

Δοκιμή του NH_4HCO_3 – DTPA ως εκχυλιστικού διαθεσίμου βορίου
σε δέκα εδάφη της Βορ. Ελλάδας με καλλιέργεια σιταριού σε δοχεία

Αντωνιάδης, Β., Θ. Ματσή και Ν. Μπαρμπαγιάννης
Εργαστήριο Εδαφολογίας, Τμήμα Γεωπονίας, Α.Π.Θ.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το εκχυλιζόμενο Β με 1M NH_4HCO_3 -0,005M DTPA, pH=7,6 (B_{ss}), το οποίο προτάθηκε από τους Soltanpour & Schwab (1977) αξιολογήθηκε ως δείκτης αφομοιωσίμου Β, σε δέκα εδάφη της Βορ. Ελλάδας, και συγκρίθηκε με το εκχυλιζόμενο Β με ζέον ύδωρ (B_{hw}) και το Β στο εκχύλισμα κορεσμού (B_{se}). Τα εδάφη, τα οποία διέφεραν μεταξύ τους ως προς την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και την κοκκομετρική σύσταση, δέχτηκαν τρία επίπεδα Β ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ήτοι: 0, 3 και 5 mg Β/kg εδάφους (τριάντα επεμβάσεις) και καλλιεργήθηκαν με μαλακό σιτάρι σε δοχεία. Η συνολική πρόσληψη Β και η συγκέντρωση Β στην φυτομάζα χρησιμοποιήθηκαν ως βιολογικοί δείκτες για την αξιολόγηση των τριών εκχυλιστικών. Οι τρεις δείκτες αφομοιωσίμου Β συσχετίστηκαν ικανοποιητικά μεταξύ τους, όπως και με την πρόσληψη και την συγκέντρωση Β στην φυτομάζα, στο σύνολο των επεμβάσεων ($p < 0,05$). Στην πρώτη περίπτωση η καλύτερη συσχέτιση παρατηρήθηκε μεταξύ των B_{hw} και B_{ss} ($r=0,68$) και η χειρότερη μεταξύ των B_{ss} και B_{se} ($r=0,35$). Στη δεύτερη περίπτωση οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ του B_{ss} και της πρόσληψης Β ή της συγκέντρωσης Β στην φυτομάζα ήταν οι χαμηλότεροι ($r=0,47$ και $0,40$ αντίστοιχα). Επομένως υπάρχουν ενδείξεις ότι ο εκχυλιζόμενος Β με NH_4HCO_3 -DTPA μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητικός δείκτης αφομοιωσίμων μορφών Β, όχι όμως τόσο αξιόπιστος όσο το εκχυλιζόμενο Β με ζέον ύδωρ.

Λέξεις κλειδιά: Βόριο, δείκτες διαθεσίμου Β, σιτάρι.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως και για τα άλλα απαραίτητα για τα φυτά θρεπτικά στοιχεία έτσι και για το Β έχουν προταθεί διάφορα εκχυλιστικά για την εκτίμηση των αφομοιωσίμων μορφών του στο έδαφος. Ο Gurta και συν. (1985) σημειώνουν ότι τα φυτά αντιδρούν μόνο στο Β του εδαφικού διαλύματος και ότι το τελευταίο θα ήταν ο καλύτερος δείκτης τόσο του διαθεσίμου Β στα φυτά, όσο και των επιπέδων έλλειψης ή τοξικότητας. Παραθέτουν μάλιστα τα θεωρητικά όρια έλλειψης, επάρκειας και τοξικότητας Β στο εδαφικό διάλυμα, ήτοι: < 3 mg/L, $3-5$ mg/L και > 5 mg/L αντίστοιχα. Η παραλαβή όμως του πραγματικού εδαφικού διαλύματος τις περισσότερες φορές παρουσιάζει πρακτικά προβλήματα. Πρόσφατα οι Aitken και McCalum (1988)

χρησιμοποίησαν με επιτυχία τη μέθοδο της φυγοκέντρωσης για την παραλαβή του πραγματικού εδαφικού διαλύματος και καθόρισαν τα όρια ειταρκειας και τοξικότητας Β για καλλιέργια ηλιάνθου, τα οποία ήταν σε συμφωνία με αυτά που παραθέτει ο Gurta και συν. (1985).

