

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (ΤΕΙ)
ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ**



**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΙΩΝ
ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ**

**ΤΟ ΒΟΡΙΟ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ, ΣΤΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ
ΚΑΙ ΤΗ ΘΡΕΨΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ**

**Πτυχιακή εργασία
του σπουδαστή Αναστάσιου Πετρίδη**

**Καλαμάτα
Μάιος 2009**

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ (ΤΕΙ)
ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ**



**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΙΩΝ
ΚΑΙ ΑΝΘΟΚΟΜΙΑΣ**

**ΤΟ ΒΟΡΙΟ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ, ΣΤΗ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ
ΚΑΙ ΤΗ ΘΡΕΨΗ ΤΩΝ ΦΥΤΩΝ**

**Πτυχιακή εργασία
του σπουδαστή Αναστάσιου Πετρίδη**

Επιβλέπον Καθηγητής: Δρ. Χρήστος Πασχαλίδης

**Καλαμάτα
Μάιος 2009**

*Στους γονείς μου,
Παναγιώτη και Πελαγία*

Πρόλογος

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η συμβολή στη μελέτη σχετικά με τον ρόλο του Βορίου στην γεωργική παραγωγή.

Στο πρώτο κεφάλαιο της μελέτης γίνεται αναφορά στο εδαφικό Βόριο, στις μορφές του καθώς και στους παράγοντες που επηρεάζουν την διαθεσιμότητά του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στον ρόλο του Βορίου στην φυσιολογία και τη θρέψη των φυτών. Περιγράφονται οι απαιτήσεις των φυτών σε Βόριο, οι συνθήκες έλλειψης και περίσσειας του μικροθρεπτικού καθώς και η αντιμετώπιση των προβλημάτων τροφopenίας και τοξικότητας του στοιχείου στις καλλιέργειες.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται τα χαρακτηριστικά συμπτώματα τροφopenίας ή/και τοξικότητας του Βορίου για διάφορα καλλιεργούμενα είδη.

Το τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας αναφέρεται στην μελέτη της επίδρασης διαφορετικών δόσεων Αζώτου (N) και υγρασίας στην πρόσληψη του Βορίου από το έδαφος και στην ανάπτυξη του μαρουλιού (*Lactuca sativa*).

Η παραπάνω έρευνα πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Εδαφολογίας - Λιπασματολογίας και Αξιοποίησης Εδαφών της Σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας του ΤΕΙ Καλαμάτας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή Δρ. Χρήστο Πασχαλίδη για την συμβολή του κατά την εκπόνηση της πειραματικής εργασίας αλλά και της συγγραφής της.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά την τεχνική βοηθό του εργαστηρίου κα. Αντωνία Κορίκη για την βοήθεια που μου προσέφερε κατά την διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας και όλους όσους βοήθησαν με τον δικό τους τρόπο για την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Εισαγωγή

Η ανάπτυξη των φυτών εξαρτάται από τις εισροές θρεπτικών στοιχείων τόσο του εδάφους όσο και της ατμόσφαιρας. Τα θρεπτικά στοιχεία προσλαμβάνονται από τα φυτά είτε από την ατμόσφαιρα με τη φωτοσύνθεση δια μέσου των φύλλων, είτε από το νερό του εδάφους δια μέσου των ριζών, είτε από το εδαφικό διάλυμα με τη μορφή ιόντων.

Για τη φυτική παραγωγή, σημασία έχει όχι η ολική περιεκτικότητα του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία αλλά η διαθεσιμότητα των εδαφικών θρεπτικών στοιχείων. Η διαθεσιμότητα ενός θρεπτικού εκφράζει την ικανότητα του εδάφους να εφοδιάζει τα φυτά με αυτό κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. (Μήτσιος, 2004).

Τα θρεπτικά στοιχεία ούτε δημιουργούνται ούτε χάνονται, απλά αλλάζουν τη χημική τους μορφή ή εναλλάσσονται μέσα στα μεγαλομόρια και κυκλοφορούν από θέση σε θέση. Η συνεχής αυτή κυκλική κυκλοφορία (ανακύκλωση) των θρεπτικών στοιχείων στη φύση συνιστά τη μεγαλύτερη προϋπόθεση συνέχισης ύπαρξης της ζωής (Τσαπκούνης, 1997). Όταν το φυτό περιέχει λιγότερη ποσότητα ενός στοιχείου, που είναι ουσιώδες για την ανάπτυξή του, τότε το φυτό αυτό χαρακτηρίζεται ότι βρίσκεται σε κατάσταση έλλειψης. Το αποτέλεσμα της έλλειψης είναι φυσιολογικές ανωμαλίες που συνήθως συνοδεύονται από ορατά συμπτώματα. Όταν η έλλειψη βρίσκεται σε προχωρημένο στάδιο ή όταν έχει μεγάλη ένταση, έχει σαν αποτέλεσμα την τελική ξήρανση του φυτού (Τσικαλάς, 1994).

Τα θρεπτικά στοιχεία των φυτών μπορεί να διαχωριστούν σε μακροστοιχεία ή μακροθρεπτικά και σε ιχνοστοιχεία ή μικροθρεπτικά. Παρατηρήθηκε ότι τα μακροθρεπτικά προσλαμβάνονται από τα φυτά σε μεγαλύτερες ποσότητες απ' ό,τι προσλαμβάνονται τα μικροθρεπτικά. Τα στοιχεία Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B, και Cl ανήκουν στην ομάδα των μικροθρεπτικών, εξαιτίας της παρουσίας τους στο σύστημα εδάφους - φυτού, σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (Μήτσιος, 2004). Το γεγονός, ότι τα μικροθρεπτικά περιέχονται στα φυτά σε πολύ μικρές ποσότητες, δεν σημαίνει ότι αυτά είναι λιγότερο απαραίτητα από τα άλλα θρεπτικά στοιχεία. Αυτά, έχουν κυρίως καταλυτικό ρόλο, δηλαδή αποτελούν απαραίτητα συστατικά διάφορων ενζύμων που από την παρουσία τους εξαρτάται ο κανονικός μεταβολισμός των κυττάρων και συνεπώς η κανονική ανάπτυξη των φυτών (Τσιτσιάς, 1995). Επτά ακόμη χημικά στοιχεία (ευεργετικά στοιχεία) έχουν αποδειχθεί αναγκαία σε ορισμένα είδη φυτών. Πρόκειται για τα: Αλουμίνιο (Al), Κοβάλτιο (Co), Νάτριο (Na), Νικέλιο (Ni), Πυρίτιο (Si), Βανάδιο (V) και Φθόριο (F).

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα της γεωργικής παραγωγής σε παγκόσμια κλίμακα είναι η ανεπάρκεια και η οριακότητα του Βόριου πολλών γεωργικών εδαφών. Σύμφωνα με έγκυρες εκτιμήσεις το Βόριο είναι το μικροθρεπτικό στοιχείο με τη μεγαλύτερη συνολική έκταση των ελλειμματικών γεωργικών γαιών. Ο Sillanpaa (1982) αναφέρει ότι σε μελέτη του FAO με θέμα τη στάθμη των μικροθρεπτικών στοιχείων στα εδάφη 41 χωρών της Ευρώπης, Λατινικής Αμερικής, Άπω Ανατολής, Εγγύς Ανατολής, Αφρικής και Ωκεανίας, πλέον εκτεταμένη είναι η τροφοπενία Βορίου.

Όπως και αντίθετα προβληματικά εδάφη με το Βόριο σε τοξικά επίπεδα, απαντώνται σε πολλές ξηροθερμικές κυρίως περιοχές της γης, με μεγαλύτερη έκταση στο Ιράκ, το Μεξικό, το Πακιστάν και την Τουρκία.

Στην Ελλάδα το πρόβλημα της τροφοπενίας Βορίου ευπαθών στην έλλειψη του μικροθρεπτικού καλλιεργειών (ελιά, μηλοειδή, τεύτλα, αμπέλι, κλπ) είναι αρκετά διαδεδομένο, μολονότι δεν υπάρχουν ακριβή ποσοτικά δεδομένα για την έκταση του προβλήματος. Από το άλλο μέρος, δεν έχουν αναφερθεί περιπτώσεις τοξικών συγκεντρώσεων Βορίου σε γεωργικές εκτάσεις της χώρας (Αναλογίδης, 2007).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	1
Εισαγωγή	2
Κεφάλαιο 1: Το εδαφικό Βόριο	6
1.1. Μορφές εδαφικού Βορίου.	8
1.2. Προσρόφηση Βορίου από τα κολλοειδή του εδάφους	9
1.2.1. Προσρόφηση Βορίου από τα κολλοειδή της αργίλου	9
1.2.2. Προσρόφηση Βορίου από τα οργανικά κολλοειδή.....	11
1.3. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του Βορίου στο έδαφος	11
1.3.1. Η μηχανική σύσταση του εδάφους και ο τύπος της αργίλου	11
1.3.2. Η αντίδραση του εδάφους	12
1.3.3. Η οργανική ουσία του εδάφους	13
1.3.4. Αλληλεπίδραση με άλλα στοιχεία	13
1.3.5. Κλιματολογικές συνθήκες	15
Κεφάλαιο 2: Το Βόριο στη φυσιολογία και τη θρέψη των φυτών	16
2.1. Πρόσληψη και κινητικότητα του Βορίου στα φυτά	16
2.2. Ο ρόλος του Βορίου στη φυσιολογία των φυτών	18
2.2.1. Σύνθεση πρωτεϊνών και νουκλεϊκών οξέων	19
2.2.2. Μεταφορά και αξιοποίηση των προϊόντων της φωτοσύνθεσης	20
2.2.3. Η αναπαραγωγή των φυτών.....	21
2.2.4. Η αύξηση και η διαφοροποίηση των κυττάρων	22
2.2.5. Άλλες φυσιολογικές επιδράσεις	23
2.3. Οι απαιτήσεις των φυτών σε Βόριο	24
2.4. Τροφοπενία Βορίου	27
2.4.1. Συνθήκες τροφοπενίας Βορίου	28
2.4.2. Συμπτώματα τροφοπενίας Βορίου.....	29
2.4.3. Αντιμετώπιση τροφοπενίας Βορίου.....	30
2.4.3.1. Βοριούχα λιπάσματα.....	30

2.4.3.2. Μέθοδοι και δοσολογία λιπάνσεων	32
2.4.3.3. Διαφυλλική λίπανση	33
2.4.3.4. Υπολειμματική δράση Βοριούχου λίπανσης	34
2.5. Τοξικότητα Βορίου	35
2.5.1. Συνθήκες τοξικότητας Βορίου	35
2.5.2. Το Βόριο στο νερό άρδευσης	36
2.5.3. Συμπτώματα τοξικότητας Βορίου	38
2.5.4. Αντιμετώπιση τοξικότητας Βορίου	39
2.6. Θρεπτική διαθεσιμότητα Βορίου	40
2.6.1. Προσδιορισμός του διαθέσιμου Βορίου στο έδαφος.....	40
2.6.2. Προσδιορισμός του Βορίου στο νερό άρδευσης	40

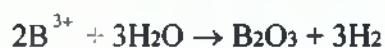
Κεφάλαιο 3: Συμπτώματα τροφопενίας και τοξικότητας Βορίου σε διάφορες καλλιέργειες.....	41
3.1. Λαχανοκομικά φυτά	41
3.2. Ανθοκομικά φυτά	62
3.3. Δενδρώδεις καλλιέργειες και αμπέλι.....	68
3.4. Φυτά μεγάλης καλλιέργειας.....	79

Κεφάλαιο 4: Μελέτη της επίδρασης διαφορετικών δόσεων Αζώτου N και υγρασίας στην πρόσληψη του Βορίου από το έδαφος και στην ανάπτυξη του μαρουλιού (<i>Lactuca sativa</i>).....	84
4.1. Εισαγωγή	84
4.2. Στόχοι του πειράματος.....	85
4.3. Υλικά και μέθοδοι	85
4.4. Πειραματικό σχέδιο	86
4.5. Δειγματοληψία - Αναλύσεις εδάφους και φυτικών ιστών.....	87
4.6. Αποτελέσματα - Συζήτηση	90
4.7. Συμπεράσματα	108

Βιβλιογραφία.....	109
--------------------------	------------

Κεφάλαιο 1: Το εδαφικό Βόριο

Το Βόριο (B) ανήκει στην ομάδα IIIa του περιοδικού συστήματος. Έχει ατομικό αριθμό 5 και ατομικό βάρος 10,8. Δεν έχει μεταλλικές ιδιότητες και είναι ηλεκτροαρνητικό στοιχείο (Χουλιάρας, 2002). Έχει σταθερό σθένος +3 και πολύ μικρή ιοντική ακτίνα της τάξεως των $0,88 \times 10^{-10}$ m. Στη φύση απαντάται πάντοτε σε συνδυασμό με το οξυγόνο με 3 δεσμούς και δίνει το οξείδιο του Βορίου, B_2O_3 , που διαλύεται στο ύδωρ και προκύπτει βορικό οξύ:



Το Βόριο πιστεύεται ότι βρίσκεται ως αδιάστατο H_3BO_3 ή ως ανιόν στο εδαφικό διάλυμα. Σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις, το H_3BO_3 διασπάται, γίνεται ένυδρη ουσία και σχηματίζει υδροξείδιο του Βορίου, $B(OH)_4^-$. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του βορικού οξέως θα σχηματίσουν ιόντα Βορίου με πολυμερή μορφή, όπως το τετραβορικό ιόν $B_4O_7^{2-}$.

Το βορικό οξύ έχει μεγάλη πτητικότητα ακόμα και σε χαμηλές θερμοκρασίες, είναι πολύ ευκίνητο κυρίως σε εδάφη που είναι φτωχά σε κολλοειδή της αργίλου και βρίσκεται σε μεγαλύτερες ποσότητες σε διαλύματα παρά σε ορυκτά. Σε τιμές pH κάτω από την τιμή 7, η μορφή του Βορίου που συναντάται είναι αυτή του βορικού οξέος, αλλά καθώς η τιμή του pH ανυψώνεται η συγκέντρωση των ιόντων $B(OH)_4^-$ αυξάνει. Τα ιόντα $B(OH)_4^-$ αντιδρούν και με τα επιφανειακά OH^- της αργίλου σχηματίζοντας ένα σύμπλοκο Βορίου με δύο OH^- (Μήτσιος, 2004).

Η κατανομή του Βορίου στο στερεό φλοιό της γης είναι ανομοιόμορφη. Σε υψηλές γεωλογικές θερμοκρασίες σχηματίζει βοριοπυριτικά και άνυδρα βορικά ορυκτά, ενώ σε χαμηλές θερμοκρασίες ένυδρα βορικά ορυκτά. Τα κοινά βορικά ορυκτά παρουσιάζουν αρκετή διαλυτότητα, ώστε οι κύριοι σχηματισμοί τους είναι ιζηματογενείς αποθέσεις, όπου το Βόριο είναι ενσωματωμένο στο αργίλικό κλάσμα. Η κατανομή του στα πυριγενή πετρώματα είναι πολύ ακανόνιστη με σχετικά μεγαλύτερη παρουσία στους γρανίτες παρά στους βασάλτες. Γενικά, η περιεκτικότητα Βορίου των πυριγενών πετρωμάτων αυξάνει με την

οξύτητα του πετρώματος. Μεταξύ των κοινών ορυκτών των πυριγενών πετρωμάτων το Βόριο εντοπίζεται περισσότερο στη μίκα (μαρμαρυγίες), όπου η ποσοστιαία συμμετοχή του είναι μερικά δέκατα του εκατοστού (Αναλογίδης, 2007).

Άλλα ορυκτά που περιέχουν Βόριο είναι:

- Ο κερνίτης, ένυδρο άλας βορικού οξέος ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).
- Ο κολεμανίτης ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).
- Ο κοτοίτης, σύμπλοκα με Mg και Fe, Mg_2FeBO_5 και $\text{Mg}_3(\text{BO}_3)_2$.
- Ο τουρμαλίνης.

(Μήτσιος, 2004).

Ο τουρμαλίνης είναι το κυριότερο ορυκτό που βρίσκεται στα εδάφη και περιέχει Βόριο. Είναι αδιάλυτο και ανθεκτικό στην αποσάθρωση με αποτέλεσμα τη βραδεία απελευθέρωση του Βορίου (Halvin *et al*, 1999). Περιέχει διάφορες αναλογίες σε σίδηρο, αργίλιο, μαγνήσιο, ασβέστιο, λίθιο και νάτριο (Τσιτσιάς, 1998) και απαντάται εντοπισμένο σαν δευτερεύον ορυκτό των γρανιτικών πετρωμάτων (Αναλογίδης, 2007). Κατά την αποσάθρωσή του, το Βόριο απελευθερώνεται ως βορικό ανιόν ή ως βορικό οξύ (Παναγιωτόπουλος, 2008).

Πίνακας 1.1. Κατανομή του Βορίου στα πετρώματα του στερεού φλοιού της Γης (σε ppm).

Πυριγενή πετρώματα	ppm
Δουνίτες, περιδοτίτες, πυροξενίτες	1-5
Βασάλτης, Γάβρος	5-20
Διορίτες, Συενίτες	9-25
Όξινα πετρώματα: Γρανίτες, Γνεύσιοι	10-30
Όξινα πετρώματα: Ηφαιστειογενή	15-25
Αργιλικά ιζήματα	120
Φυλλίτες	130
Ψαμμίτες	30
Ασβεστόλιθοι, Δολομίτες	20-30

(A. Kabata - Pendias and H.Pendias, 1986).

Στο θαλάσσιο ύδωρ το Βόριο κατέχει ποσοτικά τη 12η θέση μεταξύ των εν διαλύσει χημικών στοιχείων, με μέση συγκέντρωση που ανέρχεται στα 4,6 ppm. Η τάση ατμών του

H_3BO_3 πάνω από την επιφάνεια των θαλασσών υπολογίζεται στα 2mm στήλης Hg, έτσι ώστε το στοιχείο μπορεί να παραληφθεί από την ατμόσφαιρα, σε σταγονίδια, ή και σαν όξινος ατμός και να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις στο εσωτερικό των ηπείρων.

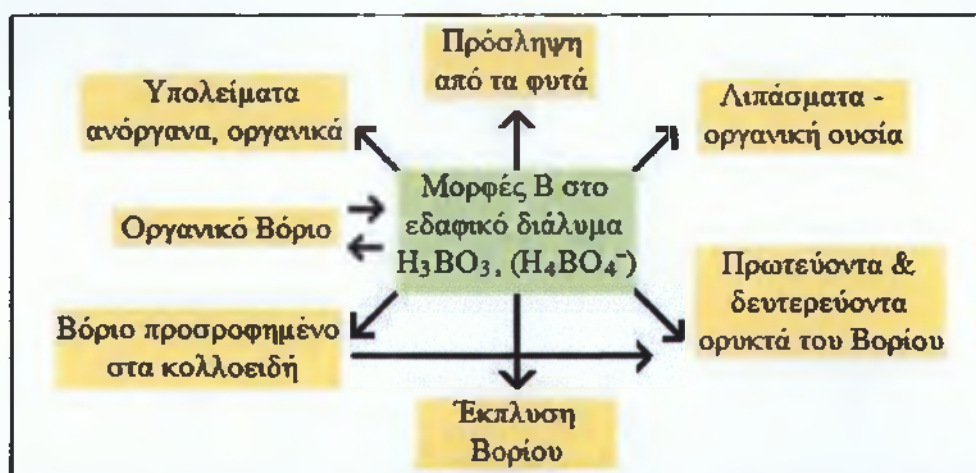
Από αυτή την πηγή και από τη διάβρωση των πετρωμάτων το Βόριο κατευθύνεται προς τους ιζηματογενείς σχηματισμούς σε ποσότητες που φαίνονται μεγάλες σε σχέση με την περιεκτικότητα του στα πυριγενή πετρώματα (Αναλογίδης, 2007).

1.1. Μορφές εδαφικού Βορίου

Στα εδάφη το Βόριο απαντάται στις παρακάτω μορφές:

- Ως αδιάστατο βορικό οξύ H_3BO_3 ή ιόντων $B(OH)_4^-$.
- Στο εσωτερικό των πυριτικών πετρωμάτων, ως δομικό τους συστατικό.
- Ως σύμπλοκο με στοιχεία των ορυκτών στα οποία είναι προσκολλημένο.
- Δεσμευμένο στην οργανική ουσία του εδάφους.
- Προσροφημένο στα κolloειδή της αργίλου και των οξειδίων του Fe και Al.

(Gardiner - Miller, 2004. Μήτσιος, 2004).



Εικόνα 1.1. Διαγραμματική απεικόνιση του κύκλου του Βορίου στο έδαφος

(Μήτσιος, 2004).

Από την εικόνα 1.1 προκύπτει ότι πηγές Βορίου στο εδαφικό διάλυμα είναι τα ανόργανα και οργανικά υπολείμματα, τα λιπάσματα καθώς και το οργανικό Βόριο που είναι προσροφημένο στα οργανικά κolloειδή (Μήτσιος, 2004).

Η περιεκτικότητα Βορίου στο έδαφος κυμαίνεται από 2 μέχρι 100 ppm, τα περισσότερα όμως εδάφη περιέχουν λιγότερο από 3 ppm (Θεοδώρου - Πασχαλίδης, 1999). Κατά άλλους, η ολική συγκέντρωση Βορίου στα εδάφη ποικίλει μεταξύ 2 και 200 ppm και συχνά κυμαίνεται από 7 έως 80 ppm (Halvín *et al*, 1999. Στυλιανίδης *et al*, 2002). Το ποσοστό του Βορίου που είναι σε μορφές αφομοιώσιμες για τα φυτά είναι μικρότερο του 5% (Αναλογίδης, 2007) και συνήθως κυμαίνεται από 0,4 έως 5 ppm (Μήτσιος, 2004).

Η κατανομή του ολικού Βορίου του εδάφους εξαρτάται από τη φύση και την ηλικία του μητρικού πετρώματος. Μεταξύ του ολικού Βορίου του εδάφους και του ολικού Βορίου του μητρικού πετρώματος, υπάρχει μία στατιστικώς σημαντική συσχέτιση που υπολογίζεται με την εξίσωση:

$$\text{Βόριο (ολικό εδάφους)} = 0,44 (\text{Βόριο}) (\text{μητρικού πετρώματος}) + 27,3$$

Σύμφωνα με άλλες έρευνες ένα σημαντικό ποσοστό του ολικού Βορίου των εδαφών που φθάνει το 60%, απαντάται στο κλάσμα της αργίλου (Αναλογίδης, 2007).

1.2. Προσρόφηση Βορίου από τα κολλοειδή του εδάφους

Όπως προαναφέρθηκε το ποσοστό Βορίου του εδάφους που είναι διαθέσιμο στα φυτά είναι χαμηλό (από 0,4 έως 5 ppm). Αυτό οφείλεται κυρίως στη συγκράτησή του από τα κολλοειδή της αργίλου αλλά και από τα οργανικά κολλοειδή. Το Βόριο προσροφάται από το έδαφος με εντονότερους ρυθμούς από ότι το Cl^- και τα NO_3^- ιόντα. Έρευνες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το στοιχείο Βόριο προσροφάται από αργιλώδεις επιφάνειες με τον τρόπο που προσροφούνται τα βαρέα μέταλλα (Μήτσιος, 2004).

1.2.1. Προσρόφηση Βορίου από τα κολλοειδή της αργίλου

Το Βόριο προσροφάται από:

- Τα οξείδια Fe και Al που υπάρχουν στα αργιλώδη εδάφη.
- Τις ακμές των ορυκτών της αργίλου που έχουν υποστεί θραύση.
- Άμορφες δομές OH.
- Σύμπλοκα μίγματα Fe και Al καθώς και οξύ-ύδροξυ σύμπλοκα αυτών.

Όσο ανυψώνεται η τιμή του pH του εδάφους, η περιεκτικότητα σε Al καθώς και η παρουσία σύμπλοκων μιγμάτων Al, το Βόριο προσροφάται με τη μορφή $H_4BO_4^-$.

Η προσρόφηση του Βορίου από τα ορυκτά της αργίλου εξαρτάται από την τιμή του pH, με μέγιστη προσρόφηση σε τιμές που κυμαίνονται από 7 μέχρι 9. Η προσρόφηση αυτή γίνεται με ταχείς ρυθμούς και είναι εντονότερη σε όξινα περιβάλλοντα (Μήτσιος, 2004). Σε τιμές pH μεγαλύτερες από 8-9 η προσρόφηση του Βορίου ελαττώνεται λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης OH^- τα οποία ανταγωνίζονται τα βορικά ανιόντα (Τσαντήλας *et al*, 1994).

Παρατηρήθηκε ότι ο διοκταεδρικός ιλλίτης έχει μεγαλύτερη ικανότητα προσρόφησης σε Βόριο από τον καολινίτη και το μοντοριλλονίτη και ότι τα πολυπύρρηνα βορικά ιόντα συγκρατούνται ισχυρότερα από τα απλά ιόντα με αυξημένη συγκράτηση στους 80°C και μειωμένη στους 15°C. Το πρόσφατα σχηματιζόμενο ίζημα $Al(OH)_3$, προσροφά μεγάλες ποσότητες Βορίου. Η προσρόφηση όμως αυτή μειώνεται σημαντικά μετά παρέλευση χρονικού διαστήματος από 20' μέχρι 7 ημέρες.

Παρατηρήθηκε επίσης ότι το Βόριο που δεσμεύεται από τα εδάφη μπορεί να συσχεπιστεί με την μεταβολή στο ανταλλάξιμο Al κατά την ασβέστωση. Αυτό δείχνει ότι το $Al(OH)_3$ είναι μια από τις κυριότερες ενώσεις που προσροφούν το Βόριο στα εδάφη. Όλα τα υλικά ασβέστωσης αντιδρούν με τα όξινα κολλοειδή του εδάφους με αποτέλεσμα το ασβέσπο και το μαγνήσιο να αντικαθιστούν το υδργόνο και το αργίλιο των κολλοειδών του εδάφους όπου συγκρατείται και το Βόριο (Μήτσιος, 2004).

Η συγκράτηση του Βορίου στην επιφάνεια των υδροξειδίων Fe και Al αποτελεί ένα σημαντικό φαινόμενο, το οποίο παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαλυτότητα του Βορίου στα εδάφη. Έχει διαπιστωθεί η ύπαρξη μίας γραμμικής συσχέτισης μεταξύ της ποσότητας Βορίου που προσροφάται και της ποσότητας οξειδίων του Fe ή του Al (Αναλογίδης, 2007).

Η προσρόφηση του Βορίου από τα υδροξείδια και τα οξείδια του Al και Fe εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή του pH. Η μέγιστη προσρόφηση από τα υδροξείδια του Fe παρατηρείται σε τιμές pH από 8 μέχρι 9 και από τα υδροξείδια του Al σε τιμή pH 7 (Μήτσιος, 2004). Κατά τους Evans and Sparks (1983), οι ενώσεις του Al προσροφούν μεγαλύτερες ποσότητες Βορίου σε σχέση με τις ενώσεις του Fe (Αναφ. Τσαπικούνης, 2004). Για την ερμηνεία του φαινομένου έχουν προταθεί δύο μηχανισμοί προσρόφησης: (1) Μία απλή ανταλλαγή ιόντων $B(OH)_4^-$ της προσροφώσας επιφάνειας των υδροξειδίων Al και Fe των οποίων τα OH^- ανταλλάσσονται με ιόντα $B(OH)_4^-$ και (2) μία αντίδραση συμπύκνωσης μεταξύ OH^- των εν λόγω επιφανειών και $B(OH)_4^-$ κατά την οποία παράγεται βορικό

σύμπλοκο (Αναλογίδης, 2007).

Το Βόριο αν δε συγκρατηθεί από τις επιφάνειες της αργίλου μπορεί να εκπλυθεί και να μετακινηθεί στους κατώτερους ορίζοντες της εδαφικής κατανομής και να επηρεάσει σε μεγάλο βαθμό τη διαθεσιμότητά του στα ανώτερα φυτά (Μήτσιος, 2004).

1.2.2. Προσρόφηση Βορίου από τα οργανικά κολλοειδή

Το Βόριο μπορεί να συγκρατηθεί και από την οργανική ουσία με την προϋπόθεση ότι τα καρβοξυλικά οξέα των χουμικών κολλοειδών θα ενωθούν με το βορικό οξύ. Σε όξινες ή κανονικές συνθήκες, τα χουμικά κολλοειδή δεσμεύουν ισχυρότερα το Βόριο σε πολλά γεωργικά εδάφη.

Τα σύμπλοκα του Βορίου είναι μια αρκετά δυναμική πηγή διαθεσιμότητας Βορίου στα φυτά, η οποία αυξάνει καθώς ανυψώνεται η τιμή του pH του εδάφους. Τα μίγματα Βορίου και οργανικής ουσίας του εδάφους είναι πιθανότατα μίγματα Βορίου με ορυκτά. Στους σχιστόλιθους το Βόριο μπορεί να αντικαταστήσει το Al^{3+} και το Si^{4+} (Μήτσιος, 2004).

1.3. Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του Βορίου στο έδαφος

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του Βορίου στο έδαφος είναι οι παρακάτω:

- Η μηχανική σύσταση του εδάφους και ο τύπος της αργίλου.
- Η αντίδραση του εδάφους.
- Η οργανική ουσία του εδάφους.
- Η αλληλεπίδραση του Βορίου με άλλα θρεπτικά στοιχεία.
- Οι κλιματικές συνθήκες.
- Φυτικοί παράγοντες.

(Μήτσιος, 2004).

1.3.1. Η μηχανική σύσταση του εδάφους και ο τύπος της αργίλου

Τα αμμώδη εδάφη που είναι καλώς στραγγιζόμενα, περιέχουν Βόριο σε μικρές συγκεντρώσεις. Στα εδάφη αυτά το βόριο είναι πολύ ευκίνητο και εκπλύνεται στα βαθύτερα

στρώματα της εδαφικής κατανομής με έντονους ρυθμούς. Τα αργιλώδη εδάφη με καλή δομή συγκρατούν το προστιθέμενο Βόριο για περισσότερο χρονικό διάστημα από ότι τα αργιλώδη εδάφη με κακή δομή, των οποίων τα κολλοειδή τους προσροφούν το Βόριο εντονότερα.

