



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 καταπόνησης υψηλής αλατότητας»

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΤΕΡΓΙΟΥ



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»*

*«Evaluation of developmental, physiological and quality traits in pepper
populations under conditions of high salinity»*

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΤΕΡΓΙΟΥ

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 την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής διατριβής θα ήθελα να εκφράσω την ευχαρίστηση μου σε όλους όσους συνέβαλλαν στην εκπόνηση της.

Την επιβλέπουσα καθηγήτρια κ. Παυλή Ουρανία, Επίκ. Καθηγήτρια, του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, για την καθοδήγηση τις υποδείξεις της και την συμπαράσταση που υπέδειξε κατά την διάρκεια της ερευνητικής διαδικασίας.

Τους καθηγητές κ. Ιμπραχίμ-Αβραάμ Χα, Καθηγητή Γενετικής Βελτίωσης Φυτών, και τον κ. Σπυρίδων Πετρόπουλο, Αναπλ. Καθηγητή Λαχανοκομίας, για την συμμετοχή τους στην Τριμελή Συμβουλευτική Επιτροπή.

Την κ. Παναγιωτάκη Λιάνα, Μέλος ΕΔΙΠ, του Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, για την βοήθεια, την υποστήριξη και την άμογη συνεργασία, κατά την διάρκεια του πειράματος.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα το συμφοιτητή, Μάττο Ανδρέα, για την όμορφη συνεργασία, την κατανόηση και τον σεβασμό που υπέδειξε.

Περίληψη

Οι αβιοτικές καταπονήσεις συνιστούν βασικότατο περιοριστικό παράγοντα στην πλειοψηφία των καλλιεργούμενων φυτικών ειδών καθώς επηρεάζουν δραστικά την αύξηση, ανάπτυξη και παραγωγικότητά τους. Η αρνητική επίδραση των καταπονήσεων γίνεται έκδηλη σε μορφολογικό, αναπτυξιακό, φυσιολογικό και βιοχημικό επίπεδο, οδηγώντας συχνά σε μη αναστρέψιμες βλάβες. Μεταξύ των αβιοτικών καταπονήσεων, αυτή της υψηλής αλατότητας θεωρείται ως μία από τις πλέον επιζήμιες καθώς επιδρά άμεσα στην αύξηση και ανάπτυξη των φυτών. Η καταπόνηση αλατότητας αναφέρεται στην αυξημένη συσσώρευση ιόντων Na^+ και Cl^- , κυρίως στην περιοχή της ριζόσφαιρας, προκαλώντας ιοντική ανισορροπία.

Η πιπεριά συγκαταλέγεται στα ευαίσθητα στην υψηλή συγκέντρωση αλάτων φυτά, ιδιαίτερα κατά το στάδιο της άνθισης. Στο πλαίσιο αυτό, στόχο της παρούσας διατριβής αποτέλεσε η μελέτη της απόκρισης γενετικού υλικού πιπεριάς, και ειδικότερα του τύπου "Μακεδονικό μυτερό" υπό συνθήκες καταπόνησης υψηλής αλατότητας. Το γενετικό υλικό περιελάμβανε τρεις διαφορετικούς γονοτύπους i) την ποικιλία AgriS, ii) τον πληθυσμό AgriS-S, που προέκυψε έπειτα από πολυετή επιλογή με γνώμονα τη χαμηλή καυστικότητα των καρπών και iii) τον τοπικό πληθυσμό που προέρχεται από την περιοχή του Ματονερίου. Η καταπόνηση έλαβε χώρα κατά το κρίσιμο αναπτυξιακό στάδιο της έναρξης της άνθισης και αφορούσε σε ριζοπότισμα με διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης NaCl (0, 50, 100 και 200 mM). Η απόκριση του υπό μελέτη γενετικού υλικού αξιολογήθηκε βάσει του αριθμού των καρπών, του μήκους και του πλάτους των καρπών, του νωπού τους βάρους, της περιεκτικότητας σε ξηρά ουσία, της συνεκτικότητας των καρπών, της περιεκτικότητας σε στερεά διαλυτά σάκχαρα (SSC) και του χρώματος των καρπών. Επίσης, έγινε εκτίμηση της περιεκτικότητας των φύλλων σε προλίνη. Τα συνολικά αποτελέσματα κατέδειξαν ότι η καταπόνηση υψηλής αλατότητας επέδρασε αρνητικά στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών, με την επίδραση της καταπόνησης να είναι συνήθως ανάλογη του επιπέδου της. Συγκεκριμένα, σημαντική ήταν η επίδραση της καταπόνησης στο μέγεθος των καρπών (μήκος και πλάτος), στο νωπό και ξηρό τους βάρος, στο χρώμα τους καθώς και στην συγκέντρωση της προλίνης στα φύλλα. Αντίθετα, η καταπόνηση δεν επηρέασε σημαντικά τον αριθμό των καρπών, τη συνεκτικότητά τους καθώς και την περιεκτικότητά τους σε στερεά διαλυτά σάκχαρα. Τα συνολικά ευρήματα της μελέτης παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την

γενετική παραλλακτικότητα και το επίπεδο ανθεκτικότητας του υπό μελέτη γενετικού υλικού.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
	Γενικά	8
1.1	Η καλλιέργεια της πιπεριάς σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο.....	9
1.2	Βοτανικά χαρακτηριστικά.....	9
1.3	Είδη και ποικιλίες.....	11
1.4	Αγροκλιματικές συνθήκες.....	13
1.5	Θρεπτική αξία πιπεριάς.....	14
1.6	Καυστικότητα.....	14
	1.6.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την καυστικότητα.....	15
	1.6.2 Καψαϊκίνη.....	17
	1.6.3 Σύνθεση καψαϊκίνης υπό συνθήκες καταπόνησης	18
	1.6.4 Αναλυτικές μέθοδοι προσδιορισμού της καψαϊκίνης.....	18
1.7	Αβιοτικές καταπονήσεις.....	19
	1.7.1 Υδατική καταπόνηση.....	20
	1.7.2 Καταπόνηση υψηλής αλατότητας.....	20
	1.7.3 Ανεπάρκεια θρεπτικών συστατικών.....	21
	1.7.4 Ακραίες θερμοκρασίες.....	23
	1.7.5 Ανοξία.....	24
	1.7.6 Όξινα και αλκαλικά εδάφη.....	25
	1.7.7 Καταπόνηση από βαρέα μέταλλα.....	25
	1.7.8 Όζον.....	27
	1.7.9 Υπεριώδη ακτινοβολία.....	27
1.8	Η προλίνη και ο ρόλος της στα φυτά.....	29
	1.8.1 Ο ρόλος της προλίνης στα φυτά.....	29
	1.8.2 Βιοσύνθεση και ποσοτικός προσδιορισμός προλίνης.....	30
2.	ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	33
2.1	Φυτικό Υλικό.....	33
2.2	Πειραματικό σχέδιο-Μεταχειρίσεις.....	34
2.3	Μετρήσεις.....	34
	2.3.1 Ανάλυση της ποιότητας των συγκομισμένων καρπών.....	35
	2.3.1.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός.....	35
	2.3.1.2 Συγκομιδή και μεθοδολογία μετρήσεων.....	35
	2.3.1.3 Αριθμός καρπών.....	36
	2.3.1.4 Νωπό βάρος καρπών.....	36
	2.3.1.5 Προσδιορισμός χρώματος καρπού.....	36
	2.3.1.6 Ποιότητα σάρκας.....	36
	2.3.1.7 Διαλυτά Στερεά Συστατικά (ΔΣΣ).....	37
	2.3.1.8 Μέτρηση μήκους και πλάτους καρπών.....	37
	2.3.1.9 Επί τοις % ξηρά ουσία σάρκας.....	37
	2.3.2 Ποσοτικός προσδιορισμός προλίνης στα φύλλα φυτών πιπεριάς	
	2.3.2.1 Εργαστηριακός εξοπλισμός	38

2.3.2.2	Πρότυπες ενώσεις – Διαλύτες – Χημικές ενώσεις – Αντιδραστήρια.....	38
2.3.2.3	Φυτικό υλικό.....	38
2.3.2.4	Διαδικασία εκχύλισης.....	38
2.3.2.5	Προετοιμασία δειγμάτων για καταμέτρηση απορρόφησης.....	39
2.3.2.6	Κατασκευή καμπύλης αναφοράς	40
2.3.3	Στατιστική επεξεργασία.....	41
3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	42
3.1	Αριθμός καρπών.....	42
3.2	Μήκος καρπών.....	43
3.3	Πλάτος καρπών.....	45
3.4	Νωπό βάρος καρπών	46
3.5	FRpcDM.....	48
3.6	Συνεκτικότητα καρπών πιπεριάς.....	50
3.7	Περιεκτικότητα καρπών σε στερεά διαλυτά σάκχαρα (SSC).....	51
3.8	Χρώμα καρπών.....	53
3.9	Περιεκτικότητα καρπών σε προλίνη.....	55
4	ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	57
5	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	60

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Γενικά

Η πιπεριά αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα είδη της οικογένειας των Σολανωδών (*Solanaceae*) με διπλοειδή αριθμό χρωμοσωμάτων $2n = 24$. Σύμφωνα με αναφορές, η πιπεριά κατάγεται από την Κεντρική και Νότια Αμερική, ενώ το σημαντικότερο είδος *Capsicum annuum*, προέρχεται από την περιοχή του Μεξικό. Η εμφάνιση της πιπεριάς στις καλλιεργούμενες εκτάσεις της Ευρώπης χρονολογείται αμέσως μετά την ανακάλυψη της Αμερικής, από τον Χριστόφορο Κολόμβο, χρονικό διάστημα που σηματοδοτεί τη γνωριμία του Ανατολικού κόσμου με καλλιέργειες προερχόμενες από την Δύση. Έκτοτε, η πιπεριά εξαπλώθηκε σε όλο τον κόσμο και αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της διατροφής ιδιαίτερα για τις χώρες της Κεντρικής και Ανατολικής Ασίας, όπου καλλιεργούνται κυρίως οι τύποι καυτερής πιπεριάς (Χα και Πετρόπουλος, 2014).

Η πιπεριά χαρακτηρίζεται από μεγάλη γενετική παραλλακτικότητα ως προς τα χαρακτηριστικά των καρπών μεταξύ των διαφορετικών ειδών και ποικιλιών, ενώ σημαντική είναι και η ύπαρξη φαινοτυπικής παραλλακτικότητας που οφείλεται σε περιβαλλοντικές επιδράσεις και απαντάται σε ενδοειδικό επίπεδο κατά την καλλιέργεια σε διαφορετικές τοποθεσίες. Χαρακτηριστικά μεγάλη είναι η φαινοτυπική παραλλακτικότητα που απαντάται στις πιπεριές τύπου τσίλι, που ανήκουν στο είδος *Capsicum* spp. και καλλιεργούνται στο Νότιο Μεξικό, για μορφολογικά γνωρίσματα των καρπών, όπως χρώμα, μέγεθος, σχήμα κ.α., ανάλογα με τις περιοχές καλλιέργειας

Πέραν της πλέον βασικής χρήσης της για ανθρώπινη κατανάλωση, η πιπεριά αξιοποιείται σε πληθώρα βιομηχανικών εφαρμογών, με κυριότερη της χρήση της στην Παρασκευή καλλυντικών και φαρμάκων. Στη φαρμοκοβιομηχανία, η χρήση της έγκειται στην υψηλή περιεκτικότητα βιοδραστικών ουσιών, όπως βιταμίνη Α και C, φαινολικές ενώσεις, σίδηρο, ασβέστιο, καψαϊκίνη (Baenas et al., 2019). Ιδιαίτερα, η καψαϊκίνη, εκτός από τη χρήση της ως προσθετικό τροφίμων λόγω της καυστικότητας που προσδίδει, αξιοποιείται και για τη θεραπεία σημαντικών

ασθενειών, όπως η ρευματοειδής αρθρίτιδα και η διαβητική νευροπάθεια (Surh and Lee, 1996).

1.1. Η καλλιέργεια της πιπεριάς σε παγκόσμιο και εθνικό επίπεδο

Η καλλιέργεια της πιπεριάς σε παγκόσμιο επίπεδο είναι ευρέως διαδεδομένη σε πάρα πολλές χώρες του κόσμου τόσο ως υπαίθρια όσο και ως θερμοκηπιακή. Η πιπεριά αποτελεί βασική καλλιέργεια σε πληθώρα χωρών, όπως η Ινδία, η Τουρκία, η Κίνα, το Μεξικό καθώς και οι Η.Π.Α, όπου σημαντικό ποσοστό της καλλιεργούμενης έκτασης αξιοποιείται για παραγωγή μεγάλης ποσότητας προϊόντος ετησίως. Στην Ευρώπη, οι σημαντικότερες χώρες παραγωγής είναι παραδοσιακά η Ισπανία και η Ιταλία. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σημαντική αύξηση της καλλιέργειας σε ορισμένες βόρειες χώρες, όπως η Ολλανδία και ο Καναδάς, όπου στο παρελθόν η πιπεριά δεν κατείχε σημαντική θέση στην κουζίνα και στην κουλτούρα τους (Crosby, 2008). Με βάση τα στατιστικά στοιχεία για το έτος 2009, σημειώθηκε παγκόσμια παραγωγή πιπεριάς της τάξης των 28.509.555 τόνων από συνολική έκταση 18.597.590 καλλιεργούμενων στρεμμάτων (Χα και Πετρόπουλος, 2014).

Στην Ελλάδα, Η καλλιέργεια της πιπεριάς δεν αντιπροσωπεύει μεγάλο ποσοστό των καλλιεργούμενων εκτάσεων, ενώ παράλληλα η συνολική παραγωγή δεν καθιστά τη χώρα ανταγωνιστική στις διεθνείς αγορές. Οι καλλιεργούμενες εκτάσεις υπολογίζονται περί τα 4.200 εκτάρια, με ορισμένες ωστόσο περιοχές να αποτελούν βασικούς παραγωγούς πιπεριάς, όπως η Κρήτη και ιδιαίτερα η περιοχή της Ιεράπετρας όπου τα τελευταία χρόνια παρατηρείται σημαντική αύξηση της παραγωγής (Orfanidou et al., 2018). Περαιτέρω, η καλλιέργεια της πιπεριάς είναι οικονομικής σημασίας στους Νομούς Ηλείας, Ξάνθης, Σερρών, Θεσσαλονίκης και Ευβοίας (Χα και Πετρόπουλος, 2014).

1.2. Βοτανικά χαρακτηριστικά

Η πιπεριά είναι φυτό ποώδες, ορθόκλαδο με αρκετά έντονη διακλάδωση και μπορεί αναπτυχθεί φθάνοντας έως και > 2 μέτρα ύψος. Είναι φυτό ετήσιο ή διετές, ωστόσο

στη χώρα μας καθώς και σε άλλες εύκρατες περιοχές καλλιεργείται ως μονοετές(Χα και Πετρόπουλος, 2014).

Ρίζα

Το ριζικό σύστημα της πιπεριάς είναι θυσσανώδες με δυνατή κεντρική ρίζα και αρκετές πλευρικές, το οποίο εκτείνεται σε βάθος έως 1 μέτρο (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Ωστόσο, το μέγεθος και η κατανομή της ρίζας ποικίλει ανάλογα με την καλλιεργητική πρακτική και ειδικότερα εάν έγινε απευθείας σπορά των φυτών στον αγρό ή ανάπτυξη στο θερμοκήπιο και στη συνέχεια μεταφύτευση. Στην τελευταία περίπτωση, κατά την διάρκεια της μεταφύτευσης είναι πολύ συνήθης ο τραυματισμός της κεντρικής ρίζας, με αποτέλεσμα να επάγεται ο σχηματισμός πλευρικών ριζών. Συνεπώς, η ανάπτυξη των ριζών ακολουθεί διαφορετικά μοτίβα, επιφέροντας άμεσες επιπτώσεις στην απόδοση σε καρπό (Leskovar et al., 1990).

Φύλλα

Τα φύλλα της πιπεριάς είναι απλά, ελλειπτικά, οξύληκτα με την άνω επιφάνεια να φέρει πιο σκούρο πράσινο χρώμα συγκριτικά με την κάτω. Τα φύλλα φέρουν μικρό ποδίσκο και έλασμα μήκους 5-10 εκατοστών.

Άνθος

Στην πιπεριά, τα άνθη εμφανίζονται είτε ως μονήρη είτε κατά ομάδες, ανάλογα με το γονότυπο. Σε κάθε περίπτωση, είναι ερμαφρόδιτα και κατά το μεγαλύτερο ποσοστό αυτογονιμοποιούμενα. Τα άνθη διαθέτουν ποδίσκο, ο οποίος κατά την ανάπτυξη του φυτού αυξάνει σε μέγεθος και αποκτά κλίση προς τα κάτω. Επίσης φέρουν κάλυκα από σέπαλα με πέντε λοβούς (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Η στεφάνη, της οποίας το βασικό τμήμα έχει την μορφή ενός κοντού σωλήνα, αποτελείται από πέταλα, έχει σχήμα καμπάνας και λοβούς (λοβοί των πετάλων) με τους οποίους εναλλάσσονται οι στήμονες. Οι τελευταίοι, αποτελούνται από τους ανθήρες και τα νήματα, οι βάσεις των οποίων είναι προσκολλημένες με το σωλήνα της στεφάνης. Η ωθήκη παρουσιάζει μία διόγκωση στη βάση, εντός της οποίας βρίσκεται η γύρη (νέκταρ), και η οποία αποκτά διάμετρο 6-8 χιλιοστών έναντι των 4-5 χιλιοστών που έχει στην κανονική της κατάσταση (Aloni et al., 1999). Τα στομάτια που είναι ευρέως ανοιχτά, απαντώνται μόνο στην περιοχή της ωθήκης και όχι στην υπόλοιπη έκτασή της (Rabinowitch et al., 1993). Τέλος, διαθέτει στύλο μεγαλύτερο σε ύψος από τους

στήμονες, γεγονός που διευκολύνει την αυτογονιμοποίηση, και σφαιρικό στίγμα (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Είναι γνωστό ότι κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου επικρατούν χαμηλότερες θερμοκρασίες και το μήκος ημέρας είναι μικρότερο, δεν ευνοείται η γονιμοποίηση και το φυτό δύναται να σχηματίζει καρπούς παρθενοκαρπικά. Σε αυτήν την περίπτωση ωστόσο, οι καρποί που προκύπτουν είναι συνήθως πεπλατυσμένοι και μικροί (Aloni et al., 1999).

Καρπός

Οι καρποί της πιπεριάς είναι ράγα, ωστόσο εμφανίζουν μεγάλη φαινοτυπική παραλλακτικότητα για γνωρίσματα όπως το σχήμα, το μέγεθος, το χρώμα και η καυστικότητα, ανάλογα με την ποικιλία (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο πρόγονος του *Capsicum annum*, που αποτελεί το πλέον διαδεδομένο είδος, παράγει καρπούς μικρού μεγέθους, κόκκινου χρώματος, μαλακούς και καυτερούς, οι οποίοι μεταφέρονται εύκολα με τη βοήθεια των πτηνών, εν αντιθέσει με άλλα είδη που παράγουν πράσινους ευμεγέθεις καρπούς (Paran and Esther van der Knaap, 2007). Σημαντικό ρόλο στο τελικό βάρος του καρπού παίζουν οι σπόροι, οι οποίοι είναι πεπλατυσμένοι, αχυρόχρωμοι, διαμέτρου 3,3-7 χιλιοστών, λόγω του μεγάλου αριθμού (Χα και Πετρόπουλος, 2014). Σύμφωνα με αναφορές, ο καρπός της πιπεριάς φέρει 150-300 σπόρους (Aloni et al., 1999).

1.3. Είδη και ποικιλίες πιπεριάς

Παγκοσμίως σήμερα υπολογίζεται ότι υπάρχουν περίπου 25 άγρια είδη και 5 καλλιεργούμενα είδη πιπεριάς, και ειδικότερα, τα *Capsicum annum*, *C. baccatum*, *C. frutescens*, *C. chinense* και *C. pubescens*. Ωστόσο, η πολυετής καλλιέργεια των ανωτέρω ειδών έχει οδηγήσει τη δημιουργία ενδιάμεσων τύπων, για τους οποίους δε θα γίνει εκτενής αναφορά.

Τα πέντε κύρια καλλιεργούμενα είδη πιπεριάς

Capsicum annum: είναι το πιο διαδεδομένο καλλιεργούμενο είδος πιπεριάς. Το είδος *Capsicum annum* var. *annum* περιλαμβάνει κατά βάση γλυκές αλλά και καυτερές πιπεριές που καλλιεργούνται ως ετήσιες στις εύκρατες περιοχές και ως

διετείς ή/και πολυετείς σε τροπικές περιοχές. Το βασικό χαρακτηριστικό του είδους, που το διακρίνει από τα υπόλοιπα είδη, είναι το άνθος που φέρει λευκή στεφάνη, ιώδεις ανθήρες και κλειστό κάλυκα, ενώ παράλληλα χαρακτηρίζεται από κατακόρυφο προσανατολισμό προς τα κάτω. Τέλος, τα άνθη είναι μονήρη και απαντάται ένας ανθοφόρος οφθαλμός ανά μασχάλη.

Capsicum baccatum: περιλαμβάνει καλλιεργούμενες ποικιλίες πιπεριάς που απαντώνται κυρίως στη Ν. Αμερική και ανήκουν στον τύπο *Capsicum baccatum* var. *pendulum*. Κύριο χαρακτηριστικό αποτελούν τα ευδιάκριτα καφέ στίγματα στην στεφάνη και στα πέταλα του κάλυκα.

Capsicum frutescens: περιλαμβάνει πολυετή θαμνώδη φυτά που είναι λιγότερο διαδεδομένα συγκριτικά με τα άλλα είδη σε παγκόσμια κλίμακα. Χαρακτηριστικό του είδους αποτελεί η λευκοκίτρινη στεφάνη και οι ιώδεις ανθήρες. Σε αντίθεση με το *Capsicum annum*, τα άνθη είναι σε ομάδες και έχουν φορά προς τα πάνω. Το συγκεκριμένο είδος αξιοποιείται για την παρασκευή της γνωστής σάλτσας Tabasco.

Capsicum chinense: είναι το είδος που περιλαμβάνει τις περισσότερες ποικιλίες καυτερής πιπεριάς. Η καλλιέργειά του λαμβάνει χώρα κυρίως στην περιοχή του Αμαζονίου αλλά και στην Αφρική. Περιλαμβάνει φυτά ετήσια ή πολυετή με άνθη μονήρη ή σε ομάδες και πρασινωπή, λευκή ή ιώδη στεφάνη με φορά προς τα κάτω.

