

## **GUMBELINIŲ BAKTERIJŲ (*RHIZOBIUM GALEGAE* L.) PADERMIŲ IR FOSFORO BEI KALIO TRĄŠŲ DERINIMO REIKŠMĖ RYTINIŲ OŽIARŪČIŲ SIMBIOZEI**

Edmundas LAPINSKAS, Dalia AMBRAZAITIENĖ

Lietuvos žemdirbystės instituto Vėžaičių filialas

Vėžaičiai, Klaipėdos rajonas

El. p. filialas@vezaiciai.lzi.lt

### **Santrauka**

Apibendrinti Lietuvos žemdirbystės instituto Vėžaičių filiale darytų vegetacinių, laboratorinių (1999-2003 m.) ir lauko (2002-2004 m.) bandymų duomenys. Vegetacinių bandymų dirvožemis – nepasotintasis giliau glėjiškas balkšvažemis, lauko bandymų – pajaurėjęs giliau glėjiškas išplautžemis. Dirvožemio rūgštumas  $pH_{KCl}$  4,0-6,5, judriųjų  $P_2O_5$  ir  $K_2O$  atitinkamai – 86-231 ir 114-274 mg  $kg^{-1}$ , organinės C – 0,79-1,28 %. Tirtos *Rhizobium galegae* trys efektyvios, bet skirtingos ekologinės adaptacijos padermės keturiuose PK tręšimo lygiuose.

Rytiniai ožiarūčiai veiksmingiausiai azotą iš oro fiksavo juos inokuliuvus ekologiškai adaptuota gumbelinių bakterijų paderme G 4 bei suderinus vidutinę  $P_{60}K_{60}$  trąšų normą; gautas didžiausias augalų sausųjų medžiagų derliaus priedas – 3,17 t  $ha^{-1}$ . Inokuliuoti augalai simbiotinio azoto fiksavo nuo 88,3 iki 213,3 kg  $ha^{-1}$ , arba už 1 kg PK trąšų azoto fiksuota 5,08 kg, o žalių baltymų sukaupta 944 kg  $ha^{-1}$ . Neinokuliuoti augalai net patarę didžiausia  $P_{120}K_{120}$  trąšų norma azoto fiksacijos efektyvumu atsiliko 2,48 karto nuo inokuliuotų  $P_{60}K_{60}$  trąšų fone.

Nustatyti dėsningumai tarp *Rhizobium* padermių efektyvumo parametrų ir PK trąšų normų bei ekologinių veiksnių.

Reikšminiai žodžiai: *Rhizobium galegae*, padermės, efektyvumas, PK trąšos, normos, azoto fiksacija, nitrogenazė, *Galega orientalis*.

### **Įvadas**

Biologinio azoto fiksacijos procesams vieni svarbiausių biogeninių medžiagų yra fosforo ir kalio junginiai dirvožemyje /Hamdy, 1982; Paul, Clark, 1989/.

Fosforas įeina į azotą fiksuojančių fermentų-nitrogenazės komplekso sudėtį ir dalyvauja energijai pernešti, fiksuojant molekulinį azotą /Posypanov, 1988/. Azoto fiksacija – daug energetinių medžiagų, ypač daug fosforo reikalaujantis procesas. JAV mažo fosforingumo dirvožemiuose baltieji dobilai azoto iš oro fiksavo 90-103 kg  $ha^{-1}$ , o esant dirvožemio fosforingumui iki 200 mg  $kg^{-1}$ , jo fiksuota 146-167 kg  $ha^{-1}$  /Palmer, Iverson, 1983/. Fosforo trąšų mažiausia norma rūgščiame dirvožemyje –  $P_{60}$ , neutralokame –  $P_{90-120}$  /Ostrobodova, 1996/. Vakarų Lietuvos rūgščiame ( $pH_{KCl}$  4,2-4,4) lengvo priemolio balkšvažemyje didžiausias raudonųjų

dobilų gumbelinių bakterijų nitrogenazės aktyvumas ( $22,83 \mu\text{M N}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ) nustatytas tręšiant  $40 \text{ t ha}^{-1}$  mėšlo be mineralinių trąšų, o neutralokame (pH iki 6,7) – visiškai netręšiant /Ambrazaitienė, 2003/.

Nors kalio junginiai tiesiogiai biologinio azoto fiksacijos procesuose nedalyvauja, tačiau jų reikšmė yra ne mažesnė kaip fosforo. Kalis gerina angliavandenių ir azoto junginių apykaitą ankštiniuose augaluose, stimuliuoja leghemoglobino sintezę gumbelyje ir ATP susidarymą, kurie būtini nitrogenazės funkcionavimui /Lietuvos dirvožemių..., 1998/. Ankštinių azoto fiksavimui kalis netgi reikalingesnis už fosforą, tačiau kalio trąšos mažiau veiksmingos už fosforo, nes dirvožemyje kalio atsargų yra daugiau /Mišustin, Šilnikova, 1973/.

Vis dėlto geriausiai ankštinių augalų ir gumbelinių bakterijų simbiozę veikia ne atskirai naudojamos fosforo ir kalio trąšos, bet jų deriniai.

Vokietijoje ankštiniai javai, tręšiant nuo  $\text{P}_{60-90}\text{K}_{120-200}$ , azoto fiksavo daugiausiai ir gautas vidutinis grūdų derlingumas  $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ . Ankštinių augalų simbiozei tinkamiausias kalis yra sulfatų pavidalu /Orlovius, Beringor, 1988/.

Nepasotintame balkšvažemyje fosforu ir kaliu aprūpintame dirvožemyje mineralinės fosforo ir kalio trąšos ankštiniams žolėms, ypač liucernoms buvo mažai veiksmingos, tačiau norint pagerinti pašaro kokybę, reikėtų tręšti  $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  /Daugėlienė, 2003/.

Paprastai gumbelinių bakterijų optimaliai azoto fiksacijai reikia žymiai daugiau fosforo ir kalio, negu ankštiniams augalams. Jeigu dirvožemyje fosforo ir kalio junginių yra pakankamai (pH<sub>KCl</sub> 5,9-7,1), padidinus PK trąšų normą iki  $\text{P}_{150}\text{K}_{150}$ , raudonųjų dobilų sukaupto iš oro azoto kiekis padidėjo nuo  $165$  iki  $389 \text{ kg ha}^{-1}$  /Jensen, 2003/.

Lengvos granulimetrinės sudėties dirvožemyje, didinant fosforo ir kalio trąšų normą nuo  $\text{P}_0\text{K}_0$  iki  $\text{P}_{120}\text{K}_{120}$ , žirnių simbiozės azoto fiksacija padidėjo nuo  $36$  iki  $58 \text{ kg ha}^{-1}$ , o raudonųjų dobilų – nuo  $85$  iki  $142 \text{ kg ha}^{-1}$  /Palaitytė, 2003/.

Mokslas ieško būdų, kaip suaktyvinti gumbelinių bakterijų azotą fiksuojančių fermentų sistemą ir pagerinti fosforo trąšų tirpstumą dirvožemyje. Čekijoje sukurtos gumbelinių bakterijų (*Rhizobium japonicum* ir *Bradyrhizobium japonicum*) 7 padermės, kurios paspartina fosforo trąšų tirpstumą ir fosforitmilčių veikimas prilygo superfosfato efektyvumui /Mikanova, Kubat, 1999/. Panašus faktas nustatytas Pavolgyje, kur bandymuose derinant fosforo ir kalio trąšas su inokuliacija skirtingomis *Sinorhizobium meliloti* padermėmis, dėl fosforo ir kalio trąšų ir dirvožemio fosforo junginių tirpstumo pagerėjimo liucernos suformavo daugiau aktyvesnių gumbelių, suintensyvėjo azoto fiksacija ir derlius /Danilov, Danilova, 1997/.

Lietuvoje iki šiol nebuvo daryta tyrimų, kaip fosforo ir kalio trąšos veikia įvairių gumbelinių bakterijų padermių efektyvumą ir atmosferos azoto fiksacijos procesus.

Darbo tikslas – nustatyti ožiarūčių gumbelinių bakterijų (*Rhizobium galegae*) ir fosforo bei kalio trąšų derinimo reikšmę simbiotiniam efektyvumui.

## Tyrimų metodai ir sąlygos

Vegetaciniuose ir lauko bandymuose buvo tiriamos tokios ožiarūčių gumbelių bakterijų (*Rhizobium galegae* L.) efektyvios padermės: 740 – gauta iš Rusijos žemės ūkio mikrobiologijos mokslinio tyrimo instituto (Sankt-Peterburgas); 812 – gauta iš Estijos žemdirbystės instituto (Sakku) ir G 4 – išskirta Lietuvos žemdirbystės instituto Vėžaičių filiale.

*Vegetaciniai bandymai* daryti Mitčerlicho 6,5 kg talpos vegetaciniuose induose 4 pakartojimais šia schema: faktorius A (padermės) – neinokuliuota, padermė 740, padermė 812 ir padermė G 4; faktorius B (PK trąšos) – netręšta ( $P_0K_0$ ),  $P_{20}K_{30}$  mg kg<sup>-1</sup>,  $P_{40}K_{60}$ ,  $P_{80}K_{120}$  mg kg<sup>-1</sup>. Simbiotinio azoto fiksacijai nustatyti, kaip palyginamasis augalas buvo auginamos daugiametės svidrės: netręšta ( $P_0K_0$ ),  $P_{20}K_{30}$  mg kg<sup>-1</sup>,  $P_{40}K_{60}$  ir  $P_{80}K_{120}$  mg kg<sup>-1</sup>.

