

II skyrius. AUGALŲ MITYBA IR AGROEKOLOGIJA

Chapter 2. PLANT NUTRITION AND AGROECOLOGY

ISSN 1392-3196

Žemdirbyste-Agriculture, t. 96, Nr. 2 (2009), p. 35–52

UDK 631.41:631.811.1/3:631.816.2

ILGALAIKIO TRĘŠIMO POVEIKIS DIRVOŽEMIO AGROCHEMINĖMS SAVYBĖMS

Jonas MAŽVILA¹, Jonas ARBAČIAUSKAS¹, Antanas ANTANAITIS¹,
Jadvyga LUBYTĖ¹, Tomas ADOMAITIS¹, Zigmas VAIŠVILA^{1,2}

¹Lietuvos žemdirbystės institutas
Savanorių pr. 287, Kaunas
El. paštas: bandymai@agrolab.lt

²Lietuvos žemės ūkio universitetas
Studentų g. 11, Akademija, Kauno r. sav.
El. paštas: zigmas.vaisvila@lzuu.lt

Santrauka

Tirta ilgalaikio mineralinių NPK trąšų normų ir maisto medžiagų santykio įtaka mineralinio azoto, fosforo bei kalio kaupimuisi, jų migracijai į gilesnius dirvožemio sluoksnius ir įvairių fosforo formų pokyčiams, taip pat Mehlich-3 metodo tinkamumas judriųjų fosforo bei kalio koncentracijoms dirvožemyje nustatyti. Tyrimai atlikti ilgalaikiame 1971 m. įrengtame bandyme, kuris vykdomas moreninės kilmės smėlingo lengvo priemolio sekliai bei giliau karbonatingame giliau glėjiškame rudžemyje (RDg4-k1), *Epicalcari-Endohypogleyic Cambisol* (*CMg-n-w-cap*). Armuo – artimas neutraliam (pH 6,8–7,1), mažo mainų rūgštumo, labai pasotintas bazėmis, vidutinio humusingumo (2,2–2,4 %, Tiurino metodu), mažo (57–90 mg kg⁻¹) fosforingumo ir vidutinio (109–112 mg kg⁻¹) kalingumo.

Vidutiniais 2005–2008 m. tyrimų duomenimis, po ilgalaikio (38 m.) kasmetinio tręšimo pagal įvairias NPK trąšų normas, mineralinio azoto kiekis (KCl ištraukoje) pavasarį ir rudenį dirvožemio 0–30, 30–60 bei 60–90 cm sluoksniuose priklausė nuo panaudotų azoto trąšų normų, jų santykio su fosforo bei kalio trąšomis ir klimato sąlygų. Augalus kasmet P₉₆K₉₆ fone patyrę vidutiniškai pagal 111 kg ha⁻¹ azoto trąšų normą, N_{min.} koncentracija dirvožemio 0–60 ir 0–90 cm sluoksniuose rudenį padidėjo nedaug (1,37 ir 1,17 mg kg⁻¹), tačiau šių trąšų normą fosforo bei kalio trąšų fone padidinus iki 222 kg ha⁻¹, siekė 3,43 ir 3,58 mg kg⁻¹, o be fosforo ir kalio trąšų – atitinkamai net 6,33 ir 5,17 mg kg⁻¹. Rudenį po derliaus nuėmimo dirvožemio 0–60 ir 0–90 cm sluoksniuose buvusi mineralinio azoto koncentracija žiemos laikotarpiu labiausiai sumažėjo pagal didelę (222 kg ha⁻¹) azoto trąšų normą tręštuose laukeliuose.

Dėl ilgalaikio tręšimo fosforo trąšomis didėjo visų frakcijų fosforo kiekis (nustatytas Čango-Džeksono metodu), tačiau labiausiai padidėjo tirpaus vandenyje, nustatyto 1 M NH₄Cl dirvožemio ištraukoje. Fosforu netręštame dirvožemyje jo nustatyta 5,2 mg kg⁻¹, o patyrę pagal 96 ir 192 kg ha⁻¹ fosforo trąšų normas – atitinkamai 76,2 ir 151,4 mg kg⁻¹. Fosforu netręštų laukelių armenyje P₂O₅ koncentracija, nustatyta A-L metodu, buvo 63–117 mg kg⁻¹, o Mehlich-3

– 50–127 mg kg⁻¹. Augalus patręšus pagal vidutinę (96 kg ha⁻¹) P₂O₅ trąšų normą, jo koncentracija buvo atitinkamai 249–317 ir 273–364 mg kg⁻¹, o pagal didelę (192 kg ha⁻¹) – 436–503 ir 390–458 mg kg⁻¹. Judriojo fosforo koncentracija, nustatyta Mehlich-3 metodu, palyginti su A-L, ariamajame sluoksnyje gauta beveik vienoda, o karbonatingame 60–90 cm sluoksnyje – maždaug keturis kartus mažesnė.

Kalio balansui dirvožemyje dažniausiai esant neigiamam arba artimam nuliui, kalio trąšomis netręštuose laukeliuose judriojo kalio A-L metodu nustatyta 90–108, Mehlich-3 – 78–94 mg kg⁻¹, o kalio trąšų normą padidinus iki 192 kg ha⁻¹, K₂O koncentracija dirvožemyje padidėjo atitinkamai iki 158–194 ir 134–173 mg kg⁻¹. A-L ir Mehlich-3 metodais nustatytų judriojo kalio koncentracijos santykis dirvožemio 0–20 cm sluoksnyje buvo 1:0,83, o 60–90 cm sluoksnyje – 1:0,75. Koreliacinis ryšys tarp šiais metodais analizuotų kalio koncentracijų buvo atitinkamai R = 0,98 ir R = 0,71.

Reikšminiai žodžiai: mineralinis azotas, fosforo frakcijos, judrusis kalis, analizės metodai.

Ivadas

Pasaulyje aktuali efektyvaus trąšų panaudojimo ir dirvožemio derlingumo išsaugojimo problema /Parris, 1998/. Tačiau, kaip pažymi M. B. Davidas ir kt. (1997), dėl intensyvios organinės medžiagos mineralizacijos bei gausaus tręšimo azoto trąšomis gerokai padidėja azoto patekimas į gruntinius vandenis.

Anglijoje dirvožemyje iki 90 cm gylio ištyrus mineralinį azotą nustatyta, kad jo kiekis ir pokyčiai rudenį 70 % priklausė nuo augalams išbertų azoto trąšų normų bei organinės medžiagos kiekio armenyje. Rudenį dirvožemyje susikaupęs azotas iš jo per žiemą nebuvo visiškai išplautas, todėl pagal jo kiekį pavasarį galima modeliuoti žemės ūkio augalų tręšimą /Shepherd, Sylvester-Bradley, 1996/.

Švedijoje atliktus tyrimus nustatyta, kad, esant gausiam kritulių kiekiui, mineralinio azoto kiekio pokyčiai ir išplovimas iš dirvožemio 2 m sluoksniu gerokai padidėjo (iki 91 kg ha⁻¹ per metus), kai buvo tręšta pagal didelę (200 kg ha⁻¹) azoto trąšų normą /Bergström, Brink, 1986/. Panašūs rezultatai gauti ir mūsų šalyje, kur 27 m. fosforo bei kalio trąšų fone augalus azotu tręšus vidutiniškai pagal 114 kg ha⁻¹ normą, lizimetrinuose vandenyse nitratų koncentracija padidėjo 66,8 mg l⁻¹, o azoto trąšų normą padidinus iki 228 kg ha⁻¹ – 144,1 mg l⁻¹ ir siekė atitinkamai 159,1 bei 300,8 mg l⁻¹ /Adomaitis ir kt., 2004/.

Dirvožemio derlingumui išlaikyti ir azoto nuostoliams sumažinti svarbu azoto trąšas naudoti tinkamu santykiu su kitais augalų mitybos elementais. Olandijoje atliktus tyrimus nustatyta, kad, esant ilgalaikiam pertekliniam tręšimui azotu, po 24 m. augalams pradėjo trūkti fosforo ir padidėjo azoto išgaravimas į atmosferą /Mohren et al., 1986/.

Panašūs rezultatai gauti ir Lietuvos žemdirbystės institute, kai 15 m. augalus tręšus tik azoto trąšomis, dirvožemyje judriojo P₂O₅ kiekis sumažėjo 55–110 mg kg⁻¹, K₂O – 71–88 mg kg⁻¹ /Petraitienė, 2000/.

Esant vienpusiškam tręšimui azotu, fosforas dažnai tampa derlių ribojančiu veiksniu, o dėl per gausaus tręšimo fosforu dirvožemyje sumažėja kalcio, magnio ir mangano koncentracija /Daugherty et al., 1990/.

Todėl, greta azoto, agronominiu bei ekologiniu atžvilgiu svarbu kontroliuoti ir fosforo dinamiką agroekosistemoje, siekiant nustatyti potencialius jo nuostolius iš dirvožemio ir išvengti paviršinio vandens telkinių eutrofizacijos. Dirvožemyje esantis

fosforo kiekis, nustatytas NaHCO_3 ir rūgšties oksalate, teigiamai koreliavo su jo koncentracija lizimetriniame vandenyje ir išplautu kiekiu /Leinweber et al., 1999/. Didesnė fosfatų išplovimo rizika yra intensyviai ūkininkaujant. Tai patvirtina ir ilgalaikių tyrimų metu gauti rezultatai – taikant intensyvią žemdirbystės sistemą ir gausiai tręšiant organinėmis bei mineralinėmis trąšomis, dirvožemyje fosforo ir kalio junginių kiekis didėja /Prasad, Sinha, 1981/.

