



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

**«Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΟΥΛΒΙΚΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΤΗΝ
ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΑΒΙΟΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ ΣΕ
ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΑ ΦΥΤΑ»**

ΕΛΕΝΗ ΠΕΤΣΚΑ

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
"Εφαρμοσμένη Επιστήμη και Τεχνολογία στη Γεωπονία"**

ΜΑΡΤΙΟΣ, 2021

*Ο ρόλος της εφαρμογής χουμικών και φουλβικών οξέων στην αντιμετώπιση διαφορετικών
αβιοτικών καταπονήσεων σε καλλιεργούμενα φυτά*

ΜΕΛΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΔΡΑΓΑΣΑΚΗ ΜΑΓΔΑΛΗΝΗ
ΙΔΙΟΤΗΤΑ: **ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**
ΙΔΡΥΜΑ/ΦΟΡΕΑΣ: **ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**
2. ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΛΟΥΛΑΚΑΚΗΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ
ΙΔΙΟΤΗΤΑ: **ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**
ΙΔΡΥΜΑ/ΦΟΡΕΑΣ: **ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**
3. ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΠΑΠΑΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΜΙΧΑΗΛ
ΙΔΙΟΤΗΤΑ: **ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**
ΙΔΡΥΜΑ/ΦΟΡΕΑΣ: **ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ**

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	V
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	VII
ABSTRACT	IX
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΟΥΜΕΝΩΝ ΦΥΤΩΝ	1
1.1.1 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ	3
1.1.2 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΤΑ ΦΥΤΑ	4
1.1.3 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΚΡΑΙΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΣΤΑ ΦΥΤΑ	6
1.2 ΒΙΟΛΙΓΕΡΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	6
1.2.1 ΧΟΥΜΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ	8
1.2.2 ΧΟΥΜΙΚΑ ΟΞΕΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ	8
1.2.3 ΦΟΥΛΒΙΚΑ ΟΞΕΑ ΚΑΙ ΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΟΥΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ	10
1.3 ΣΚΟΠΟΙ ΤΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	12
2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	13
2.1 ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΟΥΛΒΙΚΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΕ ΦΥΤΑ ΠΟΥ ΚΑΤΑΠΟΝΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑ	13
2.2 ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΩΝ ΑΡΘΡΩΝ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΤΙΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΟΥΛΒΙΚΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΕ ΦΥΤΑ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ	15
2.3 ΑΝΑΖΗΤΗΣΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΙΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΟΥΛΒΙΚΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΕ ΦΥΤΑ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ	17
2.4 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	19
2.4.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΟΞΕΩΝ-ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ	19
2.4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΟΥΛΒΙΚΩΝ ΟΞΕΩΝ-ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ	20
2.4.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΟΞΕΩΝ-ΑΥΞΗΜΕΝΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	20
2.4.4 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	20
3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	21
3.1 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΕ ΦΥΤΑ ΠΗΠΕΡΙΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ	21
3.1.1 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΚΑΡΠΩΝ/ΦΥΤΟ	21
3.1.2 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗ Α ΚΑΙ Β	26

3.2	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΕ ΦΥΤΑ ΤΟΜΑΤΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ	30
3.2.1	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΚΑΡΠΩΝ/ΦΥΤΟ.....	30
3.2.2	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ (ΚΓ/ΦΥΤΟ).....	32
3.3	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΟΥΛΒΙΚΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΕ ΦΥΤΑ ΠΑΤΑΤΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ.....	34
3.3.1	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΚΟΝΔΥΛΩΝ/ΦΥΤΟ.....	34
3.3.2	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ (Τ/ΗΑ).....	37
3.4	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΟΥΛΒΙΚΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΕ ΦΥΤΑ ΤΟΜΑΤΑΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	39
3.4.1	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΟ ΥΨΟΣ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ.....	39
3.4.2	ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ (Τ/ΗΑ).....	42
4	ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	45
4.1	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΤΗΝ ΠΙΠΕΡΙΑ ΚΑΙ ΤΟΜΑΤΑ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΛΑΤΟΤΗΤΑΣ	45
4.2	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΟΥΛΒΙΚΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΤΗ ΠΑΤΑΤΑ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΕΛΛΕΙΨΗΣ ΝΕΡΟΥ.....	46
4.3	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΧΟΥΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΦΟΥΛΒΙΚΩΝ ΟΞΕΩΝ ΣΤΗ ΤΟΜΑΤΑ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΥΞΗΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ	47
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	49
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	51

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι συνθήκες αβιοτικής καταπόνησης προκαλούν εκτεταμένες απώλειες στη γεωργική παραγωγή παγκοσμίως. Τα καλλιεργούμενα φυτά υποβάλλονται συνήθως σε έναν συνδυασμό διαφορετικών αβιοτικών καταπονήσεων όπως είναι η ξηρασία, η αλατότητα και η θερμότητα. Η έλλειψη νερού είναι ένας σοβαρός περιβαλλοντικός περιορισμός στην παραγωγικότητα των φυτών και επιδρά στην ανάπτυξη, τη φωτοσύνθεση και την αναπνοή των φυτών, μειώνει το μέγεθος των φύλλων, την επέκταση των στελεχών και τον πολλαπλασιασμό των ριζών. Η αλατότητα επηρεάζει την ανάπτυξη των φυτών, καθώς παρεμποδίζεται η ανάπτυξη των ριζών και των βλαστών. Τέλος, η υπερθέρμανση του πλανήτη έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή του κλίματος, συμπεριλαμβανομένων των ακραίων υψηλών θερμοκρασιών, με αποτέλεσμα οι μεταβολές αυτές να προκαλούν καταστροφικές βλάβες στα καλλιεργούμενα φυτά. Η θερμική καταπόνηση υποβαθμίζει τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα και παράλληλα η θερμότητα προκαλεί μειωμένη περιεκτικότητα σε νερό με αρνητικές επιπτώσεις στην κυτταρική διαίρεση και την ανάπτυξη των φυτών. Για την αντιμετώπιση των διαφόρων αβιοτικών καταπονήσεων, στις οποίες υποβάλλονται τα καλλιεργούμενα φυτά εφαρμόζονται διάφορα βιοδιεγερτικά προϊόντα, τα οποία είναι ουσίες ή μικροοργανισμοί που ενισχύουν την απόδοση των φυτών, την αντοχή τους στην καταπόνηση και την βελτίωση της ποιότητας των καρπών τους. Η παρούσα έρευνα εστιάζει στα χουμικά και φουλβικά οξέα και στην επίδραση που έχουν όταν αυτά εφαρμοστούν σε καλλιεργούμενα φυτά, τα οποία έχουν υποβληθεί σε συνθήκες αβιοτικών καταπονήσεων. Για την πραγματοποίηση της έρευνας αντλήθηκαν ερευνητικά άρθρα από το google scholar, από τα οποία επιλέχθηκαν δεδομένα και παράγοντες τα οποία αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν μεταξύ τους. Έτσι, σχετικά με την αλατότητα αναλύθηκαν δεδομένα που αφορούν τον αριθμό καρπών και τη χλωροφύλλη a και b σε φυτά πιπεριάς, και δεδομένα που αφορούν τον αριθμό καρπών και την απόδοση σε φυτά τομάτας. Σχετικά με την έλλειψη νερού επιλέχθηκαν φυτά πατάτας και εξετάστηκαν ο

αριθμός κονδύλων και η απόδοση. Τέλος, για τις συνθήκες θερμικής καταπόνησης ερευνήθηκαν φυτά τομάτας ως προς το ύψος των φυτών και την απόδοσή τους. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι τα χουμικά και φουλβικά οξέα επιδρούν θετικά στα παραπάνω καλλιεργούμενα φυτά όταν αυτά βρίσκονται κάτω από συνθήκες αβιοτικών καταπονήσεων. Έτσι, σε συνθήκες αλατότητας παρατηρήθηκε αύξηση των καρπών και της χλωροφύλλης a και b σε φυτά πιπεριάς, και αύξηση των καρπών και της απόδοσης σε φυτά τομάτας. Τα χουμικά και φουλβικά οξέα αύξησαν τους αριθμούς κονδύλων και την απόδοση στην καλλιέργεια πατάτας κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού καθώς και το ύψος και την απόδοση στην καλλιέργεια τομάτας κάτω από συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας.

ABSTRACT

Abiotic stresses cause extensive losses in agricultural production worldwide. Cultivated plants are usually subjected to a combination of different abiotic stresses such as drought, salinity and heat. Lack of water is a serious environmental constrain on plant productivity and affects plant growth, photosynthesis and respiration, reduces leaf size, stem extension and root proliferation. Salinity affects plant growth, as it inhibits the growth of roots and shoots. Finally, global warming has resulted in climate change, including extreme high temperatures, with the result that these changes are causing catastrophic damage to crops. Thermal stress degrades photosynthetic activity and at the same time heat causes reduced water content with negative effects on cell division and plant growth. To treat the various abiotic stresses imposed to the cultivated plants, various biostimulants are applied. Biostimulants are substances or microorganisms that enhance the yield of the plants, their resistance to stress and improve the quality of their production. The present study focuses on humic and fulvic acids and their effect when applied to cultivated plants that have been subjected to abiotic stress conditions. To conduct this work, research articles were obtained from google scholar and scopus. Treatments of fulvic and humic acids on tomato, pepper and potato plants under certain stress and the resulting data were analyzed and compared to each other. Thus, under salinity stress, tomato plants were selected, and the published data were analyzed for fruit number and yield, while pepper plants for fruit number and chlorophyll a and b. Potato plants were selected under water stress and the number of tubers and yield were examined. Finally, tomato plants were also investigated under heat stress conditions in terms of plant height and yield. The results showed that humic and fulvic acids have a positive effect on the above cultivated plants when they are under conditions of abiotic stress. Thus, under salinity conditions, an increase in fruits and chlorophyll a and b was observed in pepper plants, and an increase in fruits and yield was observed in tomato plants. Humic and fulvic acids increased tuber numbers and yield in potato cultivation under drought stress as well as plant height and yield in tomato cultivation under high temperature conditions.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

“Αν ένας τρόπος είναι καλύτερος
από έναν άλλο, τότε σίγουρα είναι ο
τρόπος της φύσης”

Αριστοτέλης

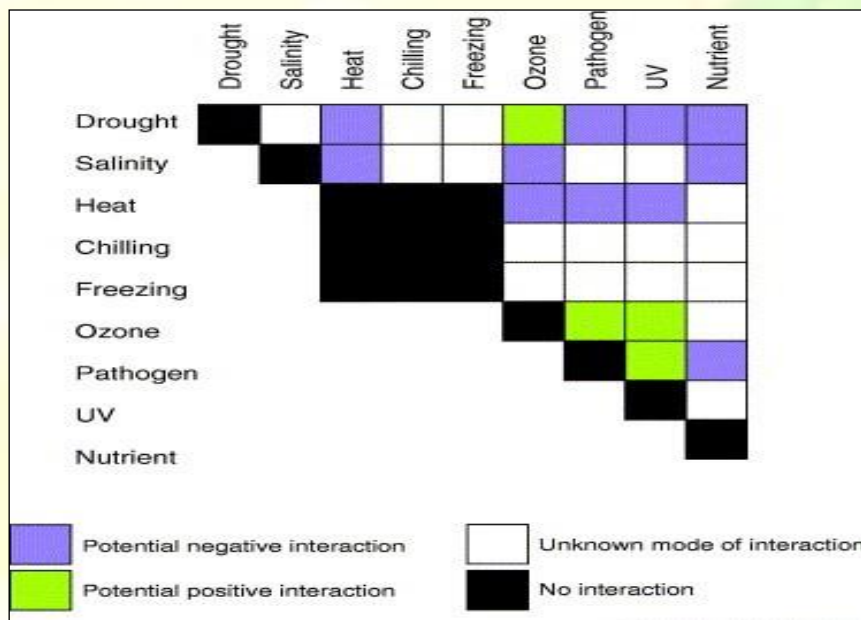
1.1 Καταπονήσεις των καλλιεργούμενων φυτών

Ένα από τα σοβαρότερα κοινωνικά προβλήματα στις μέρες μας είναι αυτό του επισιτισμού. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, ο αριθμός των ανθρώπων που μαστίζονται από την πείνα, ανέρχεται σε πάνω από 815 εκατομμύρια. Ο πληθυσμός που υποφέρει από έλλειψη θρεπτικών στοιχείων, αγγίζει τα 2 δισεκατομμύρια. Κάθε χρόνο πεθαίνουν 40 εκατομμύρια άνθρωποι από ασιτία και 5 εκατομμύρια παιδιά των αναπτυσσόμενων χωρών χάνουν τη ζωή τους από έλλειψη τροφής.

Αν σ' αυτά τα στατιστικά στοιχεία, προσθέσουμε την ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, ο οποίος υπολογίζεται να ανέλθει μέχρι το 2050 σε 10 δισεκατομμύρια, είναι αναμενόμενη η επιβάρυνση του περιβάλλοντος και η μείωση των φυσικών πόρων. Αυτό θα έχει ως επακόλουθο την έξαρση του προβλήματος της πείνας.

Το φυσικό περιβάλλον των φυτών αποτελείται από ένα περίπλοκο σύνολο αβιοτικών και βιοτικών καταπονήσεων και πιέσεων, στις οποίες τα φυτά καλούνται να απαντήσουν με εξίσου περίπλοκες ανταποκρίσεις (Cramer κ.ά, 2011). Οι συνθήκες στρες

στα φυτά προκαλούν εκτεταμένες απώλειες στη γεωργική παραγωγή παγκοσμίως. Πολύ συχνό είναι το φαινόμενο της ταυτόχρονης εμφάνισης πολλών αβιοτικών καταπονήσεων που είναι πιο θανατηφόρα για τις καλλιέργειες (Γράφημα 1). Πρόσφατες μελέτες αποκάλυψαν ότι η ανταπόκριση των φυτών στον συνδυασμό δύο διαφορετικών αβιοτικών καταπονήσεων είναι μοναδική και δεν μπορεί να παρεκταθεί άμεσα από την ανταπόκριση τους σε καθεμία από τις διαφορετικές καταπονήσεις όταν αυτές εφαρμόζονται ξεχωριστά. Σε περιοχές που πλήττονται από ξηρασία, για παράδειγμα, πολλές καλλιέργειες αντιμετωπίζουν τον συνδυασμό ξηρασίας και άλλων καταπονήσεων όπως είναι θερμότητα ή η αλατότητα (Mittler, 2006). Συχνό φαινόμενο είναι επίσης η ταυτόχρονη έκθεση φυτών σε συνδυασμό ξηρασίας και κρύου καθώς και οποιοδήποτε από τα κύρια αβιοτικά στρες σε συνδυασμό με παθογόνο λοίμωξη. Η ταυτόχρονη εμφάνιση διαφορετικών στρες οδηγεί σε υψηλό βαθμό πολυπλοκότητας στις φυτικές αποκρίσεις, καθώς οι αποκρίσεις στις συνδυασμένες καταπονήσεις ελέγχονται σε μεγάλο βαθμό από διαφορετικά και μερικές φορές αντίθετα σηματοδοτικά μονοπάτια που μπορεί να αλληλοεπιδρούν και να αναστέλλουν το ένα το άλλο (Suzuki κ.ά., 2014)



Γράφημα 1: Διαφορετικοί συνδυασμοί βιοτικών και αβιοτικών καταπονήσεων. Διαφορετικές αλληλεπιδράσεις έχουν χρωματική κωδικοποίηση για να δείξουν πιθανές αρνητικές ή πιθανόν θετικές επιπτώσεις του συνδυασμού στρες στην υγεία των φυτών (Πηγή: Mittler, 2006).

Η ποιότητα και η ποσότητα των καλλιεργειών επηρεάζονται τόσο από τους βιοτικούς όσο και από τους αβιοτικούς αυτούς παράγοντες, καθώς τα φυτά γίνονται συνεχώς στόχοι των επιθέσεων τους (Poschenrieder κ.ά, 2006; Huang κ.ά., 2013). Η ποιότητα μπορεί να οριστεί ως ένα σύνολο αγρονομικών ιδιοτήτων όπως είναι το μέγεθος του καρπού, η απόδοση, η αντοχή σε βακτήρια και μύκητες, οργανοληπτικών ιδιοτήτων όπως το χρώμα και το σχήμα των καρπών καθώς και η περιεκτικότητα σε θρεπτικά συστατικά και βιταμίνες. Οι βιοτικοί παράγοντες περιλαμβάνουν διάφορα βακτήρια, μύκητες ή ιούς που είναι η αιτία πολλών φυτικών ασθενειών. Οι λοιμώξεις που προκαλούνται μπορεί όχι μόνο να μειώσουν την απόδοση αλλά να οδηγήσουν στην απώλεια ολόκληρης της συγκομιδής. Οι αβιοτικοί παράγοντες περιλαμβάνουν εκτός άλλων τη σύνθεση του εδάφους, την αλατότητα, την οξύτητα, τις ακραίες θερμοκρασίες και την ξηρασία. Η καταπόνηση που προκαλείται από δυσμενή ερεθίσματα μπορεί να μειώσει σημαντικά τις αποδόσεις της συγκομιδής επειδή τα φυτά ανταποκρίνονται χρησιμοποιώντας τα αποθέματα της ενέργειάς τους για να καταπολεμήσουν το στρες αντί να επικεντρώνονται στην απόδοση (Drobek κ.ά., 2019).

1.1.1 Επιδράσεις της αλατότητας στα φυτά

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, οι αβιοτικοί παράγοντες προκαλούν σημαντικές καταπονήσεις στα φυτά. Ένας σημαντικός παράγοντας είναι η αλατότητα. Η συνολική έκταση των εδαφών που έχουν προσβληθεί από αλατότητα εκτιμάται ότι αγγίζει τα 830 εκατομμύρια εκτάρια (Martinez-Beltran και Manzur, 2005).

Η αλατότητα του εδάφους οφείλεται κυρίως στη συσσώρευση τοξικών ιόντων όπως Na^+ , Cl^- και SO_4^{2-} στο έδαφος και επηρεάζει σημαντικά τον μεταβολισμό των φυτικών κυττάρων με αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγικότητας. Επίσης μειώνει τις φωτοσυνθετικές χρωστικές ουσίες, την ξηρή ουσία στις ρίζες και τους βλαστούς και αυξάνει το οξειδωτικό στρες (Colla κ.ά., 2012; Taibi κ.ά., 2016).

Επιπρόσθετα, η αλατότητα του εδάφους και του νερού μπορεί να μειώσει σημαντικά την ανάπτυξη των φυτών. Η επέκταση της γεωργικής γης εξαρτάται εν μέρει τουλάχιστον από τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα του νερού άρδευσης και από το επίπεδο της αλατότητας του εδάφους. Το αμμόδες έδαφος μπορεί να επηρεαστεί σε διάφορους βαθμούς από κάποια είδη αλατότητας. Προκειμένου να επιτευχθεί ανοχή στην

αλατότητα, το πρωταρχικό στάδιο είναι είτε η πρόληψη ή μείωση της βλάβης είτε η αποκατάσταση ομοστατικών συνθηκών στο νέο περιβάλλον καταπόνησης (El-Khawaga, 2013). Η αύξηση της χρήσης αλατούχου νερού άρδευσης είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που οδηγούν στη συσσώρευση αλατιού στη ριζόσφαιρα των φυτών που επηρεάζει τόσο τις φυσικές, χημικές όσο και τις βιολογικές ιδιότητες του εδάφους και την παραγωγικότητα του αγροσυστήματος (Ounیا κ.ά., 2014).

Η αλατότητα μπορεί να επηρεάσει τα φυτά με διαφορετικούς τρόπους όπως οσμωτικές επιδράσεις, τοξικότητα ειδικών ιόντων και θρεπτικές διαταραχές. Ο βαθμός με τον οποίο ένας μηχανισμός επηρεάζει το φυτό έναντι των άλλων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το είδος, το γονότυπος, την ηλικία των φυτών, την ιοντική ισχύ και τη σύνθεση του διαλύματος αλατοποίησης. Τα φυτά υφίστανται χαρακτηριστικές αλλαγές από τη στιγμή που ξεκινάει η καταπόνηση της αλατότητας μέχρι να φτάσουν στην ωρίμανση. Μετά την αλάτωση, τα κύτταρα των φυτών αφυδατώνονται και συρρικνώνονται, αλλά ανακτούν τον αρχικό τους όγκο ώρες αργότερα. Παρά την ανάκαμψη αυτή, η επιμήκυνση των κυττάρων και σε μικρότερο βαθμό η κυτταρική διαίρεση μειώνεται οδηγώντας σε χαμηλότερα ποσοστά ανάπτυξης φύλλων και ριζών. Τις επόμενες ημέρες, οι μειώσεις στην κυτταρική διαίρεση και επιμήκυνση μεταφράζονται σε πιο αργή εμφάνιση και μικρότερο μέγεθος φύλλων. Τα φυτά που υποβάλλονται σε έντονη αλατότητα συχνά αναπτύσσουν οπτικό τραυματισμό λόγω υπερβολικής πρόσληψης αλατιού. Μετά από εβδομάδες, επηρεάζεται η ανάπτυξη των πλευρικών βλαστών και μετά από μήνες, παρατηρούνται σαφείς διαφορές στη συνολική ανάπτυξη μεταξύ φυτών με καταπονήσεις από την αλατότητα και μη καταπονημένων φυτών (Läuchli και Grattan, 2007).

Τέλος, η αλατότητα είναι γνωστή ως περιοριστικός παράγοντας κρίσιμων διαδικασιών όπως η φωτοσύνθεση, η αφομοίωση αζώτου και οι κατανομές ιόντων στα φυτά, σε πάρα πολλές φυτικές ποικιλίες (Gholami κ.ά., 2013).

1.1.2 Επιδράσεις της έλλειψης νερού στα φυτά

Οι επιπτώσεις της ξηρασίας κυμαίνονται από μορφολογικά έως μοριακά επίπεδα και είναι εμφανή σε όλα τα φαινολογικά στάδια της ανάπτυξης των φυτών σε οποιοδήποτε στάδιο λαμβάνει χώρα η έλλειψη νερού. Η πρώτη και κύρια επίδραση της

ξηρασίας είναι η μείωση της βλάστησης. Σε διάφορες μελέτες παρατηρήθηκε ότι η καταπόνηση από την ξηρασία εξασθένησε τη βλάστηση, μείωσε το μήκος υποκοτυλίου, τα φρέσκα και ξηρά βάρη βλαστών και ριζών, ενώ αύξησε το μήκος της ρίζας. Επιπρόσθετα, η ξηρασία κατά τη διάρκεια του βλαστικού σταδίου μπορεί να μειώσει σημαντικά την ανάπτυξη των φυτών. Καθώς η ανάπτυξη επιτυγχάνεται μέσω της διαίρεσης των κυττάρων, της διεύρυνσης και της διαφοροποίησης των κυττάρων και περιλαμβάνει γενετικά, φυσιολογικά, οικολογικά, μορφολογικά γεγονότα και πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις, η ποιότητα και η ποσότητα της ανάπτυξης των φυτών εξαρτώνται από αυτά τα γεγονότα, τα οποία επηρεάζονται σημαντικά από την έλλειψη νερού. Η μειωμένη μίτωση, η επιμήκυνση και η επέκταση των κυττάρων έχουν ως αποτέλεσμα μειωμένο ύψος φυτού, μικρή επιφάνεια φύλλων και μειωμένη ανάπτυξη της καλλιέργειας. Επίσης σοβαρή επίπτωση είναι η μείωση της απόδοσης (Πίν. 1) που προκαλείται από την ξηρασία και έχει αναφερθεί σε πολλά είδη καλλιέργειας, η οποία εξαρτάται από τη σοβαρότητα και τη διάρκεια της περιόδου στρες (Farooq κ.ά., 2009).

Πίνακας 1: Μείωση της απόδοσης λόγω της ξηρασίας σε ορισμένες αντιπροσωπευτικές καλλιέργειες. (Πηγή: Farooq κ.ά., 2009)

Crop	Growth stage	Yield reduction	References
Barley	Seed filling	49–57%	Samarah (2005)
Maize	Grain filling	79–81%	Monneveux et al. (2005)
Maize	Reproductive	63–87%	Kamara et al. (2003)
Maize	Reproductive	70–47%	Chapman and Edmeades (1999)
Maize	Vegetative	25–60%	Atteya et al. (2003)
Maize	Reproductive	32–92%	Atteya et al. (2003)
Rice	Reproductive (mild stress)	53–92%	Lafitte et al. (2007)
Rice	Reproductive (severe stress)	48–94%	Lafitte et al. (2007)
Rice	Grain filling (mild stress)	30–55%	Basnayake et al. (2006)
Rice	Grain filling (severe stress)	60%	Basnayake et al. (2006)
Rice	Reproductive	24–84%	Venuprasad et al. (2007)
Chickpea	Reproductive	45–69%	Nayyar et al. (2006)
Pigeonpea	Reproductive	40–55%	Nam et al. (2001)
Common beans	Reproductive	58–87%	Martínez et al. (2007)
Soybean	Reproductive	46–71%	Samarah et al. (2006)
Cowpea	Reproductive	60–11%	Ogbonnaya et al. (2003)
Sunflower	Reproductive	60%	Mazahery-Laghab et al. (2003)
Canola	Reproductive	30%	Sinaki et al. (2007)
Potato	Flowering	13%	Kawakami et al. (2006)

Η έλλειψη του νερού είναι επίσης ένας από τους σημαντικότερους περιβαλλοντικούς παράγοντες που προκαλούν αλλαγές στη φυσιολογία των φυτών, όπως η μείωση του δυναμικού νερού των κυττάρων και το στοματικό κλείσιμο, με αποτέλεσμα τη μειωμένη διαθεσιμότητα CO₂ για τα φυτά και την αναστολή της φωτοσύνθεσης. Ένα χαρακτηριστικό αυτής της καταπόνησης είναι η ανάπτυξη οξειδωτικών διεργασιών που προκαλούνται από ενεργές ρίζες οξυγόνου (ROS Reactive Oxygen Species). Τα ROS

συσσωρεύονται στα κύτταρα και προκαλούν βλάβη σε σημαντικά κυτταρικά συστατικά, όπως στα θυλακοειδή και στους χλωροπλάστες (Feitosa de Vasconcelos, 2020). Η καταπόνηση από έλλειψη νερού προκαλεί μείωση της χλωροφύλλης α (Chl a) και της συνολικής περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη (ChlT) στα φυτά (Lotfi κ.ά., 2015).

1.1.3 Επιδράσεις ακραίων θερμοκρασιών στα φυτά

Η αυξημένη συγκέντρωση CO₂ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα προκαλεί ένα μελλοντικό κλίμα με υψηλότερες θερμοκρασίες. Η αύξηση των μέσων ετήσιων θερμοκρασιών έχει σαν αποτέλεσμα τα φυτά να εκτίθενται σε σοβαρή καταπόνηση με επιδράσεις στο βιολογικό τους κύκλο. Οι αρνητικές επιπτώσεις της καταπόνησης από ακραίες θερμοκρασίες στην ανάπτυξη των φυτών και στην απόδοση των καλλιεργειών οφείλονται κυρίως στις αρνητικές επιπτώσεις της στη φωτοσυνθετική διαδικασία, η οποία είναι από τις πιο θερμοευαίσθητες πτυχές των φυτικών λειτουργιών (Wang κ.ά., 2016).

Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να οδηγήσουν σε θερμική καταπόνηση, η οποία όχι μόνο επηρεάζει τη φωτοσυνθετική ικανότητα αλλά αλλάζει επίσης τη μορφολογία των φυτών και προκαλεί μαρασμό των φύλλων, την ανατομία, τη φυσιολογία, και τη γενετική έκφραση των φυτών. Επιπλέον, μπορεί να επιφέρει αλλαγές στον πρωτογενή και δευτερογενή μεταβολισμό των φυτών. Η υπερπαραγωγή και οι αντιδράσεις του οξυγόνου (ROS) που παρατηρούνται κατά το θερμικό στρες μπορεί να προκαλέσουν βλάβη στους χλωροπλάστες και τα κύτταρα προσβάλλοντας τη μεμβράνη, τα λιπίδια, το DNA και τις πρωτεΐνες. Οι παράγοντες που καθοδηγούν τη φωτοσύνθεση κατά την θερμική καταπόνηση, προκαλούν δομικές και λειτουργικές διαταραχές των χλωροπλαστών, την αποδόμηση ή μειωμένη συσσώρευση φωτοσυνθετικών χρωστικών (Shen κ.ά., 2017).

1.2 Βιοδιεγερτικές ουσίες

Ο όρος βιοδιεγερτικές ουσίες χαρακτηρίζει ουσίες που ενισχύουν την απόδοση των φυτών, την αντοχή τους στις διάφορες αβιοτικές καταπονήσεις και την βελτίωση της ποιότητας των καρπών τους. Κυρίως είναι οργανικά προϊόντα, τα οποία ανεξάρτητα από

την περιεκτικότητα τους σε θρεπτικά συστατικά, δρουν ως διεγέρτες των φυσικών διεργασιών που βοηθούν την πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων, της αποτελεσματικότητας των θρεπτικών αυτών ουσιών και της ποιότητας των καλλιεργειών (Baroccio κ.ά., 2017; Du Jardin, 2015).

Για πρώτη φορά ο όρος «βιοδιεγέρτης» χρησιμοποιήθηκε από τους Zhang και Schmidt (1997) αντιπροσωπεύοντας τα υλικά, που σε μικρές ποσότητες προάγουν την ανάπτυξη των φυτών. Οι «μικρές ποσότητες» ήταν οι λέξεις-κλειδιά για τον διαχωρισμό των βιοδιεγερτών από τα λιπάσματα και τα υπόλοιπα βελτιωτικά εδάφους που εφαρμόζονται σε μεγάλες ποσότητες. Αργότερα, ως βιοδιεγέρτες ορίστηκαν επίσημα, από τους Kauffman κ.ά. (2007), τα υλικά τα οποία δεν είναι λιπάσματα και που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών όταν εφαρμόζονται σε μικρές ποσότητες. Επιστημονικό άρθρο των Zhang και Schmidt (2000), αναφέρει πως οι βιοδιεγέρτες παρουσιάζουν συμπεριφορά φυτοορμονών.

Οι βιοδιεγέρτες είναι διαθέσιμοι σε διάφορες μορφές και με διάφορα συστατικά. Με βάση την προέλευση και το περιεχόμενό τους, κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες ομάδες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα χουμικά οξέα, στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα προϊόντα που περιέχουν φυτοορμόνες (εκχυλίσματα θαλάσσιων φυκιών) και στην τρίτη αυτά που περιέχουν αμινοξέα (Jardin, 2015).

Για την ορθότερη κατανόηση και την ύπαρξη ενός ξεκάθਾਰου πλαισίου για τους βιοδιεγέρτες, εκδόθηκε ο Ευρωπαϊκός κανονισμός (EU) 2019/1019 του Ευρωπαϊκού κοινοβουλίου και συμβουλίου τις 5 Ιουνίου 2019, όπου καθορίστηκε ότι οι φυτικοί βιοδιεγέρτες ορίζονται ως προϊόντα λίπανσης της ΕΕ (EU 2019). Σύμφωνα με τον κανονισμό: « Ένας φυτικός βιοδιεγέρτης θεωρείται προϊόν κατάλληλο για χρήση στην ΕΕ, όταν αυτός διεγείρει τις διαδικασίες ανάπτυξης των φυτών ανεξάρτητα από την περιεκτικότητά του σε θρεπτικά στοιχεία, με μοναδικό στόχο τη βελτίωση ενός ή περισσότερων των ακόλουθων χαρακτηριστικών του φυτού ή της ριζόσφαιρας του: α) την αποτελεσματικότητα της χρήσης θρεπτικών στοιχείων β) την αντοχή σε αβιοτικές καταπονήσεις γ) τα ποιοτικά χαρακτηριστικά δ) τη διαθεσιμότητα των περιορισμένων θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος ή τη ριζόσφαιρα » (EU 2019).

1.2.1 Χουμικές ουσίες

Οι χουμικές ουσίες (humic substances - HS) σχηματίζονται από χημικούς και βιολογικούς μετασχηματισμούς φυτικής και ζωικής ύλης και από μικροβιακό μεταβολισμό. Αντιπροσωπεύουν την κύρια δεξαμενή οργανικού άνθρακα στην επιφάνεια της γης και συμβάλλουν στη ρύθμιση πολλών κρίσιμων οικολογικών και περιβαλλοντικών διαδικασιών. Ρυθμίζουν τον κύκλο άνθρακα και αζώτου του εδάφους, την ανάπτυξη των φυτών και των μικροοργανισμών, τη μεταφορά ενώσεων και βαρέων μετάλλων που προέρχονται από ανθρωπογενείς παράγοντες και τη σταθεροποίηση της δομής του εδάφους (Canellas κ.ά., 2015). Οι χουμικές ουσίες χαρακτηρίζονται ως μια περίπλοκη ομάδα ασθενών πολυανιόντικων βιογενετικών ηλεκτρολυτών (biogenic polyanionic weak electrolytes) με κυμαινόμενο μέγεθος μορίου, που δύνανται να αντιδράσουν με οργανικές και ανόργανες ουσίες του περιβάλλοντος (Uyguner and Bekbolet, 2005).

Ανάλογα με την διαλυτότητά τους στο νερό ως συνάρτηση του pH, οι χουμικές ουσίες διαχωρίζονται στα χουμικά οξέα (humic acids - HA), τα φουλβικά οξέα (fulvic acids - FA) και τη χουμίνη (humín). Τα χουμικά οξέα αποτελούνται από οργανικά συστατικά μεγάλου μοριακού βάρους, τα οποία είναι διαλυτά σε αλκαλικό περιβάλλον και αδιάλυτα σε όξινο περιβάλλον. Αντιθέτως, τα φουλβικά οξέα αποτελούνται από ουσίες ενδιάμεσου μοριακού βάρους και είναι διαλυτά σε αλκαλικό και όξινο περιβάλλον (Uyguner και Bekbolet, 2005). Η χουμίνη είναι ένα κλάσμα των χουμικών ενώσεων σκούρου χρώματος και σε σχέση με τις υπόλοιπες διαλυτές χουμικές ουσίες έχει υψηλότερο μοριακό βάρος και χαμηλότερα επίπεδα λειτουργικών ομάδων (ιδιαίτερα καρβοξυλίου και υδροξυλίου) που προκαλούν χαμηλότερη πυκνότητα φορτίου και μειωμένη πολικότητα με αποτέλεσμα αυξημένη διαλυτότητα σε αλκαλικά υδατικά εκχυλίσματα (Hayes κ.ά., 2017).

1.2.2 Χουμικά οξέα και οι επιδράσεις τους στα φυτά

Τα χουμικά οξέα (HA) παίζουν σημαντικό ρόλο στην προώθηση της ανάπτυξης των φυτών με βιοδιέγερση. Μπορούν να προκαλέσει μεταβολές στον πρωτογενή και δευτερογενή μεταβολισμό του φυτού που συνδέεται με την ανοχή στο αβιοτικό στρες, που οδηγεί σε βελτιωμένη ανάπτυξη των φυτών και αυξημένη αντίσταση κατά του

αβιοτικού στρες. Προηγούμενες αναφορές έδειξαν ότι η εξωγενής εφαρμογή του χουμικού οξέος αύξησε το ξηρό βάρος του βλαστού και της ρίζας, την ανάπτυξη των φυτών και βελτίωσε την ανοχή των φυτών σε αβιοτικές καταπονήσεις. Η εφαρμογή του χουμικού οξέος θα μπορούσε να ενισχύσει τη σταθερότητα της μεμβράνης των κυττάρων, διατηρώντας την απορρόφηση νερού υπό ωσμωτικό στρες, την πρόσληψη καλίου, τη σύνθεση πρωτεϊνών και ορμονών, την επιμήκυνση των ριζικών κυττάρων και την αύξηση της παραγωγής. Επίσης έχει αναφερθεί ότι η εφαρμογή χουμικού οξέος μπορεί να προκαλέσει ενζυματική άμυνα των φυτών έναντι της αλατότητας. Άλλες πιθανές επιδράσεις του χουμικού οξέος είναι η αύξηση της ανάπτυξης των ριζών, η μεταβολή της πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων και η μείωση της βλάβης της μεμβράνης που μπορούν να προκληθούν από τις επιβλαβείς επιδράσεις της καταπόνησης από την αλατότητα (Saidimoradi κ.ά., 2019).

Τα φυσικά χουμικά οξέα (HA) μπορούν επίσης να είναι μια οικολογική εναλλακτική λύση για την αύξηση της αντοχής των φυτών στην ξηρασία, ακριβώς επειδή έχουν αποδειχθεί ότι διεγείρουν τη σύνθεση πρωτεϊνών σε διάφορα φυτικά όργανα καθώς και τη σύνθεση ή δραστηριότητα ενζύμων. Τα χουμικά οξέα διαδραματίζουν αυτόν τον ρόλο μέσω ενός φυτορμονικού μηχανισμού και μπορούν να διεγείρουν δραστικά την H⁺-ATPάση στα φυτά. Πρόσφατα μελέτες ανέφεραν τη δράση του χουμικού οξέως στη διέγερση της δραστηριότητας της καταλάσης (CAT) και της δημιουργίας ROS, ενώ βιοδιεγέρτης από χουμικές ουσίες (SH), διεγείρει τη δραστηριότητα της υπεροξειδικής δισμουτάσης (SOD) και της υπεροξειδάσης ασκορβικού (APX) στα φυτά υπό συνθήκες καταπόνησης έλλειψης νερού (Garcia κ.ά., 2012).

Εκτός από την προστασία από αντιοξειδωτικές ενώσεις που προκύπτουν από καταστάσεις καταπονήσεων στα φυτά, τα χουμικά οξέα μπορούν να εξαλείψουν τις δυσμενείς επιπτώσεις των βαρέων μετάλλων. Στα μολυσμένα εδάφη με βαρέα μέταλλα ρυθμίζουν την κινητοποίηση ή το μετασχηματισμό των τοξικών μετάλλων, το ενεργοποιημένο αντιοξειδωτικό ενζυμικό σύστημα, την ισορροπία ορμονών όπως οι κυτοκινίνες, τη συσσώρευση προλίνης που λειτουργεί ως ωσμωτικό, την αυξημένη πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων, την επιμήκυνση των κυττάρων και την κυτταρική διαίρεση στα φύλλα (Konakci κ.ά., 2018).

Τέλος, η καταπόνηση στα φυτά από ακραίες θερμοκρασίες ταξινομείται σε τρεις τύπους ανάλογα με το στρες, που μπορεί να είναι υψηλή, χαμηλή ή θερμοκρασία ψύχους.

Τα καταπονημένα φυτά δείχνουν χαμηλούς ρυθμούς βλάστησης, επιβράδυνση ανάπτυξης, μειωμένη φωτοσύνθεση και συχνά πεθαίνουν. Τα χουμικά οξέα μπορούν να μετριάσουν τις επιπτώσεις αυτές παρουσιάζοντας αμυντικές ιδιότητες κατά των καταπονήσεων αυτών και να ανακουφίσουν το φυτικό αμυντικό σύστημα τέτοιων στρεσογόνων παραγόντων. Η εμφάνιση της καταπόνησης μπορεί να προκληθεί από μια υψηλή ή χαμηλή θερμοκρασία και μπορεί να εξαρτάται από τη διάρκεια της έκθεσης, τον ρυθμό των αλλαγών της θερμοκρασίας και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού στο οποίο εμφανίζεται η έκθεση στο στρες. Ωστόσο, τα φυτά διαθέτουν μια ποικιλία μοριακών μηχανισμών που περιλαμβάνουν πρωτεΐνες, αντιοξειδωτικά, μεταβολίτες και ρυθμιστικούς παράγοντες για την αντιμετώπιση των θερμοκρασιών, οι οποίοι ενισχύονται με την προσθήκη χουμικών οξέων (Feitosa de Vasconcelos και Garofalo Chaves, 2019) .

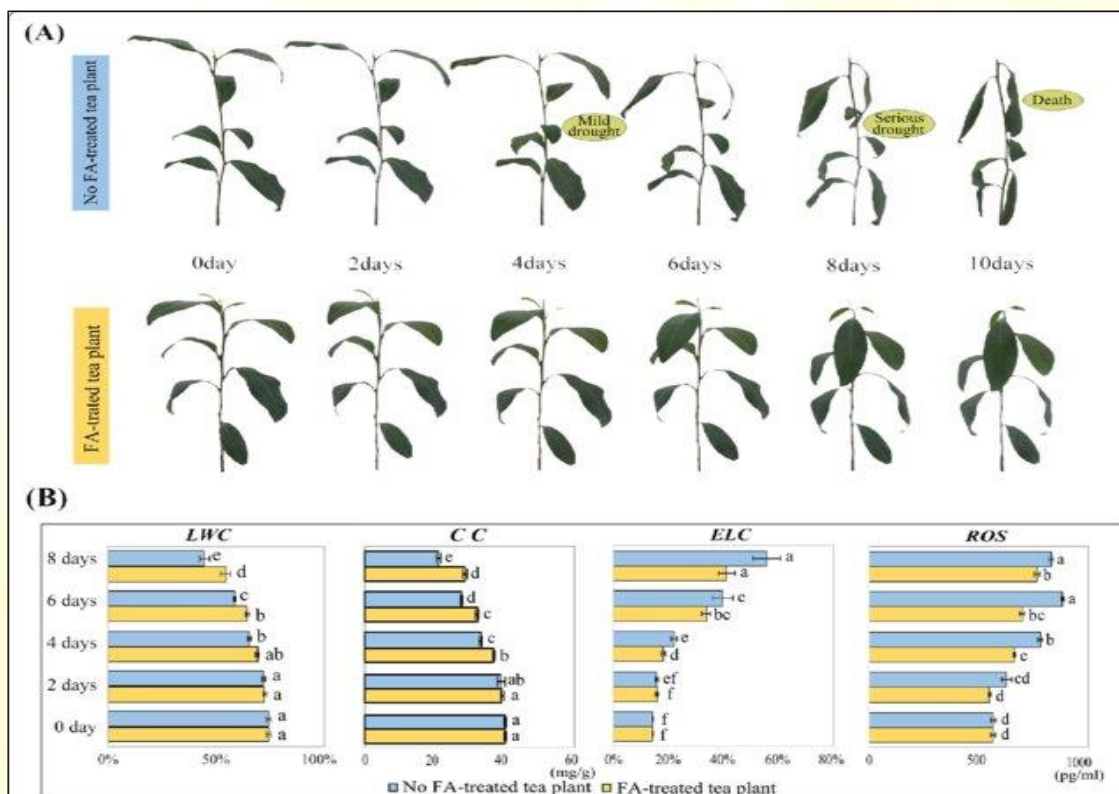
1.2.3 Φουλβικά οξέα και οι επιδράσεις τους στα φυτά

Το φουλβικά οξέα (FA), μία από τις δύο κατηγορίες φυσικού όξινου οργανικού πολυμερούς που μπορεί να εξαχθεί από χούμο που βρίσκεται σε ιζήματα, εδάφη ή υδάτινα περιβάλλοντα, είναι ένα κλάσμα οργανικής ύλης εδάφους. Είναι προϊόντα μικροβιακού μεταβολισμού και παίζουν διεγερτικό ρόλο στην προστασία των καλλιεργειών από την αλατότητα (Sun κ.ά., 2020).

Οι υπερβολικές ποσότητες βαρέων μετάλλων στα εδάφη αντιπροσωπεύουν ένα συνηθισμένο αβιοτικό στρες στα φυτά και αυτό έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζεται από την χουμική ύλη (HS) λόγω της επίδρασής τους στη μέτρηση μετάλλων και στη βιοδιαθεσιμότητα. Η δυνατότητα απόπλυσης και η απορρόφηση των βαρέων μετάλλων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κινητικότητα και τη διαθεσιμότητα των μετάλλων στο έδαφος, τα οποία με τη σειρά τους επηρεάζονται από την ποσότητα της στερεάς και διαλυμένης οργανικής ύλης που υπάρχει (Canellas κ.ά., 2015). Έρευνες έδειξαν ότι τα φουλβικά οξέα είναι ικανά να ανακουφίσουν τα φυτά από τη φυτοτοξικότητα του Pb συμπλοκοποιώντας το πολύ τοξικό ελεύθερο Pb^{2+} σε διάλυμα και μειώνοντας έτσι την πρόσληψη του. Ωστόσο, ο προληπτικός ρόλος των φουλβικών οξέων κατά της πίεσης Pb εξαρτάται από την ποσότητα που εφαρμόζεται στο έδαφος με μόνο υψηλή συγκεντρώσεις ικανές να δεσμεύουν αποτελεσματικά το Pb και να ανακουφίζουν την τοξικότητα

μετάλλου (Santos κ.ά., 2014). Τα φουλβικά οξέα που εφαρμόστηκαν σε μολυσμένο έδαφος ήταν αποτελεσματικό στη μείωση του στρες του Pb σε μελιτζάνες μειώνοντας τη μετατόπιση του Pb στους βλαστούς. Αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερη δέσμευση του μετάλλου στο έδαφος και κατά συνέπεια, μείωση του κινδύνου μεταφοράς στην τροφική αλυσίδα (Canellas κ.ά., 2015).

Έρευνες έχουν δείξει ότι τα φουλβικά οξέα επιδρούν θετικά και στην καταπόνηση από την ξηρασία. Προκειμένου να επαληθευτεί η επίδραση των φουλβικών οξέων στα φυτά τσαγιού κατά τη διάρκεια της καταπόνησης από την έλλειψη νερού, αναλύθηκαν τα φαινοτυπικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά βλαστών τσαγιού υπό στρες ξηρασίας. Τα φυτά τσαγιού εμφάνισαν το πρώτο ορατό σύμπτωμα ζημιάς από την ξηρασία, το μαρασμό των βλαστών μετά από 4 ημέρες σε σχέση με τους μάρτυρες, ενώ τα φυτά που υποβλήθηκαν σε θεραπεία με φουλβικά οξέα καθυστέρησαν σημαντικά τη μαρασμό των βλαστών. Μετά από 8 ημέρες ξηρασίας, παρόλο που τα φυτά τσαγιού που υπέστησαν επεξεργασία με φουλβικά οξέα παρουσίασαν παρόμοια τάση, ο βαθμός μαρασμού ήταν χαμηλότερος από αυτόν του μάρτυρα (Γράφημα 2 α). Επιπλέον, η περιεκτικότητα νερού στα φύλλα (LWC Leaf Water Content), η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη (CC), η σχετική αγωγιμότητα ηλεκτρολύτη (ELC) και οι ενεργές ρίζες οξυγόνου (ROS) σε φυτά τσαγιού που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με φουλβικά οξέα άλλαξαν σημαντικά στις 4 ημέρες της καταπόνησης από ξηρασία σε σύγκριση με τις ελεγχόμενες ομάδες (Γράφημα 2 β). Μεταξύ αυτών, το LWC και το CC στα φυτά τσαγιού που υπέστησαν επεξεργασία με φουλβικά οξέα παρουσίασαν πτωτικές τάσεις κατά τη διάρκεια της καταπόνησης από ξηρασία αλλά τα επίπεδα της μείωσης ήταν χαμηλότερα από αυτά των ελεγχόμενων ομάδων. Η ELC και το ROS στα φυτά τσαγιού που υπέστησαν αγωγή με φουλβικά οξέα παρουσίασαν ανοδικές τάσεις κατά τη διάρκεια του στρες στην ξηρασία, αλλά τα επίπεδα της αύξησης ήταν χαμηλότερα από αυτά των ελεγχόμενων ομάδων. Μετά από 8 ημέρες ξηρασίας, οι διαφορές των LWC, CC, ELC και ROS ήταν μεγαλύτερη μεταξύ των ομάδων που έλαβαν φουλβικά οξέα και των ελεγχόμενων ομάδων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι βλαστοί τσαγιού στις 4 και 8 ημέρες αντανάκλυσαν άμεσα το σημείο καμψής του βαθμού του ξηρασία (Sun κ.ά., 2020).



Γράφημα 2: Φαινοτυπικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά των φυτών τσαγιού που έχουν υποστεί αγωγή με FA υπό συνθήκες καταπόνησης ξηρασίας. Α) Φαινότυποι φυτών τσαγιού που έχουν υποστεί επεξεργασία με FA και των μαρτύρων τους. Β) Η τιμή των LWC (περιεκτικότητα νερού σε φύλλα), CC (περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη), ELC (σχετική αγωγιμότητα ηλεκτρολύτη) και ROS (είδη αντιδραστικού οξυγόνου). (Πηγή: Sun κ.ά., 2020)

1.3 Σκοποί της Διπλωματικής Εργασίας

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται γύρω από τις επιδράσεις που έχουν τα χουμικά και φουλβικά οξέα σε καλλιεργούμενα φυτά κάτω από συνθήκες αβιοτικών καταπονήσεων. Πραγματοποιήθηκε σύγκριση αποτελεσμάτων διαφόρων δημοσιευμένων ερευνών για να αποδειχτούν οι θετικές επιδράσεις των χουμικών και φουλβικών οξέων σε φυτά που υποβλήθηκαν σε συνθήκες αλατότητας, ξηρασίας και ακραίων θερμοκρασιών. Αναλύθηκαν οι παράγοντες που επηρεάζονται και βελτιώνονται με την προσθήκη χουμικών και φουλβικών οξέων σε διάφορες δοσολογίες.

2 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

*“Η φύση δεν γνωρίζει εξαφάνιση
αλλά μόνο μεταμόρφωση”*

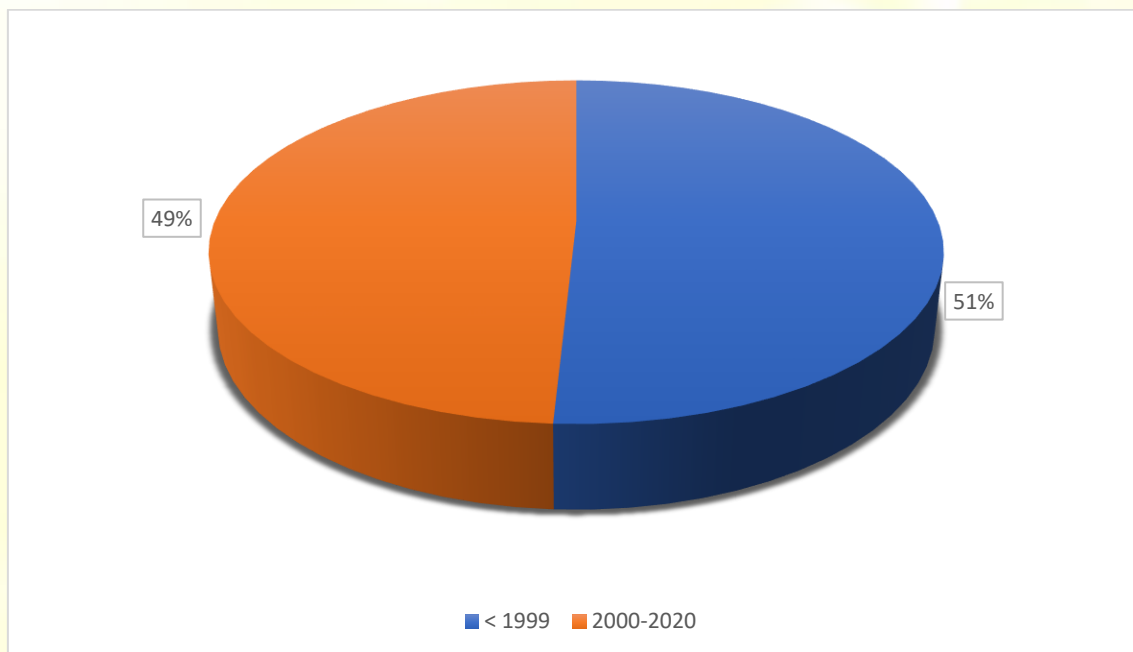
Αναξαγόρας

Για την πραγματοποίηση της έρευνας αντλήθηκαν ερευνητικά άρθρα από το google scholar. Η αναζήτηση έγινε τον Οκτώβριο του 2020 με αναζήτηση των όρων επιδράσεις χουμικών οξέων σε φυτά κάτω από συνθήκες αλατότητας, έλλειψης νερού και ακραίες θερμοκρασίες.

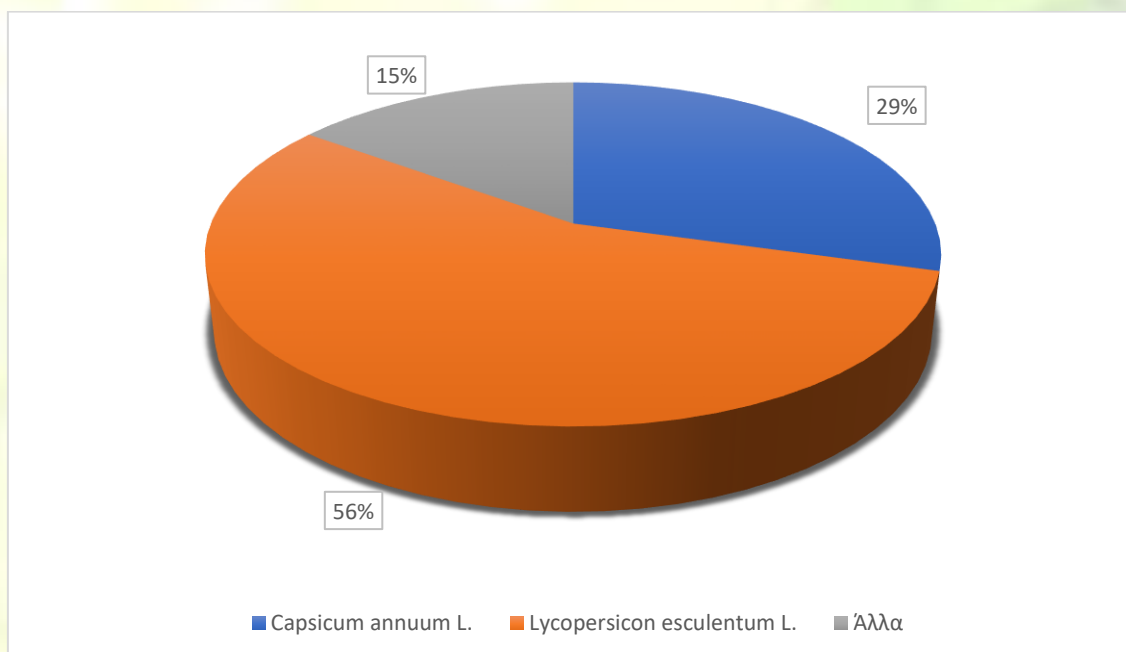
2.1 Αναζήτηση επιστημονικών δημοσιεύσεων για τις επιδράσεις χουμικών και φουλβικών οξέων σε φυτά που καταπονούνται από την αλατότητα

Η αναζήτηση όσον αφορά την καταπόνηση από αλατότητα απέφερε 35.800 αποτελέσματα. Ο αριθμός αυτός μειώθηκε στα 17.600 άρθρα όταν περιορίστηκε το χρονολογικό εύρος, το οποίο προσαρμόστηκε στα έτη 2000 έως 2020 (Γράφημα 3). Κάνοντας μία γρήγορη ανασκόπηση στα άρθρα που προέκυψαν, επιλέχθηκαν τα φυτά στα οποία πραγματοποιήθηκαν οι περισσότερες έρευνες. Έτσι κρίθηκε σκόπιμο, όσον αφορά την καταπόνηση από αλατότητα, η παρούσα διατριβή να επικεντρωθεί σε φυτά

πιπεριάς (*Capsicum annuum* L.), όπου βρέθηκαν 5.170 αποτελέσματα και σε φυτά τομάτας (*Lycopersicon esculentum* L.), όπου τα σχετικά άρθρα ανέρχονται σε 9.800 (Γράφημα 4). Κάποια από τα αναφερόμενα άρθρα απορρίφθηκαν αναγκαστικά λόγω των περιοριστικών όρων πρόσβασης σε αυτά.



