



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ**  
**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΖΙΖΑΝΙΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΤΗΣ**  
**ΡΙΓΑΝΗΣ ΟΤΑΝ ΑΝΑΠΤΥΣΣΕΤΑΙ ΣΕ ΑΥΞΗΜΕΝΑ ΕΠΙΠΕΔΑ**  
**ΚΑΛΜΙΟΥ ΣΤΟ ΕΛΑΦΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΑ ΜΕ ΑΖΩΤΟΥΧΟ**  
**ΛΙΠΑΝΣΗ**

**ΠΑΛΑΙΟΡΟΥΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΛΕΒΙΖΟΥ ΕΥΘΥΜΙΑ**

**Βόλος, 2023**

**ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΤΗΣ ΡΙΓΑΝΗΣ  
ΟΤΑΝ ΑΝΑΠΤΥΣΣΕΤΑΙ ΣΕ ΑΥΞΗΜΕΝΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΚΑΔΜΙΟΥ ΣΤΟ  
ΕΛΑΦΟΣ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΑ ΜΕ ΑΖΩΤΟΥΧΟ ΛΙΠΑΝΣΗ**

**PHYSIOLOGICAL AND GROWTH RESPONSES OF OREGANO GROWN  
UNDER INCREASED SOIL CADMIUM LEVELS COMBINED WITH  
NITROGEN FERTILIZER APPLICATION**

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή :

**Λεβίζου Ευθυμία:** Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Επιβλέπουσα

**Αντωνιάδης Βασίλειος:** Καθηγητής Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Μέλος

**Γιαννούλης Κυριάκος,** Επίκουρος Καθηγητής Γεωργίας με έμφαση στην καλλιέργεια Ενεργειακών, Αρωματικών και Φαρμακευτικών Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Μέλος

«Βεβαιώνω ότι εγώ, ο Παλαιορούτης Νικόλαος είμαι ο συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος».

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ειλικρινά την κα Λεβίζου Ευθυμία Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας για την βοήθεια της και την καθοδήγηση της τόσο κατά την διάρκεια του πειράματος όσο και κατά την συγγραφή της παρούσας πτυχιακής εργασίας .Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Αντωνιάδη Βασίλειο Καθηγητής Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας για την βοήθεια του και τις χρήσιμες συμβουλές του καθώς και για την παραχώρηση του εργαστήριου εδαφολογίας όταν χρειάστηκε. Επίσης θερμό ευχαριστώ στον κ. Γιαννούλη Κυριάκο Επίκουρο Καθηγητή Γεωργίας με έμφαση στην καλλιέργεια Ενεργειακών, Αρωματικών και Φαρμακευτικών Φυτών, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, για τις σημαντικές διορθώσεις του. Επίσης χρωστάω ένα τεράστιο ευχαριστώ στην υποψήφια διδάκτορα Τσουμαλακου Εύα για την βοήθεια της και τις συμβουλές της και στον υποψήφιο διδάκτορα Θαλασσινό Γεώργιο για την έμπρακτη βοήθεια του κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων και τις πάντα καλοπροαίρετες υποδείξεις του. Τέλος το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στους γονείς μου.

Μπαμπά , Μαμά ευχαριστώ για όλα.

**Στην οικογένεια μου,**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση του καδμίου σε φυτά ρίγανης (*Origanum vulgare* L.) συνδυαστικά με λίπανση από άζωτο. Για την διεξαγωγή του πειράματος δημιουργήθηκαν 6 μεταχειρίσεις από 30 φυτά η καθεμιά στις οποίες εφαρμόστηκαν 3 διαφορετικά επίπεδα καδμίου (0, 20, 40 ppm), ενώ η λίπανση από άζωτο αποτελούταν από δυο επίπεδα (9 και 30 kg/στρέμμα). Οι μετρήσεις στο πεδίο κατά τη διάρκεια της αναπτυξιακής περιόδου περιλάμβαναν μετρήσεις ολικών χλωροφυλλών μέσω του δείκτη SPAD, μετρήσεις ανακλαστικότητας φύλλου με τον δείκτη PRI και φθορισμού της χλωροφύλλης *a in vivo*. Κατά την τελική συγκομιδή που πραγματοποιήθηκε στο στάδιο πλήρους ανθοφορίας (τέλος Ιουνίου) καταγράφηκε το νωπό βάρος και η συσσώρευση ξηρής βιομάζας στα διάφορα φυτικά τμήματα. Τα αποτελέσματα καταδεικνύουν ότι η προσθήκη αζώτου αυξάνει την νωπή βιομάζα των φύλλων, καθώς και την ξηρή βιομάζα ολόκληρου του φυτού είτε απουσία Cd, είτε στην μεγαλύτερη συγκέντρωση Cd στο έδαφος (40 ppm). Η ενδιάμεση συγκέντρωση Cd στο έδαφος (20 ppm) είχε παρόμοια αποτελέσματα στην ανάπτυξη της ρίγανης, παρουσία και απουσία επιπλέον αζώτου. Τα επίπεδα των συνολικών χλωροφυλλών, όπως φάνηκε από τις τιμές SPAD, ήταν υψηλότερα και παρέμειναν σταθερά κατά τη διάρκεια της αναπτυξιακής περιόδου όταν προσθέσαμε αζωτούχα λίπανση. Αυτό ίσχυε ιδιαίτερα στα γηραιότερα και νεότερα φύλλα, όπως αποτυπώθηκε στην μέτρηση κατά τον κατακόρυφο άξονα του φυτού. Δεν καταγράφηκε καταπόνηση της φωτοσυνθετικής συσκευής των φυτών ρίγανης, σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δεικτών  $F_v/F_m$  και  $PI_{total}$ , που παραπέμπουν στην μέγιστη και συνολική τρέχουσα φωτοσυνθετική απόδοση, αντίστοιχα. Η ρίγανη αποδεικνύεται ανθεκτική ακόμα και σε υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου στο έδαφος.

# Περιεχόμενα

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1. Βαρέα μέταλλα.....	8
1.1.1 Γενικά στοιχεία.....	8
1.1.2. Αλληλεπίδραση φυτών και βαρέα μετάλλων .....	8
1.1.3. Στρατηγικές αντιμετώπισης της καταπόνησης από βαρέα μέταλλα.....	9
1.2. Κάδμιο.....	11
1.2.1 Γενικά Στοιχεία .....	11
1.2.2 Μέγιστα επιτρεπόμενα όρια για τον άνθρωπο.....	11
1.2.3 Μέγιστα επιτρεπόμενα όρια για περιβάλλον και τρόφιμα .....	11
1.2.4 Επιπτώσεις από την συσσώρευση καδμίου στα φυτά .....	12
1.3. Ρίγανη.....	13
1.3.1 Βοτανικά χαρακτηριστικά κα ταξινόμηση .....	13
1.3.2 Καλλιέργεια και πολλαπλασιασμός ρίγανης .....	13
1.3.3 Συγκομιδή και αποδόσεις καλλιέργειας .....	14
1.3.4 Το αιθέριο έλαιο .....	14
1.3.5 Χρήσεις ρίγανης -αιθέριου ελαίου .....	15
1.4 Σκοπός της πτυχιακής εργασίας .....	15
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ .....	16
2.1. Πειραματικός Σχεδιασμός .....	16
2.2 Μετρήσεις Φυσιολογικών Παραμέτρων .....	17
2.2.1 Μέτρηση Φθορισμού Χλωροφύλλης a <i>in vivo</i> .....	17
2.2.2 Μέτρηση ανακλαστικότητας φύλλου .....	18
2.2.3 Εκτίμηση περιεχόμενου φύλλου σε χλωροφύλλη με τον δείκτη SPAD.....	18
2.3 Μετρήσεις κατά την τελική συγκομιδή.....	19
2.4 Στατιστική ανάλυση .....	19
3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	19
3.1 Αναπτυξιακά.....	19
3.2 Μετρήσεις Φυσιολογικών Παραμέτρων .....	23
3.2.1 Μετρήσεις SPAD .....	23
3.2.2 Μετρήσεις PRI .....	27
3.2.3 Μετρήσεις $PI_{total}$ .....	29
3.2.4 Μετρήσεις $Fv/Fm$ .....	30
4.ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	31
5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	35
6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	36

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1. Βαρέα μέταλλα

#### 1.1.1 Γενικά στοιχεία

Τα χημικά στοιχεία του περιοδικού πίνακα με ατομικό αριθμό μεγαλύτερο του 20, μεταλλικό χαρακτήρα και πυκνότητα μεγαλύτερη των  $5 \text{ g/cm}^3$  χαρακτηρίζονται ως βαρέα μέταλλα. Το κάδμιο (Cd), το χρώμιο (Cr), ο χαλκός (Cu), το μαγγάνιο (Mn), ο μόλυβδος (Pb), και ο ψευδάργυρος (Zn) αποτελούν κάποια παραδείγματα εξ αυτών. Ακόμα τα βαρέα μέταλλα παρουσιάζουν την ικανότητα της βιοσυσσώρευσης και την παραμονή τους στο έδαφος για μεγάλο χρονικό διάστημα. σε μεγάλες συγκεντρώσεις. (Καραμπουρνιώτης κ.ά., 2012). Αξίζει να αναφερθεί ότι ορισμένα ιχνοστοιχεία τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη των φυτικών οργανισμών μπορεί να αποβούν τοξικά αν η συγκέντρωσή τους ξεπεράσει κάποια καθορισμένα όρια (συνήθως χαμηλά) (Khanam et al., 2020).

Η προέλευση των βαρέων μετάλλων μπορεί να είναι φυσική ή ανθρωπογενής. Τα βαρέα μέταλλα αποτελούν φυσικά συστατικά του φλοιού τη γης, επομένως είναι αναμενομένη η ανίχνευση τους σε μικρές ποσότητες (Li et al., 2018). Βεβαία λόγω συγκεκριμένων γεωχημικών διεργασιών μπορούν να παρατηρηθούν φυσιολογικά σε μεγάλες συγκεντρώσεις σε συγκεκριμένες περιοχές οι οποίες ονομάζονται σερπεντινικά εδάφη (Καραμπουρνιώτης κ.ά., 2012). Η φυσική τους προέλευση μπορεί να είναι από μητρικά υλικά, από τα πετρώματα ή την ηφαιστειακή δραστηριότητα (Antoniadis et al.2017) Με τον ορό ανθρώπινη προέλευση εννοούμε οποιοδήποτε ανθρώπινη δραστηριότητα είναι ικανή να προκαλέσει ρύπανση με βαρέα μέταλλα, όπως η εξόρυξη κοιτασμάτων μετάλλων, η εκτεταμένη χρήση μετάλλων και ενώσεων τους στην γεωργία καθώς και βιομηχανικά απόβλητα (Tchounwou et al., 2012). Πιο συγκεκριμένα στην γεωργία σύμφωνα με (Nicholson et al., 2003), οι κυρίες οδοί ρύπανσης σχετίζονται με την χρήση λιπασμάτων, κοπριάς, κομπόστ και αρδευτικού νερού.

#### 1.1.2. Αλληλεπίδραση φυτών και βαρέα μέταλλων

Η αλληλεπίδραση μεταξύ εδάφους και φυτού θα καθορίσει τη σοβαρότητα των δυσλειτουργιών που προκαλούνται στα φυτά από τα Β.Μ. Τα φυτά έχουν συστήματα



και διαδικασίες που μπορούν περιστασιακά είτε να επιταχύνουν είτε να καθυστερήσουν την απορρόφησή αυτών. Παράγοντες που είναι καθοριστικοί στην απορρόφηση βαρέων μετάλλων από τα φυτά είναι ο τύπος του εδάφους, το pH, το κλίμα, αλλά και οι γεωργικές καλλιεργητικές πρακτικές. Η δέσμευση τους και η κινητικότητα τους εσωτερικά του φυτού εξαρτώνται επιπλέον από τη μικροβιακή δραστηριότητα στη ρίζα. Σε συνέχεια με τα παραπάνω αξία αναφοράς αποτελούν οι μυκόρριζες ή άλλοι μύκητες του γένους *Phoma* και *Alternaria* και *Peyronellaea*, που σε μεγάλες συγκεντρώσεις μολυσματικών στοιχείων δείχνουν θετική επίδραση στην ανταρχή του φυτού. (Antoniadis et al.2017). Υπάρχουν φυτά που έχουν αναπτύξει μηχανισμούς άμυνας απέναντι στην καταπόνηση από βαρέα μέταλλα, με αυτούς να εξαρτώνται κυρίως από το είδος του φυτού και το περιβάλλον και από το είδος του μετάλλου (Kabata-Pendias & Mukherjee, 2007). Για την πλειονότητα των φυτών, η έκθεση τους σε βαρέα μέταλλα ανάλογα και με την ποσότητα που αυτά θα απορροφήσουν, μπορεί να οδηγήσει ακόμη και στην νέκρωση αυτών. (Yadav, 2010). Με την αδρανοποίηση ενζύμων, τον αποκλεισμό λειτουργικών ομάδων μορίων κρίσιμων για το μεταβολισμό, την υποκατάσταση ή την αντικατάσταση βασικών συστατικών και τη διατάραξη της ακεραιότητας αυτών των διεργασιών σε κυτταρικό και μοριακό επίπεδο, τα βαρέα μέταλλα μπορούν να προκαλέσουν φυτοτοξικότητα (Rascio et. al, 2011).

