

Katedra Chemii Rolnej i Środowiskowej Akademii Rolniczej w Lublinie,
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin e-mail: wieslaw.bednarek@ar.lublin.pl

WIESŁAW BEDNAREK, RENATA RESZKA

Oddziaływanie wapnowania i nawożenia różnymi formami azotu na zawartość ruchomych form i mineralnych frakcji fosforu w glebie

The effect of liming and fertilization with various nitrogen forms on the content
of available forms and mineral fractions of phosphorus in the soil

Streszczenie. Celem badań była agrochemiczna ocena wpływu wapnowania i nawożenia formą amonową lub azotanową azotu na kształtowanie się zawartości ruchomych form i mineralnych frakcji fosforu w glebie. Zawartość przyswajalnych form fosforu oznaczono w wodzie destylowanej, wodorowęglanie sodu i według metody Egnera-Riehma. Mineralne frakcje fosforu oznaczono metodą Changa i Jacksona w modyfikacji Askinazi, Ginzburg i Lebedewej. Otrzymane wyniki badań wskazały, że zastosowanie wyższej dawki superfosfatu przyczyniło się do największego wzrostu zawartości fosforu przyswajalnego w glebie. Wapnowanie również wpływało na zwiększenie ilości fosforu przyswajalnego. Zróżnicowanie form i dawek azotu nie oddziaływało istotnie na zawartość fosforu przyswajalnego. Wapnowanie i zastosowanie saletry wapniowej przyczyniło się do wzrostu koncentracji frakcji fosforanów łatwo rozpuszczalnych. Zawartość fosforanów glinu była wyższa w kombinacjach z niższymi wartościami pH. Ilość fosforanów wapnia była najwyższa w obiektach wapnowanych i nawożonych podwójną dawką saletry wapniowej.

Słowa kluczowe: fosfor przyswajalny, mineralne frakcje, gleba, wapnowanie, formy azotu

WSTĘP

W Polsce udział gleb o niskiej i bardzo niskiej zasobności w fosfor przyswajalny wynosi ponad 30% [Lipiński 2005]. Do utrzymania zawartości tego składnika na odpowiednim poziomie niezbędne jest systematyczne uzupełnianie zasobów. Stosowanie nawozów mineralnych nie przynosi natychmiastowych rezultatów, gdyż fosfor ulega szybko przemianom do form słabo rozpuszczalnych, trudno dostępnych dla roślin. W konsekwencji zachodzi konieczność stosowania wysokich dawek nawozów fosforowych. W ostatnich latach jednak relacja pomiędzy wartością produktów uzyskiwanych

z produkcji rolniczej a ceną nawozów kształtuje się na niekorzystnym poziomie [GUS 2006]. Ponadto w warunkach stosowania wysokich dawek fosforu może nastąpić wzbogacenie wód w ten składnik, prowadzące do eutrofizacji i biodegradacji zbiorników wodnych [Filipek 2002]. Poszukiwanie sposobów zwiększenia wykorzystania fosforu z nawozów mineralnych jest więc uzasadnione zarówno z punktu widzenia agrochemicznego, jak i ekonomicznego i ochrony środowiska. Spośród wielu czynników wpływających na przemiany tego składnika w glebie do najważniejszych należą odczyn oraz obecność innych jonów w roztworze glebowym [Bednarek i Lipiński 1995, Łabętowicz i Rutkowska 2001, Filipek 2002, Tkaczyk 2002, Potarzycki 2003].

Celem badań była agrochemiczna ocena wpływu wapnowania i nawożenia formą amonową lub azotanową azotu na kształtowanie się zawartości ruchomych form i mineralnych frakcji fosforu w glebie.

MATERIAŁ I METODY

Przeprowadzono ściśle dwuletnie doświadczenie wazonowe (2003–2004). Eksperyment założono na materiale glebowym pobranym z warstwy ornej gleby bielicznej o składzie granulometrycznym piasku gliniastego lekkiego. Gleba charakteryzowała się bardzo kwaśnym odczynem ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4,00$), niską zawartością przyswajalnego fosforu ($26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) i potasu oraz bardzo niską zawartością przyswajalnego magnezu.

