

Nowe trendy w wykorzystaniu fosforytów w rolnictwie

Jolanta Korzeniowska, Ewa Stanisławska-Głubiak

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

Słowa kluczowe: fosforyty, zasoby i rezerwy, mączka fosforytowa, przyswajalność P, dodatek S, kompostowanie

Wstęp

Fosfor, obok azotu i potasu, jest głównym pierwiastkiem niezbędnym do wzrostu i rozwoju roślin. Jedną z podstawowych funkcji fosforu jest udział w reakcjach przeniesienia i akumulacji energii oraz fosforylacji. Pierwiastek ten reguluje aktywność wielu enzymów oraz wchodzi w skład związków o kluczowym znaczeniu takich jak kwasy nukleinowe, nukleotydy i fosfolipidy. Ponadto odgrywa rolę w mechanizmie transportu związków organicznych oraz jonów nieorganicznych przez błony komórkowe.

Rośliny pobierają fosfor prawie wyłącznie z gleby przez korzenie w formie anionów H_2PO_4^- i HPO_4^{2-} . Ogólna zawartość fosforu w glebie waha się w zakresie 0,002–0,12% s.m. w zależności od rodzaju gleby. W przeważającej większości fosfor glebowy występuje w związkach trudno dostępnych dla roślin. Uruchomienie fosforu polega na przechodzeniu związków trudno dostępnych w związki łatwo przyswajalne dla roślin. Zjawisko odwrotne nazywamy uwstecznianiem fosforu. W glebach użytków rolnych w przemianach tych uczestniczy również fosfor wprowadzony do gleby wraz z nawozami.

Z uwagi na to, że niedostateczna ilość fosforu w glebie ogranicza plonowanie i jakość płodów rolnych, nawożenie tym składnikiem jest niezbędne w praktyce rolniczej. Podstawowym surowcem wyjściowym do produkcji nawozów fosforowych są fosforyty, trudno rozpuszczalne skały osadowe, tworzące złoża w różnych częściach kuli ziemskiej. W Polsce nie posiadamy wysoko procentowych złóż fosforytów, które gwarantowałyby opłacalność ich eksploatacji i produkcji nawozów, stąd w całości muszą być one importowane. Wpływa to znacząco na wysokie ceny nawozów fosforowych.

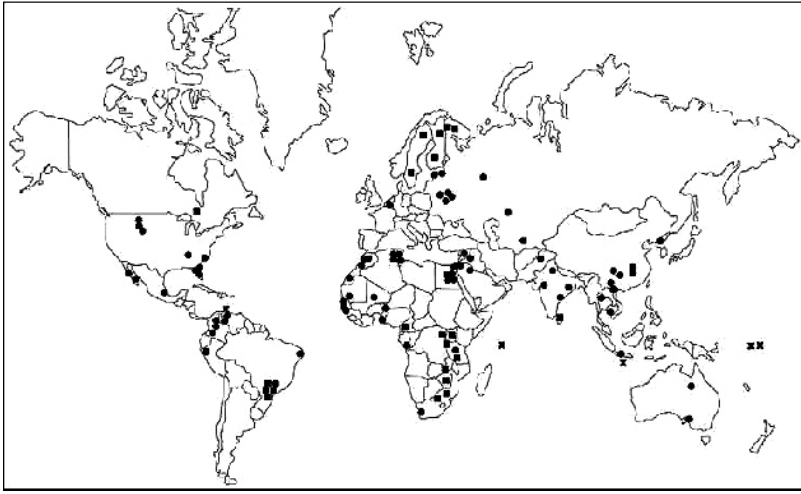
Rynek fosforytów na świecie

Głównym i jedynym ekonomicznie opłacalnym źródłem fosforu na Ziemi są naturalne kopaliny zwane fosforytami. Termin „fosforyt” odnosi się do skał zawierających minerały fosforanowe, w większości fosforany wapnia, które po wydobyciu wykorzystywane są głównie do produkcji kwasu fosforowego, a następnie nawozów fosforowych. Zawartość fosforu w różnych pokładach fosforytów na świecie jest zróżnicowana i waha się od 15 do 40% P_2O_5 , co wpływa na opłacalność wydobycia i konkurencyjność produkcji w różnych częściach globu.