### 1.1.3. Στρατηγικές αντιμετώπισης της καταπόνησης από βαρέα μέταλλα

Προκειμένου όχι μόνο να ζουν αλλά και να αναπτύσσονται καλά σε περιβάλλον με βαρέα μέταλλα, τα φυτά ανέπτυξαν μια ποικιλία στρατηγικών διαχείρισης της καταπόνησης που υφίστανται. Δεδομένου ότι η στρατηγική ανθεκτικότητας δεν μπορεί να επιτρέψει κανονική ανάπτυξη και μια ομαλή λειτουργικότητα για την πλειονότητα των φυτικών ειδών λόγω της ευαισθησίας του φυτικού κυττάρου στην υψηλή συγκέντρωση μετάλλων, η «επιλογή» της αποφυγής είναι πιο αποτελεσματική στα περισσότερα φυτικά είδη. Με τον ορό αποφυγή εννοούμε την αποτροπή εισόδου των τοξικών μετάλλων στους ιστούς που εμφανίζουν ευαισθησία καθώς και την μεταφορά τους σε ιστούς με μεγαλύτερη ανοχή σε αυτά. Σύμφωνα με τους Antoniadis et al.2017 μπορούμε να κατατάξουμε τους μηχανισμούς αντιμετώπισης της καταπόνησης από την πλευρά του φυτού στις παρακάτω κατηγορίες.

1. Διαχωρισμός-Διαμερισματοποίηση: Στην ουσία πρόκειται για απομόνωση των βαρέων μετάλλων από ενεργά βιολογικά μόρια του κυττάρου και έτσι την αποφυγή επαφής τους με ευαίσθητους στόχους.
2. Δέσμευση-Χηλίωση: Τα φυτά έχοντας ως στόχο την χαμηλή συγκέντρωση βαρέων μετάλλων στο εσωτερικό τους εκκρίνουν ουσίες ώστε να σχηματιστούν σύμπλοκα με τα βαρέα μέταλλα που ρυθμίζουν την ευκολία μετακίνησής τους.
3. Απέκκριση από τα υπέργεια μέρη του φυτού: Έχουν παρατηρηθεί αυξημένες συγκεντρώσεις Pb και Ni στις άκρες των φύλλων, πιθανώς λόγω απελευθέρωσης περίσσειας βαρέων μετάλλων μέσω του φαινομένου της σταγονόρροιας.
4. Ενζυμικά ή Μη Ενζυμικά αντιοξειδωτικά: Ο ρόλος τους περιστρέφεται γύρω από τη εξουδετέρωση των ενεργών ριζών οξυγόνου (ROS). Είναι ζωτικής σημασίας για το κύτταρο η ισορροπία μεταξύ δημιουργίας αυτών των ριζών και καταστροφή τους καθώς διατηρείται η ακεραιότητα των λιπιδίων της μεμβράνης και η λειτουργικότητα των μεμβρανών του φυτικού κυττάρου.
5. Προστασία, αποκατάσταση μετά την άρση της καταπόνησης και επιδιόρθωση των πρωτεϊνών που υπέστησαν βλάβη: Καθώς οι πρωτεΐνες συμβάλουν σημαντικά στην ανοχή του φυτού είναι σημαντική εξίσου και η προστασία τους. Παράδειγμα αποτελεί η αύξηση σε αριθμό των πρωτεϊνών θερμικού σοκ (HSPs) σε περιπτώσεις καταπόνησης από βαρέα μέταλλα που σαν ρόλο έχουν την διατήρηση και επιδιόρθωση της τριτοταγούς-τεταρτοταγούς μορφής των πρωτεϊνών.

## 1.2. Κάδμιο

### 1.2.1 Γενικά Στοιχεία

Το κάδμιο (Cd) αποτελεί στοιχείο της ΙΙΒ ( $12^{ns}$ ) ομάδας του Περιοδικού Πίνακα. Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται ορισμένες χημικές ιδιότητες του στοιχείου (Ευστάθιου 2022, Kumar et al., 2021).

ΚΑΔΜΙΟ (Cd)	
ΑΤΟΜΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ	48
ΑΤΟΜΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	112.4 g mol <sup>-1</sup>
ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	8.7 g cm <sup>-3</sup> (20°C)
ΣΗΜΕΙΟ ΒΡΑΣΜΟΥ	765 °C
ΣΗΜΕΙΟ ΤΗΞΗΣ	321 °C

### 1.2.2 Μέγιστα επιτρεπόμενα όρια για τον άνθρωπο

Τα επιτρεπόμενα όρια σύμφωνα με τους οργανισμούς FAO & WHO είναι ανά βδομάδα 400 μέχρι 500 μg Cd που αντιστοιχεί περίπου σε 70 μg Cd ανά ημέρα. Υπολογίζεται ότι μέσω της διατροφής ένα άτομο λαμβάνει 25 μέχρι 75 μg Cd ημερησίως με τον αριθμό αυτόν να αυξάνεται στους καπνιστές που επιβαρύνουν τον οργανισμό τους με επιπρόσθετα 20-35 μg Cd (Σαρλικιώτη, 2006). Επιπρόσθετα σύμφωνα με τους Hu et al. (2021) η συγκέντρωση στο αίμα πρέπει να είναι μικρότερη από 5 μg/L.

### 1.2.3 Μέγιστα επιτρεπόμενα όρια για περιβάλλον και τρόφιμα

Αρχικά για την Ευρωπαϊκή Ένωση το μέγιστο επιτρεπτό όριο στα εδάφη είναι 3 mg kg<sup>-1</sup> (Antoniadis & Golia, 2020). Στον φλοιό της γης, η μέση περιεκτικότητα που απαντάται είναι τις τάξεις των 0,2 mg kg<sup>-1</sup> ενώ στα εδάφη της επιφάνειας είναι 0,53 mg kg<sup>-1</sup>. Στον αέρα οι τιμές διαφέρουν αναλόγως του περιβάλλοντος που εξετάζεται. Όπως είναι λογικό το μεγαλύτερο πρόβλημα εντοπίζεται στις βιομηχανικές περιοχές, όπου ενδεχεται να παρατηρείται συγκέντρωση μέχρι και 11000 ng m<sup>-3</sup> εφοσον μιλαμε για βιομηχανίες επιμετάλλωσης ενώ στις αγροτικές έχουμε την μικρότερη τιμή

που ανέρχεται στο  $1-6 \text{ ng m}^{-3}$ . (Παπαδήμου, 2020). Βέβαια στις αγροτικές περιοχές στα εδάφη παρατηρείται μεγάλη συγκέντρωση καδμίου λόγω της ύπαρξης του στα φωσφορικά λιπάσματα. (Παπαδήμου, 2020). Όσον αφορά τα τρόφιμα σύμφωνα με τους Sekeroglu et. al. (2007) τα ανωτέρα όρια σε δημητριακά και όσπρια είναι  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  ενώ στο νερό είναι  $0,03 \text{ mg kg}^{-1}$  όπως υποστηρίζει ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας. Σύμφωνα πάντα με τον ίδιο οργανισμό τα μέγιστα όρια καδμίου σε φυτικά υλικά είναι  $0,3 \text{ mg/kg}$ .

#### 1.2.4 Επιπτώσεις από την συσσώρευση καδμίου στα φυτά

Το Cd βρίσκεται στο έδαφος (εδαφικό διάλυμα) σε μορφή κατιόντων  $\text{Cd}^{2+}$ . Η απορρόφησή του από τους φυτικούς οργανισμούς εξαρτάται από το pH χωρίς αυτό να σημαίνει ότι αυτός είναι ο μοναδικός παράγοντας που την επηρεάζει. Η διαθεσιμότητα του Cd μειώνεται με την αύξηση του pH. Σε ασβεστώδη εδάφη (δηλαδή με αλκαλικό pH) το διαθέσιμο για απορρόφηση από τα φυτά Cd είναι μειωμένο και για τον επιπλέον λόγο ότι με την επίδραση του  $\text{CaCO}_3$  σχηματίζονται αδιάλυτα κατακρημνίσματα (Antoniadis et al., 2017).

Ως προς τον φαινότυπο τα συνηθέστερα συμπτώματα περιλαμβάνουν χλώρωση και νέκρωση των φύλλων, την μείωση της βλαστικότητας των σπόρων και μειωμένη ανάπτυξη (Hossain et. al., 2011). Οι Sangsuwan & Prapagdee (2021) αναφέρουν ότι η υψηλή συγκέντρωση καδμίου μειώνει την φωτοσυνθετική ικανότητα και την ανάπτυξη των ριζών. Επίσης, επηρεάζεται η ικανότητα απορρόφησης ιχνοστοιχείων, λόγω του ανταγωνισμού που επικρατεί ανάμεσα στα βαρέα μέταλλα. Παράδειγμα αποτελούν το Cd με το Zn καθώς σε υψηλά επίπεδα του πρώτου μειώνεται η απορρόφηση του δεύτερου από τα φυτά (Antoniadis et al. 2017). Η μειωμένη φωτοσυνθετική ικανότητα μπορεί να εξηγηθεί από την αρνητική επίδραση των βαρέων μετάλλων σε πρωτεΐνες, λιπίδια και άλλα συστατικά στοιχεία του φωτοσυστήματος II. Επιπρόσθετα υπάρχει πιθανότητα αντικατάστασης του Mg στο μόριο της χλωροφύλλης (Hossain et. al., 2011). Η τοξική δράση του καδμίου συνδέεται επίσης στο ότι εμποδίζει την δράση πολλών ενζύμων καθώς και την μεταγραφή του DNA στους μικροοργανισμούς και έτσι δυσκολεύει την συμβίωση αυτών και των φυτών (Hossain et. al., 2011). Επιπρόσθετα το κάδμιο παρεμποδίζει την βιολογική μετατροπή των  $\text{HNO}_2$  σε NO (Σαρλικιώτη, 2006), με το κάδμιο μάλιστα να αποτελεί τον πιο τοξικό παράγοντα για αυτή τη

διεργασία μεταξύ των άλλων βαρέων μετάλλων που εξετάστηκαν (Baath, 1989). Τέλος, σύμφωνα με (Benavides et al., 2005). φαίνεται να είναι υπεύθυνο για την αναστολή της βιολογικής διεργασίας της μετατροπής του τρισθενή σιδηρού ( $Fe^{+3}$ ) σε δισθενή ( $Fe^{+2}$ ) καθώς παρεμποδίζει την λειτουργία της Fe(III) ρεδουκτάσης

### 1.3. Ρίγανη

#### 1.3.1 Βοτανικά χαρακτηριστικά κα ταξινόμηση

Η ρίγανη (*Origanum vulgare* L.) ανήκει στην οικογένεια Lamiaceae της τάξης Lamiales. Το γένος *Origanum* περιλαμβάνει 49 διαφορετικά taxa (είδη-υποείδη) καθώς και υβρίδια. Στην Ελλάδα η ποικιλία που ευδοκίμει (θεωρείται αυτόχθονη) και εξετάζουμε και στην συγκεκριμένη εργασία είναι η λεγομένη ελληνική ρίγανη (*Origanum vulgare* L. ssp. *Hirtum*) που θεωρείται και η κορυφαία σε ποιότητα στον κόσμο. Πρόκειται για ποώδες πολυετές φυτό, με φύλλα έμμισχα, αντίθετα διατεταγμένα και μικρά σε μέγεθος, ενώ τα άνθη της είναι διατεταγμένα σε ταξιανθίες τύπου στάχυ (Κατσιώτης, 2019). Ως αυτοφυές μπορεί να αναπτυχθεί σε χαμηλά ως μεσαία υψόμετρα με έντονο φωτισμό. Ως καλλιεργούμενο μπορεί να αναπτυχθεί και ορεινά μέρη αλλά και σε φτωχά ασβεστούχα εδάφη.

#### 1.3.2 Καλλιέργεια και πολλαπλασιασμός ρίγανης

Η ρίγανη είναι πιθανό να πολλαπλασιαστεί με δυο τεχνικές, είτε με μοσχεύματα ή παραφυάδες (αγενώς), ή διαφορετικά με σπόρους (εγγενώς). Συνίσταται ο πρώτος τρόπος καθώς με τον σπόρο οψιμίζεται η παραγωγή και παρατηρείται μεγάλη ανομοιομορφία στα φυτά (Ανυφαντη, 2015). Η ρίγανη δεν έχει πολλές απαιτήσεις σε θρεπτικά (αρά και σε λιπάσματα) και μπορεί να αναπτυχθεί σε ορεινές και παραθαλάσσιες περιοχές (Κατσιώτης, 2019, Κουτσός, 2006). Επίσης δεν χρειάζεται μεγάλες ποσότητες νερού αν και η άρδευση βοηθάει την αύξηση της βιομάζας και στην ποιότητα του ελαίου της. Είναι φυτό μακράς φωτοπεριόδου (12 ώρες και πάνω) και έχει ανάγκη υψηλές εντάσεις φωτός. Όταν αναπτύσσεται σε σκιά παρατηρείται μειωμένη σύνθεση καρβακρόλης αλλά και γενικότερα ριγανέλαιου (Κουτσος, 2006). Κατά την καλλιέργεια της συνήθως τα φυτά φυτεύονται σε αποστάσεις 0,3-0,4 m επί των γραμμών ενώ οι γραμμές μεταξύ τους 0,6-0,8 m. Η φύτευση πραγματοποιείται είτε το Οκτώβρη είτε τον Μάρτιο. (Κατσιώτης 2019). Στα άγονα εδάφη προτιμώνται πιο

πυκνές φυτεύσεις. Αξίζει να αναφερθεί ότι το φυτό αναπτύσσεται σε όλο το εύρος μεταξύ 33<sup>0</sup>C και 4 <sup>0</sup>C, ενώ ιδανικές θερμοκρασίες θεωρούνται οι 18-22 <sup>0</sup>C. Η ανθοφορία ξεκινάει τον Ιούνιο και διαρκεί ως Σεπτέμβριο- Οκτώβριο, αναλόγως των περιβαλλοντικών συνθηκών (Μαλούπα 2013).