Do badań użyto wazonów mieszczących 5 kg materiału glebowego. Schemat doświadczenia obejmował 9 kombinacji w 4 replikacjach na dwóch seriach gleby kwaśnej i wapnowanej:

| | |
|---|--|
| 1 | K Mg 0 – kontrola |
| 2 | K Mg P ₁ N ₁ – NH ₄ |
| 3 | K Mg P ₁ N ₁ – NO ₃ |
| 4 | K Mg P ₁ N ₂ – NH ₄ |
| 5 | K Mg P ₁ N ₂ – NO ₃ |
| 6 | K Mg P ₂ N ₁ – NH ₄ |
| 7 | K Mg P ₂ N ₁ – NO ₃ |
| 8 | K Mg P ₂ N ₂ – NH ₄ |
| 9 | K Mg P ₂ N ₂ – NO ₃ |

Wapnowanie w formie CaCO_3 zastosowano jednorazowo przed założeniem doświadczenia w ilości odpowiadającej wartości 1 Hh. We wszystkich obiektach doświadczalnych, w każdym roku badań, przed siewem stosowano mikroelementy, których ilość w $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ s.m. gleby wynosiła: Zn – 2,9 (ZnCl_2); Cu – 3,4 ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$); B – 1 (H_3BO_3); Mn – 2,66 (MnCl_2); Mo – 0,02 ($(\text{NH}_4)_6\text{MoO}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$).

Nawożenie fosforem i azotem stosowano przedsięwzięcie w każdym roku badań w następujących ilościach i formach:

| | | |
|----------------|-------------------------------|--|
| P ₁ | – 0,06 g P · kg ⁻¹ | – s.m. gleby w postaci superfosfatu potrójnego granulowanego – 20,1% P |
| P ₂ | – 0,12 g P · kg ⁻¹ | – s.m. gleby w postaci superfosfatu potrójnego granulowanego – 20,1% P |
| N ₁ | – 0,1 g N · kg ⁻¹ | } – s.m. gleby w postaci siarczanu amonu – 20% N i saletry |
| N ₂ | – 0,2 g N · kg ⁻¹ | |

Wymienione czynniki stosowano na tle nawożenia potasem: K – 0,1 g K · kg⁻¹ s.m. gleby w formie wysoko procentowej soli potasowej (49,8% K) oraz magnezem: Mg – 0,025 g Mg · kg⁻¹ s.m. gleby w postaci siarczanu magnezu (9,6% Mg).

W okresie wegetacji utrzymywano stałą wilgotność gleby na poziomie 60% pojemności wodnej przez podlewanie roślin do stałej wagi wodą destylowaną. Rośliną testową był jęczmień jary odmiany Bryl.

W pobranym materiale glebowym oznaczono:

– fosfor przyswajalny (w wodzie destylowanej, w buforze mleczanowym o pH 3,55 (metoda Egnera-Riehma), w wodorowęglanie sodu o pH 8,5 (metoda Olsena))

– mineralne frakcje fosforu metodą Changa i Jacksona w modyfikacji Askinazi, Ginzburg i Lebedewej

Pomiary wykonano fotokolorymetrem Cecil 2011.

Wpływ czynników doświadczalnych na kształtowanie się zawartości ruchomych form fosforu określono metodą analizy wariancji z zastosowaniem półprzedziałów ufności Tukeya.

Wyniki zestawione w tabelach stanowią średnie wartości z dwuletniego doświadczenia. Przyjęto następujące oznaczenia: G1 – gleba kwaśna (niewapnowana); G2 – gleba wapnowana; P1 – pojedyncza dawka fosforu; P2 – podwójna dawka fosforu; N1 – pojedyncza dawka azotu; N2 – podwójna dawka azotu; F1 – siarczan amonu; F2 – saletra wapniowa, K – obiekt kontrolny, \bar{x}_G – średnia dla gleb; \bar{x}_F – średnia dla form azotu. W tabelach podano tylko istotne wartości półprzedziałów ufności.

