

# SIMBIOTISKI SAISTĪTAIS SLĀPEKLIS LATVIJAS AUGSNĒS: IESPĒJAS UN PROBLĒMAS

## *Symbiotically Fixed Nitrogen in the Soils of Latvia: Possibilities and Problems*

A. Adamovičs, V. Klāsens

Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Lielā iela 2, Jelgava, Latvija, LV-3001,  
E-mail:alexadam@cs.llu.lv, tel./fax.: +371 30 05629

### Abstract

For the first time in the states of the Baltic region the symbiotically fixed nitrogen has been quantified under field conditions according to total – N difference method using various legume – grass swards. Long – term field trials (1997 to 2002) were established on Stagnic Luvisol. Binary legume – grass swards were composed of *Medicago varia*, *Galega orientalis*, *Trifolium repens*, *Alopecurus pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis*, *Festuca rubra*, *Lolium perenne*, *Poa pratensis* and *Phleum pratense*. Legume and legume–grass swards were developed on similar P and K fertilizer backgrounds. Swards were cut three times during the growing season. It is concluded that fodder galega in soils developed symbiotic system with effective nodule bacteria and provided the productivity of swards 8.9 to 10.5 t ha<sup>-1</sup> DM.

Additional input of 90 kg N ha<sup>-1</sup> resulted in changes in legume development and decreased agrophytocenosis productivity. In mixed agrophytocenosis a part of symbiotically fixed nitrogen was utilised by grasses. It was indicated by the increase of nitrogen content in the roots and above – ground parts of grasses in treatments receiving no fertilizer N. Fourfold cutting of swards also negatively influenced the activity of symbiotic system and in corresponding variants the yield and the amount of nitrogen in the aboveground parts of plants was minor in comparison with threefold cutting.

**Keywords:** legumes, grasses, nitrogen, symbiosis

### Ievads

Ilgtspējīgas lauksaimnieciskās ražošanas nodrošināšanā nozīmīga loma ir bioloģiskās slāpekļa saistīšanas procesiem un tajā skaitā arī simbiotiskajām sistēmām tauriņziežu saknēs. Vienmēr gaisā ir ļoti daudz atmosfēras molekulārā slāpekļa, bet tas diemžēl parasti augiem un arī dzīvniekiem to organismos tieši nav izmantojams. Tomēr augsnēs daudzo mikroorganismu vidū ir arī tautsaimnieciski ļoti nozīmīgas baktērijas - gumiņbaktērijas (*Rhizobium*), kuras veido gumiņus tauriņziežu saknēs, saista gaisa slāpekli un nodod to augu rīcībā. Simbiotiski saistītā slāpekļa izmantošana augkopības produkcijas ieguvei ļauj samazināt slāpekļa minerālmēslu pielietojumu un samazināt vides piesārņojuma draudus un tam ir sevišķa loma ilgtspējīgā lauksaimniecībā [1, 2, 3]. Veģetācijas sezonā viens hektārs tauriņziežu saista līdz 680 kg gaisa slāpekļa. Daudzos pētījumos ir konstatēta simbiotiskās sistēmas atmosfēras slāpekļa saistīšanas spējas, bet tās produktivitāte konkrētos tauriņziežu sējumos ir atkarīga no ļoti daudziem apkārtējās vides faktoriem [4, 5, 6].

Lopbarības ražošanai Latvijas agroklimatiskajos apstākļos plaši lieto āboliņa, lucernas un pēdējos gados nedaudz arī austrumu galegas tīrsējas un ar stiebrzālēm jauktos zelmeņus iegūstot augstas ražas [7, 8]. Tauriņzieži ar efektīvām gumiņbaktērijām gumiņos ir spējīgi izmantot atmosfēras slāpekli un tāpēc mērķtiecīgi ir noskaidrot simbiotiski saistītā slāpekļa lomu dažāda tipa zelmeņos Latvijas agroklimatiskajos apstākļos.

