

STANISŁAW WRÓBELInstytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa — Państwowy Instytut Badawczy w Puławach
Zakład Technik Uprawy Roli i Nawożenia w Jelczu-Laskowicach

Reakcja owsa na nawożenie borem

Oat response to boron fertilization

W trzech jednorocznych ścisłych doświadczeniach polowych badano reakcję owsa na nawożenie borem. Wyniki porównywano z uzyskanymi w doświadczeniach łanowych. Stwierdzono plonotwórcze działanie boru w latach z niedoborami wilgoci w okresie wiosny. Owies uprawiany na glebie o niskiej zawartości boru przyswajalnego odznaczał się ponad optymalną w świetle kryterium Bergmanna (1986) zawartością tego składnika. Pod wpływem nawożenia borem uzyskiwano istotne przyrosty masy plonów ziarna owsa oraz dalszy wzrost zawartości mikroskładnika w biomasie. Wyniki te wskazują na potrzebę weryfikacji stosowanych kryteriów zaopatrzenia gleb i roślin w bor. Stwierdzono przewagę doglebowego sposobu nawożenia w poprawie zaopatrzenia ziarna owsa w bor. Zgodność wyników uzyskanych w doświadczeniach ścisłych i łanowych umożliwia opracowanie na ich podstawie zaleceń nawożenia owsa borem dla praktyki rolniczej.

Słowa kluczowe: bor, doświadczenie łanowe, doświadczenie ścisłe, nawożenie borem, owies, plony owsa, testy chemiczne

Oat response to boron fertilization was evaluated in three one-year exact field experiments. The results were compared with those obtained in large-area trials. Yield forming influence of boron was found in the years characterized by water deficit in spring time. The boron content of oats grown on boron deficient soil exceeded the optimum proposed by Bergmann (1986). Fertilization with boron significantly increased oat grain yield and resulted in further increase in boron content of the biomass. The results indicate the need to verify the criteria applied for soil and plants supply with this microelement. They also show that better effects in improving oat grain supply with boron were obtained with soil than with foliar application of this fertilizer. Based on the close correspondence between the results obtained in exact experiments and in large-area trials, direct recommendations as to how to fertilize oat with boron in agricultural practice, can be made.

Key words: boron, boron fertilization, chemical tests, exact experiments, large-area trials, oat, oat yield

WSTĘP

W świetle badań ostatniego dziesięciolecia, weryfikacji uległy poglądy na temat znaczenia boru w metabolizmie ssaków. Ich wyniki dowodzą, że braki boru w diecie człowieka są przyczyną szeregu dolegliwości zdrowotnych (Newnham, 2002; Nielsen, 2002). Tak więc odpowiednie zaopatrzenie w ten składnik najważniejszych ziemiopłodów

(a więc ziarna zbóż) zyskuje obecnie znaczenie zarówno z punktu widzenia nawozowego, jak i żywieniowego (Biała księga..., 2000; Sacała i in., 2004; Wróbel, 2004 a; Wróbel i Hryńczuk, 2004). Zboża, tak jak inne rośliny z rodziny traw wykazują mniejsze od roślin dwuliściennych wymagania pokarmowe względem boru, czego nie należy jednak utożsamiać z brakiem potrzeb nawożenia tym mikroelementem. Spośród najważniejszych dla roślin mikroelementów (B, Cu, Mn, Mo, Zn), niedobory boru w glebie stwierdzone są najczęściej (Gembarzewski, 2000; Simojoki, 1991; Wróbel, 2000 b). Owies uprawiany jest z reguły na glebach lekkich, które odznaczają się niską zawartością form przyswajalnych boru. We wcześniejszych badaniach własnych autora, przeprowadzonych na krajowych polach produkcyjnych owsa ($n = 75$), niedobory boru w glebie występowały aż w 90,7%, a w roślinach w 62,1% badanych pól (Wróbel, 2000 a). Wielokierunkowe możliwości użytkowe owsa (paszowe, żywieniowe, dietetyczne, lecznicze, kosmetyczne) wskazują jednocześnie na konieczność zwrócenia większej uwagi na warunki jego uprawy decydującej o jakości plonów. Informacje te skłoniły autora do zbadania reakcji owsa na nawożenie borem. Badania przeprowadzono w doświadczeniach ścisłych polowych, których wyniki porównywano z działaniem boru w warunkach produkcyjnych (doświadczenia łanowe).

