

Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli we Wrocławiu  
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa Państwowy Instytut Badawczy w Puławach  
50–540 Wrocław, ul. Orzechowa 61, e-mail: s.wrobel@iung.wroclaw.pl

STANISŁAW WRÓBEL

**Działanie nawożenia dolistnego borem  
w zależności od uwilgotnienia i odczynu gleby lekkiej  
w okresie wegetacyjnym**

---

Effects of foliar fertilization with boron depending on soil moisture and reaction  
during vegetation period

**Streszczenie.** W trzyletnich doświadczeniach wegetacyjnych dwuczynnikowych badano działanie boru stosowanego dolistnie na rozwój i plonowanie pszenicy jarej uprawianej na glebie lekkiej o niskiej zawartości boru przyswajalnego. Czynniki I rzędu stanowiły zmiany warunków dostępności boru z gleby (symulacyjny okres suszy oraz wapnowanie). Czynnikiem II rzędu były dawki boru w nawożeniu dolistnym. Wykazano skuteczność dolistnej aplikacji boru w łagodzeniu nie-sprzyjających warunków rozwoju pszenicy i pobierania składników (stres suszy i zmiany odczynu). Zastosowane nawożenie dolistne borem w postaci roztworu  $H_3BO_3$  łagodziło skutki ograniczonej dostępności boru, zwiększając istotnie masę plonów ziarna i słomy pszenicy jarej oraz wzbogacając je w ten mikroelement.

**Słowa kluczowe:** niedobory boru, pszenica jara, okresowa susza, wapnowanie gleby, dolistne nawożenie borem, plony

WSTĘP

W ciągu ostatnich lat weryfikacji poddano pogląd o niecelowości nawożenia borem zbóż. Wykazywane są zarówno negatywne skutki niedostatków, jak i pozytywna reakcja zbóż na nawożenie borem w doświadczeniach [Huang i in. 2000, Huang 2001, Wróbel 2003, Wróbel 2004]. Spośród najważniejszych mikroelementów, niedobory boru w glebach stwierdzane są najczęściej, co ma swoje odzwierciedlenie także w postaci deficytu tego składnika w uprawach zbóż [Gembarzewski 2000, Simojoki 1991, Wróbel 2000]. W wyniku odkryć w dziedzinie fizjologii obalony został również pogląd o braku funkcji fizjologicznych boru w organizmach ssaków [Hunt 2002, Nielsen 2002]. W konsekwencji, coraz więcej uwagi poświęca się odpowiedniemu zaopatrzeniu w ten składnik ziarna

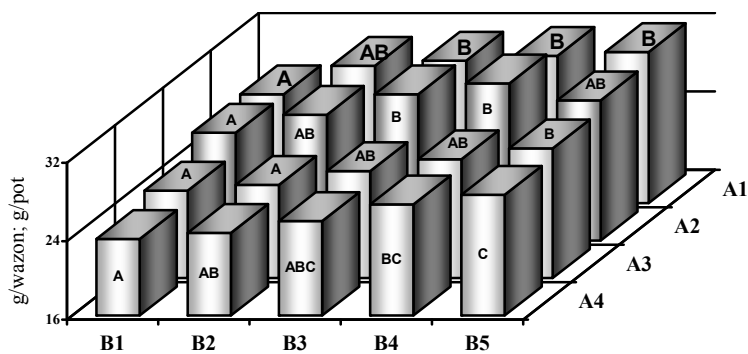
zbóż, o podstawowym znaczeniu żywieniowym i paszowym w rolnictwie europejskim [Huang i in. 2000, Huang i in. 2001, Sacała i in. 2004]. Celem badań była naukowa ocena efektów nawożenia dolistnego borem pszenicy jarej uprawianej w warunkach deficytu tego składnika w glebie (według testu grupowego z 1 mol HCl·dm<sup>-3</sup>), poddanej symulacyjnemu stresom suszy i zmiany odczynu poprzez wapnowanie.

