

Ilgalaikės augalų kaitos derinių įtaka dirvožemio CO₂ emisijai ir sliekų kiekiui

Lina Skinulienė,

Vaclovas Bogužas,

Vaida Steponavičienė,

Aušra Sinkevičienė,

Aušra Marcinkevičienė,

Alfredas Sinkevičius

Vytauto Didžiojo universiteto
Žemės ūkio akademija,
Studentų g. 11, 53361
Akademija, Kauno r.
El. paštas lina.skinuliene@vdu.lt

Lauko eksperimentas atliktas 2017 m. Vytauto Didžiojo universiteto Žemės ūkio akademijos bandymų stotyje, Agroekosistemų ir dirvožemio instituto sėjomainų kolekcijoje, įkurtoje 1967 metais. Dirvožemis drenuotas giliau karbonatingas sekliai glėjiškas rudžemis (RDg8–k2) (*Endocalcari-Epihypogleyic Cambisol* (sicco) (CMg-p-w-can). Eksperimentas atliktas žieminių kviečių, rugių ir vasarinių miežių pasėliuose, įvairiose sėjomainose po skirtingų priešsėlių. Žieminiai rugiai (*Secale cereale* L.) 'Matador', kviečiai 'Skagen' ir vasariniai miežiai 'Orphelija' buvo pasėti taikant aštuonias skirtingas sėjomainas, po įvairių priešsėlių ir rugių monopasėlyje.

Tyrimų tikslas – ištirti ilgalaikės augalų kaitos derinių ir nuolatinio pūdymo poveikį CO₂ emisijai iš dirvožemio ir sliekų kiekiui bei jų biomasei.

Žieminiuose javuose ir miežiuose, augusiuose po priešsėlių, paliekančių didelį augalinių liekanų kiekį dirvožemyje, CO₂ emisijos intensyvumas iš dirvožemio nustatytas didžiausias. Atlikus tyrimą paaiškėjo, kad nuėmus žieminių javų ir vasarinių miežių derlių sliekų kiekiui didžiausią įtaką turėjo augalinės liekanos, likusios po priešsėlio.

Raktažodžiai: CO₂ emisija, dirvožemio drėgmė, dirvožemio temperatūra, sliekai, sėjomainos

ĮVADAS

Planuojant augalininkystės sistemas pagrindinis dėmesys skiriamas dirvožemio išteklių naudojimo efektyvumui ir poveikio aplinkai mažinimui (Foley et al., 2011). Žemės ūkio augalų auginimas taikant sėjomainas skatina mikroorganizmų įvairovę ir didesnę jų kiekį, mažina piktžolių, ligų ir kenkėjų plitimą (Gay, 2007). Tinkamas dirvožemio naudojimas yra vienas iš svarbiausių veiksnių siekiant išlaikyti ar pagerinti žemės ūkio produktyvumą, išsaugant dirvožemio ir aplinkos būklę (Lal, 2000).

Augalai, kaip pagrindiniai agrocenozės komponentai, turi tiesioginį poveikį dirvožemiui. Jų įtaka dirvožemio kokybei gali pasireikšti keliais aspektais: pasiliekančiu po derliaus nuėmimo organinių medžiagų kiekiu (šaknys, ražienos, kitos

organinės liekanos), chemine sudėtimi ir jų skaidymosi intensyvumu. Nuo šių rodiklių priklauso vandens, šilumos ir oro režimas dirvoje (Rachman et al., 2004).

Klimatas daro įtaką žemės ūkio veiklai, kuri tiesiogiai arba netiesiogiai lemia klimato kaitą. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų, pavyzdžiui, NO₃, CH₄ ir CO₂, emisija dėl žemės ūkio veiklos pasaulyje sudaro apie 10–12 % viso dujų kiekio. Todėl didelį susirūpinimą kelia dėl intensyvios žemės ūkio veiklos vis augantis anglies dioksido kiekis. Žinoma, kad dirvožemyje yra du kartus daugiau anglies negu atmosferoje ir tris kartus daugiau negu augaluose (Feizienė, Feiza, 2012).