Šią problemą geriausia tyrinėti vykdant ilgalaikius tręšimo bandymus, kurių metu sistemingai naudojamos mineralinės trąšos. Labiau nei trumpalaikių, jų metu išryškėja žemės ūkio augalų maisto medžiagų poreikis, jų sąveika, skatinanti geresnę pasisavinimą /Jaakkola et al., 1997; Brett et al., 2006/. Ilgalaikių tręšimo bandymų metu Rotamstede (Anglija), Bad Lauchstede (Vokietija) ir Skierniewicuose (Lenkija) atliktus tyrimus nustatyta, kad, esant azoto, fosforo arba magnio trūkumui, sumažėjo kalio trąšų efektyvumas žemės ūkio augalams, padidėjo šios maisto medžiagos išplovimas iš dirvožemio ariamojo sluoksnio /Blake et al., 1999/. Kinijoje vykdytų bandymų metu nustatyta, kad po gausaus ilgalaikio tręšimo fosforas lengviau mineralizuojasi iš dirvožemio ir gali teršti aplinką /Guo et al., 2008/.

Lietuvoje vykdytų sėjomainų bandymų metu sukaupta gausi tyrimų medžiaga daugiausia apima organinių bei mineralinių trąšų palyginimo ir derinimo klausimus /Krištaponytė, 2001; Bučienė ir kt., 2003/.

Tačiau šiuo metu šalyje nėra daug ilgalaikių (ilgesnių nei 30 m.) bandymų, kurių metu būtų tiriama itin skirtingų mineralinių trąšų normų ir maisto medžiagų santykio įtaka dirvožemio savybėms. Vienas tokių bandymų nuo 1971 m. atliekamas Skėmiuose (Radviliškio r.), smėlingo priemolio rudžemyje, kur po kasmetinio tręšimo įvairiomis NPK trąšų normomis tirtas jų poveikis judriųjų P_2O_5 ir K_2O kiekiui, ekstrahavimui naudojant įvairius tirpiklius /Mažvila ir kt., 2004; 2005/. 1981 m. buvo sukurtas naujas Mehlich-3 metodas /Carter, 1993/. Juo judrieji P_2O_5 ir K_2O tirti Čekijoje, Slovakijoje, Estijoje. Kadangi pastaruoju metu dauguma Europos Sąjungos šalių laboratorijų bendradarbiauja, rengia tręšimo rekomendacijas, priklausomai nuo dirvožemio agrocheminių rodiklių, atsirado būtinybė nustatyti koreliacinius ryšius tarp tyrimo duomenų, gautų tiriant P_2O_5 bei K_2O kieki, ir Mehlich-3 bei A-L metodų, taip pat ištirti, kaip tiksliai šiuo metodu nustatomi judriųjų P_2O_5 bei K_2O kiekio pokyčiai 38 m. kasmet pagal įvairias NPK normas tręštame dirvožemyje.

Tyrimo tikslas – nustatyti ilgalaikio mineralinių NPK trąšų normų ir maisto medžiagų santykio įtaką mineralinio azoto, fosforo bei kalio kaupimuisi, jų migracijai į gilesnius dirvožemio sluoksnius bei įvairių fosforo formų pokyčiams, taip pat Mehlich-3 metodo tinkamumą judriųjų fosforo bei kalio koncentracijai dirvožemyje nustatyti.

Sąlygos ir metodai

Bandymas vykdomas nuo 1971 m. Vidurio Lietuvos žemumos dirvožemyje, susidariusiame ant moreninių nuogulų, turinčiame bendrą moreninės kilmės dirvožemiams būdingų bruožų, smėlingo lengvo priemolio sekliai bei giliau karbonatingame giliau glėjiškame rudžemyje (RDg4-k1), *Epicalcari-Endohypogleyic Cambisol (CMg-n-w-cap)*.

Visuose dirvožemio dirvodariniuose horizontuose vyrauja smėlio (2,0–0,05 mm) frakcija (54,7–70,1 %), mažiau (31,2–23,3 %) – dulkių (0,05–0,002 mm) ir mažiausiai (15,0–6,6 %) – molio (<0,002 mm) dalelių. Molio dalelių išplovimas iš humusingo

Ap horizonto į *Bw* labai nežymus. Šiame horizonte molio (<0,002 mm) dalelių nustatyta 0,9 %, dumblo (<0,001 mm) – 0,6 % daugiau nei humusingame *Ap* horizonte.

Įrengiant bandymą armuo buvo artimas neutraliam (pH 6,8–7,1), mažo mainų rūgštumo (0,3 mmol kg⁻¹, 1 M KCl), turintis daug mainų katijonų, labai pasotintas bazėmis (136,7 mmol kg⁻¹, amonio acetato ištraukoje), vidutinio humusingumo (2,2–2,4 %, Tiurino metodu), mažo fosforingumo (P₂O₅ 57–90 mg kg⁻¹, A-L metodu) ir vidutinio kalingumo (K₂O 109–112 mg kg⁻¹, A-L metodu). Podirvis – šarmiškas, kiek daugiau nei ariamasis sluoksnis turintis judriojo fosforo ir mažiau – judriojo kalio.

Tręšimo bandymas darytas pagal 45 variantų schemą. Tyrimai atlikti tik dalyje tręšimo variantų ir yra pateikti skyriuje „Rezultatai ir jų aptarimas“. Augalai tręšti granuliuotomis trąšomis: amonio salietra, superfosfatu ir kalio chloridu. Bendras bandymų laukelio dydis – 54 m² (9 × 6).

Dirvožemio ėminiai mineralinio azoto (N_{min.}) koncentracijai nustatyti iš dirvožemio 0–30, 30–60 ir 60–90 cm sluoksnių paimti 2005–2008 m. pavasarį, prieš augalų tręšimą azoto trąšomis (balandžio mėnesio antrą dešimtadienį ir rudenį, prieš užšalant, spalio pabaigoje bei lapkričio pradžioje). Tų pačių laukelių dirvožemio ariamajame bei 60–90 cm sluoksniuose nustatyti ir judrieji P₂O₅ bei K₂O.

Dirvožemio cheminės analizės atliktos šiais metodais:

1. Mineralinis azotas (N_{min.} = N-NO₃ + N-NH₄) – kalio chlorido ištraukoje, pagal ISO 14256-2:2005.

2. Judrieji P₂O₅ ir K₂O – Egnerio-Rimo-Domingo (A-L), šiuos junginius ekstrahuojant iš dirvožemio buferiniu tirpalu (pH 3,7), sudarytu iš pieno bei acto rūgšties ir amonio acetato. Dirvožemio ir buferinio tirpalo santykis – 1:20 /Egner und and., 1960/. Dirvožemį tiriant Mehlich-3 metodu, tirpalas sudarytas iš 0,3 M acto rūgšties, 0,015 M amonio fluorida, 0,013 M azoto rūgšties, 0,02 M amonio nitrato bei 0,001 M etilendiaminotetraacto rūgšties, o dirvožemio ir tirpalo santykis – 1:20 /Carter, 1993/.

3. Frakcijų fosforas – Čango-Džeksono /Chang, Jackson, 1957/, modifikuotu D. L. Askinazio ir kt. /Аскинази и др., 1963/, kai 1 M NH₄Cl ištraukoje nustatyti vandenyje tirpūs, silpnai imobilizuoti fosfatai, 0,5 M NH₄F I – AlPO₄ beveik visiškai, CaHPO₄ – didelė dalis, organinis fosforas – iš dalies; 0,5 M NH₄F II – AlPO₄, netirpūs I – ištraukoje, 0,1 M NaOH I – FePO₄ – beveik visiškai, organinis fosforas – didelė dalis, 0,1 M NaOH II – Al(Fe)PO₄, organinis fosforas, o 1 M H₂SO₄ ištraukoje nustatyta daugiausia kalcio ir iš dalies geležies fosfatų.

Fosforo bei kalio kiekis trąšose ir dirvožemyje išreikštas oksidais – P₂O₅ ir K₂O. Fosforo bei kalio balansas dirvožemyje apskaičiuotas iš žemės ūkio augalų pagrindinėje ir šalutinėje produkcijoje sukaupto maisto medžiagų kiekio atėmus tręšimo fosforu arba kaliu normą. Bandymų duomenys statistiškai apdoroti programomis *Stat* ir *Anova* /Clewer, Scarisbrick, 2001/.