#### MATERIAŁ I METODY

W latach 1999–2001 przeprowadzono doświadczenia wegetacyjne dwuczynnikowe w hali wegetacyjnej Stacji Doświadczalnej IUNG w Jelczu-Laskowicach. Jednostką doświadczalną były wazony Wagnera mieszczące 6 kg gleby. Do doświadczeń użyto gleby płowej wykazującej skład granulometryczny piasku gliniastego lekkiego pylastego o średniej zawartości 14% frakcji iłowych, tj. o  $\phi < 0,02$  mm oraz 29% frakcji pyłowych o  $\phi 0,1–0,02$  mm, lekko kwaśnej ( $\text{pH}_{\text{KCl}} 5,9$ ), zasobnej w P i K, o niskiej zawartości B przyswajalnego ( $0,75 \text{ mg B} \cdot \text{kg}^{-1}$  suchej masy gleby, wg testu z 1 mol HCl·dm<sup>-3</sup>), średniej Mg, Cu, Mn i Mo oraz wysokiej Zn [Zalecenia nawozowe 1990]. Doświadczenie prowadzono w 5 powtórzeniach, według następującego schematu: Czynniki I rzędu (A = 4) – warunki dostępności boru: A1 = gleba naturalna ( $\text{pH} = 5,7$ ), w całym okresie wegetacji wilgotność gleby w wazonach utrzymywano na poziomie 60% maksymalnej nasiąkliwości wodnej (MNW); A2 – gleba jw. zwapnowana węglanem wapnia według pojedynczej kwasowości hydrolitycznej (1Hh), wilgotność na poziomie 60% MNW; A3 – gleba naturalna, jej wilgotność zmniejszono do 40% MNW przez okres 14 dni począwszy od stadium 61 według skali Zadoksa (początek kwitnienia) [Rozdój 1996]; A4 – gleba zwapnowana (wg 1 Hh) + zmniejszona wilgotność gleby do 40% MNW przez okres 14 dni. Czynniki II rzędu (B = 5) – dawki boru w nawożeniu dolistnym wykonanym w stadium strzelania w źdźbło (ilości 0,3% roztworu H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>/wazon): B1 – bez boru, B2 = 3 ml, B3 = 5 ml, B4 = 7 ml, B5 = 9 ml. Nawożenie podstawowe wynosiło (w g/wazon): 1,2 N; 0,6 P; 1,2 K; 0,06 g Mg + mikroelementy (z wyłączeniem boru) w ilościach powszechnie stosowanych w doświadczeniach wazonowych. Pszenicę zbierano w stadium dojrzałości pełnej. Określono plony ziarna i słomy. Analizy chemiczne próbek gleby z warstwy ornej oraz roślin (ziarno i słoma), pobranych po zakończeniu doświadczenia, wykonano metodami stosowanymi w stacjach chemiczno-rolniczych [Metody badań... 1980a, 1980b, Metody oznaczania... 1986]. Wyniki badań opracowano statystycznie.

#### WYNIKI

Zwapnowanie gleby naturalnej wykazującej odczyn lekko kwaśny ( $\text{pH}_{\text{KCl}} 5,7$ ) dawką CaCO<sub>3</sub> wyliczoną według 1 Hh, spowodowało zmianę odczynu w podblokach A2 i A4 do  $\text{pH}_{\text{KCl}} 6,3–6,6$ . W podbloku A2 nie spowodowało to statystycznie istotnych zmian plonowania ziarna i słomy pszenicy w porównaniu z uprawą na glebie naturalnej (A1). Stwierdzano natomiast istotne niżki plonowania ziarna i słomy pszenicy jarej spowodowane niedoborami wody w okresie kwitnienia (podblok A3), w tym zwłaszcza na glebie zwapnowanej (podblok A4). Dolistna aplikacja boru zwiększała istotnie plony ziarna i słomy, zarówno w podblokach z optymalnym uwilgotnieniem, jak i poddanym stresom niedoboru wody i zmiany odczynu (rys. 1 i 2).



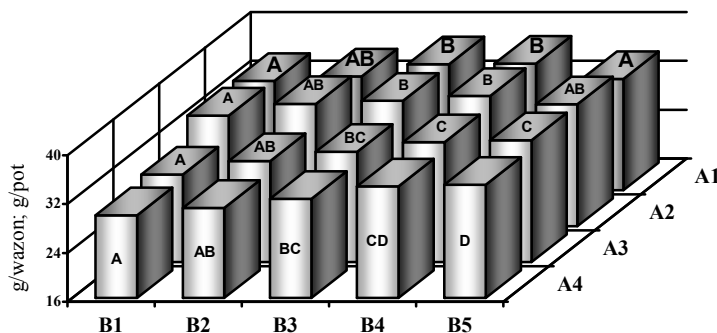
NIR,  $LSD_{\alpha=0,05}$  II/I = 3,39; I/II = 3, 27

Plony oznaczone tymi samymi literami w obrębie podbloków były statystycznie równorzędne wg testu Tukeya,  $\alpha = 0,05$

Yields marked with the same letters within sub-blocks were statistically equal according to Tukey's test,  $\alpha = 0.05$ .

