

ZMIENNOŚĆ STĘŻENIA MIKROELEMENTÓW W ROZTWORZE GLEBOWYM W WARUNKACH TRWAŁEGO DOŚWIADCZENIA NAWOZOWEGO

Jan Łabętowicz, Beata Rutkowska

Zakład Chemii Rolniczej,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Wstęp

W trakcie okresu wegetacji obserwuje się znaczną fluktuację stężenia jonów w roztworze glebowym. Stężenie roztworu glebowego wykazuje cykliczne zmiany podczas okresu wegetacji. Większość spośród jonów w roztworze glebowym wykazuje maksimum stężenia późnym latem i wczesną jesienią (wrzesień – październik), a minimum w środku zimy (styczeń – luty). Procesy koncentracji i rozpuszczania składników mineralnych związane są ze zmianami wilgotności gleby, która jest najniższa latem, a najwyższa zimą [CAMPBELL i in. 1989; LINEHAN i in. 1989]. Dynamika stężenia składników w roztworze glebowym uzależniona jest zarówno od wpływu czynników atmosferycznych (rozkład temperatur powietrza i gleby, opady), glebowych (odczyn i wilgotność gleby), nawozowych (nawożenie azotowe), jak i fazy rozwojowej roślin [LINEHAN i in. 1989].

Celem podjętych badań było prześledzenie zmian stężenia mikroelementów (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) w roztworze gleby ornej w warunkach trwałych statycznych doświadczeń nawozowych.

Materiały i metodyka

Badania realizowano w oparciu o dwa trwałe doświadczenia nawozowe, prowadzone jako statyczne od 1960 r., usytuowane na Polu Doświadczalnym SGGW w Łyczynie koło Warszawy. Gleba tych obiektów należy do typu płowego. Wierzchnią warstwę stanowi piasek gliniasty lekki zalegający na glinie zwałowej lekkiej. Gleba ta należy do klasy bonitacyjnej IVb, kompleksu żyniego dobrego. W obu doświadczeniach nawożenie mineralne stosowano w formie saletry amonowej, superfosfatu potrójnego oraz wysokoprocentowej soli potasowej. Wapnowania dokonywano co cztery lata w dawce 1,6 t CaO na 1 ha. Dawka obornika w przeliczeniu na 1 ha rocznie wynosiła 12,5 t.

Doświadczenie I – Obejmuje szesnaście obiektów nawozowych stanowiących rozlosowanie głównych składników pokarmowych: N, P, K i Ca w warunkach bez

obornika i z obornikiem. Łącznie doświadczenie obejmuje 32 obiekty nawozowe (2^5) w czterech powtórzeniach. Doświadczenie prowadzone jest w zmianowaniu czteropolowym: ziemniaki, jęczmień jary, rzepak, żyto.

Doświadczenie II – Zostało założone metodą losowanych bloków w układzie dwuczynnikowym. W jego zakres wchodzi obiekty bez obornika, obiekty z obornikiem oraz pięć wzrastających poziomów nawożenia mineralnego: 0, NPK, 2 NPK, 3 NPK, 4 NPK. Łącznie obejmuje dziesięć obiektów nawozowych w czterech powtórzeniach. Doświadczenie prowadzone jest w zmianowaniu czteropolowym: ziemniaki, jęczmień jary, gorczyca biała, pszenica ozima.

Próby glebowe pobierano trzykrotnie w okresie od wczesnej wiosny do końca lata, przez dwa sezony (1996–1997). Roślinami uprawianymi w tym okresie było żyto, jęczmień jary oraz gorczyca biała. Pierwsze pobranie miało miejsce na wiosnę, przed zastosowaniem nawożenia, drugi raz w miesiąc po zastosowaniu nawożenia i trzeci raz w okresie zbiorów roślin. Próbkę glebową pobierano ze wszystkich kombinacji nawozowych (w warunkach doświadczenia I) oraz z kombinacji: 0,2 NPK, 4 NPK (w warunkach doświadczenia II) z warstwy ornej gleby. Roztwór glebowy wydzielono metodą podciśnieniową i oznaczono w nim stężenie: B, Cu, Fe, Mn, Mo i Zn metodą emisyjnej spektrometrii plazmowej (ICP).