Bandymų vykdymo metais oro sąlygos buvo nevienodos. Žiemos metu (gruodį, sausį ir vasarį) kritulių dažniausiai iškrito mažiau už daugiametį vidurkį, ypač jų trūko 2005–2006 m. žiemą. Kitais tyrimų metais žiemos metu kai kuriais mėnesiais kritulių kiekis tik epizodiškai viršijo daugiametį vidurkį. Tai galėjo turėti įtakos ne tik mineralinio azoto, bet ir kitų cheminių elementų kiekio pokyčiams dirvožemyje. Per šį laikotarpį oro temperatūra dažniausiai buvo artima vidutinei daugiametei, tačiau kai kuriais žiemos mėnesiais 2,8–5,0 °C viršijo daugiametį vidurkį. 2006–2007 m. žiema buvo gana

šilta – neigiama oro temperatūra nustatyta tik vasario mėnesį. Tai sudarė palankias sąlygas azoto junginius išplauti į gruntinius vandenis. Palankios sąlygos jų išplovimui iš dirvožemio buvo ir 2007 m. liepos mėn., nes iškrito daug kritulių, o rugpjūtį buvo karšta – vidutinė oro temperatūra siekė net +18,5 °C.

Rezultatai ir jų aptarimas

Mineralinio azoto pokyčiai dirvožemyje dėl ilgalaikio tręšimo. Po sistemingo ilgalaikio (38 m.) žemės ūkio augalų tręšimo mineralinėmis trąšomis dirvožemio trijuose sluoksniuose pavasarį ir rudenį ištyrus mineralinio azoto ($N_{min.}$) kiekį nustatyta, kad jis priklausė nuo azoto trąšų normų, jų santykio su fosforo bei kalio trąšų normomis ir klimato sąlygų. Daugiausia mineralinio azoto nustatyta dirvožemio 0–30 cm sluoksnyje (5,63–9,61 mg kg⁻¹) (1 lentelė). Gilesniuose dirvožemio sluoksniuose jo buvo kiek mažiau: 30–60 cm pavasarį – 3,63–7,34 mg kg⁻¹, rudenį – daugiau, kai kurių variantų dirvožemyje – iki 19,46 mg kg⁻¹, 60–90 cm pavasarį – 2,54–7,60 mg kg⁻¹, rudenį – 2,01–10,48 mg kg⁻¹. Esminis mineralinio azoto pokytis 0–30 cm ir gilesniuose sluoksniuose, palyginti su jo kiekiu netręštų laukelių dirvožemyje, nustatytas vien tik pagal didelę (222 kg ha⁻¹) azoto trąšų normą tręštuose laukeliuose. Tačiau kai pagal šią azoto trąšų normą tręšta kartu su fosforo bei kalio trąšomis, mineralinio azoto kiekis dirvožemio viršutiniame sluoksnyje mažai skyrėsi nuo jo kiekio, nustatyto pagal vidutinę (111 kg ha⁻¹) azoto trąšų normą tręštų arba azotu visiškai netręštų laukelių dirvožemyje.

Įvertinus dirvožemyje esančio mineralinio azoto koncentracijos priklausomumą nuo mineralinių NPK trąšų normų ir jų santykio, visuose sluoksniuose nustatytas stiprus ir esminis ryšys pavasarį – $R = 0,65–0,84$ ir rudenį – $R = 0,72–0,94$. Pagal regresijos lygties rodiklius, nuo azoto trąšų mineralinio azoto kiekis įvairiuose (0–30, 30–60, 60–90, 0–60 ir 0–90 cm) dirvožemio sluoksniuose didėjo, o nuo fosforo bei kalio trąšų ir azoto bei kalio trąšų sąveikos mažėjo (2 lentelė).

Azoto trąšų įtaką dirvožemio ekologinei būklei geriausia vertinti rudenį, ištyrus augalų vegetacijos metu nesunaudotą dirvožemyje likusį mineralinio azoto kiekį. Švedijoje atliktų tyrimų duomenimis, po derliaus nuėmimo daug azoto likučių susikaupė išbėrus tik didelę (N_{200}) azoto trąšų normą. O augalų netręšus azotu arba patręšus pagal vidutinę (N_{100}) normą, dirvožemio 2 m sluoksnyje mineralinio azoto rasta nedaug – 45 ir 70 kg ha⁻¹ /Bergström, Brink, 1986/. Panašūs tyrimų rezultatai gauti ir Anglijoje. Augalus patręšus pagal optimalią azoto trąšų normą, rudenį pastebėta tik mineralinio azoto kiekio dirvožemyje didėjimo tendencija. Ryškus azoto junginių padidėjimas nustatytas, kai augalai patręšti pagal didesnes šių trąšų normas /Chaney, 1990/.

Tyrimo metu 2005–2008 m. rudenį visai netręštuose arba tik fosforo bei kalio trąšomis tręštuose laukeliuose mineralinio azoto koncentracija dirvožemio 0–60 ir 0–90 cm sluoksniuose buvo atitinkamai 4,11–4,22 ir 3,42–3,70 mg kg⁻¹, o tai 0,55–0,60 ir 0,32–0,64 mg kg⁻¹ mažiau, palyginti su pavasarį buvusiu kiekiu (1 lentelė).

Augalus kasmet $P_{96}K_{96}$ fone patręšus pagal 111 kg ha⁻¹ azoto trąšų normą, per vasarą mineralinio azoto koncentracija dirvožemio 0–90 cm sluoksnyje padidėjo nedaug – 1,17 mg kg⁻¹, o tą pačią normą azoto išbėrus be fosforo ir kalio trąšų – 2,44 mg kg⁻¹. Tačiau NPK trąšų normų santykio įtaka mineralinio azoto pokyčiams dirvožemyje ypač išryškėjo, kai augalai buvo patręšti pagal didelę (222 kg ha⁻¹) azoto trąšų normą. Augalus pagal šią azoto trąšų normą patręšus $P_{96}K_{96}$ fone, mineralinio azoto koncentracija šiame

sluoksnyje per vasarą padidėjo 3,58 mg kg⁻¹, o tą pačią normą azoto išbėrus be fosforo ir kalio trąšų – net 5,17 mg kg⁻¹. Todėl tręšiant pagal dideles azoto trąšų normas, ypač kai augalams trūksta fosforo ir kalio, padidėja gruntinio vandens tarša azoto junginiais. Tai rodo ir rudenį gerokai padidėjęs mineralinio azoto kiekis kai kuriuose (30–60 ir 60–90 cm) dirvožemio sluoksniuose, iš kurių žiemos ir pavasario metu azotas gali migruoti dar giliau.

1 lentelė. Mineralinio azoto koncentracija (mg kg⁻¹) ir jos pokyčiai dirvožemyje dėl ilgalaikio tręšimo

Table 1. The effect of long-term fertilisation on the concentration of mineral nitrogen (mg kg⁻¹) and its changes in the soil

Skėmiai, 2005–2008 m.

Vidutinė metinė (38 m.) trąšų norma kg ha ⁻¹ m ⁻¹ <i>Annual average (38 yrs) fertiliser rate kg ha⁻¹ yr⁻¹</i>	Dirvo- žemio ėminių gylis <i>Sampling depth cm</i>	N _{min.} koncentracija dirvožemyje <i>N_{min.} concentration in the soil mg kg⁻¹</i>		N _{min.} pokyčiai dirvožemyje <i>Changes of N_{min.} in the soil mg kg⁻¹</i>			
		pavasariį <i>in spring</i>	rudenį <i>in autumn</i>	pavasario ir rudens laikotarpiu <i>during spring- autumn period</i>		rudens ir pavasario laikotarpiu* <i>during autumn spring- period</i>	
				3	4	5	6
	0–30	5,80	5,35	-0,45	-0,58		
N ₀	30–60	3,63	2,92	-0,71	0,16		
P ₀	60–90	2,75	2,01	-0,74	-0,27		
K ₀	0–60	4,71	4,11	-0,60	-0,07		
	0–90	4,06	3,42	-0,64	-0,24		
	0–30	5,64	5,63	-0,01	-0,02		
N ₉₆	30–60	3,90	2,81	-1,09	0,38		
P ₉₆	60–90	2,54	2,65	0,11	-0,18		
K ₉₆	0–60	4,77	4,22	-0,55	0,18		
	0–90	4,02	3,70	-0,32	0,06		
	0–30	6,69	9,61	2,92	-3,33		
N ₁₁₁	30–60	5,89	7,60	1,71	-1,22		
P ₀	60–90	4,48	7,15	2,67	-2,16		
K ₀	0–60	6,29	8,61	2,32	-2,28		
	0–90	5,68	8,12	2,44	-2,41		
	0–30	6,94	8,06	1,12	-0,87		
N ₁₁₁	30–60	5,26	6,95	1,69	-2,02		
P ₉₆	60–90	3,45	4,35	0,90	-1,69		
K ₉₆	0–60	6,10	7,47	1,37	-1,44		
	0–90	5,26	6,43	1,17	-1,65		

1 lentelės tęsinys
Table 1 continued

1	2	3	4	5	6
	0–30	8,53	9,02	0,49	–1,87
N ₂₂₂	30–60	7,34	19,46	12,12	–10,47
P ₀	60–90	7,60	10,48	2,88	–2,29
K ₀	0–60	7,92	14,25	6,33	–6,18
	0–90	7,82	12,99	5,17	–3,47
	0–30	7,54	8,96	1,42	–0,80
N ₂₂₂	30–60	5,75	11,16	5,41	–2,27
P ₉₆	60–90	4,60	8,45	3,85	–2,84
K ₉₆	0–60	6,63	10,06	3,43	–1,56
	0–90	5,96	9,54	3,58	–2,13
	0–30	1,025	1,094	0,128	0,175
	30–60	0,807	1,269	0,477	0,392
R ₀₅ / LSD ₀₅	60–90	0,683	0,858	0,250	0,248
	0–60	0,890	1,143	0,307	0,272
	0–90	0,786	1,015	0,273	0,255

Pastaba / Note. * – rudens ir pavasario laikotarpio N_{min.} pokyčiai gauti iš pavasarį esančios azoto koncentracijos dirvožemyje atėmus buvusią rudenį / changes in N_{min} during the autumn and spring period obtained having deducted nitrogen concentration in the soil in the autumn from that present in the soil in spring.