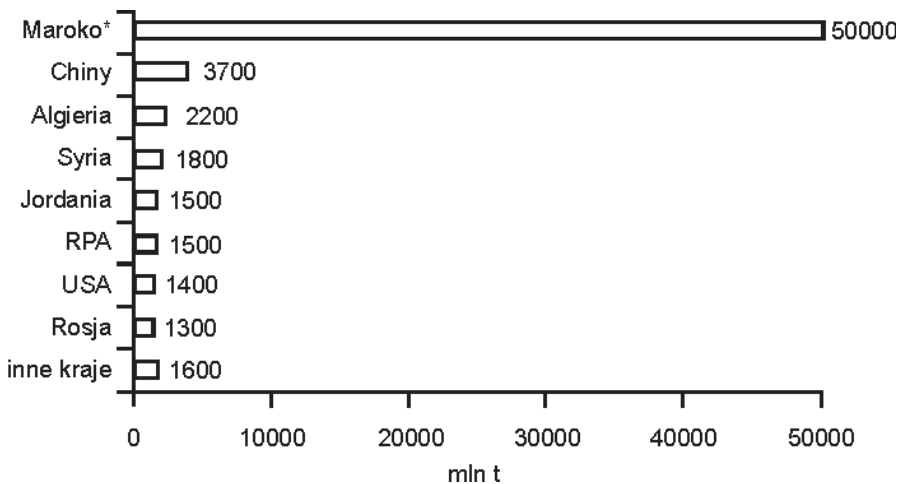
Naturalne fosforyty są, podobnie jak ropa naftowa, zasobami nieodnawialnymi. O ile jednak ropa naftowa ma takie substytuty jak węgiel czy gaz ziemny, to wyczerpanie złóż fosforytów doprowadziłoby do niedoboru nawozów fosforowych, a tym samym zagrożenia produkcji żywności na świecie. Pomimo że nie ma substytutów dla fosforu to może być on poddawany recyklingowi i ponownie odzyskiwany z odpadów przemysłowych, komunalnych i zwierzęcych [9, 31]. Naturalne fosforyty pozostają jednak jedynym opłacalnym ekonomicznie źródłem fosforu ponieważ nowoczesne technologie produkcji nawozów fosforowych wymagają surowca o wysokiej koncentracji fosforu. Z tego powodu oszacowanie światowych zasobów i rezerw fosforytów stało się jednym z poważniejszych problemów w ostatnich 20 latach [8, 32]. Mianem „rezerw” określa się pokłady nadające się do eksploatacji (opłacalne ekonomicznie), a pod nazwą „zasoby” rozumie się wszystkie skały zawierające fosfor bez względu na jego koncentrację w skale i usytuowanie pokładu.

Jeszcze do niedawna panowało przekonanie, że za 20–40 lat zostanie osiągnięty szczyt wydobycia fosforu (peak phosphorus), po czym jego produkcja zacznie drastycznie spadać z powodu wyczerpania opłacalnych złóż fosforytów [9, 29, 33]. Groziłoby to załamaniem się produkcji rolnej i brakiem możliwości wyżywienia ludności na świecie. Najnowsze badania odsuwają jednak moment wyczerpania fosforytów o 200–300 lat. Ogłoszony we wrześniu 2010 roku przez IFDC (International Fertilizer Development Center) raport pt. „Światowe rezerwy i zasoby fosforytów” [35] ocenia znacznie wyżej światowe złoża w porównaniu z danymi, na których opierano analizy na przyszłość, podawanymi dotychczas przez USGS (US Geological Survey). I tak według raportu IFDC wielkość światowych zasobów fosforytów wzrosła z 91 do 290 mld t, a rezerw z 15 do 60 mld t. Opublikowany w styczniu 2011 roku raport USGS [18] uwzględnia już te poprawki, zwiększając złoża zlokalizowane w Maroku i na Saharze Zachodniej o ponad 40 mld t i szacując światowe rezerwy na 65 mld t.

Rolnicy na całym świecie potrzebują nawozów fosforowych, jednak większość złóż, jest pod kontrolą zaledwie kilku państw (rys. 1 i 2). Największe złoża fosforytów zlokalizowane są w północnej Afryce. Ponad 80% światowych rezerw (pokładów nadających się do eksploatacji) znajduje się na terenie Maroka i okupowanej przez niego Sahary Zachodniej oraz Algierii. Ponadto większe, ekonomicznie opłacalne, złoża występują w Chinach, a także na Bliskim Wschodzie (Syria, Jordania), w RPA, USA (Północna Karolina i Floryda) i Rosji. Mniejsze złoża występują w Brazylii i Australii [18].