Γράφημα 3: Δημοσιευμένα άρθρα επιδράσεων χουμικών οξέων σε φυτά κάτω από συνθήκες αλατότητας πριν το 1999 και μεταξύ 2000-2020 (πηγή: google scholar, 2020).



Γράφημα 4: Φυτά πάνω στα οποία έγιναν έρευνες για την επίδραση χουμικών οξέων κάτω από συνθήκες αλατότητας τις χρονολογίες 2000-2020 (πηγή: google scholar, 2020).

Αφού μελετήθηκαν οι έρευνες ως προς τον τρόπο διεξαγωγής τους, την εφαρμογή των χουμικών οξέων στα φυτά και τους παράγοντες που αναλύθηκαν στα αποτελέσματα των ερευνών, επιλέχθηκαν οι προς σύγκριση έρευνες.

Αυτές που αφορούν το φυτό της πιπεριάς (*Capsicum annuum* L.) είναι των Akladious και Mohamed, 2018; Gulser κ.ά., 2009; El-Sarkassy κ.ά., 2017; Yildiztekin κ.ά., 2018; Maraei κ.ά., 2019; Ibrahim κ.ά., 2019; Abdelaal κ.ά., 2019; El-Sayed κ.ά., 2019. Συγκεκριμένα οι έρευνες αυτές εστιάζουν στον προσδιορισμό παραμέτρων ανάπτυξης όπως μήκος βλαστών, μήκος ρίζας, αριθμός φύλλων, νωπά και ξηρά βάρη ριζών και στελεχών καθώς και μερικών βιοχημικών αναλύσεων όπως φωτοσυνθετικές χρωστικές ουσίες, περιεκτικότητα σε μέταλλα, ανθοκυανίνη, ασκορβικό οξύ, συνολική περιεκτικότητα σε φαινόλη και συνολικά φλαβονοειδή των βλαστών. Στην παρούσα έρευνα επιλέχθηκαν προς ανάλυση ο αριθμός καρπών ανά φυτό και η χλωροφύλλη a και b.

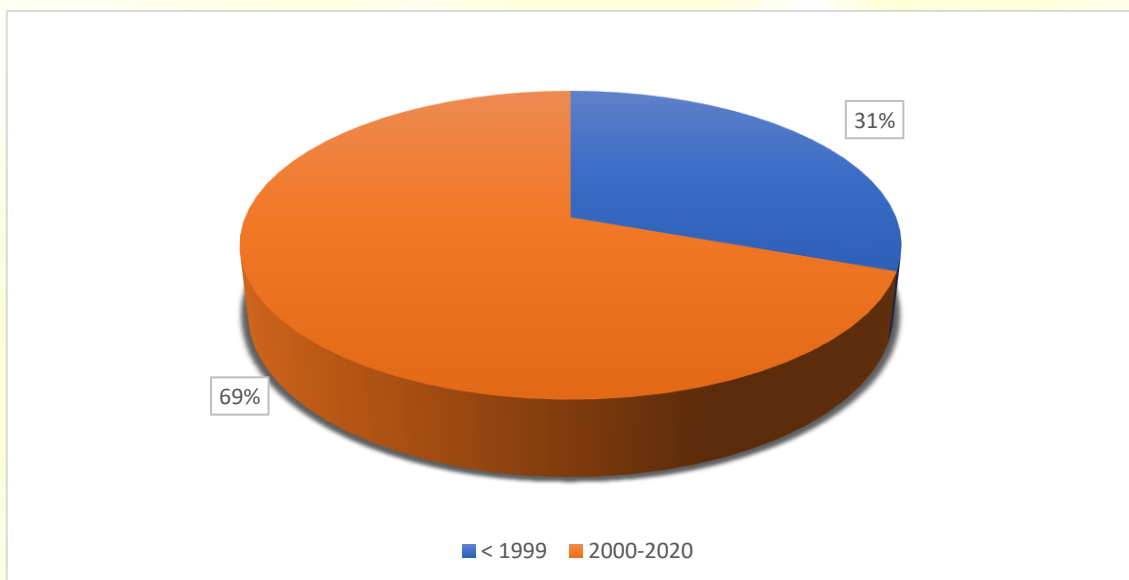
Για την έρευνα των επιδράσεων των χουμικών οξέων σε φυτά τομάτας (*Lycopersicon esculentum* L.) επιλέχθηκαν τα δημοσιευμένα επιστημονικά άρθρα των Habashy κ.ά., 2008; Rady, 2012; Casierra-Posada κ.ά., 2009; Kumar κ.ά., 2016; Kazemi, 2014; Husein κ.ά., 2015. Οι παραπάνω έρευνες προσδιόρισαν τον αριθμό καρπών ανά φυτό, τη διάμετρο και το βάρος των καρπών, την απόδοση, την επιφάνεια και βάρος των φύλλων, καθώς και μερικούς βιοχημικούς παράγοντες όπως τις φωτοσυνθετικές χρωστικές ουσίες και την περιεκτικότητα σε μέταλλα. Από τους παραπάνω παράγοντες επιλέχθηκαν για ανάλυση ο αριθμός καρπών ανά φυτό και η απόδοση.

2.2 Αναζήτηση ερευνητικών άρθρων σχετικά με τις επιδράσεις χουμικών και φουλβικών οξέων σε φυτά κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού

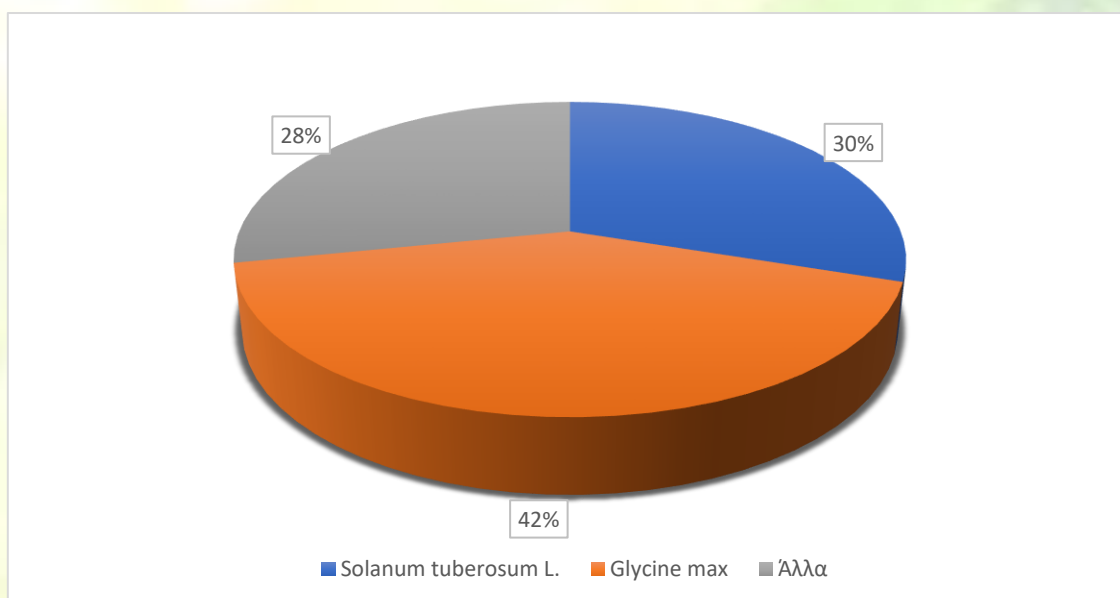
Ακολούθησε η έναρξη αναζήτησης επιστημονικών άρθρων σχετικά με τις επιδράσεις των χουμικών οξέων σε φυτά κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού. Από το google scholar αντλήθηκαν 48.700 άρθρα, τα οποία μειώθηκαν σε 17.600 όταν περιορίστηκε το εύρος χρονολογίας δημοσίευσης στα έτη 2000-2020 (Γράφημα 5).

Από τα παραπάνω αποτελέσματα επιλέχθηκαν προς έρευνα τα φυτά πατάτας

(*Solanum tuberosum* L.), σύμφωνα με την αριθμό ερευνών που έχουν δημοσιευτεί (Γράφημα 6). Ακολούθησε αναζήτηση που αφορά μόνο τα συγκεκριμένα φυτά με αποτέλεσμα ο αριθμός δημοσιεύσεων να διαμορφωθεί σε 5.290. Ένας αριθμός άρθρων απορρίφτηκε λόγω περιορισμένης πρόσβασης. Επίσης απορρίφθηκαν τα άρθρα ανασκόπησης καθώς και τα βιβλιογραφικά.



Γράφημα 5: Δημοσιευμένα άρθρα επιδράσεων χουμικών οξέων σε φυτά κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού πριν το 1999 και μεταξύ 2000-2020 (πηγή: google scholar, 2020).

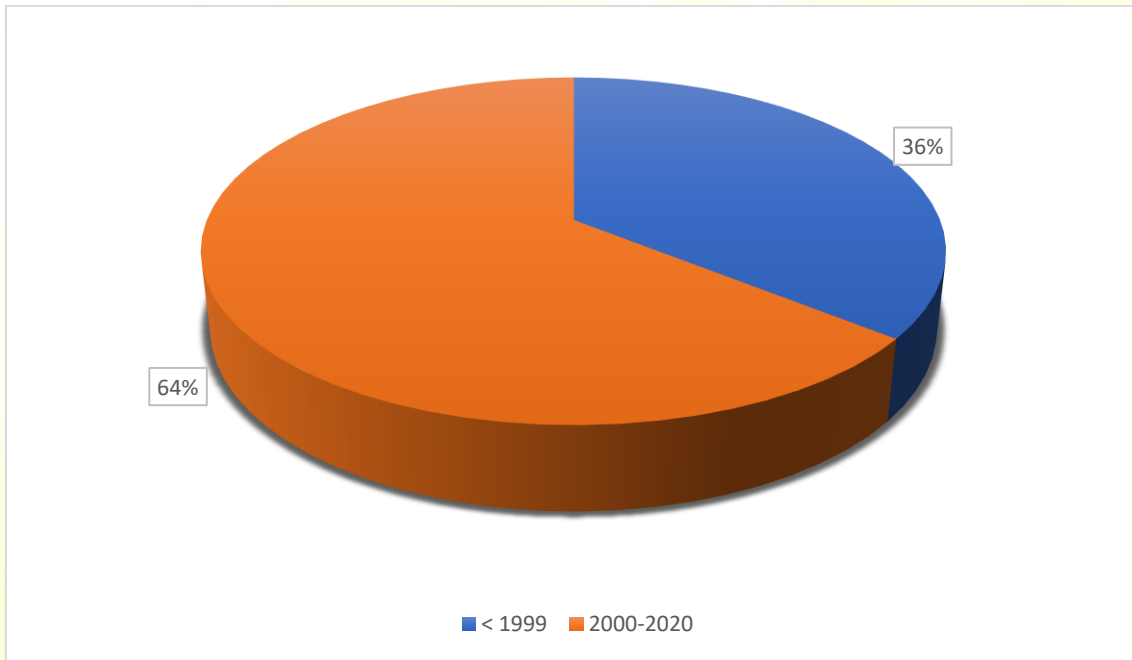


Γράφημα 6: Φυτά πάνω στα οποία έγιναν έρευνες για την επίδραση χουμικών οξέων υπό συνθήκες ξηρασίας τις χρονολογίες 2000-2020 (πηγή: google scholar, 2020).

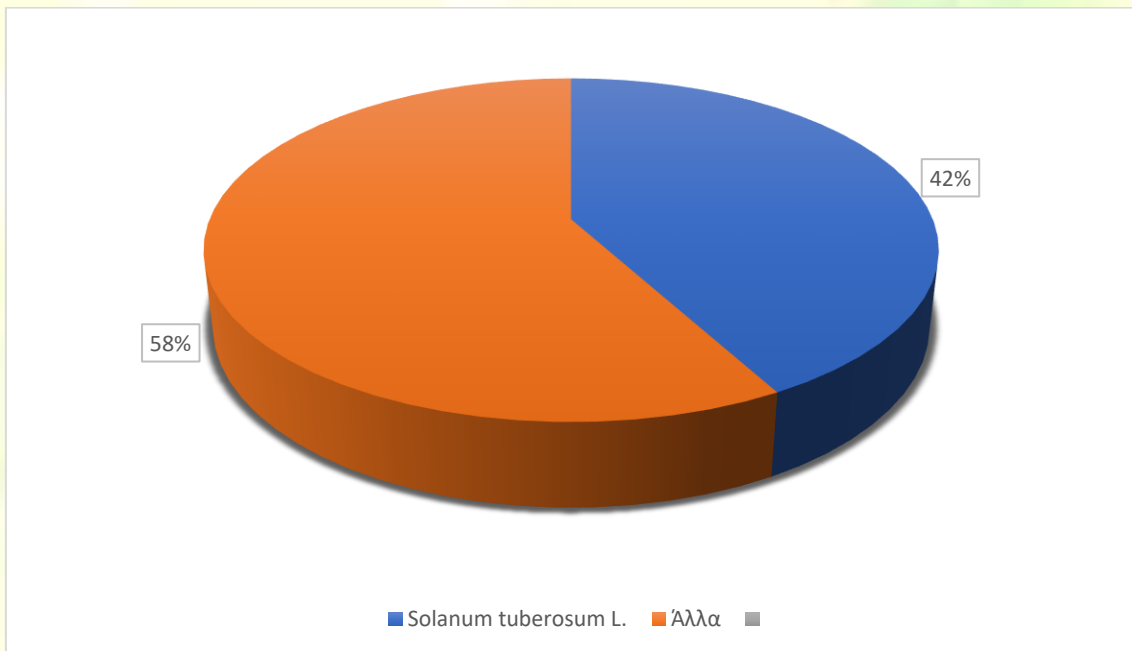
Για την επίδραση των χουμικών οξέων στην καταπόνηση από έλλειψη νερού σχετικά με την πατάτα (*Solanum tuberosum* L.), ξεχώρισαν οι επιστημονικές έρευνες των Alenazi κ.ά., 2016; Ali κ.ά., 2019; Man-hong κ.ά., 2020; Abd- All κ.ά., 2017; Dziugiel και Wadas, 2020; Selim κ.ά., 2009; Al-Zubaidi, 2018; Sarhan, 2011, οι οποίες αναλύθηκαν και συγκρίθηκαν μεταξύ τους, καθώς τα αποτελέσματά τους είχαν κοινούς παράγοντες. Έτσι οι παράμετροι που προσδιορίστηκαν είναι η στρεμματική απόδοση των φυτών, ο αριθμός καρπών ανά φυτό, το βάρος του καρπού, η διάμετρος του καρπού, το ξηρό βάρος της ρίζας, η φυλλική επιφάνεια ανά φυτό, η περιεκτικότητα σε μέταλλα, το ύψος των φυτών καθώς και το ξηρό και νωπό βάρος αυτών. Οι παράγοντες που επιλέχθηκαν να αναλυθούν είναι ο αριθμός καρπών ανά φυτό και η απόδοση.

2.3 Αναζήτηση επιστημονικών δημοσιεύσεων για τις επιδράσεις χουμικών και φουλβικών οξέων σε φυτά κάτω από υψηλές θερμοκρασίες

Το πρώτο κομμάτι της έρευνας ολοκληρώθηκε με την αναζήτηση και επιλογή επιστημονικών δημοσιεύσεων που σχετίζονται με τις επιδράσεις των χουμικών οξέων σε φυτά κάτω από συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών. Οι 28.500 δημοσιεύσεις μειώθηκαν σε 18.300 όταν περιορίστηκε το έτος δημοσίευσης τους (Γράφημα 7). Για την διεξαγωγή της έρευνας επιλέχθηκαν άρθρα από το 2000 έως το 2020. Τα φυτά με τις περισσότερες δημοσιευμένες επιστημονικές έρευνες βρέθηκε ότι είναι αυτά της τομάτας (*Lycopersicon esculentum* L.) οπότε και περιορίστηκαμε σε αυτά για περεταίρω ανάλυση. Αναζητώντας πλέον τις επιδράσεις των χουμικών οξέων στα συγκεκριμένα φυτά και πάντα κάτω από την καταπόνηση υψηλών θερμοκρασιών, τα δημοσιευμένα άρθρα μειώθηκαν σε 7.690 (Γράφημα 8).



Γράφημα 7: Δημοσιευμένα άρθρα επιδράσεων χουμικών οξέων σε φυτά κάτω από συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας πριν το 1999 και μεταξύ 2000-2020 (πηγή: google scholar, 2020).



Γράφημα 8: Φυτά πάνω στα οποία έγιναν έρευνες για την επίδραση χουμικών οξέων υπό συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας τις χρονολογίες 2000-2020 (πηγή: google scholar, 2020).

Αφού κάποια από τα αναφερόμενα άρθρα απορρίφθηκαν λόγω των περιοριστικών όρων πρόσβασης σε αυτά και αφού μελετήθηκαν οι έρευνες ως προς τον τρόπο διεξαγωγής τους και τους παράγοντες που λήφθηκαν υπόψη για τα αποτελέσματα των ερευνών, επιλέχθηκαν προς σύγκριση οι παρακάτω έρευνες. Για τα φυτά τομάτας οι δημοσιεύσεις των Abdellatif κ.ά., 2017; Khan κ.ά., 2020; Qin και Leskonar, 2020; Aman και Rab, 2013; Asri κ.ά., 2015; Husein κ.ά., 2015, οι οποίες απέφεραν αποτελέσματα ως προς τη διάμετρο και βάρος του καρπού, το ξηρό βάρος του καρπού και του βλαστού, το μήκος της ρίζας, το ύψος των φυτών, την απόδοση και την περιεκτικότητα σε μέταλλα.

2.4 Μέθοδοι επεξεργασίας αποτελεσμάτων

Αφού πραγματοποιήθηκαν οι απαραίτητες μετατροπές των μονάδων ώστε να είναι κοινές στα αποτελέσματα όλων των ερευνών, τα αποτελέσματα αυτά καταχωρήθηκαν σε φύλλα excel. Επειδή ήταν δύσκολο να βρεθούν έρευνες που να έχουν ακριβώς τις ίδιες ποσότητες προσθήκης χουμικών και φουλβικών οξέων και ακριβώς τον ίδιο βαθμό στον παράγοντα καταπόνησης, για να μπορέσουν να διεξαχθούν οι στατιστικές αναλύσεις, δημιουργήθηκαν κατηγορίες τόσο στα επίπεδα χουμικών και φουλβικών οξέων όσο και στους παράγοντες καταπόνησης.

2.4.1 Επεξεργασία δεδομένων χουμικών οξέων-αλατότητας

Για τη σύγκριση αποτελεσμάτων που αφορούν τα φυτά πιπεριάς και τομάτας κάτω από συνθήκες αλατότητας, δημιουργήθηκαν τρεις κατηγορίες χουμικών οξέων και τρεις κατηγορίες επιπέδου αλατότητας (Πίν. 2). Οι δοσολογίες χουμικών οξέων μετατράπηκαν σε g/kg ενώ η αλατότητα μετατράπηκε σε ppm.

Πίνακας 2: Κατηγορίες επεμβάσεων χουμικών οξέων και αλατότητας που δημιουργήθηκαν για τη σύγκριση των δεδομένων σε φυτά πιπεριάς και τομάτας.

Επίπεδα	Χουμικά οξέα (g/kg)	Επίπεδα	Αλατότητα (ppm)
1	0	1	0-500
2	0,10-1,00	2	501-3000
3	>1,00	3	>3000

2.4.2 Επεξεργασία δεδομένων χουμικών και φουλβικών οξέων-έλλειψης νερού

Για να είναι εφικτή η σύγκριση των αποτελεσμάτων σε φυτά πατάτας κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού, δημιουργήθηκαν κατηγορίες με τις δοσολογίες χουμικών-φουλβικών οξέων και με τα ποσοστά έλλειψης νερού (Πίν. 3). Οι δοσολογίες χουμικών-φουλβικών οξέων μετατράπηκαν σε g/l, ενώ η απόδοση μετατράπηκε σε t/ha.

Πίνακας 3: Κατηγορίες χουμικών-φουλβικών οξέων και έλλειψης νερού που δημιουργήθηκαν για τη σύγκριση των δεδομένων σε φυτά πατάτας.

Επίπεδα	Χουμικά οξέα (g/l)	Φουλβικά οξέα (g/l)	Επίπεδα	Έλλειψη νερού (%)
1	0	0	1	0
2	0,10-2,00	0,10-1,00	2	20-25
3	>2,00	>1,00	3	>25

2.4.3 Επεξεργασία δεδομένων χουμικών οξέων-αυξημένη θερμοκρασία

Για τη σύγκριση αποτελεσμάτων στα φυτά τομάτας κάτω από συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας, δημιουργήθηκαν δύο κατηγορίες χουμικών και φουλβικών οξέων και δύο κατηγορίες θερμικού στρες (Πίν. 4).

Πίνακας 4: Κατηγορίες χουμικών οξέων, φουλβικών οξέων και θερμικού στρες που δημιουργήθηκαν για τη σύγκριση των δεδομένων σε φυτά τομάτας.

Επίπεδα	Χουμικά οξέα	Φουλβικά οξέα	Επίπεδα	Θερμικό στρες
1	Όχι	Όχι	1	Όχι
2	Ναι	Ναι	2	Ναι

2.4.4 Στατιστική ανάλυση

Για τη σύγκριση των αποτελεσμάτων των παραπάνω επιστημονικών ερευνών που επιλέχθηκαν καθώς και για την στατιστική τους ανάλυση (ANNOVA-ανάλυση παραλλακτικότητας) χρησιμοποιήθηκαν τα στατιστικά πακέτα MiniTab 19 και SPSS Statistics 20 (IBM). Η σύγκριση των μέσων όρων έγινε με το τεστ πολλαπλών ευρών Duncan, για πιθανότητα $P < 0,05$.

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

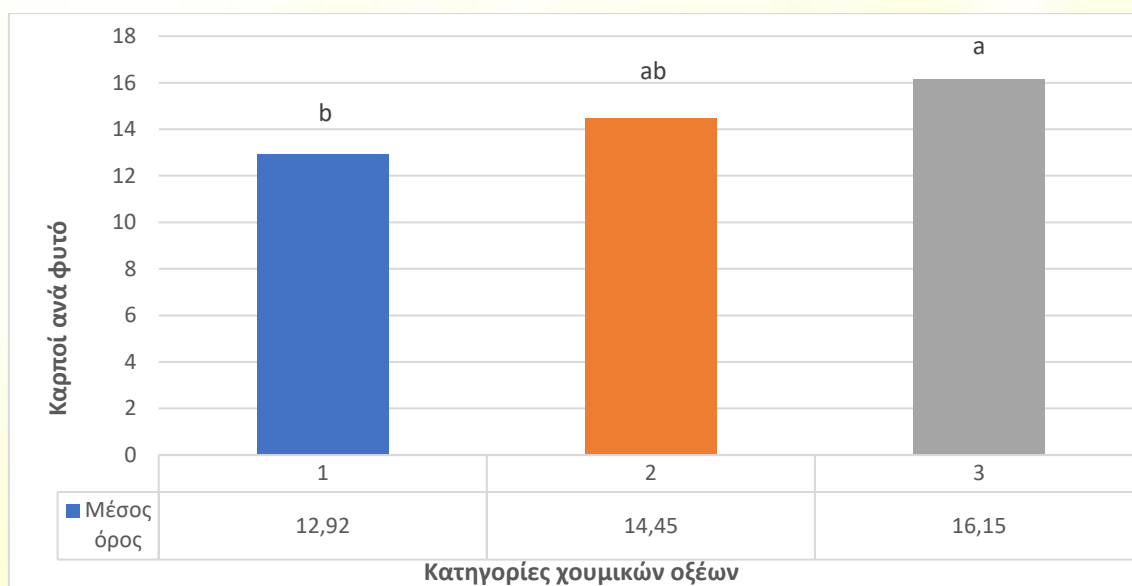
3.1 Επιδράσεις χουμικών οξέων σε φυτά πιπεριάς κάτω από συνθήκες αλατότητας

3.1.1 Επιδράσεις στον αριθμό καρπών/φυτό

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης, λαμβάνοντας υπόψιν τις κατηγορίες που δημιουργήθηκαν στους παράγοντες (Πίν. 2), έδειξαν διαφορές στον αριθμό καρπών ανά φυτό, ο οποίος επηρεάζεται τόσο από την αλατότητα όσο και από την προσθήκη χουμικών οξέων, καθώς $P < 0,05$.

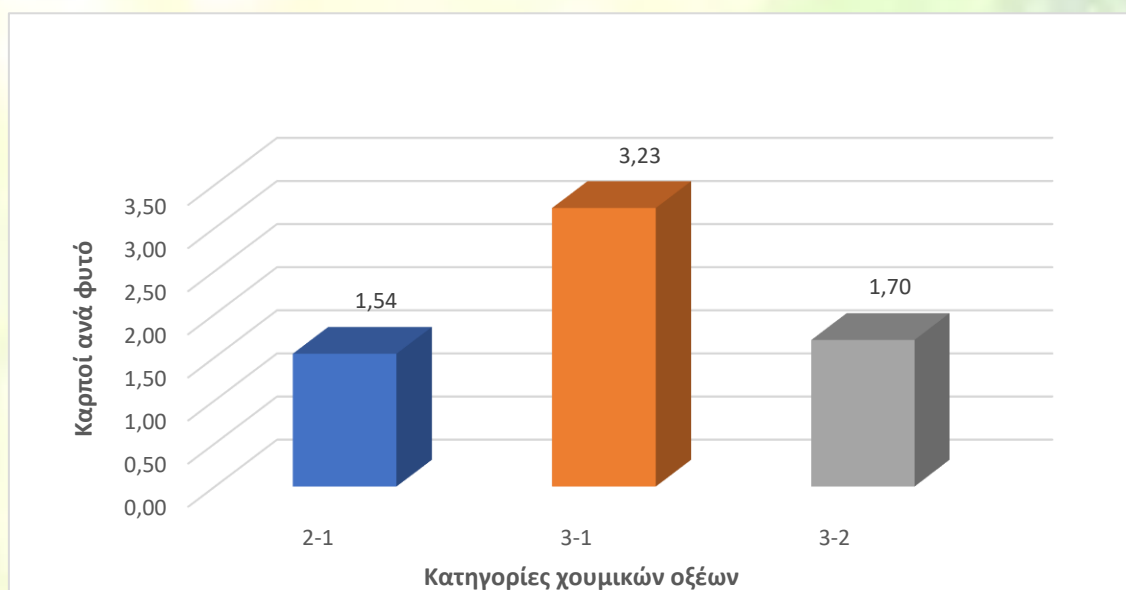
Ο μέσος όρος των καρπών ανά φυτό, σε περιβάλλον χωρίς αλατότητα κυμαίνεται στους 12,92 καρπούς χωρίς την προσθήκη χουμικών οξέων, ενώ μετά την προσθήκη χουμικών οξέων της κατηγορίας 2 ανέρχεται σε 14,45 καρπούς και στην τρίτη κατηγορία σε 16,15 καρπούς. Η αύξηση των καρπών στα φυτά που υποβλήθηκαν σε επεμβάσεις με χουμικά οξέα της κατηγορίας 3 αγγίζει το 25% σε σχέση με τα φυτά χωρίς προσθήκη χουμικών οξέων. Η αύξηση του αριθμού καρπών είναι ανάλογη της δοσολογίας χουμικών οξέων. Όσο αυξάνεται η ποσότητα των χουμικών οξέων, τόσο μεγαλύτερο αριθμό καρπών έχουμε ανά φυτό και η αύξηση αυτή είναι στατιστικά σημαντική ανάμεσα

στη μικρή και την μεγάλη συγκέντρωση χουμικών (Γράφημα 9).