Rys. 1. Plony ziarna pszenicy jarej nawożonej borem (średnio z 3 lat)

Fig. 1. Yields of spring wheat grain under boron treatment (three-year means)



NIR,  $LSD_{\alpha=0,05}$  II/I = 2,28; I/II = 3,46

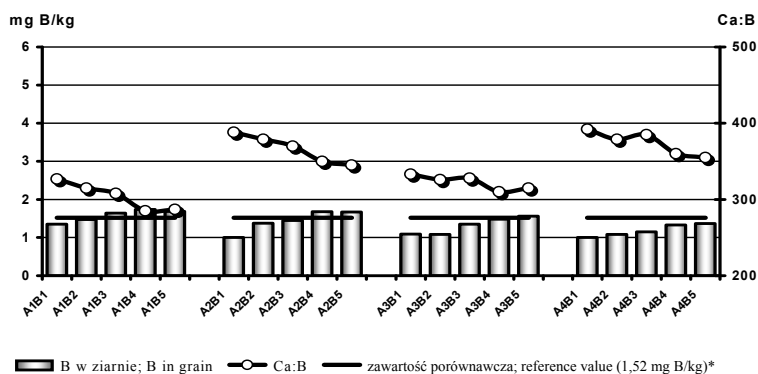
Plony oznaczone tymi samymi literami w obrębie podbloków były statystycznie równorzędne wg testu Tukeya,  $\alpha = 0,05$ ;

Yields marked with same the letters within sub-blocks were statistically equal according to Tukey's test,  $\alpha = 0.05$ .

Rys. 2. Plony słomy pszenicy jarej nawożonej borem (średnio z 3 lat)

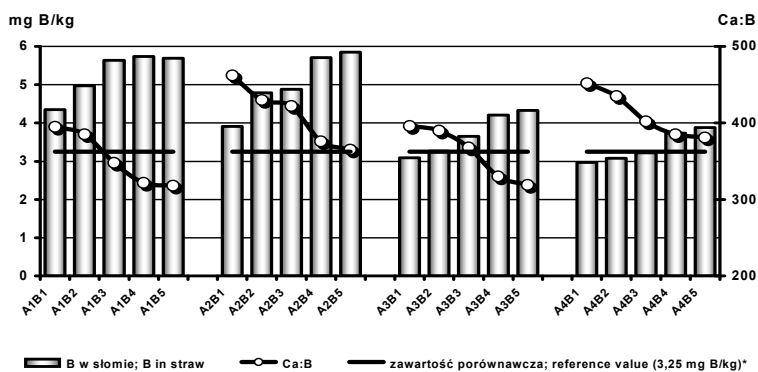
Fig. 2. Yields of spring wheat straw under boron fertilization (three-year means)

Tendencje zniżkowe w plonowaniu pszenicy jarej obserwowane w obiektach z najwyższymi dawkami boru (B5 = 9 ml 0,3%  $H_3BO_3$ ), wiążą się z pewnym nadmiarem tego składnika, uwidaczniającym się w trakcie wegetacji roślin w postaci uszkodzeń powierzchni asymilacyjnej (bielenie końców liści). Te nieznaczne spadki plonów były jednak statystycznie nieistotne (rys. 2 i 3).



\* – za Fotymą i Mercikiem [1995] – after Fotyma and Mercik [1995]

Rys. 3. Zawartość boru oraz stosunek ilościowy Ca:B w ziarnie pszenicy jarej  
Fig. 3. Content of boron and Ca:B quantitative ratio in spring wheat grain



\* – za Fotymą i Mercikiem [1995]; after Fotyma and Mercik [1995]

Rys. 4. Zawartość B oraz stosunek ilościowy Ca:B w słomie pszenicy jarej  
Fig. 4. Content of boron and Ca:B quantitative ratio in spring wheat straw

