

II skyrius. DIRVOTYRA IR AGROCHEMIJA

Chapter 2. SOIL SCIENCE AND AGROCHEMISTRY

ISSN 1392-3196

Žemdirbystė / Zemdirbyste / Agriculture, t. 95, Nr. 2 (2008), p. 29–44

UDK 576.851.155+631.84

RHIZOBIUM IR MINERALINIO AZOTO REIKŠMĖ, FORMUOJANT ASOCIATYVIĄ AZOTĄ FIKSUOJANČIĄ SISTEMĄ SU VASARINIAIS RAPSAIS

Edmundas LAPINSKAS

Lietuvos žemdirbystės instituto

Vėžaičių filialas

Gargždų g. 29, Vėžaičiai, Klaipėdos r. sav.

El. paštas edmundas@vezaiciai.lzi.lt

Santrauka

Lietuvos žemdirbystės instituto Vėžaičių filiale 2005–2007 m. daryti laboratoriniai ir vegetaciniai bandymai, nustatant gumbelinių bakterijų asociatyvią azoto fiksaciją vasarinių rapsų rizoplaneje.

Nustatyta, kad auginant vasarinius rapsus neutraloko rūgštumo (pH_{KCl} 6,0–6,7) nepasotintame lengvo priemolio kalkintame giliau glėjiškame balkšvažemyje (Jlg4-n), inokuliavimo veiksmingumą nulėmė gumbelinių bakterijų rūšis ir mineralinio azoto norma. Netręšiant azotu, rapsams efektyviausios buvo ožiarūčių gumbelinės bakterijos. Priešsėlį tręšiant minimalia ($8,4 \text{ mg N kg}^{-1}$ dirvožemio) ir vidutine azoto trąšų norma (42 mg N kg^{-1}), augalų derlių labiausiai stimuliuavo sojų gumbelinės bakterijos. Visais augalų inokuliuojamais atvejais rapsai veiksmingiausią asociaciją su gumbelinėmis bakterijomis sudarė tręšiant didele azoto trąšų norma. Vasarinių rapsų inokuliuojimas, nepriklausomai nuo tręšimo azotu, palankiai veikė augalų šaknų vystymąsi. Rapsams veiksmingiausios buvo sojų gumbelinės bakterijos netręšiant azotu ir dobilų bakterijos – tręšiant didele azoto trąšų norma.

Asociacijose su vasariniais rapsais visų rūšių gumbelinės bakterijos fiksavo atmosferos azotą, kurio kiekis priklausė nuo bakterijų rūšies bei mineralinio azoto normos. Vasariniai rapsai daugiausia atmosferos azoto sukaupė inokuliuojant ožiarūčių bei sojų gumbelinėmis bakterijomis ir visiškai netręšiant azotu. Augalų biomasėje biologinis azotas sudarė 8,7–38,7 % viso sukaupto azoto. Tręšiant azoto trąšomis, biologinio azoto procentas rapsų augaluose sumažėjo vidutiniškai 7 %. Nuo inokuliuojimo didėjo judriųjų angliavandenių kiekis rapsų augaluose, o mineralinis azotas didesnės įtakos neturėjo.

Inokuliuojant vasarinius rapsus, gerėjo kai kurie dirvožemio agrocheminiai rodikliai: didėjo sorbuotų bazių suma netręšiant azotu arba tręšiant didele azoto norma. Judraus fosforo koncentracija padidėjo tik azoto trąšomis tręštame dirvožemyje. Nei inokuliuojimas, nei azoto trąšos neturėjo įtakos judriojo kalio koncentracijai dirvožemyje. Nustatytas koreliacinis ryšys tarp vasarinių rapsų kai kurių rodiklių bei asociatyvios azoto fiksacijos aktyvumo.

Reikšminiai žodžiai: *Rhizobium* spp., efektyvumas, azoto fiksacija, mineralinis azotas, vasariniai rapsai.

Ivadas

Gumbelinės bakterijos (*Rhizobium*) fiksuoja atmosferos azotą ne tik sudarydamos simbiozę su ankštiniais augalais, gyvendamos pastarųjų šaknų gumbeliuose, bet ir neankštinių, daugiausia varpinių, augalų rizoplane (pašaknėje) kaip asociatyvūs azotą fiksuojantys mikroorganizmai diazotrofai /Karpunina et al., 1996; Micanovic et al., 1997; Lupwayi et al., 2004/. Kolonizuodamos šaknų paviršių, gumbelinės bakterijos geba ne tik fiksuoti azotą iš oro (žinoma, gerokai mažiau nei būdamos gumbelyje), bet ir sintetinti augalų augimą stimuliuojančias medžiagas.

Asociatyvių mikroorganizmų veikimo mechanizmas yra įvairus: suaktyvina azoto fiksaciją, išskiria fiziologiškai aktyvias medžiagas (B grupės vitaminus, β – indolilacto rūgštį, giberaliną), padidina sunkiai tirpstančių maisto medžiagų tirpumą, išskiria fungistatiškas ir bakteriostatiškas medžiagas /Скворцова и др., 1998/. Varpiniai javai ir varpinės daugiametės žolės asociacijose su diazotrofais gali fiksuoti azotą iš atmosferos 10–35 kg N ha⁻¹ /Умаров и др., 1985/. Be to, diazotrofai padidina azoto trąšų panaudojimo koeficientą 15–35 % /Алисова и др., 1986/. Todėl gumbelinių bakterijų preparatų naudojimas varpiniams augalams laikomas būtina ekologinių ūkių priemone, ypač tose šalyse, kur brangios specialios azoto trąšos beveik nenaudojamos /Глаголева, 1998/. Pastarųjų metų darbai parodė, kad gumbelinės bakterijos, kaip ir kiti diazotrofai, gali sudaryti veiksmingas azotą fiksuojančias sistemas su kviečiais /Karpunina et al., 1996/, miežiais /Родынюк и др., 1991/, kukurūzais /Mwaura, Granhall, 1986/.

Kanadoje miežiai, žieminiai kviečiai ir rapsai buvo auginami trejopai: po inokuliuotų žirnių, po neinokuliuotų žirnių ir kaip monokultūra /Lupwayi et al., 2004/. Neankštinių augalų rizosferoje ir rizoplane daugiau gumbelinių bakterijų nustatyta auginant juos po žirnių (1,66–7,24 tūkst. cfu g⁻¹ sausų šaknų) nei monokultūroje (< 10 cfu g⁻¹ sausų šaknų). Be to, apskaičiuota teigiama koreliacija tarp *Rhizobium* populiacijos gausumo neankštinių augalų rizoplane ir derliaus dydžio bei sukaupto azoto.

Indijoje žieminius kviečius inokuliuavo įvairių rūšių gumbelinių bakterijų suspensija. Nustatyta, kad kviečių derliui gumbelinės bakterijos turėjo didesnę įtaką nei azoto trąšos (N₅₀). Iš visų tirtų gumbelinių bakterijų dobilų bakterijos buvo veiksmingiausios kviečiams /Kavimandan, 1986/.