Do statystycznego opracowania danych dotyczących stężenia jonów w roztworze glebowym wykorzystano metodę analizy wariancji. Oceny istotności różnic między średnimi dokonano przy użyciu testu Tukeya, dla prawdopodobieństwa $p=0,05$ (*)

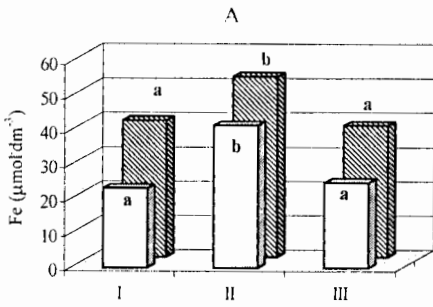
Wyniki

W warunkach trwałych, statycznych doświadczeń nawozowych termin pobierania prób glebowych do analiz był czynnikiem istotnie modyfikującym stężenie mikroelementów w roztworze glebowym (rys. 1).

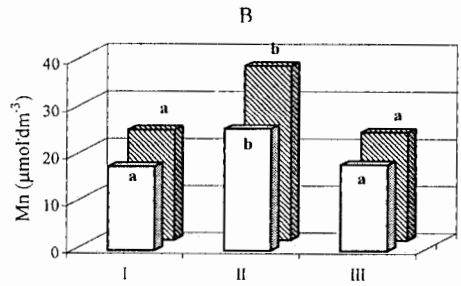
Żelazo. Najwyższe stężenie tego pierwiastka w roztworze glebowym ($>50 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ w doświadczeniu pierwszym i około $40 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ w doświadczeniu drugim) zaobserwowano w drugim terminie pobierania prób glebowych do analiz (rys. 1A). Nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy stężeniem żelaza w roztworach glebowych otrzymanych z prób pobieranych w terminie pierwszym i trzecim (rys. 1A).

Mangan. Stężenie manganu w roztworze otrzymanym z prób glebowych pobranych w drugim terminie sięgało $40 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ (doświadczenie I) i $25 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ (doświadczenie II) i było istotnie wyższe niż w roztworach glebowych pozyskiwanych z prób glebowych pobieranych w terminie pierwszym i trzecim (rys. 1B). Nie zaobserwowano istotnych różnic pomiędzy stężeniem manganu w roztworze glebowym pochodzącym z prób pobieranych do analiz w terminie pierwszym i trzecim.

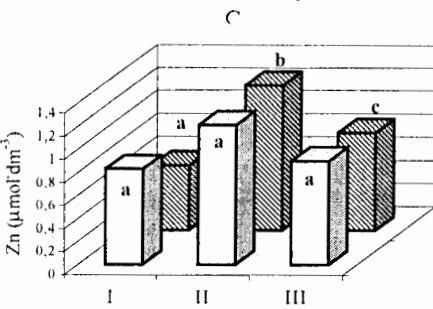
Cynk. Po zastosowaniu nawożenia mineralnego zaobserwowano najwyższe stężenie tego pierwiastka w roztworach glebowych wynoszące około $1,2 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ (rys. 1C). W warunkach stosowania zróżnicowanego nawożenia zaobserwowano istotne różnice pomiędzy stężeniem cynku w roztworach glebowych otrzymanych z prób glebowych pobieranych wczesną wiosną, po zastosowa-