Vėlyvo rudens ir pavasario laikotarpiu azoto trąšomis netręštuose laukeliuose mineralinio azoto koncentracija dirvožemio 0–60 ir 0–90 cm sluoksniuose per žiemą beveik nepakito, o 222 kg ha⁻¹ azoto išbėrus be fosforo ir kalio trąšų jo koncentracija pavasarį buvo atitinkamai 6,18 ir 3,47 mg kg⁻¹ mažesnė, palyginti su buvusia rudenį. Kai augalai pagal tą pačią azoto trąšų normą kasmet tręšti P₉₆K₉₆ fone, azoto junginių koncentracija šiuose dirvožemio sluoksniuose per žiemą sumažėjo atitinkamai tik 1,56 ir 2,13 mg kg⁻¹. Kasmet augalus patręšus pagal vidutinę (111 kg ha⁻¹) azoto trąšų normą, mineralinio azoto koncentracijos pokyčiai dirvožemio 0–90 cm sluoksnyje per žiemą buvo mažesni: jas išbėrus P₉₆K₉₆ fone, sumažėjo 1,65, o be fosforo ir kalio trąšų – 2,41 mg kg⁻¹.

Gauti tyrimų duomenys atskleidžia, jog šalies klimato sąlygomis labai rizikinga ir nuostolinga ilgą laiką augalus vienpusiškai tręšti ne tik pagal dideles, bet ir pagal vidutines azoto trąšų normas, nes dažniausiai nemaža dalis azoto likučių išplaunama į gruntinius vandenis.

2 lentelė. Dirvožemio mineralinio azoto koncentracijos (y) priklausomumas nuo mineralinių trąšų normų ir maisto medžiagų santykio (a)

Table 2. The dependence of soil agrochemical indexes (y) on mineral fertiliser rates and nutrient interaction (a)

Gylis Depth cm	Lygties koeficientų reikšmės / Coefficients values of equation $y = a_0 + a_1 N + a_2 P + a_3 K + a_4 N^2 + a_5 P^2 + a_6 K^2 + a_7 NP + a_8 NK + a_9 PK$										R	n
	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇	a ₈	a ₉		
<i>N_{min.} pavasarį mg kg⁻¹ / N_{min.} in spring mg kg⁻¹</i>												
0–30	5,74	0,015	-0,018	-0,0064	-1,3·10 ⁻⁵	1,11·10 ⁻⁵	-1,9·10 ⁻⁵	5,62·10 ⁻⁵	-2,73·10 ⁻⁵	0,00011	0,65	40
30–60	3,01	0,0093	-0,012	-0,0077	1,77·10 ⁻⁶	5,66·10 ⁻⁵	3,18·10 ⁻⁵	2,39·10 ⁻⁵	-8,69·10 ⁻⁶	-4,10·10 ⁻⁶	0,83	40
60–90	2,35	0,0079	-0,011	-0,011	5,53·10 ⁻⁵	0,00012	9,55·10 ⁻⁵	-4,08·10 ⁻⁵	-7,63·10 ⁻⁶	-0,00011	0,75	40
0–60	4,37	0,012	-0,015	-0,0070	-5,6·10 ⁻⁶	3,39·10 ⁻⁵	6,04·10 ⁻⁶	4,00·10 ⁻⁵	-1,80·10 ⁻⁵	5,27·10 ⁻⁵	0,77	40
0–90	3,70	0,011	-0,014	-0,0082	1,47·10 ⁻⁵	6,28·10 ⁻⁵	3,59·10 ⁻⁵	1,31·10 ⁻⁵	-1,45·10 ⁻⁵	-5,36·10 ⁻⁷	0,84	40
<i>N_{min.} rudenį mg kg⁻¹ / N_{min.} in autumn mg kg⁻¹</i>												
0–30	5,18	0,0053	0,013	-0,0014	5,3·10 ⁻⁵	-1,9·10 ⁻⁵	4,51·10 ⁻⁵	-9,19·10 ⁻⁶	1,14·10 ⁻⁵	-0,00012	0,72	40
30–60	2,41	0,019	0,0014	-0,0061	0,00013	-5,8·10 ⁻⁶	-2,4·10 ⁻⁶	-6,85·10 ⁻⁵	-3,17·10 ⁻⁵	5,28·10 ⁻⁵	0,82	40
60–90	1,63	0,0040	-0,002	0,0034	0,00012	3,87·10 ⁻⁵	-5,5·10 ⁻⁵	-7,81·10 ⁻⁵	8,83·10 ⁻⁷	1,38·10 ⁻⁵	0,94	40
0–60	3,79	0,012	0,0072	-0,0038	9,0·10 ⁻⁵	-1,2·10 ⁻⁵	1,05·10 ⁻⁵	-3,89·10 ⁻⁵	-1,01·10 ⁻⁵	-3,43·10 ⁻⁵	0,79	40
0–90	3,07	0,0093	0,0042	-0,0014	9,9·10 ⁻⁵	4,58·10 ⁻⁶	-1,1·10 ⁻⁵	-5,19·10 ⁻⁵	-6,47·10 ⁻⁶	-1,83·10 ⁻⁵	0,89	40

Fosforo kiekis įvairiose frakcijose ir jo pokyčiai dėl ilgalaikio tręšimo.

Užsienio autorių duomenimis, dėl tręšimo didėja visų formų dirvožemyje esančio fosforo kiekis, o nevienodo tirpumo fosforo junginiai yra dinaminės pusiausvyros /Zhang et al., 2006/. JAV įvairiuose dirvožemiuose ištyrus ilgalaikio tręšimo fosforo trąšomis įtaką judriojo fosforo kiekiui nustatyta, kad, dirvožemyje siekiant išlaikyti beveik optimalų judriojo fosforo kiekį (P – 16–20 mg kg⁻¹, Brėjo metodu), reikia išberti vidutiniškai 13–17 kg ha⁻¹ P, o šio elemento išbėrus 17–28 kg ha⁻¹, judriojo fosforo kiekis dirvožemyje kasmet padidėdavo 1 mg kg⁻¹ /Dodd, Mallarino, 2005/. Mineralinių fosfatų tirpumas yra svarbi augalų mitybos problema ir priklauso nuo įvairių dirvožemio savybių. Didelė jų dalis yra sunkiai tirpstantys fosfatų frakcijose ir tampa augalų nepasisavinami arba mažai pasisavinami. Suomijoje dirvožemio fosforo frakcijų tyrimus atlikus Čango-Džeksono metodu nustatyta, kad augalai daugiausia panaudoja NH₄F, mažiau – NaOH ekstrahuojamą fosforą /Aslyng, 1964/.

Šio ilgalaikio tręšimo bandymo dirvožemyje fosforo formas ištyrus Čango-Džeksono metodu nustatyta, kad fosforo trąšomis netręštų laukelių augalų lengviausiai pasisavinimų vandenyje tirpių fosfatų 1 M NH₄Cl ištraukoje rasta mažiausiai – tik 5,2 mg kg⁻¹ (3 lentelė). Daugiausia fosforo – atitinkamai 251,2 ir 245,3 mg kg⁻¹ – ištirpo 0,1 M NaOH I (geležies fosfatai – strengitas, difrenitas bei kt. ir didelis kiekis organinių fosfatų) ir 0,5 M H₂SO₄ (pagrindiniai kalcio fosfatai – dikalcio fosfatas, ortokalcio fosfatas, apatitai bei kt. ir nedidelis kiekis geležies fosfatų) ištraukose. Nemažai fosforo (175,3 mg kg⁻¹) ištirpo 0,5 M NH₄F I ištraukoje (aluminio fosfatai – variscitas, vafelitas bei kt. – ištirpo beveik visiškai, CaHPO₄ – didelė dalis, organiniai fosfatai – iš dalies).

Daug (122,4 mg kg⁻¹) fosforo ištirpo ir 0,1 M NaOH II ištraukoje, nemažai (153,8 mg kg⁻¹) jo liko neištirpusio visose ištraukose.

