

Wpływ nawożenia azotem i deszczowania na liczebność bakterii z rodzaju *Azotobacter* w glebie pod uprawą kukurydzy w różnych fazach rozwoju rośliny

¹Małgorzata Natywa, ¹Marek Selwet, ²Katarzyna Ambroży, ¹Małgorzata Pocięjowska

¹Katedra Mikrobiologii Ogólnej i Środowiskowej, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Szydlowska 50, 60-656 Poznań, Polska

²Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
ul. Wojska Polskiego 28, 60-637 Poznań, Polska

Abstrakt. *Azotobacter* sp. jest bakterią o właściwościach, które mogą być wykorzystane w rolnictwie. Według danych literaturowych *Azotobacter* występuje najliczniej w glebach na podłożu wapiennym, o odczynie zasadowym. Zbyt wysokie dawki nawozów mogą przyczyniać się do zakwaszenia gleb, a tym samym zmniejszenia liczebności tych bakterii. Celem podjętych badań było określenie wpływu zróżnicowanego nawożenia azotem (saletra amonowa w dawkach: 0, 80, 160 i 240 kg N·ha⁻¹) i zabiegu deszczowania na dynamikę rozwoju *Azotobacter* pod uprawą kukurydzy w trzech sezonach wegetacyjnych (2007–2009). Do analizy statystycznej wyników wykorzystano program Statistica 9.0, a istotność różnic między średnimi oceniono testem Tukeya dla $\alpha = 0,05$. Stwierdzono istotny wpływ zróżnicowanego nawożenia azotem oraz zabiegu deszczowania na liczebność omawianej grupy bakterii w glebie – wzrost dawki N ponad 80 kg·ha⁻¹ powodował spadek liczebności bakterii, natomiast deszczowanie sprzyjało ich rozwojowi.

słowa kluczowe: *Azotobacter* sp., nawożenie azotem, deszczowanie

WSTĘP

Azotobacter sp. jest bakterią o właściwościach niezwykle pożytecznych dla rolnictwa – zdolną do wiązania azotu atmosferycznego i udostępniania go w formie przyswajalnej roślinom wyższym, wytwarzającą szereg związków stymulujących wzrost i rozwój roślin, a ponadto jest doskonałym wskaźnikiem żyzności gleb (Lenart, 2008; Mrkovački, Milic, 2001). Bakterie z tego rodzaju są wrażliwe na zakwaszenie gleby i rzadko występują w glebach o pH poniżej 6 (Martyniuk i in., 1997). Ilość *Azotobacter* w glebach strefy umiarkowanej jest niewielka

i wynosi od kilku do kilku tysięcy komórek w 1 g gleby. We wcześniejszych badaniach przeprowadzonych przez Ziemięcką (1923) występowanie *Azotobacter* stwierdzono w 50% próbek gleb pobranych z 28 rejonów Polski. Bakterii tych na ogół nie stwierdzano w glebach kwaśnych, które dominują w naszym kraju, natomiast najliczniejsze ich populacje zasiedlały gleby żyzne, o dużej zawartości części spławialnych i odczynie zbliżonym do obojętnego (Martyniuk, 2008). Wolno żyjące asymilatory N₂, do których należy rodzaj *Azotobacter*, są przedmiotem licznych badań od dziesięcioleci i można je uznać za modelowe mikroorganizmy w badaniach nad biochemizmem i energetyką wiązania N₂, a także w badaniach nad strukturą przestrzenną i funkcjonowaniem nitrogenazy oraz genetyczną regulacją BWAA (biologicznego wiązania azotu atmosferycznego) (Paul, Clark, 2000). Efektywność wiązania azotu atmosferycznego przez bakterie z rodzaju *Azotobacter* i inne niesymbiotyczne diazotrofy nie jest duża, m.in. dlatego że mikroorganizmy te przeprowadzają ten proces tylko w czasie wzrostu. Energia wydatkowana jest więc także na inne procesy metaboliczne związane z aktywnością życiową komórek (Martyniuk, 2008). Według Kennedy'ego i Tchana (1992) inną ważną dla środowiska konsekwencją tego faktu jest to, że *Azotobacter* asymiluje N₂ tylko na potrzeby metabolizmu komórki, a więc nie wydziela związanego N do środowiska. Azot ten wzbogaca glebę dopiero po obumarciu komórek bakterii. Wolno żyjące diazotrofy wiążą tylko niewielkie ilości N przyswajalnego, najczęściej ilości te ocenia się na kilkanaście kg N·ha⁻¹ w ciągu roku (Nannipieri i in., 2007). Jednak nawet tak stosunkowo niewielkie ilości zasymilowanego azotu są cenne z punktu widzenia metabolizmu glebowego i żyzności gleb. Mała efektywność asymilacji N₂ przez omawianą grupę drobnoustrojów wynika głównie z niewielkiej dostępności, a często nawet z braku w glebie dostatecznych ilości składników pokarmowych, zwłaszcza łatwo przyswajalnego węgla. Z tego względu dobrym miejscem dla ich rozwoju jest ryzosfera roślin. Poza tym zabiegi agrotechniczne, ma-

