

Rola bakterii wiążących azot atmosferyczny w stymulacji wzrostu i rozwoju roślin oraz ochrona roślin przed niekorzystnymi czynnikami środowiska

Karolina Gawryjolek

Monika Koziel

Zakład Mikrobiologii

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa

20.11.2025r.

Rozwój rolnictwa i
przemysłu



Nadmierne stosowanie nawozów
mineralnych i chemicznych
środków ochrony roślin

Lepsze
plonowanie i
ochrona roślin

Degradacja
środowiska
naturalnego



Negatywne skutki środowiskowe chemizacji rolnictwa skłoniły naukowców do poszukiwania alternatywnych metod, bezpiecznych dla przyrody i zdrowia ludzkiego.



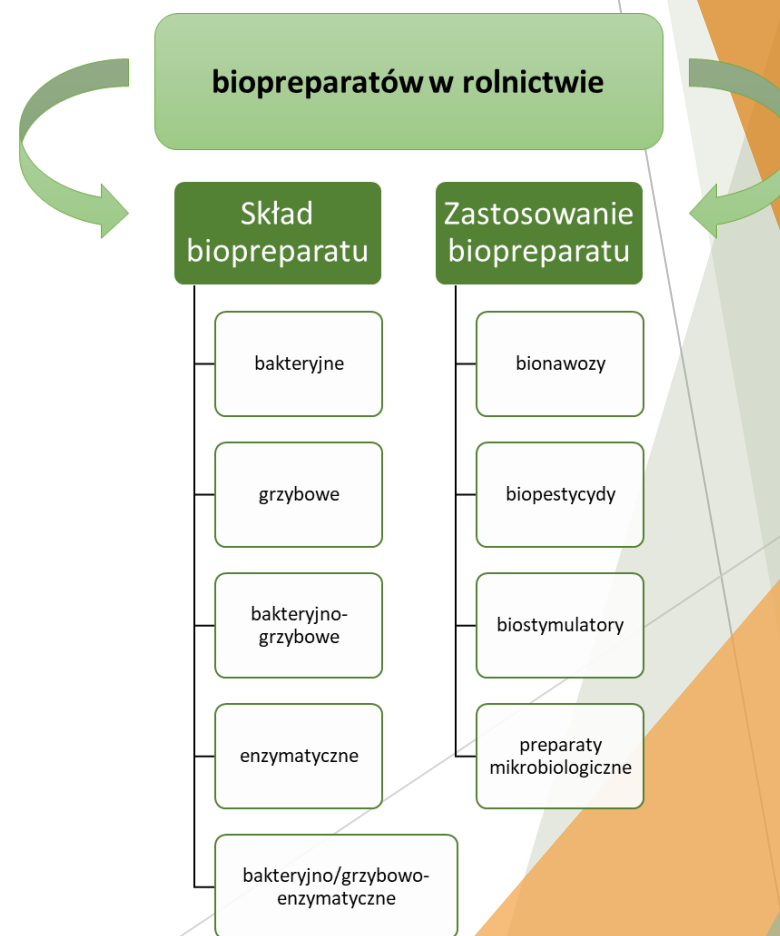
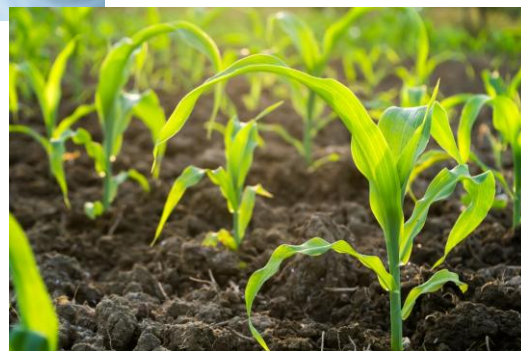
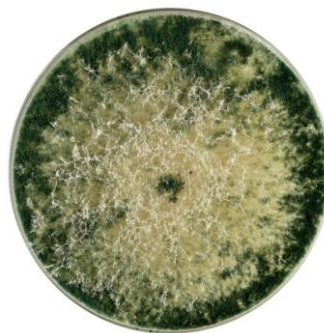
Jednym ze sposobów realizacji koncepcji rolnictwa zrównoważonego jest dogłębne stosowanie środków mikrobiologicznych, których celem jest ochrona roślin przed patogenami oraz korzystny wpływ na ich wzrost i rozwój.



Wysoką skutecznością charakteryzują się **preparaty mikrobiologiczne** zawierające w swym składzie **odpowiednio dobrane, pożyteczne mikroorganizmy** powszechnie występujące w środowisku naturalnym.



W wielu krajach prowadzono badania mające na celu wykorzystanie pożytecznych grup mikroorganizmów w praktyce rolniczej. Efektem tych prac jest opracowywanie i wdrażanie do produkcji licznych biopreparatów, w tym preparaty zawierające bakterie wiążące azot atmosferyczny.





