

Azotą transformuojančių mikroorganizmų paplitimas esant skirtingoms aplinkos sąlygoms

Loreta Piaulokaitė-Motuzienė,

Donatas Končius

*Lietuvos žemdirbystės instituto Vėžaičių filialas, Gargždų g. 29, LT-96216 Vėžaičiai, Klaipėdos rajonas, Lietuva
El. paštas: kodo@vezaiciai.lzi.lt*

2001–2004 m. Lietuvos žemdirbystės instituto Vėžaičių filiale, įvairaus rūgštumo skirtingomis mineralinių trąšų normomis tręštame balkšvažemyje buvo atlikti mikrobiologiniai tyrimai. Tyrimų dirvožemis – giliau glėžiškas nepasotintasis lengvo priemolio balkšvažemis (JIn-g0). Dirvožemyje per 30 metų susiformavo savitos, stabilios mikroorganizmų cenzozės su nusistovėjusiais funkcionavimo principais. Ilgalais antropogeninis krūvis veikia azoto junginių transformacijoje dalyvaujantį mikroorganizmų kompleksą.

Dirvožemio ėminiai mikrobiologinėms analizėms paimti iš įvairaus rūgštumo (pH <4,7; 4,7–5,2; 5,2–5,7; >6,7) ir skirtingomis mineralinių trąšų normomis tręšto dirvožemio (be trąšų; $N_{45}P_{39}K_{57}$, $N_{135}P_{117}K_{171}$), iš 0–20 cm armens sluoksnio.

Amonifikuojantys ir mineralinį azotą asimiliuojantys mikroorganizmai labiausiai paplitę mažo rūgštumo (pH 5,2–5,7) dirvožemyje, patręštame $N_{45}P_{39}K_{57}$. Sporinių bakterijų gausiausiai buvo artimame neutraliam (pH >6,7) dirvožemyje. Didžiausias mikromicetų skaičius nustatytas rūgščiame dirvožemyje (pH <4,7) ir jų daugėjo didinant mineralinių NPK trąšų normą. Pasisirėmus koreliacinės regresinės analizės duomenimis nustatyti aplinkos veiksnių (dirvožemio agrocheminių savybių bei tyrimų laiko vegetacijos metu) ir dirvožemio skirtingų fiziologinių grupių mikroorganizmų paplitimo dėsningumai.

Raktažodžiai: mikroorganizmai, paplitimas, dirvožemis, agrocheminės savybės

ĮVADAS

Dirvožemį gausiai tręšiant mineralinėmis, ypač azoto trąšomis, pirmiausia nukenčia dirvožemio jautriausia dalis – biota, kuri turi didelę įtaką dirvožemio derlingumui. Sutrikdžius biologinę pusiausvyrą, kinta dirvožemio mikroorganizmų rūšinė sudėtis ir biocheminių procesų eiga, kuri sąlygoja mineralizacijos procesų intensyvumą ir humuso skaidymą, dėl intensyvesnės nitrifikacijos, denitrifikacijos, gausnio išsiplovimo bei susilpnėjusios atmosferos azoto fiksacijos didėja azoto nuostoliai [29, 40]. Dirvožemio mikroorganizmai yra vieni jautriausių indikatorių, vertinant dirvožemio ekosistemos stabilumą, medžiagų apytaką ir dirvožemio derlingumą [39]. Mikroorganizmų dėka natūraliose biogeocenozeose palaikomas pastovus, dirvožemio grupei būdingas organinės medžiagos (humuso), judriųjų azoto ir fosforo bei kitų elementų kiekis, taip pat mineralų sintezės ir skaidymo greitis [16]. Dirvožemio komponentų tarpusavio sąitų stiprumas nulemia dirvožemio, kaip vieningos sistemos, esmę, kurios kokybę sąlygoja fizinių cheminių savybių ypatybės, ir sudaro palankias ar nepalankias sąlygas gyviems organizmams vystytis [3, 23].

Literatūroje nurodoma, kad dirvožemio mikroorganizmai antropogeninės veiklos poveikiui yra pasirošę, tačiau dirbtinių junginių patekimas į dirvožemį, taip pat patenkančios jų kiekiai viršija dirvožemio biotos atsargų galimybes ir tai gali sukelti katastrofiškas pasekmes. Pirmiausia tai pasireiškia

padidėjusia dirvožemio tarša, kuri gali būti kenksminga dėl prasidėjusio dirvožemio mikroorganizmų komplekso irimo [24, 26, 27, 33]. Žemdirbystės sistemų intensyvumas didelę reikšmę turi ir organinės medžiagos transformavimui. Tyrimai rodo, kad mikrobiologinis organinės medžiagos skaidymas, siekiant padidinti žemės ūkio augalų derlių, gali būti naudingas tik iki tam tikro lygio. Mikrobiologinių procesų intensyvinimas, sudarant palankias sąlygas organinės medžiagos skaidymui, gali būti žalingas dirvožemio kokybei [7, 9]. Dėl nuolat didėjančios sveiko maisto paklausos, teikiamos valstybių paramos ir aplinkosauginės motyvacijos tolesnė sparti ekologinių ūkių plėtra yra neišvengiama būtinybė. Tai skatina ir dirvožemio mikrobiologinius tyrimus [29]. Jau 1977 m. Šveicarijoje ir Japonijoje vykusiose konferencijose kaip svarbiausias veiksnyss tausojančioje žemdirbystėje pažymėtas dirvožemio biologinių procesų ryšys su jo derlingumu [12].

Azoto atsargos atmosferoje sudaro 75,6% bendrosios masės, tai vienas labiausiai paplitusių biogeninių elementų. Į dirvožemio organinę medžiagą azotas patenka iš atmosferos per mikroorganizmus ir augalus [13, 14]. Natūralios ekosistemos sugeba visiškai patenkinti azoto poreikius panaudodamos biologinį azotą. Tačiau agrarinės ekosistemos augaluose sukauptas azotas su derliumi pašalinamas iš sistemos. Dėl antropogeninės veiklos nuolat išbalansuojami natūraliai dirvožemyje vykstantys procesai [30, 36]. Didėjant gyventojų skaičiui, kyla maisto, ypač baltymų problema, todėl žemės ūkyje nuolat naudojama vis daugiau azoto trąšų [20].