Autor do kontaktu:

Marek Selwet
e-mail: mselwet@jay.au.poznan.pl
tel. 061 846 6721

Praca wpłynęła do redakcji 16 stycznia 2013 r.

jące na celu zapewnienie prawidłowego funkcjonowania gleby przez podniesienie jej żyzności, m.in. wapnowanie gleb kwaśnych, wpływają stymulująco na aktywność mikrobiologiczną, w tym także na rozwój *Azotobacter*.

Celem podjętych badań była ocena wpływu dawki azotu (w formie saletry amonowej) i zabiegu deszczowania na liczebność bakterii z rodzaju *Azotobacter* w glebie pod uprawą kukurydzy w różnych fazach rozwoju rośliny.

MATERIAŁY I METODY

Doświadczenie prowadzono na terenie Zakładu Dydaktyczno-Doświadczalnego w Złotnikach, należącego do Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, na glebie płowej typowej, klasy bonitacyjnej IVa i IVb, kompleksu przydatności rolniczej żyniego bardzo dobrego i żyniego dobrego. Gleby te wytworzone są z piasków gliniastych lekkich i gliny lekkiej silnie spiaszczonej o miąższości poziomu orno-próchnicznego 27–30 cm, zawartości próchnicy 0,9–1,0%. Ich odczyn wynosi 5,7 (pH w 1 M KCl), zawartość fosforu jest wysoka, potasu i magnezu średnia. Głęboki poziom wody gruntowej i budowa podłoża sprawiają, że bywają one okresowo suche.

Kukurydzę odmiany Clarica (FAO 220, Pioneer) uprawiano w zmianowaniu czteroletnim (kukurydza, jęczmień jary, trawy, pszenżyto ozime). Obiekty doświadczalne były zróżnicowane pod względem nawożenia azotem (saletra amonowa w dawkach: 0, 80, 160 i 240 kg N·ha⁻¹). Zabieg deszczowania zastosowano w okresie wegetacji roślin, kiedy wilgotność gleby spadała poniżej 70% połowej pojemności wodnej. Na poletkach, które podlegały procesowi deszczowania, zainstalowano deszczownię typu półstałego. Deszczownia posiadała zraszacze izraelskiej firmy Maan o średnicy dyszy 7 mm oraz ciśnieniu roboczym od 3,5 do 4 atmosfer. Wydatek wody wynosił 5 mm·h⁻¹, a zasięg zraszania 18 m. Jednorazowy wydatek wody wynosił 40 mm. Podbloki deszczowane były oddzielone od podbloków niedeszczowanych pasem izolacyjnym o szerokości 6 m.

Próbki glebowe do analiz pobierano z losowo wybranych miejsc (w każdym terminie z innymi) z warstwy ornej międzyrzędzi (0–20 cm) w 6 terminach: I – przed siewem kukurydzy (kontrola), II – w fazie 2–3 liści (BBCH 12-13), III – w fazie 7–8 liści (BBCH 17-18), IV – w fazie pełni kwitnienia (BBCH 67), V – w fazie dojrzałości młecznej (BBCH 75) i VI – po zbiorze roślin. Średnia temperatura

Tabela 1. Przebieg warunków meteorologicznych w ZDD Złotniki w latach 2007–2009

Table 1. Weather conditions in ZDD Złotniki in the years 2007–2009.