Lietuvos žemdirbystės instituto Vėžaičių filiale darytų tyrimų duomenimis, miežių inokuliacijai panaudotas dobilų gumbelinių bakterijų štamai 348 a padidino grūdų derlių 0,68, motiejukų sausųjų medžiagų – 0,64 t ha⁻¹. Varpinių augalų inokuliacija adekvačiai atstojo ir buvo sutaupyta azoto trąšų atitinkamai 22,5 ir 18,0 kg N ha⁻¹ /Lapinskas, 1996/.

Iki šiol mažai ištyrinėta arba netgi prieštarinai traktuojama mineralinio azoto reikšmė formuojant gumbelinių bakterijų asociacijas su varpiniiais augalais /Звягинцев, 1985/. Asociatyvių azotą fiksuojančių mikroorganizmų veiklą sąlygoja neankštinių augalų fotosintezės intensyvumas. Kuo intensyvesnė fotoasimiliacija, tuo daugiau augalas per šaknų sistemą į dirvožemį išskiria tirpių anglies junginių ir tuo labiau suaktyvinama asociatyvių mikroorganizmų azoto fiksacija. Vis dėlto pradinės azoto normos vaidmuo yra neaiškus. Vienų autorių nuomone, nedidelės azoto normos stimuliuoja lapų augimą ir jų paviršių, t. y. fotosintezės procesus /Volkogon, 1997/. Tačiau nesutariama dėl didesnių mineralinio azoto normų poveikio asociatyviai azoto fiksacijai. Kai

kurie autoriai tvirtina, kad varpinių žolių asociatyvi azoto fiksacija didėja, derinant inokuliuojamą diazotrofais ir azoto trąšų normą nuo 90 iki 120 kg N ha⁻¹ /Андреюк и др., 1988/. Kitų nuomone, didesnės azoto normos, nors ir nekenkia diazotrofų paplitimui dirvožemyje, tačiau aiškiai slopina biologinio azoto fiksaciją. Jie siūlo derinti mažas arba minimalias azoto normas (20–30 kg N ha⁻¹) su neankštinių augalų inokuliuoimu /Завалин, Виноградова, 2000/.

Darbo tikslas – nustatyti įvairių rūšių gumbelinių bakterijų ir mineralinio azoto derinimo reikšmę, formuojant asociatyvią azotą fiksuojančią sistemą su vasariniais rapsais.

Hipotezė. Tikimasi iš įvairių rūšių (dobilų, ožiarūčių ir sojų) gumbelinių bakterijų atrinkti tinkamiausias, sudarančias efektyviausią asociaciją su neankštiniais augalais, šiuo atveju vasariniais rapsais. Derinant minimalią mineralinio azoto normą, aktyvinančią fotosintezės ir asimiliatų išskyrimo per šaknų sistemą procesus, tikimasi suaktyvinti asociatyvią gumbelinių bakterijų azoto fiksaciją ir iki 20 ar net daugiau procentų ir mineralinį azotą adekvačiai pakeisti biologiniu.

Tyrimų objektas ir metodai

Laboratoriniai tyrimai. Vasarinių rapsų inokuliuotos sėklos laikymo trukmės įtaka skirtingų rūšių gumbelinėms bakterijoms (rizobijoms) buvo tiriama pagal tokią schemą: Veiksny A (gumbelinės bakterijos): 1) *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*, 2) *Rhizobium galegae*, 3) *Bradyrhizobium japonicum*. Veiksny B (laikymo terminai): 1) inokuliuojimo dieną, 2) po 1 dienos, 3) po 3 dienų, 4) po 6 dienų, 5) po 12 dienų.

Sėkla buvo inokuliuojama tiršta gumbelinių bakterijų vandens suspensija, t. y. ne mažiau kaip 600 · 10⁶ cfu 30 kg⁻¹ sėklos. Gumbelinių bakterijų titras numatytais terminais buvo nustatomas praskiedimų metodu, auginant bakterijų kolonijas ant žirnių agarų mitybinės terpės 4 pakartojimais termostate, esant +25 °C temperatūrai. Bandymai buvo kartojami 3 kartus.

Vegetaciniai bandymai buvo daromi pagal šią schemą: veiksnys A (biologinis azotas): 1) neinokuliuota, 2) *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* (dobilų bakterijos), 3) *Rhizobium galegae* (ožiarūčių bakterijos), 4) *Bradyrhizobium japonicum* (sojų bakterijos); veiksnys B (mineralinis azotas): 1) be N, 2) 8,4 mg N kg⁻¹ dirvožemio, 3) 42 mg N kg⁻¹ dirvožemio.

Kontrolinių variantų induose buvo sėjama neinokuliuota sėkla ir netrešijama azoto trąšomis. Azoto trąšos buvo apskaičiuotos pagal D. Prianišnikovą. Vieną azoto normą sudarė 84 mg N kg⁻¹ dirvožemio /Новикова, Симаров, 1979/. Tokiu būdu bandymuose buvo tiriamos 0, 0,1 (minimali) ir 0,5 azoto normos. Sėklų inokuliuoimui buvo naudojami trijų genetinėmis ir fiziologinėmis savybėmis kontrastingų rūšių gumbelinės bakterijos. Dobilų (*Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii* F., štamai 348 a) – tai greit augančios gumbelinės bakterijos, kolonijas suformuojančios per 5–6 dienas ir pasižyminčios didele azoto fiksavimo geba. Ankstesniuose tyrimuose jos buvo sudariusios veiksmingas asociacijas su miežiais ir motiejukais /Lapinskas, 1996/. Ožiarūčių gumbelinės bakterijos (*Rhizobium galegae* L., štamai G 4) yra taip pat greit augančios bakterijos, tačiau, šio tyrimo duomenimis, mitybinėse terpėse kolonijas suformuojančios vidutiniškai dviem dienomis vėliau nei dobilų bakterijos. Sojų gumbelinės bakterijos (*Bradyrhizobium japonicum* J., štamai 2490) priskiriamos lėtai augančių bakterijų

grupei. Jų kolonijų formavimasis užtrunka iki 10–12 dienų, t. y. dvigubai ilgiau nei dobilų gumbelių bakterijų.

Vasarinių rapsų sėklos buvo inokuliuojamos gumbelių bakterijų (rizobijų) suspensija, kurios titras ne mažesnis kaip 10^7 cfu ml⁻¹, sunaudojant 5 ml indui.

Tyrimų dirvožemis – lengvo priemolio nepasotintasis giliau glėjiškas balkšvažemis (*Dystri-Endohypogleyic Albeluvisol*, Jlg4-n), prieš pakraunant į Mitčerlicho tipo vegetacinius indus buvo persijojamas per 10×10 mm dydžio skylutes turintį sieta, kalkinamas 0,5 normos kalkių (kreidos) pagal dirvožemio hidrolizinį rūgštumą ir tręšiamas pagal A. Sokolovą fosforo bei kalio trąšomis, skiriant po 0,15 g kg⁻¹ dirvožemio P₂O₅ ir K₂O K₂HPO₄ ir KH₂PO₄ junginių pavidalu /Соколов, 1960/. Po kalkinimo dirvožemio pH_{KCl} buvo 6,0–6,7.