### 1.3.3 Συγκομιδή και αποδόσεις καλλιέργειας

Οι αναμενόμενες αποδόσεις σε βιομάζα είναι μεταξύ 1,5-2 τόνους το στρέμμα που αντιστοιχεί περίπου σε 300 κιλά τριμμένης ρίγανης ανά στρέμμα (Κατσιώτης, 2019). Οι αποδόσεις το στρέμμα για το αιθέριο έλαιο κυμαίνονται από 0,07 έως 0,3% στο ωπό υπέργειο τμήμα και 0,5 ως 2,3% στα αποξηραμένα άνθη και φύλλα. Ενώ στα 15 κιλά σπόρο ανά στρέμμα ανέρχεται η απόδοση για σποροπαραγωγή. Η συγκομιδή της ρίγανης εξαρτάται από την χρήση που την προορίζουμε μετά από την συλλογή της. Εφόσον θέλουμε να την χρησιμοποιήσουμε για αιθέριο έλαιο είναι καλύτερο να συλλέγεται στο στάδιο της πλήρους ανθοφορίας, ενώ αν θέλουμε για δρόγη στα αρχικά της στάδια . Τέλος, εφόσον την θέλουμε να την διαθέσουμε ως φρέσκο προϊόν, τότε θα πρέπει να την συλλέξουμε πριν τα φυτά ανθοφορήσουν. Στις πρώτες δύο περιπτώσεις απαιτείται και ξήρανση του προϊόντος σε ειδικούς αποξηραντές ή στην σκιά (Κατσιώτης, 2019).

### 1.3.4 Το αιθέριο έλαιο

Το αιθέριο έλαιο της ρίγανης ονομάζεται ριγανέλαιο. Τα συστατικά του είναι κυρίως καρβακρόλη, θυμόλη, αλλά και π-κυμένιο και γ-τερπινένιο, ενώ σε μικρότερο ποσοστό μεταξύ άλλων περιέχει φλαβόνες, φλαβονογλυκοσίδες, κατεχίνη, σεσκιτερπένια, φαινολικά οξέα. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την σύσταση του ελαίου είναι ο γονότυπος του φυτού, οι καλλιεργητικές τεχνικές και η γεωγραφική θέση του χωραφιού. Σύμφωνα με την Μαλούπα (2013), όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο τόσο μειώνεται η ποσότητα του ελαίου πιθανώς λόγω της μικρότερης φωτοπεριόδου στην πρώτη περίπτωση και της θερμοκρασίας στην δεύτερη που επηρεάζουν την φωτοσύνθεση.

### 1.3.5 Χρήσεις ρίγανης -αιθέριου ελαίου

Η πιο διαδεδομένη χρήση της είναι στην μαγειρική ως μπαχαρικό. Διαθέτει πλούσιο άρωμα και ιδιαίτερη γεύση, αποτελώντας σημαντικό συστατικό της μεσογειακής κουζίνας. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως συντηρητικό τροφίμων, λόγω της αντιμικροβιακής της δράσης. Όμως η χρήση της δεν περιορίζεται εκεί καθώς έχουν αποδειχτεί πολλές φαρμακευτικές ιδιότητες της ρίγανης όπως για παράδειγμα η χρήση της σε στομαχικά και εντερικά προβλήματα. Ταυτόχρονα, ως αφέψημα προσφέρει χαλάρωση και έναν καλύτερο ύπνο, ενώ χρησιμοποιείται και στην αντιμετώπιση του απλού κρυολογήματος. Τέλος μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για εντριβές εξωτερικά σε πόνους μυών και αρθρώσεων (Κουτσός, 2006, Κατσιώτης, 2019).

### 1.4 Σκοπός της πτυχιακής εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να εκτιμήσει την επίδραση του αυξημένου καδμίου στο έδαφος σε φυτά ρίγανης και πώς αυτή επηρεάζεται από την παρουσία αυξημένων επιπέδων αζώτου. Μελετήθηκε τόσο η δράση μεμονωμένα του καδμίου, όσο και τα αποτελέσματα της αλληλεπίδρασης του με το άζωτο σε φυσιολογικές παραμέτρους και στις αναπτυξιακές διαδικασίες του φυτού.

## 2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

### 2.1. Πειραματικός Σχεδιασμός

Στις 1/3/2019 πραγματοποιήθηκε η φύτευση των φυτών ρίγανης σε γλάστρες των 200ml. Τα φυτά αυτά παρέμειναν στο θερμοκήπιο της Γεωπονικής Σχολής για να αναπτυχθούν, ενώ ποτιζόταν τακτικά (ανά 2 μέρες) και ελεγχόταν καθημερινά. Μετά από μια βδομάδα στις 8/3/2019 πραγματοποιήθηκε αραίωμα ώστε να έχουμε σε κάθε γλάστρα τα 1-2 καλύτερα φυτά ρίγανης. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίσαμε ομοιομορφία των φυτών μας και την μέγιστη δυνατή ανάπτυξη. Για τη μεταφύτευση συλλέχτηκαν 200 kg εδάφους από το ερευνητικό Αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας στο Βελεστίνο και κοσκινίστηκε αμέσως, στις 12/3/2019. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε ανάμειξη του εδάφους με περλίτη σε αναλογία 1:1 0,7 kg του μείγματος αυτού μεταφέρθηκε σε γλάστρες του 1,5 L. Στις 29/3/2019 έγινε η επιμόλυνση των γλαστρών με κάδμιο (Cd) καθώς και η προσθήκη αζώτου N σε κάθε γλάστρα. Για την επιμόλυνση χρησιμοποιήθηκε διάλυμα νιτρικής αμμωνίας ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) και διάλυμα νιτρικού καδμίου ( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ) για το N και το Cd αντίστοιχα. Τα διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν παρασκευάστηκαν ως εξής :7,68 g  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  σε 500 mL νερού) για την δημιουργία διαλύματος συγκέντρωσης 5600 ppm Cd και 13,30 g  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  σε 2L νερού για διάλυμα συγκέντρωσης 2324,83 ppm N. Προσθέτοντας την ανάλογη ποσότητα καδμίου και αζώτου σε κάθε μεταχείριση δημιουργήσαμε 6 διαφορετικές μεταχειρίσεις με τρία (3) επίπεδα Cd και δυο (2) N για τα φυτά μας.

#### ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ σε (ml)

ΜΕΤΑΧΕΙΡΙΣΕΙΣ	( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ )	( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )
N(0) Cd(0)	0	3,0
N(0) Cd (20)	2,5	1,5
N(0) Cd (40)	5,0	0
N(1) Cd(0)	0	25,6
N(1) Cd (20)	2,5	24,1



N (1) Cd (40)	5,0	22,6
---------------	-----	------

Όπως μπορούμε να διαπιστώσουμε και από τον πίνακα διαλυμάτων ακόμα και στις μεταχειρίσεις N(0) προστέθηκε μία μικρή ποσότητα  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  προκειμένου να εξισορροπηθεί η διαφορά που θα προέκυπτε στις μεταχειρίσεις ως προς το άζωτο λόγω της ύπαρξης N στον χημικό τύπο του νιτρικού καδμίου. Επομένως, όσο αυξάναμε την ποσότητα διαλύματος ( $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ) στο έδαφος μειώναμε την ποσότητα διαλύματος ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), καταλήγοντας στις μεταχειρίσεις N(0) να έχουμε 4 μονάδες αζώτου, ενώ στις N(1) 34 μονάδες αζώτου. Στις 11/4/2019 πραγματοποιήθηκε η τελική μεταφύτευση στις επιμολυσμένες γλάστρες και εφόσον τα φυτά αναπτυχθήκαν σε αυτές για μια βδομάδα στο θερμοκήπιο τα 180 καλύτερα αναπτυγμένα φυτά (30 φυτά \* 6 μεταχειρίσεις) μεταφέρθηκαν στο ύπαιθρο για ανάπτυξη σε πραγματικές συνθήκες. Καθόλη την διάρκεια του πειράματος γινόταν πότισμα των φυτών και αφαίρεση των ζιζανίων από τις γλάστρες με το χέρι. Ο πειραματικός σχεδιασμός περιελάμβανε 30 γλάστρες ανά μεταχείριση, εκ των οποίων επιλέχθηκαν με τυχαίο τρόπο 8 γλάστρες/μεταχείριση για την διεξαγωγή των φυσιολογικών μετρήσεων που αναλύονται παρακάτω. Η τελική συγκομιδή πραγματοποιήθηκε στις 26/6/2019.

## 2.2 Μετρήσεις Φυσιολογικών Παραμέτρων

Οι ημερομηνίες διεξαγωγής των μετρήσεων ήταν 9/5/2019, 18/5/2019, 29/5/2019, 5/6/2019, 14/6/2019 και 19/6/2019 και όλες οι παράμετροι καταγράφονταν την ίδια μέρα με τις επιμέρους μετρήσεις να αναλύονται παρακάτω.

### 2.2.1 Μέτρηση Φθορισμού Χλωροφύλλης *a in vivo*

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Plant Efficiency Analyzer (PEA, Hansatech Instruments, Ltd., Norfolk, Αγγλία). Το φθορισμόμετρο έχει κεφαλή με τρία LED στην κεντρική μονάδα που έχουν σταθερή-ομαλή ένταση εκπομπής και ειδικά κλιπ φύλλων με συρόμενο κλείστρο για να δημιουργεί κατάσταση σκοταδιού στα φύλλα που εφαρμόζεται. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε κατά τις μετρήσεις ήταν η εξής. 1) Επιλογή ώριμων φύλλων από την μέση του φυτού. 2) Εφαρμογή των μανταλακίων και κλείσιμο του κλείστρου για 30 λεπτά περίπου ώστε να γίνει επαρκής

συσκότιση του φύλλου 3) Τοποθέτηση της κεφαλής με τα τρία led στο μανταλάκι, άνοιγμα αυτού και μέτρηση. Πραγματοποιήθηκαν 3 μετρήσεις με το συγκεκριμένο όργανο στις 5/6/2019, 14/6/2019, 19/6/2019 με 6 μετρήσεις σε κάθε μεταχείριση. Το όργανο καταγράφει πολλές παραμέτρους εμείς όμως μελετήσαμε το Fv/Fm, δηλαδή την μέγιστη απόδοση της πρωτογενούς φωτοχημείας ανά φωτόνιο καθώς και το PI total που μετράει την απόδοση της μεταφοράς ενέργειας από τα φωτόνια που συλλέγονται από την φωτοσυλλεκτική κεραία του φωτοσυστήματος II ως στη αναγωγή των τελικών αποδεκτών του φωτοσυστήματος I.

### 2.2.2 Μέτρηση ανακλαστικότητας φύλλου

Το όργανο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το όργανο JAZ Spectroscopy (Ocean Optics, Inc). Πραγματοποιήθηκαν 8 μετρήσεις ανά μεταχείρισή σε συνθήκες έλλειψης φωτός πολύ νωρίς το πρωί καθώς και το ίδιο μεσημέρι στο ίδιο ακριβώς φύλλο (που είχε σημειωθεί κατάλληλα στην πρωινή μέτρηση). Για την σωστή πραγματοποίηση των μετρήσεων ανά 8 μετρήσεις γινόταν μια επανα-βαθμονόμηση (calibration) του οργάνου. Το όργανο καταγράφει τιμές ανακλαστικότητας σε μήκη κύματος από 400-110 nm, από τα οποία υπολογίσαμε την τιμή του δείκτη ανακλαστικότητας PRI (Photochemical Reflectance Index) ως εξής:

$$PRI = (R531-R570) / (R531+R570)$$

### 2.2.3 Εκτίμηση περιεχόμενου φύλλου σε χλωροφύλλη με τον δείκτη SPAD

Χρησιμοποιήθηκε το φορητό όργανο SPADPlus 502, της εταιρίας Minolta. Οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν το πρωί, σε σταθερή ώρα με λίγο φως, καθώς το φωτεινό περιβάλλον επηρεάζει τις μετρήσεις. Πραγματοποιήθηκαν 8 μετρήσεις (ένα φύλλο ανά φυτό) σε κάθε μια από τις 6 μεταχειρίσεις σε υγιή πράσινα φύλλα στην μέση περίπου του βλαστού (3<sup>ο</sup>-4<sup>ο</sup> φύλλο). Πρέπει να αναφερθεί ότι η τελευταία μέτρηση έγινε στις 21/6/2019 δηλαδή λίγες μέρες πριν κοπούν τα φυτά. Σε αυτή πάρθηκαν μετρήσεις όχι από ένα αλλά από τρία φύλλα ανά φυτό κατά τον κατακόρυφο άξονα (βάση, μέσον, κορυφή), προκειμένου να εκτιμηθεί η διακύμανση των χλωροφυλλών ανά ηλικιακή κλάση φύλλων.

### 2.3 Μετρήσεις κατά την τελική συγκομιδή

Κατά την τελική συγκομιδή, αρχικά διαχωρίστηκε το υπέργειο τμήμα του φυτού από τη ρίζα και αμέσως μετά πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις του νωπού βάρους του υπέργειου. Στη συνέχεια, η ρίζα απομακρύνθηκε από τη γλάστρα και καθαρίστηκε από το έδαφος που είχε συγκρατήσει. Οι φυτικοί ιστοί τοποθετήθηκαν χωριστά στο φούρνο για τρεις μέρες στους  $70\text{C}^0$ , μέχρι την πλήρη ξήρανσή τους. Μετά το τέλος αυτής της διαδικασίας τα δείγματα ζυγίστηκαν σε ζυγό ακρίβειας.