Το γεγονός ότι τα κολλοειδή της αργίλου συγκρατούν το στοιχείο αυτό πιο έντονα, δε σημαίνει ότι και τα φυτά θα προσλάβουν περισσότερο Βόριο. Τα φυτά μπορεί να προσλάβουν μεγαλύτερες ποσότητες στα αμμώδη εδάφη παρά στα εδάφη με καλή δομή, όταν η συγκέντρωση του Βορίου στο εδαφικό διάλυμα είναι η ίδια.

Η προσρόφηση του Βορίου είναι μεγαλύτερη στους μαρμαρυγίες, λίγο μικρότερη στο μοντμοριλλονίτη και ελάχιστη στον καολινίτη (Μήτσιος, 2004).

Σύμφωνα με έρευνες, το διαθέσιμο κλάσμα του Βορίου ως ποσοστό του ολικού Βορίου είναι πάντοτε μεγαλύτερο σε εδάφη με χαμηλή, παρά με υψηλή περιεκτικότητα αργίλου. Ακόμη, οι υψηλές συγκεντρώσεις υδροξειδίων Fe και Al επιδρούν αρνητικά στη διαθεσιμότητα του Βορίου, ειδικότερα όταν συνδυάζονται με υψηλές τιμές pH, λόγω υψηλής δεσμευτικής ικανότητας. Επίσης, η παρουσία $Mg(OH)_2$ φαίνεται να συμβάλει στην αύξηση της δέσμευσης του Βορίου. Κατά συνέπεια το πηλίκο Mg/B στο έδαφος είναι σημαντικός δείκτης της πρόσληψης του Βορίου από το έδαφος (Αναλογίδης, 2007).

1.3.2. Η αντίδραση του εδάφους

Η διαθεσιμότητα του Βορίου στο έδαφος μειώνεται καθώς η τιμή του pH του εδάφους ανυψώνεται. Αύξηση του pH σε τιμές από 6,3 - 6,5 και πάνω συνεπάγεται απότομη μείωση του διαθέσιμου στα φυτά Βορίου (Halvin *et al.* 1999). Η ασβέστωση στα όξινα εδάφη συχνά προκαλεί μια προσωρινή έλλειψη Βορίου σε ευαίσθητα φυτά. Το πόσο ισχυρή θα είναι η έλλειψη αυτή εξαρτάται από την υγρασία του εδάφους, το είδος του φυτού και από τη διάρκεια που διατηρείται το ασβέστιο στο έδαφος (Μήτσιος, 2004). Όταν η ασβέστωση πραγματοποιείται σε όξινα εδάφη ελαφράς μηχανικής σύστασης, φτωχά σε οργανική ουσία και με μέτρια περιεκτικότητα σε Βόριο, αυξάνει την πιθανότητα έλλειψης Βορίου στα φυτά (Αναλογίδης, 2007).

Η μείωση της διαθεσιμότητας του Βορίου προκαλείται κυρίως από την επιφανειακή προσρόφηση του σε πρόσφατα κατακρημνιζόμενο $Al(OH)_3$, που σχηματίζεται από την εξουδετέρωση της οξύτητας, με μέγιστη συγκράτηση σε τιμή pH 7 (Halvin *et al.* 1999).

Όταν η ασβέστωση του εδάφους δεν είναι επαρκής, τότε παρατηρείται μείωση της διαθεσιμότητας του Βορίου. Σημειώνεται ότι η έντονη ασβέστωση δεν οδηγεί πάντα σε

αυξημένη προσρόφηση Βορίου από το $Al(OH)_3$. Υψηλότερες τιμές pH ως αποτέλεσμα ασβέστωσης εδαφών πλούσιων σε σύμπλοκα Βορίου, μπορεί να ενθαρρύνουν τη διάσπασή τους και να ελευθερώσουν Βόριο (Μήτσιος, 2004).

1.3.3. Η οργανική ουσία του εδάφους

Μεγάλη ποσότητα διαθέσιμου Βορίου συγκρατείται από την οργανική ουσία του εδάφους με αποτέλεσμα εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία να παρουσιάζουν και υψηλή διαθεσιμότητα του στοιχείου αυτού (Μήτσιος, 2004). Το Βόριο της οργανικής ουσίας καθίσταται διαθέσιμο στα φυτά κατά την ανοργανοποίησή (Αναλογίδης, 2007). Ο όξινος χούμος προσροφά τη διπλάσια ποσότητα Βορίου σε σχέση με χούμο κορεσμένο με Ca^{2+} . Τα επιφανειακά στρώματα του εδάφους που περιέχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, παρουσιάζουν υψηλή διαθεσιμότητα σε Βόριο (Μήτσιος, 2004). Η προσθήκη οργανικών ουσιών στο έδαφος μπορεί να αυξήσει την πρόσληψή του από τα φυτά όμως μπορεί να προκαλέσει και τοξικότητα (Halvin *et al*, 1999).

1.3.4. Αλληλεπίδραση με άλλα στοιχεία

Η πρόσληψη του Βορίου από τα φυτά εξαρτάται από τη συγκέντρωση και άλλων ιόντων στο εδαφικό διάλυμα, όπως το ασβέστιο, το κάλιο και το άζωτο (Μήτσιος, 2004).

Βόριο X Ασβέστιο (Ca)

Η σχέση Ca X B είναι ανταγωνιστική διότι αύξηση του επιπέδου Ca στο φυτό συνεπάγεται μείωση του επιπέδου του ασβεστίου (Κουκουλάκης - Παπαδόπουλος, 2003). Έχει αποδειχτεί ότι η απορρόφηση του Βορίου από φυτά ραδικιού σημείωσε σημαντική μείωση όταν αυξάνονταν η συγκέντρωση του Ca στο καλλιεργητικό μέσο (Tanaka, 1967).

Η παρουσία Ca^{2+} σε αλκαλικά εδάφη, που προσφάτως υπέστησαν υπερβολική ασβέστωση, περιορίζει τη διαθεσιμότητα του Βορίου.

Μεγάλη συγκέντρωση ιόντων Ca^{2+} μπορεί να προστατέψει τα φυτά από την τοξικότητα Βορίου καθώς το Ca^{2+} αντικαθιστά τα ιόντα Al^{3+} , τα οποία αποδεσμευόμενα συγκρατούν ποσότητες Βορίου, με αποτέλεσμα το Βόριο να μην είναι πλέον διαθέσιμο στα φυτά (Μήτσιος, 2004).

Η σχέση Ca / B στο φυτό αποτελεί ένα δείκτη βοριούχου θρέψης των καλλιεργειών, εξαρτώμενο και από το είδος του φυτού. Ως ιδανικές τιμές του δείκτη Ca / B έχουν αναφερθεί, 1200 για το καπνό, 500 για τη σόγια και 100 για το ζαχαρότευτλο. Η άριστη τιμή του δείκτη Ca / B για κάθε βοτανικό είδος εξαρτάται και από τις συγκεντρώσεις άλλων θρεπτικών στοιχείων στο καλλιεργητικό μέσο (Αναλογίδης, 2007).

Βόριο X Άζωτο (N)

Έχει αποδειχτεί ότι μια πλούσια αζωτούχος λίπανση περιορίζει την αρνητική επίδραση της πλεονασματικότητας του Βορίου. Από διάφορες έρευνες προκύπτει ότι η ισχυρή αζωτούχος λίπανση επιδρά αρνητικά στην πρόσληψη του Βορίου, δυνάμενη να προκαλέσει ακόμη και τροφopenία Βορίου. Οι ανάγκες σε Βόριο αυξάνουν όταν η δοσολογία του N είναι υψηλή, ιδιαίτερα σε νιτρική μορφή (Αναλογίδης, 2007).

Έχει παρατηρηθεί ότι ισχυρές αζωτούχες λιπάνσεις αναστέλλουν την τοξική δράση των υψηλών συγκεντρώσεων Βορίου στα εσπεριδοειδή (Μήτσιος, 2004).

Βόριο X Φώσφορος (P)

Σε περιπτώσεις ενισχυμένης φωσφορικής λίπανσης φαίνεται να αυξάνεται η απορρόφηση του Βορίου από τα φυτά (Tanaka, 1967).

Το Βόριο σχετίζεται συνεργιστικά με τον P, δεδομένου ότι συμβάλει στην συσσώρευση του P στα νουκλεϊκά οξέα. Κατά συνέπεια με τη μείωση του επιπέδου του Βορίου, ελαττώνεται ο P και ως εκ τούτου η συγκέντρωση της ATP, δεδομένου ότι ο P είναι βασικό συστατικό της. Έτσι, φυτά που δεν έχουν επαρκείς ποσότητες Βορίου, εμφανίζουν μειωμένη πρόσληψη P από τις ρίζες, λόγω ενδεχομένως μερικής αναστολής της μεριστωματικής δραστηριότητας των επικωρύφων κυττάρων, εξαιτίας της μειωμένης παραγωγής ATP (Κουκουλάκης - Παπαδόπουλος, 2003).

Βόριο X Κάλιο (K)

Έχει αποδειχτεί ότι αυξημένες καλιούχες λιπάνσεις μπορεί να εντείνουν την παρουσία τροφopenιών Βορίου (Μήτσιος, 2004).

Έρευνες έχουν αποδείξει πως όταν η στάθμη του Βορίου είναι ικανοποιητική η πρόσληψη του K αυξάνεται στο πολλαπλάσιο, σε σχέση με την πρόσληψή του υπό συνθήκες έλλειψης Βορίου (Reeve - Shive, 1944).

Βόριο Χ Άλλα στοιχεία

Ο σίδηρος (Fe) επιδρά αρνητικά με το Βόριο. Το μαγγάνιο (Mn) ασκεί μικρή θετική επίδραση επί του Βορίου, ενώ η ανεπάρκεια χαλκού (Cu) έχει αρνητική επίδραση. Ψεकाσμοί με ρυθμιστικές ουσίες 24 ημέρες μετά την πλήρη άνθηση, προκαλούν μεταβολές στην περιεκτικότητα του Βορίου στα μήλα. Το T.I.B.A. Το αυξάνει, ενώ τα GA και NAA το μειώνουν (Στυλιανίδης *et al*, 2002).

1.3.5. Κλιματολογικές συνθήκες

Η υγρασία, εδαφική και ατμοσφαιρική είναι παράγοντας που περισσότερο από κάθε άλλον επηρεάζει τη θρέψη των φυτών με Βόριο. Ανεπαρκής εδαφική υγρασία δεν ευνοεί την απελευθέρωση του Βορίου από την οργανική ουσία, μειώνει την ένταση της διαπνοής και συνεπώς δυσχεραίνει την πρόσληψη του Βορίου από το φυτό (Πιστόλης, 2004).

Έρευνες έδειξαν ότι η υγρασία του εδάφους επέδρασε σημαντικά στην πρόσληψη του Βορίου σε καλλιέργεια κριθής που είχε δεχτεί λίπανση με Βόριο. Η περιεκτικότητα των φυτών σε Βόριο ήταν μειωμένη κατά το ήμισυ όταν το έδαφος που λιπάνθηκε διατηρήθηκε σε κατάσταση ξηρασίας (Gurta *et al*, 1976).

Έλλειψη Βορίου εκδηλώνεται κυρίως κατά τους ξηρούς μήνες του καλοκαιριού, ιδιαίτερα όταν αυτοί έπονται μιας υγρής περιόδου, ευνοϊκής για την ανάπτυξη της βλάστησης. Παρατεταμένη ξηρασία νωρίς την άνοιξη επηρεάζει αρνητικά την ανάπτυξη των καρπών, αφού η περιεκτικότητα του φυτού σε Βόριο, ένα μήνα μετά την άνθηση, καθορίζει αν θα εκδηλωθούν ή όχι συμπτώματα έλλειψης.

Η έντονη βροχόπτωση απομακρύνει το Βόριο από το ενεργό ριζόστρωμα, ιδιαίτερα στα ελαφράς μηχανικής σύστασης και στα όξινα εδάφη, όπου το ασβέστιο απουσιάζει. Το ασβέστιο στην πράξη μάλλον προφυλάσσει το Βόριο από την έκπλυση, παρά το καθιστά απρόσιτο στο φυτό.

Οι χαμηλές θερμοκρασίες του εδάφους την άνοιξη περιορίζουν την πρόσληψη του Βορίου από τις ρίζες των δένδρων. Την άνοιξη, μετά από έναν κρύο χειμώνα, στους βλαστούς των δένδρων το επίπεδο του Βορίου είναι χαμηλό (Πιστόλης, 2004).

Η πρόσληψη του Βορίου επηρεάζεται και από το φως. Κατά τον Tanaka (1967), αύξηση κατά 5,5 φορές της φωτεινής έντασης προκάλεσε την αύξηση, κατά 13 φορές, της κρίσιμης συγκέντρωσης Βορίου στον ηλιάνθο (Αναφ. Πιστόλης, 2004).

Κεφάλαιο 2: Το Βόριο στη φυσιολογία και τη θρέψη των φυτών

Η ενασχόληση της επιστημονικής έρευνας με το Βόριο, χρονολογείται από τα τέλη του 19ου αιώνα. Όμως, εξαιτίας των μεγάλων δόσεων και υψηλών συγκεντρώσεων Βορίου που χρησιμοποιούσαν στα θρεπτικά διαλύματα οι ερευνητές, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, κατέγραφαν μόνο επιβλαβείς επιδράσεις, όπως αναστολή φυτρώματος και ανάπτυξης των ριζών, χλώρωση των φύλλων, νέκρωση του υπέργειου μέρους. Επομένως το Βόριο είχε αρχικά θεωρηθεί ως «δηλητηριώδες στοιχείο» για τα φυτά. Ουσιαστικές ενδείξεις ότι το Βόριο σε πολύ μικρότερες συγκεντρώσεις είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη των φυτών προσέφερε η Miss Warrington το 1923 σε υδροπονικά πειράματα με φυτά κουκιών (*Vicia faba*). Όμως, χρειάστηκε σχεδόν μια 10ετία ακόμη μέχρι το 1931 οπότε το ενδιαφέρον για το Βόριο γενικεύθηκε με την ανακάλυψη του Brandenburg ότι η «σήψη της καρδιάς» των τεύτλων (*heartrot of beets*), οφείλεται στην έλλειψη Βορίου.

Σημαντικό είναι το ενδιαφέρον του Βορίου για την ελληνική γεωργία εξαιτίας των εκτεταμένων ζημιών που προκαλούσε και εξακολουθεί να προκαλεί η έλλειψή του σε νευραλγικούς τομείς της γεωργικής μας παραγωγής, όπως η ελαιοκομία. Την τροφοπενία του Βορίου στην ελιά προσδιόρισαν και περιέγραψαν ερευνητές του Μπενάκειου Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου στις αρχές της 10ετίας του 1960.

Τα διάφορα είδη φυτών ποικίλουν ευρέως ως προς τις απαιτήσεις τους σε Βόριο γεγονός που αντανακλάται στη «φυσιολογική» περιεκτικότητά τους σε Βόριο, η οποία κυμαίνεται ευρύτατα (Αναλογίδης, 2007).

2.1. Πρόσληψη και κινητικότητα του Βορίου στα φυτά

Η μετακίνηση του εν διαλύσει Βορίου προς τις ρίζες των φυτών γίνεται ως επί των πλείστον με μαζική ροή, αλλά κατά τον Barger (1995) για καλλιέργειες υψηλών απαιτήσεων (άνω των 20 ppm Βορίου επί Ξ.Μ.) και υπό συνθήκες οριακής εδαφικής διαθεσιμότητας φαίνεται ότι συμβάλει και η διάχυση (Αναφ. Αναλογίδης, 2007).

Σύμφωνα με όλες τις διαθέσιμες ενδείξεις το Βόριο προσλαμβάνεται από τις ρίζες των φυτών στη μορφή του αδιάστατου H_3BO_3 και σε πολύ μικρότερο ποσοστό ως μονοσθενές βορικό ιόν $B(OH)_4^-$. Σε ότι αφορά τη διαδικασία πρόσληψης φαίνεται ότι είναι μάλλον

παθητική (δηλ. Διάχυση στο εσωτερικό της ρίζας με κινητήρια δύναμη τη διαπνοή), μολονότι υπάρχουν και ερευνητικές ενδείξεις περί του αντιθέτου. Οι Bowen and Nissen (1976) βάσει πειραμάτων με αποκομμένες ρίζες κριθής συμπέραναν ότι κατά μεγάλο μέρος το Βόριο απορροφάται παθητικά (και απαντάται στα εσωτερικά τοιχώματα των ριζών υπό μορφή βορικού-ζαχαρικού συμπλόκου) ενώ κατά μικρό μέρος η πρόσληψη του Βορίου τελεί υπό μεταβολικό έλεγχο. Ο Nissen (1974) υποστήριξε ότι η ενεργός απορρόφηση του Βορίου λαμβάνει χώρα υπό συνθήκες χαμηλής εξωτερικής συγκέντρωσης του μικροθρεπτικού, ενώ σε σχετικά υψηλότερες συγκεντρώσεις η πρόσληψη είναι παθητική. Κατά τον Bergmann (1992) το αδιάστατο H_3BO_3 απορροφάται παθητικά ακολουθώντας το ρεύμα της διαπνοής, ενώ το ιόν $B(OH)_4^-$, απορροφάται με τη μεταβολική διαδικασία (Αναφ. Αναλογίδης, 2007).

Η διακίνηση του Βορίου από τη ρίζα στα διάφορα όργανα του υπέργειου μέρους του φυτού γίνεται μέσω των ξυλωδών αγγείων ακολουθώντας επίσης το ρεύμα της διαπνοής. Κατά συνέπεια, η πρόσληψη και εσωτερική διακίνηση του Βορίου είναι συνάρτηση του συντελεστή διαπνοής (Αναλογίδης, 2007).

Σε πολλά φυτικά είδη η κινητικότητα του Βορίου, μέσω του ηθμού, είναι περιορισμένη, λόγω της έντονης συγκράτησής του στους ιστούς. Σε σημαντικό όμως αριθμό φυτών η κινητικότητα του Βορίου μέσω του ηθμού είναι ικανοποιητική. Πρόκειται για τα φυτά των οποίων τα κύρια φωτοσυνθετικά προϊόντα είναι η σορβιτόλη, η μαννιτόλη και η ντουλσιτόλη, πολυαλκοόλες (πολυόλες) με τις οποίες το Βόριο συμπλοκοποιείται, δε δεσμεύεται στους ιστούς ή/και μεταβάλλει την περατότητα των μεμβρανών για το Βόριο και έτσι καθίσταται δυνατή η μετακίνησή του.

Ευκίνητο είναι το Βόριο στα είδη: Μηλιά, αχλαδιά, ροδακινιά, βερικοκιά, αμυγδαλιά, κερασιά, δαμασκηλιά, μουσμουλιά, ροδιά, αμπέλι, ελιά, ελαιοκράμβη, σπαράγγι, φασόλι, αρακάς, μπρόκολο, κουνουπίδι, καρότο, σέλινο και κρεμμύδι, ενώ δυσκίνητο είναι στα είδη: Φιστικά, καρυδιά, συκιά, πορτοκαλιά, μανταρινιά, φράουλα, πατάτα, τομάτα, σιτάρι, κριθάρι, καλαμπόκι, σόργο, ρύζι, βαμβάκι, τεύτλο, καπνός, μηδική και μαρούλι (Πιστόλης, 2008).

Κατά τους Brown and Hu (1998) υψηλότερες συγκεντρώσεις Βορίου στα παλαιότερα φύλλα είναι ένδειξη της μη κινητικότητάς του, ενώ υψηλότερες συγκεντρώσεις στα νεότερα φύλλα και στους καρπούς είναι ένδειξη της κινητικότητάς του (Αναφ. Πιστόλης, 2008).

Ο Στυλιανίδης (1998) πάντως βρήκε στα φύλλα και στην ψίχα αμυγδαλιάς (όπου το στοιχείο είναι ευκίνητο) ίδιες τιμές Βορίου, ενώ στη μηλιά (όπου το στοιχείο είναι επίσης ευκίνητο) η τιμή του Βορίου στα φύλλα ήταν τετραπλάσια έως επταπλάσια από την τιμή του Βορίου στη σάρκα των καρπών (Αναφ. Πιστόλης, 2008).

2.2. Ο ρόλος του Βορίου στη φυσιολογία των φυτών

Οι βιοχημικές και φυσιολογικές λειτουργίες του Βορίου ομοιάζουν με αυτές του Ρ και του Si μαζί με τα οποία οι Mengel and Kirkby (1982) κατατάσσουν το Βόριο στο ίδιο «λειτουργικό γκρουπ» θρεπτικών στοιχείων. Πιο συγκεκριμένα, τόσο το Βόριο όσο και ο Ρ περιέχονται σε φυσιολογικά ενεργούς εστέρες τα δε βορικά ιόντα σχηματίζουν πολυυδροξυλικές ενώσεις με οργανικά σύμπλοκα. Πιστεύεται δε ότι τα σύμπλοκα του τύπου αυτού, στα οποία υπεισέρχεται το Βόριο, έχουν την ιδιότητα να σταθεροποιούν την πρωτοπλάσματική μεμβράνη και να αυξάνουν την περατότητα της. Αντίθετα με τα υπόλοιπα μικροθρεπτικά, το Βόριο δεν αποτελεί συστατικό ενζυμικών συστημάτων, ούτε έχει την ιδιότητα να σχηματίζει «γέφυρες» χημικών δεσμών μεταξύ ενζύμου και υποστρώματος. Δεν έχει, επίσης, την ιδιότητα (όπως άλλα μικροθρεπτικά) να ελέγχει ενζυμικές διαδικασίες μέσω αλλαγής σθένους. Υπάρχουν όμως ενδείξεις ότι το Βόριο πιθανόν να ενισχύει έμμεσα τη δράση ενζύμων, όπως η περοξειδάση, η καταλάση, διάφορες οξειδάσες, η αμυλάση και η σακχαράση (Bergmann, 1992).

Το Βόριο είναι απαραίτητο σε πληθώρα ζωτικών μεταβολικών διεργασιών. Ο ρόλος του στο μεταβολισμό των φυτών είναι τόσο πολυσχιδή, ώστε να καθίσταται δύσκολος ο ακριβής εντοπισμός των κέντρων δράσεως του και η διακρίβωση των αιτιολογικών σχέσεων μεταξύ των μεταβολικών ανωμαλιών που προκαλεί η τροφοπενία και των αντίστοιχων ορατών συμπτωμάτων. Γενικώς όμως διαπιστώνεται ότι η τροφοπενία Βορίου προκαλεί μείζονα και δη χαρακτηριστική διατάραξη στην αύξηση και την ανάπτυξη των φυτών. Υπάρχουν αναφορές που επισημαίνουν ότι τα συμπτώματα της έλλειψη Βορίου προκαλούνται από πολυάριθμες αλλοιώσεις μεταβολικών διεργασιών, που εντοπίζονται στο μεταβολισμό των νουκλεϊκών οξέων, πρωτεϊνών, υδατανθράκων, στην αναπνοή, τη φωτοσύνθεση και στο ισοζύγιο των φυτοορμονών. Όταν απουσιάζει το Βόριο, η σύνθεση διάφορων ενώσεων που συμβάλλουν στη διατήρηση της κυτταρικής δομής ανακόπτεται, ή σταματά τελείως, ενώ συσσωρεύονται τα πρόδρομα συστατικά των ενώσεων αυτών.

Προκύπτει τελικώς ότι οι πολλαπλές φυσιολογικές λειτουργίες του Βορίου εντοπίζονται κυρίως στους εξής ζωτικούς τομείς:

- Μεταβολισμός υδατανθράκων.
- Διαχείριση των νουκλεϊκών οξέων (DNA, RNA) και πρωτεϊνών.

- Μεταβολισμός του N εν γένει.
- Κεντρικό σύστημα μεταβίβασης γενετικών πληροφοριών (Το οποίο ελέγχει την ανάπτυξη και διαφοροποίηση των κυττάρων).
- Περαιτότητα μεμβρανών, μεταφορά μεταβολιτών.
- Σχηματισμός των ανθέων.
- Βλάστηση γύρεως, καρπόδεση.
- Υδατικές σχέσεις.
- Μεταβολισμός - μεταφορά φυτοορμονών.

(Αναλογίδης, 2007).

2.2.1. Σύνθεση πρωτεϊνών και νουκλεϊκών οξέων

Ένα βασικό χαρακτηριστικό της τροφοπενίας Βορίου είναι η ανάσχεση ανάπτυξης των μεριστωματικών ιστών, δηλ. των ακραίων αναπτυσσόμενων σημείων της κορυφής και των πρωτογενών ριζών, που αποτελούν τις εστίες κυτταροπλασίας και αύξησης του φυτού. Σαφείς ενδείξεις για τη συμμετοχή του Βορίου στη σύνθεση του RNA προέκυψαν από πειράματα των Robertson and Loughman (1974). Στα πειράματά τους με φυτά *Vicia faba* σε θρεπτικά διαλύματα και χρήση ραδιενεργού ισότοπου ^{32}P διαπίστωσαν ότι η ενσωμάτωση του απορροφημένου P στα νουκλεοτίδια του RNA εξαρτάται από την παρουσία ή μη Βορίου. Επίσης, η επιμήκυνση των ριζών αναστέλλεται λίγες ώρες μετά τη μεταφορά των φυτών σε θρεπτικό διάλυμα χωρίς Βόριο.

Ανάλογα ευρήματα άλλων ερευνητών αναφέρει σε σχετική επισκόπηση ο Gupta (1979), από όπου γενικά προκύπτει ότι η μεριστωματική δραστηριότητα του φυτού απαιτεί μία κανονική και αδιάλειπτη τροφοδοσία με Βόριο. Η ευνοϊκή επίδραση του Βορίου στην ανάπτυξη των μεριστωματικών ιστών δεν έχει ερμηνευτεί πλήρως, πιστεύεται όμως ότι εν πολλοίς έγκειται στο ρόλο που παίζει το Βόριο στη σύνθεση των νουκλεϊκών οξέων. Οι Johnson and Albert (1967) υπέδειξαν ότι το πρώτο σύμπτωμα τροφοπενίας Βορίου σε ρίζες τομάτας μετά την αναστολή ανάπτυξης, ήταν η μείωση του RNA. Στα πειράματα των εν λόγω ερευνητών η επίδραση της τροφοπενίας κατέστη δυνατό να προληφθεί με προσθήκη των αζωτούχων βάσεων θυμίνης, γουανίνης και κυτοσίνης. Κατά τον Gupta (1979) το Βόριο απαιτείται για τη σύνθεση της ουρακίλης και του οροτικού οξέως, γεγονός το οποίο προσφέρει έμμεσες, αλλά ουσιαστικές ενδείξεις για το ρόλο του Βορίου στη βιοσύνθεση των

νουκλεϊκών οξέων. Υπενθυμίζεται ότι η ουρακίλη είναι απαραίτητο συστατικό του RNA, το δε οροτικό οξύ είναι ενδιάμεσο συστατικό βιοσύνθεσης της ουρακίλης. Η προσθήκη ουρακίλης, ή και οροτικού οξέως στο θρεπτικό μέσο καλλιέργειας διαπιστώθηκε ότι περιορίσε τα συμπτώματα έλλειψης Βορίου (Birnbau, 1977). Η σύνθεση των πρωτεϊνών, η διαφοροποίηση των κυττάρων και σε τελική ανάλυση η αύξηση και η ανάπτυξη του φυτού εξαρτώνται από τη στάθμη σύνθεσης νουκλεϊκών οξέων και την απρόσκοπτη μεταβίβαση των αναγκαίων γενετικών πληροφοριών. Ενώ η τροφопενία Βορίου, όχι μόνο επιβραδύνει τη σύνθεση των RNA και DNA, αλλά συγχρόνως επιταχύνει την αποσύνθεση των νουκλεϊκών οξέων αυξάνοντας τη δράση του ενζύμου ριβονουκλεάση (Hundt *et al*, 1970). Οι φυσικοχημικές ιδιότητες των νουκλεϊκών οξέων επηρεάζονται επίσης θετικά από την παρουσία Βορίου. Αντίθετα, η έλλειψη Βορίου προκαλεί συσσώρευση διαλυτών αζωτούχων ενώσεων (και ειδικότερα νιτρικών), μικρότερη περιεκτικότητα του κυτταροπλάσματος σε πρωτεΐνη, δυσμορφία και άλλες ανωμαλίες του κυτταρικού πυρήνα (Αναλογίδης, 2007).

2.2.2. Μεταφορά και αξιοποίηση των προϊόντων της φωτοσύνθεσης

Το Βόριο συμβάλλει στη διακίνηση και αξιοποίηση των γλυκιδίων. Σύμφωνα με μία παλαιότερη θεωρία, η οποία σήμερα τείνει να εγκαταλειφθεί, το Βόριο διευκολύνει τη μεταφορά των σακχάρων διαμέσου των κυτταρικών μεμβρανών, χάρις στο σχηματισμό ενός συμπλόκου σακχαρόζης-βορικού οξέως. Ας σημειωθεί ότι η κύρια μορφή διακίνησης των γλυκιδίων μέσα στο φυτό είναι η σακχαρόζη, η δε τάση του H_3BO_3 να σχηματίζει σύμπλοκα με σακχαρίτες τύπου «cis-diol» όπως η σακχαρόζη, είναι τεκμηριωμένη. Όμως τέτοια βορικά σύμπλοκα δεν έχουν εντοπισθεί μέσα σε κύτταρα. Σήμερα πιστεύεται ότι το Βόριο διευκολύνει τη μεταφορά των σακχάρων μέσω της προστασίας την οποία παρέχει στη διατήρηση της δομής των αγωγών αγγείων. Όταν λείπει το Βόριο, στο εσωτερικό των ιθμαγγειωδών δεσμίδων σχηματίζεται καλλώδης ιστός, που παρεμποδίζει την κυκλοφορία των σακχάρων του χυμού. Η προστατευτική αυτή ιδιότητα του Βορίου αποτρέπει τη συσσώρευση σακχάρων και αμύλου στα φύλλα, φαινόμενο το οποίο παρατηρείται σε φύλλα φυτών με τροφопενία Βορίου. Το άμυλο που συσσωρεύεται στα φύλλα «αποσύρεται» πλέον από το μεταβολισμό και δεν συμβάλλει στην οικονομία υδατανθράκων του φυτού. Με άλλα λόγια το Βόριο αποτρέπει τον πολυμερισμό των σακχαριτών στα σημεία όπου συντίθενται (δηλ. στους χλωροπλάστες), διευκολύνοντας τη διακίνησή τους. Αυτός είναι ο λόγος που το Βόριο αυξάνει την περιεκτικότητα σακχάρων και αμύλου των καρπών και των

αποθησαυριστικών οργάνων, όπως οι κόνδυλοι της πατάτας και οι ρίζες των ζαχαρότευτλων.

