυξης των καρπών επιφέρει ζημιά στην παραγωγή. Σε μήλα Imperial Gala 15 ετών, παρατηρήθηκε μειωμένη εμπορική παραγωγή, διότι η ανάπτυξη μήλων είναι πολύ ευαίσθητη σε οποιαδήποτε μείωση της άρδευσης για μεγάλο χρονικό διάστημα πριν από τη συγκομιδή (Naor 2012, Lopez et al. 2018). Ο Rapoport και η ομάδα του (2012) διαπίστωσαν ότι κατά τη διάρκεια του ληθάργου δεν επηρεάστηκε η τελική καρποφορία από έλλειψη νερού. Αντιθέτως, έλλειψη πριν από την άνθηση, ή κατά τη διάρκεια μιας περιόδου που καλύπτει την ανθοφορία και την αρχική καρπόδεση, είχε ως αποτέλεσμα χαμηλότερες αποδόσεις καρπών. Τέλος, η περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού οδηγεί σε αυξημένη υπεροξειδωση λιπιδίων και μειωμένα επίπεδα φωτοσυνθετικών χρωστικών, μειωμένη στοματική αγωγιμότητα και μειωμένο φωτοσυνθετικό ρυθμό (Pierantozzi et al. 2013).

Αποτελούν υψίστης σημασίας οι εφαρμογές στρατηγικών για την άμεση καταπολέμηση του φαινομένου κατά την ανάπτυξη των καρπών σε συνθήκες ξηρασίας και υδατικής καταπόνησης. Η χρήση αντιχαλαζικών δικτύων αποτελεί μία από αυτές, προκειμένου να βελτιώσει την υδατική κατάσταση των δέντρων και την αποδοτικότητα χρήσης του νερού. Η βελτίωση της υδατικής κατάστασης των δέντρων σε συνθήκες υδατικού στρες με δίκτυ σκίασης είχε θετική επίδραση στη φωτοσύνθεση (Nicolás et al. 2005). Όμως, σύμφωνα με την ομάδα του Girona (2012), η χρήση δικτύων σκίασης μπορεί να επιφέρει αρνητικά αποτελέσματα στην ικανότητα ανάπτυξης των καρπών, αφού περιορίζει την ποσότητα φωτός που εισέρχεται στον οπωρώνα. Γενικά, είναι γνωστό ότι η διαθέσιμη ποσότητα φωτός που εισέρχεται στον οπωρώνα είναι ένας πρωταρχικός παράγοντας που επηρεάζει την ανάπτυξη των καρπών και την παραγωγικότητα. Από την άλλη μεριά, η χρήση δικτύων αποτελεί και σημαντικό παράγοντα περιορισμού των ζημιών που προκαλεί ο έντονος φωτισμός και έτσι, πολλές φορές, έχει θετικό αντίκτυπο στην ανάπτυξη των καρπών.

## 1.2 Δευτερογενής μεταβολισμός

Ο δευτερογενής μεταβολισμός είναι μια διαδικασία σύνθεσης μεταβολικών προϊόντων, τα οποία παράγονται στη φύση και αποτελούν αμυντικούς μηχανισμούς επιβίωσης των οργανισμών από τους οποίους παράγονται. Λειτουργούν ως: α) ανταγωνιστές ενάντια σε άλλα φυτά, μύκητες, βακτήρια, έντομα, αμοιβάδες και μεγάλα ζώα, β) μέσα συμβίωσης μεταξύ φυτών, εχθρών, ασθενειών, νηματωδών, και ανώτερων ζώων, γ) σεξουαλικές ορμόνες, δ) τελεστές διαφοροποίησης, και ε) μέσα μεταφοράς μετάλλων.

Ο συνολικός αριθμός των δευτερογενών μεταβολιτών είναι πολύ μεγαλύτερος συγκριτικά με αυτό των πρωτογενών μεταβολιτών. Αν και οι πρωτογενείς μεταβολίτες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επιβίωση του οργανισμού του οποίου παράγονται, οι δευτερογενείς δεν συμμετέχουν στην ανάπτυξή του. Αποτελούν «προστάτες» των φυτών από βιοτικές ή αβιοτικές καταπονήσεις και η απουσία τους οδηγεί σε μελλοντική εξασθένηση του οργανισμού, η οποία είναι σημαντική για την άμυνα των φυτών. Οι δευτερογενείς μεταβολίτες ταξινομούνται σε φαινολικές ενώσεις (φαινολικά οξέα, φλαβονοειδή, λιγνάνες, κουμαρίνες, στιλμπένια, τανίνες), αζωτούχες ενώσεις (αλκαλοειδή και γλυκοζινολικά), και τερπένια (καροτενοειδή, στερόλες) (Agostini-Costa et al. 2012).

### 1.2.1 Δευτερογενής μεταβολισμός και σημασία για τα φυτά

Τα προϊόντα του δευτερογενούς μεταβολισμού είναι σημαντικές ενώσεις που προσδίδουν γεύση, οσμή, χρώμα στα φυτά και αποτελούν ενεργά συστατικά στις αντιδράσεις των φυτών σε βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις (Verma and Shukla 2015). Τα φλαβονοειδή είναι κάποιες από τις ουσίες που συμμετέχουν συνήθως στην παραγωγή χρωμάτων των φυτών. Οι φλαβόνες και οι φλαβονόλες προσδίδουν λευκό χρώμα, οι ανθοκυάνες το κόκκινο, πορτοκαλί και μωβ, και οι αυρόνες και χαλκόνες το κίτρινο. Μέσω των χρωμάτων που παράγουν και τη γεύση προσελκύουν επικονιαστές, οι οποίοι επηρεάζονται και προτιμούν κάποια χρώματα ανθέων. Οι μέλισσες δείχνουν προτίμηση στα έντονα μπλε και κίτρινα χρώματα και οι πεταλούδες στα κόκκινα και μωβ, ενώ ένας άλλος παράγοντας που χρησιμοποιείται για την προσέλκυση επικονιαστών στα άνθη είναι η παραγωγή νέκταρ, που αποτελείται κυρίως από απλά σάκχαρα, λιπίδια και αμινοξέα. Όσον αφορά τα αρώματα, παράγονται από μικρής

μοριακής μάζας τερπένια (μονο- και σεσκι-τερπένια), που εμφανίζονται συχνά σε πολύ σύνθετα μείγματα σε λουλούδια, και από απλά βενζοϊκά παράγωγα κινναμικού οξέος και αλκάνια (Faegri and Van der Pijl 1979, Waterman 2007).

Όπως αναφέρθηκε, οι δευτερογενείς μεταβολίτες συμμετέχουν στην απόκριση των φυτών σε βιοτικές και αβιοτικές καταπονήσεις. Η παραγωγή τους επηρεάζεται από ορισμένους αβιοτικούς παράγοντες, όπως η ένταση φωτός, η ξηρασία, η υψηλή και η χαμηλή θερμοκρασία, η αλατότητα, η εποχή, και οι συγκεντρώσεις ανόργανων θρεπτικών και μη ιόντων. Οι συγκεντρώσεις των φαινολοπροπανοειδών στα φυτά παρουσιάζει αύξηση ως αποτέλεσμα απόκρισης σε θερμοκρασία, UV ακτινοβολία και ανεπάρκεια θρεπτικών συστατικών, ενώ στις συγκεντρώσεις των φαινολών παρατηρείται διακύμανση εξαιτίας της ανεπάρκειας ορισμένων θρεπτικών συστατικών (Chalker-Scott and Fuchigami 1989, Dixon and Paiva 1995). Οι μεταβολίτες αυτοί μαζί με κάποιες χημικές ουσίες, όπως ρυθμιστές ανάπτυξης, διεγέρτες και θρεπτικά στοιχεία είναι απαραίτητοι για την ανάπτυξη των φυτών. Όμως, οποιαδήποτε έλλειψη από αυτές τις ουσίες οδηγεί στο λεγόμενο «χημικό στρες». Η προσθήκη μικροθρεπτικών συστατικών στο *Cassia angustifolia* οδήγησε σε αυξημένη παραγωγή πρωτογενών μεταβολιτών, που με τη σειρά τους συνέβαλλαν σε μεγαλύτερη παραγωγή δευτερογενών μεταβολιτών (Verma and Shukla 2015). Οι συγκεντρώσεις των φαινολών, χλωροφυλλών και πρωτεϊνών παρουσιάζουν διακύμανση ως απόκριση στην παρουσία ή τοξικότητα  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{ZnSO}_4$  και  $\text{FeSO}_4$  (Shitole and Dhumal 2012). Είναι γνωστό ότι ο φώσφορος αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά συστατικά στην ανάπτυξη των φυτών. Αυτό συμβαίνει διότι επηρεάζει τη βιοσύνθεση των δευτερογενών μεταβολιτών. Η εφαρμογή του στο *Salvia officinalis* προκάλεσε σημαντική αύξηση του ροσμαρινικού οξέος, των ολικών φαινολικών και της βιομάζας των φύλλων (Nell et al. 2009). Όσον αφορά την ένταση του φωτός, αυτή είναι απαραίτητη στα φυτά για τη φωτοσύνθεση και την ανάπτυξή τους και επηρεάζει την παραγωγή των μεταβολιτών αυτών. Ο de Castro και η ομάδα του (2006) παρατήρησαν ότι το ηλιακό φως ευνοεί τη συσσώρευση κουμαρινών στο *Mikania glomerata*, και ότι, όσο πιο πολύ διαρκούσε ο φωτισμός, τόσο πιο πολύ παράγονταν κουμαρίνες. Όσον αφορά τις θερμοκρασίες, έρευνες δείχνουν ότι υπό θερμική καταπόνηση παρατηρήθηκε σε μερικά φυτά αυξημένη παραγωγή δευτερογενών μεταβολιτών, ενώ σε άλλα παρατηρήθηκε μείωση, και ότι καταπόνηση χαμηλής θερμοκρασίας προκάλεσε μείωση στη βιοσύνθεσή τους (Ashraf et al. 2018, Verma and Shukla 2015). Τέλος, η επικράτηση συνθηκών ξηρασίας και

καταπόνησης άλατος οδηγούν σε αυξημένη παραγωγή και συσσώρευση των δευτερογενών μεταβολιτών (Azhar et al. 2011, Verma and Shukla 2015).

Εκτός από τις αβιοτικές καταπονήσεις, τα φυτά αντιμετωπίζουν και τις βιοτικές καταπονήσεις. Είναι αρκετά ανεκτικά σε προσβολές από παθογόνα, λόγω της αυξημένης παραγωγής δευτερογενών μεταβολιτών, όπως οι φυτοαλεξίνες που παρουσιάζουν σημαντικές αντιμικροβιακές ιδιότητες (Taiz and Zeiger 2006). Επιπροσθέτως, σε ορισμένα είδη διαπιστώνονται αυξημένες τιμές φαινολικών που προσδίδουν χαρακτηριστικό άρωμα και γεύση και αποτελούν μέσο αποφυγής διατροφής από ζώα και έντομα (Dey and Harborne 1997).

### 1.2.2 Δευτερογενής μεταβολισμός και σημασία για τη διατροφή των ζώων και του ανθρώπου

Οι δευτερογενείς μεταβολίτες παίζουν σημαντικό ρόλο στη διατροφή των ζώων. Ορισμένοι επιφέρουν θετικά αποτελέσματα και άλλοι αρνητικά. Η κατανάλωση τροφών με μιμοζίνη οδηγεί σε μειωμένες αποδόσεις και αλωπεκία (Crounse et al. 1962, Reis et al. 1975). Στα κατοικίδια ζώα έχει αποδειχθεί ότι οι μεγάλες ποσότητες τανινών στη διατροφή τους έχουν καταστροφική επίδραση στην ισορροπία του αζώτου (Mole and Waterman 1987a). Σύμφωνα με τον Wallace (2004), η παρουσία αιθέριων ελαίων στη διατροφή των ζώων προκαλεί μείωση του ρυθμού παραγωγής αμμωνίας. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι στις αγελάδες που κατανάλωσαν ενσίρωμα χόρτου και αραβοσίτου μαζί με συμπύκνωμα από αρωματικά φυτά υπέστη αναστολή το στάδιο διάσπασης των αμινοξέων σε  $\text{NH}_3$ , διότι περιείχαν υψηλά επίπεδα αιθέριων ελαίων στη διατροφή τους. Εκτός από τις αρνητικές συνέπειες που επιφέρουν οι δευτερογενείς μεταβολίτες, έχουν διαπιστωθεί και πολλές θετικές επιδράσεις. Τα μηρυκαστικά υποφέρουν πολλές φορές από γαστρεντερικό παρασιτισμό, ο οποίος αποτελεί κύριο πρόβλημα υγείας. Τα ελμινθικά παράσιτα προκαλούν αναιμία, ανορεξία, διάρροια και, σε ακραίες περιπτώσεις, επιφέρουν τον θάνατο. Εκτός από την επικινδυνότητα της υγείας, έχουν αρνητική επίδραση στην παραγωγικότητα, την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή. Η κατανάλωση ζωοτροφών πλούσιων σε ταννίνες, αλκαλοειδή και τερπένια οδηγούν σε μείωση του παρασιτικού φορτίου, διότι παρουσιάζουν αντιελμινθική δράση με διαφορετικούς μηχανισμούς (Hocquemiller et al. 1991, Kayser et al. 2003). Η χορήγηση τροφής πλούσιας σε ταννίνες σε πρόβατα προσβεβλημένα από

εντερικό νηματώδη οδήγησε σε 50% χαμηλότερη απέκκριση αυγών των νηματωδών και σε μείωση του πληθυσμού διαφόρων νηματωδών συγκριτικά με άλλα πρόβατα που δέχθηκαν τροφή χωρίς τανίνες (Athanasiadou et al. 2000). Ακόμη, η προσθήκη εκχυλίσματος από *Mallotus philippinensis*, το οποίο είναι πλούσιο σε γλυκοσίδια, στη διατροφή αιγών οδήγησε σε μείωση 80% του πληθυσμού νηματωδών στο πεπτικό τους σύστημα (Akhtar and Ahmad 1992).

Οι δευτερογενείς μεταβολίτες αποτελούν σημαντικές ουσίες στη διατροφή και την υγεία του ανθρώπου. Έχει αναφερθεί ότι μειώνεται ο κίνδυνος των καρδιαγγειακών παθήσεων, διότι τα φλαβονοειδή εξουδετερώνουν τις ελεύθερες ρίζες οξυγόνου και προστατεύουν τα αγγειακά τοιχώματα. Εκτός αυτού, τα φλαβονοειδή εμποδίζουν την οστεοπόρωση, την ανάπτυξη του όγκου της φλεγμονής και τις ιογενείς λοιμώξεις (Nijveldt et al. 2001). Παράλληλα, η κατανάλωση σκόρδου, κρεμμυδιού, οσπρίων και σπανακιού βελτιώνει την υγεία της καρδιάς, επειδή περιέχουν σαπωνίνες οι οποίες δεσμεύουν τη χοληστερόλη και την αφαιρούν από τις αρτηριακές μεμβράνες (Marangos et al. 2014). Ένας δευτερογενής μεταβολίτης που καταναλώνεται καθημερινά από τους ανθρώπους είναι η καφεΐνη. Η καφεΐνη αποτελεί αλκαλοειδές που παράγεται στους σπόρους του φυτού *Coffea arabica* και σε νέα φύλλα του τσαγιού και παίζει σημαντικό ρόλο στη σωματική απόδοση και διάθεση των ανθρώπων. Η καφεΐνη αναστέλλει τους υποδοχείς αδενοσίνης, η οποία είναι υπεύθυνη για τη μειωμένη δραστηριότητα των νευρών στον εγκέφαλο και για τη ρύθμιση των νευροδιαβιβαστών, όπως η ντοπαμίνη, οδηγώντας σε αυξημένη εγκεφαλική δραστηριότητα (Shi et al. 2004). Έχει αποδειχθεί ακόμη η σημασία τους έναντι της επάρατης νόσου. Οι φαινολικές ουσίες διαπιστώθηκε ότι ελαττώνουν την εμφάνιση του καρκίνου στον ανθρώπινο οργανισμό (Verma and Shukla 2015). Η β-καροτίνη και λουτεΐνη είναι ουσίες που περιέχονται στους καρπούς πιπεριάς (*Capsicum annum*), τα οποία αποτρέπουν τη δημιουργία καρκίνου του δέρματος (Nishino et al. 1999, Stahl and Sies 2005). Κάποιες αμερικανικές ιθαγενείς φυλές χρησιμοποιούσαν από το παρελθόν καρπούς πιπεριάς για την αντιμετώπιση του βήχα, πονόλαιμου, άσθματος και πονόδοντου, αν και όλοι σήμερα τις χρησιμοποιούν για την γεύση και το άρωμά τους (Singletary 2011).