Į kiekvieną indą buvo sėjama po 30 vasarinių rapsų veislės 'Sponsor' sėklų. Prieš sėją sėkla buvo dezinfekuojama 10 min. švitinant UV (ultravioletiniais spinduliais) baktericidine lempa BUV-15. Augalai buvo retinami susiformavus tikrųjų lapelių porai, inde paliekant 15 vienodo išsivystymo augalų. Prireikus bandymas buvo laistomas Skinijos upelio vandeniu.

Bandymai buvo daromi 6,5 kg dirvožemio talpinančiuose Mitčerlicho tipo vegetaciniuose induose 4 pakartojimais. Vegetacinių indų krovimo metu buvo sudaromi du jungtiniai dirvožemio mėginiai, o nuėmus derlių iš kiekvieno varianto buvo imama po 3 mėginius, kuriuose buvo nustatoma: pH_{KCl} – elektropotenciometriiniu metodu, hidrolizinis rūgštumas – Kapeno, sorbuotų bazių suma – Kapeno–Hilkovico, judrusis Al – Sokolovo, bendras azotas – Kjeldalio, mineralinis azotas – kolorimetriiniu, organinė anglis – sausojo deginimo, judrieji P₂O₅ ir K₂O – Egnerio–Rimo–Domingo (A–L) metodais.

Be to, kiekvieno varianto augalų antžeminėje dalyje ir šaknyse buvo nustatoma sausųjų medžiagų (SM) masė, bendras azoto kiekis ir judrieji sacharidai. Tyrimų duomenys buvo apdorojami dispersinės bei faktorinės analizės metodais pagal programas ANOVA ir STAT /Tarakanovas, Raudonius, 2003/. Žymėjimai * ir ** reiškia, kad duomenys statistiškai patikimi esant 95 ir 99 % tikimybės lygiams.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Inokuliuotos sėklos laikymo trukmė. Vasarinių rapsų sėklų apvalkalėlis turėjo nevienodą poveikį įvairių rūšių gumbelinėms bakterijoms (1 lentelė). Palankiausias sąlygos buvo sojų gumbelinėms bakterijoms. Jų titras per saugojimo laikotarpį išaugo net iki 208 %. Palyginti nedaug atsiliko dobilų gumbelinės bakterijos. Blogiausiai išsilaikė ožiarūčių bakterijos. Per 12 d. buvo rasta tik 21 % pradinio šių bakterijų skaičiaus. Taigi duomenys rodo, kad asociatyvių santykių pobūdžiui tarp gumbelių bakterijų ir neankštinių augalų – vasarinių rapsų – didelę reikšmę turi augalo sėklų luobelė, kuri vienu rūšių gumbelines bakterijas gali stimuliuoti, kitų – slopinti. Ir anksčiau buvo padarytos panašios išvados tyrinėjant įvairias vasarinių vikių veisles bei skirtingus gumbelių bakterijų štamus /Lapinskas, 1996/.

1 lentelė. Inokuliuotos sėklos laikymo trukmės įtaka įvairių rūšių gumbelinių bakterijų titrui ($\times 10^3$ cfu g⁻¹ sėklos)

Table 1. The impact of storage duration of inoculated seed on the number of *Rhizobium* ($\times 10^3$ cfu g⁻¹ seed)

Vėžaičiai, 2005–2007 m.

Variantas <i>Treatment</i>	Laikymo terminai (dienos) / <i>Storage duration (days)</i>					R ₀₅ <i>LSD₀₅</i>
	0	1	3	6	12	
Dobilų rizobijos <i>Clover rhizobia</i>	170	283	303	317	323	20,4
Ožiarūčių rizobijos <i>Goat's rue rhizobia</i>	130	180	130	107	27	12,3
Sojų rizobijos <i>Soybean rhizobia</i>	130	130	336	179	272	22,7

Vasarinių rapsų biomasė. Antžeminė dalis. Inokuliacijos veiksmingumas vasarinių rapsų antžeminės dalies masei priklausė nuo gumbelinių bakterijų rūšies ir mineralinio azoto normos (2 lentelė). Netrešiant rapsų azotu, efektyvią asociaciją suformavo tik vienos – ožiarūčių – gumbelinės bakterijos, augalų antžeminės dalies masę padidinusios 26 %, palyginti su neinokuliuotais augalais. Kita rūšis – sojų bakterijos – parodė tik palankaus poveikio tendenciją.

Trešiant rapsus nedidele azoto norma (8,4 mg N kg⁻¹ dirvožemio), efektyvios buvo jau dvi rūšys gumbelinių bakterijų: dobilų ir sojų. O derinant inokuliaciją su vidutine azoto norma (42 mg N kg⁻¹), veiksmingos buvo visų trijų rūšių bakterijos, rapsų antžeminės dalies masę padidinusios 8–14 %.

Šaknys. Rapsų inokuliacija, priklausomai nuo gumbelinių bakterijų rūšies ir mineralinio azoto, buvo veiksminga ir augalų šaknų masei. Didžiausia rapsų šaknų augimo reakcija į inokuliaciją buvo netrešus azotu: nuo ožiarūčių bakterijų – 44 %, nuo sojų – 110 %, palyginti su kontroliniais neinokuliuotais augalais. Derinant nedidelę azoto normą su inokuliacija, teigiamą poveikį šaknų masei turėjo tik dobilų gumbelinės bakterijos. O patrešus didele azoto norma veiksmingos buvo visų rūšių gumbelinės bakterijos, padidinusios rapsų šaknų masę 18–29 %. Apskritai augalų šaknys teigiamai reaguoja į kolonizavimą diazotrofais /Rothballer et al., 2003/.

Augalo biomasė. Vertinant tiriamųjų priemonių įtaką visos rapsų biomasės augimui reikia pažymėti, kad didžiausią poveikį turėjo augalų inokuliacija ožiarūčių arba sojų gumbelinėmis bakterijomis, nuo kurių rapsų biomasė padidėjo atitinkamai 30 ir 27 %, palyginti su neinokuliuotais augalais. Trešiant nedidele azoto norma, inokuliacijos poveikis rapsų biomasėi staigiai sumažėjo iki 7–9 %, nors gauti SM masės priedai išliko statistiškai patikimi. Toliau didinant azoto trąšų normą iki 42 mg N kg⁻¹ dirvožemio, visų rūšių gumbelinės bakterijos augalų biomasės augimą skatino 13–15 %.

Taigi gumbelinės bakterijos vasarinių rapsų pašaknėje gali sudaryti veiksmingas asociacijas, stimuliuojančias augalų antžeminės dalies ir šaknų augimą. Nuo mineralinio azoto skirtingų rūšių gumbelinės bakterijos kiek prislopina simbiozę, tačiau nevienodu laipsniu.

Šaknų masės procentas biomaseje. Didžiausia santykinė šaknų masė, palyginti su visa augalo biomase, susidarė tręšiant rapsus azoto trąšomis. Rapsus auginant be azoto trąšų, šaknų masės procentas padidėjo dėl inokuliavimo gumbelinėmis bakterijomis. Šiuo atveju ypač išsiskyrė sojų gumbelinės bakterijos, nuo kurių šaknų masės procentas padidėjo net 13,3 %. O tręšiant azoto trąšomis sojų bakterijos šiuo požiūriu prarado veiksmingumą.