Kontrolinė ožiarūčių sėkla buvo sėjama neinokuliuota. Inokuliuojimui naudota ožiarūčių gumbelių bakterijų padermių kultūros vandens suspensija, kurios titras buvo ne mažesnis kaip 10<sup>7</sup> ksv (kolonijas sudarantys vienetai) ml<sup>-1</sup>. Vegetaciniam indui buvo suvartojama 5 ml šviežiai paruoštos bakterijų suspensijos.

Dirvožemis, prieš dedant į Mitčerlicho vegetacinius indus, persijotas per 10 x 10 mm dydžio akučių sietą ir tręšta pagal A.Sokolovą: 20 mg kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ir 30 mg kg<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O sudarė K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – 50 mg kg<sup>-1</sup> ir KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> – 50 mg kg<sup>-1</sup> dirvožemio /Sokolov, 1960/.

Į kiekvieną indą padarytose 0,5 cm gylio 33 duobutėse buvo sėjami rytiniai ožiarūčiai (*Galega orientalis* Lam.) po 1-2 sėklas kiekvienoje, ‘Gale’ arba palyginamasis augalas azoto fiksacijai nustatyti – daugiametės svidrės (*Lolium perenne* L.) ‘Veja’.

Prieš sėją sėkla švitinta 5 min. UV spinduliais baktericidine lempa BUV-15 /Lapinskas, 1998/. Augalai buvo retinami du kartus: pirmą kartą paliekant inde 25, antrą – 20 vienodo vešlumo augalų. Per vegetaciją augalai laistyti vandentiekio vandeniu. Ožiarūčiams pradėjus žydėti bandymas buvo baigiamas.

Kiekvieno varianto augalų mėginiuose antžeminėje dalyje ir šaknyse nustatytas bendras azotas Kjeldalio metodu.

Gumbelių skaičiaus analizei paimtos visos kiekvieno varianto šaknys ir atsitiktine tvarka atrinkta po 10 šaknų. Nustatytas paprastų, sudėtingų ir bendras gumbelių skaičius /Lapinskas, 1998/.

Azotą fiksuojančių fermentų komplekso nitrogenazės aktyvumas buvo nustatomas ožiarūčių šaknyse. Iš kiekvieno vegetacinio indo buvo iškasta po 6 augalus su šaknimis. Po du šaknų su gumbeliais gramus įdėta į 20 ml talpos indą su hermetiškai uždaru guminiu kamščiu. Per guminį kamštį su medicininio švirškū įleista acetileno dujų 10 % pagal indo tūrį (2 ml) ir inkubuojama 2 valandas 27°C temperatūroje termostate. Po inkubavimo indai išimti ir atlikta dujų chromatografija. Iš kiekvieno indo buvo paimta 1 ml susidariusių dujų mišinio ir įleista į chromatografą Chrom – 4. Dujų nešėjas – azotas (30 ml min.<sup>-1</sup>), kaip oksidatorius naudotas oras (250 ml min.<sup>-1</sup>), o reduktorius – vandenilio dujos (30 ml min.<sup>-1</sup>). Chromatografinė kolonėlė užpildyta silikogėliu. Chromatografo darbo parametrai: termostato temperatūra 80 °C, įvedimo kameros – 150 °C, detektoriaus – 220°C.

Tyrimų metu nitrogenazės redukuoto iš acetileno etileno kiekis buvo užrašomas chromatogramoje ir lyginamas su etaloninių dujų (švaraus etileno) 0,1 ml kiekio chromatogramoje parodymais. Nitrogenazės aktyvumas buvo išreiškiamas  $\mu\text{M N}_2 \text{ g}^{-1}$  šaknų  $\text{h}^{-1}$ . Fermento nitrogenazės aktyvumas nustatytas du tris kartus per augalų vegetaciją.

*Lauko bandymai* rengti vadovaujantis Lietuvos žemdirbystės institute priimta lauko bandymų agrotechnika. Ožiarūčių bandymų schema: faktorius A (padermės) – neinokuliuota, padermė 740, padermė G 4; faktorius B (PK trąšos) – netręšta ( $\text{P}_0\text{K}_0$ ),  $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ ,  $\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ ,  $\text{P}_{120}\text{K}_{120}$   $\text{kg ha}^{-1}$ . Palyginamasis augalas – motiejukai. Jų tręšimas analogiškas ožiarūčiams.

Fosforo ir kalio trąšos buvo išberiamos superfosfato ir kalio chlorido pavidalu.

Rytiniai ožiarūčiai (*Galega orientalis* L.) ‘Gale’ 35  $\text{kg ha}^{-1}$  buvo sėjami į antsėlinius miežius ‘Ula’, kurių sėklos norma 160  $\text{kg ha}^{-1}$ . Prieš pat sėją ožiarūčių sėkla lauke buvo inokuliuojama gumbelinių bakterijų (*Rhizobium galegae* Lam.) atitinkamos padermės kultūros suspensija, skaičiuojant apie  $600 \times 10^9$  ksv  $\text{ha}^{-1}$  pasėlio.

Azoto fiksacijai nustatyti lygiagrečiuose laukeliuose auginti varpiniai augalai – pašariniai motiejukai (*Phleum pratense* L.) ‘Gintaras’. Sėklos norma – 12  $\text{kg ha}^{-1}$ .

Ožiarūčiai buvo pjaunami jiems pradėjus žydėti (per vegetaciją dvi trys pjūty); miežiai pjauti kietosios brandos. Ankštinės žolės tirtos vienerius naudojimo metus.

Žolių pjūčių metu iš kiekvieno laukelio buvo sudaromas vienas 0,5  $\text{kg}$  dydžio augalų mėginys žolių sausųjų medžiagų išėigai, botaniškai grynų sėtų žolių procentui sausosiose medžiagose, bendro azoto (žalių baltymų) procentui nustatyti. Bendro azoto procentas nustatytas Kjeldalio metodu.

Dirvožemio (vegetacinių ir lauko bandymų) mėginiai agrocheminėms analizėms buvo sudaromi prieš įrengiant bandymą: pH – elektropotenciometriniu metodu, hidrolizinis rūgštumas – Kappeno, sorbuotų bazių suma – Kappeno-Hilkovico, bazėmis pasotinio laipsnis – apskaičiuotas, judrusis Al – Sokolovo, bendras N – Kjeldalio metodu, organinė C – deginant  $900^\circ\text{C}$  temperatūroje Hereaus aparatu, judrieji P ir K ( $\text{P}_2\text{O}_5$  ir  $\text{K}_2\text{O}$ ) – Egnerio-Rimo-Domingo (A-L) metodu.

Simbiotinio azoto fiksacija buvo nustatoma dviem pripažintais metodais: ankštinių ir varpinių augalų palyginamuoju metodu /Hartwig, Soussana, 2001/, Hopkinso-Piterso metodu /Hamdy, 1982; Nesheim, 1994/.

Tyrimų duomenys apdoroti pagal statistines programas ANOVA ir STAT /Tarakonovas, Raudonius, 2003/. Koreliacijos koeficientai  $r$  (koreliaciniai santykiai  $\eta$ ) arba Fišerio (Stjudento) kriterijai  $t$  pažymėti \* ir \*\* reiškia, kad duomenys statistiškai patikimi, esant 95 ir 99 % tikimybės lygiams.

*Dirvožemis.* Vegetaciniai bandymai buvo daryti giliau glėjiškame nepasotintame balkšvažemyje, kurio  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  4,0-6,4; bazėmis pasotinio laipsnis – 42,7-93,6 %, judriojo Al – 0-76,1  $\text{mg kg}^{-1}$ , judriųjų  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 86-231,  $\text{K}_2\text{O}$  – 190-274  $\text{mg kg}^{-1}$ , organinės C – 0,79-1,28 %, bendrojo N – 0,07-0,12 %.

Lauko bandymų dirvožemis – pajaurėjęs giliau glėžiškas išplautžemis, kurio  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  5,4-6,5; bazėmis pasotino laipsnis – 79,4-90,6 %, judriųjų  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 116-229,  $\text{K}_2\text{O}$  – 114-245  $\text{mg kg}^{-1}$ , organinės C – 0,96-1,25 %, bendrojo N – 0,10-0,13 %.

Kiekvieno bandymo dirvožemis buvo parinktas gana kontrastingas rūgštumo, judriojo Al ir maisto medžiagų požiūriu, siekiant geriau įvertinti aplinkos sąlygų ir *Rhizobium* efektyvumo ryšį.

Apskritai, dirvožemis reakcijos ir biogeninių elementų požiūriu buvo palankus ir būdingas Vakarų Lietuvos dirvožemiams, kuriuose auginami ankštiniai augalai.

### Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

**Vegetaciniai bandymai.** Inokuliacijai įtaką ožiarūčiams vizualiai jau buvo galima stebėti trečiąją savaitę augalams sudygu. Jei neinokuliuoti augalai buvo gelsvos spalvos ir žymiai menkiau išsivystę, tai inokuliuoti, ypač paveikti *Rhizobium* 812 ir G 4 padermėmis, visuose tręšimo fonuose išsiskyrė savo vešlumu ir sodria žalia spalva. Didelių fosforo ir kalio trąšų normų ( $\text{P}_{40-80}\text{K}_{80-120}$   $\text{mg kg}^{-1}$  dirvožemio) teigiamas poveikis išryškėjo vėliau – augalų amžiaus 50-60-ąją dieną ir buvo matomas iki užbaigiant bandymą (65-70 d.).

Ožiarūčių antžeminės dalies *sausųjų medžiagų* (derliaus) susiformavimą labiausiai lėmė augalų inokuliacijos įvairiomis gumbelių bakterijų padermėmis bei fosforo ir kalio trąšos (1 lentelė).

