

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Αριθμ. Πρωτοκ. 38

Ημερομηνία 17-10-2003

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ
ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Προσδιορισμός της συγκέντρωσης βορίου σε εδάφη της Θεσσαλίας που
καλλιεργούνται με καπνό

Μητροκότσας Γεώργιος

Επιβλέπων καθηγητής : Ι. Μήτσιος



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 2592/1
Ημερ. Εισ.: 17-10-2003
Δωρεά: _____
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΦΠΑΠ
2003
ΜΗΤ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000070480

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Ι. Μήτσιο για τις χρήσιμες και πολύτιμες υποδείξεις στη συγγραφή της πτυχιακής μου διατριβής, όπως και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την ανάθεση της εργασίας αυτής.

Ευχαριστώ επίσης τους καθηγητές Χ. Γούλα και Ν. Δαναλάτο για τα σχόλια τις παρατηρήσεις και την διόρθωση της πτυχιακής μου διατριβής.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτωρ Ε. Γκόλια για την υπομονετική υποστήριξη και καθοδήγηση κατά την πραγματοποίηση τόσο του πειραματικού τμήματος όσο και κατά την συγγραφή της πτυχιακής μου διατριβής

Τέλος κρίνω απαραίτητο να ευχαριστήσω τους μεταπτυχιακούς και προπτυχιακούς φοιτητές οι οποίοι εκπονούσαν τις εργασίες τους στο εργαστήριο εδαφολογίας του πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τις χρήσιμες υποδείξεις τους.

Στους γονείς
Νικόλαο και Ευαγγελία

Περιεγόμενα

<u>1.Βιβλιογραφική ανασκόπηση</u>	σελ 6
1.1 Εισαγωγή	σελ6
1.2.1 Το βόριο στο έδαφος	σελ7
1.2.2 Μορφές βορίου στο έδαφος	σελ9
1.2.3 Προσρόφηση από τα κολλοειδή του εδάφους	σελ11
1.2.3 α) Προσρόφηση από τα κολλοειδή της αργίλου	σελ11
1.2.3 β) Προσρόφηση του βορίου από τα οργανικά κολλοειδή	σελ12
1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του βορίου	σελ13
1.3. α) Μηχανική σύσταση του εδάφους	σελ13
1.3 β) Τύπος της αργίλου	σελ13
1.3 γ) pH του εδάφους	σελ13
1.3 δ) Οργανική ουσία	σελ14
1.3 ε) Αλληλεπίδραση με άλλα στοιχεία	σελ14
1.3 στ) Η υγρασία του εδάφους	σελ15
1.3 ζ) Φυτικοί παράγοντες	σελ15
1.3 η) Επίδραση των παραγόντων του περιβάλλοντος	σελ15
1.4 Εδάφη με μικρή περιεκτικότητα σε βόριο	σελ16
1.5 Το βόριο στην ανάπτυξη των φυτών	σελ17
1.6.1 Απαιτήσεις των φυτών σε βόριο	σελ20
1.6.2 Συμπτώματα τροφопενίας βορίου	σελ22
1.6.2 α) Έλλειψη βορίου στα οπωροφόρα δέντρα	σελ23
1.6.2 β) Καπνός	σελ25
1.6.2 β,1 .Αντιμετώπιση τροφопенίας βορίου στον καπνό	σελ25
1.6.2 γ) Βαμβάκι	σελ25
1.6.2 δ) Ζαχαρότευτλα	σελ26
1.6.2 δ,1.Αντιμετώπιση τροφопенίας βορίου στα ζαχαρότευτλα	σελ26
1.6.2 ε) Ελιά	σελ26
1.6.2 ε,1.Αντιμετώπιση τροφопенίας βορίου στην ελιά	σελ27
1.6.3 Πρόληψη τροφопенιών βορίου	σελ28
1.6.4 Λίπανση με βόριο	σελ28
1.6.5 Τοξικότητα βορίου	σελ29

1.6.5 α) Αντιμετώπιση τοξικότητας βορίου	σελ32
2 <u>Υλικά και μέθοδοι</u>	σελ35
2.1 Υπολογισμός του PH	σελ35
2.2 Προσδιορισμός της οργανικής ουσίας	σελ35
2.3 Προσδιορισμός της μηχανικής σύστασης	σελ35
2.4 Προσδιορισμός του βορίου	σελ35
2.4.1 Μέθοδος της αζωμεθίνης	σελ36
2.4.2 Αντιδραστήρια-Όργανα	σελ37
2.4.3 Μέθοδος	σελ38
2.4.4 Πρότυπη καμπύλη	σελ40
3 <u>Αποτελέσματα –Συζήτηση</u>	σελ41
Συμπεράσματα	σελ45
Βιβλιογραφία	σελ46
Παράρτημα	σελ48

1.Βιβλιογραφική ανασκόπηση

1.1 Εισαγωγή

Το βόριο και το χλώριο είναι τα μοναδικά αμέταλλα μικροθρεπτικά στοιχεία των φυτών. Το βόριο ανιχνεύεται σε μικρές ποσότητες στον εξωτερικό φλοιό της γης (λιθόσφαιρα) και κυρίως σε πυριγενή πετρώματα. Όπως και το Mo^{6+} , έχει την ικανότητα να σχηματίζει σταθερούς δεσμούς εξαιτίας του πολύ μικρού του μεγέθους .

Το βόριο ανακαλύφθηκε το 1908 από τους L.J. Gay-Lussac , L.J. Thernar και Sir Humphry Davy .

Ως στοιχείο είναι μια γκρίζα σκόνη η οποία όμως δεν βρίσκεται ελεύθερη στη φύση. Το βόριο βρίσκεται στη φύση στα ύδατα που αναβλύζουν από περιοχές που υπάρχουν ηφαιστειακά πετρώματα υπό μορφή ορθοβορικού οξέος, και ως βορικά άλατα στον βόρακα και στον κολεμανίτη. Η σημαντικότερη πηγή βορίου είναι ο ρασορίτης ο οποίος βρίσκεται σε αφθονία στην έρημο Μοχαβε στην Αμερική .

Ως γενικές χρήσεις εκτός από την γεωργία όπου χρησιμοποιείται ως λίπασμα, το βόριο βρίσκει εφαρμογές στην υαλουργία την πυροτεχνική και την ιατρική όπου το βορικό οξύ χρησιμοποιείται ως αντισηπτικό .

Το βόριο είναι απαραίτητο ακόμα και στον άνθρωπο. Ένας άνθρωπος βάρους 80 κιλών πρέπει να περιέχει 0,056 γραμμάρια βορίου περίπου. .Οι ενώσεις του βορίου όμως μπορεί να είναι καρκινογόνες.

Πίνακας 1: Συγκεντρώσεις βορίου (ppb) σε διάφορα συστήματα.

Σύμπαν	1
Ήλιος	2
Μετεωρίτες	1600
Φλοιός της γης	8700
Νερά της θάλασσας	4440
Νερά των ποταμών	10
Άνθρωπος	700

Το βόριο εμφανίζεται στη φύση και με την μορφή τεσσάρων ισοτόπων:



Το μεγαλύτερο ποσοστό βέβαια στη φύση καταλαμβάνει το βόριο με ατομικό αριθμό 11(80%) ενώ μεγάλο ποσοστό κατέχει και το ισότοπο με ατομικό αριθμό 10 που καταλαμβάνει το 18% περίπου

Άλλες ενώσεις που σχηματίζει το βόριο είναι οι εξής :

BF_3	Φθορίδια
B_2F_4	
BCl_3	Χλωρίδια
B_2Cl_4	
BBr_3	Βρωμίδια
BI_3	Ιωδίδια
B_2H_6	Υδρίδια
B_4H_{10}	
B_5H_9	
B_5H_{11}	
B_6H_{10}	
$\text{B}_{10}\text{H}_{14}$	
B_2O_3	Οξειδία
B_2S_3	Σουλφίδια

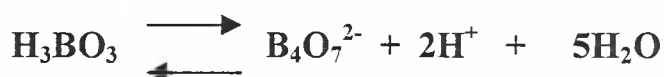
1.2.1 Το βόριο στο έδαφος

Το βόριο στο έδαφος βρίσκεται με τις μορφές (H_3BO_3) , $[\text{B}(\text{OH})_4^-]$. Από γεωχημικής απόψεως το βόριο παρουσιάζει μια ιδιαίτερη συμπεριφορά καθώς πρόκειται για ένα ελαφρύ αμέταλλο στοιχείο (B^{3+}). Έχει σταθερό σθένος +3 και πολύ μικρή ιοντική ακτίνα της τάξεως των $0,88 \cdot 10^{-10}\text{m}$. Το στοιχείο αυτό όχι μόνο δεν έχει βρεθεί ως B^+ ,

αλλά δεν έχει εντοπιστεί ούτε και ως B^{3+} . Ο μη εντοπισμός του ως B^{3+} οφείλεται στο γεγονός ότι η ενέργεια που απαιτείται για την απομάκρυνση $3e^-$ της εξωτερικής στοιβάδας του είναι πολύ μεγαλύτερη από την ενέργεια του κρυσταλλικού πλέγματος. Έτσι το βόριο βρίσκεται πάντα σε συνδυασμό με το οξυγόνο με τρεις δεσμούς και δίνει το οξείδιο του βορίου, B_2O_3 , που διαλύεται στο ύδωρ και προκύπτει βορικό οξύ όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση :

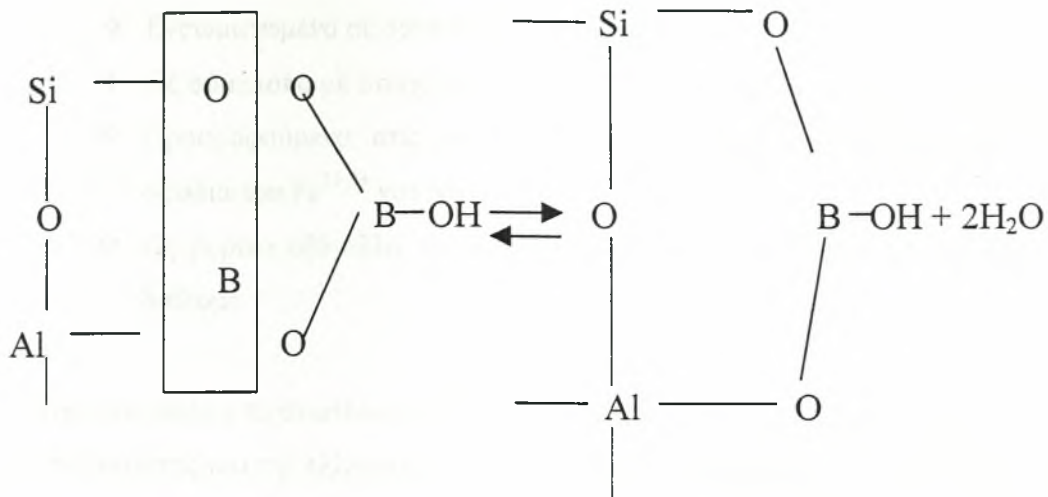


Το βόριο πιστεύεται ότι βρίσκεται ως αδιάστατο H_3BO_3 ή ως ανιόν στο εδαφικό διάλυμα. Σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις (μικρότερες του 0,1M), το H_3BO_3 διασπάται και γίνεται ένυδρη ουσία και σχηματίζει το υδροξείδιο του βορίου, $B(OH)_4^-$, το οποίο είναι και το μοναδικό ιονικό είδος. Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του βορικού οξέος θα σχηματίσουν ιόντα βορίου με πολυμερή μορφή όπως το τετραβορικό ιόν το οποίο παρουσιάζεται παρακάτω :



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^- ως κατωτέρω:



(Σχήμα 1, αντίδραση ιόντων $B(OH)_4^-$ με τα επιφανειακά OH^- της αργίλου)
(Μήτσιος, 2003).

Το βόριο βρίσκεται στο έδαφος κυρίως στα ορυκτά του γρανίτη. Εκτός από τα ορυκτά των ιζηματογενών πετρωμάτων, οι μαρμαρυγίες έχουν την υψηλότερη περιεκτικότητα σε βόριο. Άλλα ορυκτά που περιέχουν βόριο είναι τα κατωτέρω:

- Κερνίτης, ένυδρο άλας του βορικού οξέος
($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$)
- Κολεμανίτης, ($Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$)
- Κοτοίτης, σύμπλοκα με Mg και Fe, Mg_2FeBO_5 και $Mg_3(BO_3)_2$
- Τουρμαλίνης, με πυριτικά σύμπλοκα βορίου.