Ο ρόλος του Βορίου στη διακίνηση των σακχάρων, όπως υποστηρίζουν οι Mengel and Kirkby (1982) συνδέεται επίσης με τη βιοσύνθεση της ουρακίλης, την οποία αναστέλλει η έλλειψη Βορίου. Η εν λόγω αζωτούχος βάση αποτελεί πρόδρομη ένωση της UDPG (ουριδίνη διφωσφορική γλυκόζη), η οποία είναι ένα συνένζυμο-κλειδί για τη βιοσύνθεση της σακχαρόζης. Η τελευταία αποτελεί τη σημαντικότερη μορφή με την οποία διακινούνται τα σάκχαρα.

Ένας από τους σημαντικότερους ρόλους του Βορίου στο μεταβολισμό των φυτών είναι και η επίδραση του στις αντιδράσεις φωσφορυλίωσης-αποφωσφορυλίωσης, που αποτελούν βασικό εργαλείο μεταφοράς ενέργειας του μεταβολισμού. Το Βόριο επιδρά στα ένζυμα φωσφορόλυσης του αμύλου, τις αποκαλούμενες φωσφορυλάσες. Σύμφωνα με τα υπάρχοντα δεδομένα, σε φυτά με τροφοπενία Βορίου παρατηρείται ένταση της αναπνοής και επίσης ένταση δραστηριότητας των οξειδωτικών ενζύμων, ενώ συγχρόνως το αναπνευστικό πηλίκιο διατηρείται σε χαμηλό επίπεδο και η φωσφορυλίωση είναι ανεπαρκής. Φυτά με ανεπάρκεια φωσφόρου απαιτούν περισσότερο Βόριο από τα φυτά με κανονική θρέψη φωσφόρου. Στα μιτοχόνδρια φυτών με τροφοπενία Βορίου η σύνδεση μεταξύ αναπνοής και οξειδωτικής φωσφορυλίωσης αρχικά εξασθενεί και στη συνέχεια διασπάται. Επιπροσθέτως, η συγκέντρωση του ATP (κατ'εξοχή φορέα μεταφοράς ενέργειας) μειώνεται, ενώ συγχρόνως η ATP-άση παρουσιάζει αυξημένη δραστηριότητα. Επομένως, υπό αυτές τις συνθήκες η ενεργειακή κινητική του μεταβολισμού διαταράσσεται με συνέπεια τη σπατάλη ενέργειας. Το φαινόμενο αυτό επιδεινώνεται σε υψηλές θερμοκρασίες, εξ ου και τα συμπτώματα της τροφοπενίας Βορίου επιδεινώνονται όταν ανέρχεται η θερμοκρασία (Αναλογίδης, 2007).

2.2.3. Η αναπαραγωγή των φυτών

Σύμφωνα με όλες τις διαθέσιμες ενδείξεις το Βόριο παίζει σημαντικό ρόλο στη διαδικασία αναπαραγωγής των φυτών, γεγονός που καταδεικνύεται από τη μεγιστοποίηση των αναγκών σε Βόριο κατά το στάδιο της ανθοφορίας. Ιδιαίτερα αυξημένη είναι η περιεκτικότητα Βορίου στα αναπαραγωγικά όργανα των φυτών, ήτοι τους στήμονες και τον ύπερο. Αναφέρεται ότι σύμπλοκα βορικά-πηκτίνης επιταχύνουν το άνοιγμα των γηρεοσάκκων ενισχύοντας τη διαδικασία της επικονίασης. Ο Aduayi (1979) ανέφερε σχετικά την ύπαρξη μίας σημαντικής θετικής συσχέτισης μεταξύ της συγκέντρωσης Βορίου σε φυτά τομάτας αφενός, του συνολικού αριθμού ανθέων, την αναλογία ανθέων που «κρατήθηκαν»

και το βάρος των καρπών αφετέρου. Παρόμοια αποτελέσματα ανέφερε ο Sherell (1983) για τη μηδική, που διαπίστωσε επίσης την ύπαρξη θετικής συσχέτισης μεταξύ της στάθμης Βορίου των φυτών τριφυλλιού και του αριθμού των σπόρων ανά άνθος.

Σύμφωνα με αποτελέσματα άλλων ερευνητών το Βόριο ασκεί επίσης θετική επίδραση στην καρπόδεση και τη σπορογονία (τεύτλα, ελαιοκράμβη), αποτρέπει την απόρριψη της ωοθήκης (βαμβάκι, σόγια), μειώνει το ποσοστό των άγονων σπόρων (αραβόσιτος, ηλίανθος) και αποτρέπει την ανθόρροια. Για το ρύζι ο Garg *et al* (1979) έδειξαν ότι η προσθήκη Βορίου μέχρι 2,5 ppm στο θρεπτικό διάλυμα βελτίωσε τη γονιμότητα των γυρεόκοκκων. Ο Agatwala *et al* (1981) έδειξαν επίσης ότι σε φυτά αραβόσιτου τα οποία είχαν υποβάλλει σε ισχυρή στέρηση Βορίου, η έκπτυξη των αρσενικών ταξιανθιών διαταράχθηκε σοβαρά, με αναστολή ή καθυστέρηση της ανθοφορίας (Αναλογίδης, 2007).

2.2.4. Η αύξηση και η διαφοροποίηση των κυττάρων

Το Βόριο σχετίζεται με τη στάθμη μίας εκ των πλέον σημαντικών φυτοορμονών, του ινδολο-οξεικού οξέως (ΙΑ), ευρύτατα γνωστού ως αυξίνη. Από διάφορες συγκλίνουσες αναφορές τεκμηριώνεται η άποψη ότι η τροφοπενία Βορίου συνδέεται με ισχυρή συγκέντρωση της αυξίνης, η οποία προκαλεί αναστολή της ανάπτυξης των αυξανομένων μερών του φυτού. Η νέκρωση των σημείων αύξησης στα ακραία μέρη του φυτού, που αποτελεί χαρακτηριστικό σύμπτωμα τροφοπενίας Βορίου, μπορεί σύμφωνα με έρευνες να οφείλεται σε συσσώρευση αυξίνης και φαινολών. Η συσσώρευση φαινολικών ενώσεων είναι μία από τις άμεσες συνέπειες της τροφοπενίας Βορίου. Οι φαινόλες υπό κανονικές συνθήκες αδρανοποιούνται λόγω σχηματισμού βορικών συμπλόκων, ενώ κατά μία άποψη η συσσώρευση φαινολών εξουδετερώνει το ένζυμο ΙΑ-οξειδάση με τελική συνέπεια την πλεονασματικότητα της αυξίνης. Ας σημειωθεί δε, ότι η ΙΑ-οξειδάση είναι το ένζυμο που ρυθμίζει τη στάθμη της αυξίνης στο φυτό, παρεμποδίζοντας το σχηματισμό πλεονασματικών επιπέδων αυξίνης. Η περίσσεια αυξίνης, σύμφωνα με κάποιους ερευνητές, είναι υπεύθυνη για όλες τις φυσιολογικές και μορφολογικές αλλοιώσεις του φυτού που προκαλούνται από την τροφοπενία Βορίου. Οι Robertson and Loughman (1974) σε πειράματα με φυτά φασολιού έδειξαν ότι τα φαινόμενα που προκαλούνται στα φυτά από την τροφοπενία Βορίου μπορούν να παραχθούν με την παρουσία πλεονασματικών ποσοτήτων ΙΑ. Πάντως, δεν έχει μέχρι στιγμής αποδειχθεί μία άμεση αιτιολογική σχέση μεταξύ Βορίου και μεταβολισμού των αυξινών. Ειδικότερα δεν είναι ακόμη γνωστό κατά πόσο η μεγαλύτερη περιεκτικότητα

αυξίνης στις ρίζες φυτών με τροφοπενία Βορίου οφείλεται σε επίδραση του Βορίου στην αξιοποίηση ή τη σύνθεση της αυξίνης ή τέλος σε επίδραση του Βορίου στην ΗΑ-οξειδάση.

Υπάρχουν επίσης ενδείξεις ότι το Βόριο επηρεάζει δύο ακόμη ομάδες ορμονών τις κυτοκινίνες και τις γιββερελλίνες. Τα επίπεδα της κυτοκινίνης μειώνονται υπό συνθήκες τροφοπενίας Βορίου. Εξάλλου, τόσο το Βόριο όσο και η γιββερελλίνη ενεργοποιούν τη βλάστηση, ειδικότερα όταν ενεργούν συγχρόνως, ενώ άλλα ιχνοστοιχεία (Zn, Cu, Mn, Mo και το Co), δεν ασκούν παρόμοια επίδραση. Ο Bussler (1973) διατύπωσε την άποψη ότι όλα τα συμπτώματα της τροφοπενίας Βορίου μπορούν να αποδοθούν σε κυτταρική διαίρεση που εξελίσσεται χωρίς διαφοροποίηση των κυττάρων και οδηγεί σε μία ανεξέλεγκτη επέκταση των ιστών παρόμοια με αυτή των νεοπλασιών στα ζώα και τον άνθρωπο. Σύμφωνα με την άποψη αυτή, ο ρόλος του Βορίου συνίσταται στην αναπαραγωγή και μεταφορά γενετικών πληροφοριών. Η δε εκδήλωση των συμπτωμάτων της τροφοπενίας οφείλεται ακριβώς στη διακοπή λειτουργίας του γενετικού κώδικα.

Η τροφοπενία Βορίου είναι μοναδική μεταξύ όλων των τροφοπενιών των φυτών στο ότι επιταχύνει μία σημαντική φυσιολογική διαδικασία, τη διαίρεση των κυττάρων αντί να την εμποδίζει (Αναλογίδης, 2007).

2.2.5. Άλλες φυσιολογικές επιδράσεις

Το Βόριο ασκεί ευνοϊκή επίδραση στη φωτοσυνθετική απόδοση των φυτών, πιθανώς μέσω της διαδικασίας φωσφορυλίωσης, καθώς επίσης λόγω μείωσης της αναπνοής και τέλος ταχύτερη διακίνηση των σακχάρων προς τα αποθησαυριστικά όργανα του φυτού.

Σύμφωνα με πηγές αναφερόμενες από τον Bergmann (1992), ζαχαρότευτλα με επάρκεια Βορίου περιείχαν 10-20% περισσότερη θειαμίνη (Βιταμίνη Β1), 43-66% περισσότερη βιοτίνη, 46-160% περισσότερο παντοθεικό οξύ και 73-95% περισσότερο νικοτινικό οξύ από ότι τα αντίστοιχα ελλειμματικά σε Βόριο φυτά. Εν όψει των αυξημένων επιπέδων και των ειδικών βιοχημικών επιδράσεων των παραπάνω ενώσεων υποστηρίχθηκε ότι το Βόριο επηρεάζει τη φωτοσύνθεση, την αναπνοή και τη δραστηριότητα των ενζύμων που υπεισέρχονται στο μεταβολισμό των υδατανθράκων, των πρωτεϊνών και των νουκλεϊκών οξέων, μέσω των βιταμινών της ομάδας β.

Ο Bergmann (1992) επίσης, επικαλούμενες άλλες πηγές υποστηρίζει ότι η επάρκεια Βορίου συντελεί σε αυξημένη περιεκτικότητα βιταμίνης C στα λαχανικά καθώς και καροτίνης στα καρότα.

Σύμφωνα με άλλες πληροφορίες η επάρκεια Βορίου ενισχύει την ανθεκτικότητα φυτών όπως της κριθής, σε φυτονόσους. Ειδικότερα υποστηρίχτηκε ότι η σύνθεση λευκοανθοκυανών σε φυτά με επάρκεια Βορίου ενισχύει την αντίσταση των φυτών αυτών σε ιολογικές και μυκητολογικές ασθένειες καθώς και σε εντομολογικές προσβολές (Rajaratnam *et al*, 1971).

Το Βόριο επηρεάζει επίσης την υδατική οικονομία του φυτού μέσω αυξομείωσης της διαπνοής, ώστε η τελευταία να εξισορροπείται με τη διαθεσιμότητα του ύδατος: Η διαπνοή αυξάνει όταν υπάρχει πλεονάζουσα υδατική διαθεσιμότητα, ενώ μειώνεται σε περιόδους ξηρασίας.

Τέλος, το Βόριο ενισχύει σημαντικά την πρόσληψη θρεπτικών κατιόντων (K^+ , Mg^{2+}) και αυξάνει την πρόσληψη του P (Αναλογίδης, 2007).

2.3. Οι απαιτήσεις των φυτών σε Βόριο

Το κρίσιμο όριο συγκέντρωσης του Βορίου για το έδαφος κυμαίνεται μεταξύ 0,5 και 1,0 ppm (Κεραμίδας, 1992), ενώ σύμφωνα με το Ινστιτούτο Εδαφολογίας Θεσσαλονίκης το όριο επάρκειας του Βορίου είναι τα 0,5 ppm για όλα τα εδάφη.

Οι Smith and Clark (1988) και οι Τσαντήλας *et al* (1992) αναφέρουν ότι συγκεντρώσεις εδαφικού Βορίου μεγαλύτερες από 0,5 ppm προκαλούν τοξικές συγκεντρώσεις στα φύλλα της ακτινιδιάς, ενώ για τα ανθεκτικά στο Βόριο φυτά, το όριο είναι γύρω στο 1,0 ppm (Αναφ. Τσαπικούνης, 2004).

Κατά τους Θεοδώρου - Πασχαλίδη (1999) αν η συγκέντρωση του εκχυλίσματος κορεσμού του Βορίου είναι μεγαλύτερη του 1,5 ppm είναι τοξικό για όλες τις καλλιέργειες, ενώ μικρότερες του 0,7 ppm είναι αβλαβείς ακόμα και για ευαίσθητες καλλιέργειες.

Πίνακας 2.1. Όρια επάρκειας Βορίου στο εδαφικό διάλυμα σε ppm.

Περιεκτικότητα σε ppm	Χαρακτηρισμός
< 0,4	Πολύ χαμηλή
0,5 - 0,7	Χαμηλή
0,8 - 1,2	Μέτρια
1,3 - 2,0	Υψηλή
> 2,0	Πολύ υψηλή

(Πασχαλίδης, 2006).

Οι ανάγκες των φυτών σε Βόριο είναι μέγιστες κατά το στάδιο του σχηματισμού των φύλλων, της ανθοφορίας, καθώς και κατά το στάδιο σχηματισμού των καρπών. Όσον αφορά τις ανάγκες των φυτών σε Βόριο, παρατηρείται σημαντική διαφορά μεταξύ των μονοκοτυλήδων και των δικοτυλήδων, η οποία αποδίδεται σε διαφορές του μεταβολισμού της φαινόλης των φυτών αυτών.

Έτσι αν διαφορετικά είδη φυτών αναπτυχθούν στο ίδιο φυσικό περιβάλλον, θα παρατηρηθούν διαφορετικές συγκεντρώσεις Βορίου στα φυτά αυτά. Η περιεκτικότητα των μονοκοτυλήδων σε Βόριο είναι ιδιαίτερα χαμηλή, και συνήθως από 2 μέχρι 6 mg B Kg⁻¹ ξηρής ουσίας, σημαντικά λιγότερη από αυτή των δικοτυλήδων των οποίων η περιεκτικότητα Βορίου είναι 20 μέχρι 200 mg B Kg⁻¹ ξηρής ουσίας (Μήτσιος, 2004).

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται το εύρος άριστης επάρκειας του Βορίου διαφόρων καλλιεργειών. Ο πρώτος αριθμός αντιπροσωπεύει το κάτω όριο και ο δεύτερος το άνω όριο του εύρους άριστης επάρκειας.

Πίνακας 2.2. Εύρος άριστης επάρκειας Βορίου διαφόρων καλλιεργειών.

Καλλιέργεια	ppm	Καλλιέργεια	ppm	Καλλιέργεια	ppm
Αραχίδα	25-60	Καρπούζι	30-80	Ελιά	20-75
Βαμβάκι	20-60	Παντζάρι	30-85	Γκρέιπφρουτ	30-100
Τεύτλα	30-200	Κολοκύθι	25-75	Λεμονιά	20-100
Ηλιανθος	35-150	Κουνουπίδι	30-100	Μανταρινιά	30-100
Καλαμπόκι	5-25	Κρεμμύδι	22-60	Πορτοκαλιά	30-100
Καπνός	18-24	Λάχανο	30-100	Φυστικά	50-250
Μηδική	30-80	Μαρούλι	25-60	Ακτινίδιο	30-300
Κριθάρι	6-12	Μελιτζάνα	25-75	Αμπέλι	30-100
Ρύζι	5-15	Φασολάκια	20-75	Αμυγδαλιά	30-60
Σιτάρι	3-20	Μπιζέλι	25-80	Αχλαδιά	20-70
Σόγια	20-55	Πατάτα	40-70	Βερικοκιά	25-70
Αγγούρια	25-100	Πεπόνι	25-60	Νεκταρινιά	20-60
Αρακάς	5-60	Πιπεριά	25-75	Ροδακινιά	20-60
Καρότα	30-100	Σπανάκι	25-63	Κερασιά	20-60
Σπαράγγι	25-100	Σέλινο	30-60	Μηλιά	25-50
Φράουλα	23-50	Τομάτα	25-75	Καρυδιά	35-200

(Κουκουλάκης - Παπαδόπουλος, 2003).

Ευαίσθητα φυτά στην έλλειψη Βορίου είναι τα ζαχαρότευτλα, το σέλινο, ο ηλίανθος, το κουνουπίδι, η μηδική, τα οπωροφόρα και ειδικότερα τα μηλοειδή (Μήτσιος, 2004), καθώς και το αμπέλι, η τομάτα και ο καπνός (Θεοδώρου - Πασχαλίδης, 1999). Ενώ το κριθάρι, τα αγγουράκια, τα φασόλια, οι φράουλες και τα εσπεριδοειδή είναι ανθεκτικά σε μικρές συγκεντρώσεις Βορίου του εδάφους. Όπως συμβαίνει και με άλλα θρεπτικά στοιχεία των φυτών, οι διαφορετικές ποικιλίες του αυτού είδους δεν αντιδρούν με το ίδιο τρόπο στην έλλειψη Βορίου, δηλαδή όλες οι ποικιλίες του ίδιου είδους δεν είναι κατάλληλες για την ένδειξη της έλλειψης του Βορίου. Όταν το Βόριο του εδάφους δεν είναι διαθέσιμο στα φυτά ή για κάποιους άλλους λόγους δεν πραγματοποιείται επαρκής εφοδιασμός αυτών, τότε εμφανίζονται συμπτώματα έλλειψης του μικροθρεπτικού αυτού (Μήτσιος, 2004).

Πίνακας 2.3. Ομαδοποίηση καλλιεργειών ως προς την ευπάθεια τους στην έλλειψη Βορίου.

Ευπαθή είδη	Μέσης ευπάθειας είδη	Μέτριας ευπάθειας είδη
Αραχίδα	Μπανανιά	Εσπεριδοειδή
Σπαράγγι	Κακάο	Ανανάς
Τεύτλα	Λάχανο	Βρώμη
Καρότο	Φοινικοκαρυά	Σίτος
Μπρόκολο	Σπανάκι	Σίκαλη
Βαμβάκι	Μαρούλι	Κριθάρι
Μηδική	Λίνος	Σόργο
Σέλινο	Αραβόσιτος	Μπιζέλι
Κουνουπίδι	Καπνός	Πατάτα
Ελαιοκράμβη	Τομάτα	Σόγια
Γαρυφαλιά	Τριφύλλι	Φράουλα
Ραφανίδα	Τσάι	Ρύζι
Ελιά	Αχλαδιά	
Μηλιά	Ροδακινιά	
Τριανταφυλλιά	Κρεμμύδι	
Ηλίανθος	Ραδίκι	
Αμπέλι	Ραδίκι	

(Lucas and Knezek, 1972).

Κατά τον Αλεξιάδη (1980) ανθεκτικά στο Βόριο είναι τα καρότα, το μαρούλι, το λάχανο, τα κουκιά, το κρεμμύδι, τα φασόλια (Brad bean), ο γλαδίολος, η μηδική, τα τεύτλα, η χουρμαδιά και το σπαράγγι. Μέτρια ανθεκτικά είναι τα φασόλια (Lima bean), η γλυκοπατάτα, η πιπεριά, το αμπέλι, η τομάτα, τα κολοκυθάκια, η βρώμη, το καλαμπόκι, το σιτάρι, το κριθάρι, η ελιά, το μπιζέλι, το ραπάνι, το βαμβάκι, η πατάτα και ο ηλίανθος, ενώ ευπαθείς σε σχέση με την ανθεκτικότητά τους στο Βόριο είναι η λεμονιά, η πορτοκαλιά, το αβοκάντο, η βερικοκιά, η ροδακινιά, η κερασιά, η μηλιά, η αχλαδιά, η δαμασκηλιά, τα φασόλια (Navy bean), η αγκινάρα και η καρυδιά (Αναφ. Τσαπικούνης, 2004).

Πίνακας 2.4. Όρια ανθεκτικότητας των διάφορων καλλιεργειών στο Βόριο.

Ευαίσθητες 0,3 - 1 ppm Βορίου	Ημιανθεκτικές 1 - 2 ppm Βορίου	Ανθεκτικές 2 - 4 ppm Βορίου
Εσπεριδοειδή	Φασολιά (Lima bean)	Καρότα
Αβοκάντο	Γλυκοπατάτα	Μαρούλια
Βερικοκιά	Πιπεριά	Λάχανα
Ροδακινιά	Βρώμη	Κτην. τεύτλα
Κερασιά	Σόργο	Κρεμμύδι
Persimon (Διόσπυρος)	Καλαμπόκι	Κουκιά
Συκιά	Σιτάρι	Μηδική
Αμπέλι	Κριθάρι	Κοκκινογούλια
Μηλιά	Ελιά	Μάνγκολ
Αχλαδιά	Μπιζελιά	Ζαχαρότευτλα
Δαμασκηλιά	Ραπανάκι	Φοίνικας
Φασολιά (Navy bean)	Τομάτα	Ινδοκαρυδιά
Αγκινάρες	Βαμβάκι	Σπαράγγι
Καρυδιά	Πατάτα	
	Ηλίανθος	

(Shainberg and Ooster, 1978).

2.4. Τροφοπενία Βορίου

Η τροφοπενία Βορίου στην ελιά, αρχικά στη Νήσο Λέσβο, αναφέρθηκε και περιγράφηκε από ερευνητές του Μπενάκειου Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου. Έχει διαπιστωθεί επίσης σε πολλές περιοχές της Κρήτης. Στη μηλιά η τροφοπενία Βορίου

αναφέρθηκε ομοίως προ πολλών ετών από ερευνητές του Μπενάκειου Φυτοπαθολογικού Ινστιτούτου τόσο στη Β.Ελλάδα, όσο και στην Πελοπόννησο.

Ιδιαίτερα οξύ εμφανίζεται το πρόβλημα της τροφοπενίας Βορίου στα ζαχαρότευτλα μερικών περιοχών, όπως Έβρος, Ροδόπη, Ξάνθη (αμμώδη, ελαφρώς όξινα, αλουβιακά εδάφη), Τενάγη Φιλίππων (τυρφώδη εδάφη), Φάρσαλα-Δομοκός (οργανικά-αργιλώδη εδάφη). Στις περιοχές τευτλοκαλλιέργειας που ενδημεί το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με χορήγηση βοριούχων σκευασμάτων στο έδαφος και τα φύλλα.

Στα μηλοειδή της Β. Ελλάδας έχει αναφερθεί ότι η έλλειψη Βορίου είναι πολύ λιγότερο εκτεταμένη από την έλλειψη Ζn. Επίσης στη ροδακινιά το Βόριο σπάνια δημιουργεί προβλήματα, σε αντίθεση με τα πολύ σοβαρά προβλήματα τροφοπενίας Β που παρατηρούνται στην κερασιά που καλλιεργείται στα ορεινά της Νάουσας (Αναλογίδης, 2007).

2.4.1. Συνθήκες τροφοπενίας Βορίου

Μεγάλες πιθανότητες εμφάνισης τροφοπενίας Βορίου παρατηρούνται στα αμμώδη εδάφη σε περιοχές με συχνές βροχοπτώσεις και στα εδάφη που διαθέτουν μικρή περιεκτικότητα Βορίου και στα όξινα εδάφη που έχουν υποστεί υπερβολική ασβέστωση. Η περιεκτικότητα του εδάφους σε Fe και Al επιδρά αρνητικά στην περιεκτικότητα των εδαφών σε Βόριο, ειδικά όταν επικρατούν υψηλές τιμές pH όπως σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές.

Στα εδάφη με ελαφρά σύσταση, το Βόριο βρίσκεται σε μικρές συγκεντρώσεις με αποτέλεσμα να παρατηρούνται τροφοπενίες του στοιχείου αυτού. Οι τροφοπενίες Βορίου συχνά παρατηρούνται κατά τους καλοκαιρινούς ξηρούς μήνες, και αυτό διότι οι επιφανειακοί ορίζοντες της εδαφικής κατανομής περιέχουν Βόριο σε μικρές συγκεντρώσεις. Στους ορίζοντες αυτούς, τα οργανικά κolloειδή δεσμεύουν το Βόριο.

Στα αμμώδη εδάφη που περιέχουν μικρή συγκέντρωση Βορίου, το διαθέσιμο Βόριο δεν επαρκεί με αποτέλεσμα να παρατηρείται τροφοπενία Βορίου. Σε εδάφη όμως με υψηλή περιεκτικότητα του στοιχείου, η ξηρασία δεν οδηγεί σε εμφάνιση τροφοπενίας Βορίου στα φυτά.

Σημειώνεται ότι τα φυτά προσλαμβάνουν περισσότερο Βόριο από τα ελαφριάς συστάσεως εδάφη παρά από τα εδάφη βαριάς συστάσεως και περισσότερο Βόριο από τα όξινα παρά από τα ασβεστούχα εδάφη. Το Βόριο δεν είναι ευκίνητο εντός του φυτού, με αποτέλεσμα όταν αυτό προσλαμβάνεται από τα φυτά σχετικά νωρίς να μην μετακινείται

αργότερα στα σημεία αυξήσεως του φυτού, με συνέπεια την εμφάνιση ορατών συμπτωμάτων έλλειψης Βορίου (Μήτσιος, 2004).

Γενικά, αποδεικνύεται πως τα αποθέματα ολικού Βορίου είναι περιορισμένα σε εδάφη αμμώδη και χονδρόκοκκα, όξινα, εκπλυμένα και φτωχά σε οργανική ουσία. Τα πιο επιρρεπή στην εκδήλωση της τροφοπενίας Βορίου είναι τα εδάφη που προέρχονται από όξινα πυριγενή πετρώματα, ειδικότερα δε σε κλιματικές ζώνες υψηλών βροχοπτώσεων. Τα όξινα αμμώδη εδάφη παρουσιάζουν συγχρόνως τις μεγαλύτερες απώλειες έκπλυσης Βορίου. Αντίθετα, τροφοπενία Βορίου σπάνια συναντάται σε εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα αργίλου και αλκαλικό pH, διότι αυτές οι συνθήκες εμποδίζουν την έκπλυση του Βορίου. Επίσης, η εκδήλωση τροφοπενίας Βορίου σε ευπαθείς καλλιέργειες των ασβεστούχων εδαφών δεν είναι σπάνιες, λόγω της έντονα αρνητικής αλληλεπίδρασης Βορίου και Ca (Αναλογίδης, 2007).

2.4.2. Συμπτώματα τροφοπενίας Βορίου

Τα εσωτερικά (μη εξωτερικώς ορατά) συμπτώματα εμφανίζονται κατ' αρχάς σε κυτταρικό και αγγειακό επίπεδο. Έτσι, παρατηρείται αυξημένη κυτταροπλασμία του καμβίου, με ατελή - ανώμαλη διαφοροποίηση των κυττάρων (υπερτροφία). Οι κυτταρικοί πυρήνες έχουν ακανόνιστο σχήμα και ενίοτε διασπώνται. Παρατηρείται εκφυλισμός των μεριστωματικών ιστών και των κυτταρικών μεμβρανών, συσώρευση φαινολικών ουσιών στα κενοτόπια (χυμοτόπια) των κυττάρων, σχηματισμός φελλοποιημένων ζωνών, ατελής σχηματισμός των αγγειωδών και ηθμο-αγγειωδών δεσμίδων. Στη θέση των αγωγών δεσμίδων αναπτύσσεται ιστός παρεγχυματικού τύπου (ατελής διαφοροποίηση - αδυναμία σχηματισμού αγωγού συστήματος). Τελικά, οι εκφυλισμένοι μεριστωματικοί ιστοί λόγω πλήρους διάσπασης του μεταβολισμού τους και απώλειας επικοινωνίας με τους αγωγούς, νεκρώνονται. Οι επικόρυφοι οφθαλμοί ξηραίνονται και τα άκρα των βλαστών νεκρώνονται, λόγω μη υπάρξεως αγωγών δεσμίδων (έλλειψη τροφοδοσίας).