Capsicum pubescens: το συγκεκριμένο είδος απαντάται κυρίως σε περιοχές των Άνδεων της Λατινικής Αμερικής, ενώ κύριος λόγος της καλλιέργειας του είναι η ανθεκτικότητα στο ψύχος. Σε μορφολογικό επίπεδο, τα χαρακτηριστικά που το καθιστούν ευδιάκριτο από τα υπόλοιπα είδη είναι οι ρυτιδωμένοι σπόροι και η χονδρή σάρκα των καρπών.

Η διάκριση και ταξινόμηση των ποικιλιών στους τύπους της πιπεριάς γίνονται βάσει των μορφολογικών χαρακτηριστικών του καρπού, όπως μέγεθος, σχήμα, χρώμα και υφή, καθώς και του βαθμού καυστικότητας. Στους πλέον διαδεδομένους τύπους πιπεριάς συγκαταλέγονται οι Bell, Cayenne, Jalapeno, Tabasco, Aji Amarillo, Manzano κ.α. (Sanogo, 2003).

Στην Ελλάδα, ως σημαντικότερες εκ των καλλιεργούμενων ποικιλιών θεωρούνται οι Καυτερή Μακεδονίας, Φλωρίνης, Καρατζόβα, Π-13 και Corno di toro, που σχηματίζουν μακρόστενους καρπούς, και οι Π-14, Τοματοπιπεριά, California Wonder και Yolo wonder που φέρουν καρπούς τύπου φλάσκα. Αναφορικά με τις ποικιλίες βιομηχανικής πιπεριάς, η πλέον σημαντική και ευρέως διαδεδομένη είναι το Μακεδονικό Μυτερό (Χα και Πετρόπουλος, 2014).

1.4. Αγροκλιματικές συνθήκες

Ως φυτό ευαίσθητο στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, η πιπεριά ευδοκίμει σε ήπιο κλίμα, όπου είναι εφικτή η απρόσκοπτη ανάπτυξη και η επίτευξη ικανοποιητικής παραγωγής. Αναφορικά με τις θερμοκρασίες, το βέλτιστο εύρος κυμαίνεται μεταξύ 18 -30 °C, ενώ σε θερμοκρασίες που παρεκκλίνουν του συγκεκριμένου εύρους σημειώνονται δυσμενείς επιπτώσεις στην ανάπτυξη των φυτών και στο σχηματισμό καρπών (Lee et al., 2017). Πρέπει ωστόσο να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με σχετικές αναφορές, οι ποικιλίες γλυκιάς πιπεριάς παρουσιάζουν καλύτερη προσαρμοστικότητα σε συνθήκες χαμηλών θερμοκρασιών έναντι των αντίστοιχων καυτερών.

Επίσης, ως ιδιαίτερα σημαντική κατά την καλλιέργεια της πιπεριάς θεωρείται η κατάλληλη τοποθεσία προς αποφυγή του τραυματισμού των φυτών λόγω δυνατών ανέμων. Συνεπώς, η περιοχή καλλιέργειας θα πρέπει να είναι απαλλαγμένη από ισχυρούς ανέμους και παράλληλα, να χαρακτηρίζεται από μεγάλη διάρκεια ημέρας και φωτός ώστε να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη καρπόδεση.

Αναφορικά με το έδαφος, η καλλιέργεια μπορεί να λάβει χώρα σε πολλούς τύπους εδαφών, με πλέον ευνοϊκά ωστόσο να θεωρούνται τα ελαφρά και αμμοπηλώδη εδάφη με καλή στράγγιση καθώς και μεγάλη ποσότητα οργανικής ουσίας. Το βέλτιστο εύρος pH κυμαίνεται μεταξύ 5,5 και 7 (Χα και Πετρόπουλος, 2014).

1.5. Θρεπτική αξία της πιπεριάς

Η πιπεριά αποτελεί σημαντική πηγή βιταμινών A, C και E (Souza-Mello, 2016). Ορισμένα μικροθρεπτικά αντιοξειδωτικά που διαθέτει, όπως η βιταμίνες C και E και τα καροτενοειδή, παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην πρόληψη και αντιμετώπιση χρόνιων ασθενειών. Παράλληλα, οι καρποί της αποτελούν πηγή και άλλων ισχυρών αντιοξειδωτικών όπως τα φλαβονοειδή, το ασκορβικό οξύ, οι φαινολικές ενώσεις και η καψαϊκίνη (Soare et al., 2017).

Ιδιαίτερα οι σπόροι της πιπεριάς, ειδικότερα της καυτερής, είναι πλούσια πηγή πρωτεϊνών, λιπαρών και μετάλλων, προσδίδοντας στον οργανισμό απαραίτητα αμινοξέα, και λιπαρά οξέα και συμβάλλοντας στη βελτίωση της υγείας. Μεταξύ των αμινοξέων που διαθέτει, ως σημαντικότερα θεωρούνται το γλουταμινικό και το ασπαρτικό οξύ ενώ αντίστοιχα, στα σημαντικότερα λιπαρά οξέα συγκαταλέγονται το λινελαϊκό οξύ, το λινολενικό οξύ, το ελαϊκό οξύ, το στεατικό οξύ και το παλμιτικό οξύ. Επιπροσθέτως οι σπόροι περιέχουν και πληθώρα στοιχείων, όπως μαγνήσιο, ασβέστιο, σίδηρο, ψευδάργυρο, νάτριο, μαγγάνιο, ενώ το στοιχείο που βρίσκεται σε αφθονία είναι το κάλιο. Βάσει των ανωτέρω, έχει προταθεί ότι οι σπόροι των καρπών πιπεριάς αποτελούν μία ιδανική βάση για δημιουργία νέων βρώσιμων ελαίων με ευεργετικές ιδιότητες για τον ανθρώπινο οργανισμό (Zou et al., 2015).

1.6. Καυστικότητα των καρπών

Η καυτερή πιπεριά, όπως έχει αναφερθεί, πέραν της χρήσης της σε εφαρμογές της φαρμακοβιομηχανίας και στην παρασκευή καλλυντικών, χρησιμοποιείται ευρέως και στη μαγειρική, κυρίως λόγω της καυστικότητας που προσδίδει. Τα πικάντικα φαγητά αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της κουλτούρας και της κουζίνας, ιδιαίτερα στις χώρες της Ανατολής που αντιπροσωπεύουν μεγάλο μέρος του πληθυσμού, όπου η καυτερή πιπεριά αποτελεί την πλέον διαδεδομένη πηγή πικάντικης γεύσης. Σύμφωνα με αναφορές, η κατανάλωση καυτερής πιπεριάς αυξάνει ολοένα και περισσότερο (Cordell and Araujo, 1993), ενώ εκτιμάται ότι σε παγκόσμιο επίπεδο ένας στους τέσσερις ανθρώπους καταναλώνουν πιπεριές τύπου chile σε καθημερινή βάση (Spence, 2018).

Ο βαθμός καυστικότητα της πιπεριάς παρουσιάζει κατά βάση γονοτυπική εξάρτηση, ενώ παράλληλα εξαρτάται και από τις επικρατούσες αγροκλιματικές συνθήκες. Η καυστικότητα των καρπών οφείλεται σε μία ομάδα ενώσεων, που ονομάζονται καψαϊκινοειδή. Οι σημαντικότερες από τις εν λόγω ενώσεις είναι η καψαϊκίνη και η διυδροκαψαϊκίνη, ενώ υπάρχουν και αρκετές δευτερεύουσες ενώσεις μικρότερης σημασίας (Govindarajan et al., 1987). Η σύνθεση των καψαϊκινοειδών λαμβάνει χώρα κατά τα αρχικά στάδια ανάπτυξης των καρπών και συνεχίζει κατά την ωρίμανση τους έως ότου η συσσώρευσή τους φθάσει ένα μέγιστο σημείο (Bernal et al., 1993). Η σύνθεση αλλά και η συσσώρευση της πλέον μεγάλης ποσότητας καψαϊκινοειδών γίνεται στον πλακούντα των καρπών της πιπεριάς (Iwai et al., 1979), ενώ μικρότερες ποσότητες απαντώνται και στα φύλλα, στου σπόρους καθώς και σε άλλα μέρη του καρπού (Estrada et al., 2002).

1.6.1 Παράγοντες που επηρεάζουν την καυστικότητα

Όπως προαναφέρθηκε, η σύνθεση των καψαϊκινοειδών και, κατ' επέκταση, η καυστικότητα των καρπών πιπεριάς εξαρτάται τόσο από γενετικούς όσο και από περιβαλλοντικούς παράγοντες (Garces-Claver et al., 2007; Zewdie and Bosland, 2000a). Ουσιαστικά, η τελική ποσότητα καψαϊκινοειδών καθορίζεται από τους παράγοντες που ευνοούν τη σύνθεση αλλά και παράγοντες που επιδρούν αρνητικά σε αυτή καθώς και από την μεταξύ τους ισορροπία. Ως ανασταλτικό παράδειγμα της σύνθεσης καψαϊκινοειδών, μετά από ένα διάστημα ανάπτυξης του καρπού, αναφέρεται η οξείδωση τους από την υπεροξειδάση παρουσία υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) (Bernal et al., 1993; Diaz et al., 2004).

Το φως κατά την καλλιεργητική περίοδο είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά τη σύνθεση των καψαϊκινοειδών. Σύμφωνα με μελέτες, η συγκομιδή ανώριμων καρπών πιπεριάς και η διατήρησή τους σε τεχνητό φωτισμό ευνοεί τη σύνθεση καψαϊκινοειδών (Iwai et al., 1977), ενώ η διατήρησή τους στο φως επίσης οδηγεί σε σύνθεση διπλάσιας ποσότητας καψαϊκινοειδών συγκριτικά με καρπούς που αποθηκεύτηκαν στο σκοτάδι (Park and Kim, 1975). Είναι βέβαια αξιοσημείωτο ότι, αναφορικά με την επίδραση του φωτός, μεγαλύτερη σημασία έχει η διάρκεια έκθεσης των φυτών και σαφώς μικρότερη η έντασή του (Murakami et al., 2006).

Ένας πρόσθετος παράγοντας που επηρεάζει τη σύνθεση καψαϊκινουειδών είναι η θερμοκρασία, η επίδραση της οποίας ωστόσο ποικίλλει ανάλογα με το είδος και την ποικιλία (Gonzalez-Zamora et al., 2013). Συνεπώς, μία ορισμένη θερμοκρασία αέρα δύναται να ευνοεί την παραγωγή καψαϊκινουειδών σε μία ποικιλία, ενώ σε μία άλλη ποικιλία να την αναστέλλει. Επίσης, σύμφωνα με μελέτες, η τελική περιεκτικότητα σε καψαϊκινουειδή επηρεάζεται πολύ περισσότερο από την επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια της νύχτας συγκριτικά με τη διάρκεια της ημέρας (Murakami et al., 2006).

Το νερό είναι ένας επιπλέον παράγοντας που επηρεάζει την καυστικότητα της πιπεριάς, καθώς η υδατική καταπόνηση οδηγεί στην συσσώρευση μεγαλύτερης ποσότητας καψαϊκινουειδών, με την ποικιλία ωστόσο να παίζει σημαντικό ρόλο (Jeeatid et al., 2018). Το γεγονός αυτό σχετίζεται με το ότι ο σχηματισμός των ιστών του πλακούντα, όπου πραγματοποιείται η σύνθεση και η συσσώρευση των καψαϊκινουειδών, επηρεάζεται ελάχιστα από την έλλειψη νερού. Ωστόσο, παρά την αύξηση των ιστών του πλακούντα, είναι αναπόφευκτη η μείωση της παραγωγής και η δημιουργία μικρού μεγέθους καρπών (Sung et al., 2005). Επίσης, η αύξηση της καυστικότητας ευνοείται περαιτέρω από το ότι σε συνθήκες ξηρασίας σημειώνεται αύξηση της δραστηριότητας των ενζύμων που εμπλέκονται στη βιοσύνθεση της καψαϊκίνης, οδηγώντας σε μείωση της οξειδωσης της καψαϊκίνης από υπεροξειδάσες (Contreras-Padilla and Yahia, 1998; Sung et al., 2005).

Τα θρεπτικά συστατικά, κυρίως το άζωτο (N) και το κάλιο (K), επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την σύνθεση των καψαϊκινουειδών. Αναφορικά με το N, υπάρχει μία θετική συσχέτιση μεταξύ της διαθεσιμότητάς του και της περιεκτικότητας των καρπών σε καψαϊκινουειδή καθώς η σύνθεση ενός μορίου καψαϊκίνης απαιτεί τα αμινοξέα φαινυλαλανίνη, βαλίνη και λευκίνη και το N δρα ως αμινοδότης για τη σύνθεση της βανιλαμίνης (Johnson and Decoteau, 1996; Medina-Lara et al., 2008). Επίσης, τα επίπεδα καψαϊκίνης στον πλακούντα αυξάνονται με την προσθήκη νιτρικών αλάτων, όπως διαπιστώθηκε τόσο σε φυτά που καλλιεργούνται *in vitro* (Albana-Luit et al., 2015) όσο και υπό συνθήκες υδροπονικής καλλιέργειας (Monforte-Gonzalez et al., 2010). Όσον αφορά το K, η αυξημένη διαθεσιμότητά του οδήγησε σε μείωση της καψαϊκίνης, παρά το γεγονός ότι το κάλιο δεν συμμετέχει στον μεταβολισμό των καψαϊκινουειδών (Medina-Lara et al., 2008). Συνεπώς,

εκτιμάται ότι το Κ επηρεάζει έμμεσα τα επίπεδα καψαϊκίνης, μέσω της επίδρασής του στην ανάπτυξη των καρπών (Woldemariam et al., 2018).

Παράλληλα, αύξηση των καψαϊκινοειδών έχει παρατηρηθεί και σε περιπτώσεις προσβολής των φυτών πιπεριάς (Tahboub et al., 2008). Τέλος, η περιεκτικότητα των καρπών σε καψαϊκινοειδή επηρεάζεται και από την θέση την ποία καταλαμβάνει ο καρπός επάνω στο φυτό (Kirschbaum-Titze et al., 2002).

1.6.2 Καψαϊκίνη

Η καψαϊκίνη είναι το κύριο αλκαλοειδές της ομάδας των καψαϊκινοειδών και σε αυτήν αποδίδεται κυρίως η καυστικότητα των καρπών πιπεριάς. Η καψαϊκίνη, με μοριακό τύπο $C_{18}H_{27}NO_3$, είναι ένα κρυσταλλικό, λιπόφιλο αλκαλοειδές απαλλαγμένο από χρώμα και οσμή, του οποίου το μοριακό βάρος είναι 305.40 g/mol. Είναι ευδιάλυτη στο λάδι, στο λίπος και στο αλκοόλ αλλά όχι στο νερό (De Lourdes Reyes-Escogido et al., 2011).

Η καψαϊκίνη ανακαλύφθηκε από τον Bucholz το 1816, ενώ η απομόνωσή της σε επαρκή ποσότητα και ο προσδιορισμός του χημικού της τύπου έγινε από τον Tresh το 1846 (Sung et al., 2005). Η μοριακή της δομή έγινε πλήρως κατανοητή από τους Nelson και Dawson το 1919 (Nelson and Dawson, 1923). Η καψαϊκίνη εμφανίζεται πάντοτε με την μορφή του trans ισομερούς καθώς στη μορφή του cis ισομερούς το -CH (CH₃)₂ και η μακριά αλυσίδα που βρίσκονται εκατέρωθεν του διπλού δεσμού στο μόριο της απωθούνται λόγω της κοντινής τους απόστασης (Harrison, 2001).

Η καψαϊκίνη αποτελεί μία ουσία που χρησιμοποιείται ευρέως στην ιατρική και στην φαρμακολογία λόγω της αντικαρκινικής (Ito et al., 2004; Min et al., 2004) και της αναλγητικής της δράσης, ιδιαίτερα για τις αρθρώσεις και το αναπνευστικό (Mazzone and Geraghty, 2009).

Η σύνθεση της καψαϊκίνης πραγματοποιείται στα επιδερμικά του πλακούντα των καρπών, μέσω του ενζύμου συνθάση της καψαϊκίνης (CS) (De Lourdes Reyes-Escogido et al., 2011). Η καψαϊκίνη αποτελεί προϊόν συνδυασμού ενός μορίου βανιλυλαμίνης, που προκύπτει από το μονοπάτι του μεταβολισμού των φαινυλοπροπανοειδών, και ενός λιπαρού οξέος, που προέρχεται από το μονοπάτι μεταβολισμού των λιπαρών οξέων του φυτού (Ochoa-Alejo and Gomez-Peralta, 1993).

1.6.3 Σύνθεση της καψαϊκίνης υπό συνθήκες καταπόνησης

Είναι γνωστό πως η ποσότητα των δευτερογενών μεταβολιτών, συμπεριλαμβανομένων των καψαϊκινοειδών, επηρεάζεται από την επικράτηση βιοτικών ή/και αβιοτικών παραγόντων καταπόνησης (Mani, 2015). Για την αντιμετώπιση της καταπόνησης, τα φυτά έχουν αναπτύξει μία πληθώρα μηχανισμών που προκαλούν μορφολογικές και δομικές αλλαγές (Cecoli et al, 2011). Έχει διαπιστωθεί ότι οι μηχανισμοί άμυνας των φυτών σχετίζονται με τη συσσώρευση ορισμένων ουσιών με προστατευτικό ρόλο, όπως το ασκορβικό οξύ, η προλίνη, η φαινυλαλανίνη και η καψαϊκίνη.

Υπό συνθήκες καταπόνησης υψηλής αλατότητας, σχηματίζονται ελεύθερες ρίζες, οι οποίες δημιουργούν τοξικό στρες στα φυτικά κύτταρα, οδηγώντας τελικά σε περιορισμό της αύξησης, της ανάπτυξης και παραγωγικότητας των φυτών. Σύμφωνα με μελέτες, τα φυτά πιπεριάς που αναπτύχθηκαν υπό συνθήκες καταπόνησης υψηλής αλατότητας στο εργαστήριο σχημάτισαν καρπούς με αυξημένη ποσότητα καψαϊκίνης σε σχέση με τους αντίστοιχους καρπούς που σχηματίστηκαν σε φυτά που αναπτύχθηκαν υπό κανονικές συνθήκες (Zahra, 2015), υποδηλώνοντας την ύπαρξη θετικής συσχέτισης μεταξύ της σύνθεσης καψαϊκίνης και της καταπόνησης αλατότητας.

1.6.4 Αναλυτικές μέθοδοι προσδιορισμού καψαϊκίνης

Για τον προσδιορισμό της καυστικότητας των καρπών πιπεριάς, υπάρχει ένα ευρύ φάσμα μεθόδων που εκτείνονται από εργαστηριακές αναλυτικές μεθόδους έως και δοκιμές καρπών στο πλαίσιο γευσιγνωσίας (Bosland and Walker, 2010).

Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι οργανοληπτικές (Govindarajan et al., 1977), φασματοφωτομετρικές (Awasthi and Singh, 1973), η μέθοδος της υψηλής απόδοσης υγρής χρωματογραφίας (HPLC) (Saria et al., 1981) και η μέθοδος της αέριας χρωματογραφίας (GC) (Krajewska and Powers, 1987).

Η οργανοληπτική δοκιμή Scoville είναι η πρώτη εργαστηριακή μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της καυστικότητας των καρπών πιπεριάς. Κατά τη δοκιμή, ποικίλα δείγματα καυτερής πιπεριάς καταναλώνονται από δοκιμαστές-γευσιγνώστες, οι οποίοι προσδιορίζουν το βαθμό καυστικότητας. Για λόγους σχετικής αντικειμενικότητας, καθιερώθηκε μία κλίμακα, η επονομαζόμενη κλίμακα "Scoville Heat Unit", προς τιμήν του Scoville. Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου συγκαταλέγονται το χαμηλό κόστος και η ευκολία εφαρμογής της, ωστόσο μειονεκτήματα αποτελούν αφενός το γεγονός ότι ο βαθμός καυστικότητας αποτελεί υποκειμενικό κριτήριο του δοκιμαστή και αφετέρου η μεγάλη διάρκεια της εφαρμογής της (Bosland and Walker, 2010).

Ο προσδιορισμός της καυστικότητας με τη μέθοδο της φασματοφωτομετρίας βασίζεται στον υπολογισμό της ποσότητας των καψαϊκινουειδών που περιέχονται σε εργαστηριακά δείγματα μέσω φασματοφωτομετρίας. Η περιεκτικότητα των άγνωστων δειγμάτων σε καψαϊκινουειδή, που προκύπτει βάσει απορρόφησης, υπολογίζεται βάσει τυπικών διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης (Gonzalez-Zamora et al., 2015)

Η ακριβέστερη μέθοδος υπολογισμού της περιεκτικότητας σε καψαϊκίνημειναι η υγρή χρωματογραφία υψηλής απόδοσης (HPLC), η οποία περιλαμβάνει ξήρανση των καρπών, άλεσή τους, εκχύλιση των καψαϊκινουειδών και έγχυσή τους στην HPLC προς ανάλυση. Η συγκεκριμένη μέθοδος είναι πιο δαπανηρή από την οργανοληπτική, όμως παρέχει αντικειμενικά αποτελέσματα. Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου προστίθεται η δυνατότητα προσδιορισμού των ποσοτήτων των επιμέρους καψαϊκινουειδών ξεχωριστά, πέραν του υπολογισμού της συνολικής καυστικότητας, καθώς και η δυνατότητα ανάλυσης πολλών δειγμάτων σε σύντομο χρόνο (Bosland and Walker, 2010).

1.7. Αβιοτικές καταπονήσεις

Τα φυτά κατά τη διάρκεια του βιολογικού τους κύκλου υπόκεινται σε πληθώρα περιβαλλοντικών καταπονήσεων, κυρίως ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας που οδηγεί σε μόλυνση και υποβάθμιση των εδαφών, αλάτωση της καλλιεργήσιμης γης, αυξημένη ακτινοβολία UV κ.α. (Schutzendubel and Polle,

2001). Επιπλέον, τα φυτά που καλλιεργούνται σε ένα ανοιχτό οικοσύστημα υπόκεινται σε καταπονήσεις που αποδίδονται σε περιβαλλοντικές αλλαγές, όπως η ανεπάρκεια εδαφικής υγρασίας, οι ακραίες θερμοκρασίες, η ανεπάρκεια θρεπτικών συστατικών κ.α. (Wang et al., 2003; Ahuja et al., 2010; Wang and Liu, 2010).