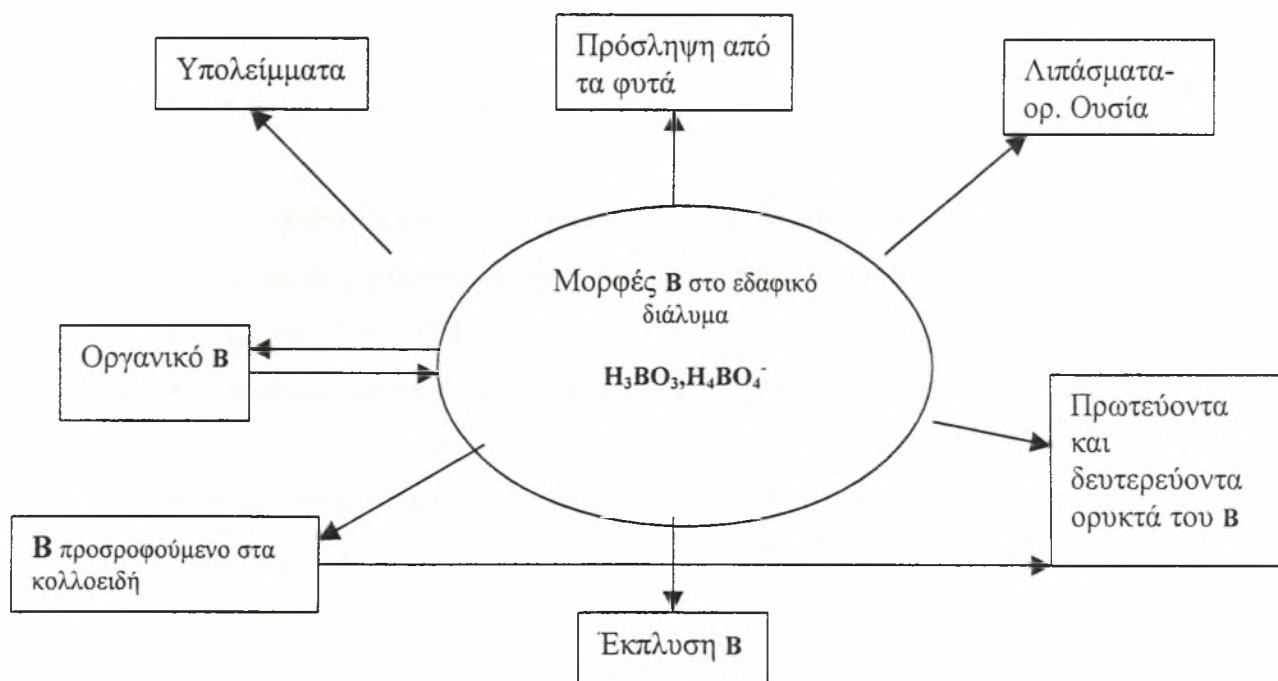
Ο τουρμαλίνης είναι το κυριότερο ορυκτό που βρίσκεται στα εδάφη και περιέχει βόριο 3-4%. Το ορυκτό αυτό είναι αδιάλυτο και ανθεκτικό στις κλιματικές μεταβολές (αποσάθρωση), με αποτέλεσμα η αποδέσμευση του μικροστοιχείου να είναι βραδεία και να μην έχει και πολύ μεγάλη γεωργική σημασία.

1.2.2 Μορφές βορίου στο έδαφος

Το βόριο βρίσκεται στο έδαφος σε τέσσερις κύριες μορφές :

- ❖ Ενσωματωμένο σε ορυκτά και πετρώματα .
- ❖ Ως σύμπλοκο με στοιχεία των ορυκτών στα οποία είναι προσκολλημένο.
- ❖ Προσροφούμενο στις επιφάνειες τις αργίλου και συγκεκριμένα στα οξείδια του $Fe^{2+,3+}$ και του Al^{3+} .
- ❖ Ως βορικό οξύ αλλά και με τη μορφή των ιόντων $B(OH)_4^-$ στο εδαφικό διάλυμα .

Έχοντας υπόψη τα ανωτέρω και δεδομένης της ύπαρξης των μικρών ορίων μεταξύ της τοξικότητας και της ελλείψεως του βορίου, είναι απαραίτητο να γίνει κατανοητός ο κύκλος του βορίου μεταξύ της στερεής και της υγρής φάσης του εδάφους. Παρακάτω παρουσιάζεται ο κύκλος του βορίου στο έδαφος



Σχήμα 2, Μορφές του βορίου στο έδαφος. (Μήτσιος ,2003).

Από την παραπάνω εικόνα προκύπτει ότι οι πηγές βορίου στο εδαφικό διάλυμα είναι τα ανόργανα και οργανικά υπολείμματα καθώς επίσης και τα λιπάσματα και το οργανικό βόριο που είναι προσροφημένο στα οργανικά κολλοειδή .

Το βόριο μπορεί να μεταφερθεί στο ριζικό σύστημα των φυτών με μαζική ροή και διάχυση .Το ολικό βόριο που περιέχεται στα διάφορα εδάφη κυμαίνεται από 20 μέχρι 200 mg/Kg ξηρού βάρους. Το μεγαλύτερο ποσοστό του βορίου του εδάφους δεν είναι

διαθέσιμο στα φυτά, διότι το διαθέσιμο βόριο (υδατοδιαλυτό) είναι χαμηλό και κυμαίνεται από 0,4 μέχρι 5mg/L .Αυτό οφείλεται κυρίως στη συγκράτηση του από τα κολλοειδή της αργίλου και τα οργανικά κολλοειδή.

Το βόριο προσροφάται από το έδαφος με εντονότερους ρυθμούς από ότι το Cl⁻ και τα NO₃⁻ ιόντα. Ο ερευνητής Hodgson (1963) κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το στοιχείο βόριο προσροφάται από αργιλώδεις επιφάνειες με τον τρόπο που προσροφούνται τα βαρέα μέταλλα .

1.2.3 Προσρόφηση βορίου από τα κολλοειδή του εδάφους

1.2.3 α) 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 συμπλόκων μιγμάτων Al, το βόριο προσροφάται με την μορφή H₄BO₄⁻ .

Η προσρόφηση του βορίου από τα ορυκτά της αργίλου εξαρτάται από την τιμή του pH, με μέγιστη προσρόφηση σε τιμές pH που κυμαίνονται από 7 έως 9. Η προσρόφηση αυτή γίνεται με ταχείς ρυθμούς και είναι εντονότερη σε όξινα περιβάλλοντα .

Παρατηρήθηκε ότι ο διοκταεδρικός ιλλίτης έχει μεγαλύτερη ικανότητα προσρόφησης σε βόριο από τον καολινίτη και το μοντμοριλονίτη, και ότι τα πολυπύρρηνα βορικά ιόντα συγκρατούνται ισχυρότερα από τα απλά ιόντα με αυξημένη συγκράτηση στους 80⁰C και μειούμενη στους 15⁰C. Το πρόσφατα σχηματιζόμενο ίζημα Al(OH)₃, προσροφά μεγάλες ποσότητες βορίου. Η προσρόφηση όμως αυτή

μειώνεται σημαντικά μετά παρέλευση χρονικού διαστήματος από 20min μέχρι 7 μέρες .

Παρατηρήθηκε επίσης ότι το βόριο που δεσμεύεται από τα εδάφη μπορεί να συσχετισθεί ($r=0,98$) με την μεταβολή στο ανταλλάξιμο Al κατά την ασβέστωση . Τούτο δεικνύει ότι το $Al(OH)_3$ είναι μια από τις κυριότερες ενώσεις που προσροφούν βόριο στα εδάφη. Όλα τα υλικά ασβέστωσης αντιδρούν με τα όξινα κολλοειδή του εδάφους με αποτέλεσμα το ασβέστιο και το μαγνήσιο να αντικαθιστούν το υδρογόνο και το αργίλιο των κολλοειδών του εδάφους όπου συγκρατείται το βόριο .

Η προσρόφηση του βορίου από τα οξείδια και τα υδροξείδια του Al^{3+} και $Fe^{2+,3+}$ εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή του pH, και η μέγιστη προσρόφηση από τα υδροξείδια του Fe σε τιμές pH από 8 ως 9 και από τα υδροξείδια του Al σε τιμή pH =7.

1.2.3 β) Προσρόφηση του 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. Ο Russel (1973), αναφέρει ότι ο δεσμός αυτός είναι πιθανότατα ισχυρότερος απ' ότι ο δεσμός του βορίου με τα εξαξείδια . Σε όξινες η 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+} . Το βόριο αν δεν συγκρατηθεί από τις επιφάνειες της αργίλου μπορεί να εκπλυθεί και να μετακινηθεί στους κατώτερους ορίζοντες της εδαφικής κατατομής και επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τη διαθεσιμότητα του στα ανώτερα φυτά .

1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την διαθεσιμότητα του βορίου του εδάφους .

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα του βορίου είναι οι εξής :

- Μηχανική σύσταση του εδάφους .
- Ποσοστό και τύπος της αργίλου .
- Τιμή pH του εδάφους .
- Ασβέστωση των εδαφών .
- Σύμπλοκα βορίου με ορυκτά .
- Σχέσεις με άλλα μικροθρεπτικά και μακροθρεπτικά.
- Υγρασία του εδάφους .

1.3 α) Μηχανική σύσταση του εδάφους

Τα αμμώδη εδάφη που είναι καλώς στραγγιζόμενα περιέχουν βόριο σε μικρές συγκεντρώσεις. Στα εδάφη αυτά το βόριο είναι πολύ ευκίνητο και εκπλύνεται στα κατώτερα στρώματα της εδαφικής κατατομής με έντονους ρυθμούς. Τα αργιλώδη εδάφη με καλή δομή συγκρατούν το προστιθέμενο βόριο για περισσότερο χρονικό διάστημα από 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.

1.3β) Τύπος αργίλου .

Η προσρόφηση του βορίου είναι μεγαλύτερη στις μαρμαρυγίες, λίγο μικρότερη στο μοντμοριλονίτη και ελάχιστη στον καολινίτη .

1.3 γ) Τιμή του pH του εδάφους

Η διαθεσιμότητα του βορίου στο έδαφος μειώνεται καθώς η τιμή του pH του εδάφους ανυψώνεται ενώ μειώνεται σημαντικά σε τιμές pH από 6,3 μέχρι 6,5. 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 την διάρκεια που διατηρείται το ασβέστιο στο έδαφος .

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 $pH=7$.

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 .

1.3 δ) Οργανική ουσία

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. Τα επιφανειακά στρώματα του εδάφους που περιέχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε οργανική ουσία να παρουσιάζουν υψηλή διαθεσιμότητα σε βόριο. Η προσθήκη οργανικών ουσιών στο έδαφος μπορεί να αυξήσει την πρόσληψη του από τα φυτά .

1.3 ε) 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. Η παρουσία του 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 .

1.3 στ) Υγρασία του εδάφους

Η διαθεσιμότητα του βορίου του εδάφους μειώνεται με τη μείωση της εδαφικής υγρασίας. Για το λόγο αυτο, τροφοπενίες βορίου παρατηρούνται σε συνθήκες παρατεταμένης ξηρασίας. Αυτό οφείλεται στη μείωση της απελευθέρωσης του στοιχείου αυτού από τα σύμπλοκα με ορυκτά και στη μειωμένη κίνηση του βορίου στην περιοχή της ριζόσφαιρας προς τη ρίζα .

Όταν η συγκέντρωση του βορίου στα εδάφη είναι υψηλή και η εδαφική υγρασία είναι χαμηλή, τότε μειώνεται η διάχυση του βορίου και η μαζική ροή, με συνέπεια τη δυσχερή πρόσληψη του από τις ρίζες. Σε χαμηλά επίπεδα υγρασίας ο συντελεστής διάχυσης του στοιχείου αυτού μειώνεται σημαντικά. Χαμηλό ποσοστό εδαφικής υγρασίας είναι δυνατόν να προκαλέσει τροφοπενία βορίου είτε εξαιτίας δυσμενών συνθηκών που δημιουργούνται για την ανοργανοποίηση της οργανικής ουσίας είτε γιατί περιορίζεται η διαπνοή και συνεπώς και η είσοδος του ύδατος στο φυτό .

1.3 ζ) Φυτικοί παράγοντες

Η ευαισθησία στην έλλειψη βορίου ποικίλει μεταξύ των διάφορων καλλιεργούμενων ειδών. Ορισμένα φυτά παρουσιάζουν ανθεκτικότητα στην έλλειψη και τοξικότητα του στοιχείου αυτού, ενώ άλλα φυτά είναι αρκετά ευαίσθητα .

1.3 η) Επίδραση των παραγόντων του φυσικού περιβάλλοντος

Στον πίνακα 2 παρουσιάζεται η επίδραση του περιβάλλοντος στη διαθεσιμότητα του βορίου.

Πίνακας 2, Επίδραση των παραγόντων του φυσικού περιβάλλοντος στη διαθεσιμότητα του βορίου. (Μήτσιος, 2003).

αρνητική	θετική
1)Υψηλή σχετική υγρασία και μειωμένη αναπνοή	1)Αυξημένη αναπνευστική δραστηριότητα
2)Συμπύεση εδάφους	2)Καλή δομή του εδάφους και αερόβιες συνθήκες στις ρίζες των φυτών

3) Χαμηλή τιμή pH ή υψηλή τιμή pH	3) Ο χούμος του εδάφους
4) Εδάφη βαριάς συστάσεως που συγκρατούν υψηλό ποσοστό υγρασίας.	4) Οι μικροοργανισμοί του εδάφους
5) Ψυχρά εδάφη	5) Βέλτιστο pH του εδάφους
6) Ξηρά εδάφη	6) Υγρασία του εδάφους
7) Εμπλουτισμός με CO ₂	7) Άριστη θερμοκρασία του εδάφους
8) Αναερόβιες συνθήκες	8) Εκτεταμένο και βαθύ ριζικό σύστημα των φυτών

1.4 Εδάφη με μικρή περιεκτικότητα σε βόριο

Μεγάλες πιθανότητες εμφάνισης τροφοπενίας βορίου παρατηρούνται στα αμμώδη εδάφη, σε περιοχές με συχνές βροχοπτώσεις και στα εδάφη που περιέχουν μικρή περιεκτικότητα σε βόριο, καθώς και στα όξινα 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 αυτά το Al(OH)₃ δεσμεύει τα βορικά ιόντα με υψηλούς ρυθμούς.

