

ROZPUSZCZANIE FOSFORU NIEORGANICZNEGO W ZRÓŻNICOWANYCH WARUNKACH AKTYWNOŚCI BIOLOGICZNEJ GLEBY

Agnieszka Lis-Krzyścin, Janina Ostrowska, Irena Waćławska

Streszczenie. Przedmiotem prezentowanej pracy jest szkło nawozowe otrzymane w Katedrze Szkła i Ceramiki AGH, mogące dostarczyć uprawianym roślinom szeroki zestaw makro- i mikroelementów. Celem pracy jest określenie możliwości zwiększenia wykorzystania zawartego w szklach nawozowych fosforu w porównaniu z nawozami pojedynczymi przez wprowadzenie do gleby bakterii fosforowych *Bacillus megaterium* var. *phosphateum* wyizolowanych z gleby, na której przeprowadzono doświadczenie i namnożeń na pożywce mineralnej. Otrzymane wyniki wykazują wzrost zawartości fosforu w glebach nawożonych szkłem nawozowym po wprowadzeniu do niej bakterii. Zestawiając otrzymane wyniki z wcześniejszymi danymi określającymi zachowanie szkła nawozowego w środowisku glebowym, istnieje możliwość opracowania parametrów, w których składniki pokarmowe, a szczególnie fosfor, będą miały największą rozpuszczalność i dostępność dla roślin.

Słowa kluczowe: szkła nawozowe, nawożenie, bakterie fosforowe, pobieranie fosforu nieorganicznego

WSTĘP

Nawozy fosforowe różnią się między sobą technologią produkcji, zawartością fosforu, jego rozpuszczalnością i dostępnością dla roślin. Ostatnie z wymienionych cech mają duże znaczenie w produkcji roślinnej. Poszukuje się nowych nawozów, z których wykorzystanie fosforu byłoby większe niż z nawozów konwencjonalnych. Znaczna rozpuszczalność nawozów konwencjonalnych prowadzi do strat składników pokarmowych w wyniku wymycia, a w wypadku nawozów fosforowych przejścia w formy nierozpuszczalne. Próbuje się temu zaradzić, wprowadzając nawozy o spowolnionym działaniu, ograniczające straty składników i zmniejszające niebezpieczeństwo przenawożenia roślin. Spowolnienie rozpuszczania nawozów mineralnych osiąga się przez ich granulację i otoczkowanie, co powoduje wprowadzanie do gleby różnego rodzaju polimerów impregnujących, żywic i związków kompleksujących, co jest niekorzystne dla

środowiska. Nawozami zawierającymi odpowiedni zestaw makro- i mikroelementów mającymi cechy nawozów o spowolnionym działaniu są szkliste nawozy mineralne na bazie szkielek krzemianowo-potasowo-fosforanowych opracowane w Katedrze Szklania i Emalii AGH w Krakowie [Stoch 1997]. Skład chemiczny szkielek nawozowych może być regulowany w szerokim zakresie w zależności od wymagań pokarmowych roślin; zawiera się on w następujących przedziałach: $\text{SiO}_2 > 27\%$ wag., $\text{P}_2\text{O}_5 - 0-15\%$ wag., $\text{CaO} - 15-30\%$ wag., $\text{MgO} - 15-30\%$ wag., $\text{K}_2\text{O} - 0-20\%$ wag., plus zestaw mikroelementów $0-10\%$ wag.

Szklania nieorganiczne wprowadzone do gleby po wylugowaniu składników użytecznych stanowią pozostałość całkowicie nieszkodliwą zgodną pod względem właściwości i składu ze składnikami mineralnymi gleb. Mogą więc być traktowane jako nawozy ekologiczne [Stoch i in. 2000].