Literatūros analizė rodo, kad tiek Lietuvoje, tiek užsienyje, lyginant žemdirbystės sistemas, pasitaiko ir prieštaringų duomenų, gautų dėl skirtingų bandymo sąlygų ir trukmės, skirtingo dirvožemio buferingumo, taip pat dėl pasirinktų parametrų ir vertinimo kriterijų [29, 30]. Įvairūs autoriai nurodo, kad skirtingų fiziologinių grupių mikroorganizmai nevienodai reaguoja į mineralines ir organines trąšas bei pesticidus [1, 4, 10, 19, 38]. Kadangi dirvožemis yra buferinė sistema, todėl tik ilgalaikiai bandymai (bent 10–20 metų) leidžia išsamiai įvertinti skirtingų žemdirbystės sistemų poveikį dirvožemio biotai. Dirvožemio biologinio aktyvumo pokyčiai, gauti ilgalaikiuose bandymuose, gali būti svarbus trąšų paskirstymo sėjomainoje vertinimo kriterijus. Literatūroje aptinkami prieštaringi duomenys rodo, kad būtina tirti tręšimo, ypač gausaus, poveikį dirvožemiui, jo savybėms ir derlingumui [15, 29].

Literatūroje nurodoma, kad mikroorganizmai kartais nesivysto tik dėl to, kad terpėje nepalankus tam pH. Kiekvienai mikroorganizmų grupei yra skirtingi minimalūs ir maksimalūs pH lygiai. Optimalus pH lygis yra skirtingas įvairių fiziologinių grupių mikroorganizmų paplitimui: amonifikuojančių mikroorganizmų pH 6,2, mineralinį azotą asimiliuojančių – 5,6 [2, 5, 37]. Tyrimai rodo, kad rūgščiuose dirvožemiuose neaptikta azotobakterijų, negausiai paplitusios nitrifikuojančios bei amonifikuojančios bakterijos, nerasta aerobinėmis sąlygomis skaidančių celiuliozę bakterijų. To priežastis – baltšvažemių rūgštumas, didesnis judriojo aliuminio kiekis, mažesnis bazingumas ir kitos savybės [4, 22]. Rūgštiesiems dirvožemiams tolerantiškiausi mikromicetai [2, 18].

Dirvožemio drėgnis skirtingai veikia įvairias mikroorganizmų grupes [17, 32]. Geriausiai mikroorganizmai vystosi, kai dirvožemio drėgnio imlumas yra 40–70% [25, 37]. Jautriausios drėgnio trūkumui nitrifikuojančios ir azotą fiksuojančios bakterijos. Atspariausi sausrai – mikromicetai bei sporinės bakterijos. Tyrimais nustatyta atvirkštinė priklausomybė tarp dirvožemio drėgnio ir mikromicetų skaičiaus. Didėjant dirvožemio drėgniui, mažėja mikromicetų skaičius, bet gausiau paplinta bakterijos [6, 34, 35].

Humuso sintezės metu skaidomos organinės liekanos, sintetinami nauji organiniai junginiai ir vyksta humifikacija. Skaidant organines medžiagas dalyvauja daugelio fiziologinių grupių mikroorganizmai. Pradinėse organinių liekanų skaidymosi stadijose dalyvauja nesporinės bakterijos, vėliau sporinės bakterijos ir pagaliau mikromicetai. Skaidant organines medžiagas, dalis jų mineralizuojasi, o kita dalis dalyvauja naujų organinių junginių sintezėje ir humifikacijoje [9, 23]. Atsižvelgiant į tai būtina vertinti mikroorganizmų sukcesiją atliekant tyrimus skirtingu vegetacijos metu.

1 lentelė. Dirvožemio ėminių mikrobiologinėms analizėms paėmimo laikas

Table 1. Dates of soil sampling for microbiological analyses

Vėžaičiai, 2001–2004 m.

Tyrimų laikas / Research time	2001	2002	2003	2004
Vegetacijos pradžia / Before plant vegetation resumed	05 28	05 23	05 19	05 06
Po 5 savaitių / After 5 weeks			06 23	06 10
Po 10 savaitių / After 10 weeks			07 28	07 15
Po 15 savaitių / After 15 weeks	09 10	08 29	09 01	08 19
Po 20 savaitių / After 20 weeks			10 06	09 23
Po 25 savaitių / After 25 weeks			11 10	11 04

Taigi dirvožemio rūgštėjimo ir degradacijos problema išlieka svarbi ir reikalauja įvairiapusių tyrimų, ypač sukultūrinant ekologiškai jautrius rūgščius baltšvažemius. Tyrimų tikslas – ištirti aplinkos veiksnių (dirvožemio agrocheminių savybių ir tyrimų laiko vegetacijos metu) įtaką azoto junginių transformuojančių mikroorganizmų aktyvumui.

TYRIMŲ SĄLYGOS IR METODIKA

Tyrimai vykdyti Lietuvos žemdirbystės instituto (LŽI) Vėžaičių filiale dr. D. Čiuberkienės 1976 m. įrengtame stacionariame lauko bandyme. Dirvožemis – vidutiniškai sukultūrintas – giliau glėjiškas nepasotintasis baltšvažemis (JIn-g0 LTKD-99) – pagal FAO–UNESCO klasifikaciją *Bathihypogleyi-Dystric Albeluvisol* (ABd – gld – w) (vidutiniškai sukultūrintas – hidromorfinis – velėninis jaurinis glėjiškas (JP^v,)) [8]. Granulimetrinė sudėtis – lengvas ant vidutinio sunkumo priemolis. Karbonatai randami 1,50–2,0 metrų gylyje. Prieš įrengiant bandymą, dirvožemio armuo labai rūgštus (pH_{KCl} 4,1–4,4), hidrolizinis rūgštumas – 47–59 mekv. kg⁻¹, bazingumas – 22–29 mekv. kg⁻¹, pasotinimas bazėmis – 27,8–6,8%, judriojo aliuminio kiekis – 50–77 mg kg⁻¹ dirvožemio. Dirvožemis mažo fosforingumo, didelio kalingumo (atitinkamai 53–112 ir 238–290 mg kg⁻¹ dirvožemio) ir vidutinio humusingumo (apie 2%) [11].

Bandymas vykdytas penkiaaukėje sėjomainoje: 1. Vasariniai rapsai (2001 m.), 2. Miežiai su daugiamečių žolių išėliu (2002 m.), 3. Daugiametės žolės I naudojimo metų (n.m.) (2003 m.), 4. Žieminiai kviečiai (2004 m.) ir 5. Miežiai (2005 m.). Šiame lauko bandyme suformuoti keli tręšimo ir dirvožemio pH lygiai.