1.7.1 Υδατική καταπόνηση

Η υδατική καταπόνηση αποτελεί έναν από τους πλέον επιζήμιους περιοριστικούς παράγοντες που απειλούν τη γεωργική παραγωγή παγκοσμίως (Passioura, 2007), ενώ παράλληλα επιφέρει σημαντικό αντίκτυπο στην οικολογία (Shao et al., 2007). Η υδατική καταπόνηση αναφέρεται στην απώλεια νερού από το φυτό, στο κλείσιμο των στομάτων των φύλλων και κατά συνέπεια στην μειωμένη ανταλλαγή αερίων, επηρεάζοντας την ανάπτυξη του φυτού (Jaleel et al., 2008). Η απόκριση των φυτών στην εν λόγω καταπόνηση εξαρτάται από την ένταση και την διάρκειά της, το είδος και το γονότυπο του φυτού καθώς και το στάδιο ανάπτυξής του (Chaves et al., 2003).

Στην πιπεριά, η υδατική καταπόνηση επιφέρει μείωση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, η οποία οδηγεί σε περιορισμό της ανάπτυξης, μείωση της απόδοσης καθώς και της εμπορευσιμότητας των καρπών (Delfine et al., 2002). Παράλληλα, έχει αναφερθεί ότι η μείωση της εδαφικής υγρασίας οδήγησε σε μείωση της έκφρασης των γονιδίων που συμβάλλουν στην βιοσύνθεση την καψανθίνης που αποτελεί κύριο συστατικό της χρωστικής στις πιπεριές κόκκινου χρώματος (Tian et al., 2014). Αναφορικά με την επίδραση της ξηρασίας στην καυστικότητα των καρπών πιπεριάς, έχει αναφερθεί ότι η περιεκτικότητα των καψαϊκινουοειδών αυξάνεται υπό συνθήκες καταπόνησης (Estrada et al., 1999), ενώ άλλες μελέτες αναφέρουν ότι η αύξησή τους παρατηρείται μόνο σε είδη πιπεριάς χαμηλής και μέτριας έντασης καυστικότητας ενώ στις πολύ καυτερές η ποσότητα τους παραμένει ίδια (Bosland et al., 2012).

1.7.2 Καταπόνηση υψηλής αλατότητας

Η αυξημένη εδαφική αλατότητα αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της σημερινής γεωργίας, λόγω της εκτεταμένης διάδοσής της περίπου στο 20 % των αρδευόμενων εκτάσεων παγκοσμίως αλλά και της μείωσης που προκαλεί στην

παγκόσμια γεωργική παραγωγή (Qadir et al., 2014). Οι επιπτώσεις της αλατότητας ποικίλουν και, μεταξύ άλλων, εκφράζονται σε μορφολογικό επίπεδο, καθώς έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί μείωση της αύξησης και ανάπτυξης των φυτών (Negrao et al., 2017). Σημαντική είναι παράλληλα η επίδρασή της στη φωτοσυνθετική ικανότητα των φυτών, καθώς λόγω του κλεισίματος των στομάτων μειώνεται το CO₂, οδηγώντας σε μείωση της δραστηριότητας ενζύμων που εμπλέκονται στη φωτοσύνθεση, όπως η RuBisCo (Chaves et al., 2009). Σε ορισμένες περιπτώσεις, παρά τη μείωση στο άνοιγμα των στομάτων, το ποσοστό φωτοσύνθεσης ανά φύλλο παραμένει σταθερό (Munns and Tester, 2008).

Παράλληλα, η αλατότητα επιδρά αρνητικά και στην ικανότητα πρόσληψης νερού, λόγω της μείωσης της υδραυλικής αγωγιμότητας των ριζών, με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η μεταφορά επαρκούς ποσότητας νερού από τις ρίζες στο φυτό (Vysotskaya et al., 2010), οδηγώντας τελικά σε μειωμένο υδατικό δυναμικό στα φύλλα (Gama et al., 2009). Επίσης, η εισροή κατιόντων νατρίου (Na⁺) υπό συνθήκες αλατότητας οδηγεί σε αύξηση του κυτταροπλασματικού Na⁺ στα ριζικά κύτταρα και συμπτώματα τοξικότητας (Shabala and Cuin, 2007). Έτσι, προκαλείται ιοντική ανισορροπία λόγω της συσσώρευσης ιόντων Na⁺ και Cl⁻, εις βάρος των υπόλοιπων. Σε ορισμένες περιπτώσεις, παρατηρείται ακόμη και αναστροφή της απορρόφησης θρεπτικών συστατικών από τις ρίζες (Lycoskoufis et al., 2005).

Η ανωτέρω συμπτωματολογία ισχύει και για την πιπεριά, η οποία συγκαταλέγεται στα ευαίσθητα στην υψηλή αλατότητα φυτικά είδη (Lycoskoufis et al., 2005). Ωστόσο, η ευαισθησία της ποικίλει στα διάφορα φυτικά μέρη, με τους καρπούς να θεωρούνται περισσότερο ευαίσθητοι συγκριτικά με τα φύλλα και τους σπόρους (Azuma et al., 2010).

1.7.3 Ανεπάρκεια θρεπτικών συστατικών

Τα τελευταία χρόνια, γίνεται ολοένα και περισσότερο προφανής ο ορθολογισμός της αζωτούχου λίπανσης καθώς ο περιορισμός της εγκυμονεί κινδύνους για τα φυτά και την απόδοση των καλλιεργειών (Gastal and Lemaire, 2002). Η σχέση μεταξύ της αζωτούχου λίπανσης και της ανάπτυξης των φυτών γίνεται κατανοητή από το γεγονός ότι οι μεταβολικές διεργασίες που συμβάλλουν στην επαγωγή της ανάπτυξης,

αναπαραγωγής, και κατ' επέκταση της απόδοσης, εξαρτώνται πλήρως από την επάρκεια αζώτου (Lawlor, 2002). Η μειωμένη ανάπτυξη, λόγω έλλειψης αζώτου, αποτελεί επακόλουθο της μειωμένης φωτοσυνθετικής ικανότητας (Lu and Zhang, 2000), καθώς αυτή έχει άμεση συσχέτιση με την περιεκτικότητα αζώτου ανά φύλλο (Field and Mooney, 1986). Επίσης, η ανεπάρκεια αζώτου επιδρά αρνητικά στις φωτοσυνθετικές χρωστικές και πρωτεΐνες, οδηγώντας σε μείωση της σύνθεσης ενζύμων (Huang et al., 2004), αλλά και στη συσσώρευση υδατανθράκων στα φύλλα, η στην ποσότητα άνθρακα που κατανέμεται στις ρίζες και η στην αναλογία ρίζας/βλαστού (Hirai et al., 2004, Scheible et al., 2004, Remans et al., 2006), καθώς τα φυτά κατανέμουν μεγαλύτερο ποσοστό βιομάζας στο ριζικό σύστημα υπό συνθήκες ανεπάρκειας θρεπτικών στοιχείων (Lawlor et al., 2001).

Το κάλιο (K), παρόλο που είναι το πιο άφθονο ανόργανο κατιόν που εντοπίζεται στα φυτά (Pettigrew, 2008), βρίσκεται σε ανεπάρκεια ακόμα και στις χώρες με "βαριά" γεωργία, όπως η Κίνα, η Αυστραλία κ.α. (Rengel and Damon, 2008). Το K είναι ιδιαίτερα σημαντικό για πολλές διεργασίες, όπως η φωτοσύνθεση, η ενεργοποίηση των ενζύμων, η σύνθεση των πρωτεϊνών, η ομοιόσταση των ιόντων στα φυτικά κύτταρα, αναδεικνύοντας τη σημασία της έλλειψής του (Marschner, 1995). Περαιτέρω, το κάλιο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και σε άλλες φυσιολογικές και μεταβολικές διεργασίες, όπως η ισορροπία μεταξύ ιόντων και κατιόντων (White and Karley, 2010), το οσμωτικό δυναμικό, η πρόσληψη νερού από τις ρίζες (Kaiser, 1982) και η ρύθμιση της κίνησης των στομάτων, το οποίο επηρεάζει τη φωτοσύνθεση και την ανταλλαγή αερίων μεταξύ φυτού και περιβάλλοντος (Humble and Raschke, 1971). Επίσης συμβάλει στην αφομοίωση του CO₂ (Hu et al., 2015) και του N (Drosdoff et al., 1947). Τέλος, σημαντική είναι και η συμβολή του στη μεταφορά σακχάρων και θρεπτικών συστατικών καθώς και στη σύνθεση αμύλου (Prajapati and Modi, 2012), διαδικασίες που περιορίζονται αρκετά από την ανεπάρκεια K.

Ο φώσφορος (P) αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά θρεπτικά συστατικά για τα φυτά, παρόλο που η συγκέντρωσή του (με την μορφή H₂PO₄⁻) στο έδαφος είναι χαμηλή (Raghothama, 1999) και η απορρόφησή του από τις ρίζες γίνεται με πολύ αργό ρυθμό (Fitter and Hay, 2002), καθιστώντας το ένα από τα πιο μη διαθέσιμα και δύσκολα προσβάσιμα μακροθρεπτικά συστατικά του εδάφους (Vance et al., 2003). Επίσης, καθιστά και άλλα μικροθρεπτικά συστατικά όπως σίδηρος, χαλκός, ψευδάργυρος μη διαθέσιμα, καθώς αντιδρά ή συνδέεται με αυτά (Clark, 1982). Η έλλειψη P είναι μία

από τις σημαντικότερες αβιοτικές καταπονήσεις, που περιορίζει την ανάπτυξη των φυτών και μειώνει την παραγωγή (Sanchez and Salinas, 1981). Η έλλειψη του επιδρά αρνητικά στα φυτά καθώς είναι απαραίτητο στοιχείο των νουκλεικών οξέων και των φωσφολιπιδίων των μεμβρανών και συμμετέχει στη μεταφορά ενέργειας, ως ρυθμιστής της ενζυμικής δραστηριότητας. Προκειμένου το φυτό να ανταπεξέλθει σε συνθήκες ανεπάρκειας P, υπόκειται σε μορφολογικές και φυσιολογικές μεταβολές (Raghothama, 1999), όπως η μειωμένη ανάπτυξη των φύλλων (Kavanova et al., 2006).

1.7.4 Ακραίες θερμοκρασίες

Οι ακραίες θερμοκρασίες του περιβάλλοντος αποτελούν μία πολύ σημαντική μορφή καταπόνησης που επιδρά αρνητικά στις καλλιέργειες. Το πρόβλημα των ακραίων υψηλών θερμοκρασιών εντείνεται ολοένα και περισσότερο λόγω της προοδευτικής υπερθέρμανσης του πλανήτη τα τελευταία χρόνια (IPCC, 2013), οδηγώντας σε μείωση της απόδοσης των καλλιεργειών (η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1 °C επιφέρει μείωση της απόδοσης έως και 10 %) (Lobell et al., 2011).

Η επικράτηση υψηλών θερμοκρασιών, πέραν των αρνητικών επιπτώσεων στην ανάπτυξη των φυτών, προκαλεί βλάβες στις πρωτεΐνες, μετουσίωση, οξειδωση (Hemantaranjan et al., 2014), ενώ μπορεί να οδηγήσει και σε βλάστηση των σπόρων και αναπαραγωγή (Hasanuzzaman et al., 2013). Οι πρωτεΐνες, τα ένζυμα, το RNA και οι μεμβράνες είναι αυτά που επηρεάζονται περισσότερο σε μοριακό και ενδοκυτταρικό επίπεδο (Ruelland and Zachowski 2010; Suzuki et al., 2012; Hasanuzzaman et al., 2013). Μία από τις διαδικασίες που επηρεάζεται περισσότερο κατά την επικράτηση ακραίων θερμοκρασιών είναι η φωτοσύνθεση, η οποία μπορεί να ανασταλεί μέσα σε λίγα λεπτά (Renata Szymanska et al., 2017) καθώς σε υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζεται το υδατικό δυναμικό των φύλλων και η συγκέντρωση του ενδοκυτταρικού CO₂, οδηγώντας σε κλείσιμο των στομάτων. (Allakhverdiev et al., 2008; Greer and Weedon, 2012).

Οι χαμηλές θερμοκρασίες επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών, τη φωτοσύνθεση, την πρόσληψη νερού και θρεπτικών συστατικών (Morad Aikari et al., 2012) και προκαλούν σοβαρές βλάβες στα κύτταρα διαφόρων φυτικών ειδών. Στα μη ανεκτικά

στο ψύχος φυτά, οι βλάβες εμφανίζονται από τις πρώτες κιόλας ώρες έκθεσης, ενώ υπό συνθήκες παρατεταμένης έκθεσης παρατηρείται αδυναμία επιβίωσης. Αντίθετα, τα ανεκτικά φυτά υπόκεινται σε φυσιολογικές και μοριακές μεταβολές προκειμένου να αποφύγουν τις αρνητικές επιπτώσεις του κρύου (Theocharis et al., 2012).

Η πιπεριά, όντας φυτό προερχόμενο από τροπικές περιοχές, απαιτεί σχετικά υψηλές θερμοκρασίες για την ομαλή ανάπτυξή της, με το ιδανικό θερμοκρασιακό εύρος να κυμαίνεται μεταξύ 20 °C και 30 °C. Όταν η θερμοκρασία υπερβεί τους 32 °C, παρατηρούνται προβλήματα κατά την γονιμοποίηση και υποβάθμιση της ποιότητας των καρπών (Guo et al., 2014), η πτώση από τους 15 °C οδηγεί σε μείωση της ανάπτυξης των καρπών και αναστολή της παραγωγής ανθέων (Mercado et al. 1997).

1.7.5 Ανοξία

Τα φυτά, όπως και τα ζώα, ανήκουν στην κατηγορία των υποχρεωτικά αερόβιων οργανισμών, που η ανάπτυξή τους απαιτεί την παρουσία οξυγόνου. Η μείωση της συγκέντρωσης οξυγόνου στους φυτικούς ιστούς είναι αποτέλεσμα είτε της μείωσης του περιβαλλοντικού οξυγόνου είτε του ρυθμού κατανάλωσης οξυγόνου που υπερβαίνει το ρυθμό μετακίνησής του εντός των ιστών (Geigenberger, 2003). Η έλλειψη οξυγόνου οδηγεί σε περιορισμένη παραγωγή ATP, λόγω του σημαντικού του ρόλου στην οξειδωτική φωσφορυλίωση κατά την οποία απελευθερώνεται ενέργεια καθώς τα ηλεκτρόνια διέρχονται μέσω της αλυσίδας μεταφοράς ηλεκτρονίων, οδηγώντας τελικά σε αναγωγή του οξυγόνου προς νερό (Peter Raven et al., 2014). Συνεπώς, η παραγωγή ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών του φυτού σε νερό προϋποθέτει την παραγωγή ATP μέσω ζύμωσης (Ricard et al., 1994), το οποίο οδηγεί σε μειωμένο σχηματισμό ATP, καθώς με τον τρόπο αυτό παράγονται το πολύ 3 μόρια ATP ενώ μέσω της αναπνοής παράγονται έως και 39 (Geigenberger, 2003). Επιπλέον, συσσωρεύονται και προϊόντα της αναερόβιας αναπνοής, με αποτέλεσμα την πτώση του pH και τη συσσώρευση αιθανόλης (Drew, 1997). Τέλος, έχει διαπιστωθεί ότι τα φυτά μπορούν να μειώνουν την κατανάλωση οξυγόνου σε συνθήκες έλλειψής του προκειμένου να αποφευχθούν συνθήκες ανοξίας στο εσωτερικό των κυττάρων τους (Geigenberger, 2003).

1.7.6 Όξινα και αλκαλικά εδάφη

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, τα όξινα εδάφη καταλαμβάνουν περίπου το 30 % της αρόσιμης γης παγκοσμίως (Von Uexküll and Mutert, 1995), ενώ κατά τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται μία επιτάχυνση της οξίνισης των εδαφών λόγω της αυξημένης χρήσης αμμωνιακών λιπασμάτων (Zhang et al., 2009) και της σημαντικής εναπόθεσης των οξέων της ατμόσφαιρας (Yu et al., 2017), διαδικασία η οποία πραγματοποιείται με αργό ρυθμό υπό φυσιολογικές συνθήκες.

Παρά το γεγονός ότι το ιδανικότερο έδαφος για την ανάπτυξη των φυτών είναι το ελαφρώς όξινο, καθώς αυτές οι τιμές pH ευνοούν τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών εδάφους και την πρόσληψη θρεπτικών συστατικών (Subhash Yadav et al., 2011), τα πολύ όξινα εδάφη οδηγούν σε μείωση της παραγωγής, λόγω τοξικότητας αργιλίου (Al) και μαγγανίου (Mn) καθώς και έλλειψη άλλων θρεπτικών, όπως φωσφόρος (P), ασβέστιο (Ca) και μαγνήσιο (Mg) (Fageria and Baligar, 2003, 2005; Chen et al., 2013). Συγκεκριμένα, το αργίλιο ασκεί τη σημαντικότερη αβιοτική καταπόνηση, λόγω της τοξικότητάς του, στα φυτά όξινων εδαφών, περιορίζοντας την ανάπτυξη (Kochian et al., 2005), αναστέλλοντας την ανάπτυξη των ριζών (Rout et al., 2001) και παρεμποδίζοντας την πρόσληψη θρεπτικών και τη μεταφορά τους εντός των κυττάρων (Kochian et al., 2005).

Αλκαλικά είναι τα εδάφη με υψηλό pH, που χαρακτηρίζονται από υψηλό ανταλλάξιμο νάτριο (N) και χαμηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη (Gupta et al., 1984) καθώς και χαμηλή μικροβιακή δραστηριότητα (Kaur et al., 1998). Σε αυτά τα εδάφη, μειώνεται η κατακράτηση και, κατ' επέκταση, η απορρόφηση του φωσφόρου (P) λόγω της ισχυρής ηλεκτροστατικής απόθησης (Jiang et al., 2015). Παράλληλα, σε εδάφη με ιδιαίτερα υψηλό pH προκαλείται ακινητοποίηση των βαρέων μετάλλων και μείωση της διαθεσιμότητάς τους (Zhang et al., 2016).

1.7.7 Καταπόνηση από βαρέα μέταλλα

Τα τελευταία χρόνια, παρατηρείται αύξηση της συγκέντρωσης βαρέων μετάλλων, πέραν της κανονικής, σε μία συνεχώς αυξανόμενη έκταση καλλιεργήσιμης γης σε παγκόσμιο επίπεδο. Στα βαρέα μέταλλα συγκαταλέγονται το κάδμιο (Cd), ο χαλκός (Cu), ο υδράργυρος (Hg), ο ψευδάργυρος (Zn), το νικέλιο (Ni), το κοβάλτιο (Co), το

χρώμιο (Cr), ο μόλυβδος (Pb) και το αρσενικό (As). Η τοξικότητα είναι συνήθως αποτέλεσμα της μακροχρόνιας χρήσης φωσφορικών λιπασμάτων, των βιομηχανικών αποβλήτων, των κακών πρακτικών άρδευσης και της χρήσης φυτοφαρμάκων (Bell et al., 2001; Schwartz et al., 2001; Passariello et al., 2002).

Η καταπόνηση από βαρέα μέταλλα είναι συνήθως αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας που σχετίζεται με τα αστικά απόβλητα, τα υπολείμματα μεταλλείων, τη βιομηχανία τήξης μετάλλων και τις εξορύξεις (Yadav, 2010). Επίσης, στις πηγές ρύπανσης ανήκουν τα διάφορα χρώματα, η βενζίνη και τα εκρηκτικά, όπως στην περίπτωση του μολύβδου (Pb) (Yadav, 2010), η καύση ορυκτών καυσίμων και η φθορά κραμάτων στην περίπτωση του κοβαλτίου (Co) (Barceloux, 1999), και η καύση πετρελαίου, τα φωσφορικά λιπάσματα και φυτοφάρμακα στην περίπτωση του νικελίου (Ni) (Gimeno-García et al., 1996).

Σε εδάφη όπου παρατηρείται περίσσεια βαρέων μετάλλων, τα φυτά παρουσιάζουν αναστολή της ανάπτυξης και χλώρωση στα φύλλα, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του καδμίου (Cd) (Wójcik and Tukiendorf, 2004; Mohanpuria et al., 2007), του ψευδαργύρου (Zn) (Choi et al., 1996; Ebbs and Kochian, 1997), του χαλκού (Cu) (Lewis et al., 2001), του χρωμίου (Cr) (Chatterjee and Chatterjee, 2000) και του νικελίου (Ni) (Zornoza et al., 1999).

Παράλληλα, σημαντική επίπτωση είναι η επίπτωση της περίσσειας βαρέων μετάλλων στη μείωση της φωτοσύνθεσης και της πρόσληψης νερού και θρεπτικών, όπως συμβαίνει στις περιπτώσεις περίσσειας καδμίου (Cd) (Wójcik and Tukiendorf, 2004; Mohanpuria et al., 2007) και μολύβδου (Pb) (Yadav, 2010), καθώς και στην αναστολή της ενζυμικής δραστηριότητας που προκαλείται από το μόλυβδο (Pb) (Sharma and Dubey, 2005) και το χρώμιο (Cr) (Shanker et al., 2005).

Αναφορά πρέπει να γίνει και για το αρσενικό (As), το οποίο ως στοιχείο ανάλογο του φωσφόρου (P) ανταγωνίζεται για την πρόσληψή του από τις ρίζες, προκαλώντας σημαντικά προβλήματα στα φυτά (Meharg and Macnair, 1992).

1.7.8 Όζον

Το όζον αποτελεί βασικό συστατικό της ατμόσφαιρας με μεγάλη σημασία για τους ζωντανούς οργανισμούς καθώς παρέχει προστασία έναντι της υπεριώδους ακτινοβολίας (Ganesh Kumar Agrawal et al., 2002). Ωστόσο το όζον της τροπόσφαιρας χαρακτηρίζεται ως καταστρεπτικό αέριο με αρνητικές επιπτώσεις στην αναπνοή του ανθρώπου και των ζώων (Mustafa, 1990) και αποτελεί απειλή για την παγκόσμια αγροτική παραγωγή λόγω της φυτοτοξικότητάς του (Tai et al., 2014). Σχηματίζεται από τη διενέργεια φωτοχημικών αντιδράσεων πρόδρομων αερίων, όπως νιτρώδη οξείδια, πτητικές οργανικές ενώσεις, μονοξειδίο του άνθρακα και μεθάνιο (The Royal Society, 2008; Paoletti et al., 2014).

Η επίδραση που ασκεί το όζον της τροπόσφαιρας στην αγροτική παραγωγή βασίζεται τόσο στην ισχυρή οξειδωτική του ικανότητα που οδηγεί σε παραγωγή O_2 , H_2O_2 , HO και O_2 βλάπτοντας τα φυτικά κύτταρα (Pell et al., 1997; Pellinen et al., 1999) όσο και στη συμμετοχή του στην υπερθέρμανση του πλανήτη ως αέριο θερμοκηπίου (Ainsworth, 2016).