Przydatność ich w uprawach roślin ogrodnich została potwierdzona w doświadczeniach uprawowych prowadzonych w Katedrze Uprawy Roli i Nawożenia Roślin Ogrodnich [Ostrowska i in. 1998, 2000]

W latach 2000–2001 prowadzono w Katedrze Uprawy Roli i Nawożenia Roślin Ogrodnich AR w Krakowie oraz w Katedrze Szklania i Emalii AGH w Krakowie badania, których celem było poznanie tempa selektywnego uwalniania składników pokarmowych w wyniku rozpuszczania cząstek szkielek nawozowego w zależności od warunków środowiska glebowego: pH, zawartości składników pokarmowych, temperatury [Stoch i in. 2000, Waclawska i in. 2001]. W latach 2001–2002 prowadzono badania, których celem było określenie wpływu zróżnicowanych warunków aktywności biologicznej gleby na rozpuszczalność fosforu w szkielekach nawozowych w porównaniu do rozpuszczalności fosforu w tych samych warunkach w nawozach pojedynczych po wprowadzeniu do gleby bakterii fosforowych *Bacillus megaterium var. phosphatum* w warunkach polowych.

MATERIAŁ I METODY

Doświadczenie założono w szkółce produkcyjnej w Zelkowie k. Krakowa w latach 2001–2002. Materiałem doświadczalnym w pierwszym i drugim roku trwania doświadczenia były okulanty jabłoni odmiany 'Sunrise' na podkładce M9. Posadzono je w wazonach Mitscherlicha w glebie o składzie mechanicznym pyłu ilastego (pfi), pobranej z warstwy ornej 0–20 cm. Zasobność gleby użytej do doświadczenia, w przyswajalne składniki pokarmowe N, P, K i Mg była niska – ocenę przeprowadzono, opierając się na tymczasowych liczbach granicznych dla określenia potrzeb nawozowych szkielek jabłoniowych wg Kłossowskiego i Czynczyka cyt. za Rejmanem i Makoszem [1994]. Odczyn gleby mierzony w KCl (pH_{KCl}) wynosił 4,3 w roku 2001 i 4,6 w roku 2002, a zawartość próchnicy kształtowała się na poziomie 1,4%. Kwaterę sadu zwapnowano w 2000 r., stosując węgiel wapniowy według ogólnie przyjętych zasad. Doświadczenie obejmowało następujące kombinacje nawozowe: 1 – nawozy pojedyncze, 2 – szkielek nawozowe, 3 – nawozy pojedyncze + bakterie, 4 – szkielek nawozowe + bakterie.

Do gleby w wazonach, o pojemności 4 dm³, w kombinacji pierwszej i trzeciej wprowadzono 1 g saletry amonowej, 5 g superfosfatu potrójnego i 4 g saletry potas-

wej. Szkło nawozowe zastosowano w dawce 12 g w formule opracowanej do nawożenia szkółek i sadów P:K:Mg z uzupełniającym go nawożeniem azotowym w postaci 4 g mocznika. Dawki te odpowiadały 70 kg N·ha⁻¹, 280 kg K·ha⁻¹, 190 kg P·ha⁻¹ [Szwedo i Murawska 1998]. Ponadto w okresie wegetacji wszystkie obiekty dokarmiano dogłębnie sześciokrotnie mocznikiem w dawce 1,7 g·wazon⁻¹, co odpowiada 30 kg N·ha⁻¹. Z końcem maja do gleby w wazonach w kilku miejscach na głębokość 5 i 15 cm wprowadzono bakterie fosforowe *Bacillus megaterium* var. *phosphateum* wyizolowane z gleby użytej do doświadczenia i namnożone na pożywce mineralnej. Do każdego wazonu w obiektach 3 i 4 wprowadzono 100 cm³ pożywki zawierającej 5 mld bakterii w 1 cm³. Pielęgnacja i ochrona w szkółce były prowadzone według obowiązujących zaleceń. Pod koniec września 2001 i 2002 określono wysokość drzewek i średnicę pnia na wysokości 30 cm. Drzewka doświadczalne pod względem wysokości i średnicy pnia odpowiadały parametrom dla I wyboru dla jednorocznych okulantów (PN-88/R-67011, cyt. za Rejmanem i Makoszem [1994]). Przed nawożeniem i po zakończeniu wegetacji wykonano we wszystkich obiektach analizę gleby. Fosfor oznaczono kolorymetrycznie, a potas, wapń i magnez przy użyciu spektrofotometru absorpcji atomowej AAS, azot natomiast metodą destylacyjną Bremnera w modyfikacji Starcka. Analizując poszczególne składniki, zastosowano: dla P i K – wyciąg przygotowany metodą Egnera-Riehma, dla N i Ca – wyciąg przygotowany metodą uniwersalną, a dla Mg – wyciąg przygotowany metodą Schachtschabela. Przeprowadzono również analizę materiału roślinnego ogólnie przyjętymi metodami [Sady i in. 1994].