### 1.3 Επιδράσεις των καταπονήσεων στα φυτά

#### 1.3.1 Αλατότητα

Τα φυτά υφίστανται πολλές αβιοτικές καταπονήσεις με δυσμενή αποτελέσματα στην ανάπτυξη, στην καρποφορία, στο ρυθμό φωτοσύνθεσης και διαπνοής και σε άλλες εσωτερικές διεργασίες. Το στρες αλατότητας προκαλεί αναστολή ανάπτυξης, ή γρήγορη ανάπτυξη προς τη γήρανση και θάνατο. Η αναστολή της ανάπτυξης αποτελεί το κύριο σύμπτωμα που οδηγεί σιγά-σιγά και στην εκδήλωση των υπόλοιπων συμπτωμάτων. Υπό τέτοιες συνθήκες παρατηρείται αυξημένη σύνθεση αμπισικού οξέος, το οποίο προκαλεί κλείσιμο των στοματίων, με αποτέλεσμα να μειώνεται η φωτοσυνθετική δραστηριότητα, να παρατηρείται φωτοαναστολή και οξειδωτικό στρες. Η επίδραση της οξείδωσης αφορά την αναστολή της διαίρεσης και πολλαπλασιασμού των κυττάρων και, ως εκ τούτου, επηρεάζεται αρνητικά η ανάπτυξη του φυτού. Επίσης, η υψηλή παρουσία ιόντων νατρίου στο ριζικό περιβάλλον διαταράσσει τη διαθεσιμότητα του κάλιου στο φυτό, και, ως εκ τούτου, την ανάπτυξη του φυτού, καθώς το κάλιο αποτελεί σημαντικό παράγοντα στη διατήρηση της σπαργής των κυττάρων, των διάφορων δραστηριοτήτων των ενζύμων και του δυναμικού της μεμβράνης. Εκτός από το κάλιο επηρεάζονται αρνητικά από την υψηλή συγκέντρωση νατρίου και άλλα στοιχεία όπως το ασβέστιο και τα νιτρικά ιόντα ( $\text{NO}_3^-$ ) (Jouyban 2012). Οι ανισοροπίες ορισμένων θρεπτικών συστατικών οδηγούν σε μειωμένη ανάπτυξη και απόδοση σε διάφορα φυτά, όπως το κουνουπίδι (Giuffrida et al. 2017). Η καταπόνηση αυτή συμβάλλει στο κλείσιμο των στοματίων, τη συσσώρευση χλωριούχου νατρίου στους χλωροπλάστες με αποτέλεσμα τη μειωμένη μεταφορά ηλεκτρονίων κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης και την αναστολή του φωτοσυστήματος II (PSII), οδηγώντας σε μειωμένη φωτοσυνθετική δραστηριότητα (Boyer 1976, Kirst 1989, Mishra et al. 1991, Hichem et al. 2009). Ακόμα, προκαλείται αύξηση φθορισμού χλωροφύλλης, που σχετίζεται με την περιορισμένη δραστηριότητα του συμπλόκου ενζύμου διάσπασης του νερού και ίσως με την ταυτόχρονη κυκλική μεταφορά ηλεκτρονίων μέσω ή γύρω από το PSII (Aro et al. 2005). Τέλος, παρατηρείται μειωμένο υδατικό δυναμικό λόγω της απώλειας νερού από τη διαδικασία της διαπνοής η οποία μειώνεται παράλληλα με τη στοματική αγωγιμότητα (Pérez-López et al. 2009).

### 1.3.2 Υδατικός περιορισμός και ξηρασία

Σε συνθήκες υδατικού περιορισμού επηρεάζονται άμεσα η ανάπτυξη και η απόδοση των φυτών. Γενικά, παρουσιάζεται μειωμένη ανάπτυξη των οργάνων κατά τη διάρκεια της βλαστικής ανάπτυξης, αφού μειώνεται η ανάπτυξη και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος, το οποίο περιορίζει την πρόσληψη νερού, επηρεάζοντας τις μεταβολικές σχέσεις. Επίσης, μειώνεται η περίοδος ανθοφορίας και ο αριθμός των ανθέων οδηγώντας σε μειωμένες αποδόσεις (Kisman 2003). Σε καλλιέργεια αραβόσιτου παρατηρήθηκε μειωμένο βάρος καρπού και μειωμένος αριθμός σπόρων ανά σειρά και ως εκ τούτου μειωμένη απόδοση (Khalili et al. 2013). Η επικράτηση συνθηκών ξηρασίας συμβάλλει στο κλείσιμο των στομάτων, στη μειωμένη αποτελεσματικότητα του PSII, σε αυξημένα επίπεδα φθορισμού της χλωροφύλλης, και σε μη ικανοποιητική φωτοσυνθετική δραστηριότητα (Fu et al. 2006, Guo et al. 2016). Τέλος, παρατηρείται πτώση του ρυθμού διαπνοής και του υδατικού δυναμικού φύλλων. Αυτό παρατήρησαν ο Bushal και η ομάδα του (2019) σε μηλιές (*Malus\*domestica*) ποικιλίας Fuji και οι Hongro και Kusvuran (2012) σε πείραμα με πεπόνια (*Cucumis melo*).

### 1.3.3 Θερμική καταπόνηση

Η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών επιδρά στην ανάπτυξη και παραγωγικότητα των φυτικών ειδών. Παρατηρείται περιορισμένη ανάπτυξη βλαστών και ριζών, μειωμένος βιολογικός κύκλος, μικρά μεσογονάτια διαστήματα, αδυναμία σχηματισμού χρώματος σε ορισμένες ποικιλίες οπωροφόρων, πρόωρη γήρανση και τελικά θάνατος (Porter and Gawith 1999, Barnabás et al. 2008, Prasad et al. 2006a). Σύμφωνα με την επιστημονική ομάδα του Ullah (2021), οι υψηλές θερμοκρασίες, συνήθως άνω των 30 °C, κατή την ανθοφορία προκαλούν αποβολή γύρης, περιορισμένη μεταφορά των πόρων στους γυρεόκοκκους, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μικρού μεγέθους γυρεόκοκκων και, τελικά, μικρές αποδόσεις. Επιπλέον, μελέτες έχουν δείξει χαμηλή φωτοσυνθετική δραστηριότητα, η οποία οφείλεται σε αναστολή δραστηριότητας των ενζύμων που εμπλέκονται στη διαδικασία (π.χ. Rubisco), σε περιορισμένη σύνθεση ATP, περιορισμένη εσωτερική συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα, μειωμένη φωτοχημική απόδοση του φωτοσυστήματος PSII και μειωμένη μεταφορά ηλεκτρονίων (Arasimowicz and Floryszak-Wieczorek 2007, Wahid et al. 2007, Barta et al. 2010, Zlatev and Lidon 2012). Η θερμοκρασία των φύλλων αυξάνεται, με αποτέλεσμα να

αυξάνεται ο φθορισμός της χλωροφύλλης, λόγω του περιορισμού αρκετών πρωτογενών φωτοχημικών αντιδράσεων, με κυρία την αναστολή του PSII (Berry and Bjorkman 1980, Weis and Berry 1988). Όσον αφορά το ρυθμό διαπνοής, αυτός μειώνεται λόγω της θερμικής καταπόνησης σε διάφορες καλλιέργειες όπως το σιτάρι και το αμπέλι (Zhang et al. 2005, El Habti et al. 2020). Τέλος, στο υδατικό δυναμικό παρουσιάζονται διαφορές μεταξύ των διάφορων γονοτύπων. Σε φυτά alfalfa παρατηρείται υψηλό δυναμικό, ενώ στο βαμβάκι χαμηλό δυναμικό (Matthews et al. 2018, Sarwar et al. 2019).

#### 1.4 Αντιοξειδωτικές ουσίες: λειτουργίες και καταπονήσεις

Τα αντιοξειδωτικά είναι ουσίες που αποτρέπουν την οξείδωση των οργανισμών, με κύριο ρόλο τη δέσμευση ενεργών ριζών οξυγόνου (ROS). Οι ROS οδηγούν σε μη αναστρέψιμη βλάβη στο DNA και κυτταρικό θάνατο και λειτουργούν και ως σηματοδότες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών και τις αντιδράσεις στο στρες. Οι ουσίες αυτές χωρίζονται στις πολυφαινόλες (όπως φαινολικά οξέα, φλαβονοειδή, στιλμπένια), καροτενοειδή (ξανθοφύλλες, καροτένια) και βιταμίνες E και C.

##### 1.4.1 Πολυφαινόλες

Τα φαινολικά αποτελούν τη μεγαλύτερη ομάδα των δευτερογενών μεταβολιτών στους φυτικούς οργανισμούς και προέρχονται από τη φαινυλαλανίνη, και έτσι ονομάζονται και φαινυλοπροπανοειδή. Οι φαινόλες διακρίνονται σε διάφορες ομάδες όπως φαινολικά οξέα, φλαβονοειδή, στιλβένια, λιγνάνες, κ.ά. ανάλογα με τον αριθμό των υδροξυλίων και τη φύση και θέση άλλων υποκαταστατών στα μόριά τους. Τα φαινολικά στα φυτικά κύτταρα παράγονται μέσω μιας οδού σικιμικού/φαινυλοπροπανοειδούς οξέος (Sharma et al. 2019). Οι πολυφαινόλες είναι προϊόντα πρωτογενών μεταβολιτών. Φέρουν τουλάχιστον έναν αρωματικό δακτύλιο με μία ή περισσότερες υδροξυλομάδες και βρίσκονται ως συζυγή με οργανικά οξέα ή σάκχαρα ή ως πολυμερή (φλαβονοειδή) (Leri et al. 2020).

Οι πολυφαινόλες κατέχουν σημαντικούς ρόλους στη ζωή των φυτών. Τα φυτά αλληλοεπιδρούν μέσω των δευτερογενών μεταβολιτών με το περιβάλλον στο οποίο επιβιώνουν. Οι πολυφαινόλες συμβάλλουν στη διαδικασία μετάδοσης σημάτων από το



ριζικό σύστημα στο βλαστό και στη μεταφορά και δραστηριοποίηση των θρεπτικών στοιχείων (Halvorson et al. 2009, Sharma et al. 2019). Επίσης, κάποια φλαβονοειδή (παράγωγα της κερκετίνης) επηρεάζουν την ανάπτυξη των διαφόρων οργάνων και του ίδιου του φυτού, καθώς ελέγχουν την κίνηση της αυξίνης σε ενδοκυτταρικά επίπεδα (Di Ferdinando et al. 2011). Τα φυτά που έχουν μεγάλες συγκεντρώσεις πολυφαινολών υπό αβιοτικές καταπονήσεις προσαρμόζονται καλύτερα σε περιοριστικά περιβάλλοντα. Οι ενώσεις αυτές έχουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες και αποτελούν «προστάτες» έναντι των αρνητικών αποτελεσμάτων που επιφέρει το οξειδωτικό στρες, καθώς δεσμεύουν τις ROS (Schroeter et al. 2002). Η βιοσύνθεση των πολυφαινολών ρυθμίζεται από τις διάφορες καταπονήσεις. Υπό συνθήκες αυξημένης αλατότητας και ξηρασίας παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση των ουσιών αυτών. Σύμφωνα με τον Walia και τους συνεργάτες του (2005), παρατηρήθηκε αυξημένη παρουσία φλαβονοειδών γονιδίων σε ευαίσθητους στην αλατότητα γονότυπους ρυζιού σε σύγκριση με τους ανθεκτικούς, ως συνέπεια του στρες με NaCl. Σε τέτοιες περιπτώσεις συμβάλλουν στην απομάκρυνση των επιβλαβών ROS από τα φυτά (Bistgani et al. 2019, Chen et al. 2019). Η επιστημονική ομάδα του Vasquez-Robinet (2008) είδαν μέγιστη έκφραση γονιδίων των φλαβονοειδών (CHS και GST) υπό στρες ξηρασίας, πράγμα που υποδεικνύει τον προστατευτικό ρόλο των φλαβονοειδών έναντι του στρες έλλειψης νερού. Για την αντιμετώπιση των αρνητικών επιπτώσεων της έκθεσης σε UV-B, πολυφαινόλες αυξάνουν τη συγκέντρωσή τους στα κύτταρα και δημιουργούν μια ασπίδα προστασίας κάτω από το επιδερμικό στρώμα. Ελαχιστοποιούν τη ζημιά που προκαλείται στο DNA, αποτρέποντας το διμερισμό της θυμίνης μαζί με τη μείωση της φωτοφθοράς σημαντικών ενζύμων, όπως το NAD/NADP transferase (Naikoo et al. 2019, Sharma et al. 2019). Εξάλλου, απορροφούν τόσο την ορατή (ανθοκυανίνες) όσο και την υπεριώδη ακτινοβολία (ανθοκυανίνες και άχρωμα φλαβονοειδή) (Lattanzio 2013, Landi και Tattini 2015). Τέλος, σε συνθήκες υψηλών και χαμηλών θερμοκρασιών τα φυτά συσσωρεύουν περισσότερες φαινολικές ενώσεις όπως ανθοκυανίνες, φλαβονοειδή, φλαβονόλες και φαινολικά οξέα, τα οποία τελικά προστατεύουν τα φυτικά κύτταρα. Στα φυτά *Festuca trachyphylla* που αναπτύσσονται υπό θερμική καταπόνηση παρατηρήθηκε αυξημένη συγκέντρωση τέτοιων φαινολικών ενώσεων (Ancillotti et al. 2015, Martinez et al. 2016, Wang et al. 2019).

#### 1.4.2 Καροτενοειδή

Τα καροτενοειδή είναι μια οικογένεια χρωστικών ενώσεων που συντίθεται από φυτά. Τα καροτενοειδή παράγονται στα πλαστίδια των φωτοσυνθετικών οργάνων και των οργάνων-καταναλωτών και είναι σημαντικά για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, την προστασία από τη φωτοοξειδωση, και για τη σύνθεση διάφορων φυτοορμονών (Rosas-Saavedra and Stange 2016). Αποτελούν σύνθετη και ποικιλόμορφη ομάδα εκατοντάδων δευτερογενών μεταβολιτών που αποτελούνται από 8 μονάδες ισοπρενίου (τετρατερπένια) που σχηματίζουν σκελετούς άνθρακα έως και C40. Με βάση την περιεκτικότητα σε οξυγόνο, τα καροτενοειδή χωρίζονται σε ξανθοφύλλες όπως η λουτεΐνη, η βιολαξανθίνη, η ζεαξανθίνη, η νεοξανθίνη και η ανθραξανθίνη (περιέχουν οξυγόνο εκτός από άνθρακα και υδρογόνο) και στα αροτένια τα οποία αποτελούνται από άτομα άνθρακα και υδρογόνου (Britton 1995).

Οι ουσίες αυτές προσδίδουν χαρακτηριστικά αρώματα και χρώματα στα άνθη και τους καρπούς. Το χρώμα των ανθέων ελκύει τους επικονιαστές σε φυτά που επικονιάζονται με έντομα, προσφέροντας ένα οπτικό σήμα (Kevan and Baker 1983). Επιπρόσθετα, δρουν έναντι της φωτοοξειδωτικής βλάβης και του θερμικού στρες στα φυτικά κύτταρα μέσω της διάχυσης ενέργειας και της απομάκρυνσης των ROS (DellaPenna and Pogson 2006). Παράλληλα, συλλέγουν φως στη μπλε περιοχή του φάσματος του ορατού φωτός και στη συνέχεια μεταφέρουν την ενέργεια στη χλωροφύλλη, συμμετέχοντας έτσι στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης (Grotewold 2006, Dall'Osto et al. 2007, Walter and Strack 2011). Όσον αφορά τη σύνθεση φυτοορμονών, είναι πρόδρομες ενώσεις του αμπισικού οξέος (ABA) και συμμετέχουν έτσι στη ρύθμιση του λήθαργου, της βλάστησης των σπόρων και στην απόκριση στο αβιοτικό στρες (υψηλή θερμοκρασία, υψηλής έντασης φωτισμός και ξηρασία) (Nambara and Marion-Poll 2005). Σε σύγκριση με άλλες καταπονήσεις, η επίδραση της αλατότητας αυξάνει τη βιοσύνθεση του ABA από τα καροτενοειδή, μέσω της οδού του μεβαλονικού οξέος. Αυτό αποσκοπεί στη ρύθμιση της ανάπτυξης των φυτών υπό τέτοιες συνθήκες (Jia et al. 2002). Σε υδροπονική καλλιέργεια τομάτας παρατηρήθηκε αυξημένη παραγωγή καροτενοειδών, όταν τα φυτά υποβλήθηκαν σε καταπόνηση αλατότητας (Borghesi et al. 2011). Έτσι, θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν εδάφη πλούσια σε άλατα για την καλλιέργεια τομάτας, καθώς αναπτύσσονται όλες οι χρωστικές, αυξάνοντας την ποιότητα των καρπών. Σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών συντίθενται υψηλές ποσότητες καροτενοειδών και αποτελούν

«προστατές» της φωτοσυνθετικής συσκευής. Εξουδετερώνουν τα ROS, δρουν ενάντια στην υπερδιέγερση σε έντονο φωτισμό και διαλύουν την περίσσεια της απορροφούμενης ενέργειας (Strzalka et al. 2003).