Κατ' ακολουθία, η τροφοπενία Βορίου προκαλεί αντίστοιχες και δη χαρακτηριστικές μορφολογικές αλλοιώσεις, οι οποίες είναι ανιχνεύσιμες δια γυμνού οφθαλμού, χωρίς όμως να συνυπάρχουν όλες ταυτόχρονα σε όλα τα ευπαθή είδη (Αναλογίδης, 2007).

Η έλλειψη Βορίου μπορεί να ανιχνευθεί στα νεότερα φύλλα, στους βλαστούς και στις ρίζες και εμφανίζεται σε ορισμένα είδη φυτών, μέσω πολλών ορατών χαρακτηριστικών συμπτωμάτων, που διαπιστώνονται τόσο μικροσκοπικά όσο και μακροσκοπικά ως ακολούθως:

- Κίτρινος μέχρι κοκκινωπός αποχρωματισμός των νεώτερων φύλλων, με ή χωρίς επακόλουθες νεκρώσεις.
- Εμφάνιση νεωτέρων φύλλων με τη μορφή ροζέτας.
- Μικρά παραμορφωμένα φύλλα, συχνά με απλοποιημένο σχήμα φύλλου, με ασύμμετρο σχηματισμό των νεύρων.
- Σπασίματα και σχηματισμοί φελλού στο μίσχο των φύλλων.
- Ξήρανση των αναπτυσσόμενων σημείων ή των μπουμπουκιών και με αρκετή έλλειψη Βορίου στα βλαστάρια οι βλαστοί "εξαφανίζονται" και το ίδιο και τα μπουμπούκια.
- Λόγω απουσίας της κυριαρχίας της κορυφής, παρατηρείται αύξηση των μασχαλιαίων οφθαλμών οι οποίοι αναπτύσσονται κανονικά ή ξηραίνονται σύντομα (σκούπα της μάγισσας).
- Κοτυληδόνες συχνά σε μεγέθυνση.
- Μείωση του αριθμού των μπουμπουκιών, των ανθέων και των σχηματιζόμενων καρπών, με πρόωρο διασκορπισμό του περικαρπίου.
- Περιορισμένη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος, με ανώμαλη αύξηση των πλευρικών ριζών, που προσδίδουν στη ρίζα "αγκαθωτή" εμφάνιση.
- Οι κοντές ρίζες παχύνουν αποκτώντας μορφή ροπάλου και γίνονται καφέ, συχνά όμως γίνονται πολύ λεπτές.
- Σχηματισμός καφέ κηλίδων, φαινόμενα ξηρής σήψης κατά τόπους.
- Τα παλαιότερα φύλλα εμφανίζουν συμπτώματα μόνο όταν υπάρξει συνεχείς έλλειψη.

(Μήτσιος, 2004).

2.4.3. Αντιμετώπιση τροφοπενίας Βορίου

2.4.3.1. Βοριούχα λιπάσματα

Η τροφοπενία Βορίου των καλλιεργειών αντιμετωπίζεται με χορήγηση κατάλληλων βοριούχων παρασκευασμάτων στο έδαφος, ή με ψεκασμό του φυλλώματος, ή με συνδιασμό των δύο μεθόδων. Η χορήγηση στο έδαφος έχει προληπτικό χαρακτήρα και μεγαλύτερη διάρκεια επίδρασης, ενώ η διαφυλλική χορήγηση αποσκοπεί συνήθως στη διόρθωση της τροφοπενίας όταν έχουν ήδη εκδηλωθεί τα συμπτώματά της. Ο συνδυασμός των δύο μεθόδων συνιστάται σε ιδιαίτερα σοβαρές περιπτώσεις. Κλασικές πηγές Βορίου είναι τα βορικά άλατα νατρίου.

Στις λιπάνσεις χρησιμοποιούνται τόσο τα απλά λιπάσματα Βορίου, όσο και λιπάσματα κύριων θρεπτικών στοιχείων (NPK) εμπλουτισμένα με Βόριο. Μεταξύ των απλών βοριούχων λιπασμάτων συνηθέστερα χρησιμοποιούνται από εδάφους ο βόρακας και το πενταβορικό νάτριο, κατά προτίμηση σε κοκκώδη μορφή. Τα δυσδιάλυτα σκευάσματα (βοριοπυριτικό γυαλί, κολεμανίτης), που είναι βραδείας απόδοσης, δεν έχουν χρησιμοποιηθεί στην Ελλάδα. Ο κολεμανίτης ειδικότερα συνιστάται σε αμμώδη χονδρόκοκα εδάφη ελλειμματικά σε Βόριο, σε ευαίσθητες κτηνοτροφικές καλλιέργειες όπως η μηδική και το τριφύλλι, όπου η πολύ μειωμένη διαλυτότητά του περιορίζει τις απώλειες έκπλυσης (Holden, 1959).

Εκτός από τον κολεμανίτη αναφέρεται ότι σε πειραματική κλίμακα καλά αποτελέσματα έχουν δώσει και 2 άλλα βοριούχα ορυκτά, ο νιατολίτης με 5,2% ολικό και 0,01% υδατοδιαλυτό Βόριο (Sherell, 1983) και ο ουλεξίτης με βραδεία - προοδευτική απελευθέρωση Βορίου στο έδαφος (Gurta, 1979). Τα εν λόγω ορυκτά πλεονεκτούν σε διάρκεια υπολειμματικής δράσεως.

Αναφέρεται επίσης ότι τα θαλάσσια φύκη, λόγω περιεκτικότητας Βορίου του θαλασσιού ύδατος, αποτελούν πηγή Βορίου με μέση περιεκτικότητα 150 g Βορίου ανά τόνο ξηρής μάζας (Maurice *et al*, 1983) (Αναφ. Αναλογίδης, 2007).

Πίνακας 2.5. Τα κυριότερα λιπάσματα Βορίου.

Πηγή	Χημικός τύπος	Περιεκτικότητα % σε B
Βόρακας	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11
Πενταβορικό νάτριο	$\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	18
Τετραβορικό νάτριο	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	14
Βορικό οξύ	H_3BO_3	20
Κολεμανίτης (ορυκτό)	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	17
Frist Βορίου		10
Solubor	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O} +$ $\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	20
Bortrac	-	15
Profit	-	15
Vytel Boron	-	15
Χηλικό B (EDTA)	-	4
Πολυβόρ	(12-12-18 + 0,5 B)	0,5

(Μήτσιος, 2004).

Ευρεία διάδοση έχουν τα τελευταία χρόνια διεθνώς αλλά και στην Ελλάδα τα NPK λιπάσματα εμπλουτισμένα με Βόριο σε κατάλληλη αναλογία, ώστε με τη δοσολογία των κύριων θρεπτικών στοιχείων να καλύπτονται συγχρόνως οι απαιτήσεις σε Βόριο. Στην Ελλάδα ευρεία διάδοση είχε, από τα τέλη της 10ετίας 1980 το Πολυβόρ (POLYBOR), προϊόν της εταιρείας Χ.Β.Β.Ε. Α.Ε. Το λίπασμα αυτό με τύπο 12-12-18+0,5B απεδείχθη ιδιαίτερα αποτελεσματικό για την πρόληψη και καταπολέμηση της τροφοπενίας Βορίου στην Κρήτη και άλλες ελαιοκομικές περιοχές της χώρας. Συναφής τύπος που παρήχθη παράλληλα από την ίδια εταιρία ήταν η βοριούχος νιτροθειϊκή αμμωνία (24-0-0+0,5B), υπό την επωνυμία FERTAMON-B. Όπως έδειξε αρκετά νωρίς ο Mortvedt (1968) το Βόριο στα σύνθετα NPK λιπάσματα δεν υπεισέρχεται σε αντιδράσεις αδιαλυτοποίησης με τα υπόλοιπα θρεπτικά συστατικά του λιπάσματος (ιδιαίτερα δε με τα υπερφωσφορικά και το φωσφορικό αμμώνιο) και κατά συνέπεια η αποτελεσματικότητά του δεν επηρεάζεται.

Το βιομηχανικό πρόβλημα που ανακύπτει στην παραγωγή NPK λιπασμάτων περιεκτικότητας σε Βόριο μεγαλύτερης του 0,7% συνίσταται στην υψηλή περιεκτικότητα κρυσταλλικού ύδατος του βόρακα (και των λοιπών χρησιμοποιούμενων βοριούχων αλάτων νατρίου) που δημιουργεί μεγάλη υγρασία και εμποδίζει τη στερεοποίηση των κόκκων του λιπάσματος. Εναλλακτική λύση είναι η προσθήκη του βοριούχου σκευάσματος σε κοκκώδη μορφή κατά την τελική φάση παραγωγής του λιπάσματος, αλλά η παραγωγή του τύπου αυτού (στερεά ανάμειξη) μειονεκτεί σε ομοιομορφία διασποράς του Βορίου στη μάζα του προϊόντος.

Το Βόριο σε κατάλληλη μορφή (συνηθέστερα Solubor, ή βορικό οξύ) προστίθεται επίσης σε υδατοδιαλυτά (κρυσταλλικά) λιπάσματα κύριων θρεπτικών στοιχείων. Υδατοδιαλυτά λιπάσματα εμπλουτισμένα με Βόριο χρησιμοποιούνται κυρίως σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες απαιτητικές σε Βόριο (Αναλογίδης, 2007).

2.4.3.2. Μέθοδοι και δοσολογία λιπάνσεων

Η άριστη δοσολογία του Βορίου όταν χορηγείται στο έδαφος, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες εδαφικούς, κλιματικούς και φυτοκομικούς, οι κυριότεροι των οποίων είναι το είδος και η ποικιλία του φυτού, το ακολουθούμενο πρόγραμμα καλλιεργητικής αγωγής, οι βροχομετρικές συνθήκες της περιοχής, η περιεκτικότητα οργανικής ουσίας, το pH και η κοκκομετρική σύσταση του εδάφους. Σε ότι αφορά το φυτό τονίζεται η υφιστάμενη διαφορά μεταξύ «ύψους απαιτήσεων στο Βόριο» και «βαθμού αντοχής στο Βόριο». Υπάρχουν φυτό

υψηλών απαιτήσεων σε Βόριο, όπως και φυτά μέσω και περιορισμένων απαιτήσεων αντιστοίχως. Εξάλλου, τα καλλιεργούμενα φυτά διαφοροποιούνται συγχρόνως και ως προς την ευαισθησία, ή αντοχή, στην υψηλή περιεκτικότητα Βορίου του εδάφους. Υπάρχουν είδη υψηλών απαιτήσεων και μέσης ευαισθησίας, ευαίσθητα είδη μέσω απαιτήσεων κλπ.

Σε περιπτώσεις αποδεδειγμένων αναγκών λίπανσης, το εύρος της δοσολογίας δεν εξαρτάται μόνο από τους προαναφερθέντες παράγοντες, αλλά περιορίζεται και από μία άλλη ιδιομορφία του Βορίου, του οποίου τα όρια μεταξύ ενδεδειγμένης λίπανσης και τοξικής επίδρασης είναι πολύ στενά, ιδιαίτερα στην κατηγορία των ευαίσθητων φυτικών ειδών. Στην πράξη η συνιστώμενη δοσολογία κυμαίνεται από κατά μέσο όρο από 100-300gr B/στρ σε ποσότητα σκευάσματος ανάλογη της αντίστοιχης περιεκτικότητας Βορίου. Η δοσολογία για το βόρακα, το συνηθέστερο βοριούχο λίπασμα περιεκτικότητας 11,5% B, είναι μεταξύ 800 και 2500 gr/στρ. Η ανώτερη δόση εφαρμόζεται σε ανθεκτικά και συγχρόνως πολύ απαιτητικά είδη, όπως η μηδική και τα ζαχαρότευτλα.

Σημαντικό πάντως ρόλο φαίνεται να παίζει και η μέθοδος προσθήκης του βοριούχου λιπάσματος. Οι Gupta and Cutcliffe (1978) ανέφεραν πειραματικά αποτελέσματα σύμφωνα με τα οποία όταν η προσθήκη γίνονταν κατά λωρίδες στις γραμμές των φυτών, δοσολογία μειωμένη κατά 50% αποδείχθηκε πιο αποτελεσματική σε σχέση με τη διπλάσια ποσότητα σε ομοιόμορφη προσθήκη (Αναλογίδης, 2007).

2.4.3.3. Διαφυλλική λίπανση

Στις πολυετής καλλιέργειες, όπως η άμπελος, τα οπωροφόρα δένδρα, η ελιά κλπ, έχει διαδοθεί η μέθοδος ψεκασμού της κόμης των φυτών με αραιά βοριούχα διαλύματα. Η απορρόφηση του Βορίου από τα φύλλα είναι ταχύτερη σε σύγκριση με την προσθήκη στο έδαφος (Αναλογίδης, 2007). Πολλές διαφυλλικές εφαρμογές, με μικρή συγκέντρωση Βορίου, είναι πιο αποτελεσματικές από μία με υψηλή συγκέντρωση, λόγω της δυσκινησίας του Βορίου στα φύλλα (Θεριός, 2005).

Πρώιμοι - προληπτικοί ψεκασμοί έχουν καλύτερα αποτελέσματα γιατί αποτρέπουν την εμφάνιση των συμπτωμάτων της τροφопενίας (Αναλογίδης, 2007).

Στους φυλλοψεκασμούς μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα προϊόντα Βορίου, όπως το βορικό οξύ, ο βόρακας, το πενταβορικό νάτριο (Πιστόλης, 2008), το AHL-Boron (2,8% B κατά βάρος), η βορική αιθανολαμίνη (3,5% B κατά βάρος) και το υγρό λίπασμα ethylene glycol borate (3,7% σε B) (Αναλογίδης, 2007). Το Solubor όμως, ένα μείγμα τετραβορικού

και πενταβορικού νατρίου, κατά γενική ομολογία, δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα. Οι συνηθέστερες συγκεντρώσεις του Solubor στο ψεκαστικό διάλυμα κυμαίνονται μεταξύ 0,15 και 0,25%.

Στα δένδρα γίνονται συνήθως τρεις ψεκασμοί: στη ροζ ή λευκή κορυφή (βοηθά στην καρπόδεση), στο τέλος της άνθισης και στο δέσιμο. Σε σοβαρές ελλείψεις ένας ακόμη ψεκασμός υψηλότερης συγκέντρωσης Βορίου γίνεται πριν από την πτώση των φύλλων με καλά αποτελέσματα, ιδιαίτερα στη μηλιά, συχνά μαζί με ουρία.

Οι διαφυλλικές εφαρμογές, από μόνες τους, μπορούν να επιταχύνουν τη δημιουργία ικανοποιητικών επιπέδων Βορίου στα φύλλα, όμως επειδή στην ομαλή ανάπτυξη των καρπών το επίπεδο του Βορίου στα σπέρματα παίζει σημαντικό ρόλο, είναι απαραίτητος ο συνδυασμός τους με την εφαρμογή Βορίου στο έδαφος. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα είδη στα οποία το Βόριο δε μετακινείται μέσω του ηθμού.

Το Βόριο δεν πρέπει να αναμειγνύεται με ελαιούχα σκευάσματα και γαλακτώματα, με θειικά άλατα θρεπτικών και με το CaCl₂ (Πιστόλης, 2008).

2.4.3.4. Υπολειμματική δράση Βοριούχου λίπανσης

Η διάρκεια υπολειμματικής δράσης των βοριούχων λιπασμάτων που χορηγούνται δια του εδάφους εξαρτάται από διάφορους παράγοντες μεταξύ των οποίων η μορφή (διαλυτότητα) του λιπάσματος, η δοσολογία εφαρμογής και ο τύπος του εδάφους. Όπως προαναφέρθηκε στα ελαφριάς σύστασης όξινης έως ουδέτερης αντίδρασης εδάφη το Βόριο υπόκειται σε έκπλυση, πολύ περισσότερο από ότι στα αργιλώδη εδάφη.

Οι δυσδιάλυτες μορφές Βορίου (βοριοπυριτική ύαλος, κολεμανίτης, κλπ) έχουν μεγαλύτερη διάρκεια υπολειμματικής δράσεως ανεξαρτήτως λοιπών συνθηκών. Ο Holden (1959) ανέφερε ότι πειράματα με μηδική βετούς διάρκειας, σε έδαφος πηλοαμμώδες, κατά τα 3 τελευταία έτη τα φυτά απορρόφησαν περισσότερο Βόριο από τις δυσδιάλυτες μορφές Βορίου, που είχαν προστεθεί σε λεπτόκοκκη μορφή. Ο Wear (1957) εξέτασε την υπολειμματικότητα ετήσιων λιπάνσεων με βόρακα σε δόσεις 1,2 έως 3,6 Kg B/εκτ, επί μία 4ετία στο τριφύλλι, σε 6 τύπους εδάφους με μηχανική σύσταση κλιμακούμενη από πηλοαμμώδη μέχρι αργιλώδη. Διαπίστωσε μία σχετική συσσώρευση του Βορίου στα βαρύτερα εδάφη, χωρίς όμως να υπάρξει καμία τοξική επίδραση στις ευαίσθητες καλλιέργειες που ακολούθησαν το τριφύλλι. Σύμφωνα με πληροφορίες, η βοριούχος λίπανση των ελαιώνων της Κρήτης δεν έχει προκαλέσει μέχρι σήμερα συμπτώματα τοξικότητας, μετά

από ετήσια λίπανση μέχρι 500g Β/στρ επί 2-3 έτη.

Πάντως και ανεξάρτητα από τις παραπάνω διαπιστώσεις, εάν τα βοριούχα λιπάσματα χορηγούνται επί σειρά ετών είναι πιθανό η βαθμιαία συσσώρευση Βορίου να φθάσει σε επίπεδο τοξικό ακόμη και για καλλιέργειες οι οποίες θεωρούνται υψηλών απαιτήσεων. Ο Lee (1978) συνιστούσε στην εμπορική λαχανοκομία να λιπαίνονται με Βόριο μόνο οι πιο απαιτητικές καλλιέργειες της αμειψισποράς, όπως το κουνουπίδι, το καρότο, το σέλινο, κλπ (Αναλογίδης, 2007).

2.5. Τοξικότητα Βορίου

Είναι γνωστό ότι το Βόριο είναι απαραίτητο για τα φυτά σε μικρές συγκεντρώσεις, όταν όμως βρίσκεται σε υψηλές συγκεντρώσεις στο έδαφος ή στο νερό άρδευσης, τότε το στοιχείο αυτό προκαλεί τοξικά συμπτώματα στα καλλιεργούμενα φυτά.

Αν ληφθεί υπόψη ότι τα όρια μεταξύ τοξικότητας και έλλειψης του στοιχείου αυτού είναι πολύ στενά, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην εφαρμογή λιπασμάτων τόσο στο έδαφος όσο και σε διαφυλλικούς ψεκασμούς. Αν για παράδειγμα παρέχεται για αρκετό χρονικό διάστημα λίπανση με Βόριο, μπορεί εύκολα να προκληθεί ζημιά λόγω αυξημένης συγκέντρωσης του μικροστοιχείου στο εδαφικό διάλυμα, ειδικά σε αμμώδη εδάφη.

Η αυξημένη, αλόγιστη και μη προγραμματισμένη χρήση βοριούχων λιπασμάτων οδηγεί σε καταστάσεις υπερεπάρκειας του στοιχείου τόσο στο έδαφος όσο και στα φυτά, με αποτέλεσμα την εμφάνιση τοξικών συμπτωμάτων στα έλασμα αλλά και στο βλαστό (Μήτσιος, 2004).

2.5.1. Συνθήκες τοξικότητας Βορίου

Τοξικότητα Βορίου στις καλλιέργειες μπορεί να εκδηλωθεί:

- Σε εδάφη που λόγω προέλευσης παρουσιάζουν μεγάλο φυσικό εμπλουτισμό σε Βόριο.
- Σε αρδευόμενες καλλιέργειες στις οποίες χρησιμοποιείται αρδευτικό νερό υψηλής συγκέντρωσης σε Βόριο.
- Από αστικά και βιομηχανικά λύματα εμπλουτισμένα με Βόριο, τα οποία διαρρέουν σε επιφανειακά ύδατα και υδροφόρους ορίζοντες.

(Αναλογίδης, 2007).

Στα παραπάνω κύρια αίτια της τοξικότητας Βορίου θα πρέπει να προστεθεί, όπως προαναφέρθηκε και η συσσωρευτική επίδραση της βοριούχου λίπανσης όταν εφαρμόζεται επί σειρά ετών.

Η αύξηση του ρυθμού της διαπνοής που συντελείται με την αύξηση της θερμοκρασίας ευνοεί την εκδήλωση τοξικότητας Βορίου, καθώς αυξάνει την περιεκτικότητα των φύλλων σε Βόριο (Πιστόλης, 2004).

Ο Reisenauer (1976), αναφέρει το ακόλουθο εύρος ανεκτικότητας των καλλιεργειών στη συγκέντρωση του Βορίου στο εκχύλισμα κορεσμού του εδάφους:

- Λιγότερο από 0,5 ppm: Ουδέν πρόβλημα σε οποιαδήποτε καλλιέργεια.
- Περί το 1,0 ppm: Πολύ ευαίσθητα είδη πιθανό να εκδηλώσουν συμπτώματα τοξικότητας.
- Περί τα 5 ppm: Μέσης ευαισθησίας είδη αναπτύσσουν συμπτώματα τοξικότητας.
- Περί τα 10 ppm: Ακόμη και φυτά χαμηλής ευαισθησίας εμφανίζουν συμπτώματα τοξικότητας.

Συμπερασματικά, η φυσική πλεονασματικότητα Βορίου μπορεί να αποβεί τοξική για τις ευαίσθητες καλλιέργειες σε εδάφη:

- Προερχόμενα από θαλάσσιες ιζηματογενείς αποθέσεις.
- Προερχόμενα από μητρικά πετρώματα πλούσια σε Βόριο.
- Απαντώμενα σε ξηρικές-ημιξηρικές περιοχές όπου υπάρχει τάση συσσώρευσης αλάτων στους επιφανειακούς ορίζοντες.
- Εδάφη αρδευόμενα με ύδατα υψηλής περιεκτικότητας σε Βόριο.

(Αναλογίδης, 2007).

2.5.2. Το Βόριο στο νερό άρδευσης

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στην αρδευτική διαχείριση των καλλιεργειών, όταν το νερό άρδευσης περιέχει Βόριο σε υπολογίσιμη συγκέντρωση. Κατά τον Bingham (1972) συνιστάται να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη το Βόριο του αρδευτικού νερού, όταν η συγκέντρωση του υπερβαίνει τα 0,5 mg/L. Σύμφωνα με την ταξινόμηση που έχει υιοθετήσει ο παγκόσμιος κύριος πειραματικός σταθμός Riverside, ΗΠΑ, το αρδευτικό νερό άριστης έως καλής ποιότητας (κατηγορία I) πρέπει να περιέχει λιγότερο από 0,5 ppm Βορίου.

Πίνακας 2.6. Ποιοτική κατάταξη των νερών σύμφωνα με την περιεκτικότητά τους σε Βόριο.

Κλάσεις ποιότητας νερού	1η κλάση	2η κλάση	3η κλάση
Βόριο σε ppm	< 0,50	0,50 - 2,00	> 2,00

(Doneen, 1967).

Ο Reisenauer (1975) αναφέρει ομοίως ότι το νερό με περιεκτικότητα Βορίου μικρότερη των 0,5 mg/L μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς επιφυλάξεις για την άρδευση όλων γενικώς των καλλιεργειών. Τέλος, νερό με άνω των 2,0 mg/L Βορίου προκαλεί πλειονότητα των περιπτώσεων μείωση παραγωγής, όταν χρησιμοποιείται συχνά. Κατά τον FAO η μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση Βορίου στο νερό άρδευσης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 0,75 mg/L (Αναλογίδης, 2007).

Πίνακας 2.7. Επιτρεπτά όρια Βορίου νερών άρδευσης σε σχέση με το βαθμό ευαισθησίας των φυτών στο στοιχείο αυτό.

Κατηγορίες Βορίου	Ευαίσθητες καλλιέργειες	Ημieuαίσθητες καλλιέργειες	Ανθεκτικές καλλιέργειες
1η	< 0,30 ppm	< 0,67 ppm	< 1,00 ppm
2η	0,33 - 0,67 ppm	0,67 - 1,33 ppm	1,00 - 2,00 ppm
3η	0,67 - 1,00 ppm	1,33 - 2,00 ppm	2,00 - 3,00 ppm
4η	1,00 - 1,25 ppm	2,00 - 2,50 ppm	3,00 - 3,75 ppm
5η	> 1,25 ppm	> 2,50 ppm	> 3,75 ppm

(Scofield, 1936).

Τα διάφορα είδη φυτών παρουσιάζουν ευρύτατη διακύμανση ως προς την αντοχή τους στο Βόριο. Κατά τον Brown (1976) τα οπωροφόρα δένδρα συμπεριλαμβανομένων των εσπεριδοειδών και των σκληροκάρπων ανέχονται συγκεντρώσεις 0,67 - 1,00 ppm Βορίου. Μετρίως ανεκτικά φυτά, όπως διάφορα κηπευτικά και ο σίτος, αντέχουν χωρίς πρόβλημα συγκεντρώσεις 1,00 - 1,33 ppm Βορίου. Τέλος, ανθεκτικά είδη (Σε υψηλές συγκεντρώσεις Βορίου) όπως η μηδική, τα τεύτλα, το σπαράγγι και η χουρμαδιά μπορούν να ανεχθούν συγκεντρώσεις από 2,00 ppm έως και 3,00 ppm Βορίου στο νερό άρδευσης.

Εξίσου σημαντική είναι η συνολική ποσότητα του εφαρμοζόμενου αρδευτικού ύδατος (ύψος άρδευσης). Η «ασφαλής» συγκέντρωση Βορίου στο νερό άρδευσης σχετίζεται στενά με

το συνολικό ύψος άρδευσης. Αναφέρεται ότι για συγκεντρώσεις 0,5 - 2,0 mg/L η συχνή άρδευση προκαλεί συμπτώματα τοξικότητας ακόμη και για «ανεκτικές» καλλιέργειες. Πρέπει να ληφθεί υπόψη πως άρδευση συνολικού ύψους 100 mm (δηλ. 100 m³/στρ), όταν περιέχει 1-2 mg/L Βορίου προσθέτει αντίστοιχα στο έδαφος 100 - 200 g Βορίου/στρ που αντιστοιχεί με μία «κανονική» λίπανση.

Η περιεκτικότητα Βορίου των υδάτων που αντλούνται από γεωτρήσεις σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές είναι συχνά υψηλή, 2,0 mg/L, ή μεγαλύτερη. Τα ύδατα των φυσικών πηγών είναι συχνά πλούσια στο χημικό αυτό στοιχείο. Η χρήση τέτοιων υδάτων για ύδρευση και για άρδευση μπορεί μακροπρόθεσμα να προκαλέσει συσσώρευση Βορίου στα εδάφη. Κατά τον Bergmann (1992) έτσι πιθανόν εξηγείται η αύξηση των περιστατικών τοξικότητας Βορίου σε περιοχές οπωροκηπευτικών καλλιεργειών.

Η χρήση βοριούχων αλάτων Na στα αστικά απορρυπαντικά έχει ως συνέπεια τη διείσδυση του Βορίου στο υδατικό οικοσύστημα, δηλ. Στα επιφανειακά ύδατα, αλλά και στους υπόγειους υδροφορείς. Παρόμοια ρύπανση επίσης συντελείται και με βιομηχανικά λύματα εμπλουτισμένα με βοριούχες ενώσεις (Αναλογίδης, 2007).

2.5.3. Συμπτώματα τοξικότητας Βορίου

Τα τοξικά συμπτώματα του Βορίου στα φυτά αρχικά παρουσιάζονται στα παλιά φύλλα ως κίτρινες κηλίδες ή ακόμα ξηραίνονται οι κορυφές των ελασμάτων των φύλλων και οι άκρες αυτών. Η χλώρωση και ξήρανση επεκτείνεται προς το κέντρο του ελάσματος καθώς και μεταξύ των νευρώσεων, όταν η συγκέντρωση Βορίου στο έλασμα αυξάνεται.

Στα φυτά που είναι ευαίσθητα στην παρουσία Βορίου στο νερό άρδευσης, όπως είναι η κερασιά, η δαμασκηλιά και άλλα φυτά, δεν παρουσιάζονται τα τυπικά συμπτώματα τοξικότητας στο έλασμα των φύλλων αλλά είναι εμφανής η παρουσία κόλλας ή εκκρίσεων στους κλάδους και στους κορμούς των φυτών αυτών.

Τα τοξικά σημεία στα φύλλα των φυτών εμφανίζονται όταν η συγκέντρωση Βορίου υπερβεί σε αυτά τα 250 - 300 mg B kg⁻¹ ξηρής ουσίας. Τα συμπτώματα της τοξικότητας Βορίου στα φύλλα δεν παρουσιάζονται στα φυτά: ροδακινιά, δαμασκηλιά, μηλιά, αχλαδιά κ.α. Για το λόγο αυτό δεν ενδείκνυται η φυλλοδιαγνωστική για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης Βορίου. Στις περιπτώσεις αυτές συνιστάται η χημική ανάλυση των υδάτων άρδευσης και του εδάφους (Μήτσιος, 2004).