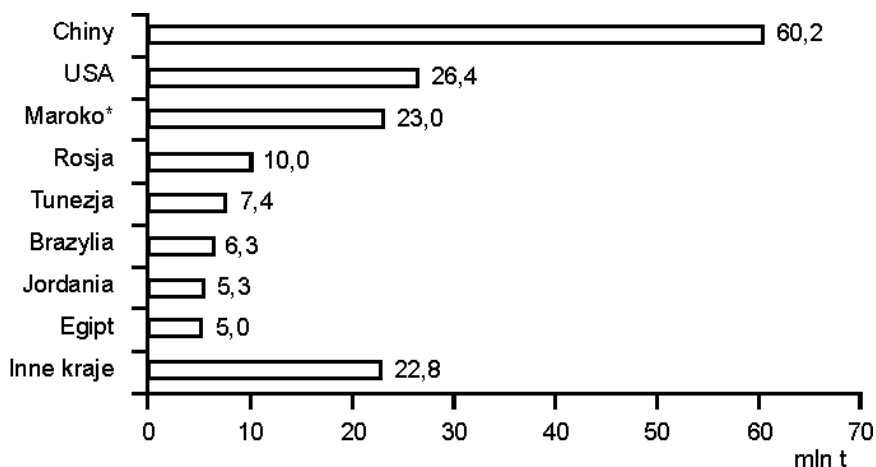


Rysunek 1. Rozmieszczenie złóż fosforytów na świecie; źródło [38]



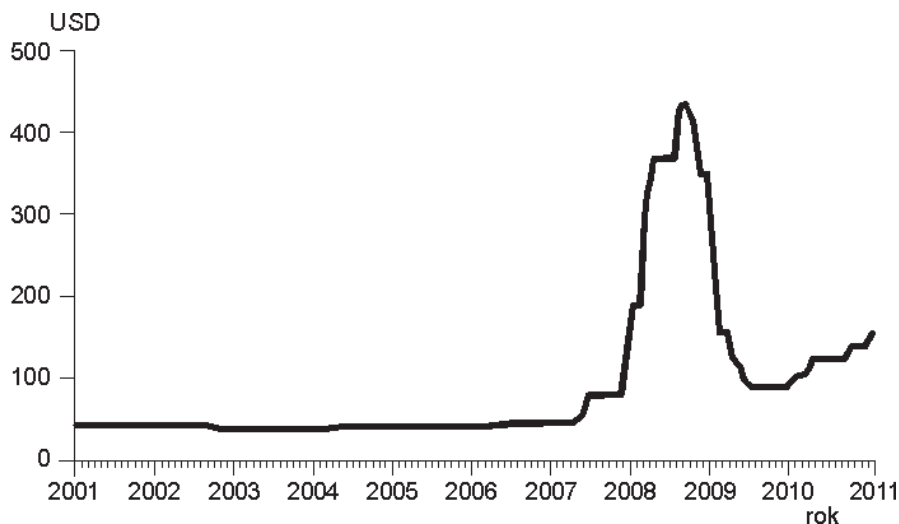
Rysunek 2. Rezerwy fosforytów na świecie, * Maroko wraz z Saharą Zachodnią; źródło: na podstawie danych USDS [18]

Aktualne światowe wydobycie fosforytów wynosi ponad 160 mln t rocznie i w okresie ostatnich 10 lat wzrosło o ok. 20%. Wydobycie fosforytów tylko częściowo pokrywa się z rozmieszczeniem złóż (rys. 2 i 3). Krajem przodującym w produkcji tego surowca są Chiny, które realizują prawie 40% światowego wydobycia. W ostatnich latach wydobycie fosforytów w Chinach dynamicznie wzrasta. W okresie 2005–2009 wzrosło dwukrotnie i tym samym Chiny znacznie wyprzedziły dotychczasowego lidera – Stany Zjednoczone. Obecnie Chiny wraz z USA i Marokiem kontrolują ponad 65% światowego wydobycia fosforytów. Szacuje się jednak, że rezerwy w USA wyczerpią się w ciągu 30 lat.