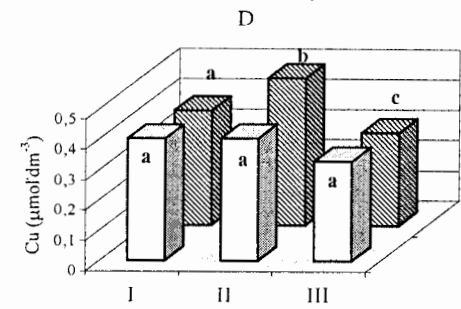
Termin pobierania prób; Term of sampling
 NIR_{dośw.I} = 6,24; LSD_{exp.I} = 6,24
 NIR_{dośw.II} = 6,62; LSD_{exp.II} = 6,62



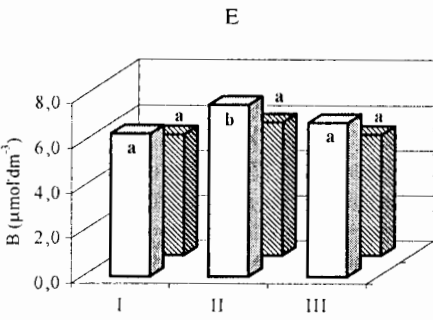
Termin pobierania prób; Term of sampling
 NIR_{dośw.I} = 3,42; LSD_{exp.I} = 3,42
 NIR_{dośw.II} = 3,40; LSD_{exp.II} = 3,40



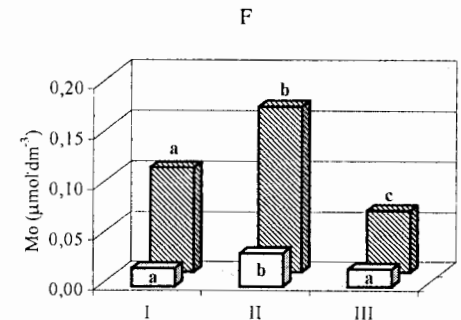
Termin pobierania prób; Term of sampling
 NIR_{dośw.I} = 0,15; LSD_{exp.I} = 0,15
 NIR_{dośw.II} = 0,20; LSD_{exp.II} = 0,20




Termin pobierania prób; Term of sampling
 NIR_{dośw.I} = 0,06; LSD_{exp.I} = 0,06
 NIR_{dośw.II} = 0,14; LSD_{exp.II} = 0,14




Termin pobierania prób; Term of sampling
 NIR_{dośw.I} = 0,64; LSD_{exp.I} = 0,64
 NIR_{dośw.II} = 0,23; LSD_{exp.II} = 0,23



Termin pobierania prób; Term of sampling
 NIR_{dośw.I} = 0,018; LSD_{exp.I} = 0,018
 NIR_{dośw.II} = 0,002; LSD_{exp.II} = 0,002

 doświadczenie pierwsze
 first experiment

 doświadczenie drugie
 second experiment

Rys. 1. Średnie ze wszystkich kombinacji nawozowych zmiany stężenia A – żelaza, B – manganu, C – cynku, D – miedzi, E – boru, F – molibdenu w roztworze gleby z trwałych doświadczeń polowych

Fig. 1. The changes of A – iron, B – manganese, C – zinc, D – copper, E – boron, F – molybdenum concentrations in the solution of soil from permanent field experiments, mean values for all fertilization combinations

niu nawożenia i w końcowym okresie wegetacji roślin. W doświadczeniu drugim nie stwierdzono różnic stężenia cynku w roztworze glebowym otrzymywanym z próbek pobieranych w poszczególnych terminach (rys. 1C).

Miedź. Roztwory glebowe pochodzące z prób pobranych w drugim terminie charakteryzowały się najwyższym stężeniem tego pierwiastka (około $0,5 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ w doświadczeniu I i $0,4 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ w doświadczeniu II), (rys. 1D). W doświadczeniu pierwszym stężenie miedzi w roztworach pochodzących z prób glebowych pobieranych po zastosowaniu nawożenia mineralnego było istotnie wyższe niż w roztworach pozyskanych z prób glebowych pobieranych w terminach pierwszym i trzecim (rys. 1D). Zaobserwowano także istotne różnice stężenia miedzi w roztworach glebowych otrzymanych z prób pobieranych wczesną wiosną i w końcowym okresie wegetacji roślin (rys. 1D). W doświadczeniu drugim stężenie miedzi było zbliżone we wszystkich trzech terminach pobierania prób glebowych (rys. 1D).