### 1.4.3 Βιταμίνες E και C

Οι βιταμίνες E και C είναι υδατοδιαλυτές βιταμίνες, έχουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών και παρουσιάζουν αντιοξειδωτικές ιδιότητες, καθώς συμβάλλουν στην προστασία από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η βιταμίνη E περιλαμβάνει τόσο τοκοφερόλες όσο και τοκοτριενόλες (Muñoz and Munné-Bosch 2019). Η τοκοφερόλη είναι πολύ σπουδαία για την ανοχή των φυτών στους αβιοτικούς παράγοντες. Πολλές μελέτες αποδεικνύουν ότι τα ανθεκτικά στο στρες φυτά παρουσιάζουν αύξηση στη συγκέντρωση της τοκοφερόλης, ενώ τα ευαίσθητα το αντίθετο με αποτέλεσμα να οδηγούνται σε οξειδωτική βλάβη. Ωστόσο, μπορεί να υπάρξει απώλεια τοκοφερόλης, λόγω της υψηλότερης αποικοδόμησής της που υπερβαίνει τη σύνθεση, εάν οι συνθήκες στρες είναι πολύ έντονες. Εάν αυτή η απώλεια δεν μπορεί να αντισταθμιστεί από προσθήκη συμπληρωμάτων εξωγενούς εφαρμογής, τότε αυξάνεται η οξείδωση των λιπιδίων που οδηγεί στον κυτταρικό θάνατο (Smirnoff 1993, Munné-Bosch 2005). Οι τοκοφερόλες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον έλεγχο της αποτελεσματικότητας του PSII, στην ομοιόσταση Na/K και στην ορμονική ισορροπία. Οποιαδήποτε έλλειψη, α- ή γ-τοκοφερόλης, οδηγεί σε μειωμένη αντοχή στο στρες αλατότητας (Hasanuzzaman et al. 2014). Οι τοκοφερόλες αυξάνονται σε συνθήκες ξηρασίας και προστατεύουν τα φυτά, επειδή έχουν την ικανότητα εξουδετέρωσης των ROS και διάχυσης της περίσσειας ενέργειας διέγερσης κατά τη διάρκεια του φωτοοξειδωτικού στρες (Hernandez et al. 2012, Espinoza et al. 2013). Σε άλλη έρευνα παρατηρήθηκε αυξημένη αντοχή στην ξηρασία, λόγω της ύπαρξης α-τοκοφερόλης (Kumar et al. 2013). Με την επικράτηση συνθηκών με υψηλές θερμοκρασίες αυξάνεται η παραγωγή α-τοκοφερόλης. Έτσι, αποτρέπεται η περιορισμένη ανάπτυξη ριζικού συστήματος και υπέργειου τμήματος των φυτών, η μείωση του υδατικού δυναμικού των φύλλων, η μείωση της περιεκτικότητας των φύλλων σε χλωροφύλλη και η δυσλειτουργία της φωτοσύνθεσης. Τέλος, σε μέρες με ισχυρή UV-B ακτινοβολία παρατηρείται αυξημένη παραγωγή α-τοκοφερόλης. Ως εκ

τούτου, διατηρείται η λειτουργία των μεμβρανών, αφού απομακρύνονται τα ROS και ελαχιστοποιείται η υπεροξειδωση των λιπιδίων (Hasanuzzaman et al. 2014).

Η βιταμίνη C (γνωστή και ως ασκορβικό οξύ, AsA) είναι υδατοδιαλυτό αντιοξειδωτικό. Δρα «δωρίζοντας» τα ηλεκτρόνια του και έτσι αποτρέπει την οξειδωση άλλων ενώσεων. Η περιεκτικότητα διαφέρει μεταξύ των φυτικών ιστών και των οργάνων. Είναι υψηλή σε φύλλα, άνθη και νεαρούς καρπούς και χαμηλή σε ρίζες και βλαστούς (Gest et al. 2013, Smirnoff 2018). Στα φυτά, η βιταμίνη C επιβλέπει τη διαίρεση και τον πολλαπλασιασμό των κυττάρων (Paciolla et al. 2019). Προστατεύει τα κύτταρα και τους ιστούς σε συνθήκες καταπόνησης απομακρύνοντας τις ROS. Ακόμη και μέτριες αυξήσεις στην περιεκτικότητα σε AsA έχουν οδηγήσει σε αυξημένη αντοχή σε καταπονήσεις έλλειψης νερού και αλατότητας (Akram et al. 2017). Σε συνθήκες ξηρασίας παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση ασκορβικού οξέος και προλίνης (Macknight et al. 2017, Paciolla et al. 2019). Διάφορες μελέτες έδειξαν ότι η αυξημένη συσσώρευση της βιταμίνης υπό θερμική καταπόνηση συμβάλλει στη σωστή λειτουργία της φωτοσύνθεσης, διότι διατηρεί τις δραστηριότητες μεταφοράς ηλεκτρονίων στα φύλλα, μέσω της προσφοράς ηλεκτρονίων στο PSII (Toth et al. 2009, 2011).

### 1.5 Προλίνη-ρόλος στα φυτά

Τα φυτά για να επιβιώσουν στις συνθήκες ανάπτυξής τους, πρέπει να προσαρμόζονται σε αυτές. Αυτό σημαίνει αλλαγές στο μεταβολισμό και στη σύνθεση των κυττάρων. Ο πιο συνηθισμένος μηχανισμός που χρησιμοποιούν ώστε να καταπολεμήσουν τις καταπονήσεις είναι η συσσώρευση ορισμένων διαλυμένων ουσιών, όπως αμινοξέα και σάκχαρα. Τα αμινοξέα αποτελούν συστατικά των πρωτεϊνών και διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη και στις διαδικασίες μεταβολισμού των φυτών. Η προλίνη είναι ένα αμινοξύ που συμμετέχει ενεργά στην προσαρμογή των φυτών στις συνθήκες καταπόνησης. Κατά τη διάρκεια των συνθηκών αυτών λειτουργεί ως αντιοξειδωτικός παράγοντας, και ως μεταβιβαστής σημάτων (Hayat et al. 2012). Σε κάποια είδη φυτών, όπως η πατάτα, αποτελεί σημαντικό κομμάτι της ωσμωτικής προσαρμογής, ενώ στην τομάτα είναι μικρό κλάσμα της συνολικής συγκέντρωσης των ωσμωτικά ενεργών ουσιών (Perez-Alfocea et al. 1993, Bussis and Heineke 1998). Η βιοσύνθεση της προλίνης πραγματοποιείται μέσω δύο

«μονοπατιών»: α) του γλουταμικού οξέος, και β) της ορνιθίνης. Η προλίνη έχει την ικανότητα αυτοελέγχου της βιοσύνθεσής της. Εφαρμογή επαρκούς ποσότητας προλίνης σε ιστούς για την αύξηση των ενδογενών δεξαμενών συνέβαλλαν σε αύξηση του ρυθμού της οξειδωσής της, ως συνέπεια μιας διαδικασίας αναστολής λόγω ανατροφοδότησης, καθώς προκλήθηκε και αύξηση συγκέντρωσης της οξειδάσης της προλίνης που συμμετέχει στη διαδικασία οξειδωσής της (Stewart 1972, Boggess et al. 1976, Adams και Frank 1980, Heuer 1999).

### 1.5.1 Προλίνη και καταπονήσεις

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, η συσσώρευση προλίνης στους φυτικούς ιστούς αποτελεί απόκριση των φυτών στις διάφορες συνθήκες καταπόνησης. Η συσσώρευση λόγω του στρες αλατότητας ή ξηρασίας πραγματοποιείται είτε από μειωμένη ενσωμάτωση προλίνης στις πρωτεΐνες, είτε από διεγερμένη σύνθεση στον ιστό ή από αναστολή οξειδωσής της (Heuer 1999). Αυτό επιβεβαιώνεται από τον Boggess και την ομάδα του (1976), που διαπίστωσαν ότι η προλίνη δεν τροποποιεί τη σύνθεσή της σε φύλλα κριθαριού και καπνού σε συνθήκες ξηρασίας. Κάποιοι υποστηρίζουν όμως, ότι η μείωση της σπαργής των κυττάρων, και το κλείσιμο των στομάτων αποτελούν τους πρωταρχικούς παράγοντες συσσώρευσης προλίνης σε φυτά που υφίστανται καταπόνηση από ξηρασία και αλατότητα. Η μειωμένη δραστηριότητά της ενεργοποιεί κάποια γεγονότα προσαρμογής, που συσχετίζονται με το επίπεδο των καταπονήσεων, τις ανοχές των φυτών και την ανάπτυξή τους (Boggess and Stewart 1980). Το αμινοξύ αυτό αποτελεί σημαντικό δείκτη καταπόνησης σε φυτά που αναγκάζονται να επιβιώσουν σε περιβάλλοντα υψηλών και χαμηλών θερμοκρασιών αλλά και ξηρασίας, καθώς συχνά αυξάνεται η συγκέντρωσή του σε αυτά (Ashraf et al. 1994, Tamizi and Marziah 1995, Wang και Cui 1996,). Διαπιστώθηκε ότι γονότυποι κριθαριού που είναι ανθεκτικοί στην ξηρασία είχαν μεγαλύτερη συσσώρευση προλίνης κατά τη διάρκεια του στρες ξηρασίας, από ότι οι ευαίσθητοι στην ξηρασία γονότυποι (Singh et al. 1972). Επιπρόσθετα, σε μια σειρά από έρευνες η συγκέντρωση της προλίνης έχει βρεθεί υψηλότερη στα ανθεκτικά στην αλατότητα φυτά από ότι στα ευαίσθητα (Fougère et al. 1991).

## 1.6 Σκοπός της παρούσας μελέτης

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν οι αναλύσεις των φαινολικών, αντιοξειδωτικών ουσιών και προλίνης φύλλων διαφόρων δενδροκομικών καλλιεργειών για τη διερεύνηση της αντίδρασής τους στην καταπόνηση από έλλειψη νερού και από τη θερμική καταπόνηση ή και στην περιορισμένη διαθεσιμότητα ανόργανων θρεπτικών.

## 2. Υλικά και Μέθοδοι

### 2.1 Πειραματικοί αγροί

Για την πραγματοποίηση της πειραματικής διαδικασίας χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικοί οπωρώνες με μηλιές, αχλαδιές και κερασιές. Ο μηλεώνας που χρησιμοποιήθηκε βρίσκεται στην Αγιά Λάρισας στην τοποθεσία Ποταμιά. Τα πειραματικά δέντρα είναι ποικιλίας Super Chief, Scarlett και Gala, από 2 έως 8 ετών και εμβολιασμένα σε υποκείμενο EM9. Οι αποστάσεις φύτευσης αυτών είναι 2 x 3,8 m, 2,3 x 3,8 m και 1,1 x 3,8 m, αντίστοιχα, στα δέντρα κάθε ποικιλίας, και σε διαμόρφωση μονόκλωνο. Τέλος, όλα τα δέντρα και των τριών ποικιλιών ήταν καλυμμένα με αντιχαλαζικά δίχτυα.

Ο πρώτος πειραματικός αχλαδεώνας βρίσκεται σε περιοχή του Τυρνάβου Λάρισας περιοχή Γιάννουλης. Τα πειραματικά δέντρα είναι ποικιλίας Κρυστάλλι σε υποκείμενο EMA, 7 ετών και οι αποστάσεις φύτευσης αυτών είναι 3 x 3,5 m σε διαμόρφωση μονόκλωνο. Ο δεύτερος αχλαδεώνας που χρησιμοποιήθηκε βρίσκεται κοντά στον Τύρναβο Λάρισας. Οι αχλαδιές είναι ποικιλίας Κρυστάλλι σε υποκείμενο EMA, 8 ετών με αποστάσεις φύτευσης αυτών είναι 3 x 3,8 m σε διαμόρφωση μονόκλωνο.

Ο κερασεώνας είναι στην περιοχή Αγίας Λάρισας 2 χιλιόμετρα πριν την Αγιά επί της εθνικής οδού Λάρισας-Αγιοκάμπου. Οι κερασιές είναι ποικιλίας Regina και Grace Star σε υποκείμενο MaXMa 14, ηλικίας 10 ετών και με αποστάσεις φύτευσης 3 x 4 m σε διαμόρφωση ελεύθερη παλμέτα.

Η άρδευση των δέντρων σε όλους τους αγρούς πραγματοποιείται με τη στάγδην μέθοδο και η διαχείριση των ζιζανίων με κοπές στους διαδρόμους μεταξύ των γραμμών με στελεχοκόπτη και με ψεκασμό μεταφωτοδραστικών ζιζανιοκτόνων επί της γραμμής. Τέλος, η θρέψη των φυτών γίνεται με διαφυλλικούς ψεκασμούς, με τη μέθοδο της υδρολίπανσης κατά τη βλαστική περίοδο και με τη χρήση λιπασματοδιανομέα κατά τη χειμερινή περίοδο για το βασικό λίπασμα.

### 2.2 Μεταχειρίσεις

Για τη διενέργεια της πειραματικής διαδικασίας στο μηλεώνα χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 45 δέντρα χωρισμένα σε 8 μεταχειρίσεις, οι οποίες ήταν Ορθολογική

Άρδευση Super Chief (NWSCF), Ορθολογική λίπανση Super Chief (IISCF), Μάρτυρας SCF (MSCF), Ορθολογική Άρδευση Gala (NWG), Ορθολογική λίπανση Gala (IG), Μάρτυρας Gala (MG), Ορθολογική Άρδευση Scarlet (NWSc) και Μάρτυρας Scarlett (MSc). Στην μεταχείριση NWSCF, που αποτελούνταν από 5 δέντρα-επαναλήψεις, έγινε διακοπή της άρδευσης για περίπου 30 ημέρες, έναν μήνα μετά το πέρας της πλήρους άνθησης (πλήρης άνθηση 25/4/21). Στην συνέχεια, στα δέντρα αυτά ακολούθησε κανονική άρδευση, όπως και στα 6 δέντρα του MSCF, και κατόπιν περιορίστηκε στη μία δόση το τελευταίο δεκαήμερο του Ιουλίου και σε άλλη μία δόση κατά το πρώτο δεκαήμερο του Αυγούστου.

Όσον αφορά τη μεταχείριση NWG, που αποτελούνταν από 5 δέντρα-επαναλήψεις, εφαρμόστηκε περιορισμός της άρδευσης ένα μήνα μετά την πλήρη άνθηση για χρονικό διάστημα είκοσι ημερών. Μετά πραγματοποιήθηκε κανονική άρδευση των δέντρων, η οποία διακόπηκε μία μέρα μετά τη συγκομιδή των μήλων (23/8) για ένα μήνα. Στα τέλη του Σεπτεμβρίου συνεχίστηκε κανονικά η παροχή νερού στα δέντρα. Στα 5 δέντρα της μεταχείρισης NWSc διακόπηκε η άρδευση για είκοσι ημέρες, μετά το πέρας ενός μήνα από την πλήρη άνθηση της καλλιέργειας, και κατόπιν συνεχίστηκε κανονικά η άρδευση καθ' όλη τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Όσον αφορά τις μεταχειρίσεις MSCF, MG και MSc, αποτελούνταν η καθεμία από 6 δέντρα-επαναλήψεις. Τα δέντρα αυτά αρδεύονταν κανονικά, βάσει του προγράμματος του παραγωγού (άρδευση ανά εβδομάδα για 8-12 ώρες, ανάλογα την ποικιλία και την παροχή των σταλακτών) και δεν έγιναν περικοπές κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Συνολικά, εφαρμόστηκαν 4,18 m<sup>3</sup> ανά δέντρο στη μεταχείριση MSCF, 3,05 m<sup>3</sup> ανά δέντρο στην MG και 4,48 m<sup>3</sup> ανά δέντρο στην MSc. Η μεγαλύτερη ποσότητα των θρεπτικών εφαρμόστηκε με βασικά πλήρη λιπάσματα τον Φεβρουάριο. Οι ποσότητες αζώτου (N) και φωσφόρου (P) που εφαρμόστηκαν ήταν κατά πολύ υψηλότερες των απαιτούμενων από την καλλιέργεια. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια του Μαΐου και Ιουνίου εφαρμόστηκαν με υδρολίπανση επιπρόσθετες ποσότητες των στοιχείων αυτών, ανάλογα τον παραγωγό, ενώ διαφυλλικοί ψεκασμοί με πλήρη λιπάσματα εφαρμόστηκαν σε όλα τα δέντρα του κάθε οπωρώνα (από 2-4 φορές ανάλογα τον οπωρώνα). Τέλος, πραγματοποιήθηκε διαφυλλικός ψεκασμός Χλωριούχου ασβεστίου σε όλα τα δέντρα μηλιάς που μελετήθηκαν τουλάχιστον 2 φορές κοντά στη συγκομιδή.



Στα δέντρα των PSCF και PG, η ορθολογική λίπανση περιελάμβανε μικρότερη ποσότητα αζώτου (N) και φωσφόρου (P) και υψηλότερη ποσότητα καλίου (K) από αυτές που εφαρμόζει ο παραγωγός. Συγκεκριμένα, το N εφαρμόστηκε στις αρχές Απριλίου και συνεχίστηκε με μικρές δόσεις τον Μάιο και Ιούνιο με υδρολιπάνσεις. Επίσης, το 1/3 έως 1/4 της συνολικής ποσότητας N εφαρμόστηκε διαφυλλικά τον Σεπτέμβριο, μετά τη συγκομιδή. Ο P εφαρμόστηκε με υδρολιπάνσεις σε πολύ μικρή ποσότητα τον Απρίλιο και Μάιο και διαφυλλικά τον Σεπτέμβριο, λόγω της μικρής διαθεσιμότητας του εφόσον εφαρμοστεί με βασικά λιπάσματα τέλος χειμώνα, όπως συνηθίζεται από τους παραγωγούς. Το K εφαρμόστηκε στις αρχές Μαρτίου με θεικό κάλιο (τα 2/3 της συνολικής ποσότητας) και με υδρολίπανση τον Ιούνιο και Ιούλιο.

Στους αγλαδεώνες χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 30 δέντρα-επαναλήψεις διαιρούμενα στις μεταχειρίσεις Ορθολογική Άρδευση1 (NW1), Ορθολογική Λίπανση (Π2), Μάρτυρας1 (M1), Ορθολογική Άρδευση2 (NW2), Ορθολογική Λίπανση (Π1), και Μάρτυρας2 (M2). Στις μεταχειρίσεις NW1 και NW2, οι οποίες αποτελούνταν από 5 δέντρα η καθεμία, πραγματοποιήθηκε διακοπή της άρδευσης για είκοσι μέρες την 25/5 και άρθηκε αυτή μετά το πέρας του διαστήματος αυτού και η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε τρεις μήνες αργότερα (ξεκινώντας λίγες μέρες μετά τη συγκομιδή).