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 γιατί οι επιφανειακοί ορίζοντες της εδαφικής κατατομής περιέχουν βόριο σε μικρές συγκεντρώσεις. Στους ορίζοντες αυτούς, τα οργανικά κολλοειδή 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 βορίου, η ξηρασία δεν οδηγεί σε εμφάνιση τροφοπενιών 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. 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 του βορίου. Για τους λόγους αυτούς, προστίθενται στα εδάφη λιπάσματα βορίου ή γίνονται διαφυλλικοί ψεκασμοί ώστε να μην εμφανιστούν συμπτώματα τροφοπενίας βορίου .

1.5 Το βόριο στην ανάπτυξη των φυτών

Το βόριο συμμετέχει στη μεταφορά των σακχάρων κατά μήκος των κυτταρικών μεμβρανών. Τα ελεύθερα μόρια των σακχάρων λόγω πολικότητας, δεν διαπερνούν τις κυτταρικές μεμβράνες, και αυτό οφείλεται στο σχηματισμό χημικών ενώσεων με το βόριο. Το βόριο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη διαίρεση του κυττάρου, στη σύνθεση της πηκτίνης και στην δραστηριότητα της πολυφαινολάσης .

Τονίζεται η καταλυτική συμπεριφορά του βορίου στη σύνθεση του DNA και του RNA καθώς και στη διαδικασία της γλυκόλυσης. Έχει αποδειχθεί ότι το βόριο είναι απαραίτητο στο σχηματισμό αζωτούχων βάσεων, μεταξύ των οποίων είναι και η ουρακίλη η οποία αποτελεί βασικό συστατικό του RNA .

Το βόριο είναι ακόμα αναγκαίο σε ίχνη σε πολλές ενζυματικές διεργασίες όπως στη διαφοροποίηση ανθέων, στη βλάστηση της γύρης κ.λ.π. Περιέχεται στο στύλο ή στο στίγμα και γι' αυτό η έλλειψη του επηρεάζει αρνητικά το δέσιμο των καρπών.

Πρέπει να τονιστεί η σημασία του βορίου κυρίως στην αναπαραγωγική ανάπτυξη του φυτού όπου έχει και τη μεγαλύτερη σημασία. Πιο συγκεκριμένα σε πείραμα που διεξήχθη μελετήθηκε η συμπεριφορά δύο ευαίσθητων στην έλλειψη του βορίου φυτών, του ηλίανθου και της ελαιοκράμβης. Τα νεαρά φυτά τροφοδοτούνταν με τα απαραίτητα θρεπτικά με διαλύματα των οποίων η συγκέντρωση σε βόριο ήταν διαφορετική. Στις μικρότερες συγκεντρώσεις (0,9μM B για ελαιοκράμβη και 0,8μM B για ηλίανθο) τα τυπικά συμπτώματα έλλειψης βορίου εμφανίστηκαν 45 και 40 μέρες αντίστοιχα μετά την μεταφύτευση των νεαρών φυταρίων στα θρεπτικά διαλύματα.

Πίνακας 3. Βάρος ξηρής ουσίας βλαστικών και αναπαραγωγικών φυτικών μερών της ελαιοκράμβης ύστερα από 75 μέρες σε διαλύματα τα οποία περιείχαν 0,8 έως 53 μM βορίου. (Asad et al,2001).

Συγκέντρωση βορίου	φύλλα	ρίζες	Σύνολο βλαστικών μερών	Σύνολο αναπαραγωγικών μερών
(mg B/ Kg ξηρής βιομάζας)				
0,8	25,4	1,2	36,8	—
0,9	31,7	2	51,5	—
2,8	56,4	7,8	111,8	2,9
53	58	9,4	130,9	4,5

Σε συγκεντρώσεις $<0,9\mu\text{M B}$, σχηματίστηκαν λίγα άνθη τα οποία όμως δεν ήταν λειτουργικά ενώ τα περισσότερα από αυτά που σχηματίστηκαν έπεσαν. Η βλαστική και ανθική ανάπτυξη στα φυτά που δέχθηκαν βόριο συγκέντρωσης $2,8\mu\text{M}$ φάνηκε κανονική αλλά καθυστέρησε 3-5 μέρες σε σχέση με τα αντίστοιχα φυτά των $53\mu\text{M B}$. Κατά τη συλλογή των φυτών ο συνολικός αριθμός των ανθέων ήταν 11, 37 και 49 για $0,9$, $2,8$ και $53\mu\text{M B}$ αντίστοιχα. Επιπλέον το βάρος των αναπαραγωγικών μερών στα φυτά που αναπτύχθηκαν σε διάλυμα συγκέντρωσης $53\mu\text{M B}$, ήταν μεγαλύτερο κατά 55% από την αμέσως μικρότερης συγκέντρωσης μεταχείριση την στιγμή που οι διαφορές στην βλαστική ανάπτυξη ήταν πολύ μικρότερες .

Πίνακας 4, Συγκέντρωση βορίου στα βλαστικά και αναπαραγωγικά μέρη της ελαιοκράμβης μετά από 75 μέρες σε θρεπτικά διαλύματα που περιείχαν $0,8$ έως $53 \mu\text{M}$ βορίου. (Asad et al,2001).

Συγκέντρωση Βορίου	φύλλα	ρίζες	Σύνολο βλαστικών μερών	Σύνολο αναπαραγωγικών μερών
(mg B/ Kg ξηρής βιομάζας)				
0,8	3,5	4,4	3,2	—
0,9	9,5	8,3	8,7	—

2,8	17,6	12,9	16,4	30,9
53	20,6	16,7	19,4	35,5

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα η συγκέντρωση του βορίου στα αναπαραγωγικά τμήματα του φυτού είναι πολύ μεγαλύτερη με την αντίστοιχη των βλαστικών τμημάτων, κάτι που δείχνει την σημασία του βορίου στην άνθιση και κατά συνέπεια και στην παραγωγή. Αυτό φαίνεται και από το γεγονός ότι τα νεαρά φυτά δεν παρουσίασαν συμπτώματα στο βλαστικό στάδιο. Τέλος μεγάλης σημασίας είναι το γεγονός ότι ακόμα και σε μικρότερες συγκεντρώσεις παρ' όλο που δεν έδειξαν κανένα σύμπτωμα τα φυτά, εν' τούτοις υπήρξε διαφορά στη παραγόμενη φυτική μάζα και τον αριθμό των ανθέων.

Συνοψίζοντας το βόριο στα φυτά παίζει ρόλο στα:

- Αναπαραγωγή και ζωτικότητα της γύρης.
- Δημιουργία των σακχάρων και αμύλου.
- Μεταφορά των παραπάνω στο φυτό.
- Συμμετέχει μαζί με το ασβέστιο στη δημιουργία των κυτταρικών τοιχωμάτων.
- Ρυθμίζει το μεταβολισμό των υδατανθράκων.
- Βοηθά στη σύνθεση του DNA στους μεριστοματικούς ιστούς.

Η πρόσληψη βορίου από τις ρίζες των φυτών γίνεται κυρίως με τη μορφή του βορικού οξέος (H_3BO_3) γιατί το βορικό ανιόν $\{B(OH)_4\}^-$ είναι παρόν σε μικρές συγκεντρώσεις σε συνηθισμένα pH. Πρόσφατα βρέθηκε από τους Dannel et al(2000) ότι η πρόσληψη του βορίου από τον ηλίανθο είναι ενεργητική όταν η συγκέντρωση του στο εδαφικό διάλυμα είναι μικρή(1μM) και παθητική όταν η συγκέντρωση του βορίου στο διάλυμα είναι μεγάλη (100μM). Αποδείχθηκε ότι η ενεργητική πρόσληψη του βορικού οξέος στα φυτά γίνεται με τη βοήθεια πρωτεϊνών (άκουπορίνες) οι οποίες βρίσκονται στις πλασματικές μεμβράνες των κυττάρων και μπορούν να αποτελέσουν κανάλια για την είσοδο μη πολικών μορίων στο εσωτερικό των κυττάρων. Η δράση των πρωτεϊνών αυτών σταματά παρουσία ιόντων υδραργύρου. Το παραπάνω αποδείχθηκε και πειραματικά (Christos Dodras and Patrick H.Brown).

Πέρα από την άμεση επίδραση που έχει στα φυτά η σωστή τροφοδοσία τους με βόριο, το στοιχείο αυτό επηρεάζει και έμμεσα την ανάπτυξη των φυτών. Οι Mitchell et al (1987) ανέφεραν αύξηση του ξηρού βάρους των ριζών καθώς επίσης και αύξηση του αριθμού των μυκόριζων μετά από προσθήκη βορίου ,ενώ σε πειράματα αγρού φάνηκε ότι ο σχηματισμός εκτομυκόριζων σε κωνοφόρα αποτρεπόταν από την έλλειψη βορίου. Τα ίδια αποτελέσματα είχαν και σε καλλιέργειες τριφυλλιού και μηδικής .

1.6.1 Απαιτήσεις των φυτών σε βόριο

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 2 μέχρι 6 mgBkg⁻¹ ξηρής ουσίας, σημαντικά λιγότερη από αυτή των δικοτυλήδων των οποίων η περιεκτικότητα βορίου είναι 20 μέχρι 200 mgBkg⁻¹ ξηρής ουσίας .

Τα κατωτέρω φυτά παρουσιάζουν ευαισθησία στην έλλειψη βορίου :

- Ζαχαρότευτλα
- Σέλινο και ηλίανθος
- Κουνουπίδι και μηδική
- Οπωροφόρα και ιδιαίτερα μηλοειδή

Ενώ τα φυτά :

- Κριθάρι
- Αγγουράκια και φασόλια
- Φράουλες και 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 τον ίδιο τρόπο στην έλλειψη βορίου, δηλαδή όλες οι ποικιλίες του ίδιου είδους φυτού δεν είναι κατάλληλες για την ένδειξη της έλλειψης 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 .

Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένες συγκεντρώσεις του βορίου σε κάποιες χαρακτηριστικές καλλιέργειες που έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε βόριο.

Πίνακας 5. Κρίσιμες συγκεντρώσεις του βορίου σε διάφορες καλλιέργειες.

Καλλιέργεια Μέρος του φυτού Χρο. Περίοδος Έλλειψη επάρκεια τοξικότητα

			-----ppmΒορίου-----		
Αραβόσιτος	Φύλλο		<2	6-40	41-55
Σόγια	Όλο το φυτό	Πριν το σχ/σμο Λοβού	<20	21-55	56-100
Τεύτλα	Φύλλο		<10	21-50	>50
	Μίσχος		<8	16-200	>200

(<http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC0723.html>)

Εκτός από τις διαφορές στις απαιτήσεις βορίου μεταξύ των διαφόρων φυτικών ειδών υπάρχει και μεταξύ των ποικιλιών ενός είδους διαφορετική αντίδραση στην διαθεσιμότητα του βορίου

Πίνακας 6, συγκέντρωση βορίου (mg) σε φυτικά προϊόντα

Μήλα	Ακτινίδιο	Δαμάσκηνο	Σουλτανίνα
100g 0.32 mg	120g 0.31 mg	100g 0.45 mg	15g 0.24 mg
Χυμός μήλου	Πορτοκάλι	Δαμάσκηνα	
125g 0.29 mg	130g 0.33 mg	ξηρά	
		50g 0.94 mg	

Βερίκοκα, ξηρά	Ροδάκινα	Σταφίδες
25g 0.53 mg	25g 0.81 mg	15g 0.67 mg
Αβοκάντο	Βούτυρο	Φασόλια
100g 2.06 mg	φιστικιού	130g 1.82 mg
	20g 0.38 mg	

(www.jctonic.com/include/minerals/boron.html)

1.6.2 Συμπτώματα τροφοπενίας βορίου

Είναι γνωστό ότι το βόριο δε μετακινείται εντός του φυτού από τα παλαιότερα στα νεώτερα φύλλα, με αποτέλεσμα να παρατηρούνται συμπτώματα έλλειψης του στοιχείου αυτού. Η έλλειψη βορίου μπορεί να ανιχνευθεί στα νεώτερα φύλλα, στους βλαστούς και τις ρίζες .

Εξαιτίας της συμπεριφοράς αυτής, τα φυτά πρέπει να προσλαμβάνουν βόριο συνεχώς κατά την διάρκεια της ανάπτυξης. Η έλλειψη βορίου εμφανίζεται σε ορισμένα είδη φυτών, μέσω πολλών ορατών χαρακτηριστικών, που διαπιστώνονται τόσο μικροσκοπικά όσο και μακροσκοπικά ως ακολούθως :

- Κίτρινος μέχρι κοκκινωπός αποχρωματισμός των νεώτερων φύλλων, με η χωρίς επακόλουθες νεκρώσεις.
- Εμφάνιση νεωτέρων φύλλων με μορφή ροζέτας.
- Μικρά παραμορφωμένα φύλλα, συχνά με απλοποιημένο σχήμα φύλλου, με ασύμμετρο σχηματισμό των νεύρων .
- Σπασίματα και σχηματισμοί φελλού στο μίσχο των φύλλων .
- Κοτυληδόνες συχνά σε μεγέθυνση.
- 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 η ξηραίνονται σύντομα (σκούπα της μάγισσας).

- Λόγω απουσίας της κυριαρχίας της κορυφής, παρατηρείται αύξηση των μασχαλιαίων οφθαλμών οι οποίοι αναπτύσσονται κανονικά η ξηραίνονται σύντομα (σκούπα της μάγισσας).
- Μείωση των αριθμών 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 παχαίνουν αποκτώντας μορφή ροπάλου, και γίνονται καφέ. Συχνά όμως γίνονται και πολύ λεπτές.
- Σχηματισμός καφέ κηλίδων, φαινόμενα ξηρής σήψης κατά τόπους .
- Τα παλαιότερα φύλλα εμφανίζουν συμπτώματα μόνο όταν υπάρξει συνεχής έλλειψη.
(Μήτσιος, 2003, www.missouri.edu).

