

Nowe aspekty symbiotycznego wiązania azotu

Jerzy Borowiecki

*Zakład Uprawy Roślin Pastewnych
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. (81)8863421 w. 355
e-mail: jerzy.borowiecki@iung.pulawy.pl*

Słowa kluczowe: rośliny motylkowate, rizobia, azot symbiotyczny, szczepienie nasion

Wstęp

Biologiczne wiązanie azotu atmosferycznego przez rośliny motylkowate za pośrednictwem bakterii brodawkowych jest jednym z elementów obiegu azotu w przyrodzie. Ma ono duże znaczenie w agrosystemie rolnictwa zrównoważonego [22, 23]. Azot zawarty w korzeniach roślin motylkowatych stanowi ponad 25% całego pobranego azotu, co ma duże znaczenie w obiegu azotu w danym systemie uprawy roślin [24]. W dużym uproszczeniu polega on na redukcji N_2 atmosferycznego do formy amonowej dostępnej dla roślin. Proces ten jest złożony i jego omawianie nie stanowi celu niniejszej pracy.

Ilość przyswojonego azotu zależy od gatunku rośliny motylkowatej, aktywności szczepu bakterii i od warunków siedliskowych, a zwłaszcza od przebiegu pogody, składu granulometrycznego i chemicznego oraz pH gleby. Pewną rolę w tworzeniu brodawek korzeniowych i przyswajaniu N_2 ma także molibden [2, 25], występujący w enzymie nitrogenazy. Szczególne zapotrzebowanie roślin motylkowatych na ten mikroelement występuje na glebach o niskim pH. Ilość związanego symbiotycznie azotu atmosferycznego zależy również od zabiegów agrotechnicznych wykonywanych w uprawie rośliny motylkowatej, a zwłaszcza od zaopatrzenia gleby w azot mineralny.

Celem opracowania jest syntetyczne przedstawienie najnowszych wyników badań dotyczących rolniczych aspektów biologicznego wiązania azotu atmosferycznego w zależności od gatunku rośliny motylkowatej, szczepu bakterii *Rhizobium* lub *Bradyrhizobium* oraz czynników siedliskowych i agrotechnicznych.

Pobieranie azotu przez rośliny motylkowate

Rośliny motylkowate pobierają azot atmosferyczny dzięki symbiozie z bakteriami brodawkowymi oraz azot mineralny z gleby. Istnieje pogląd o komplementarności tych dwóch źródeł azotu; udział azotu symbiotycznego w stosunku do całości pobranego azotu zależy w dużym stopniu od dostępności tego składnika w glebie [4, 9]. Inhibicyjny efekt azotu mineralnego polega na ograniczeniu wytwarzania biomasy brodawek korzeniowych, od której zależy aktywność nitrogenazy i przyswajania N_2 .

W okresie wypełniania się nasion grochu zmniejsza się przyswajanie azotu atmosferycznego [37]; maleje też źródło węgla pochodzącego z fotosyntezy oraz azotu mineralnego. Do nasion przemieszczany jest wówczas azot z wegetatywnej części rośliny [28]. Pochodzenie azotu w żywieniu grochu nie wpływa na poziom jego plonowania [38].

Gatunek rośliny motylkowej decyduje o ilości azotu pobranego łącznie i N_2 symbiotycznego. Spośród uprawnych gatunków roślin motylkowatych najczęściej azotu przyswajają lucerna i koniczyny [39]. W tabeli 1 przedstawiono średnie ilości azotu pobieranego przez wybrane gatunki roślin motylkowatych, z uwzględnieniem udziału N_2 pochodzącego z symbiozy z bakteriami brodawkowymi.