Ziarno pszenicy jarej uprawianej na glebie o niskiej zawartości boru przyswajalnego, niezależnie od zaopatrzenia roślin w wodę oraz odczynu gleby, cechowało się niską zawartością tego mikroelementu w stosunku do danych porównawczych. Nawożenie dolistne borem zwiększało jego zawartość, przy czym uzyskana poprawa zawartości zależała od warunków zaopatrzenia w wodę i zmian odczynu gleby. Najbardziej korzystne zmiany zawartości dotyczyły w tym przypadku podbloku kontrolnego (A1) oraz podbloku z wapnowaniem (A2), w których pod wpływem wyższych dawek B uzyskano wzrost jego zawartości do poziomu przekraczającego dane odniesieniowe. Najmniej korzystna pod tym względem sytuacja dotyczyła podbloku A4 (stres suszy w warunkach zmiany odczynu), w którym nie osiągnięto poziomu porównawczego zaopatrzenia ziarna pszenicy w bor (rys. 3). Wyjściowa zawartość boru w słomie pszenicy była natomiast wysoka, przewyższająca dane porównawcze. Jednak słoma roślin uprawianych w warunkach suszy wykazywała wyraźnie gorsze zaopatrzenie w ten mikroelement, a zadowalającą poprawę uzyskiwano jedynie w obiektach z najwyższymi dawkami boru (rys. 4).

Opisaną sytuację potwierdzają wyliczone wartości stosunku ilościowego Ca:B w ziarnie i słomie pszenicy jarej, który pełniej charakteryzuje stan odżywienia roślin borem niż uzyskana w wyniku analizy chemicznej zawartość boru w suchej masie roślin. Nawet przy względnie dobrym zaopatrzeniu roślin w bor zbyt duża zawartość wapnia w tkankach może stwarzać warunki niedostatku boru [Kopeć i Michalec 2007]. Wynika to z antagonizmu tych dwóch pierwiastków. Zauważenie się stosunku ilościowego Ca:B wskazuje na poprawę zaopatrzenia roślin w bor. Porównanie graficzne Ca:B na poszczególnych obiektach doświadczenia dobrze obrazuje skuteczność dolistnego stosowania boru w poprawianiu zaopatrzenia roślin w ten ważny mikroskładnik. Zmiany Ca:B w obiektach doświadczenia zależały tutaj głównie od zmian zawartości boru w tkankach roślin, toteż występują bardziej wyraźnie w słomie pszenicy, jako części wegetatywnej roślin o wyższej zawartości boru niż ziarno (rys. 3 i 4). Zarówno w ziarnie, jak i w słomie pszenicy stosunek ilościowy Ca:B ulegał rozszerzeniu w podblokach wapnowanych (A2 i A4), co wiąże się ze wzrostem zaopatrzenia w wapń. W tych warunkach zwiększało się również zapotrzebowanie roślin na bor. Pod wpływem dolistnej aplikacji boru stosunek Ca:B zmieniał się w zależności odwrotnie proporcjonalnej do wielkości zastosowanej dawki boru (rys. 3 i 4).

#### DYSKUSJA

Plonowanie ziarna i słomy pszenicy jarej w doświadczeniu zależało istotnie od współdziałania badanych czynników doświadczenia (warunki dostępności B  $\times$  dolistne nawożenie B). Niedostatki wody w okresie kwitnienia (począwszy od stadium 61 według skali Zadoksa) stwarzać mogą znaczne zagrożenie strat plonu pszenicy jarej [Weber i Hryńczuk 1999, Huang i in. 2000, Zagdańska i Pacanowska 1979]. Jedną z przyczyn negatywnych skutków suszy może być deficyt boru w roślinie wynikający ze znacznego ograniczenia możliwości pobierania tego składnika z gleby (rośliny pobierają bor z prądem transpiracyjnym wody), jak również z braku reutilizacji boru w roślinie. Kolejną przyczyną ograniczenia dostępności boru był wzrost wartości pH gleby. Przy  $\text{pH}_{\text{KCl}} > 6,0$  bor występuje w roztworze glebowym w postaci anionów boranowych  $\text{B}(\text{OH})_4^-$ , które łatwo ulegają sorpcji przez minerały ilaste, wodorotlenki glinu i substancję organiczną.