Azot należy do pierwiastków o bardzo dużym znaczeniu biologicznym;

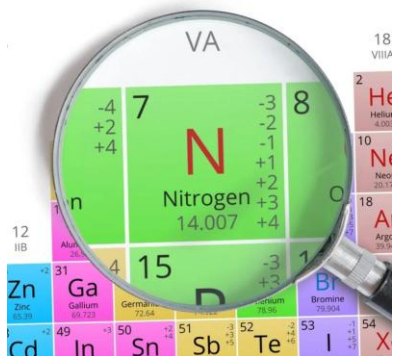
- Składnik wielu biocząsteczek (np. aminokwasy, białka, kwasy nukleinowe, chlorofil)
- Reguluje wiele procesów zachodzących w roślinach i jest niezbędny roślinom w fazie wzrostu

Niedobór azotu powoduje u roślin:

- Ograniczenie wzrostu
- Żółknięcie liści
- Zwiększenie podatności na choroby i szkodniki
- Zahamowanie kwitnienia
- Słabsze formowanie owoców



Obniżenie plonów !!!



Azot w geosferze

- 98% formy nieprzyswajalne dla organizmów żywych
- 2% azotu może zostać przez nie wykorzystane bezpośrednio albo po przekształceniu do form łatwo przyswajalnych

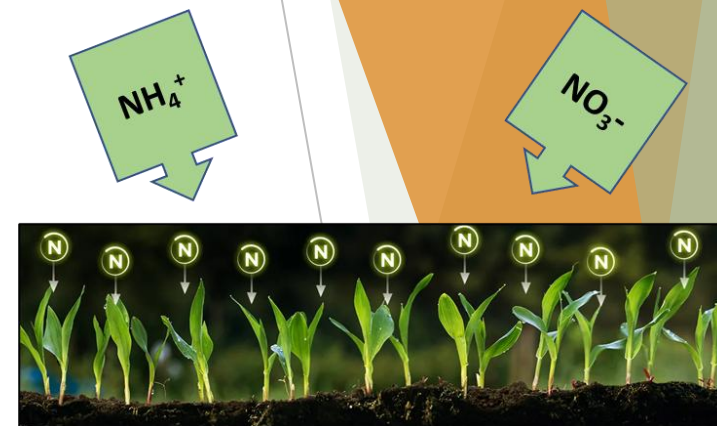
Azot w glebie:

forma organiczna

- aminokwasy, peptydy, białka

forma nieorganiczna

- **azot amonowy** (NH_4^+)
- **azot azotanowy** (NO_3^-)
- podtlenek azotu (N_2O)
- azotyny (NO_2)

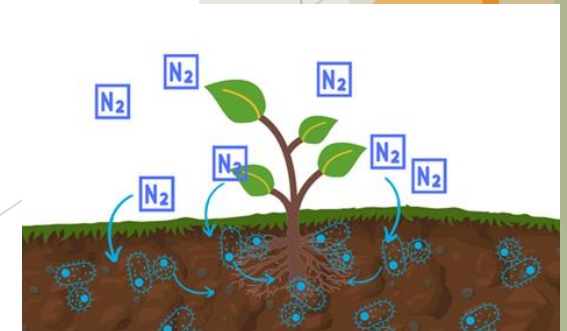


W glebach uprawnych często występuje brak biologicznie dostępnego azotu, co skutkuje ograniczeniem wzrostu i produkcji biomasy roślin, nawet w środowiskach o odpowiednich warunkach klimatycznych i dostępie wody.



Proces biologicznego wiązania azotu atmosferycznego

- Proces ten dostarcza corocznie do cyklu obiegu azotu około **140-170 mln ton tego pierwiastka**, co ma ogromne znaczenie z ekologicznego jak i praktycznego punktu widzenia.
- Zaraz po fotosyntezie, jest jednym z najważniejszych procesów biologicznych zachodzących na powierzchni ziemi, a zdolność mikroorganizmów do wiązania azotu atmosferycznego jest jedną z ich ważniejszych aktywności.
- Bakterie zdolne do wiązania azotu atmosferycznego nazywane są **bakteriami azotowymi** lub **diazotrofami**. Mikroorganizmy te przekształcają azot z powietrza (N_2) w formy przyswajalne dla roślin.

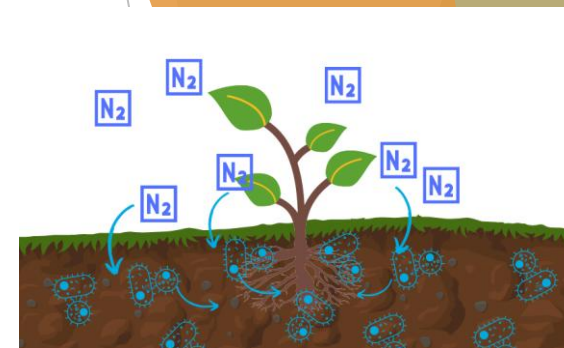


Bakterie wiążące azot atmosferyczny

Grupa mikroorganizmów, która jest liczna i zróżnicowana pod względem morfologicznym, fizjologicznym, wymagań siedliskowych oraz złożoności systemu, w którym proces asymilacji N_2 jest przeprowadzany.