Η καταπόνηση όζοντος οδηγεί σε φυσιολογικές (Ainsworth, 2016), βιοχημικές (Dizengremel, 2001) και μοριακές επιπτώσεις (Castagna and Ranieri, 2009). Ιδιαίτερα επιζήμιο είναι το κλείσιμο των στομάτων των φύλλων (Wittig et al., 2007) που επηρεάζει την απόκριση των στομάτων στις διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες (Paoletti and Grulke, 2005, 2010). Αυτή η βραδύτητα των στομάτων είναι χαρακτηριστική της πρόωμης γήρανσης των φύλλων, καθώς είναι γνωστό ότι το όζον επιταχύνει τη διαδικασία γήρανσης (Matyssek and Sandermann, 2003). Παράλληλα, σημαντική είναι και η μείωση που προκαλεί στο φωτοσυνθετικό ρυθμό (Yasutomo Hoshika et al., 2012), στην αφομοίωση του CO_2 , επιδρώντας αρνητικά στη φυτική βιομάζα (Dumont et al., 2013).

1.7.9 Υπεριώδης ακτινοβολία

Η υπεριώδης ακτινοβολία αντιπροσωπεύει περίπου το 8-9 % της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας, αποτελεί μέρος της μη ιονίζουσας περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Coohill, 1989; Frederick, 1993) και χωρίζεται σε τρία διαφορετικά μήκη κύματος: i) τη UV-A ακτινοβολία (320-400 nm), που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο

ποσοστό της υπεριώδους ακτινοβολίας και είναι λιγότερο επικίνδυνη από τις υπόλοιπες, ii) τη UV-C ακτινοβολία (200-280 nm), η οποία προκαλεί σοβαρά προβλήματα στους ζωντανούς οργανισμούς αλλά δεν υφίσταται κάτω από φυσιολογικές συνθήκες και iii) τη UV-B ακτινοβολία (280-320 nm), η οποία αν και αντιπροσωπεύει μικρό ποσοστό του συνολικού φάσματος μπορεί να προκαλέσει διάφορες βλάβες στα φυτά (Hollosoy F., 2002) και αναμένεται η αύξησή της μέσα στα επόμενα χρόνια (Kakani et al., 2003).

Όταν η υπεριώδης ακτινοβολία υπερβεί κάποια όρια, υπάρχει κίνδυνος αναστολής της ανάπτυξης των φυτών, η οποία μπορεί να οφείλεται σε διάφορες φυτορμόνες, στην φωτοαποδόμηση ή σε ενζυμικές αντιδράσεις (Hosseini et al., 2009), καθώς και αναστολής της αναπαραγωγής και της φωτοσύνθεσης (Teramura and Sullivan, 1994; Rozema et al., 1997; Jansen et al., 1998). Παράλληλα, έχουν παρατηρηθεί και μεταβολές στο πάχος των μίσχων και των φύλλων και αλλαγές στους χλωροπλάστες φυτών που έχουν δεχθεί μεγάλη ποσότητα ακτινοβολίας UV (Santos et al., 2004).

Η ευαισθησία που παρουσιάζουν τα φυτά στην υπεριώδη ακτινοβολία διαφέρει τόσο μεταξύ των ειδών (Teramura, 1983) όσο και μεταξύ των διαφόρων ποικιλιών (Reed et al., 1992) και εξαρτάται από το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (Teramura and Sullivan, 1987), τον ρυθμό ανάπτυξης (Eichhorn et al., 1993), τη θερμοκρασία του αέρα (Mark and Tevini, 1997), τη συγκέντρωση CO₂ της ατμόσφαιρας (Sullivan, 1997) και του αζώτου του εδάφους (Hunt and McNeil, 1998), την περιεκτικότητα σε φώσφορο (Murali and Teramura, 1985) και την υγρασία (Sullivan and Teramura, 1990).

Συγκεκριμένα για την πιπεριά, έχει αποδειχθεί ότι το μήκος των βλαστών μειώθηκε αρκετά, σε αντίθεση με το μήκος της ρίζας το οποίο δε μειώθηκε αισθητά, σε φυτά που έχουν εκτεθεί σε υπεριώδη ακτινοβολία (Hosseini et al., 2009). Επίσης, η UV ακτινοβολία μείωσε την επιφάνεια του φυλλώματος (Hosseini et al., 2009), το οποίο επιτελείται προκειμένου να περιοριστεί η βλάβη στους ιστούς των φύλλων (Mak et al., 1998). Παρά το γεγονός ότι δεν παρατηρήθηκε αισθητή διαφορά στο πάχος της ρίζας φυτών που έχουν εκτεθεί σε UV, παρατηρήθηκε αύξηση του πάχους του στελέχους (Hosseini et al., 2009), λόγω αυξημένης παραγωγής αιθυλενίου που αυξάνει το πάχος του στελέχους περιορίζοντας την επιμήκυνση του (Ros and Tevini, 1995). Τέλος, παρατηρήθηκε αύξηση του πάχους των φύλλων ως μηχανισμός

προστασίας έναντι της UV αλλά και αύξηση της συχνότητας των στομάτων στα επιδερμικά κύτταρα (Hosseini et al., 2009).

1.8. Η προλίνη και ο ρόλος της στα φυτά

1.8.1 Ο ρόλος της προλίνης στα φυτά

Τα φυτά, προκειμένου να ανταπεξέλθουν στις διάφορες μορφές καταπόνησης που οφείλονται σε περιβαλλοντικά ή ανθρωπογενή αίτια συσσωρεύουν μεγάλες ποσότητες ορισμένων συμβατών διαλυτών ουσιών (Serraj and Sinclair, 2002). Πρόκειται για ευδιάλυτες οργανικές ενώσεις χαμηλού μοριακού βάρους, που η συσσώρευσή τους σε υψηλές συγκεντρώσεις δεν προκαλεί τοξικότητα αλλά παρέχει προστασία έναντι καταπονήσεων, ρυθμίζοντας την οσμωτική πίεση στα κύτταρα, αποκαθιστώντας τις βλάβες των ενεργών μορφών οξυγόνου (ROS), προστατεύοντας τις μεμβράνες και σταθεροποιώντας ένζυμα και πρωτεΐνες (Yancey, 1994; Ashraf and Foolad, 2007). Σε αυτές, συγκαταλέγεται η προλίνη, η οποία συσσωρεύεται σε μεγάλες ποσότητες στα φυτά κατά την επικράτηση καταπονήσεων, όπως η ξηρασία (Hare et al., 1998), η υψηλή αλατότητα (Munns, 2005), η χαμηλή θερμοκρασία (Naidu et al., 1991), η υψηλή συγκέντρωση βαρέων μετάλλων (Bassi and Sharma, 1993) κ.α.

Η προλίνη συνεισφέρει στη σταθερότητα των υποκυτταρικών δομών, όπως οι πρωτεΐνες και μεμβράνες, στην απομάκρυνση των ελεύθερων ριζών και στη ρύθμιση της οσμωτικής πίεσης καθώς δρα ως οσμωλύτης (Ashraf and Foolad, 2007). Επίσης, συμβάλει στη διατήρηση της κατάλληλης αναλογίας $\text{NADP}^+/\text{NADPH}$, προάγοντας τον μεταβολισμό (Hare and Cress, 1997) καθώς βοηθά στη σταθεροποίηση σημαντικών ενζύμων, όπως το ένζυμο rubisco (Allen et al., 1997), αλλά και στην ενίσχυση της δραστηριότητας διάφορων αντιοξειδωτικών ενζύμων (Hoque et al., 2007), όπως η υπεροξειδική δισμουτάση και η υπεροξειδάση (Yan et al., 2000).

Η συσσώρευση προλίνης στα φυτά εξαρτάται από την ένταση και τη διάρκεια της καταπόνησης (Ashraf and Foolad, 2007). Παρά τις θετικές επιδράσεις, η συσσώρευση προλίνης πέραν ενός ορισμένου ορίου, είναι πιθανό να προκαλέσει δυσλειτουργίες, όπως παρεμπόδιση της σύνθεσης πρωτεϊνών και RNA (Su and Wu,

2004), περιορισμό της αύξησης και του μεταβολισμού (Ehsanpour and Fatahian, 2003).

Υπό συνθήκες καταπόνησης υψηλής αλατότητας, η συσσώρευση προλίνης στα φυτικά κύτταρα σχετίζεται με την ανοχή των φυτών, με τη συγκέντρωσή της να είναι μεγαλύτερη στα ανθεκτικά φυτά σε σχέση με τα ευαίσθητα φυτά (Petruša and Winicov, 1997). Η αύξηση της συγκέντρωσης προλίνης, λόγω καταπόνησης αλατότητας, είναι μοναδική σε σύγκριση με τα υπόλοιπα αμινοξέα (Aspinall and Paleg, 1981).

1.8.2 Βιοσύνθεση και ποσοτικός προσδιορισμός προλίνης

Η συσσώρευση της προλίνης πραγματοποιείται στο κυτταρόπλασμα, με τους χλωροπλάστες να έχουν αναφερθεί ως η σημαντικότερη περιοχή σύνθεσης (Rayapati et al., 1989), όπου σταθεροποιείται η δομή των πρωτεϊνών και η ρύθμιση του pH (Hayat et al., 2012). Η μεγαλύτερη ποσότητα προλίνης κατά τη διάρκεια της καταπόνησης συντίθεται από το γλουταμινικό μονοπάτι (Shamsul Hayat et al., 2012). Το L-γλουταμινικό οξύ αποτελεί την πρόδρομη ένωση κατά τη βιοσύνθεση της προλίνης, ενώ τα πλέον σημαντικά ένζυμα για την κατάλυση της αντίδρασης, είναι η 5-καρβοξυλική συνθετάση της πυρολλίνης (P5CR) και η καρβοξυλική αναγωγή της πυρολλίνης (P5CS) (Delaunay and Verma, 1993). Ο καταβολισμός της συμβαίνει στα μιτοχόνδρια όπου, με την ενέργεια της αφυδρογονάσης ή της οξειδάσης της προλίνης (PDH ή POX), παράγεται P5C από την προλίνη, το οποίο στην συνέχεια μετατρέπεται σε γλουταμινικό οξύ, μέσω της δράσης της αφυδρογονάσης P5C (P5CDH) (Deuschle et al., 2001).

Παρά τη μεγάλη σημασία της για τα φυτά, οι μηχανισμοί βιοσύνθεσης της προλίνης δεν είναι πλήρως γνωστοί (Hayat et al., 2012). Ωστόσο, έχει αναφερθεί ένα είδος συσχέτισης μεταξύ της συσσώρευσης προλίνης και των βιοσυνθετικών μονοπατιών που εξαρτώνται από το αμπισικό οξύ (ABA), το οποίο παράγεται υπό συνθήκες καταπόνησης (Hare et al., 1999). Η σύνθεση δηλαδή του ABA προάγει έμμεσα την σύνθεση συμβατών ωσμωλυτών, όπως η προλίνη, για την αντιμετώπιση των αρνητικών επιπτώσεων της καταπόνησης (Kavi Kishor, 2005).

Για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των αμινοξέων, συμπεριλαμβανομένης της προλίνης, αξιοποιείται ένα εύρος αναλυτικών μεθόδων, με κυριότερες την αέρια χρωματογραφία- φασματομετρία μάζας παρακολούθησης επιλεγμένων ιόντων (GC-SIM-MS) (Schieber et al., 1997) και την υψηλής απόδοσης υγρή χρωματογραφία (HPLC) (Dołowy and Pyka, 2014).

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η υψηλή αλατότητα αποτελεί έναν από τους πλέον επιζήμιους περιοριστικούς παράγοντες για τα περισσότερα φυτικά είδη, ασκώντας δυσμενείς επιδράσεις στην αύξηση, ανάπτυξη και παραγωγικότητά τους. Με δεδομένο ότι η πιπεριά θεωρείται ως ευαίσθητο στην υψηλή αλατότητα φυτικό είδος, στόχο της πτυχιακής διατριβής αποτέλεσε η μελέτη της απόκρισης γενετικού υλικού πιπεριάς, τύπου "Μακεδονικό μυτερό" σε συνθήκες υψηλής αλατότητας. Ως γενετικό υλικό χρησιμοποιήθηκε η εμπορική ποικιλία AgriS, ο πληθυσμός AgriS-S, που προέκυψε έπειτα από πολυετή κύκλο επιλογών στην AgriS με κριτήριο το χαμηλό επίπεδο καυστικότητα των καρπών, και ένας τοπικός πληθυσμός που προέρχεται από την περιοχή του Ματονερίου. Η καταπόνηση έλαβε χώρα κατά το κρίσιμο στάδιο της έναρξης της άνθισης και πραγματοποιήθηκε μέσω ριζοποτίσματος με διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης NaCl (0, 50,100, 200 mM). Ως παράμετροι αξιολόγησης της απόκρισης του γενετικού υλικού αξιοποιήθηκαν ο αριθμός των καρπών, το μέγεθός τους (μήκος και πλάτος, το νωπό βάρος των καρπών, η περιεκτικότητά τους σε ξηρά ουσία (%), η περιεκτικότητα σε στερεά διαλυτά σάκχαρα (%), η συνεκτικότητα της σάρκας, το χρώμα των καρπών και η περιεκτικότητα των φύλλων σε προλίνη.

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 Φυτικό υλικό

Στην παρούσα μελέτη αξιολογήθηκαν τρεις διαφορετικοί πληθυσμοί πιπεριάς (*Capsicum annuum*) τύπου «Μακεδονικό μυτερό» αναφορικά με την αντοχή τους στην καταπόνηση υψηλής αλατότητας. Το γενετικό υλικό που χρησιμοποιήθηκε περιλάμβανε 3 διαφορετικούς πληθυσμούς -που αναφέρονται ως ποικιλίες, υπό την ευρεία έννοια-: AgriS, AgriS-S και τοπικός πληθυσμός. Η AgriS αποτελεί καλλιεργούμενη εμπορική ποικιλία, ενώ ο πληθυσμός AgriS-S αποτελεί υλικό που έχει προκύψει από την ποικιλία AgriS, έπειτα από πολυετή κύκλο επιλογών με κριτήριο το χαμηλό επίπεδο καυστικότητα των καρπών. Τέλος, ο τοπικός πληθυσμός αποτελεί υλικό που προέρχεται από την περιοχή του Ματονερίου.

Η προσαρμοστικότητα των ανωτέρω γονοτύπων σε συνθήκες καταπόνησης υψηλής αλατότητας δεν είχε προσδιοριστεί. Στο πλαίσιο αξιολόγησης της απόκρισής τους υπό συνθήκες καταπόνησης, προσδιορίστηκαν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών (μήκος, πλάτος, βάρος, χρώμα, συνεκτικότητα, διαλυτά στερεά συστατικά) καθώς και η παραγόμενη ποσότητα προλίνης σε φύλλα υπό 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 στο στάδιο των 3 - 5 πραγματικών φύλλων, μετά την πάροδο περίπου 1,5 μήνα. Οι γλάστρες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν όγκου 2 lt και περιείχαν το ανωτέρω εδαφικό διάλυμα. Τα σπορόφυτα παρέμειναν σε συνθήκες εργαστηρίου για μία εβδομάδα με στόχο τη σκληραγώγησή τους έπειτα από το στρες της μεταφύτευσης και ακολούθησε η μεταφορά τους στο θερμοκήπιο του Εργαστηρίου Γενετικής Βελτίωσης Φυτών (Εικόνα 2.1). Τα φυτά υποστυλώθηκαν και τοποθετήθηκαν σημάνσεις σε κάθε φυτοδοχείο που έφεραν το όνομα της ποικιλίας, της μεταχείρισης και της επανάληψης. Έπειτα από τη μεταφορά τους στο θερμοκήπιο ακολούθησε μια περίοδος ανάκαμψης, περίπου 10 ημερών, με στόχο τη σκληραγώγησή τους έπειτα από το στρες της έκθεσης στις περιβαλλοντικές συνθήκες.



Εικόνα 2.1 Εγκατάσταση των φυτών στο θερμοκήπιο του Εργαστηρίου Γενετικής Βελτίωσης Φυτών.

2.2 Πειραματικό σχέδιο - Μεταχειρίσεις

Το πειραματικό σχέδιο ήταν πλήρως τυχαίοποιημένο και περιλάμβανε 4 μεταχειρίσεις και 3 ποικιλίες. Για κάθε συνδυασμό ποικιλίας-μεταχείρισης, χρησιμοποιήθηκαν 7 επαναλήψεις (ατομικά φυτά). Στο πείραμα, συμπεριλήφθηκαν συνολικά 84 γλάστρες.

Η έκθεση των φυτών σε συνθήκες υψηλής αλατότητας πραγματοποιήθηκε με ριζοπότισμα των φυτών με διαλύματα NaCl διαφορετικής συγκέντρωσης. Οι επιμέρους συγκεντρώσεις των διαλυμάτων ήταν 50 , 100 και 200 mM NaCl. Στα φυτά γίνονταν ριζοπότισμα με 100 ml διαλύματος ανά δύο ημέρες. Τα φυτά του μάρτυρα ποτίζονταν με 100 ml απιονισμένου νερό. Στα μετέπειτα στάδια, και καθώς αυξάνονταν η θερμοκρασία και η διάρκεια της ημέρας, το ριζοπότισμα γινόταν καθημερινά. Η έκθεση των φυτών σε συνθήκες αλατότητας συνεχίστηκε καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος.

2.3 Μετρήσεις

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά δύο συγκομιδές σε μεσοδιάστημα 22 ημερών. Στους συγκομιζόμενους καρπούς πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για ανάλυση της απόδοσης

και της ποιότητας των καρπών. Συγκεκριμένα, αξιολογήθηκαν οι ακόλουθες παράμετροι: αριθμός καρπών, μήκος και πλάτος καρπών, νωπό βάρος καρπών, περιεκτικότητά τους σε ξηρά ουσία (%) και διαλυτά στερεά συστατικά (ΔΣΣ %), συνεκτικότητα της σάρκας, χρώμα των καρπών. Επίσης μετρήθηκε η περιεκτικότητα των φύλλων σε προλίνη.



Εικόνα 2.2 Συγκομισθέντες καρποί προς ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών κατά την 1^η (αριστερά) και 2^η συγκομιδή (δεξιά).

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 στις οποίες 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. Ακολούθησε στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιώντας τα ατομικά φυτά ως ανεξάρτητες βιολογικές επαναλήψεις.

2.3.1.3 Αριθμός καρπών

Καταμετρήθηκε ο αριθμός των καρπών κάθε φυτού.

2.3.1.4 Μέτρηση μήκους και πλάτους καρπών

Για τη μέτρηση του μήκους και το 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 φυτό ήταν σε cm. Ομοίως και για το πλάτος των καρπών.

2.3.1.5 Νωπό βάρος καρπών

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

2.3.1.6 Επί τοις % ξηρά ουσία σάρκας

Για τον προσδιορισμό του 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 τοποθέτηση τους σε κλίβανο, σε θερμοκρασία περίπου 60 °C, με σκοπό την ξήρανσή τους. 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.

2.3.1.7 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 δύναμη 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.

2.3.1.8 Περιεκτικότητα σε Διαλυτά Στερεά Συστατικά (ΔΣΣ)

Η μέτρηση των ΔΣΣ έγινε από χυμό που παραλήφθηκε έπειτα από πίεση τμημάτων των καρπών. Προκειμένου να παραληφθεί ο χυμός, χρησιμοποιήθηκαν τμήματα από κάθε καρπό του εκάστοτε φυτού. Για τη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε διαθλασίμετρο, στο οποίο τοποθετούνταν 1 έως 2 σταγόνες του χυμού. Πριν από κάθε μέτρηση, το διαθλασίμετρο καθαρίζονταν με απεσταγμένο νερό και χαρτί. Τα ΔΣΣ εκφράστηκαν σε Brix (%).

2.3.1.9 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 σημαίνει το μαύρο και το 100° το άσπρο. Όσο υψηλότερη τιμή έχει το L^* τόσο πιο φωτεινό είναι το χρώμα του καρπού. Το C^* αναφέρεται στην καθαρότητα. Υψηλή τιμή του C^* υποδηλώνει καθαρό χρώμα καρπού. Το Hue λαμβάνει 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).

2.3.2 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 ανά 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 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 ζυγίσθηκαν, σε ζυγό ακριβείας, 100 mg ιστού, ακολούθησε τεμαχισμός τους και τοποθέτηση σε γουδί. Στο γουδί προστέθηκαν 2 ml διαλύματος αιθανόλης 70 % σε dH₂O νερό και ακολούθησε λειοτρίβηση. Προστέθηκαν επιπλέον

2 ml διαλύματος αιθανόλης 70 % σε dH₂O. Συνεχίσθηκε η λειοτρίβηση 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 λειοτρίβηση όλων των δειγμάτων, ακολούθησε φυγοκέντρωση στις 4000 στροφές για 10 λεπτά.



Εικόνα 2.3 Προετοιμασία των δειγμάτων φύλλων για τον προσδιορισμό της περιεχόμενης προλίνης.

2.3.2.5 Προετοιμασία δειγμάτων για καταμέτρηση απορρόφησης

Για την προετοιμασία των δειγμάτων για την καταμέτρηση της απορρόφησης, παρασκευάσθηκε 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 αριθμημένους γυάλινους σωλήνες τοποθετήθηκαν 2 ml διαλύματος νινυδρίνης και μεταφέρθηκε 1 ml από το υπερκείμενο του φυτικού εκχυλίσματος. Οι σωλήνες πωματίσθηκαν, έγινε ανακίνηση και τοποθετήθηκαν σε υδατόλουτρο, σε θερμοκρασία 95 °C, όπου παρέμειναν για 25 λεπτά. Έπειτα από την επώαση, έγινε μεταφορά των δειγμάτων σε παγόλουτρο και ακολούθησε εκτίμηση της απορρόφησης των δειγμάτων σε φασματοφωτόμετρο (520 nm).

