



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Σχολή Γεωπονικών Επιστημών

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΕΤΙΚΗΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΦΥΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Αξιολόγηση των αναπτυξιακών, φυσιολογικών και ποιοτικών  
χαρακτηριστικών πληθυσμών πιπεριάς τύπου "Μακεδονικό μυτερό" υπό  
συνθήκες υδατικής καταπόνησης»

ΑΝΔΡΕΑΣ-ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ ΜΑΤΤΟΣ



Επιβλέπουσα: Ουρανία Παυλή, Επικ. Καθηγήτρια, Π.Θ.

ΒΟΛΟΣ 2021

Αξιολόγηση των αναπτυξιακών, φυσιολογικών και ποιοτικών  
χαρακτηριστικών πληθυσμών πιπεριάς τύπου "Μακεδονικό μυτερό" υπό  
συνθήκες υδατικής καταπόνησης

Ανδρέας-Στυλιανός Μάττος

**Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή**

Παυλή Ουρανία, Επικ. Καθηγήτρια, Γενετική Βελτίωση Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας  
Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ιμπραχίμ-Αβραάμ Χα, Καθηγητής, Γενετική Βελτίωση Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας  
Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Σπυρίδων Πετρόπουλος, Αναπλ. Καθηγητής, Λαχανοκομία, Τμήμα Γεωπονίας  
Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## **Ευχαριστίες**

Με το πέρας της παρούσας πτυχιακή διατριβής θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες και ευγνωμοσύνη σε όσους στάθηκαν αρωγοί για την εκπόνηση της.

Την κ. Παυλή Ουρανία, Επικ. Καθηγήτρια, του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, που υπήρξε επιβλέπουσα της διατριβής, για την εμπιστοσύνη της στο πρόσωπο μου αναθέτοντας μου το συγκεκριμένο θέμα, την επιστημονική καθοδήγηση, τις υποδείξεις της και την πολύτιμη βοήθεια της για τη διεκπεραίωση της πτυχιακής μου διατριβής.

Τον κ. Γεώργιο Νάνο, καθηγητή του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος και το Εργαστήριο Δενδροκομίας για την παροχή του υλικοτεχνικού εξοπλισμού για την πραγματοποίηση των επιμέρους μετρήσεων του πειράματος.

Την κ. Παναγιωτάκη Ευαγγελία, μέλος ΕΔΠΠ για την άψογη συνεργασία μας και τις συμβουλές της κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Τον Καθηγητή κ. Ιμπραχίμ-Αβραάμ Χα και τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Σπυρίδωνα Πετρόπουλο για τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον φοιτητή Δημήτρη Στεργίου για τη συνεργασία μας καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω την πτυχιακή μου διατριβή στους γονείς μου για την αμέριστη στήριξη τους καθ' όλη τη διάρκεια των φοιτητικών μου σπουδών.

## Περίληψη

Οι αβιοτικές καταπονήσεις επιφέρουν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανάπτυξη και παραγωγικότητα των καλλιεργειών σε παγκόσμια κλίμακα. Μεταξύ των αβιοτικών καταπονήσεων, η υδατική καταπόνηση θεωρείται ιδιαίτερα επιζήμια καθώς προκαλεί δραστικές μεταβολές σε μία πληθώρα φυσιολογικών λειτουργιών των φυτικών οργανισμών. Οι μεταβολές περιλαμβάνουν μία σειρά αποκρίσεων που εκφράζονται σε μορφολογικό, φυσιολογικό, φαινολογικό, βιοχημικό και μοριακό επίπεδο. Βάσει του αντίκτυπου στους φυτικούς οργανισμούς καθώς και της έκτασης της καλλιεργήσιμης γης που πλήττεται από ξηροθερμικές συνθήκες, η ξηρασία θεωρείται εύλογα ως ένας από τους πλέον σημαντικούς παράγοντες καταπόνησης. Τα περισσότερα φυτικά είδη, συμπεριλαμβανομένης και της πιπεριάς, είναι ευαίσθητα στην ξηρασία, με τις περισσότερες δραστικές συνέπειες να σημειώνονται κατά την επικράτηση της καταπόνησης στα κρίσιμα στάδια της άνθισης και της καρπόδεσης.

Στο πλαίσιο αυτό, στόχος της παρούσας διατριβής αποτέλεσε η μελέτη γενετικού υλικού πιπεριάς και ειδικότερα του τύπου "Μακεδονικό μυτερό" ως προς την απόκριση υπό συνθήκες καταπόνησης ξηρασίας. Το γενετικό υλικό που αξιολογήθηκε ήταν οι ακόλουθοι τρεις διαφορετικοί γονότυποι: α) η ποικιλία AgriS, β) ο πληθυσμός AgriS-S, ο οποίος προέκυψε από επιλογή που έγινε έπειτα από σειρά ετών με σκοπό τον περιορισμό της καυστικότητας των καρπών iii) ο τοπικός πληθυσμός που προερχόταν από την περιοχή του Ματονερίου. Η καταπόνηση έλαβε χώρα κατά το κρίσιμο στάδιο της άνθισης και η έκθεση των φυτών σε συνθήκες ξηρασίας αφορούσε σε διαφορετικές εφαρμογές άρδευσης (100 ml, 75 ml και 50 ml H<sub>2</sub>O). Ως παράμετροι αξιολόγησης χρησιμοποιήθηκαν ο αριθμός των καρπών, το μήκος και το πλάτος των καρπών, το νερό τους βάρος, η περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία, η συνεκτικότητα των καρπών, η περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά (SSC), και το χρώμα των καρπών. Επίσης, έγινε ποσοτικός προσδιορισμός της περιεκτικότητας των παραγόμενων καρπών σε καψαϊκίνη και της περιεκτικότητας των φύλλων σε προλίνη.

Τα συνολικά αποτελέσματα της μελέτης κατέδειξαν τη δυσμενή επίδραση της ξηρασίας σε ένα μέρος των υπό μελέτη γνωρισμάτων, με τις επιπτώσεις να είναι ως επί το πλείστον ανάλογες της έντασης της καταπόνησης. Ειδικότερα, η καταπόνηση επηρέασε το χρώμα των καρπών, την περιεκτικότητα των φύλλων σε προλίνη, ενώ

επίσης παρατηρήθηκε σημαντική μεταβολή της περιεκτικότητας των συγκομιζόμενων καρπών σε καψαϊκίνη. Αντίθετα, η καταπόνηση δεν οδήγησε σε σημαντικές διαφορές στον αριθμό των καρπών, το μήκος, το πλάτος, το νωπό τους βάρος, τη συνεκτικότητα της σάρκας καθώς επίσης και στην περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία και διαλυτά στερεά συστατικά. Μεταξύ των υπό μελέτη ποικιλιών, ο τοπικός πληθυσμός του Ματονερίου επηρεάστηκε σε μεγαλύτερο βαθμό από την υδατική καταπόνηση, ενώ αντίθετα η ποικιλία Agris η οποία παρουσίασε τις μικρότερες αποκλίσεις συγκριτικά με τους μάρτυρες. Από την άλλη πλευρά, η ποικιλία Agris-S, παρά το γεγονός ότι η καταπόνηση ξηρασίας δε μετέβαλε σημαντικά τις υπό μελέτη παραμέτρους, εμφάνισε αδυναμία σχηματισμού καρπών κατά τη 2<sup>η</sup> συγκομιδή στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης. Στο σύνολό τους, τα ευρήματα υποδεικνύουν την ύπαρξη σημαντικής γενετικής παραλλακτικότητας αναφορικά με το γνώρισμα της ανθεκτικότητας στην ξηρασία παρέχοντας παράλληλα χρήσιμες πληροφορίες προς αξιοποίηση για τη βελτίωση των εν λόγω γνωρισμάτων.

**Λέξεις κλειδιά:** αβιοτικές καταπονήσεις, υδατική καταπόνηση, πιπεριά, "Μακεδονικό Μυτερό", ποιοτικά χαρακτηριστικά καρπών, προλίνη, καψαϊκίνη

## Πίνακας Περιεχομένων

1.Εισαγωγή	12
1.1. Καταγωγή και διάδοση	12
1.2. Ταξινόμηση	13
1.3. Καλλιέργεια πιπεριάς σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο	16
1.4. Βοτανική περιγραφή	19
1.5. Αγροκλιματικές απαιτήσεις	22
1.5. Θρεπτική Αξία	24
1.6. Χρήσεις-Μετασυλλεκτική μεταχείριση-Μεταποίηση	25
1.7.1. Χρήσεις	25
1.7.2.Μετασυλλεκτική μεταχείριση	26
1.7.3. Μεταποίηση	27
1.7.4. Η καψαϊκίνη	28
1.7.4.1. Το μόριο της καψαϊκίνης και η σύνθεση του	28
1.7.4.2. Σύνθεση της καψαϊκίνης και υδατική καταπόνηση	30
1.7.4.3. Χρήσεις της καψαϊκίνης	30
1.8. Εχθροί και Ασθένειες	31
1.9. Αβιοτικές καταπονήσεις	32
1.9.1. Εγκλιματισμός και Προσαρμογή	34
1.10. Υδατική καταπόνηση	36
1.10.1. Στρατηγικές αντιμετώπισης της υδατικής καταπόνησης	37
1.10.2. Είδη Εγκλιματισμού στην υδατική καταπόνηση	41
1.10.3. Ο ρόλος της προλίνης στην υδατική καταπόνηση	42
1.11. Σκοπός της μελέτης	46
2. Υλικά και Μέθοδοι	47
2.1. Φυτικό Υλικό	47
2.2. Πειραματικό σχέδιο - Μεταχειρίσεις	49
2.3. Μετρήσεις	49
2.3.1. Ανάλυση της ποιότητας των συγκομιζόμενων καρπών	49
2.3.1.1. Εργαστηριακός εξοπλισμός	49
2.3.1.2. Συγκομιδή και Μεθοδολογία μετρήσεων	50
2.3.1.3. Αριθμός καρπών	50
2.3.1.4. Νωπό βάρος καρπών	50
2.3.1.5. Προσδιορισμός χρώματος καρπού	50
2.3.1.6. Σκληρότητα σάρκας	51
2.3.1.7. Διαλυτά Στερεά Συστατικά (ΔΣΣ)	51
2.3.1.8. Μέτρηση μήκους και πλάτους καρπών	51
2.3.1.9. Επί τοις % ξηρά ουσία σάρκας	51
2.3.2. Ποσοτικός προσδιορισμός προλίνης στα φύλλα φυτών πιπεριάς	53
2.3.2.1. Εργαστηριακός εξοπλισμός	53
2.3.2.2. Πρότυπες ενώσεις - Διαλύτες - Χημικές Ενώσεις - Αντιδραστήρια	53
2.3.2.3. Φυτικό υλικό	53
2.3.2.4. Διαδικασία εκχύλισης	53
2.3.2.5. Προετοιμασία δειγμάτων για καταμέτρηση απορρόφησης	54
2.3.2.6. Κατασκευή καμπύλης αναφοράς	55
2.3.3. Ποσοτικός προσδιορισμός καψαϊκίνης	57

2.3.3.1. Εργαστηριακός εξοπλισμός	57
2.3.3.2. Πρότυπες ενώσεις - Διαλύτες - Χημικές Ενώσεις - Αντιδραστήρια	58
2.3.3.3. Φυτικό υλικό	58
2.3.3.4. Διαδικασία εκχύλισης	59
2.3.3.5. Προετοιμασία δειγμάτων για καταμέτρηση απορρόφησης	59
2.3.3.6. Κατασκευή καμπύλης αναφοράς	61
2.3.3.7 Μετατροπή της περιεχόμενης καψαϊκίνης σε μονάδες Scoville	63
2.4 . Στατιστική επεξεργασία	63
3. Αποτελέσματα	64
3.1.Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στον αριθμό καρπών	64
3.2. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο μήκος των καρπών	65
3.3. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο πλάτος των καρπών	66
3.4. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο νωπό βάρος των καρπών	68
3.5. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην ξηρά ουσία των καρπών	69
3.6. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην συνεκτικότητα των καρπών	71
3.7. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην περιεκτικότητα των καρπών σε στερεά διαλυτά συστατικά	72
3.8. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο χρώμα των καρπών	73
3.9. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην περιεκτικότητα των φύλλων σε προλίνη	75
3.10. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην περιεκτικότητα των καρπών σε καψαϊκίνη	77
3.11. Καυστικότητα καρπών πιπεριάς, σύμφωνα με την κλίμακα Scoville	78
3.12. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο φαινότυπο των φυτών	80
4.Συζήτηση	83
5. Βιβλιογραφία	90

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1.1 Συστηματική ταξινόμηση πιπεριάς.	13
Πίνακας 1.2 Μορφολογικά αναγνωρίσιμα είδη που ανήκουν στο γένος <i>Capsicum</i> βάσει των κύριων ταξινομικών κριτηρίων.	15
Πίνακας 1.3 Κυριότερες χώρες παραγωγής πιπεριάς εντός της ΕΕ για το έτος 2018.	18
Πίνακας 1.4 Θρεπτική αξία ώριμων καρπών γλυκιάς πράσινης πιπεριάς ανά 100 g νωπού προϊόντος. (Χα και Πετρόπουλος, 2014)	24
Πίνακας 2. 1 Παρασκευή επιμέρους διαλυμάτων προλίνης για κατασκευή της πρότυπης καμπύλης.	56
Πίνακας 2. 2 Παρασκευή πρότυπων διαλυμάτων καψαϊκίνης για κατασκευή της πρότυπης καμπύλης.	62
Πίνακας 3.1 Αριθμός καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	64
Πίνακας 3.2 Μήκος καρπών (cm) πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	66
Πίνακας 3.3 Πλάτος καρπών (cm) πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	67
Πίνακας 3.4 Νωπό βάρος (g) καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	68
Πίνακας 3.5 Ξηρά ουσία (%) καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	70
Πίνακας 3.6 Συνεκτικότητα καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	71
Πίνακας 3.7 Περιεκτικότητα καρπών πιπεριάς σε στερεά διαλυτά σάκχαρα (SSC) (%) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	73
Πίνακας 3.8 Χρώμα καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	75
Πίνακας 3.9 Περιεκτικότητα φύλλων πιπεριάς σε προλίνη (mM) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ).	76
Πίνακας 3.10 Περιεκτικότητα καρπών πιπεριάς σε καψαϊκίνη (mg / 100g DW) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	78
Πίνακας 3.11 Καυστικότητα καρπών πιπεριάς, σύμφωνα με την κλίμακα Scoville, ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	79



## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1.1. Κύριες ζώνες καλλιέργειας πιπεριάς σε παγκόσμιο επίπεδο για το έτος 2018 (FAOSTAT, 2020).	17
Εικόνα 1.2 Κυριότερες χώρες παραγωγής πιπεριάς για το έτος 2018 (FAOSTAT, 2020).	17
Εικόνα 1.3 Μέση τιμή (USD) ανά τόνο πιπεριάς στην Ελλάδα, για το διάστημα από 1995-2018 (FAOSTAT, 2020).	19
Εικόνα 1.4: Τα φυτά ως μέρη του οικοσυστήματος υπόκεινται σε πληθώρα αβιοτικών καταπονήσεων. (Τροποποίηση εικόνας από Vickers et al. A unified mechanism of action for volatile isoprenoids in plant abiotic stress. Nature Chemical Biology, 2009, 5: 283–291).	32
Εικόνα 1.5: Η αλληλεπίδραση μεταξύ φυτού και παράγοντα καταπόνησης εξαρτάται από πρόσθετους παράγοντες που σχετίζονται τόσο με το φυτό όσο και με την καταπόνηση. (Πηγή: ΜΔΕ Ζιάννα Ε, 2018).	41
Εικόνα 1.6 Απεικόνιση του πολυδιάστατου ρόλου της προλίνης στα φυτά. Η προλίνη συμβάλλει στην πρωτεϊνοσύνθεση, στην οσμωρύθμιση, στη διατήρηση της ισορροπίας της οξειδοαναγωγής, στη ρύθμιση της ανάπτυξης, ενώ παράλληλα αποτελεί συστατικό των δικτύων μεταβολικής σηματοδότησης που ελέγχουν τις μιτοχονδριακές λειτουργίες, την ανάκαμψη από την καταπόνηση και τη συνέχιση της ανάπτυξης. (Τροποποίηση εικόνας από Laszlo Szabados et al. Proline: a multifunctional amino acid. Trends in Plant Science, 2009, 15: 89-97).	44
Εικόνα 2.1 Φυτά πιπεριάς στο σπορείο	48
Εικόνα 2.2 Προετοιμασία φυτών πιπεριάς πριν τη μεταφορά τους στο θερμοκήπιο	48
Εικόνα 2.3 Συγκομιδή καρπών και τοποθέτηση σε ξεχωριστά σακουλάκια	52
Εικόνα 2.4 Μετρήσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών συγκομιζόμενων καρπών.	52
Εικόνα 2.5 Λειοτρίβιση δειγμάτων	54
Εικόνα 2.6 Προετοιμασία δειγμάτων για προσδιορισμό προλίνης	55
Εικόνα 2.7 Προετοιμασία πρότυπων διαλυμάτων	57
Εικόνα 2.8. Λειοτρίβιση αποξηραμένων καρπών.	58
Εικόνα 2.9 Τοποθέτηση δειγμάτων στην τράπεζα ανακίνησης	59
Εικόνα 2.10 Προετοιμασία δειγμάτων για καταμέτρηση της απορρόφησης.	60
Εικόνα 2.11 Τοποθέτηση δειγμάτων σε υδατόλουτρο έως ολικής εξάτμισης του διαλύτη.	61

Εικόνα 2.12 Δείγματα πριν καταμέτρηση της απορρόφησης.	61
Εικόνα 3.1 Σύνολο μεταχειρίσεων πριν την 1η συγκομιδή.	80
Εικόνα 3.2 Φυτά που υποβλήθηκαν σε καταπόνηση στο χαμηλό επίπεδο (75 ml νερό).	81
Εικόνα 3.3 Φυτά που υποβλήθηκαν σε καταπόνηση στο υψηλό επίπεδο (50 ml νερό).	81
Εικόνα 3.4 Φαινότυπος φυτών υπό συνθήκες καταπόνησης. Α. Φυτά-μάρτυρες. Β. Φυτά που υποβλήθηκαν στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (75 ml). Γ. Φυτά που υποβλήθηκαν στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (50 ml).	82

### Κατάλογος Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2.1 Πρότυπη καμπύλη για τη μετατροπή της απορρόφησης στα 520 nm σε mM προλίνης	56
Διάγραμμα 2.2 Πρότυπη καμπύλη για τη μετατροπή της απορρόφησης σε περιεκτικότητα καψαϊκίνης	62
Διάγραμμα 3.1 Αριθμός καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	65
Διάγραμμα 3.2 Μήκος καρπών πιπεριάς (cm) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ).	66
Διάγραμμα 3.3 Πλάτος καρπών πιπεριάς (cm) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ).	68
Διάγραμμα 3.4 Νωπό βάρος (g) καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	69
Διάγραμμα 3.5 Ξηρά ουσία (%) καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	70
Διάγραμμα 3.6 Συνεκτικότητα καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	72
Διάγραμμα 3.7 Περιεκτικότητα καρπών πιπεριάς σε στερεά διαλυτά συστατικά (SSC) (%) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	73
Διάγραμμα 3.8 Περιεκτικότητα φύλλων πιπεριάς σε προλίνη (mM) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ).	76
Διάγραμμα 3.9 Περιεκτικότητα καρπών πιπεριάς σε καψαϊκίνη (mg / 100g DW) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	78
Διάγραμμα 3.10 Καυστικότητα καρπών πιπεριάς, σύμφωνα με την κλίμακα Scoville, ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.	80

# Εισαγωγή

## 1.1. Καταγωγή και διάδοση

Η πιπεριά ανήκει στο γένος *Capsicum*, το οποίο χαρακτηρίζεται ως ένα από τα περισσότερα κυρίαρχα και παγκοσμίως κατανομημένα γένη της οικογένειας *Solanaceae* (El-Saber Batiha *et al.*, 2020) που επίσης περιλαμβάνει την τομάτα, την πατάτα και τον καπνό (Bosland, 1996). Η πιπεριά, με επιστημονικό όνομα *Capsicum annuum* L., συγκαταλέγεται στις σημαντικότερες από οικονομική και γεωργική άποψη καλλιέργειες λαχανικών, ενώ αποτελεί σημαντικό μέρος της ανθρώπινης διατροφής από το 7500 π.Χ. (Sunil *et al.*, 2012). Πρόκειται για αυτογονιμοποιούμενο φυτό που κατάγεται από τις τροπικές περιοχές της Αμερικής.

Ο τύπος πιπεριάς τσίλι είναι ήδη γνωστός από τους προϊστορικούς χρόνους στο Περού, ενώ πιστεύεται ότι η προέλευσή του ανήκει στη λεκάνη του βόρειου Αμαζονίου και χρονολογείται περίπου στο 7500 π.Χ. (Basu and De, 2003). Σύμφωνα με επιβεβαιωμένα στοιχεία, η χρήση άγριων ειδών πιπεριάς λαμβάνει χώρα 8.000-10.000 χρόνια πριν (Davenport, 1970; Heiser, 1969; Pickersgill, 1966). Σύμφωνα με αρχαιολογικά ευρήματα που προέρχονται από έναν πρώιμο οικισμό στην κοιλάδα Tehuacan (Puebla) του Μεξικό, η κατανάλωση πιπεριάς τύπου chilli χρονολογείται κατά την 7<sup>η</sup> χιλιετία π.Χ. και είναι προγενέστερη της καλλιέργειας αραβόσιτου και φασολιού. Είναι αξιοσημείωτο ότι περί το 5000 π.Χ. αναφέρονται εξημερωμένα είδη πιπεριάς που φέρουν τα τυπικά χαρακτηριστικά, όπως μέγεθος και σχήμα, με τις σύγχρονες καλλιεργούμενες ποικιλίες. Σύμφωνα με αναφορές, κοινή πρακτική των Μάγια αποτελούσε η χρήση των πιπεριών ως φάρμακο από τους αυτόχθονες, ενώ καταγραφές υποστηρίζουν τη δημιουργία ποικιλιών πιπεριάς από τους Αζτέκους, προτού οι Ισπανοί καταφθάσουν στην περιοχή του Μεξικό. Είναι αδιαμφισβήτητο ότι οι συγκεκριμένες ποικιλίες αποτέλεσαν τους πρόδρομους των σημερινών καλλιεργούμενων ποικιλιών (Basu and De, 2003).

Η διάδοση του είδους της πιπεριάς χρονολογείται το 1493, όπου ο Χριστόφορος Κολόμβος μετέφερε σπόρους στην Ισπανία, από όπου η καλλιέργεια διαδόθηκε στην Ευρώπη και περαιτέρω στην Ασία (Humanit *et al.*, 2020). Ειδικότερα, οι καυτερές πιπεριές έλαβαν ιδιαίτερης εκτίμησης σε περιοχές της Ασίας και της Αφρικής (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Σύμφωνα με τους Idowu-Agida, Ogunniyan

και Ajayi, (2012) σήμερα μόνο στη χώρα της Νιγηρίας καλλιεργούνται πάνω από 200 τοπικές ποικιλίες πιπεριάς.

## 1.2. Ταξινόμηση

Η πιπεριά ανήκει στην οικογένεια *Solanaceae*, η οποία παρουσιάζει ιδιαίτερο οικονομικό ενδιαφέρον καθώς περιλαμβάνει σημαντικά καλλιεργούμενα είδη, όπως τομάτα, πατάτα, καθώς και φυτά φαρμακευτικής αξίας, όπως μανδραγόρας, καπνός, μπελαντόνα, γερούλι. Αν και τα μέλη της οικογένειας απαντώνται ανά την υφήλιο, τα περισσότερα είδη παρατηρούνται στην νεοτροπική περιοχή, η οποία περιλαμβάνει την Κεντρική και Νότια Αμερική, τις νήσους της Καραϊβικής και την περιοχή νότια της Φλόριντα. Σύμφωνα με εκτιμήσεις, υπολογίζεται πως στην οικογένεια των *Solanaceae* ανήκουν περισσότερα από 9000 είδη, εκ των οποίων τα 2000 ανήκουν στο γένος *Solanum* (Knapp, 2002a).

**Πίνακας 1.1** Συστηματική ταξινόμηση πιπεριάς.

<b>Βασίλειο</b>	Plantae
<b>Υπερσυνομοταξία</b>	Σπερματοφύτα
<b>Συνομοταξία</b>	Αγγειόσπερμα
<b>Ομοταξία</b>	Δικοτυλήδονα
<b>Τάξη</b>	Solanales
<b>Οικογένεια</b>	Solanaceae
<b>Γένος</b>	Capsicum
<b>Είδος</b>	annuum

Είναι γεγονός ότι ο αριθμός των ειδών στο γένος *Capsicum* διαχρονικά αποτέλεσε αντικείμενο ευρείας μελέτης (Eshbaugh, 1975), με τα βοτανικά βιβλία του 16<sup>ου</sup> αιώνα να αποτελούν την πηγή της πρώτης βιβλιογραφικής αναφοράς αναφορικά με την ταξινόμηση της πιπεριάς. Έτσι, πριν την συγγραφή του "Species Plantarum" από το Λινναίο το 1753, πολλοί συγγραφείς επιδίωξαν την ταξινόμηση της πιπεριάς. Το 1699, ο Morrison εξέδωσε το "Plantarum Historiae Universalis Oxoniensis", το οποίο έκανε αναφορά σε 33 παραλλαγές για το είδος. Παρά την καταγωγή από τους προϊστορικούς χρόνους και την ευρεία διάδοση της πιπεριάς, μόλις το 1700

αποδόθηκε από τον Tournefort στο γένος το όνομα *Capsicum*, το οποίο και απαριθμούσε 27 είδη (Bosland and Votava, 2000). Η ονομασία του γένους *Capsicum* προέρχεται από την αρχαία ελληνική λέξη “κάπτω” (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Ακολούθως, ο Λινναίος μείωσε τον αριθμό των ειδών σε 2 και ειδικότερα στα *C. annuum* και *C. frutescens*, ενώ εκ των υστέρων προστέθηκαν τα *C. baccatum* και *C. grossum*. Το 1798, ο Wildenow περιέγραψε το είδος *pendulum* βασιζόμενος στους Ruiz και Pavon, οι οποίοι μελέτησαν το είδος *C. pubescens*.

Στις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα έγινε συστηματική μελέτη σχετικά με την ταξινόμηση στο γένος *Capsicum*. Το 1852, περιγράφηκαν 50 είδη και προστέθηκαν άλλα 11 ως πιθανά είδη από τον Γάλλο Βοτανολόγο Dunal, ενώ τα επόμενα χρόνια ο συνολικός αριθμός των καταγεγραμμένων ειδών ξεπερνούσε τα 90. Το 1898, ο Irish αναγνώρισε ως μοναδικά είδη τα *C. annuum* και *C. frutescens*, ταξινόμηση η οποία συνέπιπτε με αυτή του Λινναίου. Η ύπαρξη μόνο 2 ειδών ήταν ευρέως διαδεδομένη και αποτελούσε ευρείας αποδοχής, ενώ το 1923 ο Bailey κατέγραψε μόνο ένα είδος πιπεριάς (Macrae, 1993). Το 1953, οι Heiser και Smith ταξινόμησαν στο γένος *Capsicum* τέσσερα είδη: *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. baccatum* και *C. pubescens* (Heiser and Smith, 1953; Bosland and Votava, 2012).

Ωστόσο, η ταξινόμηση των ειδών που ανήκουν στο γένος *Capsicum* πήρε την σημερινή της μορφή μόλις τον 20<sup>ο</sup> αιώνα (Russo, 2012; Zhigila *et al.*, 2014). Συνολικά θεωρούνται γνωστά περίπου 26 είδη πιπεριάς, ενώ η μερίδα του λέοντος που απαντάται στη φύση συνιστά μη-εξημερωμένα φυτά (Macrae, 1993). Με βάση την τρέχουσα ταξινόμηση, το γένος *Capsicum* περιλαμβάνει περίπου 22 άγρια και 5 εξημερωμένα είδη: *C. annuum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens* και *C. pubescens* (Bosland, 1994) (Πίνακας 1.2). Σύμφωνα με βιβλιογραφικές αναφορές, η εξημέρωση των *C. annuum* και *C. frutescens* έλαβε χώρα στην ευρύτερη περιοχή της Μεσοαμερικής, ενώ τα είδη *C. chinense*, *C. baccatum* και *C. pubescens* εξημερώθηκαν στη Νότια Αμερική (Pickersgill, 2007), όπου απαντάται και η μεγαλύτερη γενετική παραλλακτικότητα των ανωτέρω ειδών. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί το είδος *C. annuum*, που κατάγεται από την περιοχή του Μεξικό, ενώ δευτερογενή κέντρα αποτελούν οι περιοχές της Μεσογείου, της Νοτιοανατολικής Ασίας και Ινδίας, της Κεντρικής, Βόρειας και Νότιας Αμερικής (Crosby, 2008).

Η αναγνώριση και ταξινόμηση των ειδών βασίζεται παραδοσιακά κυρίως σε μορφολογικά χαρακτηριστικά καθώς και μελέτες υβριδισμού. Ως βασικά ταξινομικά κριτήρια θεωρούνται το χρώμα των σπόρων και των ανθέων, το σχήμα του κάλυκα, ο αριθμός και διάταξη των ανθέων ανά κόμβο (Hawkes *et al.*, 1979). Αναφορικά με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των ανθέων, βασικά κριτήρια ταξινομικών περιγραφών συνιστούν η συστολή του κάλυκα, το χρώμα και ο αριθμός ανθέων ανά κόμβο (Hunziker, 1950, 1956, 1998; Heiser and Smith, 1953; Pickersgill, 1988; Onus and Pickersgill, 2004) (Πίνακας 1.2).

**Πίνακας 1.2** Μορφολογικά αναγνωρίσιμα είδη που ανήκουν στο γένος *Capsicum* βάσει των κύριων ταξινομικών κριτηρίων.

Είδος	Χρώμα ανθέων	Αριθμός ανθέων/ κόμβο	Χρώμα σπόρου	Συστολή κάλυκα
<i>C. annuum</i>	Άσπρο	1	καφετί	-
<i>C. frutescens</i>	Πρασινωπό	2-5	καφετί	-
<i>C. chinense</i>	Άσπρο/πρασινωπό	2-5	καφετί	+
<i>C. baccatum</i>	Άσπρο με κίτρινες κηλίδες	1-2	καφετί	-
<i>C. pubescens</i>	Μωβ	1-2	μαύρο	-

Πηγή (Basu and De, 2003)

Αξίζει ωστόσο να σημειωθεί ότι ο αριθμός των ειδών που ανήκουν στο γένος *Capsicum* ακόμη και σήμερα αποτελεί σημείο αμφιλογίας μεταξύ των διαφορετικών ερευνητών, ενώ επιδίωξη της σύγχρονης βιβλιογραφίας εξακολουθεί να αποτελεί η ιστορική και βοτανική προέλευση των ειδών που ανήκουν στο γένος *Capsicum* (Basu and De, 2003).

Οι τύποι της πιπεριάς διαμορφώνονται επίσης με βάση τα χαρακτηριστικά των καρπών, με κυριότερα αυτά τους γεύσης, καυστικότητα, σχήματος, χρώματος, μεγέθους αλλά τη χρήση τους (Smith *et al.*, 1987; Bosland, 1992). Η παρουσία καψαϊκίνης αποτελεί αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό του γένους *Capsicum* (Andrews, 1995; Russo, 2012), ενώ ορισμένες ποικιλίες του *C. annuum* στερούνται καυστικότητας, με το χαρακτηριστικό αυτό να αποτελεί αποτέλεσμα ανθρώπινης επιλογής (Moscone *et al.*, 2007).

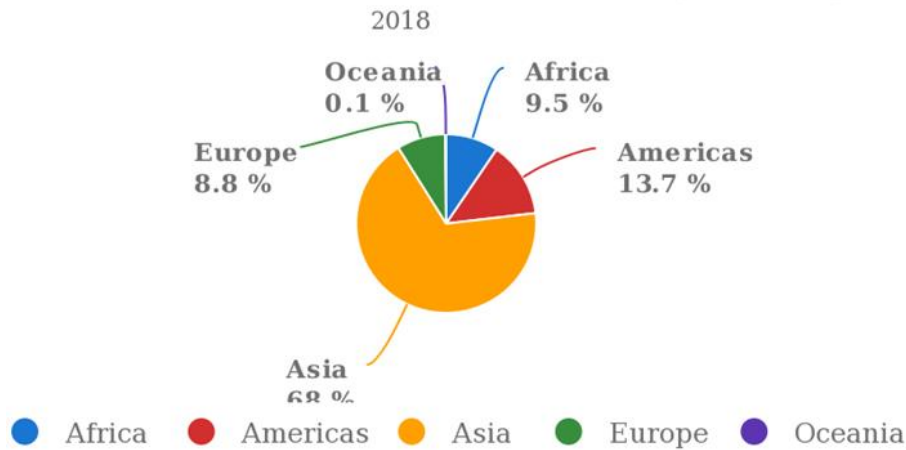
Παρά τις αισθητές διαφορές που απαντώνται μεταξύ των καλλιεργούμενων ποικιλιών, οι ποικιλίες που ανήκουν στο είδος *C. annuum* κατέχουν τη μερίδα του λέοντος σε επίπεδο εμπορικής καλλιέργειας. Μοναδικές εξαιρέσεις αποτελούν το tabasco, που προέρχεται από το είδος *C. frutescens*, και ο τύπος habanero που ανήκει στο είδος *C. chinense* (Bosland, 1996). Λόγω της μοναδικής γεύσης και καυστικότητας της, η πιπεριά θεωρείται ως το πιο διαδεδομένο μπαχαρικό παγκοσμίως (El-Saber Batiha *et al.*, 2020), το οποίο ταυτόχρονα τυγχάνει ευρείας κατανάλωσης και εκτίμησης λόγω της θρεπτικής της αξίας (Parisi, 2020).