2001–2004 m. šiame bandyme tirtas dirvožemio azoto transformacijoje dalyvaujančių mikroorganizmų fiziologinių grupių paplitimas bei aktyvumas. Tyrimai daryti 2001–2002 m. vegetacijos pradžioje ir nuėmus derlių, o 2003–2004 m. – per visą vegetacijos laikotarpį (1 lentelė).

Mikrobiologiniams tyrimams dirvožemio ėminiai imti iš 0–20 cm armens sluoksnio. Mikroorganizmų atskirų fiziologinių grupių paplitimas (skaičius) nustatytas natūralaus drėgnumo dirvožemio mėginiuose, apskaičiuojant kolonijas sudarančių vienetų (ksv·g⁻¹) skaičių vienam gramui absoliučiai sauso dirvožemio.

Dirvožemio ėminiai mikrobiologinėms analizėms imti iš 12 lauko bandymo variantų. Labai rūgštų dirvožemi (pH <4,7) siekta sureguliuoti kalkinimu iki tokių pH lygių (A veiksnys): 1) pH <4,7 (nekalkinta); 2) pH 4,7–5,2; 3) pH 5,2–5,7; 4) pH >6,7. Šiuose fonuose mineralinės trąšos buvo naudotos pagal tokią schemą (B veiksnys): 1) be trąšų; 2) N₄₅P₃₉K₅₇; 3) N₁₃₅P₁₁₇K₁₇₁.

Viena mineralinių trąšų (N, P₂O₅, K₂O trumpinant NPK) norma buvo: vasariniams rapsams – N₇₀P₆₀K₉₀; miežiams, žieminiams kviečiams ir avižoms – N₄₅P₃₀K₄₅; daugiamečiams

žolėms – P₄₅K₆₀. Buvo tręšiama amonio salietra, superfosfatu ir kalio chloridu. Vidutiniškai per vienerius rotacijos metus vieną trąšų normą sudarė N₄₅P₃₉K₅₇, tris normas – N₁₃₅P₁₁₇K₁₇₁. Numatyti pH lygiai buvo palaikomi kalkinant kas penkeri metai dulkišiais klintmilčiais.

Amonifikuojančių mikroorganizmų skaičius nustatytas praskiedimų metodu baltyminėje (su peptonu) agarinėje terpėje (X₃), mineralinį azotą asimiluojančių mikroorganizmų – ant krakmolo ir amoniako agaro (KAA), turinčios amonio druskų, terpės, sporinių bakterijų skaičius tirtas ant maistinio agaro ir neutralaus alaus misos agaro mišinio (S), sudaryto lygiomis tūrio dalimis, mikromicetų – ant rūgščios alaus misos agaro terpės (AMAr).

Dirvožemio cheminės savybės buvo nustatytos tuose pačiuose ėminiuose kaip ir mikrobiologinės analizės. pH nustatyta potenciometrinio metodu (ISO 10390 : 2005), bendrasis azotas – Kjeldalio (ISO 11261:1995), nitratinis ir amoniakinis azotas – kolorimetriniu (ISO 14256 : 2005, ISO 13878 : 1998), organinė anglis – sauso deginimo būdu Hereaus aparatu. Dirvožemio ėminių cheminės analizės darytos tokiais metodais: judrusis aliuminis – Sokolovo, judrieji fosforas ir kalis – Egnerio–Rimo–Domingo (A–L). Tyrimai atlikti LŽI Agrocheminių tyrimų centre bei Vėžaičių filialo Agrobiologijos laboratorijoje.

Duomenų analizė atlikta kompiuterinėmis programomis Excel 2003 bei Anova for Excel vers. 4,0. Atlikta dviejų veiksmų dispersinė duomenų analizė. Koreliaciniai regresiniai priklausomumai apskaičiuoti naudojant kompiuterinę programą STATISTICA. Duomenys statistiškai vertinti pagal Fišerio (F) kriterijų, koreliacijos koeficientą (r). Lygties reikšmingumo lygis nustatytas remiantis F kriterijumi, naudota rodiklinė lygtis, kuri neatspindi priklausomybės kryptingumo. Rezultatų skirtumų patikimumas žymimas * esant 95% tikimybės lygiui ir ** esant 99% [28, 31].

TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Amonifikuojančių mikroorganizmų skaičius yra vienas kriterijų, vertinant dirvožemio organinės medžiagos mineralizaciją. Azoto turtingų organinių junginių amonifikavimas dirvožemyje yra pageidautinas reiškinys, nes augalams neprieinamų

junginių azotas paverčiamas mineraliniu, prieinamu augalams, o pats procesas vyksta per visą vegetaciją, todėl azoto nuostoliai būna nedideli. Tyrimų rezultatai (2 lentelė) rodo, kad gausus mineralinis tręšimas neigiamai veikė amonifikuojančių mikroorganizmų skaičių. Mažiausiai jų aptikta patręšus N₁₃₅P₁₁₇K₁₇₁. Amonifikuojančių bakterijų paplitimui palankiausias buvo mažo rūgštumo (pH 5,2–5,7) dirvožemis.

Dispersinės analizės rezultatai rodo, kad didžiausią įtaką amonifikuojančių mikroorganizmų paplitimui turėjo dirvožemio pH (F = 7,19–35,78). Literatūroje nurodoma, kad dėl didelių mineralinių trąšų normų rūgštėja dirvožemis, o rūgščiuose dirvožemiuose negausu amonifikuojančių bakterijų [4, 22].

Sporinės bakterijos taip pat yra svarbios vertinant dirvožemio organinės medžiagos mineralizaciją. Jos dalyvauja vėlesniuose organinių liekanų mineralizacijos procesuose ir tęsia organinės medžiagos mineralizaciją. 2001 ir 2004 m. didžiausias sporinių bakterijų skaičius nustatytas artimame neutraliam (pH >6,7) dirvožemyje (3 lentelė).

Nepalankiausias sporinių bakterijų paplitimui buvo labai rūgštus (pH <4,7) dirvožemis. Didesnis sporinių bakterijų skaičius nustatytas patręšus N₄₅P₃₉K₅₇, tačiau gausnesnis mineralinis tręšimas bakterijų paplitimą slopino. Dispersinės analizės rezultatai rodo, kad didžiausią įtaką bakterijų paplitimui turėjo dirvožemio pH (F = 16,97–12,66). Kitų tyrėjų darbuose taip pat nurodoma, kad rūgščių dirvožemių kalkinimas didino sporinių bakterijų skaičių [3, 5].