### 2.4 Στατιστική ανάλυση

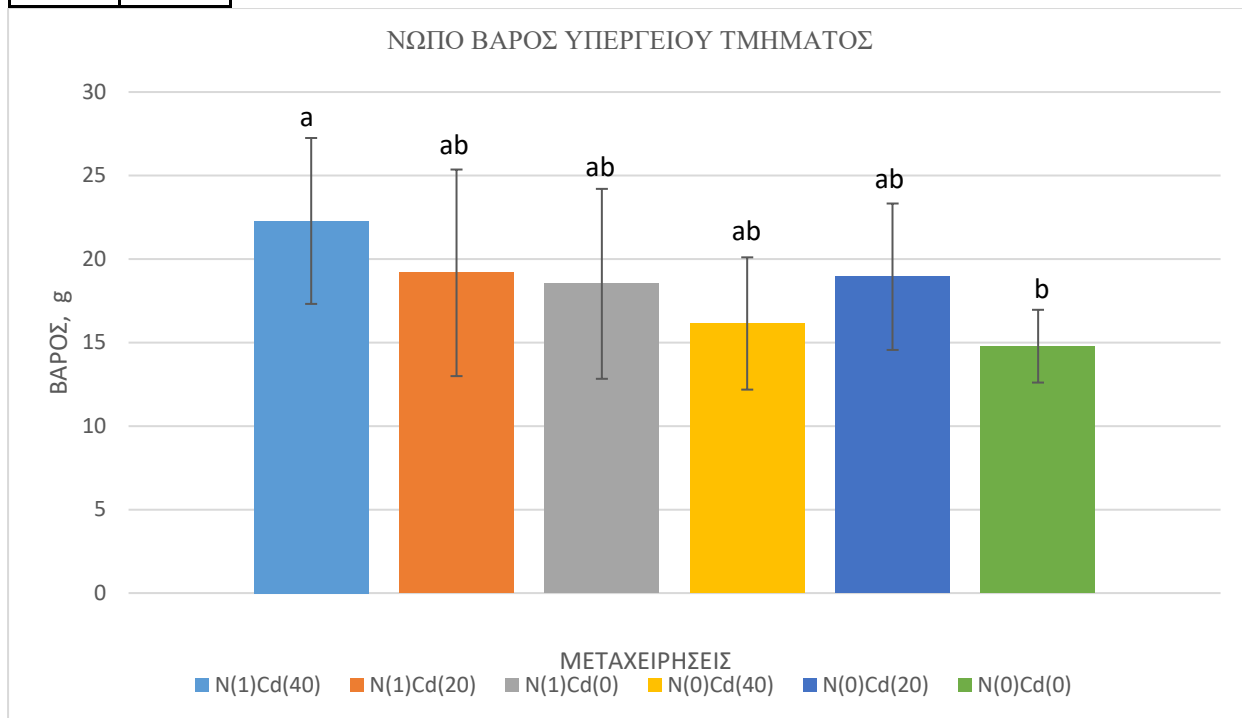
Στο συγκεκριμένο πείραμα μελετήθηκε η μεμονωμένη επίδραση του καδμίου και του αζώτου καθώς και η αλληλεπίδραση τους. Για αυτό τον σκοπό χρησιμοποιήθηκε Two-Way ANOVA, ενώ όπου δεν ικανοποιούνταν οι προϋποθέσεις της ANOVA πραγματοποιήθηκε Kruskal-Wallis test. Το επίπεδο σημαντικότητας των στατιστικών διαφορών ορίστηκε σε  $p \leq 0.05$ . Όλες οι στατιστικές αναλύσεις έγιναν με τη χρήση του ελεύθερου λογισμικού JASP 0.15.0 (JASP Team 2021, Computer Software).

## 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των φυσιολογικών- αναπτυξιακών παραγόντων που εξετάστηκαν σε καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται σε γραφήματα, ενώ οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές αποτυπώνονται με γράμματα σε κάθε γράφημα και αφορούν τις διαφορές μεταξύ μεταχειρίσεων. Να σημειωθεί ότι σε καμία παράμετρο δεν βρέθηκε αλληλεπίδραση Cd και N, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα της Two-way ANOVA που παρουσιάζονται με πινακάκι πάνω από τα γραφήματα όπου υπάρχει επίδραση κάποιου από τους δύο παράγοντες του πειράματος (Cd, N).

### 3.1 Αναπτυξιακά

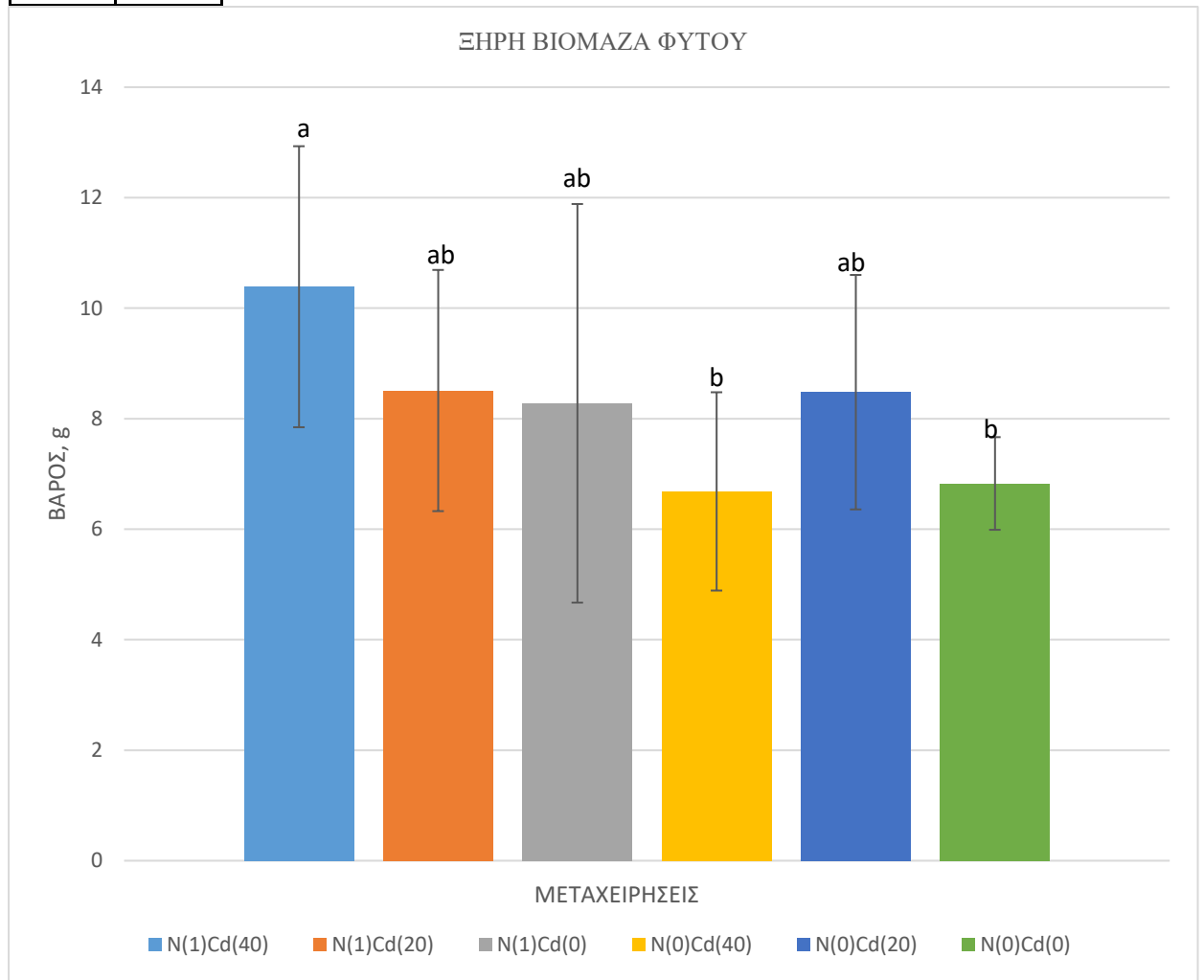
	Sig
N	*
Cd	
N*Cd	



**Γράφημα 1:** Νωπό βάρος του υπέργειου τμήματος των φυτών ανά μεταχείριση (μέσοι όροι  $\pm$  SD). Οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές λόγω της επίδρασης του κάθε παράγοντα υποδεικνύονται γράμματα πάνω από τις μπάρες των μεταχειρίσεων σε  $p \leq 0.05$ .

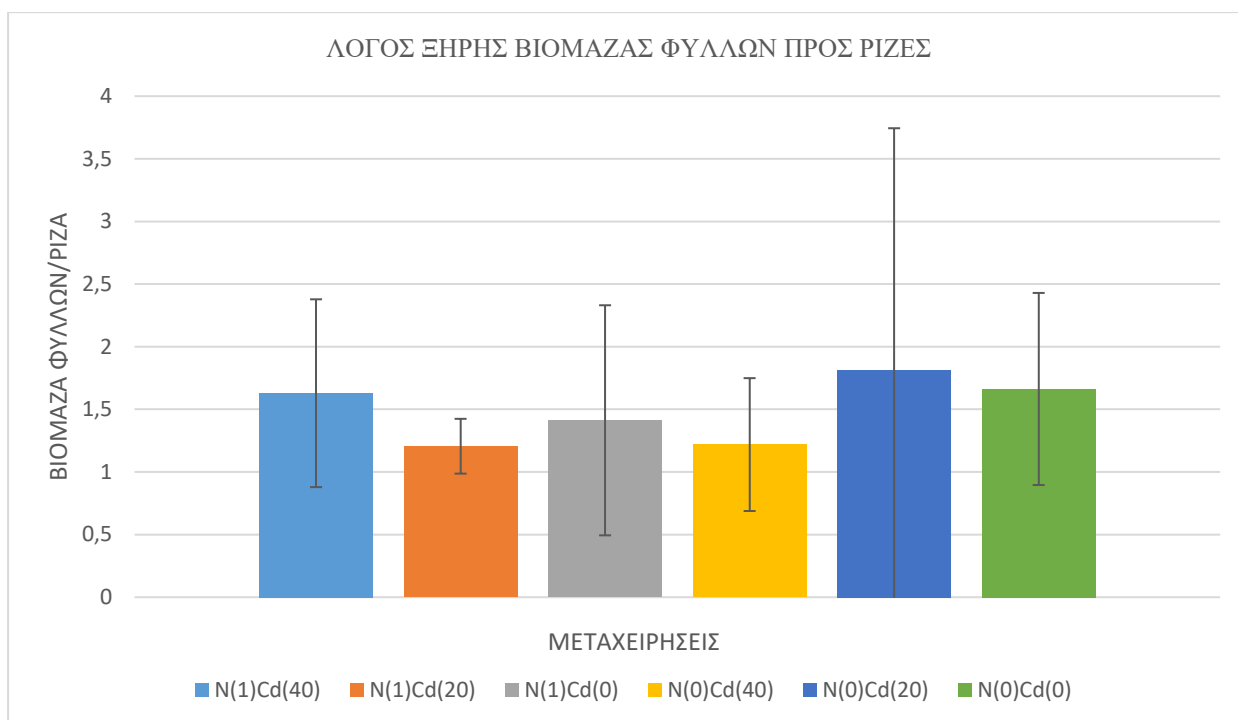
Στο νωπό βάρος του υπέργειου τμήματος των φυτών της ρίγανης παρατηρήθηκε ότι στατιστικά σημαντικές διαφορές εντοπίζονται μεταξύ των μεταχειρίσεων με αυξημένο άζωτο N(1) και των N(0). Μεταξύ των μεταχειρίσεων N(1)Cd(40) και N(0)Cd(0) υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά, ενώ φαίνεται ξεκάθαρη αύξηση του βάρους στις μεταχειρίσεις με αυξημένη ποσότητα αζώτου όσο αυξάνεται το κάδμιο με μια μικρή εξαίρεση να παρατηρείται στην μεταχείριση N(0)Cd(20).

	Sig
N	*
Cd	
N*Cd	



**Γράφημα 2:** Ξηρό βάρος των φυτών ανά μεταχείριση (μέσοι όροι ± SD). Οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές λόγω της επίδρασης του κάθε παράγοντα υποδεικνύονται γράμματα πάνω από τις μπάρες των μεταχειρίσεων σε  $p \leq 0.05$ .

Από την στατιστική ανάλυση προέκυψε ότι το άζωτο ήταν ο μονός παράγοντας που επηρέασε στατιστικά σημαντικά την συνολική βιομάζα των φυτών (υπέργειου και ρίζας μαζί). Στο διάγραμμα φαίνεται επίσης το γεγονός ότι υπάρχει μια τάση αύξησης του συνολικού ξηρού βάρους στις μεταχειρίσεις με αυξημένο άζωτο N(1) όσο αυξάνεται το κάδμιο (Cd) χωρίς αυτό να συμβαίνει στις μεταχειρίσεις με μειωμένο N(0). Τέλος παρατηρήθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ του ξηρού βάρους της μεταχείρισης N(1)Cd(40) με τις μεταχειρίσεις N(0)Cd(40) και N(0)Cd(0) όπως απεικονίζεται και στο διάγραμμα.