Rysunek 3. Państwa przodujące w wydobyciu fosforu w 2009 roku; źródło: na podstawie danych USDS [18]

Światowe ceny fosforu, silnie kształtowane przez Maroko, utrzymywały się na względnie stabilnym poziomie przez 3 dekady aż do 2005 roku. Jednocześnie światowe zużycie fosforu zaczęło rosnąć od 2003 roku, po długim okresie stabilizacji. Przyczyną tego wzrostu było ożywienie gospodarcze w Indiach i Chinach, a szczególnie wzrost produkcji rolnej tych państw związany ze zwiększonym stosowaniem nawozów mineralnych. Wynikiem tego był wzrost cen fosforu na światowych rynkach, który rozpoczął się w 2006 r. Cena tego surowca w latach 2006–2008 wzrosła 10-krotnie z 40 do 400 USD, spadając do poziomu 200 USD za tonę pod



Rysunek 4. Ceny rynkowe fosforu z Maroka (32,2% P_2O_5) na przestrzeni ostatniego dziesięciolecia w dolarach USA za 1 tonę; źródło: na podstawie danych Index Mundi (<http://www.indexmundi.com>)

koniec 2008 roku. Najniższy poziom cen fosforytów odnotowano w listopadzie 2009 r., gdy nastąpił przełom i ceny ponownie zaczęły wzrastać (rys. 4). Oczekuje się, że w 2011 r. ceny fosforytów na rynku światowym będą w dalszym ciągu rosnać. Dalszy wzrost cen ma być wynikiem rosnącego popytu na nawozy oraz zmiany polityki handlowej. Między innymi Chiny wprowadziły wysokie cła eksportowe, sięgające 135%, na wywóz fosforytów. Działanie rządu chińskiego ma na celu zapewnienie dostatecznej podaży nawozów na rynku wewnętrznym w 2011 r., jednakże oddziałuje ono na kształtowanie się podaży na rynku globalnym, a co za tym idzie również na kształtowanie się światowych cen fosforytów.

Mączki fosforytowe – tańsze źródło fosforu dla roślin

W naszym kraju do nawożenia roślin uprawnych fosforem używane są głównie superfosfaty i nawozy wieloskładnikowe [14]. Wprawdzie zawierają one fosfor dobrze rozpuszczalny w wodzie, o dobrej przyswajalności dla roślin, ale jednocześnie są źródłem potencjalnego zanieczyszczenia wód jonami fosforanowymi. Dodatkowym problemem środowiskowym związanym z produkcją superfosfatu potrójnego jest powstający uciążliwy odpad [17, 27]. W procesie jego otrzymywania wykorzystuje się bowiem kwas fosforowy, przy produkcji którego ubocznym produktem jest uwodniony siarczan wapnia, zwany potocznie fosfogipsem. Na każdą tonę wytworzonego kwasu fosforowego przypada około 5 ton odpadowego fosfogipsu.

Obecnie bilans fosforu w polskim rolnictwie jest dodatni [12, 19], ale w najbliższych latach należy spodziewać się zmiany tej sytuacji, w związku ze wzrostem cen na światowym rynku surowców fosforowych. Aktualna cena fosforytów, jest ponad 3-krotnie wyższa niż w 2006 roku (rys. 4), co przekłada się bezpośrednio na wzrost cen produkowanych nawozów fosforowych. Niezbędne staje się więc poszukiwanie tańszych i bezpieczniejszych dla środowiska źródeł fosforu do celów nawozowych.

Jednym z rozwiązań może być wykorzystywanie do nawożenia roślin naturalnych mielonych fosforytów (tzw. mączek fosforytowych) bez ich kosztownej przeróbki chemicznej. Mączka fosforytowa jest tańsza i stanowi mniejsze zagrożenie dla środowiska wodnego niż dobrze rozpuszczalne nawozy fosforowe. Wstępne wyniki badań modelowych nad przemieszczaniem się fosforanów do wód wskazują na mniejszą migrację jonów PO_4^{3-} po zastosowaniu mączek fosforytowych niż po zastosowaniu superfosfatów (projekt badawczy własny nr NN 523189035).

Czynniki wpływające na przyswajalność fosforu z mączek fosforytowych

Istotnym problemem związanym ze stosowaniem mączek jest mniejsza przyswajalność P dla roślin z tego typu nawozów. Ważnym zagadaniem jest więc zwiększenie rozpuszczalności fosforu, a tym samym wzrost jego dostępności dla roślin. Można to w pewnym stopniu osiągnąć poprzez odpowiedni dobór warunków glebowych i klimatycznych oraz gatunków roślin uprawnych dobrze wykorzystujących fosfor.

Odczyn gleby. Jednym z najważniejszych czynników glebowych mających wpływ na rozpuszczalność fosforytu jest odczyn gleby. Ponieważ proces rozkładu fosforytu wymaga dostarczenia protonów wodorowych, zachodzi on lepiej na glebach kwaśnych, gdzie jest ich dostatek. Wiadomo, że przy spadku odczynu gleby wzrasta rozpuszczalność zastosowanych mączek [26]. Uważa się, że mączki fosforytowe powinny być stosowane na glebach o pH równym lub niższym od 5,5 [5].