Σχετικά με το είδος τσίλι, σήμερα χρησιμοποιούνται περισσότερες από 200 ονομασίες, όπως πιπεριά τσίλι, πάπρικα (γλυκιές ποικιλίες), καγιέν, jalapeños, χιλτεπίνη (καυτερές ποικιλίες), Χριστουγεννιάτικες πιπεριές (διακοσμητικές) (Zhang *et al.*, 2002; Latham, 2009). Αξίζει να σημειωθεί ότι η ονομασία Capsicum είναι πολύ συγκεχυμένη με πιπέρι (pepper), τσίλι (chilli, chile, chili), aji, πάπρικα (paprika) και πιπεριά (capsicum) που χρησιμοποιούνται εναλλακτικά για να περιγράψουν το συγκεκριμένο είδος (Dewitt and Bosland, 2006; McMullan and Livsey, 2013). Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι όλες οι άγριες ποικιλίες τύπου τσίλι χαρακτηρίζονται από μεγάλη φαινοτυπική πλαστικότητα, λόγω της κατοχής γονιδίων προσαρμογής σε ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες και ανθεκτικότητα σε ασθένειες (Bosland, 1996).

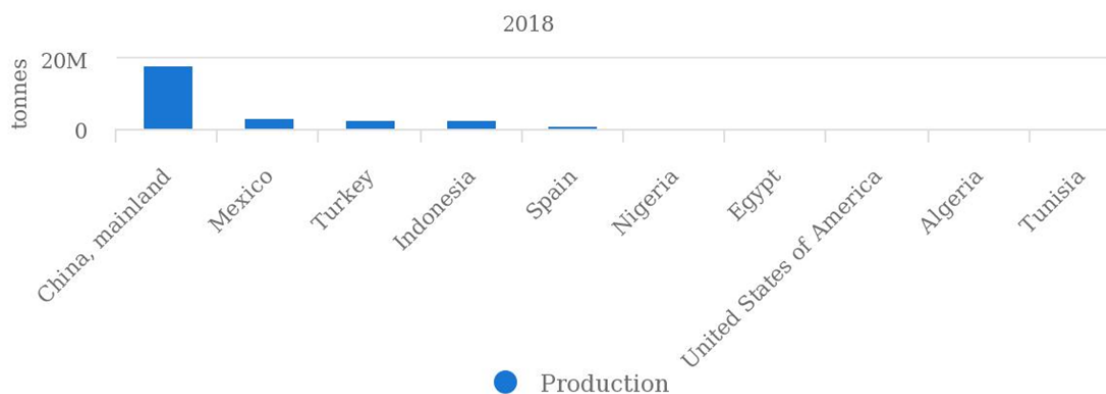
### **1.3. Καλλιέργεια πιπεριάς σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο**

Σήμερα, η πιπεριά καλλιεργείται ευρέως στην Κεντρική και Νότια Αμερική, το Περού, τη Βολιβία, την Κόστα Ρίκα, το Μεξικό, την Ευρώπη, την Κίνα και την Ινδία (Jadon *et al.*, 2016) (Εικόνα 1.1). Σε παγκόσμιο επίπεδο, για το έτος 2018, καταγράφηκε παραγωγή 36.771,482 τόνων πιπεριάς σε καλλιεργούμενη έκταση 1.990,423 στρεμμάτων. Για το ίδιο έτος, κυριότερες χώρες παραγωγής ήταν οι Κίνα, Μεξικό, Τουρκία, Ινδονησία, Ισπανία, Νιγηρία, Αίγυπτος, ΗΠΑ, Αλγερία και Τυνησία (Εικόνα 1.2). Αξίζει να σημειωθεί ότι στην Ασία, η καλλιέργεια πιπεριάς κατέχει το 68 % της παγκόσμιας παραγωγής, αποδίδοντας 18 εκατομμύρια τόνους, ενώ ακολουθεί το Μεξικό με παραγωγή 3 εκατομμυρίων τόνων. Στην Ευρώπη, πρώτη χώρα παραγωγής νωπής πιπεριάς είναι η Ισπανία που παράγει 1,3 εκατ. τόνους (FAOSTAT, 2020) (Πίνακας 1.3).





**Εικόνα 1.1.** Κύριες ζώνες καλλιέργειας πιπεριάς σε παγκόσμιο επίπεδο για το έτος 2018 (FAOSTAT, 2020).



**Εικόνα 1.2** Κυριότερες χώρες παραγωγής πιπεριάς για το έτος 2018 (FAOSTAT, 2020).

Στην Ελληνική επικράτεια, κατά το έτος 2018, καλλιεργήθηκαν 26.250 στρέμματα πιπεριάς υπαίθρου με συνολική παραγωγή 42.612 τόνους, ενώ η καλλιέργεια πιπεριάς υπό κάλυψη κατέλαβε 10.654 στρέμματα, αποδίδοντας συνολικά παραγωγή 92.817 τόνων. Οι πλέον κύριες περιοχές υπαίθριας καλλιέργειας πιπεριάς είναι οι ακόλουθες: Ξάνθη, Τρίκαλα, Καρδίτσα, Ηλεία. Αντίστοιχα, η καλλιέργεια πιπεριάς υπό κάλυψη λαμβάνει χώρα κατά κύριο λόγο σε Ημαθία, Πέλλα, Λασιθί, Ηράκλειο, Θεσσαλονίκη (Στατιστική Υπηρεσία Υ.Α.Α.Τ, 2018). Στις εγχώριες ζώνες καλλιέργειας, η μέση απόδοση της καλλιέργειας πιπεριάς κυμαίνεται περί τους 5-8 τόνους/στρέμμα. Ωστόσο, έχουν αναφερθεί και αποδόσεις που υπερβαίνουν τους 10 τόνους (Πετρόπουλος, 2020). Τέλος, αναφέρεται ότι η μέση απόδοση των τύπων

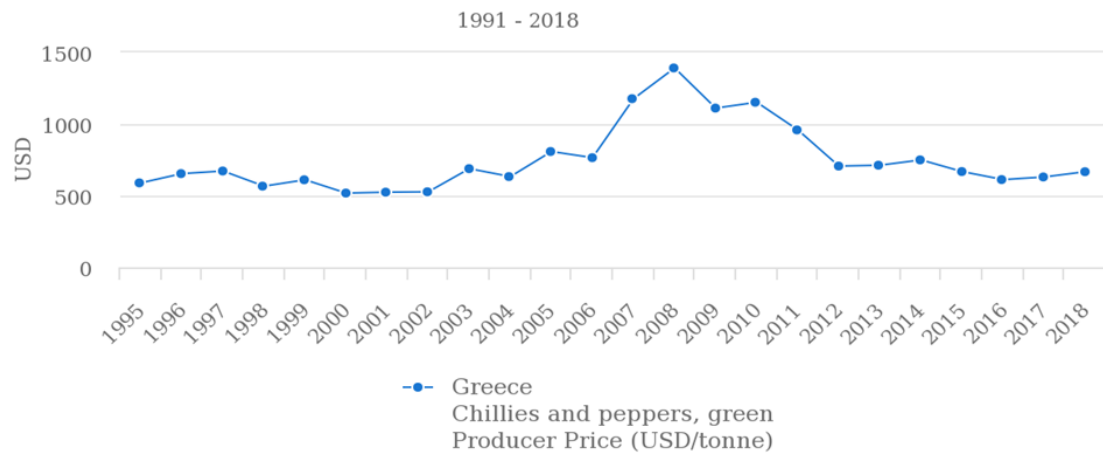
γλυκιάς πιπεριάς είναι αυξημένος συγκριτικά με την αντίστοιχη των ποικιλιών καυτερής πιπεριάς (Ολύμπιος,2015).

**Πίνακας 1.3** Κυριότερες χώρες παραγωγής πιπεριάς εντός της ΕΕ για το έτος 2018.

<b>Χώρα</b>	<b>Παραγωγή (τόνοι)</b>	<b>Έκταση (στρέμματα)</b>	<b>Απόδοση (hg/ha)</b>
Ισπανία	1.275.457	205.800	619756
Ολλανδία	355.000	13.110	2707857
Ιταλία	260.746	105.220	247809
Ρουμανία	229.662	179.770	127753
Ελλάδα	145.810	38.400	379714
Ουγγαρία	114.282	20.590	555036
Βουλγαρία	51.958	28.540	182.053
Γαλλία	32.183	11.400	282307
Μεγάλη Βρετανία	27.398	860	3185814
Βέλγιο	26.040	930	2.800.000
Κροατία	18.106	11.810	153311
Αυστρία	15.742	1.610	980.168,00
Γερμανία	14.658	1.080	1359022
Τσεχία	10.306	4.200	245259
Σλοβενία	4.284	1.560	274615
Σλοβακία	3.696	2.700	136889
Φιλανδία	1.056	90	1186517
Κύπρος	948	270	351111
Πορτογαλία	760	510	147505
Ιρλανδία	328	-	-

(Πηγή FAOSTAT, 2020)

Στην Ελλάδα, η υψηλότερη τιμή για την πιπεριά καταγράφηκε κατά το έτος 2008 (1390 δολάρια/τόνο) (Εικόνα 1.3). Είναι αξιοσημείωτο ωστόσο ότι εντός της ΕΕ, κατά το ίδιο χρονικό διάστημα, η αντίστοιχη υψηλότερη τιμή ήταν 2113 δολάρια/τόνο για το Βέλγιο, ενώ ακολούθησε η Ισπανία με 1328 δολάρια/τόνο. Κατά το έτος 2018, στην Ελλάδα καταγράφηκε αισθητή μείωση στην τιμή, η οποία διαμορφώθηκε στα 667 δολάρια/τόνο (FAOSTAT, 2020).



**Εικόνα 1.3** Μέση τιμή (USD) ανά τόνο πιπεριάς στην Ελλάδα, για το διάστημα από 1995-2018 (FAOSTAT, 2020).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι για το έτος 2018 καταγράφηκε εισαγωγή νωπής και ξηρής πιπεριάς της τάξης των 5.641 και 1.298 τόνων αντίστοιχα, ενώ η εξαγωγική δύναμη της χώρας ανήλθε στους 223 και 1.9668 τόνους για το ξηρό και νωπό προϊόν αντίστοιχα.

Οι καλλιεργητές έχουν τη δυνατότητα επιλογής από ένα σημαντικό εύρος ποικιλιών πιπεριάς που διατίθενται στο εμπόριο, ενώ παράλληλα, σποροπαραγωγικές εταιρίες εμπλουτίζουν συνεχώς τον κατάλογο ποικιλιών και υβριδίων πιπεριάς που είναι διαθέσιμες για καλλιέργεια. Είναι ωστόσο αξιοσημείωτο ότι η τιμή των συμβατικών ποικιλιών, συμπεριλαμβανομένου των τοπικών, διαφέρει σημαντικά συγκριτικά με τις αντίστοιχες τιμές των ποικιλιών-υβριδίων, οι οποίες συχνά είναι έως και 20 φορές υψηλότερες. Η αυξημένη τιμή των υβριδίων ωστόσο εν μέρει σταθμίζεται από την ανθεκτικότητά τους έναντι εχθρών και ασθενειών καθώς αυτή οδηγεί σε επίτευξη υψηλότερων αποδόσεων.

#### 1.4. Βοτανική περιγραφή

Όσον αφορά τα βοτανικά χαρακτηριστικά της πιπεριάς (*Capsicum annuum*), πρόκειται για φυτό θαμνώδες ή ποώδες με όρθια ανάπτυξη και τάση σχηματισμού πολλών διακλαδώσεων. Αρχικά σχηματίζει κεντρική πασαλλώδη ρίζα, η οποία κατά τη μεταφύτευση καταστρέφεται και προάγεται ο σχηματισμός θυссανώδους ριζικού συστήματος με μεγάλο αριθμό πλευρικών ριζών που εκτείνονται σε βάθος έως και 1

μέτρου. Το ύψος συχνά υπερβαίνει τα 2 μέτρα (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Στην Ελλάδα, η πιπεριά καλλιεργείται συνήθως ως ετήσιο είδος, ωστόσο στην Κεντρική και Νότια Αμερική καλλιεργούνται για μια δεκαετία ή και περισσότερο σε τροπικές συνθήκες του φυσικού τους περιβάλλοντος (Basu and De 2003).

Ο κορμός και οι βλαστοί του φυτού είναι αρχικά ποώδεις και στη συνέχεια ξυλοποιούνται στην βάση. Σύμφωνα με τον Ολύμπιο (2015), το φυτό αποκτά μονοστέλεχη διάταξη. Συγκεκριμένα σχηματίζει κύριο βλαστό, ο οποίος διακλαδίζεται σε 2 ή 3 (σπανιότερα) βλαστούς, τους λεγόμενους βλαστούς 1<sup>ης</sup> τάξης, μεταξύ των οποίων σχηματίζεται ο 1<sup>ος</sup> ανθοφόρος οφθαλμός που οδηγεί στο σχηματισμό του 1<sup>ου</sup> καρπού. Ο οφθαλμός αυτός συνιστά το βασικό οφθαλμό (crown bud). Μετά την έκπτυξη 1-2 φύλλων σε κάθε βλαστό 1<sup>ης</sup> τάξης, σχηματίζονται 2 δευτερογενείς βλαστοί (βλαστοί 2<sup>ης</sup> τάξης). Μεταξύ των ανωτέρω βλαστών, σχηματίζονται ανθοφόροι οφθαλμοί. Συνεπώς, εφόσον δεν πραγματοποιηθούν επεμβάσεις, το φυτό αποκτά τελικά θαμνώδη μορφή καθώς συνεχίζεται η διακλάδωση για το σχηματισμό βλαστών 3<sup>ης</sup> τάξης, όπου λαμβάνει χώρα ο σχηματισμός ανθοφόρου οφθαλμού κ.ο.κ. Σε αντίθεση με την τομάτα και τη μελιτζάνα, η πιπεριά δε φέρει βλαστανούσα μορφή. Ακολουθεί η βοτανική περιγραφή των φυτών πιπεριάς.

**Ρίζα:** Σε εδάφη χωρίς αδιαπέρατους ορίζοντες, το ριζικό σύστημα φθάνει σε βάθος 60-80 εκ. Αν και το φυτό σχηματίζει δυνατή κεντρική ρίζα, κατά τη διαδικασία της μεταφύτευσης, αυτή τραυματίζεται με αποτέλεσμα να προάγεται η δημιουργία πλευρικών διακλαδιζόμενων ριζών, οι οποίες εισχωρούν σε ανάλογο βάθος στο έδαφος (Ολύμπιος, 2015).

**Φύλλα:** Τα φύλλα είναι απλά, εναλλασσόμενα, λεπτά, οξύληκτα χωρίς φυλλάρια. Στην άνω επιφάνειά τους, το χρώμα είναι βαθύ πράσινο, ενώ η κάτω επιφάνεια εμφανίζει ανοιχτό πράσινο χρωματισμό. Ο ποδίσκος έχει μικρό μήκος, ενώ το έλασμα, διάστασης 5-10 εκατοστών, χαρακτηρίζεται από ωοειδές σχήμα και στερείται εγκολπώσεων.

**Άνθη:** Είναι πενταμερή και διακρίνονται ανάλογα με το γονότυπο σε α) μονήρη β) ομάδες των 2 γ) ομάδες που φέρουν περισσότερα άνθη. Ο ποδίσκος έχει μήκος 3 cm, κάμπτεται προς τα κάτω προκειμένου να διευκολυνθεί η πτώση της γύρης πάνω στο στίγμα, συμβάλλοντας κατ' αυτόν τον τρόπο στην αυτογονιμοποίηση. Τα άνθη

φέρουν κυπελλοειδούς μορφής συστέπαλο κάλυκα με 5 διακριτούς λοβούς και καμπανόσχημη στεφάνη, διαμέτρου 8-15 mm, με λευκά, πράσινα και σπανίως ιώδη πέταλα. Επίσης, τα άνθη φέρουν 5-7 στήμονες που ενώνονται στη βάση με το σωλήνα της στεφάνης. Η ωοθήκη είναι δίχωρος, τρίχωρος ή τετράχωρος, ενώ η διάταξη των ανθικών μερών είναι τέτοια ώστε οι στήμονες, τα σέπαλα και τα πέταλα να βρίσκονται κάτω από αυτήν (επιφυής). Ο στύλος είναι λευκός ή ιώδους χρώματος. Τα άνθη της πιπεριάς είναι ερμαφρόδιτα και αυτογονιμοποιούμενα. Η διαδικασία της σταυρογονιμοποίησης λαμβάνει χώρα σε ποσοστό περίπου 15 %, καθώς τα άνθη δεν ελκύουν έντομα. παρά το χαμηλό ποσοστό σταυρογονιμοποίησης, στις καλλιέργειες που προορίζονται για σποροπαραγωγή εφαρμόζονται συγκεκριμένες αποστάσεις φύτευσης μεταξύ διαφορετικών ποικιλιών, όπως 350-500 μέτρα, προκειμένου να αποφευχθεί η πιθανότητα σταυρογονιμοποίησης και γενετικής επιμόλυνσης από ξένη γύρη. Η γονιμοποίηση ενός άνθους καθίσταται δυνατή για περίπου 3 μέρες μετά το άνοιγμα του.

**Καρπός:** Είναι ράγα με κοίλο εσωτερικό. Παρατηρείται πλήθος διαφοροποιήσεων μεταξύ των καρπών ως προς το μέγεθος, σχήμα, χρώμα, περιεχόμενων συστατικών, ανάλογα με το γονότυπο. Πριν την ωρίμανση, οι καρποί έχουν πράσινο χρώμα, οφειλόμενο στην χλωροφύλλη, ενώ στη συνέχεια αποκτούν ερυθρό, πορτοκαλί, κίτρινο ή κιτρινοπράσινο χρώμα, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις διατηρούν το αρχικό. Τα πολυάριθμα σπέρματα που φέρουν είναι προσκολλημένα πάνω στον πλακούντα. Οι σπόροι δύνανται να διαχωριστούν αβίαστα χάρη στη στεγνή κοιλότητα, σε αντίθεση με τον καρπό της τομάτας, ο οποίος περιέχει ζελατινώδη ιστό.

Η καρπόδεση επηρεάζεται από πλήθος κλιματικών παραγόντων. Υπό την επικράτηση δυσμενών συνθηκών, διαταράσσεται η διαδικασία της καρπόδεσης με αποτέλεσμα να παρατηρείται μεταχρωματισμός των ανθέων (κιτρίνισμα), μαρασμός και εν συνεχεία πτώση τους. Αντίθετα, η επιτυχής καρπόδεση οδηγεί σε σταδιακή αύξηση του μεγέθους των καρπών. Στους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν το τελικό μέγεθος του καρπού συγκαταλέγονται: i) ο γονότυπος, ii) η φυσική κατάσταση του φυτού και iii) ο αριθμός των καρπών που έχουν δέσει.

Το σχήμα και οι διαστάσεις του καρπού δεν είναι συγκεκριμένα. Αντιθέτως, ποικίλλουν από κωνικό, σφαιρικό ή επίμηκες, με τελικό μήκος 1-30 cm και πλάτος 1-15 cm, ενώ τα τοιχώματα των καρπών διακρίνονται σε λεπτά ή χοντρά. Σε πολλές περιπτώσεις, θεωρείται εσφαλμένα πως ο βαθμός καυστικότητας επηρεάζεται άμεσα

από το σχήμα καρπού της πιπεριάς. Αξίζει να αναφερθεί πως σε ποικιλίες με χαμηλά επίπεδα καυστικότητας, οι κόκκινοι ώριμοι καρποί, σε αντίθεση με τους πράσινους άγουρους, στερούνται υψηλά επίπεδα καυστικότητας λόγω της υψηλής τους περιεκτικότητας σε σάκχαρα.

**Σπόροι:** Οι σπόροι του *C. annuum* έχουν διάμετρο 3-5,5 mm. Είναι σφαιροειδείς, επίπεδοι, ωχρο-κίτρινου χρώματος. Σε αποξηραμένους καρπούς μπορούν να κατέχουν έως και το 10-20 % του τελικού βάρους. Το βάρος 1000 σπόρων κυμαίνεται μεταξύ 3,3-7 gr. Σε κατάλληλες συνθήκες αποθήκευσης (χαμηλή σχετική υγρασία, 25°C), οι σπόροι δύνανται να διατηρήσουν την βλαστική τους ικανότητα για 3-4 χρόνια.

**Άρωμα - Χρώμα:** Οφείλονται κυρίως σε μείγμα καροτενοειδών, με κυριότερες εξ αυτών την καψανθίνη, ενώ παρατηρούνται τα α, β καροτίνια, η ζεαξανθίνη, η λυκοπίνη, η κρυπτοξανθίνη και η ξανθοφύλλη (Χα και Πετρόπουλος, 2014; Ολύμπιος, 2015).

### 1.5. Αγροκλιματικές απαιτήσεις

Η πιπεριά καλλιεργείται σε τροπικές υποτροπικές και θερμές περιοχές εύκρατων περιοχών καθώς συνιστά καλλιέργεια ζεστής περιόδου, ευαίσθητη σε χαμηλές θερμοκρασίες και παγετούς. Καλλιεργείται σε υψόμετρα που κυμαίνονται από τη στάθμη της θάλασσας έως τα 3000 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. (Rubatzky and Yamaguchi, 1999; Wien, 1997).

**Έδαφος:** Η καλλιέργεια της πιπεριάς μπορεί να λάβει χώρα σε ποικιλία εδαφικών τύπων αλλά προτιμά εδάφη ελαφρά αμμώδη, αμμοπηλώδη, πλούσια σε οργανική ουσία, με καλή συγκράτηση υγρασίας και καλή αποστράγγιση. Αναφορικά με το pH, τα βέλτιστα επίπεδα κυμαίνονται μεταξύ 5,5-7. Δεδομένου ότι θεωρείται ως είδος μέτριας ανθεκτικότητας σε συνθήκες αλατότητας, η περιεκτικότητα του εδάφους σε άλατα πρέπει να μην χαρακτηρίζεται ως υψηλή (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Σε εδάφη με όξινη αντίδραση (pH < 5,5), η καλλιέργεια πλήττεται από την ξηρά σήψη της κορυφής, ενώ παράλληλα εμφανίζεται τοξικότητα μαγανίου και αργιλίου. Υπό συνθήκες πρώιμης καλλιέργειας, συνιστανται κυρίως ελαφρά, αμμώδη εδάφη με μεσημβρινή έκθεση και κατάλληλη λίπανση (Ολύμπιος, 2015).

**Φωτοπερίοδος:** Η πιπεριά κατατάσσεται στα φυτά που είναι ουδέτερα στον φωτοπεριοδισμό για την εμφάνιση ανθέων και ευνοείται από τις ημέρες μεγάλης διάρκειας (Ολύμπιος, 2015). Γενικά, η πιπεριά συνιστά είναι φυτό απαιτητικό σε φως, καθώς συμβάλλει σε καλύτερη ανάπτυξη και παραγωγή ανώτερης ποιότητας καρπών. Σε αντίθετη περίπτωση παρατηρείται καθυστέρηση στην ανάπτυξη.

**Θερμοκρασιακό εύρος:** Με δεδομένη την προέλευση τους από τροπικές περιοχές, η απρόσκοπτη ανάπτυξη φυτών πιπεριάς προϋποθέτει την επικράτηση συνθηκών υψηλής θερμοκρασίας. Πιο συγκεκριμένα, η βέλτιστη θερμοκρασία ανάπτυξης κυμαίνεται μεταξύ 25 – 30 °C, ενώ οι μεταβολές της θερμοκρασίας επηρεάζουν μια πληθώρα λειτουργιών τόσο σε μορφολογικό και αναπτυξιακό όσο και σε φυσιολογικό επίπεδο. Το βέλτιστο εύρος θερμοκρασιών της ριζόσφαιρας κυμαίνεται περί τους 25-27,5 °C (Diaz-Perez, 2010). Η χαμηλή θερμοκρασία επηρεάζει την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή της πιπεριάς, διαταράσσοντας τη λειτουργία των θηλυκών οργάνων και τον αριθμό των βιώσιμων κόκκων γύρης ανά λουλούδι, γεγονός που συμβάλλει στην παρεμπόδιση σχηματισμού καρπών. Οι καρποί που έχουν εκτεθεί σε χαμηλές θερμοκρασίες νύχτας (<14 °C), συνήθως παραμορφώνονται και αδυνατούν να σχηματίσουν σπόρους, προκαλώντας σημαντικές οικονομικές απώλειες (Mateos et al., 2013). Αντίθετα, η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών νύχτας, συνήθως επιφέρει πτώση των ανθέων. Σημειώνεται ωστόσο ότι οι ποικιλίες γλυκιάς πιπεριάς προσαρμόζονται καλύτερα σε συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας συγκριτικά με τις καυτερές ποικιλίες (Χα και Πετρόπουλος, 2014).

Σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών, η πιπεριά είναι ανθεκτικότερη από την τομάτα και τη μελιτζάνα, ενώ σε παγετό πλήττεται περισσότερο από τα προαναφερθέντα είδη. Μεταξύ των διαφορετικών ποικιλιών πιπεριάς, οι καυτερές αναπτύσσονται καλύτερα σε υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες, συγκριτικά με τις γλυκές ποικιλίες, οι οποίες -όπως προαναφέρθηκε- αναπτύσσονται ικανοποιητικά σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Επίσης, οι ποικιλίες που παράγουν μεγάλους καρπούς εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία σε ακραίες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις μικρόκαρπες ποικιλίες (Ολύμπιος, 2015).

**Άνεμος:** Η καλλιέργεια πιπεριάς πλήττεται επίσης δραστικά από την επικράτηση ισχυρών ανέμων. Οι επιπτώσεις εκδηλώνονται με μειωμένη καρπόδεση, καθώς τα στίγματα των ανοιχτών ανθών είναι εκτεθειμένα και συνεπώς ξηραίνονται, με αποτέλεσμα να καθίσταται αδύνατη η προσκόλληση των γυρεόκοκκων, η οποία

επιφέρει αδυναμία επικονίασης και τελικώς γονιμοποίησης των ανθέων. Με δεδομένο ότι οι βλαστοί του φυτού είναι εύθραυστοι, θεωρείται απαραίτητη η χρήση παρεμποδιστών ανάπτυξης για περιορισμένη ανάπτυξη σε ύψος, προς αποφυγή επιπτώσεων σε περιοχές όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι.

## 1.6. Θρεπτική Αξία

Η πιπεριά είναι το δεύτερο πιο καταναλώσιμο λαχανικό παγκοσμίως, μεταξύ άλλων, καθώς συνιστούν μια πλούσια πηγή βιταμινών, μεγαλύτερη συγκριτικά με τις ευρέως χρησιμοποιούμενες τομάτες, και ιδιαίτερα των προ-βιταμίνη A (καροτένιο), B6 και C, ασβέστιο και φολικό οξύ (Jadon et al., 2016). Καθώς οι πράσινοι λοβοί γίνονται κόκκινοι, η περιεκτικότητα σε βιταμίνη A αυξάνεται φθάνοντας τη διπλάσια περιεκτικότητα σε προ-βιταμίνη A συγκριτικά με το καρότο (Lantz, 1943). Η πρόσληψη 50-100 g φρέσκων φρούτων πιπεριάς δύναται να παράσχει 100 % και περίπου το 60 % της συνιστώμενης ημερήσιας ποσότητας βιταμίνης C και A, αντίστοιχα (Howard et al., 2000) (Mateos, 2006) (Palma et al., 2009) (Martí et al., 2010) (Palma et al., 2011).

**Πίνακας 1.4** Θρεπτική αξία ώριμων καρπών γλυκιάς πράσινης πιπεριάς ανά 100 g νωπού προϊόντος. (Χα και Πετρόπουλος, 2014)

Συστατικό	Περιεκτικότητα	Συστατικό	Περιεκτικότητα
Νερό	93,89 %	Λουτεΐνη, ζεαξανθίνη	341 µg
Θερμίδες	20 Kcal	Βιταμίνη E	0,37 mg
Υδατάνθρακες	4,64 %	Βιταμίνη K	7,4 µg
Λίπη	0,17 %	Ca	10 mg
Πρωτεΐνες	0,86 %	Fe	0,34 mg
Βιταμίνη A	370 IU	Mg	10 mg
Βιταμίνη B1	0,057 %	P	20 mg
Βιταμίνη B2	0,028 mg	K	175 mg
Βιταμίνη B3	0,480 mg	Na	3 mg
Βιταμίνη B5	0,1 mg	Zn	0,13 mg
Βιταμίνη B6	0,224 mg	Cu	0,1 mg
Βιταμίνη B9	10 mg	Mn	0,1 mg
Βιταμίνη C	80,4 mg	F	2 mg
β-καροτένιο	208 µg	Se	0,0 mg



## 1.7. Χρήσεις - Μετασυλλεκτική μεταχείριση - Μεταποίηση

### 1.7.1 Χρήσεις

Δεδομένης της περιεκτικότητάς της σε θρεπτικά συστατικά, η πιπεριά –γλυκοί και καυτεροί τύποι- αποτελεί βασικό συστατικό ανθρώπινης κατανάλωσης τόσο υπό τη μορφή νωπού και ξηρού προϊόντος (μπαχαρικό) όσο και ως συστατικό διαφόρων παρασκευών. Επίσης, οι πιπεριές τυγχάνουν χρήσης ως φυσικές χρωστικές σε παρασκευάσματα τροφίμων (Jadon et al., 2016). Σε παρασκευές, οι πιπεριές χρησιμοποιούνται για τουρσί σε άλμη, ψήσιμο καθώς και γέμισμα.

Οι καρποί πιπεριάς εμφανίζουν μεγάλη ποικιλότητα, ενώ συχνά είναι μεγάλοι, διογκωμένοι, φέρουν διάφορους χρωματισμούς, όπως πράσινο, κόκκινο, πορτοκαλί ή κίτρινο, έχουν παχιά σάρκα και ήπια γεύση. Τα τελευταία χρόνια, η κόκκινη πιπεριά θεωρείται ανερχόμενο προϊόν στους κλάδους υγείας μέσω των οποίων ανακαλύπτονται οι θεραπευτικές της δράσεις (Sunil et al., 2012). Σύμφωνα με οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και μαγειρικά κριτήρια, οι καρποί της πιπεριάς διαχωρίζονται σε 2 κυρίως ομάδες: i) τις πιπεριές καμπανοειδούς σχήματος οι οποίες χαρακτηρίζονται ως γλυκές, μη-πικάντικες τετράγωνες πιπεριές και ii) τις πιπεριές τσίλι με βασική ιδιότητα αυτή της καυστικότητας (Basu et al., 2003).

Μια μικρή ομάδα πιπεριάς χιλής μπορεί να χαρακτηριστεί ως διακοσμητική. Αν και βρώσιμη, η πιπεριά καλλιεργείται επίσης ως διακοσμητική κυρίως για τα ασυνήθιστα σχήματα λοβών ή για το πυκνό φύλλωμά και τους ποικιλόχρωμους καρπούς. Οι διακοσμητικές ποικιλίες τσίλι δύνανται να εμφανίσουν όλα τα χρώματα του ουράνιου τόξου, εμφανίζοντας συχνά λοβό που φέρει τέσσερα ή πέντε χρώματα ταυτόχρονα στο ίδιο φυτό (Bosland et al. 1994). Η καλλιέργεια διακοσμητικών ποικιλιών τσίλι αποτελεί μια εναλλακτική καλλιέργεια υψηλής αξίας. Το σχήμα των φρούτων μπορεί να ποικίλει από μακρύ και λεπτό σε κοντό και αμβλείο.

Τέλος, οι πιπεριές με υψηλή περιεκτικότητα σε καψαϊκονοειδή, μοναδικά αλκαλοειδή που παράγονται από το γένος *Capsicum*, έχουν ευρεία γκάμα εφαρμογών στην φαρμακοβιομηχανία και φυτοπροστασία (Kopta et al, 2020). Προκειμένου να προσδιοριστεί η καυστικότητα των διάφορων ποικιλιών πιπεριάς δημιουργήθηκε η κλίμακα Scoville, το 1912, η οποία εκφράζεται σε μονάδες SHU (Scoville Heat Units, Μονάδες "Θερμότητας" Σκόβιλ). Συγκεκριμένα, το *Capsicum* διακρίνεται σε πέντε κύριες ομάδες, ως ακολούθως: i) μη πικάντικο (0-700 SHU), ii) ελαφρώς πικάντικο

(700-3000 SHU), iii) μέτρια πικάντικο (3000-25,000 SHU), iv) πολύ έντονο (25.000-70.000 SHU) και v) εξαιρετικά πικάντικο (> 80.000 SHU) (Weis, 2002).

### 1.7.2 Μετασυλλεκτική μεταχείριση

Σχετικά με την ποιότητα των καρπών, σε μετασυλλεκτικό επίπεδο, η υγρασία και η θερμοκρασία είναι οι δύο βασικοί παράγοντες που την επηρεάζουν, με τις απώλειες υγρασίας να παρουσιάζουν έντονη γονοτυπική εξάρτηση. Μέσω της επιδερμίδας του καρπού, είναι δυνατή η διατήρηση μεγάλου ποσοστού της περιεχόμενης υγρασίας, παρά την επικράτηση χαμηλής ατμοσφαιρικής υγρασίας, συμβάλλοντας στη διατήρηση της ποιότητας μετά την συγκομιδή καθώς αυτή επηρεάζεται άμεσα από την αναπνοή των καρπών και την απώλεια νερού. (Diaz-Perez et al., 2007). Αν και η συντήρηση των καρπών σε χαμηλή θερμοκρασία συμβάλλει θετικά, η εξασφάλιση συνθηκών υψηλής σχετικής υγρασίας ευνοεί περισσότερο τη μετασυλλεκτική ζωή των καρπών, επιβραδύνοντας ταυτόχρονα τις διεργασίες μετασυλλεκτικής υποβάθμιση της ποιότητάς τους (Lurie et al., 1986; Lownds et al., 1994).