Netręšiant ožiarūčių, efektyviausią simbiozę sudarė nevietinė gumbelių bakterijų padermė 740. Mažiau veiksmingos buvo padermės 812 ir G 4. Nedidelės  $\text{P}_{20-40}\text{K}_{30-60}$   $\text{mg kg}^{-1}$  trąšų normos labiau stimuliuojo spontaninių gumbelių bakterijų veiklą, dėl ko labai padidėjo neinokuliuotų augalų derlius ir sumažėjo inokuliacijai panaudotų padermių simbiotinis efektyvumas.

Tręšiant didele PK trąšų norma ( $\text{P}_{80}\text{K}_{120}$   $\text{mg kg}^{-1}$ ), buvo prislopinta spontaninė inokuliacija ir šiame fone vėl staigiai padidėjo dirbtiniam inokuliacijai panaudotų visų padermių efektyvumas. Panašius faktus nurodo ir Baltarusijos mokslininkė L. Suchovickaja, kurios bandymuose didelės PK trąšų normos labai prislopino gumbelių bakterijų paplitimą dirvožemyje ir jų efektyvumą /Suchovickaja, 1989/.

Ožiarūčių *šaknų sausųjų medžiagų masės* pokyčiai nuo tiriamų priemonių buvo panašūs su viena kita išimtimi į antžeminės dalies pokyčius. Labiausiai šaknų masės augimą stimuliuojo padermės 740 ir G 4 netręštame fone. Šiame fone augalų inokuliacija didesnį poveikį turėjo augalų šaknims negu antžemei masei.

Tręšiant fosforu ir kaliumu, nepriklausomai nuo trąšų normos, neinokuliuotų ožiarūčių šaknų masė nuosekliai didėjo nuo 9,8 iki 14,2  $\text{g ind}^{-1}$ , t.y. 45 %. Tuo tarpu inokuliacijos efektyvumas, naudojant įvairias padermes, nuo tręšimo PK trąšomis – visą laiką mažėjo. Vis dėlto tręšiant didele,  $\text{P}_{80}\text{K}_{120}$   $\text{mg kg}^{-1}$  trąšų norma, labai padidėjo padermės 812 (32 %) ir ypač padermės G 4 (61 %) veiksmingumas. Tokiu būdu, ožiarūčių inokuliaciją derinant su didelėmis PK trąšų normomis, didėja padermių efektyvumas, augalų derlius, ir ypač šaknų masė, kuriai mineralizuojantis gali būti didelis teigiamas poveikis kitiems augalams ir dirvožemio derlingumui.

**1 lentelė.** *Rhizobium galegae* padermių ir PK trąšų derinimo įtaka ožiarūčių sausųjų medžiagų kiekiui, gumbelių susiformavimui ir žalių baltymų masei

**Table 1.** *The impact of Rhizobium galegae strains and PK fertilizers on goat's rue dry matter content, nodule formation and crude protein weight*

Vėžaičiai, 1999-2003 m.

Variantas <i>Treatment</i>	Augalo biomasė <i>Biomass of plant DM</i>			Augalo gumbeliai <i>Number of nodules per plant</i>		Žali baltymai g indo <sup>-1</sup> <i>Crude protein g pot<sup>-1</sup></i>
	antžemi- nė dalis <i>over- ground part</i>	šaknys <i>roots</i>	visas augalas <i>total plant</i>	bendras skaičius <i>total number</i>	sudėtingų gumbelių % <i>complex nodules %</i>	
1	2	3	4	5	6	7
<i>Ožiarūčiai / Galega orientalis</i>						
<i>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub></i>						
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	5,5	9,8	15,3	48,2	6,4	0,63
Padermė / <i>Strain 740</i>	9,5	17,5	27,0	89,8	2,2	1,04
Padermė / <i>Strain 812</i>	8,7	14,7	23,4	128,4	2,7	1,08
Padermė / <i>Strain G 4</i>	8,4	18,4	26,8	129,5	2,4	1,11
<i>P<sub>20</sub>K<sub>30</sub> mg kg<sup>-1</sup></i>						
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	7,2	13,2	20,4	62,3	5,8	0,85
Padermė / <i>strain 740</i>	9,0	17,6	26,6	104,8	3,9	1,19
Padermė / <i>Strain 812</i>	8,6	16,4	25,0	195,0	2,0	1,09
Padermė / <i>Strain G 4</i>	9,0	16,1	25,1	108,9	1,4	1,16
<i>P<sub>40</sub>K<sub>60</sub> mg kg<sup>-1</sup></i>						
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	7,6	12,8	20,4	65,4	7,2	0,94
Padermė / <i>Strain 740</i>	8,7	16,1	24,8	100,9	5,0	1,12
Padermė / <i>Strain 812</i>	7,5	14,3	21,8	112,8	2,5	0,94
Padermė / <i>Strain G 4</i>	10,5	17,2	27,7	112,3	2,1	1,39
<i>P<sub>80</sub>K<sub>120</sub> mg kg<sup>-1</sup></i>						
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	6,6	14,2	20,8	82,3	4,4	0,70
Padermė / <i>Strain 740</i>	8,0	16,4	24,4	126,3	2,9	0,83
Padermė / <i>Strain 812</i>	9,6	18,8	28,4	138,4	2,6	1,20
Padermė / <i>Strain G 4</i>	12,8	22,9	35,7	151,4	1,8	1,64
<i>R<sub>05</sub> / LSD<sub>05</sub></i>	1,5	2,1	2,6	19,3	3,5	0,19

**1 lentelės tęsinys**  
**Table 1 continued**

1	2	3	4	5	6	7
	Daugiametės svidrės / <i>Lolium perenne</i>					
Be PK trąšų <i>Without PK fertilizers</i>	3,6	5,9	9,5	-	-	0,22
P <sub>20</sub> K <sub>30</sub> mg kg <sup>-1</sup>	4,6	7,6	12,2	-	-	0,28
P <sub>40</sub> K <sub>60</sub> mg kg <sup>-1</sup>	4,8	8,9	13,7	-	-	0,29
P <sub>80</sub> K <sub>120</sub> mg kg <sup>-1</sup>	4,1	6,5	10,6	-	-	0,28
R <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	0,9	0,9	1,3			0,05

Nors fosforo ir kalio trąšos neturėjo didelės įtakos daugiamečių svidrių derliui, tačiau smarkiai stimulavo šaknų augimą. Nuo P<sub>20</sub>K<sub>30</sub> ir P<sub>40</sub>K<sub>60</sub> mg kg<sup>-1</sup> šaknų masė padidėjo atitinkamai 29 ir 51 %. Tręšiant didele P<sub>80</sub>K<sub>120</sub> mg kg<sup>-1</sup> norma, daugiamečių svidrių šaknų masė buvo labai slopinama, dėl ko tiek tręštų didele norma, tiek ir netręštų šaknų masė statistiškai susilygino.

Vertinant ožiarūčių antžeminės dalies (derliaus) ir šaknų masės, t.y. *augalo biomasės susikaupimą*, reikia pažymėti, kad veiksmingiausia priemonė buvo inokuliacija efektyviomis gumbelinių bakterijų padermėmis. Didžiausias visų padermių veiksmingumas nustatytas, kai augalai nebuvo tręšti fosforo ir kalio trąšomis. Savo efektyvumu išsiskyrė padermės 740 ir G 4. Derinant inokuliaciją su tręšimu nedidele (P<sub>20</sub>K<sub>30</sub> mg kg<sup>-1</sup>) ir vidutine (P<sub>40</sub>K<sub>60</sub> mg kg<sup>-1</sup>) PK trąšų normomis, visų padermių efektyvumas sumažėjo maždaug dvigubai.

Taip atsitiko dėl to, kad nuo PK trąšų, nepriklausomai nuo normos dydžio, vidutiniškai 33-36 % padidėjo neinokuliuotų augalų biomasė ir nepakito inokuliuotų. Tręšiant didžiausia PK trąšų norma (P<sub>80</sub>K<sub>120</sub> mg kg<sup>-1</sup>), padermės 812 efektyvumas padidėjo nuo 7 iki 36 %, o padermės G 4 – nuo 36 iki 74 %.

Remiantis literatūriniais ir savų tyrimų duomenimis, efektyvios gumbelinių bakterijų padermės dažnai išsiskiria iš kitų aukštu fermentų fosfatazių aktyvumu, t.y. gali skaidyti dirvožemio organinius fosforo junginius ir iš dalies patenkinti šio elemento poreikius /Lapinskas, 1998; Mikanova, Kubat, 1999/. Tyrimų duomenys rodo, kad spontaninės gumbelinės bakterijos (neinokuliuoti ožiarūčiai) buvo daugiau priklausomos nuo trąšų fosforo ir kalio, negu inokuliacijai naudotos bakterijų padermės.

Ir tik veikiant aukštai PK trąšų koncentracijai (P<sub>80</sub>K<sub>120</sub> mg kg<sup>-1</sup>) dirvožemyje, kai buvo prislopinta spontaninių gumbelinių bakterijų veikla, staigiai padidėjo dirbtinio inokuliacijos efektyvumas /Suchovickaja, 1989/.

Daugiamečių svidrių biomasės kaupimuisi PK trąšos veikė kiek kitaip, negu ožiarūčiams. Nuo nedidelės ir vidutinės PK normos svidrių biomasė padidėjo 28-44 %. Tuo tarpu tręšiant didele PK norma, daugiamečių svidrių biomasė toliau ne tik nebedidėjo, bet liko tokia pat kaip netręštų augalų. Taip atsitiko, matyt, dėl to, kad aukštame PK trąšų fone varpiniai augalai aiškiai jautė mineralinio azoto stygių

ir galėjo slopinančiai paveikti nuo kalio trąšų staigiai padidėjęs dirvožemio tirpalo osmosinis slėgis /Kadžius, 1972; Suchovickaja, 1989/.

