

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού
Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Ζιζανιολογίας

Θέμα πτυχιακής εργασίας:

**«Επίδραση της μικροκυστίνης MC-LR στη φύτευση σπερμάτων και
την ανάπτυξη των αρτίβλαστων καλλιεργούμενων ειδών»**

Κανδυλάκης Φώτιος-Ζαχαρίας



Επιβλέπουσα Καθηγήτρια

Ευθυμία Λεβίζου, Επίκουρη Καθηγήτρια Φυσιολογίας φυτών

Βόλος 2020

«Επίδραση της μικροκυστίνης MC-LR στη φύτευση σπερμάτων και την ανάπτυξη των αρτίβλαστων καλλιεργούμενων ειδών»

«The effects of microcystin-LR on the seed germination and seedling growth of certain crops»

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Λεβίζου Ευθυμία, Επιβλέπουσα, Επίκουρη Καθηγήτρια Φυσιολογίας Φυτών

Ιμπραχίμ-Αβραάμ Χα, Μέλος, Καθηγητής Τεχνολογίας Σπόρου

Πετρόπουλος Σπυρίδων, Μέλος, Επίκουρος Καθηγητής Λαχανοκομίας

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Εισαγωγή.....	6
1.1 Λίμνη Κάρλα.....	6
1.2 Κυανοτοξίνες.....	7
1.3 Επιπτώσεις των μικροκυστινών.....	8
1.4 Σκοπός της εργασίας.....	11
Υλικά και μέθοδοι.....	12
2.1 Μεταχειρίσεις.....	12
2.2 Παρασκευή διαλλειμάτων.....	13
2.3 Στατιστική ανάλυση.....	14
Αποτελέσματα.....	15
3.1 Καλαμπόκι.....	15
3.2 Μαϊντανός.....	19
3.3 Ραπανάκι.....	23
3.4 Καρότο.....	26
Συζήτηση.....	30
4.1 Καλαμπόκι.....	30
4.2 Μαϊντανός.....	30
4.3 Ραπανάκι.....	30
4.4 Καρότο.....	31
Βιβλιογραφία.....	32

Περίληψη

Η παρουσία στάσιμων ή μικρής κινητικότητας υδάτων σε συνδυασμό με ευτροφικές συνθήκες και υψηλές θερμοκρασίες, ευνοούν την ανάπτυξη κυανοβακτηριακών ανθήσεων, από όπου συχνά απελευθερώνονται τοξικές ουσίες, γνωστές ως κυανοτοξίνες. Όταν αυτό συμβαίνει σε επιφανειακά νερά που προορίζονται για άρδευση αποτελεί πρόβλημα για τις καλλιέργειες καθώς οι τοξίνες αυτές τείνουν να βιοσυσσωρεύονται στους ιστούς των φυτών και να αναστέλλουν την ανάπτυξη κάποιων από αυτά. Αρκετά υψηλές συγκεντρώσεις μικροκυστινών, που είναι η πιο συχνά απαντώμενη κατηγορία κυανοτοξινών έχουν καταγραφεί και στη λίμνη Κάρλα (ΝΔ Θεσσαλία). Στην παρούσα εργασία έγινε προσπάθεια να εκτιμηθεί η επίδραση διαλυμάτων καθαρής μικροκυστίνης-LR (MC-LR) καθώς και νερού Κάρλας, στη φύτευση των σπερμάτων και στην αρχική ανάπτυξη των αρτίβλαστων 4 διαφορετικών ειδών (καλαμπόκι, καρότο, μαϊντανός και ραπανάκι). Στόχος της εργασίας είναι να δούμε αρχικά εάν τα διαλύματα MC-LR θα έχουν κάποια επίδραση στην φύτευση και ανάπτυξη των σπερμάτων και δεύτερον εάν το νερό της Κάρλας θα έχει τα ίδια ή διαφορετικά αποτελέσματα. Για τον σκοπό του πειράματος δημιουργήθηκαν 6 διαφορετικές μεταχειρίσεις. Οι τρεις περιείχαν διάλυμα καθαρής MC-LR σε συγκεντρώσεις 2,12 και 120 mg/l. Δύο περιείχαν νερό Κάρλας και στην μια εξ αυτών προστέθηκε διάλλειμα καθαρής MC-LR μέχρι την συγκέντρωση των 12 mg/l και τέλος ο μάρτυρας που ποτιζόταν με απιονισμένο νερό. Τα σπέρματα τοποθετούνταν σε τρυβλία και θάλαμο σταθερών συνθηκών και γινόταν καθημερινή καταγραφή της πορείας της φύτευσης. Με το πέρας της περιόδου φύτευσης πραγματοποιήθηκε μέτρηση του τελικού ποσοστού φύτευσης, των ξηρών βαρών και του μήκους των υπέργειων και υπόγειων οργάνων, καθώς και του SRL (specific root length). Στο καλαμπόκι αξιοσημείωτη διαφορά είχε η μεταχείριση MC2 που κατέγραψε το μεγαλύτερο ποσοστό φύτευσης έχοντας στατιστικά σημαντική διαφορά από τις υπόλοιπες ομάδες. Από την άλλη στον μαϊντανό η MC2 είχε μείωση σε όλες τις παραμέτρους παρουσιάζοντας το χαμηλότερο SRL και ξηρό βάρος ρίζας, το οποίο παρουσίασε στατιστικά σημαντικές διαφορές. Στο ραπανάκι και στον μαϊντανό οι μεταχειρίσεις της Κάρλας παρουσίασαν

μειωμένο SRL λόγω μείωσης του μήκους της ρίζας, χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές. Επομένως συμπεραίνουμε ότι το κάθε φυτικό είδος έχει διαφορετικό τρόπο αντίδρασης στην παρουσία μικροκυστινών στο μέσο ανάπτυξης του.

Εισαγωγή

1.1 Λίμνη Κάρλα

Η λίμνη Κάρλα βρίσκεται στο γεωγραφικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας, στα βόρεια του νομού Μαγνησίας. Το 1962 πάρθηκε η απόφαση να αποξηρανθεί. Η πράξη αυτή αποσκοπούσε πρωτίστως στην αύξηση της καλλιεργήσιμης γης, αλλά και στην αντιμετώπιση των υπερχειλίσεων στα γειτονικά χωράφια και των μεγάλων πληθυσμών εντόμων που αναπτύσσονταν χάρη στις βαλτώδεις συνθήκες που δημιουργούνταν.

Με την πάροδο των χρόνων διαπιστώθηκε ότι τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προέκυψαν από αυτή την επέμβαση ήταν περισσότερα από τα 80.000 στρέμματα γης που αποδόθηκαν για καλλιέργεια, με αποτέλεσμα το 2010 να ξεκινήσει η προσπάθεια ανασύστασης ενός μέρους της λίμνης, έκτασης 38.000 km². Η λίμνη πριν αποξηρανθεί κατείχε έκταση από 41 έως 180 km² ανάλογα με τις ετήσιες κατακρημνίσεις και την εποχή (Νεβεσκιώτης 2010). Οι κύριοι λόγοι για τους οποίους έγινε προσπάθεια αναδημιουργίας της λίμνης είναι η αποκατάσταση του φυσικού περιβάλλοντος καθώς και η παροχή αρδευτικού νερού με σκοπό την μείωση της άντλησης από τις γεωτρήσεις και σε δεύτερο χρόνο τη συνεισφορά της στην ύδρευση της ευρύτερης περιοχής του Βόλου (Νεβεσκιώτης 2010).

Στην παρούσα περίοδο το νερό της λίμνης είναι αρκετά υποβαθμισμένο, λόγω του ευτροφισμού που υφίσταται τόσο από τα αστικά και αγροτικά λύματα που καταλήγουν σε αυτήν όσο και από το κακής ποιότητας νερό του Πηνειού που την τροφοδοτεί (Paradimitriou et al. 2013). Οι συνθήκες αυτές ευνοούν μια σειρά από ανεπιθύμητα φαινόμενα, όπως τις ανθίσεις κυανοβακτηρίων και κατ' επέκταση την αύξηση κυανοτοξινών, όπως η μικροκυστίνη (Οικονομου et al. 2012), την αύξηση της αλατότητας σε υφάλμυρα επίπεδα (3.1 - 5.8 dS/m) καθώς και του pH οι τιμές του οποίου διακυμαίνονται από 8,05 έως 8,95 (Κοζμίδης et al. 2011). Η συγκέντρωσή της

μικροκυστίνης κυμαίνεται στο νερό από 0,75 έως 3,5 μg/L σύμφωνα με τους (Paradimitriou et al. 2013).

1.2 Κυανοτοξίνες

Οι κυανοτοξίνες είναι βιοτοξίνες που παράγονται από ορισμένα κυανοβακτήρια που είναι τοξικά. Χωρίζονται σε 4 κατηγορίες ανάλογα με την δράση τους στους οργανισμούς στόχους: τις ηπατοτοξίνες, τις κυτοτοξίνες, τις δερματοτοξίνες και τις νευροτοξίνες (Corbel et al 2014). Οι ηπατοτοξίνες επιδρούν στο ήπαρ των οργανισμών, οι κυτοτοξίνες προσβάλλουν διάφορα όργανα όπως νεφρούς, λεπτό έντερο, ήπαρ κ.α, οι δερματοξίνες στοχεύουν στο δέρμα και οι νευροτοξίνες στο νευρικό σύστημα των οργανισμών στόχων. Οι ηπατοτοξίνες χωρίζονται σε 2 υποομάδες τοξινών, τις νοντουλαρίνες και τις μικροκυστίνες (MCs) με τις δεύτερες να έχουν την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης σε κυανοβακτηριακές ανθίσεις και πάνω από 80 αναγνωρισμένα είδη (Corbel et al 2014).