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 1 i 2 przedstawiono zawartość przyswajalnych makroskładników w glebie po zakończeniu wegetacji jednorocznych okulantów w latach 2001 i 2002 w zestawieniu z ich zawartością przed zastosowaniem nawożenia i wprowadzeniem bakterii. Ocenę makroskładników w glebie przeprowadzono, opierając się na liczbach granicznych dla określenia potrzeb nawozowych szkółek jabłoniowych według Kłossowskiego i Czynczyka cytowanych przez Rejmana i Makosza [1994].

We wszystkich obiektach po uprawie (po zakończeniu sezonu wegetacyjnego) wzrosło stężenie roztworu glebowego w stosunku do wyjściowego i kształtowało się na zbliżonym poziomie 0,5 mS·cm⁻¹ (tab. 1 i 2).

Zawartość azotu w glebie, w stosunku do wartości granicznych, kształtowała się na niskim poziomie we wszystkich nawożonych obiektach. W obiektach ze szkłem nawozowym zawartość azotu była wyższa niż w obiektach nawożonych nawozami pojedynczymi. Najwyższe zawartości fosforu zanotowano w obiekcie nawożonym nawozami pojedynczymi bez bakterii i w obiekcie nawożonym szkłem nawozowym z bakteriami. Wprowadzenie bakterii fosforowych wpłynęło na podniesienie zawartości przyswajalnego potasu w glebie (z wyjątkiem obiektu nawożonego nawozami pojedynczymi w 2001 r.), najwyższe jego stężenie zanotowano w kombinacji ze szkłem nawozowym z bakteriami. Zawartość magnezu była najwyższa w obiektach nawożonych szkłem nawozowym. W obiektach bez zastosowania bakterii była niższa niż w obiektach po zastosowaniu bakterii. Najniższa zawartość magnezu była w obiektach nawożonych

nawozami pojedynczymi bez bakterii i po wprowadzeniu bakterii. Ogólnie zawartość magnezu w glebie była niższa w obiektach bez zastosowania bakterii fosforowych. Wyższą koncentrację tego składnika stwierdzono w obiektach nawożonych szkłem nawozowym. Zawartość wapnia we wszystkich obiektach była optymalna w stosunku do wartości granicznych (tab. 1 i 2).

Ocenę zawartości składników pokarmowych w liściach (rys. 1 i 2) przeprowadzono, opierając na danych Kłossowskiego i Czynczyka [za Rejmanem i Makoszem 1994]. W stosunku do liczb granicznych zawartość azotu, w obu latach trwania doświadczenia,

Tabela 1. Zawartość przyswajalnych makroelementów oraz pH_{KCl} i EC w glebie przed rozpoczęciem i po zakończeniu okresu wegetacji w 2001

Table 1. Content of macroelements and pH_{KCl} and EC in soil before and after vegetation in 2001

	pH_{KCl}	EC mS cm^{-1}	Zawartość (mg kg^{-1} gleby) Content (mg kg^{-1} of soil)					
			N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Mg	Ca
Przed rozpoczęciem Before vegetation	4,05	0,30	16,1	46,0	14,7	75,6	46,9	299,0
Po zakończeniu After vegetation	1* 4,29	0,40	25,3	46,0	19,2	111,8	12,6	145,9
	2 4,08	0,52	25,3	96,6	15,4	101,5	42,1	143,3
	3 4,08	0,50	11,5	64,4	15,7	82,0	13,5	149,2
	4 4,02	0,51	16,1	105,9	16,7	137,5	48,7	157,2

*Kombinacje nawozowe. Fertilizing combinations.