Pod względem ekologicznym możemy wyróżnić:

- wolno żyjące asymilatory N_2 bytujące w glebie i zbiornikach wodnych. Najbardziej znanym rodzajem ***Azotobacter***, a także *Clostridium* i *Nostoc*
- bakterie wiążące azot w asocjacjach z korzeniami roślin (***Azospirillum***) lub rozwijające się w wiązkach przewodzących niektórych roślin (*Acetobacter*)
- bakterie wiążące azot w symbiozie z roślinami (***Rhizobium*** - rośliny bobowate)



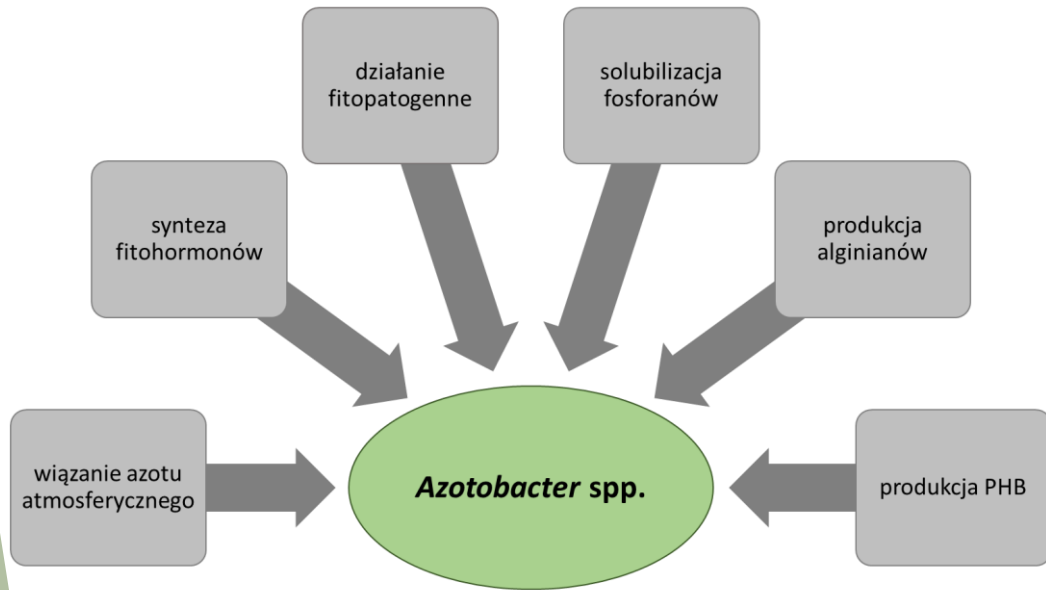


Azotobacter spp. – wolnożyjące asymilatory azotu



- W środowisku glebowym efektywność wiązania azotu atmosferycznego przez *Azotobacter* spp. nie jest duża i wynosi **20 mg N na 1 g zużytej glukozy**. Wynika to z faktu, że bakterie te przeprowadzają ten proces jedynie w czasie wzrostu, zużywając energię na własne procesy metaboliczne. Gleba wzbogacana jest w azot dopiero po obumarciu komórek bakteryjnych.
- Według Kennedy'ego i Tchan (1992) bakterie z rodzaju *Azotobacter* dostarczają do gleby tylko niewielkie ilości azotu przyswajalnego dla roślin, ale zdaniem Martyniuka (2010) to właśnie te **niewielkie ilości zasymilowanego azotu wywierają korzystny wpływ na metabolizm i na żyzność gleby**.
- Zdolność do biologicznego wiązania azotu atmosferycznego nie jest jedyną cechą sprawiającą, że bakterie z rodzaju *Azotobacter* mają duże znaczenie dla rolnictwa.

Azotobacter spp. – wpływ na wzrost i plonowanie roślin



Znaczenie bakterii z rodzaju *Azotobacter*

Wytwarzają szereg związków stymulujących wzrost i rozwój roślin:

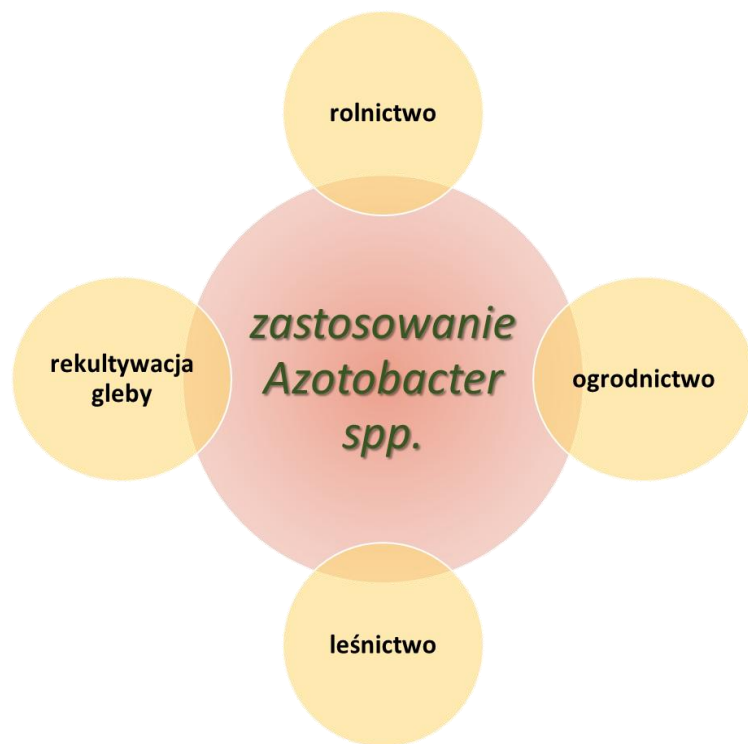
- fitohormony (auksyny, gibereliny, cytokininy)
- Witaminy z grupy B
- Siderofory