*Gumbelių susiformavimas.* Gumbelinės bakterijos didžiąją dalį atmosferos azoto fiksuoja ankštinio augalo gumbelyje. Todėl nuo gumbelių skaičiaus ir jų išsivystymo (stambumo) daug priklauso simbiozės efektyvumas. Tyrimų rezultatai rodo, kad ožiarūčių gumbelių susiformavimas daug priklausė nuo gumbelinių bakterijų padermės ir PK trąšų (1 lentelė). Mažiausiai gumbelių rasta neinokuliuotų ir netręštų augalų šaknyse (48,2 vnt. augalo<sup>-1</sup>). Didinant PK trąšų normą iki P<sub>80</sub>K<sub>120</sub> mg kg<sup>-1</sup>, neinokuliuotų augalų gumbelių skaičius nuosekliai didėjo iki 82,3 vnt. augalo<sup>-1</sup>, t.y. 71 %.

Gumbelių susiformavimo požiūriu skirtingos padermės į PK trąšas reagavo nevienareikšmiai. Padermė 812 daugiausia gumbelių (195,0 vnt. augalo<sup>-1</sup>) sudarė derinant mažą – P<sub>20</sub>K<sub>30</sub> mg kg<sup>-1</sup> normą. Tuo tarpu padermės G 4 didžiausias virulentiškumas nustatytas P<sub>80</sub>K<sub>120</sub> trąšų fone.

Pastebėta, kad augalų šaknyse susiformavo dvejopos formos gumbeliai – paprasti ir sudėtingi (šakoti). Ankstesniais pašarinių pupų ir liucernų tyrimais nustatyta, kad kuo ankštinis augalas santykinai daugiau sudaro sudėtingų gumbelių, tuo susiformuoja menkesnė simbiozė ir mažiau sukaupiama biologinio azoto /Lapinskas, 1998/. Paprastas gumbelis geriau aprūpinamas tirpiaisiais asimiliatais ir jame bakteroidinis audinys užima santykinai didesnę tūrį, negu šakotame gumbelyje /Hamdy, 1982/. Todėl sudėtingų gumbelių skaičius buvo mažesnis ten, kur susidarydavo efektyvesnė simbiozė. Vis dėlto simbiozės efektyvumą geriau parodo ne bendras sudėtingų gumbelių skaičius, bet sudėtingų gumbelių procentas, kuris mažėjo nuo inokuliacijos, ypač aktyvia paderme G 4, ir derinant su nedidele trąšų norma. Neinokuliuotų augalų sudėtingų gumbelių procentas labiausiai (31 %) sumažėjo, tręšiant didele PK trąšų norma. Šiam rodikliui lemiamą reikšmę turi ne PK trąšų naudojimas, bet augalų inokuliacija efektyviomis gumbelinių bakterijų padermėmis. Priklausomai nuo padermės, sudėtingų gumbelių procentas augaluose sumažėjo 42-68 %, o nuo PK trąšų – tik 3-15 %. Tarp simbiozės efektyvumo ir sudėtingų gumbelių procento nustatytas stiprus ryšys ( $\eta = 0,77^{**} - 0,79^{**}$ ).

*Žali baltymai.* Visuose tręšimo fonuose (išskyrus P<sub>20</sub>K<sub>30</sub> mg kg<sup>-1</sup>) daugiausia žalių baltymų procentas padidėjo, inokuliuojant ožiarūčius paderme G 4. Didžiausias P<sub>80</sub>K<sub>120</sub> mg kg<sup>-1</sup> trąšų normos fone ši padermė padidino augalų baltymingumą net 2,2 %, palyginus su neinokuliuotais augalais.

Vertinant žalių baltymų išeią, pažymėtina, kad inokuliacija labiausiai stimuliuo baltymų susikaupimą visiškai fosforo ir kalio trąšomis netręštame dirvožemyje arba tręštame pačia didžiausia šių trąšų norma, t.y. P<sub>80</sub>K<sub>120</sub> mg kg<sup>-1</sup>.

Daugiametės svidrės žalių baltymų sukaupė 4 kartus mažiau negu ožiarūčiai. Visos PK trąšų dozės buvo efektyvios ir vienodo veiksmingumo.

*Bendras azotas biomasėje.* Bendro azoto susikaupimui ožiarūčių antžeminėje dalyje ir šaknyse didesnę įtaką turėjo inokuliacijai naudotos gumbelinių bakterijų padermės genetinės ir fiziologinės savybės, nei tręšimas fosforo ir kalio trąšomis (2 lentelė). Visuose tręšimo fonuose daugiausiai azoto antžeminėje dalyje nustatyta inokuliuojant paderme G 4. Ypač nuo šios padermės daug azoto sukaupė



augalai  $P_{80}K_{120}$  mg  $kg^{-1}$  fone. Analogiški rezultatai pastebėti ir kaupiant bendrą azotą šaknyse. Ypač daug azoto ( $419$  mg N  $indo^{-1}$ ) rasta inokuliuojant minėta paderme G 4 ir tręšiant didžiausia  $P_{80}K_{120}$  mg  $kg^{-1}$  trąšų norma. Padermės 740 ir 812 buvo veiksmingos, kaupiant azotą, veikiant mažesnėmis PK koncentracijoms.

**2 lentelė.** *Rhizobium galegae* padermių ir PK trąšų derinimo įtaka bendro azoto sukaupimui ožiarūčių ir daugiamečių svidrių biomasėje bei ožiarūčių azoto fiksacijai

**Table 2.** *The impact of Rhizobium galegae strains and PK fertilizers on the accumulation of total nitrogen in the biomass of goat's rue and perennial ryegrass and biological nitrogen fixation by goat's rue*

Vėžaičiai, 1999-2003 m.

Variantas <i>Treatment</i>	Bendrasis azotas mg $indo^{-1}$ <i>Total nitrogen mg pot<sup>-1</sup></i>			Fiksuota azoto mg $indo^{-1}$ <i>Fixed nitrogen mg pot<sup>-1</sup></i>		Biolo- ginio N % <i>Biolo- gical nitrogen %</i>
	antžeminė dalis <i>over- ground part</i>	šaknis <i>roots</i>	visas augalas <i>total plant</i>	tiesioginis metodas <i>trough method</i>	pagal Hopkinsą- Pitersą <i>Hopkins- Piters</i>	
<i>Ožiarūčiai / Galega orientalis</i>						
$P_0K_0$						
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	101	142	243	165	158	67,9
Padermė / <i>Strain</i> 740	166	311	477	399	310	83,6
Padermė / <i>Strain</i> 812	173	265	438	360	284	82,2
Padermė / <i>Strain</i> G 4	177	325	502	425	326	84,7
$P_{20}K_{30}$ mg $kg^{-1}$						
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	137	218	355	252	231	71,0
Padermė / <i>Strain</i> 740	190	334	523	420	340	80,3
Padermė / <i>Strain</i> 812	174	322	496	393	323	79,2
Padermė / <i>Strain</i> G 4	185	371	556	453	361	81,5
$P_{40}K_{60}$ mg $kg^{-1}$						
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	150	206	356	244	232	68,5
Padermė / <i>Strain</i> 740	180	284	463	351	301	75,8
Padermė / <i>Strain</i> 812	150	254	404	292	263	72,3
Padermė / <i>Strain</i> G 4	222	288	510	398	332	78,0
$P_{80}K_{120}$ mg $kg^{-1}$						
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	113	248	361	258	235	71,5
Padermė / <i>Strain</i> 740	132	272	390	287	254	73,6

**2 lentelės tęsinys**  
**Table 2 continued**

1	2	3	4	5	6	7
Padermė / <i>Strain</i> 812	192	303	495	392	322	79,2
Padermė / <i>Strain</i> G 4	262	419	682	578	443	84,8
$R_{05} / LSD_{05}$	31	32	46	36	30	7,7
Daugiametės svidrės / <i>Lolium perenne</i>						
Be PK trąšų <i>Without PK fertilizers</i>	35	43	78	-	-	-
$P_{20}K_{30}$ mg kg <sup>-1</sup>	44	59	103	-	-	-
$P_{40}K_{60}$ mg kg <sup>-1</sup>	46	66	112	-	-	-
$P_{80}K_{120}$ mg kg <sup>-1</sup>	44	59	103	-	-	-
$R_{05} / LSD_{05}$	4	6	11			

Visoje ožiarūčių biomasėje, auginant neinokuliuotus augalus, nuo fosforo ir kalio trąšų veiksmingai (46-78 %) didėjo sukaupto azoto kiekis. Tačiau tiek maža trąšų norma, tiek didelė buvo vienodo veiksmingumo. Inokuliuotų augalų azoto sukauptas priklausė nuo padermės ir PK trąšų normos. Derinant efektyvią padermę G 4 ir didžiausią PK trąšų normą, ožiarūčių biomasėje bendro azoto nustatyta daugiausiai (682 mg indo<sup>-1</sup>). Mažesnio efektyvumo padermės 740 ir 812 daugiau bendro azoto sukauptė visiškai netręšiant PK trąšomis arba tręšiant nedidele ( $P_{20}K_{30}$  mg kg<sup>-1</sup>) norma. Tokiu būdu, kaupiant azotą biomasėje, efektyvesnei simbiozei reikia didesnių PK trąšų normų, negu menkesnei.

Daugiametės svidrės teigiamai reagavo į PK trąšas. Tačiau kaupiant azotą augalų biomasėje tarp šių trąšų normų nenustatyta esminio skirtumo. Apskritai, neinokuliuoti ožiarūčiai ir daugiametės svidrės labai panašiai reagavo į fosforo ir kalio trąšas. Tačiau varpinės žolės vidutiniškai 4,6 karto mažiau sukauptė bendro azoto savo biomasėje.