WYNIKI I DYSKUSJA

Spośród zastosowanych czynników największy wpływ na wzrost zawartości ruchomych form fosforu w glebie miało nawożenie tym składnikiem w dawce podwójnej (tab. 1). Powodem było najprawdopodobniej to, że wraz ze wzrostem dawki superfosfatu wydłuża się czas potrzebny do osiągnięcia równowagi między fosforanami fazy stałej i ciekłej gleby. Zwiększa się też stężenie fosforu, przy którym ustala się ta równowaga [Wójcik 1990]. Na podobne zależności wskazują także Bednarek i Lipiński [1995] oraz Tkaczyk [2002]. Zdaniem Łabętowicza i Rutkowskiej [2001] stężenie fosforu w roztworze glebowym przypadające na jednostkę fosforu przyswajalnego zmniejsza się w miarę zakwaszenia gleby. Wskutek tego wzrost stężenia fosforu w roztworze glebowym o jednostkę wymaga wyższych dawek składnika na glebach kwaśnych niż obojętnych. Zastosowanie węglanu wapnia również wpływało istotnie na wzrost zawartości fosforu przyswajalnego w glebie. Pod wpływem wapnowania następuje bowiem hydroliza strengitu i waryscytu z wydzieleniem jonów fosforanowych do roztworu glebowego. Wapnowanie zmniejsza także koncentrację rozpuszczalnych i wymiennych jonów Fe i Al, które w przeciwnym razie reagują z zastosowanym fosforem, prowadząc do powstania słabo rozpuszczalnych fosforanów glinu i żelaza [Haynes 1982]. Wzrost wartości pH pod wpływem tego zabiegu przyczynia się także do zwiększenia aktywności mikroorganizmów glebowych i szybszej mineralizacji fosforu organicznego. Ponadto w roztworze glebowym gleb o odczynie obojętnym i zasadowym wzrasta stężenie jonów hydroksylowych, które współzawodniczą z jonami fosforanowymi o miejsca adsorpcji na cząsteczkach fazy stałej gleby [Potarzycki 2003]. Według Łabętowicza i in. [1998] w wa-

runkach wapnowania 26–36% fosforu nawozowego nie pobranego przez rośliny zostaje zgromadzone w glebie w postaci przyswajalnej, a w obiektach niewapnowanych jedynie 16–19%. Rabikowska i Piszcz [1996] porównując różne metody oznaczania fosforu przyswajalnego w glebie stwierdziły wzrost zawartości P ekstrahowanego według metod Egnera-Riehma i Olsena. Jednak Grzywnowicz [1998] nie zaobserwował wyraźnego wpływu wapnowania na ilość fosforu oznaczonego według metody Egnera-Riehma. W analizowanym eksperymencie łączne zastosowanie nawożenia P z wapnowaniem jeszcze bardziej zwiększyło ilość omawianej formy składnika. Na korzystne współdziałanie wapnowania i nawożenia mineralnego wskazują także wyniki badań Tkaczyka [2002]. Gibczyńska [2001] w wyniku odkwaszenia stwierdziła zwiększenie ilości P ekstrahowanego mleczanem wapnia, niezależnie od zastosowanego nawożenia mineralnego. Jednak ilość składnika w wyciągu H₂O z gleby tylko wapnowanej była niższa niż w kontroli. Wzrost koncentracji tej formy fosforu autorka zaobserwowała dopiero, gdy stosowano łącznie wapnowanie z nawożeniem mineralnym.

Tabela 1. Wpływ czynników doświadczalnych na zawartość ruchomych form fosforu w glebie (mg P · kg⁻¹)