Bor. W drugim terminie pobierania prób glebowych do analiz zaobserwowano najwyższe stężenie boru w roztworze glebowym (około $6,0 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ w doświadczeniu pierwszym i około $8,0 \mu\text{mol}\cdot\text{dm}^{-3}$ w doświadczeniu drugim), (rys. 1E). W doświadczeniu I zaznaczyła się jedynie tendencja do wzrostu stężenia boru w roztworze glebowym pochodzącym z prób pobranych w terminie drugim (rys. 1E). W doświadczeniu II stężenie boru w roztworach glebowych pochodzących z prób pobranych po zastosowaniu nawożenia było istotnie wyższe niż w pozostałych dwóch terminach (rys. 1E). Nie zaobserwowano istotnych różnic stężenia boru w roztworach glebowych otrzymanych z prób pobieranych w terminie pierwszym i trzecim.

Molibden. W warunkach obu doświadczeń w około miesiąc po zastosowaniu nawożenia mineralnego zaobserwowano najwyższe stężenie molibdenu w roztworze glebowym (rys. 1F). Stwierdzono również istotne różnice stężenia molibdenu w roztworach pochodzących z prób glebowych pobieranych w terminie pierwszym i trzecim (rys. 1F).

Dyskusja

Badając dynamikę zmian stężenia mikroelementów stwierdzono istotne różnice w ilości mikroelementów w roztworze glebowym w trakcie okresu wegetacji. Najwyższe stężenie wszystkich analizowanych składników stwierdzono w roztworach pochodzących z prób glebowych pobieranych późną wiosną, w miesiąc po zastosowaniu nawożenia mineralnego. Były to ilości znacznie wyższe niż zaobserwowane wczesną wiosną (przed siewem nawozów) oraz późnym latem (w czasie zbiorów roślin), (rys. 1).

Wielu autorów w swoich badaniach zaobserwowało podobne sezonowe zmiany stężenia składników w roztworze glebowym [CAMPBELL i in. 1989; LINEHAN i in. 1985, ŁABĘTOWICZ 1995]. Zmiany stężenia składników w roztworze glebowym związane są z wilgotnością gleby. Większość spośród składników wykazuje maksimum stężenia latem, a minimum zimą. Zależność ta związana jest z wysokim tempem ewapotranspiracji późną wiosną i latem, co prowadzi do przesuszania zarówno górnych, jak i głębszych warstw profilu glebowego, a co za

tym idzie do wzrostu stężenia jonów w roztworze glebowym. Natomiast jesienią i zimą opady przewyższają ewapotranspirację, w wyniku czego następuje wzrost wilgotności gleby, rozcieńczenie roztworu glebowego i wymywanie jonów w głąb profilu glebowego [CAMPBELL i in. 1989]. Znaczny wzrost stężenia mikroelementów w roztworze otrzymany z prób pobieranych późną wiosną spowodowany jest nie tylko zmianami wilgotności gleby. Próby do analiz pobierane były po zastosowaniu nawożenia mineralnego, które mogło przyczynić się do wzrostu stężenia mikroelementów w roztworze glebowym. Z podstawowymi nawozami mineralnymi (NPK) wnosi się bowiem w Polsce średnio rocznie na 1 ha użytków rolnych 0,04 kg B, 0,2 kg Cu, 0,002 kg Mo, 0,3 kg Mn i 0,2 kg Zn [KABATA-PENDIAS, PIOTRKOWSKA 1987]. Pośredni wpływ nawożenia mineralnego na stężenie mikroelementów w roztworze glebowym polega na obniżaniu odczynu gleby pod wpływem stosowania nawozów mineralnych [SMILEY 1974]. Głównie stosowanie nawożenia azotowego wpływa na obniżanie pH gleby i wzrost stężenia w roztworze glebowym mikroelementów przyswajalnych w formie kationów [GOLDBERG i in. 1983; HOLMES i in. 1983]. Stopniowy wzrost stężenia składników (Mn, Zn, Cu) w roztworze glebowym, począwszy od wczesnej wiosny aż do osiągnięcia maksimum w miesiącach letnich, może być powodowany przebiegiem temperatury gleby, która rozpoczyna wzrastać wiosną (marzec) i osiąga maksimum w okresie czerwiec – sierpień [LINEHAN i in. 1985].