Γράφημα 9: Η επίδραση χουμικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 g/kg), 2 (0,1-1,0 g/kg), 3 (>1,0 g/kg))σε περιβάλλον χωρίς αλατότητα, στο μέσο όρο καρπών ανά φυτό πιπεριάς. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.

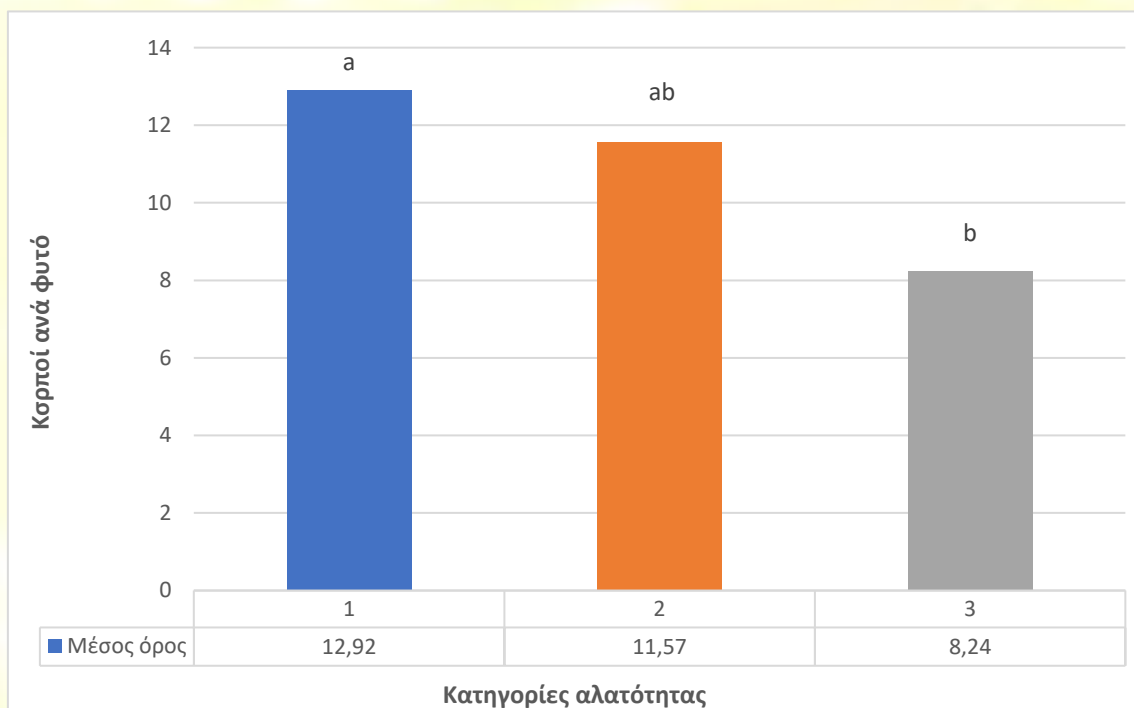
Στους μέσους όρους μεταξύ των κατηγοριών παρατηρούνται διαφορές (Γράφημα 10). Μεταξύ των κατηγοριών 2-1 η διαφορά των μέσων όρων του αριθμού των καρπών είναι 1,54 και μεταξύ των κατηγοριών 3-2 η διαφορά είναι 1,70. Η μεγαλύτερη διαφορά των μέσων όρων παρατηρείται μεταξύ των κατηγοριών 3-1, η οποία κυμαίνεται στους 3,23.



Γράφημα 10: Διαφορά μεταξύ των μέσων όρων του αριθμού καρπών ανά φυτό πιπεριάς μεταξύ των τριών συγκεντρώσεων χουμικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 g/kg), 2 (0,1-1,0 g/kg), 3 (>1,0 g/kg)) σε περιβάλλον χωρίς αλατότητα.

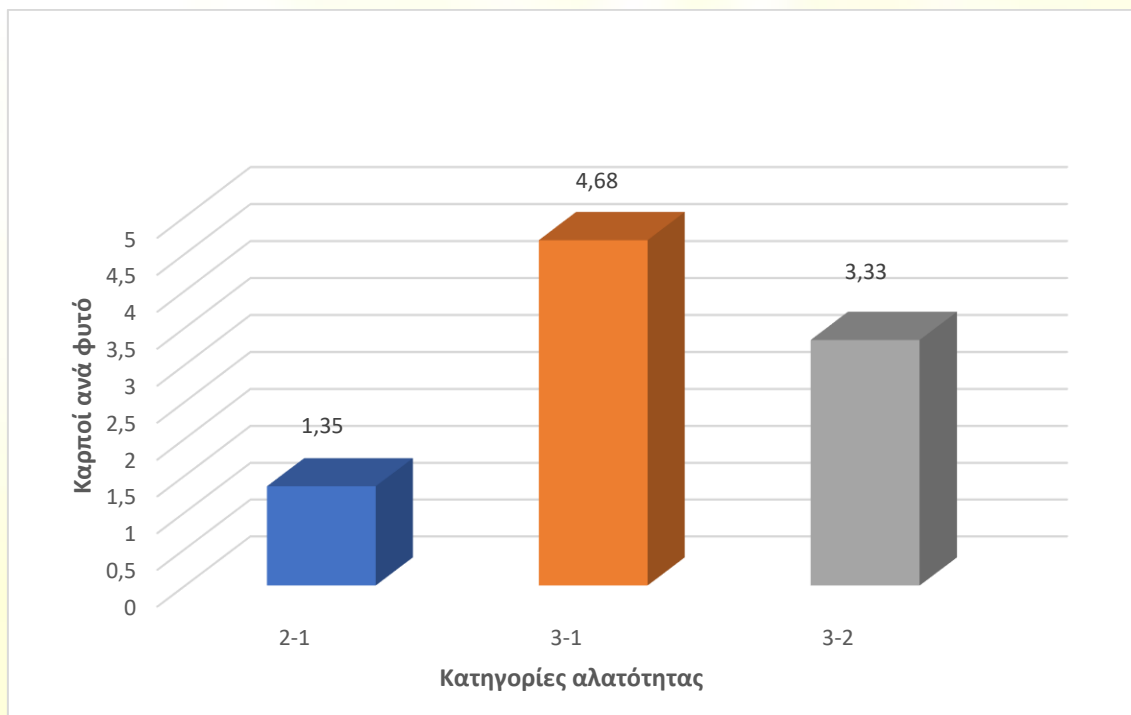
Ο ρόλος της εφαρμογής χουμικών και φουλβικών οξέων στην αντιμετώπιση διαφορετικών αβιοτικών καταπονήσεων σε καλλιεργούμενα φυτά

Σχετικά με την αλατότητα, τα αποτελέσματα έδειξαν επίσης σημαντικές επιδράσεις, με την κατηγορία 3 να ξεχωρίζει, με τον μικρότερο μέσο όρο καρπών. Ο μέσος όρος του αριθμού καρπών ανά φυτό στα επίπεδα 1,2 και 3 ανέρχεται σε 12,92 καρπούς, 11,57 καρπούς και 8,24 καρπούς αντίστοιχα. Στην κατηγορία 3, στην οποία υπάρχει η μεγαλύτερη αλατότητα, παρατηρείται μία μείωση των καρπών κατά 36,21% σε σχέση με τα φυτά που δεν υποβλήθηκαν σε συνθήκες αλατότητας. Όσο μικρότερη η αλατότητα τόσο περισσότεροι είναι οι καρποί ανά φυτό, με τα μέγιστα επίπεδα αλατότητας να προκαλούν στατιστικά σημαντική μείωση (Γράφημα 11).



*Γράφημα 11: Η επίδραση της αλατότητας (Συγκεντρώσεις: 1(0-500ppm), 2(501-3000ppm), 3(>3000ppm)) χωρίς την επίδραση χουμικών οξέων στο μέσο όρο καρπών ανά φυτό πιπεριάς. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.*

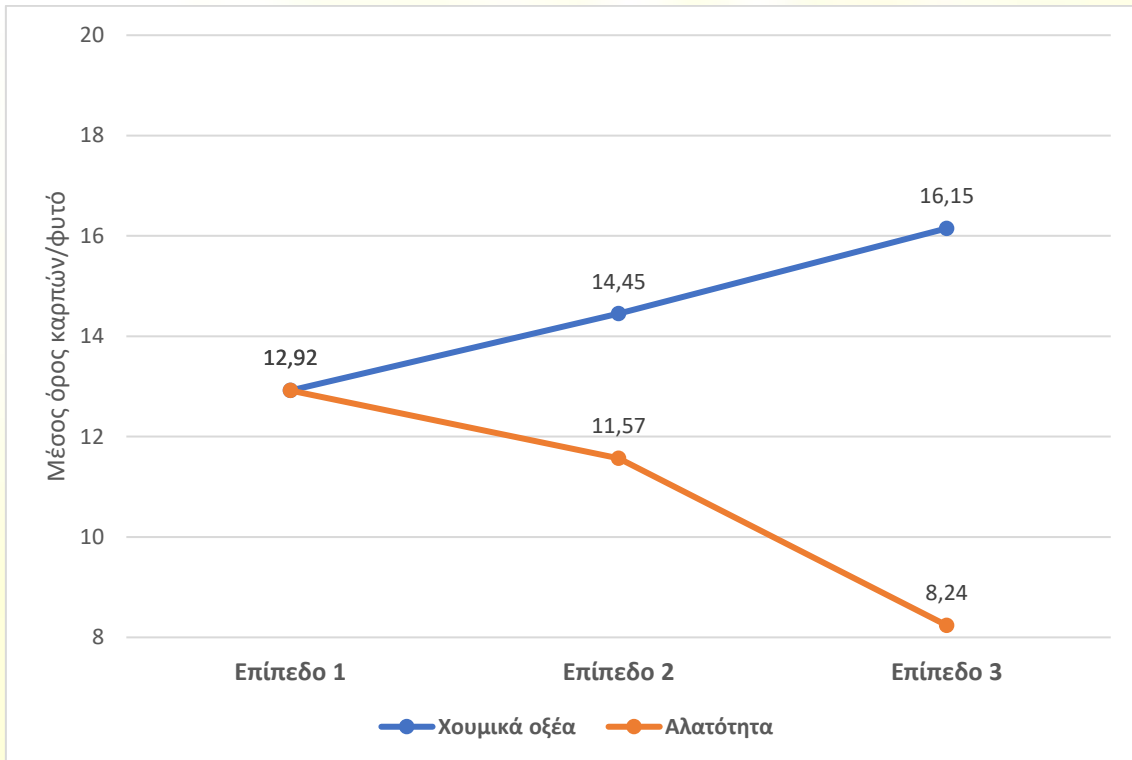
Οι διαφορές των μέσων όρων μεταξύ των κατηγοριών φαίνονται στο Γράφημα 12. Μεταξύ των κατηγοριών 2-1 η διαφορά των μέσων όρων των καρπών είναι 1,35 και μεταξύ των κατηγοριών 3-2 η διαφορά είναι 3,33. Η μεγαλύτερη διαφορά των μέσων όρων παρατηρείται μεταξύ των κατηγοριών 3-1, η οποία κυμαίνεται στους 4,68 καρπούς.



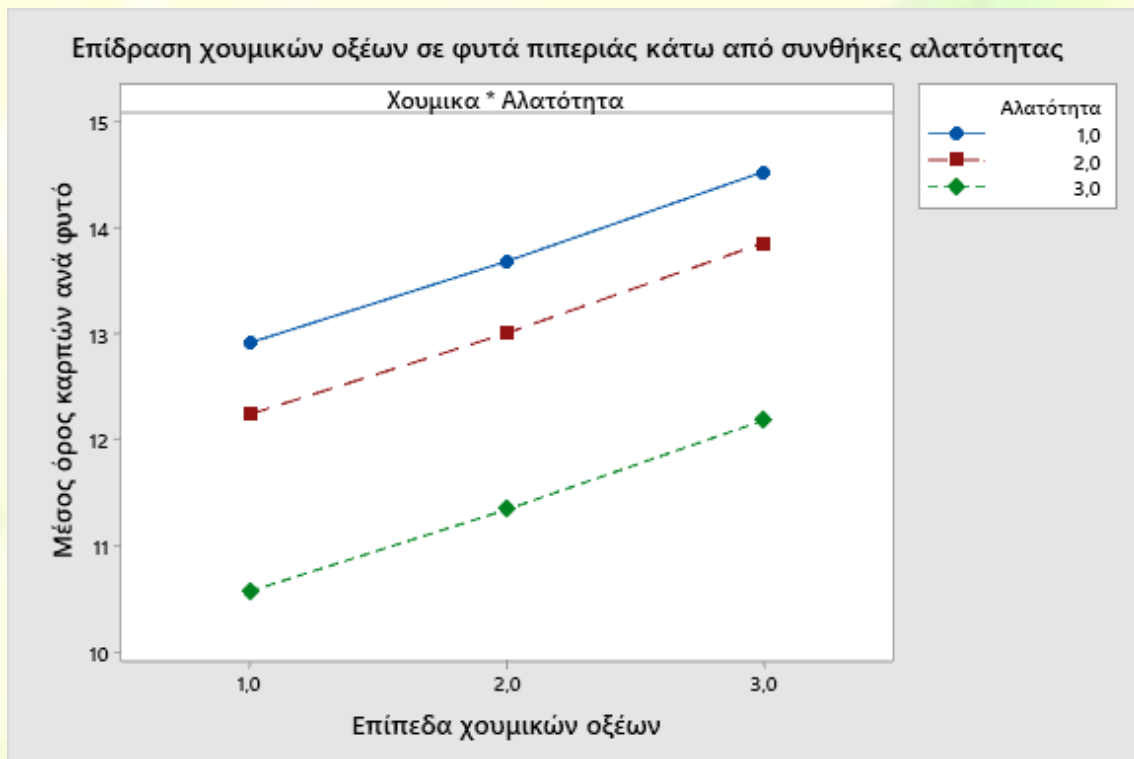
Γράφημα 12: Διαφορά μεταξύ των μέσων όρων του αριθμού καρπών ανά φυτό πιπεριάς μεταξύ των τριών συγκεντρώσεων αλατότητας (Συγκεντρώσεις: 1(0-500ppm), 2(501-3000ppm), 3(>3000ppm)) σε περιβάλλον την επίδραση χουμικών οξέων.

Η προσθήκη χουμικών οξέων σε φυτά πιπεριάς αύξησε τον μέσο όρο του αριθμού των καρπών ανά φυτό, ενώ η αλατότητα είχε αρνητικές επιδράσεις στους καρπούς (Γράφημα 13). Στο Γράφημα 14 φαίνεται πώς επηρέασαν τα χουμικά οξέα τον αριθμό καρπών ανά φυτό πιπεριάς όταν αυτά προστέθηκαν σε φυτά που υποβλήθηκαν σε συνθήκες αλατότητας. Σε επίπεδο αλατότητας 2, ο μέσος όρος καρπών με την προσθήκη χουμικών οξέων επιπέδου 2 και 3 ανέρχεται σε 13,01 και 13,86 καρπούς αντίστοιχα, ενώ σε επίπεδο αλατότητας 3, ο μέσος όρος καρπών με την προσθήκη χουμικών επιπέδου 2 και 3 είναι 11,35 και 12,19 καρποί αντίστοιχα.

Ο ρόλος της εφαρμογής χουμικών και φουλβικών οξέων στην αντιμετώπιση διαφορετικών αβιοτικών καταπονήσεων σε καλλιεργούμενα φυτά



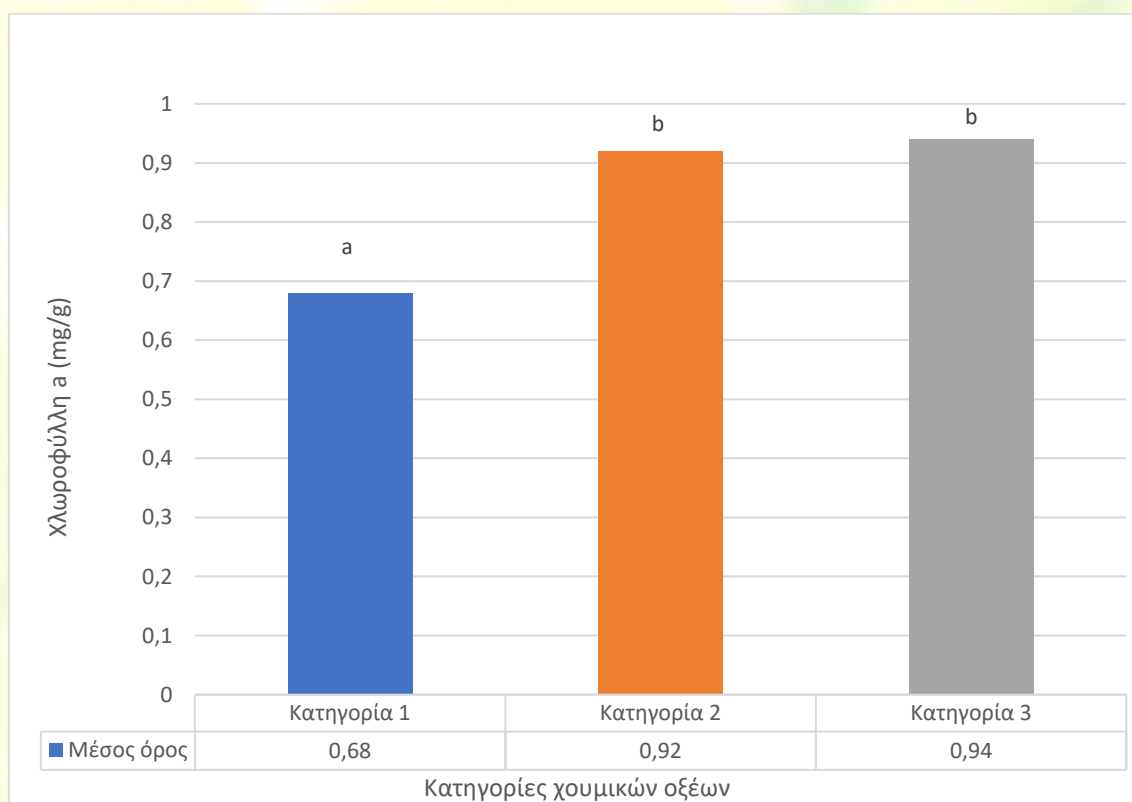
Γράφημα 13: Η επίδραση χουμικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 g/kg), 2 (0,1-1,0 g/kg), 3 (>1,0 g/kg)) σε περιβάλλον χωρίς αλατότητα, και η επίδραση της αλατότητας (Συγκεντρώσεις: 1(0-500ppm), 2(501-3000ppm), 3(>3000ppm)) χωρίς την επίδραση χουμικών οξέων στο μέσο όρο καρπών ανά φυτό πιπεριάς.



Γράφημα 14: Η επίδραση χουμικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 g/kg), 2 (0,1-1,0 g/kg), 3 (>1,0 g/kg)) σε στο μέσο όρο αριθμού καρπών ανά φυτό πιπεριάς κάτω από συνθήκες αλατότητας (Συγκεντρώσεις: 1(0-500ppm), 2(501-3000ppm), 3(>3000ppm)).

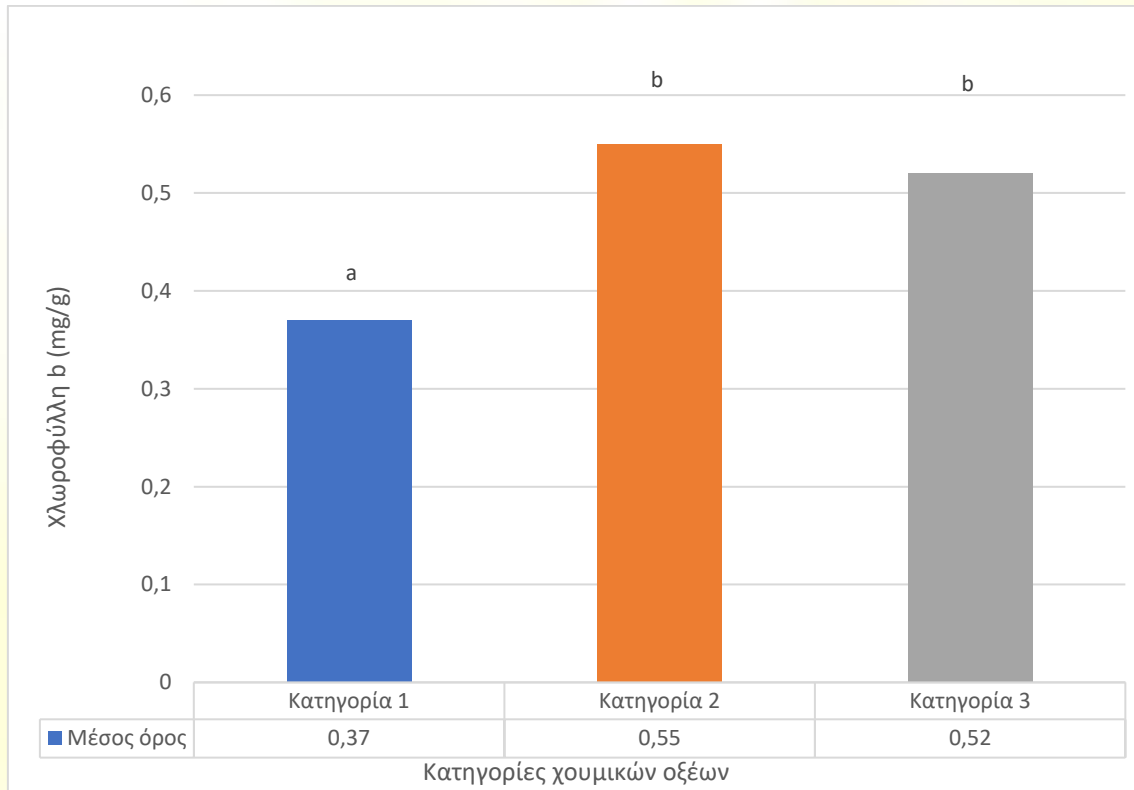
3.1.2 Επιδράσεις στη χλωροφύλλη a και b

Η προσθήκη χουμικών οξέων στα φυτά πιπεριάς είχε θετική επίδραση στη χλωροφύλλη a και b. Ο μέσος όρος χλωροφύλλης a πριν από την προσθήκη ποσότητας χουμικών οξέων βρέθηκε να είναι 0,68 mg/g ενώ της χλωροφύλλης b βρέθηκε 0,37 mg/g. Μετά την προσθήκη χουμικών οξέων των επιπέδων 2 και 3, η χλωροφύλλη a αυξήθηκε κατά 35% και 38% αντίστοιχα (Γράφημα 15), ενώ η χλωροφύλλη b αυξήθηκε κατά 48% και 42% αντίστοιχα (Γράφημα 16). Και στους δύο παράγοντες δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των κατηγοριών 2 και 3 των χουμικών οξέων. Ωστόσο παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των κατηγοριών αυτών και της κατηγορίας 1 των χουμικών οξέων.



Γράφημα 15: Η επίδραση χουμικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 g/kg), 2 (0,1-1,0 g/kg), 3 (>1,0 g/kg)) σε περιβάλλον χωρίς αλατότητα, στον μέσο όρο χλωροφύλλης a σε φυτά πιπεριάς. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.

Ο ρόλος της εφαρμογής χουμικών και φουλβικών οξέων στην αντιμετώπιση διαφορετικών αβιοτικών καταπονήσεων σε καλλιεργούμενα φυτά

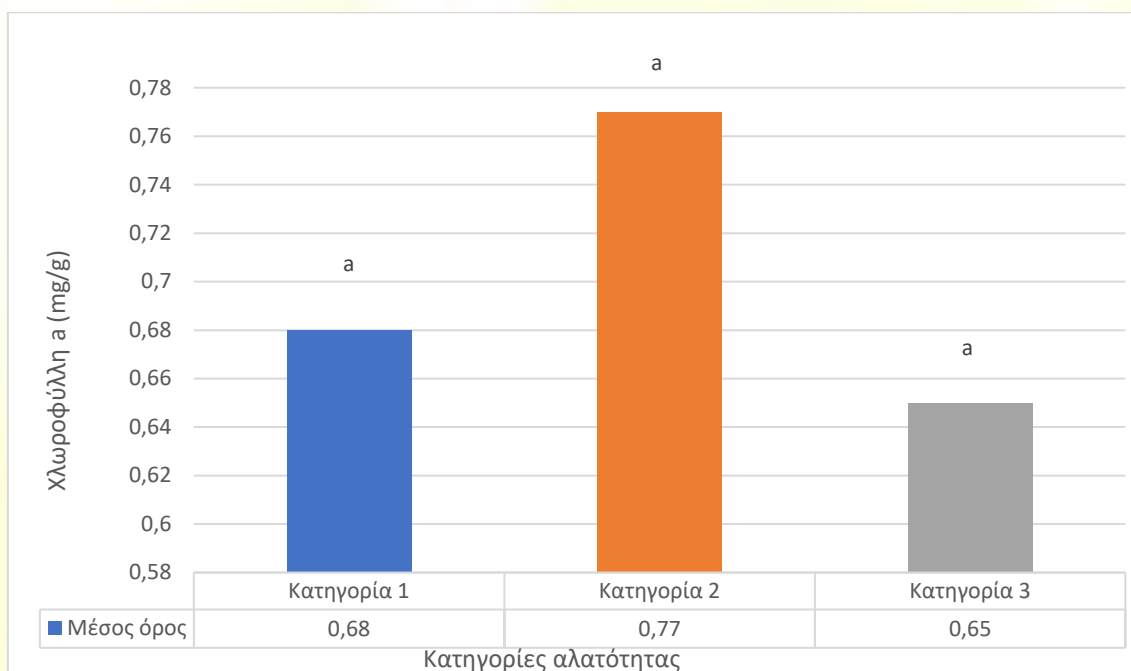


Γράφημα 16: Η επίδραση χουμικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 g/kg), 2 (0,1-1,0 g/kg), 3 (>1,0 g/kg)) σε περιβάλλον χωρίς αλατότητα, στον μέσο όρο χλωροφύλλης b σε φυτά πιπεριάς. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικές σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.