Tabela 1. Ilość azotu pobieranego rocznie przez rośliny motylkowate i udział N_2 atmosferycznego [36]

Gatunek	Ilość azotu pobranego [$kg\ N \cdot ha^{-1}$]	Udział azotu symbiotycznego [%]
Koniczyna czerwona	170	59
Lucerna	180	70
Koniczyna biała	172	85
Komonica różkowa	92	55
Groch siewny	72	35
Soja	120	53
Fasola	65	40
Bobik	151	80
Wyka siewna	130	70
Łubin wąskolistny	170	65
Soczewica	100	63

Badania z zastosowaniem izotopu ^{15}N nad przyswajaniem N_2 w okresie czteroletniego użytkowania lucerny wykazały, że w roku siewu lucerna przyswoiła, w zależności od odmiany, od 160 do 177 $kg\ N \cdot ha^{-1}$, a w czwartym roku użytkowania – od 172 do 224 $kg\ N \cdot ha^{-1}$ [13]. Cytowani autorzy pracy stwierdzili, że w zależności od fazy wzrostu lucerny i roku użytkowania zawartość azotu symbiotycznego w roślinach

stanowiła od 33 do około 80% w stosunku do jego całkowitej zawartości. W odniesieniu do bobiku, Silim i Saxena [31] podali, że ilość azotu związanego, w zależności od odmiany, wynosiła 62–68%. Według Wenera [39], przeciętna ilość azotu przyswajanego rocznie wynosi (w $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$): przez lucernę i koniczynę – 250, bobik – 200, groch i łubiny – 150, soję – 100 i soczewicę – 80.

Wpływ czynników siedliskowych na symbiotyczne wiązanie azotu przez rośliny motylkowate

Aktywność wiązania N_2 przez rośliny motylkowate zależy między innymi od natężenia światła i fotosyntezy. Znaczny wpływ intensywności światła oraz warunków wodnych na przyswajanie azotu z powietrza podkreśla w swej pracy Mengel [21]. Szczególnie silne oddziaływanie na nodulację korzeni wywierają warunki wilgotnościowe. Jak podają Książak i Borowiecki [17], liczba brodawek na korzeniach grochu w roku, w którym był dostatek wody w glebie (2001), była trzykrotnie większa niż w suchym okresie wegetacji (2002). Również wysoka temperatura w okresie tworzenia się brodawek korzeniowych ogranicza ich liczebność.

Do czynników powodujących zmniejszenie asymilacji N_2 należy zakwaszenie gleby, ponieważ w warunkach niskiego pH hamowane jest namnażanie się bakterii; w rezultacie słabnie nodulacja *Rhizobium/Bradyrhizobium* oraz aktywność nitrogenazy [21]. To niekorzystne oddziaływanie niskiego pH gleby na bakterie brodawkowe nie znajduje dotąd wyjaśnienia w dostępnej literaturze.

U roślin motylkowatych uprawianych na glebach o dużej koncentracji azotu mineralnego utrudnione jest wytwarzanie brodawek na korzeniach i następuje ograniczenie wiązania azotu z powietrza, ponieważ jony NH_4^+ są inhibitorami nitrogenazy. Osłabienie brodawkowania i aktywności nitrogenazy w warunkach dużej zasobności gleby w azot stwierdzili m.in. Mengel [21] i Kocoń [16].

Wiązanie azotu symbiotycznego przez rośliny motylkowate zależy także od nasilenia chorób, a zwłaszcza szkodników, takich jak np. oprzędziki, których larwy niszczą brodawki korzeniowe. Duża liczebność populacji oprzędzika pręgowanego powoduje zakłócenia w żywieniu tych roślin azotem, zwłaszcza w warunkach niedostatku tego składnika w glebie [3].

Wpływ czynników agrotechnicznych na asymilację N_2 i plony roślin motylkowatych

W przyswajaniu azotu atmosferycznego pewną rolę odgrywają odmiany roślin motylkowatych. Według Fujita i in. [12], samokończące odmiany roślin strączkowych w porównaniu z tradycyjnymi asymilują mniej wolnego azotu z powietrza. Korzenie samokończącej odmiany bobiku Tibo, w porównaniu z korzeniami tradycyjnej odmiany Nadwiślański, cechowała większa liczba i sucha masa brodawek.

Zwiększenie wysiewu z 20 do 80 roślin na 1 m^2 nie wpływało na stopień nodulacji bobiku [11]. Również wcześniejsze badania Chena i in. [8], wskazują na niewielki wpływ gęstości siewu na brodawkowanie soi. Jednak analiza wpływu konkurencyjności wewnątrzgatunkowej na żywienie lucerny azotem pozwala przypuszczać, że przyswajanie azotu symbiotycznego zależy od konkurencyjności roślin o światło, na co oddziałuje gęstość siewu [7].