Το Β που είναι προσροφημένο στη στερεή φάση και είναι εύκολα διαθέσιμο στα φυτά θα πρέπει επίσης να εκτιμηθεί και για το σκοπό αυτό συνήθως χρησιμοποιείται η εκχύλιση με ζέον ύδωρ που πρότειναν οι Berger και Ttuog (1939). Κατά τους Gurta και συν. (1985) αν και το εκχυλιζόμενο με ζέον ύδωρ Β συνήθως συσχετίζεται με την πρόσληψη από τα φυτά δεν είναι ακριβής δείκτης διαθεσίμου Β, επειδή παραλαμβάνει Β από διάφορες πηγές όπως την οργανική ουσία, την άργιλλο, τα οξυ-υδροξυοξειδία ΑΙ και Fe και φυσικά το υδατοδιαλυτό Β.

Εκτός από το ζέον ύδωρ έχουν χρησιμοποιηθεί ως εκχυλιστικά διάλυμα 0,01M CaCl₂ και CaCl₂-μανιτόλης σε διάφορες συγκεντρώσεις. Τα δύο αυτά εκχυλιστικά φαίνεται ότι παραλαμβάνουν τις ίδιες μορφές Β με το ζέον ύδωρ, με το επιπλέον πλεονέκτημα του σχηματισμού συμπλόκων με το βορικό ανιόν, όταν χρησιμοποιείται μανιτόλη. Επίσης το διάλυμα CaCl₂, σε συνδυασμό με μανιτόλη ή όχι, προκαλεί θρόμβωση της αργίλλου και δίνει διαλύματα διαυγή, γεγονός που διευκολύνει την όλη διαδικασία προσδιορισμού του Β (Αυλωνίτης και συν., 1992). Έχουν επίσης προταθεί το CH₃COONH₄, το NaHCO₃, το (COONH₄)₂ και η κινυδρόνη στην προσπάθεια να εκχυλισθούν μορφές Β που γίνονται διαθέσιμες στα φυτά μακροπρόθεσμα. Η χρήση όμως των παραπάνω εκχυλιστικών δεν έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από το ζέον ύδωρ ή το CaCl₂.

Οι Soltanpou και Schwab (1977) πρότειναν τη χρήση διαλύματος NH₄HCO₃-DTPA (1M NH₄HCO₃, 0,005 M DTPA, pH=7,6) για την ταυτόχρονη εκχύλιση Ρ, Κ, Ζn, Fe, Cu και Μn. Οι Gestring και Soltanpou (1984, 1987) συνέκριναν το NH₄HCO₃-DTPA με το ζέον ύδωρ και το εκχύλισμα κορεσμού και το χρησιμοποίησαν ως δείκτη αφομοιωσίμου Β σε καλλιέργια μηδικής. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης του NH₄HCO₃-DTPA είναι προφανή καθώς εξοικονομούνται και υλικά αλλά και χρόνος.

Σκοπός της εργασίας ήταν να δοκιμαστεί το εκχυλιστικό των Soltanpou και Schwab (1M NH₄HCO₃, 0,005M DTPA, pH=7,6) ως εκχυλιστικό διαθεσίμου Β και να συγκριθεί με το εκχυλιζόμενο Β με ζέον ύδωρ και με το Β στο εκχύλισμα κορεσμού, σε δέκα εδάφη της Βορ. Ελλάδας με καλλιέργεια σπαριού.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Εδάφη

Συλλέχθηκαν δέκα επιφανειακά (0–20 cm) εδαφικά δείγματα από περιοχές της Βορ. Ελλάδας. Τα δείγματα αεροξηράνθηκαν και πέρασαν από κόσκινο 5 mm. Από το υλικό αυτό συλλέχθηκε μια ποσότητα μικρότερη των 2 mm, η οποία χρησιμοποιήθηκε για όλες τις εργαστηριακές αναλύσεις, ενώ το υπόλοιπο υλικό χρησιμοποιήθηκε για τις επεμβάσεις. Όλες οι αναλύσεις έγιναν σύμφωνα με τις μεθόδους που περιγράφονται στο Methods of Soil Analysis, Part 2 (1982), εκτός αν δίνεται άλλη αναφορά, σε δύο επαναλήψεις και δίνονται οι μέσοι όροι (Πίν. 1).