2 lentelė. Įvairių rūšių gumbelinių bakterijų ir mineralinio azoto derinimo įtaka vasarinių rapsų biomasei

Table 2. The influence of the combination of *Rhizobium* spp. and mineral nitrogen on spring rape biomass

Variantas <i>Treatment</i>	Vėžaičiai, 2005–2007 m.			Šaknų masė % <i>Root mass</i> %	
	Augalų masė / <i>Plant biomass</i>				
	antžeminė dalis <i>overground part</i>	šaknys <i>root</i>	biomasė <i>biomass</i>		
	Be N / <i>Without N</i>				
Neišokuliuota <i>Uninoculated</i>	3,51	0,89	4,40	20,2	
Dobilų rizobijos <i>Clover rhizobia</i>	3,40	1,05	4,45	23,6	
Ožiarūčių rizobijos <i>Goat's rue rhizobia</i>	4,42	1,28	5,70	22,4	
Sojų rizobijos <i>Soybean rhizobia</i>	3,70	1,87	5,58	33,5	
	8,4 mg N kg ⁻¹ dirvožemio / <i>8.4 mg N kg⁻¹ soil</i>				
Neišokuliuota <i>Uninoculated</i>	3,99	2,26	6,25	36,2	
Dobilų rizobijos <i>Clover rhizobia</i>	4,24	2,46	6,70	36,7	
Ožiarūčių rizobijos <i>Goat's rue rhizobia</i>	3,72	2,14	5,86	36,5	
Sojų rizobijos <i>Soybean rhizobia</i>	4,60	2,23	6,83	32,6	
	42 mg N kg ⁻¹ dirvožemio / <i>42 mg N kg⁻¹ soil</i>				
Neišokuliuota <i>Uninoculated</i>	4,57	1,67	6,24	26,8	
Dobilų rizobijos <i>Clover rhizobia</i>	4,92	2,16	7,08	30,5	
Ožiarūčių rizobijos <i>Goat's rue rhizobia</i>	5,08	1,98	7,06	28,0	
Sojų rizobijos <i>Soybean rhizobia</i>	5,19	1,98	7,17	27,6	
	R ₀₅ / <i>LSD</i> ₀₅	0,46	0,24	0,62	–

Bendras azoto kiekis biomasėje. Antžeminė dalis. Vasarinių rapsų inokuliacija gumbelinėmis bakterijomis augalų antžeminėje dalyje palankiai veikė bendrą azoto kiekį tiksliai priešsėlio netrešus azoto trąšomis (3 lentelė). Priklausomai nuo bakterijų rūšies, augalų azotingumas padidėjo 0,37–0,58 %. Trešiant rapsus azotu, inokuliacija neturėjo įtakos bendram azoto kiekiui.

Dėl mineralinio azoto rapsų azotingumas taip pat didėjo 0,50–0,52 %.

Tyrimų duomenimis nustatyta, kad vasariniai rapsai buvo jautrūs ir biologiniam, ir mineraliniam azotui. Daugeliu inokuliacijos atvejų rapsų antžeminėje dalyje sukaupto azoto kiekis padidėjo vidutiniškai nuo 4,4 iki 21,7 mg N indo^{-1} , arba 7–56 % daugiau nei neinokuliuotų augalų. Kaupiant azotą augaluose, veiksmingumu išsiskyrė ožiarūčių ir sojų gumbelinės bakterijos.

Mineralinės azoto trąšos buvo itin efektyvios, dėl to antžeminėje dalyje bendroji azoto masė padidėjo nuo 25,8 iki 34,2 mg N indo^{-1} , arba 67–89 %. Vertinant visus inokuliacijos atvejus, biologinis azotas vasarinių rapsų bendrą azoto kiekį padidino vidutiniškai 6,45 mg N indo^{-1} (17 %), o mineralinis azotas – 30,0 mg N indo^{-1} (78 %).

Šaknyse. Bendras azoto kiekis šaknyse labai priklausė nuo gumbelinių bakterijų rūšies ir trąšų normos. Dėl inokuliacijos daugiausia azoto šaknyse nustatyta, kai rapsai arba iš viso nebuvo trešiami azotu, arba trešiami didele jo norma. Pastaruoju atveju, matyt, dėl rapsams per didelės tirpaus azoto koncentracijos dirvožemyje galėjo būti užblokuota mineralinė azoto mityba ir visais inokuliacijos atvejais (nepriklausomai nuo bakterijų rūšies) augalai daugiau mito biologiniu azotu. O minimali azoto norma labai palankiai veikė azoto kiekį šaknyse ir augalai nebesinaudojo biologiniu azotu.

Augalo biomasė. Galutinai vertinant sukauptą bendrą azoto kiekį rapsų biomasėje nustatyta, kad vasariniai rapsai gana imlūs ir biologiniam, ir mineraliniam azotui. Netrešiant azotu dėl inokuliacijos rapsai daugiausia azoto sukauptė savo biomasėje (iki 25,2 mg N indo^{-1}). Trešiant azoto trąšomis inokuliacijos veiksmingumas kaupiant azotą smarkiai (4,72–11,8 mg N indo^{-1}) sumažėjo.

Mineralinio azoto poveikis bendram azoto kiekiui buvo gana didelis trešiant ir minimalia, ir didele azoto norma, dėl to bendras azoto kiekis biomasėje padidėjo net 36,0–43,4 mg N indo^{-1} , arba 78–94 %, palyginti su netreštais rapsais.

Asociatyvi azoto fiksacija. Vasarinių rapsų inokuliacija visų tiriamų rūšių gumbelinėmis bakterijomis stimulavo asociatyvią azoto fiksaciją (pav.). Tačiau azoto fiksacijos efektyvumą lėmė gumbelinių bakterijų rūšis ir mineralinio azoto koncentracija dirvožemyje. Rapsai daugiausia sukauptė atmosferos azoto, visiškai jų netrešiant mineraliniu azotu, ir sudarė vidutiniškai 26,6 mg N indo^{-1} visų bakterijų. Didinant azoto normą nuo 8,4 iki 42 mg N kg^{-1} dirvožemio, fiksuoto azoto kiekis sumažėjo iki 8,7–12,7 mg N indo^{-1} ir netreštame dirvožemyje sudarė atitinkamai 33 ir 48 % fiksuoto azoto.

Skirtingų rūšių gumbelinės bakterijos rapsų pašaknėje gana kontrastingai fiksuavo atmosferos azotą. Efektyviausią asociaciją suformavo ir daugiausia atmosferos azoto sukauptė ožiarūčių ir sojų bakterijos, atitinkamai 36,9 ir 30,2 mg N indo^{-1} , o doobilų bakterijų azoto fiksacijos geba rapsų rizoplane buvo tik 12,5 mg N indo^{-1} .