3 lentelė. Ilgalaikio tręšimo įvairiomis trąšų normomis įtaka frakcijų fosforo koncentracijai dirvožemyje

Table 3. The effect of long-term fertilisation with different fertiliser rates on phosphorus fractions in the soil

Tirpiklis <i>Solution</i>	Fosforo frakcijos <i>Phosphorus fractions</i>	Fosforo trąšų normos kg ha ⁻¹ N ₁₁₁ K ₉₆ fone <i>Phosphorus fertiliser rates kg ha⁻¹ on background N₁₁₁K₉₆</i>		
		0	96	192
		P ₂ O ₅ koncentracija dirvožemyje mg kg ⁻¹ ir santykiniai pokyčiai / P ₂ O ₅ concentration in the soil and relative changes		
1 M NH ₄ Cl	mineralinis / <i>mineral</i>	5,2 : 1	76,2 : 14,6	151,4 : 29,1
	mineralinis / <i>mineral</i>	116,9 : 1	167,8 : 1,43	267,6 : 2,29
0,5 M NH ₄ F I	organinis / <i>organic</i>	58,4 : 1	90,8 : 1,55	104,9 : 1,80
	suma / <i>sum</i>	175,3 : 1	258,6 : 1,47	372,5 : 2,12
	mineralinis / <i>mineral</i>	10,9 : 1	8,3 : 0,76	12,6 : 1,16
0,5 M NH ₄ F II	organinis / <i>organic</i>	6,4 : 1	18,0 : 2,81	18,8 : 2,94
	suma / <i>sum</i>	17,3 : 1	26,3 : 1,52	31,4 : 1,81
	mineralinis / <i>mineral</i>	107,4 : 1	174,4 : 1,62	210,6 : 1,96
0,1 M NaOH I	organinis / <i>organic</i>	143,8 : 1	217,4 : 1,51	223,2 : 1,55
	suma / <i>sum</i>	251,2 : 1	391,8 : 1,16	433,8 : 1,73
	mineralinis / <i>mineral</i>	16,8 : 1	16,8 : 1,00	20,7 : 1,23
0,1 M NaOH II	organinis / <i>organic</i>	105,6 : 1	121,6 : 1,15	135,6 : 1,28
	suma / <i>sum</i>	122,4 : 1	138,4 : 1,13	156,3 : 1,28
1 M H ₂ SO ₄	mineralinis / <i>mineral</i>	245,3 : 1	327,4 : 1,33	339,8 : 1,38
Iš viso mineralinių / <i>Total mineral</i>		502,5 : 1	770,9 : 1,53	1002,7 : 2,0
Iš viso organinių / <i>Total organic</i>		314,2 : 1	447,8 : 1,42	482,5 : 1,54
Iš viso mineralinių ir organinių <i>Total mineral and organic</i>		816,7 : 1	1218,7 : 1,49	1485,2 : 1,82
Suminis neekstrahuoto P kiekis <i>Unextractable total P</i>		153,8 : 1	156,8 / 1,02	165,5 / 1,08

Dėl ilgalaikio tręšimo fosforo trąšomis fosforo kiekis didėjo visose frakcijose, tačiau įvairių fosforo formų kiekio padidėjimas nebuvo proporcingas. Vandenyje tirpaus 1 M NH₄Cl ištraukoje nustatyto fosforo kiekis, fosforo trąšų normą padidinus nuo 0 iki 96 ir 192 kg ha⁻¹, nuosekliai didėjo nuo 5,2 iki atitinkamai 76,2 ir 151,4 mg kg⁻¹. Dėl tręšimo labai pasikeitė ir 0,5 M NH₄F I ištraukoje tirpstančio fosforo kiekis – nuo

175,3 mg kg⁻¹ fosforo trąšomis netręštuose laukeliuose iki 372,5 mg kg⁻¹ patręšus pagal 192 kg ha⁻¹ fosforo trąšų normą (padidėjo ne tik mineralinių, bet ir organinių fosfatų kiekis). Dėl fosforo trąšų poveikio organinio fosforo kiekis itin padidėjo (nuo 143,8 iki 223,2 mg kg⁻¹) jį nustačius 0,1 M NaOH I ištraukoje, nors patręšus pagal 192 kg ha⁻¹ fosforo trąšų normą šios formos fosforo kiekis, palyginti su 96 kg ha⁻¹ fosforo trąšų norma, padidėjo tik 5,8 mg kg⁻¹. Pagal panašią tendenciją keitėsi ir 0,5 M H₂SO₄ tirpiklyje nustatytas fosforo kiekis: išbėrus 96 kg ha⁻¹ fosforo trąšų, ištraukoje šios maisto medžiagos kiekis padidėjo 82,1 mg kg⁻¹, o trąšų normą padidinus iki 192 kg ha⁻¹, šių formų fosfatų kiekis dirvožemyje padidėjo tik 94,5 mg kg⁻¹. Patręšus fosforo trąšomis, nors ir negausiai, tačiau dalis fosforo virto augalų beveik nepasisavinamų formų fosfatais, netirpstančiais nė viename iš naudotų tirpiklių. Ši tendencija labiau išryškėjo, kai tręšta pagal didelę (192 kg ha⁻¹) fosforo trąšų normą, nes patręšus 96 kg ha⁻¹ netirpių fosfatų kiekis dirvožemyje turėjo tendenciją didėti tik nuo 153,8 (be fosforo trąšų) iki 156,8 mg kg⁻¹, o išbėrus 192 kg ha⁻¹ fosforo trąšų – iki 165,5 mg kg⁻¹.

Dirvožemio fosforo frakcijos sudėčiai taip pat turi įtakos naudojamų mineralinių trąšų rūšis, organinės trąšos, kalkinimas, žemės dirbimas /Makarov, 2003; Končius, 2007). Tačiau augalai mitybai tiesiogiai gali panaudoti tik dirvožemio tirpale esantį fosforą /Barber, 1984/.

Judriojo fosforo kiekio, nustatyto A-L ir Mehlich-3 metodais, pokyčiai dirvožemyje dėl ilgalaikio tręšimo. Įvairiose šalyse, esant skirtingiems dirvožemiams, ne visi analizių metodai vienodai tinka judriojo fosforo koncentracijai dirvožemyje nustatyti. Danijos mokslininkai nurodo, kad judriojo fosforo kiekiui dirvožemyje tirti geriausiai tinka anijonų mainais pagrįsti fosforo analizės metodai /Sibbesen, 2006/. Lietuvoje ankstesniais metais atlikus tyrimus nustatyta, kad judriojo fosforo kiekiui dirvožemyje analizuoti tinka A-L metodas /Mažvila ir kt., 2005/, tačiau kai kuriose Europos šalyse taikomas ir Mehlich-3 metodas /Carter, 1993/.

Tyrimų duomenimis, augalus sėjomainoje 38 m. tręšiant pagal įvairias NPK trąšų normas (iki 192 kg ha⁻¹), judriojo P₂O₅ kiekis dirvožemyje priklauso nuo fosforo trąšų normų ir jų santykio su azotu bei kaliumu. Fosforu netręštų laukelių dirvožemio 0–20 cm sluoksnyje P₂O₅ koncentracija, nustatyta A-L metodu, buvo 63–117 mg kg⁻¹, Mehlich-3 metodu – 50–127 mg kg⁻¹, o patręšus pagal vidutinę (96 kg ha⁻¹) trąšų normą buvo atitinkamai 249–317 ir 273–364 mg kg⁻¹, pagal didelę (192 kg ha⁻¹) – 436–503 ir 390–458 mg kg⁻¹ (4 lentelė). Dėl tręšimo azoto ir kalio trąšomis judriojo fosforo koncentracija šiame dirvožemio sluoksnyje turėjo tendenciją mažėti. Dėl fosforo trąšų įtakos fosforo koncentracija padidėjo ir dirvožemio 60–90 cm sluoksnyje.

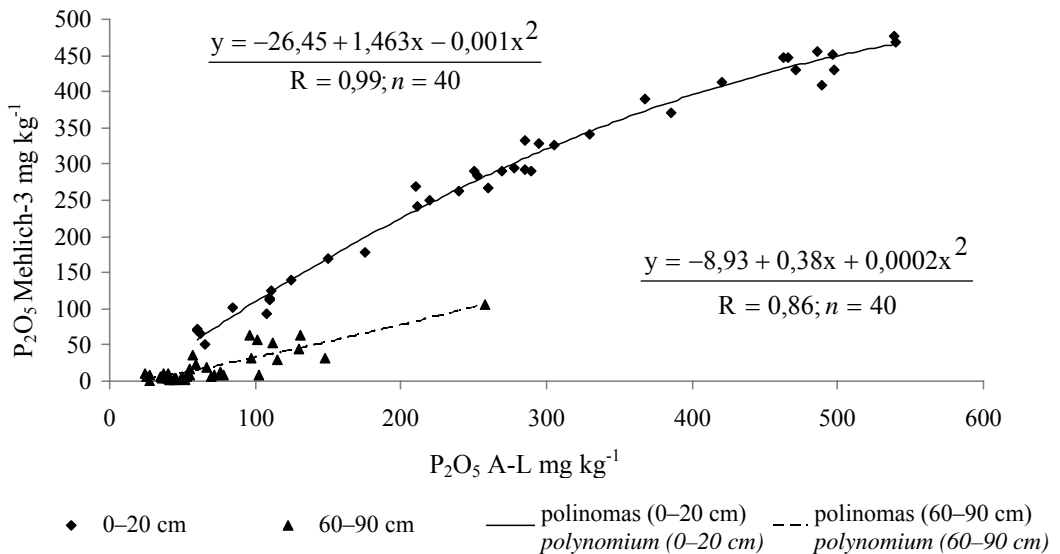
Atkreiptinas dėmesys, kad dirvožemyje mažesnis judriojo fosforo kiekis buvo tuose fosforu netręštuose laukeliuose, kurie tręšti azotu arba daugelį metų tręšti pagal mažas (N₃₇P₃₂K₃₂) trąšų normas ir gautas teigiamas judriojo P₂O₅ balansas. Siekiant teigiamo judriojo P₂O₅ balanso, pagal didesnes azoto ir kalio normas tręšiamuose laukeliuose reikėtų išberti 40–60 kg ha⁻¹ fosforo trąšų.