Αναφορικά με τη μεταχείριση M1, αποτελούσε την τακτική του παραγωγού, που περιείχε 5 δέντρα στα οποία δεν εφαρμόστηκε καμία διακοπή άρδευσης και παρέχονταν νερό κάθε 7-9 μέρες κατά την αρδευτική περίοδο. Όμως, στα δέντρα M1 δεν εφαρμόστηκε κανένα πότισμα έως τις 25/5/21 και την περίοδο 25/5/21 έως 16/6/21, που προκλήθηκε διακοπή άρδευσης των δέντρων της NW1, στα δέντρα M1 δόθηκε νερό στις 28/5/21 για 12 ώρες, στις 10/6/21 για 10 ώρες και στις 15/6 για 24 ώρες. Συνολικά κάθε δέντρο δέχθηκε 6,91 m<sup>3</sup>. Τέλος, η μεταχείριση M2 αποτελούσε την τακτική άρδευσης του παραγωγού του συγκεκριμένου οπωρώνα και αποτελούνταν από 5 δέντρα. Σε αυτά εφαρμόστηκαν συνολικά 5,69 m<sup>3</sup> ανά δέντρο. Στις τακτικές των παραγωγών η πλειοψηφία της θρέψης έγινε με βασικά πλήρη λιπάσματα τον Φεβρουάριο με τις ποσότητες N και P που εφαρμόστηκαν να είναι πολύ υψηλότερες σε σχέση με τις απαιτούμενες από την καλλιέργεια. Τέλος, κατά τους μήνες Μάιο και Ιούνιο εφαρμόστηκαν ακόμη, ανάλογα τον παραγωγό επιπλέον N και K, ενώ διαφυλλικοί ψεκασμοί με πλήρη λιπάσματα εφαρμόστηκαν σε όλα τα δέντρα του κάθε οπωρώνα (από 2-4 ανάλογα τον οπωρώνα).

Στα δέντρα των Π1 και Π2, το N εφαρμόστηκε από τις αρχές Απριλίου σε μικρές ποσότητες, η εφαρμογή του οποίου συνεχίστηκε σε μικρές δόσεις τον Μάιο και Ιούνιο με υδρολίπανσεις. Το  $\frac{1}{4}$  της συνολικής ποσότητας N εφαρμόστηκε διαφυλλικά αρχές Φθινοπώρου, τον Σεπτέμβριο, μετασυλλεκτικά. Ο P εφαρμόστηκε με υδρολίπανσεις σε πολύ μικρή ποσότητα τον Απρίλιο και Μάιο και διαφυλλικά τον Σεπτέμβριο. Τέλος, το K εφαρμόστηκε στις αρχές Μαρτίου με θειικό κάλιο (τα  $\frac{2}{3}$  της συνολικής ποσότητας) και με υδρολίπανση τον Μάιο και Ιούνιο.

Στον κερασεώνα χρησιμοποιήθηκαν 40 δέντρα-επαναλήψεις συνολικά, χωρισμένα στις μεταχειρίσεις Ορθολογική ΆρδευσηGS (NWGS), Ορθολογική ΆρδευσηGS+Καολίνης (NWGS+K), Ορθολογική λίπανση (PIGS), ΜάρτυραςGS (MGS), Ορθολογική ΆρδευσηR (NWR), Ορθολογική ΆρδευσηR+Καολίνης (NWR+K), Ορθολογική λίπανση (PIR) και ΜάρτυραςR (MR). Οι μεταχειρίσεις NWKGS, NWR, NWKGS+K και NWR+K είχαν 5 δέντρα η καθεμία στα οποία διακόπηκε η άρδευση μετασυλλεκτικά, για 15 ημέρες προς τα τέλη Ιουνίου. Στην συνέχεια, τα δέντρα συνέχισαν να δέχονται νερό μέχρι το πρώτο δεκαήμερο του Αυγούστου που ξαναδιακόπηκε η άρδευση για άλλες 15 ημέρες. Το υπόλοιπο διάστημα τα δέντρα αρδεύονταν βάσει του προγράμματος του παραγωγού.

Όσον αφορά τις μεταχειρίσεις MKG και MR, αποτελούνταν από 5 δέντρα έκαστη, και ακολουθήθηκαν τις αρδευτικές τακτικές του παραγωγού. Τα δέντρα αυτών δεν υπέστησαν κανέναν περιορισμό της άρδευσης και συνολικά δέχτηκαν  $12,88 \text{ m}^3$  ανά δέντρο και  $7,35 \text{ m}^3$  ανά δέντρο, αντίστοιχα. Στα δέντρα αυτά τον Φεβρουάριο εφαρμόστηκε βασική λίπανση με πλήρες λίπασμα. Οι ποσότητες N και P που εφαρμόστηκαν ήταν κατά πολύ υψηλότερες των απαιτούμενων από την καλλιέργεια. Παράλληλα, τους μήνες Μάιο και Ιούνιο προστέθηκαν, ανάλογα τον παραγωγό επιπλέον N και K, ενώ διαφυλλικοί ψεκασμοί με πλήρη λιπάσματα εφαρμόστηκαν σε όλα τα δέντρα του κάθε οπωρώνα (από 2-4 ανάλογα τον οπωρώνα).

Στις μεταχειρίσεις NWGS+K και NWR+K, που αποτελούνταν από 5 δέντρα η καθεμία, έγινε άρδευση όπως στις NWGS και NWR, και μετασυλλεκτικός ψεκασμός καολίνη. Οι εφαρμογές έγιναν στα τέλη Ιουνίου και αρχές Ιουλίου (διάστημα μεταξύ των δύο εφαρμογών 5 ημέρες) με 2,5% συγκέντρωση καολίνη με το εμπορικό σκεύασμα Surround.

Στα δέντρα των ΠGS και ΠR έγινε προσθήκη μικρής ποσότητας N στις αρχές Απριλίου, η εφαρμογή του οποίου συνεχίστηκε σε μικρές δόσεις μετασυσλλεκτικά με υδρολιπάνσεις. Ο P εφαρμόστηκε με υδρολιπάνσεις σε πολύ μικρή ποσότητα τον Απρίλιο και Μάιο. Το K εφαρμόστηκε στις αρχές Μαρτίου με θειικό κάλιο (τα 2/3 της συνολικής ποσότητας) και με υδρολίπανση τον Μάιο.

### 2.3 Μετρήσεις εργαστηρίου

Για την διενέργεια των μετρήσεων στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες φύλλων. Ειδικά, από τη μέση των ετήσιων βλαστών περιμετρικά της κόμης των δέντρων συγκεντρώθηκαν έξι επαναλήψεις φύλλων (δέκα φύλλα ανά επανάληψη) από κάθε μεταχείριση σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους, όπως φαίνεται στον πίνακα 2.1. Μετά τη συλλογή, αυτά τοποθετήθηκαν σε πλαστικά σακουλάκια και μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Δενδροκομίας σε ψυχόμενο κουτί μεταφοράς για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης προλίνης, της περιεκτικότητας των φύλλων σε ολικά φαινολικά και της αντιοξειδωτικής ικανότητάς τους.

Η συγκέντρωση προλίνης στους φυτικούς ιστούς μετρήθηκε με τη μέθοδο του Bates (1973) με κάποιες τροποποιήσεις. Αρχικά, παραλήφθηκε το εκχύλισμα των φυτικών ιστών. Ζυγίστηκαν 0,5 g κατεψυγμένου νεπού φυτικού ιστού και τοποθετήθηκαν σε γουδί με 2 mL αιθανόλης 70% για λειοτρίβηση, κατά τη διάρκεια της οποίας προστέθηκαν ακόμη 2 mL αιθανόλη 70%. Με την ολοκλήρωση της λειοτρίβησης τα εκχυλίσματα μεταφέρθηκαν σε falcon των 15 mL και σε ψυγείο προκειμένου να φυγοκεντρηθούν σε επόμενη φάση στις 4000g για 10 λεπτά. Τέλος, το υπερκείμενο κάθε δείγματος τοποθετήθηκε σε νέο falcon των 15 mL.

Πίνακας 2.1 Ημερομηνίες συλλογής φύλλων από τα δέντρα κάθε μεταχείρισης

METAXEIRISIH	HMEPOMHNHIA
NWSCF	24/6/21, 23/9/21
ΠSCF	24/6/21, 23/9/21
MSCF	22/6/21, 23/9/21
NWG	18/6/21, 24/8/21, 20/9/21
ΠG	18/6/21, 24/8/21, 20/9/21
MG	18/6/21, 24/8/21, 20/9/21
NWSc	17/6/21

MSc	17/6/21
NW1	16/6/21, 26/7/21
Π1	16/6/21, 26/7/21
M1	16/6/21, 26/7/21
NW2	14/6/21, 28/7/21
M2	14/6/21, 28/7/21
NWGS	25/6/21, 25/8/21
NWGS+K	25/6/21, 25/8/21
MGS	25/6/21, 25/8/21
NWR	28/6/21, 25/8/21
NWR+K	28/6/21, 25/8/21
MR	28/6/21, 25/8/21

Από αυτό μεταφέρθηκαν 1 mL εκχυλίσματος και 2 mL διαλύματος νυιδρίνης (αφού είχε παρασκευαστεί με προσθήκη 0,5 g νυιδρίνης σε διάλυμα με 60 mL οξικό οξύ και 20 mL αιθανόλης, που συμπληρώθηκαν με απιονισμένο νερό έως τα 100 mL) σε δοκιμαστικούς σωλήνες. Οι δοκιμαστικοί σωλήνες, εφόσον είχαν πωματιστεί, ανακινήθηκαν στο vortex για περίπου 10 δευτερόλεπτα και μεταφέρθηκαν σε υδατόλουτρο για 25 λεπτά στους 95 °C. Ακολούθησε η διατήρησή τους σε θερμοκρασία δωματίου, προκειμένου να κρυώσουν, και μετρήθηκε η απορρόφηση του φωτός στα 520 nm στο φασματοφωτόμετρο OPTIZEN POP (UV/VIS Spectrophotometer, Mecasys Co. Ltd). Εν τέλει, εκφράστηκαν οι τιμές των μετρήσεων σε mg προλίνης ανά 100 g νωπού βάρους φύλλων μετά από δημιουργία πρότυπης καμπύλης αναφοράς με μέτρηση της απορρόφησης διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης προλίνης.

Για τη μέτρηση των ολικών φαινολικών και της αντιοξειδωτικής ικανότητας έλαβε χώρα προετοιμασία εκχυλίσματος, βάσει της μεθόδου των Hayes et al. (2011), με τέσσερεις επαναλήψεις (δέκα φύλλα ανά επανάληψη) από κάθε μεταχείριση. Αρχικά, ζυγίστηκε 0,5 g νωπού ιστού φύλλων σε σωλήνα φυγοκέντρησης και προστέθηκαν 25 mL μεθανόλης. Στη συνέχεια, ομογενοποιήθηκαν τα δείγματα στη συσκευή Polytron (Kinematika GmbH) για χρονικό διάστημα ενός λεπτού, ανακινήθηκαν στις 1050 rpm σε συνθήκες σκοταδιού για 20 λεπτά και μεταφέρθηκαν στη συσκευή φυγοκέντρησης και φυγοκεντρήθηκαν στις 3000g για διάστημα δέκα λεπτών. Ο ποσοτικός προσδιορισμός πραγματοποιήθηκε στα υπερκείμενα.

Όσον αφορά τα ολικά φαινολικά, η μέτρησή τους έγινε με κάποιες διαφοροποιήσεις της μεθόδου, η οποία είχε διατυπωθεί αρχικά από τους Swain and Hillis (1959). Σημείο-

κλειδί της μεθόδου αυτής είναι η αντίδραση των φαινολικών με το αντιδραστήριο Folin-Ciocalteu και δημιουργούν ένα έγχρωμο (κυανό) σύμπλοκο με μέγιστο απορρόφησης στα 760 nm, εφόσον αναλυθούν σε συγκεκριμένες συνθήκες. Ως εκ τούτου, μεταφέρθηκαν σε δοκιμαστικό σωλήνα 2 mL του εκχυλίσματος, που αναφέρθηκε ανωτέρω, 2 mL απιονισμένου νερού και 10 mL του Folin-Ciocalteu συγκέντρωσης 2 N το οποίο είχε αραιωθεί με νερό σε αναλογία 1:10. Εν συνεχεία, το περιεχόμενο του δοκιμαστικού σωλήνα ανακινήθηκε στο Vortex για χρονικό διάστημα λίγων δευτερολέπτων και μετά την παρέλευση 2-8 λεπτών προστέθηκαν σε αυτό 8 mL διαλύματος 1 N Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, ανακινήθηκαν στο Vortex και τα δείγματα τοποθετήθηκαν σε συνθήκες σκοταδιού και 30 °C για μία ώρα. Κατόπιν, μεταφέρθηκαν για 5 λεπτά, περίπου, στους 5 °C και μετά παρέμειναν σε θερμοκρασία δωματίου για 5-10 λεπτά. Ακολούθως, μετρήθηκε η απορρόφηση του φωτός στα 760 nm στο φασματοφωτόμετρο OPTIZEN POP (UV/VIS Spectrophotometer, Mecasys Co. Ltd). Τέλος, οι τιμές των μετρήσεων εκφράστηκαν σε mg γαλλικού οξέος ανά 100 g νωπού βάρους (ν.β.) φύλλων, μετά από δημιουργία πρότυπης καμπύλης αναφοράς με μέτρηση της απορρόφησης διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης γαλλικού οξέος, ύστερα από αραιώσεις πυκνού διαλύματος γαλλικού οξέος (5 mg mL<sup>-1</sup>).

Όσον αφορά τον προσδιορισμό της αντιοξειδωτικής ικανότητας των φύλλων, αυτός πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της ελεύθερης ρίζας DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), κάνοντας χρήση της διαφοροποιημένης μεθόδου του Brand-Williams et al. (1995), και με δοκιμή αναγωγής του τρισθενούς σιδήρου (Ferric ion Reducing Antioxidant Power, FRAP). Η πρώτη στηρίζεται στην αλληλεπίδραση των αντιοξειδωτικών μορίων με τη ρίζα DPPH, μία σταθερή ρίζα, μωβ χρώματος και με απορρόφηση στα 517 nm. Με την προσθήκη μιας αντιοξειδωτικής ουσίας λαμβάνει χώρα αναγωγή της ρίζας, η οποία επιφέρει μεταβολή του χρώματος του διαλύματος από μωβ σε κίτρινο, ανάλογη της συγκέντρωσης της ουσίας, και την αντίστοιχη μείωση της οπτικής απορρόφησης στα 517 nm. Η μεταβολή της απορρόφησης εκτιμάται στο φασματοφωτόμετρο και έτσι μεταφέρθηκαν 100 μL από το μεθανολικό εκχύλισμα και 2900 μL DPPH συγκέντρωσης 100 μM σε έναν δοκιμαστικό σωλήνα. Αφού έγινε ανακίνηση των δειγμάτων στο Vortex, ακολούθησε η μεταφορά τους στο σκοτάδι για 30 λεπτά και αμέσως μετά η μέτρηση της απορρόφησής τους στα 517 nm στο φασματοφωτόμετρο OPTIZEN POP (UV/VIS Spectrophotometer, Mecasys Co. Ltd) έναντι του μάρτυρα (100 μL μεθανόλη και 2900 μL DPPH). Η πρότυπη καμπύλη

αναφοράς πραγματοποιήθηκε με μέτρηση της απορρόφησης διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης ασκορβικού οξέος, τα οποία προέκυψαν από αραιώσεις πυκνού διαλύματος ασκορβικού οξέος ( $0,1 \text{ mg mL}^{-1}$ ) και τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως ισοδύναμα  $\mu\text{mol L-ασκορβικού οξέος ανά g v.β. φύλλου}$ .

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, έγινε και μέτρηση της αντιοξειδωτικής ικανότητας σύμφωνα με τη μέθοδο αναγωγής του τρισθενούς σιδήρου (Benzie και Strain, 1996). Στην αρχή έγινε ανάμιξη  $2950 \mu\text{L}$  φρέσκου διαλύματος εργασίας FRAP [ $300 \text{ mM}$  ρυθμιστικού διαλύματος οξικού οξέος  $\text{pH}=3,6$ ,  $10 \text{ mM}$  2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine σε  $40 \text{ mM HCl}$  και  $20 \text{ mM}$  τριχλωριούχου σιδήρου σε αναλογία 10:1:1] με  $50 \mu\text{L}$  μεθανολικού εκχυλίσματος, ακολούθησε επώαση για  $4 \text{ λεπτά}$  στους  $37 \text{ }^\circ\text{C}$  σε υδατόλουτρο και προσδιορισμός της απορρόφησης του μίγματος στα  $593 \text{ nm}$  με το φασματοφωτόμετρο OPTIZEN POP (UV/VIS Spectrophotometer, Mecasys Co. Ltd). Αξίζει να αναφερθεί ότι τα εκχυλίσματα είναι ικανά να ανάγουν τον σίδηρο από τρισθενή σε δισθενή ( $\text{Fe}^{+3}$  σε  $\text{Fe}^{+2}$ ) σε όξινες συνθήκες με την ύπαρξη 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) και ως εκ τούτου να οδηγούν στη δημιουργία μπλε χρώματος συμπλόκου  $\text{Fe}^{+2}$ -TPTZ που απορροφά στα  $593 \text{ nm}$ . Η αντιοξειδωτική ικανότητα του εκχυλίσματος εκτιμήθηκε βάσει της πρότυπης καμπύλης αναφοράς του L-ασκορβικού οξέος και τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως ισοδύναμα  $\mu\text{mol L-ασκορβικού οξέος ανά g v.β. φύλλου}$ . Η πρότυπη καμπύλη αναφοράς πραγματοποιήθηκε με μέτρηση της απορρόφησης διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης ασκορβικού οξέος, τα οποία προέκυψαν από αραιώσεις πυκνού διαλύματος ασκορβικού οξέος ( $0,1 \text{ mg mL}^{-1}$ ).