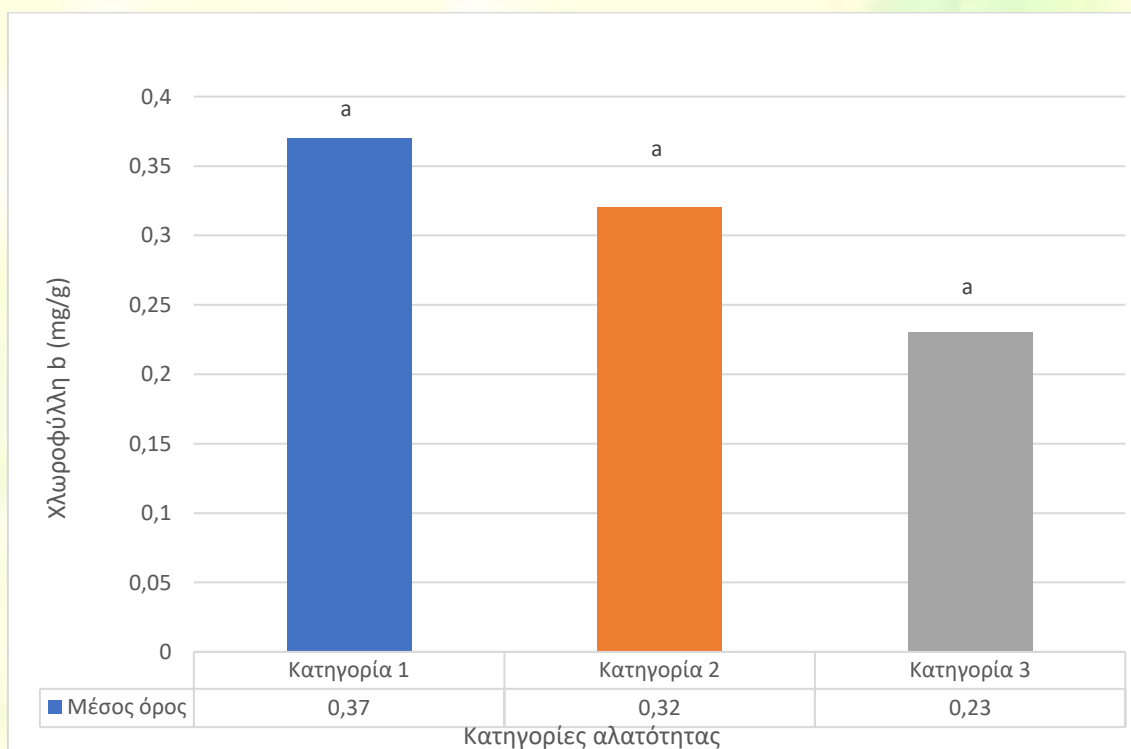
Η στατιστική ανάλυση των επιπέδων αλατότητας δεν έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές στην ποσότητα χλωροφύλλης a και b στα φυτά πιπεριάς. Η ποσότητα της χλωροφύλλης a στις κατηγορίες 1,2 και 3 προσδιορίστηκε σε 0,68 mg/g, 0,77 mg/g και 0,65 mg/g αντίστοιχα (Γράφημα 17) ενώ η ποσότητα χλωροφύλλης b κυμάνθηκε σε 0,37 mg/g, 0,32 mg/g και 0,23 mg/g αντίστοιχα (Γράφημα 18).

Η προσθήκη χουμικών οξέων σε φυτά πιπεριάς αύξησε τον μέσο όρο της χλωροφύλλης a και b, ενώ η αλατότητα δεν επηρέασε τις ποσότητες αυτές (Γράφημα 19). Στα Γραφήματα 20 και 21 φαίνεται πώς επηρέασαν τα χουμικά οξέα τη χλωροφύλλη a και b όταν αυτά προστέθηκαν σε φυτά κάτω από συνθήκες αλατότητας. Η αύξηση του μέσου όρου στις χλωροφύλλες a και b ήταν αναμενόμενη καθώς η αλατότητα δεν έχει καμία σημαντική επίδραση στους παράγοντες αυτούς. Σε επίπεδο αλατότητας 2, ο μέσος όρος χλωροφύλλης a με την προσθήκη χουμικών οξέων επιπέδου 2 και 3 ανέρχεται σε 0,88 mg/g και 1,07 mg/g αντίστοιχα, ενώ σε επίπεδο αλατότητας 3, ο μέσος όρος μετά την προσθήκη χουμικών επιπέδου 2 και 3 είναι 0,81 mg/g και 1,06 mg/g αντίστοιχα. Ο μέσος όρος χλωροφύλλης b σε επίπεδο αλατότητας 2 με χουμικά οξέα επιπέδου 2 και 3

ανέρχεται σε 0,65 mg/g , ενώ σε επίπεδο αλατότητας 3, ο μέσος όρος μετά την προσθήκη χουμικών επιπέδου 2 και 3 είναι 0,26 mg/g και 0,32 mg/g αντίστοιχα.

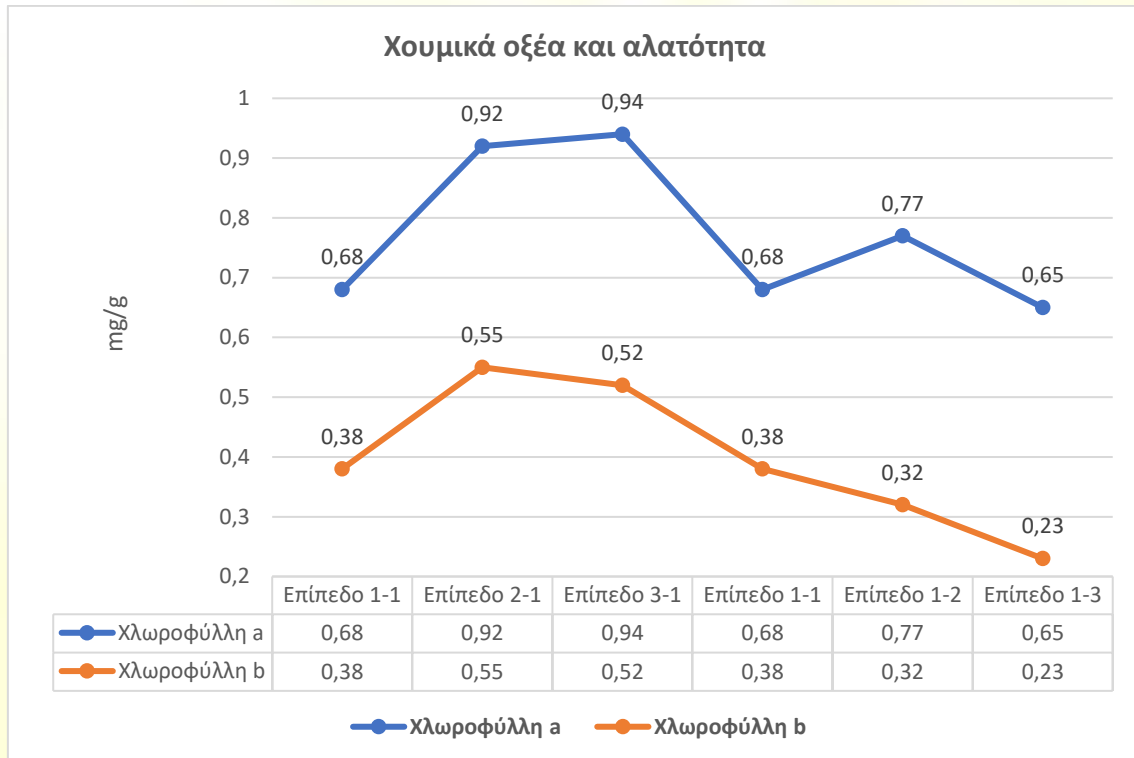


*Γράφημα 17: Η επίδραση της αλατότητας (Συγκεντρώσεις: 1(0-500ppm), 2(501-3000ppm), 3(>3000ppm)) χωρίς την επίδραση χουμικών οξέων στο μέσο όρο της χλωροφύλλης a σε φυτά πιπεριάς. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.*

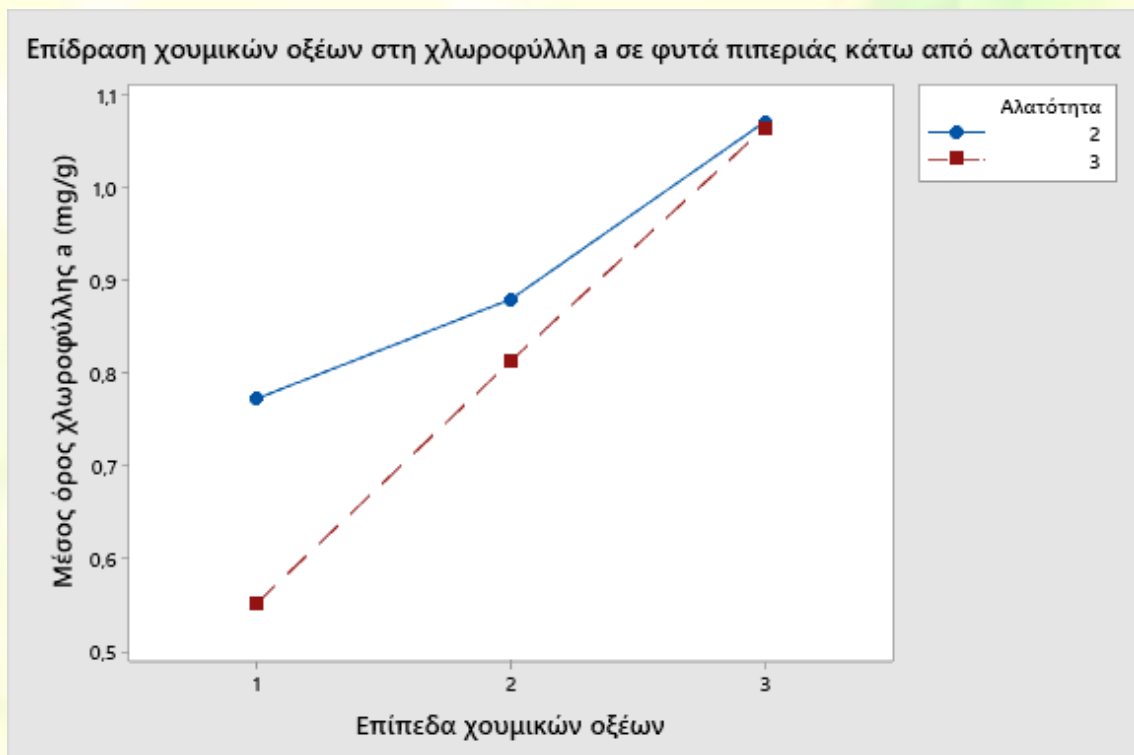


*Γράφημα 18: Η επίδραση της αλατότητας (Συγκεντρώσεις: 1(0-500ppm), 2(501-3000ppm), 3(>3000ppm)) χωρίς την επίδραση χουμικών οξέων στο μέσο όρο της χλωροφύλλης b σε φυτά πιπεριάς. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.*

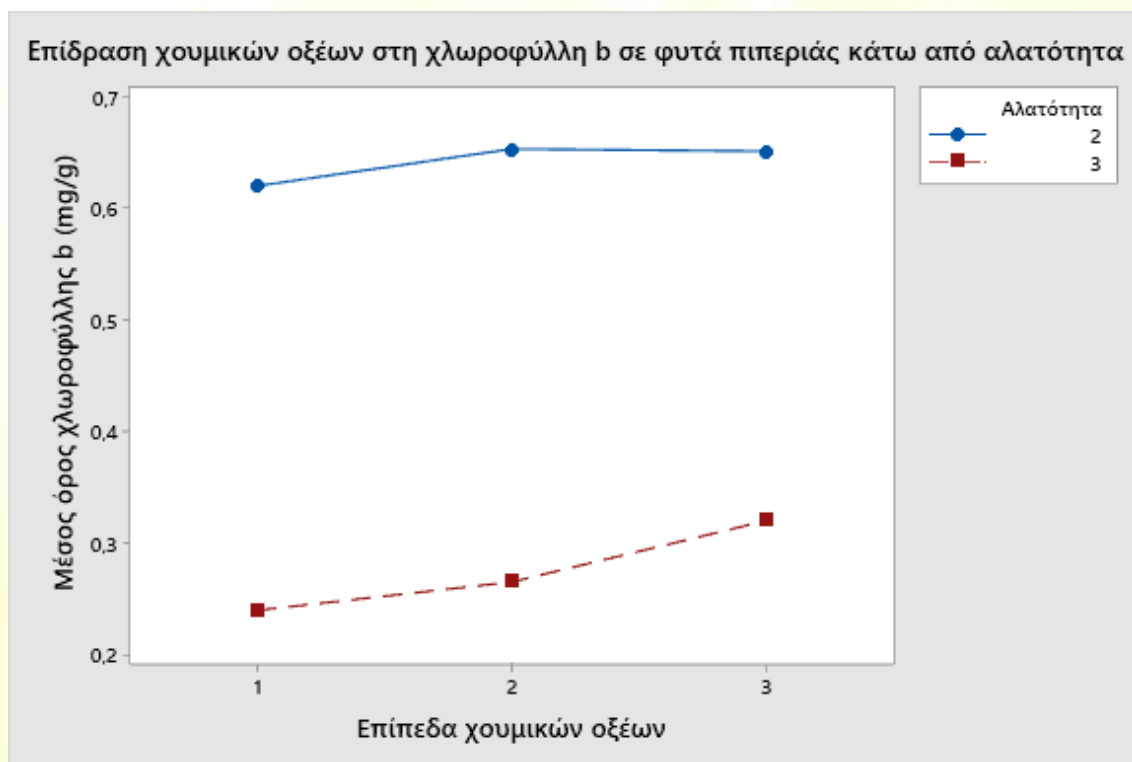
Ο ρόλος της εφαρμογής χουμικών και φουλβικών οξέων στην αντιμετώπιση διαφορετικών αβιοτικών καταπονήσεων σε καλλιεργούμενα φυτά



Γράφημα 19: Η επίδραση χουμικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 g/kg), 2 (0,1-1,0 g/kg), 3 (>1,0 g/kg)) σε περιβάλλον χωρίς αλατότητα, και η επίδραση της αλατότητας (Συγκεντρώσεις: 1(0-500ppm), 2(501-3000ppm), 3(>3000ppm)) χωρίς την επίδραση χουμικών οξέων στο μέσο όρο της χλωροφύλλης a και b σε φυτά πιπεριάς.



Γράφημα 20: Η επίδραση χουμικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 g/kg), 2 (0,1-1,0 g/kg), 3 (>1,0 g/kg)) στο μέσο όρο χλωροφύλλης a σε φυτά πιπεριάς κάτω από συνθήκες αλατότητας (Συγκεντρώσεις: 1(0-500ppm), 2(501-3000ppm), 3(>3000ppm)).



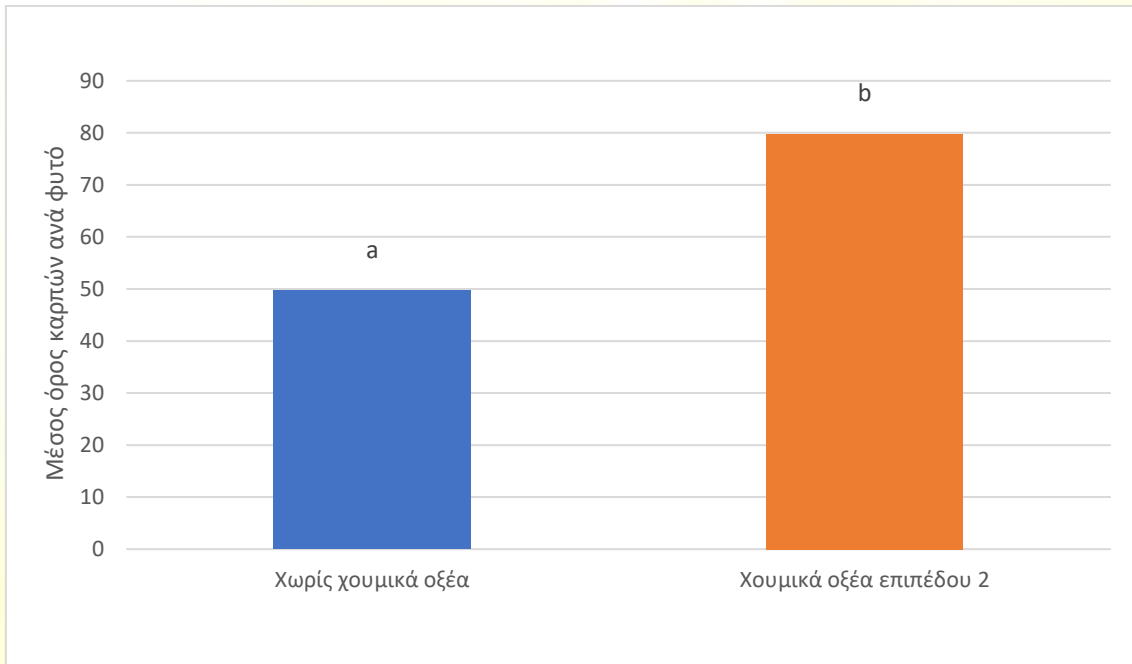
Γράφημα 21: Η επίδραση χουμικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 g/kg), 2 (0,1-1,0 g/kg), 3 (>1,0 g/kg) στο μέσο όρο χλωροφύλλης b σε φυτά πιπεριάς κάτω από συνθήκες αλατότητας (Συγκεντρώσεις: 1(0-500ppm), 2(501-3000ppm), 3(>3000ppm)).

3.2 Επίδρασεις χουμικών οξέων σε φυτά τομάτας κάτω από συνθήκες αλατότητας

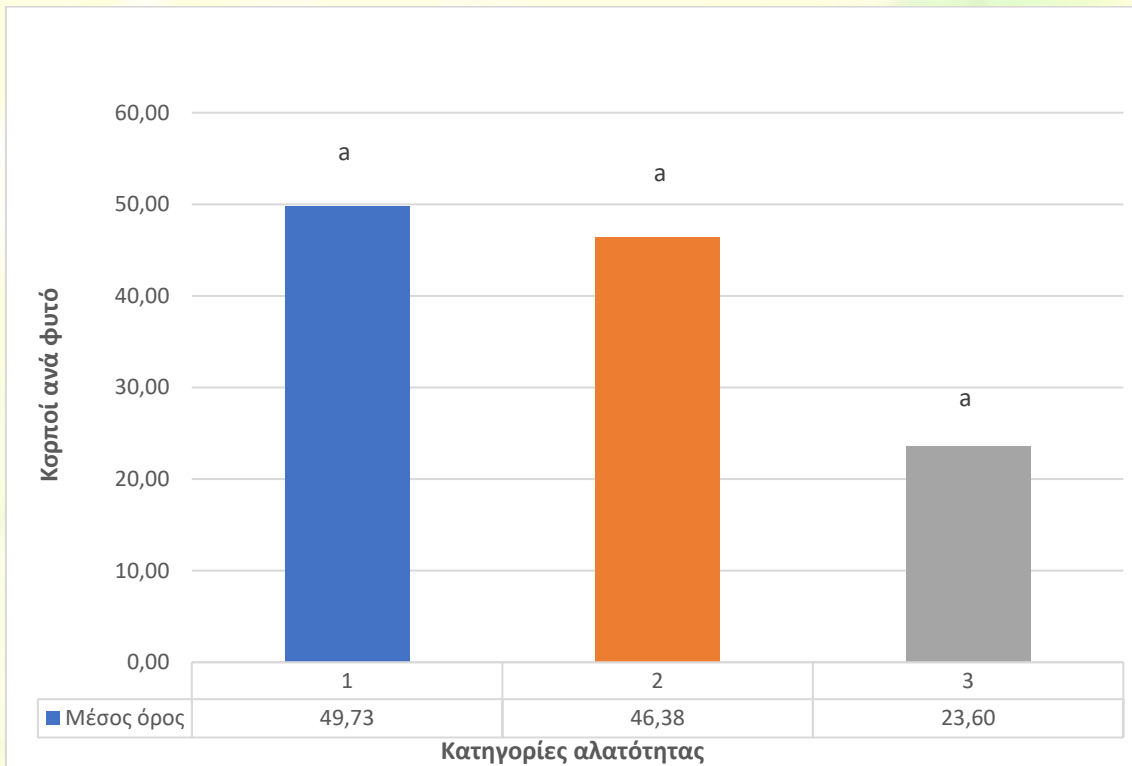
3.2.1 Επίδρασεις στον αριθμό καρπών/φυτό

Η προσθήκη χουμικών οξέων σε φυτά τομάτας είχε θετική επίδραση στον αριθμό καρπών ανά φυτό. Παρατηρήθηκαν στατικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων. Ο μέσος όρος αριθμού καρπών ανά φυτό πριν από την προσθήκη χουμικών οξέων βρέθηκε να είναι 49,73 καρποί ενώ μετά την προσθήκη χουμικών οξέων του επιπέδου 2, οι καρποί αυξήθηκαν κατά 60% αγγίζοντας περίπου τους 80 καρπούς (Γράφημα 22). Η αλατότητα είχε αρνητική επίδραση χωρίς ωστόσο να προκύψουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επιπέδων. Οι μέσοι όροι των καρπών ανά φυτό στα επίπεδα 1 και 2 της αλατότητας βρέθηκαν 49,73 και 46,38 καρποί αντίστοιχα, με το επίπεδο 3 να ξεχωρίζει με 23,60 καρπούς ανά φυτό. Παρατηρείται λοιπόν μία μείωση μεγαλύτερη του 50% (Γράφημα 23).

Ο ρόλος της εφαρμογής χουμικών και φουλβικών οξέων στην αντιμετώπιση διαφορετικών αβιοτικών καταπονήσεων σε καλλιεργούμενα φυτά

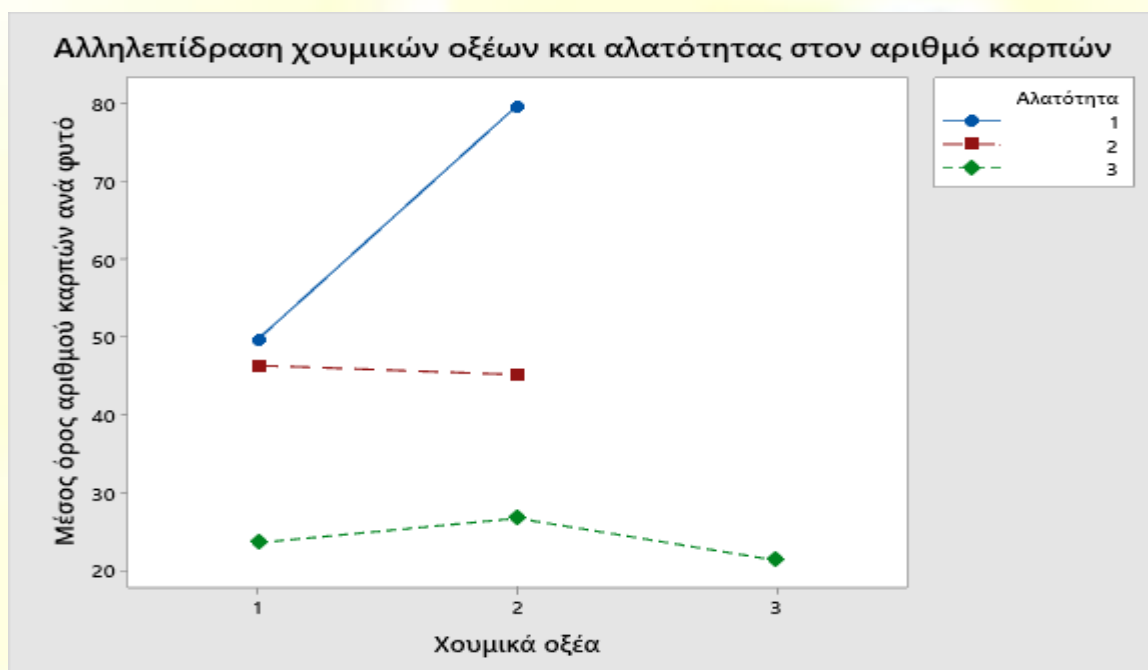


Γράφημα 22: Η επίδραση των χουμικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 g/kg), 2 (0,1-1,0 g/kg)) στο μέσο όρο αριθμού καρπών ανά φυτό τομάτας χωρίς την επίδραση αλατότητας. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.



Γράφημα 23: Η επίδραση της αλατότητας (Συγκεντρώσεις: 1(0-500ppm), 2(501-3000ppm), 3(>3000ppm)) χωρίς την επίδραση χουμικών οξέων στο μέσο όρο αριθμού καρπών ανά φυτό τομάτας. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.

Στο Γράφημα 24 φαίνεται πώς επηρέασαν τα χουμικά οξέα τον αριθμό καρπών ανά φυτό τομάτας όταν αυτά προστέθηκαν σε φυτά που υποβλήθηκαν σε συνθήκες αλατότητας. Σε επίπεδο αλατότητας 1 παρατηρήθηκε σταθερή αύξηση με ανάλογη αύξηση των χουμικών. Στο επίπεδο αλατότητας 2 δεν παρατηρήθηκε επίδραση των χουμικών, ενώ στο επίπεδο αλατότητας 3 παρατηρήθηκε μικρή μείωση των καρπών με την προσθήκη χουμικών επιπέδου 3.



Γράφημα 24: Αλληλεπίδραση χουμικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 g/kg), 2 (0,1-1,0 g/kg), 3 (>1,0 g/kg) και αλατότητας (Συγκεντρώσεις: 1(0-500ppm), 2(501-3000ppm), 3(>3000ppm) στον μέσο όρο αριθμού καρπών ανά φυτό τομάτας.

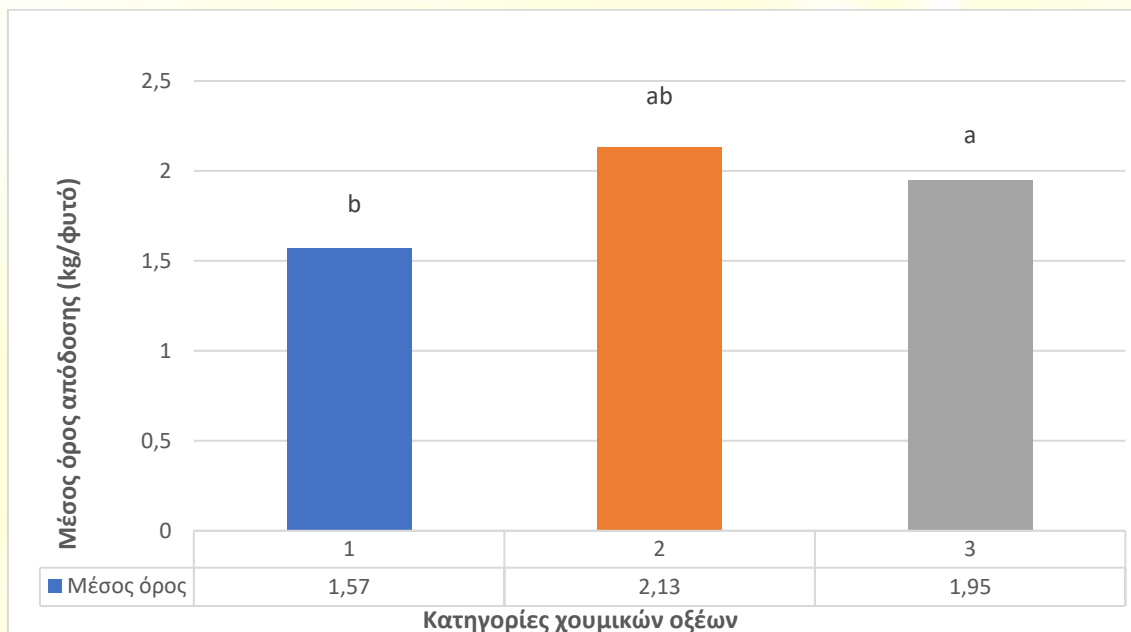
3.2.2 Επίδρασεις στην απόδοση (kg/φυτό)

Στατιστικά σημαντικές διαφορές παρατηρήθηκαν στην απόδοση της τομάτας με την προσθήκη χουμικών οξέων. Αύξηση στον μέσο όρο απόδοσης κατά 35% έδειξε η προσθήκη χουμικών οξέων επιπέδου 2, ενώ αύξηση κατά 22% παρατηρήθηκε με την προσθήκη χουμικών οξέων επιπέδου 3. Η προσθήκη χουμικών οξέων αύξησε την απόδοση στα φυτά της τομάτας, χωρίς όμως να παίζει σημαντικό ρόλο η ποσότητά τους (Γράφημα 25).