Wytwarzają związki hamujące rozwój patogenów, w szczególności grzybów

Wykazują zdolność do solubilizacji fosforanów, cynku potasu

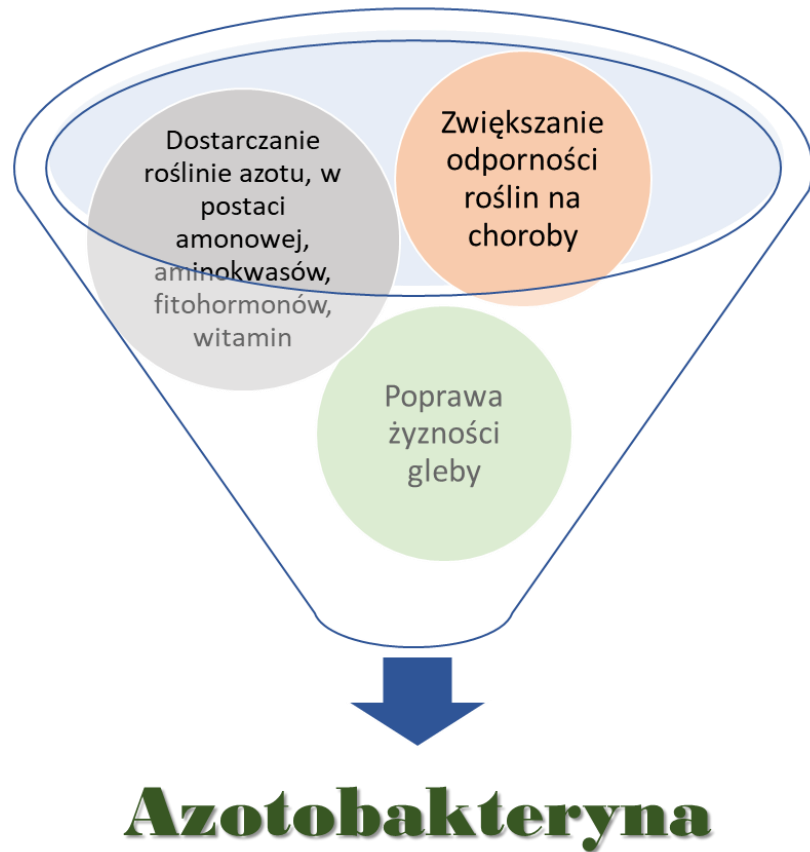
Stymulują drobnoustroje ryzosferowe

Azotobacter spp. – zastosowanie



- Dzięki wymienionym cechom bakterie z rodzaju *Azotobacter* znajdują zastosowanie w rolnictwie, ogrodnictwie, leśnictwie jako bionawozy, biostymulatory i bioprotektanty
- Biopreparaty na bazie *Azotobacter* spp. znalazły zastosowanie w rekultywacji gleby, ponieważ poprzez poprawę właściwości próchnicotwórczych gleby zwiększają stopień jej żyzności.
- W praktyce bakterie z rodzaju *Azotobacter* wykorzystywane są do tworzenia konsorcjów bakteryjnych, które spełniają konkretne funkcje względem roślin uprawnych. Konsorcja pożytecznych mikroorganizmów są jednym z najnowszych rozwiązań mających na celu zwiększenie jakości, bezpieczeństwa i efektywności produkcji roślinnej.
- Na światowym rynku dostępne są zarówno bionawozy, w których skład wchodzi tylko wyselekcjonowane doświadczalnie szczepy bakterii z rodzaju *Azotobacter*, jak i innowacyjne i równie efektywnie działające preparaty mikrobiologiczne zawierające konsorcja bakteryjne. Jak donoszą dane literaturowe stosowanie *Azotobacter* spp. wraz z innymi drobnoustrojami jest wysoce skuteczne i preferowane zarówno wśród naukowców, jak i rolników.

Azotobakteryna i inne preparaty mikrobiologiczne na bazie bakterii z rodzaju *Azotobacter*



Azotobacter spp. był stosowany jako bionawóz już ponad 100 lat temu.

Najstarszym i najbardziej znanym przykładem preparatu mikrobiologicznego zawierającego wyselekcjonowane szczepy bakterii z rodzaju *Azotobacter* i znajdującego zastosowanie w rolnictwie i ogrodnictwie jest **Azotobakteryna**



Na rynku dostępne są również inne preparaty zawierające w swym składzie bakterie z rodzaju *Azotobacter* zaopatrujące glebę w trudno przyswajalne formy azotu.

Do produkcji doglebowych szczepionek bakteryjnych najczęściej wykorzystywany jest gatunek *A. chroococcum*

Skuteczność biopreparatów różni się w zależności od rodzaju gleby, odmiany rośliny, oraz innych parametrów fizycznych, chemicznych i biologicznych.