Nawożenie azotem roślin motylkowatych wywiera na ogół niekorzystny wpływ na wzrost i rozwój brodawek korzeniowych [6, 11]. Dawki nawożenia azotem wynoszące – 30 i $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ nie różnicowały liczby i masy brodawek na korzeniach bobiku odm. Nawiślański [2] ani na korzeniach grochu odmiany tradycyjnej Rola ani na korzeniach odmiany typu afile – Ramrod, obecnie Piast [17]. Kocoń [15], w doświadczeniu wazonowym nie obserwowała też wyraźnego zmniejszania się masy brodawek korzeniowych pod wpływem nawożenia azotem, stosowanego przed siewem i pogłównie. Według Chena i in. [8], nawożenie azotem zmniejszało nodulację korzeni, ale wpływało korzystnie na wzrost brodawek w warunkach słabego zaopatrzenia gleby w ten składnik; nie miało natomiast istotnego znaczenia dla poziomu plonowania soi. Nawożenie azotem ogranicza aktywność nitrogenazy w brodawkach korzeniowych bobiku; według Filka i in. [11], słabsza była aktywność nitrogenazy u samokończącej odmiany Tibo niż u tradycyjnej odmiany Nadwiślański, a według Kocoń [16], także słabsza u samokończącej odmiany Martin niż u odmiany Nadwiślański, która wiązała więcej azotu.

We Francji nie zaleca się stosowania azotu mineralnego pod rośliny strączkowe takie jak: groch, bobik, łubin biały, ponieważ nie wywiera on korzystnego wpływu zarówno na plon, jak też na zawartość białka w nasionach. Zróżnicowane dawki azotu pod soję ($45, 90$ i $180 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$), z uwzględnieniem obiektu zerowego, nie wykazały istotnego wpływu na plon soi [8]. W Kanadzie, w rejonach gleb zimnych, praktykuje się nawożenie soi azotem. Dodatni wpływ nawożenia azotem w dawkach 30 i $60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ na plony bobiku stwierdzili w doświadczeniach terenowych Bochniarz i in. [2], natomiast Podleśny [25] podaje, że w odniesieniu do łubinu białego, dawki 20 i $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ nie zwiększały plonu nasion.

Przyswajanie wolnego azotu przez rośliny motylkowate drobnonasienne po ich skoszeniu jest spowolnione, ponieważ jest ono ściśle związane z fotosyntezą, od której zależy funkcjonowanie brodawek korzeniowych; obniżona jest prawdopodobnie aktywność reduktazy azotanowej. W początkowym okresie odrastania pędów azot symbiotyczny nie wystarcza roślinom do normalnego wzrostu i uruchamiany jest wówczas azot glebowy. Wskazują na to m.in. badania nad lucerną Cruza i Lemaira [7] oraz Kima i in. [14].

Wykorzystanie azotu symbiotycznego przez trawy lub zboża stanowiące komponenty mieszanek z roślinami motylkowatymi

Rośliny niemotylkowane rosnące w sąsiedztwie roślin motylkowatych, jako komponenty mieszanek, korzystają z azotu zasymilowanego przez bakterie brodawkowe [34, 35]. Azot symbiotyczny pochodzi głównie z rozkładu brodawek korzeniowych i korzeni rośliny motylkowej. I tak np. sorgo w większym stopniu korzystało z azotu symbiotycznego soi, przy czym ten transfer azotu z rośliny motylkowej do sorga wpływał na wzrost plonu mieszanki [12]. Inne prace wskazują na wykorzystywanie azotu symbiotycznego koniczyny białej przez życicę trwałą [18, 19]. Jak wynika z pracy Dubacha i Russela [10], azot transferowany z lucerny pochodzi głównie z jej korzeni, a transferowany z komonicy różkowej – z rozkładu brodawek korzeniowych. Według Ledgarda [18], ilość azotu przyswajalnego transferowanego z koniczyny białej do życicy trwałej wynosiła rocznie $70 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$. Transfer azotu z rośliny motylkowej do komponentu trawiastego mieszanek ilustruje tabela 2.