„Dirvožemio kvėpavimas“ – vienas iš esminių rodiklių siekiant įvertinti ekosistemų įtaką galiams anglies pokyčiams dirvožemyje ir apibrėžti

dirvožemio gyvybingumą. „Tai vienas iš būdų angliai patekti į atmosferą. Šio elemento išsiskyrimą iš dirvožemio į atmosferą lemia įvairių procesų kompleksas: mikrobiologinis, augalų šaknų ir dirvožemyje gyvenančios faunos kvėpavimas. Be minėtų procesų, anglis išskiriama irstant (pūvant) augalų šaknims ir visai organinės kilmės medžiagai, esančiai dirvoje ar ant jos paviršiaus“ (Feizienė, Feiza, 2009). Žemės dirbimo technologijos, kai nėra atliekamas gilus žemės arimas plūgu, leidžia išsaugoti dirvos pagrindines mechanines-fizikines savybes, sumažinti darbo laiką ir degalų sąnaudas, atpiginti žemės ūkio produktų gamybą. Tausojančios žemės ūkio technologijos leidžia sumažinti neigiamą poveikį aplinkai ir šiltnamio efektą sukeliančių CO₂ dujų emisijų kiekį iš dirvos (Buragienė, 2013).

Dirvožemio temperatūra daro įtaką daugeliui svarbių procesų, vykstančių gamtoje (Lehnert, 2014). Nuo dirvožemio temperatūros priklauso ir biocheminiai procesai, pavyzdžiui, ištirpusios organinės anglies pernešimas (Haei et al., 2010). Dauguma autorių teigia, kad dirvožemio temperatūra turi ryšį su CO₂ ir NO₂ išsiskyrimu: didėjant dirvožemio temperatūrai šių dujų išsiskyrimas į atmosferą irgi didėja. Taigi šis efektas tampa teigiamu grįžtamuju ryšiu klimato sistemoje (Mačiulytė, Rimkus, 2016).

Natūralus sveikos ir derlingos dirvos požymis – joje gyvenantys sliekai. Kuo daugiau sliekų yra dirvoje, tuo ji derlingesnė. Jeigu gyvena 100 sliekų, kurių bendra masė siekia 50 g m⁻², tai šioje teritorijoje per 210 vasaros dienų jie sugeba išrausti apie 1 000 m tunelių ir supurenti dirvą. Taip dirva tampa laidu deguoniui ir vandeniui, nes išrausti urveliai skatina dirvožemio aeraciją ir drenavimą. Kai sliekų dirvoje yra daug, labai padidėja makroporų skaičius, suformuojamas kanalėlių ir ertmių tinklas (Parle, 1963).

Mikroorganizmų veikla yra svarbi dirvodaros ir dirvožemio derlingumui. Mikroorganizmai atsakingi už organinės medžiagos irimo procesus, kurių metu dirvožemis prisotinamas augalams reikalingais mineralais ir biologiškai aktyviomis medžiagomis (Piaulokaitė-Motuzienė, 2009).

Organinės medžiagos, praeidamos per sliekų virškinimo sistemą, tampa tinkamesnės dirvožemio mikroorganizmams. Sliekai, vikšrai ir kiti makroorganizmai purena dirvą, ji tampa laidesnė drėgmei, pagerėja augalų šaknų aeracija (Carrijo, 2004). Dėl šių priežasčių sliekus galima laikyti pa-

čiais naudingiausiais dirvožemio mikroorganizmais. Sliekų aptinkama visuose dirvožemiuose, bet daugiausia jų randama ten, kur gausu organinių medžiagų, pavyzdžiui, priesmėliniame šlapžemyje ir kt. (Žekonienė, Raškauskienė, 2003).

Paprastai dirbamose žemėse sliekų yra gana daug, bet jų paplitimas ir ypač rūšių gausumas priklauso nuo drėgmės, organinių medžiagų kiekio, mechaninės sudėties, dirvožemio tipo ir pH (Žiogas, Zakarauskas, 2008).