MATERIAŁ I METODY

Ścisłe doświadczenie polowe dwuczynnikowe (split-plot) w czterech powtórzeniach przeprowadzono na glebie lekkiej w Stacji Doświadczalnej IUNG Osiny. Jednoroczne doświadczenie powtarzano w ciągu trzech lat (1999–2001), na glebie lekkiej o niskiej zawartości boru dostępnego wg testu z 1 mol $\text{HCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ ($0,4\text{--}0,8 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1}$). Gleba pola doświadczalnego charakteryzowała się ponadto odczynem kwaśnym ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4,8\text{--}5,3$), wysoką zawartością P, K, Mg i Zn, średnią Cu, Fe i Mn oraz niską Mo (Zalecenia nawozowe, 1985). Badano wpływ różnych dawek i sposobów stosowania boru na rozwój, plonowanie i zawartość tego mikroskładnika w owsie odmiany Borowiak. Schemat doświadczenia ścisłego:

Czynnik I (sposoby stosowania boru, $n = 2$):

A₁ — pogłównie doglebowo, H_3BO_3 w formie stałej (faza krzewienia)

A₂ — dolistnie, roztwór wodny H_3BO_3 (faza strzelania w źdźbło).

Czynnik II (dawki boru, $n = 5$):

B₁ — obiekt kontrolny (bez nawożenia borem)

B₂ — $0,6 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$, ($0,1\%* = 0,085 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$)

B₃ — $1,2 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$, ($0,2\%* = 0,170 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$)

B₄ — $1,8 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$, ($0,3\%* = 0,255 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$)

B₅ — $2,4 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$, ($0,4\%* = 0,340 \text{ kg B} \cdot \text{ha}^{-1}$)

* — stężenia roztworów H_3BO_3 w stosowaniu dolistnym przy zużyciu 500 l roztworu na powierzchnię 1 ha.

Niezależnie od doświadczenia ścisłego, w tych samych latach w ODR Kalsk (woj. Lubuskie) oraz Modliszewice (woj. Świętokrzyskie) przeprowadzono doświadczenia łanowe o uproszczonym schemacie, uwzględniającym dwie niższe dawki B stosowane

doglebowo oraz dolistnie w doświadczeniu ścisłym. Doświadczenia te założono w podobnych warunkach glebowych jak doświadczenia ścisłe (gleby lekkie o niskiej zawartości boru dostępnego ($0,4\text{--}0,9\text{ mg B}\cdot\text{kg}^{-1}$), odczynie kwaśnym i lekko kwaśnym ($\text{pH}_{\text{KCl}}\ 5,4\text{--}6,3$), wysokiej zawartości P i K, średniej Mg, Cu, Mn i Zn) (Zalecenia Nawozowe, 1985). Zamieszczenie w niniejszej pracy i porównanie wyników tych doświadczeń z uzyskanymi w doświadczeniach ścisłych miało na celu stwierdzenie — w jakim stopniu wyniki badań ścisłych zostaną potwierdzone w warunkach produkcji polowej i czy mogą znaleźć tam praktyczne zastosowanie.

Schemat doświadczeń łąkowych:

Obiekty doświadczenia (nawożenie borem):

bez boru — obiekt kontrolny

nawożenie borem doglebowe — $0,6\text{ kg B}\cdot\text{ha}^{-1}$

nawożenie borem doglebowe — $1,2\text{ kg B}\cdot\text{ha}^{-1}$

nawożenie borem dolistne — $0,1\%$ roztwór H_3BO_3 ($0,085\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)*

nawożenie borem dolistne — $0,2\%$ roztwór H_3BO_3 ($0,170\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)*