Table 1. Influence of experimental factors on the content of available forms of phosphorus in the soil (mg P · kg⁻¹)

| Obiekt Object* | P Egnera-Riehma | | | | P w H ₂ O | | | | P w NaHCO ₃ | | | |
|-------------------|-----------------|-------|-------|--------|----------------------|-------|-------|-------|------------------------|-------|-------|-------|
| | G1 | | G2 | | G1 | | G2 | | G1 | | G2 | |
| | F1 | F2 | F1 | F2 | F1 | F2 | F1 | F2 | F1 | F2 | F1 | F2 |
| P1N1 | 73,69 | 57,19 | 66,58 | 74,65 | 11,38 | 12,26 | 13,85 | 14,38 | 39,76 | 39,63 | 50,99 | 51,14 |
| P1N2 | 76,09 | 60,14 | 63,48 | 76,84 | 11,88 | 11,76 | 12,64 | 14,25 | 43,01 | 30,76 | 53,75 | 49,75 |
| P2N1 | 87,83 | 78,03 | 91,83 | 101,65 | 16,27 | 14,83 | 15,50 | 16,44 | 54,53 | 52,26 | 76,23 | 71,53 |
| P2N2 | 92,06 | 81,54 | 90,86 | 101,65 | 16,37 | 14,79 | 15,84 | 16,34 | 59,50 | 50,29 | 75,01 | 74,28 |
| \bar{x} G | 75,82 | | 83,44 | | 13,70 | | 14,90 | | 46,22 | | 62,83 | |
| \bar{x} F | | | 80,30 | 78,96 | | | 14,22 | 14,38 | | | 56,60 | 52,45 |
| NIR (p = 0,05) | G, P – 6,27 | | | | G, P – 1,10 | | | | G, P – 5,24 | | | |
| LSD (p = 0,05) | GF – 11,74 | | | | | | | | | | | |
| K | 28,76 | | 29,06 | | 9,06 | | 8,71 | | 29,01 | | 31,79 | |

*Objaśnienia podano w metodyce – Explanations are in methods

Zarówno forma, jak i dawka azotu nie oddziaływały w sposób statystycznie uodwodniony na zawartość fosforu przyswajalnego w glebie. Interesująca wydaje się jednak nieco większa koncentracja omawianego składnika w glebie kwaśnej nawożonej siarczanem amonu, w porównaniu z saletrą wapniową. Najprawdopodobniej powodem była bardzo duża różnica w plonach roślin, a w związku z tym w ilości pobranego pierwiastka.

W badaniach własnych kierunek oddziaływania różnych form azotu na ilość fosforu przyswajalnego w glebie wapnowanej zależał od rodzaju odczynnika użytego do ekstrakcji. Na uwagę zasługuje wyższa zawartość P oznaczonego według metody Egnera-Riehma oraz w H₂O w glebie nawożonej saletrą wapniową niż siarczanem amonu. Przyczyną tego zjawiska było to, że mleczanem wapnia zakwaszonym HCl ekstrahuje się głównie fosforany związane z wapniem i częściowo z żelazem [Fotyma i Kęsik 1984]. O dodatnim oddziaływaniu jonów azotanowych na rozpuszczalność fosforanów wapnia,

glinu i żelaza, a w związku z tym na wzrost stężenia dostępnych dla roślin form fosforu donoszą również Szymkiewicz-Dąbrowska i Łachacz [2000]. Zróżnicowane dawki azotu nie oddziaływały wyraźnie na zawartość fosforu przyswajalnego w glebie. Natomiast Łabętowicz i in. [1998], a także Sapek i Kalińska [2000] stwierdzili zmniejszenie koncentracji omawianej formy składnika pod wpływem nawożenia azotem.

Spośród oznaczanych mineralnych frakcji fosforu największy udział miała frakcja fosforanów żelaza, następnie glinu, wapnia i łatwo rozpuszczalnych (tab. 2). Wydaje się, że powodem tego zjawiska było to, iż w glebach o pH poniżej 7 fosfor pochodzący z nawozów w pierwszym roku wzbogaca frakcje związane z żelazem i glinem, a dopiero w kolejnych latach może przechodzić w połączenia z wapniem. Najszybciej dostępne dla roślin są fosforany łatwo rozpuszczalne i fosforany glinu [Potarzycki 2003].