Η απελευθέρωση των κυανοτοξινών στο υδάτινο περιβάλλον πραγματοποιείται κυρίως κατά την άνθιση των κυανοβακτηρίων και δευτερευόντως κατά την λύση των κυττάρων τους όταν αυτά γερνάνε και πεθαίνουν (Corbel et al 2014). Η ένταση των ανθίσεων επηρεάζεται από την θερμοκρασία του νερού, τα αποθέματα θρεπτικών, την ένταση του φωτός, την αλατότητα καθώς και την στασιμότητά του (Machado et al. 2017). Πιο συγκεκριμένα η παραγωγή τοξινών αυξάνεται με ένταση φωτός από 40 μE/m²sec, επομένως οι ρηχές λίμνες, όπως η Κάρλα είναι πιο ευάλωτες στην αύξηση της συγκέντρωσης τους (WHO 1998). Όσο αφορά την θερμοκρασία η μέγιστη παραγωγή τοξινών παρατηρείται στους 20-25°C (WHO 1998).

Η απομάκρυνση των κυανοτοξινών από ένα οικοσύστημα επιτυγχάνεται με διεργασίες όπως η βιοαποικοδόμηση, η φωτοχημική αποικοδόμηση με υπεριώδη ακτινοβολία και η προσρόφηση από σωματίδια. Η βιοαποικοδόμηση πραγματοποιείται από βακτηριακές κοινότητες συγκεκριμένης σύνθεσης και ευνοείται από την παρατεταμένη έκθεση αυτών στις κυανοτοξίνες διότι έτσι επάγονται οι χαρακτήρες που επιτελούν την συγκεκριμένη

διαδικασία (Corbel et al. 2014). Οι κυανοτοξίνες παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές ως προς την σταθερότητα τους στο περιβάλλον. Οι ηπατοτοξίνες παραμένουν σταθερές για αρκετές εβδομάδες σε υδάτινο περιβάλλον χωρίς να επηρεάζονται από την παρουσία ηλιακού φωτός. Η νευροτοξίνη anatoxin-a και η κυτοτοξίνη CYN είναι σταθερές απουσία ηλιακού φωτός και αποικοδομούνται πολύ γρήγορα παρουσία του. Οι MCs παρουσιάζουν σταθερότητα ως προς την παρουσία τους στο έδαφος, καθώς προσροφώνται στα σωματίδια του. Πιο συγκεκριμένα τα άτομα οξυγόνου και αζώτου στις δομές της τοξίνης, ευνοούν την δημιουργία χηλικών ενώσεων μεταξύ αυτής και των μεταλλικών ιόντων στην επιφάνεια των σωματιδίων της αργίλου. Η σύσταση του εδάφους παίζει σημαντικό ρόλο στην αποικοδόμησή της MC. Εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και άργιλο αποικοδομούν ταχύτερα τις MCs σε σχέση με αμμώδη και φτωχά σε οργανική ουσία εδάφη.

1.3 Επιπτώσεις των μικροκυστινών

Οι MCs είναι μικρά κυκλικά πεπτιδία που απαρτίζονται από 7 αμινοξέα. Από αυτά το 3S-αμινο-9S-μεθοξυ-2,6,8S-τριμεθυλ-10-φαινυλδεΐκα-4,6-διενοϊκό οξύ (Adda) είναι υπεύθυνο για την τοξική τους δράση (Machado et al. 2017). Η MC-LR είναι η πιο τοξική μικροκυστίνη καθώς περιέχει τα αμινοξέα L-αργινίνη και L-λευκίνη (Παπαδημητρίου 2010). Για την MC-LR έχει βρεθεί ότι ο βασικός μηχανισμός τοξικότητας τόσο στον άνθρωπο όσο και στα ανώτερα φυτά είναι η μη αναστρέψιμη αναστολή της πρωτεϊνικής φωσφατάσης 1 και 2α καθώς και η επαγωγή παραγωγής ενεργών μορφών οξυγόνου (ROS) (Machado et al. 2017).

Δημοσιευμένες μελέτες έχουν αποδείξει ότι όταν καλλιεργούμενα φυτά αρδεύονται με νερό που περιέχει μικροκυστίνες υφίστανται αρνητικές επιπτώσεις τόσο στην ποιότητα όσο και στην απόδοση τους. Τα κύρια προβλήματα που μπορεί να προκύψουν από την έκθεση των φυτών στις μικροκυστίνες είναι η μειωμένη ανάπτυξη, κατά συνέπεια και παραγωγή αλλά και η αύξηση της συγκέντρωσής τους στους ιστούς των φυτών (συμπεριλαμβανόμενων και των εδώδιμων τμημάτων) σε επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία επίπεδα. Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η αναστολή της ανάπτυξης

ενός φυτού είναι: το είδος του φυτού, το αναπτυξιακό στάδιο (όσο πιο νεαρό το φυτό τόσο πιο ευαίσθητο), ο χρόνος έκθεσης και η συγκέντρωση (όσο αυξάνονται τόσο αυξάνεται και η αναστολή) καθώς και την φύση της τοξίνης (καθαρή, προερχόμενη από καλλιέργειες τοξικών κυανοβακτηρίων ή φυσικής προέλευσης μέρος του αρδευτικού νερού) (Levizou et al. 2017, Machado et al. 2017). Μέχρι στιγμής έχουν μελετηθεί αρκετά είδη ως προς την απόκρισή τους στις MCs και φαίνεται ότι σε πολλά η ανάπτυξη επηρεάζεται σημαντικά, όπως στην πατάτα, το φασόλι και άλλες σημαντικές καλλιέργειες (Saqrane et al. 2008). Επίσης, οι σχετικές εργασίες δείχνουν ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην ευαισθησία των διάφορων φυτικών ειδών στις μικροκυστίνες. Για παράδειγμα, στο μαρούλι φαίνεται να μην επηρεάζεται η ανάπτυξή του όταν ποτίζεται με νερό που περιέχει μικροκυστίνες σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις (Levizou et al. 2017), παρότι το βρώσιμο μέρος φαίνεται να βιοσυσσωρεύει τις τοξίνες. Σημαντικές διαφορές έχουν καταγραφεί ακόμη και μεταξύ ποικιλιών του ίδιου είδους ως προς το πώς επηρεάζονται από τις μικροκυστίνες. Οι Pflugmacher et al. (2007a) έκαναν μία έρευνα όπου μελέτησαν τις επιδράσεις ακατέργαστου εκχυλίσματος κυανοβακτηρίων (που είχε MCs) στην ανάπτυξη και τη φυσιολογία έξι διαφορετικών ποικιλιών σπανακιού. Παρατήρησαν σημαντικές μειώσεις της ανάπτυξης σε κάποιες ποικιλίες, ενώ άλλες εμφανίστηκαν πιο ανθεκτικές. Αυτό αποδόθηκε σε αυξημένη ικανότητα των ανθεκτικών ποικιλιών να ενισχύουν το αντιοξειδωτικό τους οπλοστάσιο όταν έρχονται αντιμέτωπες με τις μικροκυστίνες.

Σε βιοχημικό επίπεδο οι MCs επηρεάζουν την φωτοσυνθετική ικανότητα του φυτού, την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη, την διαπερατότητα της πλασματικής μεμβράνης, τον μεταβολισμό του άνθρακα και του αζώτου, την ενεργοποίηση ενζύμων για την δέσμευση του CO₂ και την αποθήκευση αμύλου (Machado et al. 2017, Corbel et al. 2014). Η μειωμένη φωτοχημική απόδοση του PSII εξαιτίας της παρουσίας μικροκυστινών αποδείχτηκε για μία σειρά φυτών, όπως το σκληρό στάρι, το καλαμπόκι, τον αρακά και ποικιλίες φακής (Saqrane et al. 2009). Μειωμένη συγκέντρωση χλωροφυλλών βρέθηκε σε καλαμπόκι που ποτίστηκε με νερό της Κάρλας (Γερμάνη 2018). Το πιο συχνό όμως εύρημα των σχετικών εργασιών είναι η οξειδωτική καταπόνηση που δέχονται τα φυτά

από την παρουσία μικροκυστινών και, σε κάποια από αυτά, η αύξηση των αντιοξειδωτικών ουσιών ως απάντηση (Corbel et al. 2014).

Μία άλλη επίπτωση των μικροκυστινών σε καλλιεργούμενα φυτά είναι αναστολή της φύτρωσης των σπερμάτων και της ανάπτυξης των αρτίβλαστων. Έχουν μέχρι τώρα εξεταστεί μερικά είδη, όπως καλαμπόκι, φακή, σάρι και αρακάς, τα οποία αφέθηκαν να φυτρώσουν σε διαλύματα καθαρής μικροκυστίνης ή εκχυλίσματα κυανοβακτηρίων και καταγράφηκαν μειώσεις στο ποσοστό φύτρωσης, το μήκος της ρίζας και του βλαστού (Pflugmacher 2007b, Saqrane et al. 2008).

Η απορρόφηση των MCs από το φυτό επηρεάζεται από τα είδη των βακτηρίων που υπάρχουν στο έδαφος και πιο συγκεκριμένα από την ικανότητά τους να αποικοδομούν τις MCs (Machado et al. 2017). Η βιοσυσσώρευση των MCs έχει αποδειχθεί σχεδόν σε όλα τα φυτά που ελέγχθηκαν και είναι συνήθως μεγαλύτερη στην ρίζα σε σχέση με το υπέργειο τμήμα των φυτών (Levizou et al. 2017). Αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από τον τρόπο άρδευσης της καλλιέργειας (στάγδην, καταιονισμός κ.α) (Corbel et al 2014).

Η έκθεσή του ανθρώπου στις μικροκυστίνες γίνεται μέσω της κατανάλωσης φυτικών και ζωικών οργανισμών στους οποίους ενυπάρχει καθώς και από μολυσμένα νερά που προορίζονται για πόση. Υπάρχουν αρκετές αναφορές για δηλητηριάσεις έως και θανάτους από νερό μολυσμένο με MCs το οποίο καταναλώνονταν χωρίς κάποια επεξεργασία (Bittencourt-Oliveira et al. 2016). Οι δηλητηριάσεις φαίνεται να είναι το πρώτο σύμπτωμα, ενώ συνεχής ή χρόνια κατανάλωση μικρών ποσοτήτων μικροκυστίνης έχει βρεθεί ότι προάγει την ανάπτυξη κακοηθειών σε ανθρώπους και ζώα (Machado et al. 2017). Παρόμοια περιστατικά οδήγησαν τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας να θεσπίσει κάποια όρια ασφάλειας στην κατανάλωση μικροκυστινών, το οποίο τέθηκε στα 0,4 mg ανά κιλό σωματικού βάρους για την ανώτατη ημερήσια κατανάλωση MC-LR (WHO 1998).