Οι καρποί της πιπεριάς δύνανται να διατηρηθούν έως και 35 ημέρες, σε συνθήκες θερμοκρασίας 4 °C και σχετικής υγρασίας 95 % (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Ωστόσο, παράγοντες όπως το στάδιο ωρίμανσης, ο γονότυπος, οι διαδικασίες επεξεργασίας και οι συνθήκες αποθήκευσης επηρεάζουν το φυτοχημικό περιεχόμενο των καρπών (Zhang et al., 2003). Σύμφωνα με αναφορές, οι καρποί εμφανίζουν ευαισθησία σε θερμοκρασίες ψύξης, οι οποίες δεν ενδείκνυνται για μεγάλες και κρύες περιόδους αποθήκευσης (Manolopoulou et al., 2010). Οι δυσμενείς συνθήκες αποθήκευσης ( $T = 5 \pm 2$  °C) προάγουν την απώλεια νερού και την επιφανειακή διάρρηξη, την συρρίκνωση μαλάκωμα των καρπών καθώς και φυσιολογικές διαταραχές και μικροβιακές μολύνσεις. Αντίθετα, η αποθήκευση των καρπών σε θερμοκρασίες άνω των 10 °C οδηγεί σε συνέχιση της ωρίμανσης και ανάπτυξη χρωστικών, όπως οι ανθοκυανίνες, καροτίνες. Κατά την αποθήκευση, θα πρέπει να αποφεύγεται η εφαρμογή αιθυλενίου ή η αποθήκευση με καρπούς που παράγουν αιθυλένιο (ντομάτα, μπανάνα, αχλάδια) καθώς προάγονται διαδικασίες φυσιολογικής γήρανσης των καρπών πιπεριάς. Σύμφωνα με μελέτες η εφαρμογή τροποποιημένης ατμόσφαιρας με 5 % O<sub>2</sub> και 10 % CO<sub>2</sub>, σε θερμοκρασία 8 °C, βελτιστοποιεί τις συνθήκες αποθήκευσης των καρπών (Ολύμπιος, 2015).

### 1.7.3. Μεταποίηση

Πέραν της χρήσης τους για νωπή κατανάλωση, οι καρποί πιπεριάς προσφέρονται για ευρεία μεταποίηση προς δημιουργία προϊόντων/παρασκευών διάφορων τύπων. Ειδικότερα, οι καρποί πιπεριάς χρησιμοποιούνται για την παρασκευή των ακόλουθων προϊόντων:

Κονσέρβες: χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι πιπεριάς, με κυριότερες τις γλυκιές.

Τουρσί: σε συνδυασμό με άλλα κηπευτικά, όπως κουνουπίδι, καρότο, αγγουράκι, οι γλυκιές ή/και καυτερές πιπεριές αποτελούν βασικό συστατικό των μειγμάτων τουρσί σε άλμη ή ξύδι.

Κατάψυξη: οι γλυκές πιπεριές τύπου φλάσκα (bell peppers) δύνανται να καταψυχθούν ικανοποιητικά. Χρησιμοποιούνται στην προετοιμασία διαφόρων φαγητών (ψύχονται ολόκληρες, κομμένες κατά το ήμισυ ή σε μικρότερα κομμάτια).

Αφυδάτωση-Αποξηράνση: Αφυδατωμένες πιπεριές με υγρασία 6% πωλούνται τεμαχισμένες για ανάμειξη σε σούπες.

Μπαχαρικά: οι καρποί και οι σπόροι πιπεριάς χρησιμοποιούνται για την παρασκευή μπαχαρικών διαφόρων τύπων. Ο βαθμός καυστικότητας ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο της πιπεριάς. Εάν χρησιμοποιούνται γλυκές πιπεριές σε μορφή σκόνης ανήκουν στα μπαχαρικά (πάπρικα). Οι καυτερές πιπεριές εάν αποξηραίνονται και αλέθονται ανήκουν στα chili powder τα οποία έχουν ευρεία χρήση. Ταυτόχρονα, η σκόνη των καυτερών πιπεριών κυκλοφορεί στο εμπόριο μόνη ή σε ανάμειξη με σκόνη άλλων μπαχαρικών όπως μουστάρδα, σκόρδο, κόλιαντρο, κάρυ.

Παραγωγή ελαιορητίνης: οι ελαιορητίνες, που αποδίδουν το άρωμα, το χρώμα και την καυστικότητα, μπορεί να εξαχθούν μέσω διαλυτών. Κατόπιν χημικής επεξεργασίας, το τελικό προϊόν παραλαμβάνεται χωρίς την παρουσία διαλύτη. Οι ελαιορητίνες χρησιμοποιούνται ανάλογα με τον βαθμό καυστικότητας. Οι μη καυστικές χρησιμοποιούνται ως χρωστικές σε είδη όπως κρέας, σάλτσες για σαλάτες, ενώ παρουσία καυστικότητας χρησιμοποιούνται κυρίως για αρωματισμό και χρωματισμό φαγητών.

Η καψαϊκίνη στην καθαρή της μορφή δύνανται να αξιοποιηθεί από την φαρμακοβιομηχανία για την παραγωγή κρεμών και έμπλαστρων (θεραπεία τοπικών πόνων) (Ολύμπιος, 2015).

## 1.7.4 Η καψαϊκίνη

### 1.7.4.1 Το μόριο της καψαϊκίνης και η σύνθεση του

Η κύρια πηγή δριμύτητας των καρπών πιπεριάς προέρχεται από αλκαλοειδείς ενώσεις γνωστές ως καψαϊκινοειδή (CAPS), με κυριότερη την καψαϊκίνη (8-μεθυλ-N-βανιλυλ-6-εννεναμίδη) με μοριακό τύπο  $C_{18}H_{27}NO_3$ . Η καψαϊκίνη αποτελεί το 46 % των συνολικών CAPS, ακολουθούμενη από τη διϋδροκαψαϊκίνη με 41 %, ενώ σε μικρότερες ποσότητες εντοπίζονται η νορδϋδροκαψαϊκίνη (7 %), ομοκαψαϊκίνη (3 %) και ομοδιϋδροκαψαϊκίνη (2 %). Τα CAPS συνιστούν δευτερογενείς μεταβολίτες, που πιθανώς συμβάλλουν στην άμυνα έναντι μυκήτων και φυτοφάγων ζώων (Srinivasan, 2016). Η βιοσύνθεση της καψαϊκίνης πραγματοποιείται μέσω 2 διαφορετικών μεταβολικών οδών: του φαινυλοπροπανοειδούς, που προσδιορίζει τη φαινολική δομή, και του μεταβολισμού λιπαρών οξέων, που ρυθμίζει τα λιπαρά οξέα του μορίου (Ochoa-Alejo and Gomez-Peralta, 1993).

Η καθαρή καψαϊκίνη είναι μια υδρόφοβη, άχρωμη, άοσμη, κρυσταλλική ένωση, με σημείο τήξεως και βρασμού 63-65 °C και 210-220 °C αντίστοιχα, που απαντάται σε περιεκτικότητα 0,1-1 % στους καρπούς πιπεριάς (Srinivasan, 2016). Παρουσιάζει μέγιστο απορρόφησης UV στα 227 και 281 nm και είναι αδιάλυτη στο νερό, ενώ διαλύεται σε οργανικούς διαλύτες, βενζόλιο, αλκοόλη, αιθέρας, λιπαρά έλαια κ.ά. (Monsereenuorn et al., 1982). Η εξαγωγή του μορίου της καψαϊκίνης από ώριμους λοβούς, μέσω οργανικών διαλυτών, αναφέρεται ήδη από 1816 (Bucholtz), ενώ η απομόνωσή της σε κρυσταλλική μορφή έγινε το 1846, από τον Tresh ο οποίος της απέδωσε και την ονομασία της. Το 1878, αναφέρεται μέρος των βιολογικών ιδιοτήτων της, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης γαστρικών εκκρίσεων κατά την κατάποση και αίσθησης καυστικότητας στους βλενογόνους κατά την αφή, από τον Endre Hogyes. Τέλος, το 1930 έγινε για πρώτη φορά η σύνθεση του μορίου της καψαϊκίνης από τους Spath και Darling (Boe, 2009).

Το επίπεδο καυστικότητας των καρπών, λόγω της περιεκτικότητας CAPS, καθορίζεται από γενετικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες, με πλέον καθοριστική την περίοδο κατά την ωρίμανση των καρπών. Η περιεκτικότητά τους στις ποικιλίες καυτερών πιπεριών εμφανίζει σημαντική διακύμανση, ενώ η ποσότητα επηρεάζεται από την ένταση του φωτός, τη θερμοκρασία, την εδαφική υγρασία, το στάδιο

ωρίμανσης και τη θέση του καρπού στο φυτό (Peter, 2012). Συγκεκριμένα, έχει αναφερθεί η ύπαρξη σημαντικής παραλλακτικότητας ως προς τη συνολική ποσότητα CAPS σε ομοζύγωτους γονοτύπους, υποδηλώνοντας τη σημαντική περιβαλλοντική επίδραση (Harvell and Bosland 1997). Με δεδομένο ότι ο βαθμός καυστικότητας αυξάνει κατά την επικράτηση περιβαλλοντικών καταπονήσεων (Lindsay and Bosland, 1995), ο έλεγχος των αγροκλιματικών συνθηκών μπορεί να συμβάλλει στην, έως ένα βαθμό, στη ρύθμιση των επιπέδων CAPS. Επιπλέον, τα επίπεδα CAPS επηρεάζονται δραστικά από τη θέση του καρπού, με υψηλότερα επίπεδα να απαντώνται σε αυτούς που παράγονται από τον 2<sup>ο</sup> κόμβο, γεγονός που πιθανώς σχετίζεται με τον αριθμό των καρπών (Zewdie and Bosland, 2000). Κατά τη φάση ανάπτυξης των καρπών, η οποία αρχικά είναι αργή και έπειτα αυξάνει, η συσσώρευση καψαϊκίνης συμβαίνει πριν τη ραγδαία αύξηση του μήκους, ενώ η διάρκειά σύνθεσης καθορίζεται από την ποικιλία. Όταν μεγιστοποιηθεί η συγκέντρωσή της, παραμένει σταθερή και σπάνια μειώνεται (Kirschbaum-Titze et al., 2002). Τα CAPS συντίθενται και συσσωρεύονται στα επιδερμικά κύτταρα του πλακούντα. Εκκρίνονται στο εξωτερικό κυτταρικό τοίχωμα και αποθηκεύονται σε δομές γνωστές ως ‘‘φουσκάλες’’ (Aza-González et al., 2011). Οι σπόροι λόγω της εγγύτητάς τους με τον πλακούντα απορροφούν περιστασιακά καψαϊκίνη, χωρίς ωστόσο να αποτελούν πηγή καυστικότητας, ενώ τα υπόλοιπα φυτικά μέρη δεν αποτελούν παραγωγούς της (Bosland, 1996).

Η συγκέντρωση της καψαϊκίνης αυξάνεται σταδιακά κατά την ανάπτυξη των καρπών και μεγιστοποιείται σε 40-50 μέρες. Σύμφωνα με αναφορές, η αύξηση της συγκέντρωσης CAPS συμπίπτει με τη μείωση της δραστηριότητας της υπεροξειδάσης, και το αντίστροφο, υποδηλώνοντας την αντιστρόφως ανάλογη σχέση τους και την εμπλοκή των ενζύμων της υπεροξειδάσης στην αποικοδόμηση των καψαϊκινολοιδών (Contreras-Padilla and Yahia, 1998). Τελικώς, λόγω της δράσης της υπεροξειδάσης τείνει να αποικοδομηθεί σε δευτερεύουσες ουσίες (Bernal and Ros Barceló, 1996). Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί πως δεν είναι ακόμα πλήρως κατανοητός ο ρόλος των γονιδίων και ενζύμων που ρυθμίζουν τη βιοσύνθεση των καψαϊκινολοιδών καθώς και ο τρόπος με τον οποίο εν τέλει διαμορφώνεται η φαινοτυπική παραλλακτικότητα ως προς την καυστικότητα στους καρπούς πιπεριάς (Aluru et al, 2003).

#### 1.7.4.2 Σύνθεση της καψαϊκίνης και υδατική καταπόνηση

Είναι ευρέως γνωστό ότι η πιπεριά είναι ευαίσθητο είδος σε συνθήκες λειψυδρίας, ιδιαίτερα κατά την ανθοφορία και την καρπόδεση, όπου συχνά παρατηρείται πτώση των ανθέων και των ανώριμων λοβών. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι τα φυτά που υπόκεινται σε υδατική καταπόνηση παράγουν καρπούς με αυξημένο επίπεδο καυστικότητα (Bosland, 1992). Μάλιστα, έχει αναφερθεί ότι η αυξημένη συγκέντρωση των CAPS κατά την εφαρμογή υδατικής καταπόνησης αποδίδεται σε μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στο βιοχημικό μονοπάτι του φαινυλοπροπανοειδούς (Estrada et al, 1999). Επιπλέον, αυξάνεται η λειτουργικότητα ενζύμων όπως φαινυλαλανίνη αμμωνία-λυάση (PAL), κινναμικό οξύ-4-υδροξυλάση (C4H) και CS, που εμπλέκονται στη βιοσύνθεση της καψαϊκίνης (Sung et al., 2005).

#### 1.7.4.3 Χρήσεις της καψαϊκίνης

Τα καψαϊκινειδή χαρακτηρίζονται από πληθώρα εφαρμογών. Η ιατρική χρήση των καυτερών τύπων πιπεριάς έχει μακρόχρονη ιστορία καθώς χρησιμοποιούνταν από τους Μάγια για την αντιμετώπιση του πόνου, του βήχα και του άσθματος, ενώ οι Αζτέκοι ανακούφιζαν τον πονόδοντο (Bosland, 1996).

Σύμφωνα με πλήθος ερευνών, η εφαρμογή των καψαϊκινειδών παρέχει σημαντικά οφέλη για την ανθρώπινη υγεία, όπως έλεγχο της δυσπεψίας, μείωση των επιπέδων οξειδωτικού στρες, της φλεγμονής, του πόνου, της πρόσληψης λίπους και σωματικού βάρους, ενώ έχει αναφερθεί και λειτουργία τους ως αντι-υπερτασικών, αντιδιαβητικών και αντί-αθηροσκληρωτικών παραγόντων (Anand & Bley, 2011; Chung & Campbell, 2016; Bogusz et al., 2018; Baenas et al., 2019).

Η καψαϊκίνη, λόγω της αναλγητικής, αντιαρθριτικής, αντικαταθλιπτικής, αντιξειδωτικής και αντικαρκινικής της δράσης (Narasimha et al., 2006) έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον της φαρμακοβιομηχανίας. Συγκεκριμένα, έχει ήδη αξιοποιηθεί για τη μείωση της χοληστερόλης στον ορό του αίματος, στο μυοκάρδιο και στην αορτή, την ανακούφιση πόνων οφειλόμενων σε ρευματοειδή αρθρίτιδα, μεταθετική νευράλγια, διαβητική νευροπάθεια, ψωρίαση, αιδοιοκολίτιδα, σύνδρομο αντανάκλαστικής συμπαθητικής δυστροφίας. Επίσης, η εφαρμογή της επιδρά θετικά σε δερματολογικές παθήσεις, καρδιαγγειακές και γαστρεντερικές διαταραχές, παχυσαρκία κ.ά. (Fattori et al., 2016; Baenas et al., 2019). Παράλληλα, αναφορές υποστηρίζουν την αντιμικροβιακή της δράση έναντι Gram-θετικών/αρνητικών

βακτηρίων (Stephen & Kumar, 2014; Bacon et al., 2017; Baenas et al., 2019). Τέλος, έχει προταθεί ότι τα υποπροϊόντα της πιπεριάς δύνανται να αξιοποιηθούν για τον έλεγχο των παθογόνων μικροοργανισμών και τη συντήρηση τροφίμων προς αποφυγή της χρήσης συνθετικών συντηρητικών (Nazzaro et al., 2009).

## 1.8. Εχθροί και Ασθένειες

Είναι αδιαμφισβήτητο ότι οι απώλειες απόδοσης σε καλλιέργειες πιπεριάς αποδίδονται σε μεγάλο βαθμό σε φυτοπαθογόνους μικροοργανισμούς, όπως βακτήρια, μύκητες και ιούς, οι οποίοι συχνά οδηγούν σε δραστική μείωση της απόδοσης αλλά και σε υποβάθμιση της ποιότητας, μέσω μετασυλλεκτικών προσβολών των καρπών (Chadha, 2003). Ακολουθεί, η παράθεση των κύριων παθογόνων που προσβάλλουν την πιπεριά (Gupta and Paul, 2002; Chadha, 2003; Gupta and Thind, 2006):

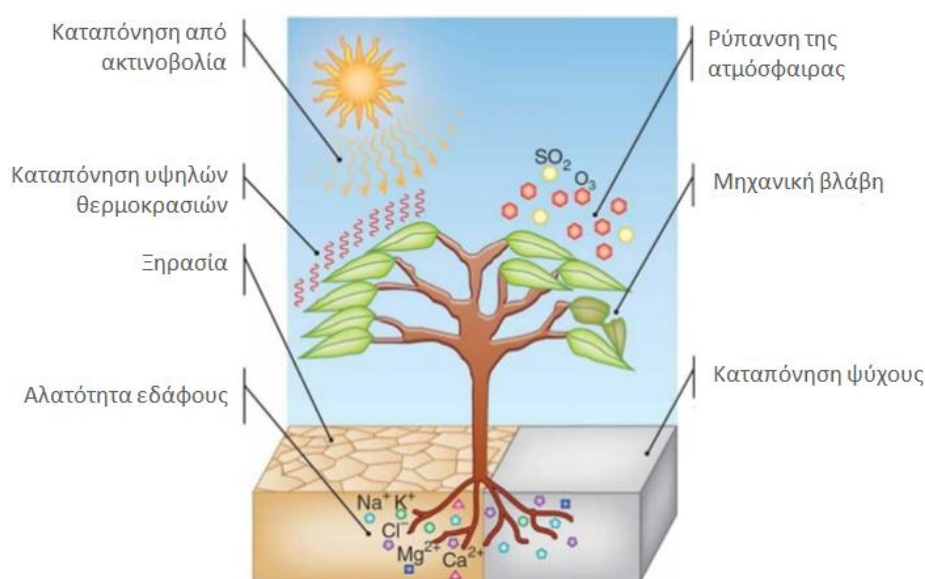
- Μυκητολογικές ασθένειες: περιλαμβάνουν τις σηψιρριζίες-σήψη λαιμού, που προκαλούνται από τους μύκητες *Pythium aphanidermatum* και *Phytophthora* spp., τις κηλίδες των φύλλων (*Cercospora capsici* και *Alternaria solani*, *Septoria lycopersici*), την ανθράκωση και ώριμη σήψη (*Colletotrichum capsici*), τη σήψη καρπών και καπνιά φύλλων (*Phytophthora* spp.), το ωίδιο (*Erysiphe cichoracearum* και *Leveillula taurica*), την πρόιμη καπνιά και σηψιρριζίες (*Alternaria solani*), το μαρασμό (*Fusarium oxysporum*), τη σήψη οφθαλμών (*Phaeoramularia capsicicola*), τις κηλίδες των καρπών (*Phoma destructiva*), τη σήψη βλαστών (*Macrophomina phaseoli*), την ξηρή σήψη (*Sclerotium rolfsii*) και τη σήψη των καρπών (*Phomopsis* spp.).

Σε μετασυλλεκτικό επίπεδο, οι προσβολές προέρχονται από τους φυτοπαθογόνους μύκητες: *Aspergillus terreus*, *A. candidus*, *A. niger*, *F. moniliforme*, *F. sporotrichoides*, *Paecilomyces variotii* και *Penicillium corylophilum*.

- Βακτηριακές προσβολές: οφείλονται στα φυτοπαθογόνα βακτήρια *Xanthomonas vesicatoria* και *Pseudomonas syringae* pv *capsici*.
- Ιολογικές ασθένειες: οι πιπεριές προσβάλλονται από αρκετούς ιούς, με πλέον σημαντικούς τους *Tobacco mosaic virus* (TMV), *Cucumber mosaic virus* (CMV) και τον ιό που προκαλεί το καρούλιασμα των φύλλων, ο οποίος μεταφέρεται μέσω του θρίπα *Scirtothrips dorsalis* (Πετρόπουλος, 2020).

## 1.9. Αβιοτικές καταπονήσεις

Αδιαμφισβήτητα, οι περιβαλλοντικοί παράγοντες επενεργούν αρνητικά τόσο στην ανάπτυξη των φυτών όσο και στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Ο βιολογικός κύκλος των φυτικών οργανισμών συχνά επηρεάζεται από πλήθος χημικών και φυσικών παραγόντων αβιοτικής καταπόνησης, που παρουσιάζουν τόσο χρονικές όσο και χωρικές αποκλίσεις. Βάσει των δυνητικών επιπτώσεων στην ανάπτυξη και αναπαραγωγή των φυτών, στις κυριότερες αβιοτικές συνθήκες συγκαταλέγεται η εδαφική υγρασία (περίσσεια ή έλλειψη), οι ακραίες θερμοκρασίες (υψηλές ή χαμηλές), η υψηλή αλατότητα, το φως (ένταση, διάρκεια) και η UV ακτινοβολία, η διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών (ανεπάρκεια ή τοξικότητα), τα βαρέα μέταλλα και η ατμοσφαιρική συγκέντρωση CO<sub>2</sub> και O<sub>2</sub> (Εικόνα 1.4). Είναι αξιοσημείωτο ότι σύμφωνα με αναφορές, λιγότερο από το 10 % της συνολικής καλλιεργούμενης έκτασης παραμένει ανεπηρέαστο από τον αντίκτυπο των περιβαλλοντικών καταπονήσεων, με αυτές τις ξηρασίας και τις αλατότητας να είναι οι πιο συνήθεις (Ashraf, 1994; Dudal 1976). Εκτιμάται πως το 45 % των γεωργικών εκτάσεων υπόκεινται σε συνεχή ή συχνή ξηρασία, όπου το 38 % του παγκόσμιου ανθρώπινου πληθυσμού κατοικεί (Bot et al., 2000), ενώ ο Flowers (1997) αναφέρει πως περίπου το 6 % τους παγκόσμιας έκτασης πλήττεται από καταπόνηση υψηλής αλατότητας.



**Εικόνα 1.4:** Τα φυτά ως μέρη του οικοσυστήματος υπόκεινται σε πληθώρα αβιοτικών καταπονήσεων. (Τροποποίηση εικόνας από Vickers et al. A unified mechanism of action for volatile isoprenoids in plant abiotic stress. *Nature Chemical Biology*, 2009, 5: 283–291).



Η καταπόνηση ξηρασίας θεωρείται τους από τους βασικότερους περιοριστικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη και απόδοση των καλλιεργειών (Grand et al., 2014). Συνεπώς, η βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών προϋποθέτει την εις βάθος κατανόηση των αποκρίσεων των φυτών υπό συνθήκες λειψυδρίας σε περιοχές όπου το ύψος βροχοπτώσεων είναι επισφαλές για την απρόσκοπτη ανάπτυξη και επίτευξη του δυναμικού απόδοσής τους (Passioura, 2007).

Δεδομένης της αδυναμίας μετακίνησης προς ευνοϊκότερα περιβάλλοντα, τα φυτά έχουν αναπτύξει μία ποικιλία συστημάτων προσαρμογής και απόκρισης έναντι των συνθηκών καταπόνησης που τείνουν να παρεμποδίζουν την εύρυθμη φυσιολογική λειτουργία. Προκειμένου να παραμείνει αδιάλειπτη η διαδικασία αύξησης και αναπαραγωγής τους, έχουν αναπτύξει ικανότητες αντιστάθμισης των δυσλειτουργιών που ανακύπτουν λόγω της επίδρασης συνθηκών καταπόνησης. Οι συνέπειες της καταπόνησης αντανακλώνται κυρίως στο παραγόμενο προϊόν, το ρυθμό πρόσληψης θρεπτικών συστατικών ή CO<sub>2</sub>, τη συσσώρευση βιομάζας και τη δυνατότητα επιβίωσης.

Αν οι επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες υπερβούν το όριο που καθορίζει την απρόσκοπτη ανάπτυξη του φυτού (βέλτιστα όρια ανάπτυξης), παρουσιάζονται δυσλειτουργίες τόσο σε βιοχημικό όσο και σε φυσιολογικό επίπεδο, οδηγώντας σε απόκλιση από τις βέλτιστες συνθήκες ανάπτυξης και εμφάνιση συμπτωμάτων καταπόνησης. Ωστόσο, δε διακόπτεται ο βιολογικός κύκλος των φυτών καθώς τα όρια βιολογικής δραστηριότητας εμπίπτουν σε ένα ευρύ φάσμα τιμών. Αντίθετα, στις περιπτώσεις όπου οι περιβαλλοντικές συνθήκες υπερβούν την ανοχή του οργανισμού στην εν λόγω καταπόνηση, παρατηρούνται μόνιμες βλάβες στο φυτικό ιστό, με αποτέλεσμα να καθίσταται αδύνατη η ολοκλήρωση του βιολογικού κύκλου (θανατηφόρα όρια βιολογικής δραστηριότητας).

Ο αρνητικός αντίκτυπος ενός παράγοντα καταπόνησης δεν εστιάζεται συνήθως μόνο σε μια φυσιολογική λειτουργία του φυτού, ενώ η αλληλεπίδραση πολλών δυσμενών περιβαλλοντικών συνθηκών είναι δυνατό να προκαλέσει πολύπλοκες φυσιολογικές αντιδράσεις. Ανάλογα με το βιολογικό κύκλο του φυτού, δηλαδή αν αυτό είναι ετήσιο ή πολυετές, παρατηρούνται διαφορετικές αποκρίσεις στις αβιοτικές καταπονήσεις. Τα φυτά που ολοκληρώνουν τον βιολογικό τους κύκλο σε μια περίοδο, μεταβάλλουν τις μεταβολικές τους δραστηριότητες έτσι ώστε να παραχθεί ο μέγιστος αριθμός βιώσιμων σπερμάτων. Αντίθετα, στα πολυετή φυτά, που χαρακτηρίζονται από

δυνατότητα παραγωγής σπερμάτων σε πολλαπλές περιόδους, προάγεται η βέλτιστη αποθήκευση θρεπτικών στοιχείων ώστε να καταστεί εφικτή η επιβίωσή τους σε βάρος της παραγωγής βιώσιμων σπερμάτων. Συμπερασματικά, η απόκριση των αναπτυξιακών προγραμμάτων των φυτών υπό συνθήκες αβιοτικής καταπόνησης συχνά προϋποθέτει επαναπρογραμματισμό μεταξύ βλαστικής και αναπαραγωγικής αύξησης.

### **1.9.1 Εγκλιματισμός και Προσαρμογή**

Σε συνθήκες καταπόνησης τα φυτά υπόκεινται σε μορφολογικές και φυσιολογικές μεταβολές προκειμένου να διαφυλάξουν την ικανότητα επιβίωσης και αναπαραγωγής. Το φαινόμενο όπου παρατηρείται βελτίωση στην ανοχή ως προς την επαναλαμβανόμενη έκθεση σε έναν ή περισσότερους παράγοντες καταπόνησης, κατά τη διάρκεια του βιολογικού κύκλου ενός φυτικού οργανισμού, ονομάζεται εγκλιματισμός. Ο εγκλιματισμός αντιπροσωπεύει τις επίκτητες τροποποιήσεις σε δομικό και λειτουργικό επίπεδο ενός μεμονωμένου ατόμου που οφείλονται στις αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες, χωρίς ωστόσο να επηρεάζουν το γονιδίωμα του.

Οι επαγόμενες αποκρίσεις υπόκεινται στο γενετικά καθορισμένο χαρακτηριστικό της ικανότητας εγκλιματισμού του φυτού, με πολλές εξ αυτών να εμφανίζουν αναστρέψιμη δράση και να είναι μη κληρονομήσιμες. Αξίζει ωστόσο να αναφερθεί και η δράση επιγενετικών μηχανισμών, οι οποίοι τροποποιούν στοχευμένα την έκφραση των γονιδίων, χωρίς ταυτόχρονα να επηρεάζονται τα γονίδια *per se*, διευρύνοντας έτσι το χρονικό διάστημα εμφάνισης των αποκρίσεων εγκλιματισμού και μετατρέποντας τα σε κληρονομήσιμα χαρακτηριστικά. Οι αλλαγές αυτές μπορούν να χαρακτηριστούν ως προσαρμογή εφόσον καθορίζονται γενετικά σε έναν πληθυσμό φυτών για αρκετές γενεές και γίνονται ορατές μέσω της διαδικασίας της επιλογής. Η ικανότητα της προσαρμογής παρέχει τη δυνατότητα επιβίωσης των φυτών υπό την επικράτηση συνθηκών που χαρακτηρίζονται ως αποτρεπτικές για διαβίωση. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε περιοχές μεταλλείων με αφθονία αρσενικού, οι πληθυσμοί του πολυετούς αγρωστώδους *Holcus patanus* προσαρμόστηκαν μέσω γενετικών διεργασιών όπως η μειωμένη απορρόφησή του από το έδαφος, με αποτέλεσμα να καθίσταται εφικτή η επιβίωση του σε παρόμοιας σύστασης εδάφη.

Αντιθέτως, το χαρακτηριστικό εκλείπει σε πληθυσμούς οι οποίοι βρίσκονται σε μη μολυσμένες περιοχές.

Όπως προαναφέρθηκε σε πολλές περιπτώσεις είναι πιθανό να αλληλοεπιδρούν περισσότεροι του ενός παράγοντες καταπόνησης, όπου πιθανά, μέσω του εγκλιματισμού σε έναν παράγοντα καταπόνησης, να δημιουργηθούν κατάλληλες προϋποθέσεις για την επαγωγή ανθεκτικότητας σε έναν άλλον/άλλους. (Καραμπουρνιώτης et al., 2012; Taiz et al., 2015). Ως παράδειγμα αναφέρεται η υδατική καταπόνηση, η οποία δρα δυναμικά συνεργιστικά με αυτή της υψηλής θερμοκρασίας, ενισχύοντας τις ζημιώδεις επιδράσεις της. Επιπλέον, η καταπόνηση που επιφέρει η UV ακτινοβολία αλληλοεπιδρά δυναμικά ανταγωνιστικά με τη δράση των παθογόνων μικροοργανισμών καθώς οι τελευταίοι παράγουν δευτερογενείς μεταβολίτες που συμβάλλουν στην άμυνα τους (διασταυρούμενη ανθεκτικότητα). Ωστόσο, υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες η επίδραση ενός παράγοντα καταπόνησης δεν επηρεάζει ενδεχομένως τη δράση ενός άλλου (Mittler, 2006).

Η απόκριση των φυτών σε δυσμενείς συνθήκες περιλαμβάνει 3 στάδια και προϋποθέτει την ενεργοποίηση μηχανισμών αντίληψης του ερεθίσματος και μεταβίβασης του σήματος, το οποίο εξειδικεύεται ανάλογα με την καταπόνηση στην οποία. Σε πρώτη φάση, απαιτείται από μέρους των φυτών η κατανόηση των αλλαγών που συμβαίνουν στο εξωτερικό τους περιβάλλον (ακραίες θερμοκρασίες, παρουσία διεγερτών) μέσω εξειδικευμένων αισθητήρων. Η αντίληψη του κατάλληλου ερεθίσματος μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα. Απόρροια των ανωτέρω, είναι η έναρξη διαδικασιών μεταγωγής ενός εσωτερικού σήματος ως προς τα μέρη του φυτού που τελικώς θα εκδηλωθεί η αντίδραση. Η διαβίβαση του σήματος συμβαίνει τόσο μεταξύ διαφορετικών κυτταρικών περιοχών όσο και διαφορετικών κυττάρων. Συχνά, ενισχύεται η ένταση του σήματος και παρουσιάζεται το φαινόμενο της διασταυρούμενης επικοινωνίας μεταξύ μηχανισμών διαβίβασης διαφορετικών σημάτων. Τα βιοχημικά μονοπάτια μετάδοσης του σήματος περιέχουν πλήθος συστατικών του κυττάρου όπως πρωτεϊνικές κινάσες, πρωτεϊνικές φωσφατάσες, ιόντα  $Ca^{2+}$ , μεταγραφικούς ρυθμιστές, φυτικές ορμόνες, ROS κ.ά. Το στάδιο μεταβίβασης διακρίνεται για την έκφραση γονιδίων που οδηγούν σε σύνθεση οικογενειών πρωτεϊνών, γνωστές ως πρωτεΐνες καταπόνησης, ή σε μεταβολικές τροποποιήσεις, οι οποίες οδηγούν σε μεταβολή της δράσης προ υπαρχόντων ενζυμικών μορίων. Οι ανωτέρω μεταβολές παρέχουν τη δυνατότητα απρόσκοπτης συνέχισης της αύξησης

και αναπαραγωγής υπό αντίξοες συνθήκες ή απλώς την ικανότητα επιβίωσης έως ότου παρέλθουν οι δυσμενείς συνθήκες. Στο τρίτο στάδιο, γίνονται ορατά τα αποτελέσματα της απόκρισης των φυτών στο εξωτερικό ερέθισμα. Είναι σημαντικό ωστόσο να αναφερθεί ότι οι αποκρίσεις του φυτού διαμορφώνονται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της καταπόνησης/ερεθίσματος και ειδικότερα το είδος, την ένταση και το χρόνος δράσης της (Καραμπουρνιώτης et al., 2012; Taiz et al., 2015).

Η σύνθετη διαδικασία απόκρισης του φυτού στις αβιοτικές καταπονήσεις εμπλέκει πλήθος γονιδίων και βιοχημικών και μοριακών μηχανισμών. Στο επίπεδο αυτό, η ανάλυση της γονιδιακής έκφρασης συμβάλλει στην κατανόηση των μηχανισμών που επάγονται υπό συνθήκες αβιοτικής καταπόνησης αλλά και τις δυνατότητες αξιοποίησής τους για τη βελτίωση της ανοχής των καλλιεργειών έναντι καταπονήσεων. Υπολογίζεται πως εκατοντάδες γονιδίων συμμετέχουν στην απόκριση των αβιοτικών καταπονήσεων που υφίστανται οι φυτικοί οργανισμοί (Seki et al., 2003; Avni Öktem et al., 2008).