Πίνακας 1. Μερικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των εδαφών

	Αμμ. ^a	ίλυς ^b	Αργιλ. ^b	pH ^c	EC _e ^c	O.O. ^d	CaCO ₃ ^e	CEC ^f	Fe ₂ O ₃ ^g	Al ₂ O ₃ ^g
	g/kg				dS/m		g/kg	cmol./kg	g/kg	
a/a	-----						-----		-----	
1	860	100	40	6,3	4,01	29	0	17,6	11,9	1,08
2	480	400	120	7,5	1,84	7	15	12,4	7,4	0,77
3	680	280	40	7,7	0,99	14	34	21,8	8,7	0,82
4	610	190	200	7,5	0,85	33	0	18,1	39,9	0,97
5	470	390	140	5,8	0,60	16	0	4,8	5,8	0,75
6	310	450	240	6,3	1,58	7	0	9,8	6,8	0,88
7	180	585	235	6,1	1,24	16	0	9,6	10,9	1,04
8	625	240	135	7,8	0,46	2	6	4,2	6,2	0,56
9	235	550	215	7,4	1,10	18	12	14,9	11,1	1,19
10	270	375	355	7,8	0,49	11	61	15,9	15,9	1,55

^a με την διεθνή μέθοδο του σιφωνίου και με την χρήση (NaPO₃)₆ ως διαμεριστικού

^b σε αιώρημα 1:2 έδαφος:H₂O

^c στο εκχύλισμα κορεσμού

^d με την μέθοδο της υγρής οξειδωσης κατά Walkley & Black

^e με την μέθοδο του ασβεστομέτρου Bernard

^f με την μέθοδο του CH₃COONa 1N, pH=8,2

^g με εκχύλιση με διθειονικό-κιτρικό

Επεμβάσεις

Από το μικρότερο των 5 mm κλάσμα κάθε εδάφους δημιουργήθηκαν τρία υπο-δείγματα, στα οποία προστέθηκε Na₂B₄O₇·10H₂O σε ποσότητα που αντιστοιχούσε σε 0, 3 και 5 mg B/kg εδάφους (επεμβάσεις) και τα οποία

χαρακτηρίζονται ως M (μάρτυρας), B₁ (πρώτο επίπεδο B) και B₂ (δεύτερο επίπεδο B) αντίστοιχα. Οι τριάντα συνολικά επεμβάσεις (M, B₁ και B₂) μετά την προσθήκη B παρέμειναν επαρκώς υγρές (υδατοχωρητικότητα), προς εξισορρόπηση επί δύο εβδομάδες. Στη συνέχεια αεροξηράνθηκαν και συλλέχθηκε μια ποσότητα μικρότερη των 2 mm, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τις αναλύσεις των δεικτών αφομοιωσίμου B, ενώ το υπόλοιπο υλικό χρησιμοποιήθηκε στο βιολογικό πείραμα. Οι δείκτες αφομοιωσίμου B που προσδιορίστηκαν ήταν το B στο εκχύλισμα κορεσμού (B_{SE}), το εκχυλιζόμενο B με ζέον ύδωρ (B_{HW}) κατά Berger και Truog (1939) και το εκχυλιζόμενο B με 1M NH₄HCO₃, 0,005M DTPA, pH=7,6 (B_{SS}) κατά Soltanpour και Schwab (1977). Όλες οι αναλύσεις έγιναν σε δύο επαναλήψεις και δίνονται οι μέσοι όροι (Πίν. 2).