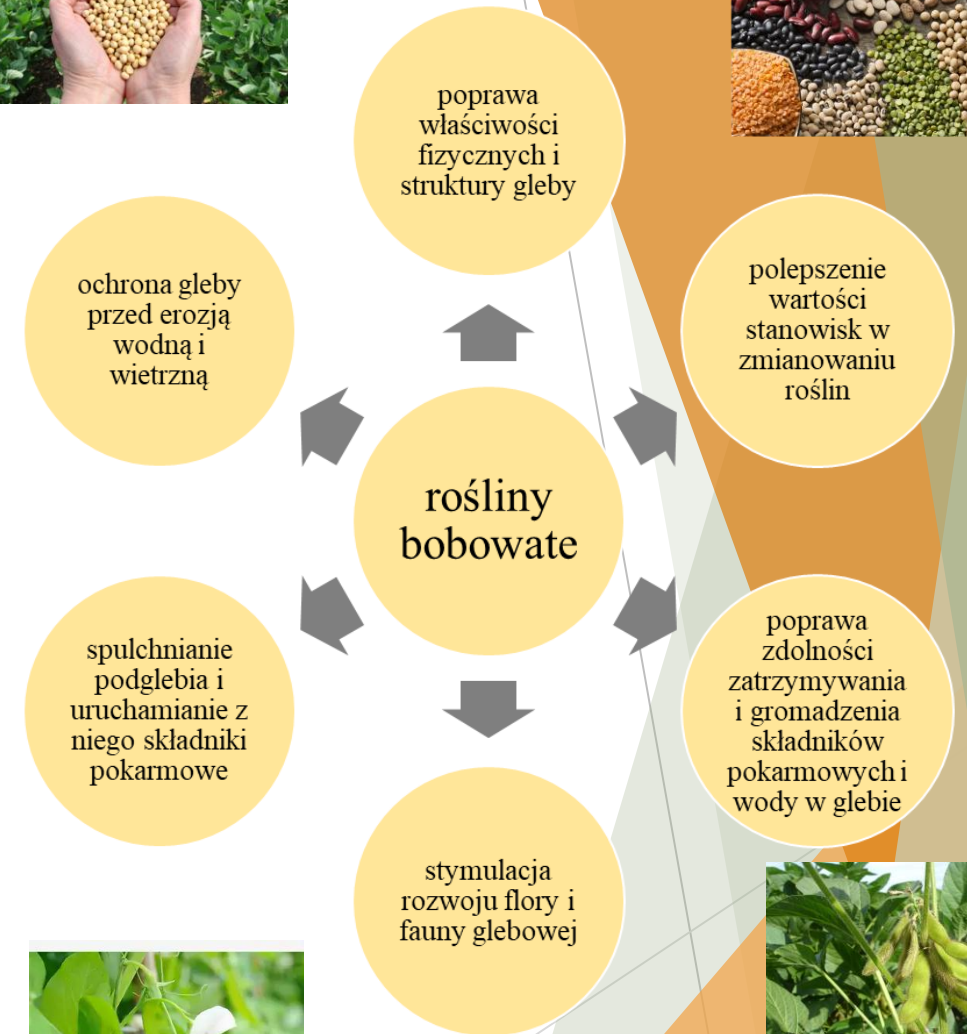
Kraj	Preparat	Składniki aktywne	Roślina
Rosja	Azotobakteryna	<i>Azotobacter chroococcum</i>	groch, soja, bób, łubin,
	Ekophit	<i>Azotobacter chroococcum</i>	pomidor, pieprz, szczaw
Australia	TwinN	<i>Azotobacter</i> spp.	rośliny strączkowe, zboża
Kanada	Nutri-Life Bio-P	<i>Azotobacter</i> spp. + <i>Bacillus subtilis</i>	wszystkie uprawy
	Nutri-Life Bio-N	<i>Azotobacter</i> spp.	wszystkie uprawy
Indie	Symbion-N	<i>Azospirillum</i> , <i>Rhizobium</i> , <i>Acetobacter</i> , <i>Azotobacter</i>	trzcina cukrowa, sorgo, kukurydza, bawełna, herbata, kawa
	CALZOTO	<i>Azotobacter</i> spp.	rośliny strączkowe, zboża, warzywa
	Nitrofix AC	<i>Azotobacter chroococcum</i>	większość roślin uprawnych
	Nitrofix AV	<i>Azotobacter vinelandii</i>	większość roślin uprawnych
	Azopower	<i>Azotobacter</i> spp.	warzywa, owoce
Niemcy	Phylazonit-M	<i>Bacillus megaterium</i> , <i>Azotobacter chroococcum</i>	ryż, kukurydza
Kolumbia	Dimargon I	<i>Azotobacter chroococcum</i>	ryż, bawełna
Polska	Bacti-N	<i>Azotobacter</i> spp.	zboża jare, rzepak, kukurydza
	AzotoPower	<i>Azotobacter</i> , <i>Arthrobacter</i>	pszenica ozima, kukurydza, burak cukrowy
	Bactim Nutri N+	<i>Azotobacter</i> spp.	zboża, rzepak, kukurydza
	NovobaktAzo+	<i>Azospirillum lipoferum</i> , <i>Azotobacter chroococcum</i>	zboża, rzepak, kukurydza, ziemniak, warzywa
	Rhizosum N Plus	<i>Azotobacter salinestris</i>	warzywa, owoce, rośliny strączkowe, rośliny ozdobne, zboża, trawy

Rośliny bobowate

- Rośliny bobowate (*Fabaceae*) stanowią dużą rodzinę do której należą m.in. fasola, groch, bób, soja, lucerna czy koniczyna.
- Ich główną cechą jest symbioza z bakteriami brodawkowymi, która pozwala im wiązać azot z atmosfery.
- Charakteryzują się specyficzną budową kwiatów (motylkową) i owocem w postaci strąka.