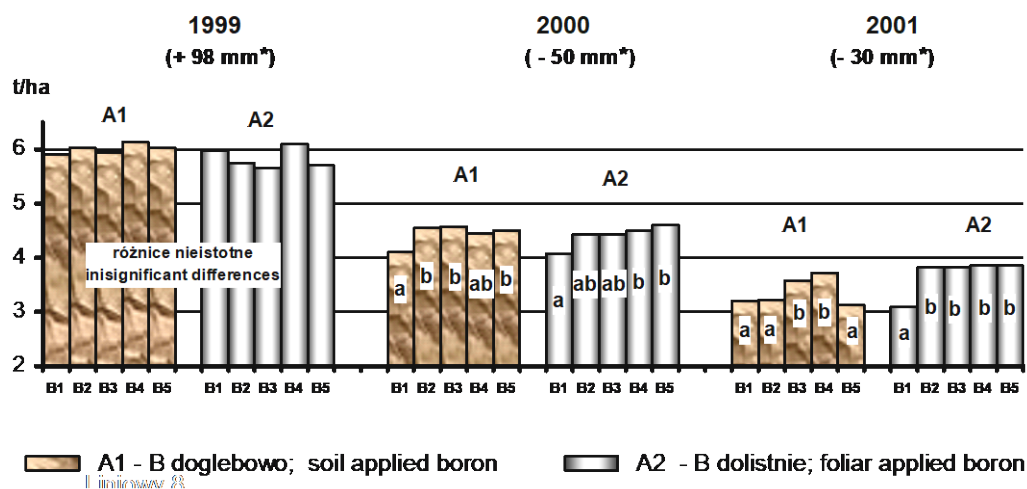
* — przy zużyciu 500 l roztworu na powierzchnię 1 ha.

Doświadczenia łąkowe prowadzono na polach o powierzchni 0,5 ha w dwóch powtórzeniach przez okres 3 lat. W ODR Kalsk uprawiano owies odmiany Jawor, a w ODR Modliszewice owies odmiany Akt.

W obu rodzajach doświadczeń (ścisłych i łąkowych) pobierano jednolity materiał roślinny i glebowy do analiz chemicznych: części nadziemne owsa na początku wysuwania wiech (części wskaźnikowe według Bergmanna, 1986), ziarno i słomę przy zbiorze oraz glebę z warstwy ornej poletek po zbiorze). Określano plony ziarna i słomy. W próbkach roślinnych oznaczono zawartość N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Mn i Zn, a w glebowych — pH_{KCl} oraz przyswajalnych form boru. Analizy roślin i gleby wykonano metodami stosowanymi w stacjach chemiczno-rolniczych (Metody badań... 1980 część I.; Metody badań..., 1980 część II.; Metody oznaczania..., 1986). Wyniki analiz gleb wyceniano na podstawie obowiązujących liczb granicznych (Zalecenia nawozowe, 1985). W opracowaniu wyników badań stosowano metody statystyczne — analizę wariancji, korelacji i regresji wielokrotnej metodą krokową (step-wise), (Filipiak, Wilkos, 1995; Filipiak, Wilkos, 1998). W analizie wariancji różnice międzyobiektywne oceniano stosując test Tukeya ($\alpha = 0,05$).

WYNIKI BADAŃ

Plonotwórcze działanie boru w doświadczeniach ścisłych stwierdzano w latach 2000–2001, w których występował niedobór wody w okresach intensywnego rozwoju roślin tj w miesiącach od kwietnia do czerwca. Uzyskane istotnie statystycznie wyższe plony pod wpływem boru nie wykazywały regularnej zależności od wielkości dawki i sposobu stosowania boru (rys. 1). Reakcja plonu ziarna owsa na nawożenie borem w doświadczeniach łąkowych była podobna (wzrost do około 20%), jednak występowała pod wpływem dawek dwukrotnie niższych. Notowano tutaj również większe różnicowanie międzyobiektywne plonów (rys. 2).