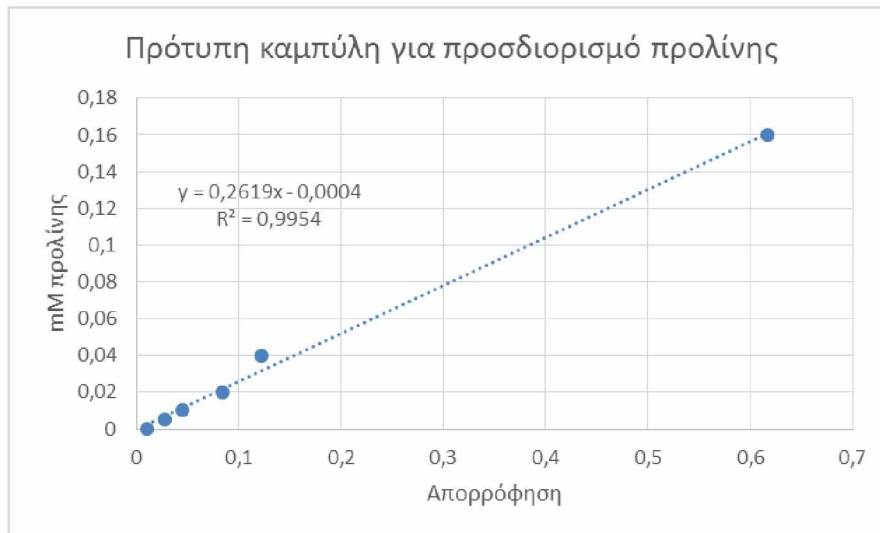
2.3.2.6 Κατασκευή καμπύλης αναφοράς

Για την κατασκευή της πρότυπης καμπύλης αναφοράς, παρασκευάστηκε διάλυμα προλίνης 1 mM με τη διάλυση 115,13 mg L-proline σε 100 ml (τελικός όγκος) διαλύματος αιθανόλης 70 % σε dH₂O. Εν συνεχεία, παρασκευάστηκαν τα επιμέρους διαλύματα προλίνης σε ξεχωριστούς αριθμημένους γυάλινους σωλήνες (Πίνακας 2.1).

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

Όγκος (ml) από το αρχικό δ/μα προλίνης (1 mM)	Προσθήκη όγκου (ml) δ/τος αιθανόλης (70 %)	Τελική συγκέντρωση δ/τος προλίνης (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

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 dH₂O και 0,2 ml διαλύματος προλίνης από τα επιμέρους διαλύματα που αναφέρονται στον Πίνακα 2.1. Με την παραπάνω διαδικασία δημιουργήθηκαν τα πρότυπα διαλύματα προλίνης συγκέντρωσης 0 - 0,005 - 0,01 - 0,02 - 0,04 - 0,08 - 0,16. Οι σωλήνες πωματίστηκαν και ακολούθησε η διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω για τα φυτικά δείγματα. Δηλαδή ανακίνηση σε Vortex, τοποθέτηση σε υδατόλουτρο για 25 λεπτά, τοποθέτηση σε παγόλουτρο. Στην συνέχεια έγινε καταμέτρηση της απορρόφησης των πρότυπων σε φασματοφωτόμετρο (520 nm), βάσει της οποίας κατασκευάστηκε η πρότυπη καμπύλη (Διάγραμμα 2.1)



Διάγραμμα 2. 1 Πρότυπη καμπύλη για τη μετατροπή της απορρόφησης (520 nm) σε mM προλίνης.

Από την κατασκευή της πρότυπης και τη μαθηματική συνάρτηση που προέκυψε $Y = 0,2619X - 0,9954$ μετατράπηκε η απορρόφηση με περιεχόμενη προλίνη. Οι τιμές της περιεχόμενης προλίνης που προσδιορίστηκαν ποσοτικά αντιστοιχούν σε mM προλίνης.

2.3.3 Στατιστική επεξεργασία

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

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Επίδραση της καταπόνησης στον αριθμό των καρπών

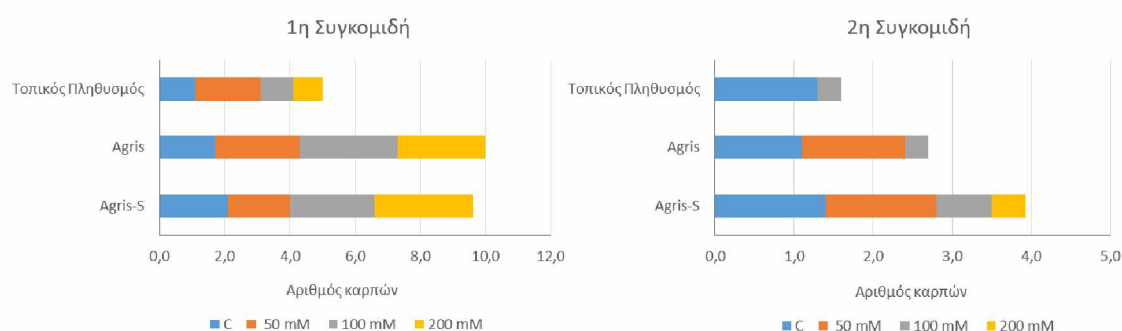
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης, η καταπόνηση υψηλής αλατότητας δεν επηρέασε σημαντικά τον αριθμό των καρπών πιπεριάς τόσο κατά την 1^η όσο και κατά τη 2^η συγκομιδή. Είναι δε αξιοσημείωτο ότι κατά την 1^η συγκομιδή, σε ορισμένες περιπτώσεις, η καταπόνηση οδήγησε σε μία τάση αύξησης του αριθμού των καρπών. Σε αυτό το επίπεδο, χαρακτηριστική είναι η αύξηση του αριθμού καρπών τόσο στην ποικιλία Agris-S όσο και στην Agris με την αύξηση του επιπέδου καταπόνησης. Αντίθετα, ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισε αυξημένο αριθμό καρπών στα 50 mM NaCl, συγκριτικά με τους μάρτυρες, ενώ στα υψηλότερα επίπεδα καταπόνησης ο αριθμός καρπών μειώθηκε, χωρίς ωστόσο να καταγράφονται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Σε επίπεδο ποικιλίας, το μεγαλύτερο αριθμό καρπών εμφάνισαν οι ποικιλίες Agris-S και Agris, ενώ ο μικρότερος καταγράφηκε στον τοπικό πληθυσμό, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των ποικιλιών στο σύνολο των υπό μελέτη μεταχειρίσεων (Πίνακας 3.1, Γράφημα 3.1).

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

Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση (NaCl)				Μ.Ο. (Π)
		C	50 mM	100 mM	200 mM	
1η						Μ.Ο. (Π)
Αριθμός καρπών	Agris-S	2,1a	1,9a	2,6ab	3a	2,4a
	Agris	1,7a	2,6a	3a	2,7a	2,5a
	Τοπικός Πληθυσμός	1,1a	2a	1b	0,9a	1,3b
	Μ.Ο. (Μ)	1,7a	2,1a	2,2a	2,2a	
2η						Μ.Ο. (Π)
Αριθμός καρπών	Agris-S	1,4a	1,4a	0,7a	0,4	1a
	Agris	1,1a	1,3a	0,3a		0,9a
	Τοπικός Πληθυσμός	1,3a		0,3a		0,8a
	Μ.Ο. (Μ)	1,3a	1,3a	0,4a		

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

Κατά τη 2^η συγκομιδή, δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο σε επίπεδο μεταχείρισης όσο και σε επίπεδο ποικιλίας. Παρά το γεγονός ότι με την αύξηση της συγκέντρωσης NaCl παρατηρήθηκε προοδευτική μείωση του αριθμού καρπών, οι παρατηρηθείσες διαφορές δεν ήταν στατιστικά σημαντικές, γεγονός που προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων για το σύνολο των ποικιλιών. Σε επίπεδο ποικιλίας, το μεγαλύτερο αριθμό καρπών εμφάνισε η ποικιλία Agris-S, ακολουθούμενη από την Agris, ενώ το μικρότερο παρουσίασε ο τοπικός πληθυσμός (Πίνακας 3.1).



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

3.2 Επίδραση της καταπόνησης στο μήκος των καρπών

Από τη στατιστική ανάλυση προκύπτει ότι η καταπόνηση υψηλής αλατότητας δεν επηρέασε στατιστικά σημαντικά το μήκος των καρπών σε επίπεδο μεταχείρισης, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων στο σύνολο των ποικιλιών τόσο κατά την 1η όσο και κατά την 2η συγκομιδή. Ωστόσο, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών εντός της κάθε μεταχείρισης αλλά και στις μέσες τιμές τους για το σύνολο των υπό μελέτη μεταχειρίσεων.

Συγκεκριμένα, στην 1^η συγκομιδή υπήρξε μια ήπια τάση μείωσης του μήκους των καρπών της ποικιλίας Agris-S, τάση η οποία δεν παρατηρήθηκε στην ποικιλία Agris και στον τοπικό πληθυσμό. Απουσία καταπόνησης, η ποικιλία Agris-S παρουσίασε το μεγαλύτερο μήκος καρπών, ακολουθούμενη από την Agris, ενώ ο τοπικός πληθυσμός χαρακτηρίστηκε από μικρότερο μήκος καρπών. Υπό συνθήκες καταπόνησης, παρά την απουσία στατιστικά σημαντικών διαφορών, είναι εμφανής μία τάση μείωσης του μήκους στην ποικιλία Agris-S, ενώ καταπονημένα τα φυτά της Agris και του τοπικού

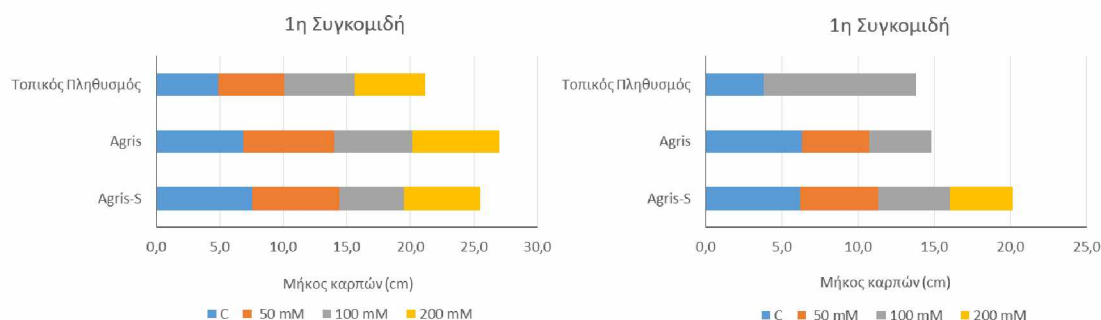
πληθυσμού χαρακτηρίστηκαν από αύξηση του μήκους καρπού, συγκριτικά με τους μάρτυρες (Πίνακας 3.2, Γράφημα 3.2).

Κατά την 2^η συγκομιδή , παρατηρήθηκε μία τάση μείωσης του μήκους των καρπών στις ποικιλίες Agris και Agris-S, η οποία ήταν ανάλογη του επιπέδου καταπόνησης, ενώ ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισε αύξηση του μήκους καρπού το μεσαίο επίπεδο καταπόνησης (100 mM NaCl). Είναι ωστόσο αξιοσημείωτο ότι ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισε αδυναμία σχηματισμού καρπών στο χαμηλό και υψηλό επίπεδο καταπόνησης. Απουσία καταπόνησης, το μεγαλύτερο μήκος καρπών εμφάνισαν οι ποικιλίες Agris-S και Agris, ενώ ο τοπικός πληθυσμός σχημάτισε καρπούς σημαντικά μειωμένου μήκους. Υπό συνθήκες καταπόνησης, όπως προαναφέρθηκε, παρατηρήθηκε μείωση του μήκους καρπών στις ποικιλίες Agris-S και Agris, ενώ παραδόξως ο τοπικός σχημάτισε καρπούς μεγαλύτερου μήκους, έναντι των μαρτύρων, στα 100 mM NaCl (Πίνακας 3.2, Γράφημα 3.2).

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

	Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση (NaCl)				
			C	50 mM	100 mM	200 mM	
	1η						M.O. (Π)
Μήκος καρπών (cm)		Agris-S	7,6a	6,8a	5,1a	6a	6,3a
		Agris	6,9ab	7,1a	6,2a	6,8a	6,7a
		Τοπικός Πληθυσμός	4,9b	5,2a	5,5a	5,6a	5,2b
		M.O. (Μ)	6,4a	6,3a	5,7a	6,1a	
	2η						M.O. (Π)
Μήκος καρπών (cm)		Agris-S	6,2a	5,1a	4,7b	4,1	5b
		Agris	6,3a	4,4a	4,1b		4,9b
		Τοπικός Πληθυσμός	3,8b		10a		6,9a
		M.O. (Μ)	5,3a	4,7a	5,9a		5,3ab

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



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

3.3 Επίδραση της καταπόνησης στο πλάτος των καρπών

Αναφορικά με το πλάτος των καρπών, παρατηρήθηκε μία γενική τάση μείωσης με την αύξηση του επιπέδου καταπόνησης, χωρίς ωστόσο αυτή να είναι στατιστικά σημαντική σε όλες τις περιπτώσεις. Επίσης, η ανάλυση κατέδειξε την ύπαρξη σημαντικών διαφορών μεταξύ των υπό μελέτη ποικιλιών, τόσο στους μάρτυρες όσο και στα καταπονημένα φυτά.

Κατά την 1^η συγκομιδή, η καταπόνηση υψηλής αλατότητας δεν επηρέασε σημαντικά το πλάτος των καρπών σε επίπεδο μεταχειρίσεων, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων. Ωστόσο, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών, με τον τοπικό πληθυσμό να χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερο πλάτος καρπών, συγκριτικά με τις Agris και Agris-S, στους μάρτυρες αλλά και στα καταπονημένα φυτά. Παρά την απουσία σημαντικών διαφορών, η ποικιλία Agris και ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισαν μία τάση μείωσης του πλάτους των καρπών στα υψηλά επίπεδα καταπόνησης, ενώ στην ποικιλία Agris-S το πλάτος των καρπών δεν επηρεάστηκε σημαντικά από την καταπόνηση αλλά και την ένταση αυτής (Πίνακας 3.3, Γράφημα 3.3).

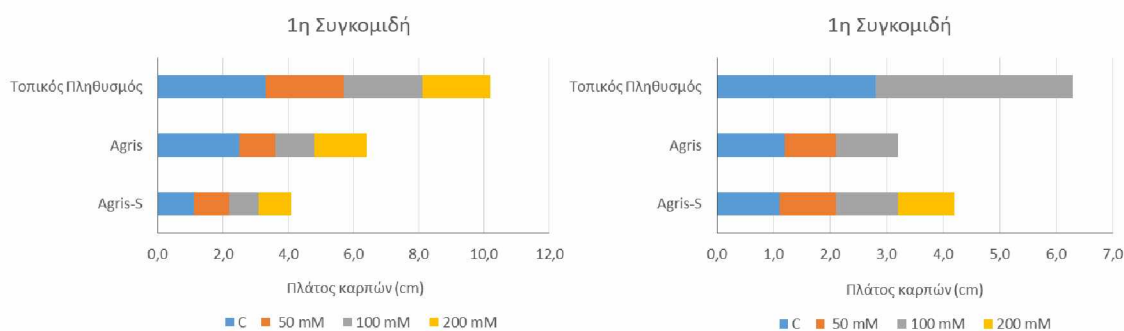
Κατά τη 2^η συγκομιδή, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο σε επίπεδο μεταχείρισης όσο και σε επίπεδο ποικιλίας, όπως προκύπτει από τις αντίστοιχες μέσες τιμές. Απουσία καταπόνησης, ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισε το μεγαλύτερο πλάτος καρπών. Υπό συνθήκες καταπόνησης, το πλάτος καρπού στις ποικιλίες Agris και Agris-S δε μεταβλήθηκε σημαντικά, εν αντιθέσει με τον τοπικό πληθυσμό όπου σημειώθηκε σημαντική αύξηση στο επίπεδο των 100 mM NaCl. Σε

επίπεδο μεταχείρισης, οι μικρότερες τιμές εμφανίστηκαν στο επίπεδο των 50 mM NaCl, διαφορά η οποία ωστόσο προκύπτει λόγω της απουσίας τιμών για τους καρπούς του τοπικού πληθυσμού (Πίνακας 3.3, Γράφημα 3.3).

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

Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση (NaCl)				Μ.Ο. (Π)	
		C	50 mM	100 mM	200 mM		
1η							Μ.Ο. (Π)
Πλάτος καρπών (cm)	Agris-S	1,1a	1,1b	0,9b	1a	1b	
	Agris	2,5a	1,1b	1,2b	1,6a	1,6b	
	Τοπικός Πληθυσμός	3,3a	2,4a	2,4a	2,1a	2,6a	
	Μ.Ο. (Μ)	2,4a	1,6a	1,4a	1,6a		
2η							Μ.Ο. (Π)
Πλάτος καρπών (cm)	Agris-S	1,1b	1a	1,1b	1,0	1b	
	Agris	1,2b	0,9a	1,1b		1,1b	
	Τοπικός Πληθυσμός	2,8a		3,5a		3,2a	
	Μ.Ο. (Μ)	1,8a	0,9b	1,7a		1,5ab	

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



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

3.4 Επίδραση της καταπόνησης στο νωπό βάρος των καρπών

Σχετικά με το νωπό βάρος των καρπών, η επίδραση της καταπόνησης αλατότητας ήταν περισσότερο εμφανής στους καρπούς της 2^{ης} συγκομιδής, υποδεικνύοντας τη σημαντική επίδραση της παρατεταμένης διάρκειας καταπόνησης.

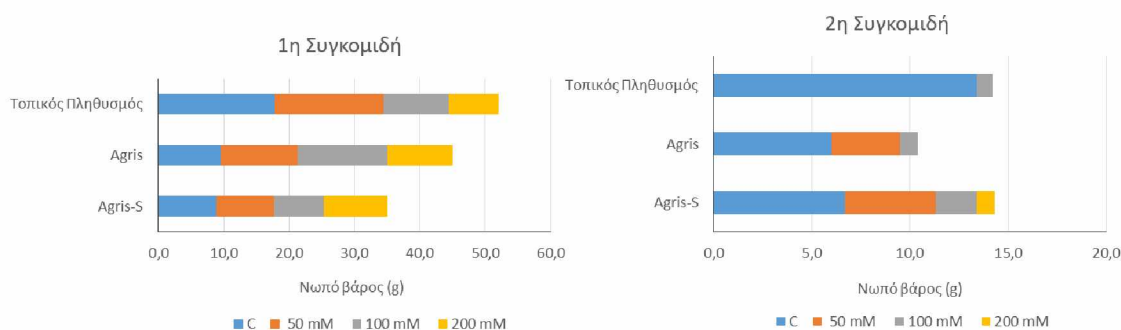
Κατά την 1^η συγκομιδή, το νωπό βάρος των καρπών δε μεταβλήθηκε σημαντικά, λόγω της καταπόνησης, σύμφωνα με τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων για το σύνολο των ποικιλιών. Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι δεν παρατηρήθηκε μία συγκεκριμένη τάση μεταβολής του νωπού βάρους στις ποικιλίες AgriS-S και AgriS, ενώ ο τοπικός πληθυσμός χαρακτηρίστηκε από εμφανή τάση μείωσης στα υψηλά επίπεδα καταπόνησης (100 και 200 mM NaCl). Παρά την έλλειψη σημαντικών διαφορών, τόσο στους μάρτυρες όσο και στο επίπεδο των 50 mM NaCl, τις μεγαλύτερες τιμές νωπού βάρους εμφάνισε ο τοπικός πληθυσμός, ενώ στα υψηλά επίπεδα καταπόνησης ήταν έκδηλη η υπεροχή της ποικιλίας AgriS, η οποία μάλιστα στα επίπεδα αυτά εμφάνισε αύξηση του νωπού βάρους συγκριτικά με τους μάρτυρες (Πίνακας 3.4, Γράφημα 3.4).

Κατά τη 2^η συγκομιδή, τα αποτελέσματα καταδεικνύουν τη σαφή μείωση του νωπού βάρους σε όλα τα επίπεδα καταπόνησης, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων. Μάλιστα, η μείωση ήταν ευθέως ανάλογη του επιπέδου καταπόνησης, οδηγώντας σε πλέον σημαντικές μεταβολές στα υψηλά επίπεδα αυτής. Απουσία καταπόνησης, ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισε το μεγαλύτερο νωπό βάρος, ενώ οι ποικιλίες AgriS-S και AgriS χαρακτηρίστηκαν από μικρότερες τιμές, χωρίς ωστόσο οι διαφορές να είναι στατιστικά σημαντικές. Υπό συνθήκες καταπόνησης, το σύνολο των ποικιλιών παρουσίασε μείωση του νωπού βάρους, ανάλογη του επιπέδου καταπόνησης, με την πλέον σημαντική μείωση να χαρακτηρίζει τους καρπούς του τοπικού πληθυσμού (Πίνακας 3.4, Γράφημα 3.4).

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

Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση (NaCl)				Μ.Ο. (Π)
		C	50 mM	100 mM	200 mM	
1η						Μ.Ο. (Π)
Νωπό βάρος	Agris-S	8,9a	8,8a	7,6a	9,8a	8,8b
	Agris	9,5a	11,8a	13,7a	10a	11,3ab
	Τοπικός Πληθυσμός	17,8a	16,7a	9,9a	7,6a	13a
	Μ.Ο. (M)	12,1a	12,5a	10,4a	9,1a	
2η						Μ.Ο. (Π)
Νωπό βάρος	Agris-S	6,7a	4,6a	2,1a	0,9	3,6b
	Agris	6a	3,5a	0,9a		3,4b
	Τοπικός Πληθυσμός	13,4a		0,8a		7,1a
	Μ.Ο. (M)	8,7a	4b	1,2b	0,9b	

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



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

3.5 Επίδραση της καταπόνησης στην % ξηρά ουσία των καρπών

Αναφορικά με την % περιεκτικότητα των καρπών σε ξηρά ουσία, η ανάλυση κατέδειξε την απουσία στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων, σύμφωνα με τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων για το σύνολο των ποικιλιών, καθώς και την απουσία συγκεκριμένης τάσης μεταβολής της στις υπό μελέτη μεταχειρίσεις. Ωστόσο, σημαντικές διαφορές ως προς την περιεκτικότητα σε ξηρά ουσία καταγράφηκαν μεταξύ των ποικιλιών, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές τους για το σύνολο των υπό μελέτη μεταχειρίσεων.

