

STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB

ZESZYT 54(8): 83-93

2017

Monika Koziel, Anna Gałązka*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach***LICZEBNOŚĆ BAKTERII URUCHAMIAJĄCYCH FOSFOR
ZE ZWIĄZKÓW MINERALNYCH W GLEBACH UPRAWNYCH POLSKI*****Słowa kluczowe:** fosfor, gleba, liczebność PSB**Wstęp**

Fosfor występuje powszechnie w środowisku i odgrywa ważną rolę w prawidłowym rozwoju roślin oraz człowieka. Makroelement ten jest niezbędny do prawidłowego funkcjonowania każdej żywej komórki, gdyż wchodzi w skład kwasów nukleinowych (DNA i RNA) oraz nukleotydów (ATP, GTP, UTP) zaangażowanych w wewnątrzkomórkowy transport energii. Prawidłowy wzrost, rozwój i metabolizm roślin jest silnie powiązany z odpowiednim poziomem fosforu w ich tkankach (3). Stężenie jonów fosforanowych w komórce roślinnej może osiągać wartość od 1 do 10 mM (23). We wczesnych fazach rozwoju roślin pierwiastek ten stymuluje prawidłowy rozwój systemu korzeniowego (18). Ponadto rośliny, dobrze zaopatrzone w fosfor są bardziej odporne na suszę, niskie temperatury i brak składników pokarmowych (8). Wymagania pokarmowe roślin w stosunku do fosforu są duże, a niedobór tego pierwiastka w glebie może skutkować opóźnieniem kwitnienia i obniżeniem owocowania (3). Brak lub niskie stężenie przyswajalnych dla roślin form fosforu w glebie prowadzi również do zahamowania rozwoju brodawek korzeniowych u roślin bobowatych oraz do upośledzenia procesu wiązania azotu atmosferycznego (8).

Całkowite stężenie fosforu w glebie waha się od 50-3000 mg P · kg⁻¹ i zazwyczaj zmniejsza się wraz z głębokością profilu glebowego (5). W środowisku glebowym fosfor występuje zarówno w postaci związków organicznych jak i nieorganicznych. Pula organiczna to najczęściej od 15 do 80% całkowitej zawartości fosforu w glebie i stanowią ją głównie kwasy fitynowe, fosfolipidy i kwasy nukleinowe (5, 18, 21). Organiczne związki fosforu ulegając mikrobiologicznej degradacji uwalniają nieorganiczne formy tego pierwiastka, które są dostępne dla roślin. Jednak fosfor

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 1.4 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

biodostępny bardzo szybko ulega tzw. uwstecznieniu, czyli precypitacji jako nierozpuszczalne sole. Nieorganiczne związki fosforu występujące w glebie to przede wszystkim fosforany wapnia, glinu i żelaza (6, 15).

W roztworze glebowym dostępny dla roślin jest jedynie fosfor występujący w postaci jonów H_2PO_4^- i HPO_4^{2-} , a jego stężenie waha się od 0,1 do $1\ \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ gleby (13, 16). Około 40% gleb występujących na terenie Polski charakteryzuje się niską lub bardzo niską zawartością fosforu przyswajalnego (14) a więc rośliny uprawiane na tych obszarach narażone są na jego niedobór. W związku z tym, coraz częściej zwraca się uwagę na stymulację naturalnych mechanizmów zwiększających biodostępność P obecnego w glebie (natywnego i uwstecznionego) oraz istotną w tych procesach rolę bakterii uruchamiających ten pierwiastek z jego różnych nierozpuszczalnych związków. Bakterie posiadające taką cechę określane są mianem PSB (ang. *Phosphate Solubilizing Bacteria*) i należą do grupy PSM (ang. *Phosphate Solubilizing Microorganisms*), w której można znaleźć również wiele gatunków grzybów (3). PSB mogą posiadać również wysoką aktywność hydrolityczną wobec estrów fosforowych. Na przykład, kwasy mineralne i organiczne wytwarzane i uwalniane do gleby przez te bakterie są odpowiedzialne za rozpuszczanie nieprzyswajalnych, mineralnych związków P, głównie trójrzędowych fosforanów wapnia, natomiast enzymy takie jak fosfatazy, nukleazy i fosfolipazy mają duże znaczenie w mineralizacji organicznych form P glebowego (2). Enzymatyczna hydroliza umożliwia rozrywanie wiązań estrowych w organicznych związkach fosforowych (np. fityna, fosfolipidy, nukleotydy, fosforanowe pochodne cukrów) i uwalnianie grup fosforanowych. PSM wprowadzają do roztworu glebowego więcej fosforu niż jest im to potrzebne do wzrostu i metabolizmu, a pozostającą w roztworze nadwyżkę wykorzystują rośliny. Bakterie fosforowe poza fosforem wprowadzają również do gleby wiele substancji promujących wzrost roślin tj.: siderofory, auksyny, cytokiny oraz witaminy (4, 9, 17).