3 lentelė. Įvairių rūšių gumbelinių bakterijų ir mineralinio azoto derinimo įtaka vasarinių rapsų biomasės bendram azoto kiekiui

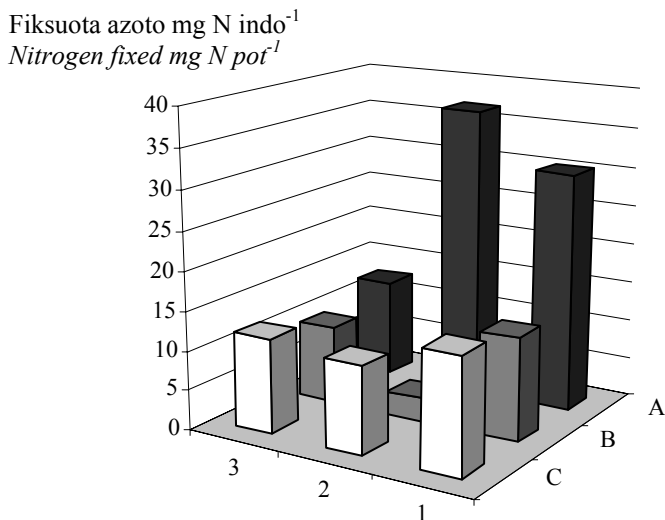
Table 3. The influence of the combination of *Rhizobium* species and mineral nitrogen on the amount of total nitrogen in spring rape biomass
Vėžaičiai, 2005–2007 m.

Variantas <i>Treatment</i>	Bendras N augalų biomasėje / <i>Total N in plant biomass</i>					
	antžeminė dalis <i>overground part</i>		šaknys <i>root</i>		biomasė <i>biomass</i>	
	%	mg indo ⁻¹ mg pot ⁻¹	%	mg indo ⁻¹ mg pot ⁻¹	%	mg indo ⁻¹ mg pot ⁻¹
Be N / <i>Without N</i>						
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	1,09	38,4	0,86	7,61	1,04	46,0
Dobilų rizobijos <i>Clover rhizobia</i>	1,46	49,5	0,86	9,04	1,32	58,54
Ožiarūčių rizobijos <i>Goat's rue rhizobia</i>	1,56	69,2	0,76	9,73	1,38	78,93
Sojų rizobijos <i>Soybean rhizobia</i>	1,67	61,7	0,78	14,55	1,36	76,21
8,4 mg N kg ⁻¹ dirvožemio / <i>8.4 mg N kg⁻¹ soil</i>						
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	1,61	64,2	0,79	17,86	1,31	82,03
Dobilų rizobijos <i>Clover rhizobia</i>	1,67	70,9	0,85	20,99	1,37	91,92
Ožiarūčių rizobijos <i>Goat's rue rhizobia</i>	1,62	60,3	0,77	16,43	1,31	76,76
Sojų rizobijos <i>Soybean rhizobia</i>	1,62	74,6	0,76	17,01	1,34	91,57
42 mg N kg ⁻¹ dirvožemio / <i>42 mg N kg⁻¹ soil</i>						
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	1,59	72,6	1,01	16,85	1,43	89,45
Dobilų rizobijos <i>Clover rhizobia</i>	1,55	76,3	1,05	22,64	1,40	98,92
Ožiarūčių rizobijos <i>Goat's rue rhizobia</i>	1,61	81,6	0,96	19,12	1,43	100,69
Sojų rizobijos <i>Soybean rhizobia</i>	1,64	85,4	0,95	18,85	1,45	104,29
<i>R</i> ₀₅ / <i>LSD</i> ₀₅	–	5,54	–	1,40	–	5,76

Skirtingų rūšių gumbelinės bakterijos nevienodai toleravo mineralinį azotą. Dobilų gumbelinės bakterijos, kurios neturėjame dirvožemyje fiksavo mažiausiai azoto, buvo atspariausios mineraliniam azotui, formuojant asociatyvius santykius su rapsais. Dėl didelės jo normos azoto fiksacija beveik nepakito ir sudarė 96 %. Aktyviausią

asociaciją su rapsais formuojančios ožiarūčių ir sojų gumbelinės bakterijos tręšiant didele azoto norma smarkiai – iki 30–49 % – sumažino savo azoto fiksacijos gebą.

Skyrėsi įvairių rūšių gumbelinių bakterijų sukaupto biologinio ir bendrojo azoto santykis vasarinių rapsų biomasėje. Rapsų biomasėje daugiausia biologinio azoto nustatyta, inokuliuojant sojų ir ožiarūčių gumbelinėmis bakterijomis (atitinkamai 38,7 ir 33,2 %), mažiausiai – inokuliuojant dobilų bakterijomis (19,9 %) (4 lentelė). Tręšiant rapsus azoto trąšomis, biologinio azoto procentas staigiai mažėjo iki 4,0–13,9 %. Taigi inokuliuotų rapsų biomasėje biologinis azotas sudarė vidutiniškai 30,6 %, o tręšiant didele azoto norma (42 mg N kg^{-1}) – 11,0 %. Mineralinės azoto trąšos augalų biomasėje biologinio azoto kiekį sumažino nuo 31,0 iki 43,7 %.



Paveikslas. Įvairių rūšių gumbelinių bakterijų ir mineralinio azoto derinimo įtaka vasarinių rapsų asociatyviai azoto fiksacijai ($R_{05} 11,5$): A – be N, B – $8,4 \text{ mg N kg}^{-1}$ dirvožemio, C – 42 mg N kg^{-1} dirvožemio; 1 – dobilų, 2 – ožiarūčių ir 3 – sojų gumbelinės bakterijos

Figure. The influence of the combination of *Rhizobium* species and mineral nitrogen on associative nitrogen fixation by spring rape ($LSD_{05} 11.5$): A – without N, B – 8.4 mg N kg^{-1} soil, C – 42 mg N kg^{-1} soil; 1 – *Rhizobium leguminosarum* bv. *trifolii*, 2 – *Rhizobium galegae*, 3 – *Bradyrhizobium japonicum*

Judrieji angliavandeniai antžeminėje augalų dalyje. Judriųjų angliavandenių kaupimasis augaluose turi didelę įtaką simbiotinei ir asociatyviai azoto fiksacijai. Kuo augalas daugiau susintetina angliavandenių, tuo gausiau jais aprūpina simbiotinius mikroorganizmus augalo gumbelyje, o ne simbiotinius, t. y. asociatyvius, mikroorganizmus – augalo rizoplanoje (pašaknėje) /Volkogon, 1997; Shabaev, Smolin, 2000/.

Tyrimų rezultatai rodo, kad inokuliacija palankiai veiks judriųjų angliavandenių kaupimąsi rapsų antžeminėje dalyje (4 lentelė). Tačiau inokuliacijos veiksmingumas priklausė nuo gumbelinių bakterijų rūšies ir mineralinio azoto. Augalų netręšiant azotu, efektyviausios buvo ožiarūčių gumbelinės bakterijos, nuo kurių judriųjų

angliavandenių procentas padidėjo nuo 2,74 % (kontrolinio varianto) iki 5,29 %. Palyginti nedaug atsiliko dobilų ir sojų bakterijos.

4 lentelė. Įvairių rūšių gumbelinių bakterijų ir mineralinio azoto derinimo įtaka biologinio azoto ir judriųjų angliavandenių kaupimuisi vasarinių rapsų biomasėje

Table 4. The influence of *Rhizobium* spp. and mineral nitrogen combination on the accumulation of biological nitrogen and mobile carbohydrates in the plants
Vėžaičiai, 2005–2007 m.