Οι στρατηγικές που εφαρμόζουν τα φυτά σε απόκριση των αβιοτικών καταπονήσεων προϋποθέτουν τη σύνθεση συγκεκριμένων μορίων / πρωτεϊνών που εμπλέκονται στη σύνθεση οσμοπροστατευτικών και ρυθμιστικών πρωτεϊνών που λειτουργούν σε οδούς μεταγωγής σήματος, όπως οι κινάσες και οι μεταγραφικοί παράγοντες (TFs). Οι TFs επηρεάζουν την έκφραση πληθώρας γονιδίων, ενώ παράλληλα, μέσω της σύνδεσής τους στον προωθητή ενός γονιδίου που κωδικοποιεί έναν άλλον TF, έχουν τη δυνατότητα μεταβολής της έκφρασής του (υπερ- ή υπό-έκφραση). Η συνδυασμένη δράση διαφορετικών TFs, μέσω της επαγωγής ή καταστολής των γονιδίων, οδηγεί στη δημιουργία των μεταγραφικών ρυθμιστικών δικτύων, γνωστών ως "ρυθμιστόνια" (ρεγουλόνια) απόκρισης υπό συνθήκες καταπόνησης (stress-response regulons). Έχουν ταυτοποιηθεί τουλάχιστον τέσσερις διαφορετικοί ρυθμιστές με σημαντικό ρόλο στην απόκριση έναντι αβιοτικών καταπονήσεων, ένας εκ των οποίων είναι ο τύπος NAC TF OsNAC6 που εμφανίζει ενεργό ρόλο κατά την επικράτηση ξηρασίας, ψύχους και υψηλής αλατότητας (Nakashima et al., 2007; Taiz et al., 2015).

### **1.10. Υδατική καταπόνηση**

Η εδαφική υγρασία αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αύξηση, ανάπτυξη και επιβίωση των φυτικών οργανισμών. Είναι αξιοσημείωτο ότι μικρό μόνο ποσοστό του

νερού που προσλαμβάνεται από τα φυτά, περί το 2 %, χρησιμοποιείται για διεργασίες που σχετίζονται με την αύξηση του όγκου των κυττάρων, ενώ περίπου 97 % καταλήγει στην ατμόσφαιρα, κυρίως μέσω της αναπνοής. Τέλος, το 1 % χρησιμοποιείται για την κάλυψη των αναγκών μεταβολικών διεργασιών, όπως αυτής της φωτοσύνθεσης. Αν και αποτελεί τον κυριότερο πόρο, η διαθεσιμότητα του νερού είναι περιορισμένη (Taiz et al., 2015).

Η ανεπάρκεια εδαφικής υγρασίας συνιστά μία από τις πλέον διαδεδομένες αβιοτικές καταπονήσεις που επηρεάζουν καθοριστικά την αύξηση και ανάπτυξη των φυτών (Aslam et al., 2006). Σύμφωνα με τον Wang (2003), η μείωση της μέσης απόδοσης των καλλιεργειών, κατά 50 %, αποδίδεται στην ανεπάρκεια νερού. Η υδατική καταπόνηση εκφράζεται ως αφυδάτωση και ως τοξικότητα, λόγω ωσμωτικού στρες που προέρχεται από τα αυξημένα επίπεδα ιόντων. Και στις δύο περιπτώσεις, κοινό φαινόμενο αποτελεί η διαμόρφωση χαμηλού υδατικού δυναμικού στο εδαφικό διάλυμα. Ως ξηρασία ορίζεται η συνδυασμένη επίδραση της ανεπάρκειας διαθέσιμης υγρασίας στην ατμόσφαιρα και στο έδαφος, που ποικίλει ανάλογα με τον εδαφικό τύπο και την ικανότητα συγκράτησης νερού, και της απώλειας νερού λόγω της εξατμισοδιαπνοής (Καραμπουρνιώτης et al., 2012; Taiz et al., 2015).

### **1.10.1 Στρατηγικές αντιμετώπισης της υδατικής καταπόνησης**

Οι φυτικοί οργανισμοί έχουν αναπτύξει τρεις κύριες στρατηγικές αντιμετώπισης της υδατικής καταπόνησης: τη διαφυγή, την αποφυγή και την ανθεκτικότητα.

**Διαφυγή:** Η στρατηγική αυτή αφορά σε προσαρμογή των φυτών ώστε να ολοκληρώνουν το βιολογικό τους κύκλο εντός των περιβαλλοντικών συνθηκών που ευνοούν την διαθεσιμότητα νερού, ενώ κατά τη διάρκεια δυσμενών συνθηκών επιβιώνουν μέσω ληθαργικών μορφών (σπέρματα). Στην κατηγορία αυτή ανήκουν ετήσια φυτά που εμφανίζουν μειωμένη ικανότητα απόκρισης, μέσω εγκλιματισμού ή προσαρμογής, υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Επίσης, ανήκουν φυτά που παραμένουν εν μέρει βιολογικά δραστήρια κατά την επικράτηση καταπόνησης (γεώφυτα), ελαχιστοποιώντας έτσι τις απώλειες ύδατος. Η στρατηγική της διαφυγής απαντάται σε φυτά που χαρακτηρίζονται ως υγρόφυτα ή μεσόφυτα. Ο συνδυασμός του ταχύρρυθμου εφοδιασμού των φύλλων με νερό και η κατασκευή των αγγείων και στομάτων, που ευνοούν την αποτελεσματική διαχείριση των θρεπτικών στοιχείων και

την υψηλή φωτοσυνθετική δραστηριότητα, συμβάλλουν σε εξοικονόμηση νερού. Όμως, σε περιπτώσεις αβιοτικών καταπονήσεων θεωρείται αμφίβολη η ασφαλής μεταφορά του νερού καθώς ο κίνδυνος πρόκλησης εμβολών αυξάνεται κατακόρυφα. Σημειώνεται ωστόσο ότι τα σπέρματα των συγκεκριμένων φυτών, που εξασφαλίζουν τη διαίωσιση του είδους, εφαρμόζουν την στρατηγική της ακραίας ανθεκτικότητας, εν αντιθέσει με τα ίδια φυτά που είναι ευαίσθητα στην υδατική καταπόνηση (Καραμπουρνιώτης et al., 2012). Σύμφωνα με τον Mooney et al. (1987), η επιτυχία της συγκεκριμένης στρατηγικής έγκειται στο γεγονός ότι η γονιμοποίηση λαμβάνει χώρα πριν την έναρξη της ξηρασίας.

**Αποφυγή:** Αφορά τα φυτά που σε συνθήκες έλλειψης νερού προσαρμόζονται ώστε να διατηρούν το υδατικό δυναμικό των κυττάρων σε σχετικά υψηλά επίπεδα, με αποτέλεσμα να μην υπόκεινται σε αφυδάτωση. Η βασική στρατηγική που ακολουθείται εμφανίζει δύο παραλλαγές.

A. Αποφυγή με οικονομία νερού: Κύριο στόχο αποτελεί η εξοικονόμηση και η διαφύλαξη των περιορισμένων αποθεμάτων νερού. Τα φυτά δύνανται να περιορίσουν τις διαπνευστικές τους απώλειες, ενώ παράλληλα διασφαλίζεται η ικανότητα αφομοίωσης CO<sub>2</sub> από την ατμόσφαιρα, ώστε κατά επικράτηση συνθηκών ξηρασίας τα κύτταρα να διατηρούν υψηλό υδατικό δυναμικό. Η στρατηγική της αποφυγής καθορίζεται από συγκεκριμένες μορφολογικές και φυσιολογικές προσαρμογές, ως ακολούθως:

- i) Στα μορφολογικά χαρακτηριστικά που συνιστούν φραγμό στις διαπνευστικές απώλειες νερού και συμβάλλουν στην αποφυγή υπερθέρμανσης του ελάσματος εντάσσονται η παχιά εφυμενίδα, η κάλυψη των επιφανειών με στρώματα τριχών, η κάλυψη των στομάτων από στρώματα κηρών ή η τοποθέτηση τους σε κρύπτες.
- ii) Κλείσιμο των στομάτων κατά την περίοδο που ευνοείται η απώλεια νερού.
- iii) Άνοιγμα στομάτων κατά τις νυχτερινές ώρες (φυτά τύπου CAM), ιδιόμορφη μεταβολική δραστηριότητα.
- iv) Αποθήκευση νερού σε κατάλληλους ιστούς (έχει παρατηρηθεί σε κορμούς και κυτταρικά τοιχώματα).
- v) Ύπαρξη βλαστών, οι οποίοι συμμετέχουν καθοριστικά στη φωτοσύνθεση.

- vi) Αρχιτεκτονική του φυτού -μικρότερο μέγεθος, τροποποιημένο σχήμα- και πυκνότερα κατανεμημένα στόματα που αυξάνουν το βαθμό ελέγχου της διαπνοής. Παράλληλα, η ανατομία των βοθρίων και τα στενότερα αγγεία του ξύλου μειώνουν τη ροή του νερού.
- vii) Ελαχιστοποίηση της επιφάνειας των οργάνων που έρχονται σε επαφή με την ατμόσφαιρα.

**B. Αποφυγή με κατανάλωση νερού:** Βασικό μέσο αποτελεί η ικανότητα αποτελεσματικής πρόσληψης νερού από το περιβάλλον. Προς την επίτευξη του στόχου αυτού συμβάλλουν συγκεκριμένα μορφολογικά και φυσιολογικά γνωρίσματα, όπως η απορρόφηση νερού από υπέργεια όργανα (φύλλα, βλαστοί, εναέριες ρίζες επιφύτων), η αύξηση του λόγου υπόγειου/υπέργειου τμήματος, όπου προάγεται η ανάπτυξη ριζικού συστήματος. Τέλος, αυξάνει ο αριθμός των αγωγών ιστών μεταφοράς νερού, με στόχο την αύξηση της αγωγιμότητάς του, και προάγεται η ταχεία άντληση του νερού, μέσω της δυνατότητας επίτευξης χαμηλού υδατικού δυναμικού στη ρίζα (Καραμπουρνιώτης et al., 2012). Βάσει των ανωτέρω, προκύπτει ότι η στρατηγική της αποφυγής έγκειται στη διατήρηση της ενυδάτωσης των κυττάρων υπό συνθήκες έλλειψης νερού, και ταυτόχρονα στη μείωση των απωλειών νερού και στη μεγιστοποίηση της ικανότητας πρόσληψής του (Chaves et al., 2003).

**Ανθεκτικότητα:** Η συγκεκριμένη στρατηγική αποσκοπεί στη διατήρηση της σπαργής των κυττάρων, μέσω της μείωσης του υδατικού δυναμικού τους, ώστε να διατηρηθεί ο βασικός κυτταρικός μεταβολισμός (Touchette et al., 2007). Τα φυτά που ανήκουν στην κατηγορία χαρακτηρίζονται από δυναμική ικανότητα προσαρμογής ή εγκλιματισμού ελλείψει νερού. Παρατηρείται συσσώρευση οσμωτικά ενεργών μεταβολιτών στους φυτικούς ιστούς ώστε το οσμωτικό δυναμικό να διαμορφώνεται σε χαμηλότερα επίπεδα. Απόρροια της οσμωτικής εξισορρόπησης είναι η δημιουργία χαμηλότερου δυναμικού στους ιστούς, επιτρέποντας την πρόσληψη νερού και τη διατήρηση ανεκτής πίεσης σπαργής. Η αυξημένη συσσώρευση αφορά σε οργανικές ενώσεις και ανόργανα ιόντα ( $K^+$ ). Χαρακτηριστική είναι η ετερογενής ομάδα των οργανικών ουσιών η οποία περιλαμβάνει εξαιρετικά ευδιάλυτα μόρια, όπως αμινοξέα (προλίνη), σάκχαρα -κυρίως του τύπου πολύ-υδροξυ αλκοολών (μαννιτόλη, πινιτόλη, σορβιτόλη) και ενώσεις του τεταρτοταγούς αμμωνίου (βεταΐνη της αλανίνης, βεταΐνη

της γλυκίνης, βεταΐνη της προλίνης) καθώς και πρωτεΐνες όψιμης εμβρυογένεσης (LEA proteins) (Hong-Bo et al., 2005; Καραμπουρνιώτης et al., 2012). Οι συγκεκριμένες οργανικές ουσίες αποκαλούνται και ως συμβατοί οσμωλύτες καθώς η συσσώρευσή τους δεν προκαλεί μεταβολικές διαταραχές και, εκτός της οσμωτικής εξισορρόπησης, συμβάλλουν στην προστασία ευαίσθητων μορίων από την αφυδάτωση, όπως πρωτεΐνες που προλαμβάνεται η μετουσίωσή τους (Καραμπουρνιώτης et al., 2012). Η οσμωρρύθμιση είναι αποτέλεσμα της από κοινού δράσης των συσσωρευμένων οσμωλυτών στο κυτόπλασμα, των πρωτεϊνικών διαύλων και υδατοπορινών στο χυμοτόπιο (Bray, 1997). Αξίζει να αναφερθεί πως ορισμένοι συμβατοί οσμωλύτες, όπως η προλίνη, η σορβιτόλη και η μενιτόλη, εξουδετερώνουν ελεύθερες ρίζες οξυγόνου (ROS) δρώντας και ως αντιοξειδωτικές ουσίες (Καραμπουρνιώτης et al., 2012). Συγκεκριμένα, σε συνθήκες λειψυδρίας η βιοσυσσώρευση προλίνης αποτελεί την πρώτη απόκριση των φυτών, η οποία συμβάλλει στην αποφυγή του τραυματισμού των κυττάρων (Okunlola et al., 2016).

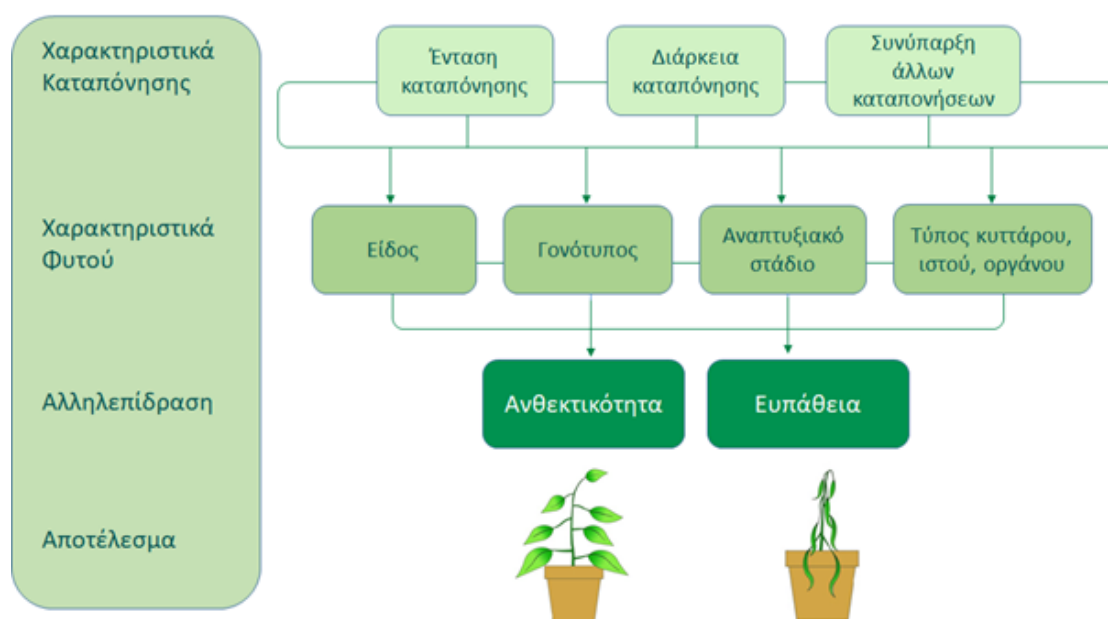
Πέραν της οσμωρρύθμισης, τα φυτά που χαρακτηρίζονται ως ανθεκτικά έχουν αναπτύξει έτερες μορφολογικές και φυσιολογικές αποκρίσεις που επιτρέπουν την επιβίωση των κυττάρων τους, παρά το χαμηλό υδατικό δυναμικό τους, για παρατεταμένα χρονικά διαστήματα. Μονοκύτταροι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί, όπως τα βρυόφυτα, σε συνθήκες εκτεταμένης λειψυδρίας έχουν την ικανότητα επιδιόρθωσης των κυτταρικών βλαβών, που προκλήθηκαν λόγω αφυδάτωσης, όταν το περιβάλλον καθίσταται ευνοϊκό. Η ικανότητα μετατροπής των μεταγραφημάτων (mRNA) που σχετίζονται με την αφυδάτωση σε σύμπλοκα με πρωτεΐνες (mRNPs) που έχουν προστατευτικό ρόλο, αποτελεί σημαντική δίοδο προσαρμογής των φυτών υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Η εν λόγω απόκριση προσβλέπει στην άμεση διαθεσιμότητα των μεταγραφημάτων προκειμένου να γίνει άμεση αποκατάσταση των βλαβών. Στους ανώτερους φυτικούς οργανισμούς ανήκουν είδη τα οποία εποίκίζουν ξηρές περιοχές του πλανήτη (πχ νότια Αφρική, κεντρική Ασία) και χαρακτηρίζονται από ικανότητα επιβίωσης σε συνθήκες σχεδόν ολικής αφυδάτωσης των κυττάρων τους, μέσω της μετάβασης στη κατάσταση αναβίωσης. Κατά την κατάσταση αναβίωσης αντικαθίσταται το νερό των χυμοτόπιων με συμβατούς οσμωλύτες και πραγματοποιούνται αντιστρεπτές μεταβολές στα μηχανικά χαρακτηριστικά του κυτταρικού τοιχώματος, εξασφαλίζοντας την σταθεροποίηση των κυτταρικών δομών. Επίσης, η υαλοποίηση του κυτταροπλάσματος προσφέρει επιπλέον προστασία. Η



σύνθεση ορισμένων μορίων υδατανθράκων, όπως η σακχαρόζη, η τρεχαλόζη και η ραφινόζη, παρέχει ιδιαίτερο προστατευτικό ρόλο στα φωσφολιπίδια των μεμβρανών και ορισμένων πρωτεϊνών, όπως οι LEA και οι χαμηλού μοριακού βάρους θερμοεπαγόμενες πρωτεΐνες (HSPs).

### 1.10.2 Είδη Εγκλιματισμού στην υδατική καταπόνηση

Οι κυτταρικές αποκρίσεις στη λειψυδρία ποικίλλουν ανάλογα με το φυτικό είδος, το βαθμό έλλειψης νερού και τη διάρκεια της καταπόνησης. Επιπλέον, η διαμόρφωση των εξειδικευμένων κυτταρικών τροποποιήσεων επηρεάζεται και από τα χαρακτηριστικά του φυτού, όπως το στάδιο ανάπτυξης, το όργανο και τον τύπο των κυττάρων (Mullet and Whishitt, 1996) (Εικόνα 1.5).



**Εικόνα 1.5:** Η αλληλεπίδραση μεταξύ φυτού και παράγοντα καταπόνησης εξαρτάται από πρόσθετους παράγοντες που σχετίζονται τόσο με το φυτό όσο και με την καταπόνηση. (Πηγή: ΜΔΕ Ζιάννα Ε, 2018).

Η ικανότητα εγκλιματισμού των φυτικών οργανισμών, συνεπώς και τα όρια ανοχής που μπορεί να επιδείξει υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης, καθορίζονται άμεσα από το οπλοστάσιο των στρατηγικών που διαθέτει. Οι μηχανισμοί που επάγονται αποβλέπουν κατά βάση στην εξοικονόμηση νερού και περιλαμβάνουν ένα σύνολο τροποποιήσεων σε δομικό και λειτουργικό επίπεδο. Αρχικά, το ριζικό σύστημα

αντιλαμβανόμενο τις συνθήκες έλλειψης νερού προκαλεί μία σειρά αλλαγών που διακρίνονται σε βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες. Οι τροποποιήσεις που σχετίζονται με τις λειτουργίες των ήδη υπάρχοντων οργάνων ανήκουν στον βραχυπρόθεσμο εγκλιματισμό. Υπό συνθήκες εκτεταμένης ξηρασίας, μέσω του μακροπρόθεσμου εγκλιματισμού, προάγεται η αντικατάσταση παλαιότερων δομών (πχ φύλλων) από νέες, οι οποίες αντιδρούν καλύτερα στις αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες.

Ο βραχυπρόθεσμος εγκλιματισμός περιλαμβάνει ένα σύνολο μορφολογικών και φυσιολογικών αλλαγών στα υπάρχοντα όργανα του φυτού. Αρχικά, παρατηρείται μείωση της επιφάνειας των αναπτυσσόμενων φύλλων και κατ' επέκταση μείωση της φυλλικής επιφάνειας, έστω και βραχυπρόθεσμα. Η έκπτυξη νέων φύλλων παρεμποδίζεται, ενώ η διαδικασία της φωτοσύνθεσης συνεχίζεται σχεδόν απρόσκοπτα. Ως αποτέλεσμα των ανωτέρω, παρατηρούνται μεταβολικές διαταραχές στον άνθρακα και τη συσσώρευση σακχάρων και άλλων οργανικών ουσιών. Παράλληλα, μεταβάλλεται η συγκέντρωση του αμπισκικού οξέος (ABA) και των ROS, δημιουργώντας ένα δίκτυο εσωτερικών ερεθισμάτων που συμβάλλουν στον εγκλιματισμό υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Επίσης, λαμβάνει χώρα τροποποίηση του θερμικού ισοζυγίου του ελάσματος, μέσω κατάλληλων κινήσεων, προκειμένου να αποφευχθεί η υπερθέρμανση του (σόγια). Αντίστοιχα, σε ορισμένα αγρωστώδη παρατηρείται συστρόφη του ελάσματος.

### **1.10.3 Ο ρόλος της προλίνης στην υδατική καταπόνηση**

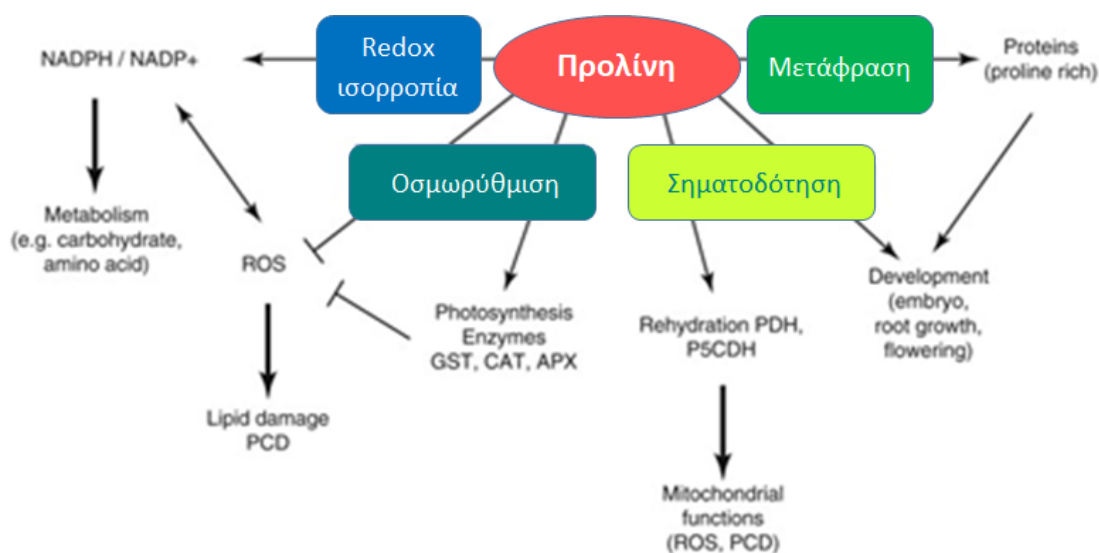
Η υδατική καταπόνηση προκαλεί σε πληθώρα φυτικών ειδών ενεργό σύνθεση ή/και συσσώρευση οσμωτικά ενεργών μεταβολιτών, με αποτέλεσμα τη μείωση του οσμωτικού τους δυναμικού προκειμένου να αποφευχθεί η αφυδάτωση των κυττάρων (Καραμπουρνιώτης et al., 2012). Η προλίνη είναι μια ωσμορρυθμιστική διαλυτή ουσία και αποτελεί έναν τους πλέον γνωστούς συμβατούς ωσμολύτες με σπουδαίο ρόλο στην απόκριση των φυτών σε υπερ-ωσμωτικές καταπονήσεις, με κύριες αυτές της υδατικής ανεπάρκειας και υψηλής εδαφικής αλατότητας. Ωστόσο, η συσσώρευση προλίνης αποτελεί μέρος της γενικότερης προσαρμογής και απόκρισης των φυτών σε πλήθος αβιοτικών καταπονήσεων, όπως οι χαμηλές θερμοκρασίες, η έλλειψη θρεπτικών στοιχείων, η έκθεση σε βαρέα μέταλλα (Delauney and Verma, 1993).

Στα φυτά, η πρόδρομη ένωση για τη βιοσύνθεση της προλίνης είναι το Ι-γλουταμινικό οξύ, ενώ τα κύρια ένζυμα κατά τη βιοσύνθεσή της είναι η πυρρολίνη-5-καρβοξυλική συνθετάση (P5CS) και η πυρρολίνη-5-καρβοξυλική αναγωγή (P5CR) (Delauney and Verma, 1993). Εναλλακτικά, η βιοσύνθεση της προλίνης επιτελείται μέσω της ορνιθίνης, η οποία μετατρέπεται σε P5C / GSA μέσω της ορνιθίνης-d-αμινοτρανσφεράσης (OAT) (Adams, 1970). Οι μηχανισμοί σηματοδότησης μέσω των οποίων οι περιβαλλοντικές καταπονήσεις ενεργοποιούν τη βιοσύνθεση της προλίνης περιλαμβάνουν διάφορα μόρια όπως ABA (Strizhov et al., 1997) (Savoure et al., 1997), ασβέστιο και φωσφολιπάση C (Savoure et al., 1997) (Yoo et al., 2005) (Parre et al., 2007) . Πρόσφατα αναφέρθηκε πως ο μεταβολισμός της προλίνης είναι προαπαιτούμενο για την προστασία των φυτών που υπόκεινται σε υδατική καταπόνηση μέσω του ABA (Sharma et al., 2011) .Κατά τη φάση ανάκαμψης μετά το στρες, η προλίνη θεωρείται ως σημαντική πηγή ενέργειας (Hare and Cress, 1997) (Szabados and Savoure, 2010), ενώ ο οξειδωτικός μεταβολισμός της προλίνης στα μιτοχόνδρια βοηθά στην οξειδωτική φωσφορυλίωση και τη σύνθεση ATP στους υπό ανάκαμψη ιστούς (Hare and Cress, 1997). Κατά συνέπεια, η έκφραση PRODH και P5CDH αυξάνεται κατά την ενυδάτωση (Kiyosue et al., 1996).

Γενικά, η συσσώρευση προλίνης υπό συνθήκες καταπόνησης έχει συσχετιστεί με την ανοχή στις δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες σε πληθώρα φυτικών ειδών, με την αύξηση της συσσώρευσής της να απαντάται κυρίως στα ανθεκτικά φυτά (Ashrafa and Foolad, 2007). Είναι αξιοσημείωτο ωστόσο ότι, παρά την πληθώρα βιβλιογραφικών αναφορών για τις αποκρίσεις των αροτραίων καλλιεργειών (σιτάρι, ρύζι, σόργο) σε ξηρικές συνθήκες αγρού, οι αντίστοιχες αναφορές για τα κηπευτικά είναι σαφώς περιορισμένες (Okunlola et al., 2016). Αναφορικά με το ρόλο της σε φυτά που υπόκεινται σε καταπόνηση, η προλίνη χαρακτηρίζεται από πολυσχιδή δράση, η οποία εκτείνεται στη σηματοδότηση, στην προσαρμοστικότητα και στην ανάκαμψη. Ειδικότερα, η προλίνη συμβάλλει στην χηλικοποίηση των μετάλλων και δρα ως αντιοξειδωτικό αμυντικό και σηματοδοτικό μόριο. Επίσης, προσδίδει ανεκτικότητα σε καταπονήσεις, μέσω μεταβολής των μιτοχονδριακών λειτουργιών και ρύθμισης του πολλαπλασιασμού των κυττάρων και της γονιδιακής έκφρασης. Παράλληλα, το μόριο της προλίνης συμβάλλει στη σταθεροποίηση των μεμβρανών, προς αποφυγή διαρροής ηλεκτρολυτών, και στη διατήρηση της συγκέντρωσης ROS σε φυσιολογικό επίπεδα, επιτρέποντας την ανάκαμψη έπειτα από την επίδραση της καταπόνησης.

Επιπλέον, η σύνθεση της προλίνης λαμβάνει χώρα σε διαφορετικά κυτταρικά διαμερίσματα, ανάλογα με τις επικρατούσες περιβαλλοντικές συνθήκες, ενώ η διαμερισματοποίηση του μεταβολισμού της περιλαμβάνει την ενδοκυτταρική της μεταφορά μεταξύ του κυτταροπλάσματος, των χλωροπλαστών και των μιτοχονδρίων (Kaur and Asthir, 2015). Σύμφωνα με τους Taiz και Zeiger (2010), ο αυξημένος ρυθμός βιοσύνθεσης της προλίνης συμβάλλει στην σταθεροποίηση της οξειδοαναγωγικής ισορροπίας και στη διατήρηση της κυτταρικής ομοιόστασης. Σε πολλά φυτικά είδη, έχει παρατηρηθεί υψηλή συγκέντρωση κυτταρικής προλίνης, που φθάνει έως και το 80 % των συστατικών που ανήκουν στην ομάδα των αμινοξέων, σε συνθήκες καταπόνησης συγκριτικά με τις κανονικές συνθήκες όπου το αντίστοιχο ποσοστό ήταν 5 % (Szabados και Savoure 2009) (Εικόνα 1.6).

Παρά το γεγονός ότι ο ο τρόπος λειτουργίας και ρύθμισης της συσσώρευσης της προλίνης παραμένει μερικώς ασαφής, ο μηχανισμός του μεταβολισμού της προλίνης έχει προταθεί ως μέσο για τη βελτίωση της ανοχής των φυτών στις αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες μελλοντικά (Szabados και Savoure, 2009).



**Εικόνα 1.6** Απεικόνιση του πολυδιάστατου ρόλου της προλίνης στα φυτά. Η προλίνη συμβάλλει στην πρωτεϊνοσύνθεση, στην οσμωρύθμιση, στη διατήρηση της ισορροπίας της οξειδοαναγωγής, στη ρύθμιση της ανάπτυξης, ενώ παράλληλα αποτελεί συστατικό των δικτύων μεταβολικής σηματοδότησης που ελέγχουν τις μιτοχονδριακές λειτουργίες, την ανάκαμψη από την καταπόνηση και τη συνέχιση της ανάπτυξης. (Τροποποίηση εικόνας από Laszlo Szabados et al. Proline: a

multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, 2009, 15: 89-97).

## ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Σκοπό της παρούσας πτυχιακής διατριβής αποτέλεσε η μελέτη της απόκρισης γενετικού υλικού πιπεριάς, και συγκεκριμένα του τύπου "Μακεδονικό μυτερό", ως προς την απόκριση υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Το γενετικό υλικό περιλάμβανε τρεις διαφορετικούς γονοτύπους, και ειδικότερα την ποικιλία Agris, τον πληθυσμό Agris-S, που προέκυψε έπειτα από πολυετή επιλογή για χαμηλή καυστικότητα των καρπών, και έναν τοπικό πληθυσμό που προέχεται από την περιοχή του Ματονερίου. Η υδατική καταπόνηση εφαρμόστηκε κατά το κρίσιμο αναπτυξιακό στάδιο της έναρξης της άνθισης και περιλάμβανε τρία διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (100, 75, 50 ml). Η απόκριση του υπό μελέτη γενετικού υλικού αξιολογήθηκε βάσει του αριθμού και μεγέθους των καρπών (μήκος και πλάτος, νωπό βάρος), των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών (περιεκτικότητα (%) ξηράς ουσίας, συνεκτικότητα, χρώμα, διαλυτά στερεά συστατικά), της περιεκτικότητας των καρπών σε καψαϊκίνη και της περιεκτικότητας των φύλλων σε προλίνη.

## 2. Υλικά και Μέθοδοι

---

### 2.1 Φυτικό Υλικό

Στην παρούσα μελέτη αξιολογήθηκαν τρεις διαφορετικοί πληθυσμοί πιπεριάς (*Capsicum annuum*) τύπου "Μακεδονικό μυτερό" αναφορικά με την αντοχή τους στην υδατική καταπόνηση. Προσδιορίστηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά (αριθμός καρπών, νωπό βάρος αυτών, μήκος, πλάτος, χρώμα, συνεκτικότητα, διαλυτά στερεά συστατικά, % ξηρά ουσία), η περιεκτικότητα προλίνης σε φύλλα και περιεκτικότητα καψαϊκίνης σε καρπούς υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Το γενετικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε περιλάμβανε 3 διαφορετικούς πληθυσμούς –που αναφέρονται ως ποικιλίες- : AgriS, AgriS-S και τοπικός πληθυσμός. Σημειώνεται ότι το υπό μελέτη γενετικό υλικό δεν έχει τύχει μελέτης ως προς την προσαρμοστικότητά του σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης.