Zawartość wapnia i magnezu. Pomimo że zawartość Ca w glebie jest zazwyczaj bezpośrednio związana z jej odczynem, Wilson i Ellis [37] wykazali zmniejszenie rozpuszczalności fosforytu przy wzroście zawartości Ca w glebie, niezależnie od jej odczynu. Szczególnie ważna jest koncentracja w roztworze glebowym jonów Ca, które są również produktem rozkładu fosforytu. Istotne jest by jony Ca były usuwane z roztworu glebowego lub by ich koncentracja była utrzymywana na niższym poziomie niż w warstwie bezpośrednio otaczającej cząstki fosforytu. Jest to możliwe w warunkach pojemności sorpcyjnej gleby umożliwiającej wiązanie jonów Ca uwalnianych przy rozkładzie fosforytu lub w warunkach ich wypłukiwania [6]. Stopień rozpuszczalności fosforytów stosowanych bezpośrednio w formie mączek zależy również od składu granulometrycznego gleby. Gleby lekkie charakteryzują się zazwyczaj niską kationową pojemnością wymienną, co wiąże się z niewielkimi możliwościami sorbowania uwalniających się w procesie rozkładu jonów Ca. W rejonach o niedużych opadach może się to wiązać ze spadkiem rozpuszczalności zastosowanego fosforytu, a tym samym ze zmniejszeniem jego efektywności nawozowej. W przypadku gleb lekkich z rejonów o większych opadach, jony Ca mogą być wypłukiwane w głąb profilu glebowego i tym samym usuwane z sąsiedztwa cząstek fosforytu [38]. Ostatnie badania wykazały, że duża zawartość Mg wymiennego w glebie może poprawiać rozpuszczalność fosforytów [23].

Zawartość substancji organicznej. Kolejnym czynnikiem glebowym mającym dodatni wpływ na rozkład fosforytów i dostępność fosforu dla roślin jest zawartość substancji organicznej w glebie [7]. Wpływ ten jest wynikiem dużej pojemności kationowej substancji organicznej, tworzeniem kompleksów Ca-substancja organiczna oraz obecnością kwasów organicznych rozpuszczających fosforyt.

Dobór rośliny uprawnej. Nie bez znaczenia jest również dobór rośliny uprawnej. Poszczególne gatunki roślin różnią się zarówno potrzebami pokarmowymi względem fosforu, jak i możliwością jego pobierania z roztworu glebowego [2]. Co więcej, gatunki roślin mogą różnić się zdolnością do pobierania trudno rozpuszczalnych form fosforu, niedostępnych dla innych gatunków [16]. Wiadomo, że rośliny motylkowate mają szczególnie dużą zdolność do uruchomienia fosforu poprzez zakwaszenie strefy korzeniowej [34]. Ponadto fosfor z mączek fosforytowych dobrze wykorzystywany jest przez roślinność trwałych użytków zielonych oraz rzepak [21].

Zwiększenie efektywności mączek poprzez wykorzystanie procesów mikrobiologicznych zachodzących w glebie

Interesującą możliwością zwiększenia dostępności dla roślin fosforu z fosforytów jest aktywizacja procesów mikrobiologicznych zachodzących w glebie, czyli wykorzystanie mikroorganizmów lub wytwarzanych przez nie produktów do rozkładu nierozpuszczalnego fosforytu. Badania nad tym zagadnieniem są obecnie licznie prowadzone zarówno na świecie jak i w państwach UE [5, 4, 15, 20, 28, 38]. W celu zwiększenia aktywności mikrobiologicznej stosuje się różne dodatki do nawozów lub do gleby, które wpływają korzystnie na rozwój mikroorganizmów glebowych.