Celem pracy było określenie ogólnej liczebności PSB (ang. *Phosphate Solubilizing Bacteria*) najwydajniej uruchamiających fosfor w glebach uprawnych Polski.

Materiały i metody

Materiał do badań stanowiły próby glebowe pobrane w 2015 r. przez pracowników Zakładu Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów podczas prowadzenia krajowego monitoringu chemizmu gleb. Programem tym zostały objęte wybrane użytki rolnicze w różnych województwach. Próby glebowe zostały pobrane z 216 stałych punktów pomiarowo-kontrolnych zlokalizowanych na gruntach ornych charakterystycznych dla pokrywy glebowej kraju. Reprezentują one użytki rolnicze o różnym stopniu intensyfikacji produkcji rolnej znajdujące się w obszarach rolniczej i pozarolniczej działalności człowieka. Próby glebowe były pobierane na obszarze o powierzchni ok. $100\ \text{m}^2$, z głębokości 0-20 cm, a następnie mieszane w celu uzyskania próby średniej. Do oznaczenia ogólnej liczebności PSB wykorzystano 182 średnie próby glebowe pochodzące z różnych województw (Tab. 1).

Tabela 1

Liczba średnich prób glebowych pobranych z punktów pomiarowych usytuowanych w różnych województwach oraz ich przynależność do typu i gatunku gleby

Województwo	Liczba próbek glebowych	Typ gleb	Gatunek gleb wg PTG 2008
dolnośląskie	7	AP, Bw (3x), Bk, B, Dz	pyg (5x), gp (2x)
kujawsko-pomorskie	13	B, AP (3x), Dz, Ar (4x), Fb (2x), F, Bw	gl, gp (6x), pl (3x), ps, pg (2x)
lubelskie	18	Bk, F, Dz, AP (2x), Bw (6x), Ar (2x), Gc, B (2x), Fb, C	gp (2x), pg (3x), pyg (8x), pyz (3x), pyi, ps
lubuskie	5	Bk, AP, Ar (2x), Fc	pg (4x), gz
łódzkie	11	AP (7x), D, Bw, Ar, Bk	pg (5x), gp (4x), pl, ps
małopolskie	17	Fb (4x), Bw (4x), AP (5x), Cz, B (2x), Bk	gp (3x), pyi (3x), pyg (10x), pyz
mazowieckie	20	Bw (2x), AP (7x), Ar (6x), A, Dz, Bk (2x), Fb	gp (4x), pl (4x), pg (10x), ps, gz
opolskie	6	AP (4x), Bk, Ar	gp (2x), pyg (3x), ps
podkarpackie	13	Bw (7x), Bk, AP, Ar, B, Fb, Cz	gz, pg (2x), pyg (4x), gp, pyi (4x), pyz
podlaskie	6	AP (2x), Ar (2x), Bw (2x)	gp (2x), ps, pg (3x)
pomorskie	9	Ar, Bk, AP, Bw, Fb (2x), Fc (2x), D	pg (3x), gp, gz (2x), gl, gi, pyi
śląskie	18	AP (7x), Bk (2x), Bw, B, Gb (3x), D (2x), Fb (2x)	gp (8x), pyg (6x), pg (2x), gz, pyz
świętokrzyskie	9	AP (6x), Ar, Bw, B	pg (2x), ps, gz, pyg, pyi, gp (3x)
warmińsko-mazurskie	11	Bk (2x), D, B (2x), AP (4x), Ar, Dz,	gl (2x), gi, gp (4x), ps (2x), pyg, gpyi
wielkopolskie	10	Bw, Ar (3x), AP (4x), B (2x)	pg (5x), ps (3x), gp (2x)
zachodniopomorskie	9	Bk (3x), Ar, Bw (2x), Dz, Fc, D	pl (2x), gp (3x), pg (3x), gl