1.4 Σκοπός της εργασίας

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, σε κάποια είδη έχει αποδειχθεί ότι οι μικροκυστίνες έχουν αρνητική επίδραση στη βλαστικότητα και την αρχική ανάπτυξη του φυτού, ενώ παράλληλα υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των ειδών ως προς την ευαισθησία που δείχνουν. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να εκτιμηθεί το πως επηρεάζει η έκθεση των σπερμάτων σε νερό από την Κάρλα αλλά και σε διάλυμα καθαρής MC-LR την βλαστικότητα των σπερμάτων και την αρχική ανάπτυξη των αρτίβλαστων διάφορων καλλιεργούμενων φυτών. Καθώς το νερό της Κάρλας είναι ένα μείγμα διάφορων ουσιών, μερικά εξ αυτών πιθανώς βιοενεργά με διάφορους τρόπους, χρησιμοποιήθηκαν και τρεις συγκεντρώσεις καθαρής MC-LR -μία παρόμοια με της Κάρλας και δύο μεγαλύτερες- προκειμένου να εκτιμηθεί το μέγεθος της συνεισφοράς των μικροκυστινών στο όποιο αποτέλεσμα.

Υλικά και μέθοδοι

2.1 Μεταχειρίσεις

Το νερό της Κάρλας που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα προήλθε από υδροληψία στη λίμνη τον Οκτώβριο του 2017, πριν αρχίσουν οι φθινοπωρινές βροχές. Το σύνολο του νερού λήφθηκε άπαξ και στη συνέχεια διατηρήθηκε στο σκοτάδι, στους 4 °C, μέχρι να χρησιμοποιηθεί στα πειράματα. Μετρήσεις της συγκέντρωσης των MCs στο νερό που συλλέχθηκε έδειξαν ότι περιείχε 2 µg/ml MC-LR.

Για τον σκοπό της εργασίας επιλέχθηκαν 6 μεταχειρίσεις. Ακολουθεί η ονοματολογία και το διάλυμα που λάμβαναν τα σπέρματα και αρτίβλαστα της αντίστοιχης μεταχείρισης:

- 1) C: απιονισμένο νερό
- 2) K: νερό Κάρλας
- 3) K12: νερό Κάρλας στο οποίο είχαμε προσθέσει καθαρή μικροκυστίνη μέχρι την συγκέντρωση των 12 µg/l
- 4) MC2: διάλυμα καθαρής μικροκυστίνης 2 µg/ml
- 5) MC12: διάλυμα καθαρής μικροκυστίνης 12 µg/ml
- 6) MC120 διάλυμα καθαρής μικροκυστίνης 120 µg/ml

Τα MC2, MC12 και MC120 προήλθαν με αραίωση πυκνού μητρικού διαλύματος καθαρής MC-LR (CAYMAN CHEMICAL, ΗΠΑ). Το K ήταν νερό που συλλέχθηκε από την λίμνη και το K12 νερό της λίμνης στο οποίο μετρήθηκε η συγκέντρωση σε MC-LR και κατόπιν προστέθηκε σε αυτό ποσότητα από το πυκνό διάλλειμα για να επιτευχθεί η συγκέντρωση των 12 µg/ml. Η μεταχείριση 3 δηλαδή προέκυψε για σύγκριση με τη μεταχείριση 5: καθώς η Κάρλα τον Οκτώβριο του 2017 είχε 2µg/ml και προσθέσαμε άλλα 10 για να φτάσει στο επίπεδο της μεταχείρισης 5.

Μελετήθηκαν 4 είδη φυτών:

ραπανάκι (*Raphanus sativus*) ποικιλία «Large red»,
μαϊντανός (*Petroselinum crispum*) ποικιλία «Comune 2»,
καρότο (*Daucus carota*) «Nantes 2» και
καλαμπόκι (*Zea mays*) «Forte 67 F1».

Σε ότι αφορά τις επαναλήψεις χρησιμοποιήθηκαν 3 τρυβλία/μεταχείριση/είδος, ενώ για το καλαμπόκι τα τρυβλία ήταν 4. Στο ραπανάκι μπήκαν 12 σπέρματα ανά τρυβλίο, στο καρότο και τον μαϊντανό 15 και στο καλαμπόκι 5. Τα σπέρματα τοποθετήθηκαν πάνω σε διηθητικό χαρτί στο οποίο είχε προστεθεί το διάλυμα. Κατά τη διάρκεια του πειράματος γίνονταν προσθήκη διαλύματος όταν υπήρχε ανάγκη. Στη συνέχεια, τα σπέρματα τοποθετήθηκαν σε θάλαμο ανάπτυξης με 12 ώρες φως και 12 ώρες σκοτάδι στους 20 °C.

2.2 Μετρήσεις

Η μέτρηση του εκατοστιαίου ποσοστού φύτρωσης πραγματοποιούνταν ημερησίως από την αρχή έως το τέλος του πειράματος. Φυτρωμένο θεωρούνταν το σπέρμα στο οποίο εμφανιζόταν το ριζίδιο από το σπερματικό περίβλημα.

Η λήξη του πειράματος για κάθε είδος αποφασιζόταν με βάση τα control σπέρματα, δηλαδή, όταν αυτά έφταναν σε ένα ποσοστό φύτρωσης που δεν αυξανόταν άλλο, το πείραμα έληγε.

Κατά την λήξη του πειράματος μετρούνταν η τελική ανάπτυξη του αρτίβλαστου. Διαχωρίζονταν το υπέργειο μέρος από τη ρίζα με κόψιμο στο υποκοτύλιο. Τα δύο μέρη του κάθε αρτίβλαστου τοποθετούνταν σε έγχρωμη σελίδα και σκανάρονταν. Στη συνέχεια τοποθετούνταν στο φούρνο για 24 ώρες στους 80 °C, και μετά ζυγίζονταν σε ζυγό ακριβείας και καταγράφονταν το ξηρό βάρος της ρίζας και του υπέργειου. Οι εικόνες που προέκυπταν από το σκανάρισμα των ζωντανών ιστών περνούσαν σε πρόγραμμα ανάλυσης εικόνας (Image J) προκειμένου με μετρηθεί το μήκος της ρίζας και το μήκος του υπέργειου μέρους. Από τα παραπάνω δεδομένα προέκυψαν και οι δείκτες:

α) SRL (specific root length), Ειδικό Μήκος Ρίζας ως ο λόγος μήκους/βάρος ρίζας σε cm/mg, που αναφέρεται στο μήκος της ρίζας ανά μονάδα βιομάζας της και
β) λόγος βιομάζας ρίζας/ βιομάζα υπέργειου.

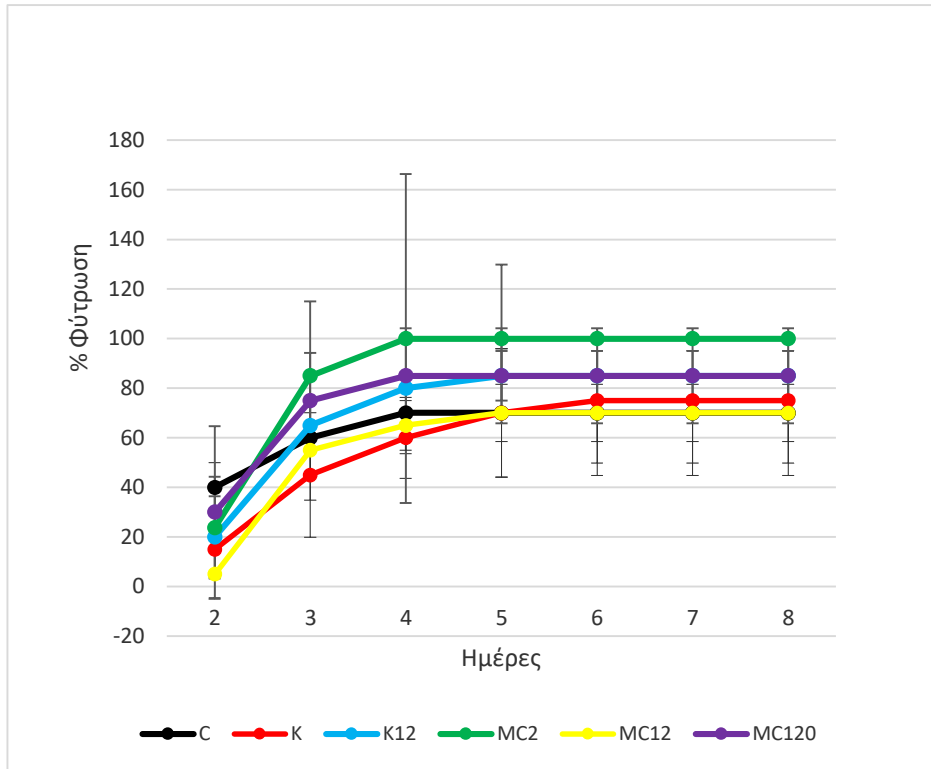
2.3 Στατιστική ανάλυση

Η στατιστική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα SPSS Statistics 24 IBM. Η σημαντικότητα των διαφορών ελέγχθηκε σε επίπεδο $p < 0.05$ με One – Way Anova, την οποία ακολουθούσε LSD post-hoc test. Στην περίπτωση των δεικτών χρησιμοποιήθηκαν non-parametric tests (Kruskal-Wallis).