Fizjologiczne funkcje boru w roślinie, wiążące się z oddziaływaniem na rozwój organów generatywnych, decydują o prawidłowym rozwoju i dojrzeniu ziarna zbóż [Yau 2000], toteż dodatkowe jego dostarczenie w postaci nawożenia dolistnego w okresach krytycznych można w tym przypadku rozpatrywać jako czynnik łagodzący skutki niesprzyjających warunków dostępności boru. Dolistne stosowanie boru w doświadczeniu powodowało statystycznie istotną poprawę plonowania pszenicy jarej (rys. 1 i 2). Zależność tę potwierdzają korelacje o względnie wysokich współczynnikach: B w ziarnie/plon ziarna ( $r = 0,562$ ;  $\alpha = 0,01$ ), B w słomie/plon słomy ( $r = 0,622$ ;  $\alpha = 0,01$ ). W obiektach z najwyższą z zastosowanych dawek (B5 = 9 ml 0,3%  $\text{H}_3\text{BO}_3 \cdot \text{wazon}^{-1}$ ) po oprysku dolistnym stwierdzano niewielkie uszkodzenia powierzchni asymilacyjnej pszenicy (bielenie końców liści). Odnotowane tendencje spadkowe plonów ziarna i słomy w tych obiektach (statystycznie nieistotne – rys. 1 i 2), mogły być więc w tym przypadku wynikiem okresowych nadmiarów boru.

Deficyt boru przyswajalnego w glebie użytej do doświadczeń, pogłębiany stresem suszy oraz zmianami odczynu gleby w kierunku alkalicznym, wskazywał na możliwość

niedokarmienia roślin pszenicy tym składnikiem. Jak można było oczekiwać, zawartość boru w ziarnie z obiektów kontrolnych (B1 – bez nawożenia borem) była zbyt niska w stosunku do danych referencyjnych z literatury [Fotyma i Mercik 1995]. Najwyższe z zastosowanych w dolistnej aplikacji dawek boru zwiększały zawartość tego pierwiastka w ziarnie do poziomu zbliżonego do normy, spełniając w tym przypadku podwójną funkcję: podnosząc poziom plonowania ziarna i poprawiając jego wartość żywieniową (rys. 3). W podbloku A4 (okresowa susza + wapnowanie gleby) poziom ten nie został jednak osiągnięty. Niedostateczna zawartość boru w ziarnie pszenicy budzić może niepokój z punktu widzenia kryteriów jakości konsumpcyjnej [Biała księga... 2000]. W świetle badań zachodnich z ostatnich lat niedobory tego składnika w żywności i paszy mogą być przyczyną dolegliwości zdrowotnych ludzi i zwierząt [Hunt 2002, Nielsen 2002].

Wyjściowa zawartość boru w słomie zebranej z podbloków doświadczenia A1 i A2 (z optymalnym uwilgotnieniem gleby), mimo niskiej zawartości boru w glebie, nawet bez nawożenia tym składnikiem wykazywała poziom wyższy od danych porównawczych i nadal zwiększała się pod wpływem nawożenia. W słomie z podbloków z niedoborami wody (A3 i A4) stwierdzano deficytowe zawartości wyjściowe tego mikroelementu i tylko najwyższe z zastosowanych dawek pozwalały na niewielkie przekroczenie poziomu porównawczego (rys. 4). Wyliczone wartości stosunku ilościowego Ca:B w ziarnie i w słomie dobrze oddają opisaną sytuację, wskazując na wzrost zapotrzebowania roślin na bor w warunkach wzrostu udziału wapnia w tkankach pszenicy (ogólnie szersze wartości Ca:B w podblokach A2 i A4). Zawężanie się stosunku Ca:B wraz ze zwiększaniem dawek boru potwierdza skuteczność aplikacji dolistnej mikroelementu.

#### WNIOSKI

1. Warunki niedostatku wody w okresie krytycznym oraz zmiana odczynu gleby nasilały deficyt boru przyswajalnego w glebie wpływający negatywnie na poziom plonów oraz zawartość boru w ziarnie i słomie pszenicy jarej.

2. Nawożenie dolistne borem istotnie zwiększało plony ziarna i słomy pszenicy jarej w doświadczeniu.

3. Najwyższe z zastosowanych w dolistnej aplikacji dawki boru (7 i 9 ml 0,3%  $H_3BO_3 \cdot wazon^{-1}$ ) zwiększały zawartość tego składnika w ziarnie pszenicy do poziomu zbliżonego do porównawczego.