Πίνακας 2. Ποσά B (mg/kg εδ.) εκχυλιζόμενα με τα τρία εκχυλιστικά από τα εδάφη των επεμβάσεων

α/α	Εκχυλιστικά								
	Ζέον ύδωρ			Εκχύλισμα κορεσμού			NH ₄ HCO ₃ -DTPA		
	M	B ₁	B ₂	M	B ₁	B ₂	M	B ₁	B ₂
1	1,15	2,49	3,56	0,68	0,94	1,56	2,60	2,85	3,49
2	1,30	3,68	3,69	0,96	1,13	1,56	2,71	3,92	4,00
3	1,33	1,98	3,35	0,60	1,12	1,13	1,72	2,29	3,09
4	1,41	2,11	3,94	0,76	1,22	1,29	2,18	2,33	2,84
5	0,66	1,86	3,10	0,74	0,78	1,83	2,18	2,54	2,84
6	0,76	2,37	3,22	0,69	0,72	1,29	0,90	0,96	1,05
7	1,00	2,14	3,45	1,04	1,33	2,23	1,61	1,78	2,59
8	0,32	1,48	2,02	0,75	1,21	1,81	0,43	0,90	2,00
9	1,21	2,48	2,83	0,57	0,90	0,92	2,81	3,06	1,56
10	0,94	1,93	3,29	0,61	1,02	1,10	0,62	1,43	2,36

Βιολογικό πείραμα

Ποσότητα 2 kg (<5 mm) από κάθε επέμβαση M, B₁ και B₂ τοποθετήθηκε σε πλαστικό δοχείο (δύο επαναλήψεις) και σπάρθηκε με είκοσι σπόρους μαλακού σιταριού. Μια εβδομάδα μετά την σπορά δόθηκε η βασική λίπανση και το πότισμα γινόταν από κάτω, ώστε το έδαφος να βρίσκεται στην υδατοχωρητικότητα συνεχώς. Μετά την εγκατάσταση της καλλιέργειας τα φυτά αραιώθηκαν σε δέκα και συγκομίστηκαν (μόνο το υπέργειο τμήμα) στο στάδιο του ξεσταχυάσματος. Τα φυτά

των δύο επαναλήψεων αποτέλεσαν ένα σύνθετο δείγμα, στο οποίο μετρήθηκε το Β (Methods of Soil Analysis. Part 2. 1982). Ο αναλυτικός προσδιορισμός του Β έγινε σε δύο επαναλήψεις, υπολογίσθηκε η συγκέντρωση του Β στη φυτομάζα καθώς και η συνολική πρόσληψη του Β και δίνονται οι μέσοι όροι (Πίν. 3).

Πίνακας 3. Συγκέντρωση Β (mg/kg) στην φυτομάζα και πρόσληψη Β (mg/kg εδ.) από τα εδάφη των επεμβάσεων

α/α	Συγκέντρωση Β			Πρόσληψη Β		
	M	B ₁	B ₂	M	B ₁	B ₂
1	22,4	27,5	41,8	0,23	0,30	0,47
2	11,1	34,7	62,5	0,12	0,21	0,46
3	15,1	22,9	36,2	0,15	0,22	0,36
4	9,5	26,1	27,3	0,94	0,27	0,28
5	12,8	42,5	57,9	0,82	0,35	0,44
6	15,4	32,2	39,3	0,13	0,31	0,36
7	19,5	33,5	64,7	0,15	0,21	0,52
8	14,2	29,4	55,1	0,13	0,18	0,24
9	15,6	24,6	27,5	0,14	0,30	0,26
10	14,7	22,7	23,5	0,12	0,22	0,16

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Βόριο εκχυλιζόμενο με τα τρία εκχυλιστικά