Mikromicetams funkcionuoti būtinos sąlygos: oro srovių judėjimas, adhezijos prie substrato galimybė, drėgnis, temperatūra. Esant šioms sąlygoms, vyksta biologinių medžiagų biosintezė [21]. Mikromicetai aktyviai mineralizuoja organines medžiagas. Jie gerai vystosi rūgščiuose dirvožemiuose [3]. Didžiausias mikromicetų skaičius (4 lentelė) nustatytas labai rūgščiam (pH <4,7) dirvožemyje. Mineralinis tręšimas teigiamai veikė mikromicetų paplitimą. Tyrimų rezultatai rodo, kad mikromicetų gausiausia tręšiant N₁₃₅P₁₁₇K₁₇₁. Dispersinės analizės rezultatai rodo, kad mikromicetų paplitimui didžiausią įtaką turėjo dirvožemio pH (F = 4,77–39,45). Nors mikromicetų skaičius dirvožemyje

2 lentelė. Dirvožemio pH ir mineralinių trąšų įtaka amonifikuojančių bakterijų paplitimui

Table 2. The influence of soil pH and mineral fertilizers on the amount of ammonifying bacteria Vėžaičiai, 2001–2004 m.

Veiksmų įtaka Influence of factors	Mikroorganizmų skaičius ksv × 10 ³ g ⁻¹ Number of microorganisms cfu × 10 ³ g ⁻¹			
	2001	2002	2003	2004
A veiksnys / factor : pH (F)	15,38**	35,78**	7,19**	9,41**
pH <4,7	3362	4575	7081	6495
pH 4,7–5,2	4759	5103	7858	6726
pH 5,2–5,7	8415	8140	9159	7659
pH >6,7	6038	5138	8504	7049
B veiksnys / factor : tręšimas / fertilization (F)	9,28**	27,63**	1,34	2,78*
Netręšta / without fertilizers	5705	5761	8517	7239
N ₄₅ P ₃₉ K ₅₇	7056	7326	8066	7141
N ₁₃₅ P ₁₁₇ K ₁₇₁	4170	4130	7869	6566
AB sąveika / interaction (F)	4,33**	22,44**	2,61*	1,92

* Duomenys patikimi esant 95% tikimybės lygiui / Data significant at 95% probability level.

** Duomenys patikimi esant 99% tikimybės lygiui / Data significant at 99% probability level.

3 lentelė. Dirvožemio pH ir mineralinių trąšų įtaka sporinių bakterijų paplitimui

Table 3. The influence of soil pH and mineral fertilizers on the amount of spore forming bacteria

Vėžaičiai, 2001–2004 m.

Veiksnių įtaka Influence of factors	Mikroorganizmų skaičius ksv g ⁻¹ Number of microorganisms cfu g ⁻¹			
	2001	2002	2003	2004
A veiksnys / factor : pH (F)	12,66**	12,27**	18,9**	16,97**
pH <4,7	46296	4373	27224	18787
pH 4,7–5,2	72320	3611	37340	24953
pH 5,2–5,7	77325	8672	33547	30782
pH >6,7	83777	10914	45215	32551
B veiksnys / factor : tręšimas / fertilization (F)	6,08**	7,95**	0,62	0,2
Netręšta / without fertilizers	51474	3024	35737	26258
N ₄₅ P ₃₉ K ₅₇	92053	10509	37054	26637
N ₁₃₅ P ₁₁₇ K ₁₇₁	66261	7144	34703	27410
AB sąveika / interaction (F)	11,12**	3,38**	10,13**	5,85**

* Duomenys patikimi esant 95% tikimybės lygiui / Data significant at 95% probability level.

** Duomenys patikimi esant 99% tikimybės lygiui / Data significant at 99% probability level.

4 lentelė. Dirvožemio pH ir mineralinių trąšų įtaka mikroorganizmų paplitimui

Table 4. The influence of soil pH and mineral fertilizers on the amount of microorganisms

Vėžaičiai, 2001–2004 m.

Veiksnių įtaka Influence of factors	Mikroorganizmų skaičius ksv g ⁻¹ Number of microorganisms cfu g ⁻¹			
	2001	2002	2003	2004
A veiksnys / factor : pH (F)	39,45**	10,12**	11,98**	4,77**
pH <4,7	22170	23884	37868	59506
pH 4,7–5,2	18716	16684	34689	53144
pH 5,2–5,7	10900	14843	31009	47231
pH >6,7	11298	15020	30544	39557
B veiksnys / factor : tręšimas / fertilization (F)	12,42**	7,05**	5,62**	4,69**
Netręšta / without fertilizers	13343	15664	29686	49739
N ₄₅ P ₃₉ K ₅₇	15275	15996	32654	42113
N ₁₃₅ P ₁₁₇ K ₁₇₁	18695	21162	38242	57727
AB sąveika / interaction (F)	7,79**	4,98**	3,35**	3,52**

* Duomenys patikimi esant 95% tikimybės lygiui / Data significant at 95% probability level.

** Duomenys patikimi esant 99% tikimybės lygiui / Data significant at 99% probability level.

5 lentelė. Dirvožemio pH ir mineralinių trąšų įtaka mineralinį azotą asimiluojančių bakterijų paplitimui

Table 5. The influence of soil pH and mineral fertilizers on the amount of mineral nitrogen assimilating bacteria

Vėžaičiai, 2001–2004 m.

Veiksnių įtaka Influence of factors	Mikroorganizmų skaičius ksv × 10 ³ g ⁻¹ Number of microorganisms cfu × 10 ³ g ⁻¹			
	2001	2002	2003	2004
A veiksnys / factor : pH (F)	14,96**	21,44**	18,88**	30,3**
pH <4,7	1787	2949	3566	2003
pH 4,7–5,2	4617	4117	4670	2391
pH 5,2–5,7	7001	6751	6201	4201
pH >6,7	5132	4452	5200	3445
B veiksnys / factor : tręšimas / fertilization (F)	7,08**	15,01**	7,14**	12,54**
Netręšta / without fertilizers	3876	3593	5137	3006
N ₄₅ P ₃₉ K ₅₇	6118	6560	5346	3061
N ₁₃₅ P ₁₁₇ K ₁₇₁	3908	3548	4245	2963
AB sąveika / interaction (F)	6,28**	13,67**	1,42	0,1

* Duomenys patikimi esant 95% tikimybės lygiui / Data significant at 95% probability level.