4. Korzystne działanie nawożenia dolistnego borem w poprawie plonowania i zaopatrzenia pszenicy jarej w ten mikroelement pozwala na wnioskowanie o praktycznym znaczeniu tego zabiegu jako czynnika łagodzącego skutki okresowej suszy i mniej korzystnych warunków pobierania boru z gleby zwapnowanej w uprawie zbóż.

#### PIŚMIENNICTWO

- Biała księga bezpieczeństwa żywności, 2000. [w:] Żywność, Żywienie, Prawo a Zdrowie. IŻiŻ. Warszawa, 9(1). 5–74.
- Fotyma M., Mercik S. 1995. Chemia rolna. Wyd. Nauk. PWN, 1–356.
- 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.

- Huang L.B., Bell R.W., Dell B., 2001. Boron supply into wheat ears whilst still enclosed within leaf sheaths. *J. Exp. Bot.* 52, 1731–1738.
- Huang L.B., Pant J., Dell B., Bell R.W. 2000. Effects of boron deficiency on anther development and floret fertility in wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Wilgojne). *Ann. Bot.* 85, 493–500.
- Hunt C.D., 2002. Boron-Binding-Biomolecules: A key to understanding the beneficial physiologic effects of dietary boron from prokaryotes to humans. [w:] Goldbach H.E. et al. (eds.) Boron in plant and animal nutrition. Kluwer Acad. Pub., New York, 21–36.
- Kopeć M., Michalec M., 2007. Study of correlation between contents of calcium and boron in the sward of long-term fertilizing experiments. *Ecolog. Chem. Ing./Chem. Inż. Ekol.* 14, 3–4, 335–342.
- Metody badań laboratoryjnych w Stacjach Chemiczno-Rolniczych. 1980a. Cz. I. Badanie gleb. IUNG Puławy, 1–76.
- Metody badań laboratoryjnych w Stacjach Chemiczno-Rolniczych. 1980b. 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, 1–11.
- Nielsen F.H., 2002. The nutritional importance of boron throughout the life cycle of higher animals and humans. [w:] Goldbach H.E. et al. (eds.), Boron in plant and animal nutrition. Kluwer Acad. Pub. New York, 37–50.
- Rozdój J., 1996. Wzrost i rozwój rośliny zbożowej – badania botaniczne a praktyka rolnicza. *Biuletyn IHAR.* 192, 97.
- 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.
- Weber R., Hryńczuk B., 1999. Reakcja wybranych odmian pszenic jarych na niedobory wody w krytycznych okresach rozwoju. *Biuletyn IHAR.* 211, 97–104.
- Wróbel S., 2000. Wpływ wieloletniego produkcyjnego użytkowania pól uprawnych na zaopatrzenie gleb i pszenicy jarej w mikroelementy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 471, 619–626.
- Wróbel S., 2003. Evaluating the applicability of the soil test with 1 mole HCl·dm<sup>-3</sup> to define the boron fertilization requirements of oat. *EJPAU, Agronomy*, 6, 2, [www.ejpau.media.pl](http://www.ejpau.media.pl)
- Wróbel S., 2004. Reakcja pszenżyta ozimego na nawożenie borem w zależności od sposobu stosowania i dawki. *Pam. Puł.* 138, 153–165.
- Yau S. K., 2000. Soil boron affects straw quality and other agronomic traits in two cultivars of barley. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 31(5–6), 591.
- Zagdańska B., Pacanowska A., 1979. Dehydration tolerance of spring wheat and relation to plant growth and productivity under soil drought condition. *Biol. Plant.* 21, 452.
- Zalecenia nawozowe. 1990. Cz. I. Liczby graniczne do wyceny zawartości w glebach makro- i mikroelementów. Pr. zb. Wyd. IUNG Puławy. P (44), 1–34.

**Summary.** An effect of boron foliar application on spring wheat development and yielding was studied in a three-years' two factor vegetative experiments. A light available boron-deficient soil was used in the study. Boron availability limitation (simulated drought period and liming) was the first-rate factor, while doses of boron in foliar fertilization made the second-rate factor. It was demonstrated that foliar application of boron was effective in mollifying the unfavourable wheat growth conditions (drought) and uptake of nutrients (soil reaction change). The fertilization alleviated the results of the limited availability of boron, significantly increasing the grain and straw yield mass and enriching the yields with boron.

**Key words:** boron deficiency, spring wheat, periodic drought, soil liming, boron foliar fertilization, yields