Τα συμπτώματα βέβαια διαφέρουν από καλλιέργεια σε καλλιέργεια εμφανίζοντας χαρακτηριστικά σημεία σε κάθε καλλιεργούμενο είδος. Έτσι στα κατωτέρω είδη φυτών παρατηρούνται τα εξής :

1.6.2 α) Έλλειψη βορίου στα οπωροφόρα δέντρα

Πέρα όμως από την τοξικότητα του βορίου που εμφανίζεται όχι και τόσο συχνά οι περισσότερες καλλιέργειες στην Ελλάδα αλλά και στον υπόλοιπο κόσμο υποφέρουν από έλλειψη του στοιχείου αυτού μειώνοντας σε μεγάλο ποσοστό την παραγωγή και το εισόδημα του καλλιεργητή. Όταν η διαθεσιμότητα είναι σε οριακό σημείο τότε τα φυτά δεν δίνουν πάντα τα χαρακτηριστικά συμπτώματα έλλειψης του ιχνοστοιχείου αυτού πράγμα που καθιστά δύσκολη την διάγνωση του .

Η τροφοπενία βορίου είναι πολύ συνηθισμένη στη μηλιά. Εμφανίζεται κυρίως στους καρπούς που προκαλεί την ασθένεια που ονομάζεται φέλλωση. Τα πρώτα συμπτώματα στα μήλα εκδηλώνονται όταν έχουν διάμετρο 3-4 εκατοστά με την εμφάνιση στην επιφάνεια τους μιας η περισσότερων υδατωδών κηλίδων κυκλικών η ακανόνιστων χρώματος σκούρου πράσινου. Συχνά επί των κηλίδων υπάρχει καστανόχρους κομμωδής ουσίας που διαλύεται εύκολα με το νερό. Οι κηλίδες εξελίσσονται σε καστανές, νεκρωτικές ελαφρά βυθισμένες, φελλώδεις, οι οποίες με

την συνένωση τους μπορεί να σχηματίζουν μεγαλύτερες φελλώδεις επιφάνειες. Λόγω της νεκρώσεως αυτής οι καρποί αναπτυσσόμενοι παρουσιάζουν ελαφρά η έντονη παραμόρφωση. Οι έντονα παραμορφωμένοι καρποί συχνά πέφτουν πρόωρα από το δέντρο. Η σάρκα των καρπών κάτω από τις κηλίδες είναι καστανή λόγω αποφελλώσεως των ιστών σε βάθος 3-5mm. Τέτοιες κηλίδες συχνά εμφανίζονται και μέσα στον καρπό διάσπαρτες οι οποίες δεν είναι εξωτερικά αντιληπτές.

Τα συμπτώματα στο φύλλωμα εμφανίζονται σπάνια και συνήθως σε σοβαρές περιπτώσεις ελλείψεως βορίου. Τα φύλλα των ετήσιων βλαστών γίνονται αργά το καλοκαίρι κίτρινα με ερυθρόχρωμα νεύρα κυρτούνται και παρουσιάζουν περιφερειακές νεκρώσεις του ελάσματος. Κοντά στην κορυφή ο φλοιός και το κάμβιο εμφανίζουν νεκρωτικές κηλίδες. Επιπλέον εμφανίζεται νέκρωση βλαστών που ξεκινά από την κορυφή και προχωρά προς τα κάτω. Πολλοί οφθαλμοί δεν εκπτύσσονται η δίνουν καχεκτική βλάστηση και ρόδακες φύλλων.

Παρόμοια είναι και τα συμπτώματα έλλειψης βορίου και στα πυρηνόκαρπα όπου αρχικά παρουσιάζεται μικροφυλλία και καρούλιασμα προς τα κάτω. Οι βλαστοί δεν εκπτύσσονται κανονικά, ενώ οι καρποί εμφανίζουν έντονες παραμορφώσεις και αποφελλωμένες κηλίδες.

Στα εσπεριδοειδή η επιφάνεια των καρπών εμφανίζεται σκληρή κατά θέσεις με ταυτόχρονη απόθεση κόμμεος στο λευκό τμήμα του φλοιού ενώ δεν λείπουν και οι αποθέσεις κόμμεος μέσα στον καρπό. Τα σπέρματα μπορεί να λείπουν. Οι καρποί μπορεί να είναι μικροί σκληροί και με λίγο χυμό. Επίσης παρατηρείται πτώση καρπών και σχίσμο φλοιού. Τα φύλλα μαραίνονται κιτρινίζουν και καρουλιάζουν προς τα κάτω. Σε πολλή σοβαρές ελλείψεις παρατηρείται σχίσμο και φέλλωση των νεύρων στην πάνω επιφάνεια των φύλλων. Οι κλαδίσκοι αποφυλλώνονται και στην κορυφή εμφανίζουν νεκρώσεις. Τα εσπεριδοειδή που είναι εμβολιασμένα σε νεραντζιά είναι πιο επιρρεπείς στην έλλειψη βορίου.

Στο αμπέλι η έλλειψη βορίου εμφανίζεται με βραχυγονάτωση, μεσονεύριο χλώρωση στα φύλλα, ενώ τα νεότερα φύλλα παραμορφώνονται, κατσαρώνουν και έχουν ασύμμετρη ανάπτυξη. Επιπλέον ο ακραίος οφθαλμός νεκρώνεται και στη συνέχεια εκπτύσσονται πολλοί πλάγιοι οι οποίοι είναι παραμορφωμένοι. Στους βότρες παρατηρείται μικρή καρπόδεση, μικροραγία και ανισοραγία. Πολλές ράγες στερούνται σπερμάτων, και συχνά εμφανίζεται εσωτερικά φέλλωση, ρωγμές, βυθισμένες θέσεις και ανώμαλη ωρίμανση.

1.6.2 β) Καπνός

Οι επιδράσεις του βορίου στον καπνό μελετήθηκαν περισσότερο από οποιοδήποτε άλλο μικροθρεπτικό. Υπό κανονικές συνθήκες παραγωγής καπνού, σπάνια παρατηρείται έλλειψη βορίου. Όταν όμως η ταχύτητα αύξησης της χλωρής μάζας του καπνού είναι πολύ μεγάλη και έντονη, ενδέχεται να παρατηρηθεί έλλειψη βορίου. Με την έλλειψη του στοιχείου αυτού τα κορυφαία φύλλα αποκτούν χρώμα ανοικτό πράσινο και είναι παραμορφωμένα. Σε περιπτώσεις όμως έντονης έλλειψης βορίου παρατηρείται νέκρωση του κορυφαίου οφθαλμού του καπνού και τα υπάρχοντα φύλλα γίνονται σκούρα πράσινα. Οι πλάγιοι μασχάλιατοι οφθαλμοί, οι οποίοι είναι πλησίον της κορυφής του φυτού, δεν αναπτύσσονται. Τα ανωτέρω συμπτώματα έλλειψης βορίου έχουν παρατηρηθεί σε καπνοφυτείες επικλινών εδαφών, οι οποίοι ισοπεδώθηκαν με τη μετακίνηση μεγάλου πάχους στρώματος εδάφους 30 μέχρι 80 cm.

1.6.2 β,1. Αντιμετώπιση της ελλείψεως βορίου στον καπνό

Δεδομένου ότι το βόριο μετακινείται πολύ δύσκολα μέσα στο φυτό, χρειάζεται συνεχής τροφοδοσία της καπνοφυτείας με το στοιχείο αυτό από το έδαφος για ομαλή αύξηση - ανάπτυξη και παραγωγή καλής ποιότητας καπνού. Λίπανση καπνοφυτειών με 34-57 g B στρ⁻¹, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης και τη βελτίωση της ποιότητας του καπνού. Έχει επίσης βρεθεί ότι η λίπανση των αγρών πριν τη μεταφύτευση του καπνού με 1-2Kg βόρακα το στρέμμα, είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της στρεμματικής απόδοσης.

1.6.2 γ) Βαμβάκι

Η έλλειψη του βορίου στο βαμβάκι εκδηλώνεται με νεκρώσεις της κορυφής των βλαστών και στη συνέχεια 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 ανοικτό πράσινο χρώμα. Παρατηρούνται ρωγμές στους μίσχους των λουλουδιών και μερικές φορές στη βάση των καρυδιών. Τα συμπτώματα εμφανίζονται στα κατώτερα τμήματα του φυτού.

1.6.2 δ) Ζαχαρότευτλα

Η έλλειψη βορίου στα ζαχαρότευτλα προκαλεί τυπικά συμπτώματα που εκδηλώνονται όχι μόνο στα φύλλα αλλά και στους μίσχους, στις κορυφές των ριζών και σ' αυτές ακόμα τις ρίζες των ζαχαρότευτλων. Όταν ο εφοδιασμός των φυτών με βόριο είναι ανεπαρκής, τα πρώτα συμπτώματα εμφανίζονται στο πρωτογενές μερίστωμα και στα νεαρά φύλλα. Η έλλειψη βορίου κατ' αρχήν μειώνει τις αποδόσεις, ενώ στη συνέχεια επηρεάζει τις ρίζες υποβαθμίζοντας και την εμπορική τους αξία.

Όταν τα ζαχαρότευτλα καλλιεργούνται σε εδάφη ελαφριάς σύστασης και αλκαλικής αντίδρασης παρουσιάζονται σ' αυτά συμπτώματα τροφοπενίας βορίου . Έλλειψη επίσης παρατηρείται συχνά κατά την περίοδο θερμών καλοκαιριών, ιδιαίτερα δε όταν έχει προηγηθεί ήπια και υγρή άνοιξη. Στις συνθήκες αυτές, τα φυτά αρχικά αναπτύσσονται ταχύτατα προσλαμβάνοντας αρκετό βόριο. Στη συνέχεια το ξηρό εδαφικό περιβάλλον μειώνει την διαθεσιμότητα του βορίου, με άμεση εμφάνιση συμπτωμάτων στην καρδιά των φυτών, παρά την υψηλή συγκέντρωση βορίου στα παλαιότερα φύλλα .

1.6.2 δ,1. Αντιμετώπιση της έλλειψης βορίου στα ζαχαρότευτλα

Οι τροφοπενίες βορίου στα ζαχαρότευτλα αντιμετωπίζονται με βόρακα ($N_2B_4O_7 \times H_2O$ -11% B). Η λίπανση με βόρακα έχει δώσει πολύ καλά αποτελέσματα και θετική αντίδραση στη μάζα των ριζών και στον ζαχαρικό τίτλο. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν επιτευχθεί με διαφυλλικές λιπάνσεις κατά την περίοδο Μαΐου – Ιουνίου(βόρακας solubor) .

1.6.2 ε) Τροφοπενιά βορίου στην ελιά

Η ελιά είναι από τις ευαίσθητες καλλιέργειες στην έλλειψη βορίου και γι' αυτό το λόγο έχει προταθεί ως φυτό δείκτης, για τον εντοπισμό εδαφών με μικρή

συγκέντρωση βορίου. Η τροφοπενία βορίου στην ελιά είναι από τις πιο σοβαρές μη μεταδοτικές ασθένειες του ελαιόδεντρου, η οποία έχει εξαιρετικά δυσμενή επίδραση στην παραγωγή και την ανάπτυξη του φυτού .

Τα ελαιόδεντρα συνήθως εμφανίζονται χλωρωτικά, ενώ σε σοβαρότερες ελλείψεις παρουσιάζουν μεγάλων αριθμό ξηρών κλάδων σ' ολόκληρη την κόμη. Τα κλαδιά έχουν την γνωστή μορφή ως σκούπα της μάγισσας λόγω της διαδοχικής εκπτώξεως πολλών πλάγιων βλαστών και κατόπιν αποξηράνσεως τους. Το πιο χαρακτηριστικό σύμπτωμα ελλείψεως βορίου από την ελιά εμφανίζεται στα φύλλα και παρουσιάζεται ως χλώρωση του κορυφαίου τμήματος του ελάσματος. Αρχικά το χρώμα των χλωρωτικών ιστών είναι πρασινοκίτρινο και στη συνέχεια μετατρέπεται σε κίτρινο πορτοκαλί και καταλαμβάνει το 1/2-1/3 του φύλλου. Τα συμπτώματα εμφανίζονται πρώτα στα κορυφαία φύλλα των νέων βλαστών και στη συνέχεια στα κατώτερα. Τα συμπτώματα αυτά στα φύλλα μοιάζουν με αυτά της τροφοπενίας καλίου. Η κύρια διαφορά είναι ότι στην τροφοπενία βορίου η μετάβαση από το χλωρωτικό τμήμα του φύλλου στο υγιές γίνεται αμέσως χωρίς ενδιάμεση απόχρωση. Στα παλιότερα φύλλα ενίοτε παρατηρείτε και ξήρανση του χλωρωτικού αυτού τμήματος. Επιπλέον παρατηρείται μικροφυλλία, παραμόρφωση των φύλλων (ροπαλόμορφα) και φυλλόπτωση .

Στα ασθενή δέντρα καθυστερεί η έναρξη βλαστήσεως ενώ ο ακραίος οφθαλμός νεκρώνεται. Έτσι εκπτώσσονται οι πλάγιοι οφθαλμοί οι οποίοι και αυτοί με τη σειρά τους νεκρώνονται δημιουργώντας χαρακτηριστικές σκούπες. Το καλοκαίρι παρατηρείται έντονη καρπόπτωση ενώ και η άνθηση είναι περιορισμένη. Έτσι η παραγωγή μειώνεται και σε σοβαρότερες προσβολές εκμηδενίζεται .