Κατά την 1^η συγκομιδή, οι Agris-S και Agris εμφάνισαν το μεγαλύτερο ποσοστό ξηράς ουσίας στους καρπούς των μαρτύρων και των φυτών που καταπονήθηκαν στο

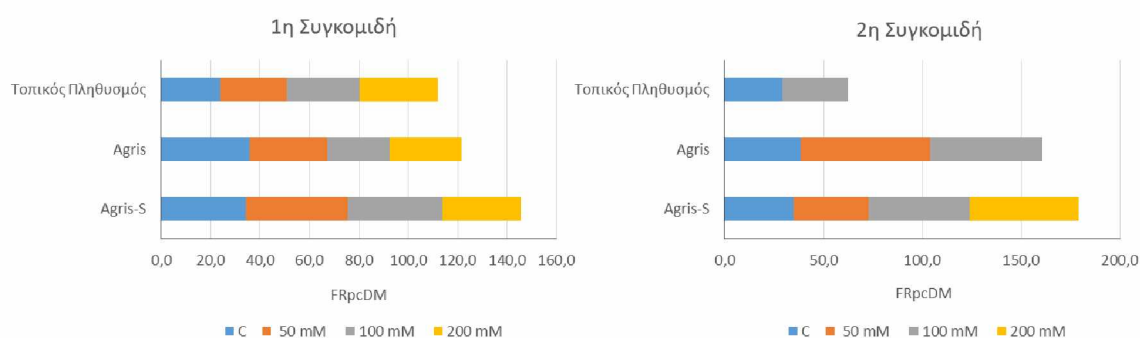
επίπεδο των 50 mM NaCl, ενώ ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισε εμφανώς μειωμένες τιμές. Στα υψηλά επίπεδα καταπόνησης, η ποικιλία Agris εμφάνισε μία τάση μείωσης της ξηράς ουσίας, ενώ ο τοπικός πληθυσμός παρουσίασε αντίστροφη τάση (Πίνακας 3.5, Γράφημα 3.5).

Κατά τη 2^η συγκομιδή, αν και δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων, σημειώθηκε μία εμφανής τάση αύξησης ως επί το πλείστον ανάλογη του επιπέδου καταπόνησης. Μεταξύ των ποικιλιών, την πλέον έκδηλη αύξηση της ξηράς ουσίας εμφάνισε η ποικιλία Agris, ήδη από το χαμηλό επίπεδο καταπόνησης (Πίνακας 3.5, Γράφημα 3.5).

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

Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση (NaCl)				M.O. (Π)
		C	50 mM	100 mM	200 mM	
1η						M.O. (Π)
	Agris-S	34,4a	41,1a	38,4a	31,6a	36,9a
FRpcDM	Agris	35,9a	31,3ab	25,4a	28,9a	30,2ab
	Τοπικός Πληθυσμός	24a	27b	29,4a	31,7a	27,7b
	M.O. (M)	31,3a	33,2a	30,9a	30,7a	
2η						M.O. (Π)
	Agris-S	34,8a	37,8a	51,5ab	55,1	44,8ab
FRpcDM	Agris	38,4a	65,7a	56,6a		53,6a
	Τοπικός Πληθυσμός	29,2a		33b		31,1b
	M.O. (M)	33,8a	51,7a	48,1a		

*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 (M) κατά τις δύο συγκομιδές.

3.6 Επίδραση της καταπόνησης στη συνεκτικότητα των καρπών

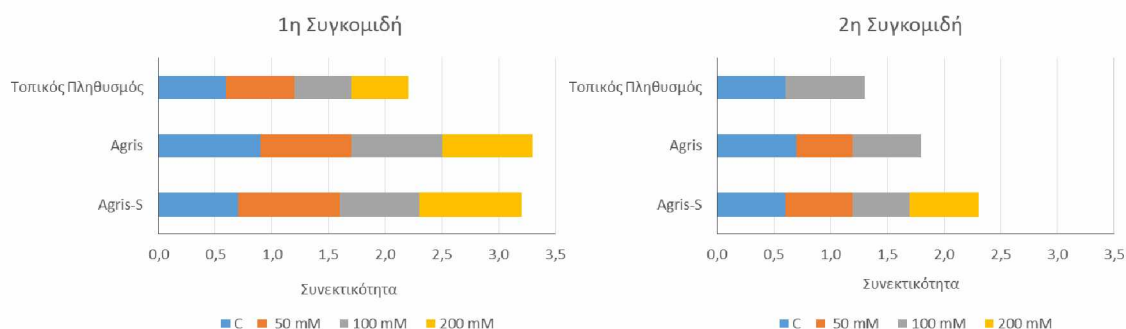
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης, η καταπόνηση υψηλής αλατότητας δεν επηρέασε σημαντικά την συνεκτικότητα των καρπών τόσο κατά την 1^η όσο και κατά τη 2^η συγκομιδή, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων (Πίνακας 3.6, Γράφημα 3.6). Επίσης, δε σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών, με μόνη εξαίρεση τη διαφορετική τους κατάταξη στο επίπεδο των 50 mM NaCl.

Κατά την 1^η συγκομιδή, βάσει της μέσης τιμής των ποικιλιών, για το σύνολο των μεταχειρίσεων προκύπτει ότι ο τοπικός πληθυσμός εμφανίζει μικρότερη συνεκτικότητα έναντι των ποικιλιών Agris και Agris-S, ενώ κατά τη 2^η συγκομιδή η συνεκτικότητα όλων των ποικιλιών κυμάνθηκε σε όμοια επίπεδα στις διαφορετικές ποικιλίες αλλά και στις διαφορετικές μεταχειρίσεις (Πίνακας 3.6, Γράφημα 3.6).

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

Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση (NaCl)				Μ.Ο. (Π)
		C	50 mM	100 mM	200 mM	
1η						Μ.Ο. (Π)
Συνεκτικότητα	Agris-S	0,7a	0,9a	0,7a	0,9a	0,8a
	Agris	0,9a	0,8ab	0,8a	0,8a	0,8a
	Τοπικός Πληθυσμός	0,6a	0,6b	0,5a	0,5a	0,5b
	Μ.Ο. (Μ)	0,8a	0,7a	0,7a	0,7a	
2η						Μ.Ο. (Π)
Συνεκτικότητα	Agris-S	0,6a	0,6a	0,5a	0,6	0,6a
	Agris	0,7a	0,5a	0,6a		0,6a
	Τοπικός Πληθυσμός	0,6a		0,7a		0,6a
	Μ.Ο. (Μ)	0,6a	0,5a	0,6a		

*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 καταπόνησης στην περιεκτικότητα των καρπών σε στερεά διαλυτά σάκχαρα (SSC)

Η επίδραση υψηλής αλατότητας δεν επηρέασε σημαντικά την περιεκτικότητα των καρπών σε στερεά διαλυτά σάκχαρα, σύμφωνα με τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων τόσο κατά την 1^η όσο και κατά τη 2^η συγκομιδή. Παρά την απουσία σημαντικών διαφορών, είναι εμφανής μία γενική τάση αύξησης της περιεκτικότητας SSC υπό συνθήκες καταπόνησης. Εξαίρεση στην παρατηρηθείσα τάση αύξησης αποτελούν οι καρποί 1^{ης} συγκομιδής των καταπονημένων φυτών της ποικιλίας Agris καθώς και οι καρποί 2^{ης} συγκομιδής των αντίστοιχων φυτών του τοπικού πληθυσμού.

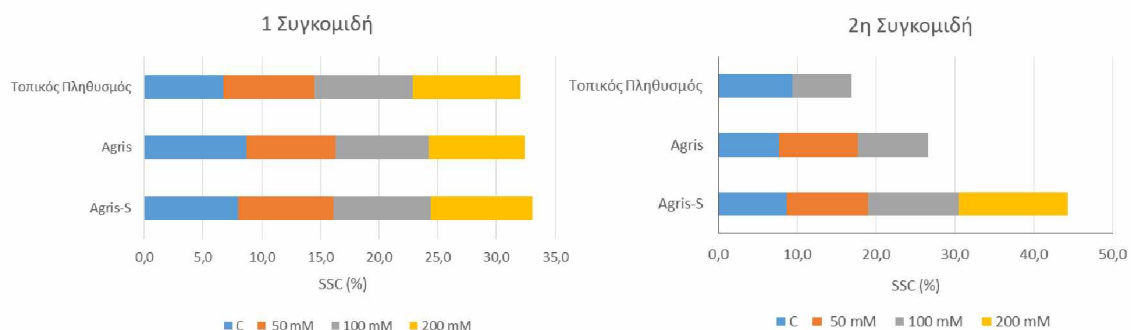
Πιο αναλυτικά, στην 1^η συγκομιδή, η μεγαλύτερη περιεκτικότητα καταγράφηκε στο επίπεδο καταπόνησης των 200 mM NaCl, γεγονός που προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων, με τις διαφορές ωστόσο να χαρακτηρίζονται ως μη σημαντικές. Σε επίπεδο ποικιλίας, αν και δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές, οι ποικιλίες Agris-S και Agris εμφάνισαν τις μεγαλύτερες τιμές (Πίνακας 3.7, Γράφημα 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 (NaCl)				M.O. (Π)
		C	50 mM	100 mM	200 mM	
1η						M.O. (Π)
SSC (%)	Agris-S	8a	8,1a	8,3a	8,7a	8,2a
	Agris	8,7a	7,6a	7,9a	8,2a	8,1a
	Τοπικός Πληθυσμός	6,7a	7,8a	8,4a	9,2a	7,9a
	M.O. (M)	7,8a	7,8a	8,1a	8,7a	
2η						M.O. (Π)
SSC (%)	Agris-S	8,7a	10,3a	11,5a	13,8	11,1a
	Agris	7,7a	10a	8,9a		8,9a
	Τοπικός Πληθυσμός	9,4a		7,5a		8,5a
	M.O. (M)	8,7a	10,1a	9,8a		

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

Κατά τη 2^η συγκομιδή, διαπιστώθηκε η απουσία στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των μεταχειρίσεων και των ποικιλιών. Όπως προαναφέρθηκε, στο πλείστο των περιπτώσεων σημειώθηκε μία τάση αύξησης της περιεκτικότητας SSC στους καρπούς των καταπονημένων φυτών έναντι των μαρτύρων. Η μεγαλύτερη περιεκτικότητα εντοπίστηκε στο επίπεδο καταπόνησης των 50 mM NaCl, ακολουθούμενη από το επίπεδο των 100 mM, με την εν λόγω κατάταξη ωστόσο να προκύπτει λόγω της έλλειψης καρπών από τα καταπονημένα φυτά των ποικιλιών Agris-S και του τοπικού πληθυσμού στο επίπεδο των 200 mM NaCl. Σε επίπεδο ποικιλίας, τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα εμφάνισε η ποικιλία Agris-S και τη μικρότερη ο τοπικός πληθυσμός (Πίνακας 3.7, Γράφημα 3.7).



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

3.8 Επίδραση της καταπόνησης στο χρώμα των καρπών

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων κατέδειξε τη σημαντική επίδραση της καταπόνησης, αλλά και της έντασης αυτής, στο χρώμα των καρπών. Έτσι, παρουσιάστηκαν σημαντικές διαφορές τόσο σε επίπεδο μεταχείρισης όσο και ποικιλίας, ενώ σημαντικές ήταν και οι διαφορές μεταξύ των δύο συγκομιδών.

Κατά την 2^η συγκομιδή, αναφορικά με το χρωματομετρικό παράγοντα L, που καθορίζει τη φωτεινότητα των καρπών, οι υψηλότερες τιμές σημειώθηκαν στους μάρτυρες και στο επίπεδο των 100 mM NaCl, ενώ η χαμηλότερη τιμή καταγράφηκε στο επίπεδο των 200 mM NaCl. Μεταξύ των ποικιλιών, ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισε τη μικρότερη τιμή για τον παράγοντα φωτεινότητας L στο σύνολο των μεταχειρίσεων, ενώ οι ποικιλίες AgriS και AgriS-S δε διέφεραν σημαντικά σε όλες τις μεταχειρίσεις. Βάσει των μέσων τιμών των ποικιλιών, τη μεγαλύτερη φωτεινότητα είχαν οι καρποί της AgriS, ακολουθούμενοι από της AgriS-S και τη μικρότερη είχαν οι καρποί του τοπικού πληθυσμού (Πίνακας 3.8). Ομοίως για τον παράγοντα C, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Σε επίπεδο ποικιλίας, ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισε τη μικρότερη τιμή σε σχέση με τις ποικιλίες AgriS και AgriS-S, οι οποίες δε διέφεραν μεταξύ τους. Αντίθετα, σημαντικές ήταν οι διαφορές ως προς τον παράγοντα Hue στα διαφορετικά επίπεδα καταπόνησης. Οι μεγαλύτερες τιμές σημειώθηκαν στους μάρτυρες, ενώ υπό συνθήκες καταπόνησης παρατηρήθηκε μία πτωτική τάση των τιμών, η οποία ήταν ανάλογη του επιπέδου καταπόνησης. Συνεπώς, η πλέον σημαντική μείωση παρουσιάστηκε στο επίπεδο των 200 mM NaCl. Ωστόσο, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών (Πίνακας 3.8)

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

Συγκομιδή	Ποικιλία	Μεταχείριση (NaCl)				
		C	50 mM	100 mM	200 mM	M.O. (Π)
1η						
L*	Agris-S	43,2a	39,5ab	40,7ab	40,3a	40,8b
	Agris	44,8a	43,2a	44,2a	41,3a	43,5a
	Τοπικός Πληθυσμός	35,4b	37,2b	35b	29,9b	34,7c
	M.O. (M)	41a	39,8ab	40,8a	37,2b	
					M.O. (Π)	
C*	Agris-S	26,2a	22,9ab	24,6a	22,8a	24,1a
	Agris	25,9a	24,4a	26,4a	21,3a	24,7a
	Τοπικός Πληθυσμός	18,5b	19,6b	18,2b	22,6a	19,7b
	M.O. (M)	23,4a	22,2a	23,9a	22,3a	
					M.O. (Π)	
Hue	Agris-S	116,3a	118,6a	104,7a	114,1a	113,5a
	Agris	109,6a	104,4a	117a	88a	105,9a
	Τοπικός Πληθυσμός	124,3a	114,9a	98,5a	80,5a	106,7a
	M.O. (M)	116,7a	113ab	108,3ab	94,2b	
2η					M.O. (Π)	
L*	Agris-S	54,3a	47,7a	45,3ab	44,4	47,92a
	Agris	57,3a	49,3a	53,4a		53,3a
	Τοπικός Πληθυσμός	40,9b		33,2b		37b
	M.O. (M)	50,2a	48,5a	44,3a		
					M.O. (Π)	
C*	Agris-S	48,8ab	43,1a	45,6a	45,4	45,7a
	Agris	50,1a	52,3a	49,1a		50,5a
	Τοπικός Πληθυσμός	38,2b		24b		31,1b
	M.O. (M)	45,3a	47,7a	41,1a		
					M.O. (Π)	
Hue	Agris-S	117,6a	91,6a	94,1a	75,4	94,7a
	Agris	109,4a	85,5a	116a		103,6a
	Τοπικός Πληθυσμός	86,8a		119,6a		103,2a
	M.O. (M)	103,5a	88,5a	105,9a		

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

Κατά τη 2^η συγκομιδή, η ανάλυση κατέδειξε την απουσία στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των υπό μελέτη μεταχειρίσεων και για τους χρωματομετρικούς παράγοντες L, C και Hue, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές των μεταχειρίσεων. Παρά την έλλειψη σημαντικών διαφορών, είναι εμφανής μία τάση μείωσης των L και C στα καταπονημένα φυτά, συγκριτικά με τους μάρτυρες, ενώ ως προς τον παράγοντα Hue δεν παρατηρήθηκε μία συγκεκριμένη τάση μεταβολής του στο

σύνολο των ποικιλιών αλλά οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίστηκαν στο επίπεδο των 100 mM NaCl. Επίσης, ως προς τους παράγοντες L και C, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών, με τον τοπικό πληθυσμό να εμφανίζει τις μικρότερες τιμές. Αναφορικά με τον παράγοντα Hue, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών (Πίνακας 3.8).

3.9 Επίδραση της καταπόνησης στην περιεκτικότητα των καρπών σε προλίνη

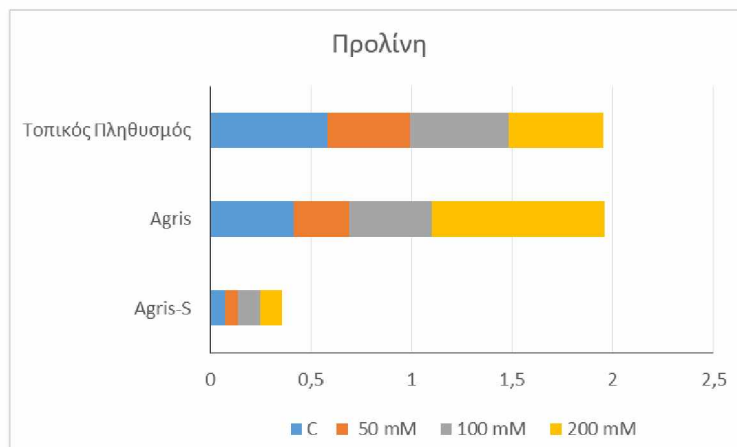
Σχετικά με την περιεκτικότητα των φύλλων σε προλίνη, η ανάλυση κατέδειξε την ύπαρξη σημαντικών διαφορών σε επίπεδο ποικιλίας, όπως προκύπτει τόσο από τις τιμές των ποικιλιών στις επιμέρους μεταχειρίσεις όσο και από τις μέσες τιμές των ποικιλιών για το σύνολο των μεταχειρίσεων. Συγκεκριμένα, απουσία καταπόνησης, ο τοπικός πληθυσμός εμφάνισε τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα, ακολουθούμενος από την ποικιλία AgriS, ενώ η AgriS-S εμφάνισε τη χαμηλότερη περιεκτικότητα. Αντίστοιχη ήταν η σειρά κατάταξης των ποικιλιών που υπέστησαν καταπόνηση στο επίπεδο των 50 mM NaCl, ενώ στα 100 mM NaCl οι ποικιλίες δε διέφεραν μεταξύ τους. Στο επίπεδο των 200 mM NaCl, τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα εμφάνισε η ποικιλία AgriS και τη μικρότερη η AgriS-S (Πίνακας 3.9, Γράφημα 3.8).

Είναι ωστόσο αξιοσημείωτο ότι η καταπόνηση δεν επέφερε σημαντικές διαφορές μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων, όπως προκύπτει από τις μέσες τιμές τους για το σύνολο των ποικιλιών. Παρά την απουσία διαφορών, σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως αυτές των ποικιλιών AgriS και AgriS-S, παρατηρήθηκε μία τάση αύξησης της προλίνης στα υψηλά επίπεδα καταπόνησης (100 mM και 200 mM NaCl) (Πίνακας 3.9, Γράφημα 3.8).

Πίνακας 3.9 Περιεκτικότητα των φύλλων σε προλίνη (%) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ).

	Ποικιλία	Μεταχείριση (NaCl)				Μ.Ο. (Π)
		C	50 mM	100 mM	200 mM	
Προλίνη	Agris-S	0,073b	0,064c	0,112a	0,109b	0,09b
	Agris	0,416ab	0,273b	0,411a	0,855a	0,489a
	Τοπικός Πληθυσμός	0,584a	0,411a	0,489a	0,466ab	0,488a
	Μ.Ο. (Μ)	0,358a	0,250a	0,337a	0,477a	

*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 σε προλίνη (%) ανά ποικιλία (Π) και μεταχείριση (Μ).

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Η υψηλή συγκέντρωση αλάτων στο έδαφος αποτελεί σημαντικότερο περιοριστικό παράγοντα, επιδρώντας στην παραγωγικότητα πληθώρας καλλιεργειών παγκοσμίως. Οι δυσμενείς επιπτώσεις της υψηλής αλατότητας εντείνονται περαιτέρω λόγω της ολοένα και μεγαλύτερης έκτασης της καλλιεργήσιμης γης που αρδεύεται με κακής ποιότητας αρδευτικό νερό, οδηγώντας προοδευτικά σε ενίσχυση της αλάτωσης των εδαφών. Σε ακραίες συνθήκες εδαφικής αλατότητας, η μείωση της παραγωγικότητας και η μετατροπή της γεωργικής γης σε ακατάλληλη δύναται να οδηγήσει ακόμη και σε σημαντικά κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα (Μισοπολίνος, 1991).

Η αρνητική επίδραση της αλατότητας στα καλλιεργούμενα φυτικά είδη αποδίδεται κυρίως στη μείωση του φωτοσυνθετικού ρυθμού, της στοματικής αγωγιμότητας και της διαπνοής καθώς και στην ανεπαρκή απορρόφηση θρεπτικών συστατικών (Ashraf, 2004; Hu et al., 2007). Κάτω από τέτοιες συνθήκες, τα φυτά προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν τις αρνητικές επιπτώσεις της καταπόνησης υπόκεινται σε καίριες μεταβολές, οι οποίες εκδηλώνονται τόσο σε μορφολογικό, φυσιολογικό επίπεδο όσο και σε βιοχημικό και μοριακό, ενώ σημαντικές είναι και οι συνέπειες που αφορούν σε ποιοτική υποβάθμιση των αγροτικών προϊόντων.

Με δεδομένο ότι η πιπεριά συγκαταλέγεται στα ευαίσθητα στην υψηλή αλατότητα φυτικά είδη, παρουσιάζοντας μικρή ανεκτικότητα στα υψηλά επίπεδα αλατότητας (Lycoskoufis et al., 2005), στόχο της παρούσας πτυχιακής διατριβής αποτέλεσε η μελέτη της απόκριση γενετικού υλικού πιπεριάς, τύπου "Μακεδονικό μυτερό" σε συνθήκες καταπόνησης υψηλής αλατότητας. Το υπό μελέτη γενετικό υλικό περιλάμβανε την εμπορική ποικιλία AgriS, τον πληθυσμό AgriS-S, που προέκυψε έπειτα από πολυετή κύκλο επιλογών στην AgriS με κριτήριο το χαμηλό επίπεδο καυστικότητα των καρπών, και έναν τοπικό πληθυσμό που προέρχεται από την περιοχή του Ματονερίου. Η καταπόνηση έλαβε χώρα κατά το κρίσιμο στάδιο της έναρξης της άνθισης και πραγματοποιήθηκε μέσω ριζοποτίσματος με διαλύματα διαφορετικής συγκέντρωσης NaCl (0, 50, 100, 200 mM). Για την αξιολόγηση της απόκρισης των υπό μελέτη γονοτύπων, η έμφαση δόθηκε στα ποιοτικά χαρακτηριστικά των καρπών καθώς, σύμφωνα με αναφορές, οι καρποί της πιπεριάς συνιστούν τα πλέον ευαίσθητα στην αλατότητα φυτικά μέρη έναντι των φύλλων ή/και των σπόρων (Azuma et al., 2010). Βάσει των ανωτέρω, ως παράμετροι αξιολόγησης

της απόκρισης του γενετικού υλικού αξιοποιήθηκαν ο αριθμός των καρπών, το μέγεθός τους (μήκος και πλάτος, το νωπό βάρος των καρπών, η περιεκτικότητά τους σε ξηρά ουσία (%), η περιεκτικότητα σε στερεά διαλυτά σάκχαρα (%), η συνεκτικότητα της σάρκας, το χρώμα των καρπών και η περιεκτικότητα των φύλλων σε προλίνη.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, τόσο κατά την 1^η όσο και κατά τη 2^η συγκομιδή, η καταπόνηση υψηλής αλατότητας δεν επηρέασε σημαντικά τον συνολικό αριθμό καρπών των υπό μελέτη ποικιλιών, γεγονός που συνάδει με προηγούμενες αναφορές που υποδηλώνουν ότι ο αριθμός των καρπών πιπεριάς παραμένει σταθερός υπό συνθήκες μέτριας έντασης καταπόνησης αλατότητας (Chartzoulakis and Klapaki, 2000). Είναι αξιοσημείωτο ωστόσο, ότι άλλες μελέτες αναφέρουν σημαντική μείωση του συνολικού αριθμού καρπών πιπεριάς με την αύξηση του επιπέδου καταπόνησης αλατότητας (Gomez et al., 1996).