4 lentelė. Ilgalaikio tręšimo įtaka judriojo fosforo koncentracijai dirvožemyje

Table 4. The effect of long term fertilisation on mobile phosphorus concentration in the soil
Skėmiai, 2005–2008 m.

Tręšimo normos kg ha^{-1} <i>Fertiliser rates kg ha^{-1}</i>			P ₂ O ₅ balansas dirvožemyje <i>P₂O₅ balance in the soil</i>	A-L		Mehlich-3		Santykis / <i>Ratio</i> A-L : Mehlich-3	
N	P ₂ O ₅	K ₂ O		Gylis / <i>Depth cm</i>				0–20	60–90
				0–20	60–90	0–20	60–90		
				P ₂ O ₅ mg kg^{-1}					
0	0	0	–15,3	83	43	102	4	1 : 1,23	1 : 0,09
111	0	0	–22,3	63	33	50	4	1 : 0,79	1 : 0,12
111	0	96	–21,2	96	48	82	6	1 : 0,85	1 : 0,12
222	0	0	–29,9	117	34	127	8	1 : 1,09	1 : 0,23
222	0	96	–27,7	86	40	89	3	1 : 1,03	1 : 0,08
222	0	192	–24,6	78	46	100	4	1 : 1,28	1 : 0,22
37	32	32	3,0	204	92	281	25	1 : 1,38	1 : 0,27
74	64	64	24,8	257	87	275	9	1 : 1,07	1 : 0,10
0	96	96	65,9	263	56	302	10	1 : 1,15	1 : 0,18
111	96	0	56,9	317	88	361	20	1 : 1,14	1 : 0,23
111	96	96	48,1	295	71	310	30	1 : 1,05	1 : 0,42
111	96	192	50,2	249	63	273	13	1 : 1,10	1 : 0,21
222	96	0	57,5	282	40	310	8	1 : 1,10	1 : 0,20
222	96	96	47,6	286	95	364	31	1 : 1,27	1 : 0,33
222	96	192	45,0	274	39	336	7	1 : 1,23	1 : 0,18
0	192	192	161,7	503	62	458	28	1 : 0,91	1 : 0,45
111	192	96	139,8	499	78	441	44	1 : 0,88	1 : 0,56
222	192	0	146,0	436	84	390	18	1 : 0,89	1 : 0,21
222	192	96	134,9	501	114	462	48	1 : 0,92	1 : 0,42
222	192	192	130,0	458	149	434	59	1 : 0,95	1 : 0,40
Vidurkis / <i>Average</i>				267	68	277	19	1 : 1,07	1 : 0,25
R ₀₅ / <i>LSD</i> ₀₅				42,6	14,0	20,5	3,9		

A-L ir Mehlich-3 metodais nustatytos fosforo koncentracijos santykis dirvožemio 0–20 cm sluoksnyje buvo vidutiniškai 1:1,07, o 60–90 cm sluoksnyje, kur dirvožemis karbonatingas – tik 1:0,25. Tai rodo, kad dirvožemio ariamajame sluoksnyje šiais metodais nustatyta judriojo fosforo koncentracija santykinai labai panaši, o 60–90 cm sluoksnyje fosforo Mehlich-3 metodu randama žymiai mažiau nei A-L metodu. Taip pat gerokai glaudesnis ($R = 0,99$) koreliacinis ryšys tarp šiais metodais nustatytų judriojo fosforo koncentracijų gautas dirvožemio 0–20 cm nei 60–90 cm sluoksnyje ($R = 0,86$), o regresinio priklausomumo kreivės nesutampa (1 pav.).



1 paveikslas. Judriojo fosforo koncentracijos dirvožemyje, nustatytos Mehlich-3 metodu, priklausomumas nuo jos koncentracijos, nustatytos A-L metodu
Figure 1. The dependence of mobile phosphorus concentration in the soil determined using Mehlich-3 method on its concentration using A-L method

Judriojo kalio kiekio, nustatyto A-L ir Mehlich-3 metodais, pokyčiai dirvožemyje dėl ilgalaikio tręšimo. Dirvožemyje dažniausiai esant neigiamam kalio balansui, jo koncentracijos pokyčiai yra mažesni nei fosforo. Tačiau jame yra dideli įvairių formų kalio rezervai, todėl augalų sunaudotas kalis dirvožemio tirpale gali būti papildomas kitomis jo formomis /Greenwood, Karpinets, 1997/.

Ilgalaikis tręšimas kalio trąšomis judriojo kalio koncentraciją iš esmės padidino tik dirvožemio 0–20 cm sluoksnyje (5 lentelė). Kalio trąšomis netręštuose laukuose jo koncentracija, nustatyta A-L metodu, buvo 90–108 mg kg⁻¹, o ilgą laiką kasmet tręšus vidutiniškai pagal 192 kg ha⁻¹ kalio trąšų normą – 158–194 mg kg⁻¹. Dirvožemio 60–90 cm sluoksnyje esančiai judriojo kalio koncentracijai tręšimas įtakos beveik neturėjo.

Judriojo K₂O kiekis dirvožemyje po ilgalaikio (38 m.) kasmetinio tręšimo pagal įvairias NPK trąšų normas labiausiai priklausė nuo kalio trąšų normų, tačiau nemaža įtakos turėjo ir tręšimas azotu bei fosforu. Kalio trąšomis netręštų laukelių dirvožemio 0–20 cm sluoksnyje kalio, nustatyto A-L metodu, rasta 90–108, o Mehlich-3 – 78–94 mg kg⁻¹. Jo koncentracija nežymiai padidėjo, augalus patręšus pagal 96 kg ha⁻¹ K₂O normą – taikant A-L metodą jo rasta iki 109–140, o Mehlich-3 – iki 91–112 mg kg⁻¹. Kalio trąšų normą padidinus iki 192 kg ha⁻¹, judriojo kalio koncentracija padidėjo atitinkamai iki 158–194 ir 134–173 mg kg⁻¹.

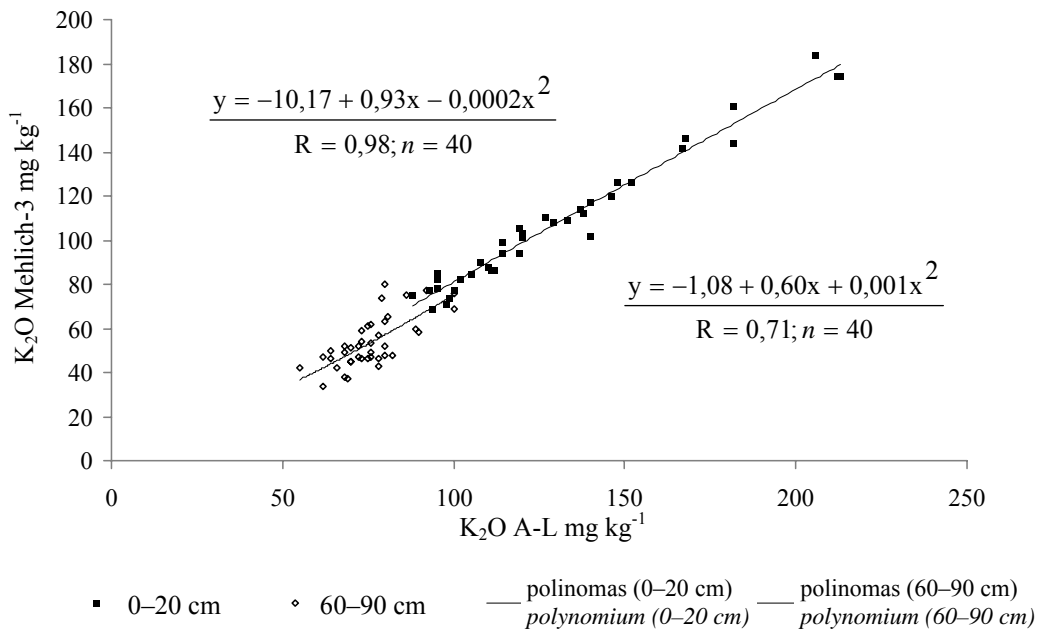
A-L ir Mehlich-3 metodais nustatytų judriojo kalio koncentracijų santykis dirvožemio 0–20 cm sluoksnyje buvo vidutiniškai 1:0,83 (įvairavo nuo 1:0,74 iki 1:0,89), o 60–90 cm sluoksnyje jis buvo mažesnis – 1:0,75 (nuo 1:0,64 iki 1:0,85).

5 lentelė. Ilgalaikio tręšimo įtaka judriojo kalio koncentracijai dirvožemyje

Table 5. The effect of long term fertilisation on mobile potassium concentration in the soil
Skėmiai, 2005–2008 m.

