Wpływ nawożenia borem na pobieranie i dystrybucję składników mineralnych w jabłoni (*Malus domestica* Borkh.)

PAWEŁ WÓJCIK

Zakład Nawożenia i Uprawy Roślin Sadowniczych, Instytut Sadownictwa i Kwiaciarstwa,
ul. Pomologiczna 18, 96-100 Skierniewice

(Otrzymano dn. 12.01.1998)

P. Wójcik (Research Institute of Pomology and Floriculture, Department of Fruit Crop Management and Plant Nutrition, Pomologiczna 18, 96-100 Skierniewice, Poland. Effect of boron fertilization of apple trees (*Malus domestica* Borkh.) on uptake and distribution of mineral elements.

Abstract

The aim of this study was to examine effect of boron (B) fertilization of 'Šampion' apple trees (*Malus domestica* Borkh.) grafted on M.26 rootstock on uptake and distribution of mineral elements. The trees were planted at a distance of 4.0 x 2.5 m on sandy-loam soil with low hot-water extractable B content. The study was carried out in 1994–1996 in Dąbrowice Experimental Station located near Skierniewice. The following treatments were applied: (i) soil B application at a rate of 2g B tree⁻¹ as Bortrac fertilizer (16% B in form of boric acid); (ii) three times leaf B applications before full bloom at a rate of 0.67g B tree⁻¹ at the stage: green and pink bud and beginning of flowering; (iii) three times leaf B applications after bloom at a rate of 0.67g B tree⁻¹. First spraying was applied at petal fall and next two ones at 2-weeks interval; (iv) control – trees unfertilized with B. The measurements included: soil chemical analysis (contents of available phosphorus (P) and boron (B) and exchange potassium (K), magnesium (Mg), and calcium (Ca) and plant analysis (concentrations of N, P, K, Mg, Ca and B in the spur leaves, the leaves from one-year-old shoots and the apple flesh).

It was shown that B fertilization had not effect on N uptake and its distribution within apple tree. It was found that soil B application stimulated P uptake which increased concentration of this element in the spur leaves, the leaves from current shoots and the apple flesh. Boron sprayings after bloom increased Ca uptake which rised Ca concentration in studied plant parts. Additionally, leaf B application after bloom reduced plant Mg uptake. As a result of B sprayings after bloom, K concentration was increased in the spur leaves and decreased in the apple flesh. Boron spraying before bloom was less effective in increasing this microelement in plant than leaf B applications after bloom and soil B application.

WSTĘP

Bor jest niezbędnym składnikiem mineralnym warunkującym prawidłowy rozwój roślin wyższych. Do gatunku roślin, który wykazuje wysokie wymagania pokarmowe w stosunku do boru zalicza się jabłoń (*Malus domestica* Borkh.). Niedostateczne odżywienie jabłoni borem powoduje m.in.: zahamowanie wzrostu drzew, redukcję plonowania oraz pogorszenie jakości owoców. Objawy niedoboru boru w uprawie jabłoni występują często w regionie grójecko-wareckim, w którym dominują gleby lekkie, kwaśne i słabo próchniczne. W tych warunkach glebowych bor jest łatwo wymywany do głębszych warstw gleby, poza zasięg głównej masy korzeniowej. W Polsce nawożenie borem polecane jest wyłącznie w przypadkach występowania widocznych objawów niedoboru tego składnika w roślinie. Badania Wójcika i in. (1997) wskazują jednak, że nawożenie borem może zwiększać plonowanie jabłoni nawet, gdy nie wykazują one symptomów niedoboru tego składnika. Nawożenie jabłoni borem obok wpływu na plonowanie, wzrost oraz jakość owoców może powodować także zmiany w odżywianiu się roślin. Marschner (1995) uważa, że bor poprzez wpływ na wzrost korzeni zwiększa pobieranie składników mineralnych. Tego samego zdania są Lenoble i in. (1996). W literaturze mało jest jednak wyników badań nad odżywianiem się jabłoni pod wpływem nawożenia borem. Biorąc pod uwagę, że nawożenie borem stosowane jest w uprawie jabłoni na coraz większą skalę, celowe było podjęcie badań nad wpływem nawożenia tym mikroelementem na pobieranie i dystrybucję składników mineralnych w jabłoni.