Variantas <i>Treatment</i>	Biologinis azotas % <i>Biological nitrogen</i> %	Judrieji angliavandeniai <i>Mobile carbohydrates</i>		C:N
		%	mg indo ⁻¹ mg pot ⁻¹	
Be N / <i>Without N</i>				
Neišokuliuota <i>Uninoculated</i>	–	2,74	96,3	1 : 2,51
Dobilų rizobijos <i>Clover rhizobia</i>	19,9	4,37	148,7	1 : 3,00
Ožiarūčių rizobijos <i>Goat's rue rhizobia</i>	33,2	5,29	234,0	1 : 3,38
Sojų rizobijos <i>Soybean rhizobia</i>	38,7	4,38	162,1	1 : 2,63
8,4 mg N kg ⁻¹ dirvožemio / <i>8.4 mg N kg⁻¹ soil</i>				
Neišokuliuota <i>Uninoculated</i>	–	3,69	147,1	1 : 2,29
Dobilų rizobijos <i>Clover rhizobia</i>	10,4	4,64	196,6	1 : 2,77
Ožiarūčių rizobijos <i>Goat's rue rhizobia</i>	4,0	3,64	135,4	1 : 2,24
Sojų rizobijos <i>Soybean rhizobia</i>	11,1	8,00	368,2	1 : 4,94
42 mg N kg ⁻¹ dirvožemio / <i>42 mg N kg⁻¹ soil</i>				
Neišokuliuota <i>Uninoculated</i>	–	2,63	120,2	1 : 1,66
Dobilų rizobijos <i>Clover rhizobia</i>	8,7	3,67	180,5	1 : 2,36
Ožiarūčių rizobijos <i>Goat's rue rhizobia</i>	10,3	4,32	219,3	1 : 2,69
Sojų rizobijos <i>Soybean rhizobia</i>	13,9	6,16	319,9	1 : 3,74
R ₀₅ / LSD ₀₅	1,51	0,27	13,09	–

Mineralinis azotas neturėjo didesnės įtakos judriųjų angliavandenių kaupimuisi augaluose. Tačiau pradinė azoto norma ypač stimuliavo sojų bakterijų efektyvumą, ir šių medžiagų procentas išaugo iki 8%. Apskritai judriųjų angliavandenių kaupimuisi didžiausią įtaką turėjo sojų gumbelinės bakterijos.

Vertinant judriųjų angliavandenių sukauptą masę nustatyta, kad inokuliacija absoliučia dauguma atvejų šį procesą stimuliavo. Rapsų netręšiant azotu, daugiausia judriųjų angliavandenių sukauptė ožiarūčių gumbelinės bakterijos (234,0 mg indo⁻¹). O azoto trąšos, nepriklausomai nuo panaudotos normos, labiausiai stimuliavo sojų gumbelines bakterijas, todėl augalo sukauptas judriųjų angliavandenių kiekis išaugo net iki 319,9–368,2 mg indo⁻¹.

Mineralinės azoto trąšos silpnai, bet stimuliavo judriųjų angliavandenių kaupimąsi neinokuliuotų augalų antžeminėje dalyje.

Vasarinių rapsų inokuliacija ir tręšimas azoto trąšomis lėmė judriųjų angliavandenių ir bendrojo azoto santykį (simboliai C:N) augalų antžeminėje dalyje. Inokuliuotų augalų, nepriklausomai nuo bakterijų rūšies ir azoto trąšų normos, C:N santykis buvo didesnis nei neinokuliuotų augalų. Netręšus azoto trąšomis judriųjų angliavandenių kiekis gerokai viršijo bendrą azoto kiekį, inokuliuojant dobių ir sojų bakterijomis, kai C:N santykis sudarė atitinkamai 3,0 ir 3,38, o neinokuliuotų augalų – 2,51. Tręšiant augalus azoto trąšomis, didžiausias šis santykis – 3,74–4,94 – aptiktas augalus inokuliuojant sojų gumbelinėmis bakterijomis. Šiuo atveju dėl mineralinių azoto trąšų kitų bakterijų veiksmingumas sumažėjo.

Mineralinės azoto trąšos gerokai mažino santykinį, palyginti su bendroju azotu, judriųjų angliavandenių kaupimąsi neinokuliuotų augalų masėje. Santykis C:N sumažėjo nuo 2,51 (neinokuliuotų augalų) iki 1,66. Šie faktai rodo, kad gumbelinės bakterijos kaip diazotrofai rapsų pašaknėje išskyrų pavidalu azoto fiksacijos procesams naudoja daug judriųjų angliavandenių /Shabaev, Smolin, 2000/. Tačiau lieka neaišku, ar šių medžiagų panaudojimas ir biologinio azoto fiksacija susiję su rapsų derlingumu, ar vyksta dėl augalų saulės energijos panaudojimo procesų aktyvinimo.

Dirvožemio agrocheminės savybės. Vasarinių rapsų, kaip ir vasarinių miežių, inokuliacija gerino kai kurias agrochemines dirvožemio savybes (5 lentelė). Dėl inokuliacijos mažėjo dirvožemio hidrolizinis rūgštumas ir didėjo sorbuotų bazių suma arba visiškai netręšiant azotu, arba naudojant didelę jo normą. Tai susiję su rapsų asociatyvia azoto fiksacija. Kaip rodo tyrimų duomenys, daugiausia azoto iš oro sukauptė arba azotu netręšiami augalai, arba naudojant didelę jo normą. Aptiktas ir judraus fosforo koncentracijos padidėjimas, tręšiant tik didele mineralinio azoto norma (42 mg N kg⁻¹ dirvožemio), inokuliuojant ožiarūčių gumbelinėmis bakterijomis.

Asociatyvios azoto fiksacijos ir vasarinių rapsų fiziologinių rodiklių ryšys. Koreliacinės regresinės analizės duomenimis, vasarinių miežių asociatyviai azoto fiksacijai didžiausią įtaką turėjo augalo antžeminės dalies masė (derlius) ir bendrojo azoto susikaupimas visoje augalo biomasėje (6 lentelė). Kiek silpnesnis, tačiau statistiškai patikimas ryšys nustatytas tarp augalo biomasės, bendrojo azoto ir judriųjų angliavandenių kiekio antžeminėje dalyje bei asociatyvios azoto fiksacijos. Literatūroje žinomi faktai, kad kuo geresnės varpinių augalų augimo sąlygos ir kuo intensyvesnė fotosintezė, tuo gausiau per šaknų sistemą išsiskiria energinių medžiagų asociatyviems mikroorganizmams /Скворцова и др., 1998/.

5 lentelė. Įvairių rūšių gumbelinių bakterijų ir mineralinio azoto derinimo įtaka vasariniams rapsais apsėto dirvožemio agrocheminėms savybėms

Table 5. The influence of *Rhizobium* spp. and mineral nitrogen combination on the properties of soil under spring rape

Vėžaičiai, 2005–2007 m.