Tręšimo normos kg ha ⁻¹ Fertiliser rates kg ha ⁻¹			K ₂ O balansas dirvožemyje K ₂ O balance in the soil	A-L		Mehlich-3		Santykis / Ratio A-L : Mehlich-3	
N	P ₂ O ₅	K ₂ O		Gylis / Depth cm				0–20	60–90
				0–20	60–90	0–20	60–90		
				K ₂ O mg kg ⁻¹					
0	0	0	-69,0	90	66	78	44	1 : 0,87	1 : 0,67
111	0	0	-96,6	108	70	94	54	1 : 0,87	1 : 0,77
111	0	96	-42,1	140	75	104	53	1 : 0,74	1 : 0,71
222	0	0	-102,3	96	76	78	60	1 : 0,81	1 : 0,79
222	0	96	-48,9	129	72	107	61	1 : 0,83	1 : 0,85
222	0	192	24,0	179	67	147	43	1 : 0,82	1 : 0,64
37	32	32	-74,0	100	73	84	58	1 : 0,84	1 : 0,79
74	64	64	-64,3	115	76	88	64	1 : 0,77	1 : 0,84
0	96	96	-8,8	121	75	105	49	1 : 0,87	1 : 0,65
111	96	0	-101,5	95	81	79	69	1 : 0,83	1 : 0,85
111	96	96	-54,9	131	69	109	48	1 : 0,83	1 : 0,70
111	96	192	-3,6	184	95	150	67	1 : 0,82	1 : 0,70
222	96	0	-101,3	103	80	78	56	1 : 0,76	1 : 0,70
222	96	96	-64,9	131	88	112	73	1 : 0,85	1 : 0,83
222	96	192	-8,7	171	81	145	56	1 : 0,85	1 : 0,69
0	192	192	71,2	194	70	173	48	1 : 0,89	1 : 0,69
111	192	96	-88,7	126	76	108	62	1 : 0,86	1 : 0,82
222	192	0	-107,2	102	78	79	64	1 : 0,77	1 : 0,82
222	192	96	-64,4	109	71	91	50	1 : 0,83	1 : 0,70
222	192	192	-23,7	158	78	134	66	1 : 0,85	1 : 0,85
Vidurkis / Average				129	76	107	57	1 : 0,83	1 : 0,75
R ₀₅ / LSD ₀₅				15,3	12,0	13,7	9,1		

Koreliacijos ryšio kreivės tarp Mehlich-3 ir A-L metodais nustatytos judriojo kalio koncentracijos dirvožemyje, kitaip nei judriojo fosforo, išsiskyrė nedaug (2 pav.).



2 paveikslas. Judriojo kalio koncentracijos dirvožemyje, nustatytos Mehlich-3 metodu, priklausomumas nuo jo koncentracijos, nustatytos A-L metodu

Figure 2. The dependence of mobile potassium concentration in the soil determined using Mehlich-3 method on its concentration using A-L method

Tačiau dirvožemio 0–20 cm sluoksnyje koreliacinio ryšio stiprumas buvo $R = 0,98$, o didesnio karbonatingumo dirvožemio 60–90 cm sluoksnyje, kaip ir nustatant judrųjį fosforą, jis buvo silpnesnis – $R = 0,71$.

Išvados

1. Po ilgalaikio (38 m.) kasmetinio tręšimo pagal įvairias NPK trąšų normas mineralinio azoto kiekis pavasarį ir rudenį dirvožemio 0–30, 30–60 ir 60–90 cm sluoksniuose priklausė nuo panaudotų azoto trąšų normų, jų santykio su fosforo bei kalio trąšomis ir klimato sąlygų.

2. Augalus kasmet $P_{96}K_{96}$ fone patręšus pagal 111 kg ha⁻¹ azoto trąšų normą, N_{\min} koncentracija dirvožemio 0–60 ir 60–90 cm sluoksniuose rudenį padidėjo nedaug (1,37 ir 1,17 mg kg⁻¹), tačiau ją padidinus iki 222 kg ha⁻¹ fosforo bei kalio trąšų fone – 3,43 ir 3,58 mg kg⁻¹, o pastarąją azoto trąšų normą išbėrus be fosforo bei kalio trąšų – atitinkamai net 6,33 ir 5,17 mg kg⁻¹.

3. Rudenį, po derliaus nuėmimo, dirvožemio 0–60 ir 0–90 cm sluoksniuose likusi mineralinio azoto koncentracija per žiemos laikotarpį labiausiai sumažėjo pagal didelę (222 kg ha⁻¹) azoto trąšų normą tręštuose laukuose.

4. Dėl ilgalaikio tręšimo fosforo trąšomis didėjo visų frakcijų fosforo kiekis, tačiau labiausiai padidėjo vandenyje tirpus, ekstrahuoto 1 M NH₄Cl ištraukoje. Fosforu netręš-

tame dirvožemyje jo nustatyta $5,2 \text{ mg kg}^{-1}$, o patrešus pagal 96 ir 192 kg ha^{-1} fosforo trąšų normas – atitinkamai $76,2$ ir $151,4 \text{ mg kg}^{-1}$.

5. Fosforu netreštų laukelių armenyje P_2O_5 koncentracija, nustatyta A-L metodu, buvo 63 – 117 mg kg^{-1} , o Mehlich-3 – 50 – 127 mg kg^{-1} . Augalus patrešus pagal vidutinę (96 kg ha^{-1}) trąšų normą, jo koncentracija buvo atitinkamai 249 – 317 ir 273 – 364 mg kg^{-1} , o pagal didelę (192 kg ha^{-1}) – 436 – 503 ir 390 – 458 mg kg^{-1} .

6. Judriojo fosforo, ekstrahuoto Mehlich-3 metodu, palyginti su A-L, ariamajame sluoksnyje koncentracija gauta beveik vienoda, o karbonatingame 60 – 90 cm gylio sluoksnyje – maždaug keturis kartus mažesnė.

7. Kalio balansui dirvožemyje dažniausiai esant neigiamam arba artimam nuliui, kalio trąšomis netreštuose laukeliuose judriojo kalio A-L metodu nustatyta 90 – 108 , Mehlich-3 – 78 – 94 mg kg^{-1} , o kalio trąšų normą padidinus iki 192 kg ha^{-1} , K_2O koncentracija dirvožemyje padidėjo atitinkamai iki 158 – 194 ir 134 – 173 mg kg^{-1} .

8. A-L ir Mehlich-3 metodais nustatytos judriojo kalio koncentracijos santykis dirvožemio 0 – 20 cm sluoksnyje buvo $1:0,83$, o 60 – 90 cm sluoksnyje – $1:0,75$. Koreliacinis ryšys tarp šiais metodais analizuotų kalio koncentracijų buvo atitinkamai $R = 0,98$ ir $R = 0,71$.

Gauta 2009 04 14

Pasirašyta spaudai 2009 06 08

LITERATŪRA

1. Adomaitis T., Vaišvila Z., Mažvila J. ir kt. Azoto junginių (NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^-) koncentracija lizimetrų vandenyje skirtingai treštuose smėlingų priemolių dirvožemiuose [Concentration of nitrogen (NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^-) compounds in lysimeter water of a differently fertilized sandy loam soil (summary)] // *Žemdirbystė-Agriculture*. – 2004, t. 88, Nr. 4, p. 21–33

2. Aslyng H. C. Phosphate potential and phosphate status of soils // *Acta Agriculture Scandinavica*. – 1964, vol. 14, p. 261–285

3. Barber S. A. Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach. – New York, 1984, p. 202–231

4. Bergström L., Brink N. Effects of differentiated applications of fertilizer N on leaching losses and distribution of inorganic N in the soil // *Plant and Soil*. – 1986, vol. 93, No. 3, p. 333–345

5. Blake L., Mercik S., Koerchens M. et al. Potassium content in soil, uptake by plants and the potassium balance in three European long-term field experiments // *Plant and Soil*. – 1999, vol. 216, No. 1–2, p. 1–14

6. Brett L., Allen P., Mallarino A. P. et al. Relationship between extractable soil phosphorus and phosphorus saturation after long-term fertilizers or manure application // *Soil Science Society of America Journal*. – 2006, No. 70, p. 454–463

7. Bučienė A., Šlepetienė A., Šimanskaitė D. et al. Changes in soil properties under high- and low-input cropping systems in Lithuania // *Soil Use and Management*. – 2003, vol. 19, No. 4, p. 291–297

8. Carter M. R. Soil sampling and methods of analysis. – Canada, 1993. – 823 p.

9. Chaney K. Effect nitrogen fertilizer rate on soil nitrate nitrogen content after harvesting winter wheat // *Journal of Agricultural Science*. – 1990, vol. 114, No. 2, p. 171–176