MATERIAŁY I METODY

Doświadczenie przeprowadzono w latach 1994-1996 w Sadzie Doświadczalnym Dąbrowice koło Skierniewic. Obiektem doświadczalnym były jabłonie (*Malus domestica* Borkh.) odmiany Šampion, okulizowane na podkładce M26. Drzewa posadzono jesienią 1991 roku w rozstawie 4,0×2,5 m na glebie piaszczysto-gliniastej o kwaśnym odczynie (pH_{KCl} 4,3) i niskiej zawartości materii organicznej (13 g C kg⁻¹). Jabłonie przed rozpoczęciem doświadczenia jak i w jego trakcie nie wykazywały widocznych objawów niedoboru boru. Na kwaterze doświadczalnej utrzymywano ugór herbicydowy w rzędach drzew o szerokości 2 m i koszoną murawę w międzyrzędziach. Korony drzew od momentu posadzenia prowadzone były w formie wrzecionowej. Cięcia i ochrona drzew wykonywane były według zaleceń dla sadów towarowych. Doświadczenie założono w układzie bloków losowych, w trzech powtórzeniach. Na każdym poletku znajdowało się 6 drzew. Poletka przedzielone były dwoma drzewami stanowiącymi pasy ochronne.

Doświadczenie obejmowało następujące kombinacje:

1. Nawożenie doglebowe borem w dawce 2 g B na drzewo, wykonane co roku wczesną wiosną na powierzchnię pasów herbicydowych wzdłuż rzędów drzew.
2. Trzykrotne opryskiwanie borem przed kwitnieniem drzew, wykonane co roku w fazie zielonego i różowego pąka oraz na początku kwitnienia (gdy około 10%

kwiatów było w pełni kwitnienia). W każdym opryskiwaniu stosowano 0,67 g B na drzewo przy wydatku 1 L cieczy.

3. Trzykrotne opryskiwanie borem po kwitnieniu drzew, wykonane co roku w momencie opadania płatków kwiatowych oraz 2 i 4 tygodnie po zakończeniu kwitnienia.

W każdym opryskiwaniu stosowano takie same dawki boru co w kombinacji drugiej.

4. Kontrola – drzewa nienawożone borem

Do nawożenia jabłoni borem użyto nawozu Bortrac zawierającego 16% B w postaci kwasu borowego.

W doświadczeniu przeprowadzono następujące pomiary:

1. Analiza chemiczna gleby:

- zawartość przyswajalnego fosforu określono metodą Egnera–Riehma w roku poprzedzającym rozpoczęcie doświadczenia (1993) oraz w ostatnim roku badań (1996).
- zawartość wymiennego potasu, magnezu i wapnia określono metodą Kappena.
- zawartość przyswajalnego boru określono w wyciągu wodnym metodą Bergeira–Truoga przed rozpoczęciem doświadczenia oraz we wszystkich latach prowadzenia badań.

Próbki gleby pobierane były jesienią z dwóch warstw: 0–20 i 20–40 cm.

2. Analiza chemiczna roślin:

- zawartość azotu, fosforu, potasu, magnezu, wapnia i boru w liściach rozetkowych, liściach z długopędów oraz owocach oznaczono w każdym roku prowadzenia doświadczenia.

Liście rozetkowe zbierano z krótkopędów owocujących, 2 tygodnie po kwitnieniu, z zewnętrznej części korony w połowie jej wysokości. Probki liści suszone były w termostacie w temperaturze 60° C, mielone w młynku agatowym a następnie mineralizowane „na mokro” według procedury podanej przez Ostrowską i in. (1991). W przypadku oznaczenia boru liście spalane były „na sucho” w piecu mufowym w temperaturze 480° C w ciągu 7 godzin. Oznaczenie azotu wykonano metodą Kjeldahla, fosforu i boru kolorymetrycznie, potasu metodą fotopłomieniową, a magnezu metodą absorpcji atomowej.

Liście z długopędów zbierane były w pierwszych dniach sierpnia. Pobierano liście ze środkowej części długopędu, z zewnętrznej części korony, w połowie jej wysokości. Analiza mineralna liści z długopędów wykonana została w identyczny sposób jak w przypadku liści rozetkowych.

Jabłka do analizy zbierane były w momencie ich dojrzałości zbiorczej, z zewnętrznej części korony drzew, w połowie ich wysokości. Z każdego owocu pobierano po 2 przeciwległe wycinki owocu, bez gniazda nasiennego i szypułki. Analiza mineralna owoców wykonana została w identyczny sposób jak w przypadku liści rozetkowych.