Dodatek siarki. Jednym z takich dodatków jest siarka [11]. Idea stosowania mieszanek fosforytu z siarką polega na tym, że występujące w glebie bakterie siarkowe utleniają S do H_2SO_4 . Kwas reaguje z cząstkami fosforytu, które muszą być w dużej bliskości do S, w wyniku czego powstają fosforany jedno- i dwuwapniowe. Pewną modyfikacją tego procesu może być dodatek melasy jako źródła węgla organicznego dla bakterii. Mieszanki fosforytu z siarką zasługują na uwagę ze względu na ich mały koszt, elastyczność stosunku fosforyt : siarka, możliwość użycia „gorszych” fosforytów nieprzydatnych w produkcji dobrze rozpuszczalnych nawozów fosforowych oraz stopniowego uwalniania P i S z nawozów, co jest niezmiernie istotne z punktu widzenia ochrony środowiska. Wadą mieszanek fosforytowo-siarkowych (F/S) jest konieczny duży stopień rozdrobnienia siarki (95% min. 0,150 mm), która powinna być zmielona razem z fosforytem lub osobno i następnie z nim wymieszana. Mielenie S bez fosforytu lub na sucho, bez dodatku wilgoci, niesie ryzyko zapalenia i nie jest zalecane. Pomimo tych niedogodności w Nowej Zelandii produkowane są aktualnie mieszanki F/S z dodatkiem bakterii *Thiobacillus* pod nazwą „EnviroPhos” [38].

Czynniki mające wpływ na skuteczność mieszanek F/S to: jakość fosforytu, stosunek F:S, rodzaj uprawianych roślin oraz rodzaj gleby. Skuteczność mieszanek F/S można zwiększyć zarówno poprzez wzrost jakości zastosowanych fosforytów, jak i stopień ich przemiału. Należy przypuszczać, że wzrost dodatku S będzie powodował zwiększenie agronomicznej skuteczności tych mieszanek. Jednak większy dodatek siarki wiąże się z wyższym kosztem produktu. Wcześniejsze badania wykazały, że mieszanki F/S mogą dorównywać skuteczności superfosfatu pojedynczego, gdy stosunek F:S oscyluje pomiędzy 1:1 a 5:1. Przy zastosowaniu większych stopni przemiału fosforytu stosunek ten może być zwiększony do 7:1 bez spadku skuteczności mieszanki [24]. W uprawach wieloletnich, takich jak np. pastwiska, mieszanki F/S o stosunku 14:1 mogą dorównywać superfosfatowi [25]. W uprawach roślin o krótszym okresie wegetacji i dużych potrzebach fosforowych konieczne byłoby stosowanie mieszanek F/S wytwarzanych z wysokogatunkowych fosforytów o wąskim stosunku F:S. Należy podkreślić, że przy czynnikach środowiskowych sprzyjających rozpuszczalności fosforytu, takich jak: duża wilgotność, zakwaszenie gleby i wysoka

zawartość C org., mieszanki F/S przygotowane z gorszych jakościowo fosforytów i na bazie szerszego stosunku F:S mogą dorównywać innym nawozom fosforowym.

Kompostowanie. Innym sposobem, poza dodatkiem S, zwiększenia dostępności fosforu dla roślin jest kompostowanie mielonych fosforytów z surowcami organicznymi. Produkty metabolizmu mikroorganizmów rozkładających materię organiczną powodują rozkład fosforytu, uruchamiając związki fosforanowe, łatwo dostępne dla roślin. Wzrost rozpuszczalności fosforu w wyniku kompostowania spowodowany jest oddziaływaniem na fosforyt kwasów organicznych, substancji huminowych oraz innych substancji wykazujących działanie chelatujące, produkowanych przez mikroorganizmy podczas rozkładu surowców organicznych [30, 36]. Proces ten jest nadal kontynuowany w glebie po zastosowaniu omawianego produktu [13]. Surowcami organicznymi używanymi do kompostowania mogą być np. wysłodki buraczane, obornik czy resztki roślinne. Stosunek surowca organicznego do fosforytu w tego typu kompostach powinien wynosić 4:1 [3, 38]. Ważny jest również stosunek C:N, który powinien mieścić się w zakresie 35:1–25:1 [22, 39]. W literaturze światowej podkreśla się potrzebę badań nad kompostami fosforytowo-organicznymi [10, 32]. Szczególnie weryfikacji wymaga zagadnienie opłacalności tego typu nawozów w produkcji polowej.

Podsumowanie

W związku dużymi wahaniami i utrzymującą się od 2005 roku tendencją wzrostową cen surowców fosforytowych na świecie, ceny nawozów fosforowych w Polsce są coraz wyższe. W tej sytuacji koniecznością staje się poszukiwanie tańszych źródeł fosforu dla rolnictwa. Jedną z możliwości jest stosowanie nieprzetworzonych chemicznie, naturalnych mielonych fosforytów. Kierunek ten wymaga zintensyfikowania badań dotyczących zwiększenia przyswajalności dla roślin fosforu z tego typu nawozów. Wyjątkowo obiecujące wydają się metody wykorzystujące mikroorganizmy glebowe do rozkładu struktury apatytowej, a tym samym uruchomienia związków fosforanowych w sferze korzeniowej roślin. Jedną z tego typu metod jest wykorzystanie aktywności bakterii siarkowych i zastosowanie dodatku siarki do fosforytu. Inną interesującą metodą jest kompostowanie fosforytu z dodatkami organicznymi. W obu przypadkach wydzieliny i metabolity mikroorganizmów oddziałują na fosforyt powodując jego rozkład, a tym samym uruchamiając fosfor trudno dostępny dla roślin.