Miesiąc Month	2007		2008		2009	
	średnia temperatur mean temperature [°C]	suma opadów total precipitation [mm]	średnia temperatur mean temperature [°C]	suma opadów total precipitation [mm]	średnia temperatur mean temperature [°C]	suma opadów total precipitation [mm]
I	4,6	76,3	2,4	72,8	-2,4	16,3
II	1,4	54,0	4,4	15,4	0,1	32,9
III	7,9	65,3	5,4	54,8	4,5	56,8
IV	12,7	7,4	10,0	77,5	14,2	16,0
V	17,0	73,1	16,2	9,5	15,1	92,3
VI	20,6	44,3	20,6	8,4	16,7	129,1
VII	19,9	72,2	22,2	46,6	21,7	104,6
VIII	20,5	65,7	19,7	88,6	21,4	26,1
IX	14,6	32,6	14,4	16,8	17,0	53,9
X	9,0	20,3	9,9	69,4	7,9	59,4
XI	2,8	46,6	5,4	20,5	6,6	38,2
XII	1,5	36,7	0,0	0,0	0,0	0,0
Średnia temperatur Mean temperature						
I–XII	11,0		10,9		10,2	
IV–X	16,3		16,1		16,3	
Suma opadów Total precipitations						
I–XII		594,5		480,3		625,6
IV–X		315,6		316,8		381,4

oraz suma opadów w okresie wegetacyjnym (IV–X) pierwszego roku analiz (2007) wynosiła 16,3°C oraz 315,6 mm, w drugim roku analiz – odpowiednio 16,1°C i 316,8 mm, natomiast w trzecim roku odpowiednio 16,3°C oraz 381,4 mm (tab. 1). Liczebność bakterii z rodzaju *Azotobacter* oznaczono metodą płytkową na podłożu Jensena (Fenglerowa, 1965). Odczytu dokonywano po 4 dniach inkubacji w temperaturze 24°C. Posiewy zostały wykonane w 5 powtórzeniach w obrębie każdej kombinacji doświadczalnej, a liczebność bakterii przeliczano na 1 g suchej masy gleby i wyrażono w jednostkach tworzących kolonie (jtk). Analizę statystyczną wyników wykonano za pomocą programu Statistica 9.0, a do określenia istotności różnic między średnimi posłużono się testem Tukeya na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

WYNIKI

Zastosowanie różnych dawek saletry amonowej oraz zabiegu deszczowania istotnie modyfikowało liczebność

bakterii z rodzaju *Azotobacter* w glebie. W tabeli 1 zamieszczono dane przedstawiające warunki pogodowe w ZDD Złotniki w czasie trwania doświadczenia. Mogły one wpływać na właściwości gleby, a tym samym na liczebność mikroorganizmów. Tabela 2 zawiera dane dotyczące pH gleby z poszczególnych obiektów doświadczalnych. Odczyn gleby jest czynnikiem istotnie wpływającym na liczebność *Azotobacter* w glebie. Średnia liczebność bakterii różniła się istotnie zarówno w poszczególnych terminach analiz, jak i w latach badań. Analizie poddano dane dla każdego roku badań (2007–2009) (tab. 3–4). W I roku analiz (2007) na poletkach niedeszczowanych praktycznie nie odnotowano omawianych bakterii. Z kolei w obiektach kontrolnych (dawka azotu 0 kg N·ha⁻¹) poddawanych zabiegowi deszczowania odnotowano najwyższe ich ilości w trakcie trwania doświadczenia (39,5 i 37,8 jtk·g⁻¹ s.m. gleby – przed siewem (I) i w pełni kwitnienia kukurydzy (IV)). II rok analiz (2008) cechował się najniższą liczebnością *Azotobacter*. Był to rok z najniższą ilością opadów, w związku z tym czynnik ten mógł determinować rozwój

Tabela 2. Wartości pH gleb poszczególnych obiektów doświadczalnych w kolejnych latach trwania doświadczenia
Table 2. Soil pH values of individual experimental plots in consecutive years of the experiment.