Wyniki opracowano statystycznie oddzielnie dla badanych lat, za pomocą analizy wariancji, a do oceny różnic między średnimi użyto testu t-Duncana, przyjmując poziom istotności $\alpha=0,05$. W tabelach zamieszczono tylko te dane, które były różnicowane w wyniku nawożenia borem.

WYNIKI

Wyniki doświadczenia wykazały, że jedynie doglebowe nawożenie borem miało wpływ na zawartość przyswajalnego fosforu w powierzchniowej warstwie gleby (tabela 1). Pod wpływem tego zabiegu zmniejszyła się zawartość fosforu w porównaniu do kombinacji kontrolnej. Nawożenie borem nie miało natomiast wpływu na zawartość przyswajalnego fosforu w warstwie 20–40 cm. W obu warstwach gleby nie stwierdzono wpływu nawożenia borem na zawartość potasu w kompleksie sorpcyjnym. W ostatnim roku badań, zawartość potasu w kompleksie sorpcyjnym wahała się od 2,5 do 2,7 cmol(+) $\times$ kg⁻¹ w warstwie 0–20 oraz od 1,8 do 2,0 cmol(+) $\times$ kg⁻¹ w warstwie 20–40 cm. Jedynie opryskiwanie jabłoni borem po kwitnieniu spowodowało istotny wzrost zawartości jonów magnezu w kompleksie sorpcyjnym warstwy 0–20 cm (tabela 1). Nawożenie borem nie miało natomiast wpływu na zawartość magnezu w kompleksie sorpcyjnym w warstwie 20–40 cm. W przeprowadzonym doświadczeniu stwierdzono, że opryskiwanie borem po kwitnieniu istotnie obniżyło zawartość wapnia w kompleksie sorpcyjnym gleby w warstwie 0–20 cm (tabela 1). Nie uzyskano natomiast wpływu nawożenia borem na zawartość wapnia w kompleksie sorpcyjnym warstwy 20–40 cm. W pierwszym roku badań tzn. w 1994 nawożenie doglebowe borem spowodowało wzrost zawartości tego mikroelementu w glebie, choć wpływ ten wystąpił tylko w warstwie 0–20 cm (tabela 2). W następnych dwóch latach pod wpływem nawożenia doglebowego borem stwierdzono istotny wzrost jego zawartości zarówno w warstwie 0–20 jak i 20–40 cm.

Tabela 1-Table 1

Wpływ nawożenia borem jabłoni odmiany Šampion na zawartość przyswajalnego fosforu oraz wymiennego magnezu i wapnia w glebie

Effect of boron fertilization of 'Šampion' apple trees on available phosphorus and exchange magnesium and calcium contents in soil

Kombinacja Treatment	Fosfor Phosphorus [mg $\times$ kg ⁻¹]				Magnez Magnesium [cmol(+) $\times$ kg ⁻¹]				Wapń Calcium [cmol(+) $\times$ kg ⁻¹]			
	0-20cm		20-40cm		0-20cm		20-40cm		0-20cm		20-40cm	
	1993	1996	1993	1996	1993	1996	1993	1996	1993	1996	1993	1996
Kontrola Control	62a	56b	52a	52a	5,0a	4,0a	3,5a	3,0a	17,4a	16,5b	15,3a	14,8a
Nawożenie doglebowe borem Soil boron application	59a	50a	50a	51a	4,9a	3,8a	3,8a	3,3a	17,6a	16,1b	15,0a	14,7a
Opryskiwanie borem przed kwitnieniem Boron spraying before bloom	63a	59b	54a	50a	5,2a	4,0a	3,5a	3,1a	17,5a	16,5b	15,1a	14,6a
Opryskiwanie borem po kwitnieniu Boron spraying after bloom	59a	56b	50a	48a	5,1a	4,6b	3,8a	3,5a	17,6a	14,8a	14,6a	14,8a

Uwaga: Średnie oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie przy $\alpha=0,05$

Notice: Means marked with the same letters within column do not significantly differ at $\alpha=0,05$

Tabela 2-Table 2

Wpływ nawożenia borem jabłoni odmiany Šampion na zawartość przyswajalnego boru w glebie
 Effect of boron fertilization of 'Šampion' apple trees on available boron contents in soil