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych IUNG

* zastosowano skrót typów gleb zgodnie z zapisem podanym na stronie Monitoringu Chemizmu Gleb Ornych Polski (www.gios.gov.pl)

Ogólną liczebność bakterii wykorzystujących $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ jako jedyne źródła fosforu określono metodą płytkową wysiewając odpowiednio rozcieńczone zawiesiny badanych gleb na pożywkę agarową zawierającą fosforan trójwapniowy według ogólnie przyjętej metodyki (19). Po 6 dniach inkubacji płytek w 28°C liczono tylko te kolonie bakterii, które były otoczone wyraźną strefą przejaśnienia podłoża wskazującą na rozpuszczenie fosforanu wapnia. Liczebność PSB wyrażono jako liczbę jednostek tworzących kolonie (jtk) w 1 gramie powietrznie suchej masy gleb.

W celu stwierdzenia równości (róznice nieistotne statystycznie) lub braku równości (róznice istotne statystycznie) dla wszystkich średnich liczebności PSB zasiedlających badane gleby o różnej przynależności taksonomicznej i pochodzące z różnych województw w obrębie danej serii zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA). Natomiast aby wskazać, które wartości średnie w danej serii różnią się istotnie od pozostałych a które są równe, zastosowano test NIR Fishera (najmniejszej istotnej różnicy). Dla przeprowadzonych analiz przyjęto poziom istotności $\alpha < 0,05$.

Wyniki

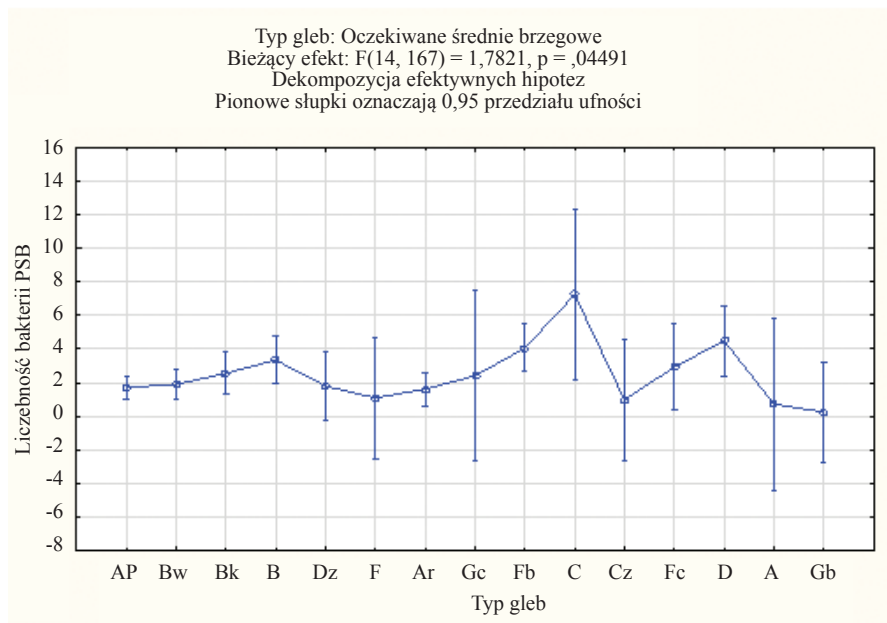
PSB stwierdzono w 149 (81%) spośród 182 przeanalizowanych prób glebowych. Ogólna liczebność badanej grupy bakterii wahała się w granicach od $0,31 \times 10^7$ do 17×10^7 jtk·g¹s.m. gleby. Przeprowadzone badania wykazały duże rozbieżności w zespole bakterii w analizowanych glebach za co w dużej mierze odpowiedzialność ponoszą czynniki abiotyczne gleb. Analizy statystyczne wykonano dla wszystkich 182 prób glebowych. Wyznaczono i porównano średnie liczebności PSB w trzech wariantach:

Wariant 1 – średnie liczebności PSB zostały wyznaczone dla wszystkich prób należących do danego typu gleby, a typ gleby był podstawą do podziału 182 prób na 15 grup.

Wariant 2 – średnie liczebności PSB zostały wyznaczone dla wszystkich prób należących do danego gatunku gleby, a pobrane próby zostały podzielone na 11 grup odpowiadających liczbie gatunków gleb.

Wariant 3 – średnie liczebności PSB zostały wyznaczone dla wszystkich prób pobranych z obszaru danego województwa i uzyskano 16 grup odpowiadających liczbie województw.