1 – nawozy pojedyncze – single fertilizers

2 – szkło nawozowe – glassy fertilizer

3 – nawozy pojedyncze + bakterie – single fertilizers + bakteria

4 – szkło nawozowe + bakterie – glassy fertilizer + bakteria

Tabela 2. Zawartość przyswajalnych makroelementów oraz pH_{KCl} i EC w glebie przed rozpoczęciem i po zakończeniu okresu wegetacji w 2002

Table 2. Content of macroelements and pH_{KCl} and EC in soil before and after vegetation in 2002

	pH_{KCl}	EC mS cm^{-1}	Zawartość (mg kg^{-1} gleby) Content (mg kg^{-1} of soil)					
			N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Mg	Ca
Przed rozpoczęciem Before vegetation	4,6	0,3	35,0	85,0	12,5	95,0	48,0	302,0
Po zakończeniu After vegetation	1* 4,70	0,50	16,9	64,4	30,0	118,5	23,5	175,0
	2 4,08	0,55	34,0	96,6	25,0	124,0	32,0	156,0
	3 4,20	0,54	48,0	105,0	25,7	132,0	29,0	209,0
	4 4,02	0,48	55,0	120,0	32,5	148,0	38,0	162,5

*Kombinacje nawozowe. Fertilizing combinations.