Kombinacja Treatment	Bor Boron [mg×kg ⁻¹]							
	0–20cm				20–40cm			
	1993	1994	1995	1996	1993	1994	1995	1996
Kontrola Control	0,32a	0,31a	0,38a	0,34a	0,28a	0,28a	0,33a	0,32a
Nawożenie doglebowe borem Soil boron application	0,32a	0,39b	0,57b	0,66b	0,28a	0,32a	0,45b	0,50b
Opryskiwanie borem przed kwitnieniem Boron spraying before bloom	0,34a	0,32a	0,40a	0,36a	0,29a	0,28a	0,32a	0,32a
Opryskiwanie borem po kwitnieniu Boron spraying after bloom	0,37a	0,32a	0,40a	0,36a	0,28a	0,31a	0,32a	0,33a

Uwaga: Średnie oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie przy $\alpha=0,05$

Notice: Means marked with the same letters within column do not significantly differ at $\alpha=0,05$

W żadnym roku badań nie uzyskano wpływu nawożenia borem na zawartość azotu w liściach rozetkowych. Zawartość azotu w tych liściach wahała się od 2,38 do 2,51%. W badaniach wykazano, że nawożenie doglebowe borem zwiększyło zawartość fosforu w liściach rozetkowych, choć wpływ tego zabiegu nie został stwierdzony w pierwszym roku badań (tabela 3). We wszystkich badanych latach opryskiwanie borem po kwitnieniu zwiększyło zawartość potasu i zmniejszyło magnezu w liściach rozetkowych (tabela 3). Tylko w 1996 roku stwierdzono wyższą zawartość wapnia w liściach rozetkowych pod wpływem opryskiwania borem po kwitnieniu (tabela 3). W badaniach stwierdzono, że nawożenie doglebowe borem powodowało największy wzrost zawartości tego składnika w liściach rozetkowych, choć wpływ tego zabiegu nie został stwierdzony w pierwszym roku badań (tabela 3). Nieco niższą zawartość boru w tych liściach – lecz istotnie wyższą w porównaniu do kombinacji kontrolnej – stwierdzono w wyniku opryskiwania borem przed i po kwitnieniu.

Nawożenie borem nie miało wpływu na zawartość azotu oraz potasu w liściach z długopędów. Zawartość powyższych składników w tych liściach wahała się odpowiednio: 2,08–2,21 oraz 1,64–1,88 %. Badania wykazały, że nawożenie doglebowe borem zwiększyło zawartość fosforu w liściach z długopędów, choć wpływ tego zabiegu nie został stwierdzony w 1994 roku (tabela 4). We wszystkich latach, opryskiwanie borem po kwitnieniu obniżało zawartość magnezu i zwiększyło wapnia w liściach z długopędów (tabela 4). Najwyższą skuteczność w zwiększaniu zawartości boru w liściach stwierdzono w wyniku opryskiwania po kwitnieniu (tabela 4). Nieco niższą zawartość boru w liściach, lecz istotnie wyższą w stosunku do liści z drzew kontrolnych, uzyskano w wyniku opryskiwania przed kwitnieniem oraz nawożenia doglebowego borem, choć w przypadku tego drugiego zabiegu nie stwierdzono istotnych zmian zawartości tego mikroelementu w liściach w pierwszym roku badań.

Tabela 3–Table 3

Wpływ nawożenia borem jabłoni odmiany Šampion na zawartość niektórych składników mineralnych w liściach rozetkowych.
Effect of boron fertilization of 'Šampion' apple trees on contents of selected mineral elements in the spur leaves

Kombinacja Treatment	Fosfor Phosphorus [%]			Potas Potassium [%]			Magnez Magnesium [%]			Wapń Calcium [%]			Bor Boron [mg×kg ⁻¹]		
	1994	1995	1996	1994	1995	1996	1994	1995	1996	1994	1995	1996	1994	1995	1996
Kontrola Control	0,180a	0,180a	0,187a	1,43a	1,61a	1,45a	0,35b	0,28b	0,31b	0,80a	0,62a	0,72a	23a	25a	26a
Nawożenie doglebowe borem Soil boron application	0,173a	0,227b	0,230b	1,39a	1,62a	1,46a	0,32b	0,29b	0,31b	0,84a	0,61a	0,69a	25ab	38c	38c
Opryskiwanie borem przed kwitnieniem Boron spraying before bloom	0,180a	0,170a	0,180a	1,41a	1,60a	1,46a	0,35b	0,30b	0,31b	0,83a	0,62a	0,72a	34c	31b	32b
Opryskiwanie borem po kwitnieniu Boron spraying after bloom	0,183a	0,170a	0,177a	1,59b	1,81b	1,67b	0,27a	0,21a	0,23a	0,83a	0,59a	0,82b	30bc	31b	30b