### Pētījumu objekts un metodes

Lauka izmēģinājumi ierīkoti LLU Lauksaimniecības fakultātes mācību un pētījumu saimniecībā "Pēterlauki" lesivētās brūnaugsnēs (pH<sub>KCl</sub> 6.7, P – 52 mg kg<sup>-1</sup> un K – 128 mg kg<sup>-1</sup>, humusa saturs 21 – 25 g kg<sup>-1</sup>. 1997. gadā. Tīrsējas un divkomponentu zelmeņi izveidoti izmantojot tauriņziežus - hibrīdo lucernu (*Medicago varia* Hartynf.), balto āboliņu (*Trifolium repens* L.), austrumu galegu (*Galega orientalis* Lam.) un stiebrzāles - pļavas lapsasti (*Alopecurus pratensis* L.), kamolzāli (*Dactylis glomerata* L.), ganību aireni (*Lolium perenne* L.), pļavas auzeni (*Festuca pratensis* Huds.), sarkano auzeni (*Festuca rubra*

L.), pļavas skareni (*Poa pratensis* L.) un timotiņu (*Phleum pratense* L.). Zālaugu kopējā izsējas norma bija 1000 dīgtspējīgu sēklu uz vienu kvadrātmetru, bet jauktos divkomponentu zelmeņos tauriņziežu un stiebrzāļu sēklu daudzuma attiecība bija 400 : 600. Zelmeņu izmantošana – trīsreizēja un četrreizēja pļaušana. Mēslojums N – 0, P – 40, K – 150 kg ha<sup>-1</sup>. Izmēģinājumu ierīkoja 1997.gadā, bet simbiotiski saistītā atmosfēras slāpekļa produktivitāti noteica 2001.un 2002. gados.

Izmēģinājumu platībās *Rhizobium trifolii* >10<sup>4</sup>, *Rh. meliloti* - >10<sup>3</sup> g<sup>-1</sup> augsnes, bet austrumu galegas gumiņbaktērijas nebija sastopamas [9]. Lucernas un austrumu galegas sēklas inokulēja ar attiecīgajām gumiņbaktērijām. Slāpekļa saturu augu sausnā noteica pēc Kjeldala metodes. Rezultātu ticamības novērtēšana izdarīta izmēģinājumu tiešajiem ražas skaitļiem.

Simbiotiski saistītā atmosfēras slāpekļa produktivitāti tauriņziežu zelmeņos noteica pēc kopējā slāpekļa starpības metodes, kura ir vispiemērotākā lauka apstākļos [10, 11]. Metode pamatojas uz aprēķināto starpību kopējā slāpekļa daudzumos ražā, kādus uzkrāj tauriņzieži ar sakņu gumiņu palīdzību un blakus, vienādos apstākļos izvietotajā sējumā bez sakņu gumiņu līdzdalības. Pieņem, ka arī tauriņziežu rīcībā ir tādi paši citu slāpekļa formu avoti, kā līdzīgos apstākļos augošajām netauriņziežu kultūrām un to izmantošana abām izmēģinājumu kultūrām ir vienāda.

Izvērtējot izmēģinājumā iegūtos rezultātus par tauriņziežu simbiotiski saistītā slāpekļa daudzumu, jāatzīmē, ka aprēķini izdarīti 4. un 5. zelmeņa izmantošanas gadā, kad vairs nav izteikti sakņu masas pieaugumi un augsnes dažādo slāpekļa formu saturs augsnes aramkārtā ir stabilizējies.

### Rezultāti un to izvērtējums

Izmēģinājumu augsnes bija nodrošinātas ar āboliņa un lucernas grupas gumiņbaktērijām. Lucernas un baltā āboliņa saknēs jau sējas gadā izveidojās daudz efektīvu gumiņu. Austrumu galegai ir ļoti specifiskas prasības attiecībā pret simbiotu [12] un augsnēs sastopamās gumiņbaktērijas gumiņus nespēj izveidot, tāpēc reizē ar sēklām augsnē arī jāievada attiecīgās gumiņbaktērijas. Izmēģinājumos austrumu galegas sēklu inokulācija bija nesekmīga un tikai atkārtota sējumu apstrāde ar attiecīgo gumiņbaktēriju uzduļķojumu ūdenī nodrošināja gumiņu izveidošanos saimniekauga saknēs un atmosfēras slāpekļa saistīšanu. Nākošajos izmēģinājumu gados arī austrumu galegas saknēs izveidojās efektīvi gumiņi un saistīja atmosfēras slāpekli.