Αποτελέσματα

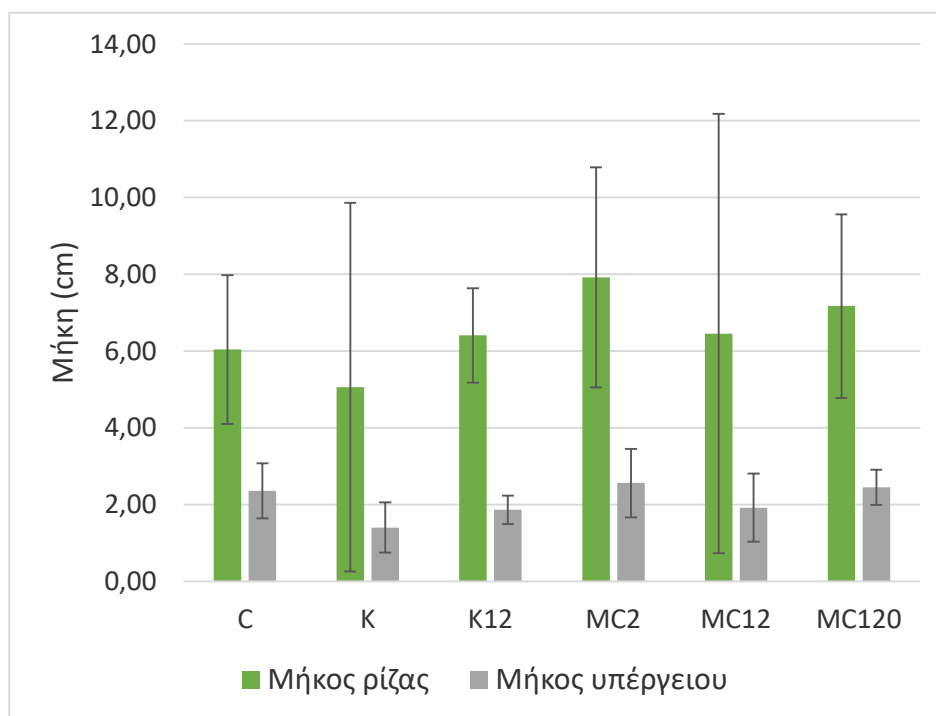
3.1 Καλαμπόκι

Στο Γράφημα 1 απεικονίζεται η πορεία της φύτευσης των σπερμάτων του καλαμποκιού από την πρώτη μέρα που άρχισαν να εμφανίζονται τα ριζίδια έως και την όγδοη ημέρα που βγήκαν από τον θάλαμο ανάπτυξης. Τα σπέρματα που ποτίστηκαν με MC2 είχαν την πιο γρήγορη αύξηση του ποσοστού φύτευσης και το μεγαλύτερο τελικό ποσοστό αυτής, το οποίο διέφερε στατιστικά σημαντικά από τις μεταχειρίσεις K, C και MC12 (βλ. Πίνακα 1).

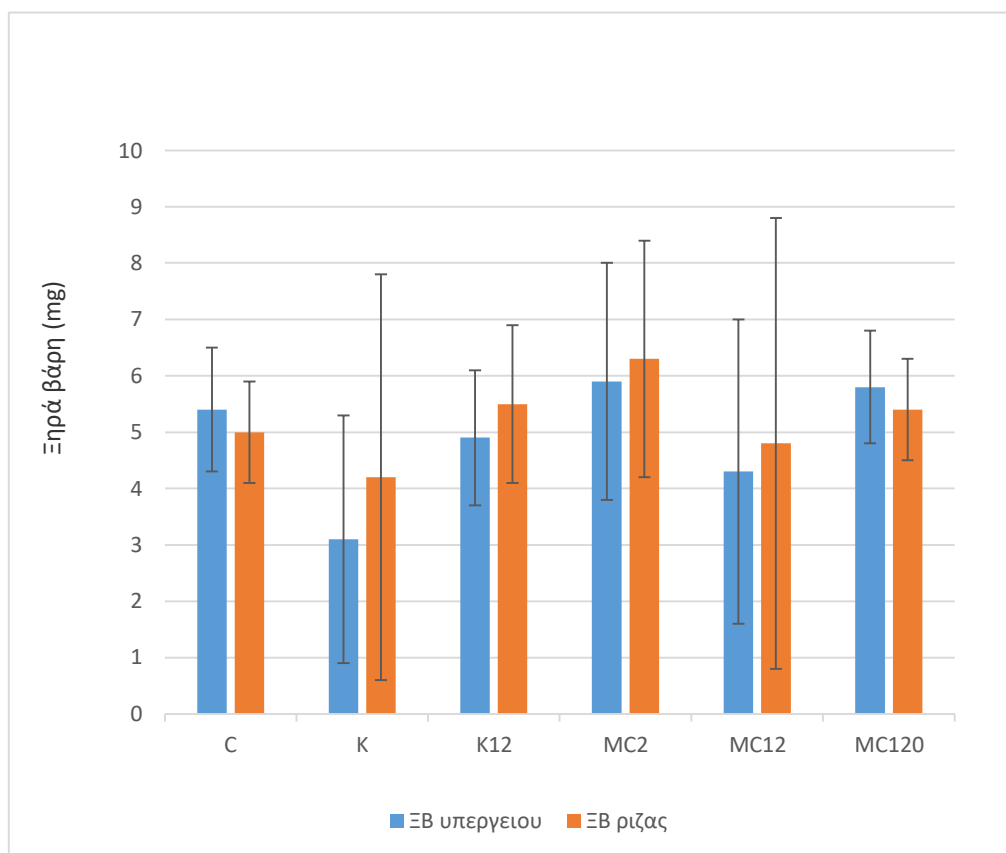


Γράφημα 1: Η πορεία της φύτευσης των σπερμάτων του καλαμποκιού, εκφρασμένη ως % αριθμό φυτρωμένων επί του συνόλου, από την αρχή έως το τέλος του πειράματος (M.O. \pm SD).

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 2 από τις μετρήσεις που έγιναν στα μήκη υπέργειου και ρίζας, οι χαμηλότερες τιμές απαντήθηκαν στην μεταχείριση K και οι υψηλότερες στην MC120 χωρίς στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Στα ξηρά βάρη, όπως απεικονίζονται στο Γράφημα 3, οι χαμηλότερες τιμές εντοπίστηκαν στην μεταχείριση K ενώ οι υψηλότερες στην MC2 τόσο για το υπέργειο μέρος όσο και για την ρίζα, χωρίς όμως να υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων. Όσον αφορά τα.



Γράφημα 2 : Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις από τα μήκη του υπέργειου μέρους και της ρίζας του καλαμποκιού.



Γράφημα 3: Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις ξηρού βάρους του υπέργειου μέρους και της ρίζας του καλαμποκιού.

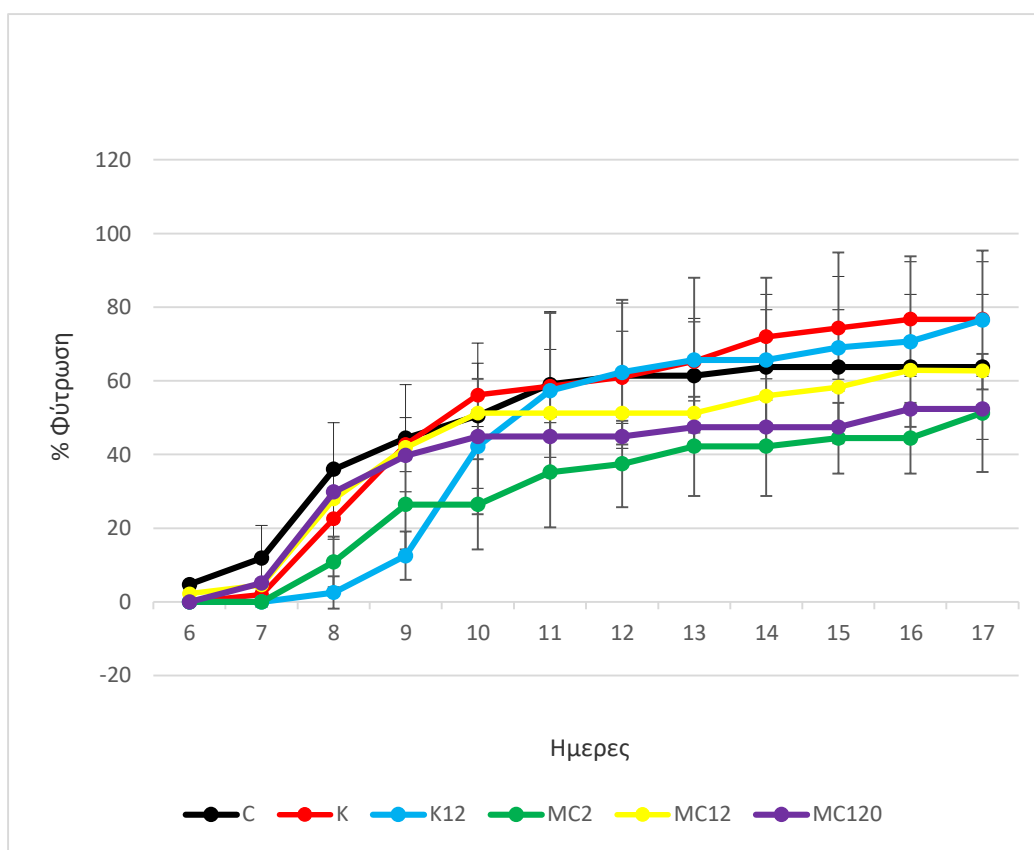
Πίνακας 1 : Τελικό ποσοστό φύτευσης, SRL (ειδικό μήκος ρίζας) και λόγος βιομάζας ρίζας/υπέργειο τμήμα (M.O. \pm SD) στο καλαμποκί. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε επίπεδο $p < 0.05$.

Μεταχειρίσεις	Τελικό % φύτευσης		SRL (cm/mg)		Ρίζα / υπέργειο	
	avg	sd	avg	sd	avg	sd
C	70 b	12	1,19	0,25	0,92	0,06
K	75 b	25	1,14	0,14	1,29	0,25
K12	85 b	10	1,20	0,20	1,12	0,03
MC2	100 a	0	1,25	0,09	1,09	0,09
MC12	70 b	12	1,32	0,09	1,05	0,22
MC120	85 b	19	1,32	0,29	0,93	0,07

Από τα αποτελέσματα που φαίνονται στον Πίνακα 1 προκύπτει ότι στη μεταχείριση MC2 όλα τα σπέρματα φύτρωσαν, κάτι που διέφερε στατιστικώς σημαντικά από τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις. Όλες οι υπόλοιπες κυμάνθηκαν σε παρόμοια επίπεδα της τάξης του 70-85% και δεν διέφεραν από στατιστικής άποψης μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα του SLR δείχνουν μία σταδιακή αύξηση του δείκτη προς τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις MC-LR. Ο λόγος της βιομάζας ρίζας/υπέργειο δεν επηρεάστηκε από τις μεταχειρίσεις. Συνολικά η εικόνα του καλαμποκιού είναι ότι δεν υπάρχει σαφής και σημαντική επίδραση του νερού της Κάρλας και των μικροκυστινών στις παραμέτρους που μετρήθηκαν.