2.5.4. Αντιμετώπιση τοξικότητας Βορίου

Σε ότι αφορά τη διόρθωση τοξικών επιπέδων Βορίου στα γεωργικά εδάφη, σημειώνεται ότι εάν το pH του εδάφους είναι όξινο η τοξικότητα Βορίου μπορεί να αντιμετωπιστεί με ασβέστωση του εδάφους. Όμως τα αλατούχα εδάφη των ξηρών και ημίξηρων κλιματικών ζωνών που παρουσιάζουν και υψηλές συγκεντρώσεις Βορίου έχουν αλκαλικό pH και η ασβέστωση δεν θα απέτρεπε την τοξικότητα Βορίου. Σε τέτοια εδάφη το πλεονασματικό Βόριο μπορεί να απομακρυνθεί μόνο με έκπλυση, αλλά κατά τους Keren and Bingham (1985) για το σκοπό αυτό απαιτείται 3πλάσια ποσότητα νερού από ότι απαιτεί η απομάκρυνση του νατρίου (Αναφ. Αναλογίδης, 2004).

Η έκπλυση επιτυγχάνεται με την παρακάτω σχέση (Hofmann, 1980).

$$\left(\frac{C}{C_0}\right) \left(\frac{D}{D_s}\right) = 0,6$$

Όπου: C = Τελική συγκέντρωση Β στα εδάφη σε mg/Kg.

C₀ = Αρχική συγκέντρωση Β του εδάφους σε mg/Kg.

D = Βάθος νερού που εφαρμόζεται για έκπλυση σε cm.

D₀ = Βάθος εδάφους που εκπλύνεται σε cm.

Η παραπάνω εξίσωση είναι ανεξάρτητη από τη μέθοδο εφαρμογής του νερού είτε διά καταιονισμού ή διά λεκανών (Αναφ. Κουκουλάκης - Παπαδόπουλος, 2007).

Σε περιπτώσεις όπου τα προβλήματα τοξικότητας δεν είναι τόσο συχνά, σχετικά μικρές αλλαγές στην καλλιέργεια (σύστημα αμειψισποράς) μπορεί να δώσουν λύση στο πρόβλημα (Μήτσιος, 2004).

Σύμφωνα με έρευνες της Γεωπονικής Σχολής του ΑΠΘ, ο επιφανειακά τροποποιημένος με HDTMA-Br (οργανική τασενεργή ένωση του βρωμιούχου άλατος του N-κετυλ-N,N,N-τριμεθυλαμμωνίου), ζεόλιθος έχει την ικανότητα να προσροφά Βόριο και η ικανότητά του αυτή αυξάνει με την αύξηση του pH στην έντονα αλκαλική περιοχή (≈9,2). Παρόλα αυτά, τα ποσά Βορίου που προσροφούνται είναι χαμηλά, σχετικά με την προοπτική χρήσης του τροποποιημένου ζεόλιθου ως μέσο προσρόφησης για τη μείωση της περίσσειας Βορίου στο νερό άρδευσης (Διονυσίου *et al*, 2006).

2.6. Θρεπτική διαθεσιμότητα Βορίου

2.6.1. Προσδιορισμός του διαθέσιμου Βορίου στο έδαφος

Ο προσδιορισμός του διαθέσιμου Βορίου του εδάφους γίνεται με την τροποποιημένη μέθοδο της Κουρκουμίνης που χρησιμοποιεί 2-ethyl-1,3-hexanediol και με τη μέθοδο της Αζωμεθίνης.

Μέθοδος Αζωμεθίνης

(Βλέπε σελ. 88).

2.6.2. Προσδιορισμός του Βορίου στο νερό άρδευσης

Για τον προσδιορισμό του Βορίου στα ύδατα άρδευσης χρησιμοποιείται η μέθοδος της Αζωμεθίνης καθώς και η μέθοδος της Κουρκουμίνης.

Για τον προσδιορισμό του Βορίου με τη μέθοδο της Αζωμεθίνης ακολουθείται η ίδια διαδικασία με την οποία γίνεται ο προσδιορισμός του στοιχείου στο έδαφος, με τη διαφορά ότι για το νερό άρδευσης δεν πραγματοποιείται εκχύλιση με ζέον ύδωρ.

Μέθοδος της Κουρκουμίνης

Η μέθοδος της Κουρκουμίνης στηρίζεται στον φασματοφωτομετρικό προσδιορισμό έγχρωμου συμπλόκου (ροζοκυανίνης) που σχηματίζεται ανάμεσα στο βορικό οξύ σε αλκαλικό περιβάλλον, στο οξαλικό οξύ και στο αντιδραστήριο της Κουρκουμίνης σε μήκος κύματος 540nm (Μήτσιος, 2004).

Οι ερευνητές Μήτσιος, Γκόλια και Ρίζου (2000), πραγματοποίησαν έρευνα για τη συγκέντρωση του Βορίου σε ύδατα αρδύσεως της Θεσσαλίας. Από τη σύγκριση των δύο παραπάνω μεθόδων για τον προσδιορισμό του Βορίου στα ύδατα άρδευσης της περιοχής που μελετήθηκε, προκύπτει ότι μεταξύ των μεθόδων αυτών δεν παρατηρούνται στατιστικώς σημαντικές διαφορές (Αναφ. Μήτσιος, 2004).

Κεφάλαιο 3: Συμπτώματα τροφοπενίας και τοξικότητας Βορίου σε διάφορες καλλιέργειες

3.1. Λαχανοκομικά φυτά

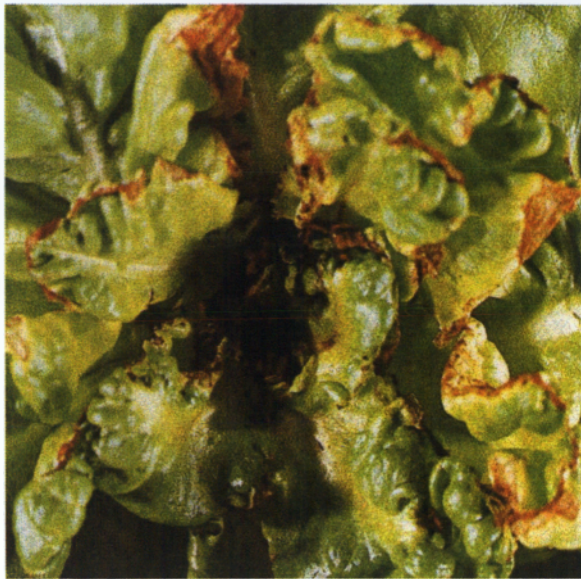
Μαρούλι

Σε συνθήκες έλλειψης Βορίου παρατηρείται μείωση της ανάπτυξης του φυτού και γενική καχεξία. Τα εσωτερικά φύλλα αποκτούν σκούρο πράσινο χρώμα και καρουλιάζουν, ενώ στα εξωτερικά παρατηρείται χλώρωση έως και νέκρωση η οποία ξεκινάει από την περιφέρεια του ελάσματος και σταδιακά επεκτείνεται σε ολόκληρο το φύλλο. Σε προχωρημένη τροφοπενία παρουσιάζεται αδυναμία σχηματισμού καρδιάς και νέκρωση της κορυφή.

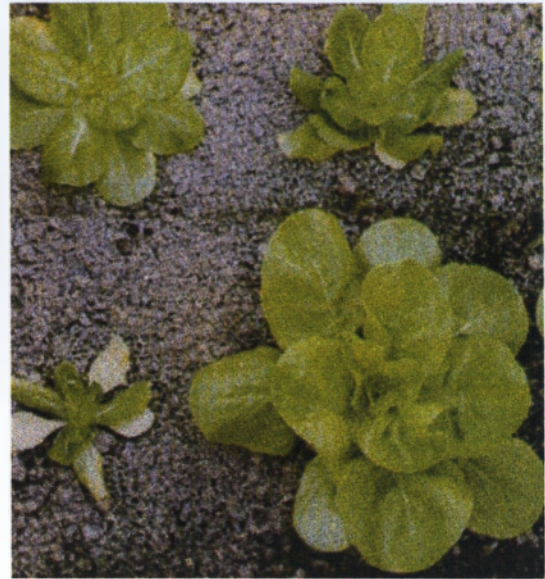
Σε συνθήκες τοξικότητας του στοιχείου παρατηρείται περιφερειακό κάψιμο των φύλλων. Αρχικά αναπτύσσονται μικρές καφέ νεκρωτικές κηλίδες στην περιφέρεια των κατώτερων φύλλων οι οποίες σταδιακά επεκτείνονται σε ολόκληρο το έλασμα έως ότου αυτό νεκρωθεί (G. Winson and P. Adams, 1987).



Εικόνα 3.1.1. Καρουλιασμα των φύλλων λόγω έλλειψης Βορίου
(G. Winson and P. Adams, 1987).



Εικόνα 3.1.2. Νέκρωση της κορυφή
(A.Scaife and M.Turner, 1983).



Εικόνα 3.1.3. Γενική καχεξία
(G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.1.4. Περιφερειακό κάψιμο των φύλλων λόγω τοξικότητας Βορίου
(G.Winson and P.Adams, 1987).

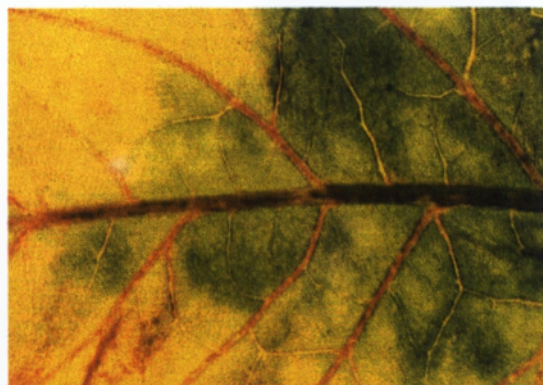
Τομάτα

Όταν η τροφοπενία είναι ήπιας μορφής, εμφανίζεται κιτρινοπορτοκαλί μεταχρωματισμός και ελαφρό καρούλιασμα των φυλλιδίων, στην κορυφή του φυτού. Σε έντονη μορφή τα φύλλα της κορυφής εμφανίζουν συστροφή, παραμόρφωση και νεκρώσεις. Σε κατά μήκος τομή, ο βλαστός στην κορυφή μπορεί να είναι κούφιος. Στα κατώτερα φύλλα παρατηρείται χλώρωση έως και νέκρωση η οποία ξεκινάει από την κορυφή του ελάσματος και επεκτείνεται σταδιακά σε ολόκληρο το φύλλο. Επίσης παρατηρείται καστανός μεταχρωματισμός των νευρώσεων των φύλλων και φελλώδεις περιοχές στους καρπούς γύρω από τον κάλυκα.

Σε συνθήκες τοξικότητας Βορίου παρατηρείται η δημιουργία μικρών καφέ νεκρωτικών κηλίδων στη περιφέρεια των κατώτερων φύλλων. Οι κηλίδες σταδιακά επεκτείνονται σε όλο το φύλλο έως ότου αυτό νεκρωθεί (G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.1.5. Τροφοπενία Βορίου
(G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.1.6. Καστανός μεταχρωματισμός των νευρώσεων
(G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.1.7. Φελλώδεις περιοχές γύρω από τον κάλυκα
(G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.1.8. Καρούλιασμα των φύλλων στις κορυφές
(Γεωργία - Κτηνοτροφία, 2007).



Εικόνα 3.1.9. Τοξικότητα Βορίου
(G.Winson and P.Adams, 1987).

Πιπεριά

Σε συνθήκες έλλειψης Βορίου στην πιπεριά παρατηρείται χλώρωση στις κορυφές των παλαιότερων φύλλων. Η χλώρωση επεκτείνεται σταδιακά σε όλη την περιφέρεια (αρχικά) και στις μεσονεύριες περιοχές του ελάσματος. Οι νευρώσεις αποκτούν καστανό χρώμα και τα φύλλα γίνονται παχιά και εύθρυπτα. Οι κορυφές των νεώτερων φυτών καρουλιάζουν και νεκρώνονται (G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.1.10. Χλώρωση της περιφέρειας του φύλλου
(G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.1.11. Καστανός μεταχρωματισμός των νευρώσεων
(G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.1.12. Καρούλιασμα των κορυφών σε νεαρά φυτά πιπεριάς
(Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.1.13. Τροφοπενία Βορίου
(G.Winson and P.Adams, 1987).

Σταυρανθή

Στην τροφοπενία Βορίου στα σταυρανθή τα φύλλα είναι χλωρωτικά στην περιφέρεια και μικρότερα του κανονικού. Στην επιφάνεια των μίσχων παρουσιάζονται ιστοί αποφελλωμένοι ή και αποφελλωμένες σχισμές. Στο στέλεχος, εσωτερικά παρατηρούνται διακεκομμένες ή συνεχόμενες κοιλότητες οι οποίες εξελίσσονται σε νέκρωση των ιστών καθώς τα φυτά πλησιάζουν στην ωρίμανση. Η κεφαλή στο κουνουπίδι γίνεται καστανή, ενώ στο λάχανο δεν κλείνει και στην κορυφή σχηματίζεται ρόδακας. Το έλασμα των εσωτερικών νεαρών φύλλων παρουσιάζει περιφερειακό κάψιμο ιδιαίτερα στο κορυφαίο τμήμα του (Παναγόπουλος, 2000).



Εικόνα 3.1.14. Αποφελλωμένοι ιστοί στο βλαστό
(A.Scaife and M.Turner, 1983).



Εικόνα 3.1.15. Αποφελλωμένοι ιστοί στο μίσχο του φύλλου
(A.Scaife and M.Turner, 1983).



Εικόνα 3.1.16. Χαρακτηριστικό σύμπτωμα τροφοπενίας Βορίου στο κουνουπίδι
(APS Press, 2000).



Εικόνα 3.1.17. Μεταχρωματισμός της κεφαλής στο κουνουπίδι
(A.Scaife and M.Turner, 1983).



Εικόνα 3.1.18. Ρόδακας στην κορυφή του βλαστού στο λάχανο
(A.Scaife and M.Turner, 1983).

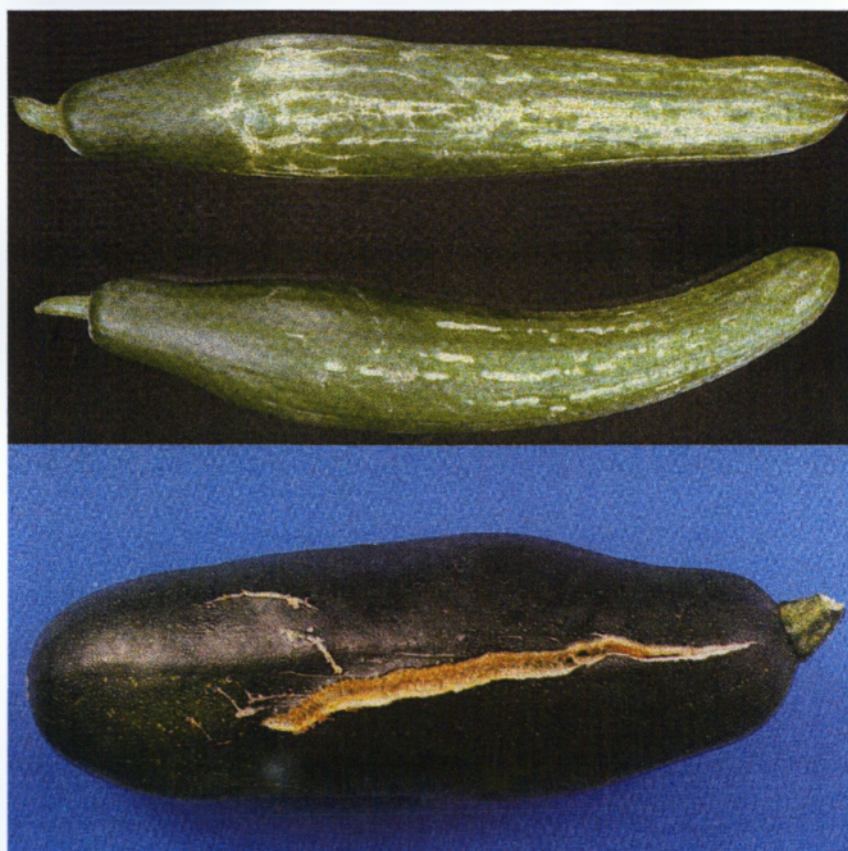


Εικόνα 3.1.29. Νέκρωση της κορυφή στο λάχανο
(A.Scaife and M.Turner, 1983).

Κολοκυνθοειδή

Σε συνθήκες έλλειψης Βορίου παρατηρείται περιφερειακή χλώρωση αρχικά στα κατώτερα φύλλα. Η χλώρωση σταδιακά επεκτείνεται προς το εσωτερικό του φύλλου και ανάμεσα στις νευρώσεις, ενώ η περιφέρεια νεκρώνεται. Τα νεαρά φύλλα συστρέφονται και τα άνθη γίνονται καχεκτικά. Γενικά, παρατηρείται ανώμαλη ανάπτυξη της κορυφής, παραμόρφωση των νεαρών βλαστών έως και νέκρωση. Στους καρπούς δημιουργούνται φελλώδης σχισμές κατά μήκος τους, ξεκινώντας από την κορυφή τους (αντίθετα από το μίσχο) και οι οποίες επεκτείνονται σε ολόκληρο τον καρπό.

Στην τοξικότητα Βορίου παρουσιάζεται έντονος αποχρωματισμός ή/και κάψιμο της περιφέρειας των φύλλων (G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.1.20. Φελλώδεις ιστοί στους καρπού αγγουριού (πάνω) και κολοκυθιού (κάτω)
(A.Scaife and M.Turner, 1983. G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.1.21. Τροφοπενία Βορίου σε αγγουριά θερμοκηπίου
(G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.1.22. Τροφοπενία Βορίου σε κολοκυθιά
(A.Scaife and M.Turner, 1983).



Εικόνα 3.1.23. Συμπτώματα τοξικότητας Βορίου σε φύλλο αγγουριάς
(G.Winson and P.Adams, 1987).



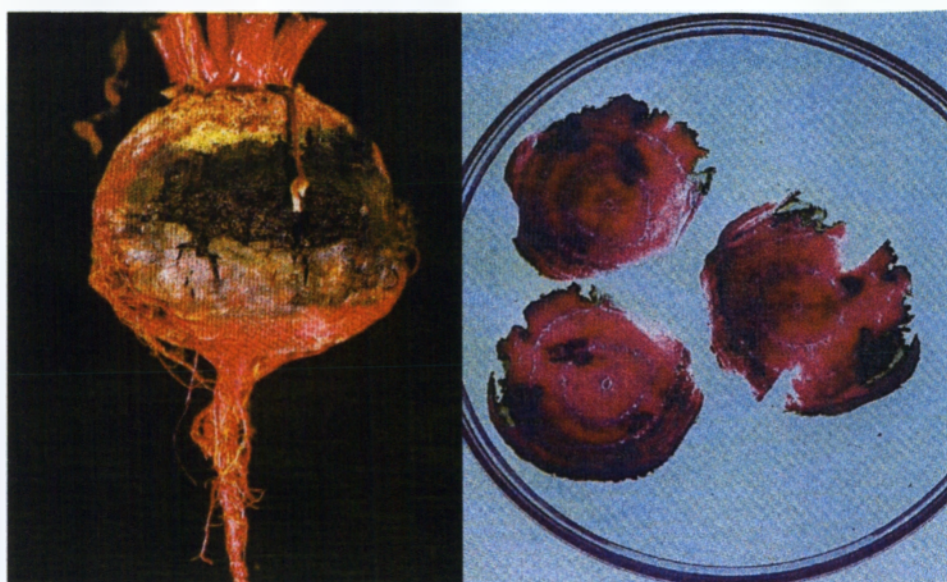
Εικόνα 3.1.24. Συμπτώματα τοξικότητας Βορίου σε φυτό αγγουριάς
(G.Winson and P.Adams, 1987).

Παντζάρι

Σε συνθήκες έλλειψη Βορίου τα φύλλα του παντζαριού εκφύονται μικρά, είναι εύθρυπτα, παραμορφωμένα και παχιά, ενώ αποκτούν σκούρο κόκκινο χρώμα. Οι μίσχοι γίνονται φελλώδεις και σπάνε εύκολα. Η επιφάνεια της ρίζα νεκρώνεται δίνοντας την εικόνα "μαύρης σήψης", ενώ μαύρες κηλίδες εμφανίζονται όταν λεπτές φέτες από την ρίζα τοποθετηθούν μέσα σε νερό (A.Scaife and M.Turner, 1983).



Εικόνα 3.1.25. Τροφοπενία Βορίου στο παντζάρι
(A.Scaife and M.Turner, 1983).



Εικόνα 3.1.26. Συμπτώματα τροφοπενίας Βορίου στη ρίζα του φυτού
(A.Scaife and M.Turner, 1983).

Καρότο

Η έλλειψη Βορίου στο καρότο εκδηλώνεται με αδυναμία ανάπτυξης του φυλλώματος και της ρίζας. Τα φυλλάρια αναπτύσσονται λίγο και συστρέφονται προς το εσωτερικό. Συχνά αποκτούν περιφερειακά κόκκινο - καφέ χρώμα και ξηραίνονται. Η κορυφή του βλαστού νεκρώνεται. Η ρίζα εσωτερικά είναι κούφια και εξωτερικά φελλώδης, ενώ σκίζεται κατά μήκος και "ανοίγει" μέχρι και 180° (A.Scaife and M.Turner, 1983).



Εικόνα 3.1.27. Συμπτώματα στο φύλλωμα
(A.Scaife and M.Turner, 1983).



Εικόνα 3.1.28. Συμπτώματα τροφопενίας Βορίου στο καρότο
(A.Scaife and M.Turner, 1983).

Φράουλα

Η τροφοπενία Βορίου στη φράουλα επηρεάζει τα νεαρά φύλλα και προκαλεί ξήρανση της κορυφής τους. Δημιουργεί κακοσχηματισμένους καρπούς και επηρεάζει σημαντικά την ανάπτυξη των ριζών. Πολλές φορές παρατηρείται χλώρωση (Μπονάτσος, 1998). Ακόμη, προκαλεί τη δημιουργία μικρών και ασύμμετρων φύλλων.

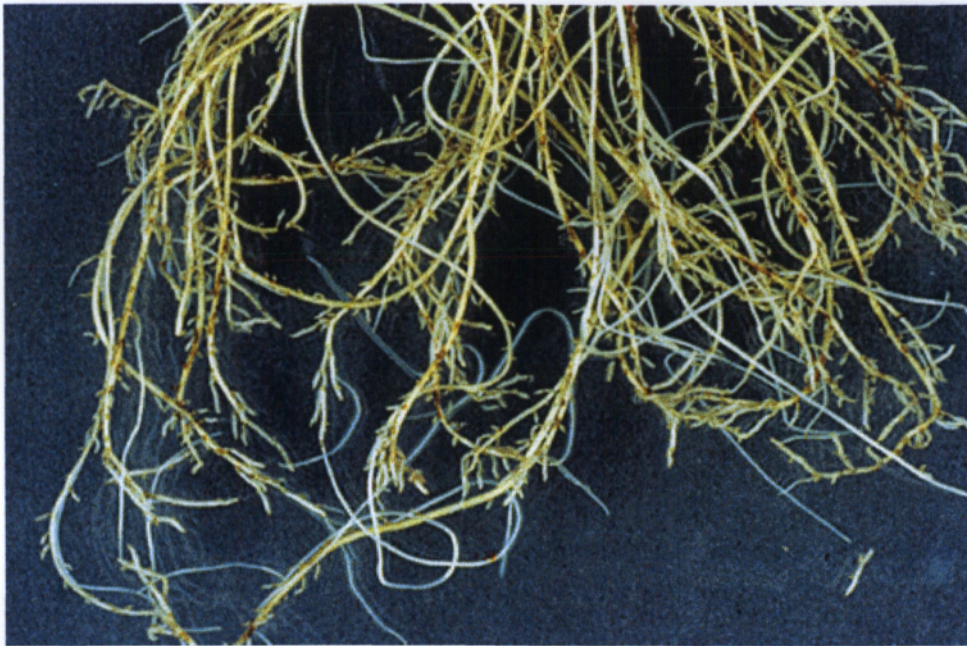
Σε συνθήκες τοξικότητας παρατηρείται περιφερειακό κάψιμο των φύλλων το οποίο σταδιακά επεκτείνεται σε ολόκληρο το έλασμα (APS Press, 2000).



Εικόνα 3.1.29. Δημιουργία ασύμμετρων φύλλων λόγω έλλειψης Βορίου (APS Press, 2000).



Εικόνα 3.1.30. Κακοσχηματισμένοι καρποί λόγω έλλειψης Βορίου (APS Press, 2000).



Εικόνα 3.1.31. Ανωμαλίες στην ανάπτυξη του ριζικού συστήματος λόγω έλλειψης Βορίου (APS Press, 2000).



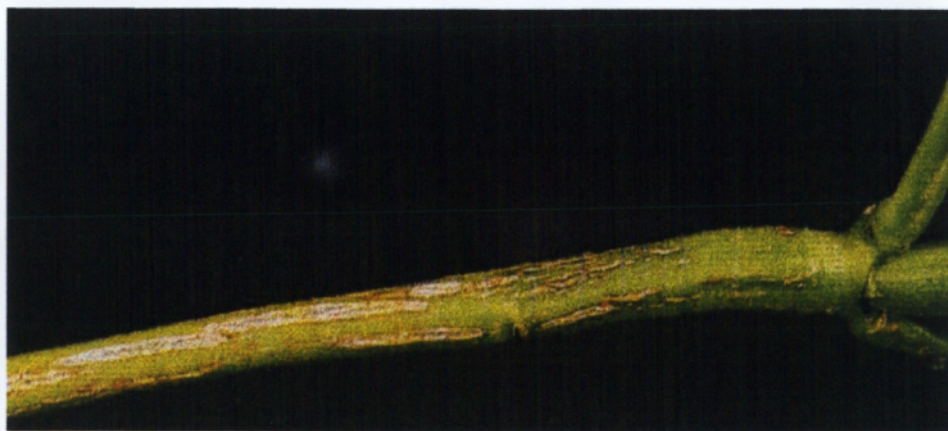
Εικόνα 3.1.32. Περιφερειακό κάψιμο λόγω τοξικότητας Βορίου σε φύλλα του φυτού (APS Press, 2000).

Φασόλι

Σε συνθήκες τροφοπενίας Βορίου παρουσιάζεται περιφερειακή χλώρωση σε όλα τα φύλλα του φυτού. Η χλώρωση επεκτείνεται στις μεσονεύριες περιοχές του ελάσματος και σε πολύ προχωρημένο στάδιο μόνο οι νευρώσεις παραμένουν πράσινες. Το κορυφαίο μερίστωμα νεκρώνεται, ενώ νέοι βλαστοί εκφύονται χωρίς όμως να αναπτύσσονται και πολύ σύντομα νεκρώνονται και αυτοί. Ο βλαστός γίνεται φελλώδης ξεκινώντας από κάτω προς τα πάνω (A.Scaife and M.Turner, 1983).



Εικόνα 3.1.33. Μεσονεύρια χλώρωση λόγω έλλειψης Βορίου στο φασόλι
(A.Scaife and M.Turner, 1983).



Εικόνα 3.1.34. Φελλώδεις ιστοί στη βάση του βλαστού
(A.Scaife and M.Turner, 1983).

Μπιζέλι

Στο μπιζέλι οι κορυφές νεκρώνονται και τα φύλλα εμφανίζουν χλώρωση σε όλη την επιφάνειά τους. Τα σπέρματα στους λοβούς είναι λίγα σε αριθμό, μικρά και παραμορφωμένα (A.Scaife and M.Turner, 1983). Σε συνθήκες έντονης τροφοπενίας οι μίσχοι είναι παχύτεροι, ενώ τα νεαρά φύλλα είναι μικρά σε μέγεθος και φέρουν καφέ νεκρωτικές κηλίδες Wallace (1961). Οι λοβοί μπορεί να είναι παραμορφωμένοι και τα φύλλα ζαρωμένα Hewitt (1945).



Εικόνα 3.1.35. Λοβοί με λίγα και παραμορφωμένα σπέρματα λόγω έλλειψης Βορίου (A.Scaife and M.Turner, 1983).

Σπανάκι

Στο σπανάκι οι κορυφές των φύλλων συστρέφονται, αποκτούν καστανό χρώμα και σταδιακά νεκρώνονται. Τα παλαιότερα φύλλα γίνονται παχιά και εύθρυπτα. Η κορυφή δεν αναπτύσσεται, ενώ τα νεαρά φύλλα είναι πολύ μικρά και γρήγορα ξηραίνονται. Ο βλαστός νεκρώνεται στην περιοχή του λαιμού και το ριζικό σύστημα όπως και το υπέργειο μέρος του φυτού καταρρέει (A.Scaife and M.Turner, 1983).



Εικόνα 3.1.36. Συμπτώματα προχωρημένης τροφοπενίας Βορίου στο σπανάκι
(A.Scaife and M.Turner, 1983).

Κρεμμύδι

Σε συνθήκες τροφοπενίας στο κρεμμύδι παρατηρείται χλώρωση των παλαιότερων φύλλων και σταδιακή νέκρωση. Στα φύλλα δημιουργούνται κίτρινες λωρίδες κάθετα των νευρώσεων, οι οποίες μετατρέπονται σε σχισμές. Οι σχισμές αυτές εμφανίζονται αρχικά 3 - 4 cm από τη βάση των φύλλων. Σε άλλες περιπτώσεις τα φύλλα αποκτούν σκούρο πράσινο έως και μπλε χρώμα, ενώ τα νεώτερα είναι χλωρά ή/και παραμορφωμένα και οι κορυφές ξηραίνονται (A.Scaife and M.Turner, 1983).



Εικόνα 3.1.37. Χαρακτηριστικό σύμπτωμα τροφοπενίας Βορίου στο κρεμμύδι (A.Scaife and M.Turner, 1983).

Πατάτα

Στην πατάτα η έλλειψη Βορίου εκδηλώνεται με έντονη συστροφή των φύλλων προς τα πάνω και περιφερειακή νέκρωση. Μικρές καστανές νεκρωτικές κηλίδες αναπτύσσονται ανάμεσα στις νευρώσεις και σταδιακά επεκτείνονται σε ολόκληρο το έλασμα ξεκινώντας από την κορυφή προς το μίσχο.