Na podstawie jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA możemy wnioskować, że średnie zmiennej (liczebność bakterii PSB) w poszczególnych grupach: gatunek gleb i województwo różniły się istotnie statystycznie. Średnie liczebności bakterii fosforowych wyznaczone dla poszczególnych typów gleb nieznacznie różniły się od siebie toteż nie zaobserwowano istotnego wpływu tej grupy na badaną zmienną. Stwierdzono najwyższe średnie liczebności PSB dla czarnoziemów właściwych, a najniższe dla rędziny brunatnej (Rys. 1 i Tab. 2). Na podstawie analizy wariancji ANOVA (Rys. 2 i Tab. 3) średnich zmiennej w grupie gatunek gleb możemy wnioskować, że średnie różniły się istotnie statystycznie. Stwierdzono (test NIR), że średnia liczebność PSB dla gliny pylasto-ilastej różniła się istotnie od średnich liczebności dla pozostałych gatunków gleb. Najwyższe średnie liczebności PSB zanotowano dla gliny pylasto-ilastej, natomiast najniższe dla gliny piaszczystej. Stwierdzono także statystyczne różnice średnich liczebności bakterii fosforowych w grupie województw (Rys. 3 i Tab. 4). Średnia liczebność PSB dla województwa świętokrzyskiego różniła się istotnie statystycznie od średnich dla województw pomorskiego i lubuskiego. Najniższymi średnimi liczebności badanych bakterii charakteryzowało się województwo świętokrzyskie, z kolei najwyższymi województwo warmińsko-mazurskie.



Rys. 1. Średnia liczebność PSB (jtk · 10⁷ · g⁻¹ · s.m. gleby) wyznaczona dla danego typu gleby
 Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2

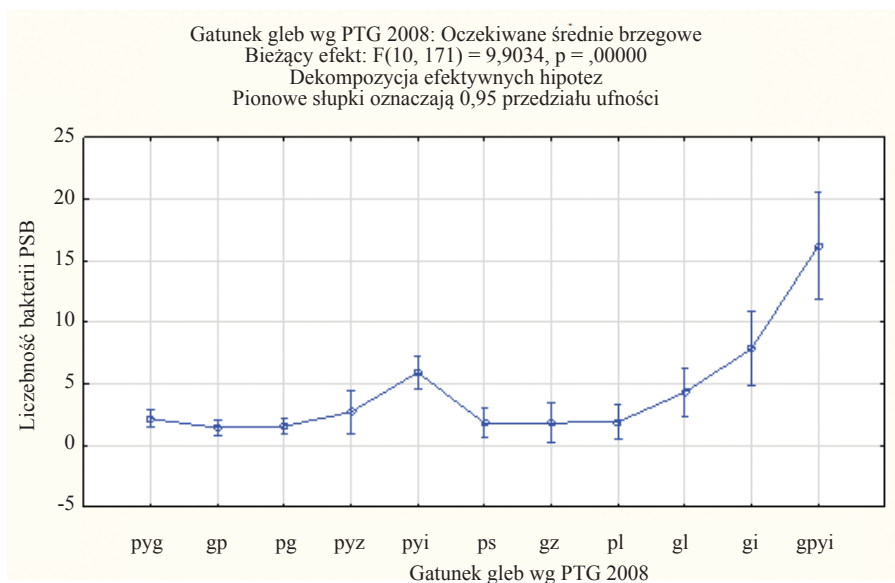
Średnia liczebność PSB (jtk · 10⁷ · g⁻¹ · s.m. gleby) wyznaczona dla danego typu gleby.

	Typ gleb	Liczebność bakterii PSB (jtk · 10 ⁷ · g ⁻¹ · s.m. gleby) Średnie	1	2	3	4
15	Gb (rędziny brunatne)	0,256667	a	b		
14	A (gleby bielcowe)	0,730000	a	b	c	d
11	Cz (czarnoziemny zdegradowane)	0,985000	a	b	c	
6	F (mady właściwe)	1,095000	a	b	c	d
7	Ar (gleby rdzawe)	1,624231	a	b		
1	AP (gleby płowe)	1,729455	a			
5	Dz (czarne ziemie zdegradowane)	1,798333	a	b	c	d
2	Bw (gleby brunatne wylugowane)	1,903750	a	b		
8	Gc (rędziny czarnoziemne)	2,420000	a	b	c	d
3	Bk (gleby brunatne kwaśne)	2,552941	a	b	c	d
12	Fc (mady czarnoziemne)	2,930000	a	b	c	d
4	B (gleby brunatne właściwe)	3,353846		b	c	d
9	Fb (mady brunatne)	4,060000			c	d
13	D (czarne ziemie właściwe)	4,490000			c	d
10	C (czarnoziemny właściwe)	7,240000				d