3.2 Μαϊντανός

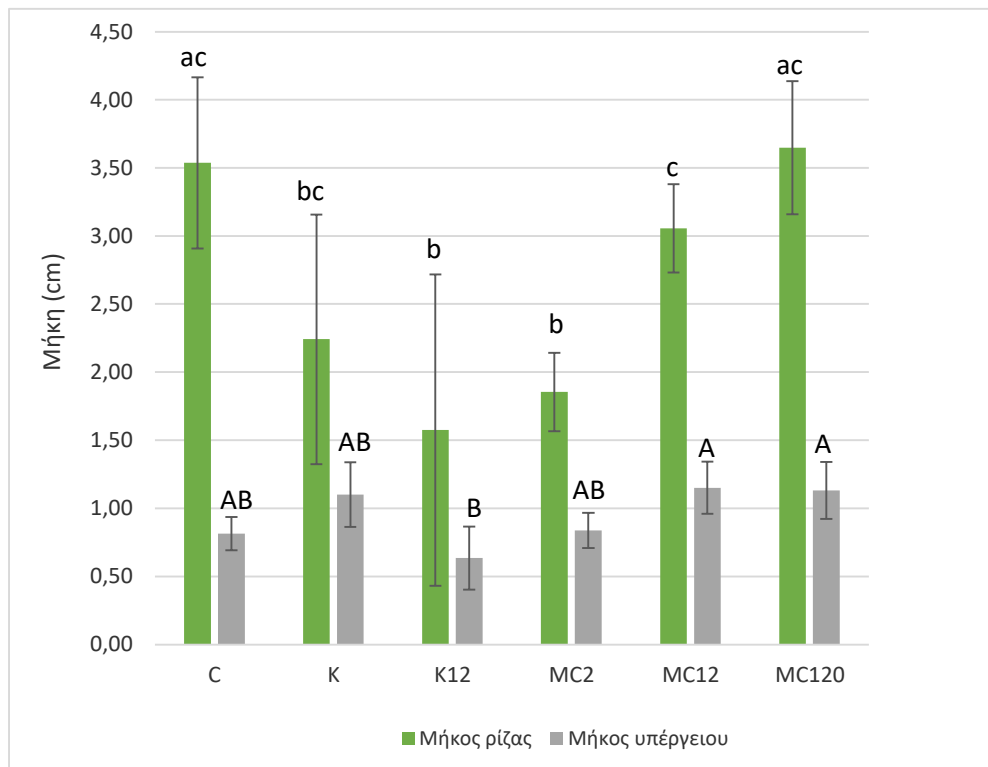
Στο Γράφημα 4 παρουσιάζεται η πορεία της φύτευσης των σπερμάτων του μαϊντανού. Αν και η αναστολή της φύτευσης φαίνεται αρκετά μεγαλύτερη στα δείγματα MC2 και MC120, η στατιστική ανάλυση για το τελικό ποσοστό φύτευσης δεν έδειξε σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων (βλ και Πίνακα 2).



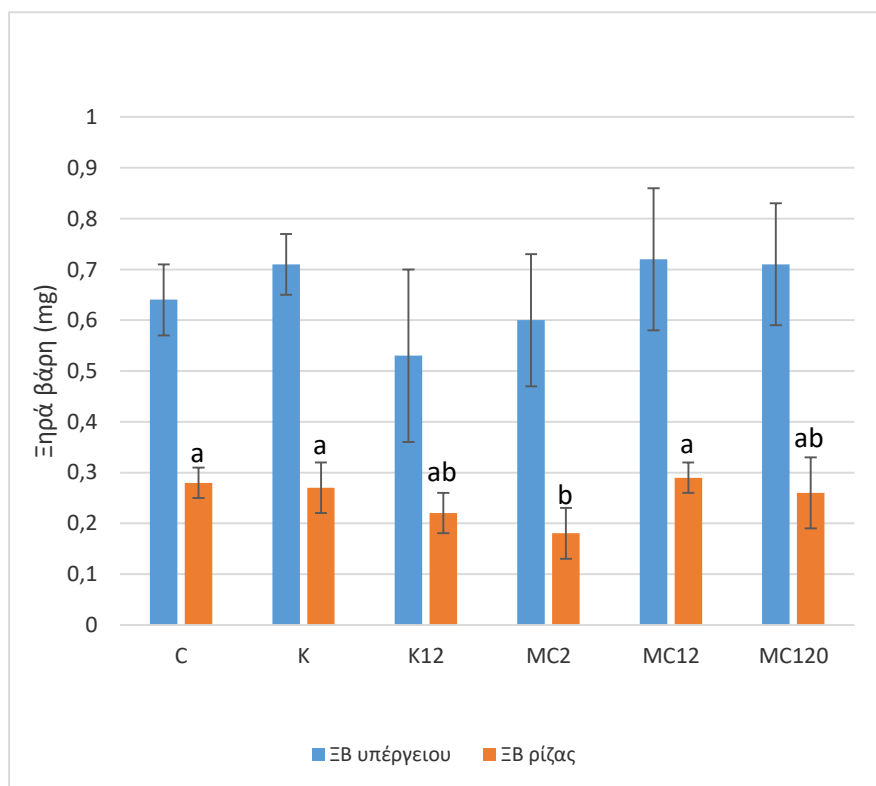
Γράφημα 4: Η πορεία της φύτευσης των σπερμάτων του μαϊντανού, εκφρασμένη ως % αριθμό φυτρωμένων επί του συνόλου, από την αρχή έως το τέλος του πειράματος (M.O. \pm SD).

Στα μήκη των φυτικών μερών του μαϊντανού τις μικρότερες τιμές είχε η μεταχείριση K12 τόσο στο υπέργειο όσο και στην ρίζα (Γράφημα 5). Στην ρίζα υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων και συγκεκριμένα η μεταχείριση K12 διέφερε σημαντικά από C, MC12 και MC120. Στο υπέργειο τμήμα η διαφορά ήταν

στατιστικά σημαντική ανάμεσα στο K12 όπως προαναφέρθηκε και τα MC12 και MC120. Σε ότι αφορά τα ξηρά βάρη, όπως παρουσιάζονται στο Γράφημα 6 και στα υπέργεια μέρη, αξιοσημείωτη διαφορά έχει η μεταχείριση K12 με την μικρότερη τιμή χωρίς να διέφερε στατιστικά σημαντικά. Στα αποτελέσματα των ριζών που παρατίθενται στο Γράφημα 6, η μεταχείριση MC2 κατείχε την μικρότερη τιμή με στατιστικά σημαντική διαφορά από τα δείγματα των C, K και MC12.



Γράφημα 5: Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις από τα μήκη του υπέργειου μέρους και της ρίζας του μαϊντανού. Τα διαφορετικά μικρά και κεφαλαία γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων στις ρίζες και το υπέργειο μέρος αντίστοιχα, για $p < 0.05$.



Γράφημα 6: Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις ξηρού βάρους του υπέργειου μέρους και της ρίζας του μαϊντανού. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων για $p < 0.05$.

Πίνακας 2 : Τελικό ποσοστό φύτευσης, SRL (ειδικό μήκος ρίζας) και λόγος βιομάζας ρίζας/υπέργειο τμήμα (M.O. \pm SD) στον μαϊντανό. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων για $p < 0.05$

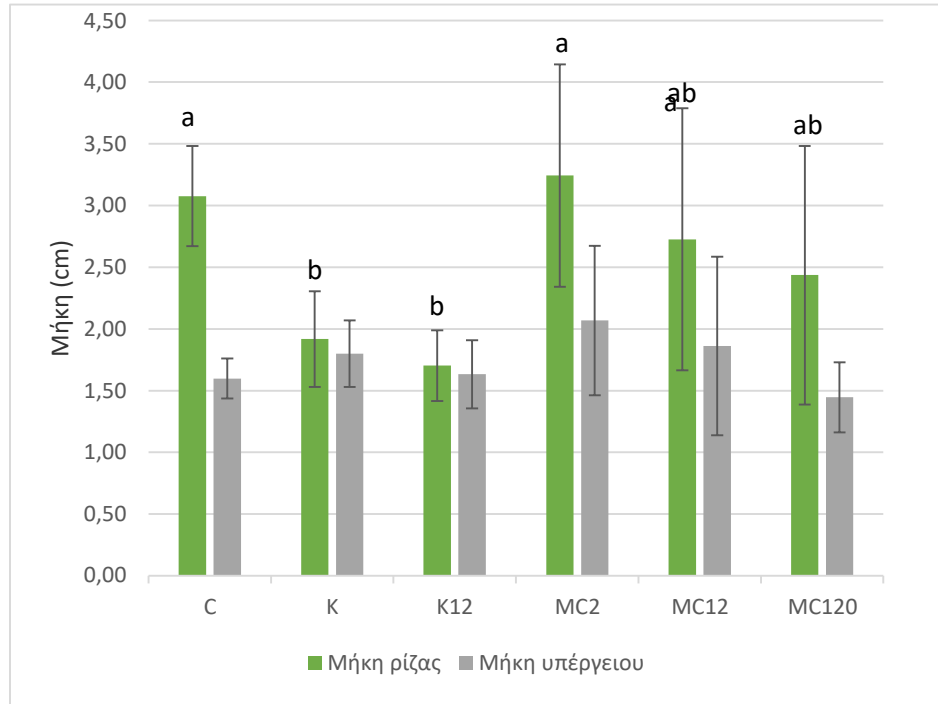
Μεταχειρίσεις	Τελικό % φύτευσης		SRL (cm/mg)		Ρίζα/υπέργειο	
	avg	sd	avg	sd	avg	sd
C	64	13	12,55 a	3,01	0,45	0,09
K	72	14	8,17 ab	1,87	0,38	0,05
K12	77	19	6,73 b	3,79	0,43	0,08
MC2	51	16	10,55 ab	3,40	0,31	0,02
MC12	63	5	10,74 ab	1,61	0,41	0,08
MC120	52	20	14,63 ab	2,88	0,37	0,08

Ο μαϊντανός παρουσίασε ένα μέτριο επίπεδο επιτυχίας στη φύτευση, παρόμοιο για όλες τις μεταχειρίσεις. Αντίστοιχα παρόμοια ήταν και η επένδυση σε βιομάζα στη ρίζα σε σχέση με το υπέργειο. Το μήκος της ρίζας ανά μονάδα βάρους (SLR) όμως διέφερε σημαντικά μεταξύ της K12 και των υπολοίπων αντανακλώντας τις διαφορές που καταγράφηκαν στα Γραφήματα 5 και 6. Αντίθετα, ο λόγος της βιομάζας ρίζας/υπέργειο δεν επηρεάστηκε από τις διάφορες μεταχειρίσεις.