Η αρχική βλάστηση και ανάπτυξη των φυτών πραγματοποιήθηκε σε σπορείο. Χρησιμοποιήθηκαν πλαστικοί δίσκοι πολλαπλών θέσεων στους οποίους τοποθετήθηκε εδαφικό μείγμα τύρφης και περλίτη σε αναλογία 3:1. Σε κάθε σποροδοχείο, τοποθετήθηκαν 3-4 σπόροι. Μετά την έκπτυξη των σποροφύτων, ακολούθησε αραίωμα των σπορόφυτων για την εξασφάλιση της απρόσκοπτης ανάπτυξής τους. Η μεταφύτευση των σπορόφυτων σε γλάστρες πραγματοποιήθηκε μετά την πάροδο περίπου 1,5 μήνα στο στάδιο των 3 - 5 πραγματικών φύλλων. Οι γλάστρες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν όγκου 2 lt και περιείχαν το ανωτέρω εδαφικό διάλυμα. Τα σπορόφυτα παρέμειναν σε συνθήκες εργαστηρίου για μία εβδομάδα με σκοπό να ξεπεράσουν το στρες της μεταφύτευσης και ακολούθησε η μεταφορά τους στο θερμοκήπιο του Εργαστηρίου Γενετικής Βελτίωσης Φυτών. Τα φυτά υποστηλώθηκαν και τοποθετήθηκαν σημάνσεις σε κάθε φυτοδοχείο με το όνομα της κάθε ποικιλίας, της μεταχείρισης και της επανάληψης. Έπειτα από τη μεταφορά τους στο θερμοκήπιο ακολούθησε μια περίοδος ανάκαμψης, περίπου 10 ημερών, με σκοπό να ξεπεράσουν τα φυτά το στρες της έκθεσης στις περιβαλλοντικές συνθήκες. (Εικόνα 2.1, 2.2)



**Εικόνα 2.1** Φυτά πιπεριάς σε φυτοδοχεία.



**Εικόνα 2.2** Προετοιμασία φυτών πιπεριάς πριν τη μεταφορά τους στο θερμοκήπιο.



## **2.2. Πειραματικό σχέδιο - Μεταχειρίσεις**

Το πειραματικό σχέδιο ήταν πλήρως τυχαιοποιημένο και περιλάμβανε 3 μεταχειρίσεις και 3 διαφορετικούς γονοτύπους. Για κάθε συνδυασμό γονοτύπου-μεταχείρισης, χρησιμοποιήθηκαν 7 επαναλήψεις (ατομικά φυτά). Στο πείραμα, συμπεριλήφθηκαν συνολικά 63 γλάστρες.

Η έκθεση των φυτών σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης πραγματοποιήθηκε διαφορετικές εφαρμογές άρδευσης, μέσω ριζοποτίσματος με ποσότητα νερού χαμηλότερη από την αντίστοιχη των μαρτύρων. Στα φυτά του μάρτυρα γίνονταν ριζοπότισμα με 100 ml νερού ανά δύο ημέρες. Στην πρώτη μεταχείριση τα φυτά ποτίζονταν με τα  $\frac{3}{4}$  της ποσότητας νερού του μάρτυρα (75 ml H<sub>2</sub>O). Στη δεύτερη μεταχείριση τα φυτά ποτίζονταν με το  $\frac{1}{2}$  της ποσότητας νερού του μάρτυρα (50 ml H<sub>2</sub>O). Στα μετέπειτα στάδια και καθώς αυξάνονταν η θερμοκρασία και η διάρκεια της ημέρας, το ριζοπότισμα γινόταν καθημερινά. Η έκθεση των φυτών σε συνθήκες υδατικής καταπόνησης συνεχίστηκε καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

## **2.3 Μετρήσεις**

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά δύο συγκομιδές σε μεσοδιάστημα 22 ημερών (25/6/2019 και 15/7/2019). Στους συγκομιζόμενους καρπούς πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για ανάλυση της ποιότητας που περιλάμβανε αριθμό - νοπό βάρος, - χρώμα καρπών, μήκος και πλάτος καρπών, συνεκτικότητα σάρκας, περιεκτικότητα σε διαλυτά στερεά συστατικά, καθώς και επί της 100 ξηρά ουσία.

Επίσης μετρήθηκε η περιεκτικότητα προλίνης στα φύλλα καθώς και η περιεκτικότητα καψαϊκίνης των καρπών.

### **2.3.1 Ανάλυση της ποιότητας των συγκομιζόμενων καρπών**

#### **2.3.1.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός**

Ζυγός ακριβείας

Χρωματόμετρο Minolta

Ηλεκτρονικό επιτραπέζιο πενετρόμετρο

Διαθλασίμετρο

Κλίβανος

### **2.3.1.2 Συγκομιδή και Μεθοδολογία μετρήσεων**

Από κάθε φυτό, συγκομίζονταν οι καρποί και τοποθετούνταν σε ξεχωριστές σακούλες, όπου αναγράφονταν ο αριθμός του φυτού, η ποικιλία και η μεταχείριση. Εν συνεχεία, οι καρποί μεταφέρονταν στο εργαστήριο για την πραγματοποίηση των επιμέρους μετρήσεων και παρέμειναν στο ψυγείο σε θερμοκρασία 4 °C έως την έναρξη των μετρήσεων. Για το σύνολο των συγκομιζόμενων καρπών από κάθε φυτό λήφθηκαν και καταγράφηκαν οι μετρήσεις που περιγράφονται παρακάτω. Για τη στατιστική επεξεργασία των δεδομένων οι μετρήσεις κάθε φυτού αποτελούσαν μια ξεχωριστή επανάληψη (Εικόνα 2.3, 2.4).

### **2.3.1.3 Αριθμός καρπών**

Καταμετρήθηκε ο αριθμός των καρπών κάθε φυτού.

### **2.3.1.4 Νωπό βάρος καρπών**

Σε ζυγό ακριβείας ζυγίσθηκε το νωπό βάρος των καρπών του κάθε φυτού. Ως νωπό βάρος καρπών ανά φυτό, καταγράφηκε ο λόγος του νωπού βάρους καρπών του κάθε φυτού προς τον αριθμό των καρπών του κάθε φυτού.

### **2.3.1.5 Προσδιορισμός χρώματος καρπού**

Το χρώμα προσδιορίστηκε με το χρωματόμετρο Konica Minolta CR-400. Για τον προσδιορισμό του χρώματος η κεφαλή του οργάνου τοποθετούνταν σε δύο αντιδιαμετρικά σημεία της σάρκας του κάθε καρπού και λαμβάνονταν μία τιμή για το σύνολο των καρπών του εκάστοτε φυτού. Καταγράφηκαν οι χρωματομετρικές τιμές L\*, C\*, Hue. Το L\* λαμβάνει τιμές από 0°-100°, με το 0 ° να αναφέρεται σε μαύρο χρώμα και το 100 ° σε άσπρο. Όσο υψηλότερη τιμή έχει το L\*, τόσο πιο φωτεινό είναι το χρώμα του καρπού. Το C\* αναφέρεται στην καθαρότητα. Υψηλή τιμή του C\* σημαίνει καθαρό χρώμα καρπού. Το Hue παίρνει τιμές από 0 έως 270 με το 0° να εκφράζει το κόκκινο, το 90° να εκφράζει το κίτρινο, το 180° να εκφράζει το πράσινο και το 270° το μπλε (McGuire, 1992).

### **2.3.1.6 Σκληρότητα σάρκας**

Για τη μέτρηση της σκληρότητας σάρκας χρησιμοποιήθηκε επιτραπέζιο πενετρόμετρο. Η διάμετρος του εμβόλου ήταν 3,2 mm. Καταγράφηκε η δύναμη που απαιτήθηκε για τη διάτρηση της σάρκας του κάθε καρπού. Ως δύναμή διάτρησης για κάθε φυτό καταγράφηκε ο λόγος του αθροίσματος των επιμέρους τιμών δύναμης διάτρησης προς τον αριθμό των καρπών. Η καταγραφόμενη τιμή για κάθε φυτό ήταν σε Newton.

### **2.3.1.7 Διαλυτά Στερεά Συστατικά (ΔΣΣ)**

Η μέτρηση των ΔΣΣ έγινε από χυμό που παραλήφθηκε μετά από πίεση τμημάτων των καρπών. Χρησιμοποιήθηκαν τμήματα από κάθε καρπό του εκάστοτε φυτού προκειμένου να παραληφθεί ο χυμός. Για τη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε διαθλασίμετρο στο οποίο τοποθετούνταν 1 έως 2 σταγόνες του χυμού. Πριν από κάθε μέτρηση, το διαθλασίμετρο καθαρίζονταν με dH<sub>2</sub>O και διηθητικό χαρτί. Τα ΔΣΣ εκφράστηκαν σε Brix (%).

### **2.3.1.8 Μέτρηση μήκους και πλάτους καρπών**

Για τη μέτρηση του μήκους και του πλάτους των καρπών χρησιμοποιήθηκε παχύμετρο. Για το μήκος των καρπών για κάθε φυτό καταγράφηκε ο λόγος του αθροίσματος των επιμέρους μηκών των καρπών προς τον αριθμό των καρπών του εκάστοτε φυτού. Η καταγραφόμενη τιμή για κάθε καρπό ήταν σε cm. Ομοίως και για το πλάτος των καρπών.

### **2.3.1.9 Επί τοις % ξηρά ουσία σάρκας**

Για τον προσδιορισμό της επί τοις % ξηράς ουσίας λήφθηκαν τμήματα από όλους τους καρπούς του κάθε φυτού και καταμετρήθηκε το νωπό βάρος τους με τη χρήση ζυγού ακριβείας. Ακολούθησε η τοποθέτησή τους σε κλίβανο, σε θερμοκρασία περίπου 60 °C, προκειμένου να αποξηρανθούν. Έπειτα από την πάροδο 2 ημερών, μετρήθηκε το ξηρό βάρος σε ζυγό ακριβείας. Τα αποτελέσματα εκφράστηκαν ως ο λόγος της διαφοράς του ξηρού βάρους από το νωπό βάρος προς το νωπό βάρος πολλαπλασιαζόμενος με το 100.



Εικόνα 2.3 Συγκομιδή καρπών και τοποθέτηση σε ξεχωριστά σακουλάκια.



Εικόνα 2.4 Μετρήσεις ποιοτικών χαρακτηριστικών συγκομιζόμενων καρπών.

### **2.3.2 Ποσοτικός προσδιορισμός προλίνης στα φύλλα φυτών πιπεριάς**

Ο ποσοτικός προσδιορισμός της προλίνης πραγματοποιήθηκε με τη διαδικασία που περιγράφεται από τους Carillo and Gibon, 2011.

#### **2.3.2.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός**

Ζυγός ακριβείας

Φυγόκεντρος

Υδατόλουτρο

Ανακινητής Vortex

Φασματοφωτομετρο WTW

#### **2.3.2.2 Πρότυπες ενώσεις - Διαλύτες – Χημικές Ενώσεις - Αντιδραστήρια**

Για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης αναφοράς χρησιμοποιήθηκε η πρότυπη ένωση L - proline. Για τις ανάγκες των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε αιθανόλη καθαρότητας 99 % , οξικό οξύ, νυνιδρίνη.

#### **2.3.2.3 Φυτικό υλικό**

Για τον προσδιορισμό της προλίνης στα φύλλα δύο μήνες μετά την έναρξη της καταπόνησης των φυτών λήφθηκαν δύο φύλλα από κάθε φυτό που προέρχονταν από το μεσαίο τμήμα του κάθε φυτού. Τα φύλλα τοποθετήθηκαν σε ξεχωριστές σακούλες στις οποίες αναγράφονταν ο αριθμός του φυτού, η ποικιλία και η μεταχείριση. Εν συνεχεία, τα δείγματα των φύλλων μεταφέρθηκαν στο Εργαστήριο Γενετικής Βελτίωσης Φυτών και παρέμειναν στο ψυγείο σε θερμοκρασία 4 °C έως την έναρξη της μέτρησης. Από κάθε μεταχείριση και ποικιλία λήφθηκαν φύλλα από 4 φυτά τα οποία αποτελούσαν τις τέσσερις επαναλήψεις.

#### **2.3.2.4 Διαδικασία εκχύλισης**

Από τα φύλλα πιπεριάς σε ζυγό ακριβείας ζυγίσθηκαν 100 mg ιστού τα οποία ψιλοτεμαχίσθηκαν και τοποθετήθηκαν σε γουδί. Στο γουδί προστέθηκαν 2 ml διαλύματος αιθανόλης 70% σε dH<sub>2</sub>O και στην συνέχεια λειοτριβήθηκαν. Προστέθηκαν άλλα 2 ml διαλύματος αιθανόλης 70% σε απιονισμένο νερό (Εικόνα

2.5). Συνεχίστηκε η λειοτριβήση και το εκχύλισμα μεταφέρθηκε σε falcon των 15 ml στα οποία αναγράφονταν ο αριθμός του φυτού η μεταχείριση και η ποικιλία. Τα δείγματα τοποθετήθηκαν στο ψυγείο. Μετά τη λειοτριβήση όλων των δειγμάτων ακολούθησε φυγοκέντρωση στις 4000 στροφές για 10 λεπτά.



**Εικόνα 2.5** Λειοτριβήση δειγμάτων.

### **2.3.2.5 Προετοιμασία δειγμάτων για καταμέτρηση απορρόφησης**

Για την προετοιμασία των δειγμάτων για την καταμέτρηση της απορρόφησης παρασκευάστηκε διάλυμα νινυδρίνης 0,5 w/v με την προσθήκη 0,5 gr νινυδρίνης σε 60 ml acetic acid και προσθήκη καθαρής αιθανόλης μέχρι τελικού όγκου 100 ml.

Σε νέους αριθμημένους γυάλινους σωλήνες τοποθετήθηκαν 2 ml διαλύματος νινυδρίνης και μεταφέρθηκε 1 ml από το υπερκείμενο του φυτικού εκχυλίσματος. Οι σωλήνες πωματίστηκαν, ανακινήθηκαν και τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο σε θερμοκρασία 95 °C όπου παρέμειναν για 25 λεπτά. Μετά την πάροδο του ανωτέρω διαστήματος οι σωλήνες τοποθετήθηκαν σε παγόλουτρο. Στην συνέχεια έγινε

καταμέτρηση της απορρόφησης των δειγμάτων σε φασματοφωτόμετρο στα 520 nm (Εικόνα 2.6).



**Εικόνα 2.6** Προετοιμασία δειγμάτων για προσδιορισμό προλίνης

### 2.3.2.6 Κατασκευή καμπύλης αναφοράς

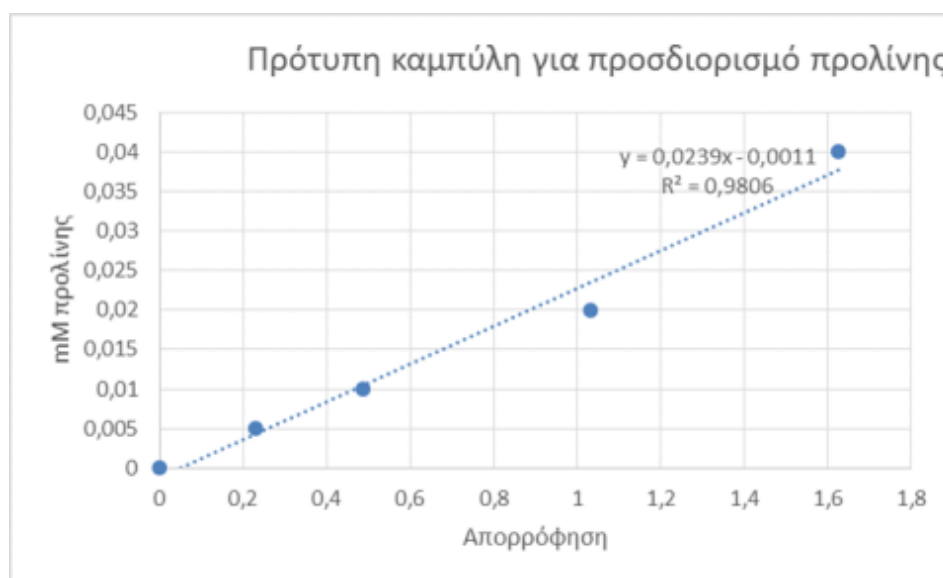
Για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης αναφοράς παρασκευάστηκε διάλυμα προλίνης 1mM με τη διάλυση 115,13 mg L-proline σε 100 ml (τελικός όγκος) διαλύματος αιθανόλης 70% σε απιονισμένο νερό. Εν συνεχεία παρασκευάστηκαν σε ξεχωριστούς αριθμημένους γυάλινους σωλήνες τα επιμέρους διαλύματα προλίνης σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1.

Η τελική συγκέντρωση των πρότυπων διαλυμάτων προλίνης στην οποία μετρήθηκε η απορρόφηση στα 520 nm δημιουργήθηκε ως εξής. Σε νέους γυάλινους σωλήνες τοποθετήθηκαν 2 ml διαλύματος νινυδρίνης 0,8 ml διαλύματος αιθανόλης 40% σε απιονισμένο νερό και 0,2 ml διαλύματος προλίνης από τα επιμέρους διαλύματα που αναφέρονται παραπάνω. Με την παραπάνω διαδικασία δημιουργήθηκαν τα πρότυπα διαλύματα προλίνης συγκέντρωσης 0 - 0,005 - 0,01 - 0,02 - 0,04 - 0,08 - 0,16 (Εικόνα 2.7). Οι σωλήνες πωματίστηκαν και ακολούθησε η διαδικασία που

περιγράφεται παραπάνω για τα φυτικά δείγματα. Ανακινήθηκαν δηλαδή σε Vortex, τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο για 25 λεπτά και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε παγόλουτρο. Έπειτα έγινε καταμέτρηση της απορρόφησης των πρότυπων σε φασματοφωτόμετρο στα 520 nm από την οποία καταμέτρηση δημιουργήθηκε η πρότυπη καμπύλη (Διάγραμμα 2.1).

**Πίνακας 2.1** Παρασκευή επιμέρους διαλυμάτων προλίνης για κατασκευή της πρότυπης καμπύλης.

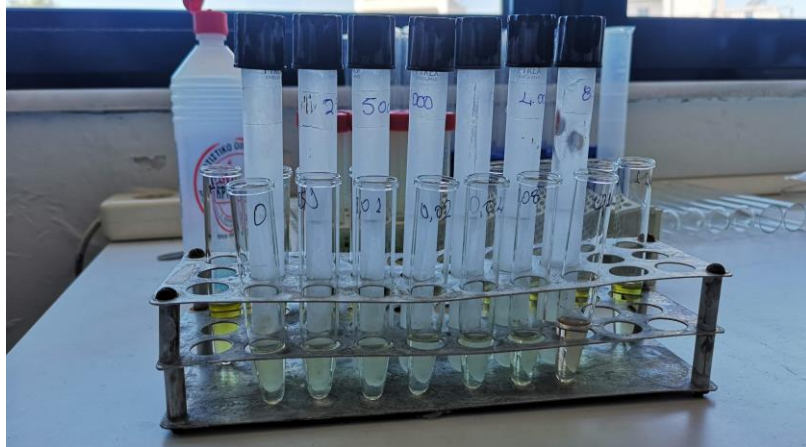
Όγκος (ml) από το αρχικό διάλυμα προλίνης συγκέντρωσης 1mM	Προσθήκη όγκου (ml) διαλύματος αιθανόλης 70%	Τελική συγκέντρωση προλίνης σε mM
0	10	0
0,25	9,75	0,025
0,50	9,50	0,05
1	9	0,1
2	8	0,2
4	6	0,4
8	2	0,8



**Διάγραμμα 2.1** Πρότυπη καμπύλη για τη μετατροπή της απορρόφησης στα 520 nm σε mM προλίνης.



Από την κατασκευή της πρότυπης και τη μαθηματική συνάρτηση που προέκυψε  $Y=0,0239X-0,0011$  μετατράπηκε η απορρόφηση με περιεχόμενη προλίνη. Οι τιμές της περιεχόμενης προλίνης που προσδιορίστηκαν ποσοτικά αντιστοιχούν σε mM προλίνης.



**Εικόνα 2.7** Προετοιμασία πρότυπων διαλυμάτων

### **2.3.3 Ποσοτικός προσδιορισμός καψαΐκίνης**

Ο ποσοτικός προσδιορισμός της καψαΐκίνης έγινε σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Thimmaiah, 1999.

#### **2.3.3.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός**

Ζυγός ακριβείας

Κλίβανος

Τράπεζα ανακίνησης

Φυγόκεντρος

Υδατόλουτρο

Ανακινητής Vortex

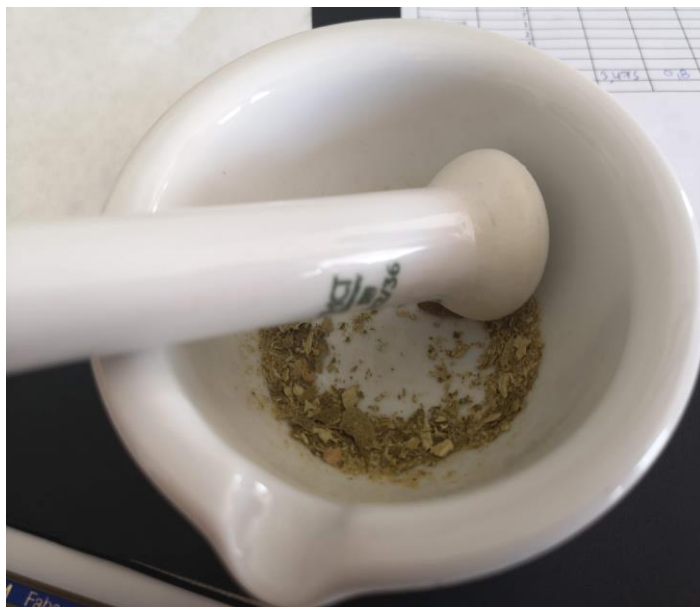
Φασματοφωτόμετρο WTW

### 2.3.3.2 Πρότυπες ενώσεις - Διαλύτες – Χημικές Ενώσεις - Αντιδραστήρια

Για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης αναφοράς, χρησιμοποιήθηκε η πρότυπη ένωση capsaicin. Για τις ανάγκες των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε ξηρή ακετόνη, καυστικό νάτριο, φωσφορομολυβδικό οξύ.

### 2.3.3.3 Φυτικό υλικό

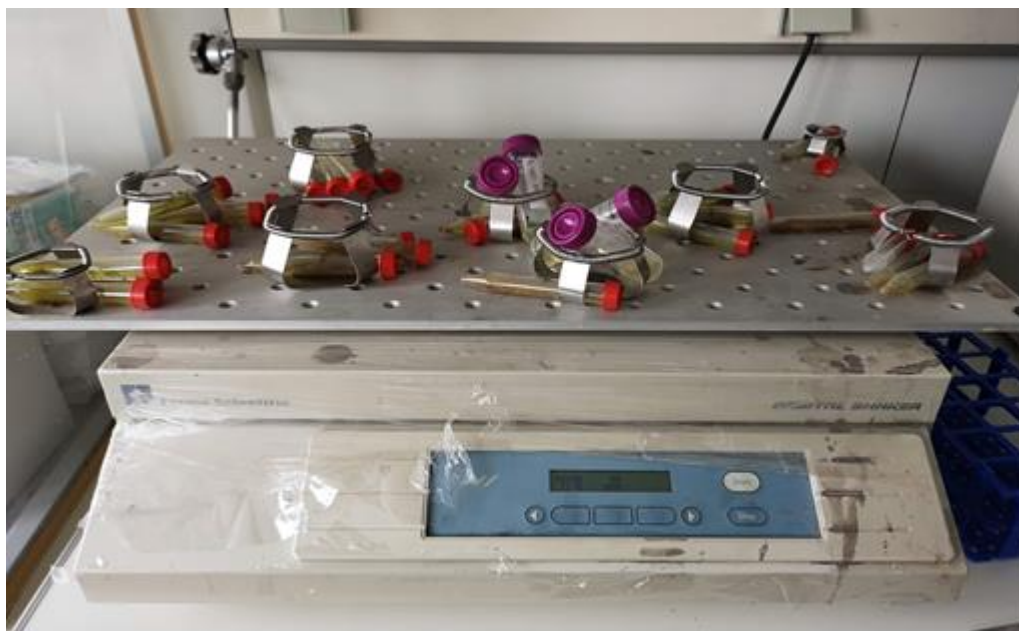
Για τον προσδιορισμό της καψαϊκίνης στους καρπούς πιπεριάς τμήματα από τους συγκομιζόμενους καρπούς του κάθε φυτού τοποθετήθηκαν σε κλίβανο στους 58 οC για 48 ώρες μέχρι την πλήρη αποξηράνσή τους. Ακολούθησε λειοτριβήση σε γουδί. Η σκόνη που παραλήφθηκε συλλέχθηκε σε σακούλα στην οποία αναγράφηκε ο αριθμός του φυτού, η ποικιλία και η μεταχείριση και η οποία και κλείστηκε αεροστεγώς. Οι σακούλες με την περιεχόμενη σκόνη των αποξηραμένων καρπών πιπεριάς παρέμειναν στην αποθήκη του εργαστηρίου έως την έναρξη των μετρήσεων (Εικόνα 2.8).



**Εικόνα 2.8.** Λειοτριβήση αποξηραμένων καρπών.

#### 2.3.3.4 Διαδικασία εκχύλισης

Σε αριθμημένα falcon των 15 ml προστέθηκαν 10 ml ξηρής ακετόνης και 0,5 gr σκόνης του εκάστοτε δείγματος που προέκυψε από τους καρπούς πιπεριάς όπως περιγράφηκε παραπάνω. Τα falcon τοποθετήθηκαν σε τράπεζα ανακίνησης όπου και παρέμειναν για 4 ώρες. Ακολούθησε φυγοκέντρηση στις 10.000 στροφές για 10 λεπτά (Εικόνα 2.9).



**Εικόνα 2.9** Τοποθέτηση δειγμάτων στην τράπεζα ανακίνησης

#### 2.3.3.5 Προετοιμασία δειγμάτων για καταμέτρηση απορρόφησης

Με το πέρας της φυγοκέντρησης 1 ml από το υπερκείμενο μεταφέρθηκε σε νέο αριθμημένο γυάλινο σωλήνα με τη χρήση πιπέτας. Το σύνολο των δειγμάτων τοποθετήθηκε σε υδατόλουτρο όπου και παρέμειναν μέχρι την εξ ολοκλήρου εξάτμιση (Εικόνα 2.10, 2.11). Στην συνέχεια στο ίζημα προστέθηκαν 5 ml διαλύματος 0,4% καυστικού νατρίου σε απιονισμένο νερό και 3ml διαλύματος 3% φωσφορομολυβδενικού οξέος σε απιονισμένο νερό. Ακολούθησε ανακίνηση σε vortex. Τα δείγματα παρέμειναν σε θερμοκρασία δωματίου για μία ώρα και στη συνέχεια ακολούθησε καταμέτρηση της απορρόφησης σε φασματοφωτόμετρο στα 650 nm. Για τη βαθμονόμηση της μέτρησης το blank δείγμα που δημιουργήθηκε

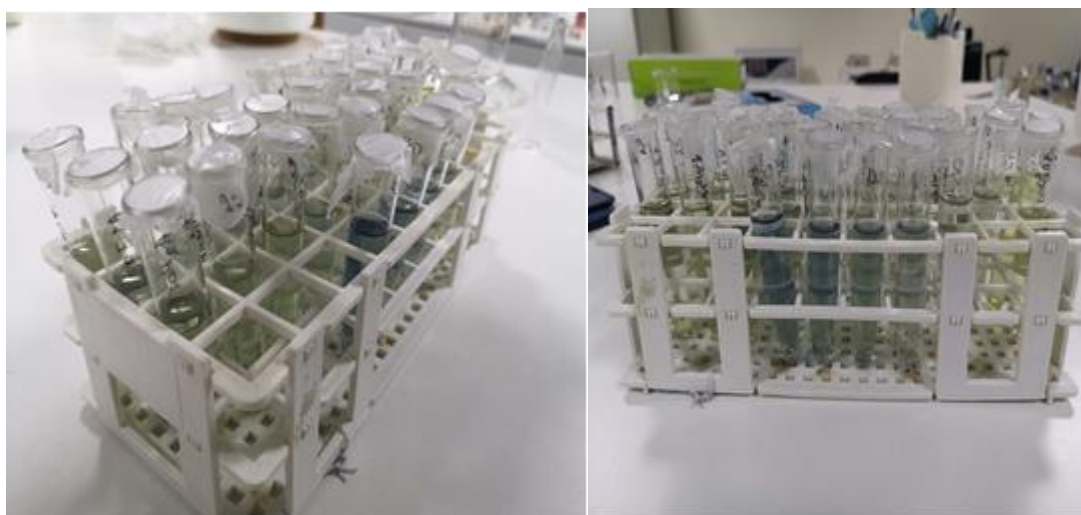
περιείχε 5 ml διαλύματος 0,4% καυστικού νατρίου και 3ml διαλύματος 3% φωσφορομολυβδενικού οξέος (Εικόνα 2.12).



**Εικόνα 2.10** Προετοιμασία δειγμάτων για καταμέτρηση της απορρόφησης.



**Εικόνα 2.11** Τοποθέτηση δειγμάτων σε υδατόλουτρο έως ολικής εξάτμισης του διαλύτη.



**Εικόνα 2.12** Δείγματα πριν καταμέτρηση της απορρόφησης.

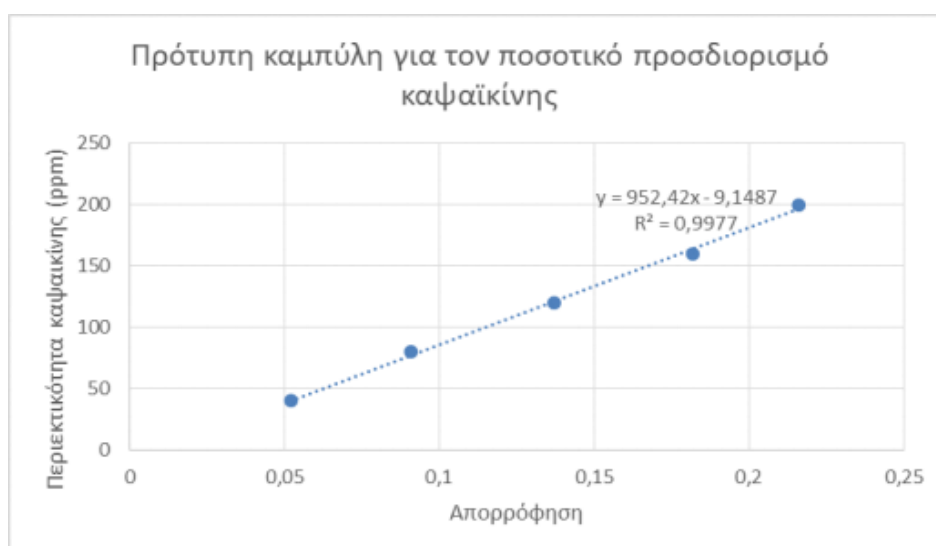
### **2.3.3.6 Κατασκευή καμπύλης αναφοράς**

Για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης αναφοράς αρχικά παρασκευάστηκε διάλυμα καφαϊκίνης περιεκτικότητας 1000 ppm με τη διάλυση 10 mg καφαϊκίνης σε 10 ml διαλύματος 0,4% καυστικού νατρίου. Εν συνεχεία παρασκευάστηκαν σε ξεχωριστούς αριθμημένους γυάλινους σωλήνες τα επιμέρους διαλύματα καφαϊκίνης σύμφωνα με τον Πίνακα 2.2.

**Πίνακας 2.2** Παρασκευή πρότυπων διαλυμάτων καψαϊκίνης για κατασκευή της πρότυπης καμπύλης.

Όγκος (ml από το αρχικό διάλυμα καψαϊκίνης περιεκτικότητας 1000 ppm)	Όγκος (ml) διαλύματος 0,4% καυστικού νατρίου	Τελική περιεκτικότητα καψαϊκίνης (ppm) προτύπου
0,2	4,8	40
0,4	4,6	80
0,6	4,4	120
0,8	4,2	160
1	4	200

Τα παραπάνω διαλύματα αποτέλεσαν τα πρότυπα από τα οποία δημιουργήθηκαν τα δείγματα στα οποία και καταμετρήθηκε η απορρόφηση στα 650 nm για τη δημιουργία της πρότυπης καμπύλης. Συγκεκριμένα σε νέους γυάλινους σωλήνες κατάλληλα αριθμημένους τοποθετήθηκε 1 ml από το κάθε πρότυπο διάλυμα, 5 ml διαλύματος 0,4% καυστικού νατρίου σε απιονισμένο νερό και 3ml διαλύματος 3% φωσφορομολυβδενικού οξέος σε dH<sub>2</sub>O. Ακολούθησε ανακίνηση σε vortex. Τα δείγματα παρέμειναν σε θερμοκρασία δωματίου για μία ώρα και στη συνέχεια ακολούθησε καταμέτρηση της απορρόφησης σε φασματοφωτόμετρο στα 650 nm, από την οποία δημιουργήθηκε η πρότυπη καμπύλη (Διάγραμμα 2.2).



**Διάγραμμα 2.2** Πρότυπη καμπύλη για τη μετατροπή της απορρόφησης σε περιεκτικότητα καψαϊκίνης.

Από την κατασκευή της πρότυπης και τη μαθηματική συνάρτηση που προέκυψε  $Y = 952,42X - 9,1487$  μετατράπηκε η απορρόφηση με περιεχόμενη καψαϊκίνη. Η περιεχόμενη καψαϊκίνη στους καρπούς που προσδιορίστηκε ποσοτικά αντιστοιχεί σε mg καψαϊκίνης /100g ξηρού βάρους.

### **2.3.3.7 Μετατροπή της περιεχόμενης καψαϊκίνης σε μονάδες Scoville**

Σύμφωνα με τους Todd et al.,1977 και Nwokem et al.,2010 η προσδιοριζόμενη με την παραπάνω μέθοδο περιεχόμενη καψαϊκίνη μπορεί να μετατραπεί σε μονάδες Scoville από το γινόμενο που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του βάρους της καψαϊκίνης σε γραμμάρια επί τον αριθμό  $1,6 \cdot 10^7$ .

## **2.4 Στατιστική επεξεργασία**

Η στατιστική επεξεργασία των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του στατιστικού πακέτου SPSS 26 για Windows με ανάλυση της παραλλακτικότητας (One Way ANOVA) με έναν παράγοντα (μεταχείριση) ή δύο παράγοντες (μεταχείριση, ποικιλία) με το κριτήριο Tukey για επίπεδο σημαντικότητας 5% ( $P \leq 0,05$ )

### 3. Αποτελέσματα

#### 3.1. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στον αριθμό των καρπών

Σχετικά με τον αριθμό καρπών, η υδατική καταπόνηση δεν επηρέασε σημαντικά τον αριθμό καρπών στις υπό μελέτη ποικιλίες, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων κατά την 1η και 2η συγκομιδή, ωστόσο σημειώθηκε μια πτωτική τάση στα καταπονημένα φυτά συγκριτικά με τους μάρτυρες. Σε επίπεδο ποικιλίας ωστόσο, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές αναφορικά με τον αριθμό καρπών, ιδιαίτερα στους μάρτυρες. Κατά την 1η συγκομιδή, το μεγαλύτερο αριθμό καρπών εμφάνισε ο τοπικός πληθυσμός, ακολουθούμενος από την Agris, ενώ η Agris-S χαρακτηρίστηκε από σημαντικά μειωμένο αριθμό καρπών. Υπό συνθήκες καταπόνησης, οι ποικιλίες δε διέφεραν ως προς τον αριθμό καρπών (Πίνακας 3.1, Διάγραμμα 3.1).