*Biologinio azoto fiksacija.* Simbiotinio azoto fiksacijai nustatyti yra žinoma nemažai metodų, iš kurių populiariausiu pripažintas vadinamas tiesioginis metodas /Nesheim, 1994/, taip pat galima skaičiuoti ir pagal amerikiečių mokslininkų Hopkinso-Piterso koeficientą /Paul, Clark, 1989/.

Tiesioginiu metodu nustatant iš ankštinių augalų (ožiarūčių) sukaupto bendro azoto biomasėje atimamas varpiniuose augaluose (daugiametėse svidrėse) sukauptas bendras azotas ir gaunamas simbiotinio azoto fiksuotas kiekis. Tyrimais nustatyta, kad esant spontaninei inokuliacijai, t.y. ožiarūčius auginant be dirbtinio inokuliacijos, veiksmingiausia buvo mažiausia PK trąšų norma ( $P_{20}K_{30}$  mg kg<sup>-1</sup>), nuo kurios azoto fiksacija padidėjo 53 %. Toliau PK trąšų normą didinant iki  $P_{80}K_{120}$  mg kg<sup>-1</sup>, simbiotinio azoto fiksacija labiau nesuintensyvėjo. Kitaip į PK trąšas reagavo gumbelinių bakterijų padermėmis inokuliuoti ožiarūčiai. Derinant efektyvią padermę G 4 ir didžiausią PK normą, ožiarūčiai daugiausia sukauptė biologinio azoto – 578 mg N indo<sup>-1</sup>. Azoto fiksacijos požiūriu kitos padermės buvo veiksmingesnės, tręšiant nedidele ( $P_{20}K_{30}$  mg kg<sup>-1</sup>) PK trąšų norma. Taigi, fosforo ir

kalio trąšų veiksmingumas azoto fiksacijai priklausė nuo gumbelinių bakterijų padermės gebos panaudoti fosforą bei kalį iš trąšų ir dirvožemio sunkiai tirpių junginių /Mikanova, Kubat, 1999/.

Įvertinant azoto fiksaciją pagal Hopkinsą-Pitersą, pirmiausia nustatomas bendras azoto kiekis ožiarūčių biomasėje (antžeminėje dalyje ir šaknyse). Po to gauti duomenys dauginami iš koeficiento 0,65 ir gaunamas fiksuoto azoto kiekis. Azoto fiksaciją nustatant tiesioginiu ar apskaičiavimo būdu, gauti panašūs dėsningumai (2 lentelė). Tačiau nustatant antruoju būdu, azoto fiksacijos reikšmės buvo vidutiniškai 1,2 karto mažesnės, negu įvertinant tiesioginiu metodu. Ryšį tarp tiesioginiu būdu nustatytos azoto fiksacijos ( $y$ , mg N  $\text{indo}^{-1}$ ) ir apskaičiuotos pagal Hopkinsą-Pitersą ( $x$ , mg N  $\text{indo}^{-1}$ ), rodo šios regresinės lygtys:

$$\text{neinokuliuota, } y = 66,03 + 0,643x \quad r = 0,95^{**},$$

$$\text{padermės 740, } y = 71,17 + 0,631x \quad r = 0,96^{**},$$

$$\text{padermės 812, } y = 74,94 + 0,620x \quad r = 0,97^{**},$$

$$\text{padermės G 4, } y = 82,28 + 0,612x \quad r = 0,98^{**}.$$

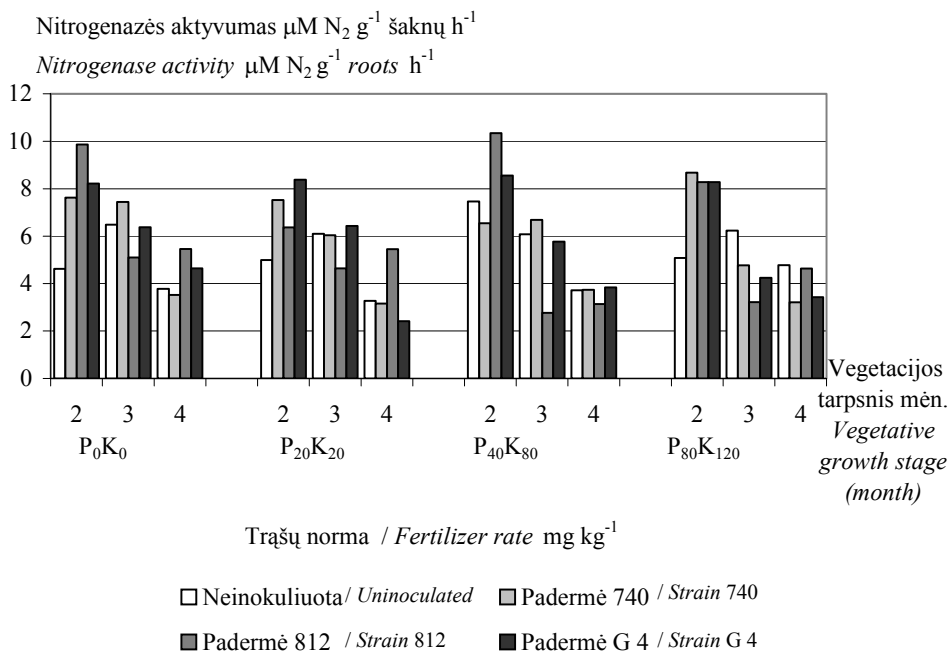
Fiksuoto arba biologinio azoto procentui ožiarūčių bendro azoto masėje teigiamą įtaką turėjo tik augalų inokuliacija. Nuo fosforo ir kalio trąšų tiek neinokuliuotų, tiek inokuliuotų, nepriklausomai nuo padermės, biologinio azoto procentas nepakito arba esami pokyčiai buvo paklaidos ribose.

*Fermento nitrogenazės aktyvumas* yra laikomas kaip vienas tiksliausių azoto fiksacijos netiesioginių rodiklių. Šio fermento aktyvumas nustatomas remiantis jo geba proporcingai azoto kiekiui redukuoti acetilena į etilena /Ambrazaitienė, 2003/. Apibendrinant skirtingų padermių nitrogenazės aktyvumo tyrimų rezultatus, galima teigti, kad aktyviausias fermentas buvo praėjus nuo ožiarūčių vegetacijos pradžios dviem mėnesiams, nepriklausomai nuo PK junginių koncentracijos (1 pav.). Neinokuliuoti augalai azoto fiksavo vidutiniškai  $5,54 \mu\text{M N g}^{-1}$  šaknų  $\text{h}^{-1}$ , inokuliuoti –  $8,21 \mu\text{M N}$ , arba 48 % daugiau. Didžiausiu nitrogenazės aktyvumu išsiskyrė padermė 812, fiksavusi  $8,52 \mu\text{M N g}^{-1}$  šaknų  $\text{h}^{-1}$ , arba 54 % daugiau, palyginus su neinokuliuotais augalais. Panašaus aktyvumo buvo ir padermė G 4.

Fosforo ir kalio trąšos aktyvina fermentą nitrogenazę, neatsižvelgiant į gumbelinių bakterijų padermės efektyvumą ir ekologinę adaptaciją. Spontaninių gumbelinių bakterijų padermių 812 ir G 4 nitrogenazė daugiausia fiksavo azoto, tręšiant  $\text{P}_{40}\text{K}_{60}$  mg  $\text{kg}^{-1}$  trąšų norma, o padermės 740 fermentas aktyviausias buvo tręšiant  $\text{P}_{80}\text{K}_{120}$ .

Po keturių mėnesių vegetacijos tarpsnio, t.y. jos pabaigoje neinokuliuotų augalų ir visais inokuliacijos atvejais nitrogenazės aktyvumas sumažėjo. Labiausiai fermento aktyvumas sumažėjo padermių 740 ir G 4 ir sudarė atitinkamai 44 ir 43 %, palyginus su dviejų mėnesių amžiaus augaluose esančia nitrogenaze. Žymiai aktyvesnės formos išsilaikė padermės 812 nitrogenazė (56 %). Per vegetaciją mažiausiai pakito spontaninių gumbelinių bakterijų, t.y. mažiausio simbiotinio efektyvumo bakterijų nitrogenazė (70 %). Tokiu būdu, gauti tyrimų duomenys negali patvirtinti kai kurių autorių teiginio, esą efektyvių gumbelinių bakterijų sudarytas augalų gumbelyje bakteroidinis audinys ir jame esantis fermentas nitrogenazė aktyvios

būklės funkcionuoja ilgiau, negu mažai efektyvių gumbelinių bakterijų / Hamdy, 1982; Alijev, 1988/.



**1 paveikslas.** Nitrogenazės aktyvumo kitimas, atsižvelgiant į tręšimą ir vegetacijos tarpsnį

**Figure 1.** The variation of nitrogenase activity as affected by fertilizing and growth stage phase

### Lauko bandymai

Visais tyrimų metais ožiarūčių inokuliacija ir tręšimas PK trąšomis lėmė augalų *sausųjų medžiagų derlių* (3 lentelė). Veiksmingiausia simbiozė susiformavo  $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  trąšų fone, inokuliuojant paderme G 4; grynų žolių sausųjų medžiagų derliaus priedas sudarė  $3,17 \text{ t ha}^{-1}$ . Panašių išvadų, vertinant  $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  trąšų normą, priėjo ir V. Brencienė, atlikusi liucernų tręšimo bandymus /Brencienė, 1995/. Mūsų tyrimuose toliau didinant trąšų normą iki  $\text{P}_{90}\text{K}_{90}$  ir  $\text{P}_{120}\text{K}_{120}$  bei derinant su inokuliacija, simbiozė nesuaktyvėjo. Neinokuliuoti ožiarūčiai teigiamai reagavo į visas PK trąšų normas. Tai rodo, kad spontaninės gumbelinės bakterijos, palyginus su inokuliacijai naudotomis, turėjo silpnesnę fermentinę sistemą ir azoto fiksacijai daugiau naudojo tirpius PK trąšų junginius /Vorobjov, 2000/.