Uwaga: Średnie oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie przy $\alpha=0,05$

Notice: Means marked with the same letters within column do not significantly differ at $\alpha=0,05$

W badaniach nie stwierdzono wpływu nawożenia borem na zawartość azotu w jabłkach. Zawartość tego składnika wahała się od 0,20 do 0,25% s.m. Stwierdzono jednak, że doglebowe nawożenie borem zwiększyło zawartość fosforu w jabłkach, choć wpływ ten nie był obserwowany w pierwszym roku badań (tabela 5). We wszystkich latach opryskiwanie borem po kwitnieniu istotnie zmniejszyło zawartość potasu i magnezu a zwiększyło wapnia w jabłkach (tabela 5). W konsekwencji jabłka opryskiwane borem po kwitnieniu miały niższy stosunek potasu do wapnia (tabela 5). Stwierdzono także, że opryskiwanie po kwitnieniu oraz nawożenie doglebowe borem były skuteczniejszymi zabiegami w zwiększaniu zawartości tego składnika w owocach niż opryskiwanie przed kwitnieniem (tabela 5). Jednakże w pierwszym roku badań nawożenie doglebowe borem nie miało wpływu na zawartość tego składnika w owocach.

Tabela 4-Table 4

Wpływ nawożenia borem jabłoni odmiany Szampion na zawartość niektórych składników mineralnych w liściach z długopędów
Effect of boron fertilization of 'Šampion' apple trees on contents of selected mineral elements in the leaves from one-year-old shoots

Kombinacja Treatment	Fosfor Phosphorus [%]			Magnez Magnesium [%]			Wapń Calcium [%]			Bor Boron [mg·kg ⁻¹]		
	1994	1995	1996	1994	1995	1996	1994	1995	1996	1994	1995	1996
Kontrola Control	0,273a	0,273a	0,240a	0,233b	0,277b	0,267b	0,95a	0,88a	1,07a	24b	25a	25a
Nawożenie doglebowe borem Soil boron application	0,270a	0,320b	0,307b	0,237b	0,280b	0,280b	0,97a	0,92a	1,05a	27b	31b	35b
Opryskiwanie borem przed kwitnieniem Boron spraying before bloom	0,270a	0,263a	0,250a	0,240b	0,267b	0,277b	0,96a	0,88a	1,08a	32c	31b	33b
Opryskiwanie borem po kwitnieniu Boron spraying after bloom	0,267a	0,253a	0,253a	0,203a	0,213a	0,213a	1,20b	1,05b	1,17b	41d	38c	41c

Uwaga: Średnie oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie przy $\alpha=0,05$

Notice: Means marked with the same letters within column do not significantly differ at $\alpha=0,05$

DYSKUSJA

Wyniki doświadczenia wykazały, że w pierwszym roku badań nawożenie doglebowe borem nie miało wpływu na odżywianie jabłoni tym składnikiem. Brak wpływu nawożenia doglebowego borem na pobieranie tego mikroelementu przez roślinę w pierwszym roku badań można wytłumaczyć silną sorpcją stosowanego kompleksu borowego (substancja kompleksująca bor jest zastrzeżona przez producenta nawozu), ograniczającą przemieszczanie się jego do głównej masy korzeniowej. Wzrost zawartości boru w liściach rosetkowych, liściach z długopędów oraz w owocach w ostatnich dwóch latach badań, pod wpływem nawożenia doglebowego, wyniósł odpowiednio: 46, 40 i 93%. Wyniki te wskazują, że pobrany przez korzenie jabłoni bor przemieszczał się

Tabela 5-Table 5

Wpływ nawożenia borem jabłoni odmiany Szampion na zawartość niektórych składników mineralnych w owocach
 Effect of boron fertilization of 'Šampion' apple trees on contents of selected mineral elements in fruit flesh