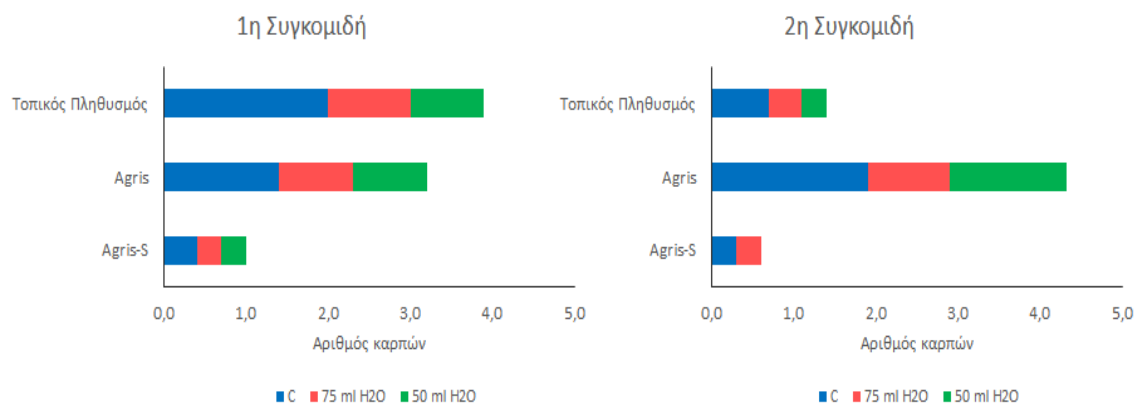
Κατά τη 2η συγκομιδή, απουσία καταπόνησης, το μεγαλύτερο αριθμό καρπών εμφάνισε η ποικιλία Agris, ακολουθούμενη από τον τοπικό πληθυσμό, ενώ σημαντικά μειωμένο αριθμό καρπών εμφάνισε η Agris-S. Κατά τη 2η συγκομιδή, σημαντικές διαφορές σημειώθηκαν επίσης και στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης, όπου το μεγαλύτερο αριθμό καρπών εμφάνισε η Agris, ακολουθούμενη από τον τοπικό πληθυσμό, ενώ στην Agris-S δεν κατέστη εφικτός ο σχηματισμός καρπών (Πίνακας 3.1, Διάγραμμα 3.1).

**Πίνακας 3.1** Αριθμός καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.

Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση			
		C	75 ml H <sub>2</sub> O	50 ml H <sub>2</sub> O	M.O. (Π)
1η					M.O. (Π)
Αριθμός καρπών	Agris-S	0,4b	0,3a	0,3a	0,3b
	Agris	1,4ab	0,9a	0,9a	1,2a
	Τοπικός Πληθυσμός	2a	1a	0,9a	1a
	<b>M.O. (M)</b>	<b>1,3a</b>	<b>0,7a</b>	<b>0,7a</b>	
2η				M.O. (Π)	
Αριθμός καρπών	Agris-S	0,3b	0,3a		0,3a
	Agris	1,9a	1a	1,43a	1,4a
	Τοπικός Πληθυσμός	0,7ab	0,4a	0,3b	0,5a
	<b>M.O. (M)</b>	<b>1a</b>	<b>0,6a</b>	<b>0,9a</b>	



\*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ( $p \leq 0.05$ ).



**Διάγραμμα 3.1** Αριθμός καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.

### 3.2. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο μήκος των καρπών

Όσον αφορά το μήκος καρπών, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών και, σε ορισμένες περιπτώσεις, μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων. Απουσία υδατικής καταπόνησης, κατά την 1η συγκομιδή, η ποικιλία Agris παρουσίασε το μεγαλύτερο μήκος καρπών, ακολουθούμενη από τον τοπικό πληθυσμό, ενώ η Agris-S εμφάνισε σημαντικά μειωμένο μήκος καρπών. Ωστόσο, υπό συνθήκες καταπόνησης δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές τόσο σε επίπεδο ποικιλίας όσο και σε επίπεδο μεταχείρισης, όπως προκύπτει από τη μέση τιμή των μεταχειρίσεων για το σύνολο των ποικιλιών. Παρά την απουσία στατιστικά σημαντικών διαφορών, παραδόξως, η καταπόνηση δεν οδήγησε σε μείωση του μήκους των καρπών, με εξαίρεση τον τοπικό πληθυσμό που εμφάνισε πτωτική τάση με την αύξηση του επιπέδου καταπόνησης (Πίνακας 3.2, Διάγραμμα 3.2).

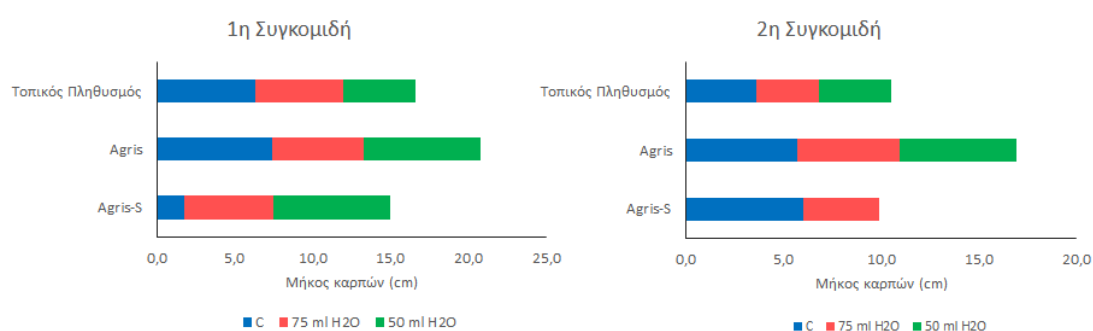
Κατά τη 2η συγκομιδή, απουσία καταπόνησης, το μεγαλύτερο μήκος καρπών εμφάνισε η ποικιλία Agris-S, ενώ σημαντικά μειωμένο μήκος εμφάνισε ο τοπικός πληθυσμός. Στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (75 ml), το μεγαλύτερο μήκος καρπών σημειώθηκε στην ποικιλία Agris, ακολουθούμενη από την ποικιλία Agris-S, ενώ σημαντικά μειωμένο μήκος εμφάνισε ο τοπικός πληθυσμός. Επίσης, στο υψηλό

επίπεδο καταπόνησης, η ποικιλία Agris εμφάνισε το μεγαλύτερο μήκος καρπών, ενώ η Agris-S χαρακτηρίστηκε από αδυναμία σχηματισμού καρπών, υποδεικνύοντας την αρνητική επίδραση της παρατεταμένης και υψηλής έντασης καταπόνησης ξηρασίας (Πίνακας 3.2, Διάγραμμα 3.2).

**Πίνακας 3.2** Μήκος καρπών (cm) πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.

Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση			
		C	75 ml H <sub>2</sub> O	50 ml H <sub>2</sub> O	M.O. (Π)
1η					<b>M.O. (Π)</b>
Μήκος καρπών (cm)	Agris-S	1,8b	5,7a	7,5a	5b
	Agris	7,4a	5,9a	7,5a	7,a
	Τοπικός Πληθυσμός	6,3a	5,7a	4,6a	5,6ab
	<b>M.O. (Μ)</b>	<b>6,2a</b>	<b>5,8a</b>	<b>6,4a</b>	
2η					<b>M.O. (Π)</b>
Μήκος καρπών (cm)	Agris-S	6a	3,9ab		4,9a
	Agris	5,7a	5,28a	6a	5,7a
	Τοπικός Πληθυσμός	3,6b	3,2b	3,7a	3,5b
	<b>M.O. (Μ)</b>	<b>5ab</b>	<b>4,5b</b>	<b>5,4a</b>	

\*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ( $p \leq 0.05$ ).



**Διάγραμμα 3.2** Μήκος καρπών πιπεριάς (cm) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ).

### 3.3. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο πλάτος των καρπών

Σχετικά με το πλάτος των καρπών, η ανάλυση κατέδειξε την ύπαρξη σημαντικών διαφορών μεταξύ των ποικιλιών, χωρίς ωστόσο να καταγράφονται σημαντικές διαφορές σε επίπεδο καταπόνησης τόσο κατά την 1<sup>η</sup> όσο και κατά τη 2<sup>η</sup> συγκομιδή.

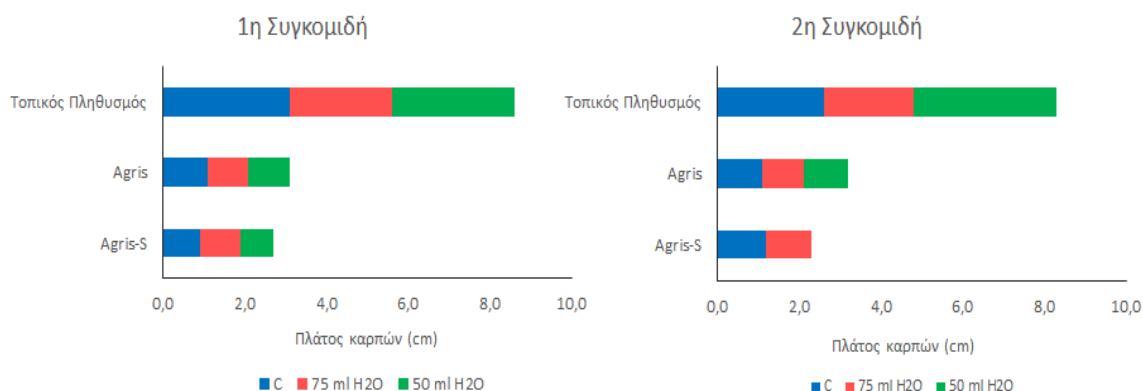
Κατά την 1<sup>η</sup> συγκομιδή, απουσία καταπόνησης, ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισε το μεγαλύτερο πλάτος καρπών, ενώ οι ποικιλίες Agris και Agris-S παρουσίασαν μικρότερο, και παρόμοιο μεταξύ τους, πλάτος καρπών. Υπό συνθήκες καταπόνησης, δεν επηρεάστηκε σημαντικά το πλάτος καρπών, ενώ η σειρά κατάταξης των ποικιλιών ως προς το συγκεκριμένο γνώρισμα ήταν η ίδια. Η απουσία διαφορών σε επίπεδο μεταχείρισης αποτυπώνεται και από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων για το σύνολο των ποικιλιών (Πίνακας 3.3, Διάγραμμα 3.3).

Αντίστοιχα, κατά τη 2<sup>η</sup> συγκομιδή και απουσία καταπόνησης, ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισε μεγαλύτερο πλάτος καρπών συγκριτικά με τις ποικιλίες Agris και Agris-S, όπως είναι εμφανές τόσο στις επιμέρους μεταχειρίσεις όσο και στις μέσες τιμές των ποικιλιών για όλες τις μεταχειρίσεις. Όπως και κατά την 1<sup>η</sup> συγκομιδή, η καταπόνηση δεν οδήγησε σε σημαντική μεταβολή του πλάτους των καρπών, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων για το σύνολο των ποικιλιών.

**Πίνακας 3.3** Πλάτος καρπών (cm) πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.

	Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση			
			C	75 ml H <sub>2</sub> O	50 ml H <sub>2</sub> O	
	1η				<b>Μ.Ο. (Π)</b>	
Πλάτος καρπών (cm)	Agris-S	Agris-S	0,9b	1b	0,8b	0,9b
		Agris	1,1b	1b	1b	1,1b
		Τοπικός Πληθυσμός	3,1a	2,52a	3a	2,9a
	<b>Μ.Ο. (Μ)</b>	<b>1,8a</b>	<b>1,7a</b>	<b>1,8a</b>		
	2η				<b>Μ.Ο. (Π)</b>	
Πλάτος καρπών (cm)	Agris-S	Agris-S	1,2a	1,1b		1,2b
		Agris	1,1a	1b	1,1a	1,1b
		Τοπικός Πληθυσμός	2,6a	2,2a	3,5a	2,7a
	<b>Μ.Ο. (Μ)</b>	<b>1,7a</b>	<b>1,3a</b>	<b>1,8a</b>		

\*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ( $p \leq 0.05$ ).



**Διάγραμμα 3.3** Πλάτος καρπών πιπεριάς (cm) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ).

### 3.4. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο νωπό βάρος των καρπών

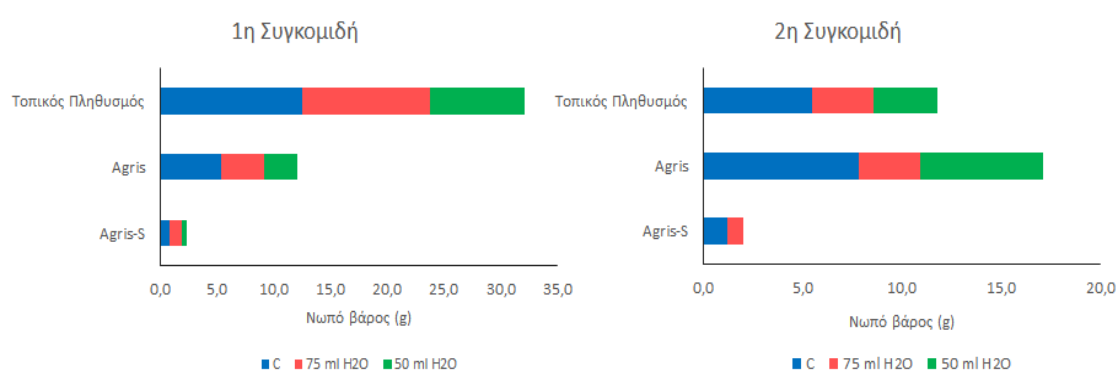
Σχετικά με το νωπό βάρος των καρπών πιπεριάς, η υδατική καταπόνηση δεν επηρέασε σημαντικά το νωπό βάρος των καρπών πιπεριάς τόσο κατά την 1η όσο και κατά την 2η συγκομιδή, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων. Παρά την έλλειψη σημαντικών διαφορών, ήταν εμφανής μία τάση μείωσης των νωπού βάρους στα καταπονημένα φυτά συγκριτικά με τους μάρτυρες (Πίνακας 3.4, Διάγραμμα 3.4).

**Πίνακας 3.4** Νωπό βάρος (g) καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.

Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση			Μ.Ο. (Π)	
		C	75 ml H <sub>2</sub> O	50 ml H <sub>2</sub> O		
1η					<b>Μ.Ο. (Π)</b>	
Νωπό βάρος (g)	Agris-S	0,8b	1,1b	0,5b	0,8b	
	Agris	5,4ab	3,8ab	2,9ab	4b	
	Τοπικός Πληθυσμός	12,5a	11,3a	8,3a	10,7a	
		<b>Μ.Ο. (Μ)</b>	6,2a	5,4a	3,9a	
2η					<b>Μ.Ο. (Π)</b>	
Νωπό βάρος (g)	Agris-S	1,2a	0,8a		1a	
	Agris	7,8a	3,1a	6,2a	5,7a	
	Τοπικός Πληθυσμός	5,5a	3,1a	3,2a	3,9a	
		<b>Μ.Ο. (Μ)</b>	4,8a	2,3a	4,7a	

\*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ( $p \leq 0.05$ ).

Ωστόσο, σημαντικές ήταν οι διαφορές που παρατηρήθηκαν μεταξύ των ποικιλιών κατά την 1η συγκομιδή, με τον τοπικό πληθυσμό να εμφανίζει τις μεγαλύτερες τιμές, ακολουθούμενο από την Agris, ενώ η ποικιλία Agris-S παρουσίασε σημαντικά μειωμένο νωπό βάρος τόσο στους μάρτυρες όσο και στα καταπονημένα φυτά. Αντίθετα, κατά τη 2η συγκομιδή, οι ποικιλίες δε διέφεραν σημαντικά ως προς το νωπό βάρος των καρπών, όπως προκύπτει από τις τιμές στις υπό μελέτη μεταχειρίσεις αλλά και τις μέσες τιμές των ποικιλιών στο σύνολο των μεταχειρίσεων (Πίνακας 3.4, Διάγραμμα 3.4).



**Διάγραμμα 3.4** Νωπό βάρος (g) καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (M) κατά τις δύο συγκομιδές.

### 3.5. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην ξηρά ουσία των καρπών

Αναφορικά με την περιεκτικότητα των καρπών σε ξηρά ουσία των καρπών, η υδατική καταπόνηση δεν επέφερε στατιστικά σημαντικές μεταβολές, όπως είναι εμφανές από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων για το σύνολο των ποικιλιών, τόσο κατά την 1η όσο και κατά τη 2η συγκομιδή. Είναι δε αξιοσημείωτο ότι σε ορισμένες περιπτώσεις, και ιδιαίτερα στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (75 ml), σημειώθηκε αύξηση της ξηράς ουσίας των καρπών. Σε αυτό το επίπεδο, χαρακτηριστική είναι η σημαντική αύξηση της ξηράς ουσίας στην ποικιλία Agris και στις 2 συγκομιδές (1η συγκομιδή, C: 35,1 g / 75 ml: 48 g και 2η συγκομιδή, C: 33,1 g / 75 ml: 44,6 g) (Πίνακας 3.5, Διάγραμμα 3.5).

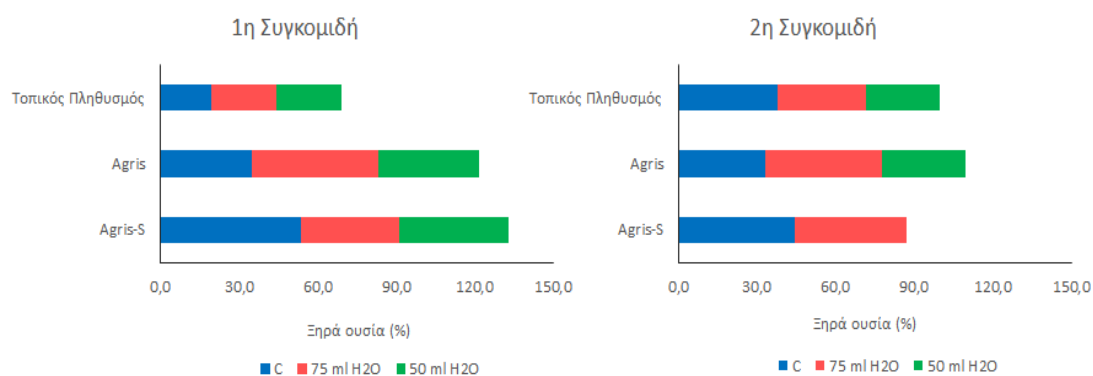
Οι ποικιλίες ωστόσο διέφεραν μεταξύ τους ως προς την περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία, με τις διαφορές να είναι σημαντικές κατά την 1η συγκομιδή. Απουσία καταπόνησης, η ποικιλία Agris-S εμφάνισε τις μεγαλύτερες τιμές, ενώ ο τοπικός

πληθυσμός παρουσίασε τη μικρότερη περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία. Επίσης, σημαντικές ήταν οι διαφορές στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (50 ml), όπου η ποικιλία Agris-S και ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισαν τις μεγαλύτερες και τις μικρότερες τιμές, αντίστοιχα (Πίνακας 3.5, Διάγραμμα 3.5).

**Πίνακας 3.5** Ξηρά ουσία (%) καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.

Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση			Μ.Ο. (Π)
		C	75 ml H <sub>2</sub> O	50 ml H <sub>2</sub> O	
<b>1η</b>					<b>Μ.Ο. (Π)</b>
FRpcDM	Agris-S	53,9a	37,3a	41,9a	44,3a
	Agris	35,1b	48a	38,7a	39,5a
	Τοπικός Πληθυσμός	19,5b	24,9a	24,9b	23b
<b>Μ.Ο. (Μ)</b>		<b>32,2a</b>	<b>35,6a</b>	<b>33,8a</b>	
<b>2η</b>					<b>Μ.Ο. (Π)</b>
FRpcDM	Agris-S	44,7a	42,6a		43,6a
	Agris	33,1a	44,6a	32a	36,6a
	Τοπικός Πληθυσμός	37,8a	33,8a	28,4a	34,5a
<b>Μ.Ο. (Μ)</b>		<b>36,9a</b>	<b>41,8a</b>	<b>31a</b>	

\*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με *LSD* ( $p \leq 0.05$ ).



**Διάγραμμα 3.5** Ξηρά ουσία (%) καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.

### 3.6. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στη συνεκτικότητα των καρπών

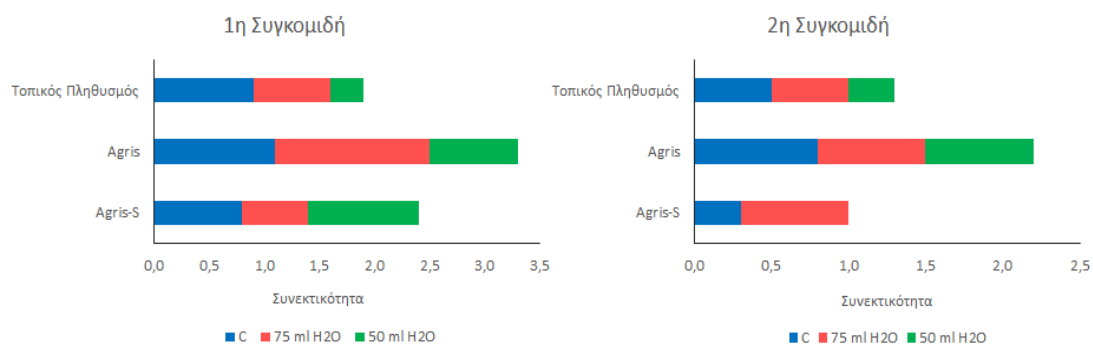
Όσον αφορά την συνεκτικότητα των καρπών, η ανάλυση κατέδειξε την απουσία σημαντικών διαφορών, αν και παρατηρήθηκε μία πτωτική τάση με την αύξηση του επιπέδου καταπόνησης, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων στην 1η συγκομιδή. Εξάιρεση αποτελούν οι μάρτυρες, όπου απουσία καταπόνησης η Agris εμφάνισε σημαντικά μεγαλύτερη συνεκτικότητα καρπών σε σχέση με τις άλλες ποικιλίες, οι οποίες χαρακτηρίστηκαν από μικρότερη και παρόμοια μεταξύ τους συνεκτικότητα. Σε επίπεδο ποικιλίας, τη μεγαλύτερη συνεκτικότητα παρουσίασε η Agris, ακολουθούμενη από την Agris-S, ενώ ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισε σημαντικά μειωμένη συνεκτικότητα (Πίνακας 3.6, Διάγραμμα 3.6).

Κατά την 2η συγκομιδή, παρατηρήθηκε έλλειψη στατιστικά σημαντικών διαφορών, σύμφωνα με τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων για όλες τις ποικιλίες. Αξίζει να αναφερθεί πως η ποικιλία Agris-S εμφάνισε μία τάση αύξησης της συνεκτικότητάς των καρπών στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (75 ml), χωρίς ωστόσο αυτή να είναι στατιστικά σημαντική (Πίνακας 3.6, Διάγραμμα 3.6).

**Πίνακας 3.6** Συνεκτικότητα καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.

Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση			
		C	75 ml H <sub>2</sub> O	50 ml H <sub>2</sub> O	M.O. (Π)
1η					<b>M.O. (Π)</b>
Συνεκτικότητα	Agris-S	0,8b	0,6a	1a	0,8ab
	Agris	1,1a	1,4a	0,8a	1,1a
	Τοπικός Πληθυσμός	0,9b	0,7a	0,3a	0,6b
	<b>M.O. (Μ)</b>	<b>1a</b>	<b>0,9a</b>	<b>0,7a</b>	
2η					<b>M.O. (Π)</b>
Συνεκτικότητα	Agris-S	0,3a	0,7a		0,5a
	Agris	0,8a	0,7a	0,7a	0,7a
	Τοπικός Πληθυσμός	0,5a	0,5a	0,3a	0,4a
	<b>M.O. (Μ)</b>	<b>0,6a</b>	<b>0,6a</b>	<b>0,6a</b>	

\*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ( $p \leq 0.05$ ).



**Διάγραμμα 3.6** Συνεκτικότητα καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.

### 3.7. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην περιεκτικότητα των καρπών σε στερεά διαλυτά συστατικά

Σχετικά με την περιεκτικότητα των καρπών σε στερεά διαλυτά σάκχαρα, η ανάλυση κατέδειξε πως, τόσο στην 1η και όσο και στην 2η συγκομιδή, δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των καταπονημένων φυτών και των μαρτύρων, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων.

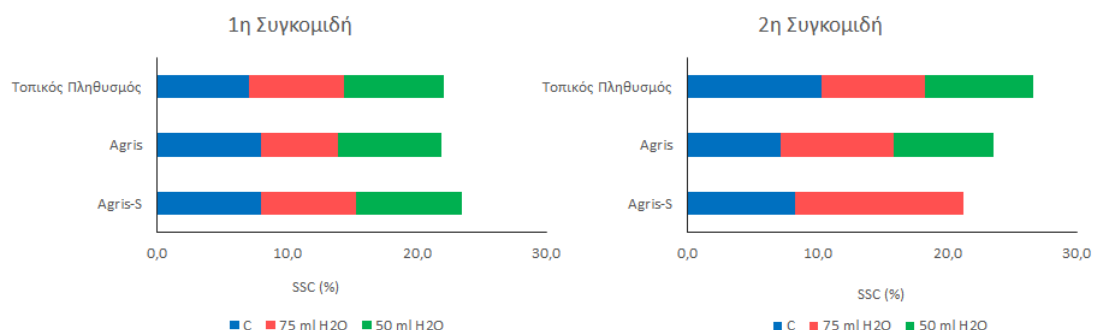
Κατά την 1η συγκομιδή, απουσία καταπόνησης, οι ποικιλίες Agris και Agris-S εμφάνισαν μεγαλύτερη, και όμοια, περιεκτικότητα SSC (%), ενώ κατά τη 2η συγκομιδή μεγαλύτερη περιεκτικότητα σημειώθηκε στους μάρτυρες του τοπικού πληθυσμού. Είναι ενδιαφέρον ότι, κατά την 1η συγκομιδή, η καταπόνηση στο χαμηλό επίπεδο επέφερε μείωση, μη σημαντική, της περιεκτικότητας SSC, ενώ στο υψηλό επίπεδο παρατηρήθηκε αυξημένη συγκέντρωση. Κατά τη 2η συγκομιδή, η περιεκτικότητα SSC ακολούθησε αντίθετη τάση στα υπό μελέτη επίπεδα καταπόνησης. Κατά την 1<sup>η</sup> συγκομιδή, τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε στερεά διαλυτά συστατικά εμφάνισε η Agris-S και τη μικρότερη ο τοπικός πληθυσμός, χωρίς ωστόσο να υπάρχουν σημαντικές διαφορές, σύμφωνα με τις μέσες τιμές των ποικιλιών. Κατά τη 2η συγκομιδή, η Agris-S εμφάνισε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση SSC, ενώ η Agris τη μικρότερη, σύμφωνα με τις μέσες τιμές των ποικιλιών (Πίνακας 3.7, Διάγραμμα 3.7).



**Πίνακας 3.7** Περιεκτικότητα καρπών πιπεριάς σε στερεά διαλυτά σάκχαρα (SSC) (%) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.

Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση			
		C	75 ml H <sub>2</sub> O	50 ml H <sub>2</sub> O	M.O. (Π)
1η					M.O. (Π)
SSC (%)	Agris-S	8a	7,3a	8,2a	7,8a
	Agris	8a	5,9a	8a	7,4a
	Τοπικός Πληθυσμός	7,1a	7,3a	7,7a	7,3a
	<b>M.O. (Μ)</b>	<b>7,7a</b>	<b>6,8a</b>	<b>7,9a</b>	
2η					M.O. (Π)
SSC (%)	Agris-S	8,3a	13a		10,6a
	Agris	7,2a	8,7b	7,7a	7,9b
	Τοπικός Πληθυσμός	10,3a	8b	8,3a	8,8ab
	<b>M.O. (Μ)</b>	<b>8,5ab</b>	<b>9,5a</b>	<b>7,9a</b>	

\*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ( $p \leq 0.05$ ).



**Διάγραμμα 3.7** Περιεκτικότητα καρπών πιπεριάς σε στερεά διαλυτά συστατικά (SSC) (%) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.

### 3.8. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο χρώμα των καρπών

Σχετικά με το χρώμα των καρπών πιπεριάς, η ανάλυση έγινε βάσει τριών παραγόντων: L, C\* και Hue. Αναφορικά με τον παράγοντα L, που αναφέρεται στη φωτεινότητα των καρπών, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές σε επίπεδο μεταχείρισης κατά την 1η συγκομιδή, ενώ κατά τη 2η συγκομιδή η μεγαλύτερη τιμή σημειώθηκε στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (50 ml), όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων. Σε επίπεδο ποικιλίας, κατά την 1η συγκομιδή, τις μεγαλύτερες τιμές εμφάνισαν οι ποικιλίες AgriS-S και AgriS, τόσο στα καταπονημένα φυτά όσο και στους μάρτυρες. Κατά τη 2η συγκομιδή, οι μάρτυρες των ανωτέρω ποικιλιών εμφάνισαν τις υψηλότερες τιμές, ενώ στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (75 ml) η

μεγαλύτερη τιμή καταγράφηκε στην ποικιλία Agris. Σε όλες τις περιπτώσεις, ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισε μειωμένες τιμές, όπως προκύπτει από τις τιμές στις επιμέρους μεταχειρίσεις και τις μέσες τιμές των ποικιλιών (Πίνακας 3.8).

Σχετικά με τον παράγοντα C, που αναφέρεται στην καθαρότητα του χρώματος, κατά την 1η συγκομιδή δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές σε επίπεδο μεταχείρισης, ενώ κατά τη 2η συγκομιδή η μεγαλύτερη τιμή καταγράφηκε στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (50 ml). Σε επίπεδο ποικιλίας, σημαντικά αυξημένες τιμές εμφάνισαν οι ποικιλίες Agris και Agris-S και στις δύο συγκομιδές, με μόνη εξαίρεση το χαμηλό επίπεδο καταπόνησης όπου οι καρποί της ποικιλίας Agris-S εμφάνισαν σημαντικά μειωμένη τιμή συγκριτικά με τους αντίστοιχους της Agris. Ο τοπικός πληθυσμός χαρακτηρίστηκε από σημαντικά μειωμένες τιμές τόσο στους μάρτυρες όσο και στα καταπονημένα φυτά (Πίνακας 3.8).

Σχετικά με την απόχρωση των καρπών, που εκτιμάται βάσει του παράγοντα Hue, κατά την 1η συγκομιδή δεν παρατηρήθηκαν διαφορές τόσο σε επίπεδο μεταχείρισης όσο και σε επίπεδο ποικιλίας. Ωστόσο, κατά τη 2η συγκομιδή, καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές, οι οποίες μάλιστα παρουσιάζουν έντονη γονοτυπική εξάρτηση. Απουσία καταπόνησης οι τρεις ποικιλίες δε διέφεραν ως προς την απόχρωση των καρπών, ωστόσο η υδατική καταπόνηση επέφερε μείωση του χρώματος στην ποικιλία Agris-S, ενώ ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισε αντίθετη τάση ενίσχυσης του χρώματος. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι καρποί της ποικιλίας Agris-S εμφάνισαν χρώμα που πλησιάζει της αποχρώσεις του κίτρινου. Αντίθετα, η απόχρωση του χρώματος στους καρπούς της ποικιλίας Agris παρέμεινε αμετάβλητη (Πίνακας 3.8).

Συμπερασματικά, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα μπορεί να προκύψει το συμπέρασμα πως ενώ στην 1η συγκομιδή οι ποικιλίες Agris και Agris-S παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές στην καθαρότητα, φωτεινότητα και απόχρωση στο σύνολο των μεταχειρίσεων, ενώ η παρατεταμένη καταπόνηση (2η συγκομιδή) επηρέασε περισσότερο τους καρπούς της ποικιλίας Agris-S, οι οποίοι χαρακτηρίζονταν από λιγότερο φωτεινό και καθαρό χρώμα και αποχρώσεις που πλησιάζουν αυτές του κίτρινου.

**Πίνακας 3.8** Χρώμα καρπών πιπεριάς ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.

Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση			
		C	75 ml H <sub>2</sub> O	50 ml H <sub>2</sub> O	M.O. (Π)
1η		<b>M.O. (Π)</b>			
L*	Agris-S	53,4a	53,3a	53,4a	53,4a
	Agris	55,3a	56,7a	55,1a	55,6a
	Τοπικός Πληθυσμός	40,1b	37,7b	43,6b	40,b
	<b>M.O. (M)</b>	49,6a	47,4a	50,2a	
		<b>M.O. (Π)</b>			
C*	Agris-S	48,2a	49,4a	49,3a	48,9a
	Agris	49,4a	49,7a	49,7a	49,5a
	Τοπικός Πληθυσμός	27,b	25,7b	33,7b	28,4b
	<b>M.O. (M)</b>	41,2a	38,7a	43,2a	
Hue	Agris-S	115,5a	115,a	114,2a	115,1a
	Agris	113,4a	113,8a	114,4a	113,8a
	Τοπικός Πληθυσμός	111a	120,3a	103,7a	112,3a
	<b>M.O. (M)</b>	112,9a	117,1a	110a	
2η		<b>M.O. (Π)</b>			
L*	Agris-S	52,4a	43,2b		47,8b
	Agris	57,3a	56,4a	59,9a	57,9a
	Τοπικός Πληθυσμός	41,4b	38,1b	49,3a	42,5b
	<b>M.O. (M)</b>	50,6b	49,4b	56,9a	
C*	Agris-S	48,9a	30,7b		39,8b
	Agris	51,3a	52,0a	53,6a	52,3a
	Τοπικός Πληθυσμός	35,7b	26,4b	43 b	35,2b
	<b>M.O. (M)</b>	45,2b	41,6b	50,6a	
Hue	Agris-S	114,5a	77,8c		96,2a
	Agris	114,5a	114b	113,6b	114,1a
	Τοπικός Πληθυσμός	96,7a	126,2a	118,3a	113,7a
	<b>M.O. (M)</b>	108a	108,7a	115a	

\*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ( $p \leq 0.05$ ).