Ωστόσο, τα ευρήματα κατέδειξαν τη σημαντική επίδραση της καταπόνησης αλατότητας στο μέγεθος των καρπών, και ειδικότερα στο μήκος και πλάτος αυτών, με τις διαφορές να μεγιστοποιούνται κατά τη 2^η συγκομιδή. Παράλληλα, η επίδραση της καταπόνησης υπήρξε ανάλογη του επιπέδου της, όπως προκύπτει από τις μικρότερες τιμές του μήκους καρπών των ποικιλιών AgriS και AgriS-S στο υψηλό επίπεδο καταπόνησης (200 mM NaCl). Τα ανωτέρω είναι ενδεικτικά της αρνητικής συσχέτισης μεταξύ της διάρκειας και της έντασης της καταπόνησης με το μέγεθος των καρπών πιπεριάς, γεγονός που αποδίδεται στην τοξικότητα που προκαλεί η συσσώρευση αλάτων και στην ανεπαρκή πρόσληψη θρεπτικών συστατικών και νερού υπό συνθήκες υψηλής έντασης καταπόνησης (Μισοπολίνος, 1991). Αξίζει ωστόσο να αναφερθεί η σαφής τάση αύξησης του μήκους των καρπών στον τοπικό πληθυσμό στο μεσαίο επίπεδο καταπόνησης, η οποία πιθανώς υποδεικνύει την ανθεκτικότητά του στην καταπόνηση αλατότητας. Αντίστοιχη ήταν η υπεροχή του τοπικού πληθυσμού αναφορικά με την επίδραση της καταπόνησης στο πλάτος των καρπών, το οποίο κατά την 1^η συγκομιδή εμφάνισε μία ήπια τάση μείωσης αλλά αυξήθηκε σημαντικά στους καρπούς της 2^{ης} συγκομιδής, με την αύξηση να είναι ανάλογη του επιπέδου καταπόνησης. Αντίθετα, το πλάτος των καρπών που προέρχονταν από τις ποικιλίες AgriS και AgriS-S δε μεταβλήθηκε λόγω της καταπόνησης αλατότητας.

Αναφορικά με το νωπό βάρος των καρπών, τα συνολικά ευρήματα κατέδειξαν την αρνητική επίδραση της καταπόνησης, η οποία μάλιστα ήταν ανάλογη της έντασής

της. Ειδικότερα, το νωπό βάρος των καρπών παρουσίασε σημαντική μείωση στο σύνολο των υπό μελέτη ποικιλιών, με τη μείωση να συνοδεύεται συχνά από αύξηση της ξηράς ουσίας. Η παρατηρηθείσα αύξηση της περιεκτικότητας σε ξηρά ουσία έχει αναφερθεί υπό συνθήκες καταπόνησης αλατότητας και σε άλλα φυτικά είδη, όπως πχ η τομάτα (Magan et al., 2008). Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι η μείωση του νωπού βάρους υπερβαίνει σημαντικά τη μείωση του ξηρού βάρους, γεγονός που υποδεικνύει ότι η διαίρεση των φυτικών κυττάρων δεν επηρεάζεται σημαντικά από την αλατότητα (Ogawa et al., 2006). Τα αποτελέσματα αυτά συμφωνούν με προηγούμενες μελέτες σε καλλιέργειες μαρουλιού (Garrido et al., 2014; Xu and Mou, 2015), τομάτας (Manrogiyanopoulos et al., 2002) και πιπεριάς (Gomez et al., 1996) όπου τα ευρήματα υπογραμμίζουν την αρνητική επίδραση της καταπόνησης υψηλής αλατότητας στο νωπό βάρος της βιομάζας ή/και των καρπών.

Παρά την αρνητική επίδραση της καταπόνησης σε επιμέρους χαρακτηριστικά των καρπών, η ανάλυση κατέδειξε την απουσία μεταβολής αναφορικά με τη συνεκτικότητα της σάρκας και την περιεκτικότητα των καρπών σε στερεά διαλυτά σάκχαρα. Παρατηρήθηκε ωστόσο μία τάση αύξησης της περιεκτικότητας σε στερεά διαλυτά σάκχαρα υπό συνθήκες καταπόνησης, η οποία μάλιστα, στο πλείστο περιπτώσεων, ήταν πιο έντονη στους καρπούς της 2^{ης} συγκομιδής, γεγονός που αποδίδεται στην περαιτέρω ωρίμανση των καρπών η οποία συνοδεύεται από αύξηση των ολικών διαλυτών στερεών συστατικών και ενίσχυση της γλυκύτητας των καρπών (Kader, 1992). Επίσης, στο σύνολο των υπό μελέτη ποικιλιών η περιεκτικότητα σε στερεά διαλυτά σάκχαρα εμφάνισε αύξηση ανάλογη του επιπέδου καταπόνησης, όπως εξάλλου έχει αναφερθεί και για την καλλιέργεια τομάτας έπειτα από ριζοπότισμα με διάλυμα NaCl (Saito et al., 2008).

Είναι ευρέως γνωστό, βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας, ότι η επικράτηση αβιοτικών καταπονήσεων, συμπεριλαμβανομένης της υψηλής αλατότητας, ευνοεί την παραγωγή συμβατών οσμωλυτών, όπως η προλίνη, οι οποίοι μέσω της οσμωρυθμιστικής τους δράσης παρέχουν προστασία έναντι της επικρατούσας καταπόνησης (Munns, 2005). Σε συμφωνία με τα ανωτέρω, τα ευρήματα της συγκεκριμένης μελέτης κατέδειξαν μία τάση αύξησης, αν και μη σημαντική, στη συσσώρευση προλίνης στα φύλλα των καταπονημένων φυτών των ποικιλιών AgriS και AgriS-S, η οποία ήταν περισσότερο έκδηλη στα υψηλά επίπεδα καταπόνησης. Αντίστοιχα ευρήματα αυξημένης

συσσώρευσης προλίνης υπό συνθήκες καταπόνησης αλατότητας έχουν αναφερθεί για πληθώρα φυτικών ειδών (Aspinall and Paleg, 1981 Mansour, 2000; Βλάχου, 2011).

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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

Agrawal Ganesh Kumar, Rakwal Randeep, Yonekura Masami, Kubo Akihiro and Saji Hikaru. (2002). Proteome analysis of differentially displayed proteins as a tool for investigating ozone stress in rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. Proteomics.

Ahuja I., de Vos R. C. H., Bones A. M. and Hall R. D. (2010). Plant molecular stress responses face climate change. Trends Plant Sci.

Ainsworth. (2016). Understanding and improving global crop response to ozone pollution. Plant J.

Airaki M., Leterrier M., Mateos R.M., Valderrama R., Chaki M, Barrose J.B., Del Rio L.A., Palma J.M., Corpas F.J. (2012). Metabolism of reactive oxygen species and reactive nitrogen species in pepper (*Capsicum annum* L.) plants under low temperature stress. Plant, Cell and Environment.

Al Hattab Zahra N., Al-Ajeel Saadon A. and El Kaaby Ekhlas A. (2015). Effect of Salinity Stress on *Capsicum annum* Callus Growth, Regeneration and Callus Content of Capsaicin, Phenylalanine, Proline and Ascorbic Acid Zahra. Journal of Life Sciences 9.

Aldana-Iuit Jeanny G, Sauri-Duch Enrique, Miranda-Ham María de Lourdes, Castro-Concha Lizbeth A., Cuevas-Glory Luis F. and Vázquez-Flota Felipe A. (2015). Nitrate Promotes Capsaicin Accumulation in *Capsicum chinense* Immobilized Placentas.

Allakhverdiev Suleyman I., Kreslavski Vladimir D., Klimov Vyacheslav V., Los Dmitry A., Carpentier Robert and Mohanty Prasanna. (2008). Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. Photosynthesis Research.

Allen DJ, McKee IF, Farage PK and Baker NR. (1997). Analysis of limitations to CO₂ assimilation on exposure of leaves of two Brassica napus cultivars to UV-B. Plant Cell Environ.

Aloni B., Pressman E. and Karni L. (1999). The Effect of Fruit Load, Defoliation and Night Temperature on the Morphology of Pepper Flowers and on Fruit Shape. Annals of Botany.

Ashraf M and Foolad MR (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environ Exp Bot.

Ashraf, M. (2004). Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants.

Aspinall D. and Paleg L.G. (1981). Physiology and biochemistry of drought resistance In plants. Academic Press.

Aspinall D. and Paleg L.G. (1981). Proline accumulation: physiological aspects. In: Paleg L.G., Aspinall D. (eds). *The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. Academic Press Sydney.*

Awasthi D. and Singh B. (1973). Isolation and identification of capsaicin and allied compounds in chili. Proc. Indian Acad. Sci.

Azuma Reona , Ito Noako , Nakayama Nobuhiro , Suwa Ryuichi, Tran Nguyen, Larrinaga-Mayoral Juan Á., Esaka Muneraru, Fujiyama Hideyasu and Saneoka Hirofumi. (2010). Fruits are more sensitive to salinity than leaves and stems in pepper plants (*Capsicum annuum* L.). Scientia Horticulturae.

Baenas N., Belovic M., Ilic N., Moreno D.A. and Garcia-Viguera C. (2019). Industrial use of pepper (*Capsicum annuum* L.) derived products: Technological benefits and biological advantages. Food Chemistry.

Barceloux D.G. (1999). Cobalt. Journal of Toxicology. Clinical Toxicology.

Bassi R and Sharma SS. (1993). Changes in proline content accompanying the uptake of zinc and copper by *Lemna minor*. Ann Bot (Lond).

Bell F.G., Bullock S.E.T., Halbich T.F.J. and Lindsay P. (2001). Environmental impacts associated with an abandoned mine in the Witbank Coalfield, South Africa. International Journal of Coal Geology.

- Bernal M.A., Calderon A.A, Pedreno M.A., Munoz R., Barcelo A.R. and Decaceres F.M. (1993).** Capsaicin oxidation by peroxidase from *Capsicum annuum* (var *annuum*) fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry.
- Bosland Paul W. and Walker Stephanie J. (2010).** Measuring Chile Pepper Heat. College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences, New Mexico State University.
- Carillo P. and Gibon Y. (2011).** Protocol: Extraction and determination of proline.
- Castagna and Ranieri. (2009).** Detoxification and repair process of ozone injury: from O₃ uptake to gene expression adjustment. Environmental Pollution.
- Cecoli G., Ramos J. C., Ortega L. I., Acosta J. M., and Perreta M. G. (2011).** Salinity Induced Anatomical and Morphological Changes in *Chloris gayana* Kunth Roots.
- Chartzoulakis K, Klapaki G. (2000).** Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. Scientia horticulturae.
- Chatterjee and Chatterjee. (2000).** Phytotoxicity of cobalt, chromium and copper in cauliflower. Environmental Pollution.
- Chaves M., Maroco J.P. and Pereira S. (2003).** Understanding plant responses to drought from genes to the whole plant. Funct. Plant. Biol.
- Chaves M.M., Flexas J. and Pinheiro C. (2009).** Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. Annals of Botany.
- Chen D., Lan Z., Bai X., Grace J.B. and Bai Y. (2013).** Evidence that acidification-induced declines in plant diversity and productivity are mediated by changes in below-ground communities and soil properties in a semi-arid steppe. J. Ecol.
- Choi J.M., Pak C.H. and Lee C.W. (1996).** Micronutrient toxicity in French marigold. Journal of Plant Nutrition.
- Clark, R. B. (1982).** Plant response to mineral element toxicity and deficiency, in Breeding Plants for less Favorable Environments Wiley, New York.
- Claver Garces, Gil-Ortega R., Alvarez-Fernandez A. and Arnedo-Andres M.S. (2007).** Inheritance of capsaicin and dihydrocapsaicin, determined by HPLC-ESI/MS, in an intraspecific cross of *Capsicum annuum* L. Journal of Agriculture and Food Chemistry.

- Contreras-Padilla M. and Yahi E.M. (1998).** Changes in capsaicinoids during development, maturation, and senescence of Chile peppers and relation with peroxidase activity. Food Chemistry.
- Coohill TP. (1989).** Ultraviolet action spectra (280 nm to 380 nm) and solar effectiveness spectra for higher plants. Photochem Photobiol.
- Crosby Kevin M. (2018).** Vegetables 2.
- Delaunay A.J and Verma D.P.S. (1993).** Proline accumulation and osmoregulation in plants. Plant J.
- Delfine S., Tognetti R., Loreto F. and Alvino A. (2002).** Physiological and growth responses to water stress in Field-grown bell pepper (*Capsicum annuum* L.). The Journal of Horticultural Science and Biotechnology.
- Deuschle K, Funck D, Hellmann H, Däschner K, Binder S, Frommer WB. (2001).** A nuclear gene encoding mitochondrial Delta-pyrroline-5-carboxylate dehydrogenase and its potential role in protection from proline toxicity. Plant J.
- Diaz J., Pomar F., Bernal A. and Merino F. (2004).** Peroxidases and metabolism of capsaicin in *Capsicum annuum* L. Phytochem.
- Dizengremel. (2001).** Effects of ozone on the carbon metabolism of forest trees. Plant Physiology and Biochemistry.
- Dolowy Malgorzata and Pyka Alina. (2014).** Application of TLC, HPLC and GC methods to the study of amino acid and peptide enantiomers: a review. Biomedical Chromatography.
- Drew M.C. (1997).** Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia and anoxia. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.
- Drosdoff M., Sell H.M. and Gilbert S.G. (1947).** Some effects of potassium deficiency on the nitrogen metabolism and oil synthesis in the tung tree (*Aleurites fordii*). Plant Physiol.
- Dumont Jennifer, Spicher Fabien, Montpied Pierre, Dizengremel Pierre, Jolivet Yves and Le Thiec Didier. (2013).** Effects of ozone on stomatal responses to environmental parameters (blue light, red light, CO₂ and vapour pressure deficit) in three *Populus deltoids* x *Populus nigra* genotypes. Environmental Pollution.

Ebbs and Kochian. (1997). Toxicity of zinc and copper to Brassica species: implications for phytoremediation. *Journal of Environmental Quality*.

Ehsanpour A.A and Fatahian N. (2003). Effects of salt and proline on *Medicago sativa* callus. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*.

Eichhorn M, Dohler G and Austen H. (1993). Impact of UV-B radiation on photosynthetic electron transport of *Wolffia arrhiza* L. *Wimm. Photosynthetica*.

Estrada B., Bernal M.A., Diaz J., Pomar F and Merino F. (2002). Capsaicinoids in vegetative organs of *Capsicum annum* L. in relation of fruiting. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*.

Estrada B., Pomar F., Díaz J., Merino F. and Bernal M.A. (1999). Pungency level in fruits of the Padrón pepper with different water supply. *Scientia Horticulturae*.

Fageria N.K. and Baligar V.C. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Adv. Agron*.

Fageria N.K. and Baligar V.C. (2003). Fertility management of tropical acid soils for sustainable crop production. *Handbook of Soil Acidity*.

Field C. and Mooney H.A. (1986). The photosynthesis nitrogen relationships in wild plants. *Cambridge University Press*.

Fitter AH and Hay RKM. (2002). *Environmental physiology of plants*. Academic Press.

Frederick JE. (1993). Ultraviolet sunlight reaching the Earth's surface. A review of recent research. *Photochem Photobiol*.

Gama PBS, Tanaka K, Eneji AE, Eltayeb AE and El Siddig K. (2009). Salt-induced stress effects on biomass, photosynthetic rate, and reactive oxygen species-scavenging enzyme accumulation in common bean. *Journal of Plant Nutrition*.

Garrido, Y., Tudela, J. A., Marín, A., Mestre, T., Martínez, V., and Gil, M. I. (2014). Physiological, phytochemical and structural changes of multi leaf lettuce caused by salt stress. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.

Gastal F. and Lemaire G. (2002). N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *J. Exp. Bot*.

Geigenberger Peter. (2003). Response of plants metabolism to too little oxygen. *Current Opinion in Plant Biology*.

Gimeno-García E., Andreu V. and Boluda R. (1996). Heavy metals incidence in the application of inorganic fertilizers and pesticides to rice farming soils. Environmental Pollution.

Gómez J, Navarro Pedreño, Moral R., Iborra Ma. R., Palacios G. and Mataix J. (1996). Salinity and nitrogen fertilization affecting the macronutrient content and yield of sweet pepper plants. Journal of Plant Nutrition.

Gonzalez-Zamora A., Sierra-Campos E., Luna-Ortega J.G., Perez-Morales R., Ortiz J.C.R and Garcia-Hernandez J.L. (2013). Characterization of different capsicum varieties by evaluation of their capsaicinoids content by high performance liquid chromatography, determination of pungency and the effect of high temperature. Molecules.

González-Zamora Alberto, Sierra-Campos Erick, Pérez-Morales Rebeca, Vázquez-Vázquez Cirilo, Gallegos-Robles Miguel A., López-Martínez José D. and García-Hernández José L. (2015). Measurement of Capsaicinoids in Chiltepin Hot Pepper: A Comparison Study between Spectrophotometric Method and High Performance Liquid Chromatography Analysis.

Govindarajan V., Narasimhan S. and Dhanaraj S. (1977). Evaluation of spices and oleoresins. II. Pungency of capsicum by Scoville Heat Unitssa standardized procedure. J. Food Science Technol.

Govindarajan, Rajalakshmi D. and Chand N. (1987). Evolution of quality. Critical reviews in Food Science and Nutrition.

Greer D.H. and Weedon M.M. (2012). Modelling photosynthetic responses to temperature of grapevine (*Vitis vinifera* cv: Semillon) leaves on vines grown in a hot climate. Plant Cell Environ.

Guixiang Zhang, Xiaofang Guo, Zhihua Zhao, Qiusheng He, Shuifeng Wang, Yuen Zhu, Yulong Yan, Xitao Liu, Ke Sun, Ye Zhao and Tianwei Qian. (2016). Effects of biochars on the availability of heavy metals to ryegrass in an alkaline contaminated soil. Environmental pollution.

Guo M., Yin Y.-X., Ji J.-J., Ma, B.-P., Lu, M.-H., Gong, Z.-H.(2014). Cloning and expression analysis of heat-shock transcription factor gene CaHsfA2 from pepper (*Capsicum annuum* L.). Genet. Mol. Res.

Gupta R.K., Bhumbla D.R. and Abrol I.P. (1984). Effect of soil pH, organic matter and calcium carbonate on dispersion behavior of alkali soils. *Soil Sci.*

Hare P.D., Cress W.A. and Staden J. van. (1999). Proline synthesis and degradation: a model system for elucidating stress-related signal transduction. *Journal of Experimental Botany.*

Hare PD and Cress WA. (1997). Metabolic implications of stress-induced proline accumulation in plants. *Plant Growth Regul.*

Hare PD, Cress WA, Van Staden J. (1998). Dissecting the roles of osmolyte accumulation during stress. *Plant Cell Environ.*

Harrison Karl. (2001). 3DChem.com - Chemistry, Structures & 3D Molecules. Molecule of the Month for June.

Hasanuzzaman M., Nahar K., Alam Md M. and Fujita M. Roychowdhury. (2013). Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. *Int. J. Mol. Sci.*

Hayat Shamsul, Hayat Qaiser, Alyemeni Mohammed Nasser, Wani Arif Shafi, Pichtel John and Ahmad Aqil. (2012). Role of proline under changing environments. *Plant Signaling and Behavior.*

Hirai M.Y., Yano M., Goodenowe D.B., Kanaya S., Kimura T., Awazuhara M., Arita M., Fujiwara T. and Saito K. (2004). Integration of transcriptomics and metabolomics for understanding of global responses to nutritional stresses in *Arabidopsis thaliana*. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*

Hollosy F. (2002). Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron.*

Hoque MA, Banu MN, Okuma E, Amako K, Nakamura Y, Shimoishi Y, Murata Y. (2007). Exogenous proline and glycinebetaine increase NaCl-induced ascorbate-glutathione cycle enzyme activities, and proline improves salt tolerance more than glycinebetaine in tobacco Bright Yellow-2 suspension-cultured cells. *J Plant Physiol.*

Hoshika Yasutomo, Watanabe Makoto, Inada Naoki and Koike Takayoshi. (2012). Ozone-induced stomatal sluggishness develops progressively in Siebold's beech (*Fagus crenata*). *Environmental Pollution.*

Hosseini Sarghein Siavash, Carapetian Jirair and Khara Jalil. (2011). The effects of UV radiation on some structural and ultrastructural parameters in pepper (*Capsicum longum* A.DC.). *Turk J Biol.*

- Hu W., Yang J., Meng Y., Wang Y., Chen B., Zhao W., Oosterhuis D.M. and Zhou Z. (2015).** Potassium application affects carbohydrate metabolism in the leaf subtending the cotton (*Gossypium hirsutum* L.) boll and its relationship with boll biomass. Field crop. Res.
- Hu, Y., Burucs, Z., von Tucher, S., and Schmidhalter, U. (2007).** Short-term effects of drought and salinity on mineral nutrient distribution along growing leaves of maize seedlings. Environmental and Experimental Botany.
- Huang Z.A., Jiang D.A., Yang Y., Sun J.W and Jin S.H. (2004).** Effects of nitrogen deficiency on gas exchange, chlorophyll fluorescence and antioxidant enzyme in leaves of rice plants. Photosynthetica.
- Humble G. and Raschke K. (1971).** Stomatal opening quantitatively related to potassium transport evidence from electron probe analysis. Plant Physiol.
- Hunt JE and McNeil DL. (1998).** Nitrogen status affects UV-B sensitivity of cucumber. Aust J Plant Physiol.
- IPCC. (2013).** “Climate change: the physical science basis”. In: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Iwai K., Suzuki T. and Fujiwake H. (1979).** Formation and accumulation of pungent principle of hot pepper fruits, capsaicin and its analogs, in capsicum annum var annum cv Karayatsubusa at different growth-stages after flowering. Agricultural and Biological Chemistry.
- Iwai K., Suzuki T., Lee K.R., Kobashi M. and Oka S. (1977).** In vivo and in vitro formation of dihydrocapsaicin in sweet pepper fruits, *Capsicum annum* L. var. grossum. Agric. Biol. Chem.
- Jansen MAK, Gaba V and Greenberg BM. (1998).** Higher plants and UV-B radiation: balancing damage, repair and acclimation. Trends Plant Sci.
- Jeeatid N., Techawongstien S., Suriharn B., Chanthai S. and Bosland R.W. (2018).** Influence of water stresses on capsaicinoid production in hot pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) cultivars with different pungency levels. Food Chemistry.
- Jiang J., Yuan M., Xu R. and Bish D.L. (2015).** Mobilization of phosphate in variable-charge soils amended with biochars derived from crop straws. Soil Tillage Res.