Η τοξικότητα Βορίου στην πατάτα εκδηλώνεται με περιφερειακό κάψιμο των φύλλων (Bergmann, 1988. Αναφ. Τσαπικούνης, 1997).



Εικόνα 3.1.38. Τροφοπενία Βορίου στην πατάτα
(APS Press,2000).



Εικόνα 3.1.39. Τοξικότητα Βορίου στην πατάτα
(Bergmann, 1988).

3.2. Ανθοκομικά φυτά

Γαρύφαλλο

Οι κορυφές των ανώτερων φύλλων γίνονται μαβ και ξηραίνονται. Η περιοχή του φύλλου που συνορεύει με την νεκρή κορυφή του γίνεται κόκκινη και σταδιακά ολόκληρο το έλασμα ξηραίνεται. Οι κάλυκες σχίζονται και ορισμένα μπουμπούκια μπορεί να είναι παραμορφωμένα ή/και δεν καταφέρνουν να αναπτυχθούν. Σε ορισμένες περιπτώσεις αναπτύσσονται πολύ λίγα πέταλα (G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.2.1. Συμπτώματα στα φύλλα
(G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.2.2. Συμπτώματα στα άνθη
(G.Winson and P.Adams, 1987).

Χρυσάνθεμο

Σε συνθήκες έλλειψης Βορίου τα φύλλα αποκτούν σκούρο πράσινο χρώμα και γίνονται πολύ εύθρυπτα. Τα πέταλα του άνθους δεν αναπτύσσονται πλήρως και δεν ξεδιπλώνονται, ενώ αποκολλούνται εύκολα από το άνθος. Όταν η τροφοπενία είναι έντονη η ανάπτυξη του φυτού αναστέλλεται και οι κορυφές των φύλλων αποκτούν σκούρο μπλε χρώμα, ενώ σε κάποιες ποικιλίες τα άνθη είναι μικρά και παραμορφωμένα.

Σε συνθήκες τοξικότητας τα φύλλα ξηραίνονται στις άκρες και αργότερα στις μεσονεύριες περιοχές, ενώ είναι πιθανό να παρουσιαστεί αναστολή της ανάπτυξης του φυτού (G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.2.3. Χαρακτηριστικό σύμπτωμα τροφοπενίας Βορίου στα πέταλα του άνθους (G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.2.4. Τοξικότητα Βορίου στο χρυσάνθεμο
(G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.2.5. Συμπτώματα τοξικότητας Βορίου στο φύλλο
(G.Winson and P.Adams, 1987).

Ποϊνσέτια (Αλεξανδρινό)

Η έλλειψη Βορίου εκδηλώνεται κυρίως με χλώρωση. Τα φύλλα γίνονται εύθρυπτα ιδιαίτερα στην περιφέρεια. Η ανάπτυξη είναι πιθανόν να ανασταλεί. Σε περιπτώσεις έντονης τροφοπενίας τα φύλλα αποχρωματίζονται πλήρως και μόνο μια μικρή περιοχή γύρω από την κεντρική νεύρωση παραμένει πράσινη. Οι νευρώσεις αποκτούν καστανό - καφέ χρώμα και οι ιστοί γύρω από αυτές νεκρώνονται (G.Winson and P.Adams, 1987).



Εικόνα 3.2.6. Συμπτώματα τροφοπενίας Βορίου σε φύλλα ποϊνσέτιας
(G.Winson and P.Adams, 1987).

Τριανταφυλλιά

Όταν υπάρχει τροφοπενία Βορίου οι κορυφές καρουλιάζουν και νεκρώνονται. Τα φύλλα είναι μικρά και από τους πλάγιους βλαστούς εκφύονται μικρά κακοσχηματισμένα και πολλές φορές παραμορφωμένα μπουμπούκια τα οποία σύντομα ξεραίνονται. Έχει παρατηρηθεί χλώρωση καθώς και αναστολή της ανάπτυξης.

Στην τοξικότητα από Βόριο εμφανίζονται καστανές νεκρωτικές κηλίδες στην περιφέρεια των παλαιότερων φύλλων (APS Press, 2000).



Εικόνα 3.2.7. Παραμορφωμένο άνθος λόγω έλλειψης Βορίου (APS Press, 2000).



Εικόνα 3.2.8. Τοξικότητα Βορίου (APS Press, 2000).

Φοινικοειδή (καλλωπιστικά)

Στα φοινικοειδή η τροφοπενία Βορίου εκδηλώνεται με χλώρωση η οποία ξεκινάει από τις άκρες των φύλλων και επεκτείνεται σταδιακά στις μεσοεύριες περιοχές. Την χλώρωση ακολουθεί καφέ μεταχρωματισμός και νέκρωση. Ο βλαστός συχνά είναι κούφιος και η κορυφή ξηραίνεται.

Τα συμπτώματα τοξικότητας στα φύλλα είναι παρόμοια με αυτά της τροφοπενίας γι' αυτό και είναι δύσκολος ο προσδιορισμός της θρεπτικής διαθεσιμότητας του στοιχείου μακροσκοπικά (APS Press, 2000).



Εικόνα 3.2.12. Τροφοπενία Βορίου σε φοινικοειδές
(APS Press, 2000).

3.3. Δενδρώδεις καλλιέργειες και αμπέλι

Ελιά

Τα πάσχοντα από έλλειψη Βορίου ελαιόδεντρα εμφανίζονται ως χλωρωτικά, ενώ στις σοβαρότερες των περιπτώσεων παρουσιάζουν μεγάλο αριθμό ξηρών κλαδίσκων σε ολόκληρη την κόμη. Οι κλαδίσκοι αυτοί έχουν συνήθως τη γνωστή ως «σκούπα» μορφή, λόγω της διαδοχικής έκπτυξης πολλών πλάγιων βλαστών, πριν την αποξήρανσή τους.

Το χαρακτηριστικό σύμπτωμα στα φύλλα είναι η χλώρωση του κορυφαίου τμήματος του ελάσματος. Αρχικά το χρώμα των χλωρωτικών ιστών είναι πρασινοκίτρινο και εν συνεχεία μετατρέπεται σε κίτρινο - πορτοκαλί και καταλαμβάνει το 1/3 - 2/3 του ελάσματος. Τα συμπτώματα αυτά εμφανίζονται πρώτα στα κορυφαία φύλλα των νεαρών βλαστών, στη συνέχεια και στα κατώτερα. Σε ορισμένα φύλλα παρατηρείται ξήρανση της κορυφής του ελάσματος. Επίσης, σε προχωρημένες φάσεις της τροφοπενίας εμφανίζεται μικροφυλλία και παραμόρφωση των φύλλων (φύλλα ροπαλόμορφα) (Παναγόπουλος, 2007). Ακόμη, δεν σχηματίζονται ανθοφόροι οφθαλμοί και κατά συνέπεια ταξιανθίες την άνοιξη. Σε ασθενέστερες περιπτώσεις τα δένδρα ανθίζουν και καρποδεύουν, αλλά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού παρατηρείται έντονη καρπόπτωση (Ποντικής, 2000).



Εικόνα 3.3.1. Συμπτώματα έντονης τροφοπενίας Βορίου σε φύλλα ελιάς (Παναγόπουλος, 2007).

Αμπέλι

Σε συνθήκες έλλειψης Βορίου οι κληματίδες έχουν βραχέα μεσογονάτια διαστήματα, ενώ παρατηρείται μεσονεύρια χλώρωση στα φύλλα. Τα νεότερα φύλλα είναι παραμορφωμένα, κατσαρά ή ασυμμέτρως αναπτυγμένα. Οι ακραίοι οφθαλμοί νεκρώνονται και παρατηρείται έκπτυξη πλάγιων οφθαλμών οι οποίοι παράγουν βραχείς και παραμορφωμένους βλαστούς. Στους βότρυες παρατηρείται μικρή καρπόδεση, μικρορραγία και ανισορραγία. Πολλές από τις ράγες δεν έχουν σπέρματα και μερικές φορές εμφανίζεται εσωτερική φέλλωση των ραγών (Ζάχος *et al*, 1973).

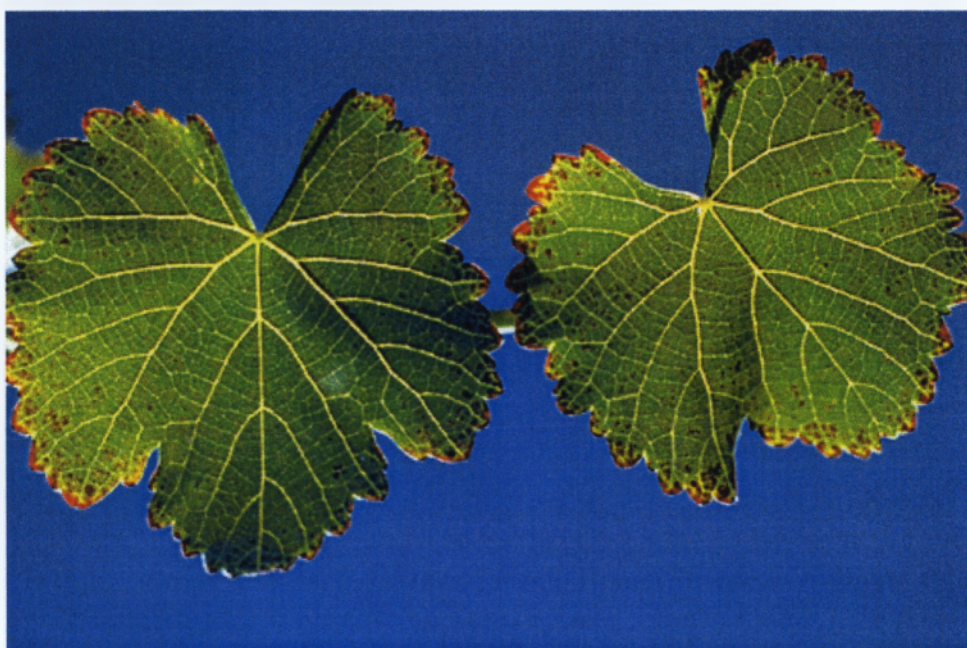
Η τοξικότητα Βορίου εκδηλώνεται με περιφερειακό κάψιμο των φύλλων ή/και με νεκρωτικές καφέ - κόκκινες κηλίδες ανάμεσα στις νευρώσεις (αρχικά στα κατώτερα φύλλα) (APS Press, 2000).



Εικόνα 3.3.2. Τροφοπενία Βορίου
(APS Press, 2000).



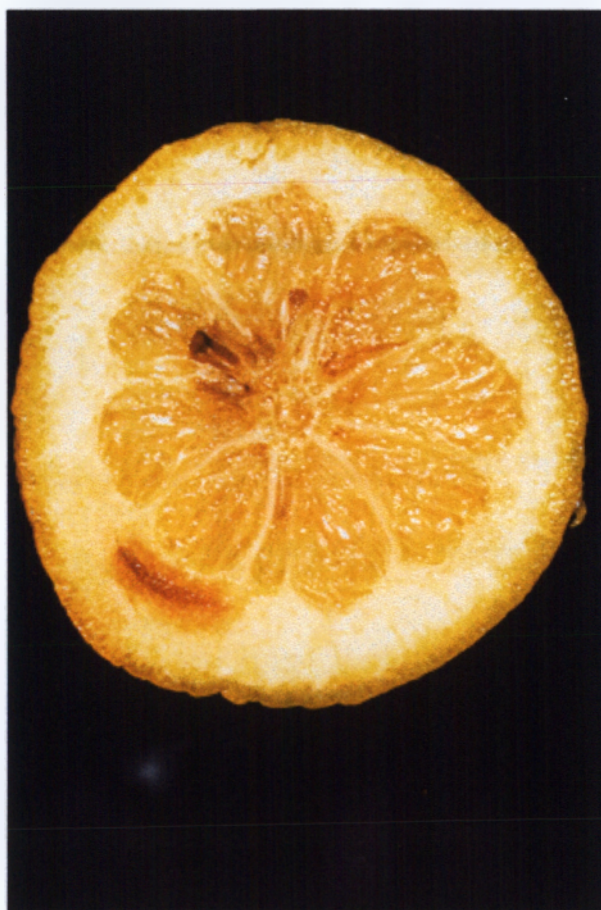
Εικόνα 3.3.3. Μικροραγία λόγω έλλειψης Βορίου
(APS Press, 2000).



Εικόνα 3.3.4. Συμπτώματα τοξικότητας σε φύλλα αμπέλου
(APS Press, 2000).

Εσπεριδοειδή

Όταν υπάρχει έλλειψη Βορίου η επιφάνεια των καρπών εμφανίζεται σκληρή κατά θέσεις που αντιστοιχούν σε αποθέσεις κόμμεος στο λευκό τμήμα του φλοιού. Αποθέσεις κόμμεος παρατηρούνται και στο εσωτερικό του καρπού, ιδίως γύρω από τα σπέρματα τα οποία μπορεί να λείπουν. Οι καρποί είναι μικροί, σκληροί, έχουν παχύ φλοιό και λίγο χυμό. Παρατηρείται πτώση νεαρών καρπών και ενίοτε διάρρηξη του φλοιού. Το φύλλωμα παρουσιάζει ελαφρό μαρασμό και το έλασμα των φύλλων αποκτά χρώμα κιτρινοκαστανό και μπορεί να εμφανίσει καρούλιασμα προς τα κάτω. Σε σοβαρές περιπτώσεις παρατηρείται σχίσμο και φέλλωση των νεύρων στην πάνω επιφάνεια των φύλλων και στο φλοιό των κλαδίσκων. Οι κλαδίσκοι αποφυλλούνται και παρουσιάζουν νέκρωση στην κορυφή (Παναγόπουλος, 2007).



Εικόνα 3.3.5. Συμπτώματα τροφοπενίας στον καρπό
(APS Press, 2000).

Μηλιά

Στη μηλιά, σε συνθήκες έλλειψης Βορίου, μειώνεται η ανθοφορία και η καρπόδεση. Στο εσωτερικό των καρπών αναπτύσσονται φελλώδεις κηλίδες, ενώ στην επιδερμίδα αναπτύσσονται κηλίδες σκουριάς και σχισμές. Αρχικά σχηματίζονται μικρά στίγματα στην επιδερμίδα των καρπών που αργότερα σκληραίνουν και καταλήγουν σε πτυχώσεις. Στους βλαστούς αναπτύσσεται εσωτερική νέκρωση του φλοιού. Η επιφάνεια του φλοιού εξελίσσεται ακανόνιστα, πολύ αργότερα σχίζεται και ανυψώνεται ελαφρά. Ακόμη, παρατηρείται έντονη αποφύλλωση των βλαστών και συγκέντρωση των φύλλων και των ανθέων στα άκρα του βλαστού σαν ροζέτες (Στυλιανίδης et al, 2002).



Εικόνα 3.3.6. Εσωτερικές φελλώδεις κηλίδες λόγω έλλειψης Βορίου (Στυλιανίδης et al, 2002).



Εικόνα 3.3.7. Βλαστός μηλιάς με συμπτώματα έλλειψης Βορίου (Στυλιανίδης et al, 2002).

Αχλαδιά

Τα συμπτώματα τροφοπενίας Βορίου στην αχλαδιά είναι παρόμοια με της μηλιάς. Σε σοβαρές περιπτώσεις οι οφθαλμοί και οι νεαροί βλαστοί ξηραίνονται. Επίσης, παρατηρείται μαύρισμα και αποξήρανση των ανθέων. Στην επιφάνεια του καρπού και ιδίως γύρω από τον κάλυκα σχηματίζονται μικρά εξογκώματα και βαθουλώματα. Ακολουθεί ο σχηματισμός σκούρων κηλίδων και κατόπιν μιας σκούρου χρώματος μάζας φελλοποιημένων ιστών (Στυλιανίδης et al, 2002).



Εικόνα 3.3.8. Εσωτερικά συμπτώματα ανεπάρκειας Βορίου σε καρπό αχλαδιάς (Στυλιανίδης et al, 2002).

Ροδακινιά

Σε συνθήκες έλλειψης Βορίου τα φύλλα της ροδακινιάς είναι μικρά, παχιά και δερματώδη, παραμορφωμένα και με φαρδιά και κίτρινα φελλώδη κύρια νεύρα. Μερικά φύλλα μπορεί να έχουν κάποια συστροφή προς τα άνω με διάσπαρτες κίτρινες αποχρώσεις. Μπορεί επίσης να σχηματίζουν ροζέτες στους κόμβους. Οι βλαστοί ξεραίνονται από την κορυφή προς τα κάτω. Όταν υπάρχει πολύ μεγάλη έλλειψη, οι αγωγοί ιστοί φράσσονται, με αποτέλεσμα το μαρασμό και στη συνέχεια τη ξήρανση των νεαρών και συνήθως πλάγιων βλαστών. Ο φλοιός γίνεται τραχύς και τα φακίδια μεγάλα. Πολλοί οφθαλμοί στους κόμβους μπορεί να εκπτυχθούν και να ξηραθούν ύστερα από λίγο (Στυλιανίδης et al, 2002).



Εικόνα 3.3.9. Ξηρές κορυφές σε δένδρο ροδακινιάς λόγω έλλειψης Βορίου (Στυλιανίδης et al, 2002).



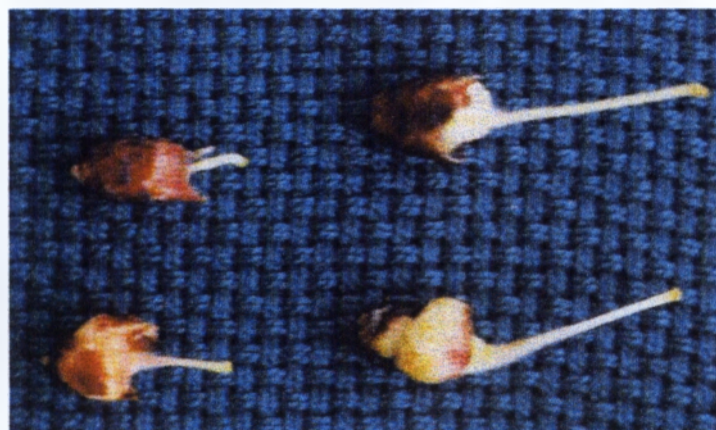
Εικόνα 3.3.10. Συρρίκνωση σπερμάτων των καρπών ροδακινιάς (Στυλιανίδης et al, 2002).

Βερικοκιά

Η ανεπάρκεια Βορίου στη βερικοκιά εκδηλώνεται με έντονη συρρίκνωση των σπερμάτων σε ποσοστά που κυμαίνονται από 50 - 100%. Σε ποσοστό καρπών γύρω στο 10%, παρατηρήθηκαν στη σάρκα που ήταν σε επαφή με τον πυρήνα μεγάλες κηλίδες σκούρου καφέ χρώματος, αποφελλωμένες. Επιπλέον ποσοστό ανθέων 5 - 10% έχει παρουσιάσει ατροφία του στύλου του ύπερου (Στυλιανίδης et al, 2002).



Εικόνα 3.3.11. Σκούρες κηλίδες στην σε επαφή με τον πυρήνα σάρκα (Στυλιανίδης et al, 2002).



Εικόνα 3.3.12. Άνθη με ατροφικό ύπερο (αριστερά) λόγω ανεπάρκειας Βορίου (Στυλιανίδης et al, 2002).

Κερασιά

Σε συνθήκες ανεπάρκειας Βορίου στην κερασιά, τα φύλλα είναι χλωρωτικά μεταξύ των νευρώσεων και οι οδοντώσεις είναι νεκρωτικές και ρητινοειδής. Παρατηρείται μειωμένη ακραία βλάστηση, αδυναμία έκπτυξης οφθαλμών, αποφύλλωση, κακή ανάπτυξη ανθέων καθώς και ξήρανση των κορυφών των ακραίων βλαστών μετά την έναρξη της βλάστησης (Westwood and Wann, 1966).



Εικόνα 3.3.13. Ελαττωματικά άνθη (δεξιά) λόγω ανεπάρκειας Βορίου (Στυλιανίδης et al, 2002).



Εικόνα 3.3.14. Βλαστός κερασιάς με ανεπάρκεια Βορίου (αριστερά) (Στυλιανίδης et al, 2002).

Αμυδαλιά

Στην τροφοπενία Βορίου οι καρποί δεν σχηματίζουν σπέρμα ή σχηματίζουν μέρος μόνον αυτού. Τόσο δε το εσωτερικό του καρπού, όσο και η επιφάνεια του περικαρπίου εμφανίζουν συνήθως άφθονη κομμίωση και η επιφάνεια του περικαρπίου γίνεται τραχεία. Αργότερα ακολουθεί ξήρανση των κορυφών. Σε ορισμένες ποικιλίες εκδηλώνονται έντονες καρποπτώσεις (Στυλιανίδης et al, 2002).



Εικόνα 3.3.15. Συμπτώματα τροφοπενίας Βορίου σε καρπούς αμυδαλιάς (Στυλιανίδης et al, 2002).

Ακτινιδιά

Σε συνθήκες ανεπάρκειας Βορίου εμφανίζεται χλώρωση του φυλλώματος. Το έλασμα αποκτά ανοιχτό πράσινο έως ανοιχτό κίτρινο χρώμα στις περιοχές γύρω από τις κύριες νευρώσεις.

Σε περιπτώσεις τοξικότητας εμφανίζονται καφέ - καφεκόκκινες νεκρωτικές κηλίδες στα φύλλα και το έλασμα σταδιακά ξεραίνεται.



Εικόνα 3.3.16. Τροφοπενία Βορίου στην ακτινιδιά
(Στυλιανίδης et al, 2002).



Εικόνα 3.3.17. Τοξικότητα Βορίου σε φύλλο ακτινιδιάς
(Στυλιανίδης et al, 2002).

3.4. Φυτά μεγάλης καλλιέργειας

Ψοχανθή

Στη μηδική, σε συνθήκες έλλειψης Βορίου τα νεαρά φύλλα όπως και τα μεσογονάτια διαστήματα είναι μικρά. Τα φυτά αποκτούν το σχήμα της ροζέτας. Τα ανώτερα φύλλα και οι οφθαλμοί κιτρινίζουν ή κοκκινίζουν και δεν σχηματίζονται άνθη.

Η τροφοπενία Βορίου στο τριφύλλι εκδηλώνεται με ερυθρίαση των φύλλων και μωβ μεταχρωματισμό της κορυφής των νεαρών κυρίως φύλλων (Πολίτης, 1998).



Εικόνα 3.4.1. Συμπτώματα τροφοπενίας Βορίου στη μηδική (APS Press, 2000).

Βαμβάκι

Η έλλειψη Βορίου στο βαμβάκι εκδηλώνεται με νεκρώσεις της κορυφής των βλαστών και στη συνέχεια με έκπτυξη των πλάγιων βλαστών που έχουν κοντά μεσογονάτια διαστήματα, με αποτέλεσμα να προσδίδουν στο βαμβάκι όψη πυκνής βλάστησης. Τα νεαρά φύλλα είναι κιτρινοπράσινα, τα καρύδια είναι μικρά σε μέγεθος και έχουν ανοιχτό πράσινο χρώμα. Επίσης, παρατηρούνται ρωγμές στους μίσχους των λουλουδιών και μερικές φορές στη βάση των καρυδιών. Τα συμπτώματα εμφανίζονται στα κατώτερα τμήματα του φυτού (Μήτσιος, 2004).



Εικόνα 3.4.2. Νεκρωση της κορυφής λόγω έλλειψης Βορίου
(APS Press, 2000).



Εικόνα 3.4.3. Συμπτώματα τροφοπενίας στα φύλλα
(APS Press, 2000).

Καπνός

Με την έλλειψη του Βορίου στον καπνό τα κορυφαία φύλλα αποκτούν χρώμα ανοιχτό πράσινο και είναι παραμορφωμένα. Σε περιπτώσεις έντονης τροφοπενίας παρατηρείται νέκρωση του κορυφαίου οφθαλμού και τα υπάρχοντα φύλλα γίνονται σκούρα πράσινα. Οι πλάγιοι μασχαλιαίοι οφθαλμοί, οι οποίοι είναι πλησίον της κορυφής του φυτού, δεν αναπτύσσονται (Μήτσιος, 2004).



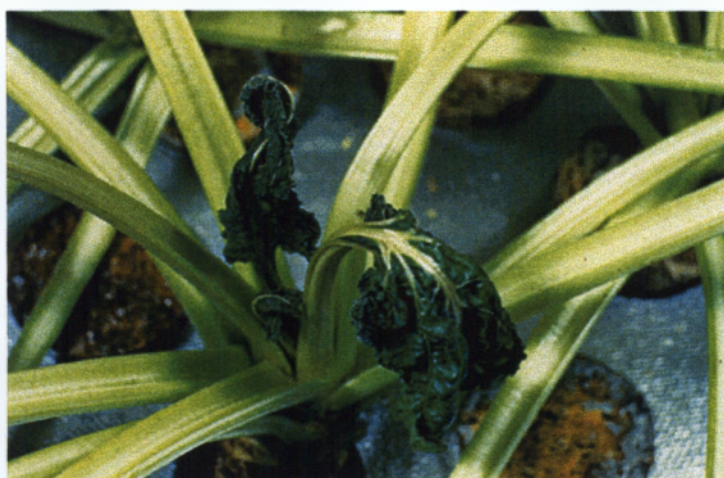
Εικόνα 3.4.4. Συμπτώματα τροφοπενίας Βορίου στον καπνό
(APS Press, 2000).



Εικόνα 3.4.5. Νέκρωση της κορυφής λόγω έλλειψης Βορίου
(Ινστιτούτο Καπνού Ελλάδας).

Ζαχαρότευτλα

Σε συνθήκες ανεπάρκειας Βορίου στα ζαχαρότευτλα, στο υπέργειο μέρος παρατηρείται ασθενική και πυκνή ανάπτυξη των νεότερων φύλλων. Τα μεσονεύρια τμήματα του ελάσματος είναι παχιά και εύθρυπτα και εμφανίζουν κιτρινωπές κηλίδες. Τα ελάσματα συστρέφονται και καρουλιάζουν, οι δε μίσχοι αναπτύσσουν καστανόχρωμες επιμήκεις ρωγμές, που στη βάση του φύλλου μαυρίζουν και εκκρίνουν ένα παχύρευστο υγρό. Καθώς η τροφοπενία εξελίσσεται, προσβάλλει και τα παλαιότερα φύλλα που αρχικά κιτρινίζουν και στη συνέχεια παίρνουν ένα καστανόμαυρο χρώμα. Η κύρια ζημιά της τροφοπενίας εκδηλώνεται στην κορυφή της ρίζας με καταστροφή των ιστών της.



Εικόνα 3.4.6. Συμπτώματα τροφοπενίας Βορίου στα φύλλα
(APS Press, 2000).



Εικόνα 3.4.7. Συμπτώματα τροφοπενίας στη ρίζα του φυτού
(APS Press, 2000).

Αραβόσιτος

Στον αραβόσιτο τα συμπτώματα της τροφοπενίας Βορίου σπάνια φαίνονται. Τα φυτά έχουν θαμνώδη εμφάνιση διότι τα ανώτερα μεσογονάτια διαστήματα δεν επιμηκύνονται. Οι φόβες και σπάδικες είναι μικροί ή ακόμη και δεν εξέρχονται καθόλου από τα περιβάλλοντα αυτούς φυτικά μέρη. Στα παλαιότερα φύλλα εμφανίζονται κιτρινόλευκες ραβδώσεις και πολλές φορές μπορεί να προκληθεί περιφερειακό καψάλισμα των φύλλων (Δαλιάνης, 1999).

Σε ορισμένες ποικιλίες παρατηρείται νέκρωση της κορυφής του σπάδικα, ενώ τα σπέρματα σε αυτόν είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένα, λίγα σε αριθμό και κάποια από αυτά παραμορφωμένα (A.Scaife and M.Turner, 1983).



Εικόνα 3.4.8. Συμπτώματα τροφοπενίας Βορίου στον αραβόσιτο
(A.Scaife and M.Turner, 1983).

Κεφάλαιο 4: Μελέτη της επίδρασης διαφορετικών δόσεων Αζώτου και υγρασίας στην πρόσληψη του Βορίου από το έδαφος και στην ανάπτυξη του μαρουλιού (*Lactuca sativa*)

4.1. Εισαγωγή

Ο πειραματικός προσδιορισμός των αναγκών σε βασικά θρεπτικά στοιχεία, καθώς και η εφαρμογή της φυλλοδιαγνωστικής είναι αναγκαία για τη σωστή θρέψη και λίπανση των φυτών.

Όπως είναι γνωστό, η περιεκτικότητα των φυτικών ιστών σε άζωτο επί της ξηρής ουσίας, κυμαίνεται από 1 έως 5 %. Η συνήθης περιεκτικότητα του ολικού αζώτου για πολλές καλλιέργειες κυμαίνεται από 2,5 - 3,5 %.

Το άζωτο απορροφάται από το ριζικό σύστημα σαν NO_3^- και NH_4^+ ιόν. Είναι συστατικό των αμινοξέων, πρωτεϊνών, συνενζύμων, νουκλεϊκών οξέων, της χλωροφύλλης κ.α. Ακόμη, θεωρείται ως ρυθμιστής της βλάστησης και της καρπόδεσης.

Ο φώσφορος κατέχει ρόλο κλειδί στις διεργασίες του μεταβολισμού και της βιοσύνθεσης, ενώ το κάλιο θεωρείται και αυτό μεγάλης σπουδαιότητας μιας και συμμετέχει στις φυσιολογικές και βιοχημικές διεργασίες των φυτικών κυττάρων.

Άλλα χημικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών είναι τα: C, H, O, Mg, Ca, S, Fe, Zn, Mn, Cu, B, Cl και Mo.

Για τη σωστή θρέψη των φυτών, εκτός από τις ποσότητες και τις αναλογίες των θρεπτικών στοιχείων, αποφασιστικό ρόλο παίζουν και άλλοι παράγοντες όπως η υγρασία, η θερμοκρασία, η ηλιοφάνεια και οι ιδιότητες του εδάφους.