#### 2.4 Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων διενεργήθηκε με το πρόγραμμα SPSS (SPSS Statistics for Windows, Version 26.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA). Η μεταχείριση και ο χρόνος ήταν οι παράγοντες που μελετήθηκαν με τη μέθοδο Ανάλυσης Παραλλακτικότητας (ANOVA), ενώ οι μέσοι όροι διαχωρίστηκαν με τη μέθοδο Tukey και πιθανότητα λάθους 5%.

### 3. Αποτελέσματα

#### 3.1 Συγκέντρωση Προλίνης, Φαινολικών, και αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH και FRAP σε μηλιές ποικιλίας Scarlett

Η συγκέντρωση προλίνης, η συγκέντρωση φαινολικών και οι συγκεντρώσεις DPPH και FRAP των φύλλων της μεταχείρισης με ορθολογική άρδευση (NW) ήταν παρόμοιες με την συγκέντρωση προλίνης, συγκέντρωση φαινολικών και συγκεντρώσεις DPPH και FRAP των φύλλων της μεταχείρισης του μάρτυρα (άρδευση του παραγωγού, M) για τις 17 Ιουνίου (Πίν. 3.1).

Πίνακας 3.1 Συγκέντρωση προλίνης και ολικών φαινολικών συστατικών, και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο DPPH και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο FRAP των φύλλων του μάρτυρα (M), και της ορθολογικής άρδευσης (NW) του πιλοτικού αγρού μηλιάς Φουκ ποικιλίας Scarlett στις 17/6/21.

Μεταχείρ.	mg προλίνης ανά g v.β.	Ολικά φαινολικά (ισοδύναμα γαλλικού οξέος mg/ g v.β.)	Αντιοξειδωτική Ικανότητα DPPH (ισοδύναμα ασκορβικού οξέος μmol/g v.β.)	Αντιοξειδωτική Ικανότητα FRAP (ισοδύναμα ασκορβικού οξέος μmol/g v.β.)
M 17Ιουν	2,50	14,1	109,8	76,8
NW 17Ιουν	2,29	14,3	109,5	73,8
Σημαντ.	NS	NS	NS	NS

Σημαντικότητα: NS μη σημαντική διαφορά

#### 3.2 Συγκέντρωση Προλίνης, Φαινολικών, και αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH και FRAP σε μηλιές ποικιλίας Gala

Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης ορθολογική λίπανση (περιορισμένη εφαρμογή N και P και αυξημένη εφαρμογή K ορθά στο χρόνο, Π) βρέθηκε χαμηλότερη από τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης M για τις 17 Ιουνίου (Πίν. 3.2). Για την ίδια ημερομηνία, η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης NW βρέθηκε παρόμοια με τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης M. Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης Π βρέθηκε χαμηλότερη από την συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης M για τις 24 Αυγούστου. Για την ίδια ημερομηνία, η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης NW βρέθηκε μικρότερη από τη

συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης Μ. Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης Π βρέθηκε χαμηλότερη από τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης Μ για τις 20 Σεπτεμβρίου. Για την ίδια ημερομηνία, η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης ΝW βρέθηκε παρόμοια με τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης Μ.

Η συγκέντρωση DPPH των φύλλων της μεταχείρισης Π ήταν χαμηλότερη σε σχέση με την συγκέντρωση DPPH φύλλων της μεταχείρισης Μ για τις 17 Ιουνίου (Πίν. 3.2). Η συγκέντρωση DPPH των φύλλων της μεταχείρισης ΝW ήταν παρόμοια με τη συγκέντρωση DPPH φύλλων της μεταχείρισης Μ για τις 17 Ιουνίου. Η συγκέντρωση DPPH των φύλλων της μεταχείρισης Π ήταν χαμηλότερη σε σχέση με τη συγκέντρωση DPPH φύλλων της μεταχείρισης Μ για τις 24 Αυγούστου. Η συγκέντρωση DPPH των φύλλων της μεταχείρισης ΝW ήταν χαμηλότερη σε σχέση με τη συγκέντρωση DPPH φύλλων της μεταχείρισης Μ για τις 24 Αυγούστου. Η συγκέντρωση DPPH των φύλλων της μεταχείρισης Π ήταν χαμηλότερη σε σχέση με τη συγκέντρωση DPPH φύλλων της μεταχείρισης Μ για τις 20 Σεπτεμβρίου. Η συγκέντρωση DPPH των φύλλων της μεταχείρισης ΝW ήταν μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση DPPH φύλλων της μεταχείρισης Μ για τις 20 Σεπτεμβρίου.

Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν χαμηλότερη συγκέντρωση FRAP σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα για τις 17 Ιουνίου (Πίν. 3.2). Την ίδια χρονική στιγμή τα φύλλα της μεταχείρισης ΝW είχαν παρόμοια συγκέντρωση FRAP με τα φύλλα του μάρτυρα. Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν χαμηλότερη συγκέντρωση FRAP σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα για τις 24 Αυγούστου. Την ίδια χρονική στιγμή τα φύλλα της μεταχείρισης ΝW είχαν χαμηλότερη συγκέντρωση FRAP σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα. Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν χαμηλότερη συγκέντρωση FRAP σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα για τις 20 Σεπτεμβρίου. Την ίδια χρονική στιγμή τα φύλλα της μεταχείρισης ΝW είχαν παρόμοια συγκέντρωση FRAP με τα φύλλα του μάρτυρα.

Η συγκέντρωση προλίνης φύλλων της μεταχείρισης Π ήταν χαμηλότερη σε σχέση με τη συγκέντρωση προλίνης φύλλων του μάρτυρα για τις 17 Ιουνίου (Πίν. 3.2). Την ίδια ημερομηνία η συγκέντρωση προλίνης φύλλων της μεταχείρισης ΝW ήταν χαμηλότερη σε σχέση με τη συγκέντρωση προλίνης φύλλων του μάρτυρα. Η συγκέντρωση προλίνης φύλλων της μεταχείρισης Π ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με τη



συγκέντρωση προλίνης φύλλων του μάρτυρα για τις 24 Αυγούστου. Την ίδια ημερομηνία η συγκέντρωση προλίνης φύλλων της μεταχείρισης NW ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με τη συγκέντρωση προλίνης φύλλων του μάρτυρα. Η συγκέντρωση προλίνης φύλλων της μεταχείρισης Π ήταν χαμηλότερη σε σχέση με τη συγκέντρωση προλίνης φύλλων του μάρτυρα για τις 20 Σεπτεμβρίου. Την ίδια ημερομηνία η συγκέντρωση προλίνης φύλλων της μεταχείρισης NW ήταν χαμηλότερη σε σχέση με τη συγκέντρωση προλίνης φύλλων του μάρτυρα.

Πίνακας 3.2 Συγκέντρωση προλίνης και ολικών φαινολικών συστατικών, και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο DPPH και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο FRAP των φύλλων του μάρτυρα (Μ), της ορθολογικής λίπανσης (Π) και της ορθολογικής άρδευσης (NW) του πιλοτικού αγρού μηλιάς Φουκ ποικιλίας Gala το θέρος 2021.

Χρόνος	Μεταχείρ.	Ολικά φαινολικά (ισοδύναμα γαλλικού οξέος mg/ g v.β.)	Αντιοξειδωτική Ικανότητα DPPH (ισοδύναμα ασκορβικού οξέος μmol/ g v.β.)	Αντιοξειδωτική Ικανότητα FRAP (ισοδύναμα ασκορβικού οξέος μmol/ g v.β.)	Προλίνη (mg/ g v.β.)
<b>17Ιουν</b>	M	13,8c	62,1e	51,0c	8,27a
	Π	11,7e	50,5f	41,8d	5,04c
	NW	13,8c	63,9e	55,3c	4,87c
<b>24Αυγ</b>	M	15,4b	75,7c	51,2c	4,38d
	Π	13,0d	63,3e	44,0d	4,86c
	NW	14,0c	69,5d	43,5d	5,70b
<b>20Σεπτ</b>	M	17,5a	87,1b	84,5a	4,15d
	Π	14,8b	77,2c	73,6b	3,27e
	NW	17,1a	95,1a	85,1a	3,50e
<b>Σημαντ.</b>	Χρόνος	***	***	***	***
	Μεταχειρ.	***	***	***	***

Σημαντικότητα: \*\*\* επίπεδο σημαντικότητας 0,001

### 3.3 Συγκέντρωση Προλίνης, Φαινολικών, και αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH και FRAP σε μηλιές ποικιλίας Super Chief

Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης Π ήταν παρόμοια με τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων του μάρτυρα (Πίν. 3.3). Αυτό αφορούσε τη δειγματοληψία φύλλων στις 23 Ιουνίου. Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης Π ήταν χαμηλότερη σε σχέση με τη συγκέντρωση φαινολικών των

φύλλων του μάρτυρα για τις 23 Σεπτεμβρίου. Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης NW ήταν παρόμοια με τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων του μάρτυρα στις 23 Ιουνίου. Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης NW ήταν ελαφρώς μεγαλύτερη σε σχέση με τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων του μάρτυρα στις 24 Ιουνίου. Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης NW ήταν παρόμοια με τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων του μάρτυρα στις 23 Σεπτεμβρίου.

Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν μεγαλύτερη συγκέντρωση DPPH σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα στις 23 Ιουνίου (Πίν. 3.3). Τα φύλλα της ίδιας μεταχείρισης είχαν παρόμοια συγκέντρωση DPPH με τα φύλλα του μάρτυρα στις 23 Σεπτεμβρίου. Τα φύλλα της μεταχείρισης NW είχαν μεγαλύτερη συγκέντρωση DPPH σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα στις 23 Ιουνίου, 24 Ιουνίου και 23 Σεπτεμβρίου.

Η συγκέντρωση FRAP των φύλλων της μεταχείρισης Π ήταν μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση FRAP των φύλλων του μάρτυρα στις 23 Ιουνίου (Πίν. 3.3). Η συγκέντρωση FRAP των φύλλων της μεταχείρισης Π ήταν μικρότερη από τη συγκέντρωση FRAP των φύλλων του μάρτυρα στις 23 Σεπτεμβρίου. Η συγκέντρωση FRAP των φύλλων της μεταχείρισης NW ήταν μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση FRAP των φύλλων του μάρτυρα στις 23 Ιουνίου. Η συγκέντρωση FRAP των φύλλων της μεταχείρισης NW ήταν παρόμοια με τη συγκέντρωση FRAP των φύλλων του μάρτυρα στις 24 Ιουνίου και στις 23 Σεπτεμβρίου.

Η συγκέντρωση προλίνης φύλλων της μεταχείρισης Π βρέθηκε παρόμοια με τη συγκέντρωση προλίνης των φύλλων του μάρτυρα στις 23 Ιουνίου και στις 23 Σεπτεμβρίου (Πίν. 3.3). Η συγκέντρωση προλίνης φύλλων της μεταχείρισης NW βρέθηκε παρόμοια με τη συγκέντρωση προλίνης των φύλλων του μάρτυρα στις 23 Ιουνίου και 24 Ιουνίου, ενώ η συγκέντρωση προλίνης φύλλων της μεταχείρισης NW βρέθηκε ελαφρώς μεγαλύτερη σε σχέση με τη συγκέντρωση προλίνης των φύλλων του μάρτυρα στις 23 Σεπτεμβρίου.

Πίνακας 3.3 Συγκέντρωση προλίνης και ολικών φαινολικών συστατικών, και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο DPPH και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο FRAP των φύλλων του μάρτυρα (M), της ορθολογικής λίπανσης (Π) και της ορθολογικής άρδευσης (NW) του πιλοτικού αγρού μηλιάς Φουκ ποικιλίας Super Chief το θέρους 2021.

Μεταχείρ.	Ολικά φαινολικά (ισοδύναμα γαλλικού οξέος mg/ g v.β.)	Αντιοξειδωτική Ικανότητα DPPH (ισοδύναμα ασκορβικού οξέος μmol/ g v.β.)	Αντιοξειδωτική Ικανότητα FRAP (ισοδύναμα ασκορβικού οξέος μmol/ g v.β.)	Προλίνη (mg/ g v.β.)
<b>M 23Ιουν</b>	17,0a	90,7b	80,5b	2,50b
<b>M 24Ιουν</b>	12,7d	59,4d	45,4c	2,25b
<b>M 23Σεπτ</b>	14,9b	61,3d	45,9c	3,43ab
<b>Π 23 Σεπτ</b>	13,4c	58,9d	36,2d	3,59ab
<b>Π+NW 23Ιουν</b>	17,2a	101,1a	86,9a	2,29b
<b>NW 24Ιουν</b>	13,2cd	71,8c	45,3c	2,36b
<b>NW 23 Σεπτ</b>	14,7b	70,9c	46,3c	4,30a
<b>Σημαντ.</b>	***	***	***	**

Σημαντικότητα: \*\* επίπεδο σημαντικότητας 0,01 και \*\*\* επίπεδο σημαντικότητας 0,001

### 3.4 Συγκέντρωση Προλίνης, Φαινολικών, και αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH και FRAP σε αγλαδιές ποικιλίας Κρυστάλλι

Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης Π ήταν χαμηλότερη από τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης M (Πίν. 3.4). Αυτό αφορούσε τη δειγματοληψία φύλλων στις 16 Ιουνίου, ενώ η συγκέντρωση φαινολικών των δύο μεταχειρίσεων ήταν παρόμοιες για τα δείγματα φύλλων στις 29 Ιουλίου. Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης NW ήταν μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων του μάρτυρα για τις 16 Ιουνίου, ενώ η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης NW ήταν παρόμοια με τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης M για τις 29 Ιουλίου.

Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν χαμηλότερη συγκέντρωση DPPH σε σχέση με τα φύλλα της μεταχείρισης M, για τις 16 Ιουνίου (Πίν. 3.4). Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν παρόμοια συγκέντρωση DPPH σε σχέση με τα φύλλα της μεταχείρισης M για τις 29 Ιουλίου. Τα φύλλα της μεταχείρισης NW είχαν μεγαλύτερη συγκέντρωση DPPH σε σχέση με τα φύλλα της μεταχείρισης M για τις 16 Ιουνίου. Τα φύλλα της

μεταχείρισης NW είχαν παρόμοια συγκέντρωση DPPH σε σχέση με τα φύλλα της μεταχείρισης M για τις 29 Ιουλίου.

Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν ελαφρώς χαμηλότερη συγκέντρωση FRAP σε σχέση με τα φύλλα της μεταχείρισης M για τις 16 Ιουνίου (Πίν. 3.4). Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν παρόμοια συγκέντρωση FRAP σε σχέση με τα φύλλα της μεταχείρισης M για τις 29 Ιουλίου. Τα φύλλα της μεταχείρισης NW είχαν ελαφρώς μεγαλύτερη συγκέντρωση FRAP σε σχέση με τα φύλλα της μεταχείρισης M για τις 16 Ιουνίου και για τις 29 Ιουλίου.

Η περιεκτικότητα των φύλλων σε προλίνη της μεταχείρισης Π ήταν παρόμοια με την περιεκτικότητα φύλλων σε προλίνη της μεταχείρισης M για τις 16 Ιουνίου (Πίν. 3.4). Η περιεκτικότητα των φύλλων σε προλίνη της μεταχείρισης Π ήταν μεγαλύτερη από την περιεκτικότητα φύλλων σε προλίνη της μεταχείρισης M για τις 29 Ιουλίου. Η περιεκτικότητα των φύλλων σε προλίνη της μεταχείρισης NW ήταν παρόμοια με την περιεκτικότητα φύλλων σε προλίνη της μεταχείρισης M για τις 16 Ιουνίου. Η περιεκτικότητα των φύλλων σε προλίνη της μεταχείρισης NW ήταν μεγαλύτερη από την περιεκτικότητα φύλλων σε προλίνη της μεταχείρισης M για τις 29 Ιουλίου.

Πίνακας 3.4 Συγκέντρωση προλίνης και ολικών φαινολικών συστατικών, και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο DPPH και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο FRAP των φύλλων του μάρτυρα (M), της ορθολογικής λίπανσης (Π) και της ορθολογικής άρδευσης (NW) του πιλοτικού αγρού αχλαδιάς Λεων ποικιλίας Κρυστάλι το θέρος 2021.