Średnie oznaczone różnymi literami różnią się istotnie na poziomie $\alpha < 0,05$

Źródło: opracowanie własne

Rysunek 1 przedstawia jednoczynnikową analizę wariancji dla średniej liczby PSB w zależności od typu gleby. Jednoczynnikowa analiza wariancji wykazała brak istotnych statystycznie różnic pomiędzy liczebnościami PSB w poszczególnych typach gleb. Jednakże szczegółowe porównanie tych średnich za pomocą analizy NIR (Tab. 2) wykazała istotne różnice pomiędzy kilkoma typami gleb, co pozwoliło wyodrębnić 7 grup gleb o zbliżonej liczebności PSB. Rędziny brunatne, gleby rdzawe i gleby brunatne wylugowane znajdują się w jednej grupie. Gleby bielnicowe, mady właściwe, czarne ziemie zdegradowane, rędziny czarnoziemne, gleby brunatne kwaśne i mady czarnoziemne należą do drugiej grupy. Do trzeciej grupy należą czarnoziemy zdegradowane, do czwartej gleby płowe, do piątej gleby brunatne właściwe, w grupie szóstej znajdują się mady brunatne i czarne ziemie właściwe, a grupę siódmą stanowią czarnoziemy właściwe.



Rys. 2. Średnia liczebność PSB ($\text{jtk} \cdot 10^7 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s.m. gleby}$) wyznaczona dla danego gatunku gleby
 Źródło: opracowanie własne

Tabela 3

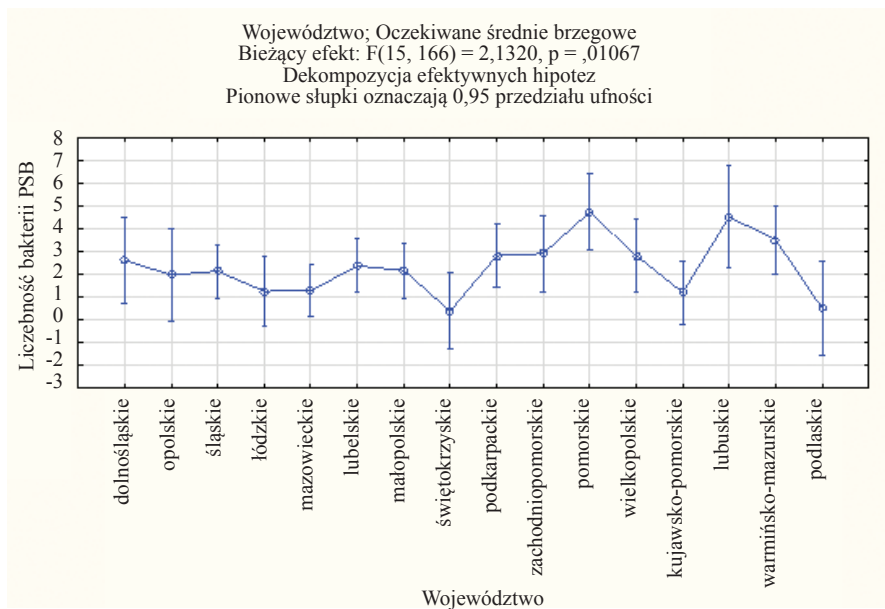
Średnia liczebność PSB ($\text{jtk} \cdot 10^7 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ gleby) wyznaczona dla danego gatunku gleby

	Gatunek gleb wg PTG 2008	Liczebność bakterii PSB ($\text{jtk} \cdot 10^7 \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{s.m.}$ gleby) Średnie	1	2	3	4
2	gp (glina piaszczysta)	1,44660	a			
3	pg (piasek gliniasty)	1,57614	a			
6	ps (piasek słabogliniasty)	1,84167	a			
7	gz (glina zwykła)	1,84571	a	b		
8	pl (piasek luźny)	1,91800	a			
1	pyg (pył gliniasty)	2,15868	a			
4	pyz (pył zwykły)	2,72333	a	b		
9	gl (glina lekka)	4,33000		b	c	
5	pyi (pył ilasty)	5,93500			c	
10	gi (glina ilasta)	7,85500			c	
11	gpyi (glina pylasto-ilasta)	16,20000				d