Augsnēs ar pietiekošu kālija un fosfora nodrošinājumu Latvijas agroklimatiskajos apstākļos lauka izmēģinājumos hibrīdā lucerna, austrumu galega un baltais āboliņš simbiozē ar attiecīgajām gumiņbaktērijām spēja nodrošināt efektīvu atmosfēras slāpekļa saistīšanu un zelmeņu augstu produktivitāti [13] un arī labu ilggadību.

Izmēģinājumu gados ražīgākie bija lucernas un lucernas-stiebrzāļu jauktie zelmeņi. Visos izmēģinājumu variantos, tajā skaitā arī salīdzinoši sausajā 2002. gadā, sausas raža pārsniedza 11 t ha<sup>-1</sup>.

Austrumu galegas un tās jaukto zelmeņu ražība ir nedaudz zemāka (5,7-10,3 t ha<sup>-1</sup>) salīdzinot ar lucernas zelmeņiem, un izteiktāks ir ražas kritums 2002. gadā. Austrumu galegas sakņu sistēma galvenokārt izvietojas augsnes virskārtā un tāpēc lielāks ir ražas samazinājums mitruma deficīta apstākļos. Tomēr iegūtās ražas ir vairāk kā 2 reizes augstāka kā Somijas apstākļos [14].

Baltā āboliņa tīrsējas un jaukto zelmeņu produktivitāte izmēģinājumā bija zemākā starp tauriņziežu sugām – 4.3-7.1 t ha<sup>-1</sup>. Baltā āboliņa variantos arī salīdzinoši starp tauriņziežu sugām ir vislielākais ražas samazinājums sausajā 2002. gadā.

Divkomponentu tauriņziežu-stiebrzāļu (pļavas lapsaste, kamolzāle, ganību airene, pļavas auzene, sarkanā auzene, pļavas skarene un timotiņš) zelmeņu produktivitāte variantos

bez minerālā slāpekļa bija līdzīgas vai pat nedaudz augstākas kā tauriņziežiem tīrsējā. Tas liecina, ka tauriņzieži veģetācijas laikā daļu simbiotiski saistītā slāpekļa izdala augsnes vidē un tas nonāk stiebrzāļu rīcībā. To apstiprina arī citu autoru pētījumi pielietojot izotopa  $^{15}\text{N}$  metodi [15] un secinājuši, ka baltais āboliņš veģetācijas sezonā nodod stiebrzālēm līdz  $103 \text{ kg ha}^{-1}$ . Lucernas un austrumu galegas zelmeņos pie kopējā ražā uzkrātā simbiotiski saistītā slāpekļa daudzuma arī stiebrzāļu rīcībā nonākušais slāpekļa apjoms ir lielāks.

Stiebrzāļu variantos, bez papildus slāpekļa mēslojuma, ražas viszemākās ( $1.3 - 5.6 \text{ t ha}^{-1}$ ) un it sevišķi 2002. gadā, jo minētās grupas augiem sakņu sistēmas izvietojas galvenokārt augsnes virskārtā un tāpēc to zelmeņi vairāk cieta no mitruma trūkuma.

Lauksaimnieciskajā ražošanā svarīgi ir zināt slāpekļa bilanci katrā lauksaimniecībā izmantotajā platības vienībā, lai varētu paredzēt audzējamo kultūraugu ražas un novērstu iespējamās apkārtējās vides piesārņojuma situācijas. Kopējā augiem izmantojamo slāpekļa savienojumu bilancē ievērojamo vietu ieņem arī tauriņziežu simbiotiski saistītai atmosfēras slāpekļi [2, 16]. Par atsevišķu tauriņziežu zelmeņu atmosfēras slāpekļa saistīšanas produktivitāti ir daudzu autoru pētījumi [2, 11, 17], bet iegūtie rezultāti ir ļoti atšķirīgi ( $0 - 682 \text{ kg ha}^{-1}$ ) jo atkarīgi no sugas, dažādajiem apkārtējās vides atmosfēras slāpekļa saistīšanu ietekmējošiem vides faktoriem un arī pielietotajām noteikšanas metodēm.

Aprēķinot pēc kopējā slāpekļa starpības metodes ir noteikta izmēģinājumā iekļauto lopbarības tauriņziežu atmosfēras slāpekļa saistīšanas produktivitāte lesivētās brūnaugsnes Latvijas agroklīmatiskajos apstākļos (Tabula 1).

Tabula 1.