Μεταχείρ.	Ολικά φαινολικά (ισοδύναμα γαλλικού οξέος mg/ g v.β.)	Αντιοξειδωτική Ικανότητα DPPH (ισοδύναμα ασκορβικού οξέος μmol/ g v.β.)	Αντιοξειδωτική Ικανότητα FRAP (ισοδύναμα ασκορβικού οξέος μmol/ g v.β.)	Προλίνη (mg/ g v.β.)
M 16Ιουν	7,73b	37,7b	32,1ab	3,23c
M 29Ιουλ	5,17d	36,4b	22,7c	8,68b
Π 16Ιουν	6,21c	26,3c	28,9bc	3,70c
Π 29Ιουλ	5,43d	38,6b	22,0c	11,13a
NW 16Ιουν	9,04a	45,9a	39,4a	3,35c
NW 29 Ιουλ	5,25d	33,9b	26,0bc	10,06a
Σημαντ.	***	***	***	***

Σημαντικότητα: \*\*\* επίπεδο σημαντικότητας 0,001

### 3.5 Συγκέντρωση Προλίνης, Φαινολικών, και αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH και FRAP σε αγλαδιές ποικιλίας Κρυστάλλι2

Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης Π βρέθηκε παρόμοια με τη συγκέντρωση φαινολικών της μεταχείρισης Μ για τις 16 Ιουνίου (Πίν. 3.5). Η συγκέντρωση φαινολικών της μεταχείρισης ΝW ήταν παρόμοια με τη συγκέντρωση φαινολικών της μεταχείρισης Μ για τις 29 Ιουλίου.

Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν χαμηλότερη συγκέντρωση DPPH σε σχέση με τα φύλλα της μεταχείρισης Μ για τις 16 Ιουνίου (Πίν. 3.5). Τα φύλλα της μεταχείρισης ΝW είχαν χαμηλότερη συγκέντρωση DPPH σε σχέση με τα φύλλα της μεταχείρισης Μ για τις 29 Ιουλίου.

Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν χαμηλότερη συγκέντρωση FRAP σε σχέση με τα φύλλα της μεταχείρισης Μ για τις 16 Ιουνίου (Πίν. 3.5). Τα φύλλα της μεταχείρισης ΝW είχαν χαμηλότερη συγκέντρωση FRAP σε σχέση με τα φύλλα της μεταχείρισης Μ για τις 29 Ιουλίου.

Η περιεχόμενη προλίνη στα φύλλα της μεταχείρισης Π βρέθηκε μικρότερη από τη συγκέντρωση προλίνης των φύλλων της μεταχείρισης Μ για τις 16 Ιουνίου (Πίν. 3.5). Η περιεχόμενη προλίνη της μεταχείρισης ΝW βρέθηκε μεγαλύτερη από την περιεχόμενη προλίνη της μεταχείρισης Μ για τις 29 Ιουλίου.

Πίνακας 3.5 Συγκέντρωση προλίνης και ολικών φαινολικών συστατικών, και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο DPPH και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο FRAP των φύλλων του μάρτυρα (Μ), της ορθολογικής λίπανσης (Π) και της ορθολογικής άρδευσης (ΝW) του πιλοτικού αγρού αγλαδιάς Παπ ποικιλίας Κρυστάλι το θέρους 2021.

Μεταχείρ.	Ολικά φαινολικά (ισοδύναμα γαλλικού οξέος mg/ g v.β.)	Αντιοξειδωτική Ικανότητα DPPH (ισοδύναμα ασκορβικού οξέος μmol/ g v.β.)	Αντιοξειδωτική Ικανότητα FRAP (ισοδύναμα ασκορβικού οξέος μmol/ g v.β.)	Προλίνη (mg/ g v.β.)
Μ 16Ιουν	4.15b	10.58c	19.2c	2,76c
Μ 29Ιουλ	5.57a	17.72a	23.3a	6,70b
Π 16Ιουν	3.96b	7.80d	15.9d	2,01d
ΝW 29 Ιουλ	5.31a	15.10b	21.4b	8,23a
Σημαντ.	***	***	***	***

Σημαντικότητα: \*\*\* επίπεδο σημαντικότητας 0,001

### 3.6 Συγκέντρωση Προλίνης, Φαινολικών, και αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH και FRAP σε κερασιές ποικιλίας Regina

Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης Π ήταν παρόμοια με τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων του μάρτυρα στις 28 Ιουνίου (Πίν. 3.6). Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης NW ήταν παρόμοια με τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου. Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης ορθολογικής άρδευσης + διαφυλλικό καολίνη (NWK) ήταν μικρότερη σε σχέση με τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου.

Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν μεγαλύτερη συγκέντρωση DPPH σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα στις 28 Ιουνίου (Πίν. 3.6). Τα φύλλα της μεταχείρισης NW είχαν μεγαλύτερη συγκέντρωση DPPH σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου. Τα φύλλα της μεταχείρισης NWK είχαν παρόμοια συγκέντρωση DPPH με τα φύλλα του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου.

Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν ελαφρώς μεγαλύτερη συγκέντρωση FRAP σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα στις 28 Ιουνίου (Πίν. 3.6). Τα φύλλα της μεταχείρισης NW είχαν μεγαλύτερη συγκέντρωση FRAP σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου. Τα φύλλα της μεταχείρισης NWK είχαν παρόμοια συγκέντρωση FRAP με τα φύλλα του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου.

Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν μικρότερη συγκέντρωση προλίνης σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα στις 28 Ιουνίου (Πίν. 3.6). Τα φύλλα της μεταχείρισης NW είχαν παρόμοια συγκέντρωση προλίνης με τα φύλλα του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου. Τα φύλλα της μεταχείρισης NWK είχαν παρόμοια συγκέντρωση προλίνης με τα φύλλα του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου.

Πίνακας 3.6 Συγκέντρωση προλίνης και ολικών φαινολικών συστατικών, και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο DPPH και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο FRAP των φύλλων του μάρτυρα (Μ), της ορθολογικής λίπανσης (Π) και της ορθολογικής άρδευσης (NW) παρουσία (NWK) ή μη ψεκασμένου καολίνης του πιλοτικού αγρού κερασιών Μπαρ ποικιλίας Regina το θέρος 2021.

Μεταχείρ.	Ολικά φαινολικά (ισοδύναμα γαλλικού οξέος mg/ g v.β.)	Αντιοξειδωτική Ικανότητα DPPH (ισοδύναμα ασκορβικού οξέος μmol/ g v.β.)	Αντιοξειδωτική Ικανότητα FRAP (ισοδύναμα ασκορβικού οξέος μmol/ g v.β.)	Προλίνη (mg/ g v.β.)
<b>Μ 28Ιουν</b>	6,80c	22,7c	29,2b	3,61a
<b>Μ 25Αυγ</b>	10,37a	32,8b	30,9b	1,40c
<b>Π 28Ιουν</b>	7,27c	30,1b	31,6ab	2,60b
<b>NW 25Αυγ</b>	10,23a	40,3a	34,9a	1,16c
<b>NWK 25Αυγ</b>	9,23b	33,6b	29,7b	1,28c
<b>Σημαντ.</b>	***	***	**	***

Σημαντικότητα: \*\* επίπεδο σημαντικότητας 0,01 και \*\*\* επίπεδο σημαντικότητας 0,001

### 3.7 Συγκέντρωση Προλίνης, Φαινολικών, και αντιοξειδωτικής ικανότητας DPPH και FRAP σε κερασίες ποικιλίας Grace Star

Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης Π ήταν μικρότερη από τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων του μάρτυρα στις 24 Ιουνίου (Πίν. 3.7). Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης NW ήταν μικρότερη σε σχέση με τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου. Η συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων της μεταχείρισης NWK ήταν μικρότερη σε σχέση με τη συγκέντρωση φαινολικών των φύλλων του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου.

Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν παρόμοια συγκέντρωση DPPH με τα φύλλα του μάρτυρα στις 24 Ιουνίου (Πίν. 3.7). Τα φύλλα της μεταχείρισης NW είχαν μικρότερη συγκέντρωση DPPH σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου. Τα φύλλα της μεταχείρισης NWK είχαν μεγαλύτερη συγκέντρωση DPPH σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου.

Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν μικρότερη συγκέντρωση FRAP σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα στις 24 Ιουνίου (Πίν. 3.7). Τα φύλλα της μεταχείρισης NW είχαν μικρότερη συγκέντρωση FRAP σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου. Τα φύλλα της μεταχείρισης NWK είχαν μικρότερη συγκέντρωση FRAP σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου.

Τα φύλλα της μεταχείρισης Π είχαν μικρότερη συγκέντρωση προλίνης σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα στις 24 Ιουνίου (Πίν. 3.7). Τα φύλλα της μεταχείρισης NW είχαν ελαφρώς μικρότερη συγκέντρωση προλίνης σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου. Τα φύλλα της μεταχείρισης NWK είχαν ελαφρώς μικρότερη συγκέντρωση προλίνης σε σχέση με τα φύλλα του μάρτυρα στις 25 Αυγούστου.

Πίνακας 3.7 Συγκέντρωση προλίνης και ολικών φαινολικών συστατικών, και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο DPPH και αντιοξειδωτική ικανότητα με τη μέθοδο FRAP των φύλλων του μάρτυρα (M), της ορθολογικής λίπανσης (Π) και της ορθολογικής άρδευσης (NW) παρουσία (NWK) ή μη ψεκασμένου καολίνης του πιλοτικού αγρού κερασιών Μπαρ ποικιλίας Grace Star το θέρους 2021.

<b>Μεταχείρ.</b>	<b>Ολικά φαινολικά (ισοδύναμα γαλλικού οξέος mg/ g v.β.)</b>	<b>Αντιοξειδωτική Ικανότητα DPPH (ισοδύναμα ασκορβικού οξέος μmol/ g v.β.)</b>	<b>Αντιοξειδωτική Ικανότητα FRAP (ισοδύναμα ασκορβικού οξέος μmol/ g v.β.)</b>	<b>Προλίνη (mg/ g v.β.)</b>
<b>M 24Ιουν</b>	9,75c	16,7d	27,5c	4,23a
<b>M 25Αυγ</b>	12,87a	40,1b	41,9a	3,07bc
<b>Π 24Ιουν</b>	7,83d	17,5d	23,4d	3,43b
<b>NW 25Αυγ</b>	9,60c	36,7c	34,3b	2,72c
<b>NWK 25Αυγ</b>	11,25b	47,4a	30,8c	2,55c
<b>Σημαντ.</b>	***	***	***	***

Σημαντικότητα: \*\*\* επίπεδο σημαντικότητας 0,001



#### 4. Συζήτηση

Οι μηλιές, οι αχλαδιές και οι κερασιές αποτελούν σημαντικά οπωροφόρα δέντρα σε όλον τον κόσμο, που καλλιεργούνται για τους γευστικούς καρπούς τους. Με την κλιματική κρίση των ημερών να καλπάζει, η οποία επιφέρει αύξηση της θερμοκρασίας και της ηλιακής ακτινοβολίας, μείωση των βροχοπτώσεων και περιορισμένο διαθέσιμο αρδευτικό νερό, τα δέντρα υφίστανται καταπονήσεις. Τις διάφορες καταπονήσεις προσπαθούν να αντιμετωπίσουν/αποφύγουν τις απώλειες με συσσώρευση ορισμένων διαλυμένων ουσιών, όπως τα αμινοξέα, ένα από τα οποία είναι η προλίνη, και ποικίλους δευτερογενείς μεταβολίτες. Για τον λόγο αυτό, στην παρούσα έρευνα μελετήθηκε η επίδραση της υδατικής καταπόνησης, της θερμικής καταπόνησης και της μειωμένης διαθεσιμότητας ανόργανων θρεπτικών στην παραγωγή προλίνης και φαινολικών ουσιών, και στην αντιοξειδωτική ικανότητα των παραπάνω δέντρων.

Στις μηλιές ποικιλίας Super Chief και Scarlett παρατηρήθηκε ότι η μειωμένη άρδευση και η ορθολογική λίπανση (μόνο στην Super Chief) δεν προκάλεσαν αυξημένη συγκέντρωση προλίνης στα φύλλα των δέντρων. Αυτό πιθανόν αποδεικνύει ότι τα δέντρα δεν καταπονήθηκαν, αφού η προλίνη αποτελεί δείκτη καταπόνησης σε φυτά που υπόκεινται σε περιβάλλοντα υψηλών θερμοκρασιών, αλλά και ξηρασίας, καθώς αυξάνεται η συγκέντρωσή του σε αυτά (Ashraf et al. 1994). Ως εκ τούτου, είναι δυνατόν να περιορίζεται η παροχή νερού και θρεπτικών στα δέντρα αυτά, μειώνοντας έτσι το υψηλό κόστος παραγωγής των μήλων με τη χρήση λιγότερων εισροών πόρων και ενέργειας. Στις μηλιές Gala παρατηρήθηκε μειωμένη συγκέντρωση προλίνης με την ορθολογική εφαρμογή θρεπτικών, ενώ παρατηρήθηκε αυξημένη συγκέντρωση προλίνης με τη μειωμένη άρδευση στα τέλη Αυγούστου που πραγματοποιείται η συγκομιδή των καρπών της συγκεκριμένης ποικιλίας. Η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών και η περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού την περίοδο συγκομιδής μήλων Gala οδηγεί μεν στην πρόωμη ωρίμανση των καρπών, αλλά η διακοπή της άρδευσης όπως εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη οδηγεί σε αυξημένη καταπόνηση του δέντρου και σε καρπόπτωση, με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης.

Στους αχλαδεώνες η μειωμένη άρδευση και η ορθή παροχή θρεπτικών οδήγησε σε αύξηση της περιεχόμενης προλίνης στα φύλλα των δέντρων αργά το καλοκαίρι σε σύγκριση με τις αρχές της θερινής περιόδου. Αυτό οφείλεται πιθανόν στο

παρατεταμένο κλείσιμο των στομάτων που προκάλεσε αρχικά η περιορισμένη διαθεσιμότητα νερού στα φυτά μετασυλλεκτικά τον Αύγουστο και η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών στην περιοχή και έρχεται σε συμφωνία με την έρευνα των Boggess and Stewart (1980), οι οποίοι υποστηρίζουν ότι το κλείσιμο των στομάτων και η μείωση σπαργής των κυττάρων είναι κύριοι παράγοντες που προκαλούν αύξηση της συγκέντρωσης προλίνης σε φυτά που υφίστανται καταπόνηση από ξηρασία.

Οι κερασιές καταπονήθηκαν περισσότερο αμέσως μετά την περίοδο της συγκομιδής (τέλη Ιουνίου) σε σχέση με τα τέλη του καλοκαιριού, δείχνοντας ότι η άρδευση και η θρέψη των δέντρων μπορεί να περιοριστεί σε ένα βαθμό μετασυλλεκτικά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού χωρίς να προκαλεί πρόβλημα στην ανάπτυξη των δέντρων.

Τα αντιοξειδωτικά είναι ουσίες που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη ζωή των φυτών κάτω από διάφορες περιβαλλοντικές προκλήσεις. Η Ελλάδα είναι γνωστό ότι χαρακτηρίζεται από ηλιόλουστο και ξηρό καιρό το καλοκαίρι, με κάποια κύματα καύσωνα ιδιαίτερα τον Ιούλιο, οπότε αναμένεται και μεγαλύτερη καταπόνηση των φυτών. Γενικά, η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών και η έλλειψη νερού οδηγούν σε αυξημένη συγκέντρωση αντιοξειδωτικών ουσιών, ιδιαίτερα φλαβονοειδών και καροτενοειδών, αποτελώντας ασπίδα προστασίας των φυτών (Vasquez-Robinet et al. 2008, Strzalka et al. 2003). Η έρευνά μας έρχεται εν μέρει σε συμφωνία με τις μελέτες των αναφερόμενων επιστημονικών ομάδων, καθώς στις κερασιές Regina διαπιστώθηκε μεγαλύτερη συγκέντρωση DPPH και FRAP, αλλά όχι φαινολικών σε σύγκριση με τις αντίστοιχες του μάρτυρα και εν μέρει στις αχλαδιές του πιλοτικού αγρού Λεων, αφού παρατηρήθηκε μεγαλύτερη συγκέντρωση φαινολικών, DPPH και FRAP, στις μετρήσεις της 16<sup>ης</sup> Ιουνίου αλλά όχι στις μετρήσεις κατά την περίοδο της «καρδιάς» του καλοκαιριού που μόνο η συγκέντρωση FRAP ήταν ελαφρώς μεγαλύτερη. Όμως, αντιτίθενται στις μετρήσεις του πιλοτικού αγρού αχλαδιάς Παπ που διαπιστώθηκε μικρότερη συγκέντρωση DPPH και FRAP στις 29 Ιουλίου (περίοδο με κορύφωση των υψηλών θερμοκρασιών) και δε σημειώθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων στις συγκεντρώσεις των φαινολικών, και με τις μετρήσεις στις κερασιές Grace Star, όπου παρατηρήθηκαν μειωμένες τιμές φαινολικών, DPPH και FRAP, συγκριτικά με αυτές του μάρτυρα. Παρόμοια αντίθετα αποτελέσματα στις ανωτέρω μελέτες βρέθηκαν και με τις μελετηθείσες ποικιλίες μήλων, καθώς δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων στις συγκεντρώσεις των ουσιών αυτών. Μάλιστα, στα μήλα ποικ. Gala παρατηρήθηκε μικρότερη συγκέντρωση φαινολικών,

DPPH και FRAP στις 24 Αυγούστου, ενώ στην ποικ. Super Chief μόνο η συγκέντρωση DPPH ήταν μεγαλύτερη. Γενικά, η ορθή χορήγηση θρεπτικών δεν οδήγησε σε αυξημένες συγκεντρώσεις φαιολικών, DPPH και FRAP εκτός από την ποικιλία μήλων Super Chief που παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις DPPH και FRAP στις μετρήσεις την 23<sup>η</sup> Ιουνίου.