Średnie oznaczone różnymi literami różnią się istotnie na poziomie $\alpha < 0,05$

Źródło: opracowanie własne

Metoda ANOVA (Rys. 2) wykazała, że średnie liczebności PSB wyznaczone dla różnych gatunków gleb różniły się istotnie statystycznie. W celu wskazania, które gatunki gleb są zasiedlane przez zespół PSB o istotnie mniejszej lub większej liczebności niż pozostałe przeprowadzono analizę NIR. Wykonany test NIR Fishera (tabela 3) pozwolił podzielić gatunki gleb na 5 grup. Glina piaszczysta, piasek gliniasty, piasek słabogliniasty, piasek luźny i pył gliniasty znajdują się w jednej grupie i nie różnią się między sobą. Grupę drugą stanowią glina zwykła i pył zwykły, grupę trzecią glina lekka, a grupę czwartą pył ilasty i glina ilasta. Do piątej odrębnej grupy należy glina pylasto-ilasta.



Rys. 3. Średnia liczebność PSB (jtk · 10⁷ · g⁻¹ · s.m. gleby) wyznaczona dla danego województwa.

Źródło: opracowanie własne

Tabela 4

Średnia liczebność PSB (jtk · 10⁷ · g⁻¹ · s.m. gleby) wyznaczona dla danego województwa.

	Województwo	Liczebność bakterii PSB (jtk · 10 ⁷ · g ⁻¹ · s.m. gleby) Średnie	1	2	3	4
8	świętokrzyskie	0,362222	a			
16	podlaskie	0,493333	a	b		
13	kujawsko- pomorskie	1,185385	a	b		
4	łódzkie	1,236364	a	b		
5	mazowieckie	1,267500	a	b		
2	opolskie	1,963333	a	b	c	
3	śląskie	2,125556	a	b	c	
7	małopolskie	2,167059	a	b	c	
6	lubelskie	2,358889	a	b	c	
1	dolnośląskie	2,604286	a	b	c	d
9	podkarpackie	2,814615		b	c	d
12	wielkopolskie	2,818000		b	c	d
10	zachodniopomorskie	2,903333		b	c	d
15	warmińsko- mazurskie	3,511818			c	d
14	lubuskie	4,514000			c	d
11	pomorskie	4,730000			c	d

Średnie oznaczone różnymi literami różnią się istotnie na poziomie $\alpha < 0,05$

Źródło: opracowanie własne

Rys. 3 przedstawia jednoczynnikową analizę wariancji dla średniej liczebności PSB w zależności od miejsca pobrania prób glebowych (województwo). Jednoczynnikowa analiza wariancji potwierdziła istotne statystycznie różnice w średnich liczebnościach zespołu tych bakterii w zależności od województwa z którego zostały pobrane próby glebowe. Przeprowadzony test NIR Fishera (Tab. 4) pogrupował województwa na 6 grup, przy czym statystycznie istotne różnice w średniej liczebności bakterii fosforowych stwierdzono pomiędzy trzema grupami (grupa pierwsza, piąta i szósta).

Dyskusja

PSB obecne są niemal w każdej glebie, jednakże ich liczebność i skład gatunkowy uzależniony jest od wielu chemicznych, fizycznych i biologicznych właściwości gleby (np. odczyn, skład granulometryczny, zawartość materii organicznej) ale także od wielu czynników klimatycznych (tj. pora roku, temperatura, opady). Biorąc pod uwagę gleby użytkowane rolniczo oddziaływania wyżej wymienionych czynników modyfikowane są w mniejszym lub większym stopniu przez zabiegi agrotechniczne związane z uprawą roślin, a w szczególności orka, stosowanie nawozów i chemicznych środków ochrony roślin oraz płodozmian (10, 19).