**Tauriņziežu un tauriņziežu-stiebrzāļu zelmeņu saistītais atmosfēras slāpekļa daudzums 2001.un 2002.gados**

Zelmeņi	Saistītais atmosfēras slāpekļi, $\text{kg N ha}^{-1}$			
	3 reizēja pļaušana		4 reizēja pļaušana	
	2001	2002	2001	2002
<i>Medicago varia</i>	330	383	313	433
<i>Medicago varia</i> + stiebrzāles/grasses	333	317	275	390
<i>Galega orientalis</i>	229	238	196	156
<i>Galega orientalis</i> + stiebrzāles/grasses	203	222	119	145
<i>Trifolium repens</i>	132	99	74	111
<i>Trifolium repens</i> + stiebrzāles/grasses	82	119	67	121

Salīdzinoši visproduktīvākie atmosfēras slāpekļa saistīšanā ir hibrīdās lucernas zelmeņi, sasniedzot pat  $433 \text{ kg ha}^{-1}$  pat ekstremālajā, sausajā 2002. gadā. Arī pārējos variantos atmosfēras slāpekļa saistīšanas produktivitāte ir virs  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  un tas ir ievērojams papildinājums kopējā slāpekļa bilancē. Iegūtie rezultāti iekļaujas citu autoru darbos konstatētās atmosfēras slāpekļa saistīšanas produktivitātes rādītāju izkliedes intervālā [11].

Pēc simbiotiskajā darbībā uzkrātā slāpekļa daudzuma gumiņos, starp izmēģinājumos iekļautajiem kultūraugiem vidēju stāvokli ieņem austrumu galegas zelmeņi, kuru produktivitāte ir robežās no  $156 - 238 \text{ kg ha}^{-1}$ . Literatūra nav izdevies atrast citu autoru datus par austrumu galegas zelmeņu atmosfēras slāpekļa saistīšanas produktivitāti, jo lauksaimnieciskajā ražošanā tā vēl salīdzinoši jauns kultūraugs.

Lesivētās brūnaugsnes salīdzinoši viszemākā atmosfēras slāpekļa saistīšanas produktivitāte konstatēta baltā āboliņa zelmeņos, attiecīgi  $74 - 132 \text{ kg ha}^{-1}$ , atkarībā no izmēģinājumu varianta. Salīdzinot ar literatūras datiem, izmēģinājumos iegūtie baltā āboliņa atmosfēras slāpekļa saistīšanas produktivitātes rādītāji uzskatāmi kā vidēji, bet jāņem vērā, ka novērtēti 4. un 5. izmantošanas gada zelmeņi.

Kā liecina izmēģinājumu dati, Latvijas agroklīmatiskajos apstākļos, daudzgadīgie tauriņziežu kultūraugi simbiozē ar gumiņbaktērijām spēj saistīt ievērojamo atmosfēras

slāpekļa daudzumu. Bet atmosfēras slāpekļa saistīšana var notikt tikai pie nosacījuma, ja augsnēs ir attiecīgās gumiņbaktērijas un tās izveido efektīvus gumiņus tauriņziežu saknēs.

LLU zinātnieku pētījumi liecina, ka Latvijā visās augsnēs ir sastopamas gumiņbaktērijas, kuras veido gumiņus zirņu, vīķu, pupu un āboliņu saknēs, bet tomēr to simbiotiskās spējas ir visai atšķirīgas. Mazāk iekultivētās augsnēs parasti gumiņi izveidojas daudz, bet to slāpekļa saistīšanas spējas ir zemas [5, 9]. Lucernas, un it sevišķi lupīnas, gumiņbaktērijas ne vienmēr ir sastopamas un bieži vien šo kultūru sējumos augu saknēs gumiņi neveidojas. Austrumu galegai, kura ir salīdzinoši nesen ieviesta ražošanā mūsu republikā, attiecīgās gumiņbaktērijas augsnēs vispār nav.

Lai veicinātu kultūraugu produktivitāti un palielinātu izmantojamā slāpekļa daudzumu augsnē, reizē ar sēju jāievada attiecīgās gumiņbaktērijas. Šajā nolūkā pielieto sēklu inokulāciju (nitraginizāciju) ar gumiņbaktēriju preparātu – nitragīnu. Baktērijas nonāk uz sēklapvalka, to saglabāšanos ietekmē apvalku baktericīdie izdalījumi un augsnes mitruma režīms. Tāpēc inokulētās sēklas nekavējoties ir jāizsēj augsnē.