Tabela 2. Ilość N_2 symbiotycznego rośliny motylkowej transferowanego do trawy jako komponentu mieszanki [36]

Mieszanki roślin motylkowatych z trawami	Transfer azotu z rośliny motylkowej do traw [$\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$]	Udział azotu symbiotycznego [%]	Udział azotu traw pochodzącego z roślin motylkowatych [%]
Lucerna z mozgą trzcinową	9	13	68
Lucerna z kupkówką	13	7	22
Lucerna z tymotką	10	5	24
Koniczyna biała z życicą trwałą	78	26	27
Koniczyna biała z kostrzewą trzcinową	30	21	37
Komonica różkowa z mozgą trzcinową	14	10	28
Koniczyna czerwona z życicą wielokwiatową	30	23	39
Koniczyna czerwona z kupkówką	38	19	58

Szczepienie nasion roślin motylkowatych bakteriami brodawkowymi

Wyniki badań nad wpływem szczepienia nasion gatunków roślin motylkowatych bakteriami brodawkowymi na aktywność symbiozy i przyswajanie azotu atmosferycznego oraz plonowanie są niejednoznaczne. Na ogół przyjmuje się, że szczepienie nasion roślin motylkowatych bakteriami brodawkowymi powinno być stosowane wówczas, gdy dany gatunek nie był uprawiany na danym polu. Przykładem tego może być soja, która nie znajduje w glebie bakterii *Bradyrhizobium japonicum*. We Francji, soja jest jedynym uprawianym gatunkiem spośród roślin motylkowatych, której nasiona są przed siewem szczepione. Pozostałe gatunki tej grupy roślin znajdują w glebie autochtonicznego bakteryjnego partnera do symbiozy, zapewniając zaopatrzenie roślin w azot [1]. Schori i in. [29] wykazali, że brak współżycia soi z *B. japonicum* powoduje obniżkę plonu o 40%, a nawożenie mineralne w dawce $180 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ redukuje tę obniżkę do połowy. Korzystne efekty szczepienia nasion bobiku szczepionką (nitraginą), przejawiające się wzrostem plonu podają Bochniarz i in. [2].

Przeprowadzone badania nad efektywnością selekcyonowanych dla gleb kwaśnych szczepów *Rhizobium meliloti* wskazują, że niezależnie od techniki szczepienia nasion lucerny lub gleby, zabieg ten nie wykazał dodatniego oddziaływania na plony. Zaobserwowano jednak, że szczepionka granulowana, w porównaniu z tradycyjną, była skuteczniejsza pod względem liczby i masy brodawek na korzeniach lucerny [26].

Przeżywalność bakterii symbiotycznych na szczepionych nasionach roślin motylkowatych może być zakłócona w wyniku stosowania fungicydów i insektycydów jako zapraw nasiennych. Badania Strzelec i Martyniuk [32] dowodzą braku zależności między wpływem badanych pestycydów na rozwój bakterii symbiotycznych użytych do szczepienia nasion a plonami bobiku, grochu i łubinu białego. Stwierdzono jednocześnie, że dla użytych szczepów bakterii bardziej toksyczne były fungicydy niż insektycydy. Wrażliwszy na zaprawy nasienne był szczep *Bradyrhizobium* w symbiozie z łubinem niż szczep *Rhizobium leguminosarum* – w symbiozie z bobikiem lub grochem.

Wyniki badań nad zaprawianiem nasion lucerny odm. Radius i koniczyny czerwonej odm. Parka Funabenem T i Zaprawą nasienną T nie wykazały hamującego działania tych fungicydów na rozwój i przeżywalność na nasionach bakterii *Rhizobium meliloti* i *Rhizobium leguminosarum* biov. *trifolii* użytych do szczepienia nasion, przy czym nie stwierdzono zależności między wpływem tych fungicydów na rozwój badanych szczepów *Rhizobium* a aktywnością symbiozy z roślinami obu gatunków [33]. Późniejsze doświadczenia wazonowe Martyniuka i in. [22] wykazały, że zaprawianie nasion bobiku w różnych odstępach czasu fungicydem mankozeb i insektycydem karbosulfan nie miało istotnego wpływu na przeżywalność bakterii brodawkowych na nasionach w ciągu 24 godzin po zastosowaniu szczepionki. Jednak zaprawa

fungicydowa powodowała pogorszenie się przeżywalności *Rhizobium leguminosarum* już po 4–5 godzinach. Stosowane zaprawy nie działały też ujemnie na rozwój i symbiozę bakterii z bobikiem odmian Nadwiślański i Tim (odmiana samokończąca) jeśli nasiona wysiewano bezpośrednio po szczepieniu.