Kolejne powody dynamicznych zmian stężenia mikroelementów w okresie wegetacji związane są ze wzrostem i rozwojem roślin. Pobieranie kationów przez korzenie roślin związane jest z wydzielaniem do roztworu glebowego jonów H^+ , co wpływa na miejscowe obniżanie odczynu gleby i wzrost stężenia Mn, Zn oraz Cu w roztworze glebowym [LINEHAN i in. 1989]. Przez korzenie roślin wydzielane są również substancje zdolne do kompleksowania kationowych form mikroelementów z roztworu glebowego. Związki te, jeśli są wydzielane do roztworu glebowego systematycznie, mogą odgrywać istotną rolę w mobilizacji mikroelementów [LINEHAN i in. 1985].

Obniżenie stężenia mikroelementów w roztworze pochodzącym z prób pobieranych po zbiorze roślin powodowane było także wynoszeniem tych składników wraz z plonami roślin. Podobny spadek stężenia w końcowym okresie wegetacji, ale w stosunku do makroskładników, zaobserwował ŁABĘTOWICZ [1995]. Tak więc podsumowując można stwierdzić, że dynamika stężenia składników w roztworze glebowym uzależniona jest zarówno od wpływu wielu czynników atmosferycznych, glebowych, nawozowych, jak i fazy rozwojowej roślin.

Wnioski

1. Stężenie mikroelementów w roztworze piaszczystej gleby uprawnej wykazuje charakterystyczną dynamikę zmian w czasie wegetacji, stężenie to jest najniższe wczesną wiosną przed ruszeniem wegetacji i znacząco wzrasta w okresie późnowiosennym po zastosowaniu nawożenia mineralnego.
2. Spośród sześciu analizowanych mikroelementów: B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn największy względny wzrost stężenia po nawożeniu wykazuje molibden (wzrost o 50–100%), a najniższy bor (wzrost o 2 do 20%).

3. Przyrost stężenia mikrośladników podczas wegetacji jest istotnym czynnikiem poprawiającym warunki odżywiania roślin mikroelementami, a w szczególności cynkiem, na glebach lekkich.

Literatura

- CAMPBELL D.J., KINNIBURGH D.G., BECKETT P.H. 1989. *The soil solution chemistry of some Oxfordshire soils: temporal and spatial variability*. J. Soil Sci. 40: 321–339.
- GOLDBERG S.P., SMITH K.A., HOLMES J. C. 1983. *The effects of soil compaction, form of nitrogen fertiliser placement on the availability of manganese to barley*. J. Sci. Food Agri. 34: 657–670.
- HOLMES J.C., DONALD A.H., CHAPMAN W., LANG R.W. SMITH K.A., FRANKLIN M. F. 1983. *Effects of soil compaction, seed depth, form of nitrogen fertiliser, fertiliser placement and manganese availability on barley*. J. Sci. Food Agri. 34: 671–674.
- KABATA-PENDIAS A., PIOTRKOWSKA M. 1987. *Pierwiastki śladowe jako kryterium rolniczej przydatności odpadów*. IUNG Puławy, Ser. P 33: 69–81.
- LINEHAN D.J., SINCLAIR A.H., MITCHELL M.C. 1985. *Mobilisation of Cu, Mn and Zn in the soil solutions of barley rhizospheres*. Plant and Soil. 86: 147–149.
- LINEHAN D.J., SINCLAIR A.H., MITCHELL M.C. 1989. *Seasonal changes in Cu, Mn, Zn and Co concentrations in soil in the root-zone of barley (Hordeum vulgare L.)*. J. Soil Sci. 40: 103–115.
- ŁABĘTOWICZ J. 1995. *Skład chemiczny roztworu glebowego w zróżnicowanych warunkach glebowych i nawozowych*. Praca habilitacyjna. SGGW Warszawa: 103 ss.
- SMILEY R.W. 1974. *Rizosphere pH as influenced by plant, soils and nitrogen fertilisers*. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38: 795–799.