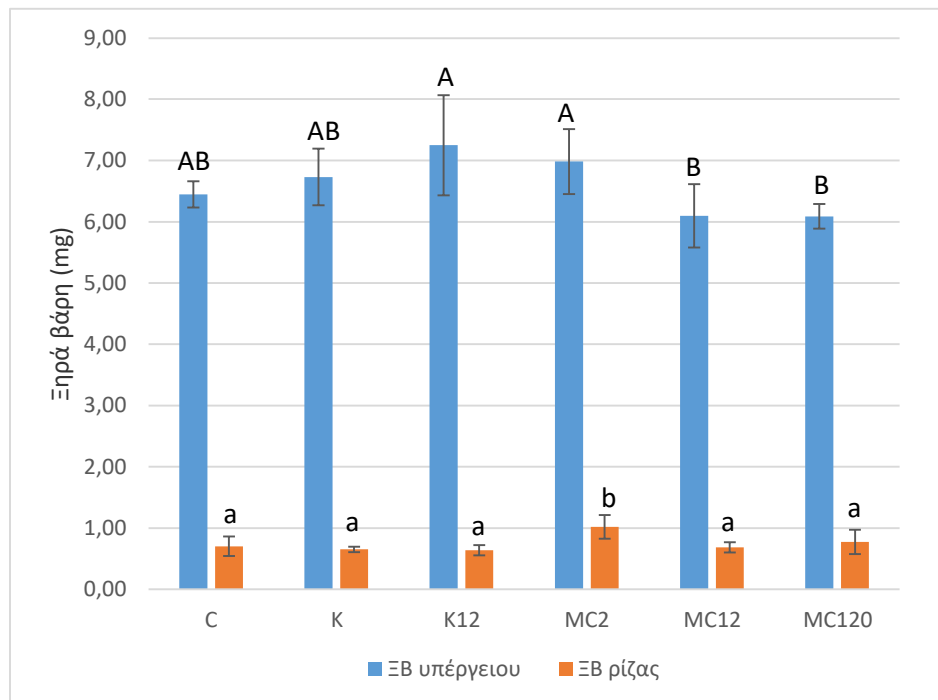
3.3 Ραπανάκι

Στο ραπανάκι δεν θα μπορέσουμε να παρουσιάσουμε Γράφημα βλάστησης σε σχέση με τον χρόνο, διότι εξαιτίας της ταχύτερης βλάστησής του σε σχέση με τα υπόλοιπα φυτά, η καταγραφή της, με ακρίβεια ημέρας δεν ήταν αρκετή για έγκυρα αποτελέσματα. Ως προς το τελικό ποσοστό βλάστησης, τα αποτελέσματα ήταν πολύ κοντά με τις μεταχειρίσεις της Κάρλας (Κ και Κ12) να έχουν ελαφρώς μικρότερο ποσοστό χωρίς στατιστικά σημαντική διαφορά (βλ. Πίνακα 3).

Στο μήκος ρίζας του ραπανακίου τις χαμηλότερες τιμές έχουν οι μεταχειρίσεις της Κάρλας με την χαμηλότερη η Κ12 (Γράφημα 7). Η μεταχείριση Κ12 διέφερε σημαντικά από τις ΜC2, ΜC12, ΜC120 και C. Η μεταχείριση Κ από τις ΜC2 και C. Στο μήκος υπέργειου την μεγαλύτερη τιμή κατείχε η ΜC2 με στατιστικά σημαντική διαφορά από Κ12 και ΜC120 και την μικρότερη η ΜC120 με στατιστικά σημαντική διαφορά από τις ΜC2 και ΜC12. Σύμφωνα με το Γράφημα 8, στο ξηρό βάρος υπέργειου την μεγαλύτερη τιμή είχε η μεταχείριση Κ12 με στατιστικά σημαντική διαφορά από ΜC12 και ΜC120 και την μικρότερη η μεταχείριση ΜC120 με στατιστικά σημαντικές διαφορές από τη ΜC2 και Κ12. Στο ξηρό βάρος ρίζας (Γράφημα 8), την μεγαλύτερη τιμή είχε η μεταχείριση ΜC2, η οποία διέφερε στατιστικά σημαντικά απ' όλα τα άλλα δείγματα.



Γράφημα 7: Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις από τα μήκη του υπέργειου μέρους και της ρίζας στο ραπανάκι. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων για $p < 0.05$.



Γράφημα 8: Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις ξηρού βάρους του υπέργειου μέρους και της ρίζας στο ραπανάκι. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων για $p < 0.05$.

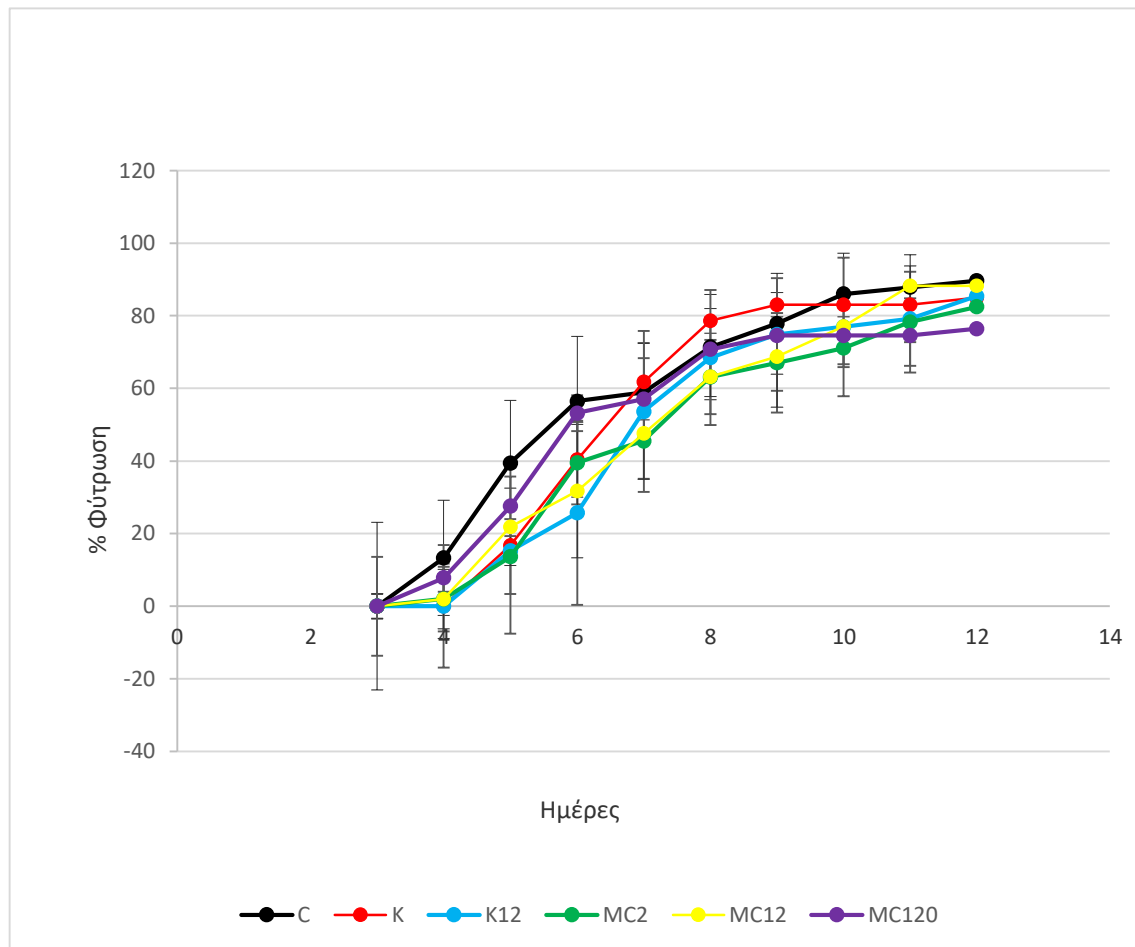
Πίνακας 3 : Τελικό ποσοστό φύτευσης, SRL (ειδικό μήκος ρίζας) και λόγος βιομάζας ρίζας/ υπέργειο τμήμα (M.O. \pm SD) στο ραπανάκι. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων για $p < 0.05$.

Μεταχειρίσεις	Τελικό % φύτευσης		SRL (cm/mg)		Ρίζα / υπέργειο	
	avg	sd	avg	sd	avg	sd
C	100	0	4,51 a	1,10	0,11	0,03
K	94	10	2,93 b	0,44	0,10	0,01
K12	94	5	2,71 b	0,63	0,09	0,01
MC2	100	0	3,15 ab	0,26	0,15	0,03
MC12	100	0	3,89 ab	1,15	0,11	0,02
MC120	97	5	3,08 ab	0,96	0,13	0,03

Το ραπανάκι πέτυχε ένα υψηλό ποσοστό φύτευσης, σχεδόν 100% σε όλες τις μεταχειρίσεις, με παρόμοιους λόγους βιομάζας ρίζας προς υπέργειο. Για μία ακόμη φορά τα σπέρματα που ήρθαν αντιμέτωπα με νερό Κάρλας εμφάνισαν τους μικρότερους λόγους SLR που διέφεραν σημαντικά από τον μάρτυρα. Αντίθετα, ο λόγος της βιομάζας ρίζας/υπέργειο δεν επηρεάστηκε από τις διάφορες μεταχειρίσεις.