W przeprowadzonych badaniach obecność bakterii rozpuszczających $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ stwierdzono w 81% analizowanych próbach glebowych, a ich liczebności kształtowała się na poziomie 10^7 jtk w g s.m. gleby, co jest zgodne z danymi literaturowymi, które podają, że w 1g żywej gleby występuje zazwyczaj od 10^1 do 10^{10} komórek PSB (19). Liczne populacje PSB można znaleźć w glebach użytkowanych rolniczo (22), co potwierdził w swoich badaniach Kobus (11). W przeprowadzonych badaniach oprócz oznaczenia ogólnej liczebności PSB w glebach uprawnych Polski analizowano również wpływ typu gleby, gatunku gleby i miejsca poboru prób glebowych na występowanie i liczebność tej grupy bakterii. Gleby województw lubuskiego, pomorskiego i warmińsko-mazurskiego (Tab. 4) posiadały najliczniejsze zespoły mikroorganizmów PSB, co daje szansę na intensyfikację naturalnych procesów uruchamiających fosfor. W glebach na terenie województw świętokrzyskiego i podlaskiego, gdzie zanotowano najmniejsze liczebności tej grupy bakterii należałoby zastosować np. doszczepianie w celu zwiększenia liczebności PSB a tym samym puli biodostępnego P. Za różnice jakie pojawiły się w ilości tych bakterii w glebach poszczególnych województw w dużej mierze odpowiedzialne są odmienne warunki środowiskowe i geograficzne. Do podobnych wniosków doszli Acosta-Martinez i in. (1), którzy zauważyli, iż miejsce poboru prób glebowych oraz panujące tam warunki glebowo-klimatyczne wpływają zarówno na liczebność jak i skład gatunkowy bakterii uruchamiających fosfor ze związków mineralnych. Biorąc pod uwagę wpływ typu gleby na ilość mikroorganizmów zdolnych do rozpuszczania $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, widzimy, że najwięcej tych bakterii znaleziono w czarnoziemach właściwych. Nieco mniej drobnoustrojów o tych uzdolnieniach znaleziono w czarnych ziemiach właściwych i madzie

brunatnej, natomiast najmniej PSB zawierały rędziny brunatne (Tab. 2). W badaniach prowadzonych przez Stefaniak i Maniewską (20) liczebność PSB w czarnych ziemiach była nieco niższa i wahała się od 2×10^3 do 870×10^3 komórek w 1 gramie świeżej gleby w zależności od pory roku, głębokości gleby, jak również od stosowanych zabiegów agrotechnicznych. Poszukując wpływu gatunku gleby na liczebność PSB możemy stwierdzić, że glina pylasto-ilasta sprzyja rozwojowi i przeżywalności PSB, ponieważ ten gatunek gleb charakteryzowała najwyższa średnia liczebność tych bakterii (Tab. 3). Stosunkowo liczne zespoły bakterii PSB odnotowano w glinie ilastej i pyle ilastym, z kolei glina piaszczysta i piasek gliniasty zawierały bardzo małe ilości tych bakterii. Uzyskane wyniki znacznie różniły się od tych, które uzyskał Kobus (11). Wykazał on, że na liczebność bakterii mineralizujących fosfor istotny wpływ mają: typ gleby, stopień jej mineralizacji oraz rodzaj uprawy. Najliczniejsze zespoły bakterii rozpuszczających $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ występowały w glebach piaszczystych, a najmniej ich wykryto w glebie ilastej. Liczba bakterii PSB w glebach gliniastych i torfowych była od 10-100-krotnie mniejsza niż w glebach lessowych. Takie rozbieżności mogą wynikać z różnych miejsc poboru badanych prób gleby, rodzaju uprawy, stosowania zabiegów agrotechnicznych, czy różnic we właściwościach badanych gleb. Również Domey (7) potwierdza, że duże różnice w liczebności PSB są spowodowane przez czynniki abiotyczne gleb. Stwierdzenie to poparte jest przez Kuceya (12), który w przeprowadzonych badaniach wykazał, że bakterie fosforowe występują niemal we wszystkich badanych glebach jednakże ich liczebność uzależniona jest od właściwości gleb, warunków klimatycznych i uprawy roślin.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono obecność PSB w 81% analizowanych próbach glebowych. Ogólna liczebność badanej grupy bakterii wahała się w granicach od $0,31 \times 10^7$ do 17×10^7 jtk·g⁻¹s.m. gleby. Przeprowadzone analizy statystyczne wykazały istotny wpływ gatunku gleby i miejsca poboru prób na liczebność bakterii rozpuszczających $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Pomimo różnic w liczebności bakterii fosforowych w zależności od typu gleb wyniki okazały się nieistotne statystycznie.