** Duomenys patikimi esant 99% tikimybės lygiui / Data significant at 99% probability level.

6 lentelė. Mikroorganizmų skaičius (y) dirvožemyje priklausomumas nuo aplinkos rodiklių (x)

Table 6. Dependence of the amount of soil microorganisms (y) on environmental indices (x)

Vėžaičiai, 2001–2004 m.

Dirvožemio savybės <i>Environmental indices</i>	Regresijos lygtis <i>Regression equation</i>	r	F
<i>Amonifikuojančios bakterijos / Ammonifying bacteria</i>			
pH	$Y = 1943,83 \cdot 1,24^x$	0,38	5,87*
Dirvožemio drėgnis % / <i>Soil moisture %</i>	$Y = 10205,94 \cdot 0,96^x$	0,39	31,01**
Tyrimų laikas savaitėmis / <i>Research time weeks</i>	$Y = 10274,82 \cdot 0,96^x$	0,57	69**
Bendras azotas % / <i>Total nitrogen %</i>	$Y = 14305,49 \cdot 0,0001^x$	0,32	21,32**
Nitratinis azotas mg kg ⁻¹ / <i>Nitrate nitrogen mg kg⁻¹</i>	$Y = 5795,85 \cdot 1,04^x$	0,35	20,2**
Amoniakinis azotas mg kg ⁻¹ / <i>Ammonium nitrogen mg kg⁻¹</i>	$Y = 6330,72 \cdot 1,19^x$	0,27	11,44**
Judrusis P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹ / <i>Mobile phosphorus mg kg⁻¹</i>	$Y = 9035,30 \cdot 0,99^x$	0,38	5,67*
Judrusis K ₂ O mg kg ⁻¹ / <i>Mobile potassium mg kg⁻¹</i>	$Y = 9941,67 \cdot 0,99^x$	0,37	5,38*
Judrusis aliuminis mg kg ⁻¹ / <i>Mobile aluminum mg kg⁻¹</i>	$Y = 6992,33 \cdot 0,99^x$	0,32	3,85
Organinė anglis mg kg ⁻¹ / <i>Organic carbon mg kg⁻¹</i>	$Y = 3935,40 \cdot 1,69^x$	0,23	13,23**
C : N	$Y = 2965,46 \cdot 1,08^x$	0,35	26,53**
<i>Sporinės bakterijos / Spore forming bacteria</i>			
pH	$Y = 4942,74 \cdot 1,12^x$	0,32	3,95
Dirvožemio drėgnis % / <i>Soil moisture %</i>	$Y = 24929,84 \cdot 0,91^x$	0,38	31,37**
Tyrimų laikas savaitėmis / <i>Research time in weeks</i>	$Y = 14687,25 \cdot 1,04^x$	0,49	44,76**
Bendras azotas % / <i>Total nitrogen %</i>	$Y = 14725,04 \cdot 25,26^x$	0,37	30,56**
Nitratinis azotas mg kg ⁻¹ / <i>Nitrate nitrogen mg kg⁻¹</i>	$Y = 27548,59 \cdot 0,95^x$	0,35	19,48**
Amoniakinis azotas mg kg ⁻¹ / <i>Ammonium nitrogen mg kg⁻¹</i>	$Y = 24447,60 \cdot 0,97^x$	0,33	17,58**
Judrusis P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹ / <i>Mobile phosphorus mg kg⁻¹</i>	$Y = 8789,70 \cdot 1,00^x$	0,31	3,74
Judrusis K ₂ O mg kg ⁻¹ / <i>Mobile potassium mg kg⁻¹</i>	$Y = 11421,72 \cdot 0,99^x$	0,32	3,89
Judrusis aliuminis mg kg ⁻¹ / <i>Mobile aluminum mg kg⁻¹</i>	$Y = 10108,09 \cdot 0,99^x$	0,33	4,14*
Organinė anglis mg kg ⁻¹ / <i>Organic carbon mg kg⁻¹</i>	$Y = 171031,01 \cdot 0,08^x$	0,41	38,28**
C : N	$Y = 41581,94 \cdot 0,92^x$	0,38	32,81**
<i>Mikromicetai / Micromycetes</i>			
pH	$Y = 75881,19 \cdot 0,76^x$	0,47	9,56**
Dirvožemio drėgnis % / <i>Soil moisture %</i>	$Y = 26735,63 \cdot 1,01^x$	0,27	14,67**
Tyrimų laikas savaitėmis / <i>Research time in weeks</i>	$Y = 27545,21 \cdot 1,02^x$	0,37	22,19**
Bendras azotas % / <i>Total nitrogen %</i>	$Y = 14497,78 \cdot 1423,63^x$	0,30	18,31**
Nitratinis azotas mg kg ⁻¹ / <i>Nitrate nitrogen mg kg⁻¹</i>	$Y = 45165,71 \cdot 0,92^x$	0,39	25,26**
Amoniakinis azotas mg kg ⁻¹ / <i>Ammonium nitrogen mg kg⁻¹</i>	$Y = 40005,49 \cdot 0,69^x$	0,31	14,65**
Judrusis P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹ / <i>Mobile phosphorus mg kg⁻¹</i>	$Y = 14821,97 \cdot 1,00^x$	0,33	4,04
Judrusis K ₂ O mg kg ⁻¹ / <i>Mobile potassium mg kg⁻¹</i>	$Y = 19128,11 \cdot 0,99^x$	0,23	1,9
Judrusis aliuminis mg kg ⁻¹ / <i>Mobile aluminum mg kg⁻¹</i>	$Y = 15731,74 \cdot 1,01^x$	0,78	52,1**
Organinė anglis mg kg ⁻¹ / <i>Organic carbon mg kg⁻¹</i>	$Y = 34849,74 \cdot 0,81^x$	0,27	14,53**
C : N	$Y = 46001,93 \cdot 0,95^x$	0,29	17,09**
<i>Mineralinį azotą asimiliuojančių bakterijų / Mineral nitrogen assimilating bacteria</i>			
pH	$Y = 1371,55 \cdot 1,28^x$	0,38	5,86*
Dirvožemio drėgnis % / <i>Soil moisture %</i>	$Y = 5644,15 \cdot 0,95^x$	0,37	29,24**
Tyrimų laikas savaitėmis / <i>Research time in weeks</i>	$Y = 3205,74 \cdot 0,99^x$	0,34	18,43**
Bendras azotas % / <i>Total nitrogen %</i>	$Y = 8431,32 \cdot 0,00004^x$	0,34	25,35**
Nitratinis azotas mg kg ⁻¹ / <i>Nitrate nitrogen mg kg⁻¹</i>	$Y = 2591,98 \cdot 1,06^x$	0,39	25,57**
Amoniakinis azotas mg kg ⁻¹ / <i>Ammonium nitrogen mg kg⁻¹</i>	$Y = 2607,97 \cdot 1,70^x$	0,43	32,09**
Judrusis P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹ / <i>Mobile phosphorus mg kg⁻¹</i>	$Y = 7127,08 \cdot 0,99^x$	0,34	4,28*
Judrusis K ₂ O mg kg ⁻¹ / <i>Mobile potassium mg kg⁻¹</i>	$Y = 6354,75 \cdot 0,99^x$	0,27	2,66
Judrusis aliuminis mg kg ⁻¹ / <i>Mobile aluminum mg kg⁻¹</i>	$Y = 5930,99 \cdot 0,99^x$	0,35	4,69*
Organinė anglis mg kg ⁻¹ / <i>Organic carbon mg kg⁻¹</i>	$Y = 1806,94 \cdot 1,94^x$	0,32	21,82**
C : N	$Y = 1588,96 \cdot 1,07^x$	0,34	25,53**