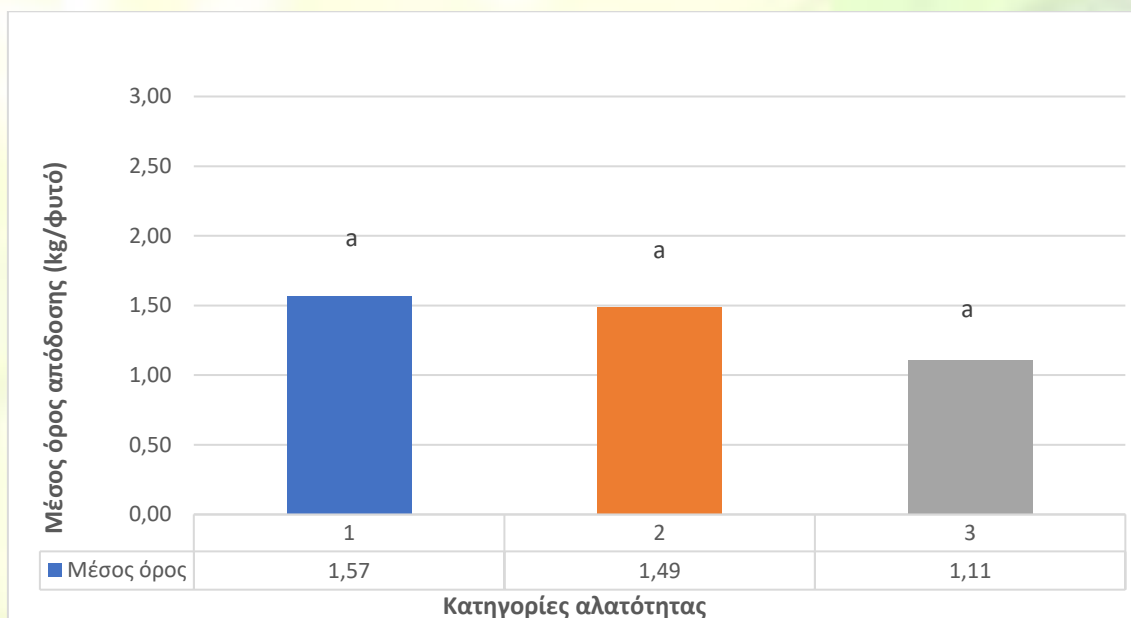
Η αλατότητα μείωσε την απόδοση ανά φυτό χωρίς ωστόσο να παρατηρηθούν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των επεμβάσεων. Οι μέσοι όροι που καταγράφηκαν για τα επίπεδα αλατότητας 1, 2 και 3 αντιστοιχούν σε 1,57 kg, 1,49kg και 1,11 kg αντίστοιχα (Γράφημα 26).

Ο ρόλος της εφαρμογής χουμικών και φουλβικών οξέων στην αντιμετώπιση διαφορετικών αβιοτικών καταπονήσεων σε καλλιεργούμενα φυτά

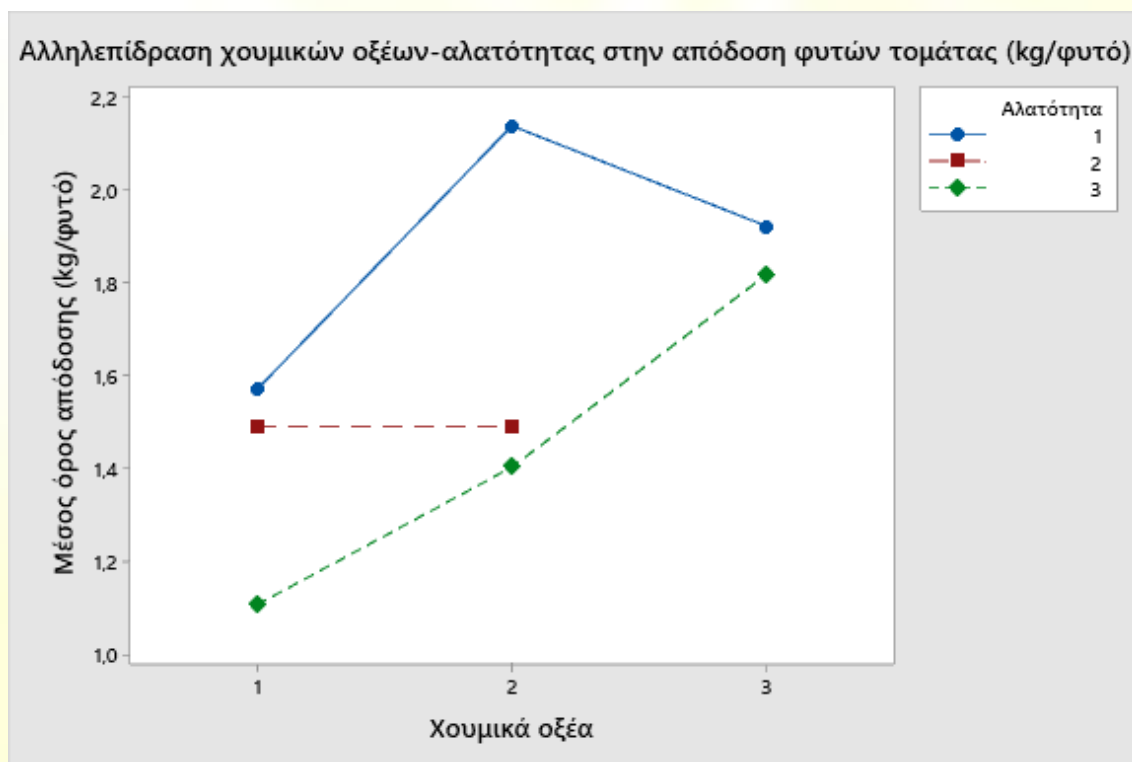
Η προσθήκη χουμικών οξέων σε φυτά που υποβλήθηκαν σε αλατότητα είχαν θετικές επιδράσεις στο επίπεδο αλατότητας 3. Η αύξηση που παρατηρήθηκε είναι της τάξης του 80%. Στο επίπεδο αλατότητας 2 δεν παρατηρήθηκε κάποια επίδραση των χουμικών οξέων (Γράφημα 27).



Γράφημα 25: Η επίδραση χουμικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 g/kg), 2 (0,1-1,0 g/kg), 3 (>1,0 g/kg) στο μέσο όρο απόδοσης (kg/φυτό) σε φυτά τομάτας χωρίς την επίδραση αλατότητας. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.



Γράφημα 26: Η επίδραση της αλατότητας (Συγκεντρώσεις: 1(0-500ppm), 2(501-3000ppm), 3(>3000ppm)) στον μέσο όρο απόδοσης (kg/φυτό) σε φυτά τομάτας.*Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.



Γράφημα 27: Αλληλεπίδραση χουμικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 g/kg), 2 (0,1-1,0 g/kg), 3 (>1,0 g/kg) και αλατότητας (Συγκεντρώσεις: 1(0-500ppm), 2(501-3000ppm), 3(>3000ppm) στον μέσο όρο απόδοσης (kg/φυτό) σε φυτά τομάτας.

3.3 Επιδράσεις χουμικών και φουλβικών οξέων σε φυτά πατάτας κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού

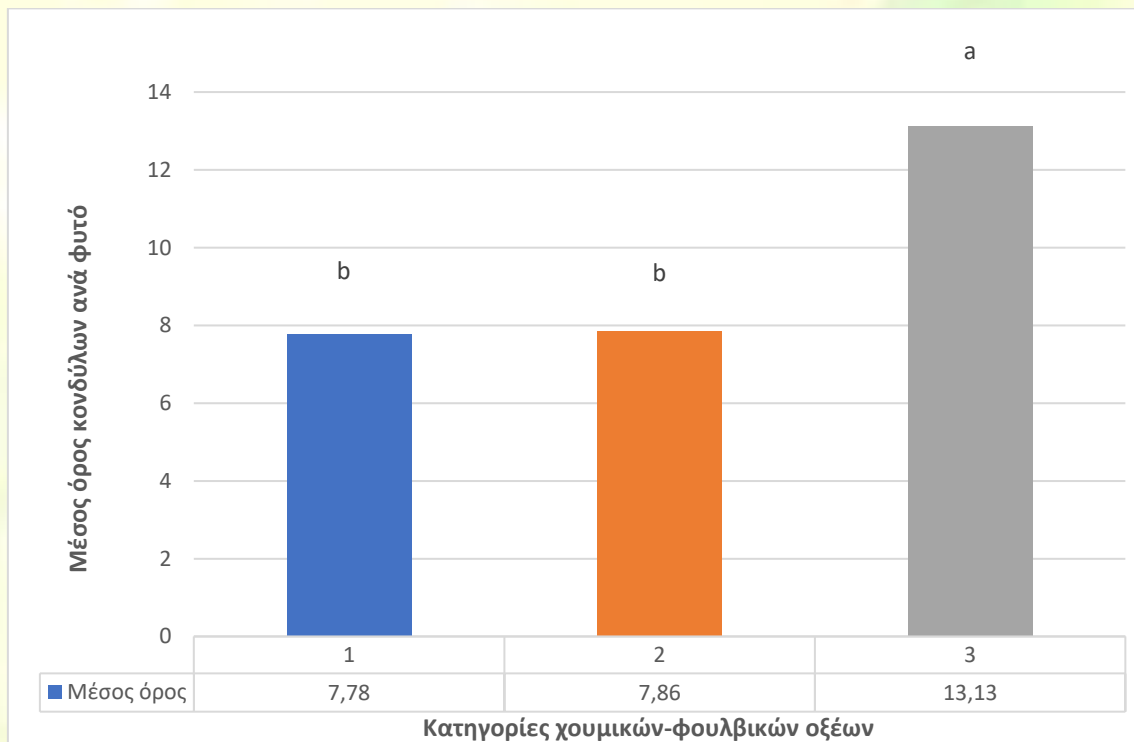
3.3.1 Επιδράσεις στον αριθμό κονδύλων/φυτό

Με την προσθήκη χουμικών και φουλβικών οξέων παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον μέσο όρο του αριθμού κονδύλων ανά φυτό πατάτας στην κατηγορία 3 με μέσο όρο κονδύλων ανά φυτό 13,13. Η αύξηση σε σχέση με την κατηγορία 2 ανέρχεται σε 67% ενώ συγκριτικά με την κατηγορία 1 πλησιάζει το 69%. Η επίδραση της κατηγορίας 2 δεν ήταν σημαντική και δεν επέφερε σχεδόν καμία αύξηση. Ενώ ο μέσος όρος καρπών πριν από την προσθήκη χουμικών-φουλβικών οξέων ανερχόταν στους 7,78 καρπούς, με την προσθήκη χουμικών και φουλβικών οξέων της κατηγορίας 2 παρατηρήθηκε αύξηση κατά 0,08 κόνδυλοι (Γράφημα 28).

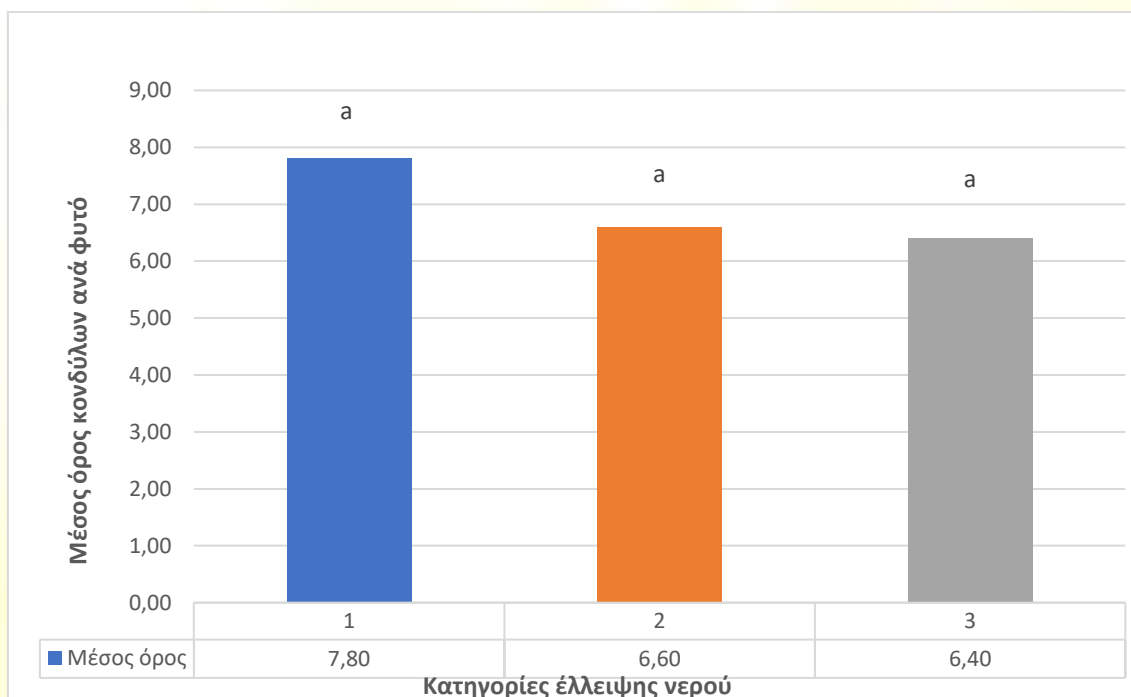
Η στατιστική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για να εξεταστεί η επίδραση της

έλλειψης νερού σε φυτά πατάτας δεν έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές. Η μείωση νερού κατά 20-25% οδήγησε στην μείωση των κονδύλων κατά 17%. Έτσι, ενώ ο μέσος όρος των κονδύλων με κανονική άρδευση ανερχόταν στους 7,78 κονδύλους, όταν μειώθηκε το νερό κατά 20-25% ο μέσος όρος έπεσε στους 6,40 κονδύλους ενώ με την μείωση νερού κατά 40%, ο μέσος όρος κυμαινόταν στους 6,58 κονδύλους ανά φυτό. Συνεπάγεται ότι δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των κατηγοριών 2 και 3 της έλλειψης νερού (Γράφημα 29).

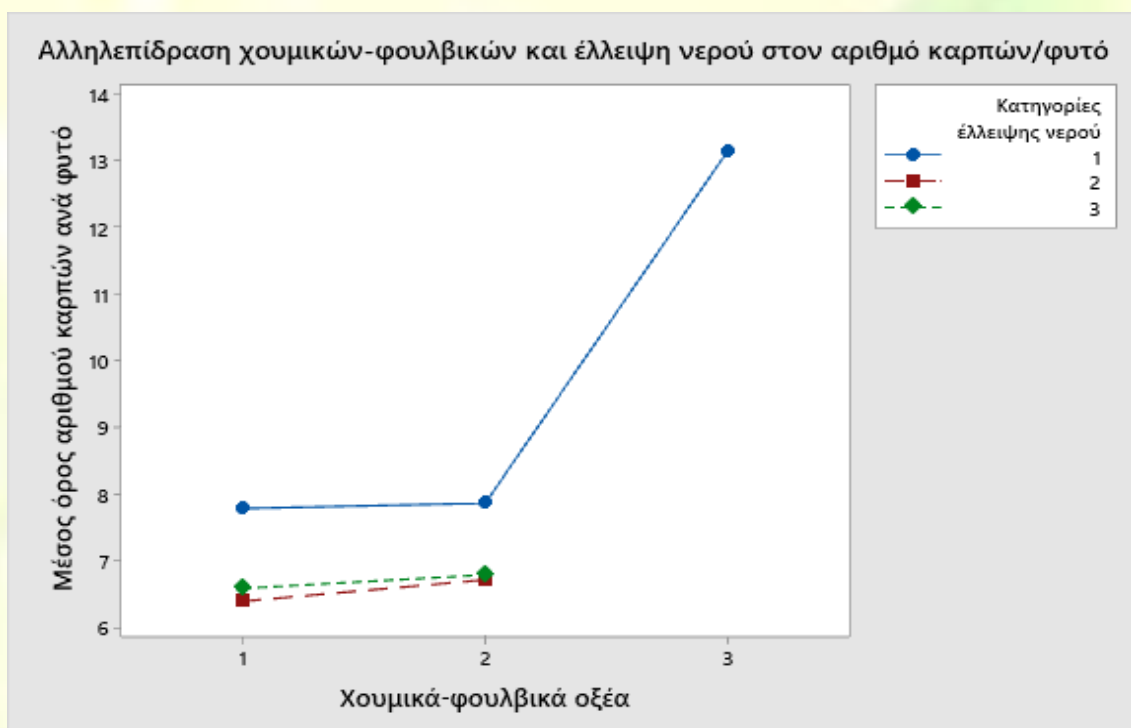
Η προσθήκη χουμικών και φουλβικών οξέων σε φυτά πατάτας που υποβλήθηκαν σε καταπόνηση από έλλειψη νερού είχαν θετικές επιδράσεις σε όλα τα επίπεδα έλλειψης νερού, χωρίς όμως να παρατηρούνται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στο επίπεδο έλλειψης νερού 2, η προσθήκη χουμικών-φουλβικών οξέων αύξησε τον μέσο όρο κονδύλων ανά φυτό από 6,40 σε 6,72. Παρατηρήθηκε δηλαδή αύξηση της τάξης του 5%. Στο επίπεδο έλλειψης νερού 3, η αύξηση που παρατηρήθηκε με την προσθήκη χουμικών-φουλβικών οξέων ήταν 0,20 κόνδυλοι ανά φυτό που αντιστοιχεί σε 3% (Γράφημα 30).



Γράφημα 28: Η επίδραση του συνδυασμού χουμικών και φουλβικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 και 0 g/l), 2 (0,10-2,00 και 0,10-1,00 g/l), 3 (>2,00 και >1,00 g/l)) στο μέσο όρο αριθμού κονδύλων ανά φυτό πατάτας χωρίς την επίδραση καταπόνησης από έλλειψη νερού. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.



Γράφημα 29: Η επίδραση της έλλειψης νερού (Επίπεδο έλλειψης νερού: 1 (0%), 2 (20,00-25,00%), 3 (>25,00%)) στο μέσο όρο αριθμού κονδύλων ανά φυτό πατάτας χωρίς την επίδραση χουμικών και φουλβικών οξέων. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.

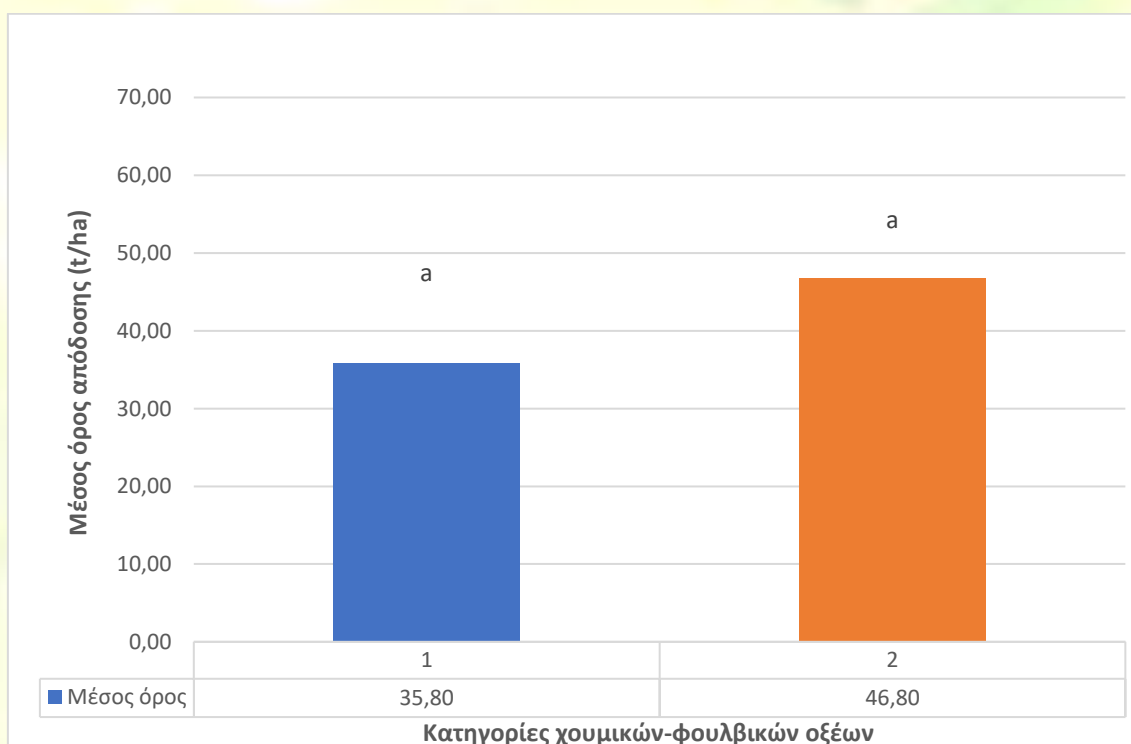


Γράφημα 30: Η επίδραση του συνδυασμού χουμικών και φουλβικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 και 0 g/l), 2 (0,10-2,00 και 0,10-1,00 g/l), 3 (>2,00 και >1,00 g/l)) στο μέσο όρο αριθμού κονδύλων ανά φυτό πατάτας σε συνδυασμό με την επίδραση της έλλειψης νερού (Επίπεδο έλλειψης νερού: 1 (0%), 2 (20,00-25,00%), 3 (>25,00%)).

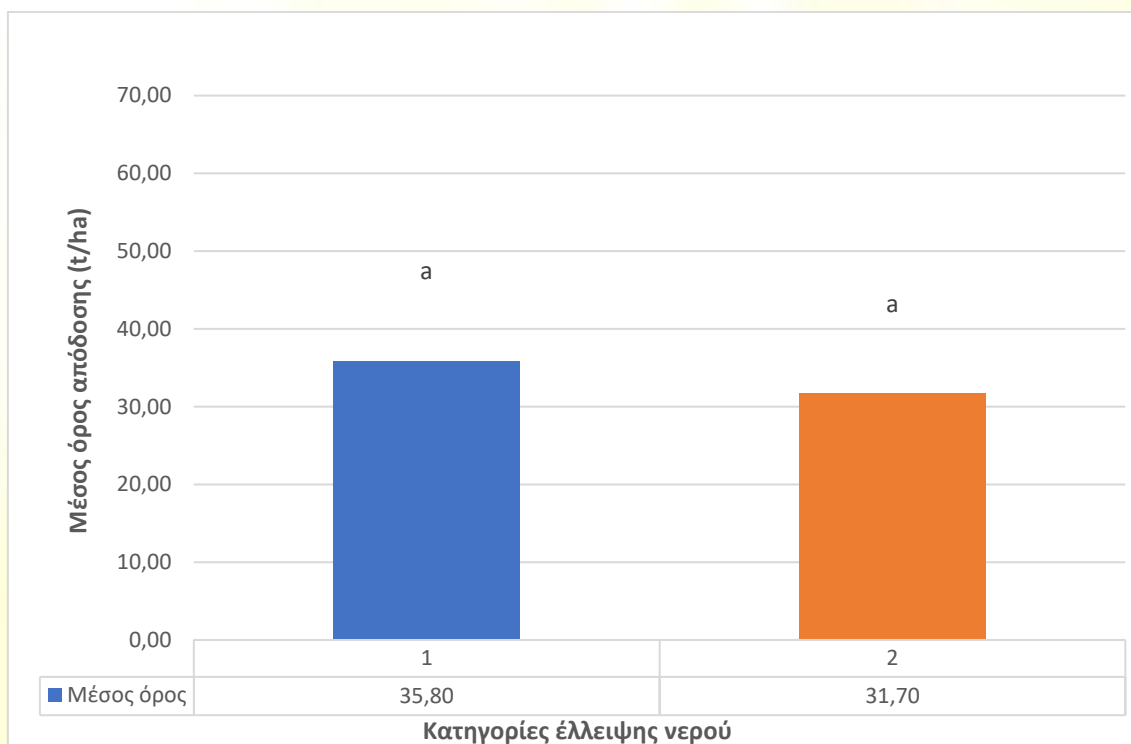
3.3.2 Επιδράσεις στην απόδοση (t/ha)

Σύμφωνα με τις στατιστικές αναλύσεις, η απόδοση της πατάτας δεν επηρεάστηκε από τα χουμικά-φουλβικά οξέα αλλά ούτε από την έλλειψη νερού. Δεν παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Ο μέσος όρος της απόδοσης πριν από την προσθήκη χουμικών-φουλβικών οξέων κυμαινόταν στους 35,80 t/ha ενώ μετά από την προσθήκη χουμικών-φουλβικών οξέων της κατηγορίας 2 ανέβηκε στους 46,80 t/ha (Γράφημα 31). Αντίστοιχα, ο μέσος όρος της απόδοσης πριν την καταπόνηση από έλλειψη νερού κυμαινόταν στους 35,80 t/ha, ενώ μετά από την καταπόνηση με έλλειψη νερού 20-25% μειώθηκε στους 31,73 t/ha. Παρατηρήθηκε μείωση της τάξης του 12%. (Γράφημα 32).

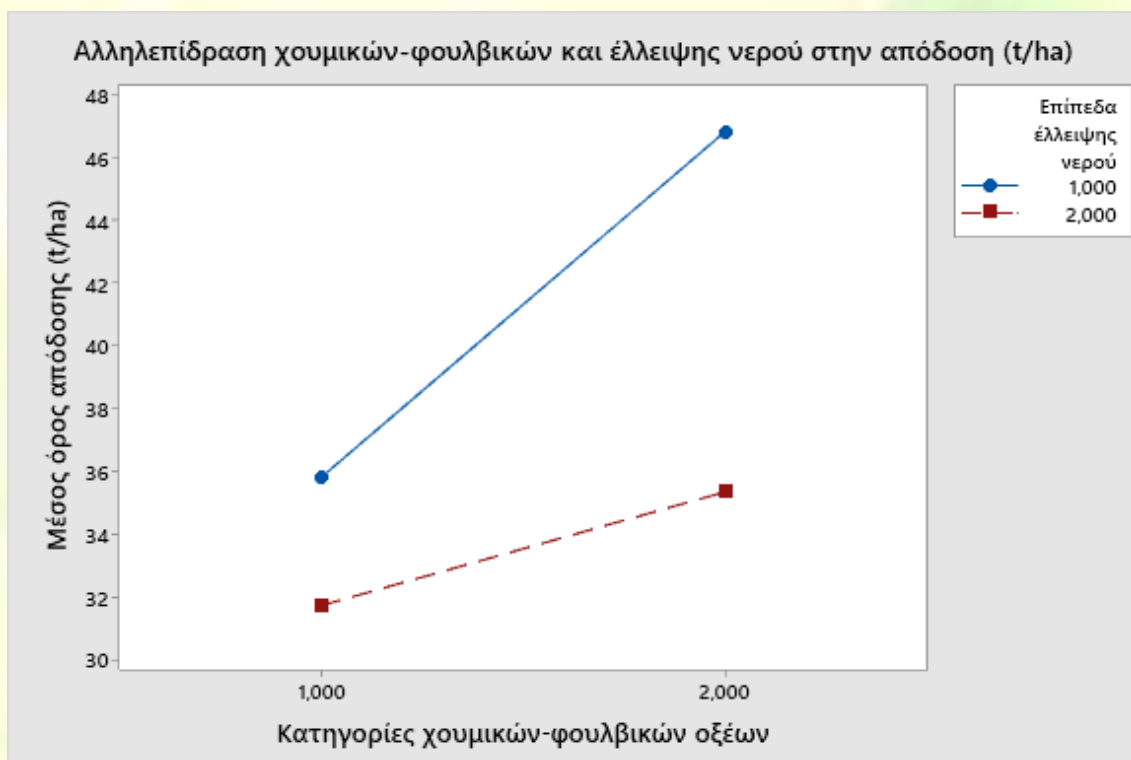
Η προσθήκη χουμικών-φουλβικών οξέων σε φυτά πατάτας κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού είχε θετικές επιδράσεις στην απόδοση χωρίς όμως να παρατηρηθούν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στο επίπεδο καταπόνησης 2, τα χουμικά-φουλβικά οξέα της κατηγορίας 2 αύξησαν την απόδοση κατά 7% (Γράφημα 33).



Γράφημα 31: Η επίδραση του συνδυασμού χουμικών και φουλβικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 και 0 g/l), 2 (0,10-2,00 και 0,10-1,00 g/l), 3 (>2,00 και >1,00 g/l)) στο μέσο όρο απόδοσης (t/ha) φυτών πατάτας χωρίς την επίδραση καταπόνησης από έλλειψη νερού. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.



Γράφημα 32: Η επίδραση της έλλειψης νερού (Επίπεδο έλλειψης νερού: 1 (0%), 2 (20,00-25,00%) στο μέσο όρο απόδοσης (t/ha) σε φυτά πατάτας χωρίς την επίδραση χουμικών και φουλβικών οξέων. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.