1.6.2 στ, 1. Αντιμετώπιση τροφοπενίας βορίου στην ελιά

Στη χώρα μας , η αντιμετώπιση της έλλειψης βορίου στην ελιά πραγματοποιείτε συνήθως με προσθήκη στο έδαφος βοριούχων λιπασμάτων (βόρακας ,βορικό οξύ) κάθε 2 με 3 χρόνια ή με ψεκασμό του φυλλώματος με βοριούχα διαλύματα .

Κατά τη συνήθη πρακτική η ποσότητα του βοριούχου λιπάσματος καθορίζεται με βάση την ηλικία και ανάπτυξη των δέντρων, χωρίς κατά κανόνα να λαμβάνονται υπόψη οι εδαφικές συνθήκες, οι οποίες συμβάλουν άμεσα η έμμεσα στην εμφάνιση των τροφοπενιών .

Έτσι ανεξάρτητα από την καλλιέργεια, τις κλιματικές συνθήκες, την ευαισθησία – ανοχή – ανθεκτικότητα των φυτικών ειδών στη χορήγηση λιπασμάτων, κύριος παράγοντας που ρυθμίζει την περίσσεια ή την έλλειψη βορίου στα φυτά είναι το έδαφος .

1.6.3 Πρόληψη τροφοπενιών βορίου

Η βέλτιστη λίπανση των φυτών με βόριο είναι απαραίτητη ώστε να αποφευχθούν ακραίες καταστάσεις στα φυτά (τροφοπενίες – τοξικά συμπτώματα), οι οποίες έχουν ως συνέπεια τη διατάραξη του μεταβολισμού τους και την εμφάνιση ανωμαλιών στην ανάπτυξή τους. Προληπτικά πραγματοποιούνται λιπάνσεις στο έδαφος καθώς και διαφυλλικοί ψεκασμοί .

1.6.4 Λιπάνσεις με βόριο

Σε περιοχές που οι τροφοπενίες βορίου είναι συνήθεις, συχνά χρησιμοποιείται ο βόρακας, (το λίπασμα αυτό περιέχει 10,6%B) σε σύμπλοκα λιπασμάτων. Η προσθήκη βόρακα πρέπει να γίνεται προσεκτικά και ομοιόμορφα, κυρίως στο μέρος που βρίσκεται ο σπόρος. Αν προστεθεί μεγάλη ποσότητα λιπάσματος και ανομοιόμορφη διασπορά, τα φυτά ενδεχομένως θα υποστούν την τοξική δράση του βορίου και τούτο διότι υπάρχει μικρό εύρος μεταξύ των τοξικών ποσοτήτων και αυτών που οδηγούν σε τροφοπενία του στοιχείου αυτού.

Για τους λόγους αυτούς προτιμώνται τα υδατοδιαλυτά σπρέι βορίου διότι διασκορπίζονται πολύ πιο εύκολα από το στερεό βόριο. Παράδειγμα υδατοδιαλυτού είναι το σύμπλοκο που περιέχει 20% B, είναι γρήγορα διαλυόμενο και διατίθενται ως υδατικό διάλυμα που περιέχει 0,2 – 2,5% αυτού του μίγματος. Το διαλυτό βόριο είναι πολύ πυκνό, είναι πλήρης πηγή βορίου και μπορεί να εφαρμοστεί σαν σπρέι η σκόνη απευθείας σε οπωροφόρα δένδρα , λαχανικά και σιτηρά . Χρησιμοποιείται επίσης ως υγρό και διασπείρεται με μορφή λιπάσματος .

Το Solubor προτιμάται από το βόρακα επειδή διαλύεται πιο γρήγορα και υφίσταται λιγότερες αλλαγές στην κρυσταλλική δομή από τις θερμοκρασίες. Το ορυκτό Ca-βόρακας, κολεμανίτης, χρησιμοποιείται συχνά σε αμμώδη εδάφη γιατί είναι λιγότερο διαλυτό σε σχέση με τα νατριούχα λιπάσματα βορίου. Οι λιπάνσεις με βόριο εξαρτώνται από το είδος του φυτού, το βροχομετρικό ύψος, την ασβέστωση του



εδάφους και από το εδαφικό σύμπλοκο B – οργανικής ουσίας του εδάφους . Σημειώνεται ότι οι ποσότητες του βορίου που προστίθενται στο έδαφος εξαρτώνται και από την μέθοδο εφαρμογής. Λιπάσματα βορίου με κοκκώδη μορφή πρέπει να αποφεύγονται σε ξηρά εδάφη.

Το βορικό οξύ εκτός από τη χρήση του στη γεωργία ως λιπαντικό για πρόληψη τροφολοπιών βορίου σε άλλες χώρες όπως στην Νότια Αμερική χρησιμοποιείται και ως εντομοκτόνο εναντίον κατσαριδών και μυρμηγκιών .

Πίνακας 7 .Κυριότερα λιπάσματα βορίου.(Μήτσιος .2003).

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
Fritist 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 βόριο(EDTA)		4
Πολυβορ	(12-12-18+0,B)	0,5

1.6.5 Τοξικότητα βορίου

Το βόριο είναι απαραίτητο θρεπτικό στοιχείο για τα φυτά . Όταν όμως βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στο έδαφος η το ύδωρ αρδεύσεως, τότε το στοιχείο αυτό προκαλεί τοξικά συμπτώματα στα φυτά. Το ύδατα αρδεύσεως που περιέχει περισσότερο από 0,75mg/L βόριο πρέπει να χρησιμοποιείται με μεγάλη προσοχή. Το βόριο στο ύδωρ άρδευσης σε συγκέντρωση 0,2mg/L παρέχεται στα φυτά ως θρεπτικό

στοιχείο και δεν προκαλεί τοξικά συμπτώματα στα φυτά. Αντίθετα συγκέντρωση 1-2 mg/L είναι επιβλαβές στα φυτά .

Τα επιφανειακά ύδατα σπάνια περιέχουν ποσότητα βορίου που θα προκαλούσε τοξικά συμπτώματα στα φυτά. Το ύδωρ αρδεύσεως που προέρχεται από πηγάδια η από πηγές σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να περιέχει βόριο σε τέτοιες συγκεντρώσεις που να προκαλεί τοξικά συμπτώματα. Τα τοξικά συμπτώματα του βορίου στα φύλλα των φυτών αρχικά παρουσιάζονται στα παλιά φύλλα ως κίτρινες κηλίδες, η ακόμα ξηραίνονται οι κορυφές των ελασμάτων των φύλλων. Στα φυτά που είναι ευαίσθητα στην παρουσία βορίου στα ύδατα αρδεύσεως όπως η κερασιά και η δαμασκηλιά, δεν παρουσιάζονται τα τυπικά συμπτώματα στο έλασμα των φύλλων, αλλά είναι εμφανής η παρουσία κολλωδών εκκρίσεων στον κορμό και τους κλάδους . Όμως τα συμπτώματα αυτά δεν είναι χαρακτηριστικά της τοξικότητας βορίου στα φυτά αυτά (πυρηνόκαρπα), καθώς αποτελεί συνηθισμένη αντίδραση του φυτού σε διάφορα παράσιτα και ασθένειες. Σ' αυτές τις περιπτώσεις η καλύτερη λύση είναι ο υπολογισμός του βορίου σε φυτικούς ιστούς η εδαφολογική μελέτη .

Τα τοξικά συμπτώματα στα φύλλα των φυτών εμφανίζονται όταν η συγκέντρωση του βορίου στα φύλλα υπερβεί τα 250-300 mg/L ξηρής ουσίας αυτών .Στα δέντρα δαμασκηλιά, ροδακινιά ,αχλαδιά, αμυγδαλιά κ.α. δεν παρουσιάζονται τοξικά συμπτώματα στα φύλλα γι' αυτό η φυλλοδιαγνωστική είναι μια απαραίτητη μέριμνα για τον παραγωγό. Παρακάτω παρουσιάζεται η ανοχή ορισμένων καλλιεργούμενων φυτών στο βόριο που βρίσκεται στα ύδατα αρδεύσεως. Η ανοχή βέβαια του κάθε φυτού στις παρακάτω συγκεντρώσεις βορίου ποικίλουν και εξαρτώνται από τον τύπο του εδάφους τις κλιματικές συνθήκες κ.α.

Γενικά λόγω του κινδύνου της τοξικότητας του βορίου, για ετήσιες καλλιέργειες (π.χ καλαμπόκι) ακόμα και σε πολύ φτωχά εδάφη δεν εφαρμόζεται βοριούχο λίπασμα ποτέ στη γραμμή.

Επίσης έχουν αναφερθεί συμπτώματα τοξικότητας βορίου και σε εδάφη τα οποία είχαν υποστεί ασβέστωση. Σε πείραμα που πραγματοποιήθηκε βρέθηκε ότι τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε βόριο από τα υλικά ασβέστωσης είχε η τέφρα[σαν τέφρα ορίζεται το υπόλειμμα από την καύση του λιγνίτη που χρησιμοποιείται ως καύσιμη ύλη για παραγωγή ενέργειας. Περιέχει σίδηρο, ασβέστιο, πυρίτιο ,κάλιο, βόριο καθώς και άλλα μικροστοιχεία σε ικανοποιητικές ποσότητες, ενώ και το pH του είναι αλκαλικό. Πολλές εργασίες έχουν δείξει ότι η ουσία αυτή μπορεί να βελτιώσει τη δομή, την ικανότητα συγκράτησης ύδατος και τη γονιμότητα των εδαφών (Chang

et al., 1977). Επιπλέον συχνά προκαλεί προβλήματα τοξικότητας βορίου, σεληνίου και μολυβδαινίου] καθώς και κάποια άλλα υλικά πλούσια σε CaSO_4 (431 και 175 mgB/Kg αντίστοιχα), ενώ το CaO είχε την μικρότερη συγκέντρωση μεταξύ των υλικών αυτών (<1mgB/Kg). Παρ' όλα αυτά με την αύξηση του pH μειώνεται η διαθεσιμότητα του βορίου και συνεπώς και η ικανότητα των φυτών να συγκεντρώνουν βόριο στους ιστούς τους.

Όμως σε πείραμα που έγινε βρέθηκε ότι σε εδάφη στα οποία είχαν προστεθεί υλικά με σκοπό την άνοδο του pH το καλαμπόκι είχε αρκετή ποσότητα βορίου στους ιστούς του. Ενώ για νεαρά φυτά καλαμποκιού συγκέντρωση >25mgB/Kg ξηρής ουσίας είναι πολύ, και >100 mgB/Kg είναι τοξική, συγκεντρώσεις 50-100mgB/Kg είναι οριακές γι' αυτήν τη καλλιέργεια. Το CaSO_4 αύξησε τη συγκέντρωση του βορίου στους ιστούς του καλαμποκιού σε αντίθεση με τα CaCO_3 και CaSO_3 . Παρ' όλα αυτά δεν παρουσιάστηκε σημαντική μείωση της παραγωγής αλλά ούτε και εμφανή συμπτώματα τοξικότητας στα φυτά καλαμποκιού. Επιπλέον συνεχής προσθήκη τέτοιων ουσιών ίσως να μειώσει τα προβλήματα από την μεγάλη συγκέντρωση του βορίου στα φυτά (R.B.Clarck et al, 1998).

Πίνακας 8. Συγκέντρωση βορίου σε ξηρή βιομάζα σίκαλης (mg/Kg) σε σχέση με την ποσότητα τέφρας στο έδαφος. (V.Z. Keramidas et al, 1998).

	Ποσότητα τέφρας gr/ Kg εδάφους			
	0	5	20	50
Έδαφος 1	0,46	0,68	0,94	1,56
Έδαφος 2	0,55	0,71	0,85	1,26

1.6.5 α) Αντιμετώπιση των προβλημάτων τοξικότητας

Η πλέον αποτελεσματική μέθοδος αποφυγής της τοξικής δράσης του βορίου είναι η επιλογή ύδατος αρδεύσεως που δεν προκαλεί τοξικά συμπτώματα στα φυτά. Η τοξική δράση των Cl^- , Na^+ και βορίου μπορεί να μειωθεί με έκπλυση αυτών. Σε περιπτώσεις που η έκπλυση γίνεται υπερβολική, πολλοί γεωργοί εφαρμόζουν το σύστημα αμειψισποράς με μια πιο ανθεκτική στην έλλειψη βορίου καλλιέργεια. Σε περιπτώσεις όπου τα προβλήματα τοξικότητας δεν είναι τόσο συχνά, σχετικά μικρές αλλαγές στην καλλιέργεια μπορεί να δώσουν λύση στο πρόβλημα.

Πρέπει στο σημείο αυτό να τονιστεί ότι το βόριο είναι πολύ πιο δύσκολο να εκπλυθεί σε σχέση με τα ιόντα χλωρίου και νατρίου. Το βόριο κινείται αργά στο εδαφικό διάλυμα και απαιτείται περίπου τρεις φορές περισσότερο ύδωρ έκπλυσης απ' ότι απαιτείται για τα ιόντα Cl^- και Na^+ . Για τον έλεγχο της τοξικότητας απαιτείται καλής ποιότητας ύδατος για την άρδευση της καλλιέργειας και στη συνέχεια να γίνει έκπλυση του εδάφους με το ύδωρ αυτό για να μειωθούν οι τυχόν ψηλές συγκεντρώσεις του βορίου στο έδαφος.

Πίνακας 9, ανθεκτικότητα των φυτών στο βόριο των υδάτων αρδεύσεως.
(Μήτσιος, 2003).