* Ryšys patikimas esant 95% tikimybės lygiui / *Correlation significant at 95% probability level.*** Ryšys patikimas esant 99% tikimybės lygiui / *Correlation significant at 99% probability level.*

mažesnis nei bakterijų, jie yra aktyvesni, greičiau prisitaiko prie pakitusių aplinkos sąlygų. Mikromicetai yra tolerantiški rūgšties dirvožemiams, tačiau mikromicetų išplitimas dirvožemyje sudaro sąlygas patogeninių mikromicetų pagausėjimui [2, 4].

Mineralinį azotą asimiliuojančių bakterijų paplitimas yra vienas humifikacijos indikatorių dirvožemyje. Amonifikacijos procese susidaręs amoniakas nitrifikacijos metu oksiduojamas iki nitratų, kuriuos mineralinį azotą asimiliuojančios bakterijos naudoja savo ląstelių morfologinėms struktūroms formuoti. Šis procesas laikomas svarbiu dirvožemio derlingumo biologiniu rodikliu. Nitrifikatoriai tiksliai atspindi dirvožemio biogeniškumą, susijusį su azoto ištekliais dirvožemyje [3].

Dispersinės analizės rezultatai (5 lentelė) rodo, kad mineralinį azotą asimiliuojančių bakterijų paplitimui didžiausią įtaką turėjo dirvožemio pH ($F = 30,3-14,96$). Duomenys rodo, kad gausus mineralinis tręšimas neigiamai veikė mineralinį azotą asimiliuojančių mikroorganizmų skaičių. Jiems palankiausios sąlygos buvo mažo rūgštumo (pH 5,2–5,7) dirvožemis, patręštas N_{45}, P_{39}, K_{57} .

Palyginus skirtingų tyrimo metų rezultatus (6 lentelė) nustatytas nevienodas tirtų mikroorganizmų skaičius. Tokiai skaičiaus kaitai galėjo turėti įtakos aplinkos veiksniai. Apskaičiavus amonifikuojančių bakterijų skaičiaus priklausomybę nuo aplinkos veiksnių, didžiausias koreliacijos koeficientas nustatytas tarp mikroorganizmų skaičiaus ir ėminių paėmimo laiko. Nustatyti patikimi vidutinio stiprumo koreliaciniai ryšiai tarp amonifikuojančių bakterijų skaičiaus ir tyrimų laiko vegetacijos metu. Taip pat amonifikuojančių bakterijų skaičiui gana didelę įtaką turėjo dirvožemio drėgnis.

Sporinių bakterijų skaičiaus kaitą taip pat labiausiai veikė tyrimų laikas. Bakterijų skaičiaus kaitai taip pat gana didelę įtaką turėjo organinės anglies kiekio dirvožemyje svyravimai. Tarp sporinių bakterijų skaičiaus ir organinės anglies kiekio dirvožemyje nustatytas didžiausias priklausomumas, nors koreliacija buvo silpna.

Palyginus skirtingų tyrimo metų rezultatus, nustatytas nevienodas ir mikromicetų skaičius. Manome, kad tokiai skaičiaus kaitai didžiausią įtaką turėjo dirvožemio pH bei judriojo aliuminio kiekio dirvožemyje svyravimai. Tarp mikromicetų skaičiaus ir judriojo aliuminio kiekio dirvožemyje nustatytas stiprus neigiamas priklausomumas.

Mineralinį azotą asimiliuojančių bakterijų skaičiaus kaitai didžiausią įtaką turėjo amoniakinio azoto kiekio svyravimai dirvožemyje. Tarp mineralinį azotą asimiliuojančių mikroorganizmų skaičiaus ir amoniakinio azoto dirvožemyje nustatytas silpnas koreliacinis priklausomumas.

IŠVADOS

1. Azoto junginius transformuojančių mikroorganizmų paplitimas ir dinamika nepasotintajame balkšvažemyje (JIn-g0) priklausė nuo dirvožemio pH, mineralinio tręšimo ir tyrimų laiko vegetacijos metu.

2. Daugiausia amonifikuojančių bakterijų nustatyta mažo rūgštumo (pH 5,2–5,7) dirvožemyje, patręšus N_{45}, P_{39}, K_{57} . Mineralinis tręšimas amonifikuojančių bakterijų paplitimą veikė nepalankiai. Didžiausias sporinių bakterijų skaičius aptiktas artimame neutraliam (pH >6,7) dirvožemyje, patręšus

N_{45}, P_{39}, K_{57} . Didelė mineralinių trąšų norma ($N_{135}, P_{117}, K_{171}$) slopino sporinių bakterijų veiklą nepriklausomai nuo dirvožemio pH. Mikromicetai gausiausiai išplitę labai rūgščiame (pH <4,7), gausiai tręštame ($N_{135}, P_{117}, K_{171}$) dirvožemyje. Mažėjant dirvožemio rūgštumui, mikromicetų skaičius mažėjo. Mineralinį azotą asimiliuojančias bakterijas palankiausiai veikė mažo rūgštumo (pH 5,2–5,7) dirvožemis patręštas N_{45}, P_{39}, K_{57} .