Słowa kluczowe: roztwór glebowy, mikroelementy, trwałe doświadczenia nawozowe

Streszczenie

W dwóch trwałych statycznych doświadczeniach nawozowych przeanalizowano dynamikę zmian stężenia sześciu mikroelementów: B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn w roztworze glebowym. Próby glebowe do analiz pobierano przez dwa sezony (1996–1997) trzykrotnie podczas okresu wegetacji. Pierwszy raz wczesną wiosną – przed zastosowaniem nawożenia mineralnego, drugi raz w około miesiąc po zastosowaniu nawożenia i trzeci raz w okresie zbiorów roślin. Z prób glebowych pozyskiwano roztwór glebowy metodą podciśnieniową, a następnie oznaczono w nim stężenie badanych mikroelementów metodą emisyjnej spektrometrii plazmowej (ICP).

Termin pobierania prób glebowych do analiz był czynnikiem istotnie wpływającym na stężenie mikroelementów w roztworze glebowym. Stężenie mikroelementów w analizowanych roztworach glebowych było najwyższe w drugim terminie pobierania prób glebowych do analiz tj. późną wiosną w około miesiąc po

zastosowaniu nawożenia mineralnego. Stężenie mikroelementów w roztworach glebowych otrzymanych z prób pobieranych w terminie pierwszym (wczesna wiosna przed zastosowaniem nawożenia mineralnego) i trzecim (okres zbiorów roślin) było zbliżone i na ogół nie wykazywało istotnych różnic. Spośród analizowanych mikroelementów największy względny wzrost stężenia po zastosowaniu nawożenia mineralnego wykazywał molibden, a najmniejszy bor.

VARIABILITY OF MICRONUTRIENT CONCENTRATION IN SOIL SOLUTION UNDER CONDITIONS OF PERMANENT FERTILIZATION EXPERIMENT

Jan Łabętowicz, Beata Rutkowska
Department of Agricultural Chemistry,
Warsaw Agricultural University, Warszawa

Key words: soil solution, micronutrients, permanent fertilization experiments

Summary

In two permanent fertilization experiments the variability of concentration of six micronutrients (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) in soil solution was evaluated. The soil samples for analyses were collected over two years (1996–1997), three times during vegetation season. First time the soil was sampled in spring – before mineral fertilization, the second time about month after mineral fertilization and the third time in harvest period. The term of soil sample collection was a significant determinant of micronutrients' concentration in the soil solution. The concentration of micronutrients in soil solution was the highest in second term of soil sampling for analyses (late spring, about one-month after mineral fertilization). The concentrations of micronutrients in soil solutions obtained from the samples collected in the first (early spring) and the third (crops harvest) terms were similar. After mineral fertilization, from all analyzed elements, the molybdenum showed highest relative concentration increase in soil solution. The lowest relative concentration increase in soil solution was observed for boron.

Dr hab. Jan Łabętowicz, prof. SGGW
Zakład Chemii Rolniczej
Katedra Nauk o Środowisku Glebowym
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Rakowiecka 26/30
02-528 WARSZAWA