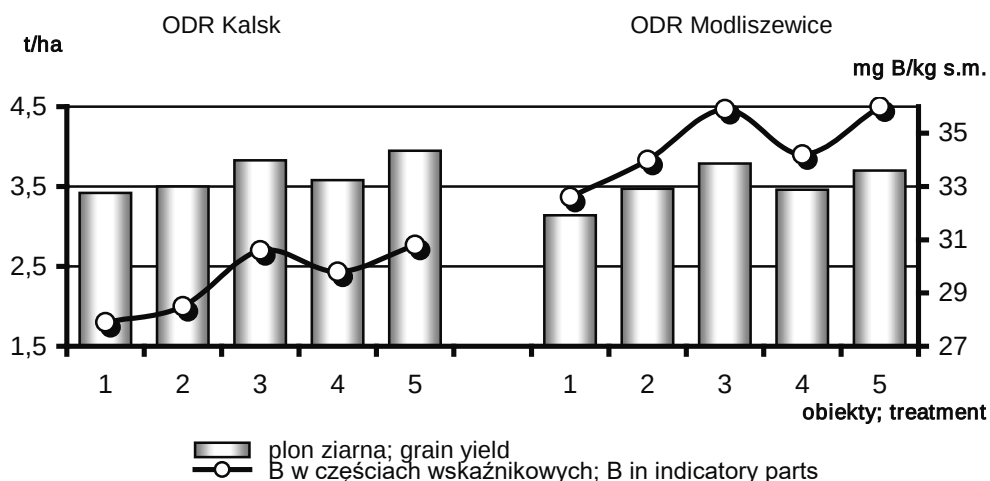


* Odchylenia sumy opadów w miesiącach IV-VI od odpowiedniej średniej wieloletniej; Deviation of rainfall in months IV-VI from the many-year mean

Różnice między plonami oznaczonymi tymi samymi literami w obrębie podbloków, były nieistotne w świetle testu Tukeya przy $\alpha = 0,05$ — Differences among yields within subblocks, marked with the same letters were insignificant acc. to Tukey's test at $\alpha = 0.05$

Rys. 1. Plony ziarna owsa w doświadczeniach ścisłych

Fig. 1. Oat grain yields in exact experiments



Rys. 2. Zawartość boru w częściach wskaźnikowych owsa w doświadczeniach łanowych na tle plonów ziarna (średnio z 3 lat)

Fig. 2. Boron content in oat indicator parts in large-area trials in relation to grain yield (mean for 3 years)

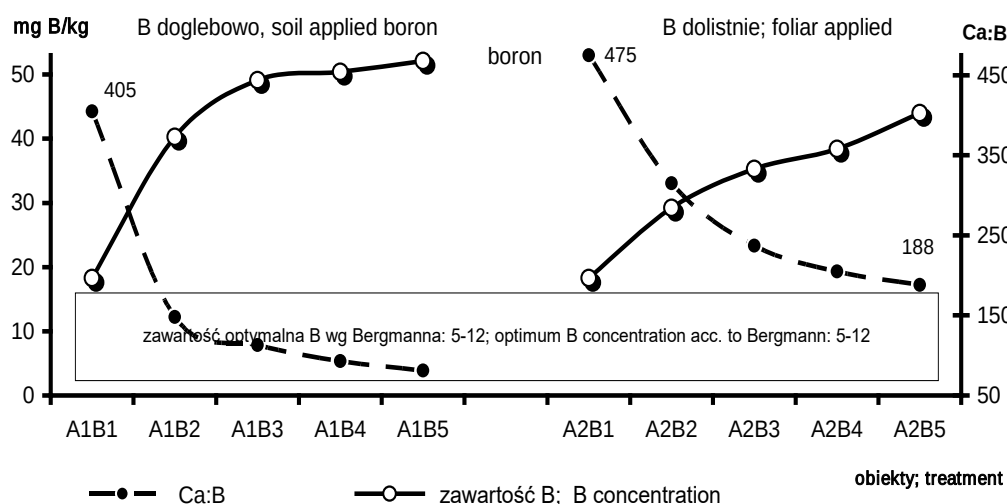
W obu rodzajach doświadczeń przyrost masy plonów ziarna następował w miarę poprawy zaopatrzenia młodych roślin owsa w bor. W doświadczeniach ścisłych zostało to

potwierdzone rachunkiem regresji wielokrotnej wykonanym metodą selekcji krokowej ($n = 120$). Przyjmując plon ziarna owsa za zmienną zależną „y”, a zawartość składników pokarmowych w częściach wskaźnikowych jako zmienne niezależne uzyskano równanie o następującej postaci:

$$y = 0,1804 + 1,1321 K + 0,0107 B + 0,0204 Mn \quad R^2 = 0,8679; \alpha = 0,005$$