Nākošā problēma nitraginizācijas efektivitātes nodrošināšanā ir panākt inokulanta gumiņbaktēriju izplatīšanos augsnē no sēklas virsmas uz saimniekaugu jauno sakņu izvietotās zonas. Tajā pašā laikā ūdens plūsmas ir virzienā uz sēklu, un tauriņziežu saknes aug salīdzinoši ātri un gumiņu veidošanas zonas strauji attālinās no sēklas, kur parasti izvietojas inokulanta gumiņbaktērijas. Gumiņbaktēriju izplatīšanos ļoti labi veicina lietus ūdens plūsmas augsnes aramkārtā [9].

Ražošanas sējumos nitraginizācijas efektivitāte mazāk atkarīga no gumiņbaktēriju celmu bioloģiskajām kvalitātes īpašībām, tajā skaitā arī konkurences spējām un atbilstības saimniekauga prasībām, bet ļoti bieži noteicošie ir konkrētās augsnes apstākļi, kuri būtiski ietekmē inokulanta gumiņbaktēriju izplatīšanos augsnes aramkārtā. Tāpēc, izvērtējot tauriņziežu nitraginizāciju, ir atsevišķi jānodala: *potenciālā efektivitāte* – ražas pieaugumi, kādus spēj nodrošināt nitragīna baktēriju bioloģiskās spējas, ja tās nokļūst gumiņu veidošanās zonā, un nitraginizācijas *faktiskā efektivitāte*. Diemžēl ražošanas sējumos nitraginizācijas faktiskā (reālā) efektivitāte parasti ir zemāka par attiecīgo celmu potenciālajām spējām, jo augsnes aramkārtas apstākļos tikai daļēji izdodas nodrošināt inokulanta gumiņbaktēriju savlaicīgu izplatīšanos augsnes aramkārtā. Sevišķi problemātiski tas ir viengadīgajiem tauriņziežiem, jo efektīvo gumiņu veidošanās laiks ir salīdzinoši īss (zirņiem tikai 4 – 7 dienas). Tāpēc, lai iegūtu inokulācijas iespējamus ražas pieaugumus:

- precīzi jāievēro inokulācijas tehnoloģijas prasības;
- iespējami agrāk pavasarī jāveic sējas darbi, lai mitrā augsnē labāk varētu izplatīties inokulanta gumiņbaktērijas.

Kas neriskē - tas nevinņē! saka sena tautas paruna un tas mūsdienu lauksaimnieciskās ražošanas tehnoloģijās īpaši attiecināms uz nitragīna pielietošanu tauriņziežu ražu kāpināšanā un kvalitātes uzlabošanā. Tādā gadījumā, kas izvēlas variantu bez iepriekš minēto tauriņziežu sēklu nitraginizācijas, jau ir zaudējis iespēju efektīvākai atmosfēras slāpekļa izmantošanai, iegūt ražas pieaugumus un paaugstināt ražošanas rentabilitāti.

## Secinājumi

Lesivētās brūnaugsnēs Latvijas agroklimatiskajos apstākļos bez minerālā slāpekļa mēslojuma efektīvi un pietiekošā daudzumā izveidotu gumiņi tauriņziežu saknēs spēj nodrošināt zālaugus ar simbiotiski saistīto slāpekli produkcijas veidošanai. Jauktajos zelmeņos tauriņzieži ar gumiņos saistīto atmosfēras slāpekli apgādā arī stiebrzāles.

Lauka izmēģinājumos visaugstākās ražas ieguvī nodrošināja lucernas un lucernas stiebrzāļu zelmeņi, un tajā skaitā arī ekstremālajā, sausajā 2002. gadā. Salīdzinot ar lucernu, austrumu galegas zelmeņos ražas vidēji bija par 25 % un baltā āboliņā zelmeņos vidēji par 50 % zemākas.