Πολύ ευαίσθητα φυτά (<0,5mg/L)

Βοτανικό είδος	Ελληνικό όνομα
<i>Citrus limon</i>	Λεμονιά
<i>Rubus spp</i>	Βατόμουρο

Ευαίσθητα φυτά (0,5-0,75mg/L)

Βοτανικό είδος	Ελληνικό όνομα
<i>Persea americana</i>	Αβοκάντο
<i>Citrus paradisi</i>	Γκρεϊπ φρουτ
<i>Citrus sinensis</i>	Πορτοκαλιά
<i>Prunus americana</i>	Βερικοκιά
<i>Prunus persica</i>	Ροδακινιά
<i>Prunus avium</i>	Κερασιά
<i>Prunus domestica</i>	Δαμασκηνιά
<i>Diospyros kali</i>	Διόσπυρος

<i>Ficus carica</i>	Συκιά η κοινή
<i>Vitis vinifera</i>	Αμπέλι
<i>Junglans regia</i>	Καρυδιά
<i>Allium cepa</i>	Κρεμμύδι

Ευαίσθητα φυτά(0,75-1mg/L)

Βοτανικό είδος	Ελληνικό όνομα
<i>Allium sativum</i>	Σκόρδο
<i>Iponomea batatas</i>	Γλυκοπατάτα
<i>Triticum aestivum</i>	Σιτάρι
<i>Hordeum vulgare</i>	Κριθάρι
<i>Helianthus annuus</i>	Ηλίανθος
<i>Sesamum indicum</i>	Σουσάμι
<i>Lupinus hartwegii</i>	Λούπινα
<i>Fragaria spp</i>	Φράουλα
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Φασολιά
<i>Arachis hypogaea</i>	Αραχίδα

Μέτρια ανθεκτικά(1-2mg/L)

Βοτανικό είδος	Ελληνικό όνομα
<i>Capsicum annum</i>	Πιπεριά
<i>Pisum sativum</i>	Μπιζέλια
<i>Daucus carota</i>	Καρότα
<i>Raphanus sativus</i>	Ραπανάκι
<i>Solanum tuberosum</i>	Πατάτα
<i>Cucumis sativus</i>	Αγγούρι

Μέτρια ανθεκτικά(2-4mg/L)

Βοτανικό είδος	Ελληνικό όνομα
<i>Lactuca sativa</i>	Μαρούλι
<i>Brassica rapa</i>	Γογγύλη
<i>Apium graveolens</i>	Σέλινο
<i>Avena sativa</i>	Βρώμη
<i>Zea mays</i>	Καλαμπόκι
<i>Cynara scolymus</i>	Αγκινάρα
<i>Nicotiana tabacum</i>	Καπνός
<i>Cucurbita pepo</i>	Κολοκύθι
<i>Cucurbita melo</i>	Πεπόνι

Ανθεκτικά φυτά(4-6mg/L)

Βοτανικό είδος	Ελληνικό όνομα
<i>Sorghum bicolor</i>	Σόργο
<i>Lycopersicum esculentum</i>	Τομάτα
<i>Medicago sativa</i>	Μηδική
<i>Vicia benhgalensis</i>	Βίκος
<i>Petroselinum crispum</i>	Μαϊντανός
<i>Beta vulgaris</i>	Ζαχαρότευτλα

Πολύ ανθεκτικά φυτά(6-15mg/L)

Βοτανικό είδος	Ελληνικό όνομα
<i>Gossypium hirsutum</i>	Βαμβάκι
<i>Asparagus officinalis</i>	Σπαράγγι

2. Υλικά και μέθοδοι

Πριν τον υπολογισμό του βορίου στα επιφανειακά(0-30cm) δείγματα εδάφους από την περιοχή της Καρδίτσας ,των Τρικάλων και της Ελασσόνας Λαρίσης υπολογίστηκαν και άλλα χαρακτηριστικά του εδάφους όπως το pH, η οργανική ουσία και η μηχανική ανάλυση. Τα εδαφικά δείγματα είχαν ήδη αεροξηρανθεί και διέλθει από κόσκινο διαμέτρου 2mm .

2.1 Υπολογισμός του pH.

Ο υπολογισμός του pH πραγματοποιήθηκε σε αιώρημα νερού –εδάφους σε αναλογία 1:1(30 γρ. εδάφους : με 30 mL νερού αποσταγμένου).

2.2 Υπολογισμός της μηχανικής σύστασης.

Ο υπολογισμός της μηχανικής σύστασης του εδάφους έγινε με τη μέθοδο Βουγιούκου. Χρησιμοποιήθηκε διασπορικό διάλυμα [6-μεταφωσφορικό νάτριο (NaPO_4)₆ και άνυδρο ανθρακικό νάτριο].

2.2 Υπολογισμός της οργανικής ουσίας.

Ο υπολογισμός της οργανικής ουσίας έγινε έμμεσα. Υπολογίστηκε ο οργανικός άνθρακας με τη χρήση του οξειδωτικού παράγοντα $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Ο προσδιορισμός του στηρίχτηκε στην οξειδοαναγωγική ογκομέτρηση των ιόντων $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ τα οποία δεν υπέστησαν αναγωγή από τον οργανικό άνθρακα με τιτλοδότηση διαλύματος FeSO_4 . Να τονιστεί ότι οι παραπάνω υπολογισμοί έγιναν μόνο σε ένα αριθμό των δειγμάτων.

2.4 Υπολογισμός του βορίου

Ο προσδιορισμός του διαθέσιμου βορίου στο έδαφος γίνεται με τις κατωτέρω μεθόδους :

- Η τροποποιημένη μέθοδος της κουρκουμίνης που χρησιμοποιεί 2-ethyl -1,3-hexanediol
- Η μέθοδος της αζωμεθίνης.
Στο πείραμα για τον προσδιορισμό του βορίου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της αζωμεθίνης.

2.4.1 Μέθοδος της 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 απελευθερωθεί το βόριο από τα ορυκτά που είναι προσροφημένο, χρησιμοποιείται CaCl_2 το οποίο αντικαθιστά το στοιχείο αυτό στις επιφάνειες των ορυκτών με αποτέλεσμα να παρατηρείται μεγαλύτερη συγκέντρωση 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 250mL), απαλλαγμένες από βόριο και κάθετοι ψυκτήρες επαναροής .

(Μήτσιος, 2003)

Πέρα από το CaCl_2 ως εκχυλιστικό χρησιμοποιούνται επίσης τα εξής διαλύματα:

- ❖ 0,01M CaCl_2 +0,05M μανιτόλη
- ❖ 0,01M ταρταρικό οξύ
- ❖ 0,1M σαλικυλικό οξύ
- ❖ 0,05M HCL

❖ 1M NH₄Oac pH =7 (Datta et al, 2000).

2.4.2 Αντιδραστήρια – όργανα

A) Εκχύλιση

Αποσταγμένο ύδωρ.

Χλωριούχο ασβέστιο (CaCl₂) 0,01M: διαλύονται 1.11 g άνυδρου χλωριούχου ασβεστίου (Calcium chloride dehydrate, καθαρότητας > 97%) σε 900mL αποσταγμένου ύδατος σε ογκομετρική φιάλη των 1000 mL και συμπληρώνεται το διάλυμα μέχρις όγκου 1000 mL .

B) Ανάπτυξη χρώματος

Ρυθμιστικό διάλυμα (buffer solution) : διαλύονται 250 g οξικού αμμωνίου (CH₃COONH₄) και 15 g Na₂EDTA (EDTA disodium) σε 400 mL αποσταγμένο ύδωρ . Σιγά σιγά προστίθενται 125 mL οξικού οξέος (CH₃COOH) και ακολουθεί μηχανική ανάδευση .

Υδροχλωρικό οξύ (HCL) 0,1 N: Προστίθενται 8,1 mL πυκνού HCL σε 900 mL αποσταγμένου ύδατος. Ακολουθεί ανακίνηση και ψύξη σε θερμοκρασία δωματίου . Τα διάλυμα μεταφέρεται σε ογκομετρική φιάλη των 1000 mL και συμπλήρωση μέχρι την χαραγή των 1000 mL με αποσταγμένο ύδωρ .

Υδροξείδιο του ασβεστίου (CaH₂O₂): διαλύονται 0,4 g της ουσίας σε 100 mL αποσταγμένου ύδατος .

Ασκορβικό οξύ [L(+)] ascorbique, C₆H₈O₆] 1%: διαλύεται 1 g ασκορβικού οξέος σε 100 mL αποσταγμένου ύδατος .

Αντιδραστήριο αζωμεθίνης (Azomethine-H): διαλύονται 0,45 g αζωμεθίνης (Pierce Chemistry Co., Rockford, 111.) σε 100mL 1% διαλύματος ασκορβικού οξέος .

Γ) Πρότυπη καμπύλη

Πρότυπο διάλυμα βορίου συγκέντρωσης 10 mg/l: διαλύονται 0,05725g βορικού οξέος (H₃BO₃) σε 900 mL αποσταγμένου ύδατος σε πλαστικό ποτήρι ζέσεως των 1000 mL . Ακολουθεί ανακίνηση και μεταφορά του διαλύματος σε ογκομετρική

φιάλη των 1000 mL και συμπληρώνεται ο όγκος του διαλύματος μέχρι την χαραγή των 1000 mL .

Πρότυπο διάλυμα βορίου συγκέντρωσης 0,5 mg/L: Σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL μεταφέρονται 5 mL του διαλύματος των 10 mg/L και συμπλήρωση μέχρι την χαραγή με αποσταγμένο ύδωρ.

Πρότυπο διάλυμα βορίου συγκέντρωσης 1 mg/L: Σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL μεταφέρονται 10 mL του διαλύματος των 10 mg/L και συμπλήρωση μέχρι την χαραγή με αποσταγμένο ύδωρ.

Πρότυπο διάλυμα βορίου συγκέντρωσης 1,5 mg/L: Σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL μεταφέρονται 15 mL του διαλύματος των 10 mg/L και συμπλήρωση μέχρι την χαραγή με αποσταγμένο ύδωρ.

Πρότυπο διάλυμα βορίου συγκέντρωσης 2 mg/L: Σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL μεταφέρονται 20 mL του διαλύματος των 10 mg/L και συμπλήρωση μέχρι την χαραγή με αποσταγμένο ύδωρ.

Πρότυπο διάλυμα βορίου συγκέντρωσης 2,5 mg/L: Σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL μεταφέρονται 25 mL του διαλύματος των 10 mg/L και συμπλήρωση μέχρι την χαραγή με αποσταγμένο ύδωρ.

Πρότυπο διάλυμα βορίου συγκέντρωσης 3 mg/L: Σε ογκομετρική φιάλη των 100 mL μεταφέρονται 30 mL του διαλύματος των 10 mg/L και συμπλήρωση μέχρι την χαραγή με αποσταγμένο ύδωρ.

2.4.3 Μέθοδος

Τοποθετούνται 20 g δείγματος αεροξηραθέντος εδάφους σε υάλινη κωνική φιάλη (6 συνολικά) των 250 mL , απαλλαγμένης βορίου , και προστίθενται 40 mL του διαλύματος 0,01M CaCl_2 . Παράλληλα σε κάθε κωνική φιάλη για αποφυγή ατυχήματος από τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται προστίθενται πέτρες βρασμού . Στη συνέχεια προσαρμόζεται κάθετος σωλήνας επαναρροής σε κάθε κωνική φιάλη που αντιστοιχεί (η συσκευή διαθέτει έξι κωνικές φιάλες και τους αντίστοιχους κάθετους σωλήνες επαναρροής).

Κατόπιν θερμαίνεται η κάθε κωνική φιάλη μέχρι του σημείου του βρασμού του περιέχοντος διαλύματος. Από την έναρξη του βρασμού και μετά από χρονικό διάστημα ακριβώς πέντε λεπτών απομακρύνεται το σύστημα από τις εστίες και

ψύχεται το διάλυμα. Έχει βρεθεί ότι το διάστημα των πέντε λεπτών ελευθερώνεται όλη η ποσότητα του βορίου στο εδαφικό διάλυμα .

Μετά από την ψύξη των φιαλών σε θερμοκρασία εργαστηρίου ακολουθεί διήθηση . Η τελευταία πραγματοποιείται με διηθητό χαρτί σε υάλινες κωνικές φιάλες ελεύθερες βορίου (Boro 3,3). Ο όγκος του διηθήματος ανέρχεται σε 25-28 mL .

Μεταφέρονται 20 mL του διηθήματος σε κάψες από πορσελάνη (HCT 126/63 DIN) και προστίθενται 2 mL του διαλύματος του υδροξειδίου του ασβεστίου (CaH_2O_2). Το ανωτέρω μίγμα θερμαίνεται μέχρι ξήρανσης . Η κάψα από πορσελάνη θερμαίνεται προκειμένου να καταστραφεί η οργανική ουσία . Μετά την ξήρανση και αφού η κάψα αποκτήσει θερμοκρασία περιβάλλοντος, προστίθενται 5 mL διαλύματος 0,1N HCL .

Για την ανάμιξη του διαλύματος χρησιμοποιούνται υάλινες ράβδοι διαφορετικές για κάθε εδαφικό δείγμα . Λαμβάνεται 1 mL από το ανωτέρω διάλυμα, μεταφέρεται σε πλαστικό ποτήρι και ακολουθεί φασματοφωτομετρικός προσδιορισμός του βορίου.

Για την ανάπτυξη του χρώματος στο 1mL του ανωτέρω δείγματος προστίθενται 2 mL ρυθμιστικού διαλύματος (CH_3COOH , $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, Na_2EDTA) και 2 mL διαλύματος αζωμεθίνης (Azomethine-H) και ακολουθεί ανακίνηση .

Αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας είναι ο σχηματισμός συμπλόκου κίτρινου χρώματος το οποίο μετά από χρονικό διάστημα 30 λεπτών μετράται φασματοφωτομετρικά σε μήκος κύματος 420 nm με τη βοήθεια φασματοφωτόμετρου Shimadzu UV-120-01.