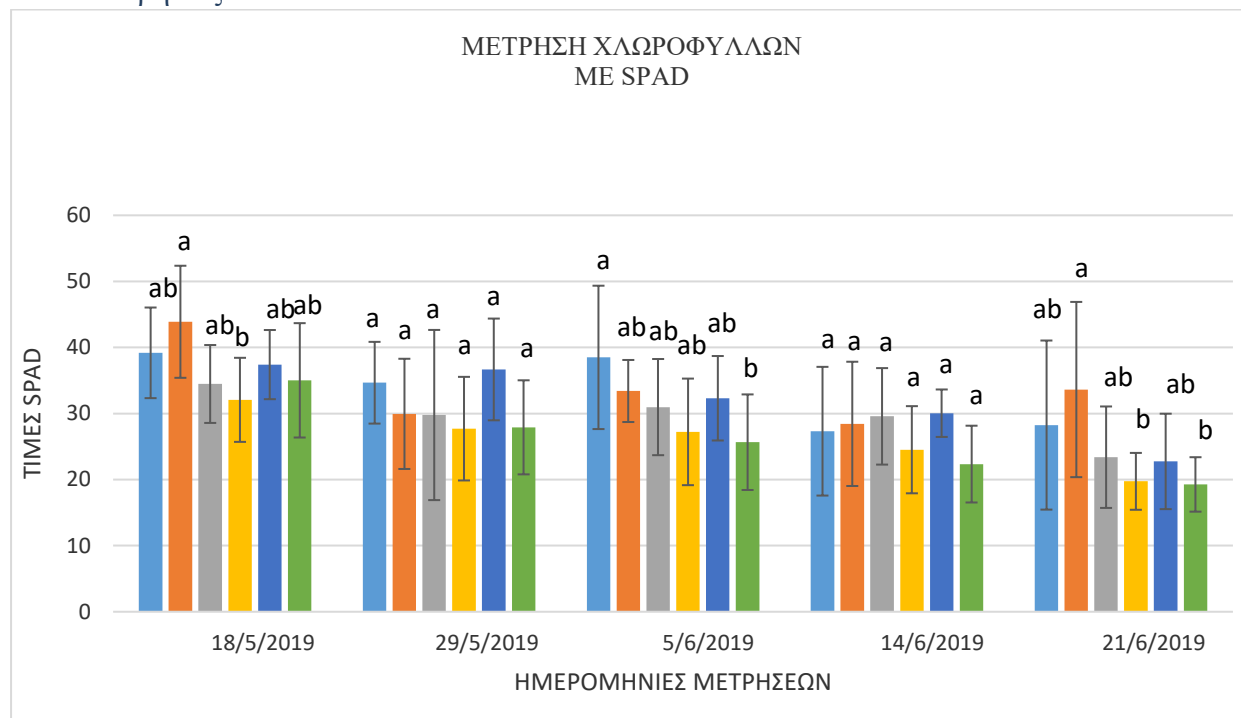


**Γράφημα 3:** Λόγος του ξηρού βάρους των φύλλων προς το ξηρό βάρος της ρίζας των φυτών ανά μεταχείριση (Μέσοι Όροι  $\pm$  SD). Η απουσία γραμμάτων σημαίνει μη στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Η σχετική επένδυση του φυτού σε βιομάζα σε φύλλα και ρίζες δεν επηρεάστηκε σημαντικά από τις μεταχειρίσεις. Όμως μπορούμε να διακρίνουμε μια πολύ μικρή τάση για μεγαλύτερες τιμές στην μεταχείριση N(0)Cd(20).

## 3.2 Μετρήσεις Φυσιολογικών Παραμέτρων

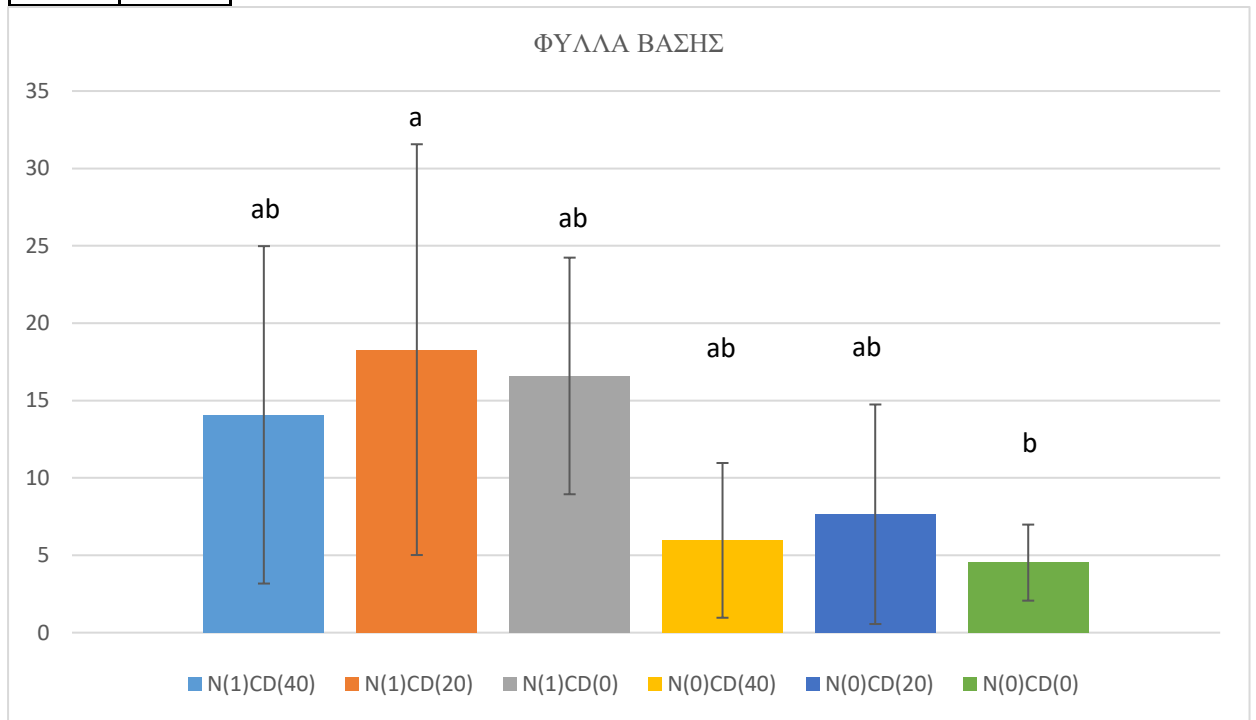
### 3.2.1 Μετρήσεις SPAD



**Γράφημα 4:** Μετρήσεις SPAD ανά ημερομηνία (μέσοι όροι  $\pm$  SD). Οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές λόγω της επίδρασης του κάθε παράγοντα υποδεικνύονται με γράμματα πάνω από τις μπάρες των μεταχειρίσεων σε  $p \leq 0.05$ .

Κατά την πρώτη μετρηση 18/5/2019 εμφανίστηκε στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρίσεων N(1)Cd(20) και N(0)Cd(40). Συνεχίζοντας παρατηρούμε ότι στις 5/6/2019 η στατιστική ανάλυση έδειξε παρόμοιο αποτέλεσμα ως προς το ότι οι ομάδες αζώτου N(1),N(0) διαφέρουν στατιστικά σημαντικά μεταξύ τους όμως τώρα οι μεταχειρήσεις που διαφέρουν μεταξύ τους είναι οι N(1)Cd(40) με την N(0)Cd(0). Στις 21/6/2019 παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των ζευγών μεταχειρίσεων N(1)Cd(20) με N(0)Cd(40) και N(1)Cd(20) με N(0)Cd(0). Για τις υπόλοιπες 2 ημερομηνίες (29/5/2019 και 14/6/2019) δεν βρέθηκαν σημαντικές διαφορές. Στις 21/6/2019 μετρήθηκαν επίσης και οι ολικές χλωροφύλλες στον κατακόρυφο άξονα του φυτού.

	Sig
N	*
Cd	
N*Cd	

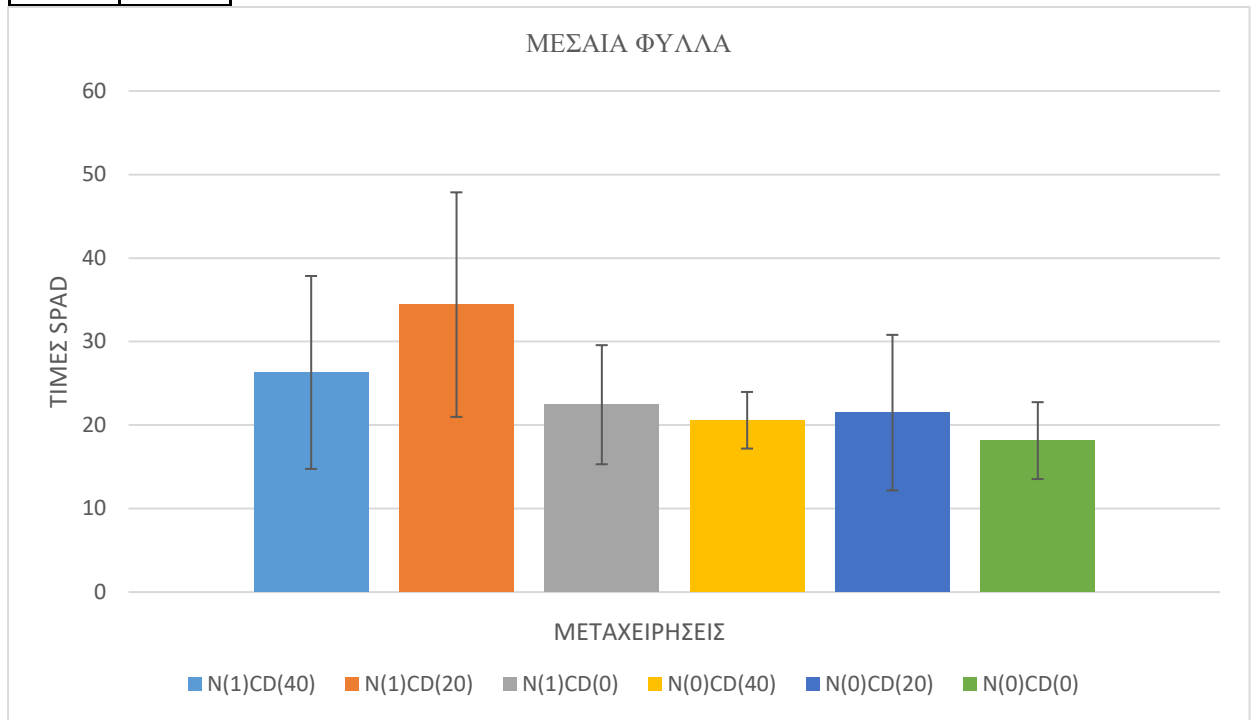


**Γράφημα 5:** Μετρήσεις SPAD σε φύλλα βάσης (γηραιότερα) (μέσοι όροι  $\pm$  SD). Οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές λόγω της επίδρασης του κάθε παράγοντα υποδεικνύονται με γράμματα πάνω από τις μπάρες των μεταχειρίσεων σε  $p \leq 0.05$ .

Σημαντική είναι η επίδραση του N στο περιεχόμενο χλωροφυλλών των φύλλων βάσης (γηραιότερα φύλλα), ενώ το ζευγάρι N(1)Cd(20) με το N(0)Cd(0) παρουσιάζει σημαντικά στατιστική διαφορά. Παρατηρείται επίσης ξεκάθαρα μεγαλύτερες τιμές ολικών χλωροφυλλών στα φύλλα των μεταχειρίσεων με αυξημένο άζωτο.



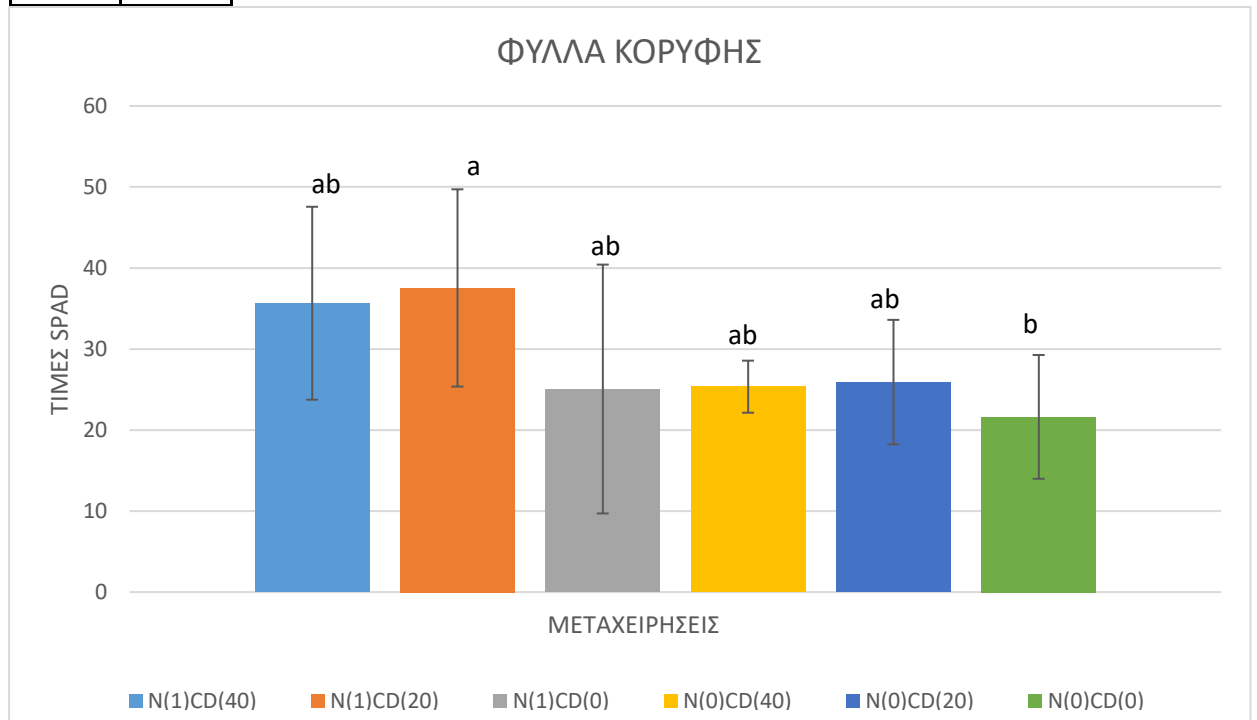
	Sig
N	*
Cd	
N*Cd	



**Γράφημα 6:** Μετρήσεις SPAD σε μεσαία φύλλα (ώριμα) (μέσοι όροι  $\pm$  SD).

Η επίδραση του N καθόρισε το πρότυπο των τιμών SPAD και στα μεσαία φύλλα (ώριμα φύλλα) όπως φάνηκε από την στατιστική ανάλυση. Δεν παρατηρήθηκαν όμως διαφορές μεταξύ μεμονομένων μεταχειρήσεων, ενώ είναι σαφές από το διαγραμμα ότι και στις η μεταχείριση με τις μεγαλύτερες τιμες είναι η N(1)Cd(20).