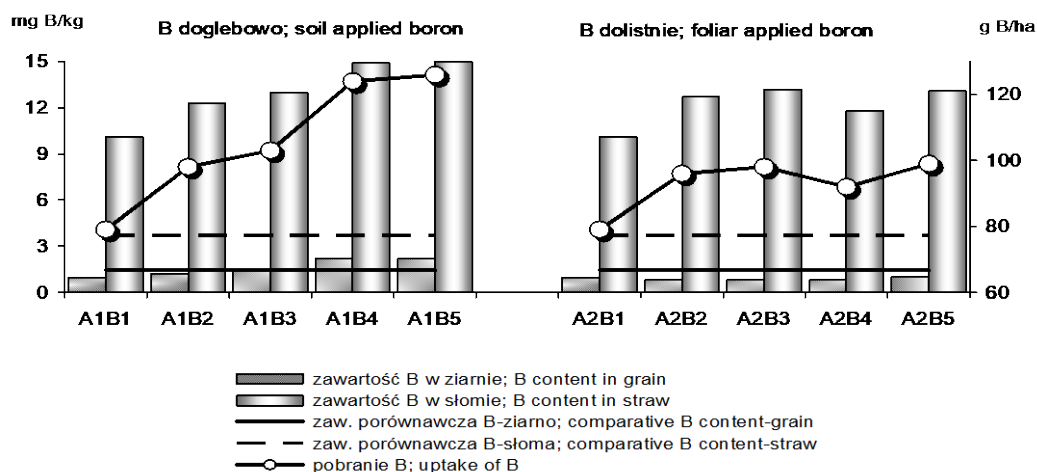
gdzie: y = plon ziarna owsa w tonach z 1 ha, K, B, Mn — zawartości składników w częściach wskaźnikowych owsa, w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. Uzyskane równanie o wysokim współczynniku determinacji opisuje prawie 87% badanej zmienności plonowania. Obecność boru potwierdza jego plonotwórczy wpływ.

W doświadczeniach ścisłych wyjściowy poziom zawartości boru w częściach wskaźnikowych przekraczał górną granicę optimum Bergmanna (1986), tj. $12 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1}$ i pod wpływem nawożenia zwiększał się osiągając wartość około $50 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1}$ suchej masy roślin (rys. 3). W doświadczeniach łanowych, przy wyższym poziomie wyjściowym, zawartość boru w częściach wskaźnikowych zmieniała się w nieco mniejszym zakresie, wraz ze zmianami plonowania ziarna (rys. 2.). Znaczenie dostatecznego zaopatrzenia w bor młodych roślin owsa w krytycznych fazach rozwojowych w uzyskiwaniu ziarna o odpowiednim poziomie zawartości tego składnika oddaje tutaj korelacja $B_{\text{części wskaźnikowe}}/B_{\text{ziarno}}$ $r = 0,684; \alpha = 0,001$. Ze względu na występujący antagonizm wapnia w stosunku do boru, stosunek ilościowy tych dwóch pierwiastków w młodych częściach roślin jest lepszym wskaźnikiem zaopatrzenia w bor niż jego bezwzględna zawartość.



Rys. 3. Stosunek ilościowy Ca:B oraz zawartość boru w częściach wskaźnikowych owsa z doświadczeń ścisłych (średnio z 3 lat)

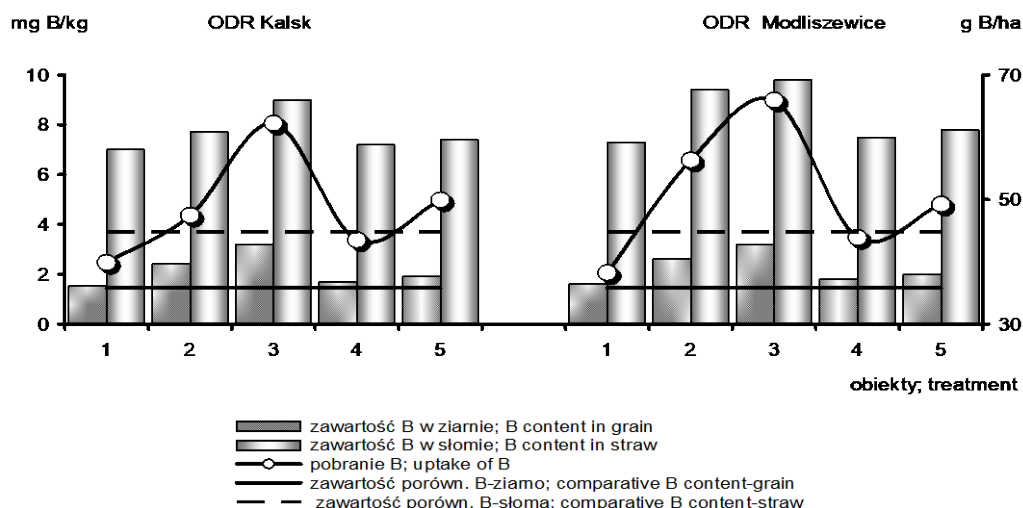
Fig. 3. Ca:B quantitative ratio and B concentration in oat indicator parts in exact experiments (mean for 3 three-years)