Οι διαβαθμίσεις του κίτρινου χρώματος (έντονο, κανονικό) μαρτυρούν και τη συγκέντρωση του διαθέσιμου βορίου στο διάλυμα. Έτσι αν το δείγμα έχει έντονο κίτρινο χρώμα αυτό σημαίνει ότι η συγκέντρωση του στοιχείου είναι μεγάλη , ενώ αν το χρώμα είναι ελάχιστα κίτρινο τότε η συγκέντρωση του βορίου είναι ιδιαίτερα χαμηλή . Βέβαια η παρατήρηση αυτή είναι εμπειρική και δεν μπορεί με ακρίβεια να αποδώσει τη συγκέντρωση του διαθέσιμου βορίου στο εδαφικό διάλυμα.

Προκειμένου οι τιμές της απορρόφησης , που προσδιορίστηκαν να μετατραπούν σε μονάδες συγκέντρωσης του μικροστοιχείου αυτού ,πραγματοποιείται μέτρηση της απορρόφησης του βορίου σε μια πρότυπη καμπύλη όπου η απορρόφηση συνδέεται με τη συγκέντρωση με γνωστή σχέση . Γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιούνται τα πρότυπα διαλύματα των 0, 0,5 , 1 , 1,5 , 2 , 2,5 και 3 mg/L και μετράται η απορρόφηση τους

2.4.4 Πρότυπη καμπύλη

Λαμβάνεται 1 mL από κάθε ένα από τα ανωτέρω διαλύματα και μεταφέρεται σε πλαστικό ποτήρι . Στη συνέχεια προστίθενται 2 mL ρυθμιστικού διαλύματος (CH_3COOH , $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, Na_2EDTA) και 2 mL διαλύματος αζωμεθίνης (Azomethine-H) και ανακινείται ελαφρά κάθε διάλυμα . Μετά από χρονικό διάστημα 30 λεπτών μετράται η απορρόφηση στο φασματοφωτόμετρο .

Με βάση τις τιμές που προκύπτουν κατασκευάζεται η πρότυπη καμπύλη , η οποία θα αποτελέσει τη βάση για την εύρεση της συγκέντρωσης του βορίου σε οποιοδήποτε εδαφικό εκχύλισμα . Χρησιμοποιείται πάντοτε και ένα διάλυμα που περιέχει 1 mL αποσταγμένου ύδατος , 2 mL ρυθμιστικού διαλύματος και 2 mL διαλύματος αζωμεθίνης . Αυτό θεωρείται ότι περιέχει 0 mg /L βόριο και αποτελεί τη βάση για τον προσδιορισμό όλων των δειγμάτων , καθώς σε αυτό η απορρόφηση είναι μηδενική .

3. Αποτελέσματα –Συζήτηση

Υπολογίστηκε η ποσότητα του βορίου που περιείχαν 138 δείγματα βορίου. Από αυτά τα 20 ήταν από την περιοχή της Ελασσόνας, 30 από το νομό Τρικάλων και τα υπόλοιπα 88 από την περιοχή Καρδίτσας, εκ των οποίων τα περισσότερα καλλιεργούνται με καπνά. Παρακάτω παρουσιάζεται η κατάταξη των εδαφών με βάση την τιμή του βορίου

Πίνακας 10 κατάταξη των εδαφών με βάση την τιμή του βορίου.

(Reisenauer et al, 1973).

Συγκέντρωση βορίου στο έδαφος(ppm)	Χαρακτηρισμός
<1	Μη ικανοποιητική για την ανάπτυξη των φυτών(τροφοπενίες)
1-5	Συνήθως ικανοποιητική για την ανάπτυξη των φυτών
>5	Τοξική για όλα τα φυτά

Στα δείγματα στα οποία υπολογίστηκε η ποσότητα του βορίου, οι τιμές κυμάνθηκαν από 0,06 mg B/Kg εδάφους έως 6,84 mg B/kg εδάφους. Σε άλλες εργασίες που είχαν πραγματοποιηθεί στην περιοχή της Θεσσαλίας, στα εδαφικά δείγματα η συγκέντρωση του βορίου που προσδιορίστηκε κυμαινόταν από 0,1 mg B/Kg ξηρού εδάφους μέχρι 2,3 mg B/Kg εδάφους(Μήτσιος και συνεργάτες). Οι διαφορές ως προς το ανώτερο όριο είναι σημαντικές καθώς ποσότητα 6,84 mg B/Kg ξηρού εδάφους είναι τοξική για όλα τα φυτά. Οι διαφορές αυτές πιθανώς να οφείλονται σε άρδευση με ακατάλληλα ύδατα, πρόσφατη προσθήκη λιπάσματος βορίου ή υπερβολική προσθήκη φωσφορικών λιπασμάτων που περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις βορίου.

Από σύνολο 137 εδαφικών δειγμάτων τα 103 παρουσίασαν συγκεντρώσεις βορίου σε ποσότητες που θα οδηγούσαν τα περισσότερα φυτά σε τροφοπενίες (< 1 mg B/Kg ξηρού εδάφους), ένα ποσοστό 75% δηλαδή των εδαφών σ' αυτές τις περιοχές ενδέχεται να προκαλέσουν προβλήματα τροφοπενιών βορίου στις καλλιέργειες .Η κύρια καλλιέργεια στα εδάφη αυτά είναι ο καπνός ο οποίος σπάνια δείχνει κάποια

συμπτώματα ελλείψεως του ιχνοστοιχείου αυτού. Συνεπώς ενδέχεται να προκαλείται σημαντική μείωση της απόδοσης και της ποιότητας του παραγόμενου καπνού.

Από τα 137 δείγματα 32 περιέχουν συγκεντρώσεις από 1-5 mg B/Kg ξηρού εδάφους (23%) από τα οποία τα περισσότερα περιέχουν βόριο από 1-2 mg B/Kg ξηρού εδάφους που σημαίνει ότι και εκείνα ενδέχεται να παρουσιάσουν σε λίγα χρόνια ελλείψεις του ιχνοστοιχείου αυτού.

Τέλος 2 δείγματα εδάφους παρουσίασαν συγκεντρώσεις βορίου πάνω από 5 mg B/Kg ξηρού εδάφους (1%) και ενδέχεται να προκαλέσουν προβλήματα στις καλλιέργειες.

Πίνακας 11, συγκέντρωση βορίου στα εδαφικά δείγματα(n=137).

Συγκέντρωση βορίου στο έδαφος	αριθμός δειγμάτων	ποσοστό %
<1 mg B/Kg ξηρού εδάφους	103	75
1-5 mg B/Kg ξηρού εδάφους	32	23
>5 mg B/Kg ξηρού εδάφους	2	1

Στην περιοχή των Τρικάλων όπου σημειώθηκε και η υψηλότερη συγκέντρωση βορίου(6,84) τα αντίστοιχα αποτελέσματα ήταν:

Πίνακας 12 συγκέντρωση βορίου στα εδαφικά δείγματα από την περιοχή των Τρικάλων(n=30).

Συγκέντρωση βορίου στο έδαφος	Αριθμός δειγμάτων	Ποσοστό %
<1 mg B/Kg ξηρού εδάφους	7	23
1-5 mg B/Kg ξηρού εδάφους	22	73

>5 mg B/Kg ξηρού εδάφους	1	3
-----------------------------	---	---

Πίνακας 13, συγκέντρωση βορίου στα εδαφικά δείγματα από την περιοχή της Ελασσόνας(n=20).

Συγκέντρωση βορίου στο έδαφος	Αριθμός δειγμάτων	Ποσοστό %
<1 mg B/Kg ξηρού εδάφους	14	70
1-5 mg B/Kg ξηρού εδάφους	6	30
>5 mg B/ Kg ξηρού εδάφους	0	0

Πίνακας 14, συγκέντρωση βορίου στα εδαφικά δείγματα από την περιοχή της Καρδίτσας(n=87).

Συγκέντρωση βορίου στο έδαφος	Αριθμός δειγμάτων	Ποσοστό %
<1 mg B/Kg ξηρού εδάφους	82	94
1-5 mg B/Kg ξηρού εδάφους	4	4,5
>5 mg B/ Kg ξηρού εδάφους	1	1,2

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι τα εδάφη των Τρικάλων στην μεγάλη τους πλειοψηφία (73%) δεν παρουσιάζουν έλλειψη σε βόριο .Επίσης εμφανίζουν το μεγαλύτερο ποσοστό σε εδάφη τα οποία το βόριο μπορεί να προκαλέσει τοξικά προβλήματα (3%).

Αντίθετα τα εδάφη της Καρδίτσας παρουσιάζουν σε μεγάλο ποσοστό (94%) έλλειψη βορίου .

Τα εδάφη της Ελασσόνας ήταν σε μια ενδιάμεση κατάσταση όσον αφορά τη συγκέντρωση βορίου .Παρ' όλα αυτά το ποσοστό των εδαφών που παρουσιάζουν έλλειψη είναι αρκετά μεγάλο (70%) με μόνο το 30% των δειγμάτων να παρουσίασαν ικανοποιητικά επίπεδα βορίου στο έδαφος.

Επιπλέον τα εδαφικά δείγματα και από τις τρεις περιοχές δεν παρουσίασαν κάποια αξιοσημείωτη διαφοροποίηση ως προς τη μηχανική σύσταση.

Αντίθετα τόσο η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία όσο και το pH των εδαφικών δειγμάτων διέφεραν από περιοχή σε περιοχή .

Πίνακας 15, περιεκτικότητα των εδαφών σε οργανική ουσία και τιμές pH κατά περιοχή .

		Τρίκαλα	Ελασσόνα	Καρδίτσα
pH	Ελάχιστο	7,1	4,3	3,8
	Μέγιστο	8,1	7	7,4
Οργανική ουσία	Ελάχιστο	1,4	0,8	0,7
	Μέγιστο	2,1	1,9	1,9
%	Μέσος όρος	1,8	1,3	1,1

Όπως φαίνεται στον παραπάνω πίνακα τα εδαφικά δείγματα της περιοχής των Τρικάλων περιέχουν περισσότερο ποσοστό οργανικής ουσίας συγκριτικά με τα υπόλοιπα δείγματα. Αμέσως πιο κάτω από πλευράς ποσοστού οργανικής ουσίας βρίσκονται τα δείγματα από την περιοχή της Ελασσόνας και τελευταία αυτά της Καρδίτσας. Τα παραπάνω δεδομένα παρέχουν μια εξήγηση για τις μεγαλύτερες ποσότητες βορίου στα εδάφη των Τρικάλων σε σχέση με τα υπόλοιπα εδαφικά δείγματα ,καθώς είναι γνωστό οτι μεγάλες ποσότητες βορίου συγκρατούνται από την οργανική ουσία του εδάφους.

Επίσης τα εδαφικά δείγματα από τις περιοχές της Καρδίτσας και της Ελασσόνας εμφάνισαν χαμηλό pH οπότε αναμενόταν να εμφανιστούν χαμηλές συγκεντρώσεις διαθέσιμου βορίου καθώς ένα μεγάλο μέρος του βορίου του εδάφους είναι προσροφημένο από τα οξείδια του σιδήρου και αργιλίου .

Συμπεράσματα

Παρατηρείται μία γενική έλλειψη βορίου στα συγκεκριμένα εδάφη . Η σημασία του ιχνοστοιχείου αυτού όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι πολύ μεγάλη για όλα τα φυτά και ιδιαίτερα για τον καπνό του οποίου τα ποιοτικά χαρακτηριστικά κατά κύριο λόγο καθορίζουν και την εμπορική του αξία , τη στιγμή μάλιστα που σπάνια θα δώσει συμπτώματα έλλειψης στον καπνό. Θα ήταν χρήσιμο να διερευνηθεί η επίδραση της συγκέντρωσης βορίου στο έδαφος στην παραγωγή καπνού όπως και την εξέταση κάποιων ποιοτικών χαρακτηριστικών .Επιπλέον γίνεται φανερό πόσο μεγάλη σημασία που έχουν τα χαρακτηριστικά του εδάφους όπως οργανική ουσία και pH στη διαθεσιμότητα του βορίου στα εδάφη . Γενικά το βόριο σαν σημαντικό μικροθρεπτικό στοιχείο δεν έχει την προσοχή που του αρμόζει από τους γεωργούς αλλά και τους γεωπόνους.

Βιβλιογραφία

1. Sansanee Jamjod and Benjavan Rerkasem. Genotypic variation in response of barley to boron deficiency. *Plant and soil*, 215: 65-72, 1999.
2. Longbin Huang , Richard W. Bell and Bernie Dell. Factors controlling equilibrium boron concentration in nutrient solution buffered with B-specific resin (AmberliteIRA-743). *Plant and soil*, 208:233-241, 1999.
3. Cedric Derue ,David Gibouin, Marie –Claire Verdus, Fabrice Lefebvre , Maurice Demarty , Camille Ripoll and Michel Thellier. Appraisal of Sims applicability to boron studies in plants. *Microscopy research and technique*, 58: 104 – 110, 2002.
4. J.A.Poss, S.R.Grattan, C.M.Grieve and M.C.Shannon. Characterization of leaf boron injury in salt stressed *Eucalyptus* by image analysis. *Plant and soil* 206: 237-245, 1999.
5. A.Asad, R.W.Bell and B.Dell. A critical comparison of the external and internal boron requirements for contrasting species in boron – buffered solution culture. *Plant and soil* 233:31-45, 2001.
6. K.A.Kelling. A 2522, *Understanding plant nutrients*
7. A.Asad, F.P.C.Blamey and D.G Edwards. Dry matter production and boron concentration of vegetative and reproductive tissues of canola and sunflower plants grown in nutrient solution. *Plant and soil* 243:243-252, 2002.
8. Christos Dordas and Patrick H.Brown. Evidence for channel mediated transport of boric acid in squash (*Cucurbita pepo*). *Plant and soil* 235: 95-103, 2001.
9. Alon Ben –Gali and Uri Shani. Yield, transpiration and growth of tomatoes under combined excess boron and salinity stress. *Plant and soil* 247: 211-221, 2002.
10. Ιωάννη Κ. Μήτσιου .Γονιμότητα εδαφών ,θρεπτικά στοιχεία φυτών και βαρέα μέταλλα .Μέθοδοι και εφαρμογές . Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας , Βόλος ,2003.
11. Μ.Βασιλακάκη ,Ι.Θεριός. Μαθήματα ειδικής денδροκομίας, φυλλοβόλα οπωροφόρα δένδρα. Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης .Έκδοση υπηρεσία δημοσιευμάτων.
12. Ιωάννης Κ.Μήτσιος .Εδαφολογία. Εκδόσεις Zymel,Αθήνα 1999 .