Zawartość fosforanów łatwo rozpuszczalnych wahała się w granicach od 5,66 do 32,88 mg P · kg⁻¹ s.m. gleby. Wszystkie zastosowane czynniki miały istotny wpływ na kształtowanie się frakcji P-Ir. Największy jej wzrost stwierdzono pod wpływem podwójnej dawki superfosfatu i wapnowania. Prawdopodobnie dodatnie oddziaływanie węglanu wapnia wynikało ze wzrostu wartości pH i w konsekwencji zwiększonej rozpuszczalności związków trudno rozpuszczalnych. Podobne rezultaty badań otrzymał Lipiński [1997] oraz Tkaczyk [2002]. Saletra wapniowa powodowała istotny wzrost koncentracji frakcji P-Ir w stosunku do kombinacji z siarczanem amonu, szczególnie w glebie wapnowanej. Grzywnowicz [1994], analizując gleby zróżnicowane pod względem odczynu również, stwierdził większe ilości tej frakcji w glebach charakteryzujących się wyższymi wartościami pH. Wzrastające dawki superfosfatu sprzyjały istotnemu zwiększeniu zawartości omawianej frakcji, zarówno w glebie kwaśnej, jak i wapnowanej. Natomiast nawożenie azotem w dawce pojedynczej wpływało bardziej stymulująco na ilość fosforanów ekstrahowanych z gleby NH₄Cl niż zastosowanie dawki podwójnej, bez względu na formę użytego azotu.

Istotny wpływ na zawartość fosforanów glinu miało wapnowanie, forma azotu oraz dawka fosforu. Natomiast udowodnione statystycznie oddziaływanie na kształtowanie się zawartości fosforanów żelaza miało tylko zastosowanie zwiększonej dawki nawozu fosforowego. Frakcja P-Fe jest bowiem stosunkowo stabilna i w niewielkim stopniu jej ilość, zwłaszcza w krótkim okresie, ulega zmianie. Węglan wapnia przyczynił się do obniżenia ilości frakcji P-Al oraz P-Fe. Saletra wapniowa spowodowała wyraźne zmniejszenie koncentracji frakcji P-Al oraz w mniejszym stopniu obniżenie zawartości frakcji P-Fe. Rezultaty te sugerują, że nastąpił wzrost rozpuszczalności warwycytu i innych minerałów stanowiących połączenia fosforu i glinu. Otrzymane wyniki pokrywają się częściowo ze spostrzeżeniami Grzywnowicza [1998], który stwierdził zmniejszenie się pod wpływem wapnowania ilości fosforanów glinu oraz obniżenie zawartości fosforanów żelaza, ale w stopniu znacznie mniejszym niż frakcji P-Al. Natomiast Gibczyńska [1997] stwierdziła, że zabieg ten wpłynął na zmniejszenie się udziału frakcji P-Al w fosforze nieorganicznym i w związku z tym zwiększenie się udziału frakcji P-Fe. Wzrost zawartości frakcji P-Al pod wpływem siarczanu amonu należy przypisać zakwaszającemu oddziaływaniu tego nawozu. Bosch i Amberger [1986] w doświadczeniu wieloletnim z zastosowaniem różnych form azotu również stwierdzili większą ilość P-Al + P-Fe w glebie nawożonej (NH₄)₂SO₄ niż Ca(NO₃)₂. Zróżnicowane dawki azotu nie oddziaływały istotnie na występowanie w glebie omawianych frakcji fosforu, natomiast zwiększenie dawek fosforu prowadziło do wzrostu ilości fosforanów glinu i żelaza.

Tabela 2. Wpływ czynników doświadczalnych na zawartość mineralnych frakcji fosforu w glebie (mg P · kg⁻¹)
 Table 2. Influence of experimental factors on the content of mineral fractions of phosphorus in the soil (mg P · kg⁻¹)