3.4 Καρότο

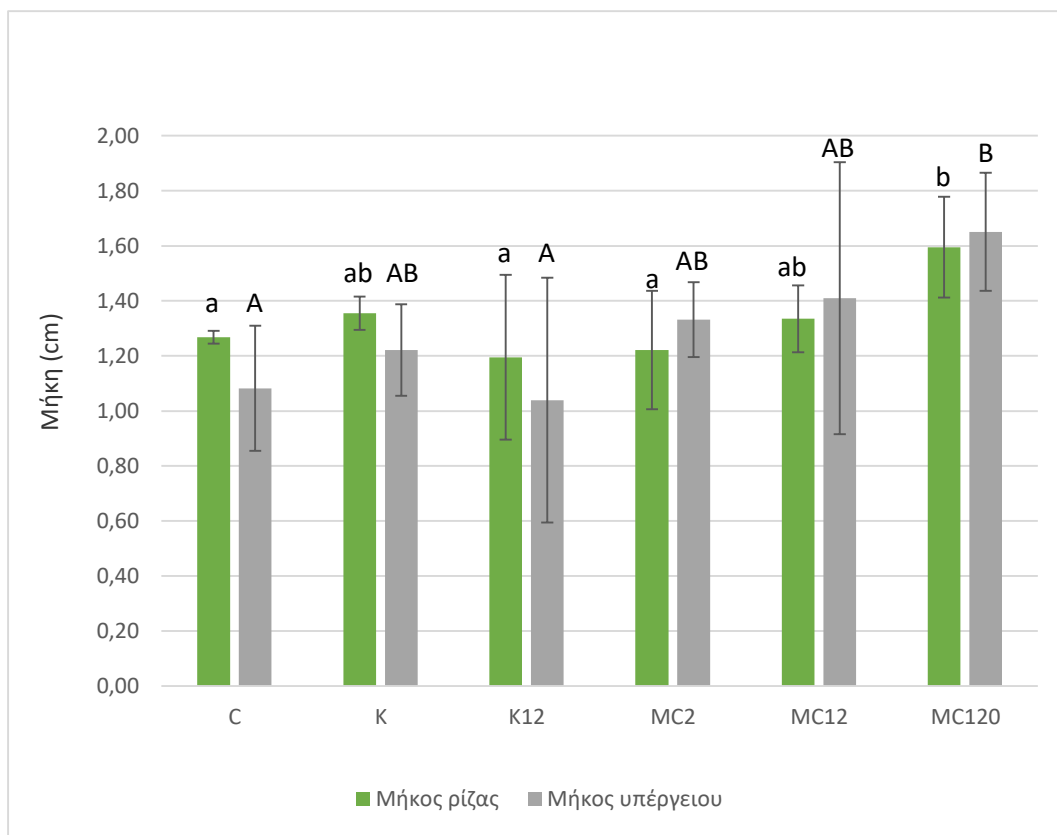
Η πορεία της φύτευσης των σπερμάτων του καρότου, όπως φαίνεται στο Γράφημα 9, δεν έδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων. Στο τελικό ποσοστό βλάστησης το μικρότερο ποσοστό είχε η μεταχείριση MC120 χωρίς στατιστικά σημαντική διαφορά (βλ. Πίνακα 4).



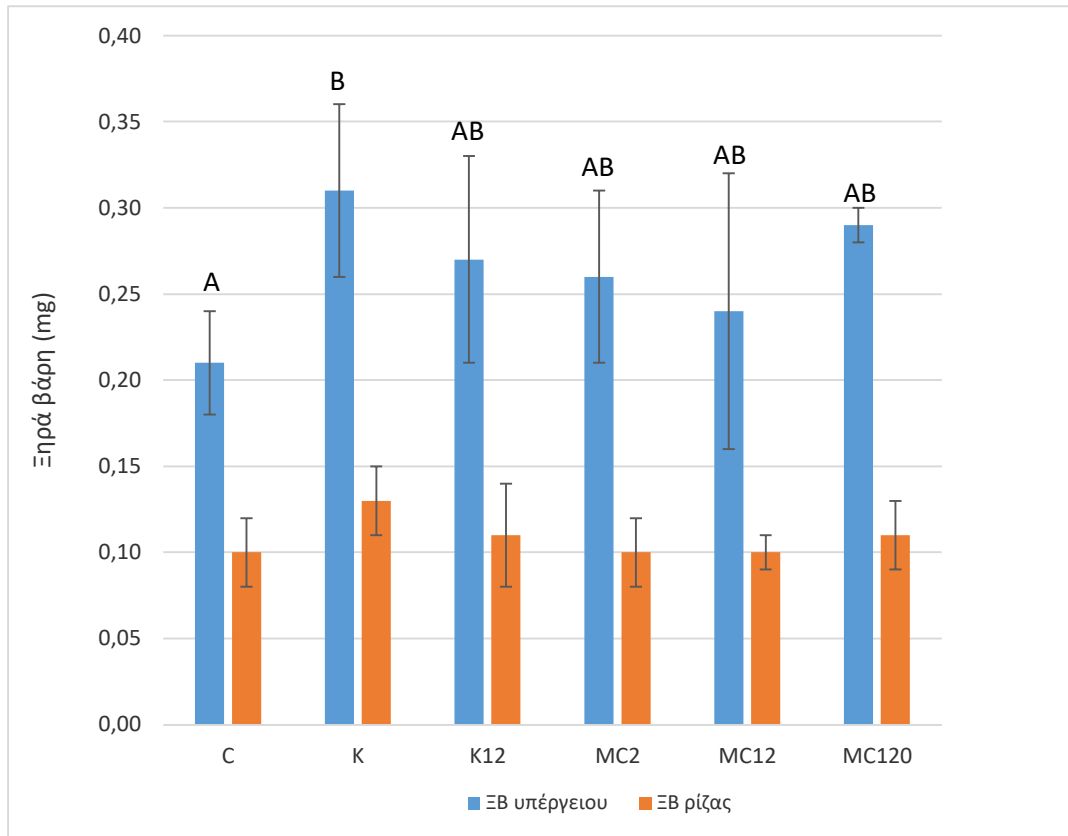
Γράφημα 9: Η πορεία της φύτευσης των σπερμάτων του μαϊντανού, εκφρασμένη ως % αριθμό φυτρωμένων επί του συνόλου, από την αρχή έως το τέλος του πειράματος (M.O. \pm SD).

Στα μήκη, όπως απεικονίζονται στο Γράφημα 10, τις χαμηλότερες τιμές είχε η μεταχείριση K12 και τις μεγαλύτερες η MC120, τόσο στο υπέργειο όσο και στην ρίζα.

Στην ρίζα η MC120 είχε στατιστικά σημαντική διαφορά από C, K12 και MC2. Στο υπέργειο μέρος υπήρχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων. Η μεταχείριση MC120 διέφερε στατιστικά σημαντικά από C και K12. Στο ξηρό βάρος υπέργειου, όπως φαίνεται στο Γράφημα 11 την χαμηλότερη τιμή είχε η μεταχείριση C και την μεγαλύτερη η K, με στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους. Στο ξηρό βάρος ρίζας όλες οι μεταχειρίσεις είχαν παρεμφερή αποτελέσματα, με την K να διαφέρει ελαφρά, έχοντας την μεγαλύτερη τιμή χωρίς σημαντική διαφορά.



Γράφημα 10: Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις από τα μήκη του υπέργειου μέρους και της ρίζας του καρότου. Τα διαφορετικά μικρά και κεφαλαία γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων στις ρίζες και το υπέργειο μέρος αντίστοιχα, για $p < 0.05$.



Γράφημα 11: Μέσοι όροι και τυπικές αποκλίσεις ξηρού βάρους του υπέργειου μέρους και της ρίζας του καρότου. Τα διαφορετικά γράμματα υποδεικνύουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων για $p < 0.05$.

Πίνακας 4 : Τελικό ποσοστό φύτευσης, SRL (ειδικό μήκος ρίζας) και λόγος βιομάζας ρίζας/υπέργειο τμήμα (M.O. \pm SD) στο καρότο.

Μεταχειρίσεις	Τελικό % φύτευσης		SRL (cm/mg)		Ρίζα/υπέργειο	
	avg	sd	avg	sd	avg	sd
C	90	9	13,18	2,31	1,20	0,27
K	85	4	10,01	0,68	1,12	0,20
K12	85	13	11,11	0,23	1,22	0,24
MC2	82	6	12,17	3,08	0,91	0,07
MC12	88	5	13,31	1,00	1,01	0,29
MC120	76	10	14,52	4,18	0,97	0,14

Πολύ υψηλά τα ποσοστά φύτρωση του καρότου για όλες τις μεταχειρίσεις. Οι λόγοι της βιομάζας της ρίζας προς το υπέργειο, αλλά και το μήκος της ρίζας στη μονάδα του βάρους της δεν παρουσίασαν διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων.

Συζήτηση

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η επίδραση του νερού της Κάρλας και διαφόρων συγκεντρώσεων καθαρής MC-LR στην ικανότητα φύτευσης και στα πρώτα στάδια της ανάπτυξης του αρτίβλαστου. Η συμπεριφορά των διάφορων φυτικών ειδών που εξετάστηκαν ήταν διαφορετική στις έξι μεταχειρίσεις του πειράματος.