Inokuliacijos efektyvumo (y) priklausomumą nuo PK trąšų normų (x) geriausiai rodo trečiojo laipsnio regresijos lygtis:  $1,12+0,1396x-0,0026x^2+0,00001 x^3$ , esant  $\eta = 0,51^*$ .

Ožiarūčių inokuliacija visais PK tręšimo atvejais stimuliavo augalų baltymingumą. Tačiau žalių baltymų daugiausiai padidėjo, taikant inokuliaciją ir

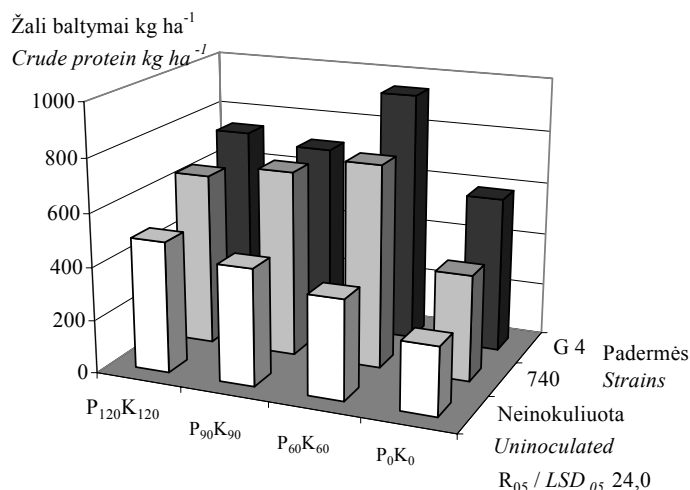
P<sub>0</sub>K<sub>0</sub> bei P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> derinius – atitinkamai 2,49 ir 1,38 proc. vnt. Nuo fosforo ir kalio trąšų nenustatyti žalių proteinų procento pokyčiai neinokuliuotų ožiarūčių derliuje.

**3 lentelė.** *Rhizobium galegae* padermių ir PK trąšų derinimo reikšmė ožiarūčių sausųjų medžiagų derliui t ha<sup>-1</sup>

**Table 3.** *The impact of Rhizobium galegae strains in combination with PK fertilizers on dry matter yield of goat's rue (t ha<sup>-1</sup>)*  
Vėžaičiai, 2002-2004 m.

Padermės / Strain (faktorius A / factor A)	PK trąšos kg ha <sup>-1</sup> / PK fertilizers kg ha <sup>-1</sup> (faktorius B / factor B)				Faktoriaus A vidurkiai Averages of factors A
	P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	1,81	2,56	3,15	3,64	2,79
740	2,55	4,89	4,50	4,55	4,12
G 4	3,32	5,73	4,60	5,08	4,68
Faktoriaus B vidurkiai <i>Averages of factors B</i>	2,56	4,39	4,08	4,42	
R <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>			0,55		0,55
Faktorių AxB R <sub>05</sub> <i>Factors AxB LSD<sub>05</sub></i>			1,06		

Žalių baltymų masės susikaupimui ožiarūčių derliuje teigiamos įtakos turėjo visi inokuliacijos ir PK trąšų deriniai (2 pav.), tačiau baltymų išeiga labiausiai padidėjo (388 ir 569 kg ha<sup>-1</sup>) inokuliuojant ožiarūčius P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> trąšų fone. Trešiant didesnėmis trąšų normomis žalių baltymų sukaupta beveik tiek pat.



**2 paveikslas.** *Rhizobium galegae* padermių ir PK trąšų normų derinimo įtaka žalių baltymų masei ožiarūčių derliuje

**Figure 2.** *The impact of Rhizobium galegae strains in combination with PK fertilizers on crude protein content in goat's rue yield*

*Azoto fiksacijos intensyvumą* lėmė inokuliacija gumbelinių bakterijų padermėmis ir fosforo bei kalio trąšos (4 lentelė). Neinokuliuoti augalai visais tręšimo atvejais azoto fiksavo žymiai mažiau, negu inokuliuoti. Matyt, dėl to neinokuliuoti ožiarūčiai labai reagavo į tręšimą fosforo ir kalio trąšomis. Didinant trąšų normą iki P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>, fiksuoto azoto didėjo nuo 43,1 iki 111,6 kg N ha<sup>-1</sup>.

**4 lentelė.** *Rhizobium galegae* padermių ir PK trąšų derinimo reikšmė simbiotinio azoto fiksacijai (kg N ha<sup>-1</sup>)

**Table 4.** *The impact of Rhizobium galegae strains in combination with PK fertilizers on symbiotic nitrogen fixation (kg N ha<sup>-1</sup>)*

Vėžaičiai, 2002-2004 m.

Padermės / Strains (faktorius A / factor A)	PK trąšos kg ha <sup>-1</sup> / PK fertilizers kg ha <sup>-1</sup> (faktorius B / Factor B)120				Faktoriaus A vidurkiai Averages of factors A
	P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	43,1	43,1	65,6	111,6	65,8
740	88,3	167,1	149,5	161,9	141,7
G 4	148,7	213,3	151,1	190,9	176,0
Faktoriaus B vidurkiai <i>Averages of factors B</i>	93,4	141,2	122,1	154,8	
R <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>			29,0		29,0
Faktorių AxB R <sub>05</sub> <i>Factors AxB LSD<sub>05</sub></i>			55,0		

Inokuliuoti augalai į PK trąšas reagavo kiek kitaip.

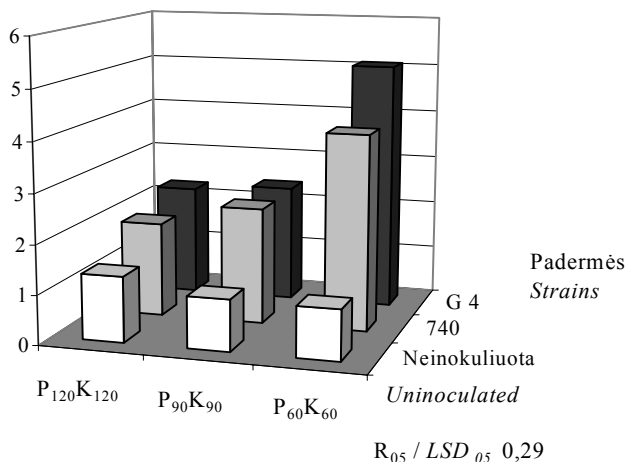
Iš atmosferos azoto daugiausiai augalai sukaupe tręšiant ne didžiausia, bet P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> trąšų norma. Inokuliuojant paderme 740, fiksuota 167,1 kg N ha<sup>-1</sup>, paderme G 4 – 213,3 kg N ha<sup>-1</sup>. Taikant didesnes tręšimo normas, azoto fiksacijos intensyvumas nuosekliai mažėjo. Taip galėjo atsitikti dėl to, kad efektyvios gumbelinių bakterijų padermės geba pasisavinti dalį reikalingo fosforo iš sunkiai tirpių kalcio fosfatų ir perteklinis trąšų fosforas nepadėjo daugiau fiksuoti azoto iš atmosferos /Danilov, Danilova, 1997; Mikanova, Kubat, 1999/.

Vertinant trąšų skirtingų normų fosforo ir kalio vieno kilogramo veiksmingumą azoto fiksacijai, apskaičiuota, kad didinant PK trąšų normą, neinokuliuoti augalai, t.y. spontaninės gumbelinės bakterijos nuosekliai didino ir fiksuoto azoto kiekį nuo 1,02 iki 1,33 kg N (3 pav.). Inokuliuoti augalai, skirtingai nuo neinokuliuotų, daugiausiai biologinio azoto už vieną kg PK trąšų sukaupe P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> trąšų fone. Inokuliuojant paderme G 4, azoto fiksuota 5,08, paderme 740 – 3,98 kg N. Didinant trąšų normą iki P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>, azoto fiksacijos veiksmingumas sumažėjo iki 2,27 ir 1,93 kg N už vieną kg PK.

*Aplinkos sąlygų ir Rhizobium efektyvumo ryšys.* Rytinių ožiarūčių, kaip ir visų ankštinių augalų, simbiozei reikšmingas yra ne tik efektyvių gumbelinių bakterijų padermių parinkimas, bet ir tinkamas fosforo ir kalio mitybos suregulavimas. Simbiozei yra labai svarbios ir aplinkos, ypač oro ir dirvožemio, sąlygos. Koreliacinei regresinei analizei parinkta 12 palyginamųjų porų. Kiekvienas parametras

apskaičiuotas 6 regresinėmis lygtimis, iš kurių atrinkta tinkamiausia ir pateikta 5 lentelėje /Hohenberg, Munns, 1984/.

Fiksuota azoto kg N už kg PK  
Fixed nitrogen N kg by one kg PK



**3 paveikslas.** PK trąšų veiksmingumas *Rhizobium galegae* simbiotinio azoto fiksacijai  
**Figure 3.** The efficacy of PK fertilizers on symbiotic nitrogen fixation by *Rhizobium galegae* strains

**5 lentelė.** Ožiarūčių inokuliacijos efektyvumas ( $y \text{ t ha}^{-1}$ ) priklausomumas nuo drėgmės režimo (HTK) ir dirvožemio ekologinių sąlygų ( $x$ )  
**Table 5.** Efficiency of goat's rue inoculation ( $y \text{ t ha}^{-1}$ ) in relation to different ecological factors ( $x$ )

Vėžaičiai, 2002-2004 m.