Όπως είναι γνωστό οι περισσότεροι ερευνητές δέχονται ότι το B_{HW} αποτελεί αξιόπιστο δείκτη αφομοιωσίμου Β, ο οποίος συσχετίζεται με τις αποδόσεις, αλλά και την πρόσληψη Β από τα φυτά (Cartwright et al., 1983, Johnson and Fixen, 1990). Η αξιοπιστία μιας οποιασδήποτε άλλης μεθόδου εκχύλισης αφομοιωσίμου Β αρχικά μπορεί να ελεγχθεί με την συσχέτιση των ποσών Β που εκχυλίζονται με την μέθοδο αυτή και αυτών που εκχυλίζονται με καθιερωμένες μεθόδους. Οι συσχετίσεις μεταξύ των ποσών Β που εκχυλίσθηκαν με τα τρία εκχυλιστικά ξεχωριστά για τις επεμβάσεις M, B₁ και B₂ ήταν μη στατιστικά σημαντικές. Όταν όμως οι παραπάνω συσχετίσεις έγιναν στο σύνολο των επεμβάσεων, οι συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των τριών δεικτών αφομοιωσίμου Β ήταν όλοι στατιστικά σημαντικοί (Πίν. 4). Οι συσχετίσεις του B_{SS} τόσο με το B_{HW} όσο και με το B_{SE} , αποτελούν ενδείξεις ότι το Β το εκχυλιζόμενο με το NH_4HCO_3 -DTPA αποτελεί ικανοποιητικό δείκτη αφομοιωσίμων μορφών Β.

Πίνακας 4. Συντελεστές συσχέτισης (r) μεταξύ των τριών δεικτών αφομοιωσίμου Β για το σύνολο των επεμβάσεων

	NH ₄ HCO ₃ -DTPA	Εκχύλ. κορεσμού	Ζέον ύδωρ
Εκχύλισμα κορεσμού	0,35		
Ζέον ύδωρ		0,67	
NH ₄ HCO ₃ -DTPA			0,68

r=0,36 για p=0,05 και n=30

Αξιοπιστία των δεικτών αφομοιωσίμου Β

Προκειμένου να ελεγχθεί η αξιοπιστία των τριών δεικτών αφομοιωσίμου Β έγιναν απλές συσχετίσεις, μεταξύ των τριών δεικτών και της συγκέντρωσης Β στη φυτομάζα ή της πρόσληψης Β. Επίσης εφαρμόστηκαν εξισώσεις πολλαπλής ευθύγραμμης συμμεταβολής, με την τεχνική της κατά βήματα στατιστικής επεξεργασίας, μεταξύ της συγκέντρωσης του Β στην φυτομάζα ή της πρόσληψης Β (εξηρητημένες μεταβλητές) και διαφόρων εδαφικών ιδιοτήτων (ανεξάρτητες μεταβλητές), όπως pH, οργανική ουσία, άργιλλος, οξειδία Fe και Al, C_LC και Β εκχυλιζόμενο με καθένα από τα τρία εκχυλιστικά.

Οι συντελεστές των απλών συσχετίσεων ξεχωριστά για τις επεμβάσεις M, B₁ και B₂ ήταν μη στατιστικά σημαντικοί. Αντίθετα όταν οι συσχετίσεις έγιναν στο σύνολο των επεμβάσεων και οι τρεις δείκτες συσχετίστηκαν τόσο με την συγκέντρωση Β στη φυτομάζα όσο και με την πρόσληψη Β (Πίν. 5). Σε συμφωνία με τα ευρήματα των Gestring και Soltanpour (1984) οι συντελεστές συσχέτισης για το B_{ss} ήταν οι χαμηλότεροι.

Πίνακας 5. Συντελεστές συσχέτισης (r) μεταξύ των τριών δεικτών αφομοιωσίμου Β και συγκέντρωσης Β στην φυτομάζα ή πρόσληψης Β για το σύνολο των επεμβάσεων

Εκχυλιστικά	Συγκέντρωση Β	Πρόσληψη Β
Εκχύλισμα κορεσμού	0,85	0,71
Ζέον ύδωρ	0,68	0,76
NH ₄ HCO ₃ -DTPA	0,40	0,47

r=0,36 για p=0,05 και n=30

Η εισαγωγή των εδαφικών ιδιοτήτων αύξησε τους συντελεστές συσχέτισης μεταξύ της συγκέντρωσης Β στη φυτομάζα ή της πρόσληψης Β και των τριών

δεικτών αφομοιωσίμου Β (σύγκρινε Πίν. 5 και 6). Πάλι όμως, σε συμφωνία με τα ευρήματα των Gestring και Soltanpour (1984), οι συντελεστές συσχέτισης που παρατηρήθηκαν όταν χρησιμοποιήθηκε το B_{ss} ως το εδαφικό Β ήταν οι χαμηλότεροι.