Kombinacja Treatment	Fosfor Phosphorus [mg×kg ⁻¹ s.m.]			Potas Potassium [g×100g ⁻¹ s.m.]			Magnez Magnesium [mg×kg ⁻¹ s.m.]			Wapń Calcium [mg×kg ⁻¹ s.m.]			Stosunek K/Ca K/Ca ratio			Bor Boron [mg×kg ⁻¹ s.m.]		
	1994	1995	1996	1994	1995	1996	1994	1995	1996	1994	1995	1996	1994	1995	1996	1994	1995	1996
Kontrola Control	360a	450a	360a	0,87b	1,04b	0,82b	390b	380b	350b	108a	83a	109a	80,5b	125,3b	75,2b	18a	15a	15a
Nawożenie doglebowe borem Soil boron application	340a	510b	400b	0,87b	1,07b	0,85b	400b	360b	340b	111a	86a	106a	78,4b	124,4b	80,2b	17a	30c	29c
Opryskiwanie borem przed kwitnieniem Boron spraying before bloom	350a	430a	350a	0,87b	1,06b	0,82b	380b	360b	340b	108a	86	105a	80,5b	123,2b	78,1b	24b	22b	24b
Opryskiwanie borem po kwitnieniu Boron spraying after bloom	340a	440a	360a	0,76a	0,91a	0,68a	330a	300a	290a	122b	102b	127b	62,2a	89,2a	53,5a	32c	32c	31c

Uwaga: Średnie oznaczone tymi samymi literami w kolumnie nie różnią się istotnie przy $\alpha=0,05$

Notice: Means marked with the same letters within column do not significantly differ at $\alpha=0,05$

silniej do rozwijających się owoców niż do liści. Również Manru i in. (1995) stwierdzili, że jabłka były tymi organami do których bor przemieszczał się preferencyjnie.

W doświadczeniu wykazano także, że opryskiwanie borem przed kwitnieniem zwiększało zawartość tego składnika m.in. w liściach z długopędów, a więc w tych częściach roślin, które nie absorbowały egzogenne bora. Wyniki te świadczą, że bor w jabłoni ulegał reutilizacji. Bezpośrednich dowodów świadczących o przemieszczaniu się bora we floemie jabłoni dostarczył Hanson (1991) stosując w doświadczeniu izotop ^{10}B . Badania tego autora wykazały, że ^{10}B naniesiony na powierzchnię liści jabłoni przemieszczał się do innych części roślin głównie owoców, pąków oraz rozwijających się liści. Według Brown i Hu (1996) tylko rośliny mające wysoką zawartość sorbitolu mają zdolność do przemieszczania bora we floemie.

W przeprowadzonych badaniach wykazano, że nawożenie doglebowe borem spowodowało wzrost pobierania fosforu. Świadczy o tym zmniejszenie się zawartości przyswajalnego fosforu w glebie oraz wzrost tego składnika we wszystkich badanych częściach rośliny tzn. liściach rozetkowych, liściach z długopędów oraz owocach. Obniżenie zawartości przyswajalnego fosforu w glebie tylko w warstwie 0–20cm, pod wpływem nawożenia doglebowego borem, prawdopodobnie związane było z faktem, że większość korzeni jabłoni rozwijała się w warstwie powierzchniowej. W literaturze brak jest jednak wyników badań wskazujących synergistyczny wpływ bora na pobieranie fosforu przez jabłonie. Być może wzrost pobierania fosforu w wyniku nawożenia jabłoni borem związany był z ochroną korzeni przed toksycznością glinu. Badania Lenoble i in. (1996) wykazały, że wysoka zawartość bora w roztworze odżywczym ograniczała toksyczny wpływ glinu na system korzeniowy roślin. W konsekwencji tego korzenie dostatecznie odżywione borem silniej rosły, co zwiększało pobieranie składników mineralnych. Wyjaśnienie to w odniesieniu do przeprowadzonego doświadczenia wydaje się być słuszne, gdyż odczyn gleby był silnie kwaśny, co sugeruje obecność wysokiej zawartości aktywnego glinu w roztworze glebowym.