Korzystne oddziaływanie szczepienia nasion łąbinu białego odmiany Wat nitraginą, przejawiające się istotną zwyżką plonu, stwierdził Podleśny [25]. Autor ten podaje, że bardziej efektywne było stosowanie nitraginy wraz z molibdenem. W odniesieniu do bobiku, podobną reakcją na zaprawianie nasion nitraginą i stosowanie molibdenu stwierdzili Bochniarz i in. [2].

Najnowsze badania Księżaka i Borowieckiego [17] wykazują, że zaprawianie nasion grochu preparatem Gaucho 350 FS oraz dwukrotne opryskiwanie preparatem Bulldock 025 EC przeciw oprzędzikowi pręgowanemu wpływały korzystnie na liczbę brodawek korzeniowych. Larwy tego szkodnika niszczą bowiem brodawki korzeniowe, co w siedliskach z niedoborem azotu w glebie może prowadzić do zachwiania gospodarki tym składnikiem [3, 5].

We Francji stosuje się metodę szczepienia nasion, która zapobiega ewentualnym ujemnym oddziaływaniom pestycydów użytych do zaprawiania nasion na bakterie brodawkowe. Polega ona na wprowadzaniu szczepionki (rizobia na pożywce torfowej) do mikrogranul, a nie bezpośrednio na nasiona. Mikrogranule są wprowadzane do gleby w sąsiedztwie nasion specjalnym urządzeniem zwanym mikrogranulatorem [1].

Podsumowanie

Najnowsze wyniki badań, zawarte w dostępnej literaturze, nad przyswajaniem azotu atmosferycznego przez rośliny motylkowe za pośrednictwem bakterii brodawkowych wskazują na duże znaczenie tej symbiozy w rolnictwie zrównoważonym; zapewnia ona bowiem dostępność azotu cząsteczkowego dla tych gatunków poprzez redukcję N_2 do NH_4 . Aktywność wiązania N_2 przez rośliny motylkowe zależy w największym stopniu od warunków wilgotnościowych i termicznych oraz zasobności gleby w azotany.

W świetle przedstawionych wyników badań nad symbiotycznym wiązaniem azotu przez rośliny motylkowe problematyczna wydaje się celowość szczepienia nasion (poza soją) oraz nawożenie azotem roślin strączkowych. Stosowanie tzw. startowej dawki azotu pod te rośliny może prowadzić do opóźnienia lub spowolnienia procesu brodawkowania.