1 – nawozy pojedyncze – single fertilizers

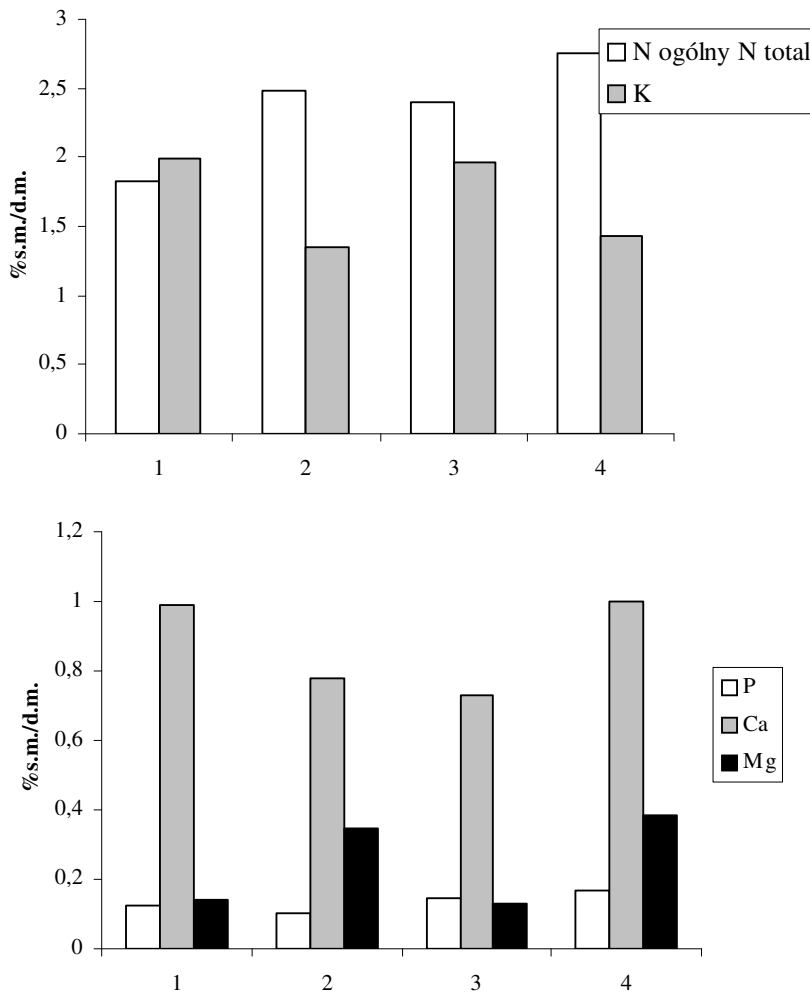
2 – szkło nawozowe – glassy fertilizer

3 – nawozy pojedyncze + bakterie – single fertilizers + bakteria

4 – szkło nawozowe + bakterie – glassy fertilizer + bakteria

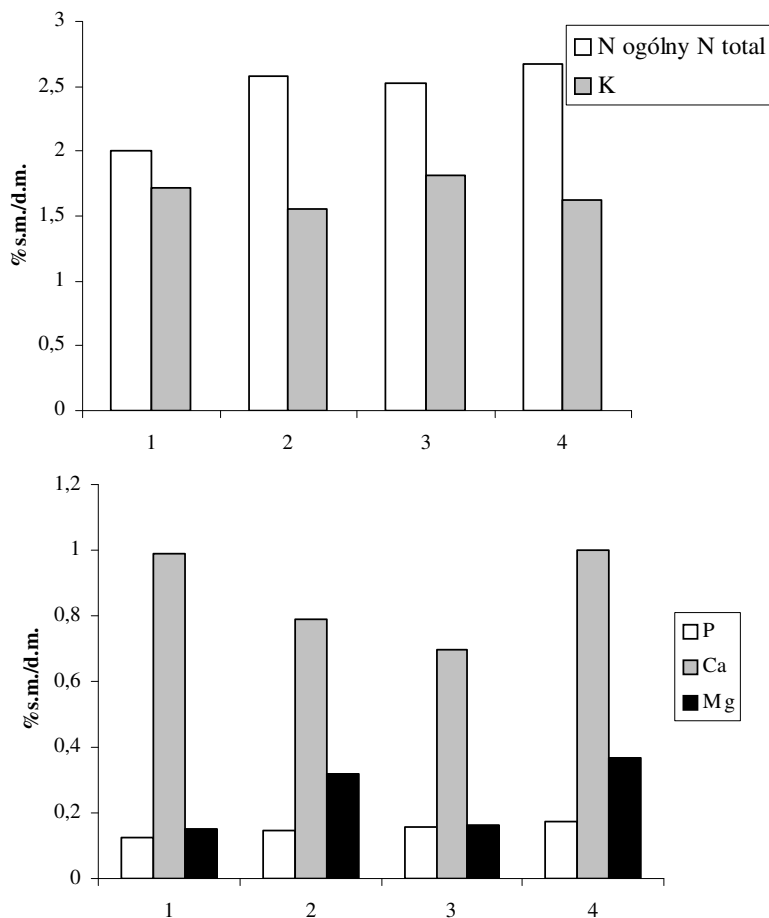
kształtowała się na poziomie deficytowym w obiektach nawożonych nawozami pojedynczymi. W obiektach nawożonych szkłem nawozowym bez bakterii oraz we wszystkich obiektach z wprowadzonymi bakteriami zawartość azotu mieściła się w zakresie

zawartości optymalnych. Na poziomie optymalnym kształtowała się zawartość fosforu w obiekcie nawożonym szkłem nawozowym z bakteriami (najwyższe zawartości) oraz w obiekcie nawożonym nawozami pojedynczymi z bakteriami w 2002 r. Na poziomie niskim zaś utrzymywała się w obiektach nawożonych nawozami pojedynczymi, nawozami pojedynczymi z bakteriami (2001 r.) oraz szkłem nawozowym (rys. 1 i 2).



Rys. 1. Zawartość makroskładników w liściach jabłoni 2001. Kombinacje nawozowe: 1 – nawozy pojedyncze, 2 – szkło nawozowe, 3 – nawozy pojedyncze + bakterie, 4 – szkło nawozowe + bakterie

Fig. 1. Content of macroelements in apple leaves 2001. Fertilizing combinations: 1 – single fertilizers, 2 – glassy fertilizer, 3 – single fertilizers + bacteria, 4 – glassy fertilizer + bacteria



Rys. 2. Zawartość makroskładników w liściach jabłoni w 2002 r. Kombinacje nawozowe: 1 – nawozy pojedyncze, 2 – szkło nawozowe, 3 – nawozy pojedyncze + bakterie, 4 – szkło nawozowe + bakterie

Fig. 2. Content of macroelements in apple leaves 2002. Fertilizing combinations: 1 – single fertilizers, 2 – glassy fertilizer, 3 – single fertilizers + bacteria, 4 – glassy fertilizer + bacteria