Literatura

- [1] Aria M.M., Lakzian A., Haghnia G.H., Berenji A.R. 2010. Effect of *Thiobacillus*, sulfur, and vermicompost on the water-soluble phosphorus of hard rock phosphate. *Bioresour. Technol.* 101: 551–554.
- [2] Baligar V.C., Fageria N.K., and He. Z.L. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32: 921–950.
- [3] Biswas D.R., Narayanasamy G. 2006. Rock phosphate enriched compost: an approach to improve low-grade Indian rock phosphate. *Bioresour. Technol.* 97(18): 2243–2251.

- [4] Bojinova D., Velkova R., Ivanova R. 2008. Solubilization of Morocco phosphorite by *Aspergillus niger*. *Bioresour. Technol.* 99: 7348–7353.
- [5] Bolan N.S., Hedley M.J. 1990. Dissolution of phosphate rocks in soils. 2. Effect of pH on the dissolution and plant availability of phosphate rock in soil with pH dependent charge. *Fert. Res.* 24: 125–134.
- [6] Bolan N.S., White, R.E., Hedley M.J. 1990. A review of the use of phosphate rocks as fertilizers for direct application in Australia and Zealand. *Aust. J. Exp. Agric.* 30(2): 297–313.
- [7] Chien S.H., Menon R.G. 1995. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fert. Res.* 41: 227–234.
- [8] Cisse L., Mrabet T. 2004. World phosphate production: overview and prospects. *Phosphorus Research Bulletin* 15: 21–25.
- [9] Cordell D., Drangert J., White S. 2009. The story of phosphorus: global food security and food for thought. *Global Environ. Change* 19: 292–305.
- [10] Evans J., McDonald L., Price A. 2006. Application of reactive phosphate rock and sulphur fertilisers to enhance the availability of soil phosphate in organic farming. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 75: 233–246.
- [11] Evans C.J., Price A. 2009. Influence of rates of reactive phosphate rock and sulphur on potentially available phosphorus in organically managed soils in the south-eastern near-Mediterranean cropping region of Australia. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 84: 105–118.
- [12] Fotyma M. 2003. Fertilizer consumption by crops. *Fertilizers and Fertilization* 1: 30–43.
- [13] Geiger S.C., Manu A., Bationo A. 1992. Changes in a sandy Sahelian soil following crop residue and fertilizer additions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 172–177.
- [14] Górecki H., Biskipski A., Hoffmann J. 2002. Postęp w technologii produkcji nawozów fosforowych z uwzględnieniem wykorzystania surowców wtórnych i odpadowych. *Nawozy i Nawożenie* 4: 9–36.
- [15] Hameeda B., Kumar Y.H., Rupela O.P., Kumar G.N., Reddy G. 2006. Effect of carbon substrates on rock phosphate solubilization by bacteria from compost and macrofauna. *Appl. Environ. Microbiol.* 53: 2699–2703.
- [16] Hocking P.J. 2001. Organic acids exuded from roots in phosphorus uptake and aluminium tolerance of plants in acid soils. *Adv. Agron.* 74: 63–93.
- [17] IFA/UNEP: 2002. Industry as a partner for sustainable development. Paris: 64 ss.
- [18] Jasinski S.M. 2011. U.S. Geological survey, Mineral Commodity Summaries, chapter Phosphate rock, United States Government Printing Office, Washington: 118–119.
- [19] Kopiński J., Tujaka A., Igras J. 2006. Nitrogen and phosphorus budgets in Poland as tool for sustainable nutrients management. *Acta Agriculture Slovenica* 87: 173–181.
- [20] Łabętowicz J., Rutkowska B., Szulc W. 2002. Fosforyt powlekany siarką jako nawóz fosforowo-siarkowy. *Nawozy i Nawożenie* 4: 60–66.
- [21] Montenegro A., Zapata F. 2002. Rape genotypic differences in P uptake and utilization from phosphate rocks in an andisol of Chile. *Nut. Cyc. Agroecosys.* 63(1): 27–33.
- [22] Nishanth D., Biswas D.R. 2008. Kinetics of phosphorus and potassium release from rock phosphate and waste mica enriched compost and their effect on yield and nutrient uptake by wheat (*Triticum aestivum*). *Bioresour. Technol.* 99: 3342–3353.
- [23] Perrott K. 2003. Direct application of phosphate rocks to pastoral soils – phosphate rock reactivity and the influence of soil and climatic factors. W: S.S.S. Rajan, S.H. Chien (eds.) Direct application of phosphate rock and related technology: latest developments and practical experiences. Proc. Int. Meeting, Kuala Lumpur, 16–20 July 2001. Muscle Shoals, USA, IFDC: 441 ss.
- [24] Rajan S.S.S. 1983. Effect of sulphur content of phosphate rock/sulphur granules on the availability of phosphate to plants. *Fert. Res.* 4: 287–296.
- [25] Rajan S.S.S. 2002. Comparison of phosphate fertilizers for pasture and their effect on soil solution phosphate. *Commun. Soil Sci. Plant. Anal.* 33: 2227–2245.
- [26] Robinson J.S., Syers J.K., Bolan N.S. 1992. Importance of proton supply and calcium-sink size in the dissolution of phosphate rock materials of different reactivity in soil. *J. Soil Sci.* 43: 447–459.
- [27] Rutherford P.M., Dudas M.J., Samek R.A. 1994. Environmental impacts of phosphogypsum. *Sci. Total Environ.* 149: 1–38.
- [28] Sahu S.N., Jana B.B. 2000. Enhancement of the fertilizer value of rock phosphate engineered through phosphate-solubilizing bacteria. *Ecological Engin.* 15: 27–39.
- [29] SA Report. 2010. A rock and a hard place. Peak phosphorus and the threat to our food security. Soil Association. 23 ss., dostępne jako: <http://www.soilassociation.org/LinkClick.aspx?fileticket=eeGPQJORrkw%3d&tabid=1259>
- [30] Singh C.P., Amberger A. 1998. Organic acids and phosphorus solubilization in straw composted with rock phosphate. *Bioresour. Technol.* 63: 13–16.