| Obiekt* Object* | P łatwo rozpuszczalny P easily soluble | | | | P-Al | | | | P-Fe | | | | P-Ca | | | | Suma frakcji Sum of fractions | | | |
|--|---|-------|-------|-------|---------------------------------|-------|-------|-------|-----------|--------|-------|-------|-------------------------------------|-------|-------|-------|----------------------------------|-------|-------|-------|
| | G1 | | G2 | | G1 | | G2 | | G1 | | G2 | | G1 | | G2 | | G1 | | G2 | |
| | F1 | F2 | F1 | F2 | F1 | F2 | F1 | F2 | F1 | F2 | F1 | F2 | F1 | F2 | F1 | F2 | F1 | F2 | F1 | F2 |
| P1N1 | 12,55 | 10,92 | 14,04 | 20,02 | 202,7 | 185,9 | 193,6 | 187,8 | 340,8 | 324,04 | 336,0 | 340,7 | 29,00 | 39,13 | 39,04 | 45,86 | 585,0 | 559,8 | 585,7 | 594,5 |
| P1N2 | 11,21 | 10,41 | 14,40 | 20,51 | 206,1 | 178,2 | 197,8 | 182,6 | 337,5 | 322,3 | 304,7 | 327,1 | 28,25 | 38,06 | 39,04 | 47,91 | 583,0 | 549,0 | 556,6 | 578,1 |
| P2N1 | 19,38 | 17,38 | 25,04 | 32,88 | 242,5 | 221,4 | 218,2 | 206,5 | 363,4 | 352,2 | 369,3 | 370,5 | 30,09 | 39,11 | 44,09 | 49,40 | 655,3 | 630,0 | 655,7 | 659,3 |
| P2N2 | 16,74 | 15,66 | 22,29 | 29,31 | 239,7 | 217,6 | 223,9 | 215,5 | 378,0 | 357,7 | 346,7 | 355,9 | 30,24 | 30,85 | 45,79 | 52,01 | 664,6 | 629,8 | 638,7 | 652,7 |
| \bar{x} G | 14,28 | | 22,69 | | 211,7 | | 203,2 | | 347,0 | | 343,9 | | 34,09 | | 45,47 | | 607,1 | | 615,2 | |
| \bar{x} F | | | 17,31 | 19,60 | | | 215,6 | 199,4 | | | 347,0 | 343,8 | | | 35,91 | 43,82 | | | 615,6 | 606,7 |
| NIR (p = 0,05) LSD (p = 0,05) | G, P, N, F – 1,32 GP, GF – 2,47 | | | | G, P, F – 4,27 GP, GF – 8,01 | | | | P – 14,02 | | | | G, P, F – 0,82 GP, GN, GF – 1,53 | | | | P – 18,54 GF – 34,75 | | | |
| K | 5,66 | | 7,14 | | 177,6 | | 175,1 | | 287,8 | | 297,4 | | 28,03 | | 36,21 | | 499,1 | | 515,8 | |

*Objaśnienia podano w metodyce – Explanations are in methods

Największe i istotne oddziaływanie na ilość P-Ca miało wapnowanie. Pod wpływem tego zabiegu zawartości fosforanów wapnia w obiektach kontrolnych wzrosła z 28,03 do 36,21 mg P · kg⁻¹ s.m. gleby, co było najprawdopodobniej spowodowane wprowadzeniem dużej ilości wapnia z CaCO₃. Zwiększenie koncentracji omawianej frakcji fosforu stwierdzili także inni autorzy [Lipiński 1997, Gibczyńska 1997, 2001, Grzywnowicz 1998, Tkaczyk 2002]. Jednak Bednarek i Tkaczyk [2001] nie zaobserwowali wyraźnych zmian w koncentracji fosforanów wapnia pod wpływem tego zabiegu. Saletra wapniowa również przyczyniła się do udowodnionego statystycznie wzrostu zawartości omawianej frakcji fosforu. Otrzymane wyniki pokrywają się ze spostrzeżeniami Boscha i Ambergera [1986]. Natomiast użycie siarczanu amonu oddziaływało przeciwnie. Zhang i in. [2004], stosując (NH₄)₂SO₄, również stwierdzili zmniejszenie zawartości Ca-P. Zdaniem autorów powodem był wzrost rozpuszczalności fosforanów wapnia w tych obiektach, a w konsekwencji zwiększone pobranie P przez rośliny z analizowanych frakcji. W badaniach własnych zwiększenie dawek fosforu sprzyjało wzrostowi ilości P-Ca, natomiast zróżnicowane dawki azotu nie oddziaływały w sposób udowodniony statystycznie. Tkaczyk [2002], a także Bednarek i Tkaczyk [2001] zaobserwowali również dodatni wpływ zwiększonych dawek fosforu na koncentrację frakcji P-Ca.