Deszczowanie Irrigation	Dawka azotu N dose [kg N ha ⁻¹]	Termin analiz; Analysis date					
		przed siewem before sowing	2–3 liście phase of 2–3 leaves	7–8 liści phase of 7–8 leaves	pełnia kwitnienia full flowering	dojrzałość mleczna milk stage	po zbiorze after harvest
2007							
D	0	7,02	6,82	6,54	6,55	5,80	6,99
	80	6,96	6,58	5,82	5,87	6,60	6,85
	160	5,70	5,77	5,37	6,20	5,75	5,83
	240	6,02	5,80	5,33	5,86	5,45	6,30
ND	0	6,85	6,50	6,26	5,93	6,35	6,75
	80	6,63	5,62	5,78	6,24	6,02	6,19
	160	5,89	5,57	5,29	6,21	5,80	6,30
	240	5,94	5,32	4,90	5,39	5,12	4,78
2008							
D	0	6,99	5,90	6,05	6,42	6,00	6,99
	80	7,10	6,65	6,99	7,15	7,15	7,27
	160	6,37	6,28	6,32	6,84	6,20	6,94
	240	6,37	6,48	6,80	7,20	7,10	7,28
ND	0	7,28	5,64	6,25	6,15	5,90	6,12
	80	7,18	6,60	6,60	6,84	6,80	7,12
	160	7,23	5,89	6,93	6,45	6,20	6,90
	240	7,05	6,28	6,65	6,29	6,23	6,50
2009							
D	0	7,18	6,60	6,52	6,70	6,78	7,00
	80	7,19	6,40	7,07	6,53	6,67	7,04
	160	7,06	6,42	6,64	6,55	6,62	6,70
	240	7,02	6,10	6,64	6,46	6,75	6,75
ND	0	6,67	6,82	7,05	6,78	6,58	7,00
	80	6,65	6,45	6,64	6,65	6,55	7,03
	160	6,52	6,45	7,02	6,39	6,60	6,24
	240	7,10	6,27	6,70	6,60	6,54	6,60

D – deszczowane; irrigated ND – niedeszczowane; non-irrigated

Tabela 3. Liczebność *Azotobacter* (jtk·g⁻¹ s.m. gleby) na poletkach deszczowanych w latach 2007–2009
 Table 3. The number of *Azotobacter* (cfu g⁻¹ DM soil) on the irrigated treatments in 2007–2009.

Dawka N N dose [kg N·ha ⁻¹]	Termin analiz [#] Analysis date [#]					
	I	II	III	IV	V	VI
2007						
0	39,5 a	22,3 a	11,2 a	37,8 a	3,2 a	6,5 a
80	2,3 b	2,4 b	1,2 ab	1,0 b	2,3 a	4,0 a
160	0,0 b	2,0 b	0,1 b	2,7 b	1,3 a	4,8 a
240	0,0 b	0,0 b	0,0 b	0,1 b	0,0 a	0,0 a
2008						
0	0,2 a	0,9 a	0,9 a	1,2 a	0,4 a	0,0 a
80	5,0 b	1,2 a	2,0 b	0,7 ab	0,5 a	0,0 a
160	0,0 a	5,9 b	0,9 a	0,0 b	1,2 ab	0,0 a
240	0,4 a	4,1 c	0,9 a	7,2 c	1,9 b	0,0 a
2009						
0	11,3 a	12,7 ab	17,0 a	24,9 a	10,1 a	10,8 ab
80	4,1 a	17,9 a	25,4 b	7,5 b	9,1 a	13,2 a
160	8,8 a	8,6 bc	18,6 ab	5,5 b	6,2 a	5,4 bc
240	6,4 a	5,1 c	6,4 c	4,4 b	3,4 a	0,6 c

[#] I – przed siewem, before sowing; II – faza 2–3 liści, phase of 2–3 leaves; III – faza 7–8 liści, phase of 7–8 leaves; IV – pełnia kwitnienia, full flowering; V – faza dojrzałości mlecznej, milk stage; VI – po zbiorze, after harvest

Średnie oznaczone różnymi literami różnią się istotnie na poziomie $\alpha = 0,05$; Mean marked with different letters differ significantly at the level of $\alpha = 0.05$.

Tabela 4. Liczebność *Azotobacter* (jtk·g⁻¹ s.m. gleby) na poletkach niedeszczowanych w latach 2007–2009
 Table 4. The number of *Azotobacter* (cfu g⁻¹ DM soil) on the non-irrigated treatments in 2007–2009.