Literatura

1. Acosta-Martinez V., Down S., Sun Y., Allen V.: Tag-encoded pyrosequencing analysis of bacterial diversity in a single soil type as affected by management and land use. *Soil Biology and Biochemistry*, 2008, **40**: 2762-2770.
2. Alef K., Nannipieri P.: *Methods in applied soil microbiology and biotechnology*, Academic Press, London, Great Britain, 1995.
3. Bezek-Mazur E., Stoińska R.: The importance of phosphorus in the environment – review article. *Archives of Waste Management and Environmental Protection*, 2013, **15(3)**: 33-42.
4. Bhattacharyya P. N., Jha D. K.: Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 2012, **28**: 1327-1350.
5. Chinchilla R. F.C.: Phosphorus response and orthophosphate leaching in floratam St. Augustinegrass and Empire Zoysiagrass. University of Florida, 2010.

6. Ciereszko I.: Pobieranie fosforanów przez rośliny. Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych, 2005, **54(4)**: 391-400.
7. Domey S.: Vorkommen Phosphatmobilisierender Bakterien in der Rhizosphäre landwirtschaftlicher Kulturpflanzen bei mittleren bis hoher Phosphor-Versorgung des Bodens. Zentralblatt für Mikrobiologie, 1992, **147**: 270-276.
8. Gaj R., Grzebisz W.: Fosfor w roślinie. w: Pierwiastki w środowisku. Fosfor. Grzebisz W.. Journal of Elementology, 2003, **8**: 109-128.
9. Glick B. R., Penrose D. M., Li J.: A model for lowering of plant ethylene concentration by plant growth-promoting bacteria. Journal of Theoretical Biology, 1998, **190**: 63-68.
10. Kim K. Y., Jordan D., McDonald G. A.: Effect of phosphate-solubilizing bacteria and vesicular-arbuscular mycorrhizae on tomato growth and soil microbial activity. Biology and Fertility of Soils, 1998, **26**: 79-87.
11. Kobus J.: Udział drobnoustrojów w przemianach związków fosforowych w glebie. Rocznik Nauk Rolniczych Seria D, 1961, **91**: 101.
12. Kucey R. M. N.: Phosphate solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. Canadian Journal of Soil Science, 1983, **63**: 671-678.
13. Kucey R. M. N., Janzen H. H., Leggett M. E.: Microbially mediated increases in plant available phosphorus. Advanced in Agronomy, 1989, **42**: 199-228.
14. Lipiński W.: Odczyn i zasobność gleb w świetle badań Stacji Chemiczno-Rolniczych. Fertilizers Fertilization, 2000, **3a**: 89-105.
15. Mengel K., Kirkby E. A.: Podstawy żywienia roślin. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, 1983: 308-324.
16. Paul E. A., Clark F. E.: Mikrobiologia i biochemia gleby. Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, 2000.
17. Ponmurugan P., Gopi C.: *In vitro* production of growth regulators and phosphatase activity by phosphate solubilizing bacteria. African Journal of Biotechnology, 2006, **5(4)**: 348-350.
18. Schachtman D., Reid R. J., Ayling S. M.: Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. Plant Physiology, 1998, **116**: 447-453.
19. Sharma S., Kumar V., Tripathi R. B.: Isolation of Phosphate Solubilizing Microorganism (PSMs) from soil. Journal of Microbiology and Biotechnology Research, 2011, **1(2)**: 90-95.
20. Stefaniak O., Maniewska R.: Wpływ zabiegów agrotechnicznych na występowanie bakterii rozpuszczających trójfosforan wapnia w czarnej ziemi. Akademia Techniczno-Rolnicza im. J. J. Śniadeckich w Bydgoszczy, Zeszyty Naukowe, 1982, **97(14)**, 17-29.
21. Vance C. P., Uhde-Stone C., Allan D. L.: Phosphorus acquisition and use; critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. New Phytologist, 2003, **157**: 423-447.
22. Yahya A., Azawi S. K. A.: Occurrence of phosphate solubilizing bacteria in some Iranian soils. Plant Soil, 1998, **117**: 135-141.
23. Zboińska M.: Wybrane aspekty adaptacji roślin do warunków niedoboru fosforu w środowisku glebowym. Kosmos, 2016, **65(3)**: 419-431.

Adres do korespondencji:

mgr Monika Koziel
Zakład Mikrobiologii Rolniczej
IUNG-PIB
ul. Krańcowa 8, 24-100 Puławy
tel. 81 47 86 952
e-mail: mmaczka@iung.pulawy.pl