	Sig
N	*
Cd	
N*Cd	



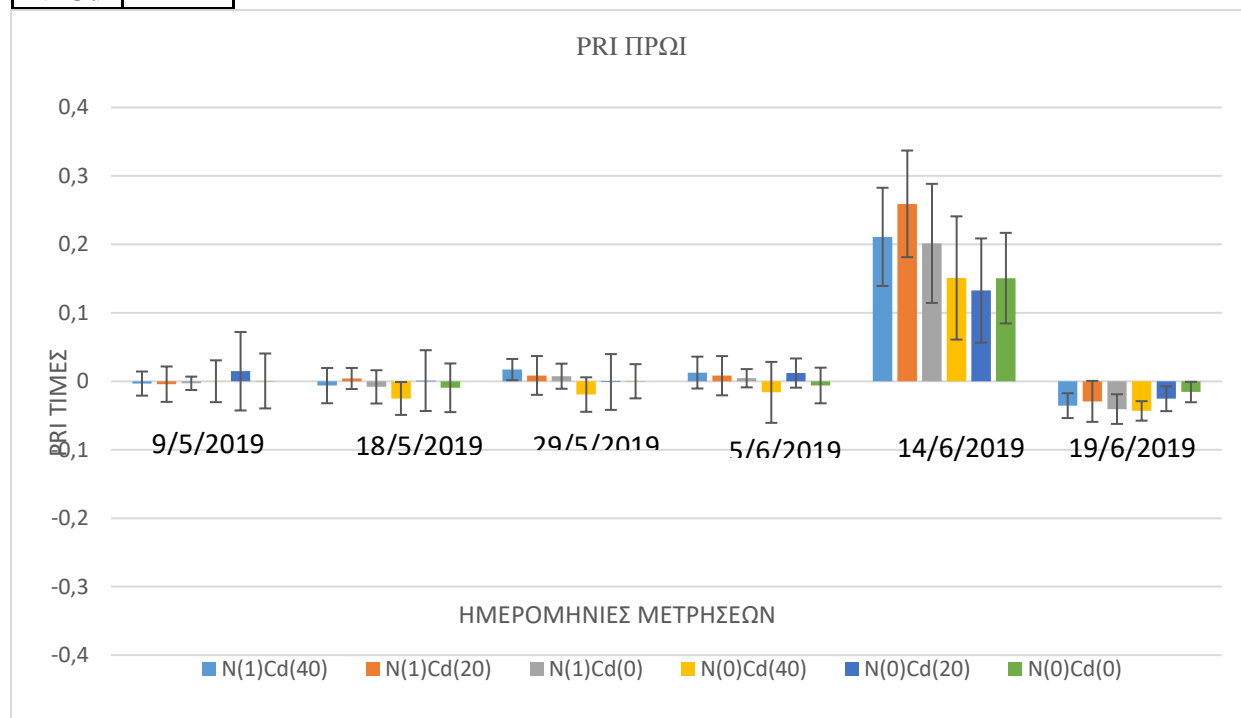
**Γράφημα 7:** Μετρήσεις SPAD σε φύλλα κορυφής (μέσοι όροι ± SD). Οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές λόγω της επίδρασης του κάθε παράγοντα υποδεικνύονται με γράμματα πάνω από τις μπάρες των μεταχειρίσεων σε  $p \leq 0.05$ .

Στο τελευταίο γράφημα μετρήσεων SPAD στα φύλλα κορυφής (νεαρά φύλλα) παρουσιάζεται σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των μεταχειρήσεων με αυξημένο άζωτο N(1) και N(0). Επίσης φάνηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των μεταχειρήσεων N(1)Cd(20) και N(0)Cd(0), όπως φαίνεται και στο διαγραμμα παραπάνω.

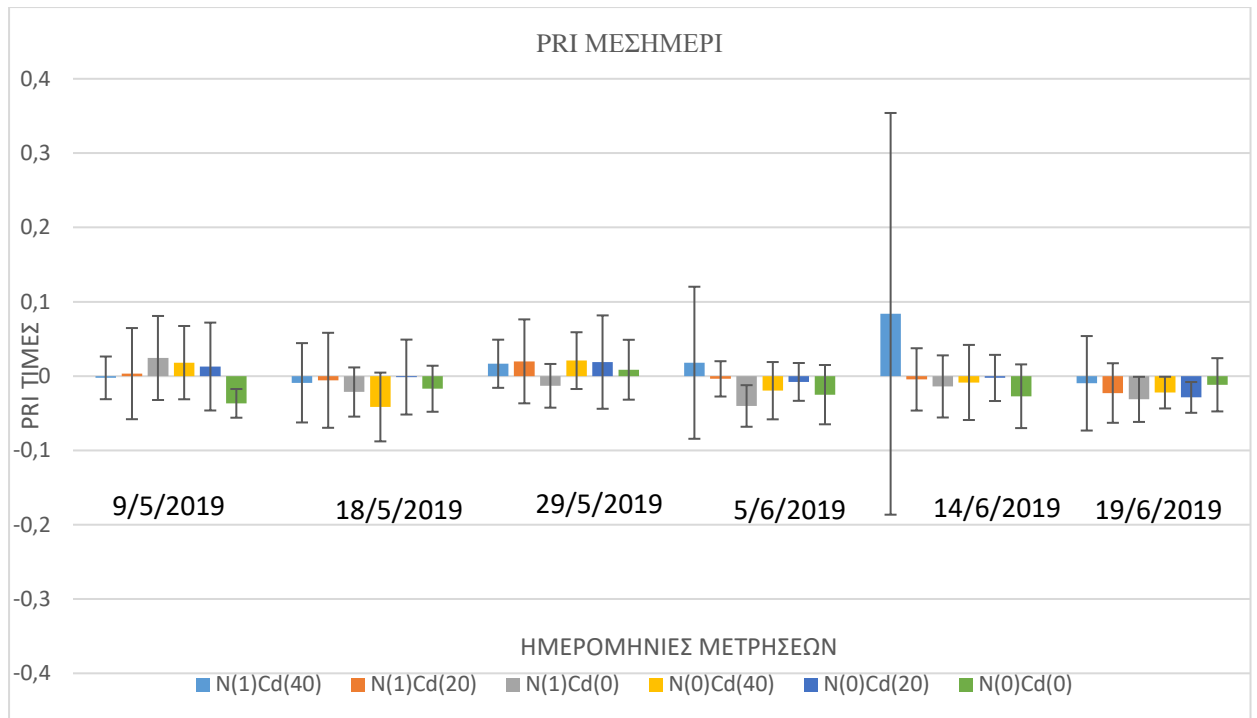
### 3.2.2 Μετρήσεις PRI

Παρακάτω θα εξεταστούν οι παράμετροι PRI που μετρήθηκαν τόσο το πρωί όσο και το μεσημέρι της εκάστοτε μέρας στο ίδιο ακριβώς φύλλο.

	Sig
N	*
Cd	
N*Cd	



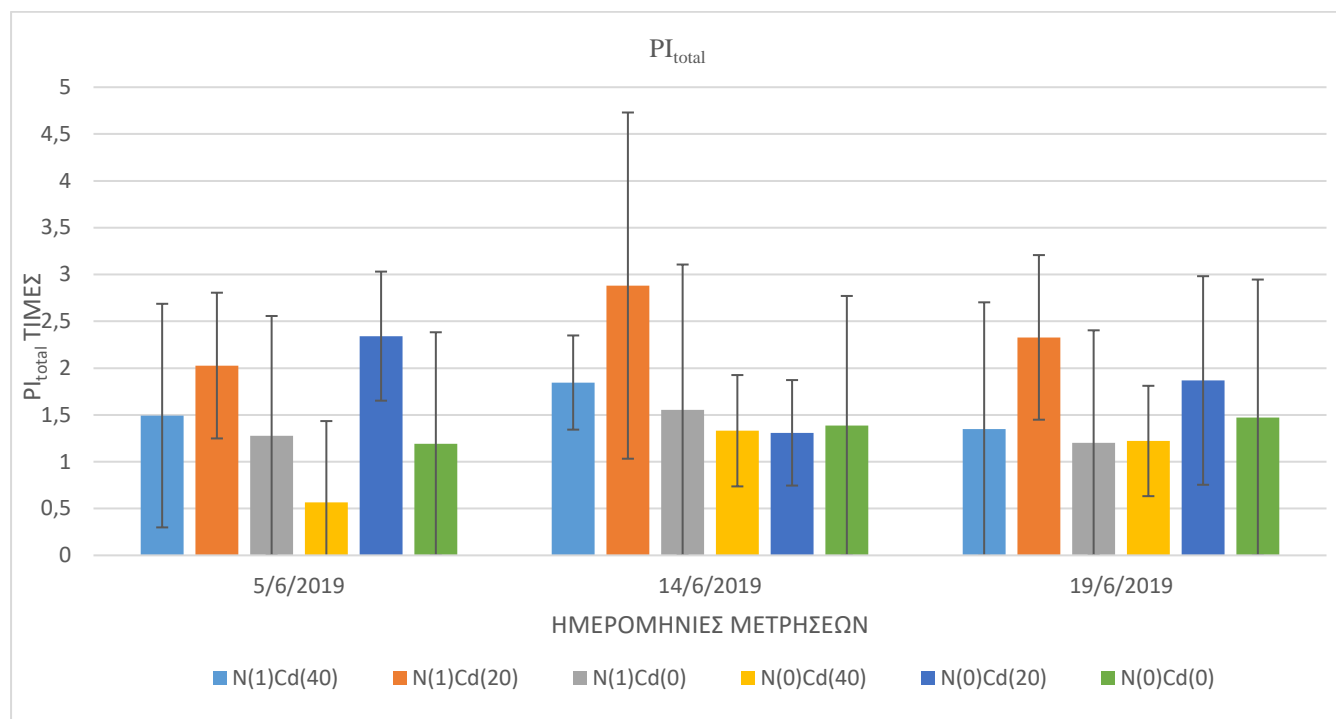
**Γράφημα 8:** Μετρήσεις PRI το πρωί ανά μεταχείριση ανά ημερομηνία (μέσοι όροι  $\pm$  SD. ). Οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές λόγω της επίδρασης του κάθε παράγοντα υποδεικνύονται με αστεράκι στον παραπάνω πίνακα σε  $p \leq 0.05$ .



**Γράφημα 9:** Μετρήσεις PRI το μεσημέρι ανά μεταχείριση ανά ημερομηνία (μέσοι όροι  $\pm$  SD. Απουσία γραμμάτων σημαίνει μη στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Δεν καταγράφηκαν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στις μετρήσεις του δείκτη ανακλαστικότητας φύλλων PRI σε καμία ημερομηνία, είτε το πρωί ή το μεσημέρι. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι μεγαλύτερες τιμές που βρέθηκαν στις 14/6/2019 το πρωί.