### 3.9. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην περιεκτικότητα των φύλλων σε προλίνη

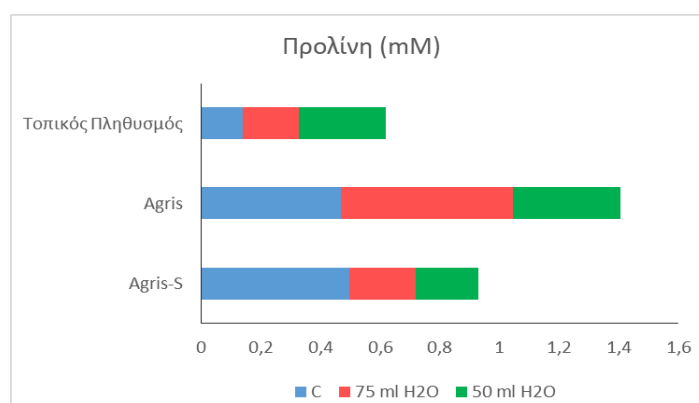
Σχετικά με την περιεκτικότητα των φύλλων πιπεριάς σε προλίνη, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων, αν και διαφαίνεται μία τάση μείωσης της προλίνης με την αύξηση του επιπέδου καταπόνησης, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων. Απουσία καταπόνησης, η περιεκτικότητα των

ποικιλιών Agris και Agris-S ήταν μεγαλύτερη, και κυμάνθηκε σε παρόμοια επίπεδα, ενώ η περιεκτικότητα των φύλλων του τοπικού πληθυσμού ήταν σημαντικά μειωμένη. Στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (75 ml), η Agris εμφάνισε τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα, ακολουθούμενη από την Agris-S και τον τοπικό πληθυσμό. Στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (50 ml), οι τιμές των ποικιλιών δε διέφεραν σημαντικά, ωστόσο τόσο η Agris όσο και η Agris-S εμφάνισαν μειωμένες τιμές συγκριτικά με τους μάρτυρες. Αντίθετα, η καταπόνηση επέφερε αύξηση της συγκέντρωσης προλίνης στον τοπικό πληθυσμό. Βάσει της μέσης τιμής των ποικιλιών, τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε προλίνη παρουσίασε η ποικιλία Agris, ακολουθούμενη από την Agris-S και τη μικρότερη ο τοπικός πληθυσμός. Είναι ωστόσο αξιοσημείωτο ότι ο τοπικός πληθυσμός χαρακτηρίστηκε από αυξητική τάση με την αύξηση του επιπέδου καταπόνησης (Πίνακας 3.9, Διάγραμμα 3.9).

**Πίνακας 3.9** Περιεκτικότητα φύλλων πιπεριάς σε προλίνη (mM) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ).

	Ποικιλία	Μεταχείριση			Μ.Ο. (Π)
		C	75 ml H <sub>2</sub> O	50 ml H <sub>2</sub> O	
<b>Προλίνη</b>	Agris-S	0,496a	0,224b	0,209a	0,336a
	Agris	0,469a	0,577a	0,36a	0,469a
	Τοπικός Πληθυσμός	0,141b	0,188b	0,29a	0,18b
	Μ.Ο. (Μ)	0,368a	0,329a	0,286a	

\*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ( $p \leq 0.05$ ).



**Διάγραμμα 3.8** Περιεκτικότητα των φύλλων πιπεριάς σε προλίνη (mM) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ).

### **3.10. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στην περιεκτικότητα των καρπών σε καψαϊκίνη**

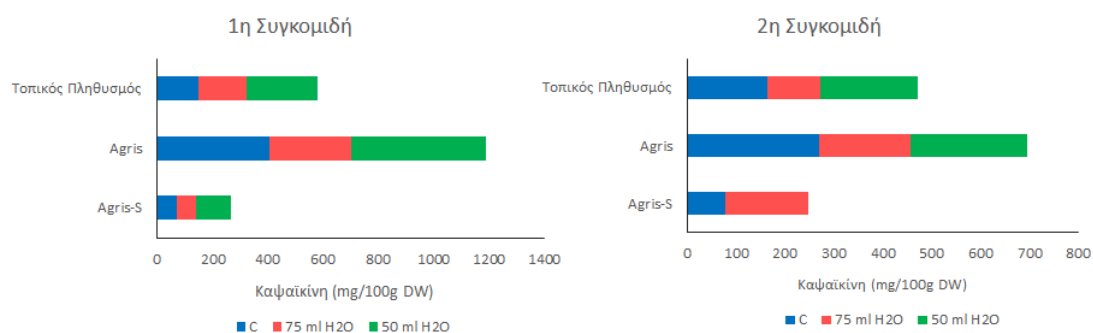
Σχετικά με την περιεκτικότητα των καρπών σε καψαϊκίνη, η ανάλυση κατέδειξε την ύπαρξη διαφορών μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων και ποικιλιών, οι οποίες ήταν στατιστικά σημαντικές στους καρπούς της 1ης συγκομιδής. Απουσία καταπόνησης, τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε καψαϊκίνη εμφάνισε η ποικιλία Agris, ενώ η Agris και ο τοπικός πληθυσμός χαρακτηρίζονταν από σημαντικά μειωμένη ποσότητα καψαϊκίνης. Υπό συνθήκες καταπόνησης, παρατηρήθηκε διαφορετική απόκριση των ποικιλιών, αναφορικά με τη συσσώρευση καψαϊκίνης, στα υπό μελέτη επίπεδα καταπόνησης. Έτσι, στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (75 ml), σημειώθηκε μείωση της περιεκτικότητας καψαϊκίνης στους καρπούς της ποικιλίας Agris, ενώ στον τοπικό πληθυσμό παρατηρήθηκε αντίθετη τάση. Ωστόσο, στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (50 ml), παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη αύξηση της καψαϊκίνης στους καρπούς όλων των ποικιλιών. Αξίζει να αναφερθεί πως στον τοπικό πληθυσμό η προοδευτική αύξηση της έντασης καταπόνησης οδήγησε σε ανάλογη αύξηση των τιμών καψαϊκίνης. Σε επίπεδο μεταχείρισης, η μεγαλύτερη περιεκτικότητα σημειώθηκε στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης, ακολουθούμενη από τους μάρτυρες, ενώ τη μικρότερη εμφάνισαν οι καρποί των φυτών που καταπονήθηκαν στο χαμηλό επίπεδο. Σε επίπεδο ποικιλίας, τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα εμφάνισε ποικιλία Agris και τη μικρότερη η ποικιλία Agris-S (Πίνακας 3.10, Διάγραμμα 3.10).

Κατά την 2η συγκομιδή, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές τόσο σε επίπεδο ποικιλίας όσο και σε επίπεδο μεταχειρίσεων. Παρά την έλλειψη διαφορών, παρατηρήθηκε μία τάση αύξησης της καψαϊκίνης στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης. Κατ' αναλογία με τα αποτελέσματα που αφορούν την 1η συγκομιδή, οι ποικιλίες Agris και Agris-S εμφάνισαν την υψηλότερη και χαμηλότερη συγκέντρωση καψαϊκίνης, αντίστοιχα (Πίνακας 3.10, Διάγραμμα 3.10).

**Πίνακας 3.10** Περιεκτικότητα καρπών πιπεριάς σε καψαϊκίνη (mg / 100g DW) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (M) κατά τις δύο συγκομιδές.

	Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση			
			C	75 ml H <sub>2</sub> O	50 ml H <sub>2</sub> O	
	1η		M.O. (Π)			
<b>Καψαϊκίνη (mg / 100 g DW)</b>		Agris-S	69,3b	69,3a	128,4b	89c
		Agris	405a	298,9a	487a	397a
		Τοπικός Πληθυσμός	149,3b	172,1a	257,9b	193,1b
		M.O. (M)	235,6ab	202,3b	323,6a	
	2η		M.O. (Π)			
<b>Καψαϊκίνη (mg / 100 g DW)</b>		Agris-S	78,9a	168a		123,5a
		Agris	270,5a	185,9a	240a	232,1a
		Τοπικός Πληθυσμός	164,3a	108,6a	199,3a	157,4a
		M.O. (M)	181,6a	165,4a	228,4a	

\*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ( $p \leq 0.05$ ).



**Διάγραμμα 3.9** Περιεκτικότητα καρπών πιπεριάς σε καψαϊκίνη (mg / 100g DW) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (M) κατά τις δύο συγκομιδές.

### 3.11. Καυστικότητα καρπών πιπεριάς, σύμφωνα με την κλίμακα Scoville

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που αφορούν στην περιεκτικότητα των καρπών σε καψαϊκίνη, η καυστικότητά τους, η οποία προσδιορίζεται σύμφωνα με την κλίμακα Scoville, διέφερε σημαντικά τόσο σε επίπεδο μεταχείρισης όσο και σε επίπεδο ποικιλιών. Είναι εμφανές ότι η υδατική καταπόνηση επηρέασε διαφορετικά τις 3 ποικιλίες, ενώ παράλληλα το επίπεδο της καταπόνησης υπήρξε καθοριστικό ως προς την καυστικότητα των καρπών. Κατά την 1η συγκομιδή, το χαμηλό επίπεδο καταπόνησης οδήγησε σε μείωση της καυστικότητας στην ποικιλία Agris και αύξηση

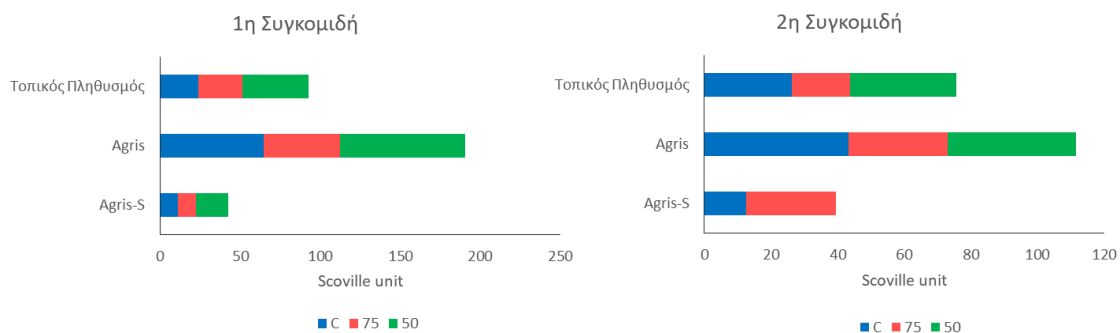
στον τοπικό πληθυσμό, ενώ η καυστικότητα της Agris-S παρέμεινε αμετάβλητη. Ωστόσο, στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης, το σύνολο των ποικιλιών εμφάνισε τάση αύξησης της καυστικότητας. Σε επίπεδο ποικιλίας, οι καρποί της ποικιλίας Agris χαρακτηρίζονται ως οι περισσότερο καυστικοί, ενώ οι καρποί της ποικιλίας Agris-S θεωρούνται ως οι λιγότερο καυστικοί σύμφωνα με τις μέσες τιμές των ποικιλιών.

Όσον αφορά την 2η συγκομιδή σε επίπεδο μεταχειρίσεων, παρατηρήθηκε επίσης τάση μείωσης της καυστικότητας στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης και αύξησή της στην υψηλή ένταση καταπόνησης, με μοναδική εξαίρεση την καυστικότητα της ποικιλίας Agris-S, η οποία αυξήθηκε ήδη από το χαμηλό επίπεδο. Σε επίπεδο ποικιλίας, η σειρά κατάταξης των ποικιλιών ως προς την καυστικότητά τους δε μεταβλήθηκε σε σχέση με αυτή της 1η συγκομιδής, με την Agris και την Agris-S να εμφανίζουν την εντονότερη και ηπιότερη καυστικότητα, αντίστοιχα, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των ποικιλιών (Πίνακας 3.11, Διάγραμμα 3.11).

**Πίνακας 3.11** Καυστικότητα καρπών πιπεριάς, σύμφωνα με την κλίμακα Scoville, ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.

	Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση			
			C	75 ml H <sub>2</sub> O	50 ml H <sub>2</sub> O	
	1η				M.O. (Π)	
Scoville Unit		Agris-S	11,088	11,088	20,544	14,24
		Agris	64,8	47,824	77,92	63,52
		Τοπικός Πληθυσμός	<b>23,888</b>	<b>27,536</b>	<b>41,264</b>	<b>30,896</b>
		M.O. (M)	37,696	32,368	51,776	
	2η				M.O. (Π)	
Scoville Unit		Agris-S	12,624	26,88		19,76
		Agris	43,28	29,744	38,4	37,136
		Τοπικός Πληθυσμός	<b>26,288</b>	<b>17,376</b>	<b>31,888</b>	<b>25,184</b>
		M.O. (M)	29,056	26,464	36,544	

\*Οι μέσοι όροι που ακολουθούνται από το ίδιο γράμμα δε διαφέρουν σημαντικά, σύμφωνα με LSD ( $p \leq 0.05$ ).



**Διάγραμμα 3.10** Καυστικότητα καρπών πιπεριάς, σύμφωνα με την κλίμακα Scoville, ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ) κατά τις δύο συγκομιδές.

### 3.12. Επίδραση της υδατικής καταπόνησης στο φαινότυπο των φυτών

Η επίδραση της υδατικής καταπόνησης στον φαινότυπο των φυτών αποτυπώνεται με χλωρώσεις στο φύλλωμα με τις εντονότερες να παρουσιάζονται στη μεταχείριση των 50ml. Ομοίως και η σπαργή των φυτών μειώνεται με την αύξηση της υδατικής καταπόνησης (Εικόνα 3.1,3.2, 3.3).



**Εικόνα 3.1** Σύνολο μεταχειρίσεων πριν την 1η συγκομιδή.





**Εικόνα 3.2** Φυτά που υποβλήθηκαν σε καταπόνηση στο χαμηλό επίπεδο (75 ml νερό).



**Εικόνα 3.3** Φυτά που υποβλήθηκαν σε καταπόνηση στο υψηλό επίπεδο (50 ml νερό).

Όσον αφορά τη 2<sup>η</sup> συγκομιδή, σε συνθήκες παρατεταμένης ξηρασίας παρατηρείται αξιοσημείωτη επίδραση στον φαινότυπο με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα τον μαρασμό και καταστροφή των ακραίων μεριστωμάτων ιδιαίτερος στις μεταχειρίσεις με την εντονότερη ξηρασία, όπου το φυτό έχει απογυμνωθεί. Παρόμοια εικόνα με την 1<sup>η</sup> συγκομιδή παρατηρείται όσο αφορά τις χλωρώσεις φύλλων όπου το φαινόμενο παρουσιάζεται εντονότερο σε όλες τις μεταχειρίσεις. Σε αντιδιαστολή με τα παραπάνω ο μάρτυρας δεν παρουσίασε τα προαναφερθέντα συμπτώματα (Εικόνα 3.4).



**Εικόνα 3.4** Φαινότυπος φυτών υπό συνθήκες καταπόνησης. Α. Φυτά-μάρτυρες. Β. Φυτά που υποβλήθηκαν στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (75 ml). Γ. Φυτά που υποβλήθηκαν στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (50 ml).

## 4. Συζήτηση

---

Οι φυτικοί οργανισμοί αναπτύσσονται σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες που περιλαμβάνουν τόσο βιοτικές καταπονήσεις, συμπεριλαμβανομένων των εχθρών και φυτοπαθογόνων μικροοργανισμών, όσο και αβιοτικές καταπονήσεις, με κυριότερες αυτές της ανεπάρκειας εδαφικής υγρασίας, της υψηλής αλατότητας, των ακραίων θερμοκρασιών, της ανεπάρκειας θρεπτικών ουσιών, και της υπερσυσσώρευσης στο εδαφικό διάλυμα βαρέων μετάλλων. Ωστόσο, η ανεπάρκεια νερού, η αλατότητα του εδάφους και οι ακραίες θερμοκρασίες συνιστούν τους πλέον σημαντικούς περιοριστικούς παράγοντες καθώς επιδρούν καθοριστικά στην γεωγραφική κατανομή των φυτών και στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών, απειλώντας ταυτόχρονα την επισιτιστική ασφάλεια σε παγκόσμιο επίπεδο. Είναι παράλληλα αξιοσημείωτο ότι οι δυσμενείς συνέπειες των ανωτέρω παραγόντων προβλέπεται ότι θα ενταθούν περαιτέρω από την κλιματική αλλαγή, η οποία αναμένεται να επιφέρει αύξηση της έντασης και διάρκειας των εν λόγω καταπονήσεων (Fedoroff et al., 2010; Zhu, 2016). Στο πλαίσιο αυτό, οι κύριες προκλήσεις για τη βελτίωση των φυτών συνδέονται με τη βιώσιμη ανάπτυξη της γεωργίας, την επισιτιστική ασφάλεια, ιδιαίτερα ενόψει των δημογραφικών τάσεων, και την αυξανόμενη ζήτηση των καταναλωτών για τρόφιμα. Βάσει των ανωτέρω είναι προφανής η αναγκαιότητα αποτελεσματικότερης χρήσης φυτικών γενετικών πόρων προς αξιοποίηση σε προγράμματα βελτίωσης.

Είναι γεγονός πως στα περισσότερα φυσικά περιβάλλοντα και καλλιέργειες, η διαθεσιμότητα εδαφικής υγρασίας είναι περιορισμένη λόγω παρατεταμένης ανομβρίας. Σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, υπολογίζεται πως περίπου το 25 % της παγκόσμιας γεωργικής γης πλήττεται από ανεπάρκεια εδαφικής υγρασίας. Το νερό αντιπροσωπεύει περίπου το 80-95 % της νωπής βιομάζας των μη ξυλωδών φυτών με καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξή τους (Hirt et al., 2004; Salesi-lisar, 2012). Βάσει των ανωτέρω, η ξηρασία χαρακτηρίζεται ως ο κυριότερος παράγοντας περιορισμού της γεωργικής παραγωγής, με τις δυσμενείς επιπτώσεις στις καλλιέργειες να εντείνονται ολοένα και περισσότερο σε πολλές περιοχές παγκοσμίως (Passioura, 2007).

Η υδατική καταπόνηση επηρεάζει πληθώρα φυσιολογικών λειτουργιών των φυτικών οργανισμών, οδηγώντας τελικά σε μειωμένη κυτταρική και μεταβολική δραστηριότητα, αυξημένη τοξικότητα ιόντων, αναστολή της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης, μειωμένη πίεση σπαργής κ.ά. (Taiz et al., 2015). Η προσαρμογή των φυτικών οργανισμών σε συνθήκες έλλειψης νερού περιλαμβάνει μία σειρά αποκρίσεων σε φυσιολογικό, μορφολογικό, φαινολογικό, βιοχημικό και μοριακό επίπεδο, επιφέροντας συνέπειες που εκτείνονται από μεμονωμένα μόρια έως και ολόκληρο τον οργανισμό. Οι στρατηγικές που έχουν αναπτύξει τα φυτά στο πλαίσιο αντιμετώπισης της υδατικής καταπόνησης περιλαμβάνουν τη διαφυγή, αποφυγή και ανοχή (Salehi and Bakhshayeshan-Agdam, 2016). Είναι προφανές ότι η βελτίωση της ανθεκτικότητας έναντι της ξηρασίας αποτελεί έναν από τους πλέον βασικούς στόχους των βελτιωτικών προγραμμάτων στο σύνολο σχεδόν των καλλιεργούμενων φυτικών ειδών. Μάλιστα, ένας συνεχώς αυξανόμενος αριθμός μελετών καταδεικνύει ότι η χρήση ανθεκτικών ποικιλιών στην ξηρασία αποτελεί την πλέον ενδεδειγμένη και αειφόρο στρατηγική για την έμμεση αύξηση και επίτευξη ικανοποιητικών αποδόσεων σε περιβάλλοντα που πλήττονται από υδατική καταπόνηση (Siddique et al., 2000).

Σύμφωνα με τους Bosland και Votana (1999), η καυτερή πιπεριά (*Capsicum annuum* L.) θεωρείται μια από τις σημαντικότερες καλλιέργειες τόσο από οικονομικής άποψης όσο και από διατροφικής αξίας καθώς αποτελεί πλούσια πηγή φυσικών χρωμάτων, αντιοξειδωτικών, βιταμίνης C, προ-βιταμίνης A, E, P, B1, B2, και B3. Καθ' όλη τη διάρκεια του βιολογικού της κύκλου, η πιπεριά είναι ευαίσθητη στην υδατική καταπόνηση, είτε αυτή εκφράζεται μέσω έλλειψης (Rhoades et al., 1992) η περίσσειας νερού (Moreno et al., 2003). Ωστόσο, η έλλειψη νερού επηρεάζει καθοριστικά τα στάδια ανθοφορίας και καρπόδεσης. Υπό το πρίσμα αυτό, βασικό ερευνητικό στόχο αποτελεί η κατανόηση της απόκρισης του φυτού στην υδατική καταπόνηση ως βάση για τη μετέπειτα ανάπτυξη ανθεκτικών ποικιλιών με γενετική ανθεκτικότητα στην ξηρασία (Anjum et al., 2012).

Στο πλαίσιο αυτό, σκοπό της παρούσας πτυχιακής διατριβής αποτέλεσε η μελέτη της απόκρισης γενετικού υλικού πιπεριάς, και συγκεκριμένα του τύπου "Μακεδονικό μυτερό", ως προς την απόκριση υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Το γενετικό υλικό περιλάμβανε τρεις διαφορετικούς γονοτύπους, και ειδικότερα την ποικιλία AgriS, τον πληθυσμό AgriS-S, που προέκυψε έπειτα από πολυετή επιλογή για χαμηλή καυστικότητα των καρπών, και έναν τοπικό πληθυσμό που προέχεται από την

περιοχή του Ματονερίου. Η καταπόνηση έλαβε χώρα κατά το κρίσιμο αναπτυξιακό στάδιο της έναρξης της άνθισης και περιλάμβανε τρία διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (100, 75, 50 ml). Η απόκριση του υπό μελέτη γενετικού υλικού αξιολογήθηκε βάσει του αριθμού και μεγέθους των καρπών (μήκος και πλάτος, νωπό βάρος), των ποιοτικών χαρακτηριστικών των καρπών (περιεκτικότητα (%) ξηράς ουσίας, περιεκτικότητα σε στερεά διαλυτά συστατικά, συνεκτικότητα, χρώμα), της περιεκτικότητας των καρπών σε καψαϊκίνη και της περιεκτικότητας των φύλλων σε προλίνη.

Σχετικά με τον αριθμό καρπών, παρά την έλλειψη στατιστικά σημαντικών διαφορών, παρατηρήθηκε μια πτωτική τάση στα καταπονημένα φυτά συγκριτικά με τους μάρτυρες. Υπό συνθήκες καταπόνησης, οι ποικιλίες δε διέφεραν ως προς τον αριθμό καρπών κατά την 1<sup>η</sup> συγκομιδή, ενώ κατά τη 2<sup>η</sup> συγκομιδή σημειώθηκαν διαφορές στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης, με την Agris να εμφανίζει το μεγαλύτερο αριθμό, ενώ στην Agris-S δεν κατέστη εφικτός ο σχηματισμός καρπών. Αντίστοιχη πτωτική, αλλά μη σημαντική, τάση αναφορικά με τον αριθμό καρπών πιπεριάς με την αύξηση του επιπέδου καταπόνησης έχει αναφερθεί και σε άλλες μελέτες (Showemimo and Olarewaju, 2007; Mardani et al., 2017), με την καταπόνηση ωστόσο να οδηγεί σε αξιοσημείωτη μείωση της περιεκτικότητας των καρπών σε ξηρά ουσία (Mardani et al., 2017).

Αναφορικά με το μήκος και πλάτος των καρπών δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων, ωστόσο σημαντικές ήταν οι διαφορές μεταξύ των ποικιλιών. Ειδικότερα, η καταπόνηση δεν οδήγησε σε μείωση του μήκους των καρπών, με εξαίρεση τον τοπικό πληθυσμό που εμφάνισε πτωτική τάση με την αύξηση του επιπέδου καταπόνησης. Μεταξύ των ποικιλιών, το μεγαλύτερο μήκος καρπών εμφάνισε η Agris ακολουθούμενη από Agris-S η οποία ωστόσο κατά τη 2<sup>η</sup> συγκομιδή εμφάνισε αδυναμία σχηματισμού καρπών, υποδεικνύοντας την αρνητική επίδραση της παρατεταμένης και υψηλής έντασης καταπόνησης ξηρασίας. Αντιστοίχως, το πλάτος των καρπών δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την καταπόνηση αλλά, όπως αναμενόταν, εμφάνισε σημαντική γονοτυπική εξάρτηση, με τον τοπικό πληθυσμό να χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερο πλάτος καρπών συγκριτικά με τις ποικιλίες Agris και Agris-S. Τα ευρήματα αυτά συνάδουν με προηγούμενες αναφορές σχετικά με τη μη σημαντική επίδραση της καταπόνησης ξηρασίας στο μήκος και πλάτος των καρπών πιπεριάς. Συγκεκριμένα, η

μελέτη 9 ποικιλιών καυτερής πιπεριάς, που ανήκαν στα είδη *C. annuum* και *C. chinense* και εμφάνιζαν σημαντική γενετική παραλλακτικότητα ως προς τα αναπτυξιακά χαρακτηριστικά των φυτών, τη μορφολογία των φύλλων και των καρπών καθώς και το επίπεδο καυστικότητας των καρπών, ανέδειξε την απουσία διαφορών ως προς το μήκος και πλάτος των καρπών λόγω της καταπόνησης (Phimchan et al., 2012).

Σχετικά με την περιεκτικότητα των καρπών σε στερεά διαλυτά συστατικά, η ανάλυση κατέδειξε επίσης πως δεν παρουσιάστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των καταπονημένων φυτών και των μαρτύρων. Ωστόσο, κατά την 1η συγκομιδή, η καταπόνηση επέφερε μείωση, μη σημαντική, και αύξηση στο χαμηλό και υψηλό επίπεδο αντίστοιχα, ενώ κατά τη 2η συγκομιδή, η περιεκτικότητα SSC ακολούθησε αντίθετη τάση στα υπό μελέτη επίπεδα καταπόνησης. Αντίστοιχη τάση αύξησης της περιεκτικότητας SSC παρατηρήθηκε και σε άλλες μελέτες στην πιπεριά, όπου αναφέρεται ότι η μέτρια υδατική καταπόνηση οδηγεί σε υψηλότερη περιεκτικότητα SSC συγκριτικά με τους μάρτυρες και την υψηλή ένταση καταπόνησης (Dorji et al., 2005). Η αυξημένη συγκέντρωση SSC σε καρπούς φυτών που υπέστησαν μέτρια καταπόνηση έχει αποδοθεί στη μειωμένη περιεκτικότητα των καρπών σε νερό και την αυξημένη υδρόλυση του αμύλου σε σάκχαρα (Kramer, 1983). Επιπλέον, η παραπάνω συνθήκη ενδεχομένως σχετίζεται με την τάση μείωσης του αριθμού καρπών στα καταπονημένα φυτά, η οποία συντελεί σε αυξημένη συγκέντρωση νερού και υδατανθράκων στους εναπομείναντες καρπούς, διατηρώντας την τελική μάζα τους σε παρόμοια επίπεδα με αυτή των μαρτύρων (Dorji et al., 2005).

Ένα πλήθος μελετών καταδεικνύει ότι υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης τα φυτά, προκειμένου να υπερκεράσουν την καταπόνηση, προβαίνουν σε συσσώρευση συμβατών οσμολυτών, όπως η προλίνη (Cattivelli et al., 2008), ενώ αρκετές μελέτες υπογραμμίζουν τις πολλαπλές λειτουργίες της προλίνης στην προσαρμογή, ανάκτηση και μεταγωγή του σήματος υπό συνθήκες καταπόνησης. Προηγούμενες αναφορές σχετικά με την επίδραση της υδατικής καταπόνησης στη συσσώρευση της προλίνης για το είδος *C. annuum* ανέδειξαν ότι η συσσώρευσή της εξαρτάται από την ένταση της καταπόνησης, με τα υψηλότερα επίπεδα στρες να σχετίζονται με αυξημένη συγκέντρωση σε φυτά που καταπονήθηκαν με τη χρήση μαννιτόλης (Gaikwad et al., 2013). Ομοίως, πρόσφατη μελέτη που αφορούσε στην επίδραση της υδατικής καταπόνησης σε 3 είδη του γένους *Capsicum*, τα *C. chinense*, *C. annuum* και *C.*

*frutescens*, όπου η καταπόνηση έγινε με εφαρμογή 4 διαφορετικών επιπέδων άρδευσης σε 3 αναπτυξιακά στάδια (βλάστηση, ανθοφορία και καρποφορία) κατέδειξε την αυξημένη συσσώρευση προλίνης στα φύλλα των καταπονημένων φυτών, ιδιαίτερα όταν η καταπόνηση έλαβε χώρα κατά το στάδιο της ανθοφορίας και καρπόδεσης. Επιπρόσθετα, η αυξημένη ένταση καταπόνησης οδήγησε σε ανάλογη αύξηση της συσσώρευσης προλίνης στα φύλλα των καταπονημένων φυτών, συγκριτικά με τους μάρτυρες, σε όλα τα υπό μελέτη είδη πιπεριάς (Okunlola et al., 2016). Είναι ενδιαφέρον ότι τα ευρήματα της παρούσας μελέτης κατέδειξαν την απουσία σημαντικών διαφορών μεταξύ των καταπονημένων φυτών και των μαρτύρων στις ποικιλίες AgriS και AgriS-S, οι οποίες μάλιστα εμφάνισαν μία τάση μείωσης της προλίνης με την αύξηση του επιπέδου καταπόνησης. Εξάιρεση στην τάση αυτή εμφάνισε ο τοπικός πληθυσμός που χαρακτηρίστηκε από αυξητική τάση στη συσσώρευση προλίνης με την αύξηση του επιπέδου καταπόνησης. η διαφορετική απόκριση του υπό μελέτη γενετικού υλικού, αναφορικά με τη συσσώρευση προλίνης, ενδεχομένως μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι η ποικιλία AgriS, και συνεπώς ο πληθυσμός AgriS-S που προέκυψε από κύκλο επιλογών αυτής, συνιστούν βελτιωμένο υλικό εν αντιθέσει με τον τοπικό πληθυσμό Ματονερίου, ο οποίος συνιστά αβελτίωτο γενετικό υλικό. Υπό το πρίσμα αυτό, αντίστοιχα είναι τα αποτελέσματα αξιολόγησης 3 γονοτύπων κριθαριού (Αθηναΐδα, Τριπτόλεμος, Σίμου), οι οποίοι διαφοροποιήθηκαν ως προς τη συσσώρευση προλίνης έπειτα από υδατική καταπόνηση. Συγκεκριμένα, οι γονότυποι Αθηναΐδα και Τριπτόλεμος παρουσίασαν σημαντική αύξηση της προλίνης, ανάλογη με την ένταση της καταπόνησης, ενώ ο βελτιωμένος πληθυσμός Σίμου δεν παρουσίασε μεταβολή σε όλα τα επίπεδα καταπόνησης (Μπρέστα, 2013).

Παρά τη γενική θεώρηση ότι η ανθεκτικότητα των γονοτύπων σχετίζεται με τη συσσώρευση προλίνης υπό συνθήκες καταπόνησης, άλλες αναφορές υποστηρίζουν ότι η αντοχή των φυτικών οργανισμών δύναται να προσδιοριστεί σε περιορισμένο μόνο βαθμό από την περιεκτικότητα των φύλλων σε προλίνη (Khedr et al., 2003). Είναι σημαντικό ωστόσο να αναφερθεί ότι η ικανότητα συσσώρευσης προλίνης υπό συνθήκες καταπόνησης χαρακτηρίζει τους ανθεκτικούς γονοτύπους, ενώ αντίθετα οι ευαίσθητοι γονότυποι δεν εμφανίζουν αυξητική τάση. Στο επίπεδο αυτό, στο σιτάρι έχει αποδειχθεί ότι η προοδευτική αύξηση του υδατικού στρες οδηγεί σε αύξηση της προλίνης στο φύλλο 'σημαίας' (Keyvan, 2010), με την αύξηση ωστόσο να

αναφέρεται σε ανθεκτικές ποικιλίες εν αντιθέσει με ποικιλίες που εμφανίζουν ευαισθησία στις καταπονήσεις ξηρασίας και αλατότητας (Kao, 1981). Βάσει των ανωτέρω, και δεδομένης της έλλειψης δεδομένων σχετικά με την απόκριση του υπό μελέτη γενετικού υλικού σε συνθήκες καταπόνησης, πιθανόν η αύξηση της συσσώρευσης προλίνης στον τοπικό πληθυσμό να συνδέεται με ένα αυξημένο επίπεδο ανθεκτικότητάς του στην υδατική καταπόνηση.