Zapotrzebowanie na rośliny bobowate jest wysokie, a powierzchnia uprawy w Polsce nadal jest zbyt mała.

Największą powierzchnię upraw wśród bobowatych zanotowano w uprawie łubinu wąskolistnego, grochu siewnego i bobiku. W ostatnich latach nastąpił w Polsce znaczny wzrost powierzchni uprawy soi.



Rhizobium spp. - bakterie symbiotyczne

- Od innych mikroorganizmów glebowych różnią się tym, że bytują w dwóch formach: wolnożyjącej, saprofitycznej- w glebie oraz symbiotycznej- w brodawkach korzeniowych roślin bobowatych.
- Wewnątrz brodawek korzeniowych Rhizobia ulegają fizjologicznemu i morfologicznemu różnicowaniu w wiążące azot bakteroidy.
- W brodawkach zachodzi proces wiązania azotu atmosferycznego, czyli jego redukcja do formy amonowej, przyswajalnej dla roślin. W zamian za zredukowane cząstki azotu roślina dostarcza swoim symbiontom związki węgla wytworzone podczas procesu fotosyntezy.
- Proces redukcji N_2 zachodzi przy udziale enzymu bakteryjnego- **nitrogenazy**



Brodawki na korzeniach seradeli (*Ornithopus sativus*)

Brodawki na korzeniach grochu (*Pisum sativum*)

W obrębie rodziny *Rhizobiaceae* możemy wyróżnić następujące rodzaje bakterii:

- *Bradyrhizobium*,
- *Azorhizobium*,
- *Mesorhizobium*,
- *Ensifer* (*Sinorhizobium*),
- *Neorhizobium*,
- *Pararhizobium*
- *Allorhizobium*

Rhizobium spp. - bakterie symbiotyczne



- Proces biologicznego wiązania azotu atmosferycznego dostarcza corocznie do gleb uprawnych około 139-170 mln ton azotu, z czego ilość azotu związanego przez bakterie występujące w układach symbiotycznych stanowi około 70 - 80%.
- Rośliny bobowate wykorzystują zasymilowany azot do własnego wzrostu i rozwoju ale część tego pierwiastka przekazują również roślinom rosnącym z nimi w uprawie mieszanej.
- Azot pozostaje także w glebie w formie resztek poźniwnych, a po przejściu procesu mineralizacji jest udostępniany roślinom następczym.

Większość gatunków bakterii brodawkowych charakteryzuje się dużą specyficznością symbiotyczną czyli powinowactwem do określonego rodzaju rośliny-gospodarza.

Nie stwierdzono dotychczas występowania w glebach **uniwersalnego gatunku bakterii symbiotycznych**, który tworzyłby symbiozę ze wszystkimi rodzajami i gatunkami roślin bobowatych

Rodzaj	Gatunek	Gospodarz roślinny
<i>Rhizobium</i>	<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>viciae</i>	groch, bobik, wyka, soczewica
	<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>trifolii</i>	koniczyna
	<i>R. leguminosarum</i> bv. <i>phaseoli</i>	fasola
<i>Bradyrhizobium</i>	<i>Bradyrhizobium</i> sp.	łubin
	<i>B. japonicum</i>	soja
<i>Sinorhizobium</i>	<i>S. meliloti</i>	lucerna, nostryk, kozieradka
<i>Mesorhizobium</i>	<i>M. loti</i>	komonica

Rhizobium spp. - zastosowanie

- Wzrost zainteresowania uprawą roślin bobowatych pociąga za sobą wzrost zainteresowania preparatami, których komponentami są rizobia.
- Ze względu na korzystne oddziaływanie na zasobność i strukturę gleby oraz ekonomiczną opłacalności upraw należy dążyć do zwiększania skali produkcji roślin bobowatych.
- Uprawa roślin bobowatych jest proekologicznym sposobem poszukiwania bezpiecznych źródeł azotu dla roślin, zwłaszcza w dzisiejszych czasach, gdzie rośnie zużycie mineralnych nawozów azotowych, które negatywnie oddziałują na środowisko.

W praktyce rolniczej stosowane są preparaty mikrobiologiczne na bazie bakterii z rodzaju *Rhizobium* dedykowane odpowiednim rodzajom roślin bobowatych.

Biopreparaty te należą do grupy preparatów najbardziej znanych i powszechnie stosowanych w uprawie roślin na całym świecie, również w Polsce.

Wykorzystywane są one do otaczania nasion roślin bobowatych, umożliwiając tym samym wprowadzenie dużej liczby bakterii bezpośrednio do strefy korzeniowej siewek roślin.



Większa liczebność bakterii brodawkowych w glebie zwiększa ich szanse na nawiązanie skutecznej symbiozy z rośliną gospodarza.

Stosowanie szczepionek bakteryjnych dla roślin bobowatych stało się ważną praktyką agronomiczną, która oprócz zwiększania plonu pozwala prowadzić zrównoważone i ekologiczne rolnictwo, nie wymagające sztucznego nawożenia azotem.