Zwiększona zawartość fosforu, potasu i magnezu w obiektach nawożonych szkłem nawozowym bez bakterii i po wprowadzeniu bakterii spowodowana jest specyfiką rozpuszczania szkła nawozowych [Stoch i in. 2000]. Proces rozpuszczania szkła nawozowego rozpoczyna się od wymywania w pierwszej kolejności magnezu i fosforu, a następnie potasu oraz wapnia, wzbogacając równocześnie powierzchnie szkła w żel krzemionkowy. Następuje krystalizacja wtórnych minerałów typu krzemianów wapnia i potasu, które ulegają stopniowemu rozkładowi połączone z uruchamianiem zawar-

tych w nich kationów. Mechanizm ten jest podobny do naturalnych procesów wietrzeńowych, polegających na zjawisku określanym jako rozpuszczanie inkogruentne. Charakteryzuje się ono tym, że składniki rozpuszczonego ciała stałego przechodzą do roztworu w innych proporcjach, niż w nich występują. Część z nich bierze bowiem udział w tworzeniu warstwy stałych produktów na granicy ciało stałe – roztwór [Korapetjanc 1983]. W cykl tych przemian są ściśle włączone organizmy glebowe, uczestniczące w rozpuszczaniu fosforu nieorganicznego i mineralizacji fosforu organicznego. Są bardzo ważnym czynnikiem w biologicznej immobilizacji przyswajalnego fosforu glebowego, chroniąc niektóre formy P przed długotrwałym wiązaniem przez części mineralne niektórych gleb [Paul i Clark 2000]. Badania kinetyki pobierania mikrobiologicznego fosforu [Gehl i Oberson 2001], w doświadczeniach ze znakowanym $^{33}\text{PO}_4$, wykazały intensywne pobieranie fosforu z roztworu glebowego, z równoczesnym wprowadzaniem do roztworu glebowego P z trudno rozpuszczalnych form. Wprowadzenie do gleby bakterii fosforowych w uprawie szkółkarskiej miało na celu spowodowanie ich działania mobilizującego [Russel 1974] w stosunku do fosforu zawartego w szkłem nawozowym. Badania nad rozpuszczalnością szkła nawozowego wykazały [Stoch i in. 2000, Waćlawska i in. 2001, 2002], że szkła te posiadają zdolność dostosowania się do warunków środowiska. Czynniki środowiska, takie jak: pH, zawartość składników pokarmowych i materii organicznej, wpływają na tempo rozpuszczania i ilość rozpuszczalnych składników.

Zwiększona ilość azotu w materiale roślinnym w obiektach nawożonych szkłem nawozowym spowodowana jest wprowadzeniem azotu tylko w postaci mocznika. Powoduje to spowolnienie procesu wymywania azotu, który następuje bardzo szybko w wypadku form azotu zastosowanych w nawozach pojedynczych jako nawożenie podstawowe [Sady i in. 1994].

WNIOSKI

1. Wprowadzenie szkła nawozowego z bakteriami fosforowymi spowodowało zwiększenie zawartości przyswajanego fosforu dla roślin w stosunku do obiektu nawożonego tylko szkłem nawozowym. Tendencja ta nie wystąpiła w przypadku stosowania nawozów pojedynczych.

2. Gleba w obiekcie nawożonym szkłem nawozowym, do których wprowadzono bakterie fosforowe wykazywała wyższą zawartość magnezu i potasu przyswajalnego w glebie w porównaniu z pozostałymi obiektami.

3. Najwyższą (w zakresie optymalnym) zawartość fosforu w liściach jabłoni stwierdzono w obiekcie nawożonym szkłem nawozowym z bakteriami. Zawartość Ca w tych liściach była wyższa w obiektach nawożonych nawozami pojedynczymi oraz szkłem nawozowym + bakterie. Wprowadzenie bakterii do nawozów wpłynęło na zwiększenie zawartości magnezu w liściach.

4. Otrzymane wyniki pozwalają przypuszczać, że można zwiększyć rozpuszczalność fosforu w szkłem nawozowym po uprzednim dopracowaniu techniki stosowania bakterii fosforowych (ilość wprowadzanej pożywki, czas wprowadzania, głębokość wprowadzania do gleby).