Zawartości porównawcze boru — przeciętne zawartości B w ziarnie ($1,44 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) i w słomie owsa ($3,70 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) wg Fotymy i Mercika (1995) — Comparative B content — average B concentration in grain ($1,44 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DM}$) and in oat straw ($3,70 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DM}$) acc. to Fotyma and Mercik (1995)

Rys. 4. Pobranie boru z plonami owsa w doświadczeniach ścisłych na tle zawartości tego składnika w ziarnie i słomie (wyniki średnie z 3 lat)

Fig. 4. Boron uptake by oat yields in exact experiments in relation to boron concentration in grain and straw (mean for 3 years)



Zawartości porównawcze boru — przeciętne zawartości B w ziarnie ($1,44 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) i w słomie owsa ($3,70 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$) wg Fotymy i Mercika (1995) — Comparative B content — average B concentration in grain ($1,44 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DM}$) and in oat straw ($3,70 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DM}$) acc. to Fotyma and Mercik (1995).

Rys. 5. Pobranie boru z plonami owsa w doświadczeniach łanowych na tle zawartości tego składnika w ziarnie i słomie (wyniki średnie z 3 lat)

Fig. 5. Boron uptake by oat yields in large-area trials in relation to boron concentration in grain and straw (mean for 3 years)

W badaniach, stosunek Ca:B w roślinach owsa z doświadczeń ścisłych wykazał spadek wartości w miarę zwiększania dawek boru (bardziej wyraźny, gdy bor stosowano doglebowo), wskazujący na poprawę zaopatrzenia roślin owsa w bor (rys. 3.). Nawożenie borem zwiększało zawartość tego mikroelementu również w plonach końcowych, co uwidoczniło się bardziej wyraźnie w słomie owsa. Skuteczniejszym sposobem w oddziaływaniu na zawartość boru w ziarnie okazało się stosowanie doglebowe. Nie uzyskano zadawalającej poprawy zaopatrzenia ziarna w bor pod wpływem aplikacji dolistnej. Zależności te wpływały na wielkość pobrania badanego mikroskładnika z plonem owsa, które w obu rodzajach doświadczeń było wyraźnie wyższe w obiektach, gdzie bor stosowano doglebowo (rys. 4 i 5). Przewagę doglebowych metod nawożenia borem, potwierdza korelacja $B_{\text{gleba}}/B_{\text{ziarno owsa}}$ $r = 0,81$; $\alpha = 0,01$.

DYSKUSJA

Brak reakcji owsa na nawożenie borem w pierwszym roku doświadczeń ścisłych wiąże się z dobrą rozpuszczalnością i sposobem pobierania tego składnika przez rośliny z prądem transpiracyjnym wody. W pierwszym roku badań obfite zaopatrzenie w wodę w okresie wiosennym IV–VI, (suma opadów wyższa o 98 mm od średniej wieloletniej) zapewniało odpowiednią dostępność boru dla roślin z naturalnych zasobów glebowych, a więc nawożenie nie miało już wpływu już na poziom plonów. Okresowe susze wiosenne w dwu kolejnych latach (suma opadów w okresie IV–VI, niższa o 50 mm i 30 mm od normy wieloletniej, odpowiednio), ograniczały rozpuszczalność i dostępność boru a zastosowane wtedy nawożenie istotnie wpływało na poziom plonowania owsa (rys. 1). W doświadczeniach łąkowych, prowadzonych w innych warunkach glebowo-klimatycznych i na większych arealach działanie boru było w mniejszym stopniu uzależnione od przebiegu pogody. Średnie dekadowe temperatury i sumy opadów w tych punktach doświadczalnych wykazywały poza tym mniejsze odchylenia od norm wieloletnich, co warunkowało podobne działanie boru w trzech latach badań. Tym należy tłumaczyć również relatywnie lepszą skuteczność plonotwórczą niskich dawek boru w tych doświadczeniach.

Zarówno doświadczenia ścisłe jak i łąkowe zakładano na glebach lekkich o niskiej zawartości B przyswajalnego. Mimo to rośliny owsa z obiektów kontrolnych (bez nawożenia borem) odznaczały się wysoką wg kryterium Bergmanna (1986) zawartością tego mikroskładnika (rys. 2 i 3). Budzić to może określone wątpliwości co do przydatności diagnostycznej stosowanego testu glebowego z 1 mol HCl·dm⁻³ (Wróbel, 2004 b).