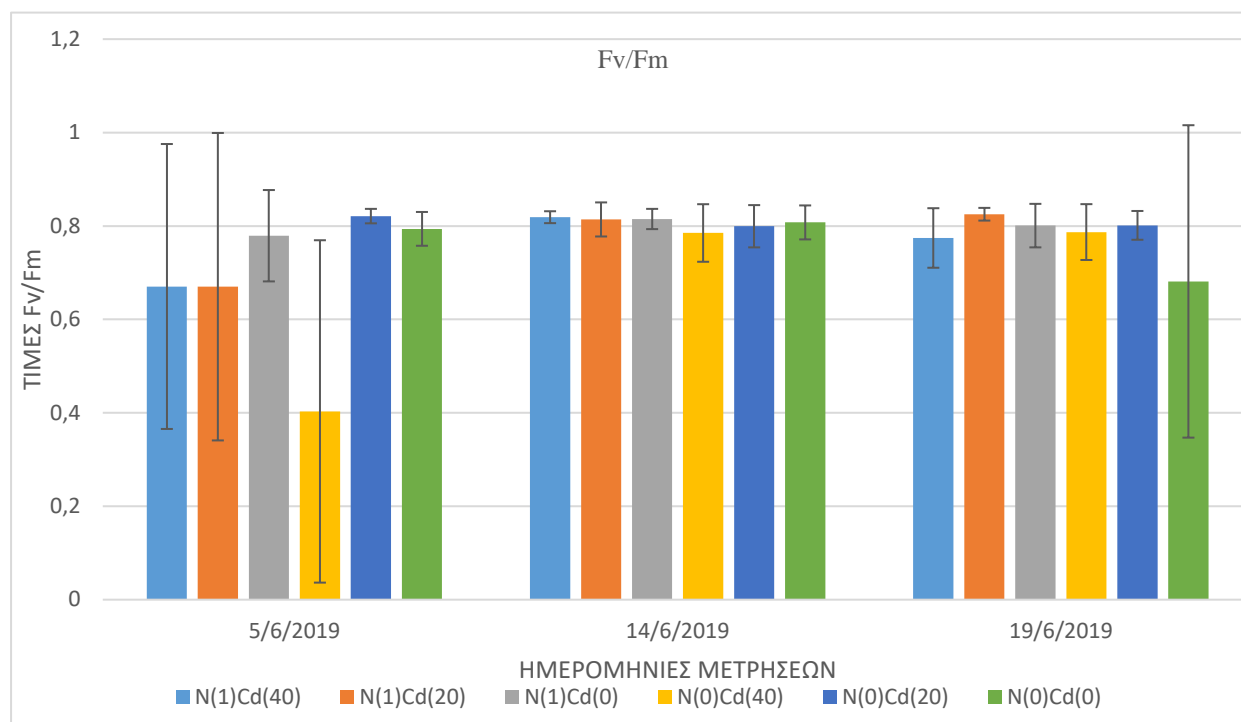
### 3.2.3 Μετρήσεις $PI_{total}$



**Γράφημα 10:** Μετρήσεις  $PI_{total}$  ανά μεταχείριση ανά ημερομηνία (μέσοι όροι  $\pm$  SD. Οι στατιστικώς σημαντικές διαφορές λόγω της επίδρασης του κάθε παράγοντα αλλά και της αλληλεπίδρασής τους υποδεικνύονται με αστεράκι στον παραπάνω πίνακα σε  $p \leq 0.05$ .

Ο φυσιολογικός δείκτης  $PI_{total}$  που προέρχεται από δεδομένα φθορισμού της χλωροφύλλης δεν επηρεάστηκε προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση από τις μεταχειρίσεις. Εμφάνισε μία διακύμανση στην πορεία του πειράματος σε κάθε μία από αυτές, αλλά δεν μπορεί να αποδοθεί κάποια δράση του Cd ή του N. Η μεταχείριση N(1)Cd(20) φαίνεται καθαρά και στις τρεις ημερομηνίες να έχει μια τάση για υψηλές τιμές.

### 3.2.4 Μετρήσεις Fv/Fm



**Γράφημα 11:** Μετρήσεις Fv/Fm ανά μεταχείριση ανά ημερομηνία (μέσοι όροι  $\pm$  SD). Απουσία γραμμάτων σημαίνει μη στατιστικώς σημαντικές διαφορές.

Με εξαίρεση την 5/6/2019 παρατηρείται ομοιογένεια στις τιμές του Fv/Fm στις υπόλοιπες δυο ημερομηνίες. Στην συγκεκριμένη ημερομηνία (5/6/2019) φαίνεται ότι στην μεταχείριση N(0)Cd(40) έχουμε εξαιρετικά μικρές τιμές οι οποίες όμως εξισορροπούνται στις επόμενες ημέρες.

#### 4.ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σε αυτή την διπλωματική μελέτη μελετήθηκε η επίδραση του αζώτου και του καδμίου καθώς και η αλληλεπίδρασή αυτών στην ανάπτυξη και στις φυσιολογικές παραμέτρους των φυτών ρίγανης (*Origanum vulgare* L.).

Καταγράφηκε θετική επίδραση του παρεχόμενου αζώτου στο νωπό βάρος του υπέργειου τμήματος της ρίγανης. Αυτό υποδεικνύει ότι το άζωτο φαίνεται να περιορίζει την καταπόνηση από το κάδμιο, ενώ ταυτόχρονα εμφανής ήταν η τάση για μεγαλύτερες τιμές όσο αυξανόταν το κάδμιο στις μεταχειρίσεις N(1). Σε ότι αφορά την επίδραση του Cd δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στην μηδενική και την μέγιστη συγκέντρωση ως προς την επίδρασή τους στο νωπό βάρος. Τα ευρήματα αυτά φαίνεται να μην συμφωνούν με τα αποτελέσματα του (Ευθυβούλης 2020) που μελέτησε την καταπόνηση της ρίγανης από κάδμιο συνδυαστικά με χρώμιο. Σε εκείνο το πείραμα βρέθηκε ότι στα φυτά που δεν είχαν επιβάρυνση από βαρέα μέταλλα υπήρχαν οι υψηλότερες τιμές νωπού βάρους. Σε πείραμα από τους Finger-Teixeira et al. (2010) βρέθηκε ότι σε φυτά του γένους *Glycine max* (σόγια) υπήρξε σταδιακή μείωση του νωπού βάρους των φυτών όσο αυξανόταν το κάδμιο. Βέβαια σε αντίστοιχο πείραμα με ρίγανη επιμολυσμένη με μόλυβδο από τον Παπανικολοπουλο (2019) φάνηκε αύξηση στο νωπό βάρος του υπέργειου τμήματος όσο αυξανόταν η ποσότητα μόλυβδου. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ευρήματα από την έρευνα της Γερασιμοπούλου το 2009 που βρήκε ότι υψηλές τιμές καδμίου μείωσαν το νωπό βάρος φυτών καπνού, όμως μια μικρή ποσότητα καδμίου αύξησε τις τιμές νωπού βάρους σε σύγκριση με τα φυτά χωρίς καθόλου κάδμιο. Το ίδιο αποτέλεσμα διαπιστώσαμε και εμείς καθώς τα φυτά στην μεταχείριση N(0)Cd(20) έδειξαν μια τάση για μεγαλύτερη ανάπτυξη.

Η προσθήκη αζώτου ευνόησε τη συσσώρευση ξηρής βιομάζας στο σύνολο του φυτού, με μεγαλύτερες τιμές να σημειώνονται μάλιστα όσο αυξανόταν η ποσότητα αζώτου. Σε πείραμα από τους (Yonghong Sun et al, 2008) σε φυτά ρυζιού παρατηρήθηκε μείωση του ξηρού βάρους τόσο και στο υπέργειο μέρος όσο και στην ριζά και στους δυο τύπους ρυζιού που ελέγχθηκαν, δηλαδή ανθεκτικό και μη ανθεκτικό στο κάδμιο. Το ίδιο υποστηρίζεται και από τους Wu and Zhang (2002) σε πειράματα σε κριθάρι. Σε πείραμα σε βασιλικό οι ερευνητές (Hassan et al, 2016) παρατήρησαν σημαντική μείωση στην συνολική βιομάζα των φυτών συγκριτικά με τα φυτά που δεν

«μεγάλωσαν» σε έδαφος επιμολυσμένο με βαρέα μέταλλα. Γενικά μια βιβλιογραφική ανασκόπηση πάνω στην αλληλεπίδραση του άζωτου με το κάδμιο από τους Yongjie et al. (2020) υποστηρίζει ότι το άζωτο συμβάλει στην αύξηση της βιομάζας και της απορρόφησης του καδμίου στα φυτά και μειώνει την καταπόνηση τους από αυτό. Όσον αφορά τον λόγο υπέργειο/υπογείου μέρος τα αποτελέσματα του (Ευθυβούλης 2020) φαίνεται να συμφωνούν με τα ευρήματα αυτής της ερευνάς καθώς δεν φάνηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των treatments σε αντίθεση με τον Παπανικολόπουλο (2019) που αναφέρει σημαντική διαφορά μεταξύ του μάρτυρα του πειράματος και των φυτών της ρίγανης που είχαν εκτεθεί σε καταπόνηση από μόλυβδο. Στα παραπάνω φαίνεται να συμφωνεί και η ερευνά των Irfan et al. (2013) που υποστηρίζει ότι η παρουσία Cd στο έδαφος καθυστερεί την ανάπτυξη φυτών όπως τα ρεβίθια και το καλαμπόκι και παρατηρείται σημαντική μείωση της ξηρής μάζας των ριζών όσο και του υπέργειου τμήματος (ακόμα και σε χαμηλές συγκεντρώσεις καδμίου).

Η εκτίμηση των επιπέδων των φωτοσυνθετικών χρωστικών μέσω SPAD χρησιμοποιείται συχνά για την ανίχνευση αποτελεσμάτων πιθανής καταπόνησης ή βλάβης στην φωτοσυνθετική συσκευή (Monje et al., 1992). Στο πείραμα μας φάνηκε ότι τα φυτά που είχαν στην διάθεση τους αρκετό άζωτο διατήρησαν για μεγάλο διάστημα κατά την πειραματική περίοδο υψηλές και σταθερές τιμές συγκέντρωση χρωστικών. Σε έρευνα που έγινε από τους Li et al (2010) σε φυτά *Lemna minor* (φυτά ανθεκτικά σε βαρέα μέταλλα) φάνηκε να μειώνεται η ποσότητα χλωροφύλλης στα φύλλα όσο αυξανόταν η συγκέντρωση καδμίου, κάτι που δεν επαληθεύεται εξ ολοκλήρου με τα δικά μας ευρήματα. Επιπλέον, οι Jing et al. (2005) σε φυτά ντομάτας παρατήρησαν αύξηση των συνολικών χλωροφυλλών σε μικρές δόσεις καδμίου, αλλά σημαντική μείωση αυτών όταν αυξήθηκε πολύ η συγκέντρωση του. Παράλληλα με αυτό και οι Adamczyk-Szabela et.al (2019) ανέφεραν στην ερευνά τους πάνω στο φυτό *Melissa officinalis* ότι το κάδμιο φάνηκε ιδιαίτερα τοξικό όταν μέτρησαν την χλωροφύλλη στα φύλλα. Μάλιστα θεωρούν ως πιθανή αίτια αυτού ότι το κάδμιο παρεμποδίζει την απορρόφησης του Mg από το έδαφος (βασικό μόριο για την σύσταση της χλωροφύλλης). Σε εργασία της Γερασιμοπούλου (2009) σε φυτά καπνού επιμολυσμένα με κάδμιο αναφέρεται μείωση των ολικών χλωροφυλλών στα φύλλα και ιδιαίτερα στα φύλλα της κορυφής στην μεταχείριση με μεγάλη ποσότητα καδμίου. Αυτό έρχεται σε αντίθεση με τα ευρήματα της παρούσας έρευνας όπου φάνηκαν



υψηλότερες τιμές ολικών χλωροφυλλών στα φύλλα κορυφής με υψηλή συγκέντρωση καδμίου στην περίπτωση των υψηλών επιπέδων άζωτου.

Ο δείκτης PRI μπορεί να χρησιμοποιεί ως παράμετρος που μας φανερώνει την αποδοτικότητα χρήσης για φωτοσύνθεση του φωτός που πέφτει στο φύλλο (Xue, 2013). Η ανακλαστικότητα του φύλλου επηρεάζεται από βιοχημικά χαρακτηριστικά του φύλλου, την εσωτερική αρχιτεκτονική του και από το εξωτερικό του ανάγλυφο (Levizou et al, 2004). Αν παρατηρηθεί μείωση στο PRI πιθανώς υπάρχει καταπόνηση και είναι απαραίτητο να αντιμετωπισθεί από την πλευρά του φυτού ώστε να μην υπάρξει βλάβη στη φωτοσυνθετική συσκευή. Ο δείκτης PRI αντικατοπτρίζει πόσο καλά λειτουργεί ο κύκλος των ξανθοφυλλών, επομένως και την αποτελεσματικότητα της μη φωτοχημικής απόσβεσης της περίσσειας ενέργειας (Μουραντιαν,2019). Η στατιστική ανάλυση έδειξε ότι τα επίπεδα άζωτο είναι υπεύθυνα για τις στατιστικές διαφορές ανάμεσα στα treatments για τις τιμές PRI κάτι που συμφωνεί με τα ευρήματα των Filella et al. (1995). Σύμφωνα με τους (Κονιάτ et al. 2018) υπάρχει συσχέτιση του PRI και της φωτοσυνθετικής ικανότητας καθώς και χαμηλότερες τιμές αυτού το μεσημέρι όταν η φωτοσυνθετική συσκευή έχει λειτουργήσει για αρκετές ώρες. Στο παρόν πείραμα δεν επαληθεύονται τα παραπάνω καθώς δεν καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των τιμών PRI των διάφορων μεταχειρίσεων σε καμία από τις ημερομηνίες μετρήσεων. Επίσης, συγκρίνοντας τις πρωινές μετρήσεις με τις αντίστοιχες μεσημεριανές την ίδια ημερομηνία δεν βλέπουμε κάποιο ξεκάθαρο πρότυπο επίδρασης των μεταχειρίσεων.