Γράφημα 33: Η επίδραση του συνδυασμού χουμικών και φουλβικών οξέων (Συγκεντρώσεις: 1 (0 και 0 g/l) και 2 (0,10-2,00 και 0,10-1,00 g/l)) στο μέσο όρο απόδοσης (t/ha) σε φυτά πατάτας σε συνδυασμό με την επίδραση της έλλειψης νερού (Επίπεδο έλλειψης νερού: 1 (0%) και 2 (20,00-25,00%)).

3.4 **Επιδράσεις χουμικών και φουλβικών οξέων σε φυτά τομάτας κάτω από συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας**

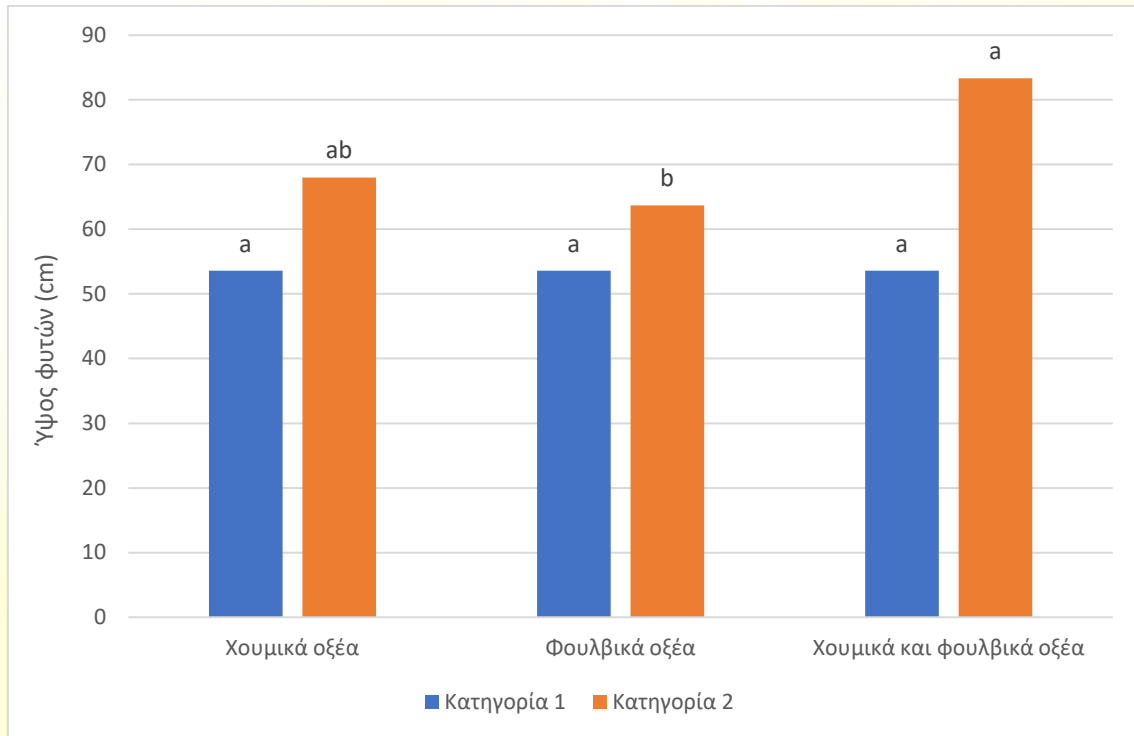
3.4.1 **Επιδράσεις στο ύψος των φυτών**

Η προσθήκη χουμικών και φουλβικών οξέων σε καλλιέργεια τομάτας έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές στο ύψος των φυτών (Πίν. 5). Συγκεκριμένα, με την προσθήκη χουμικών οξέων παρατηρήθηκε αύξηση 27% ενώ με την προσθήκη φουλβικών οξέων η αύξηση που παρατηρήθηκε ήταν 19%. Ο συνδυασμός χουμικών και φουλβικών οξέων επέφερε αύξηση 56% στο ύψος των φυτών (Γράφημα 34).

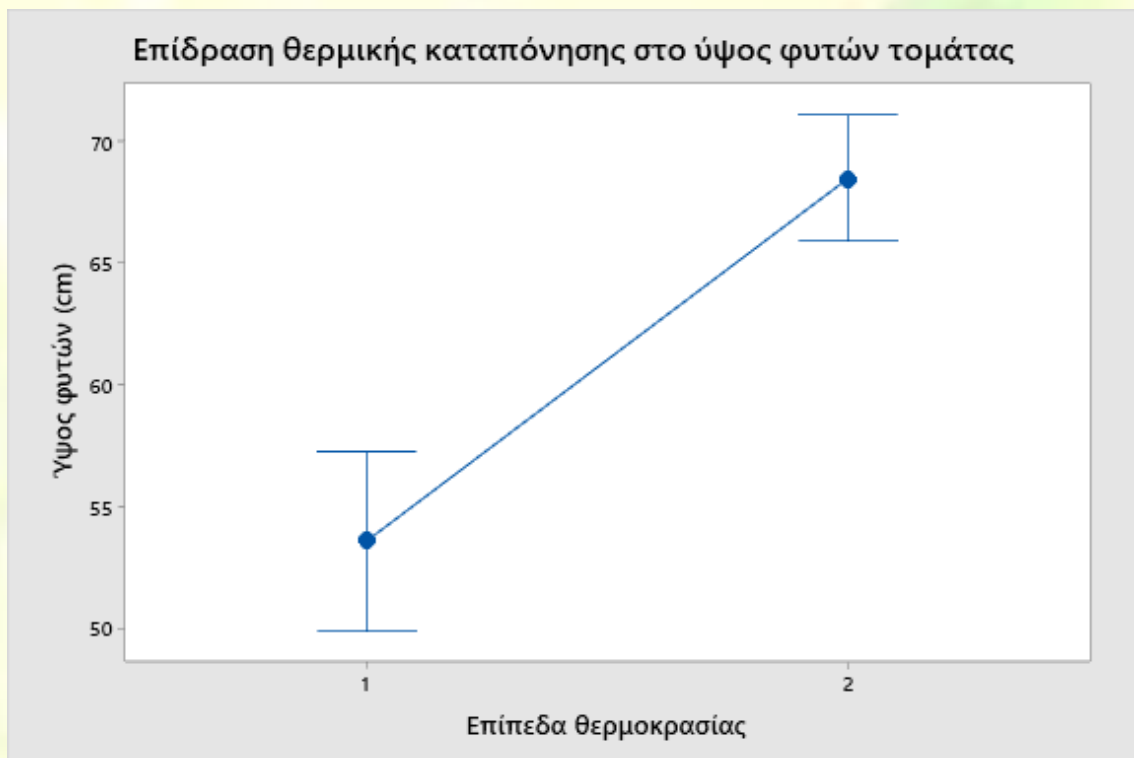
Η αυξημένη θερμοκρασία σε φυτά τομάτας είχε θετικές επιδράσεις στην αύξηση του ύψους. Ο μέσος όρος του ύψους αυξήθηκε από 53,58cm, που μετρήθηκε κάτω από φυσιολογικές θερμοκρασίες, σε 68,50 cm (Γράφημα 35). Η προσθήκη χουμικών και φουλβικών οξέων σε φυτά που υποβλήθηκαν σε θερμικό στρες παρουσίασε αύξηση στο ύψος φυτών τομάτας κατά 19% (Πίν. 6) (Γράφημα 36).

*Πίνακας 5: Η επίδραση χουμικών και φουλβικών οξέων (1 με προσθήκη και 2 χωρίς προσθήκη) στον μέσο όρο του ύψους (cm) φυτών τομάτας χωρίς την επίδραση θερμικού στρες. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.*

Κατηγορίες χουμικών οξέων	Κατηγορίες φουλβικών οξέων	Ύψος φυτών (cm)
1	1	53,58 b
1	2	63,69 b
2	1	67,98 ab
2	2	83,32 a



Γράφημα 34: Η επίδραση χουμικών και φουλβικών οξέων (1 χωρίς προσθήκη και 2 με προσθήκη) στον μέσο όρο ύψους (cm) φυτών τομάτας χωρίς την επίδραση θερμικού στρες. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.

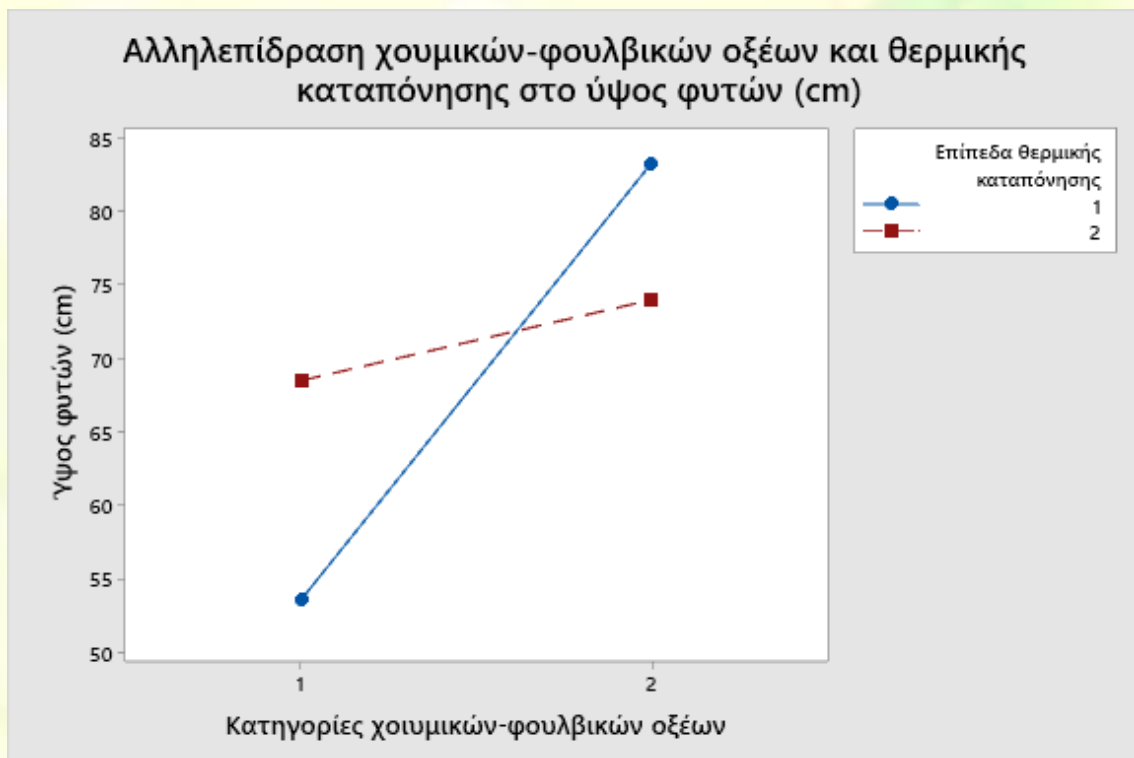


Γράφημα 35: Η επίδραση του θερμικού στρες (Επίπεδα: 1 χωρίς θερμική καταπόνηση και 2 με θερμική καταπόνηση) στον μέσο όρο του ύψους (cm) σε φυτά τομάτας χωρίς την επίδραση χουμικών και φουλβικών οξέων.

Ο ρόλος της εφαρμογής χουμικών και φουλβικών οξέων στην αντιμετώπιση διαφορετικών αβιοτικών καταπονήσεων σε καλλιεργούμενα φυτά

Πίνακας 6: Η επίδραση χουμικών και φουλβικών οξέων (1 χωρίς προσθήκη και 2 με προσθήκη) στον μέσο όρο ύψους (cm) φυτών τομάτας σε συνδυασμό με την επίδραση θερμικού στρες (Επίπεδα: 1 χωρίς θερμική καταπόνηση και 2 με θερμική καταπόνηση). *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.

Κατηγορίες Χουμικών-φουλβικών οξέων	Κατηγορίες Θερμικής Καταπόνησης	Ύψος φυτών (cm)
1	1	53,58 d
1	2	68,50 c
2	1	83,32 a
2	2	74,00 b



Γράφημα 36: Η επίδραση χουμικών και φουλβικών οξέων (1 χωρίς προσθήκη και 2 με προσθήκη) στον μέσο όρο ύψους (cm) φυτών τομάτας σε συνδυασμό με την επίδραση θερμικού στρες (Επίπεδα: 1 χωρίς θερμική καταπόνηση και 2 με θερμική καταπόνηση).

3.4.2 Επιδράσεις στην απόδοση (t/ha)

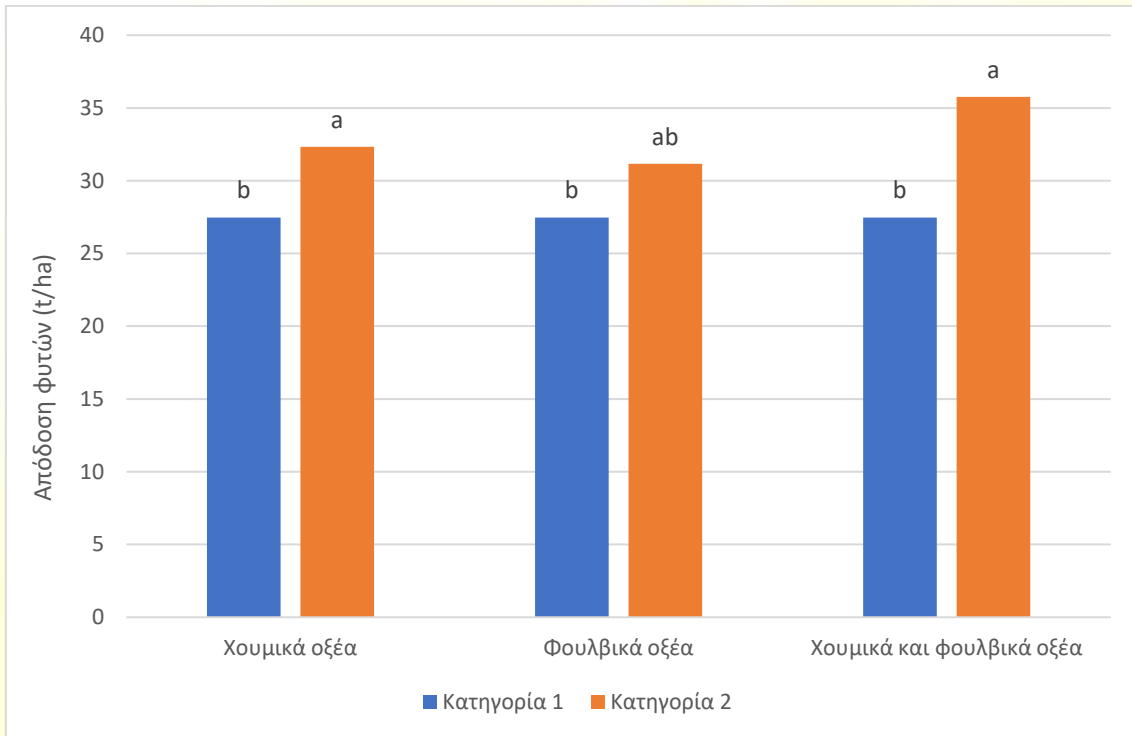
Στην απόδοση της καλλιέργειας της τομάτας παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές με την προσθήκη χουμικών και φουλβικών οξέων (Πίν. 7). Συγκεκριμένα, με την προσθήκη χουμικών οξέων παρατηρήθηκε αύξηση 21% ενώ με την προσθήκη φουλβικών οξέων η αύξηση που παρατηρήθηκε ήταν 15%. Ο συνδυασμός χουμικών και φουλβικών οξέων επέφερε αύξηση 30% στην απόδοση (t/ha) των φυτών (Γράφημα 37).

Η αυξημένη θερμοκρασία σε φυτά τομάτας είχε αρνητικές επιδράσεις στην απόδοση με στατιστικά σημαντικές διαφορές. Ο μέσος όρος της απόδοσης μειώθηκε από 27,47 (t/ha), που μετρήθηκε κάτω από φυσιολογικές θερμοκρασίες, σε 18,75 (t/ha) (Γράφημα 38). Η μείωση που παρατηρήθηκε ήταν 47%. Η προσθήκη χουμικών και φουλβικών οξέων σε φυτά που υποβλήθηκαν σε θερμικό στρες παρουσίασε αύξηση στην απόδοση (t/ha) φυτών τομάτας κατά 20% (Γράφημα 39) και παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές (Πίν.8).

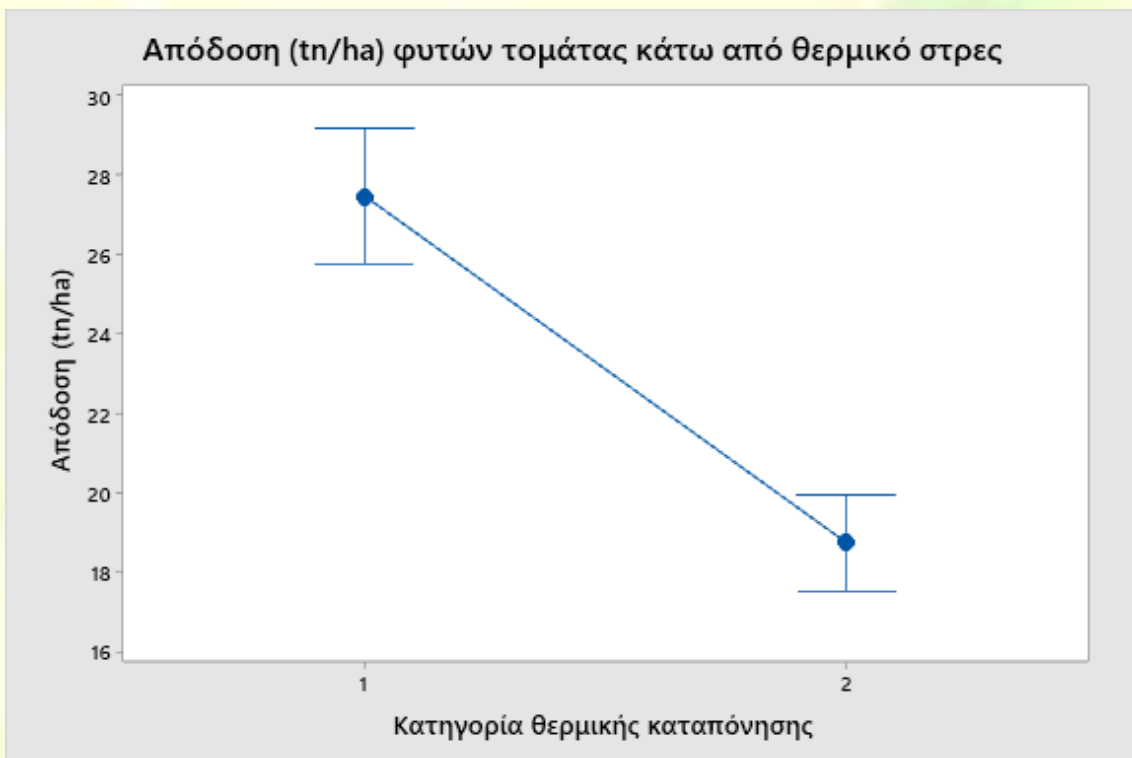
*Πίνακας 7: Η επίδραση χουμικών και φουλβικών οξέων (1 με προσθήκη και 2 χωρίς προσθήκη) στον μέσο όρο απόδοσης (t/ha) φυτών τομάτας χωρίς την επίδραση θερμικού στρες. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.*

Κατηγορίες χουμικών οξέων	Κατηγορίες φουλβικών οξέων	Απόδοση φυτών (t/ha)
1	1	27,47 b
1	2	31,16 ab
2	1	32,32 a
2	2	35,77 a

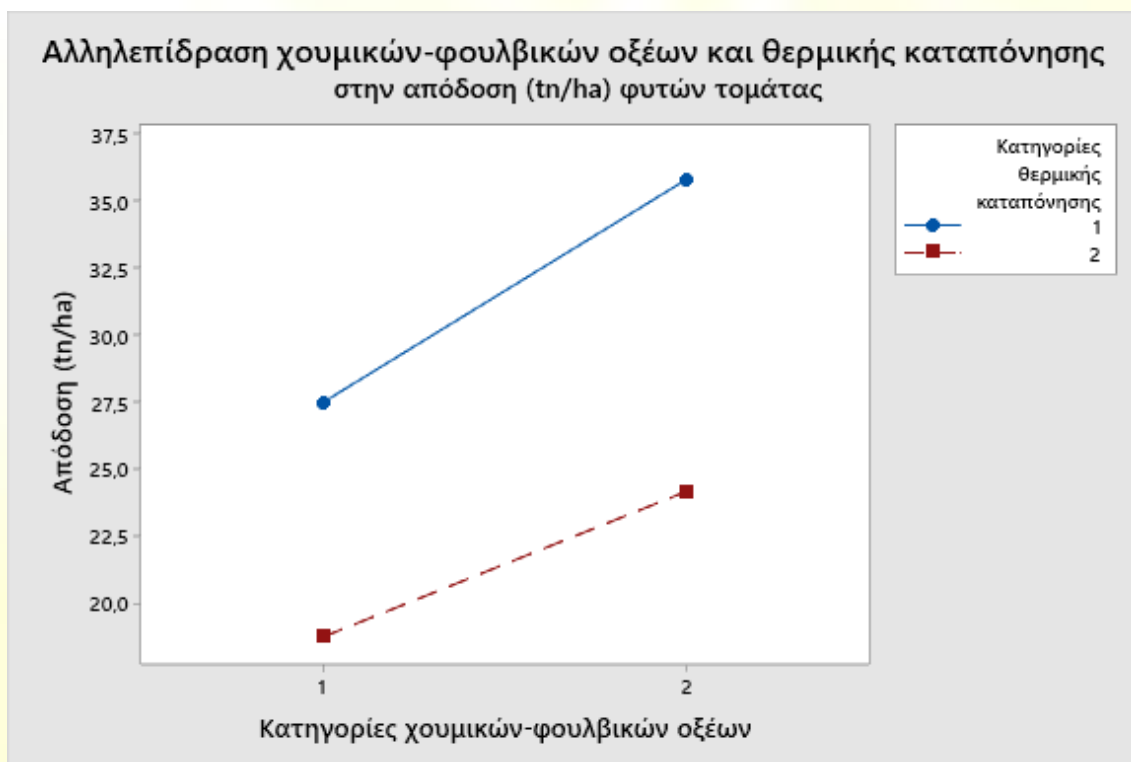
Ο ρόλος της εφαρμογής χουμικών και φουλβικών οξέων στην αντιμετώπιση διαφορετικών αβιοτικών καταπονήσεων σε καλλιεργούμενα φυτά



Γράφημα 37: Η επίδραση χουμικών και φουλβικών οξέων (1 χωρίς προσθήκη και 2 με προσθήκη) στον μέσο όρο απόδοσης (t/ha) φυτών τομάτας χωρίς την επίδραση θερμικού στρες. *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.



Γράφημα 38: Η επίδραση της θερμικής καταπόνησης (Επίπεδα: 1 χωρίς θερμική καταπόνηση και 2 με θερμική καταπόνηση) στον μέσο όρο απόδοσης (t/ha) φυτών τομάτας χωρίς την επίδραση χουμικών και φουλβικών οξέων.



Γράφημα 39: Η επίδραση χουμικών και φουλβικών οξέων (1 χωρίς προσθήκη και 2 με προσθήκη) στον μέσο όρο απόδοσης (t/ha) φυτών τομάτας σε συνδυασμό με την επίδραση θερμικού στρες (Επίπεδα: 1 χωρίς θερμική καταπόνηση και 2 με θερμική καταπόνηση).

*Πίνακας 8: Η επίδραση χουμικών και φουλβικών οξέων (1 χωρίς προσθήκη και 2 με προσθήκη) στον μέσο όρο απόδοσης (t/ha) φυτών τομάτας σε συνδυασμό με την επίδραση θερμικού στρες (Επίπεδα: 1 χωρίς θερμική καταπόνηση και 2 με θερμική καταπόνηση). *Μέσοι όροι με διαφορετικό γράμμα υποδηλώνουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές (για $p \leq 0,05$) μεταξύ των επεμβάσεων.*

Κατηγορίες Χουμικών-φουλβικών οξέων	Κατηγορίες Θερμικής Καταπόνησης	Απόδοση φυτών (t/ha)
1	1	27,47 b
1	2	18,75 c
2	1	35,77 a
2	2	24,16 b

4 ΣΥΖΗΤΗΣΗ

4.1 Επίδραση χουμικών οξέων στην πιπεριά και τομάτα κάτω από συνθήκες αλατότητας

Η αλατότητα προκάλεσε μείωση σε όλες τις παραμέτρους που αναλύθηκαν στα φυτά της πιπεριάς και της τομάτας. Στα φυτά πιπεριάς παρατηρήθηκε μείωση τόσο στον αριθμό καρπών όσο και στις χλωροφύλλες a και b, ενώ στα φυτά της τομάτας παρατηρήθηκε μείωση τόσο στον αριθμό καρπών ανά φυτό όσο και στην απόδοση. Αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν με τους Latif και Mohamed (2016) που ανέφεραν ότι η αλατότητα μείωσε την ανάπτυξη των φυτών στα φασόλια. Η καταστολή της ανάπτυξης των φυτών υπό αβιοτικές καταπονήσεις μπορεί να οφείλεται στη μείωση της διαίρεσης και επιμήκυνσης των κυττάρων ή να προκαλείται λόγω της μείωσης της απορρόφησης νερού και της δραστηριότητας της μεταβολικής διαδικασίας (Bolus κ.ά., 1972).

Η εφαρμογή διαφόρων συγκεντρώσεων χουμικών οξέων προκάλεσε σημαντικές αυξήσεις στις παραμέτρους ανάπτυξης των φυτών πιπεριάς κάτω από συνθήκες καταπόνησης από την αλατότητα σε σύγκριση με τα φυτά που καλλιεργήθηκαν κάτω από φυσιολογικές συνθήκες. Η υψηλή συγκέντρωση χουμικών οξέων (Κατηγορία 3) είναι πιο αποτελεσματική από τις χαμηλότερες συγκεντρώσεις (Κατηγορία 2). Τα χουμικά οξέα

δρουν ως πηγή ορμονών και βοηθούν στην αύξηση της ανάπτυξης των φυτών. Οι Nardi κ.ά. (2002) διαπίστωσαν ότι τα χουμικά οξέα έχουν υψηλή ορμονική δραστηριότητα όπως η αυξίνη και οι γιββερελλίνες. Επομένως, η προσθήκη χουμικών οξέων μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιότητες του εδάφους και να αυξήσουν τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων στο εδάφος (Stevenson, 1994). Τα χουμικά οξέα προκάλεσαν διέγερση στην ανάπτυξη των φυτών, η οποία μπορεί να οφείλεται σε αυξήσεις της πρωτεϊνικής σύνθεσης, σε ενζυματικές δραστηριότητες, στην αναπνοή και στις φωτοσυνθετικές χρωστικές ουσίες (Muscolo κ.ά., 1998). Επιπλέον, το χουμικά οξέα αυξάνουν την ικανότητα συγκράτησης του εδάφους σε νερό και την πρόσληψη θρεπτικών ουσιών με αποτέλεσμα να προκληθεί αύξηση στην ανάπτυξη του φυτού και έτσι να αυξηθούν τόσο οι καρποί ανα φυτό όσο και η απόδοση (Zhang κ.ά., 2003).