Wzrost zawartości boru w częściach wegetatywnych owsa z obu rodzajów doświadczeń pod wpływem nawożenia, mimo stwierdzonej na podstawie kryterium Bergmanna (1986) jego wysokiej wyjściowej zawartości wskazuje, że również to kryterium nie spełnia swojego zadania w odniesieniu do użytych w doświadczeniach odmian. Liczby graniczne określające optymalną zawartość boru w roślinach owsa, opracowane dla odmian starszych generacji, obecnie wymagają z pewnością weryfikacji. Świadczy o tym zarówno wyraźny wzrost zawartości boru w roślinach jak i istotne przyrosty plonów pod wpływem nawożenia tym mikroskładnikiem, przy braku objawów jego szkodliwości, jaką notowano

niekiedy w uprawie starszych odmian zbóż (Furlani i in., 2003; Stangoulis i Reid, 2002; Szukalski, 1989). Wyniki te dowodzą wyższych od podawanych w literaturze potrzeb pokarmowych nowych odmian owsa w stosunku do boru, a zatem i potrzebę korekty podawanej przez Bergmanna (1986) kalibracji zawartości B w częściach wskaźnikowych.

Wysoka zawartość boru w roślinach w czasie wegetacji znalazła swoje odzwierciedlenie w dobrym zaopatrzeniu w ten składnik słomy, w której poziom zawartości B znacznie przewyższał przeciętną określoną przez Fotymę i Mercika (1995) na $3,70 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$ Ziarno cechujące się z reguły dużą stabilnością składu chemicznego, wykazywało stosunkowo niską zawartość boru i tylko pod wpływem nawożenia doglebowego osiągnęło poziom zbliżony do porównawczego ($1,44 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ s.m.}$), (rys. 4.).

W tym miejscu podkreślić należy jednak, że użyte dane porównawcze zaczerpnięte z literatury, podobnie jak zakresy optymalnych zawartości boru w częściach wskaźnikowych, opracowane zostały na bazie wyników analizy chemicznej plonów starszych odmian owsa, które cechowała naturalnie niższa zawartość składników mineralnych (Fotyma i Mercik, 1992). Bor nie podlega reutilizacji w roślinie, toteż jednokrotne dostarczenie dolistne stosunkowo niewielkich ilości deficytowego mikroskładnika w fazie strzelania w źdźbło, nie mogło w pełni zabezpieczyć potrzeb roślin w późniejszych terminach okresu wegetacji, w tym w okresie formowania ziarna. Zależność ta, świadcząca o przewadze doglebowych metod nawożenia borem, została potwierdzona korelacją $B_{\text{gleba}}/B_{\text{ziarno}}$ o wysokim współczynniku $r = 0,81$; $\alpha = 0,001$. Przyjmując, że ziarno owsa stanowi ważny element diety ludzi i składnik paszowy dla zwierząt, uzyskane wyniki uważać można za wskaźnik potrzeb nawożenia borem. Ranga tego zagadnienia wiąże się z wynikami badań światowych nad znaczeniem boru w metabolizmie ssaków. Dowodzą one powstawania zaburzeń w przemianach wapnia i fluoru w warunkach niedostatku tego mikroelementu, prowadzących do schorzeń artretycznych, osteoporozy, a także nieprawidłowości pracy mózgu (Newnham, 2002; Nielsen, 2002).

W ocenie odniesienia praktycznego badań, stwierdzić należy zgodność wyników, tj. kierunków zmian plonowania i zaopatrzenia owsa w bor spowodowanych jego stosowaniem, w obu rodzajach doświadczeń (ścisłych i łanowych), a zatem możliwość bezpośredniego zastosowania wyników w praktyce rolniczej.

WNIOSKI

1. Stwierdzono plonotwórczy wpływ nawożenia owsa borem. Wpływ ten wiązał się z występowaniem okresów niedoboru wody w sezonie wiosennym.
2. Wykazano przewagę doglebowego sposobu nawożenia borem pod względem poprawy zaopatrzenia w ten składnik ziarna owsa.
3. Uzyskane wyniki wskazują na potrzebę dostosowania dotychczasowych kryteriów zawartości boru w glebie i w roślinach owsa do wymagań odmian nowych generacji.
4. Zgodność wyników badań przeprowadzonych w doświadczeniach ścisłych z uzyskanymi w warunkach produkcyjnych pozwala na opracowanie zaleceń nawożenia owsa borem dla praktyki rolniczej.