Wyniki doświadczenia wykazały także, że opryskiwanie jabłoni borem po kwitnieniu zmieniało dystrybucję potasu w roślinie. Zabieg ten obniżał zawartość potasu w owocach oraz powodował wzrost koncentracji tego składnika w liściach rozetkowych. Nie stwierdzono jednocześnie aby zabieg ten miał wpływ na zawartość potasu w liściach z długopędów. Wydaje się, że wysoka akumulacja potasu w liściach rozetkowych była wynikiem ograniczenia przemieszczania się potasu do owoców. Redukcja akumulacji potasu w owocach pod wpływem opryskiwania borem po kwitnieniu mogła być związana ze wzrostem transportu wapnia do tych organów, w wyniku wzrostu plonowania jabłoni (Wójcik i in., 1997). Badania Fergusona i Watkinsa (1992) wykazały, że jabłka z drzew o wysokim plonowaniu, niezależnie od ich wielkości, odznaczały się wyższą zawartością wapnia w porównaniu do owoców pochodzących z drzew o słabym owocowaniu.

Uzyskane wyniki badań wykazały ujemny wpływ opryskiwania borem po kwitnieniu na pobieranie magnezu. Świadczy o tym wyższa zawartość magnezu w kompleksie sorpcyjnym gleby w ostatnim roku badań oraz niższa koncentracja tego składnika we wszystkich badanych częściach jabłoni. Biorąc pod uwagę, że opryskiwanie borem po kwitnieniu nie zwiększyło pobierania potasu, wydaje się, że obniżenie odżywiania się roślin magnezem wynikało ze wzmożonego pobierania wapnia.

O ujemnej zależności między jonami wapnia a magnezem w procesie ich pobierania przez rośliny donosi m.in. Kirby (1979).

W doświadczeniu stwierdzono także, że opryskiwanie jabłoni borem po kwitnieniu zwiększyło pobieranie wapnia przez roślinę. Świadczy o tym zmniejszenie się zawartości wapnia w kompleksie sorpcyjnym gleby oraz wzrost tego składnika w liściach z długopędów, owocach i liściach rozetkowych. Wzrost pobrania wapnia przez jabłonie w wyniku opryskiwania borem po kwitnieniu wynikał prawdopodobnie ze wzrostu plonowania drzew. Im jabłonie silniej zawiązują owoce tym proces pobierania wapnia jest zwiększony. Zjawisko to tłumaczone jest wpływem hormonów, wydzielanych przez rozwijające się owoce (głównie auksyny), na rozwój systemu korzeniowego (Marschner, 1995). Wzmożona produkcja auksyn w owocach, stymulując wzrost korzeni, zwiększa pobieranie jonów wapnia. Wzrost korzeni odgrywa szczególnie ważną rolę w odżywianiu się roślin wapniem, gdyż jony te pobierane są głównie przez młode korzenie (Marschner i Richter, 1973).

Nie potwierdziły się wyniki badań Woodbridge i in. (1973) wskazujące, że nawożenie doglebowe borem zwiększa pobieranie wapnia przez jabłonie. Być może, jak to sugeruje Faust i Shear (1968), zwiększenie pobierania wapnia przez rośliny pod wpływem nawożenia doglebowego borem ma miejsce jedynie w glebie zasobnej w przyswajalny wapń. W przeprowadzonym doświadczeniu być może ilość wapnia znajdująca się w glebie nie była na tyle wysoka aby nawożenie borem stymulowało jego pobieranie.

WNIOSKI

1. Nawożenie borem nie miało wpływu na pobieranie i dystrybucję azotu w jabłoni.
2. Nawożenie doglebowe borem jabłoni, w warunkach gleby kwaśnej, zwiększało pobieranie i zawartość fosforu w liściach rozetkowych, liściach z długopędów oraz owocach.
3. Opryskiwanie jabłoni borem po kwitnieniu zwiększało pobieranie wapnia oraz zmniejszało magnezu.
4. Opryskiwanie jabłoni borem po kwitnieniu zwiększało zawartość potasu w liściach rozetkowych a obniżało w owocach.
5. Opryskiwanie jabłoni borem przed kwitnieniem miało mniejszy wpływ na wzrost jego zawartości w roślinie niż opryskiwanie po kwitnieniu i nawożenie doglebowe tym mikroelementem.