13. Χ.Γ.Παναγόπουλος .Ασθένειες καρποφόρων δένδρων και αμπέλου .Εκδόσεις Α.Σταμούλη .
14. Ιωάννη Κ. Μήτσιου .Γονιμότητα εδαφών ,θρεπτικά στοιχεία φυτών και βαρέα μέταλλα .Μέθοδοι και εφαρμογές . Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας , Βόλος ,2003.
15. R.B. Clark, S.K. Zeto, K.D. Ritchey, V.C. Baligar. Boron accumulation by maize grown in acidic soil amended with coal combustion products. Fuel 78 (1999) 179–185.
16. Reisenauer,H.M., L.M., Walsh, and R.G. Hoefft. 1973. Testing soils for sulfur ,boron, molybdenium, and chlorine. Pp.173-200 In: L.M. Walsh and J.M. Beaton (Eds.)Soil Testing and plant analysis,SSSA, Madison WI.
- 17.(www.jctonic.com/include/minerals/boron.html)
- 18.(<http://www.extension.umn.edu/distribution/cropsystems/DC0723.html>)

Παράρτημα

Πίνακας 16, συγκέντρωση βορίου και εδαφολογικά χαρακτηριστικά σε δείγματα από την περιοχή των Τρικάλων (n=20).

Εδαφικό Δείγμα	Συγκέντρωση βορίου (mg/Kg Ξ.Ε)	%οργανική ουσία	pH	Τύπος εδάφους
T1	0,32	2,1	7,62	SL
T2	0,32	1,8	7,85	SL
T3	0,12	1,7	7,65	LS
T4	0,5	1,8	7,6	SCL
T5	1,24	1,9	7,49	SCL
T6	1,1	1,9	7,58	SCL
T7	2,8	2	7,39	SCL
T8	6,85	2,1	7,71	SCL
T9	1,83	1,8	7,9	SL
T10	1,73	1,8	7,95	SL
T11	0,9	1,8	7,5	SL
T12	1,12	1,8	7,72	SL
T13	1,7	1,8	7,82	SL
T14	2,02	1,5	7,63	SCL
T15	0,92	1,6	7,85	SL
T16	2,91	1,6	7,12	SL
T17	1,34	1,6	7,39	SL
T18	2,48	1,6	7,71	SL
T19	2,09	1,6	7,71	SL
T20	2,05	1,6	7,6	SL
T21	2,9	1,7	7,87	SCL
T22	2,52	1,8	7,53	SCL

Συνέχεια πίνακα 16.

Εδαφικό Δείγμα	Συγκέντρωση βορίου (mg/Kg Ξ.Ε)	%οργανική ουσία	pH	Τύπος Εδάφους
T23	1,98	1,4	7,4	SL
T24	1,94	1,4	7,74	SL
T25	0,85	1,4	7,71	SL
T26	1,6	1,4	8,07	SL
T27	2,91	1,4	7,82	SL
T28	3,53	1,4	7,64	SL
T29	4,92	1,9	7,8	SCL
T30	2,28	1,8	7,64	SCL

Πίνακας 17 συγκέντρωση βορίου και εδαφολογικά χαρακτηριστικά σε δείγματα από την περιοχή της Ελασσόνας(n=20).

Εδαφικό Δείγμα	Συγκέντρωση βορίου (mg/Kg Ξ.Ε)	%οργανική ουσία	pH	Τύπος εδάφους
E1	0,47	0,9	7,01	SL
E2	0,65	1	5,86	SL
E3	1,6	1,4	5,93	LS
E4	1,36	1	6,25	SL
E5	0,53	1	6,58	SL
E6	1,03	1	6,65	SL
E7	0,26	0,8	4,28	SL
E8	0,86	1,8	5,08	SL
E9	1,42	1,7	4,98	SCL
E10	1,3	1,3	5,02	SL
E11	1,58	1,9	5,08	SL
E12	0,52	1,5	5,2	SL

Συνέχεια πίνακα 17.

Εδαφικό Δείγμα	Συγκέντρωση βορίου (mg/Kg Ξ.Ε)	%οργανική ουσία	pH	Τύπος εδάφους
E13	0,5	1	5,12	LS
E14	0,6	1,1	6,05	SL
E15	0,45	1,1	5,8	SL
E16	1,68	1,3	7,12	SCL
E17	0,36	1,2	5,11	SCL
E18	0,43	1,2	5,84	SCL
E19	0,47	1	6,5	SL
E20	0,7	1,2	5,76	SL

Πίνακας 18, συγκέντρωση βορίου και εδαφολογικά χαρακτηριστικά σε δείγματα από την περιοχή της Καρδίτσας(n=87).

Εδαφικό Δείγμα	Συγκέντρωση βορίου (mg/Kg Ξ.Ε)	%οργανική ουσία	pH	Τύπος εδάφους
K2	0,36	1,13	6,3	SL
K3	0,37	0,98	7,08	SL
K4	0,3	0,92	7,17	SL
K5	0,47	0,95	6,49	SCL
K6	0,53	0,76	4,83	LS
K7	0,85	0,89	6,34	SL
K8	0,73	1,16	6,75	SL
K10	0,68	1,135	7,19	SCL
K15	0,45	0,97	6,65	SL
K16	0,21	1,23	4,56	LS
K18	0,7	0,89	5,55	SL
K24	0,7	1,32	5,1	SL

Συνέχεια πίνακα 18.

Εδαφικό Δείγμα	Συγκέντρωση βορίου (mg/Kg Ξ.Ε)	%οργανική ουσία	pH	Τύπος εδάφους
K25	0.5	1,197	7,03	SL
K29	0.45	0,98	5,77	SL
K30	0,57	1,23	6,8	LS
K43	0,56	1,43	4,62	SCL
K44	0,52	1,04	5	SCL
K45	0,41	1,22	5,77	SL
K46	0,78	0,88	5,45	SL
K47	0,5	1,48	5,72	SL
K48	0,07	1,32	6,57	SCL
K49	0,4	0,97	4,17	LS
K50	0,7	1,33	4,82	SCL
K51	0,14	1,56	4,95	SCL
K52	0,6	1,44	5,39	SCL
K53	0,8	1,85	4,48	SL
K54	0,28	0,87	5,27	SL
K55	0,7	0,97	4,78	SL
K56	0,19	1,27	3,8	SL
K57	0,64	1,88	3,91	SCL
K58	2,2	1,65	5,07	SCL
K59	0,8	1,32	5,39	SCL
K60	0,18	1,8	4,89	LS
K62	0,44	1,7	7,16	SL
K63	0,18	1,24	6,79	SL
K64	0,55	0,78	6,9	SL
K65	0,47	0,68	7,07	SCL
K66	0,65	0,79	5,63	SL

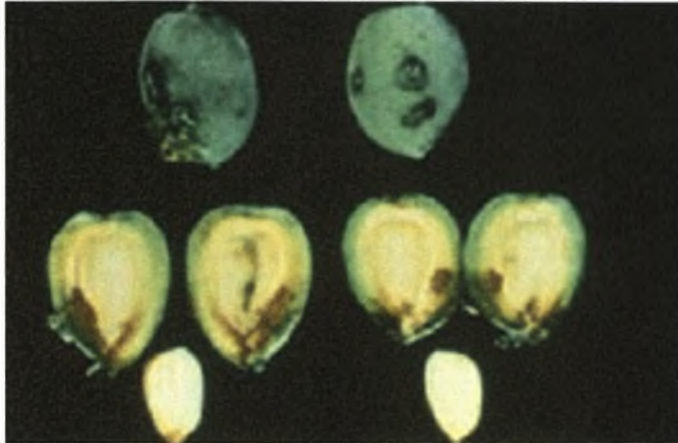
Συνέχεια πίνακα 18.

Εδαφικό Δείγμα	Συγκέντρωση βορίου (mg/Kg Ξ.Ε)	%οργανική ουσία	pH	Τύπος εδάφους
K67	0,79	1,4	7,27	SCL
K71	0,51	1,76	4,71	SL
K72	0,32	1,43	6,54	SL
K75	0,06	1,87	5,18	SCL
K76	0,44	0,88	7,09	SCL
K77	0,85	0,97	6,85	LS
K80	0,3	0,96	6,99	SL
K83	0,57	1,35	7,16	SL
K86	0,68	1,78	6,79	SL
K90	0,53	1,89	7,4	SCL
K91	0,37	1,24	4,56	SL
K92	0,3	0,93	6,94	SCL
K93	0,17	1,7	6,94	SL
K94	0,77	0,77	5,99	SL
K95	0,24	0,93	5,11	SL
K96	0,22	1,5	5,69	SCL
K97	0,54	1,44	4,88	SCL
K98	0,86	0,78	4,93	SCL
K99	0,86	0,87	5,86	SCL
K100	0,73	1,1	4,61	SCL
K101	0,2	1,46	6,3	SL
K102	0,09	1,67	5,74	SL
K103	0,61	1,45	5,78	SL
K104	0,57	1,48	6,4	SL
K105	0,19	0,74	5,6	SCL
K106	0,55	0,78	4,99	SL

Συνέχεια πίνακα 18.

Εδαφικό Δείγμα	Συγκέντρωση βορίου (mg/Kg Ξ.Ε)	%οργανική ουσία	pH	Τύπος εδάφους
K107	0,68	1,3	5,3	SCL
K108	0,45	0,98	7,34	SCL
K109	0,28	1,45	6,7	SL
K110	0,74	1,66	5,22	SCL
K111	0,82	0,97	4,83	SCL
K112	0,67	1,49	6,8	SCL
K113	0,7	1,65	4,78	SL
K115	0,64	1,45	6,78	SCL
K116	5,6	1,33	6,2	SL
K117	3,36	1,89	6,93	SL
K118	3,3	1,9	6,7	SL
K119	0,5	1,76	6,4	SL
K120	0,71	1,32	5,83	SL
K122	0,94	0,78	6,22	SL
K124	0,47	0,97	6,68	SCL
K125	0,7	1,8	7,34	SCL
K126	0,65	1,67	6,8	SL
K127	0,39	1,49	6,4	SCL
K129	0,73	1,53	7,22	LS
K131	1,85	1,31	7,45	SCL
K132	0,11	1,4	6,8	SL
K133	0,95	1,22	6,45	SL
K135	0,09	1,66	5,9	SL
K143	0,1	0,98	5,06	SL

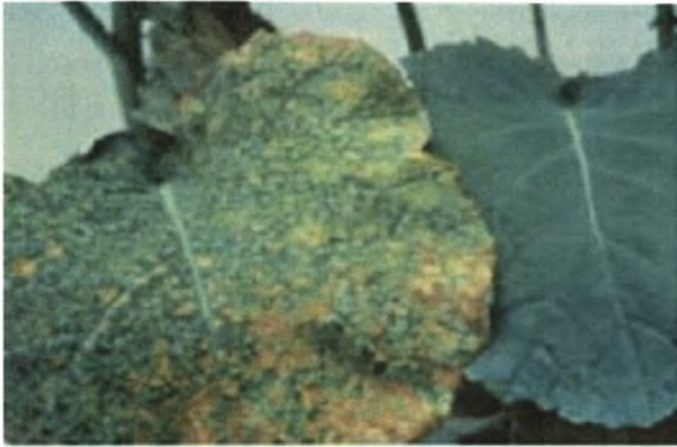
Τροφοπενία βορίου στην ελιά



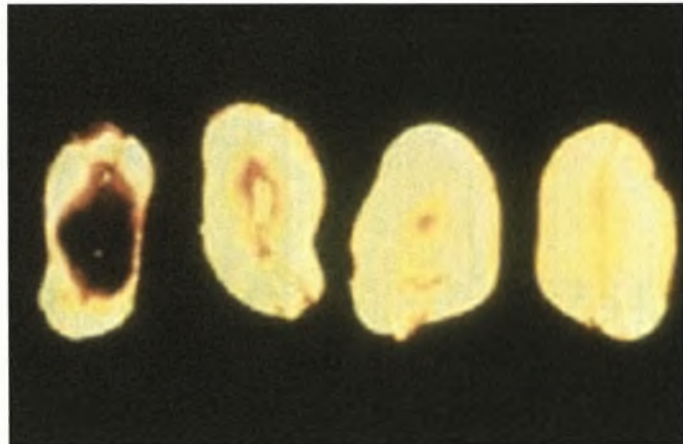
Τροφοπενία βορίου στο τριφύλλι



Τροφοπενία βορίου στην ελαιοκράμβη



Τροφοπενία βορίου σε καρπό αραχίδας.





Τροφοπενία βορίου σε κουνουπίδι.