- Rolnicy mają do dyspozycji szeroki wybór szczepionek bakteryjnych dla roślin bobowatych.
- Oprócz zwiększania plonów roślin, poprawiają właściwości próchnicotwórcze gleby, jednocześnie nie zaburzając równowagi biologicznej.
- Od kilkudziesięciu lat szczególnie intensywnie stosowane są w rolnictwie szczepionki rizobiowe, co związane jest z ograniczeniem stosowania nawozów mineralnych oraz chemicznych środków ochrony roślin.
- Wzrastające zapotrzebowanie na biopreparaty związane jest więc głównie z rozwojem proekologicznych metod uprawy roślin, w tym rolnictwa ekologicznego

Nitragina IUNG-PIB	Nitragina Biofood	Nitraza	Nitroflora Mycoflor	Rhizobium Bio-Gen	HiStick® Soy
podłoże perlitowe	podłoże węglowe	zawiesina płynna	zawiesina płynna	liofilizowany szczep bakterii	podłoże węglowe
					





Kraj	Nazwa produktu	Mikroorganizmy	Roślina
Argentyna	Rhizo Liq	Bradyrhizobium sp.	ciecierzyca, soja, fasola zwyczajna, orzeszki ziemne
		Mesorhizobium ciceri	
Kanada	Rhizocell GC Nodulator	Rhizobium spp.	
		Bacillus amyloliquefaciens, Bradyrhizobium japonicum	fasola, kukurydza, marchewka, ryż, bawełna
Afryka	Histick N-Soy	Bradyrhizobium japonicum	soja
	MasterFix	Bradyrhizobium elkanii, Bradyrhizobium japonicum	soja
Stany Zjednoczone	Ammnite A 100	Azotobacter, Bacillus, Rhizobium, Pseudomonas	ogórek, pomidor, pieprz
	Legume Fix	Rhizobium sp., Bradyrhizobium japonicum	fasola zwyczajna, soja
	Chickpea Nodulator	Mesorhizobium ciceri	ciecierzyca
	Cowpea Inoculant	Rhizobium spp.	wspiega węzowata groch, bobik, wyka
Polska	Rhizobium groch	Rhizobium spp.	
	Novobakt Rhizo Bobik	Rhizobium spp.	groch, bobik, wyka
	Atuva Groch&Łubin	Rhizobium spp.	groch, bobik, wyka
	Turbosoy	Rhizobium spp.	groch, bobik, wyka, łubin
	Verruca Pro Łubin	Bradyrhizobium japonicum Bradyrhizobium spp.	soja łubin

- Efektywność wiązania azotu w dużej mierze zależy od **właściwości biochemicznych i genetycznych** symbiontów, czyli bakterii brodawkowych.
- Kluczowym etapem w produkcji szczepionek zawierających bakterie brodawkowe jest stosowanie **wydajnych i efektywnych** szczepów
- Istnieje **zmiennność w skuteczności wiązania azotu atmosferycznego i populacji bakterii z rodzajów *Rhizobium***. Rodzaj uprawy i wcześniejsze stosowanie szczepionek mają istotny wpływ na różnorodność rizobiów w glebie.



- Bytujące w glebie bakterie z rodzaju *Rhizobium*, które wykazują zdolność do nawiązania symbiozy z rośliną gospodarza są **mniej liczne ale bardziej skuteczne** pod względem biologicznego wiązania azotu niż te, które występują w dostępnych na rynku preparatach mikrobiologicznych.

Istnieje zatem potrzeba poszukiwania izolatów bakterii brodawkowych wśród rodzimych populacji występujących w glebie, posiadających wszystkie pożądane cechy wymagane do przygotowania preparatów mikrobiologicznych, które mogłyby być wykorzystywane w praktyce rolniczej.

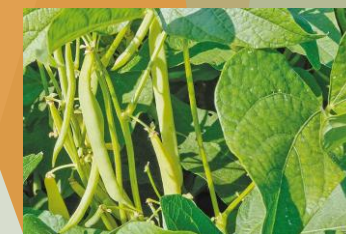
Zastosowanie w biopreparatach rodzimych szczepów jest preferowane przede wszystkim ze względu na ich szybszą i łatwiejszą adaptację do naturalnych warunków środowiskowych i możliwość nawiązania skutecznej symbiozy z rośliną gospodarza.

Poza pozytywnym wpływem bakterii symbiotycznych na wzrost i plonowanie roślin bobowatych liczne badania potwierdzają ich istotne znaczenie w uprawie innych roślin:

- Potwierdzono, że inokulacja szczepami *Rhizobium etli* bv. *phaseoli*, *R. leguminosarum* bv. *trifolii* i *Sinorhizobium* sp. poprawiła wzrost i zwiększyła wysokość plonu ziarna **kukurydzy**.
- Przeprowadzone badania potwierdziły, że zaszczepienie **ryżu** *Bradyrhizobium* spowodowało 20% wzrost całkowitej biomasy roślin.
- Ponadto zaobserwowano znaczną poprawę plonu (43%), biomasy (18%) i wielkości ziarna (25%) w uprawie ryżu po zastosowaniu biopreparatu na bazie *Rhizobium leguminosarum*.

Na światowym rynku dostępne są bionawozy, w których skład wchodzi nie tylko wyselekcjonowane doświadczalnie szczepy bakterii z rodzaju *Rhizobium*, ale również efektywnie działające preparaty mikrobiologiczne zawierające konsorcja bakteryjne.