Variantas <i>Treatment</i>	pH _{KCl}	Hidrolizinis	Sorbuotų	Pasotinimo	Bendrasis	Judrusis	Judrusis
		rūgštumas <i>Hydrolytic acidity</i>	bazių suma <i>Total absorbed bases</i>	bazėmis laipsnis % <i>Degree of base- saturation %</i>	N % <i>Total N %</i>	P ₂ O ₅ <i>Mobile P₂O₅</i>	K ₂ O <i>Mobile K₂O</i>
		m. ekv. kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		
Be N / Without N							
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	6,9	7,46	315,8	97,7	0,12	129	200
Dobilų rizobijos <i>Clover rhizobia</i>	7,0	6,63	344,1	98,1	0,11	125	194
Ožiarūčių rizob. <i>Goat's rue rhizobia</i>	7,0	6,63	334,7	98,0	0,10	126	197
Sojų rizobijos <i>Soybean rhizobia</i>	6,9	6,34	326,4	98,1	0,10	124	190
8,4 mg N kg ⁻¹ dirvožemio / 8.4 mg N kg ⁻¹ soil							
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	6,7	8,04	350,3	97,8	0,10	118	189
Dobilų rizobijos <i>Clover rhizobia</i>	6,7	8,33	348,5	97,7	0,11	128	204
Ožiarūčių rizob. <i>Goat's rue rhizobia</i>	6,9	6,05	364,3	98,4	0,09	127	191
Sojų rizobijos <i>Soybean rhizobia</i>	6,8	7,75	342,6	97,8	0,11	126	195
42 mg N kg ⁻¹ dirvožemio / 42 mg N kg ⁻¹ soil							
Neinokuliuota <i>Uninoculated</i>	6,6	8,62	270,0	96,9	0,11	127	200
Dobilų rizobijos <i>Clover rhizobia</i>	6,8	7,75	309,5	97,6	0,10	123	198
Ožiarūčių rizob. <i>Goat's rue rhizobia</i>	6,8	8,33	279,7	97,1	0,10	133	205
Sojų rizobijos <i>Soybean rhizobia</i>	6,7	7,47	275,7	97,4	0,10	119	210
R ₀₅ / LSD ₀₅	0,46	0,47	20,8	–	–	10,6	16,9

6 lentelė. Vasarinių rapsų asociatyvios azoto fiksacijos (y) priklausomumas nuo augalo (x) rodiklių

Table 6. The dependence of spring rape associative nitrogen fixation (y) on plant parameters (x)

Augalo rodikliai <i>Plant parameters</i>	Regresijos lygtys <i>Regression equation</i>	R	t
Antžeminė dalis g indo ⁻¹ <i>Overground part g pot⁻¹</i>	$5,0562 \cdot x^{0,6461}$	0,312	0,76
Šaknys g indo ⁻¹ <i>Root g pot⁻¹</i>	$-604,8+1135,369x-641,878x^2+114,689x^3$	0,900	11,88*
Biomasė g indo ⁻¹ <i>Biomass g pot⁻¹</i>	$-2500,7+1356,01x-233,243x^2+13,144x^3$	0,653	1,88
Antžem. dalies N mg indo ⁻¹ <i>Overground part N mg pot⁻¹</i>	$0,2986 \cdot x^{0,7078}$	0,408	1,4
Šaknų N mg indo ⁻¹ <i>Root N mg pot⁻¹</i>	$3,897 \cdot x^{1,0991}$	0,456	1,84
Biomasės N mg indo ⁻¹ <i>Biomass N mg pot⁻¹</i>	$1,9646+0,8389x$	0,929	43,85**
Judrieji angliavandeniai mg indo ⁻¹ <i>Mobile carbohydrates mg pot⁻¹</i>	$-875,40+5,716x-0,009x^2$	0,643	4,16

Stipriausias ryšys nustatytas tarp rapsų azoto fiksacijos aktyvumo ir augalo antžeminės masės bei visos biomasės bendrojo azoto.

Vertinant dviejų veiksmų analizės duomenis reikia pažymėti, kad vasariniai rapsai yra imlūs ir biologiniam azotui, formuojant asociatyvius santykius su gumbelinėmis bakterijomis, ir mineraliniam azotui, tręšiant augalus azoto trąšomis (7 lentelė). Inokuliavimas ir mineralinės azoto trąšos turėjo gerokai didesnę poveikį augalų šaknų masės pokyčiams nei antžeminei daliai. Kartu reikia pabrėžti, kad vasarinių rapsų biomasės augimui azoto trąšų poveikis buvo gerokai didesnis nei biologinio azoto. Tačiau abi tirtos priemonės turėjo didelę teigiamą įtaką augalų asociatyviai azoto fiksacijai.

7 lentelė. Įvairių rūšių gumbelinių bakterijų ir mineralinio azoto derinimo įtaka vasarinių rapsų biomasei ir asociatyviai azoto fiksacijai (kriterijus t)

Table 7. The influence of *Rhizobium* spp. and mineral nitrogen combination on the biomass of spring rape and on associative nitrogen fixation (criterion t)

Faktorinės analizės duomenys / *Data of factorial analysis*

Variantas <i>Treatment</i>	Antžeminė dalis <i>Overground part</i>	Šaknys <i>Root</i>	Biomasė <i>Biomass</i>	Azoto fiksacija mg N indo ⁻¹ <i>Nitrogen fixation mg N pot⁻¹</i>
A	2,62	8,18**	8,59**	15,71**
B	14,85**	21,88**	26,44**	53,87**
A×B	1,49	9,47**	9,59**	25,06**

Išvados

1. Auginant vasarinius rapsus neutralokos reakcijos (pH_{KCl} 6,0–6,7) nepasotintame giliau glėjiškame lengvo priemolio balkšvažemyje, inokuliacijos veiksmingumą nulėmė gumbelinių bakterijų rūšis ir mineralinio azoto normos derinimas. Ir augalus tręšiant azoto trąšomis, ir jų netręšiant veiksmingiausios buvo sojų gumbelinės bakterijos; derliaus priedas – 15 %.

Visais inokuliacijos atvejais rapsai veiksmingiausią asociaciją su gumbelinėmis bakterijomis sudarė tręšiant didele trąšų norma.

2. Vasarinių rapsų inokuliacija, nepriklausomai nuo tręšimo azotu, palankiai veikė augalų šaknų vystymąsi.

3. Asociacijoje su vasariniais rapsais visų rūšių gumbelinės bakterijos fiksavo atmosferos azotą, kurio kiekis priklausė nuo bakterijų rūšies bei mineralinio azoto normos. Daugiausia atmosferos azoto augalai sukauptė inokuliuojant ožiarūčių bei sojų gumbelinėmis bakterijomis ir visiškai netręšiant azotu.

4. Vasarinių rapsų biomasės biologinis, t. y. fiksuotas iš atmosferos, azotas sudarė nuo 3,8 iki 46,8 %. Tręšiant azoto trąšomis, rapsų augalų biologinio azoto procentas sumažėjo vidutiniškai 7 %.

5. Dėl inokuliacijos didėjo rapsų antžeminės dalies judriųjų angliavandenių kiekis. Tai rodo, kad biologinis azotas augaluose stimuliuoja fotosintezės procesus ir angliavandenių sintezę.

6. Vasarinius rapsus inokuliuojant dobilų gumbelinėmis bakterijomis, dirvožemyje didėjo sorbuotų bazių suma netręšiant azotu arba tręšiant didele azoto norma. Nei inokuliacija, nei mineralinės azoto trąšos neturėjo įtakos judraus kalio koncentracijai dirvožemyje.