4.2 Επίδραση χουμικών και φουλβικών οξέων στη πατάτα κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού

Η καλλιέργεια της πατάτας γενικά χρειάζεται σημαντικές ποσότητες νερού κατά τη διάρκεια της καλλιέργειάς της (Khakbazan κ.ά., 2011). Η καταπόνηση από έλλειψη νερού μειώνει τον αριθμό των κονδύλων καθώς και την στρεμματική απόδοση της καλλιέργειας. Αυτό οφείλεται στο γεγονός της μείωσης της διαπνοής περισσότερο από φωτοσύνθεση κατά τη διάρκεια του κλεισίματος των στομάτων, με αποτέλεσμα την μείωση της αποδοτικότητας της χρήσης του νερού (Cantore κ.ά., 2014). Έρευνα του Alva (2008) έδειξε ότι η επαρκής διαθεσιμότητα νερού κατά το μεγαλύτερο μέρος της περιόδου καλλιέργειας των φυτών είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της βέλτιστης παραγωγής καλλιέργειας στην πατάτα. Ακόμη και μικρές περιόδους καταπόνησης νερού επηρεάζουν αρνητικά την παραγωγή κονδύλων.

Η εφαρμογή χουμικών και φουλβικών οξέων αύξησε την αποδοτικότητα χρήσης νερού. Ένα παρόμοιο αποτέλεσμα επιτεύχθηκε από τους Sadeghi-Shoae κ.ά. (2013), οι οποίοι διαπίστωσαν ότι η υψηλότερη αποδοτικότητα χρήσης νερού σε ζαχαρότευτλα αποκτήθηκε μέσω της εφαρμογής χουμικών οξέων μαζί με την άρδευση. Ο ρόλος των χουμικών οξέων στην αύξηση της αποδοτικότητας της χρήσης νερού πιθανώς προκύπτει από το ρόλο τους στην προώθηση της ανάπτυξης και διεύδυσης των ριζών, η οποία

αυξάνει την ικανότητα των φυτών να απορροφούν νερό από το έδαφος (Feleafel και Mirdad, 2014; Moghadam κ.ά., 2014). Έρευνες των Abu-Zinada και Sekh-Eleid (2015) ανέφεραν ότι χουμικές ουσίες όπως τα χουμικά οξέα έχουν την ικανότητα να συλλαμβάνουν περισσότερη υγρασία που αυξάνει την αποδοτικότητα της χρήσης του νερού σε αμμώδες έδαφος.

Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ της αποδοτικότητας χρήσης του νερού και της εφαρμογής χουμικών οξέων είχαν σημαντική επίδραση στα χαρακτηριστικά φυτικής ανάπτυξης. Η αύξηση του αριθμού των κονδύλων της πατάτας και της στρεμματικής απόδοσης μπορεί να οφείλονται στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών που προάγουν τα χουμικά οξέα, τα οποία ενθαρρύνουν την ανάπτυξη των φυτών (Abdel-Mawgoud κ.ά., 2007). Όλα τα παραπάνω οδηγούν στο συμπέρασμα ότι τα χουμικά και φουλβικά οξέα αυξάνουν την αντοχή των φυτών στην καταπόνηση από έλλειψη νερού.

4.3 Επίδραση χουμικών και φουλβικών οξέων στη τομάτα κάτω από συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας

Η προσθήκη χουμικών και φουλβικών οξέων σε καλλιέργεια τομάτας είχε θετικές επιδράσεις τόσο στο ύψος των φυτών όσο και στην απόδοση της καλλιέργειας. Αντίστοιχες έρευνες όπως αυτές των Kazemi, 2013; Farnia και Moradi 2015; Abdel-Monaim κ.ά., 2012; Aman και Rab, 2013; Asri κ.ά., 2015; έδειξαν τα ίδια αποτελέσματα. Επίσης, πολλές έρευνες έχουν δείξει ότι τα χουμικά οξέα έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τις επιβλαβείς αβιοτικές καταπονήσεις στα φυτά (Ozkutlu κ.ά., 2006; Unlu κ.ά., 2011; Moraditochae, 2012). Στη παρούσα έρευνα, τα χουμικά και φουλβικά οξέα επηρέασαν θετικά παραμέτρους ανάπτυξης όπως το ύψος των φυτών καθώς και παραμέτρους απόδοσης σε φυτά τομάτας. Παρατηρήθηκε σημαντική αύξηση στους παραπάνω παράγοντες όταν τα φυτά υποβλήθηκαν κάτω από συνθήκες θερμικής καταπόνησης.

Τέλος, τα χουμικά οξέα παίζουν σημαντικό ρόλο στα φυτά καθώς διεγείρουν την ανάπτυξη των ριζών και την πρόσληψη του νερού και των θρεπτικών συστατικών (Cimgin και Yilmaz, 2005). Επιπρόσθετα, τα χουμικά οξέα δρουν ως ρυθμιστές ανάπτυξης για τη ρύθμιση και τον έλεγχο των επιπέδων ορμονών στα φυτά (Nardi κ.ά., 2002) και διεγείρουν την παραγωγή φυτικών ενζύμων και ορμονών (Sarir κ.ά., 2005).

Γενικότερα τα χουμικά και φουλβικά οξέα έχουν άμεση επίδραση τόσο στα φυτά όσο και στη γονιμότητα του εδάφους (Fahramand κ.ά., 2014) καθώς είναι μια καλή πηγή ενέργειας για ωφέλιμους οργανισμούς (Zimmer, 2004).

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η προσθήκη χουμικών οξέων αύξησε σημαντικά τον μέσο όρο αριθμού καρπών ανά φυτό σε καλλιέργειες πιπεριάς που καλλιεργήθηκαν κάτω από φυσιολογικές συνθήκες. Εξίσου σημαντική αύξηση παρατηρήθηκε στα φυτά πιπεριάς που υποβλήθηκαν σε συνθήκες καταπόνησης από αλατότητα. Στα επίπεδα χλωροφύλλης a και b παρατηρήθηκε μεγάλο ποσοστό αύξησης τόσο κάτω από φυσιολογικές συνθήκες καλλιέργειας όσο και κάτω από συνθήκες καταπόνησης από την αλατότητα, χωρίς όμως να παίζει σημαντικό ρόλο η δοσολογία των χουμικών οξέων. Συμπερασματικά μπορεί να αναφερθεί ότι ο ρόλος της προσθήκης χουμικών οξέων σε φυτά πιπεριάς είναι σημαντικός τόσο κάτω από φυσιολογικές καλλιεργητικές συνθήκες όσο και κάτω από συνθήκες αλατότητας.

Σε φυτά τομάτας παρατηρήθηκαν παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά την προσθήκη χουμικών οξέων στους μάρτυρες, με αύξηση του μέσου όρου των καρπών ανά φυτό. Αντίθετα, οι επεμβάσεις με χουμικά οξέα δεν απέφεραν κάποια αύξηση στον αριθμό καρπών σε φυτά τομάτας που υποβλήθηκαν σε συνθήκες αλατότητας.

Στην καλλιέργεια της πατάτας η προσθήκη χουμικών και φουλβικών οξέων έδειξε αύξηση του αριθμού των κονδύλων ανά φυτό και της απόδοσης, με στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο στους μάρτυρες. Σε φυτά που καλλιεργήθηκαν κάτω από συνθήκες έλλειψης νερού δεν παρατηρήθηκε ιδιαίτερη αύξηση.

Τέλος, τα χουμικά και φουλβικά οξέα βελτίωσαν το ύψος φυτών τομάτας που

καλλιεργήθηκαν κάτω από φυσιολογικές συνθήκες καθώς και κάτω από συνθήκες θερμικής καταπόνησης, με τα καλύτερα αποτελέσματα να προκύπτουν από τον συνδυασμό των χουμικών και των φουλβικών οξέων. Ίδια αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και στην απόδοση της τομάτας. Συμπερασματικά αξίζει να σημειωθεί ότι η προσθήκη χουμικών και φουλβικών οξέα μπορεί να βοηθήσει σημαντικά την καλλιέργεια τομάτας κάτω από συνθήκες καταπόνησης από υψηλές θερμοκρασίες.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abd-All, A.E., El-Namas, A.E. and EL-Naggar, E.M. (2017). Effect of Humic Acid Efficiency of Sweet Potato Grown under Drip Irrigation in Sandy Soil. *Alexandria Science Exchange Journal* 38(3): 543-553.
- Abdelaal, K.A., EL-Maghraby, L.M., Elansary, H., Hafez, Y.M., Ibrahim, E.I., El-Banna, M., El-Esawi, M. and Elkelish, A. (2019). Treatment of Sweet Pepper with Stress Tolerance-Inducing Compounds Alleviates Salinity Stress Oxidative Damage by Mediating the Physio-Biochemical Activities and Antioxidant Systems. *Agronomy* 10(26): 1-15; doi:10.3390/agronomy10010026.
- Abdellatif, I.M.Y., Abdel-Ati, J.J., Abdel-Mageed, J.T., Abdel-Moneim, M. and Hassan, M. (2017). Effect of Humic Acid on Growth and Productivity of Tomato Plants Under Heat Stress. *Journal of Horticultural Research* 25(2): 59-66.
- Abdel-Mawgoud, A.M.R., El-Greadly, N.H. Helmy, Y.I. and Singer S.M. (2007). Responses of tomato plants to different rates of humic-based fertilizer and NPK fertilization. *Journal of Applied Sciences Research* 3(2): 169-174.
- Abdel-Monaim, M.F., Abdel-Gaid, M.A., El-Morsy, M.E. (2012). Efficacy of rhizobacteria and humic acid for controlling *Fusarium* wilt disease and improvement of plant growth, quantitative and qualitative parameters in tomato. *ESci Journal of Plant Pathology* 1: 39-48.
- Abu-Zinada, I.A. and Sekh-Eleid, K.S. (2015). Humic acid to decrease fertilization rate

- on potato (*Solanum tuberosum* L.). *American Journal of Agriculture and Forestry* 3(5): 234-238.
- Akladios, S.A. and Mohamed, H.I. (2018). Ameliorative effects of calcium nitrate and (*Capsicum annuum*) plants grown under salt stress. *Scientia Horticulturae* 236: 244-250.
- Alenazi, M., Wahb-Allah, M.A., Abdel-Razzak, H.S., Ibrahim, A.A. and Alsadon, A. (2016). Water Regimes and Humic Acid Application Influences Potato Growth, Yield, Tuber Quality and Water Use Efficiency. *Am. J. Potato Res.* 93: 463-473.
- Ali, R.A.M., Attia, M.M. and Abd El-All, A.E. (2019). Influence of Irrigation Treatments and Humic Acid (HA) Application on Vegetative Growth, Yield, Tuber Quality Water Requirements and Water Utilization Efficiency (WUE) of Potato Plants. *J. of Plant Production* 10 (9): 793-798.
- Al-Zubaidi, A.H.A. (2018). Effect of humic acids on growth, yield and quality of three potato varieties. *Plant Archives* 18(2): 1533-1540.
- Alva, A.K. (2008). Water management and water uptake efficiency by potatoes: a review. *Archives of Agronomy and Soil Science* 54(1): 53-68.
- Aman, S. and Rab, A. (2013). Response of tomato to nitrogen levels with or without humic acid. *Sarhad J. Agric.* 29(2): 181-186.
- Asri, F.O., Demirtas, E.I. and Ari, N. (2015). Changes in Fruit Yield, Quality and Nutrient Concentrations in Response to Soil Humic Acid Applications in Processing Tomato. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 21(3): 585-591.
- Baroccio, Fr., Barilaro, N., Tolomei, P., Mascini, M. (2017). Classification of Biostimulants Origin Using Amino Acids Composition of Hydrolyzed Proteins. *Journal of Horticultural Science and Research* 1(2): 30-35.
- Bolus, S.T., El-Shourbary, M.N., Missak, N.L. (1972). Studies on the effect of salinity on the epidermis and mesophyll tissues of some *Ricinus communis*, L. varieties. *Desert Res. Inst.* 22: 421-452.
- Cantore, V., Wassar, F., Yamaç, C., Sellami, M.H., Albrizio, R., Stellacci, A.M. and Todorovi, M. (2014). Yield and water use efficiency of early potato grown under different irrigation regimes. *International Journal of Plant Production* 8: 409-428.
- Canellas, L.P., Olivares, F.L., Aguiar, N.O., Jones, D.L., Nebbioso, A., Mazzei, P. and

- Piccolo, A. (2015). Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196: 15-27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>
- Casierra-Posada, F., Rodríguez, C.A. and Fischer, G. (2009). Reducing Negative Effects of Salinity in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Plants by Adding Leonardite to Soil. *Acta Hort.* 821: 133-140.
- Cimrin, K.M. and Yilmaz, I. (2005). Humic acid applications to lettuce do not improve yield but do improve phosphorus availability. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science* 55: 58-63. doi: 10.1080/09064710510008559.
- Colla, G., Roupael, Y., Rea, E., Cardarelli, M. (2012). Grafting cucumber plants enhance tolerance to sodium chloride and sulfate salinization. *Scientia Horticulturae* 135: 177-185.
- Cramer, G.R., Urano, K., Delrot, S., Pezzotti, M. and Shinozaki, K. (2011). Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC Plant Biology* 11(163): 1-14.
- Dantas, S.R. (2019). Direct and indirect effects of humic substances on soybean, bean and maize growth. Universidade Federal De Lavras.
- De Vasconcelos, A.C.F., Zhang, X., Ervin, E.H. and De Castro Kiehl, J. (2009). Enzymatic antioxidant responses to biostimulants in maize and soybean subjected to drought. *Sci. Agric.* 66(3): 395-402.
- Drobek, M., Frac, M. and Cybulska, J. (2019). Plant Biostimulants: Importance of the Quality and Yield of Horticultural Crops and the Improvement of Plant Tolerance to Abiotic Stress-A Review. *Agronomy* 9 (335): 1-19; doi:10.3390/agronomy9060335
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulture* 196: 3-14.
- Dziugiel, T. and Wadas, W. (2020). Possibility of increasing early crop potato yield with foliar application of seaweed extracts and humic acids. *Journal of Central European Agriculture* 21(2): 300-310.
- El-Khawaga, A.S. (2013). Effect of Anti-salinity Agents on Growth and Fruiting of Different Date Palm Cultivars. *Asian Journal of Crop Science* 5(1): 65-80.
- El-Sarkassy, N.M., Ibrahim, S.A. and Desoky, E.M. (2017). Salinity stress amelioration

- using humic acid and mycorrhizae on pepper plants. *Agricultural Botany* 44 (6B): 2515-2527.
- El-Sayed, H.A., Shokr, M.M.B., Elbauome, H.A.A. and Elmorsy, A.K.S.A. (2019). Response of Sweet Pepper to Irrigation Intervals and Humic Acid Application. *J. Plant Production* 10(1): 7-16.
- EU (2019). Regulation of the European Parliament and of the Council Laying Down Rules on the Making Available on the Market of EU Fertilizing Products and Amending Regulations (EC) No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009 and Repealing Regulation (EC) No 2003/2003. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L:2019:170:TOC>
- Fahramand, M., Moradi, H., Noori, M., Sobhkhizi, A., Adibian, M., Abdollahi, S. and Rigi, K. (2014). Influence of humic acid on increase yield of plants and soil properties. *International Journal of Farming and Allied Sciences* 3: 339-341.
- Farnia, A. and Moradi, E. (2015). Effect of soil and foliar application of humic acid on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). *International Journal of Biology, Pharmacy and Allied Sciences* 4(10): 706-716.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agron. Sustain. Dev.* 29: 185-212. doi: 10.1051/agro:2008021
- Feitosa de Vasconcelos, A.C. and Garofalo Chaves, L.H. (2019). Improving Plant Growth under Abiotic Stresses. *Biostimulants in Plant Science*. Εκδόσεις IntechOpen Limited, London, pp.: 1-14. doi: 10.5772/intechopen.88829
- Feitosa de Vasconcelos, A.C. (2020). Amelioration of Drought Stress on Plants under Biostimulant Sources. *Plant Stress Physiology*, Εκδόσεις IntechOpen Limited, London, pp.: 1-12. doi: 10.5772/intechopen.91975
- Feleafel, M.N. and Mirdad, Z.M. (2014). Ameliorating tomato productivity and water-use efficiency under water salinity. *The Journal of Animal and Plant Sciences* 24: 302-309.
- Garcia, A.C., Berbara, R.L.L., Farias, L.P., Izquierdo, F.G., Hernandez, O.L., Campos, R.H. and Castro, R.N. (2012). Humic acids of vermicompost as an ecological pathway to increase resistance of rice seedlings to water stress. *African Journal of*

Biotechnology 11(13): 3125-3134. doi: 10.5897/AJB11.1960

- Gawlik, A., Gołębiowska, D., Kulpa, D., Bejger, R., Matuszak-Slamani, R., Sienkiewicz, M. and Włodarczyk, M. (2016). The impact of humic acid fractions on swelling and germination of 'Progres' and 'Nawiko' soybean seeds under salt and water deficit stresses. *Acta Agrobotanica* 69(3):1672.
- Gholami, H., Samavat, S. and Ardebili, Z.O. (2013). The alleviating effects of humic substances on photosynthesis and yield of *Plantago ovate* in salinity conditions. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 4 (7): 1683-1686.
- Gulser, F., Sonmez, F. and Boysan, S. (2009). Effects of calcium nitrate and humic acid on pepper seedling growth under saline condition. *Journal of Environmental Biology* 31(5): 873-876.
- Habashy, N.R., Zaki, R.N. and Awatef A.M. (2008). Maximizing Tomato Yield and its Quality under Salinity Stress in a Newly Reclaimed Soil. *Journal of Applied Sciences Research* 4(12): 1867-1875.
- Hayes, M.H.B., Mylotte, R. and Swift, R.S. (2017). Chapter Two - Humin: Its Composition and Importance in Soil Organic Matter. *Advances in Agronomy* 143: 47-138. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2017.01.001>
- Huang, J., Levine, A. and Wang, Z. (2013). Plant Abiotic Stress. *The Scientific World Journal* 432836: 1-2.
- Husein, M.E., Abou El Hassan, S. and Shahein, M.M. (2015). Effect of humic, fulvic acid and calcium foliar application on growth and yield of tomato plants. *International Journal of Biosciences* 7(1): 132-140. <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/7.1.132-140>.
- Ibrahim, A., Razzak, H.A., Wahb-Allah, M., Alenazi, M., Alsadon, A. and Dewir, Y.H. (2019). Improvement in Growth, Yield, and Fruit Quality of Three Red Sweet Pepper Cultivars by Foliar Application of Humic and Salicylic Acids. *HortTechnology* 29 (2): 170-178.
- Kauffman G.L., Kneivel D.P., Watschke T.L. (2007). Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass. *Journal of Crop Science* 47: 261-267.
- Kazemi, M. (2013). Vegetative and reproductive growth of tomato plants affected by

- calcium and humic acid. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences* 2(11): 24-29.
- Kazemi, M. (2014). Effect of Foliar Application of Humic Acid and Calcium Chloride on tomato growth. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci.* 3 (3): 41-46.
- Khakbazan, M., Hamilton, C., Mohr, R. and Grant, C. (2011). Water and nutrient crop sufficiency models for potato, wheat, canola, alfalfa, and corn. *The American Journal of Plant Science and Biotechnology* 5(2): 45-60.
- Khan, M.A., Asaf, S., Khan, A.L., Jan, R., Kang, S.M., Kim, K.M. and Lee, I.J. (2020). Extending thermotolerance to tomato seedlings by inoculation with SA1 isolate of *Bacillus cereus* and comparison with exogenous humic acid application. *PLoS ONE* 15(4): e0232228. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232228>
- Konakci, C.O., Yildiztugay, E., Bahtiyar, M. and Kucukoduk, M. (2018). The humic acid-induced changes in the water status, chlorophyll fluorescence and antioxidant defense systems of wheat leaves with cadmium stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 155: 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.02.071>
- Kumar, U., Gulati, I.J., Kumar, H. and Kumar, G. (2016). Role of humic acid and salicylic acid on yield attributes, yield and economics of tomato under salinity stress condition. *Annals of Plant and Soil Research* 18(2): 118-122.
- Latif, H.H. and Mohamed H.I. (2016). Exogenous applications of moringa leaf extract effect on retrotransposon, ultrastructural and biochemical contents of common bean plants under environmental stresses. *South African Journal of Botany* 106: 221-231.
- Läuchli, A. and Grattan, S.R. (2007). Plant growth and development under salinity stress. In: *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops*. Εκδόσεις Springer, Netherlands, pp. 1-32. doi: 10.1007/978-1-4020-5578-2_1
- Lotfi, R., Gharavi-Kouchebagh, P. and Khoshvaghti, H. (2015). Biochemical and Physiological Responses of Brassica napus Plants to Humic Acid Under Water Stress. *Russian Journal of Plant Physiology* 62(4): 480-486. doi: 10.1134/S1021443715040123
- Man-hong, Y., Lei, Z., Sheng-tao, X., McLaughlin, N.B and Jing-hui, L. (2020). Effect of water soluble humic acid applied to potato foliage on plant growth, photosynthesis characteristics and fresh tuber yield under different water deficits.

Scientific Reports 10: 7854.

- Maraei, R., Eliwa, N. and Aly, A. (2019). Use of some biostimulants to improve the growth and chemical constituents of sweet pepper. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences* 13 (1): 553-561.
- Martinez-Beltran J. and Manzur, C.L. (2005). Overview of salinity problems in the world and FAO strategies to address the problem. In: *Proceedings of the International Salinity Forum*, Εκδόσεις Riverside, California, pp. 311–313.
- Mittler, R. (2006). Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science* 11(1): 1-19.
- Moghadam, H.T., Khamene, M.K. and Zahedi, H. (2014). Effect of humic acid foliar application on growth and quantity of corn in irrigation withholding at different growth stages. *Maydica* 59: 124-128.
- Moraditochae, M. (2012). Effects of humic acid foliar spraying and nitrogen fertilizer management on yield of peanut (*Arachis hypogaea* L.) in Iran. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science* 7: 289-293.
- Muscolo, A., Cutrupi, S., Nardi, S. (1998). IAA detection in humic substances. *Soil Biol. Biochem.* 30: 1199-1201.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biol. Biochem.* 34: 1527-1536.
- Ounia, Y., Ghnayaa, T., Montemurrob, F., Abdellya, Ch., Lakh dara, A. (2014). The role of humic substances in mitigating the harmful effects of soil salinity and improve plant productivity. *International Journal of Plant Production* 8(3): 353-374.
- Ozkutlu, F., Torun, B. and Cakmak, I. (2006). Effect of zinc humate on growth of soybean and wheat in zinc-deficient calcareous soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 37: 2769-2778. doi: 10.1080/00103620600832167
- Poschenrieder, C, Tolra, R. and Barcelo, J. (2006). Can metals defend plants against biotic stress?. *Trends in Plant Science* 11 (6): 288-295.
- Prado, M.R.V., Dos Santos Weber, O.L., De Moraes, M.F., Dos Santos, C.L.R., Tunes, M.S. and Ramos, F.T. (2016). Humic Substances on Soybeans Grown Under Water Stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 47(21): 2405-2413.

- Prado, M.R.V, Dos Santos Weber, O.L., De Moraes, M.F., Dos Santos, C.L.R., Tunes, M.S. (2016). Liquid organomineral fertilizer containing humic substances on soybean grown under water stress. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20(5): 408-414.
- Qin, K. and Leskovar, D.I. (2020). Humic Substances Improve Vegetable Seedling Quality and Post-Transplant Yield Performance under Stress Conditions. *Agriculture* 10(254). doi:10.3390/agriculture10070254
- Rady, M.M. (2012). A novel organo-mineral fertilizer can mitigate salinity stress effects for tomato production on reclaimed saline soil. *South African Journal of Botany* 81: 8-14.
- Sadeghi-Shoae, M., Paknejad, F., Darvishi, H.H., Mozafari, H., Moharramzadeh, M. and Tookaloo, M.R. (2013). Effect of intermittent furrow irrigation, humic acid and deficit irrigation on water use efficiency of sugar beet. *Annals of Biological Research* 4: 187-193.
- Saidimoradi, D., Ghaderi, N. and Javadi, T. (2019). Salinity stress mitigation by humic acid application in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Scientia Horticulturae* 256: 108594. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108594>
- Santos, N.M., Accioly, A.M.A., Nascimento, C.W.A., Santos, J.A.G., Silva, I.R. (2014). Humic acids and activated charcoal as soil amendments to reduce toxicity in soil contaminated by lead. *Rev. Bras. Ci. Solo* 38: 345-351.
- Sarhan, T.Z. (2011). Effect of humic acid and seaweed extracts on growth and yield of potato plant (*Solanum tuberosum* L) desiree Cv. *Mesopotamia j. of Agric* 39(2): 19-27.
- Sarir, M.S., Sharif, M., Zeb, A. and Akhlaq, M. (2005). Influence of different levels of humic acid application by various methods on the yield and yield components of maize. *Sarhad Journal of Agriculture* 21: 75-81.
- Selim, E.M., Mosa, A.A. and El-Ghamry, A.M. (2009). Evaluation of humic substances fertigation through surface and subsurface drip irrigation systems on potato grown under Egyptian sandy soil conditions. *Agricultural Water Management* 96: 1218-1222.
- Shen, H.F., Zhao, B., Xu, J.J., Liang, W., Huang, W.M. and Li, H.H. (2017). Effects of

- heat stress on changes in physiology and anatomy in two cultivars of *Rhododendron*. *South African Journal of Botany* 112: 338-345. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sajb.2017.06.018>
- Stevenson, F.J. (1994). *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*, 2 ed. Εκδόσεις Wiley, New York, NY, USA.
- Sun, Y., Qiu, C., Ding, Y., Wang, Y., Sun, L., Fan, K., Gai, Z., Dong, G., Wang, J., Li, X., Song, L. and Ding, Z. (2020). Fulvic acid ameliorates drought stress induced damage in tea plants by regulating the ascorbate metabolism and flavonoids biosynthesis. *BMC Genomics* 21(411): 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-06815-4>
- Sun, Y.P., Yang, J.S., Yao, R.J, Chen, X.B. and Wang, X.P. (2020). Biochar and fulvic acid amendments mitigate negative effects of coastal saline soil and improve crop yields in a three-year field trial. *Scientific Reports* 10:8946. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65730-6>
- Suzuki, N., Rivero, R.M., Shulaev, V., Blumwald, E. and Mittler, R. (2014). Abiotic and biotic stress combinations. *New Phytologist* 203: 32-43. doi: 10.1111/nph.12797
- Taibi, K., Taibi, F., Abderrahim, L., Ennajah, A., Belkhodja, M., Mulet, J. (2016). Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. *South African Journal of Botany* 105: 306-312.
- Unlu, H.O., Unlu, H., Karakurt, Y. and Padem, H. (2011). Changes in fruit yield and quality in response to foliar and soil humic acid application in cucumber. *Scientific Research and Essays* 6: 2800-2803. doi: 10.5897/SRE11.304.
- Uyguner C. S. and Bekbolet M. (2005). A comparative study on the photocatalytic degradation of humic substances of various origins. *Desalination* 176: 167-176.
- Wang, D., Heckathorn, S.A., Mainali, K. and Tripathee, R. (2016). Timing Effects of Heat-Stress on Plant Ecophysiological Characteristics and Growth. *Frontiers in Plant Science* 7 (1692): 1-11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01629>
- Yildiztekin, M., Tuna, A.L. and Kaya, C. (2018). Physiological effects of the brown seaweed (*Ascophyllum nodosum*) and humic substances on plant growth, enzyme activities of certain pepper plants grown under salt stress. *Acta Biologica*

Hungarica 69(3): 325-335.

Zhang X. and Schmidt R.E. (1997). The impact of growth regulators on the α -tocopherol status in water-stressed *Poa pratensis*. *International Turfgrass Society Research Journal* 8: 1364-1371.

Zhang X. and Schmidt R.E. (2000). Hormone-containing products' impact on antioxidant status of tall fescue and creeping bent grass subjected to drought. *Crop Science* 40: 1344-1349.

Zhang, X., Ervin, E.H., Schmidt, R.E. (2003). Physiological effect of liquid applications of a seaweed extracts and humic acid on creeping. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128(4): 492-496.

Zimmer, G. (2004). Humates and humic substances. Bio-correct inputs for the Ecofarmer. *ACRES* 34(1): 1-2.