Johnson C.D. and Decoteau D.R. (1996). Nitrogen and potassium fertility affects Jalapeño pepper plant growth, pod yield, and pungency. HortScience

Kaiser W.M. (1982). Correlation between changes in photosynthetic activity and changes in total protoplast volume in leaf tissue from hygro-, meso- and xerophytes under osmotic stress. Planta.

KAKANI V. G., REDDY K. R., ZHAO D. and MOHAMMED A. R. (2003). Effects of Ultraviolet B Radiation on Cotton (*Gossypium hirsutum L.*). Morphology and Anatomy. *Annals of Botany*.

Kantar Michael B., Anderson Justin E., Lucht Sarah A., Mercer Kristin, Bernau Vivian, Case Kyle A., Le Nina C., Frederiksen Matthew K., DeKeyser Haley C., Wong Zen-Zi, Hastings Jennifer C. and Baumler David J. (2016). Vitamin Variation in Capsicum Spp. Provides Opportunities to Improve Nutritional Value of Human Diets.

Kaur B., Aggarwal A.K. and Gupta S.R. (1998). Soil microbial biomass and nitrogen mineralization in salt affected soils. Int. J. Ecol. Environ. Sci.

Kavanova M, Grimoldi AA, Lattanzi FA and Schnyder H. (2006). Phosphorus nutrition and mycorrhiza effects on grass leaf growth. P status- and size mediated effects on growth zone kinematics. Plant Cell Environ.

Kavi Kishor P. B., Sangam S., Amrutha R. N., Sri Laxmi P., Naidu K. R., Rao K. R. S. S., Rao Sreenath, Reddy K. J., Theriappan P. and Sreenivasulu N. (2005). Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. Current Science.

Keisuke Ito, Tomonori Nakazato, Yamato Kenji, Miyakawa Yoshitaka, Yamada Taketo, Hozumi Nobumichi, Segawa Kaoru, Ikeda Yasuo and Kizaki Masahiro. (2004). Induction of Apoptosis in Leukemic Cells by Homovanillic Acid Derivative, Capsaicin, through Oxidative Stress. Implication of Phosphorylation.

Kirschbaum-Titze P., Mueller-Seitz E. and Petz M. (2002). Pungency in paprika (*Capsicum annum*). 2. Heterogeneity of capsaicinoid content in individual fruits from. Journal of Agricultural and Food Chemistry.

Kochian L.V., Piñeros M.A. and Hoekenga O.A. (2005). The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminum resistance and toxicity. Plant Soil.

Krajewska Anna M. and Powers John J. (1987). Gas Chromatography of methyl derivative of naturally occurring capsaicinoids. Food Science Department, University of Georgia.

Lawlor D.W. (2002). Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *J. Exp. Botany*.

Lawlor D.W., Lemaire G. and Gastal F. (2001). Nitrogen, plant growth and crop yield. *Plant Nitrogen*, Berlin.

Lee Sang Gye, Kim Sung Kyeom, Lee Hee Ju , Lee Hee Su and Lee Jin Hyoung. (2017). Impact of moderate and extreme climate change scenarios on growth, morphological features, photosynthesis, and fruit production of hot pepper. *Ecology and Evolution*.

Leskovar D.I., Cantliffe D.J and Stoffella P.J. (1990). Root growth and root-shoot interaction in transplants and direct seeded pepper plants. *Environmental and Experimental Botany*.

Lewis S., Donkin M.E. and Depledge M.H. (2001). Hsp70 expression in *Enteromorpha intestinalis* (Chlorophyta) exposed to environmental stressors. *Aquatic Toxicology*.

Lobell D. B., Schlenker W. and Costa-Roberts J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980.

Lu Congming and Zhang Jianhua. (2000). Photosynthetic CO₂ assimilation, chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maize plants. *Plant Science*.

Lycoskoufis I.H., Savvas D. and Mavrogianopoulos G. (2005). Growth, gas exchange and nutrient status in pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in recirculating nutrient solution as affected by salinity imposed to half of the roots system. *Sci. Hortic*.

Magan J.J, Gallardo M., Thompson R.B. and Lorenzo P. (2008). Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions. *Agricultural Water managment*.

Mani, F. (2015). Effect of Water Stress on Some Biochemical and Physiological Characters of Chili Pepper (*Capsicum frutescens* L.).

Mansour M.M.F. (2000). Nitrogen Containing Compounds and Adaptation of Plants to Salinity Stress. *Biologia Plantarum*.

Mark U and Tevini M. (1997). Effects of solar ultraviolet-B radiation, temperature and CO₂ on growth and physiology of sunflower and maize seedlings. *Plant Ecol*.

Marschner H. (1995). Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press.

Matyssek R. and Sandermann H. (2003). Impact of ozone on trees: an ecophysiological perspective. K. Esser, U. Lüttge, W. Beyschlag, F. Hellwig (Eds.) *An Ecophysiological Perspective, Progress in Botany*.

Mavrogianopoulos G., Savvas D, and Vogli V. (2002). Influence of NaCl-salinity imposed on half of the root system of hydroponically grown tomato on growth, yield, and tissue mineral composition. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*.

Mazzone Stuart B. and Geraghty Dominic P. (2009). Respiratory action of capsaicin microinjected into the nucleus of the solitary tract: involvement of vanilloid and tachykinin receptors.

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

Medina-Lara Fatima, Echevarría-Machado Ileana, Pacheco-Arjona Ramon, Ruiz-Lau Nancy, Guzmán-Antonio Adolfo and Martínez-Estevez Manuel. (2008). Influence of Nitrogen and Potassium Fertilization on Fruiting and Capsaicin Content in Habanero Pepper (*Capsicum chinense Jacq.*). *HortScience*.

Meharg A.A. and Macnair M.R. (1992). Suppression of the high affinity phosphate-uptake system: a mechanism of arsenate tolerance in *Holcus lanatus* L. *Journal of Experimental Botany*.

Mercado J.A., Reid M.S., Valpuesta V. and Quesada M.A. (1997). Metabolic changes and susceptibility to chilling stress in *Capsicum annuum* plants grown at suboptimal temperature. *Australian Journal of Plant Physiology*

Min Jeong-Ki, Han Kyu-Yeon, Kim Eok-Cheon, Kim Young-Myeong, Lee Sae-Won, Kim Ok-Hee, Kim Kyu-Won, Gho Yong Song and Kwon Young-Guen. (2004). Capsaicin Inhibits *in Vitro* and *in Vivo* Angiogenesis.

Mohanpuria P., Rana N.K. and Yadav S.K. (2007). Cadmium induced oxidative stress influence on glutathione metabolic genes of *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze. Environmental Toxicolog.

Monforte González Miriam, Guzmán Antonio Adolfo, Uuh Chim Francisco and VázquezFlota Felipe. (2010). Capsaicin accumulation is related to nitrate content in placentas of habanero peppers (*Capsicum chinense* Jacq.). Science of Food and agriculture.

Munns R and Tester M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology.

Munns R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytol.

Murakami K., Ido M. and Masuda M. (2006). Fruit pungency of 'Shishito' pepper as affected by a dark interval in continuous fluorescent illumination with temperature alteration. Shokubutsu Kankyo Kogaku.

Murali NS and Teramura AH. (1985). Effects of UV-B irradiance on soybean. VI. Influence of phosphorus nutrition on growth and flavonoid content. Physiol Plantarum.

Mustafa M. G. (1990). Biochemical basis of ozone toxicity. Free Radical Biol. Med.

Naidu BP, Paleg LG, Aspinnall D, Jennings AC, Jones GP. (1991). Amino acid and glycine betaine accumulation in cold-stressed wheat seedlings. Phytochem.

Negrao S., Schmockel S. M. and Tester M. (2017). Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. Annals of Botany.

Nelson E.K. and Dawson L.E. (1923). The constitution of capsaicin, the pungent principle of *Capsicum*. III. J. Am. Chem. Soc.

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.

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

- Ogawa Atsushi, Kitamichi Kinji, Toyofuku Kyoko, Kawashima Choji. (2006).** Quantitative Analysis of Cell Division and Cell Death in Seminal Root of Rye under Salt Stress.
- Orfanidou C.G., Boutsika A., Tsiolakis G., Winter S., Katis N.I and Maliorga V.I. (2018).** Capsicum Chlorosis Virus: A New Viral Pathogen of Pepper in Greece. Plant disease published by The American Phytopathological Society.
- Paoletti and Grulke, (2005). -Paoletti and Grulke, (2010).** Does living in elevated CO₂ ameliorate tree response to ozone? A review on stomatal responses. Environmental Pollution.
- Paoletti E., Castagna A., Ederli L., Pasqualini S., Ranieri A. and Manning W.J. (2014).** Gene expression in snapbeans exposed to ozone and protected by ethylenediurea. Environ. Pollut.
- Paran Ilan and Van der Knaap Esther. (2007).** Genetic and molecular regulation of fruit and plant domestication traits in tomato and pepper. Journal of Experimental Botany.
- Park C.R and Kim S.D. (1975).** The effect of light on the matured hot green pepper fruits during the after-ripening period. J. Nutr. Health.
- Passariello B., Giuliano V., Quaresima S., Barbaro M., Caroli S., Forte G., Garelli G. and Iavicoli I. (2002).** Evaluation of the environmental contamination at an abandoned mining site. Microchemical Journal.
- Pell Eva J., Schlaghauser Carl D. and N. Arteca Richard. (1997).** Ozone induced oxidative stress: Mechanisms of action and reaction. Physiol. Plant.
- Pellinen Riikka, Palva Tapio and Kangasjärvi Jaakko. (1999).** Subcellular localization of ozone induced hydrogen peroxide production in birch (*Betula pendula*) leaf cells. Plant J.
- Petrusa LM and Winicov I. (1997).** Proline status in salt tolerant and salt sensitive alfalfa cell lines and plants in response to NaCl. Plant Physiol Biochem.
- Pettigrew T. (2008).** Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. Physiol. Plant.

- Phimchan Paongpetch and Techawongstien Suchila, Chanthai Saksit, Bosland Paul W. (2012).** Impact of Drought Stress on the Accumulation of Capsaicinoids in Capsicum Cultivars with Different Initial Capsaicinoid Levels. HortScienc.
- Prajapati Kalavati and Modi H.A. (2012).** The importance of potassium in plant growth – A review. Indian Journal of Plant Sciences.
- Qadir M., Quillerou E., Nangia V., Murtaza G., Singh M., Thomas R.J., Drechsel P., and Noble A.D. (2014).** Economics of salt-induced land degradation and restoration. Natural Resources Forum.
- Rabinowitch H.D., Fahn A., Meir Tal and Lensky Y. (1993).** Flower and nectar attributes of pepper (*Capsicum annum* L.) plants in relation to their attractiveness to honeybees (*Apis mellifera* L.). Annals of Applied Biology.
- Raghothama KG. (1999).** Phosphate acquisition. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology.
- Rayapati P. John, Stewart Cecil R. and Hack Ethan. (1989).** Pyrroline-5-Carboxylate Reductase Is in Pea (*Pisum sativum* L.) Leaf Chloroplasts. Environmental and Stress Physiology.
- Reed HE, Teramura AH, Kenworthy WJ. Ancestral U.S. (1992).** Soybean cultivars characterized for tolerance to ultraviolet-B radiation. Crop Sci.
- Remans T., Nacry P., Pervent M., Girin T., Tillard P., Lepetit M. and Gojon A. (2006).** A central role for the nitrate transporter NRT2.1 in the integrated morphological and physiological responses of the root system to nitrogen limitation in Arabidopsis. Plant Physiol.
- Rengel Zed and Damon Paul M. (2008).** Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. Physiologia Plantarum.
- Reyes-Escogido Maria De Lourdes, Gonzalez-Mondragon Edith G. and Vazquez-Tzompantzi Erika. (2011).** Chemical and Pharmacological Aspects of Capsaicin. Molecules.
- Ricard B, Couée I, Raymond P, Saglio P.H, Ges V Saint and Pradet A. (1994).** Plant metabolism under hypoxia and anoxia. Plant Physiol. Biochem.
- Ros J and Tevini M. (1995).** Interaction of UV radiation and IAA during growth of seedlings and hypocotyl segments of sunflower. J Plant Physiol.

- Rout G., Samantaray S. and Das P. (2001).** Aluminium toxicity in plants: A review. *Agronomie*.
- Rozema J, Van de Staaij J, Bjorn LO and Martyn Caldwell. (1997).** UV-B as an environmental factor in plant life: stress and regulation. *Trends Ecol Evol*.
- Ruelland and Zachowski. (2010).** How plants sense temperature. *Environ. Exp. Bot.*
- Sanchez PA and Salinas JG. (1981).** Low-input technology for managing oxisols and ultisols in tropical America. *Adv Agron*.
- Sanogo Soum. (2003).** Chile Pepper and The Threat of Wilt Diseases. *Plant Health Progress* published by The American Phytopathological Society.
- Santos Isabel, Fidalgo Fernanda, Almeida José M. and Salema Roberto. (2004).** Biochemical and ultrastructural changes in leaves of potato plants grown under supplementary UV-B radiation. *Plant Sci*.
- Saria A., Lembeck F and Skofitsch G. (1980).** Determination of capsaicin in tissues and separation of capsaicin analogues by high-performance liquid chromatography.
- Scheible W.R., Morcuende R., Czechowski T., Fritz C., Osuna D., Palacios Rojas N., Schindelasch D., Thimm O., Udvardi M.K., and Stitt M. (2004).** Genome-wide reprogramming of primary and secondary metabolism, protein synthesis, cellular growth processes, and the regulatory infrastructure of *Arabidopsis* in response to nitrogen. *Plant Physiol*.
- Schieber A., Bruckner H., Rupp-Classen M., Specht W., Nowitzki-Grimm S., Classen H.-G. (1997).** Evaluation of D-amino acid levels in rat by gas chromatography- selected ion monitoring mass spectrometry: no evidence for subacute toxicity of orally fed D-proline and D-aspartic acid. *Journal of Chromatography*.
- Schutzendubel Andres and Polle Andrea. (2001).** Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *Journal of Experimental Botany*.
- Schwartz C., Gerard E., Perronnet K. and Morel J.L. (2001).** Measurement of in situ phytoextraction of zinc by spontaneous metallophytes growing on a former smelter site. *Science of the Total Environment*.

Science A. Hemantaranjan, A. Nishant Bhanu, Singh M. N., Yadav D. K., Patel P. K., Singh Radha and Katiyar Deepmala. (2014). Heat Stress Responses and Thermotolerance. *Adv. Plants Agric. Res.*

Serraj R and Sinclair TR. (2002). Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions?. *Plant Cell Environ.*

Shabala S. and Cuin T.A. (2007). Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiol. Plant.*

Shanker A.K., Cervantes C., Loza-Tavera H. and Avudainayagam S. (2005). Chromium toxicity in plants. *Environment International.*

Shao H.B., Chu L.Y, Wu G., Zhang J.H., Lu Z.H. and H Y.C. (2007). Changes of some anti-oxidative physiological indices under soil water deficits among 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at tillering stage. *Colloids Surf. B: Biointerfaces* John Passioura. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. *Journal of Experimental Botany.*

Shao Hong-Bo, Chu Li-Ye, Jaleel Cheruth Abdul, Zhao Chang-Xing. (2008). Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. *Plant biology and pathology.*

Sharma and Dubey. (2005). Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology.*

Shuifeng Wang, Yuen Zhu, Yulong Yan, Xitao Liu, Ke Sun, Ye Zhao and Tianwei Qian. (2016). Effects of biochars on the availability of heavy metals to ryegrass in an alkaline contaminated soil. *Environmental pollution.*

Soare Rodica, Dinu Maria, Babeanu Cristina, Popescu Mihaela and Popescu Alin. (2017). Nutritional value and antioxidant activities in fruit of some cultivars of pepper (*Capsicum annum* L.). *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies.*

Spence Charles. (2018). Crossmodal contributions to the perception of piquancy/spiciness. *Journal of Sensory Studies.*

Su Jin and Wu Ray. (2004). Stress-inducible synthesis of proline in transgenic rice confers faster growth under stress conditions than that with constitutive synthesis. *Plant Science.*

- Sullivan JH and Teramura AH. (1990).** Field study of the interaction between solar ultraviolet-B radiation and drought on photosynthesis and growth in soybean. *Plant Physiol.*
- Sullivan JH. (1997).** Effects of Increasing UV-B Radiation and Atmospheric CO₂ on Photosynthesis and Growth: Implications for Terrestrial Ecosystems. *Plant Ecol.*
- Sung Y., Chang Y.Y. and Ting N.L. (2005).** Capsaicin biosynthesis in water-stressed hot pepper fruits. *Botanical Bulletin of Academia Sinica.*
- Surh Y-j and Lee S.S. (1996).** Capsaicin in hot chili pepper: Carcinogen, co-carcinogen or anticarcinogen?. *Food and Chemical Toxicology.*
- Suzuki N., Koussevitzky S., Mittler R. and Miller. (2012).** ROS and redox signalling in the response of plants to abiotic stress. *Plant Cell Environ.*
- Szymańska Renata, Ślesak Ireneusz, Orzechowska Aleksandra and Kruk Jerzy. (2017).** Physiological and biochemical responses to high light and temperature stress in plants. *Environmental and Experimental Botany.*
- Tahboub Mohammed B., Sanogo Soumaila, Bosland Paul W. and Murray Leigh. (2008).** Heat Level in Chile Pepper in Relation to Root and Fruit Infection by *Phytophthora capsici*. *HortScience.*
- Taitano Nathan, Bernau Vivian, Jardon-Barbolla Lav, Leckie Brian, Mazourek Michael, Mercer Kristin, Mchale Leah, Michel Andrew, Baumler David, Kantar Michael, Van der knap Esther. (2018).** Genome-wide genotyping of a novel Mexican Chile Pepper collection illuminates the history of landrace differentiation after *capsicum annum* L. domestication. *Evolutionary Applications.*
- Teramura AH and Sullivan JH. (1994).** Effects of UV-B radiation on photosynthesis and growth of terrestrial plants. *Photosynth Res.*
- Teramura AH, Sullivan JH. (1987).** Soybean growth responses to enhanced levels of ultraviolet-B radiation under greenhouse conditions. *Am J Bot.*
- Teramura AH. (1983).** Effects of ultraviolet-B radiation on the growth and yield of crop plants. *Physiol Plantarum.*
- The Royal Society. (2008).** Ground-level Ozone in the 21st Century: future Trends, Impacts and Policy Implications. The Royal Society, London.

Theocharis A., Clement C. and Barka E.A. (2012). Physiological and molecular changes in plants grown at low temperatures. *Planta*.

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

Tian Shi-Lin, Lu Bo-Ya, Gong Zhen-Hui, Syed Noor Muhammad Shah. (2014). Effects of drought stress on capsanthin during fruit development and ripening in pepper (*Capsicum annuum* L.). *Agricultural water management*.

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.

Vance CP, Uhde-Stone C and Allan DL. (2003). Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*.

Von Uexküll H.R. and Mutert E. (1995). Global extent, development and economic impact of acid soils. *Plant Soil*.

Vysotskaya Lidia, Hedley Peter E., Sharipova Guzel, Veselov Dmitry, Kudoyarova Guzel, Morris Jennifer and Jones Hamlyn G. (2010). Effect of salinity on water relations of wild barley plants differing in salt tolerance. *AOB PLANTS*.

Wang W. X., Vinocur B. and Altman A. (2003). Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance.

Wang Y. and Liu Y. (2010). Progress in plant autophagy.

White P.J. and Karley A.J. (2010). Potassium. *Cell Biology of Metals and Nutrients*. Springer.

Wittig V.E., Ainsworth E.A. and Long S.P. (2007). To what extent do current and projected increases in surface ozone affect photosynthesis and stomatal conductance of trees? A meta-analytic review of the last 3 decades of experiments. *Plant, Cell and Environment*.

Wójcik and Tukiendorf. (2004). Phytochelatin synthesis and cadmium localization in wild type of *Arabidopsis thaliana*. *Plant Growth Regulation*.

Woldemariam S.H., Lal S., Zeru D. and Solomon M.T. (2018). Effect of potassium levels on productivity and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *Journal of Agricultural Studies*.

Xu, C., and Mou, B. (2015). Evaluation of lettuce genotypes for salinity tolerance. HortScience.

Yadav S.K. (2010). Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. South African Journal of Botany.

Yadav Subhash, kaushik Rajeev, Saxena Anil K. and Arora Dilip K. (2011). Diversity and phylogeny of plant growth-promoting bacilli from moderately acidic soil. Journal of Basic Microbiology.

Yancey PH. (1994). Compatible and counteracting solutes In: Strange K ed. Cellular and Molecular Physiology of Cell Volume Regulation. Boca Raton, FL:

Yu H.L., He N.P., Wang Q.F., Zhu J.X, Gao Y., Zhang Y.H., Jia Y.L. and Yu G.R. (2017). Development of atmospheric acid deposition in China from the 1980s to the 2010s. Environ. Pollut.

Zewdie Y. and Bosland P.W. (2000). Evaluation of genotype, environment and genotype-by-environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum annum* L. Euphytica.

Zhang H.M., Wang B.R., Xu M.G and Fan T.L. (2009). Crop yield and soil responses to long-term fertilization on a red soil in southern China. Pedosphere.

Zornoza P., Robles S. and Martin N. (1999). Alleviation of nickel toxicity by ammonium supply to sunflower plants. Plant and Soil.

Zou Yu, Ma Kun and Tian Mixia. (2015). Chemical composition and nutritive value of hot pepper seed (*Capsicum annum*) grown in Northeast Region of China. Food Science and Technology.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βλάχου Γεωργία. (2011). Επίδραση της αλατότητας στα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά της μπάμιας σε υδροπονική καλλιέργεια. Μεταπτυχιακή μελέτη, Γ.Π.Α.

ΙΑ Χα, Σ. Πετρόπουλος. (2014). Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΠΘ.

ΜΙΣΟΠΟΛΙΝΟΣ Ν. Δ. (1991). Προβληματικά εδάφη.