Istotnym czynnikiem modyfikującym zawartość fosforu nieorganicznego była tylko dawka tego składnika. Zastosowanie węgla wapnia sprzyjało wzrostowi zawartości fosforu mineralnego. Zjawisko to można tłumaczyć uaktywnieniem mikroorganizmów i w konsekwencji szybszą mineralizacją fosforu organicznego. Natomiast wpływ form azotu zależał od serii doświadczenia. Saletra wapniowa zastosowana na glebę bardzo kwaśną spowodowała obniżenie zawartości sumy frakcji w porównaniu z ilością w obiektach nawożonych siarczanem amonu. Odmienna sytuacja wystąpiła w przypadku gleby wapnowanej. Najprawdopodobniej powodem były różnice w ilości pobranego składnika przez roślinę testową. Ogólnie można stwierdzić, że suma frakcji fosforu mineralnego zwiększyła się po zastosowaniu czynników doświadczalnych, co wskazuje, że nastąpiła poprawa zasobności gleby w fosfor w znacznej ilości dostępny dla roślin.

WNIOSKI

1. Największy wzrost zawartości fosforu przyswajalnego w glebie stwierdzono po zastosowaniu podwójnej dawki superfosfatu. Zastosowanie wapnowania również przyczyniło się do istotnego zwiększenia koncentracji ruchomych form fosforu, niezależnie od rodzaju użytego odczynnika do ekstrakcji. Natomiast zróżnicowane nawożenie azotem nie oddziaływało w sposób udowodniony statystycznie.

2. Wapnowanie gleby bardzo kwaśnej, nawożenie azotem i fosforem oddziaływało istotnie na zawartość frakcji fosforanów łatwo rozpuszczalnych. Siarczan amonu przyczynił się do wzrostu koncentracji fosforanów glinu. Zawartość fosforanów wapnia zwiększyła się pod wpływem wapnowania i nawożenia saletrą wapniową. Istotnym czynnikiem modyfikującym ilość fosforanów żelaza i sumy frakcji było tylko nawożenie tym składnikiem.

3. W warunkach uprawy gleby bardzo kwaśnej i o niskiej zasobności w fosfor użycie zwiększonego nawożenia tym składnikiem współrzędnie z wapnowaniem może w znacznym stopniu poprawić zaopatrzenie roślin uprawnych w fosfor.