Πίνακας 6. Εξισώσεις* πολλαπλής ευθύγραμμης συμμεταβολής και οι αντίστοιχοι συντελεστές συσχέτισης (r) μεταξύ συγκέντρωσης Β στην φυτομάζα ή πρόσληψης Β και εδαφικών ιδιοτήτων για το σύνολο των επεμβάσεων

Εκχυλιστικά	Συγκέντρωση Β	Πρόσληψη Β
Εκχύλισμα κορεσμού	$Z = -3,5 + 13d$, $r = 0,86$	$Y = -120 + 67a - 5,4b + 6,4c + 96d$, $r = 0,81$
Ζέον ύδωρ	$Z = 22 - 1,3c + 11d$, $r = 0,83$	$Y = 64 + 44a - 5,6b + 86d$, $r = 0,83$
NH_4HCO_3 -DTPA	$Z = 27 - 1,3c + 8,6d$, $r = 0,61$	$Y = 119 + 59d$, $r = 0,45$

$r = 0,36$ για $p = 0,05$ και $n = 30$

* Y =πρόσληψη Β (mg Β/kg εδάφους), Z =συγκέντρωση Β στην φυτομάζα (mg Β/kg), a =οργανική ουσία (% κ.β. εδάφους), $b=Fe_2O_3$ (g/kg εδάφους), $c=CEC$ (cmole./kg εδάφους), d =εδαφικό Β (mg/kg εδάφους)

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το NH_4HCO_3 -DTPA ως εκχυλιστικό διαθεσίμου Β έχει δύο βασικά πλεονεκτήματα σε σχέση με το ζέον ύδωρ, ήτοι: το NH_4HCO_3 -DTPA μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκχύλιση αφομοιωσίμων μορφών περισσότερων του ενός στοιχείων και η χρήση του είναι απλή και μη χρονοβόρα. Η δοκιμή του σε δέκα εδάφη της Β. Ελλάδας με καλλιέργεια σιταριού έδειξε ότι ο εκχυλιζόμενο Β με NH_4HCO_3 -DTPA μπορεί να θεωρηθεί ικανοποιητικός δείκτης αφομοιωσίμων μορφών Β, όχι όμως τόσο αξιόπιστος όσο το εκχυλιζόμενο Β με ζέον ύδωρ.

Evaluation of NH_4HCO_3 – DTPA extractable boron as index of B availability in a pot experiment with wheat using ten soils of Northern Greece

Antoniadis, V., T. Matsi and N. Barbayianis

Laboratory of Soil Science, School of Agriculture, A.U.T.

ABSTRACT

Hot water (B_{HW}), NH_4HCO_3 -DTPA (B_{SS}), extractable boron and boron in the saturation extract (B_{SE}) were tested as boron availability indices in ten soils of northern Greece. The soils, which differed in texture and pH, received three rates of boron, namely 0, 3 and 5 mg B/kg soil (thirty treatments) and cultivated in pots with wheat. Boron uptake and boron concentration in biomass were measured and served as biological indices for soil boron tests. The three indices correlated satisfactorily with each other and with B uptake and B concentration in the plants, in all treatments ($p < 0.05$). In the first case the best correlation was found between B_{HW} and B_{SS} ($r = 0.68$) and the worst between B_{SS} and B_{SE} ($r = 0.35$). In the second case the correlation coefficients between B_{SS} and B uptake or B concentration in the plants were the lowest ($r = 0.47$ and $r = 0.40$ respectively). The results showed that NH_4HCO_3 -DTPA extractable boron can be used as a boron availability index, but is not as effective as hot water extractable boron.