4.1 Καλαμπόκι

Στο τεστ φυτρωτικότητας του καλαμποκιού, την ταχύτερη ανάπτυξη είχε η MC2 μεταχείριση, καθώς και το μεγαλύτερο ποσοστό φύτευσης, το οποίο διέφερε στατιστικά σημαντικά από τις μεταχειρίσεις K, C και MC12. Τα αποτελέσματά μας συμφωνούν με τα αντίστοιχα για το καλαμπόκι που αναφέρθηκαν από τους Saqrane et al. (2008), οι οποίοι μελέτησαν 5 συγκεντρώσεις MC-LR που προέρχονταν από εκχύλισμα κυανοβακτηρίων και κυμαίνονταν από 1,6 έως 12μg/ml. Στην συγκέντρωση 1,6μg/ml που είναι συγκρίσιμη με τη μέγιστη του δικού μας πειράματος δεν καταγράφηκε καμία μείωση στο ποσοστό της φύτευσης στο καλαμπόκι. Αντίθετα, σε ένα άλλο πείραμα ο Pflugmacher (2007b) εξετάζοντας την ικανότητα φύτευσης του καλαμποκιού σε απολύτως συγκρίσιμες με τις δικές μας συγκεντρώσεις (5μg/ml) βρήκε μία μείωση της τάξης του 32% όταν χρησιμοποίησε καθαρή τοξίνη και μία σημαντικότερη που σχεδόν οδηγούσε σε 90% μείωση όταν χρησιμοποίησε νερό λίμνης επιβαρυμένης με μικροκυστίνες αντίστοιχης συγκέντρωσης. Αντίστοιχα ήταν και τα αποτελέσματα της εργασίας του Pflugmacher (2007b) στις μετρήσεις βάρους και μήκους, δηλαδή ανάπτυξης των αρτίβλαστων. Οι Saqrane et al. (2008) παρατήρησαν μειωμένο μήκος, υπέργειου τμήματος κατά 43% και ρίζας κατά 42% μόνο στην υπερβολικά υψηλή συγκέντρωση MC-LR 11.5μg/ml. Στην περίπτωση όμως του δικού μας πειράματος δεν υπήρξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων στα ξηρά βάρη υπέργειου και ρίζας, καθώς και στα μήκη αυτών.

4.2 Μαϊντανός

Το τεστ φυτρωτικότητας του μαϊντανού δεν έδειξε σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων. Στα ξηρά βάρη στατιστικά μη σημαντικές ήταν οι διαφορές μεταξύ των υπέργειων τμημάτων, ενώ στις ρίζες η μεταχείριση MC2 είχε την μικρότερη τιμή με στατιστικά σημαντική διαφορά από τα δείγματα των C, K και MC12. Φαίνεται ότι στο μαϊντανό η επίδραση της MC2 ήταν ακριβώς αντίθετη με το καλαμπόκι καθώς προκάλεσε μείωση σε όλες τις παραμέτρους. Αυτό οδήγησε σε σημαντικά μειωμένο SLR των ριζών της συγκεκριμένης μεταχείρισης, που σημαίνει κοντόχοντρες ρίζες, άρα λιγότερο αποτελεσματική απορρόφηση θρεπτικών από το έδαφος.

4.3 Ραπανάκι

Ως προς την φυτρωτικότητα δεν υπήρξαν σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων. Στις υπόλοιπες παραμέτρους φάνηκε ότι οι δύο μεταχειρίσεις που περιείχαν νερό Κάρλας προκάλεσαν μείωση στο μήκος της ρίζας, αλλά όχι στο βάρος της που διατηρήθηκε σε υψηλά επίπεδα. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα τον μειωμένο SRL.

4.4 Καρότο

Το τεστ φυτρωτικότητας δεν έδειξε σημαντικές διαφορές μεταξύ των δειγμάτων. Ενδιαφέρον εδώ ήταν ότι στα ξηρά βάρη υπέργειου, την χαμηλότερη τιμή είχε η μεταχείριση C με στατιστικά σημαντική διαφορά από την μεγαλύτερη τιμή της μεταχείρισης K. Γενικώς οι μεταχειρίσεις με μικροκυστίνη εμφάνισαν μεγαλύτερο ξηρό βάρος υπέργειου σε σχέση με το μάρτυρα. Τα ξηρά βάρη της ρίζας δεν έδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές. Αυτό το αποτέλεσμα έρχεται εν μέρη σε αντίθεση με τους (Machado et al. 2017), οι οποίοι δουλεύοντας με καρότο βρήκαν στατιστικά σημαντική μείωση στο νωπό βάρος της ρίζας στην συγκέντρωση των 50μg/ml MC-LR. Στα μήκη υπέργειου και ρίζας στο παρόν πείραμα δεν υπήρχαν πολύ σημαντικές διαφορές και ο συνδυασμός των αποτελεσμάτων ξηρών βαρών και μηκών οδήγησε σε τάση για χαμηλότερο SRL τις μεταχειρίσεις που περιείχαν νερό Κάρλας, χωρίς όμως να είναι στατιστικά σημαντικές οι διαφορές.

Συμπεράσματα

- Το κάθε φυτικό είδος αντέδρασε διαφορετικά στις μεταχειρίσεις μικροκυστινών που επιβλήθηκαν
- Η φυτρωτικότητα των σπερμάτων επηρεάστηκε μόνο στην περίπτωση του καλαμποκιού, όπου η συγκέντρωση MC2 επέδρασε θετικά, οδηγώντας στο 100%.
- Στο καρότο καταγράφηκε μία αύξηση της βιομάζας των αρτίβλαστων της μεταχείρισης K σε σχέση με το μάρτυρα, η οποία ήταν στατιστικώς σημαντική για το υπέργειο μέρος.
- Στο ραπανάκι και τον μαϊντανό φάνηκε ότι οι δύο μεταχειρίσεις που περιείχαν νερό Κάρλας προκάλεσαν μείωση στο μήκος της ρίζας, αλλά όχι στο βάρος της με αποτέλεσμα χαμηλότερο SRL σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταχειρίσεις.

Βιβλιογραφία

- Bittencourt-oliveira, M., Cordeiro-Araújo, M., Ahii Chia, M., Arruda-Neto J., Oliveira, E. Flavio, S., 2016. Lettuce Irrigated with Contaminated Water : “Photosynthetic Effects , Antioxidative Response and Bioaccumulation of Microcystin Congeners. ” *Ecotoxicology and Environmental Safety* 128. Elsevier: 83–90.
- Corbel, S., Mougin, C., Bouaïcha, N., 2014. “Cyanobacterial Toxins : Modes of Actions , Fate in Aquatic and Soil Ecosystems , Phytotoxicity and Bioaccumulation in Agricultural Crops.” *Chemosphere* 96. Elsevier Ltd: 1–15.
- Levizou, E., Statiris, G., Papadimitriou, T., Laspidou, C., Kormas K., 2017. “Lettuce Facing Microcystins-Rich Irrigation Water at Different Developmental Stages : Effects on Plant Performance and Microcystins Bioaccumulation.” *Ecotoxicology and Environmental Safety* 143 (2017) 193–200.
- Machado, J., Campos, A., Vasconcelos, V., Freitas, M., 2017. “Effects of Microcystin-LR and Cylindrospermopsin on Plant-Soil Systems : A Review of Their Relevance for Agricultural Plant Quality and Public Health.” *Environmental Research* 153 (2017) 191–204.
- Oikonomou, A., Katsiapi, M., Karayanni, H., Moustaka-Gouni, M., Kormas, K., 2012. “Plankton Microorganisms Coinciding With Two Consecutive Mass Fish Kills in a Newly Reconstructed Lake.” *The Scientific World Journal* Volume 2012, Article ID 504135.
- Papadimitriou, Th., Katsiapi, M., Kormas, K., Moustaka-Gouni, M., Kagalou, I., 2013. “Artificially-Born “Killer” Lake: Phytoplankton Based Water Quality And Microcystin Affected Fish in a Reconstructed Lake.” *Science of the Total Environment* 452–453 (2013) 116–124.
- Pflugmacher, S., Aulhorn, M., Grimm, B., 2007a. “Influence of a Cyanobacterial Crude Extract Containing Microcystin-LR on the Physiology and Antioxidative Defense Systems of Different Spinach Variants.” *New Phytol.* 175, 482–489.
- Pflugmacher, S., 2007b. “Reduction in Germination Rate and Elevation of Peroxidase Activity in Zea Mays Seedlings due to Exposure to Different Microcystin Analogues

- and Toxic Cell Free Cyanobacterial Crude Extract. [Journal of Applied Botany and Food Quality](#).” Volume 81, Issue 1, June 2007, Pages 45-48.
- WHO, 1998. “Cyanobacterial toxins: Microcystin-LR in Drinking-water.” Guidelines for drinking-water quality.
- Saqrane, S., El Ghazali, I., Oudra, B., Bouarab, L., Vasconcelos, V., 2008. “Effects of Cyanobacteria Producing Microcystins on Seed Germination and Seedling Growth of Several Agricultural Plants.” *Journal of Environmental Science and Health Part B* (2008) 43, 443–451.
- Saqrane, S., Ouahid, Y., El Ghazali, I., Oudra, B., Bouarab, L., del Campo, F., 2009. “Physiological Changes in Triticum Durum, Zea mays, Pisum Sativum and Lens Esculenta Cultivars, Caused by Irrigation with Water Contaminated with Microcystins: A Laboratory Experimental Approach.” *Toxicon* 53, 786–796.
- Κοζμίδης, Δ., Λιάπης, Γ., Σκόρδας, Κ., Τζιάντζιου, Λ., Νεοφύτου, Ν., Νεοφύτου, Χ., Βαφείδης, Δ., 2011 “Ποιότητα των Επιφανειακών Υδάτων της Λίμνης Κάρλας” 4ο Διεθνές Συνέδριο “Υδροβιολογίας – Αλιείας”, Βόλος.
- Νεβεσκιώτης, Χ., 2010. “Μελέτη Της Υπό Ανασύσταση Λίμνης Κάρλας Με Μεθόδους Υπολογιστικής Ρευστομηχανικής . Παραμετρική Διερεύνηση Και Περιβαλλοντική Αποτίμηση.” Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Παπαδημητρίου, Θ., 2010. “Επιπτώσεις Των Συγκεντρώσεων Των Μικροκυστινών Σε Υδροβίους Ζωικούς Οργανισμούς.” Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Βιολογικών Εφαρμογών και Τεχνολογιών, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων.
- Γερμάνη Ρ., 2018. “Πώς το Πλούσιο σε Κυανοτοξίνες Αρδευτικό Νερό Επηρεάζει το Σύστημα Φυτό-Φυτικό Προϊόν προς Ανθρώπινη Κατανάλωση-Εντομα Αποθηκευμένων Προϊόντων.” Μεταπτυχιακή Διατριβή Τμήματος Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