7. Nustatytas koreliacinis ryšys tarp kai kurių vasarinių rapsų rodiklių bei asociatyvios azoto fiksacijos aktyvumo.

Gauta 2008-01-10

Pasirašyta spaudai 2008-02-11

LITERATŪRA

1. Karpunina L. V., Savenkov N. N., Vladimirova M. V. Agglutinins of *Rhizobium leguminosarum* and their role in interaction with plants // *Izvestija akademii nauk, Seriya biologicheskaya*. – 1996, iss. 6, p. 698–704

2. Kavimandan S. K. Influence of rhizobial inoculation on yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Plant and Soil*. – 1986, vol. 95, No. 2, p. 297–300

3. Lapinskas E. Asociatyvių mikroorganizmų ir azoto trąšų reikšmė motiejukams ir miežiams // *Žemdirbystė: mokslo darbai / LŽI, LŽŪU*. – Akademija, 1996, t. 51, p. 161–169

4. Lupwayi N. Z., Clayton G. W., Hanson K. G. Endophytic rhizobia in barley, wheat and canola roots // *Canadian Journal of Plant Science*. – 2004, vol. 84, iss. 1, p. 37–45

5. Micanovic D., Knezevic D., Saric Z., Saric M. Genetic variability of wheat as related to nitrogen fixation by associated rhizosphere microorganism // *Cereal Research Communications*. – 1997, vol. 25, iss 2, p. 191–196

6. Mwaura F., Granhall U. Nitrogen fixation (C_2H_2 reduction) associated with maize (*Zea mays* L.) in a Swedish soil // *Swedish Journal of Agricultural Research*. – 1986, vol. 16, No. 2, p. 49–56

7. Rothballer M., Schmid M., Hartman A. In situ localization and PGPR – effect of *Azospirillum brasilense* strains colonizing roots of different wheat varieties // *Symbiosis*. – 2003, vol. 34, iss. 3, p. 261–279

8. Shabaev V. P., Smolin V. Y. Sensitivity of winter wheat to inoculation with *Pseudomonas* bacteria in grey forest soil // *Eurasian Soil Science*. – 2000, vol. 33, iss. 4, p. 434–440

9. Tarakanovas P., Raudonius S. Agronominių tyrimų duomenų statistinė analizė taikant kompiuterines programas ANOVA, STAT, SPLIT, PLOT iš paketo *Selekcija* ir *Irristat*. – Akademija (Kėdainių r.), 2003. – 56 p.

10. Volkogon V. V. Influence of mineral nitrogen supply on the activity of associative nitrogen fixation // *Eurasian Soil Science*. – 1997, vol. 30, iss. 12, p. 1333–1337

11. Алисова С. М., Алексеева А. Г., Кожемяков В. П. Влияние инокуляции корневыми diaзотрофами на урожай и динамику азотфиксирующей активности различных сортов пшеницы и ячменя // *Микробиологические процессы в почвах и продуктивность с. х. культур*. – Вильнюс, 1986, с. 8–9

12. Андреюк Е. И., Иутинская Г. А., Дульгеров А. Н. Почвенные микроорганизмы и интенсивное земледелие. – Киев, 1988. – 189 с.

13. Глаголева О. В. Биологическая фиксация молекулярного азота: проблематика фундаментальных исследований и прикладные аспекты // *Микробиология*. – 1998, т. 67, № 2, с. 287–288

14. Завалин А. А., Виноградова Л. В. Влияние ассоциативных diaзотрофов на формирование урожая сортов яровой пшеницы // *Агрохимия*. – 2000, № 10, с. 38–44

15. Звягинцев Д. Г. Проблема управления азотрофами в ризосфере и ризоплане // *Бюллетень ВНИИ с. х. Микробиологии*. – Ленинград, 1985, № 42, с. 6–9

16. Новикова А. Т., Симаров Б. В. Методические рекомендации по получению штаммов клубеньковых бактерий и оценке их эффективности. – Ленинград, 1979. – 33 с.

17. Родынюк И. С., Степаненко И. Я., Коваль С. Ф. Ассоциативная азотфиксация в ризоценозе изогенных иммунных и короткостебельных линий яровой мягкой пшеницы // *Сельскохозяйственная биология*. – 1991, серия *Биология растений*, № 5, с. 88–94

18. Скворцова Н. Г., Умаров М. М., Костина Н. В. Влияние инокуляции смешанными культурами *Bacillus polymyxa*–*Pseudomonas* на трансформацию азота в ризосфере небобовых растений // *Микробиология*. – 1998, т. 67, вып. 2, с. 244–248

19. Соколов А. В. Вегетационный метод // *Агрохимические методы исследования почв*. – Москва, 1960, с. 27–43

20. Умаров М. М., Куракова Н. Г., Садыков В. Ф. Азотфиксация в ассоциациях микроорганизмов с растениями // *Минеральный и биологический азот в земледелии СССР*. – Москва, 1985, с. 205–213

THE INFLUENCE OF *RHIZOBIUM* spp. AND MINERAL NITROGEN ON THE FORMATION OF ASSOCIATIVE NITROGEN FIXING SYSTEM WITH SPRING RAPE

E. Lapinskas

Summary

Laboratory and pot experiments were carried out at the Vėžaičiai Branch of LIA during the period 2005–2007 on a *Dystri-Endohypogleyic Albeluvisol* light loam, with a pH_{KCl} after liming of 6.0–6.7.

The results of this study indicate that the efficiency of red clover inoculation was determined by *Rhizobium* species and rate of nitrogen fertilisers. In the treatments without mineral nitrogen *Rhizobium galegae* was the most efficient for spring rape. On the background of minimal (8.4 mg N kg^{-1} soil) and medium (42 mg N kg^{-1} soil) nitrogen doses the plant yield was most stimulated by *Rhizobium japonicum*. In all the cases of inoculation, rape formed the most efficient association with *Rhizobium* when fertilised with high nitrogen rate. Spring rape inoculation, irrespective of nitrogen fertilisation, exerted a positive effect on root development.

All species of *Rhizobium* in association with spring rape fixed biological nitrogen whose content depended on the species of bacteria and mineral nitrogen rate. Spring rape accumulated the greatest amount of atmospheric nitrogen when inoculated by goat's rue and soy rhizobia and in the treatment without nitrogen fertilisation. In plant biomass biological nitrogen accounted for 8.7–38.7 % of the total nitrogen accumulated. In the treatments fertilised with nitrogen fertiliser biological nitrogen percentage in rape plants declined by on average 7 %. Inoculation gave an increase in mobile carbohydrates content in rape plants while mineral nitrogen did not have any appreciable effect.

Inoculation of spring rape improved some soil agrochemical parameters: the content of total absorbed bases increased in the treatments not fertilised with nitrogen or fertilised with high nitrogen rate. The concentration of mobile phosphorus increased only in the soil fertilised with nitrogen. Neither inoculation nor nitrogen fertiliser had any effect on mobile potassium concentration in the soil. A correlation was established between some parameters of spring rape and associative nitrogen fixation activity.

Key words: *Rhizobium* spp., efficacy, nitrogen fixation, mineral nitrogen, spring rape.