Dawka N N dose [kg N·ha ⁻¹]	Termin analiz [#] Analysis date [#]					
	I	II	III	IV	V	VI
2007						
0	0,1 a	0,3 a	0,0 a	0,0 a	0,1 a	0,0 a
80	0,0 a	0,0 a	0,1 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
160	0,0 a	0,5 a	0,1 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
240	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
2008						
0	0,8 a	0,0 a	0,1 a	0,0 a	0,0 a	0,0 a
80	0,9 a	3,1 b	0,0 b	0,7 a	0,3 a	0,0 a
160	2,4 b	0,2 a	1,3 a	0,1 a	0,3 a	0,0 a
240	0,6 a	1,5 c	0,4 ab	0,0 a	0,0 a	0,0 a
2009						
0	0,7 a	13,5 a	4,4 a	2,6 ab	4,8 a	1,4 a
80	2,5 a	4,7 b	3,5 a	8,3 b	3,6 a	2,9 a
160	1,6 a	1,1 b	2,2 a	0,6 a	3,7 a	0,5 a
240	0,4 a	0,8 b	5,2 a	0,0 a	1,2 a	0,0 a

[#] patrz tab. 3; see Table 3

Średnie oznaczone różnymi literami różnią się istotnie na poziomie $\alpha = 0,05$; Mean marked with different letters differ significantly at the level of $\alpha = 0.05$.

omawianej grupy bakterii w glebie. Niemniej jednak na poletkach niedeszczowanych, gdzie azot zastosowano w dawce 80 i 160 kg N·ha⁻¹ liczebność *Azotobacter* wynosiła odpowiednio 3,1 jtk·g⁻¹ s.m. gleby (w fazie 2–3 liści – II) i 2,4 jtk·g⁻¹ s.m. gleby (przed siewem – I). W III roku

analiz (2009) zaobserwowano najwyższą liczebność *Azotobacter* na poletkach kontrolnych (dawka azotu 0 kg N·ha⁻¹) niedeszczowanych w II terminie analiz (faza 2–3 liści), która wynosiła 13,5 jtk·g⁻¹ s.m. gleby. W tym roku również stwierdzono wyższą liczebność tych bakterii w obiek-

tach z zerową bądź najniższą dawką azotu ($80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$). Na poletkach deszczowanych kontrolnych liczebność *Azotobacter* wynosiła od 10,1 do $24,9 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ s.m. gleby, natomiast na poletkach niedeszczowanych – od 0,7 do $13,5 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ s.m. gleby. Przy najniższej zastosowanej dawce azotu ($80 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$) liczebność bakterii z rodzaju *Azotobacter* na poletkach deszczowanych określono w przedziale od 4,1 do $25,4 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ s.m. gleby, a na niedeszczowanych od 2,5 do $8,3 \text{ jtk} \cdot \text{g}^{-1}$ s.m. gleby. Najwyższe liczebności *Azotobacter* odnotowywano przed siewem, w początkowej fazie wzrostu i podczas kwitnienia roślin (I, II, IV termin).

DYSKUSJA

Interakcja pomiędzy rośliną a zespołami drobnoustrojów glebowych najsilniej zaznacza się w ryzosferze (Nannipieri i in., 2007). Drobnoustroje zasiedlające ten mikroekosystem wyselekcjonowane są pod wpływem wydzielin korzeniowych, tworząc specyficzne zespoły, dostarczające roślinom składników odżywczych (Monoharachary, Mukerji, 2006; Saxena i in., 2006).