- [1] Amarger N. 1991. Fixation de l'azote moléculaire par les associations légumineuses – bactéries en symbiose: aspects génétiques et agronomiques. *C.R. Acad. Agric. Fr.* 77(3): 143–152.
- [2] Bochniarz J., Bochniarz M., Lenartowicz W. 1987. Wpływ zaprawiania nasion nitraginą i molibdenem oraz nawożenia azotem na plonowanie bobiku (*Vicia faba minor*). *Pam. Puł.* 89: 29–40.
- [3] Borowiecki J., Księżak J. 2001. Stan badań nad oprzędzikiem przegowanym (*Sitona lineatus* L.) szkodnikiem grochu. *Post. Nauk Rol.* 3: 99–110.
- [4] BATTERY B.R., GIBSON A.H. 1990. The effect of nitrate on the time course of nitrogen fixation and growth in *Pisum sativum* and *Vicia faba*. *Plant and Soil* 127: 143–146.
- [5] Cantot P. 1986. Quantification des populations de *Sitona lineatus* L. et leurs attaques sur pois protéagineux (*Pisum sativum* L.). *Agronomie* 6: 481–486.
- [6] Crozat Y., Aveline A., Coste F., Gillet J.P., Domenach A.M. 1994. Yield performance and seed production pattern of field-grown pea and soybean in relation to N nutrition. *Eur. J. Agron.* 3(2): 135–144.
- [7] Cruz P., Lemaire G. 1985. Effet de la compétition sur le niveau de nutrition azotée d'une lucerne en culture pure ou en culture associée a une graminée. Les colloques de l'INRA, 37, Nutrition azotée des légumineuses, Versailles (France), 19–21 novembre 1985.
- [8] Chen Z., Mackenzie A.F., Fanous M.A. 1992. Soybean nodulation and grain yield as influenced by N-fertilizer rate, plant population density and cultivar in southern Quebec. *Can. J. Plant Sci.* 72(4): 1049–1056.
- [9] Dean J.R., Clark K.W. 1980. Effect of low level of nitrogen fertilization on nodulation, acetylene reduction and dry matter in faba bean and three other legumes. *Can. J. Plant Sci.* 60: 121–130.
- [10] Dubach M., Russelle M.P. 1994. Forage legume roots and nodules and their role in nitrogen transfer. *Agron. J.* 86(2): 259–266.
- [11] Filek W., Kościelniak J., Grzesiak S. 1997. The effect of nitrogen fertilization and population density of the field bean (*Vicia faba* L. *minor*) of indeterminate and determinate growth habit on the symbiosis with root nodule bacteria and on the seed yield. *J. Agronomy & Crop Science* 179: 171–177.
- [12] Fujita K., Ofosu-Budu K.G., Ogata S. 1992. Biological nitrogen fixation in mixed legume-cereal cropping system. *Plant and Soil* 141: 155–175.
- [13] Heichel G.H., Barnes D.K., Vance C.P., Henjum K.I. 1984. N₂ fixation, and N and dry matter partitioning during a 4-year alfalfa stand. *Crop Sci.* 24: 811–815.
- [14] Kim T.H., Ourry A., Boucaud J., Lemaire G. 1993. Partitioning of nitrogen derived from N₂ fixation and reserves in nodulated *Medicago sativa* L. during regrowth. *J. of Experimental Botany* 44(260): 555–562.
- [15] Kocoń A. 1999. Wskaźniki symbiotycznego wiązania N₂ w zależności od zróżnicowanego sposobu żywienia bobiku azotem. *Fragm. Agronom.* 2: 50–61.
- [16] Kocoń A. 2002. Biologiczne wiązanie azotu przez zróżnicowane genotypy bobiku w zależności od żywienia azotem. *Nawozy i Nawożenie* 1: 283–292.