Ο Καολίνης χρησιμοποιείται ευρέως για την καταπολέμηση του ηλιακού εγκαύματος και της θερμικής καταπόνησης σε πολλές δενδροκομικές καλλιέργειες με την μορφή βρέξιμης σκόνης, καθώς παρουσιάζει ολοένα και περισσότερα θετικά αποτελέσματα. Η εφαρμογή του δεν οδήγησε σε αυξημένες τιμές φαιολικών, αντιοξειδωτικών και προλίνης στην ποικ. Regina, παρά μόνο στην ποικ. Grace Star, όπου η συγκέντρωση DPPH ήταν μεγαλύτερη από την συγκέντρωση DPPH του μάρτυρα και οι τιμές της προλίνης ελαφρώς μικρότερες από τις αντίστοιχες του μάρτυρα. Τα αποτελέσματα αυτά έρχονται εν μέρει σε συμφωνία με κάποιες έρευνες που υποστηρίζουν θετικά την εφαρμογή του ορυκτού αυτού για την αντιμετώπιση της θερμικής καταπόνησης, όπως του Melgarejo και της ομάδας του (2004), που παρατήρησαν ότι ο σχηματισμός λευκής επίστρωσης με την εφαρμογή 5% καολίνη στον πρώτο ψεκασμό και 2,5% σε άλλους τρεις περιορίσει σημαντικά τις θερμοκρασίες της επιφάνειας των καρπών και των φύλλων ροδιάς στην Ισπανία κατά μέσους όρους 4,9 και 2,5 °C, αντίστοιχα, ενώ περιορίστηκε το ηλιακό έγκαυμα των ροδιών κατά 12,5%.

Κλείνοντας, ήταν αναμενόμενο να υπάρχουν διαφορές μεταξύ των καλλιεργούμενων ειδών στην απόκρισή τους στην έλλειψη νερού, αφού η συγκέντρωση και η δράση αντιοξειδωτικών ουσιών, όπως τοκοφερολών, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα φυτικά είδη, την ένταση του στρες και τη φυσιολογική κατάσταση των φυτών (Munne-Bosch 2005). Επιπλέον, αυτό οφείλεται και λόγω των διαφορετικών σταδίων ανάπτυξης, ιδιαίτερα των κερασιών, και της περιόδου συγκομιδής, όπου μετασυλλεκτικά οι απαιτήσεις σε νερό είναι πιο περιορισμένες.

## Συμπεράσματα

Όπως ήταν αναμενόμενο, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές των μετρηθέντων παραμέτρων μεταξύ των μεταχειρίσεων. Η κάθε μεταχείριση επηρέασε είτε θετικά είτε αρνητικά τις παραμέτρους αυτές σε κάθε είδος και ποικιλία.

Στις μηλιές η μειωμένη άρδευση δεν επέφερε αυξημένη συγκέντρωση προλίνης στα φύλλα των δέντρων ποικιλίας Super Chief και Scarlett, παρά μόνο στην ποικ. Gala τέλη Αυγούστου. Ακόμα, στην τελευταία ποικιλία παρατηρήθηκε μικρότερη συγκέντρωση φαινολικών, DPPH και FRAP, ενώ αυξημένη συγκέντρωση DPPH βρέθηκε στην ποικ. Super Chief σε σχέση με τον μάρτυρα.

Στις αχλαδιές η διακοπή της άρδευσης οδήγησε σε μεγαλύτερη περιεκτικότητα προλίνης στα φύλλα τον Ιούλιο. Επίσης, όσον αφορά τα φαινολικά και αντιοξειδωτικά υπήρχαν διαφορές στις συγκεντρώσεις τους μεταξύ των δύο πιλοτικών αγρών με υψηλή συγκέντρωση φαινολικών, DPPH και FRAP να διαπιστώνεται στις αρχές του θέρους μόνο στον πιλοτικό αγρό Λεων και χαμηλές συγκεντρώσεις DPPH και FRAP στον πιλοτικό αγρό Παπ στα τέλη Ιουλίου σε σχέση με τον μάρτυρα.

Στις κερασιές διαπιστώθηκε ότι η ορθολογική άρδευση οδήγησε σε πολύ χαμηλότερη συγκέντρωση προλίνης από τα αχλάδια ποικ. Κρυστάλια και μήλα ποικ. Gala. Παράλληλα, στα φύλλα της ποικιλίας Regina διαπιστώθηκε μεγαλύτερη συγκέντρωση DPPH και FRAP, αλλά όχι φαινολικών, και στα φύλλα της ποικ. Grace Star παρατηρήθηκαν μειωμένες τιμές φαινολικών, DPPH και FRAP σε σχέση με τον μάρτυρα.

Στις κερασιές η εφαρμογή καολίνη κατά τη θερμή θερινή περίοδο έδειξε διαφορετική συμπεριφορά σε κάθε ποικιλία. Συγκεκριμένα, στην ποικ. Regina δεν έδειξε κάποια χρησιμότητα για μείωση της καταπόνησης, ενώ στην ποικ. Grace Star οι περισσότερες παράμετροι που μετρήθηκαν στα φύλλα φάνηκε να περιορίζουν την ένταση καταπόνησης της σε σχέση με τον μάρτυρα.

Με βάση τα παραπάνω, είναι προφανές ότι κάθε είδος και ποικιλία δέντρου αντιδρά διαφορετικά στην υδατική και θερμική θερινή καταπόνηση και στην περίοδο που αυτή εφαρμόζεται. Κρίνεται απαραίτητη η ορθή άρδευση των καλλιεργειών, προκειμένου

να διατηρείται η ανάπτυξη και η παραγωγή τους και να μειώνεται η άσκοπη κατανάλωση νερού και ενέργειας τη δύσκολη αυτή περίοδο της περιβαλλοντικής κρίσης που βιώνει ο άνθρωπος. Αυτό θα αποτελούσε σημαντικό αντικείμενο μελλοντικών ερευνών και προτροπή του αγροτικού πληθυσμού για τη σωστή παροχή νερού στις δένδροκομικές καλλιέργειες.

## Βιβλιογραφία

### Ξενόγλωσση

Adams E. and Frank L., 1980. Metabolism of proline and the hydroxyprolines. Annual Review of Biochemistry 49:1005.

Agostini-Costa T., Vieira R., Bizzo H., Silveira D. and Gimenes M., 2012. Secondary Metabolites, Chromatography and Its Applications. Intech Open Publishers, United Kingdom, pp.131-164.

Akhtar M. and Ahmad I., 1992. Comparative efficacy of *Mallotus philippinensis* fruit (Kamala) or Nilzan drug against gastrointestinal cestodes in Beetal goats. Small Ruminants Research 8:121–128.

Akram N., Shafiq F. and Ashraf M., 2017. Ascorbic acid-a potential oxidant scavenger and its role in plant development and abiotic stress tolerance. Frontiers in Plant Science 8:613.

Ancillotti C., Bogani P., Biricolti S., Calistri E., Checchini L., Ciofi L., Gonnelli C. and Del Bubba M., 2015. Changes in polyphenol and sugar concentrations in wild type and genetically modified *Nicotiana glauca* Weinmann in response to water and heat stress. Plant Physiology and Biochemistry 97:52–61.

Arasimowicz M. and Floryszak-Wieczorek J., 2007. Nitric oxide as a bioactive signalling molecule in plant stress responses. Plant Science 172:876-887.

Aro E., Suorsa M., Rokka A., Allahverdiyeva Y., Paakkanen V., Saleem A., Battchikova N. and Rintamaki E., 2005. Dynamics of photosystem II: a proteomic approach to thylakoid protein complexes. Journal of Experimental Botany 56:347-356.

Ashraf M., Iqbal M., Rasheed R., Hussain I., Riaz M. and Arif M., (2018). Environmental Stress and Secondary Metabolites in Plants. Plant Metabolites and Regulation under Environmental Stress, pp. 153–167.

Ashraf M., Saeed M. and Qureshi M., 1994. Tolerance to high temperature in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) at initial growth stages. Environmental and Experimental Botany 34:275.

Athanasiadou S., Kyriazakis I., Jackson F. and Coop R., 2000. Consequences of long-term feeding with condensed tannins on sheep parasitised with *Trichostrongylus colubriformis*. International Journal for Parasitology 30:1025–1033.

Azhar N., Hussain B., Ashraf M. and Abbasi K.Y., 2011. Water stress mediated changes in growth, physiology and secondary metabolites of desi ajwain (*Trachyspermum ammi* L.). Pakistan Journal of Botany 43(1):15–19.

Barnabás E., Jager K., and Feher A., 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. Plant, Cell and Environment 31:11-38.

Barta C., Dunkle A.M., Wachter R.M., and Salvucci M.E., 2010. Structural changes associated with the acute thermal instability of Rubisco activase. Archives of Biochemistry and Biophysics 499(1-2):17-25.

- Bates S., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil* 39:205-207.
- Benzie I.F. and Strain J.J., 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical Biochemistry* 239:70-76.
- Beppu K., Okamoto S., Sugiyama A. and Kataoka I., 1997. Effects of temperature on flower development and fruit set of 'Satohnishiki' sweet cherry. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 65:707-712.
- Berry J. and Bjorkman O., 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 31:491-543.
- Bhusal N., Hanb S. and Yoon T., 2019. Impact of drought stress on photosynthetic response, leaf water potential, and stem sap flow in two cultivars of bi-leader apple trees (*Malus\*domestica* Borkh.). *Scientia Horticulturae* 535-543.
- Bistgani Z., Hashemi M., DaCosta M., Craker L., Maggi F. and Morshedloo M., 2019. Effect of salinity stress on the physiological characteristics, phenolic compounds and antioxidant activity of *Thymus vulgaris* L. and *Thymus daenensis* Celak. *Industrial Crops and Products* 135:311-320.
- Boaretto R., Hippler F., Ferreira G., Azevedo R., Quaggio J. and Mattos Jr D., 2020. The possible role of extra magnesium and nitrogen supply to alleviate stress caused by high irradiation and temperature in lemon trees. *Plant and Soil* 457:57-70.
- Boggess S. and Stewart C., 1980. The relationship between water stress induced proline accumulation and inhibition of protein synthesis in tobacco leaves. *Plant Science Letters* 17:245.
- Boggess S., Aspinall D. and Paleg L., 1976. Stress metabolism. IX. The significance of end-product inhibition of proline biosynthesis and of compartmentation in relation to stress-induced proline accumulation. *Australian Journal of Plant Physiology* 3:513.
- Boggess S., Stewart C., Aspinall D. and Paleg L., 1976. Effect of water stress on proline synthesis from radioactive precursors. *Plant Physiology* 58:398.
- Borges K., Hippler F., Carvalho M., Nalin R., Matias F. and Azevedo R., 2019. Nutritional status and root morphology of tomato under Cd-induced stress: Comparing contrasting genotypes for metal-tolerance. *Scientia Horticulturae* 246:528-527.
- Borghesi E., González-Miret M., Escudero-Gilete M., Malorgio F., Heredia F. and Meléndez-Martínez A., 2011. Effects of salinity stress on carotenoids, anthocyanins, and color of diverse tomato genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 59(21):11676-11682.
- Boyer J., 1976. Water deficits and photosynthesis. In: Kozlowsky, T.T. (ed.): *Water Deficit and Plant Growth*. Academic Press, New York - San Francisco - London, pp. 153-190.
- Brand-Williams W., Cuvelier M.E. and Berset C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology* 28:25-30.

- Bréda N., Cochard H., Dreyer E. and Granier A., 1993. Water transfer in a mature oak stand (*Quercus petraea*)-seasonal evolution and effects of a severe drought. *Canadian Journal of Forest Research* 23:1136-1143.
- Britton G., 1995. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *Faseb Journal* 9(15):1551-1558.
- Bussis D. and Heineke D., 1998. Acclimation of potato plants to polyethylene glycol-induced water deficit. II. Contents and subcellular distribution of organic solutes. *Journal of Experimental Botany* 49:1361–1370.
- Castel J. and Fereres E., 1982. Responses of young almond trees to two drought periods in the field. *Journal of Horticultural Science*. 57(2):175-187.
- Chalker-Scott, L., Fuchigami, L., 1989. The role of phenolic compounds in plant stress responses. In: *Low Temperature Stress Physiology in Crops*, CPR Press, Florida, pp. 66-79.
- Chen S., Wu F., Li Y., Qian Y., Pan X., Li F., Wang Y., Wu Z., Fu C., Lin H. and Yang A., 2019. NtMYB4 and NtCHS1 Are critical factors in the regulation of flavonoid biosynthesis and are involved in salinity responsiveness. *Frontiers in Plant Science* 10:178.
- Crouse R., Maxwell J. and Blank H., 1962. Inhibition of growth of hair by mimosine. *Nature* 194:694–695.
- Dall'Osto L., Fiore A., Cazzaniga S., Giuliano G. and Bassi R., 2007. Different roles of alpha- and beta-branch xanthophylls in photosystem assembly and photoprotection. *Journal of Biological Chemistry* 282:35056–35068.
- de Castro E., Pinto J., Bertolucci S., Malta M., Cardoso M. and Silva F., 2006. Coumarin contents in young *Mikania glomerata* plants (guaco) under different radiation levels and photoperiod. *Acta Farmaceutica Bonaerense* 25(3):387–392.
- DellaPenna D. and Pogson B., 2006. Vitamin synthesis in plants: tocopherols and carotenoids. *Annual Review of Plant Biology* 57:711–738.
- Demain A. and Fang A., 2001. The natural functions of secondary metabolites. In: *History of Modern Biotechnology*, Springer Berlin Publishers, Heidelberg, pp.1-39.
- Dey P. and Harborne J., 1997. *Plant Biochemistry*. Academic Press, San Diego, USA, pp. 487-512.
- Di Ferdinando M., Brunetti C., Fini A. and Tattini M., 2011. Flavonoids as antioxidants in plants under abiotic stresses. In: *Abiotic Stress Responses in Plants*, pp. 159–179.
- Dixon R. and Paiva N., 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell* 7(7):1085.
- Dong-Hoon S., Hun-Joong K., Moo-Yong P., Yang-Yik S., Su-Hyun R., Mok-Jong K., Kyung-Hee C. and Tae-Myung Y., 2013. Impacts of urban high temperature events on physiology of apple trees: A case study of 'Fuji'/M.9 apple trees in Daegu, Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 15(3):130-144.



- Dubos C., Stracke R., Grotewold E., Weisshaar B., Martin C. and Lepiniec L., 2010. MYB transcription factors in Arabidopsis. *Trends in Plant Science* 15:573–581.
- El Habti A., Fleury D., Jewell N., Garnett T. and Tricker P., 2020. Tolerance of combined drought and heat stress is associated with transpiration maintenance and water soluble carbohydrates in wheat grains. *Frontiers in Plant Science* 11.
- Erez A., Yabowitz Z. and Korcinski R., 1998. Greenhouse peach growing. *Acta Horticulturae* 465:593–600.
- Espinoza A., San Martín A., Climent M., Lara S., Gómez-Cadenas A. and Casaretto J., 2013. Engineered drought-induced biosynthesis of  $\alpha$ -tocopherol alleviates stress-induced leaf damage in tobacco. *Journal of Plant Physiology* 170:1285-1294.
- Faegri K. and Van der Pijl L., 1979. *Principles of Pollination Ecology*, Pergamon Press, Oxford, New York, pp. 100-102.
- Fougère F., Le Rudulier D. and Streeter J., 1991. Effects of salt stress on amino acid, organic acid, and carbohydrate composition of roots, bacteroids, and cytosol of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Plant Physiology* 96:1228-1236.
- Fu S., Zhou Y., He X. and Chen W., 2006. Effects of drought stress on photosynthesis physiology of *Populus pseudo-simonii*. *The Journal of Applied Ecology* 17(11):2016-2019.
- Gest N., Gautier H. and Stevens R., 2013. Ascorbate as seen through plant evolution: The rise of a successful molecule? *Journal of Experimental Botany* 64:33–53.
- Girona J., Behboudian M., Mata M., Campo J. and Marsal J., 2012. Effect of hail nets on the microclimate, irrigation requirements, tree growth, and fruit yield of peach orchards in Catalonia (Spain). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 54:545-550.
- Giuffrida F., Cassaniti C., Malvuccio A. and Leonardi C., 2017. Effects of salt stress imposed during two growth phases on cauliflower production and quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97:1552-1560.
- Grotewold E., 2006. The genetics and biochemistry of floral pigments. *Annual Review of Plant Biology* 57:761–780.
- Guo Y., Yu H., Kong D., Yan F. and Zhang Y., 2016. Effects of drought stress on growth and chlorophyll fluorescence of *Lycium ruthenicum* Murr. seedlings. *Photosynthetica* 54:524–531.
- Guo Y., Zhou H. and Zhang L., 2006. Photosynthetic characteristics and protective mechanisms against photooxidation during high temperature stress in two citrus species. *Scientia Horticulturae* 108:260–267.
- Halvorson J., Gonzalez J.M., Hagerman A.E. and Smith J., 2009. Sorption of tannin and related phenolic compounds and effects on soluble-N in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 41:2002–2010.