3. Koreliacinės regresinės analizės duomenimis nustatyti aplinkos veiksnių (dirvožemio agrocheminių savybių bei tyrimų laiko vegetacijos metu) ir dirvožemio skirtingų fiziologinių grupių mikroorganizmų paplitimo dėsniniai. Amonifikuojančių ir sporinių bakterijų paplitimui didžiausią įtaką turėjo tyrimų laikas, mikromicetų – judriojo aliuminio kiekis dirvožemyje, mineralinį azotą asimiliuojančių bakterijų – amoniakinio azoto kiekio kaita dirvožemyje.

Gauta 2007 06 07

Priimta 2007 07 24

Literatūra

1. Arlauskienė E. A. Dirvožemio biologinio aktyvumo rodiklių palyginimas // Žemdirbystė: LŽI ir LŽŪU mokslo darbai. Akademija, 1998. T. 61. P. 72–77.
2. Arlauskienė E. A. Mikroorganizmų paplitimo ir jų cenozių kitimas skirtingos genezės dirvožemiuose // Dirvotyros ir agrochemijos pasiekimai ir uždaviniai žemės reformos bei perėjimo į rinkos ekonomiką metu. Kaunas, 1997. P. 101–105.
3. Arlauskienė E. A. Skirtingų mėšlo normų įtaka mikroorganizmų paplitimui ir amonifikacijos bei nitrifikacijos intensyvumui rūgščiame ir pakalkintame velėniniame jauriniame dirvožemyje // Žemės ūkio mokslai. 1996. Nr. 3. P. 3–11.
4. Bagdonienė V., Arlauskienė E. A. Sėjomainos augalų derliaus ir dirvožemio biologinio aktyvumo priklausomumas nuo judriojo fosforo kiekio dirvožemyje ir tręšimo // Žemdirbystė: LŽI ir LŽŪU mokslo darbai. Akademija, 1999. T. 65. P. 48–62.
5. Barceló J., Poschenrieder Ch. Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminium toxicity and resistance: a review // Environmental and Experimental Botany. 2002. Vol. 48. Iss 1. P. 75–92.
6. Bitton G. Wastewater Microbiology. New York, 1999. 592 p.
7. Brady N. C., Weil R. R. The Nature and Properties of Soils. 12th edition. Prentice Hall, Upper Saddle River. New Jersey, 1999. 880 p.
8. Buivydatė V. V., Vaičys M. Naujoji Lietuvos dirvožemių klasifikacija // Lietuvos dirvožemiai (sud. M. Eidukevičienė, V. Vasiliauskienė). Vilnius: Lietuvos mokslas, 2001. Kn. 32. P. 281–334.
9. Cavigelli M. A., Deming S. R., Probyn L. K. et al. Michigan Field Crop Ecology: Managing Biological Processes for Productivity and Environmental Quality. Michigan State University Extension Bulletin E-2646. 1998. 92 p.

10. Chappell M. A., Evangelou V. P. Influence of added K⁺ on inducing ammonium fixation and inhibition nitrification // *Soil Science*. 2000. Vol. 165. Iss. 5. P. 420–426.
11. Čiuberkienė D., Čiuberkis S., Končius D. Agrocheminių rodiklių, pasėlių piktžolėtumo ir sėjomainos produktyvumo kitimas įvairiai kalkintame ir tręštame dirvožemyje // *Žemdirbystė: LŽI ir LŽŪU mokslo darbai*. Akademija, 2003. T. 83. P. 111–125.
12. Domsch K. H. Biological aspects of soil fertility // *Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture*. Tokyo, Japan, 1977. P. 737–743.
13. Hamdy I. A. Application of nitrogen-fixing systems in soil improvement and management // *Soils Bulletin*. Rome, 1982. Vol. 49. 188 p.
14. Heinrich D., Hergt M. Atlas Ökologie. München, 1998. 280 p.
15. Janušauskaitė D., Mašauskas V. Periodiško tręšimo fosforu ir kaliu įtaka sėjomainos produktyvumui ir dirvožemio biologinėms savybėms // *Žemės ūkio mokslai*. 2006. Nr. 4. P. 11–21.
16. Kalėdienė L. Mikromicetai nafta užterštoje aplinkoje // *Mikroorganizmų veiklos ekologiniai efektai: Tarptautinės konferencijos dalyvių pranešimai*. Vilnius, 1997. P. 24–27.
17. Kalinina K. V., Kozhevina P. A., Zvyagintsev D. G., Sudnitsyn I. I. Peculiarities of microbial successions in the soil in relation to moisture level. *Eurasian Soil Science*. 1997. Vol. 30. Iss. 4. P. 450–453.
18. Klebanovich N. V., Moroz G. V. The influence of liming on the microflora and microbiological characteristics of Belarussian soddy-podzolic soils // *Eurasian Soil Science*. 1998. Vol. 31. Iss. 1. P. 67–70.
19. Krištaponytė I. Tręšimo sistemų palyginimas sunkios granulometrinės sudėties dirvožemiuose // *Žemdirbystė: LŽI ir LŽŪU mokslo darbai*. Akademija, 1996. T. 56. P. 54–56.
20. Lal R. Soil conservation and restoration to sequester carbon the greenhouse effect // *Man and Soil at the Third Millennium*. 2002. Vol. 1. P. 37–51.
21. Lugauskas A., Paškevičius A., Repečkienė J. Patogeniški ir toksiški mikroorganizmai žmogaus aplinkoje. Vilnius, 2002. 440 p.
22. Matarueva I. A. On the evaluation of the microbiological activity of soddy-podzolic soils // *Eurasian Soil Science*. 1998. Vol. 31. Iss. 1. P. 71–79.
23. Motuzas A., Buivydytė V., Danilevičius V., Šleinyš R. *Dirvotyra*. Vilnius, 1996. P. 349–375.
24. Novak J. Dynamika biologicznego i abiotycznego rozkładu niektórych pestycydów w glebie oraz ich wpływ na ilość biomasy żywych mikroorganizmów // *Rozpr. / Akademia Rolnicza w Szczecinie*. 1995. Nr. 169. S. 1–101.
25. Pankhurst C. E. Biodiversity of soil organisms as an indicator of soil health // *Pankhurst E. C. et al. Biological Indicators of Soils Health*. 1997. P. 297–324.
26. Pesticides and Groundwater Contamination < http://ohioline.osu.edu/b820/b820_6.html > 2004
27. Rowell L. D. *Soil science: Methods and Applications*. University of Reading, 1995. P. 303–327.
28. Sakalauskas V. *Statistika su statistika*. Vilnius, 1998. 227 p.
29. Svirskienė A., Antanaitis Š. Dirvožemio biologinio aktyvumo pokyčiai taikant įvairaus intensyvumo žemdirbystės sistemas karbonatingame sekliai glėjiškame rudžemyje // *Žemdirbystė: LŽI ir LŽŪU mokslo darbai*. Akademija, 2002. T. 77. P. 32–45.
30. Šidlauskienė V. Įvairių žemdirbystės sistemų įtaka mikroorganizmų paplitimui kalvoto reljefo dirvožemiuose // *Žemdirbystė: LŽI ir LŽŪU mokslo darbai*. Akademija, 2000. T. 69. P. 201–206.
31. Tarakanovas P., Raudonius S. Agromonių tyrimų duomenų statistinė analizė taikant kompiuterines programas ANOVA, STAT, SPLIT-PLOT iš paketo SELEKCIJA ir IRRISTAT. Akademija, 2003. 63 p.
32. Tortora G. J., Funke B. R., Case C. L. *Microbiology: An Introduction*. 8th edition. Benjamin Cummings, New York, 2003. 944 p.
33. Tu C. M. Effect of selected herbicides on activities of microorganisms in soils // *Journal of Environmental Science and Health, Part. B*. 1996. Vol. 31. N 6. P. 1201–1014.
34. Германова Н. И., Саковец В. И. Почвенно-биологические процессы в осушенных лесах Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 188 с.
35. Гришкан И. Б. Микобиота и биологическая активность почв верховий Колымы. Владивосток: Дальнаука. 1997. 136 с.
36. Жизневская Г. Я., Троицкая Г. Н., Дуброво П. М., Косенько Л. В. Стресс от недостатка азота при неэффективном симбиозе у *Vicia faba* // *Физиология растений*. 1997. Т. 44. № 5. С. 676–682.
37. Звягинцев Д. Г. *Почва и микроорганизмы*. Москва, 1987. 255 с.
38. Минеев В. Г., Гомонова Н. Ф., Зенова Г. М., Скворцова И. Н. Влияние длительного применения средств химизации на агрохимические и микробиологические свойства дерново-подзолистой почвы // *Агрохимия*. 1998. № 5. С. 5–12.
39. Свирскене А. Микробиологические и биохимические показатели при оценке антропогенного воздействия на почвы // *Почвоведение*. 2003. № 2. С. 202–210.
40. Шатохина С. Ф., Христенко С. И. Влияние химикатов на биологическую активность чернозема южного // *Почвоведение*. 1998. № 8. С. 957–963.