Wydzieliny korzeniowe koncentrują się przede wszystkim w okolicy stożków wzrostu, części rosnących i uszkodzonych miejsc korzenia. Ich największe wydzielanie w trakcie sezonu wegetacyjnego ma miejsce na początku i w pełni kwitnienia roślin, a jest to związane z większą aktywnością fotosyntetyczną w tym czasie. Analizując skład wydzielin korzeniowych kukurydzy, Krafczyk i in. (1984) wyodrębnili: 65% cukrów, 33% kwasów organicznych i tylko 2% aminokwasów. Szember (2001) donosi, że *Azotobacter* jest bakterią wymagającą określonych warunków bytowania. Oprócz dobrych warunków tlenowych wymaga odpowiedniego zasobu substancji energetycznych i pokarmowych. Także odczyn środowiska nie może być kwaśny, np. najpowszechniej występujący gatunek bakterii z tego rodzaju – *Azotobacter chroococcum*, nie rozwija się przy pH niższym niż 6. Zbyt duże dawki mineralnego azotu mogą doprowadzić m.in. do nagromadzenia toksycznych substancji, np. amoniaku, zatrującego rośliny i ograniczającego rozwój pewnych grup drobnoustrojów, oraz obniżenia odczynu gleby. Pod wpływem stosowania zbyt dużych dawek nawozów azotowych modyfikacji ulega skład jakościowy biocenozy – następuje recesja bakterii z rodzajów *Arthrobacter*, *Azotobacter*, *Streptomyces* – dotychczasowych dominantów z grupy mikroflory autochtonicznej, a dominację w mikrobiocenozach przejmują inne gatunki – głównie grzyby z klasy *Deuteromycetes* (Smyk i in., 1989). Również Krzyśko-Lupicka (2008) nie potwierdza występowania bakterii z rodzaju *Azotobacter* w glebach kwaśnych. Wydaje się jednak, że w naszych glebach można spotkać szczepy *Azotobacter*, które mogą się rozwijać także przy niższym pH środowiska. Wykazały to badania Strzelczykowej (za Szember, 2001), która wyosobniła z ryzosfery niektórych roślin oraz z gleby szczepy *Azotobacter* rosnące

względnie dobrze przy niższym pH (6,5–7,5). Wyższa liczebność *Azotobacter* na obiektach deszczowanych mogła mieć związek z poprawą zasobności gleby w przyswajalne składniki pokarmowe (właściwa wilgotność gleby wpływa na ich stężenie w roztworze glebowym), o czym donosi m.in. Kwaśna (2007). Podobne wyniki uzyskali Safari-Sinagani i Sharifi (2004), którzy stwierdzili wyższą liczebność *Azotobacter* na poletkach nawadnianych. Cvijanović i in. (2011) w swoich badaniach stwierdzili zmniejszenie liczebności *Azotobacter* wraz ze wzrostem dawek nawozu azotowego. Jednocześnie najwięcej tych bakterii występowało w glebie pod uprawą soi w pełni kwitnienia.

WNIOSKI

1. Wyższą liczebność bakterii z rodzaju *Azotobacter* zaobserwowano w obiektach deszczowanych w porównaniu do obiektów niedeszczowanych niezależnie od fazy rozwojowej kukurydzy.
2. Dawki azotu przekraczające $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ powodowały spadek liczebności *Azotobacter* w serii z deszczowaniem we wszystkich, a w serii bez deszczowania w większości terminów analiz.

PIŚMIENNICTWO

- Cvijanović G., Dozet G., Dukić V., Subić J., Cvijanović D., 2011. Effect of nitrogen fertilizing on the preceding crop and the application Co and Mo on *Azotobacter* abundance in soya bean. Romanian Biotechnol. Let., 16(1), Supplement, 74-80.
- Fenglerowa W., 1965. Simple method for counting *Azotobacter* in soil samples. Acta Microbiol. Polonica, 14: 203.
- Kennedy I.R., Tchan Y.T., 1992. Biological nitrogen fixation in non-leguminous field crops: Recent advances. Plant Soil, 141: 93-118.
- Krafczyk I., Trolldenier G., Beringer H., 1984. Soluble exudates of maize: Influence of potassium supply and rhizosphere microorganisms. Soil Biol. Biochem., 16: 315-322.
- Krzyśko-Lupicka T., 2008. Ecological effects of phosphoorganic herbicide on soil diazotrophs in spring. Part II. Ecol. Chem. Eng., 15: 595-609.
- Kwaśna H., 2007. Mikrobiologia. Wyd. AR Poznań, 206 ss.
- Lenart A., 2008. Wpływ wybranych związków chemicznych na wzrost i rozwój bakterii z rodzaju *Azotobacter*. Ekol. Tech., 5: 94-96.
- Martyniuk S., Stachyra A., Wróblewska B., Zięba S., 1997. Związki pomiędzy mikrobiologicznymi i enzymatycznymi właściwościami gleby a plonami ziemniaków. W: Drobnoustroje w środowisku. Występowania, aktywność, znaczenie; red.: Barabasz W., Wyd. AR Kraków, ss. 439-447.
- Martyniuk S., Martyniuk M., 2003. Occurrence of *Azotobacter* spp. in some Polish soils. Polish J. Environ. Stud., 3: 371-374.
- Martyniuk S., 2008. Znaczenie procesu biologicznego wiązania azotu atmosferycznego w rolnictwie ekologicznym. J. Res. Appl. Agric. Eng., 54: 9-14.
- Monoharachary C., Mukerji K.G., 2006. Rhizosphere Biology – an Overview. W: Microbial activity in the rhizosphere; red.:

- K.G. Mukerji K.G., C. Monoharachary, J. Singh, *Soil Biol.*, 7: 1-15.
- Mrkovacki N., Milic V., 2001.** Use of *Azotobacter* chroococcum as potentially useful in agricultural application. *Ann. Microbiol.*, 51: 145-158.
- Nannipieri P., Aschner J., Ceccherini M.T., Landi L., Pietramellara G., Renella G., Valori F., 2007.** Microbial diversity and microbial activity in the rhizosphere. *Cienc Suelo*, 25: 89-97.
- Paul E.A., Clark F.E., 2000.** *Mikrobiologia i biochemia gleb.* Wyd. UMCS, Lublin, 400 ss.
- Safari-Sinegani A.A., Sharifi Z., 2004.** Land use effect on the occurrence and distribution on *Azotobacter* in Hamandan soils, Iran. Proceedings of The Fourth International Iran & Russia Conference „Agriculture and Natural Resources”, Iran-Shahrekord, 8-10 September 2004, ss. 614-618.
- Saxena A.K., Shende R., Grover M., 2006.** Interaction Among Beneficial Microorganisms. W: *Microbial activity in the rhizosphere*; red.: K.G. Mukerji, C. Monoharachary, J. Singh, *Soil Biol.*, 7: 121-137.
- Smyk B., Czachor M., Awiz N.H., 1989.** Występowanie grzybów toksynotwórczych w glebach i ich wpływ na produktywność biologiczną agrosystemów. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 380: 143-150.
- Szember A., 2001.** *Zarys mikrobiologii rolniczej.* Wyd. AR Lublin, 215 ss.
- Wielgosz E., Szember A., Tokarzewska D., 2002.** Wpływ wybranych roślin na liczebność niektórych zespołów drobnoustrojów glebowych oraz aktywność różnych grup morfologicznych bakterii amonifikujących. *Ann. UMCS, Sect. E*, 57: 121-137.
- Ziemięcka J., 1923.** Występowanie azotobaktera w glebach polskich. *Rocz. Nauk Rol.*, 10: 1.

M. Natywa, M. Selwet, K. Ambroży, M. Pocięjowska

THE EFFECT OF NITROGEN FERTILIZATION
AND IRRIGATION ON THE NUMBER OF *AZOTOBACTER*
IN THE SOIL UNDER MAIZE AT DIFFERENT STAGES
OF PLANT DEVELOPMENT

Summary

Azotobacter sp. is a bacterium with properties very useful for agriculture. According to the literature, these bacteria are most numerous in calcareous alkaline soils. Excessive fertilization can contribute to the acidification of soils and thus reduce the number of free-living assimilators of atmospheric nitrogen in the soil. Therefore, the aim of the study was to determine the effect of different nitrogen rates (as ammonium nitrate, the following doses: 0, 80, 160 and 240 kg ha⁻¹) and irrigation on the dynamics of these bacteria in a soil under maize in three growing seasons (2007–2009). Statistical analysis was performed using the Statistica 9.0 software and to determine the difference between the means Tukey's test was used. The applied nitrogen fertilization and irrigation was found to exert a significant influence on the number of bacteria of the genus *Azotobacter* – increase of N dose over 80 kg ha⁻¹ caused a decrease in the number of bacteria, while irrigation promoted their development.

key words: *Azotobacter* sp., nitrogen fertilization, irrigation