Visaugstākā atmosfēras slāpekļa saistīšanas produktivitāte izmēģinājumu gados bijusi lucernas un lucernas - stiebrzāļu zelmeņos sasniedzot 433 kg ha<sup>-1</sup>, salīdzinoši viszemākā baltā āboliņa zelmeņos – līdz 132 kg ha<sup>-1</sup>, bet vidēju produktivitāti uzrādīja austrumu galegas zelmeņi – līdz 238 kg ha<sup>-1</sup>. Iegūtie rezultāti liecina, ka tauriņziežu simbiotiski saistītais atmosfēras slāpekļlis.

#### Literatūra

1. Tilman D. Global Environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. *Proceedings National Academy Science USA*, Vol. 96. pp. 1999, 5995-6000.
2. Grignani, C., Laidlaw, A. S. Nitrogen economy in grasslands and annual forage crops: control of environmental impact. // *Multi-functional Grasslands. Quality Forages, Animal Products and Landscapes. Proceedings of the 19th General Meeting of the European Grassland federation La Rochelle, France 27-30 May 2002.* pp. 625-633
3. Cakmak I. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. / *Plant and Soil.* 247. pp. 2002, 3-24
4. Fedorov E. E. Nitrogen fixation in Russia. // *Microbial Releases No. 1* : 1993, pp. 259-261
5. Klāsens V. Gumiņbaktēriju simbiotiskā efektivitāte Latvijas augsnēs. Disertācijas kopsavilkums Dr.habil.lauks. zinātniskā grāda iegūšanai. Jelgava. 58 lpp.
6. Serraj R. *et al.* Symbiotic N<sub>2</sub> fixation response to drought. // *Journal of Experimental Botany*, Vol. 50, No. 331, pp. 143-155.
7. Adamovičs A. Productivity of clover- grass sward and dynamics of crude protein level in sward components / *Agroecological optimization of husbandry technologies. Proceedings of International scientific conference of Baltic states agricultural universities 8 - 10 July in Jelgava, Agronomy. Jelgava, pp. 1999, 180. – 186.p.*
8. Kravale D., Adamovitch A., Adamovitch O. Forage legume and legume-grass swqrd's productivity and silage quality in Latvia. // *Multi-functional Grasslands. Quality Forages, Animal Products and Landscapes. Proceedings of the 19th General Meeting of the European Grassland federation La Rochelle, France 27-30 May 2002.* pp. 434-436
9. Klasens V. Effectiveness of legumes inoculation in soils of Latvia. *Environment and Sustainable Agriculture. Proceedings II International Conference of Agricultural Scientists from the Nordic and Baltic Countries. Tartu, 1995,* pp. 199-200.
10. Pierce, F. J., Rice Ch.W. Crop rotation and its impact on efficiency of water and nitrogen use. // *Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen. ASA Special publication number 51. Madison. 1988,* pp. 21-42.
11. Peoples, M. B., Herridge, D. F., Ladha, J. K. Biological nitrogen fixation: An efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? // *Plant and Soil.* 1995, 174: 2-28
12. Tas, E., Kaijalainen, S., Saano, A., Lindström, K. Isolation of Rhizobia galegae strain-specific DNA probe. // *Microbial Releases No. 2: 1994,* pp.231-237
13. Adamovičs A., Klāsens V. Simbiotiski saistītais slāpekļlis tauriņziežu un tauriņziežu-stiebrzāļu zelmeņos. *LLMZA, Agronomijas vēstis. – Nr. 4. 2002,* 143-146. lpp.
14. Nissinen, O., Tuori, M., Isolahti, M., Heikkilä, R., Syrjälä-Qvist, L. Persistence and yield of forage legumes in Finnish grasslands.// *Multi-functional Grasslands. Quality Forages, Animal Products and Landscapes. Proceedings of the 19th General Meeting of the European Grassland federation La Rochelle, France 27-30 May 2002.* 456-457
15. Ledgard, S.F., Steele, K. W. Biological nitrogen fixation in mixed legume/grass pastures. *Plant and Soil.* 141: 1992, pp.137-153
16. Vance, C. P. Enhanced agricultural sustainability through biological nitrogen fixation. // *Biological Fixation of Nitrogen for Ecology and Sustainable Agriculture. NATO ASI Series, Vol. G 39, 1997,* pp 178-186
17. Hesterman, O. B. Exploiting forage legumes for nitrogen contribution in cropping systems. // *Cropping Strategies for Efficient Use of Water and Nitrogen. ASA Special publication number 51. Madison. 1988,* pp. 155-166.