10. Chang S. C., Jackson M. L. Fractionation of soil phosphorus // *Soil Science*. – 1957, No. 84, p. 144–150

11. Clewer A. G., Scarisbrick D. H. Practical statistics and experimental design for plant and crop science. – New York, 2001. – 331 p.
12. Daugherty K. M., Mendelsohn J. A., Monteferrante F. J. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium additions on plant biomass and soil nutrient content of Swale barrier strand community of Louisiana // *Analysis of Botany*. – 1990, No. 66, p. 265–271
13. David M. B., Gentry L. E., Kovacic D. A. et al. Nitrogen balance in soil and export from an agricultural watershed // *Journal of Environmental Quality*. – 1997, vol. 26, No. 4, p. 1038–1048
14. Dodd J. R., Mallarino A. P. Soil-test phosphorus and crop grain yield responses to long-term phosphorus fertilization for corn-soybeans rotations // *Soil Science Society of America Journal*. – 2005, vol. 69, p. 1118–1128
15. Egner H., Riehm H., Domingo W. R. Untersuchungen über die chemische Bodenanalysen als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor und Kaliumbestimmung // *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler*. – 1960, Nr. 26, S. 199–215
16. Greenwood D. J., Karpinets T. V. Dynamic model for the effect of K-fertilizer on crop growth, K-uptake and soil-K in arable cropping. 2. Field test of the model // *Soil Use and Management*. – 1997, No. 13, p. 178–183
17. Guo S. L., Dang T. H., Hao M. D. Phosphorus changes and sorption characteristics in a calcareous soil under long-term fertilization // *Pedosphere*. – 2008, vol. 18, iss. 2, p. 248–256
18. Jaakkola A., Hartikainen H., Lemola R. Effect of fertilization on soil phosphorus in a long-term field experiment in southern Finland // *Agricultural and Food Science in Finland*. – 1997, vol. 6, p. 313–322
19. Končius D. Periodinio kalkinimo ir tręšimo įtaka fosforo formų bei mineralinių fosfatų pokyčiams dirvožemyje [The effect of periodical liming and fertilization on the forms of phosphates and on the changes in its fractional composition in the soil (summary)] // *Žemdirbystė-Agriculture*. – 2007, t. 94, Nr. 1, p. 74–88
20. Krištaponytė I. Comparison of fertilizer application systems on soddy gleyic clay loam soil // *Žemės ūkio mokslai*. – 2001, Nr. 1, p. 31–38
21. Leinweber P., Meissner R., Eckardt K. U. et al. Management effects on forms of phosphorus in soil and leaching losses // *European Journal of Soil Science*. – 1999, vol. 50, No. 3, p. 413–424
22. Makarov M. I. Phosphorus-containing components of soil organic matter. ³¹P spectroscopic study (a review) // *Eurasian Soil Science*. – 2005, vol. 38, No. 2, p. 153–164
23. Mažvila J., Antanaitis A., Arbačiauskas J. ir kt. Kalio tyrimai skirtingais metodais ir jų tinkamumas Lietuvos dirvožemiams [Potassium tests using different methods and their suitability for Lithuanian soils (summary)] // *Žemdirbystė-Agriculture*. – 2004, t. 87, Nr. 3, p. 12–29
24. Mažvila J., Antanaitis A., Arbačiauskas J. ir kt. Fosforo tyrimai skirtingais metodais ir jų tinkamumas Lietuvos dirvožemiams [Phosphorus tests using different methods and their suitability for Lithuanian soils (summary)] // *Žemdirbystė-Agriculture*. – 2005, t. 92, Nr. 4, p. 20–35
25. Mohren G. M. J., Van den Burg J., Burger E. W. Phosphorus deficiency induced by nitrogen input in Douglas fir in the Netherlands // *Plant and Soil*. – 1986, vol. 95, No. 2, p. 191–200
26. Parris K. Agricultural nutrient balances as agri-environmental indicators: on OE CD perspective // *Environmental pollution: international nitrogen conference*. – 1998, vol. 102, No. 1, p. 219–225

27. Petraitiienė V. Dirvožemio agrocheminių savybių pokyčiai skirtingai tręšiant ir augalų derliaus priklausomumas nuo judriųjų maisto medžiagų kiekio [The changes of soil agrochemical indices in the statistic field experiment with different fertilizers application and the relationship of plant yield to mobile nutrients status in the soil (summary)] // Žemdirbystė-Agriculture. – 2000, t. 70, p. 3–17

28. Prasad B., Sinha N. P. Balance sheet of soil phosphorus and potassium as influenced by intensive cropping and fertilizer use // Plant and Soil. – 1981, vol. 60, No. 21, p. 187–193

29. Shepherd M. A., Sylvester-Bradley R. Effect of nitrogen fertilizer applied to winter oilseed rape (*Brassica napus*) on soil mineral nitrogen after harvest and on the response of a succeeding crop of winter wheat to nitrogen fertilizer // Journal of Agricultural Science. – 1996, vol. 126, No. 1, p. 117–122

30. Sibbesen E. Phosphate soil tests and their suitability to assess the phosphate status of soil // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2006, vol. 34, iss. 12, p. 1368–1374

31. Zhang H., Schroder J. L., Davis R. L. et al. Phosphorus loss in runoff from long-term continuous wheat fertility trials // Soil Science Society of America Journal. – 2006, vol. 70, p. 163–171

32. Аскинази Д. Л., Гинсбург К. Е., Лебедева Л. С. Минеральные формы фосфора в почве и методы их определения // Почвоведение. – 1963, № 5, с. 6–20

ISSN 1392-3196

Zemdirbyste-Agriculture, vol. 96, No. 2 (2009), p. 35–52

UDK 631.41:631.811.1/3:631.816.2

EFFECTS OF LONG-TERM FERTILISATION ON SOIL AGROCHEMICAL PROPERTIES

J. Mažvila¹, J. Arbačiauskas¹, A. Antanaitis¹, J. Lubytė¹, T. Adomaitis¹, Z. Vaišvila^{1,2}

¹Lithuanian Institute of Agriculture

²Lithuanian University of Agriculture

Summary

The study was aimed to examine the impact of different long-term mineral fertiliser rates and nutrient ratios on the accumulation of mineral nitrogen, phosphorus and potassium in the soil, migration of these nutrients into the deeper soil layers, as well as on the changes of different forms of phosphorus and on applicability of Mehlich-3 method for measurement of plant available phosphorus and potassium concentrations in the soil. Research was carried out at the long term experimental site (established in 1971). Experimental site's soil type is moraine sandy loamy *Epicalcari-Endohypogleyic Cambisol* (CMg-n-w-cap) with the following ploughlayer's characteristics: near k neutral (pH 6.8–7.1), low exchangeable soil acidity, high cation exchange capacity, high base-saturation, moderately rich in humus (2.2–2.4%, Tyurin method), low phosphorus content (57–90 mg kg⁻¹), low potassium content (109–112 mg kg⁻¹).

According to the mean data for 2005–2008, as a result of the long term (38 years) regular application of NPK fertilisers, the spring and autumn content of mineral nitrogen (KCl extraction) in 0–30, 30–60 and 60–90 cm layers of soil depended on the nitrogen fertiliser rates, nitrogen, phosphorus and potassium fertilisation ratio and climate conditions. Regular nitrogen fertilisation at a rate of 111 kg ha⁻¹ on the P₉₆K₉₆ fertilisation background increased the concentration of N_{min} in 0–60 and 0–90 cm soil layers inappreciably (by 1.37 and 1.17 mg kg⁻¹); the increase was larger (3.43 and 3.58 mg kg⁻¹) when nitrogen fertiliser rate of 222 kg ha⁻¹ on the background of PK fertilisation was applied, and in the case of the application of 222 kg ha⁻¹ nitrogen fertiliser rate without PK fertilisation the increase was 6.33 and 5.17 mg kg⁻¹, respectively. The largest decrease in nitrogen concentration in 0–60 and 0–90 cm soil layers during winter period was determined in the plots, fertilised with high rates (222 kg ha⁻¹) of nitrogen.

As a result of the long term phosphorus fertilisation, the content of phosphorus increased in all the fractions (method Chang-Jackson), the concentration of water soluble phosphorus (determined in 1 M NH₄Cl soil extraction) increased the most. Water soluble phosphorus concentration in the soil of plots not treated with phosphorus was 5.2 mg kg⁻¹, and in the soil of plots fertilised with 96 and 192 kg ha⁻¹ phosphorus rates – 76.2 and 151.4 mg kg⁻¹, respectively. P₂O₅ concentration in topsoil of plots not treated with phosphorus was 63–117 mg kg⁻¹ when determined using A-L method, and 50–127 mg kg⁻¹ – Mehlich-3 method, in topsoil of plots fertilised with moderate (96 kg ha⁻¹) phosphorus rate – 249–317 and 273–364 mg kg⁻¹, in topsoil of plots fertilised with high (192 kg ha⁻¹) phosphorus rate – 436–503 and 390–458 mg kg⁻¹, respectively. When comparing Mehlich-3 and A-L methods, the obtained results of plant available phosphorus concentration in topsoil are similar, yet in the case of calcareous 60–90 cm soil layer the concentrations determined using Mehlich-3 method were 4 times lower than those determined by A-L method.

Potassium balance in the soil was negative or close to zero in most cases. Plant available potassium concentration in the soil of plots not treated with potassium was 90–108 mg kg⁻¹ when determined using A-L method, and 78–94 mg kg⁻¹ – Mehlich-3 method, in soil of plots fertilised with 192 kg ha⁻¹ potassium rate – 158–194 and 134–173 mg kg⁻¹, respectively. The ratio of plant available potassium concentrations determined in the soil by A-L and Mehlich-3 methods was 1:0.83 for 0–20 cm soil layer and 1:0.75 for 60–90 cm soil layer. The calculated correlation was R = 0.98 and R = 0.71, respectively.

Key words: mineral nitrogen, phosphorus fractions, plant available potassium, analysis methods.