4.2. Στόχοι του πειράματος

Ο στόχος του πειράματος ήταν ο προσδιορισμός της επίδρασης διαφορετικών δόσεων N και υγρασίας σε συνδυασμό με τη προσθήκη P, K και B:

1. Στην παραγωγή φυτικής βιομάζας στο μαρούλι.
2. Στη συγκέντρωση των θρεπτικών στοιχείων στους φυτικούς ιστούς και στο έδαφος.

Για το προσδιορισμό των παραπάνω στόχων πραγματοποιήθηκε πειραματισμός σε δοχεία ανάπτυξης φυτών στον υπαίθριο χώρο του εργαστηρίου Εδαφολογίας - Λιπασματολογίας και Αξιοποίησης Εδαφών της Σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας του ΤΕΙ Καλαμάτας.

4.3. Υλικά και μέθοδοι

Για την πραγματοποίηση του πειράματος στον πειραματικό χώρο του εργαστηρίου χρησιμοποιήθηκε η ποικιλία *Lactuca sativa var. Romana*. Τα χαρακτηριστικά της ποικιλίας αυτής είναι τα ακόλουθα: Φυτό όρθιο, με λεπτή επιμήκη κεφαλή στο εσωτερικό και λεπτά μακριά φύλλα στο εξωτερικό με χρώμα συνήθως σκούρο πράσινο. Τα φύλλα αναπτύσσονται σπειροειδώς επί του κοντού βλαστού και είναι λεία, πλατειά, διαφόρου μεγέθους και σχήματος, ωοειδή, καρποειδή, επιμήκη, είναι ακέραια ή κυματοειδή ή ακανόνιστα οδοντωτά. Είναι φυτό ποώδες, μονοετές. Ο βλαστός είναι πολύ κοντός και φέρει πυκνά φύλλα. Το ανθικό στέλεχος είναι όρθιο, χωρίς άκανθες, διακλαδιζόμενο και πολύφυλλο.

Τα δοχεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν χωρητικότητας 4,5 kg αεροξηραμένου εδάφους το οποίο πάρθηκε από το επιφανειακό στρώμα (0-30 εκ.) αγρού του κτήματος στην περιοχή του Ασπροχώματος. Ο συνολικός αριθμός των δοχείων ήταν 30.

Τα επίπεδα λίπανσης ήταν: N=0 g/kg, N=0,15 g/kg, N=0,30 g/kg, N=0,45 g/kg, N=0,60 g/kg, P=1 g/kg, K=1 g/kg και B=1 μg/kg αεροξηραμένου εδάφους.

Η μορφή των λιπασμάτων στη βασική λίπανση ήταν: υπερφοσφορικό (0-20-0), θειικό κάλιο (0-0-50), θειική αμμωνία (21-0-0). Η προσθήκη των λιπασμάτων έγινε ως εξής: ολόκληρη η ποσότητα του P, K και το 70% του N αναμείχθηκαν με το έδαφος κατά την εγκατάσταση. Όλη η ποσότητα του B προστέθηκε σε διάλυμα υπό τη μορφή βορικού οξέως (H_3BO_3) και ενσωματώθηκε στα δοχεία 7 μέρες μετά τη μεταφύτευση. Η υπόλοιπη ποσότητα N (30%) δόθηκε σε μια επιφανειακή λίπανση με τη μορφή νιτρικής αμμωνίας (33,5-0-0).

Το έδαφος τοποθετήθηκε σε δοχεία με κλειστό πυθμένα, προκειμένου να γίνεται άρδευση της καλλιέργειας μέσα από πλαστικό σωλήνα, το κάτω άκρο του οποίου κατέληγε σε ένα στρώμα από θρυμματισμένα κομμάτια πηλού. Πάνω από αυτά τοποθετήθηκε ένα φύλλο χαρτιού για να συγκρατεί το έδαφος.

Η υγρασία του εδάφους προβλεπόταν να διατηρηθεί σε όλη τη διάρκεια της καλλιέργειας στο 40 και 70 % της υδατοχωρητικότητας του εδάφους, με καθημερινή προσθήκη νερού ανάλογα με τις ανάγκες των φυτών και ύστερα από ζύγιση των δοχείων κάθε 2 ημέρες.

Η σπορά έγινε με σπόρο σε φελιζόλ και στη συνέχεια ακολούθησε μεταφύτευση στα δοχεία, όταν τα φυτά αναπτύχθηκαν περίπου 10 εκ. Ακολούθησε αραίωση και προληπτικό ριζοπότισμα με μυκητοκτόνο σκεύασμα.

4.4. Πειραματικό σχέδιο

Το πειραματικό σχέδιο παραβάλλεται στον πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Σχέδιο πειραματικού λίπανσης μαρουλιού σε δοχεία.

A/A	Μεταχειρίσεις	Επαναλήψεις
1	N0,P1,K1 + B 70% (Μάρτυρας)	1,2,3
2	N0,15,P1,K1 + B 70%	4,5,6
3	N0,30,P1,K1 + B 70%	7,8,9
4	N0,45,P1,K1 + B 70%	10,11,12
5	N0,60,P1,K1 + B 70%	13,14,15
6	N0,P1,K1 + B 40% (Μάρτυρας)	16,17,18
7	N0,15,P1,K1 + B 40%	19,20,21
8	N0,30,P1,K1 + B 40%	22,23,24
9	N0,45,P1,K1 + B 40%	25,26,27
10	N0,60,P1,K1 + B 40%	28,29,30

4.5. Δειγματοληψία - Αναλύσεις εδάφους και φυτικών ιστών

Δειγματοληψία φυτικών ιστών

Η δειγματοληψία των φυτών έγινε στο στάδιο της συγκομιδής. Διαχωρίστηκε το υπέργειο από το υπόγειο μέρος και στη συνέχεια μετρήθηκε το νωπό τους βάρος, το μήκος και ο αριθμός των φύλλων τους.

Έγινε πλύση των φυτικών ιστών με απορρυπαντικό, ξέπλυμα με άφθονο νερό και κατόπιν με απιονισμένο.

Οι φυτικοί ιστοί αφού στέγνωσαν, τοποθετήθηκαν στο ξηριαντήριο για 48 ώρες σε θερμοκρασία 75 °C. Στη συνέχεια ζυγίστηκαν τα ξηρά βάρη του φυτικού ιστού (υπέργειο και υπόγειο μέρος) και ακολούθησε θρυμματισμός και άλεση σε ειδικό μύλο.

Δειγματοληψία εδάφους

Η δειγματοληψία του εδάφους πραγματοποιήθηκε με ειδικό δειγματολήπτη από 5 διαφορετικά σημεία του δοχείου και σε βάθος 15-20 εκ. Η ποσότητα που πάρθηκε ήταν περίπου 70 - 80 g. εδάφους.

Ακολούθησε αεροζήρανση των δειγμάτων (άπλωμα σε ειδικό χώρο του εργαστηρίου ο οποίος αερίζεται επαρκώς, είναι μακριά από τα αντιδραστήρια και απαλλαγμένος από τους ατμούς των οξέων και την υγρασία) και κοσκίνισμα με κόσκινο των 2 mm.

Χημικές αναλύσεις εδάφους

Οι χημικές αναλύσεις του εδάφους πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο με τις παρακάτω μεθόδους:

- Ο προσδιορισμός του pH και της EC έγινε με εκχύλισμα κορεσμού 1:2.
- Ο προσδιορισμός της οργανικής ουσίας έγινε κατά Wakley - Black.
- Ο προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης έγινε με τη μέθοδο BOUYOUCOS.
- Ο προσδιορισμός του ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) έγινε κατά BERNARD.

- Ο προσδιορισμός του ανταλλάξιμου Κ έγινε φλωγοφωτομετρικά μετά από εκχύλιση με οξικό αμμώνιο.
- Ο προσδιορισμός του αφομοιώσιμου Ρ έγινε κατά OLSEN.
- Το Β μετρήθηκε δια ζέοντος ύδατος με τη μέθοδο της Αζωμεθίνης.

Μέθοδος Αζωμεθίνης

Η μέθοδος της Αζωμεθίνης χρησιμοποιείται ευρύτατα και παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα.

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει δύο στάδια στο τέλος των οποίων καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός του διαθέσιμου Βορίου. Αρχικά πραγματοποιείται εκχύλιση του στοιχείου από το έδαφος με κατάλληλα εκχυλιστικά διαλύματα και ακολουθεί ο προσδιορισμός με φασματοφωτόμετρο του έγχρωμου πλέον συμπλόκου που σχηματίζεται ανάμεσα στο βορικό οξύ σε υδατικό περιβάλλον και στο αντιδραστήριο της Αζωμεθίνης.

Για την εκχύλιση του Βορίου από τα εδάφη χρησιμοποιείται η μέθοδος της εκχύλισης με ζέον ύδωρ. Προκειμένου να ελευθερωθεί το Βόριο από τα ορυκτά, όπου είναι προσροφημένο, χρησιμοποιείται το CaCl_2 το οποίο αντικαθιστά το στοιχείο αυτό στις επιφάνειες των ορυκτών με αποτέλεσμα να παρατηρείται μεγαλύτερη συγκέντρωσή του στο εκχυλιστικό διάλυμα. Το εκχυλιζόμενο Βόριο στο διάλυμα αυτό μπορεί να προσδιοριστεί φασματοφωτομετρικά. Η εκχύλιση πραγματοποιείται σε ειδική συσκευή πέψης του οίκου Gerhardt των έξι θέσεων. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές υάλινες σφαιρικές φιάλες (SCHOTT DURAN 250 mL), απαλλαγμένες Βορίου και κάθετοι ψυκτήρες επαναροής (Μήτσιος, 2004).

Χημικές αναλύσεις φυτικού ιστού

Οι χημικές αναλύσεις στου φυτικούς ιστούς πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο με αποτέφρωση αυτών και δημιουργία stock διαλυμάτων. Ακολούθησε προσδιορισμός με τις παρακάτω μεθόδους:

- Το ανταλλάξιμο Κ προσδιορίστηκε φλωγοφωτομετρικά.

- Ο αφομοιώσιμος P φασματοφωτομετρικά.
- Το ολικό N προσδιορίστηκε με τη χρήση συσκευής micro-Kjeldahl (υγρή καύση - πέψη) και κατόπιν φασματοφωτομετρικά με τη μέθοδο της ινδοφαινόλης.
- Το B στους φυτικούς ιστούς προσδιορίστηκε με τη μέθοδο John (Αζωμεθίνης).

4.6. Αποτελέσματα – Συζήτηση

Σύμφωνα με τα ληφθέντα αποτελέσματα μελετήθηκε η επίδραση των επιπέδων του N και η προσθήκη B με φόντο τα διάφορα επίπεδα υδατοχωρητικότητας του εδάφους στην ανάπτυξη, απόδοση και συσσώρευση θρεπτικών στοιχείων στους φυτικούς ιστούς του μαρουλιού και στο έδαφος.

Στους πίνακες και στα διαγράμματα που ακολουθούν παρουσιάζονται αναλυτικά στοιχεία για τους παραπάνω αναφερόμενους παραμέτρους.

Εδαφικά χαρακτηριστικά

Στον πίνακα 4.2. παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

Πίνακας 4.2. Χαρακτηριστικά του εδάφους.

<i>Ιδιότητα</i>	<i>Τιμές</i>
<i>Μηχανική σύσταση</i>	Άμμος: 67,64%.
	Πλύς: 19,82%.
	Άργιλος: 12,54%.
	Έδαφος: Αμμοπηλώδες (SL).
<i>pH</i>	7,18
<i>EC</i>	757 $\mu\text{S}/\text{cm}$
<i>Οργανική ουσία</i>	1,98 %
<i>CaCO₃</i>	1,85 %

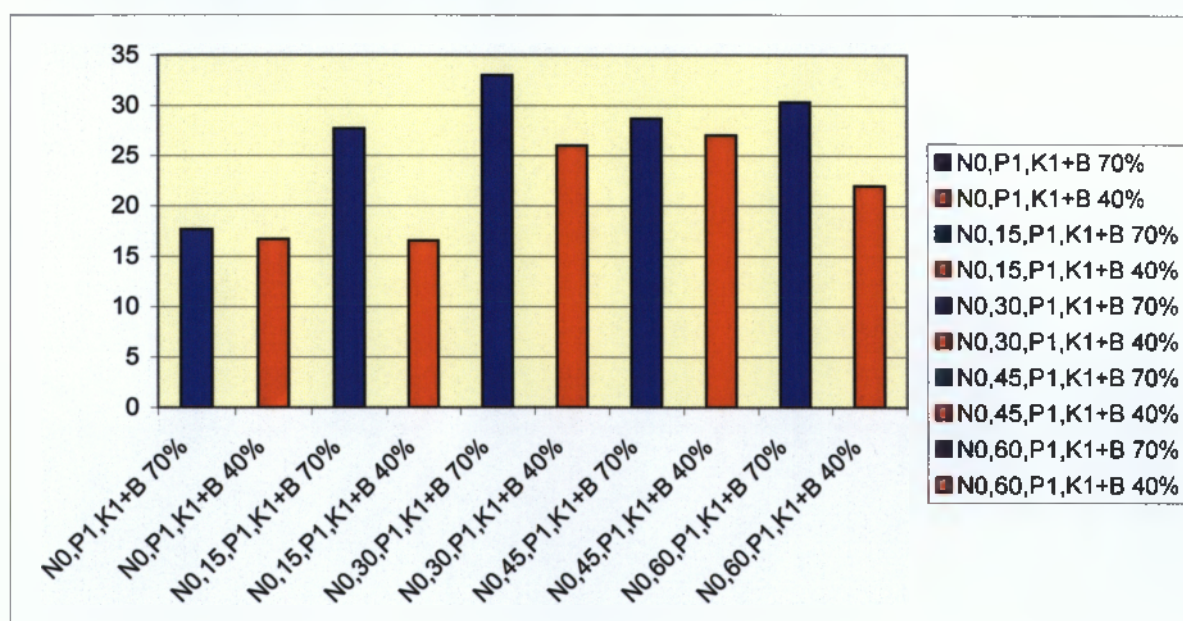
Ύψος φυτού

Στον πίνακα 4.3. και στο σχήμα 4.3.1. παρουσιάζονται τα στοιχεία του ύψους του φυτού.

Πίνακας 4.3. Στοιχεία του ύψους του φυτού (σε cm).

A/A	Μεταχειρίσεις	Ύψος σε cm.
1	N0,P1,K1 + B 70% (Μάρτηρας)	17,67
2	N0,15,P1,K1 + B 70%	27,67
3	N0,30P1,K1 + B 70%	33,00
4	N0,45P1,K1 + B 70%	28,67
5	N0,60P1,K1 + B 70%	30,33
6	N0,P1,K1 + B 40% (Μάρτηρας)	16,67
7	N0,15P1,K1 + B 40%	16,50
8	N0,30P1,K1 + B 40%	26,00
9	N0,45P1,K1 + B 40%	27,00
10	N0,60P1,K1 + B 40%	22,00

Σχήμα 4.3.1. Διαγραμματική απεικόνιση του ύψους (σε cm).



Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, τα φυτά που αναπτύχθηκαν στη μεταχείριση 1, όπου δεν έγινε προσθήκη N αλλά μόνο P, K και η υδατοχωρητικότητα ήταν 70%, τα φυτά είχαν το μικρότερο ύψος στο τέλος της βλαστικής περιόδου (17,67 cm.). Στις μεταχειρίσεις όπου με φόντο P, K προστέθηκαν διάφορα επίπεδα N (ήτοι: 0,15 - 0,30 - 0,45 - 60), τα φυτά ήταν περίπου κατά 86% μεγαλύτερα σε ύψος σε σύγκριση με το μάρτυρα και κυμαίνονταν από 27,7 - 33,0 cm.

Στις μεταχειρίσεις όπου το έδαφος ήταν 40% της υδατοχωρητικότητας η προσθήκη των δόσεων N, θα μπορούσαμε να πούμε πως δεν επέδρασε θετικά στο ύψος των φυτών. Έτσι, στη μεταχείριση χωρίς N το φυτό είχε ύψος 16,7cm, ενώ στις μεταχειρίσεις με N περίπου 26 - 27 cm.

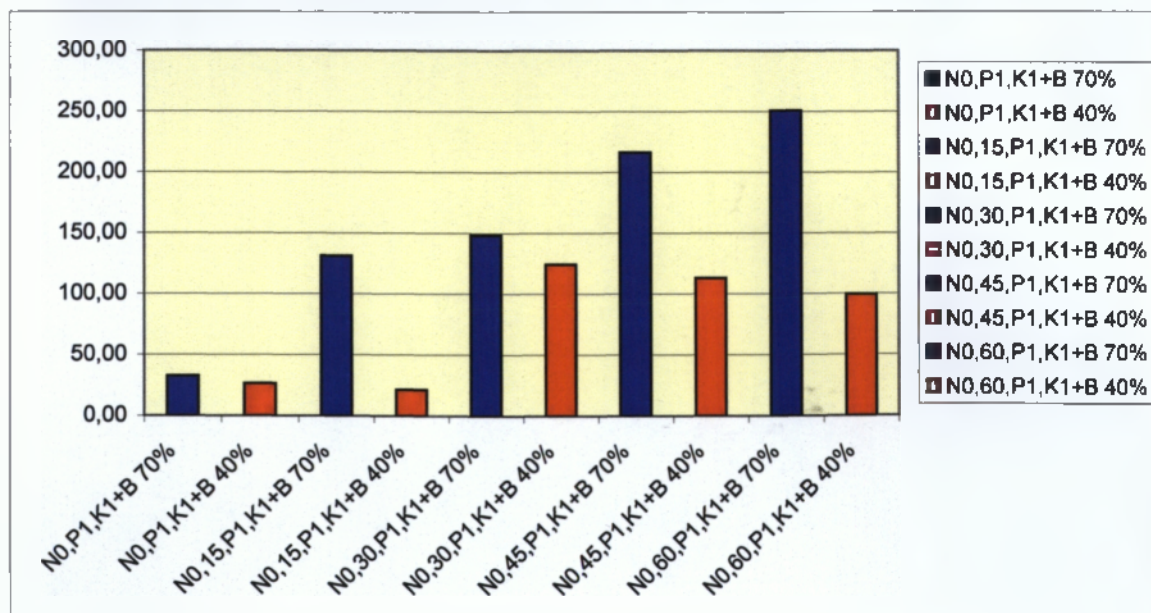
Νωπό βάρος

Στον πίνακα 4.4. και στο σχήμα 4.4.1. παρουσιάζονται τα στοιχεία του νωπού βάρους του φυτού.

Πίνακας 4.4. Στοιχεία του νωπού βάρους του φυτού (σε g).

A/A	Μεταχειρίσεις	Νωπό βάρος σε g.
1	N0,P1,K1 + B 70% (Μάρτηρας)	32,48
2	N0,15,P1,K1 + B 70%	130,81
3	N0,30P1,K1 + B 70%	147,91
4	N0,45P1,K1 + B 70%	216,01
5	N0,60P1,K1 + B 70%	250,38
6	N0,P1,K1 + B 40% (Μάρτηρας)	26,30
7	N0,15P1,K1 + B 40%	21,21
8	N0,30P1,K1 + B 40%	124,15
9	N0,45P1,K1 + B 40%	112,78
10	N0,60P1,K1 + B 40%	99,19

Σχήμα 4.4.1. Διαγραμματική απεικόνιση του νωπού βάρους των φυτών (σε g).



Τα φυτά που αναπτύχθηκαν στο έδαφος στην μεταχείριση χωρίς N και με το 70 % της υδατοχωρητικότητας είχαν το μικρότερο βάρος νωπής φυτομάζας. Στις μεταχειρίσεις με 70 % της υδατοχωρητικότητας και N 0,15 g/kg εδάφους έχουμε 5πλάσια περίπου αύξηση του νωπού βάρους (130,81 g φυτομάζας). Στις μεταχειρίσεις με N 0,30 – 0,60 g/kg εδάφους έχουμε αύξηση του νωπού βάρους της φυτομάζας ανά δοχείο (147,91 – 250,38 g), πράγμα που σημαίνει ότι κύριο στοιχείο της απόδοσης είναι το N και δεν είχε αρνητική επίδραση η μεγαλύτερη των δόσεων (4πλάσια της αρχικής).

Στις μεταχειρίσεις με 40 % της υδατοχωρητικότητας παρουσιάζεται αύξηση του βάρους της νωπής φυτομάζας όπου προστέθηκαν τα επίπεδα N 0,30 – 0,45 g/kg εδάφους, ενώ στη μεταχείριση με N 0,60 g/kg εδάφους είχαμε χαμηλότερο βάρος φυτομάζας που σημαίνει ότι τα λιπάσματα δεν αποδίδουν εάν δεν υπάρχει η κατάλληλη υγρασία του εδάφους.

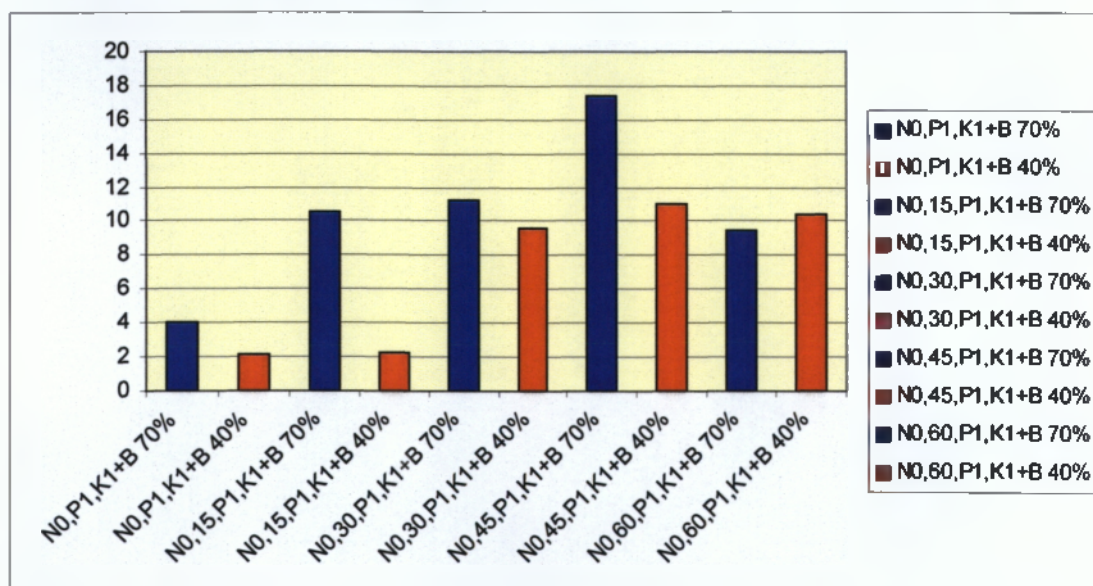
Ξηρό βάρος

Στον πίνακα 4.5. και στο σχήμα 4.5.1. παρουσιάζονται στα στοιχεία του ξηρού βάρους της φυτομάζας.

Πίνακας 4.5. Στοιχεία του ξηρού βάρους του φυτού (σε g).

A/A	Μεταχειρίσεις	Ξηρό βάρος σε g.
1	N0,P1,K1 + B 70% (Μάρτηρας)	3,99
2	N0,15,P1,K1 + B 70%	10,56
3	N0,30P1,K1 + B 70%	11,19
4	N0,45P1,K1 + B 70%	17,37
5	N0,60P1,K1 + B 70%	9,44
6	N0,P1,K1 + B 40% (Μάρτηρας)	2,08
7	N0,15P1,K1 + B 40%	2,26
8	N0,30P1,K1 + B 40%	9,59
9	N0,45P1,K1 + B 40%	11,03
10	N0,60P1,K1 + B 40%	10,36

Εικόνα 4.5.1. Διαγραμματική απεικόνιση του ξηρού βάρους των φυτών (σε g).



Ανάλογα αποτελέσματα με αυτά της απόδοσης του νωπού βάρους προέκυψαν και για το ξηρό βάρος, με την επισήμανση ότι η ξηρή ουσία σε απόλυτες τιμές είναι κατά 10 φορές μικρότερη από το νωπό βάρος.

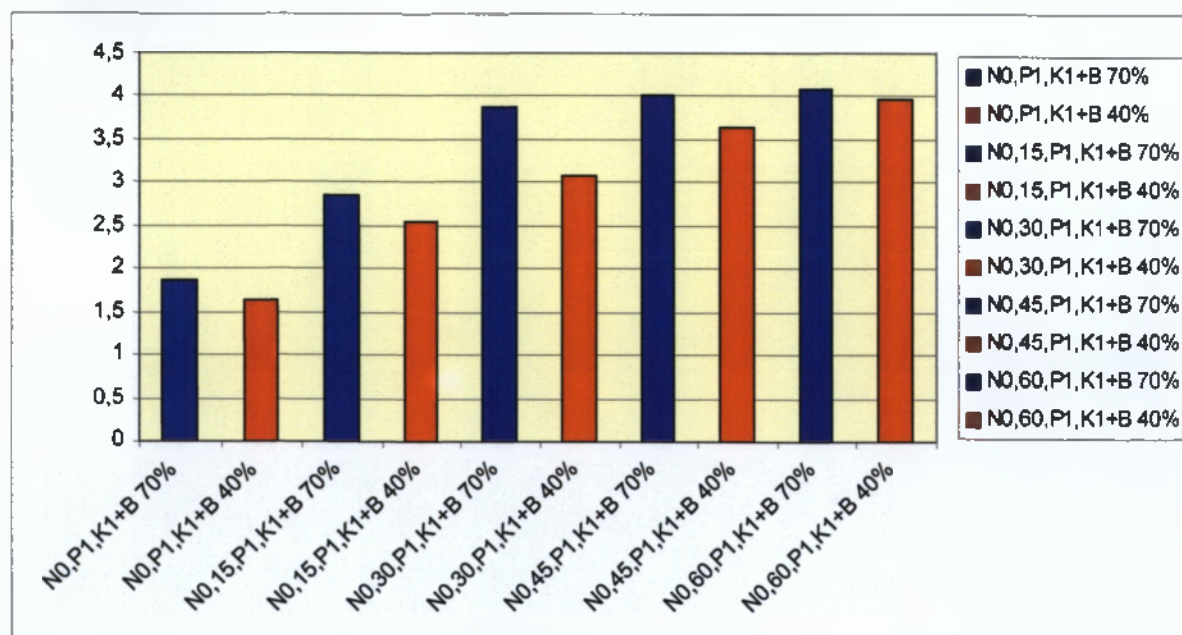
Αζωτο στους φυτικούς ιστούς (υπέργειο μέρος)

Στον πίνακα 4.6. και στο σχήμα 4.6.1. παρουσιάζονται τα στοιχεία της συγκέντρωσης του ολικού N στους φυτικούς ιστούς.

Πίνακας 4.6. Στοιχεία συγκέντρωσης ολικού N στους φυτικούς ιστούς (%).

A/A	Μεταχειρίσεις	Ολικό N %
1	N0,P1,K1 + B 70% (Μάρτηρας)	1,86
2	N0,15,P1,K1 + B 70%	2,84
3	N0,30P1,K1 + B 70%	3,86
4	N0,45P1,K1 + B 70%	4,00
5	N0,60P1,K1 + B 70%	4,07
6	N0,P1,K1 + B 40% (Μάρτηρας)	1,63
7	N0,15P1,K1 + B 40%	2,53
8	N0,30P1,K1 + B 40%	3,07
9	N0,45P1,K1 + B 40%	3,64
10	N0,60P1,K1 + B 40%	3,96

Εικόνα 4.6.1. Διαγραμματική απεικόνιση της συγκέντρωσης του ολικού N στους φυτικούς ιστούς (%).



Η συγκέντρωση του ολικού N στη μεταχείριση όπου δεν είχαμε N κυμαίνεται στα όρια της τροφοπενίας (1,61 – 1,86%). Οι χαμηλές δόσεις N είχαν θετική επίδραση, αυξάνοντας τη συγκέντρωση του N στους φυτικούς ιστούς (2,53 – 2,84 %). Στις μεταχειρίσεις με υψηλό επίπεδο N, παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης N στα επιθυμητά όρια 3,07 – 4,07 %. Σημειώνεται ότι στις μεταχειρίσεις με 40 % της υδατοχωρητικότητας του εδάφους, το επίπεδο του ολικού N στους φυτικούς ιστούς ήταν χαμηλότερο σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μεταχειρίσεις με 70 % της υδατοχωρητικότητας του εδάφους.

Τέλος επιβεβαιώνεται ότι οι χαμηλές συγκεντρώσεις του N στους φυτικούς ιστούς, οφείλεται στο γεγονός ότι το N είναι στοιχείο που βρίσκεται σε χαμηλές συγκεντρώσεις στο έδαφος (μάρτυρας).