- [31] Smit A.L., Bindraban P.S., Schröder J.J., Conijn J.G., van der Meer H.G. 2009. Phosphorus in agriculture: global resources, trends and developments. Report 282, Plant Research International, Wageningen, Netherlands: 1–36.
- [32] Stockdale E.A., Watson C.A., Edwards A.C. 2006. Phosphate rock: Using biological processes to increase its effectiveness as a fertiliser. *International Fertiliser Society Proceedings* 592, York UK: 24 ss.
- [33] Vaccari D.A. 2009. Phosphorus: A looming crisis. *Sci. Am.* 300(6): 54–59.
- [34] Vance C.P., Uhde-Stone C., Allan D.L. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptation by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist* 157: 423–447.
- [35] Van Kauwenbergh S.J. 2010. World phosphate rock reserves and resources. Muscle Shoals, Alabama, IFDC: 1–48.
- [36] Vassilev N., Vassileva M. 2003. Biotechnological solubilization of rock phosphate on media containing agro-industrial wastes. *Microbiol. Biotechnol.* 61: 435–440.
- [37] Wilson M.A., Ellis B.G. 1984. Influence of calcium solution activity and surface area on the solubility of selected rock phosphates. *Soil Sci.* 138: 354–359.
- [38] Zapata F., Roy R.N. 2004. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. *FAO Fert. Plant Nutr. Bul.* 13. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- [39] Zayed G., Motaal H.A. 2005. Bio-production of compost with low pH and high soluble phosphorus from sugarcane bagasse enriched with rock phosphate. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 21: 747–752.

New trends in using rock phosphates in agriculture

Key words: rock phosphate, sources and reserves, direct application, P availability, S addition, composting

Summary

This paper deals with the necessity to find an inexpensive sources of phosphorus for farming. The resources, reserves, production and prices of phosphate raw materials are discussed. In addition, the subject of fertilizing crops with ground phosphates, without any expensive chemical processing, the so-called rock phosphate direct application, is mentioned. In greater details, we discuss the factors which affect the availability of phosphorus derived from ground phosphates, such as pH, content of Ca, Mg or organic matter in soil, and an appropriately selected crop. More attention is paid to the issue of enhancing the availability of phosphorus from phosphates by activating microbiological processes in soil. Among some promising solutions are sulphur supplementation of phosphate, thus taking advantage of the activity of sulphur bacteria or composting phosphate with organic additives.