PIŚMIENNICTWO

- Gehl F., Oberson A., 2001. Kinetics of microbiological phosphorus uptake in cultivated soils. *Biol. Fertil. Soil* 34(1), 31–41.
- Korapetjanc M. Ch., 1983. Wstęp do teorii procesów chemicznych. PWN, Warszawa.
- Ostrowska J., Lis-Krzyżcin A., Waclawska I., 1998. Ocena przydatności szkła nawozowego VI w uprawie pojemnikowej roślin iglastych w szkółkach. *Folia Univ. Agric. Stetiniensis* 190, *Agricultura* 72, 253–259.
- Ostrowska J., Lis-Krzyżcin A., Waclawska I., 2000. The influence of fertilization with glass fertilizer VI on chosen parameters of growth and development of conifers. *Chemistry Agric.* 2, 67–73.
- Paul E. A., Clark F. E., 2000. Mikrobiologia i biochemia gleb. Wyd. UMCS, Lublin.
- Rejman A., Makosz E., 1994. Szkółkarstwo roślin sadowniczych. Plantpress, Kraków.
- Russel S., 1974. Drobnoustroje a życie gleby. PWN, Warszawa.
- Sady W., Domagała I., Kowalska I., Lis-Krzyżcin A., Ostrowska J., 1994. Przewodnik do ćwiczeń z uprawy roli i nawożenia roślin ogrodniczych. AR Kraków.
- Stoch L., Stoch Z., Waclawska I., 1997. Szkła nawozowe ekologiczne. Patent P-324092.
- Stoch L., Waclawska I., Lis-Krzyżcin A., 2000. Mechanism of biochemical activity of glass fertilizers. *Chemistry Agric.* 2, 74–80.
- Szwedo J., Murawska B., 1998. Określenie wymagań pokarmowych drzewek jabłoni w szkółce. *Mat. I Ogólnopolskiego Sympozjum mineralnego odżywiania roślin sadowniczych*, 250–264.
- Waclawska I., Stoch L., Ostrowska J., 2001. Biochemiczna aktywność szkieł nawozowych. *Polska Akademia Nauk – Oddział w Krakowie – Polski Biuletyn Ceramiczny – Ceramika* 66/1, 169–175.
- Waclawska I., Ostrowska J., 2001. Biochemical activity of silicate phosphate glasses. *Proc. Int. Congr. Glass.* 2. Ext. Abstracts, Edinburg, Scotland 1–6 July, 990–991.
- Waclawska I., Sumera M., Ostrowska J., 2002. Activity of Glassy Fertilizers in Soil Environment. *Chemistry Agric.* 3, 303–307.

SOLUBILITY OF INORGANIC PHOSPHORUS FROM GLASSY FERTILIZER UNDER DIFFERENT BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOIL

Abstract. Studies concerned a glassy fertilizer obtained at the Department Materials the University of Mining and Metallurgy in Krakow. The fertilizer is able to supply plants with a wide range of macro- and microelements. The present study is aimed to define the possibility of increasing the utilization rate of phosphorus contained in glasses by introducing into the soil the phosphorus bacteria *Bacillus megaterium* var. *phosphateum* that had been isolated from the soil in which the experiment was carried out and grown on a mineral medium. The results showed an increased level of phosphorus in the soil of the treatments. By using the results obtained in the present and previous studies it is possible to determine the soil conditions to plants. It is worth mentioning that the residues of the glassy fertilizer from which nutrients have been leached are compatible with skeletal parts of soil and thus do not pollute the environment.

Key words: glassy fertilizer, fertilizing, P-bacteria, availability of inorganic phosphorus

Agnieszka Lis-Krzyżcin, Janina Ostrowska, Katedra Uprawy Roli i Nawożenia Roślin Ogrodniczych, Akademia Rolnicza, al. 29 Listopada 54, 31-425 Kraków, e-mail: alis@ogr.ar.krakow.pl
Irena Waclawska, Katedra Szkła i Emalii, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Praca finansowana przez Komitet Badań Naukowych – grant 7T08D 010 18