- [17] Książak J., Borowiecki J. 2003. Wpływ zabiegów chemicznych na uszkodzenia grochu powodowane przez *Sitona lineatus*. *Progress in Plant Protection. Postępy w Ochronie Roślin* 43(1): 212–217.
- [18] Ledgard S. 1991. Transfer of fixed nitrogen from white clover to associated grasses estimated using ^{15}N methods in swards grazed by dairy cows. *Plant and Soil* 131: 215–223.
- [19] Ledgard S.F., Steele K.W. 1992. Biological nitrogen fixation in mixed legume/grass pastures. *Plant and Soil* 141: 137–153.
- [20] Martyniuk M., Oroń J., Woźniakowska A., Martyniuk S. 2000. Oddziaływanie zapraw chemicznych na przeżywalność bakterii brodawkowych na nasionach bobiku oraz na proces symbiozy. *Pam. Puł.* 121: 41–47.
- [21] Mengel K. 1994. Symbiotic dinitrogen fixation – its dependence on plant nutrition and its ecophysiological impact. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 157: 233–241.
- [22] Peoples M.B., Craswell E.T. 1992. Biological nitrogen fixation: investments, expectations, and actual contributions to agriculture. *Plant and Soil* 141(1–2): 13–40.
- [23] Peoples M.B., Herridge D.F., Ladha J.K. 1995. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production. *Plant and Soil* 174: 3–28.
- [24] Peoples M.B. 2001. Legumes root nitrogen in cropping system nitrogen cycling. *Graine Legume* 33: 8–9.
- [25] Podleśny J. 1997. Wpływ zaprawiania nasion nitryną i molibdenem oraz nawożenia azotem na plonowanie łubinu białego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 447: 287–290.
- [26] Rice W.A., Olsen P.E. 1992. Effects of inoculation method and size of *Rhizobium meliloti* population in the soil on nodulation of alfalfa. *Can. J. Soil Sci.* 72: 57–67.
- [27] Sagan M., Gresshoff P.M. 1996. Developmental mapping of nodulation events in pea (*Pisum sativum* L) using supernodulating plant genotypes and bacterial variability reveals both plant and *Rhizobium* control of nodulation regulation. *Plant Sci.* 117: 167–169.
- [28] Salon C., Munier-Jolain N.G., Duc G., Voisin A.S., Grandgirard D., Larmure A., Emery R.J.N., Ney B. 2001. Grain legume seed filling in relation to nitrogen acquisition: a review and prospects with particular reference to pea. *Agronomie* 21(6–7): 539–552.
- [29] Schori A., Charles R., Peter D. 2003. Soja: sélection, agronomie et production en Suisse. *Revue suisse Agric.* 35(2): 69–76.
- [30] Shen, Fabnous. 1992. Soybean nodulation and grain yield as influenced by N-fertilizer rate, plant population density and cultivar in southern Quebec. *Can. J. Plant Sci.* 72: 1049–1056.
- [31] Silim S.N., Saxena M.C. 1992. Comparative performance of some faba bean (*Vicia faba*) cultivars of contrasting plant types. 1. Yield, yield components and nitrogen fixation. *J. of Agricultural Science* 118: 325–332.
- [32] Strzelec A., Martyniuk M. 1993. Wpływ zapraw nasiennych na rozwój *Rhizobium* i *Bradyrhizobium* oraz na plonowanie szczepionych nimi roślin. *Pam. Puł.* 103: 195–207.
- [33] Strzelec A., Martyniuk M. 1994. Uboczne działanie herbicydów tiuramowych na rozwój szczepów *Rhizobium*, ich przeżywalność na nasionach i aktywność symbiozy z koniczyną i lucerną. *Pam. Puł.* 104: 101–115.
- [34] Ta T.C., Faris M.A. 1987. Species variation in the fixation and transfer of nitrogen from legumes to associated grasses. *Plant and Soil* 98: 265–274.
- [35] Triboi E. 1985. Détermination in situ de la quantité d'azote fixé symbiotiquement par la vesce en culture associée avec l'avoine. *Les Colloques de l'INRA, Paris* 37: 265–270.

- [36] Vance C.P. 1998. Legume symbiotic nitrogen fixation: Agronomic aspects. W: The rhizobiaceae, red: H.P. Spaink, A. Kondorosi, P.J.J.Hooykaas, Kluwer Acad. Pub. Dordrecht/Boston/London: 509–530.
- [37] Vessey J. K. 1992. Cultivar differences in assimilate partitioning and capacity to maintain N₂ fixation rate in pea during pod-filling. *Plant and Soil* 139(2): 185–194.
- [38] Voisin A.S., Munier-Jolain N.M., Ney B., Salon C. Influence of soil nitrate availability on symbiotic N₂ fixation, nitrogen nutrition and biomass partitioning between shoot and root of pea. Proceeding of the 4th European Conference on Grain Legumes, Cracow, Poland: 28–29.
- [39] Werner D. 1992. Physiologie of nitrogen-fixing legume nodules: Compartments and functions. W: Biological nitrogen fixation, red. Stacey G., Burris R.H., Evans H.J.: 399–431.

Agronomical aspects of nitrogen fixation by legume-symbiotic bacteria associations

Key words: legumes, rhizobia, symbiotic nitrogen, inoculation of seeds

Summary

The objective of this work was to present the importance of legume – symbiotic nitrogen fixation for sustainable agriculture. The main attention was focused on the effects of soil and weather conditions as well as on the effects of agricultural conditions on the symbiosis of legumes with root nodule bacteria. The results of the latest investigations on the inoculation methods and utilization of symbiotic nitrogen by mixture components (grasses, cereal crops) with leguminous plants were presented.