- Hasanuzzaman M., Nahar K. and Fujita M., 2014. Role of tocopherol (vitamin E) in plants. *Emerging Technologies and Management of Crop Stress Tolerance*, pp. 267–289.
- Hayat S., Hayat Q., Nasser M. Alyemeni, Wani R., Pichtel J. and Ahmad A., 2012. Role of proline under changing environments. *Plant Signaling & Behavior* 7(11): 1456-1466.
- Hernández I., Cela J., Alegre L. and Munné-Bosch S., 2012. Antioxidant defenses against drought stress. In: *Plant Responses to Drought Stress*, Springer, Heidelberg and New York, pp. 231–258.
- Heuer B., 1999. Osmoregulatory role of proline in plants exposed to environmental stresses. In: *Handbook of Plant and Crop stresses*. Mohammad Pessaraki eds. Marcel Dekker, New York, pp. 676.
- Hichem H., Naceur E. and Mounir D., 2009. Effects of salt stress on photosynthesis, PSII photochemistry and thermal energy dissipation in leaves of two corn (*Zea mays* L.) varieties. *Photosynthetica* 47(4):517-526.
- Hoffmann H. and Rath T., 2013. Future bloom and blossom frost risk for *Malus domestica* considering climate model and impact model uncertainties. *PLOS ONE*. 8:75033.
- Jia W., Wang Y., Zhang S. and Zhang J., 2002. Salt-stress-induced ABA accumulation is more sensitively triggered in roots than in shoots. *Journal of Experimental Botany* 53:2201-2206.
- Jouyban Z., 2012. The Effects of salt stress on plant growth. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences* 7:12.
- Kevan P. and Baker H., 1983. Insects as flower visitors and pollinators. *Annual Review of Entomology* 28:407–453.
- Khalili M., Naghavi M., Aboughadareh A. and Rad H., 2013. Effects of drought stress on yield and yield components in maize cultivars (*Zea mays* L.). *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4(4):809-812.
- Kirst G., 1989. Salinity tolerance of eukaryotic marine algae. *Annual Review of Plant Physiology and Molecular Biology* 40:21-53.
- Kisman A., 2003. Effects of Drought Stress on Growth and Yield of Soybean. *Science Philosophy (Term paper)*, Bogor Agricultural University (Institut Pertanian Bogor).
- Kozai N., Beppu K., Mocioka R., Boonprakob U., Subhadrabandhu S. and Kataaoka I., 2004. Adverse effects of high temperature on the development of reproductive organs in ‘Hakuho’ peach trees. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 79 (4):533–537.
- Kramer P. and Boyer J., 1995. Cell water relations. In: *Water Relations of Plants and Soils*. Academic Press, San Diego, pp. 42-83.

- Kumar S., Singh R. and Nayyar H., 2013.  $\alpha$ -Tocopherol application modulates the response of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings to elevated temperatures by mitigation of stress injury and enhancement of antioxidants. *Journal of Plant Growth Regulation* 32:307–314.
- Kusvuran S., 2012. Effects of drought and salt stresses on growth, stomatal conductance, leaf water and osmotic potentials of melon genotypes (*Cucumis melo* L.). *African Journal of Agricultural Research* 7(5):775-781.
- Landi M., Tattini M. and Gould K., 2015. Multiple functional roles of anthocyanins in plant-environment interactions. *Environmental and Experimental Botany* 119:4–17.
- Lattanzio, V., 2013. Phenolic compounds: Introduction. In: *Natural Products: Phytochemistry, Botany and Metabolism of Alkaloids, Phenolics and Terpenes*; Ramawat, K.G., Mérillon, J.-M., Eds., Springer, Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 1543–1580.
- Law R. and Crafts-Brandner S., 1996. Inhibition and acclimation of photosynthesis to heat stress in closely correlated with activation of Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase. *Plant Physiology* 120:17–181.
- Leri M., Scuto M., Ontario M., Calabrese V., Calabrese E., Bucciantini M. and Stefani M., 2020. Healthy effects of plant polyphenols: Molecular mechanisms. *International Journal of Molecular Sciences* 21:1250.
- Leuzinger S., Zotz G., Ashoff R. and Korner C., 2005. Responses of deciduous forest trees to severe drought in central Europe. *Tree Physiology* 25:641-650.
- Lopez G., Boini A., Manfrini L., Torres-Ruiz J. M., Pierpaoli E., Zibordi M., Losciale P., Morandi B. and Corelli-Grappadelli, L., 2018. Effect of shading and water stress on light interception, physiology and yield of apple trees. *Agricultural Water Management* 210:140–148.
- Macknight R., Laing W., Bulley S., Broad R., Johnson A. and Hellens R., 2017. Increasing ascorbate levels in crops to enhance human nutrition and plant abiotic stress tolerance. *Current Opinion in Biotechnology* 44:153–160.
- Maotani T. and Machida Y., 1980. Leaf water potential as an indicator of irrigation timing for Satsuma mandarin trees in summer. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science* 49:41-48.
- Marangos P., Boulenger J. and Patel J., 2014. Effects of chronic caffeine on brain adenosine receptors: Regional and ontogenetic studies. *Life Sciences* 89:899-907.
- Martinez V., Mestre T., Rubio F., Girones-Vilaplana A., Moreno D., Mittler R. and Rivero R. 2016. Accumulation of flavonols over hydroxycinnamic acids favors oxidative damage protection under abiotic stress. *Frontiers in Plant Science* 7:838.
- Matthews C., Arshad M. and Hannoufa A., 2018. Alfalfa response to heat stress is modulated by microRNA156. *Physiologia Plantarum* 1-27.

- Mazur P., 1969. Freezing injury in plants. *Annual Review of Plant Physiology* 20:419-448.
- Melgarejo P., Martínez J., Hernández F., Martínez-Font R., Barrows P. and Erez A., 2004. Kaolin treatment to reduce pomegranate sunburn. *Scientia Horticulturae* 100: 349-353.
- Mishra S., Subrahmanyam D. and Singhal G., 1991. Inter-relationship between salt and light stress on the primary processes of photosynthesis. *Journal of Plant Physiology* 138:92-96.
- Mole S. and Waterman P., 1987a. Tannins as antifeedants to mammalian herbivores—still an open question? In: *Allelochemicals: Role in Agriculture and Forestry*. American Chemical Society of Symposium Series. 330572-587.
- Munné-Bosch S., 2005. The role of tocopherol in plant stress tolerance. *Journal of Plant Physiology* 162:743-748.
- Muñoz P. and Munné-Bosch S., 2019. Vitamin E in plants: Biosynthesis, transport, and function. *Trends in Plant Science* 1-12.
- Naikoo M., Dar M., Raghieb F., Jaleel H., Ahmad B., Raina A., Khan F. and Naushin F., 2019. Role and regulation of plants phenolics in abiotic stress tolerance: An overview. In: *Plant Signaling Molecules*, Elsevier, Amsterdam, Netherlands, pp. 157–168.
- Nambara E. and Marion-Poll A., 2005. Abscisic acid biosynthesis and catabolism. *Annual Review of Plant Biology* 56:165–185.
- Naor A., 2012. Apple. *Crop Yield Response to Water*. FAO Irrigation and Drainage Paper 66, Rome, Italy, pp. 332-345.
- Naschitz S., Naor A., Genish S., Wolf S. and Goldschmidt E., 2010. Internal management of non-structural carbohydrate resources in apple leaves and stems under a broad range of sink and source capacity manipulations. *Tree Physiology* 30:715-727.
- Nell M., Vötsch M., Vierheilig H., Steinkellner S., Zitterl-Eglseer K., Franz C. and Novak J., 2009. Effect of phosphorus uptake on growth and secondary metabolites of garden sage (*Salvia officinalis* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89(6):1090–1096.
- Nicolás E., Torrecillasa A., Amico J. and Alarcón J., 2005. Sap flow, gas exchange, and hydraulic conductance of young apricot trees growing under a shading net and different water supplies. *Journal of Plant Physiology* 162:439-447.
- Nijveldt R., Nood E., Hoorn D., Boelens P., Norren K. and Leeuwen P., 2001. Flavanoids: a review of probable mechanisms of action and potential applications. *American Society for Clinical Nutrition* 74:418-425.
- Nishino H., Tokuda H., Satomi Y., Masuda M., Bu P., Onozuka M., Yamaguchi S., Okuda Y., Takayasu J., Tsuruta J., Okuda M., Ichiishi E., Murakoshi M., Kato T.,

- Misawa N., Narisawa T., Takasuka N., and Yano M., 1999. Cancer prevention by carotenoids. *Pure and Applied Chemistry* 71:2273-2278.
- Paciolla C., Fortunato S., Dipierro N., Paradiso A., De Leonardis S., Mastropasqua L. and Concetta de Pinto M., 2019. Vitamin C in plants: From functions to biofortification. *Antioxidants* 8(11):519.
- Perez-Alfocea F., Estan M., Caro M. and Guerrier G., 1993. Osmotic adjustment in *Lycopersicon esculentum* and *L. pennellii* under NaCl and polyethylene glycol 6000 iso-osmotic stresses. *Physiology of Plants* 87:493–498.
- Pérez-López U., Robredo A., Lacuesta M., Mena-Petite A. and Muñoz-Rueda A., 2009. The impact of salt stress on the water status of barley plants is partially mitigated by elevated CO<sub>2</sub>. *Environmental and Experimental Botany*. 66(3):463–470.
- Pfleiderer P., Menke I., & Schleussner C., 2019. Increasing risks of apple tree frost damage under climate change. *Climatic Change* 157:515–525.
- Pierantozzi P., Torres M., Bodoira R. and Maestri D., 2013. Water relations, biochemical – physiological and yield responses of olive trees (*Olea europaea* L. cvs. Arbequina and Manzanilla) under drought stress during the pre-flowering and flowering period. *Agricultural Water Management* 125:13–25.
- Porter J.R. and Gawith M., 1999. Temperature and the growth and development of wheat: A review. *European Journal of Agronomy* 10:23–36.
- Prasad P., Boote K. and Allen L. Jr., 2006a. Adverse high temperature effects on pollen viability, seed-set, seed yield and harvest index of grain sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] are more severe at elevated carbon dioxide due to higher tissue temperatures. *Agricultural and Forest Meteorology* 139:237–251.
- Ranney T.G., Bassuk N.L. and Whitlow T.H., 1991. Osmotic adjustment and solute constituents in leaves and roots of water-stressed cherry (*Prunus avium*) trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116:684-688.
- Rapoport H., Hammami S., Martins P., Pérez-Priego O. and Orgaz F., 2012. Influence of water deficits at different times during olive tree inflorescence and flower development. *Environmental and Experimental Botany* 77:227–233.
- Reis P., Tunks D. and Hegarty M., 1975. Fate of mimosine administered orally to sheep and its effectiveness as a defleecing agent. *Australian Journal of Biological Science* 28:495–501.
- Rodrigo J., 2000. Spring frosts in deciduous fruit trees - morphological damage and flower hardiness. *Scientia Horticulturae* 85(3):155–173.
- Rosas-Saavedra C. and Stange C., 2016. Biosynthesis of carotenoids in plants: Enzymes and color. In: *Carotenoids in Nature*, pp. 35–69.
- Santini J., Giannettini J., Herbette S., Pailly O., Ollitrault P., Luro F. and Berti L., 2012. Physiological and biochemical response to photooxidative stress of the fundamental citrus species. *Scientia Horticulturae* 147:126–135.

- Sarwar M., Farrukh Saleem M., Ullah N., Ali S., Rizwan M., Rizwan Shahid M., Alyemeni M., Alamri S. and Ahmad P., 2019. Role of mineral nutrition in alleviation of heat stress in cotton plants grown in glasshouse and field conditions. *Scientific Reports* 9:13022.
- Schroeter H., Boyd C., Spencer J., Williams R., Cadenas E. and Rice-Evans C., 2002. MAPK signaling in neurodegeneration: Influences of flavonoids and of nitric oxide. *Neurobiology of Aging* 23:861–880.
- Sharma A., Shahzad B., Rehman A., Bhardwaj R., Landi M. and Zheng B., 2019. Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules* 24(13): 2452.
- Shi J., Arunasalam K., Yeung D., Kakuda Y., Mittal G., Yueming J., 2004. Saponins from edible legumes: Chemistry, processing, and health benefits. *Journal of Medicinal Food* 7:67-68.
- Shitole S. and Dhumal K., 2012. Influence of foliar application of micronutrients on photosynthetic pigments and organic constituents of medicinal plant *Cassia agustifolia* Vahl. *Annals of Biological Research* 3(1):520–526.
- Singh T.N., Aspinall D. and Paleg L., 1972. Proline accumulation and varietal adaptability to drought in barley: a potential metabolic measure of drought resistance. *Nature New Biology* 236:188-190.
- Singletary K., 2011. Red pepper: overview of potential health benefits. *Nutrition Today* 46(1):33–47.
- Smirnoff N., 2018. Ascorbic acid metabolism and functions: A comparison of plants and mammals. *Free Radical Biology & Medicine* 122:116–129.
- Stahl W. and Sies H., 2005. Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular Basis of Disease*. 1740(2):101–107.
- Stewart C., 1972. Effects of proline and carbohydrates on the metabolism of exogeneous proline by excised bean leaves in the dark. *Plant Physiology* 50:551.
- Strzalka K., KostECKA-GUGA A and LATOWSKI D., 2003. Carotenoids and environmental stress in plants: Significance of carotenoid-mediated modulation of membrane physical properties. *Russian Journal of Plant Physiology* 50(2):168–172.
- Sugai H. and Torikata H., 1976. Effects of soil moisture content in early autumn on growth and juice constituents of Satsuma mandarin fruit. *Journal of Japanese Society for Horticultural Science* 44:330-337.
- Swain T. and Hillis W., 1959. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 10:63-68.
- Szewczuk A., Gudarowska E. and Deren D., 2007. The estimation of frost damage of some peach and sweet cherry cultivars after winter 2005/2006. *Wrocław University of Environmental and Life Sciences* 24:50-363.

- Taiz L. and Zeiger E., 2006. Secondary metabolites and plant defense. *Plant Physiology* 13:125.
- Tamizi A. and Marziah M., 1995. The influence of low temperature treatment on growth and proline accumulation in polyembryogenic cultures of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Elaeis* 7:107–117.
- Taylor L. and Grotewold E., 2005. Flavonoids as developmental regulators. *Current Opinion in Plant Biology* 8:317–323.
- Toth S., Nagy V., Puthur J., Kovacs L. and Garab G., 2011. The physiological role of ascorbate as photosystem II electron donor: protection against photoinactivation in heat-stressed leaves. *Plant Physiology* 156:382–392.
- Toth S., Puthur J., Nagy V. and Garab G., 2009. Experimental evidence for ascorbate-dependent electron transport in leaves with inactive oxygen-evolving complexes. *Plant Physiology* 149:1568–1578.
- Ullah A., Nadeem F., Nawaz A., Siddique K. and Farooq M., 2021. Heat stress effects on the reproductive physiology and yield of wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science* 208:1-17.
- Vasquez-Robinet C., Mane S., Ulanov A., Watkinson J., Stromberg V., de Koeeyer D., Schafleitner R., Willmot D., Bonierbale M., Bohnert H. and Grene R., 2008. Physiological and molecular adaptations to drought in Andean potato genotypes. *Journal of Experimental Botany* 59: 2109–2123.
- Verma N. and Shukla S., 2015. Impact of various factors responsible for fluctuation in plant secondary metabolites. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants* 2(4):105–113.
- Vitasse Y., Schneider L., Rixen C., Christen D. and Rebetez M., 2018. Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agricultural and Forest Meteorology* 248:60–69.
- Wahid A., Gelani S., Ashraf M., and Foolad M.R., 2007. Heat tolerance in plants: an overview. *Environmental and Experimental Botany* 61:199-223.
- Wallace J., 2004. Antimicrobial properties of plant secondary metabolites. In: *Proceedings of the Nutrition Society, Edinburgh*, pp. 621–629.
- Walia H., Wilson C., Condamine P., Liu X., Ismail A., Zeng L., Wamaker S., Mandal J., Xu J., Cui X. and Close T., 2005. Comparative transcriptional profiling of two contrasting rice genotypes under salinity stress during the vegetative growth stage. *Plant Physiology* 139:822–835.
- Walter M. and Strack D., 2011. Carotenoids and their cleavage products: biosynthesis and functions. *Natural Product Reports* 28:663–692.

Wang J. and Cui H., 1996. Variation in free proline content of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings under low temperature stress. Report Cucurbit Genetics Cooperative 19:25–26.

Wang J., Yuan B. and Huang B., 2019. Differential heat-induced changes in phenolic acids associated with genotypic variations in heat tolerance for hard fescue. Crop Science 59:667–674.

Wang L., Shan T., Xie B., Ling C., Shao S., Jin P. and Zheng Y., 2019. Glycine betaine reduces chilling injury in peach fruit by enhancing phenolic and sugar metabolisms. Food Chemistry 272:530–538.

Wang Z., Li G., Sun H., Ma L., Guo Y., Zhao Z., Gao H. and Mei L., 2018. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. Biology Open 7(11):bio035279.

Wang Z., Quebedeaux B. and Stutte G.W., 1995. Osmotic adjustment: Effect of water stress on carbohydrates in leaves, stems and roots in apple. Australian Journal of Plant Physiology 22:747-754.

Waterman P. G., 2007. Roles for secondary metabolites in plants. Novartis Foundation Symposia, pp. 255–275.

Weis E. and Berry J., 1988. Plants and high temperature stress. In: S.P. Long and F. I. Woodward (eds.), Society for Experimental Biology Symposium. No. XXXXII, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp. 329–346.

Westgate M.E. and Boyer J., 1985. Osmotic adjustment and the inhibition of leaf, root, stem and silk growth at low water potentials in maize. Planta 164:540–549.

Yakushiji H., Morinaga K. and Nonami H., 1998. Sugar accumulation and partitioning in Satsuma mandarin tree tissues and fruit in response to drought stress. Journal of the American Society for Horticultural Science. 123(4):719-726.

Zlatev Z. and Lidon F.C., 2012. An overview on drought induced changes in plant growth, water relations and photosynthesis. Emirates Journal of Food and Agriculture 24:57-72.

Ηλεκτρονικές πηγές

<https://www.statistics.gr>