Κατά την απορρόφηση της ορατής ακτινοβολίας από τις χλωροφύλλες ένα κομμάτι της ενέργειας επανεκπέμπεται με την μορφή φθορισμού. Το  $F_m$  ορίζεται ως ο μέγιστος φθορισμός στην καμπύλη Kautsky ενώ ως  $F_v$  (μεταβλητός φθορισμός) ορίζεται η διαφορά του μέγιστου φθορισμού ( $F_m$ ) μείον τον ελάχιστο φθορισμό ( $F_0$ ). Έτσι καταλήγουμε στον δείκτη  $F_v/F_m$  που είναι συνδεδεμένος άμεσα με την αποτελεσματικότητα του PSII και την απόδοση της φωτοσύνθεσης ανά φωτόνιο. Σε τιμές μεταξύ του 0,80-0,85 σημαίνει τα φυτά δεν έχουν υποστεί κάποια καταπόνηση, στην αντίθετη περίπτωση αναμένουμε τιμές χαμηλότερες από 0,80. (Καραμπουρνιώτης κ.α. 2012). Στο παρόν πείραμα μόνο στην πρώτη μέτρηση βλέπουμε τιμές σημαντικά κάτω από το 0.80 στις μεταχειρίσεις με υψηλή συγκέντρωση καδμίου με τις επόμενες

ημερομηνίες να δείχνουν μια σταθεροποίηση των φυτών. Στα ίδια αποτελέσματα κατέληξε και ο Ευθυβούλης (2020) σε πειράματα με ρίγανη εκτεθειμένη σε κάδμιο. Μια εξήγηση ίσως να είναι ο εγκλιματισμός των φυτών στις συνθήκες αυξημένου καδμίου, καθώς η ρίγανη είναι ένα φυτό ανθεκτικό στα βαρέα μέταλλα. Μάλιστα φαίνεται ότι το άζωτο μείωσε την καταπόνηση από το κάδμιο όπως χαρακτηριστικά φαίνεται και την 1η μέτρησή στις 5/6 μεταξύ π.χ. των treatments N(1)Cd(40) και N(0)Cd(40) όπου η τελευταία μεταχείριση είχε εξαιρετικά χαμηλές τιμές. Μικρές τιμές στον δείκτη Fv/Fm παρατήρησε και η Γερασιμοπούλου σε φυτά καπνού επιμολυσμένα με κάδμιο και οι Alyemeni et.al. (2018) σε φυτά τομάτας όπως και οι (Asgher et.al.2013) σε διαφορετικές ποικιλίες ινδικής μουστάρδας.

Ο  $PI_{total}$  είναι δείκτης απόδοσης της ενέργειας των φωτονίων που απορροφούνται από τη φωτοσυλλεκτική κεραία του PSII έως την αναγωγή των τελικών αποδεκτών του φωτοσυστήματος I (PSI). Ο  $PI_{total}$  θεωρείται δείκτης συνολικής απόδοσης της φωτοσύνθεσης καθώς συνδυάζει τρεις επιμέρους διεργασίες που είναι 1) το πλήθος των ενεργών κέντρων, 2) η μέγιστη ενεργειακή ροή που φτάνει στο κέντρο αντίδρασης του φωτοσυστήματος II (PSII) και 3) την ροή ηλεκτρονίων κατά την έναρξη του φωτισμού. Με αυτό τον τρόπο ο δείκτης  $PI_{total}$  μπορεί να μας δώσει σημαντικές πληροφορίες για την φωτοσυνθετική κατάσταση των φυτών (Μουραντιάν, 2019), ενώ μπορεί να συσχετιστεί και με την ικανότητα του φυτού να επιβιώνει-αναπτύσσεται ικανοποιητικά κάτω από δυσμενείς συνθήκες. Παρόλα αυτά, ενώ αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο αξιολόγησης της φωτοσυνθετικής συσκευής σε συνθήκες stress δεν πρέπει να ταυτίζεται η συνολική απόδοσή ενός φυτού με τον δείκτη αυτόν, καθώς εξαρτάται από πιο περίπλοκους μηχανισμούς (Μαλλέα, 2018). Στη παρούσα μελέτη δεν εντοπίστηκαν σημαντικές στατιστικώς διάφορες μεταξύ των treatments. Σε μελέτη που έγινε το 2020 από τους Franic et al. σε 4 ποικιλίες καλαμποκιού παρατήρησαν μείωση του  $PI_{total}$  ανάλογα με την αύξηση του καδμίου στο έδαφος.

## 5.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- 1) Η προσθήκη αζώτου αυξάνει την νωπή βιομάζα των φύλλων, καθώς και την ξηρή βιομάζα ολόκληρου του φυτού είτε απουσία Cd, είτε στην μεγαλύτερη συγκέντρωση Cd στο έδαφος (40 ppm).
- 2) Η ενδιάμεση συγκέντρωση Cd στο έδαφος (20 ppm) είχε παρόμοια αποτελέσματα στην ανάπτυξη της ρίγανης, παρουσία και απουσία επιπλέον αζώτου.
- 3) Τα επίπεδα των συνολικών χλωροφυλλών, όπως φάνηκε από τις τιμές SPAD, είναι υψηλότερα και παραμένουν σταθερά κατά τη διάρκεια της αναπτυξιακής περιόδου όταν προσθέτουμε αζωτούχα λίπανση. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στα γηραιότερα και νεότερα φύλλα, όπως αποτυπώθηκε στην μέτρηση κατά τον κατακόρυφο άξονα του φυτού.
- 4) Δεν καταγράφηκε καταπόνηση της φωτοσυνθετικής συσκευής στα φυτά ρίγανης όπως μας μαρτυρούν οι τιμές των  $F_v/F_m$  και  $PI_{total}$ .
- 5) Η ρίγανη αποδεικνύεται ανθεκτική ακόμα και σε υψηλές συγκεντρώσεις καδμίου στο έδαφος.

## 6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Ανυφαντή Ε., 2015. Ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά αιθέριου ελαίου του αρωματικού και φαρμακευτικού φυτού *Origanum vulgare* spp. *hirtum* σε εκτατική καλλιέργεια στη περιοχή Αμμοτόπου Άρτας. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, Ιωάννινα
- 2) Γερασιμοπούλου Σοφία 2009 Επίδραση καδμίου(Cd) σε μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά φυτών *nicotiana tabacum* και *nicotiana glauca*. Τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Κρήτης, Ηράκλειο
- 3) Ευθυβούλης Ι., 2020. Επίδρασεις επιμολυσμένου με βαρέα μέταλλα εδάφους στις φυσιολογικές λειτουργίες φυτών ρίγανης, Πτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος
- 4) Καραμπουρνιώτης Γ.Α., Λιακόπουλος Γ., Νικολόπουλος Δ., 2012. Αβιοτικοί Παράγοντες Καταπόνησης, Εκδόσεις Έμβρυο, Αθήνα, σελ. 175-182
- 5) Κατσιώτης Σ., Χατζοπούλου Π., 2019. Αρωματικά Φαρμακευτικά Φυτά Και Αιθέρια Έλαια, Εκδόσεις Κυριακίδη, Θεσσαλονίκη, σελ. 522
- 6) Μαλέα Λαμπρινή 2018 «Η αύξηση και οι παράμετροι του φθορισμού της χλωροφύλλης ως δείκτες καταπόνησης του υφυδατικού αγγειόσπερμου *Stuckenia rectinata* από την ακτινοβολία και την αλατότητα» Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Σχολή Γεωπονικών Επιστημών Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας Και Υδάτινου Περιβάλλοντος Βόλος
- 7) Μαλούπα Ε., Γρηγοριάδου Κ., Λάζαρη Δ., Κρίγκας Ν., 2013. Καλλιέργεια, Μεταποίηση και Διασφάλιση Ποιότητας Των Ελληνικών Αρωματικών-Φαρμακευτικών Φυτών: Βασικές Αρχές Καθετοποιημένης Παραγωγής, Εκδόσεις Γεώργιος Κ. Λουπέλης, Καβάλα
- 8) Μουραντιάν Α. (2019). «Εκτίμηση πιθανών καταπονήσεων του βασιλικού που αναπτύσσεται σε σύστημα ενυδρείοπονίας » Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής & Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.
- 9) Παπαδήμου Σωτηρία 2020. «Βιώσιμη Διαχείριση Περιβαλλοντικών Αλλαγών και Κυκλική Οικονομία» Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας Πολυτεχνική και Γεωπονική Σχολή, Βόλος
- 10) Παπανικολόπουλος Αθανάσιος, 2019 «Φυσιολογικές αποκρίσεις της ρίγανης (*Origanum vulgare*) σε αυξημένα επίπεδα μόλυβδου στο έδαφος», Βόλος
- 11) Σαρλικιώτη, Βάια. 2006 Βελτίωση ρυπασμένων εδαφών με τη χρήση φυσικών μέσων από κάδμιο και ψευδάργυρο Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος

### ΞΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Alyemeni et.al. (2018) Selenium mitigates cadmium-induced oxidative stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants by modulating chlorophyll



- 13) L. Filella et al 1995 Evaluating Wheat Nitrogen Status with Canopy Reflectance Indices and Discriminant Analysis *Crop Science* Volume 35, Issue 5 (<https://doi.org/10.2135/cropsci1995.0011183X003500050023x>)
- 14) Irfan M. 2013 Soil cadmium enrichment: Allocation and plant physiological manifestations *Saudi Journal of Biological Sciences* Volume 20, Issue 1, January 2013, Pages 1-10 (<https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2012.11.004>)
- 15) Jing et al 2005 Effect of cadmium on growth and photosynthesis of tomato seedlings *Journal of Zhejiang University SCIENCE* (<https://doi.org/10.1007/BF02888488>)
- 16) Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A.B., 2007. Plants. In: Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A.B., "Trace Elements from Soil to Human". Springer, pp 57-65. ([https://doi.org/10.1007/978-3-540-32714-1\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-540-32714-1_19))
- 17) Khanam, R. et al., 2020. Metal (loid)s (As, Hg, Se, Pb and Cd) in paddy soil: Bioavailability and potential risk to human health. *Science of The Total Environment*, vol. 699, 134330. (<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134330>)
- 18) Kováč et al. 2018) Potential of photochemical reflectance index for indicating photochemistry and light use efficiency in leaves of european beech and norway spruce trees. *Remote Sensing*, 10(8) (<https://doi.org/10.3390/rs10081202>)
- 19) Kumar, A. et al., 2021. Bio-remediation approaches for alleviation of cadmium contamination in natural resources. *Chemosphere*, vol. 268. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653520330538?via%3DIihub>)
- 20) Levizou et al, 2004. Blackwell Publishing, Ltd. Nondestructive assessment of leaf chemistry and physiology through spectral reflectance measurements may be misleading when changes in trichome density co-occur *New Phytologist* Volume 165, Issue 2 (<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01250.x>)
- 21) Li L., Yuan L., Song L., Gu Y., 2010. Effect of cadmium stress on chlorophyll fluorescence parameters of *Lemna minor* L. *HuanjingKexueXuebao/ Acta Scientiae Circumstantiae*, 5:1062-106
- 22) Li, F., et al., 2018. Spatial Characteristics, Health Risk Assessment and Sustainable Management of Heavy Metals and Metalloids in Soils from Central China. *MDPI*, vol. 10(1), pp: 91. (<https://doi.org/10.3390/su10010091>)
- 23) Monje, O. A., & Bugbee, B. (1992). Inherent limitations of nondestructive chlorophyll meters: A comparison of two types of meters. *HortScience: A Publication of the American Society for Horticultural Science*, 27(1), 69-71. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.1.69>
- 24) Nicholson et al. 2003 An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *The Science of the Total Environment* vol 311 [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(03\)00139-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(03)00139-6)
- 25) Rascio N. Flavia Navari-Izzo 2011 Heavy metal hyper accumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science* Volume 180, Issue 2, February 2011, Pages 169-181 <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.016>

- 26) Sangsuwan, P. & Prapagdee, B., 2021. Cadmium phytoremediation performance of two species of Chlorophytum and enhancing their potentials by cadmium-resistant bacteria. Environmental Technology & Innovation, vol. 21.(<https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101311>)
- 27) Sekeroglu, N. et al., 2007. Determination of cadmium and selected micronutrients in commonly used and traded medicinal plants in Turkey. Science of Food and Agriculture (<https://doi.org/10.1002/jsfa.3048>)
- 28) Tchounwou P.B, Yedjou C.G., Patlolla A.K., Sutton D.J., 2012. Heavy Metals Toxicity and the Environment. National Center for Biotechnology Information, 101:133–164
- 29) Wu and Zhang (2002) Genotypic Differences in Effect of Cd on Growth and Mineral Concentrations in Barley Seedlings Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology volume 69, pages219–227 (<https://doi.org/10.1007/s00128-002-0050-5>)
- 30) Yadav S.K., 2010. Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. South African Journal of Botany, 76:167-179 (<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2009.10.007>)
- 31) Yonghong Sun et al,2008 Arsenic mitigates cadmium toxicity in rice seedlings Environmental and Experimental Botany Volume 64, Issue 3, December 2008, Pages 264-270 (<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.05.009>)
- 32) Yongjie et al.,2020 Regulatory mechanisms of nitrogen (N) on cadmium (Cd) uptake and accumulation in plants: A review Science of The Total Environment Volume 708, 15 March 2020(<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135186>)
- 33) Zhongcai Xue & Huiyuan Gao & Shijie Zhao (2013) Effects of cadmium on the photosynthetic activity in mature and young leaves of soybean plants Environmental Science and Pollution Research volume 21, pages4656–4664 (<https://doi.org/10.1007/s11356-013-2433-z>)

## ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

1. Ευσταθίου Κωνσταντίνος, 2023. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Χημείας. Τελευταία πρόσβαση 9 Ιανουάριου 2023. [http://195.134.76.37/quali/quali\\_C02\\_Cd.htm](http://195.134.76.37/quali/quali_C02_Cd.htm)