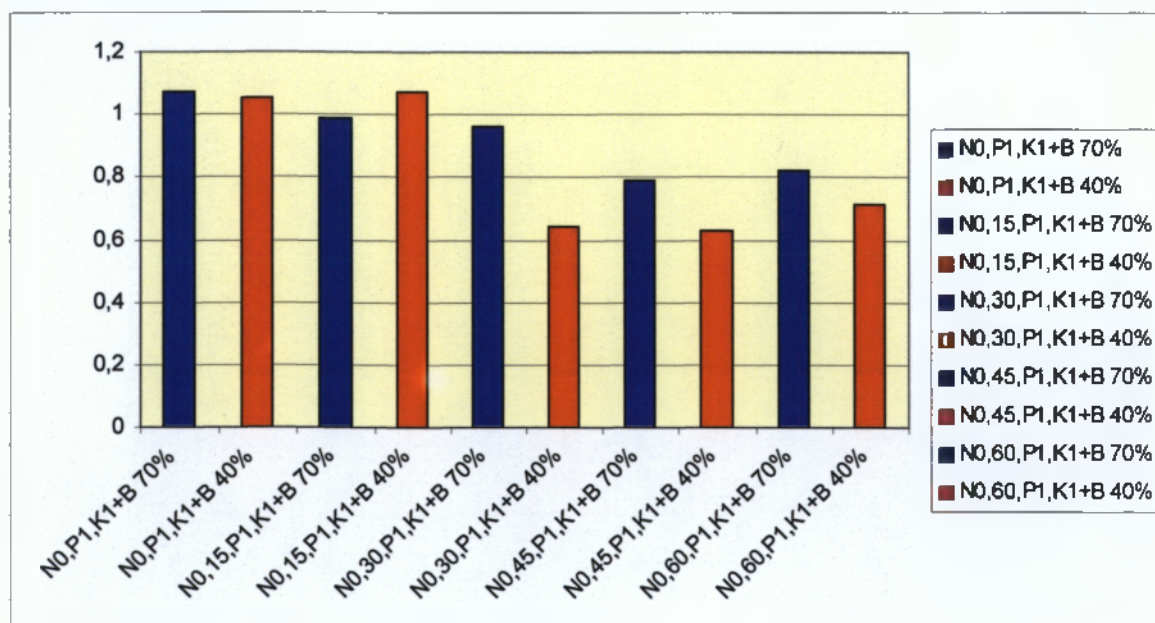
Φώσφορος στους φυτικούς ιστούς (υπέργειο μέρος)

Στον πίνακα 4.7. και στο σχήμα 4.7.1. παρουσιάζονται τα στοιχεία της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου P στους φυτικούς ιστούς.

Πίνακας 4.7. Στοιχεία συγκέντρωσης αφομοιώσιμου P στους φυτικούς ιστούς (%).

A/A	Μεταχειρίσεις	Αφομοιώσιμος P %
1	N0,P1,K1 + B 70% (Μάρτηρας)	1,07
2	N0,15,P1,K1 + B 70%	0,99
3	N0,30P1,K1 + B 70%	0,96
4	N0,45P1,K1 + B 70%	0,79
5	N0,60P1,K1 + B 70%	0,82
6	N0,P1,K1 + B 40% (Μάρτηρας)	1,05
7	N0,15P1,K1 + B 40%	1,07
8	N0,30P1,K1 + B 40%	0,64
9	N0,45P1,K1 + B 40%	0,63
10	N0,60P1,K1 + B 40%	0,71

Εικόνα 4.7.1. Διαγραμματική απεικόνιση της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου P στους φυτικού ιστούς (%).



Οι συγκεντρώσεις του P στα φύλλα του μαρουλιού διακυμάνθηκαν σε κανονικά όρια και από 0,63 – 1,07 %. Παρατηρήθηκε ότι με την προσθήκη υψηλών δόσεων N μειώνεται η συγκέντρωση P στους φυτικούς ιστούς. Έτσι στη μεταχείριση χωρίς N ήταν 1.07 % ενώ στη μεταχείριση με 0,60 g/kg N ήταν 0,82 % με 70 % της υδατοχωρητικότητας και 1,05 – 0,71 % αντίστοιχα για τις μεταχειρίσεις με 40 % της υδατοχωρητικότητας του εδάφους.

Σύμφωνα και με τους Κουκουλάκη – Παπαδόπουλο (2003), όταν το N χορηγείται στη νιτρική μορφή και σε υψηλές δόσεις, ανταγωνίζεται τον P πράγμα που συνεπάγεται μείωση του στοιχείου στους φυτικούς ιστούς.

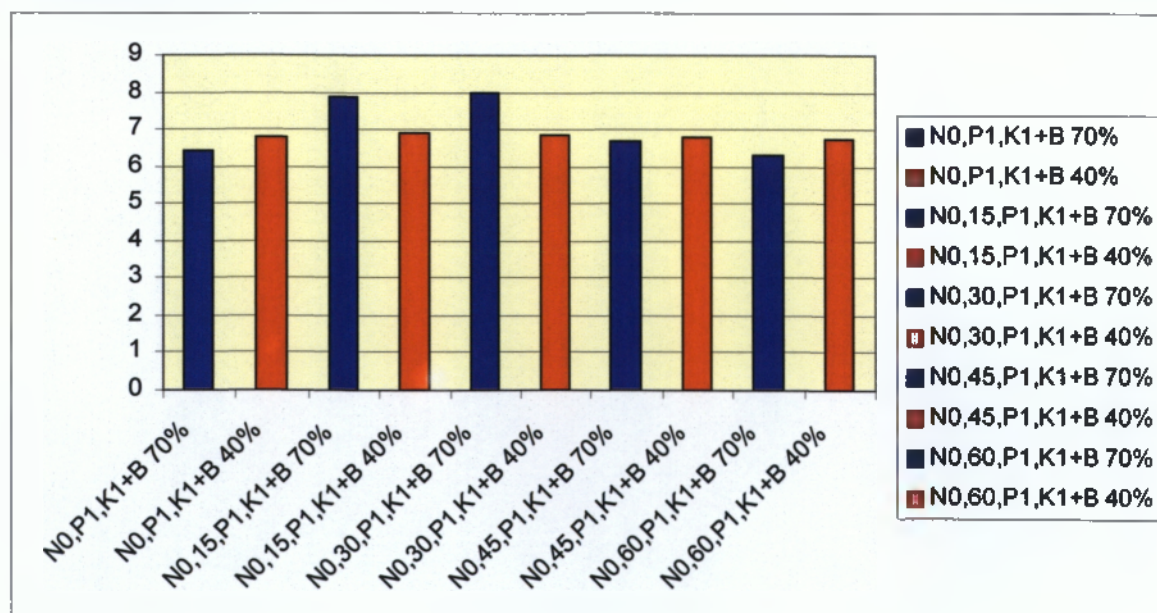
Κάλιο στους φυτικούς ιστούς (υπέργειο μέρος)

Στον πίνακα 4.8. και στο σχήμα 4.8.1. παρουσιάζονται τα στοιχεία της συγκέντρωσης του ανταλλάξιμου Κ στους φυτικούς ιστούς.

Πίνακας 4.8. Στοιχεία συγκέντρωσης ανταλλάξιμου Κ στους φυτικούς ιστούς (%).

A/A	Μεταχειρίσεις	Ανταλλάξιμο Κ %
1	N0,P1,K1 + B 70% (Μάρτηρας)	6,44
2	N0,15,P1,K1 + B 70%	7,89
3	N0,30P1,K1 + B 70%	7,96
4	N0,45P1,K1 + B 70%	6,70
5	N0,60P1,K1 + B 70%	6,31
6	N0,P1,K1 + B 40% (Μάρτηρας)	6,80
7	N0,15P1,K1 + B 40%	6,90
8	N0,30P1,K1 + B 40%	6,84
9	N0,45P1,K1 + B 40%	6,80
10	N0,60P1,K1 + B 40%	6,74

Εικόνα 4.8. Διαγραμματική απεικόνιση της συγκέντρωσης του ανταλλάξιμου Κ στους φυτικούς ιστούς (%).



Οι συγκεντρώσεις του Κ στον φυτικό ιστό του φυτού διακυμάνθηκαν σε υψηλά όρια από 6,31 – 7,96 %. Άλλωστε σύμφωνα με τους Κουκουλάκη – Παπαδόπουλο (2003) η αλληλεπίδραση ΝxΚ έχει βρεθεί ότι είναι θετική. Ακόμη σύμφωνα με τους Reeve and Shine (1944. Αναφ. Αναλογίδης, 2007), όταν η στάθμη θρέψεως του Β είναι ικανοποιητική αυξάνεται στο πολλαπλάσιο η πρόσληψη των ιόντων Κ, σε σχέση με την πρόσληψη του ίδιου κατιόντος σε συνθήκες έλλειψης Β.

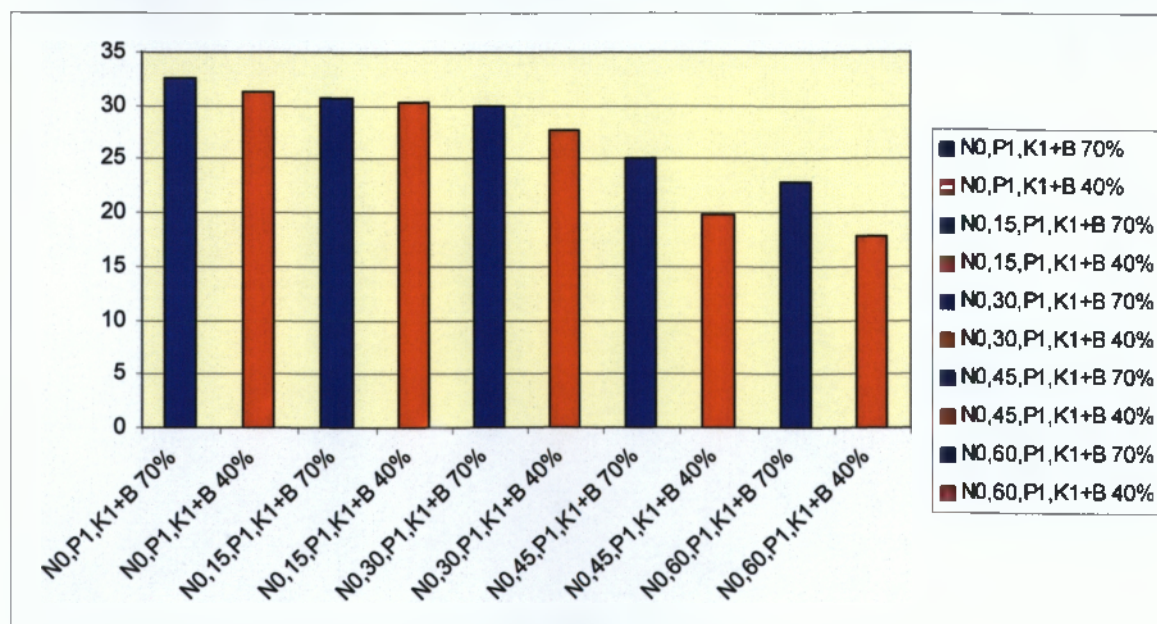
Βόριο στους φυτικούς ιστούς (υπέργειο μέρος)

Στον πίνακα 4.9. και στο σχήμα 4.9.1. παρουσιάζονται τα στοιχεία της συγκέντρωσης του Β στους φυτικούς ιστούς.

Πίνακας 4.9. Στοιχεία συγκέντρωσης Β στους φυτικούς ιστούς (ppm).

A/A	Μεταχειρίσεις	Β σε ppm
1	N0,P1,K1 + B 70% (Μάρτηρας)	273,11
2	N0,15,P1,K1 + B 70%	258,40
3	N0,30P1,K1 + B 70%	252,10
4	N0,45P1,K1 + B 70%	210,08
5	N0,60P1,K1 + B 70%	191,18
6	N0,P1,K1 + B 40% (Μάρτηρας)	262,61
7	N0,15P1,K1 + B 40%	254,20
8	N0,30P1,K1 + B 40%	233,19
9	N0,45P1,K1 + B 40%	165,97
10	N0,60P1,K1 + B 40%	149,16

Εικόνα 4.9. Διαγραμματική απεικόνιση Β στους φυτικούς ιστούς (ppm).



Οι συγκεντρώσεις Β στους φυτικούς ιστούς κυμάνθηκαν από 149,2 – 273,1 ppm. Για τις μεταχειρίσεις με 70 % υδατοχωρητικότητα του εδάφους, η συγκέντρωση του Β βρίσκεται στα όρια της τοξικότητας. Παρατηρήθηκε συγκεκριμένη τάση ως προς τη συγκέντρωση του στοιχείου στον φυτικό ιστό, η οποία είναι πως με την προσθήκη υψηλών δόσεων Ν μειώνεται η συσσώρευση του Β σε αυτούς, πράγμα που έχει επισημανθεί και από άλλους ερευνητές και για διάφορες άλλες καλλιέργειες (Αναλογίδης, 2007). Έτσι, η τιμή του Β στη μεταχείριση χωρίς Ν ήταν 191 ppm και στις μεταχειρίσεις με υψηλές δόσεις Ν κυμάνθηκε μέχρι και στα 273 ppm . Ανάλογα αποτελέσματα βρέθηκαν και για τις μεταχειρίσεις με 40 % υδατοχωρητικότητα του εδάφους.

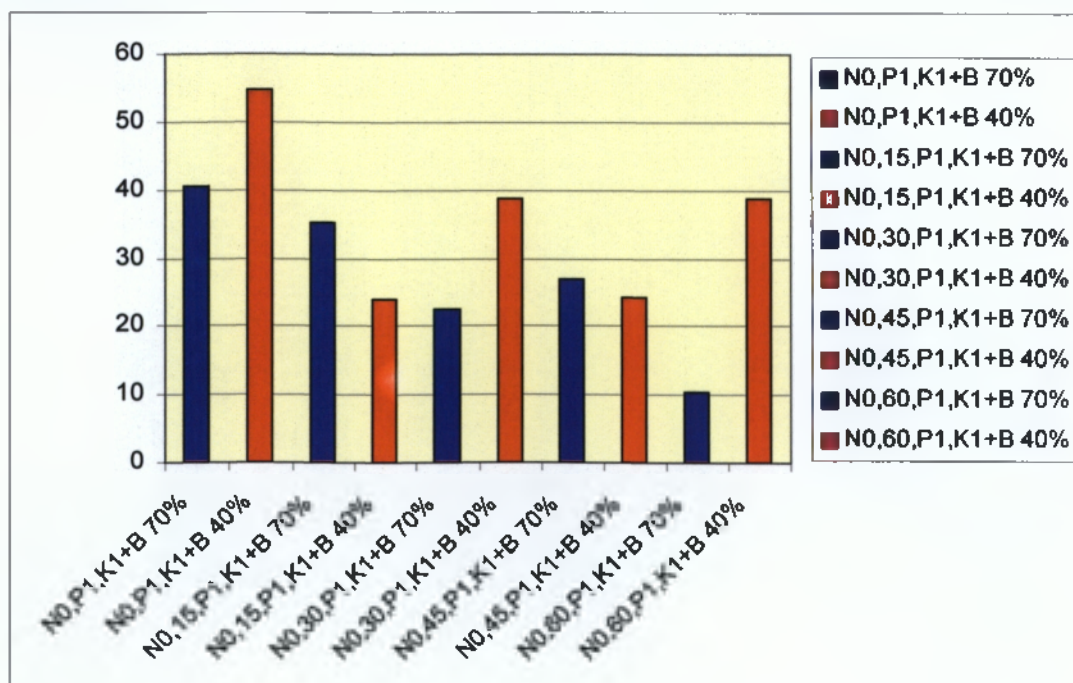
Φώσφορο στο έδαφος

Στον πίνακα 4.10. και στο σχήμα 4.10.1. παρουσιάζονται τα στοιχεία της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου P στο έδαφος.

Πίνακας 4.10. Στοιχεία συγκέντρωσης αφομοιώσιμου P στο έδαφος (ppm).

A/A	Μεταχειρίσεις	P σε ppm
1	N0,P1,K1 + B 70% (Μάρτηρας)	40,41
2	N0,15,P1,K1 + B 70%	35,30
3	N0,30P1,K1 + B 70%	22,33
4	N0,45P1,K1 + B 70%	26,80
5	N0,60P1,K1 + B 70%	10,27
6	N0,P1,K1 + B 40% (Μάρτηρας)	54,66
7	N0,15P1,K1 + B 40%	23,97
8	N0,30P1,K1 + B 40%	38,86
9	N0,45P1,K1 + B 40%	24,25
10	N0,60P1,K1 + B 40%	38,77

Εικόνα 4.10.1. Διαγραμματική απεικόνιση της συγκέντρωσης του αφομοιώσιμου P στο έδαφος (ppm).



Ο αφομοιώσιμος P στο έδαφος κυμάνθηκε από 10 – 55 ppm. Που σημαίνει ότι το έδαφος είναι επαρκώς εφοδιασμένο με αυτό το στοιχείο. Ακόμη, παρατηρείται μείωση της περιεκτικότητας στις μεταχειρίσεις όπου έχουμε προσθήκη μεγάλης ποσότητας N.

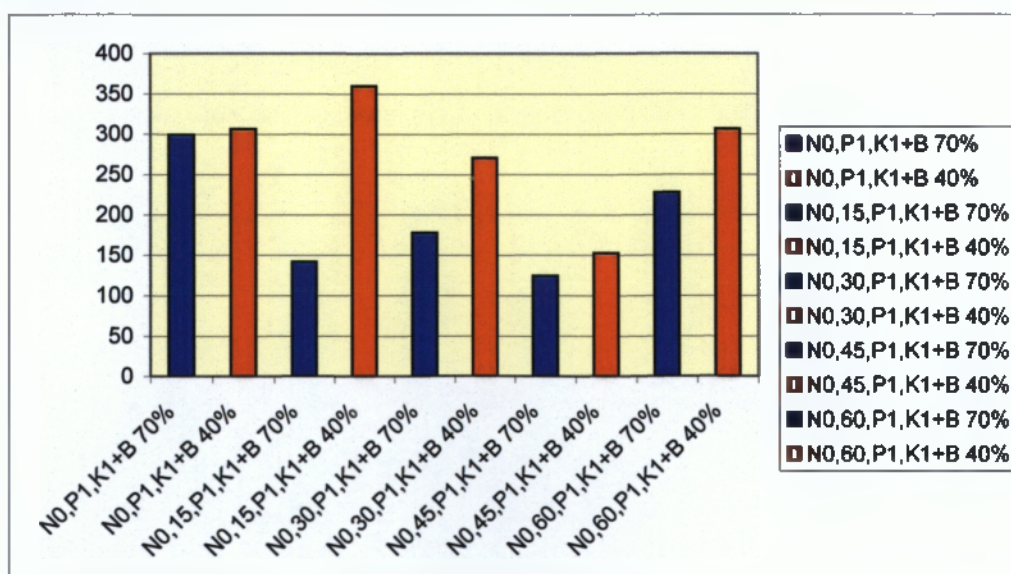
Κάλιο στο έδαφος

Στον πίνακα 4.11. και στο σχήμα 4.11.1. παρουσιάζονται τα στοιχεία της συγκέντρωσης του ανταλλάξιμου Κ στο έδαφος.

Πίνακας 4.11. Στοιχεία συγκέντρωσης ανταλλάξιμου Κ στο έδαφος (ppm).

A/A	Μεταχειρίσεις	Κ σε ppm
1	N0,P1,K1 + B 70% (Μάρτηρας)	298,93
2	N0,15,P1,K1 + B 70%	141,87
3	N0,30P1,K1 + B 70%	177,57
4	N0,45P1,K1 + B 70%	124,03
5	N0,60P1,K1 + B 70%	227,54
6	N0,P1,K1 + B 40% (Μάρτηρας)	306,07
7	N0,15P1,K1 + B 40%	359,61
8	N0,30P1,K1 + B 40%	270,37
9	N0,45P1,K1 + B 40%	152,58
10	N0,60P1,K1 + B 40%	306,07

Εικόνα 4.11.1. Διαγραμματική απεικόνιση της συγκέντρωσης του ανταλλάξιμου Κ στο έδαφος (ppm).



Το ανταλλάξιμο Κ στο έδαφος κυμάνθηκε από 124 – 359 ppm που σημαίνει ότι το έδαφος είναι υπέρ επαρκές σε ανταλλάξιμο Κ.

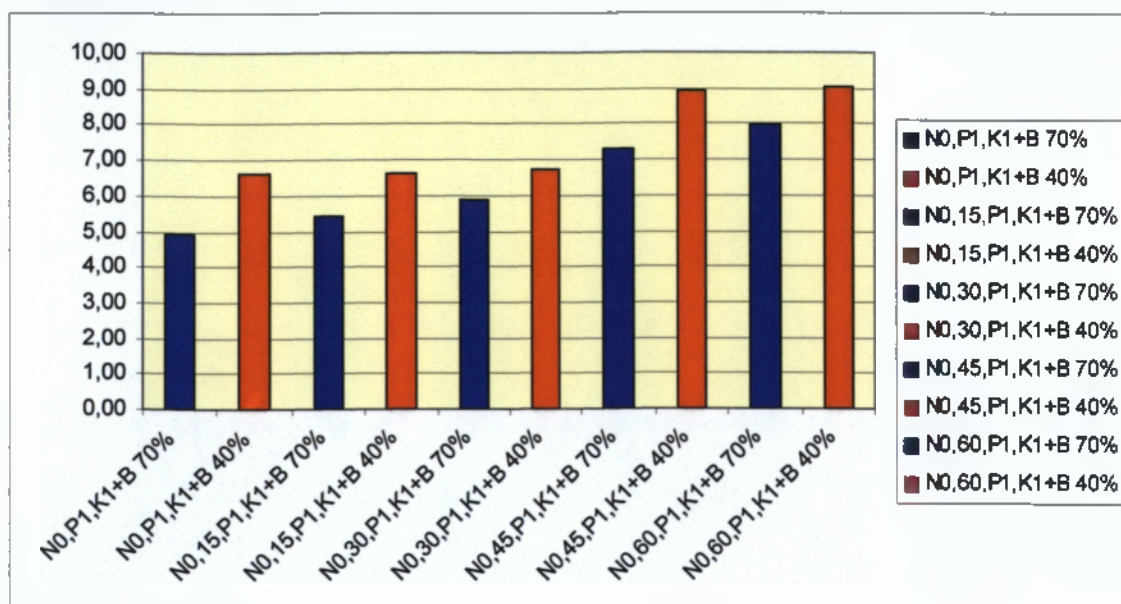
Βόριο στο έδαφος

Στον πίνακα 4.12. και στο σχήμα 4.12.1. παρουσιάζονται τα στοιχεία της συγκέντρωσης του Β στο έδαφος.

Πίνακας 4.12. Στοιχεία συγκέντρωσης Β στο έδαφος (ppm).

A/A	Μεταχειρίσεις	B σε ppm
1	N0,P1,K1 + B 70% (Μάρτηρας)	4,89
2	N0,15,P1,K1 + B 70%	5,43
3	N0,30P1,K1 + B 70%	5,90
4	N0,45P1,K1 + B 70%	7,26
5	N0,60P1,K1 + B 70%	7,95
6	N0,P1,K1 + B 40% (Μάρτηρας)	6,61
7	N0,15P1,K1 + B 40%	6,63
8	N0,30P1,K1 + B 40%	6,74
9	N0,45P1,K1 + B 40%	8,92
10	N0,60P1,K1 + B 40%	9,04

Εικόνα 4.12.1 Διαγραμματική απεικόνιση της συγκέντρωσης Β στο έδαφος (ppm).



Το Β στο έδαφος κυμάνθηκε από 4,9 – 9 ppm. που σημαίνει ότι βρίσκεται σε πολύ υψηλά επίπεδα λόγω της προσθήκης 10 ppm αυτού του στοιχείου στο έδαφος. Σημειώνεται ότι στις μεταχειρίσεις όπου είχαμε Ν, και στα δύο επίπεδα της υδατοχωρητικότητας, παρατηρείται σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσης του Β στο έδαφος όσο το Ν αυξάνει, λόγω της ανταγωνιστικής σχέσης ΝxΒ. Ακόμη, Στις μεταχειρίσεις με 40 % υδατοχωρητικότητα η συγκέντρωση του Β είναι μεγαλύτερη από τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των μεταχειρίσεων με 70 % της υδατοχωρητικότητας, πράγμα που επιβεβαιώνει ότι η πρόσληψη του Β είναι παθητική και αυξάνει όσο αυξάνεται ο ρυθμός της διαπνοής.

Συμπεράσματα

1. Συμπερασματικά, θα μπορούσαμε να πούμε πως η προσθήκη Ν και η υψηλή υγρασία επέδρασαν θετικά στην ανάπτυξη του μαρουλιού και στην παραγωγή φυτομάζας. Η υγρασία επέδρασε θετικά στην πρόσληψη και συσσώρευση του Ν και του Β στους φυτικούς ιστούς.
2. Οι υψηλές συγκεντρώσεις Ν έδρασαν επί του Ρ και παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης του τελευταίου στους φυτικούς ιστούς, όσο η προσθήκη Ν μεγάλωνε.
3. Οι τιμές του Κ στο φυτικό ιστό βρέθηκαν σε πολύ υψηλά επίπεδα, πράγμα που επιβεβαιώνει τη θετική επίδραση του Ν και του Β με το Κ.
4. Η συγκέντρωση του Β στους φυτικούς ιστούς μειώθηκε, όσο αυξανόταν η προσθήκη Ν. Έτσι, επιβεβαιώνεται ο ανταγωνισμός ΝxΒ. Ακόμη, η υγρασία επέδρασε θετικά στην πρόσληψη του Β από το φυτό.
5. Στο έδαφος επιβεβαιώθηκαν η ανταγωνιστικές σχέσεις ΝxΡ και ΝxΒ.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Αναλογίδης Δ., 2007. Τα μικροθρεπτικά στοιχεία στο αγροτικό οικοσύστημα. Αθήνα, Εκδόσεις Αγροτύπος.
2. Γεωργία - Κτηνοτροφία. Αφιέρωμα Τομάτα. Αγροτύπος Α.Ε. Τεύχος 10/2007.
3. Ελληνική Εδαφολογική Εταιρεία, 2006. 11ο Πανελλήνιο Εδαφολογικό Συνέδριο (Πρακτική). Άρτα, Εκδόσεις ΕΕΕ.
4. Ελληνική Φυτοπαθολογική Εταιρεία, 1998. Οδηγός αντιμετώπισης ασθενειών των φυτών. Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλη.
5. Ζάχος Γ. - Γαβαλάς Α. - Χολέβας Δ., 1973. Εσωτερική φέλλωση των ραγών ως σύμπτωμα τροφопενίας βορίου στο αμπέλι. Χρον. Μπενακείου Φυτοπαθ. Ινστ.
6. Θεοδώρου Μ. - Πασχαλίδης Χ., 1999. Εγχειρίδιο καλλιεργητή. Αθήνα, Εκδόσεις Έμβρυο.
7. Θεριός Ι., 2005. Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Γαρταγάνη.
8. Κουκουλάκης Π. - Παπαδόπουλος Α., 2003. Η ερμηνεία της φυλλοδιαγνωστικής. Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλη.
9. Κουκουλάκης Π. - Παπαδόπουλος Α., 2007. Τα προβληματικά εδάφη και η βελτίωσή τους. Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλη.
10. Μήτσιος Ι., 2004. Γονιμότητα εδαφών. Αθήνα, Εκδόσεις Zymel.
11. Παναγιωτόπουλος Κ., 2008. Εδαφολογία. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις Γαρταγάνη.
12. Παναγόπουλος Χ., 2007. Ασθένειες καρποφόρων δένδρων και αμπέλου. Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλη.
13. Παναγόπουλος Χ., 1995. Ασθένειες κηπευτικών καλλιεργείων. Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλη.
14. Πασχαλίδης Χ., 2006. Λιπασματολογία - Εργαστηριακές ασκήσεις. Αθήνα, Εκδόσεις Έμβρυο.
15. Πασχαλίδης Χ., 2005. Εδαφολογία - Εργαστηριακές ασκήσεις. Αθήνα, Εκδόσεις Έμβρυο.
16. Πιστόλης Λ., 2004. Καιρός και θρέψη φυτών. Λάρισα, Εκδόσεις Λ.Τ.Πιστόλης.
17. Πιστόλης Λ., 2008. Διαφυλλικές λιπάνσεις. Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλη.

18. Ποντίκης Κ., 2000. Ειδική δενδροκομία. Τόμος Γ'. Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλη.
19. Δαλιανίδης Δ. - Σιμώνης Α. - Συργιανίδης Γ., 2002. Θρέψη, Λίπανση φυλλοβόλων καρποφόρων δένδρων. Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλη.
20. Τσαντίλας Χ. - Κοσμάς Κ. - Γιάσογλου Ν., 1994. Διερεύνηση εδαφικών παραμέτρων που σχετίζονται με την τροφοπενία Βορίου στην ελιά και αντιμετώπιση αυτής. Γεωτ. Επιστ. Θεμ. 4/1994.
21. Τσαπικούνης Φ., 2004. Θρέψη - Λίπανση των φυτών. Μέρος Α'. Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλη.
22. Τσαπικούνης Φ., 1997. Θρέψη - Λίπανση των φυτών. Μέρος Β'. Αθήνα, Εκδόσεις Σταμούλη.
23. Τσικαλάς Π., 1994. Ανάλυση φυτικών ιστών. Ηράκλειο, Εκδόσεις ΤΕΙ Ηρακλείου.
24. Τσιτσιάς Κ., 1998. Εδαφολογία. Αθήνα, Οργανισμός εκδόσεων διδακτικών βιβλίων.
25. Χουλιάρης Ν., 2002. Γεωργική χημεία. Αθήνα, Εκδόσεις ΙΩΝ.

Ξένη βιβλιογραφία

1. Gardiner D. - Miler R., 2004. Soils in our Enviroment. USA, Pearson Education, Inc.
2. Gupta C., 1972. Interaction effects of boron and lime on barley. Proc. Soil Sci. Son. Amer. 36.
3. Havlin J. - Beaton J. - Tisdale S. - Nelson W, 1999. Soil Fertility and Fertilizers. USA, Prentice Hall, Inc.
4. McHargue S.- Calfee K.,1932. Effect of Boron on the growth of lettuce. Pl. Physiol. 7.
5. Reeve E. - Shive W., 1944. Potassium - boron and calcium - boron relationships in plant nutrition. Soil Sci. 57.
6. Scaife A. - Turner M., 1983. Diagnosis of Mineral Disorders in Plants. Volume 2. UK, J.Robinson.
7. Tanaka A., 1967. Boron absorption by crop plants as affected by other nutrients of the medium. Soil Sci. Plant Nutr. 13.
8. The American Phytopathological Society (APS Press), 2000. Nutrient Deficiencies and Toxicities in Plants. St. Paul.
9. Winsor G. - Adams P., 1987. Diagnosis of Mineral Disorders in Plants. Volume 3. UK, J.Robinson.