PIŚMIENNICTWO

- Bednarek W., Lipiński W., 1995. Rozpuszczalne formy fosforu w glebie poddanej oddziaływaniu następczego zróżnicowanego nawożenia mineralnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 421a, 15–20.
- Bednarek W., Tkaczyk P., 2001. Mineralne formy fosforu w glebie wapnowanej oraz nawożonej azotem i fosforem. *Prace Nauk. AE Wrocław, Chemia* 888, 167–171.
- Bosch M., Amberger A., 1986. Einfluss langjähriger Düngung mit verschiedenen N-Formen auf die Phosphat-Dynamik einer Ackerbraunerde. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenk.* 149, 1, 51–59.
- Filipek T., 2002. Zarządzanie zasobami fosforu w środowisku rolniczym. *Nawozy i Nawożenie* 4 (13), 247–258.
- Fotyła M., Kęsik K., 1984. Stan i perspektywy badań dotyczących przemian fosforu w glebie i nawożenia tym składnikiem. *Prace Nauk. AE Wrocław, Chemia* 267, 67–89.
- Gibczyńska M., 1997. Analiza wpływu powtórnego wapnowania gleby lekkiej węglanem wapnia na zawartość związków fosforu. *Zesz. Nauk. AR Szczecin* 181, *Rolnictwo* 68, 95–101.
- Gibczyńska M., 2001. Dependence of the amount of available phosphorus assessed in soil on the applied analytical method. *Acta Agrophysica* 52, 49–53.
- Grzywnowicz I., 1994. Changes of phosphorus content in meadow soils under their progressive acidification as a result of mineral fertilization. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 413, 127–131.
- Grzywnowicz I., 1998. Wpływ wapnowania i nawożenia magnezem na zmiany zawartości różnych form fosforu w górskich glebach łąkowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 456, 581–585.
- Haynes R. J., 1982. Effects of liming on phosphate availability in acid soils. *Plant and Soil* 68, 289–308.
- Lipiński W., 1997. Wpływ wapnowania i nawożenia magnezem na przemiany fosforu w glebie oraz pobranie tego składnika przez jęczmień jary. Cz. I Mineralne frakcje i ruchome formy fosforu. *Annales UMCS, Sec. E, Agricultura* 52, 29, 233–244.
- Lipiński W., 2005. Zasobność gleb Polski w fosfor przyswajalny. *Nawozy i Nawożenie* 2 (23), 49–54.
- Łabętowicz J., Korc M., Gutowska A., 1998. Ocena skutków niezrównoważonego nawożenia dla zasobów fosforu glebowego w trwałym doświadczeniu nawozowym. *Prace Nauk. AE Wrocław, Chemia* 792, 259–267.
- Łabętowicz J., Rutkowska B., 2001. Czynniki kształtujące stężenie fosforu w roztworze glebowym gleb rolniczych Polski. *Prace Nauk. AE Wrocław, Chemia* 888, 151–159.
- Potarzycki J., 2003. Fosfor w glebie. *J. Elementol.* 8(3), Suppl. 19–32.
- Rabikowska B., Piszcz U., 1996. Oddziaływanie odkwaszania na niektóre właściwości gleb o zróżnicowanym stanie fosforowym. *Prace Nauk. AE Wrocław, Chemia* 727, 181–189.
- Rocznik Statystyczny GUS 2006
- Sapek B., Kalińska D., 2000. Wpływ zróżnicowanego odczynu gleby i dawki azotu na bilans azotu, fosforu i potasu w długoletnich doświadczeniach łąkowych. *Wiad. IMUZ* 21, 1, 31–50.
- Szymkiewicz-Dąbrowska D., Łachacz A., 2000. Reakcja wymieszanych z glebą trudno rozpuszczalnych fosforanów Ca, Al, Fe na obecność dużej ilości jonów nieorganicznych. II. Aniony azotanowe. *Biul. Nauk. ART Olsztyn* 10, 239–249.
- Tkaczyk P., 2002. Efekty wapnowania, nawożenia azotem i fosforem gleby bardzo kwaśnej. Cz. I. Mineralne frakcje i ruchome formy fosforu. *Acta Sci. Pol., Agricultura*, 1, 43–55.
- Wójcik J., 1990. Wpływ dawki superfosfatu potrójnego na tempo starzenia się fosforanów. *Rocz. Gleb.* XLI, 3/4, 117–124.
- Zhang F., Zhang R., Li F., Kang S., Zhang J., 2004. Nitrogen fertilization on uptake of soil inorganic phosphorus fractions in the wheat root zone. *Soil Sc. Soc. Am. J.* 68, 6, 1890–1895.

Summary. The aim of the experiment was agrochemical evaluation of the influence of liming and fertilization with ammonium or nitrate nitrogen on the content of available forms and mineral fractions of phosphorus in soil. The content of available phosphorus was determined in distilled

water, acid sodium carbonate and according to Egner-Riehm method. The mineral fractions of phosphorus were determined according to Chang and Jackson method with modifications according to Askinazi, Ginzburg and Lebidewa. The obtained results indicated that the greatest increase of available phosphorus was caused by fertilization with superphosphate at higher levels. The application of liming influenced the increase of available phosphorus in soil. The effect of fertilization with various nitrogen forms and nitrogen levels on the content of available phosphorus was not significant. Liming as well as fertilization with calcium nitrate caused the increase of easily soluble fraction in the soil. The content of aluminum phosphates was higher in treatments with lower pH values. The content of calcium phosphates was the highest in treatments limed and fertilized with calcium nitrate at a higher rate.

Key words: available phosphorus, mineral fractions, soil, liming, nitrogen forms