LITERATURA

- Brown P.H., Hu H. 1996. Phloem mobility of boron is species dependent: Evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. *Ann. Bot.* 77: 497–505.
- Faust M., Shear C.B. 1968. Corking disorders of apples. A physiological and biochemical review. *Bot. Rev.* 34: 441–469.
- Ferguson I.B., Watkins C.B. 1992. Crop load affects mineral concentration and incidence of bitter pit in Cox's Orange Pippin apple fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117: 373–376.
- Hanson E.J. 1991. Movement of boron out of tree fruit leaves. *Hort Sci.* 26: 271–273.
- Lenoble M.E., Blevins D.G., Sharp R.E., Cumbie B.G. 1996. Prevention of aluminium toxicity with supplemental boron. I. Maintenance of root elongation and cellular structure. *Plant, Cell and Environment* 19: 1132–1142.

- Manru G., Yuanmao J., Huacheng H., Futun P. 1995. The translocation and distribution of foliar-applied boron during blooming period of apple trees. *Acta Agriculturae Nucleatae Sinica* 9: 86–90.
- Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London, str. 889.
- Marschner H., Richter Ch. 1973. Akkumulation und Translokation von K^+ , Na^+ und Ca^{2+} bei Angebot zu einzelnen Wurzelzone von Maiskeimpflanzen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 135: 1–15.
- Ostrowska A., Gawliński S., Szczubiała Z. 1991. Metody analizy i oceny właściwości gleb i roślin. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, str. 333.
- Shear C.B. 1980. Interactions of nutrition and environment on mineral composition of fruit. W: *Mineral Nutrition of Fruit Trees*. Ed. Atkinson D., Jackson J.E., Sharples R.O., Waller W.M. London–Boston, str. 41–50.
- Woodbridge C.G., Wieneke J., Führ F. 1973. The interaction between calcium and boron in apple seedlings. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 5: 177–188.
- Wójcik P., Mika A., Cieśliński G. 1997. Wpływ nawożenia borem na plonowanie jabłoni oraz jakość owoców. *Acta Agrobotanica* 50: 111–124.

Streszczenie

Przeprowadzone doświadczenie miało na celu określenie wpływu nawożenia borem na pobieranie i dystrybucję składników mineralnych w jabłoni odmiany Šampion (*Malus domestica* Borkh.), szczepionej na podkładce M.26. Jabłonie posadzono w roztawie 4,0 x 2,5 m na glebie piaszczysto-gliniastej o niskiej zawartości boru ekstrahowanego gorącą wodą. Doświadczenie przeprowadzono w Sadzie Doświadczalnym Dąbrowice koło Skierniewic w okresie 1994–1996. W doświadczeniu zastosowano następujące kombinacje: 1. Nawożenie doglebowe borem w dawce 2 g B na drzewo w postaci nawozu Bortrac (16% B w formie kwasu borowego); 2. Trzykrotne opryskiwanie borem przed kwitnieniem w dawce 0,67 g B na drzewo w fazie zielonego i różowego pąka oraz na początku kwitnienia; 3. Trzykrotne opryskiwanie borem po kwitnieniu w dawce 0,67 g B na drzewo. Pierwszy zabieg wykonywany był w momencie opadania płatków kwiatowych a następne dwa w odstępach 2-tygodniowych; 4. Kontrola – drzewa nie-nawożone borem. Pomiarów obejmowały analizę chemiczną gleby (zawartość przyswajalnego fosforu i boru, oraz wymiennego potasu, magnezu i wapnia) oraz roślin (zawartość azotu, fosforu, potasu, magnezu, wapnia oraz boru w liściach rozetkowych, liściach z długopędów oraz owocach).

Uzyskane wyniki wskazują, że nawożenie borem nie miało wpływu na pobieranie i dystrybucję azotu. Stwierdzono także, że nawożenie doglebowe borem stymulowało pobieranie fosforu, co prowadziło do wzrostu zawartości tego składnika w liściach rozetkowych, liściach z długopędów oraz owocach. Opryskiwanie borem po kwitnieniu zwiększyło natomiast pobieranie wapnia, wpływając jednocześnie na wzrost tego składnika w badanych częściach rośliny. Jednakże opryskiwanie borem po kwitnieniu obniżało pobieranie magnezu. W wyniku opryskiwania borem po kwitnieniu nie stwierdzono zmian w pobieraniu potasu, choć zabieg ten zwiększał koncentrację tego składnika w liściach rozetkowych a zmniejszał w owocach. Stwierdzono także, że opryskiwanie borem przed kwitnieniem było wyraźnie mniej efektywnym zabiegiem w zwiększaniu koncentracji tego mikroelementu w porównaniu do opryskiwania po kwitnieniu oraz nawożenia doglebowego borem.