LITERATURA

- Bergmann W. 1986. Farbatlas Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen Visuelle und analytische Diagnose. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena: 1 — 112.
- Biała księga bezpieczeństwa żywności (White paper on food safety). 2000. W: „Żywność Żywnienie Prawo a Zdrowie”. Rok IX. Nr 1. Wyd. IŻiŻ, Warszawa: 5 — 74.
- Filipiak K., Wilkos S. 1995. Obliczenia statystyczne. Opis systemu AWAR. IUNG Puławy, R (324): 1 — 52.
- Filipiak K., Wilkos S. 1998. Wybrane metody analizy wielozmiennej i ich zastosowanie w badaniach przestrzennych. IUNG Puławy R (349): 1 — 58.
- Fotyma M., Mercik S. 1995. Chemia rolna. Wydawnictwo Naukowe PWN: 1 — 356.
- Furlani A., Carvalho C., Freitag J., Verdial M. 2003. Wheat cultivar tolerance to boron deficiency and toxicity in nutrient solution. *Scientia Agricola* 60: 359 — 370.
- Gembarzewski H. 2000. Stan i tendencje zmian zawartości mikroelementów w glebach i roślinach z pól produkcyjnych w Polsce. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.* 471 (1): 171 — 177.
- Metody badań laboratoryjnych w stacjach chemiczno-rolniczych. 1980. Cz. I. Badanie gleb. IUNG Puławy: 1 — 76.
- Metody badań laboratoryjnych w stacjach chemiczno-rolniczych. 1980. Cz. II. Badanie materiału roślinnego., IUNG Puławy: 1 — 126.
- Metody oznaczania ruchomych form mikroelementów w glebie do rutynowych oznaczeń w stacjach chemiczno-rolniczych (wspólna ekstrakcja 1 M HCl). 1986. IUNG Wrocław. (niepublikowane): 1 — 11.
- Newnham R. E. 2002. How boron is being used in medical practice. In: *Boron in plant and animal nutrition*. Goldbach H. E. (ed.), Kluwer Acad. Pub. New York: 59 — 62.
- Nielsen F. H. 2002. The Nutritional importance of boron throughout the life cycle of higher animals and human. In: *Boron in plant and animal nutrition*. Goldbach H. (ed.). Kluwer Academic Publishers, New York: 37 — 50.
- Sacała E., Demczuk A., Grzyś E., Parylak D. 2004. Wpływ boru na aktywność reduktazy azotanowej oraz wzrost siewek pszenżyta. *Zesz. Probl. Post. Nauk. Rol.* 502 (1): 333 — 339.
- Simojoki P. 1991. Boron deficiency in barley. *Ann. Agric. Fenn.* 30: 389 — 405.
- Stangoulis J., Reid R. 2002. Boron toxicity in plants and animals. In: *Boron in plant and animal nutrition*. Goldbach H. (ed.), Kluwer Academic Publishers, New York: 227 — 240.
- Szukalski H. 1989. Mikroelementy w produkcji roślinnej. PWRiL, Warszawa: 1 — 320.
- Wróbel S. 2000 a. Poziom plonowania krajowych upraw produkcyjnych owsa a zawartość mikroelementów w glebie i roślinach. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 471: 609 — 617.
- Wróbel S. 2000 b. Wpływ wieloletniego produkcyjnego użytkowania pól uprawnych na zaopatrzenie gleb i pszenicy jarej w mikroelementy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* nr 471: 619 — 626.
- Wróbel S. 2004 a. Reakcja pszenżyta ozimego na nawożenie borem w zależności od sposobu stosowania i dawki. *Pamiętnik Puławski* 138: 153 — 165.
- Wróbel S. 2004 b. Przydatność testu chemicznego w diagnozowaniu potrzeb nawożenia zbóż jarych borem. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* Nr 502: 443 — 450.
- Wróbel S., Hryńczuk B. 2004. Wpływ nawożenia borem na plonowanie i skład chemiczny pszenicy jarej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* Nr 502: 451 — 457.
- Zalecenia Nawozowe. 1985. Praca zbiorowa. Część I. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. Wyd. IUNG Puławy, Seria P (26): 1 — 34.