Ekologinės sąlygos <i>Ecological factors</i>	Inokuliacija <i>Inoculation</i>	Regresijos lygtys <i>Equation of regression</i>	r arba / or $\eta$
1	2	3	4
Augalų sausųjų medžiagų derlius / <i>DM yield of plants</i>			
HTK	-	$4,25-0,012x$	0,72**
	+	$5,01-0,005x$	0,36
pH <sub>KCl</sub>	-	$306,34-103,57x+8,779x^2$	0,80**
	+	$125,67-41,43x+3,516x^2$	0,39
Bazėmis pasotinimo laipsnis % <i>Soil base saturation</i>	-	$523,23-12,37x+0,073x^2$	0,80**
	+	$209,67-4,885x+0,029x^2$	0,39
Judrusis Al mg kg <sup>-1</sup> <i>Mobile</i>	-	$5,93-0,970x$	0,70*
	+	$-2,56+4,705x-0,714x^2$	0,39

**5 lentelės tęsinys**  
**Table 5 continued**

	1	2	3	4
Judrusis P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg kg <sup>-1</sup>		-	-1,11+0,021x	0,73**
<i>Mobile</i>		+	-11,41+0,194x-0,001x <sup>2</sup>	0,39
Judrusis K <sub>2</sub> O mg kg <sup>-1</sup>		-	-1,115+0,020x	0,79**
<i>Mobile</i>		+	2,84+0,008x	0,38
Humusas %		-	73,917·e <sup>1,74x</sup>	0,75**
<i>Humus</i>		+	8,07-1,863x	0,34
<i>Fiksuota azoto iš oro / Atmospherically fixed nitrogen</i>				
HTK		-	130,14-0,551x	0,67*
		+	190,11+0,56x-0,005x <sup>2</sup>	0,57*
<i>pH<sub>KCl</sub></i>		-	19272,6-6543,3x+554,635x <sup>2</sup>	0,74**
		+	125,67-41,43x+3,516x <sup>2</sup>	0,39
Bazėmis pasotinimo laipsnis %		-	32993,2-781,95x+4,633x <sup>2</sup>	0,74*
<i>Soil base saturation</i>		+	20139,6-472,81x+2,798x <sup>2</sup>	0,57
Judrusis Al mg kg <sup>-1</sup>		-	292,3-61,322x	0,65*
<i>Mobile</i>		+	347,2-37,192x	0,51
Judrusis P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg kg <sup>-1</sup>		-	-152,7+1,310x	0,68*
<i>Mobile</i>		+	77,9+0,791x	0,53
Judrusis K <sub>2</sub> O mg kg <sup>-1</sup>		-	-152,9+1,279x	0,73**
<i>Mobile</i>		+	79,6+0,763x	0,57
Humusas %		-	649,37-281,888x	0,63*
<i>Humus</i>		+	546,29-162,125x	0,47

Vegetacijos laikotarpio drėgmės režimas (HTK) turėjo statistiškai patikimą įtaką neinokuliuotų ožiarūčių augimui ( $r = 0,72^{**}$ ) ir neturėjo ryšio inokuliuotiems augalams ( $r = 0,36$ ). Didėjant hidroterminio koeficiento reikšmėms, statistiškai patikimai didėjo atmosferos azoto fiksacija ( $\eta = 0,57^{*}-0,67^{**}$ ).

Dirvožemio pH<sub>KCl</sub>, bazingumas bei biogeninių elementų fosforo ir kalio, taip pat dirvožemio humusingumas turėjo teigiamą ir statistiškai patikimą poveikį neinokuliuotų augalų augimui bei azoto fiksacijai. Tuo tarpu ekologinių veiksnių įtaka inokuliuotų ožiarūčių augimui bei azoto fiksacijai statistiškai nebuvo įrodoma, nors daugelyje atvejų buvo galima matyti tik jų teigiamo veikimo tendencijas. Vadinasi, ožiarūčiams sudarant efektyvią simbiozę su gumbelinėmis bakterijomis, augalai tampa mažiausiai priklausomi nuo aplinkos sąlygų, tiek formuojant derlių, tiek ir fiksuojant atmosferos azotą.



**Ekonominis įvertinimas.** Ožiarūčių inokuliavimo ir tręšimo fosforo bei kalio trąšomis derinimo ekonominė nauda priklausė nuo inokuliavimui naudotos gumbelinių bakterijų padermės ir PK trąšų normų (6 lentelė).

**6 lentelė.** *Rhizobium galegae* padermių ir PK trąšų derinimo ekonominis įvertinimas  
**Table 6.** *The economic estimation of Rhizobium galegae strains in combination with PK fertilizers*

Vėžaičiai, 2002-2004 m.

Variantas <i>Treatment</i>	Papildoma pro- dukcija (17 % drėgnumo šienas) <i>Additional production (17 % moisture hay)</i>		Išlaidos Lt ha <sup>-1</sup> <i>Costs Lt ha<sup>-1</sup></i>			Grynosios pajamos Lt ha <sup>-1</sup> <i>Net income Lt ha<sup>-1</sup></i>
	derlius t ha <sup>-1</sup> <i>yield t ha<sup>-1</sup></i>	vertė Lt ha <sup>-1</sup> <i>value Lt ha<sup>-1</sup></i>	nitraginas ir sėklų inokulia- vimas <i>inoculum and seed inocula- tion</i>	PK trąšų pakrovi- mas ir išbarstymas <i>loading and spread- ing of PK fertilizers</i>	papildomai produkcijai sudoroti ir parvežti <i>harvesting and transportation additional production</i>	
P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> , neinokuliuota <i>Uninoculated and without fertilizers</i>	-	-	-	-	-	-
P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> , padermė / strain 740	0,89	133,5	12,8	-	8,9	111,8
P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> , padermė / strain G 4	1,82	273,0	12,8	-	18,2	242,0
P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> , neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	0,90	135,0	-	258,4	9,0	-132,4
P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> , padermė / strain 740	3,71	556,5	12,8	258,4	37,1	248,2
P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> , padermė / strain G 4	4,72	708,0	12,8	258,4	47,2	389,6
P <sub>90</sub> K <sub>90</sub> , neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	1,61	241,5	-	400,2	16,1	-174,8
P <sub>90</sub> K <sub>60</sub> , padermė / strain 740	3,24	486,0	12,8	400,2	32,4	40,6
P <sub>90</sub> K <sub>60</sub> , padermė / strain G 4	3,36	504,0	12,8	400,2	33,6	57,4
P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> , neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	2,20	330,0	-	536,3	22,0	-228,3
P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> , padermė / strain 740	3,30	495,0	12,8	536,3	33,0	-87,1
P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> , padermė / strain G 4	3,94	591,0	12,8	536,3	39,4	2,5
R <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	0,47					17,3

Ekonomiškai labiausiai apsimokėjo ožiarūčius inokuliuoti ekologiškai adap- tuota efektyvia paderme G 4 derinant su P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> trąšų norma – grynujų pajamų gauta 389,6 Lt ha<sup>-1</sup>. Kiek mažesnės grynosios pajamos gautos derinant tas pačias PK trąšų normas su kita inokuliavimui naudota paderme 740 (248,2 Lt ha<sup>-1</sup>). Naudinga buvo

ožiarūčius inokuliuoti visiškai netrešiant. Atsižvelgiant į naudotas padermes, grynujų pajamų gauta 111,8-242,0 Lt ha<sup>-1</sup>.

Auginti neinokuliuotus ožiarūčius visais trešimo atvejais buvo ekonomiškai nuostolinga. Didinant PK trąšų normą nuo P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> iki P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>, ožiarūčių auginimo nuostolis didėjo nuo 132,4 iki 228,3 Lt ha<sup>-1</sup>. P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> trąšų fone nevietine paderme inokuliuotų ožiarūčių auginimas nors nedaug, bet buvo nuostolingas, o inokuliuojant efektyvia paderme G 4, grynujų pajamų negauta.

### Išvados

1. Ožiarūčių simbiozė lėmė inokuliacijai naudotas gumbelių bakterijų padermės simbiotinis efektyvumas ir tinkamas fosforo bei kalio trąšų normos parinkimas.

2. Auginant neinokuliuotus ožiarūčius bei didinant PK trąšų normą nuo P<sub>0</sub>K<sub>0</sub> iki P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>, augalų sausųjų medžiagų derlius nuosekliai didėjo nuo 1,81 iki 3,64 t ha<sup>-1</sup>. Inokuliuojant efektyvia ir ekologiškai adaptuota gumbelių bakterijų paderme G 4 bei derinant nedidelę P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> trąšų normą, ožiarūčių sausųjų medžiagų derliaus priedas buvo didžiausias ir sudarė 3,17 t ha<sup>-1</sup>. Tolesnės PK trąšų normos didinimas bei inokuliacija nepadėjo suformuoti efektyvesnės simbiozės.

3. Augalo gumbelių formavimui didesnę poveikį turėjo gumbelių bakterijų padermės virulentiškumas nei jo simbiotinis efektyvumas ar trešimas fosforo bei kalio trąšomis. Gumbelių bakterijų simbiotinį efektyvumą geriausiai atspindi ne augalo šaknyje suformuotas bendras gumbelių skaičius, bet sudėtingų gumbelių procentas. Sudėtingų gumbelių procentui mažėjant, paprastai didėja simbiozės efektyvumas ( $\eta = 0,77^{**}-0,79^{**}$ ).

4. Ožiarūčių inokuliacija, neatsižvelgiant į PK trąšų normą, stimuliuoja žalių baltymų susikaupimą augalų derliuje. Tačiau didžiausią žalių baltymų išėigą (388-569 kg ha<sup>-1</sup>) sudarė inokuliuoti augalai P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> trąšų fone.