Επιπλέον, είναι ευρέως γνωστό ότι η καυστικότητα των καρπών πιπεριάς αποτελεί γνώρισμα που καθορίζεται από το γενετικό υπόβαθρο και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Η περιεκτικότητα σε καψαϊκιοειδή επηρεάζεται από το γονότυπο της ποικιλίας, τις καιρικές συνθήκες, τις συνθήκες ανάπτυξης και την ωρίμανση των καρπών, ενώ παρουσία περιβαλλοντικών καταπονήσεων παρατηρείται αύξηση της δριμύτητας των καρπών (Lindsay and Bosland, 1995). Στο επίπεδο αυτό, έχει αποδειχθεί ότι φυτά πιπεριάς της ποικιλίας Padrón (*C. annuum* L.) που υπέστησαν υδατική καταπόνηση παρήγαγαν καρπούς με αυξημένη συγκέντρωση καψαϊκιοειδών -συγκεκριμένα καψαϊκίνη και διυδροκαψαϊκίνη- σε σύγκριση με τους μάρτυρες, με την αύξηση να είναι ανάλογη της έντασης της καταπόνησης, υποδηλώνοντας πως η ξηρασία επηρεάζει την βιοσυσσώρευση των CAPS (Estrada et al., 1999). Επιπλέον, σύμφωνα με τους Ruiz-Lau et al. (2011), η εφαρμογή υδατικής καταπόνησης σε φυτά *C. chinense* οδήγησε σε αύξηση της συγκέντρωσης καψαϊκίνης, σε σχέση με τον μάρτυρα. Τα ευρήματα της μελέτης σχετικά με την περιεκτικότητα των καρπών σε καψαϊκίνη, κατέδειξαν την ύπαρξη διαφορών μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων, με τις ποικιλίες να παρουσιάζουν διαφορετική απόκριση στα υπό μελέτη επίπεδα καταπόνησης. Στο χαμηλό επίπεδο καταπόνησης, σημειώθηκε μείωση της περιεκτικότητας καψαϊκίνης στους καρπούς της ποικιλίας Agriis, ενώ ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισε αντίθετη τάση. Σε συμφωνία με μελέτες που αναφέρουν ότι η αυξημένη ποσότητα καψαϊκίνης παρατηρείται σε φυτά που υπέστησαν μέτριας ή υψηλής έντασης υδατική καταπόνηση (Haris et al., 2020), στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη αύξηση της καψαϊκίνης σε όλες τις ποικιλίες, με εξαίρεση την ποικιλία Agriis κατά τη 2<sup>η</sup> συγκομιδή. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί πως στον τοπικό πληθυσμό η προοδευτική αύξηση της έντασης καταπόνησης οδήγησε σε ανάλογη αύξηση των τιμών καψαϊκίνης.

Εν αντιθέσει με άλλες μελέτες που αναφέρουν παρόμοια επίπεδα καψαϊκίνης στους καρπούς που προέρχονταν από μη καταπονημένα φυτά (Ruiz-Lau et al., 2011), τα



ευρήματά μας καταδεικνύουν τη διαφορετική συγκέντρωση καψαϊκίνης μεταξύ των ποικιλιών τόσο στα καταπονημένα φυτά όσο και στους μάρτυρες. Όπως αναμενόταν, τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα εμφάνισε η ποικιλία AgriS και τη μικρότερη ο πληθυσμός AgriS-S, ο οποίος όπως έχει ήδη αναφερθεί έχει προκύψει έπειτα από πολυετή επιλογή με κριτήριο τη χαμηλή καυστικότητα των καρπών.

Παρά το γεγονός πως η βιοσύνθεση και συσσώρευση καψαϊκίνης αποτελεί κατά βάση γενετικά καθορισμένο γνώρισμα στα φυτά πιπεριάς παρατηρούνται διαφοροποιήσεις στην ποσότητα που παράγεται από διαφορετικές ποικιλίες υπό συνθήκες διαφορετικής έντασης υδατικής καταπόνησης (Bosland, 1992; Okunlola et al., 2016). Βάσει της κλίμακας Scoville, οι καρποί πιπεριάς των υπό μελέτη ποικιλιών κατατάσσονται στην κατηγορία των μη πικάντικων (0-700 SHU). Σύμφωνα με προηγούμενες αναφορές, οι ποικιλίες που ανήκουν στις κατηγορίες της χαμηλής και μέτριας καυστικότητας υπό συνθήκες καταπόνησης εμφανίζουν σημαντική αύξηση της περιεκτικότητας καψαϊκίνης σε σχέση με τους μάρτυρες (Phimchan et al., 2012).

## 5. Βιβλιογραφία

---

### A

Adams E. (1970) Metabolism of proline and of hydroxyproline. *Int Rev Connect Tissue Res* 5: 1–91.

Ademoyegun O.T., Fariyike TA. and AminuTaiwo RB. (2011). Effects of poultry dropping on the biologically active compounds in capsicum annum L (var. Nsukka yellow). *Agric. Biol. J. N. Am.*, 2(4): 665-672.

Aluru, M.R Mazourek, M. Landry, L. Curry, J. Jahn, M. O’Connell, M.A. (2003) *Journal of Experimental Botany*, Volume 54, Issue 388, 1 July, Pages 1655–1664, <https://doi.org/10.1093/jxb/erg176>

Anand, P., & Bley, K. (2011). Topical capsaicin for pain management: Therapeutic potential and mechanisms of action of the new high - concentration capsaicin 8 patch. *British Journal of Anaesthesia*, 107(4), 490 - 502.

<https://doi.org/10.1093/bja/aer260>

Andrews, J. 1995. *Peppers: The domesticated Capsicums* New ed. University of Texas Press, Austin, TX.

Anjum, S. A. Farooq, M. XieaXio, X. FurqanI, M. (2012) Antioxidant defense system and proline accumulation enables hot pepper to perform better under drought *Scientia Horticulturae* Volume 140, 1 June , Pages 66-73

Ashraf, M. (1994) Breeding for salinity tolerance in plants *Crit. Rev. Plant Sci.*, 13 , pp. 17-42

Ashrafa, M. Foolad, M.R (2007) Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance *Environmental and Experimental Botany* Volume 59, Issue 2, March 2007, Pages 206-216

<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>

Aslam M, Khan IA, Saleem M, et al., 2006. Assessment of water stress tolerance in different maize accessions at germination and early growth stage. *Pakistan Journal of Botany*, 38: 1571–1579

Avni Öktem. H. Eyidoğan F. Selçuk F. Tufan Öz. M. da Silva. J. A. T. Yücel M. 2008 *Revealing Response of Plants to Biotic and Abiotic Stresses with Microarray*

Technology. Genes, Genomes and Genomics, 14 48

Aza - González, C., Núñez - Palenius, H.G., and Ochoa - Alejo, N.. 2011. Molecular biology of capsaicinoid biosynthesis in chili pepper (*Capsicum spp.*). *Plant Cell Rep.* 30(5): 695 - 706.

doi: <https://doi.org/10.1007/s00299-010-0968-8>

## **B**

Bacon, K., Boyer, R., Denbow, C., O'Keefe, S., Neilson, A., & Williams, R. (2017). Antibacterial activity of jalapeño pepper (*Capsicum annuum* var. *annuum*) extract fractions against select foodborne pathogens. *Food Science and Nutrition*, 5(3), 730–738.

<https://doi.org/10.1002/fsn3.453>

Baenas, N., Belović, M., Ilic, N., Moreno, D. A., & García - Viguera, C. (2019). Industrial use of pepper (*Capsicum annum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages. *Food Chemistry*, 274, 872–885.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.068>

Basu, S.K.; De, A.K. (2003) *Capsicum: Historical and Botanical Perspectives*. In *Capsicum. The Genus Capsicum*; De, A.K., Ed.; Taylor & Francis: London, UK, pp. 1–15

Bernal, M.A. Ros Barceló, A. (1996) 5,5'- dicapsaicin, 4'-O-5-dicapsaicin ether, and dehydrogenation polymers with high molecular weights are the main products of the oxidation of capsaicin by peroxidase from hot pepper. *J. Agric. Food Chem.* , 43, 352–355

Boe, G.P. (2009) *Journal of Continuing Education*, Official publication of the American Medical Technologists January Volume 11, Number 1

Bogusz, S., Libardi, S. H., Dias, F. F. G., Coutinho, J. P., Bochi, V. C., Rodrigues, D., Godoy, H. T. (2018). Brazilian *Capsicum* peppers: Capsaicinoid content and antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(1), 217–224.

<https://doi.org/10.1002/jsfa.8459>

Bosland, P.W. 1992. Chiles: a diverse crop. *HortTechnology* 2:6-10.

Bosland, P.W. 1994. Chiles: history, cultivation, and uses. p. 347-366. In: G. Charalambous (ed.), *Spices, herbs, and edible fungi*. Elsevier Publ., New York.

Bosland, P.W. 1996. Capsicums: Innovative uses of an ancient crop. p. 479-487.

Bosland P.W. Votava E.J. (2000) Peppers: vegetable and spice capsicums CABI PUBLISHING Department of Agronomy and Horticulture New Mexico State University Las Cruces USA page 16-17

Bosland, P.W., and Votava, E.J.. (2012). Peppers: Vegetable and spice Capsicums. 2nd. ed. Cambridge, MA.

Bot, A.J., Nachtergaele, F.O., Young, A., (2000). Land resource potential and constraints at regional and country levels. World Soil Resources Reports 90. Land and Water Development Division, FAO, Rome.

Bray EA (1997) Plant responses to water deficit. Trends in Plant Science 2: 48-54

## C

Carillo P. and Gibon Y. (2011). Protocol: Extraction and determination of proline  
Cattivelli L, Rizza F, Badeck FW, et al., 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. Field Crops Research, 105(1-2): 1-14.

Chadha, K.L. (2003) Capsicum. Hand Book of Horticulture, Vol 3, Indian Council of Agriculture Research, New Delhi , pp. 368-371

Chaves MM, Maroco JP, Pereira JS (2003) Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant. Functional Plant Biology 30: 239-264

Chung, M. K., & Campbell, J. N. (2016). Use of capsaicin to treat pain: Mechanistic and therapeutic considerations. *Pharmaceuticals*, 9(66), 1-20.  
<https://doi.org/10.3390/ph9040066>

Contreras-Padilla, M. Yahia, E.M. (1998) Changes in capsaicinoids during development, maturation, and senescence of chile peppers and relation with peroxidase activity. *J. Agric. Food Chem.* ,46, 2075-2079.

Crosby KM (2008) Pepper. In: Prohens J, Nuez F, Carena MJ (eds) Vegetables II, 1st edn. Springer, New York, pp 221-248

## D

Davenport, W. A. (1970). Progress report on the domestication of Capsicum (Chile peppers). *Proceedings of the Association of the American Geographers*, 2, 46- 47.

Delauney, A.J. Verma, D.P.S. (1993) Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant J.*, 4 , pp. 215-223

<https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1993.04020215.x>

DeWitt, D. and Bosland, P. W. (2009) Complete Chile Pepper Book: A Gardener's Guide to Choosing, Growing, Preserving, and Cooking, Timber Press,

Díaz-Pérez, C.J. Muy-Rangel D.M. Mascorro, G.A. (2007) Fruit size and stage of ripeness affect postharvest water loss in bell pepper fruit (*Capsicum annuum* L.) Journal of the Science of Food and Agriculture Volume 87, Issue1 pages 68-73.

Diaz-Perez, C. (2010) Bell Pepper (*Capsicum annuum* L.) Grown on Plastic Film Mulches: Effects on Crop Microenvironment, Physiological Attributes, and Fruit Yield American Society for Horticultural Science Page Count: 1196–1204  
Volume/Issue: Volume 45: Issue 8

<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.8.1196>

Dorji, K. Behboudiana, M.H. Zegbe-Domínguez, J.A (2005) Water relations, growth, yield, and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying Scientia Horticulturae Volume 104, Issue 2, 30 March , Pages 137-149

Dudal, R (1976) Inventory of Major Soils of the World with Special Reference to Mineral Stress Cornell Univ. Agric. Exp. Stn, Ithaca 3 pp.

## **E**

El-Saber Batiha, G. Alqahtani, A. Ojo, A. Shaheen, H. Wasef, L. Elzeiny, M Ismail, M Shalaby, M. Murata, T. Zaragoza-Bastida, A.Rivero-Perez, N. Beshbishy, A. 6, Kasozi, K. Jeandet, P. Helal F. Hetta, H. (2020) Biological Properties, Bioactive Constituents, and Pharmacokinetics of Some *Capsicum* spp. and Capsaicinoids International Journal of Molecular Sciences

<https://doi.org/10.3390/ijms21155179>

Eshbaugh, W.H. 1975. Genetic and biochemical systematic studies of chili peppers (*Capsicum* - Solanaceae). Symposium Biochemical Systematics, Genetics and Origin of Cultivated Plants. 102(6): 396 - 403.

doi:10.2307/2484766.

Estrada, B. Pomar, F. Díaz, J.; Merino, F. Bernal, M.A. (1999) Pungency levels in fruits of the padron pepper with different water supply. Hort. Sci. , 81, 385–396.

## **F**

Fattori, V., Hohmann, M. S., Rossaneis, A. C., Pinho - Ribeiro, F. A., & Verri, W. A. (2016). Capsaicin: Current understanding of its mechanisms and therapy of pain and

other pre - clinical and clinical uses. *Molecules*, 21(7), 844.

<https://doi.org/10.3390/molecules21070844>

Fedoroff, N.V. Battisti, D.S. Beachy, R.N Cooper, P.J. Fischhoff, D.A. Hodges, C.N. Knauf, V.C. Lobell, D. Mazur, B.J. Molden, D. Radically rethinking agriculture for the 21st century *Science*, 327 (2010), pp. 833-834

Flowers, T.J.. Troke, P.F. Yeo, A.R.(1997)The mechanism of salt tolerance in halophytes *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 28, pp. 89-121

## **g**

Gaikwad SE, Shinde RA, Thoke RB and Aparadh VT (2013) Potential of drought stress in two varieties of *Capsicum annum* grown in Majorashtra *International journal of research in pharmacy and chemistry*

Grand K, Kreyling J, Dienstbach LFH, et al., (2014). Water stress due to increased intra-annual precipitation variability reduced forage yield but raised forage quality of a temperate grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 186: 11–22.

Gupta, V.K. Paul, Y.S. (2002) *Disease of Vegetable Crops* Scientific Publishers (India), Jodhpur, pp. 96-102

Gupta, S.K., Thind, T.S. (2006) *Disease Problems in Vegetable Production* Scientific Publishers (India), Jodhpur, pp. 335-380

## **H**

Hare, PD. Cress, WA. (1997) Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regul*21: 79–102,

Haris, M.M. Silva, T.M. Gulub, G.Terada, N. Shinohara, T. Sanada, A. Gemma, H Koshio, K. (2020) Growth, quality and capsaicin concentration of hot pepper (*Capsicum annum*) under drought conditions - *J. ISSAAS* Vol. 26, No. 1: 100-110

Harvell, K. & P.W. Bosland, 1997. The environment produces a significant effect on pungency of chiles. *HortScience* 32: 1292.

Hawkes, J.G. Lester, R.N. Skelding (1979) *The Biology and Taxonomy of the Solanaceae*, Academic Press, London.

Heiser, C.B., and Smith, P.G. (1953). The cultivated Capsicum peppers. *Econ. Bot.* 7(3): 214– 227.

<https://doi.org/10.1007/BF02984948>

Heiser Jr, C. B. (1969). *Nightshades, the paradoxical plants*. San Francisco, CA: WH Freeman.

Hirt H, Shinozaki K, editors. *Plant responses to abiotic stress*. Germany: Springer; 2004.

Hong-Bo, S. Zong-Suo, L. Ming-An, S. (2005) LEA proteins in higher plants: Structure, function, gene expression and regulation *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* Volume 45, Issues 3–4, Pages 131-135

<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2005.07.017>

Howard, L.R.; Talcott, S.T.; Brenes, C.H.; Villalon, B. Changes in phytochemical and antioxidant activity of selected pepper cultivars (*Capsicum* species) as influenced by maturity. *J. Agric. Food Chem* 2000, 48, 1713–1720.

Humanit, J. (2020) *The prime spice – a history* Soc. Sci.

Hunziker AT (1950) *Estudios sobre Solanaceae. I. Sinopsis de las especies silvestres de Capsicum de Argentina y Paraguay*. *Darwiniana* 9:225–247

Hunziker AT (1956) *Synopsis of the genus Capsicum*. VIII Congrès International de Botanique, Paris, 1954. *Compte Rendu des Séances Rapports et Communications* 4:73–74

Hunziker AT (1998) *Estudios sobre Solanaceae. XLVI. Los ajíes silvestres de Argentina (Capsicum)*. *Darwiniana* 36:201–203

## **I**

Idowu-Agida, O. Ogunniyan. D. J. , and E. O. Ajayi, “Flowering and fruiting behavior of long cayenne pepper (*Capsicum frutescens* L.),” *International Journal of Plant Breeding and Genetics*, vol. 6, no. 4, pp. 228–237, 2012.

## **J**

Jadon, K.S.Shah, R. Gour, H.N. Sharma, P.(2016), *Management of blight of bell pepper (Capsicum annum var. grossum) caused by Drechslera bicolor Brazilian*

## **K**

Kao, C.H.1981. Senescence of rice leaves.VI. Comparative study of the metabolic changes of senescing turgid and water stressed excised leaves. *Plant and cell physiology*. 22:683-685.

Kaur, G. and Asthir, B. (2015) Proline: a key player in plant abiotic stress tolerance *Biologia Plantarum* 59 (4): 609-619,  
DOI: 10.1007/s10535-015-0549-3

Keyvan, S. (2010) The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars *Journal of Animal & Plant Sciences*, 2010. Vol. 8, Issue 3: 1051- 1060.

Khedr AHA, Abbas MA, Wahid AAA, Quick WP Abogadallah GM. (2003) Proline induces the expression of salt-stress-responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancreaticummaritimum* L. to salt-stress. *JExp Bot.* ;54:2553-2562.

Kirschbaum-Titze P., Hiepler C., Mueller-Seitz E. and Petz M., (2002) Pungency in Paprika (*Capsicum annum* L.). 1. Decrease of capsaicinoid content following cellular disruption. *J. Agric. Food Chem.* 50 : 1260-1263.

Kiyosue, T. Yoshiba, Y. YamaguchiShinozaki, K. Shinozaki K. A (1996) nuclear gene encoding mitochondrial proline dehydrogenase, an enzyme involved in proline metabolism, is upregulated by proline but downregulated by dehydration in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 8: 1323–1335,

KnappS. (2002a). Floral diversity and evolution in the Solanaceae. In: Cronk QCB, Bateman RM, Hawkins JA, eds. *Developmental genetics and plant evolution*. Taylor and Francis, London, 267–297.

Kopta, T. Sekara, A. Pokluda, R. Ferby, V. Caruso, G. (2020) Screening of Chilli Pepper Genotypes as a Source of Capsaicinoids and Antioxidants under Conditions of Simulated Drought Stress MDPI

<https://doi.org/10.3390/plants9030364>

Kramer, P.J. (1983) *Water Relations of Plants* Academic Press, London

## **L**



Lantz, E.M. 1943. The carotene and ascorbic acid content of peppers. N. Mex. Agr. Expt. Sta. Bul. 306.

Latham, E. (2009) “The colourful world of chillies. Stuff.co.nz,” <http://www.stuff.co.nz/life-style/food-wine/1756288>.

Lindsay, K. and P.W. Bosland. 1995. A field study of environmental interaction on pungency. *Capsicum Eggplant Newsl.* 14:36-38.

Lownds NK, Banaras M and Bosland PW, (1994) Postharvest water-loss and storage quality of nine pepper (*Capsicum*) cultivars. *HortScience* 29: 191–193.

Lurie S, Shapiro B and Ben - Yehoshua S, (1986). Effects of water - stress and degree of ripeness on rate of senescence of harvested bell pepper fruit *Journal of the American society for horticultural science* 111: 880 - 885

## M

Macrae, R, (ed) (1993) *Encyclopedia of Food Science , Food Technology and Nutrition (Peppers and Chillies)* Academic Press 3496-3505

Manolopoulou, H.; Xanthopoulos, G.; Douros, N.; Lambrinos, G. (2010) Modified atmosphere packaging storage of green bell peppers: Quality criteria. *Biosyst Eng.* 106, 535–543.

Mardani,S. Tabatabaei, S.H. Pessarakli, M. Zareabyaneh, H. (2017) Physiological responses of pepper plant (*Capsicum annuum* L.) to drought stress *Journal of Plant Nutrition* Volume 40, 2017 - Issue 10

<https://doi.org/10.1080/01904167.2016.1269342>

Martí, M.C.; Camejo, D.; Vallejo, F.; Romojaro, F.; Bacarizo, S.; Palma, J.M.; Sevilla, F.; Jiménez, A. Influence of fruit ripening stage and harvest period on the antioxidant content of sweet pepper cultivars. *Plant Foods Hum. Nutr* 2011, 66, 416–423.

Mateos, R.M. *Pepper Antioxidants: Biochemical and Molecular Study of the Fruit Ripening and the Response to Abiotic Stress*. Ph.D. Thesis, University of Granada, Spain, 20 June 2006.

Mateos, R. Jiménez, A. Román, P. Romojaro, F. Bacarizo, S. Leterrier, M. Gómez , M. Sevilla, F Del Río, L. Corpas,F. Palma, J. (2013) Antioxidant Systems from Pepper (*Capsicum annuum* L.): Involvement in the Response to Temperature Changes in Ripe Fruits. *International Journal of Molecular Sciences*

<https://www.mdpi.com/1422-0067/14/5/9556/htm>

McGuire, R.G. (1992) Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience*, 27, 1254-1255.

McMullan, M. and Livsey, J. (2013) “The Chilean. BOLIVIAN GOLD (PI, 260579): baccatum,” Bolivia, Brazil,

Mittler, R. (2006) Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant science* 11: 15-19

-Monsereenusorn, Y. Kongsamut, S. Pezalla, P.D., Yaksh T.L (1982) Capsaicin — A Literature Survey, *CRC Critical Reviews in Toxicology*, 10:4, 321-339

<https://doi.org/10.3109/10408448209003371>

Mooney HA, Pearcy RW, Ehleringer J (1987) *Plant Physiological Ecology Today*.

*BioScience* 37: 18-20

Moreno, M.M. Ribas, F. Moreno, A. Cabello, M.J. (2003) Physiological response of pepper (*Capsicum annum* L.) crop to different trickle irrigation rates *Spanish J. Agric. Res.*, 1 (2003)

Moscone, E.A., Scaldaferrò, M.A., Grabielle, M., Cecchini, N.M., Sánchez García, Y., Jarret, R., Daviña, J.R., Ducasse, D.A., Barboza, G.E., and Ehrendorfer, F.. (2007) The evolution of chili pepper (*Capsicum* —*Solanaceae*): A cytogenetic perspective. *Acta Hort.* 745: 137– 170.

Mullet, E.J. Whitsitt S.M (1996) Drought tolerance in higher plants. Chapter *Plant cellular responses to water deficit* p119-124. Eric Belhassen editor. Kluwer Academic Publishers.

## N

Nakashima K. Tran L. S. P. Van Nguyen D. Fujita M. Maruyama K. Todaka D. Ito Y. Hayashi N. Shinozaki K. Yahagochi-Shinozaki K. 2007 Functional analysis of NAC-type transcription factor OsNAC6 involved in abiotic and biotic stress-responsive gene expression in rice. *The Plant Journal*, 51 617 630

Nazzaro, F., Caliendo, G., Arnesi, G., Veronesi, A., Sarzi, P., & Fratianni, F. (2009). Comparative content of some bioactive compounds in two varieties of *Capsicum annum* L. sweet pepper and evaluation of their antimicrobial and mutagenic activities. *Journal of Food Biochemistry*, 33(6), 852–868.

<https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2009.00259.x>

Nwokem C.O., Agbaji E.B., Kagbu J.A. and Ekanem E.J. (2010). Determination of Capsaicin Content and Pungency Level of Five Different Peppers Grown in Nigeria. *New York Science Journal*, 3(9): 17-21.

## **O**

Ochoa-Alejo, N. Gomez-Peralta, J.E. (1993) Activity of enzymes involved in capsaicin biosynthesis in callus tissue and fruits of chili pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Plant Physiol.* , 141, 147–152

Okunlola GO, Akinwale RO, Adelusi AA, 2016. Proline and soluble sugars accumulation in three pepper species (*Capsicum* spp) in response to water stress imposed at different stages of growth. *Sciences in Cold and Arid Regions*, 8(3): 0205–0211.

DOI: 10.3724/SP.J.1226.2016.00205.

Okunlola,G.O Olatunji, O.A Akinwale, R.O Tariq, A. Adelusie, A.A (2016) Physiological response of the three most cultivated pepper species (*Capsicum* spp.) in Africa to drought stress imposed at three stages of growth and development *Scientia Horticulturae* Volume 224, 20 October 2017, Pages 198-205

Onus AN, Pickersgill B (2004) Unilateral incompatibility in *Capsicum* (Solanaceae): occurrence and taxonomic distribution. *Ann Bot* 94:289–295

## **P**

Palma, J.M.; Corpas, F.J.; del Río, L.A. Plant Vitamin Antioxidants and Their Influence on the Human Diet. In *Fruit and Vegetable Consumption and Health*;

Palma, J.M.; Jiménez, A.; Corpas, F.J.; Mateos, R.M.; Martí, M.C.; Sevilla, F.; del Río, L.A. Role of ascorbate on the fruit physiology of pepper (*Capsicum annuum* L.). *Funct. Plant Sci. Biotech* 2011, 5, 56–61.

Parisi, M.; Alioto, D.; Tripodi, P. (2020) Overview of Biotic Stresses in Pepper (*Capsicum* spp.): Sources of Genetic Resistance, Molecular Breeding and Genomics. *Int. J. Mol. Sci.* 2020, 21, 2587.

Parre E, Ghars MA, Leprince AS, Thiery L, Lefebvre D, Bordenave M, Richard L, Mazars C, Abdelly C, and Savoure A. (2007) Calcium signaling via phospholipase C is essential for proline accumulation upon ionic but not nonionic hyperosmotic stresses in *Arabidopsis*. *Plant Physiol* 144: 503–512,

Passioura JB, 2007. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. *Journal of Experimental Botany*, 58: 113–117.

Peter, K.V (2012) *Handbook of herbs and spices Second Edition Volume 1. Chapter 7* p 116-129

Phimchan, P. Techawongstien, S. Chanthai, S. and Bosland P.W. (2012) Impact of Drought Stress on the Accumulation of Capsaicinoids in Capsicum Cultivars with Different Initial Capsaicinoid Levels Volume 47: Issue 9 Page Count: 1204–1209

<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.9.1204>

Pickersgill, B. (1966). The variability and relationships of *Capsicum chinense* Jacq. PhD. Dissertation. Bloomington, IN: Indiana University.

Pickersgill B (1988) The genus *Capsicum*: a multidisciplinary approach to the taxonomy of cultivated and wild plants. *Biologisches Zentral blatt* 107:381–389

Pickersgill B (2007) Domestication of plants in the Americas: insights from Mendelian and molecular genetics. *Ann Bot* 100:925–940

## **R**

Rhoades, J.D. Kandiah, A.. Mashali, A.M (1992) *The Use of Saline Waters for Crop Production Irr. Drainage*, FAO, Rome

Rubatzky, V.E. Yamaguchi, M. (1999) *World vegetables: Principles, production, and nutritive values* Aspen Publishers, Inc Gaithersburg, MD-

Ruiz-Lau, N., Medina-Lara, F. Minero-García, Y. Zamudio-Moreno, E. Guzmán-Antonio, A. Echevarría-Machado, I. Martínez-Estévez, M. (2011) Water Deficit Affects the Accumulation of Capsaicinoids in Fruits of *Capsicum chinense* Jacq. *American Society for Horticultural Science* Page Count: 487–492  
Volume/Issue: Volume 46: Issue 3

<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.3.487>

Russo, V.M. (2012). *Peppers: Botany, production and uses*. CAB International, Cambridge, MA. p. 13– 37.

## **S**

Salehi-Lisar SY, Motafakkerzad R, Hossain MM, Rahman IMM. Water stress in plants: causes, effects and responses, water stress. In: Ismail Md. Mofizur Rahman, editor. *InTech*, 2012.

Salehi-Lisar, S.Y. Bakhshayeshan-Agdam, H. (2016) Drought stress in plants : Causes, Consequences and Tolerance Vol 1 pp1-16

Savoure, A. Hua, XJ. Bertauche, N. Van Montagu, M. Verbruggen, N. (1997) Abscisic acid-independent and abscisic acid-dependent regulation of proline biosynthesis following cold and osmotic stresses in *Arabidopsis thaliana*. *Mol Gen Genet* 254: 104–109,

Seki M. Kamei A. Yamaguchi-Shinozaki K. Shinozaki K. 2003 Molecular responses to drought, salinity and frost: common and different paths for plant protection. *Current Opinion in Biotechnology*, 14 194 199

Sharma, S. Villamor, JG. Verslues, PE. (2011) Essential role of tissue-specific proline synthesis and catabolism in growth and redox balance at low water potential. *Plant Physiol* 157:292–304,

Showemimo, F.A. Olarewaju J.D. (2007) Drought tolerance indices in Sweet Pepper (*Capsicum annum* L.) *International Journal of Plant Breeding and Genetics* 1 (1): 29-33 ISSN 1819-3595

Siddique MRB, Hamid A, Islam MS, 2000. Drought stress effects

Smith, P.G., B. Villalon, and P.L. Villa. 1987. Horticultural classification of pepper grown in the United States. *HortScience* 22:11-13.

Strizhov, N. Abraham, E. Okresz, L. Blickling, S. Zilberstein, A. Schell, J. Koncz, C. Szabados L. (1997) Differential expression of two P5CS genes controlling proline accumulation during salt-stress requires ABA and is regulated by ABA1, ABI1 and AXR2 in *Arabidopsis*. *Plant J* 12: 557–569,

Srinivasan, K. (2016) Biological Activities of red pepper (*Capsicum annum*) and its Pungent Principle Capsaicin: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* Volume 56-Issue 9 p 1488-1500  
<https://doi.org/10.1080/10408398.2013.772090>

Stephen, B. J., & Kumar, V. (2014). Evaluation of antimicrobial activity of capsaicin extract against *B. Subtilis* species. *International Journal of Pharmaceutics and Drug Analysis*, 2(2), 111–116.

Sung, Y. Chang, Y.Y. Ting, N.L. (2005) Capsaicin biosynthesis in water-stressed hot pepper fruits. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 46, 35–42.

Sunil, P. Sanja, Y. Vinod, S. (2012) Pharmacognostical investigation and standardization of *Capsicum annum* L. Roots *International Journal of Pharmacognosy*

and Phytochemical Research Department of pharmacy, Saroj Institute of Technology & Management, Ahimamau , Post office: Arjunganj, Lucknow, 226002, ( U.P.), India

Szabados, L., Savoure, A (2009) Proline: a multifunctional amino acid. - Trends Plant Sci. 15: 1360-1385,

Szabados L and Savoure A. (2010) Proline: a multifunctional amino acid. Trends Plant Sci 15: 89–97,

## **T**

Taiz, L. Zeiger, E. Max Møller, I. Murphy, A. (2015) Plant Physiology and Development 6<sup>th</sup> edition Chapter 24 Abiotic Strains p 798-832

Thimmaiah S. K. (1999). Standard Methods of Biochemical Analysis New Delhi: Kalyani Pub.

Todd P., Bensinger M. and Biftu T. (1977). Determination of Pungency due to Capsicum by Gas-Liquid Chromatography. Journal of Food Science, 42: 660-665.

Touchette B, Iannacone L, Turner G, Frank A (2007) Drought tolerance versus drought avoidance: A comparison of plant-water relations in herbaceous wetland plants subjected to water withdrawal and repletion. Wetlands 27: 656-667

## **W**

Wang WX, Vinocur P, Altman A, 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. Planta, 218: 1–14.

Weiss EA, (2002) Spice crops: Technology and Engineering, Published by CAB International Wallingford Oxon OX108DE, U.K. pp: 411. ISBN: 0-85199-605-1(alk. Paper).

Wien, H.C.(1997) Peppers The physiology of vegetable crops CAB International Ithaca, NY

## **Y**

Yoo, JH. Park, CY. Kim, JC. Heo, WD. Cheong, MS. Park, HC. Kim, MC. Moon, BC. Choi, MS. Kang, YH. Lee, JH. Kim, HS. Lee, SM. Yoon, HW. Lim, CO. Yun, DJ. Lee, SY. Chung, WS. Cho, MJ. (2005) Direct interaction of a divergent CaM isoform

and the transcription factor, MYB2, enhances salt tolerance in Arabidopsis. J Biol Chem 280:3697–3706,

## **Z**

Zewdie, Y. Bosland, P.W. (2000) Pungency of Chile (*Capsicum annuum* L.) Fruit is Affected by Node Position HORTSCIENCE 35(6):1174. 2000

Zhang Z., Lu A., and D'arcy W. G., (2002) “*Capsicum annuum* Linnaeus, Special Plant 1:188.1753,” Flora of China, vol. 17, pp. 313–313.

Zhang, D.; Hamauzu, Y. (2003) Phenolic compounds, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant properties of green, red and yellow bell peppers. J. Food Agric. Environ. , 1, 22–27.

Zhigila, D.A. Rahaman, A.A., Kolawole, O.S., and Oladele, F.A.. (2014). Fruit morphology as taxonomic features in five varieties of *Capsicum annuum* L. Solanaceae. J. Bot. 2014: 1– 6.

Zhu, JK. (2016) Abiotic Stress Signaling and Responses in Plants

<https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.029>

## **Οργανισμοί**

---

<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>

<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/170427/nutrients>

<http://www.minagric.gr/index.php/el/pinakas-2-kipeftika-laxanika/file>

## Ελληνική Βιβλιογραφία

---

Θάνος, Κ. (2017) Φυσιολογία και Ανάπτυξη Φυτών 2η ελληνική έκδοση Εκδόσεις  
Υτορία

Καραμπουρνιώτης, Γ. Λιακόπουλος, Γ. Νικόπουλος, Δ. (2012) Φυσιολογία  
Καταπονήσεων των Φυτών 3<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Έμβρυο

Μπρέστα, ΠΣ. (2013) Σχέσεις δομής-λειτουργίας κατά τον εγκλιματισμό  
διαφορετικών γονοτύπων κριθαριού (*Hordeum vulgare* L.) σε παρατεταμένη υδατική  
καταπόνηση Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών Τμήμα Γεωπονικής Βιοτεχνολογίας

Ολύμπιος, Χ. (2015) Η τεχνική της καλλιέργειας των υπαίθριων κηπευτικών  
Εκδόσεις Σταμούλης σελ (144-170).

Πετρόπουλος, Σ. (2020) Σημειώσεις Μαθήματος Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Γεωπονία  
Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος

Χα, Ι. Πετρόπουλος, Σ. (2014) Γενική Λαχανοκομία και Υπαίθρια Καλλιέργεια  
Λαχανικών Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας σελ 246