Loreta Piaulokaitė-Motuzienė, Donatas Končius

ENVIRONMENTAL FACTORS INFLUENCING THE SPREAD OF MICROORGANISMS PARTICIPATING IN NITROGEN TRANSFORMATION

Summary

Microbiological experiments were carried out at the Vezaiciai Branch of LIA during the period 2001–2004, at different soil pH and fertilization. The soil of the experimental site was *Bathihypogleyi-Dystric Albeluvisol*, with a texture of morain loam. In it, an original, stable microorganism coenosis with settled principles of functioning was formed during 30 years. It would particularly affect the complex of microorganisms participating in nitrogen compounds transformation processes.

Soil samples for microbiological analyses were taken from soils of different pH (<4.7; 4.7–5.2; 5.2–5.7 and >6.7) and at different fertilizer rates (without fertilizers, $N_{45}P_{39}K_{57}$, $N_{135}P_{117}K_{171}$) from the 0–20 cm arable soil layer.

According to the results, ammonifying and mineral nitrogen assimilating microorganisms spread best when soil was low acid (pH 5.2–5.7) and fertilized with $N_{45}P_{39}K_{57}$. The highest amount of spore forming bacteria was established in a close to neutral (pH >6.7) soil. The highest amount of micromycetes was determined in average acidity soil (pH <4.7). While mineral NPK fertilizer rates increased, their amount also increased. The correlation–regression analysis of soil properties (pH, total and mineral nitrogen, organic carbon and soil moisture), nitrogen compounds transformation time and spread of different physiological groups of soil microorganisms revealed the tendencies.

Key words: microorganisms, spread, soil, agrochemical properties

Лорета Пяулокайте-Мотузене, Донатас Конčius

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТРАНСФОРМИРУЮЩИХ АЗОТ ОРГАНИЗМОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Резюме

В 2001–2004 гг. в Вежайчайском филиале Литовского института земледелия проводились микробиологические исследования суглинка различной кислотности, удобренного разными норма-

ми минеральных удобрений. Подопытная почва – дерново-подзолистый глееватый легкий суглинок (*Bathihypogleyi-District Albeluvisol* ABd–gld–w).

В течение 30 лет в почве формировались своеобразные стабильные ценозы микроорганизмов с устоявшимися принципами функционирования. Это особо влияет на комплекс микроорганизмов, участвующих в трансформации азотных сочетаний.

Образцы для микробиологического анализа получены из почвы различных pH-уровней (pH <4,7; 4,7–5,2; 5,2–5,7; >6,7) и удобренной разными нормами минеральных удобрений (за исключением удобрений $N_{45}P_{39}K_{57}$, $N_{135}P_{117}K_{171}$), с глубины 0–20 см почвенного слоя.

Аммонифицированные и ассимилирующие минеральный азот микроорганизмы особенно распространены в почве низкой (pH 5,2–5,7) кислотности, удобренной $N_{45}P_{39}K_{57}$. Споровых бактерий больше всего было выявлено в почве близкой к нейтральной (pH >6,7) кислотности. Самое большое количество микромицетов выявлено в кислой (pH < 4,7) почве, и их число увеличивалось в соответствии с повышением нормы минеральных NPK удобрений. По данным анализа корреляционной регрессии установлена закономерность между фактором окружающей среды и распространением разных физиологических групп почвенных микроорганизмов.

Ключевые слова: микроорганизмы, распространение, почва, агрохимические свойства