5. Inokuliuoti ožiarūčiai visais trešimo atvejais, atsižvelgiant į gumbelių bakterijų padermę ir PK trąšų normą, biologinio azoto fiksavo 1,6-4,4 karto daugiau negu neinokuliuoti. Daugiausiai (167,1-213,3 kg N ha<sup>-1</sup>) inokuliuoti augalai sukaupe fiksavo azoto, trešiant ne didžiausia, bet P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> trąšų norma. Tuo tarpu neinokuliuotų augalų fiksavo azoto kiekis nuo PK trąšų nuosekliai didėjo nuo 43,1 iki 111,6 kg N ha<sup>-1</sup>.

6. Gumbelių bakterijų aktyviausias azotą fiksuojantis fermentas – nitrogenazė buvo po dviejų mėnesių nuo vegetacijos pradžios, o po 4 mėnesių jo aktyvumas labai sumažėjo ir sudarė 70-43 %. Didžiausiu nitrogenazės aktyvumu išsiskyrė padermės 812 ir G 4, fiksavusios atitinkamai 8,52 ir 8,36 μM N g<sup>-1</sup> šaknų h<sup>-1</sup>, esant neinokuliuotų ožiarūčių nitrogenazės aktyvumui – 5,54 μM N g<sup>-1</sup> šaknų h<sup>-1</sup>.

7. Daugiausia biologinio azoto už vieną kg fosforo ir kalio sukaupe inokuliuoti ožiarūčiai P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> trąšų fone. Inokuliuojant paderme G 4, fiksuota azoto 5,08, paderme 740-3,98 kg N už vieną kg PK. Didinant trąšų normą iki P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>, azoto fiksacijos efektyvumas sumažėjo iki 1,93-2,27 kg N už 1 kg PK.

8. Ekonomiškaiai labiausiai apsimokėjo ožiarūčius inokuliuoti paderme G 4, derinant su P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> trąšų norma – grynųjų pajamų gauta 389,6 Lt ha<sup>-1</sup>. Auginti neinokuliuotus ožiarūčius visais tręšimo atvejais buvo nuostolinga.

9. Nustatyti dėsningumai tarp gumbelinių bakterijų padermių efektyvumo ir aplinkos veiksnių (vegetacijos laikotarpio drėgmės režimas, dirvožemio pH, bazėmis pasotrinimo laipsnis, judrieji: Al, fosforas ir kalis, taip pat humusas).

Gauta 2005 03 30

Pasirašyta spaudai 2005 07 07

## LITERATŪRA

1. Alijev S.A. Azotifikacija i fiziologičeskaja aktivnost' organičeskogo veščestva počv. - Novosibirsk, 1988. - 145 s.

2. Ambrazaitienė D. Simbiotinio azoto fiksavimo aktyvumas skirtingo rūgštumo įvairiai tręštame nepasotintame balkšvažemyje // Žemdirbystė: mokslo darbai /LŽI, LŽŪU. - Akademija, 2003, t.83, p.173-186

3. Brenčienė V. Liucernų auginimas Žemaitijoje // Žolininkystė Lietuvoje: LŽI mokslo darbai. - Dotnuva-Akademija, 1995, t.43, p.36-44

4. Danilov A.N., Danilova S.A. Simbioz orošaemoj liucerny s kluben'kovymi bakterijami i effektivnost' udobrenij v uslovijach černozemnoj stepi Povolžja // Problemy orošaemogo zemledelija. - Saratov, 1997, s.156-160

5. Daugėlienė N. Pakalkintų ganyklų tręšimas mažomis fosforo ir kalio trąšų normomis // Žemdirbystė: mokslo darbai / LŽI, LŽŪU. - Akademija, 2003, t.83, p.173-186

6. Hamdy Y.A. Application of nitrogen-fixing systems in soil improvement and management // FAO Soils Bulletin. - Rome, 1982, vol.49. - 188 p.

7. Hartwig U.A., Soussana J.F. Ecophysiology of symbiotic N<sub>2</sub> fixation in grassland legumes // Grassland Science in Europe. - 2001, vol.6, p.1-10

8. Hohenberg J.S., Munns D.N. Effect of soil acidity factors on nodulation and growth of *Vigna unguiculata* in solution culture // Agronomy Journal, 1984, vol. 76, No.3, p.477-481

9. Jensen H.H. The effect of potassium deficiency on growth and N-2-fixation in *Trifolium repens* // Physiologia Plantarum, 2003, vol.119, iss.3, p.440-449

10. Kadžiulis L. Daugiamėčių žolių auginimas pašarui. - Vilnius, 1972. - 272 p.

11. Lapinskas E. Biologinio azoto fiksavimas ir nitraginas. - Akademija, 1998. - 218 p.

12. Lietuvos dirvožemių agrocheminės savybės ir jų kaita / Sudaryt. J.Mažvila /. - Kaunas, 1998, p.64-104

13. Mikanova O., Kubat J. Practical use of P-solutilization activity of *Rhizobium* species strains // Rostlina Vyroba. - 1999, vol.45, iss.9, p.407-409

14. Mišustin E.N., Šilnikova V.K. Kluben'kovyje bakterii i inokuliacionnyj process. - Moskva, 1973. - 364 s.

15. Nesheim L. Nitrogen fixation by clover grown in mixtures with grasses // Biological Nitrogen Fixation in Scandinavian Agriculture. - Roskilde, 1994, p.8

16. Orlovius K., Beringor H. Nährstoffversorgung von Askerbohnen und Erbsen // RAPS, 1988, Bd.6, No.1, p.15-17

17. Ostroborodova I.A. Vlijanie udobrenij na plodorodie počvy i urožajnost' gorocha // Problemy zemledelija v Povolž'e. - Saratov, 1996, s. 157-162

18. Palaitytė G. Simbiotinio azoto fiksavimo priklausomumas nuo trešimo fosforu ir kaliu // Žemdirbystė: mokslo darbai / LŽI, LŽŪU. - Akademija, 2003, t.83, p.187-194
19. Palmer J., Iverson L. Factors affecting nitrogen fixation by white clover (*Trifolium repens*) // Journal Applied Ecology. - 1983, vol.20, No.1, p.187-201
20. Paul E.A., Clark F.E. Soil microbiology and biochemistry. - New York, 1989. - 273 p.
21. Posypanov G.S. Osnovnye napravlenija issledovanij po simbiotičeskoj azoffiksacii // Izvestija Timirjzevskoj s.-ch. akademii. - 1988, No.5, s.101-110
22. Sokolov A.V. Vegetacionnyj metod // Agrochimičeskie metody issledovanija počv. - Moskva, 1960, s.157-163
23. Suchovickaja L.A. Mikrobiocenz dernovo podzolistoj počvy i simbiotičeskaja aktivnost' klubenkovyh bakterij v zavisimosti ot doz mineral'nych udobrenij // Intensifikacija zemledelija i ee vlijanie na ekologiju. - Minsk, 1989, s.74-76
24. Tarakanovas P., Raudonius S. Agronominių tyrimų duomenų statistinė analizė taikant kompiuterines programas ANOVA, STAT, SPLIT, PLOT iš paketo „Selekcija“ ir Irristat. - Akademija, 2003. - 56 p.
25. Vorob'ev V.A. Effektivnost' inokuljacii bobovyh rastenij v zavisimosti ot obespečenosti ich fosforom i kaliem pri različnoj temperature rizosfery // Agrochimija. - 2000, No.2, s.42-44
26. Yanping Zhu, Sheaffer C.C., Ruselle M.P., Vance C.P. Dry matter accumulation and nitrogen fixation of annual Medicago species // Agronomy Journal. - 1998, vol.90, p.103-108

**THE IMPORTANCE OF *RHIZOBIUM GALEGAE* STRAINS IN  
COMBINATION WITH PHOSPHORUS AND POTASSIUM  
FERTILIZERS ON GOAT'S RUE SYMBIOSIS**

E. Lapinskas, D. Ambrazaitienė

**S u m m a r y**

The present paper reports summarised results of pot, laboratory (1999-2003) and field (2002-2004) experiments conducted at the Vežaičiai Branch of the Lithuanian Institute of Agriculture. The soil of the pot experiments was Dystri-Endohypogleyic Albeluvisol (Abg-n-w-dy) and of field experiments Albi Endohypogleyic Luvisol (LVg-n-w-ab). The soil agrochemical characteristics were as follows: soil acidity  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  4.0-6.5, mobile  $\text{P}_2\text{O}_5$  and  $\text{K}_2\text{O}$  86-231 and 114-274  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectively, organic C 0.79-1.28 %. Three effective strains of *Rhizobium galegae* differing in ecological adaptation were investigated in four PK fertilization levels.

Goat's rue was most effective to fix atmospherical nitrogen when it was inoculated by ecologically adapted *Rhizobium galegae* strain G 4 in combination with  $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  fertilizer rate; the highest dry matter yield increase of 3.17  $\text{t ha}^{-1}$  was obtained. The inoculated plants fixed from 88.3 to 213  $\text{kg ha}^{-1}$  of symbiotic nitrogen or 5.08 kg of nitrogen was fixed per 1 kg PK fertilizer applied, and the plants accumulated 944  $\text{kg ha}^{-1}$  of crude protein. Uninoculated plants even when fertilized with the highest  $\text{P}_{120}\text{K}_{120}$  fertilizer rate lagged behind in terms of nitrogen fixation efficiency by 2.48 times compared with inoculated plants on  $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$  fertilizer background.

Relationships were identified between the efficacy parameters of *Rhizobium* strains and PK fertilizer rates and ecological factors.

Key words: *Rhizobium galegae*, strains, efficacy, PK fertilizers, rates, nitrogen fixation, nitrogenase, *Galega orientalis*.