Jak donoszą dane literaturowe stosowanie *Rhizobium* spp. wraz z innymi drobnoustrojami wspomagającymi wzrost roślin jest wysoce skuteczne i preferowane zarówno wśród naukowców, jak i rolników.



Dlaczego i jak stosujemy szczepionki

Szczepionki zawierają bardzo liczne, żywe kultury bakterii brodawkowych.

Stosując szczepionki możemy w prosty sposób:

- wprowadzić do gleby aktywne szczepy bakterii brodawkowych,
- ułatwić roślinom bobowatym wytworzenie efektywnej symbiozy z bakteriami,
- polepszyć wzrost i plonowanie roślin,
- polepszyć jakość plonu, m.in. poprzez zwiększenie zawartości białka,
- zwiększyć ilość azotu pozostającego w glebie.

Użycie szczepionki wskazane jest szczególnie wtedy, gdy:

- na danym polu przez długi okres nie uprawiano wysiewanej rośliny,
- zamierzamy uprawiać soję, ponieważ w naszych glebach na ogół brak jest bakterii brodawkowych tworzących symbiozę z tą rośliną,
- gleba jest zbyt zakwaszona (pH poniżej 5,0),
- rekultywujemy gleby lub nieużytki, np. zanieczyszczone metalami ciężkimi.



Azospirillum spp. – bakterie asocjacyjne

- Wolnożyjące asymilatory N_2 , proces biologicznego wiązania azotu katalizowany jest przez enzymatyczny kompleks nitrogenezy.
- Należą do endofitów fakultatywnych – mikroorganizmów występujących w glebie, jak również zdolnych do kolonizacji zarówno zewnętrznej powierzchni, jak i wewnętrznych tkanek roślinnych.
- Żyją w asocjacji z korzeniami wielu roślin.
- Zaliczane są do drobnoustrojów ryzosferowych stymulujących wzrost roślin (tzw. **PGPR** - *plant growth-promoting rhizobacteria*).



Obraz mikroskopowy bakterii z rodzaju *Azospirillum*



Azospirillum spp. – wpływ na wzrost i rozwój roślin

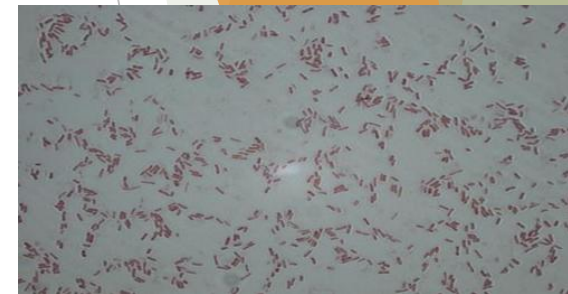
- Bakterie z rodzaju *Azospirillum* wpływają pozytywnie na wegetację roślin poprzez bezpośrednie i pośrednie stymulowanie wzrostu.

Wspomaganie bezpośrednie:

- dostarczanie roślinie składników pokarmowych (azot, fosfor, żelazo)
- synteza fitohormonów (auksyny, gibereliny, cytokininy)
- obniżanie poziomu etylenu

Wspomaganie pośrednie:

- biologiczne zwalczanie patogenów roślinnych poprzez konkutowanie z nimi o składniki pokarmowe



Obraz mikroskopowy bakterii z rodzaju *Azospirillum*



- Pozytywny wpływ szczepienia roślin bakteriami z rodzaju *Azospirillum* potwierdzone zostało w wielu doświadczeniach.
- Szczepieniom poddawane były nasiona i siewki wielu roślin m.in. kukurydza, pszenica, jęczmień czy żyto w warunkach polowych oraz doświadczeniach wazonowych. Uzyskiwano znaczący wzrost plonów części wegetatywnych (o 15-42%) i ziarna (o 10-35%) oraz lepszy rozwój systemu korzeniowego.
- Udowodniono, że rośliny zaszczepione *Azospirillum* spp. są w stanie pobrać ze środowiska więcej azotu, fosforu oraz potasu.
- Szczepienie roślin bakteriami z rodzaju *Azospirillum* razem z grzybami mykoryzowymi lub bakteriami *Rhizobium* spp. spowodowało podniesienie poziomu cynku i żelaza, a także uzupełnienie przez rośliny azotu i fosforu.



Czynniki wpływające na efektywność bakterii wiążących azot atmosferyczny

- Warunki glebowe (pH, dostępność materii organicznej)
 - większość mikroorganizmów preferuje pH w zakresie 5,5 – 8,0. Kwaśne gleby ograniczają aktywność bakterii.
- Czynniki środowiskowe (temperatura, nawodnienie)
 - umiarkowane temperatury oraz optymalne nawodnienie sprzyjają wiązaniu azotu.
 - nadmiar oraz niedobór wody mogą hamować proces asymilacji azotu atmosferycznego
- Inne czynniki
 - Rodzaj uprawy (różne gatunki roślin są wspierane przez różne rodzaje bakterii (np. symbioza bakterii *Rhizobium* spp. z roślinami bobowatymi)
 - właściwości biochemiczne i genetyczne samych bakterii.



Brodawki na korzeniach seradeli (*Ornithopus sativus*)

Brodawki na korzeniach grochu (*Pisum sativum*)

Dziękuję za uwagę