Tyrimo tikslas – ištirti ilgalaikės augalų kaitos derinių poveikį CO₂ emisijai iš dirvožemio ir sliekų kiekiui.

TYRIMŲ METODAI IR SĄLYGOS

Ilgalaikis lauko eksperimentas (sėjomainų kolekcija) Vytauto Didžiojo universiteto bandymų stotyje įrengtas 1967 m. prof. A. Stancevičiaus iniciatyva ir vykdomas iki šiol. Tiriamas ilgalaikis augalų kaitos poveikis agroekosistemų tvarumui taikant devynias skirtingas sėjomainas ir kukurūzų bei rugių monopasėliuose. Lauko eksperimente yra taikoma vienoda žemės dirbimo sistema, o augalų apsaugos priemonės naudojamos pagal poreikį.

Eksperimento vietos dirvožemis, susiformavęs iš dugninės morenos arba dugninių ledynų darinių, padengtų limnoglacialinėmis nuosėdomis, srityje. Remiantis 1999 m. dirvožemių klasifikacija (LTDK-99), suderinta su FAO UNESCO Pasaulio dirvožemių žemėlapiu legenda (*Lietuvos dirvožemiai*, 2001), paprastasis sekliai glėjiškas išplautžemis (*Hapli-Epihypogleyic Luvisols*) – Idg8-p(LVg-p-w-ha). Vandens režimas sureguliuotas uždaru drenažu, mikroreljefas yra išlygintas.

Prof. A. Stancevičiaus įrengtoje „Sėjomainų kolekcijoje“ yra 58 sėjomaininiai laukeliai, apskaitinio laukelio plotas – 32 m². Ilgalaikiame lauko eksperimente įrengtos trys keturlaukės, trys šešialaukės, dvi aštuonialaukės ir viena trilaukė sėjomainos. Be to, į kolekciją įtraukti po keturis laukelius užimančios rugių ir kukurūzų monopasėliai bei nuolatinis juodasis pūdymas (lentelė).

Įsėlis sėjamas: į miežius – pašarinėje ir Norfolkio sėjomainose; į kviečius – lauko sėjomainoje su kaupiamaisiais ir lauko sėjomainoje be kaupiamųjų; į vikių-avižių mišinį – intensyviojoje ir prierfermio sėjomainose.

2017 m. eksperimente žemės dirbimas buvo atliktas pagal įprastas žieminių ir vasarinių javų

Lentelė. Sėjomainos ir jų komponentai

Table. Crop rotation and its components

Sėjomaina Crop rotation	Sėjomainos komponentai / Components of crop rotation
Javų / Cereal	1) vikių ir avižų mišinys žaliajam pašarui / vetch and oat mix for green feeds 2) žieminiai kviečiai / winter wheat 3) avižos / oats 4) vasariniai miežiai / spring barley
Trilaukė Three course	1) juodasis pūdymas / black fallow 2) žieminiai rugiai / winter rye 3) avižos / oats
Rugių monokultūra Rye monoculture	žieminiai rugiai / winter rye
Lauko su kaupiamaisiais augalais Field with raw crops	1) žieminiai kviečiai + įsėlis / winter wheat + undersowing 2) daugiametės žolės I n. m. / perennial grasses I u. y. 3) daugiametės žolės II n. m. / perennial grasses II u. y. 4) žieminiai rugiai / winter rye 5) cukriniai runkeliai / sweet beetroot 6) vasariniai miežiai / spring barley 7) avižos / oats 8) juodasis pūdymas / black fallow
Pašarinė / Fodder	1) daugiametės žolės I n. m. / perennial grasses I u. y. 2) daugiametės žolės II n. m. / perennial grasses II u. y. 3) daugiametės žolės III n. m. / perennial grasses III u. y. 4) daugiametės žolės IV n. m. / perennial grasses IV u. y. 5) linai / flax 6) kukurūzai / maize 7) pašariniai runkeliai / fodder beetroot 8) vasariniai miežiai + įsėlis / barley + undersowing
Norfolko / Norfolk	1) daugiametės žolės I n. m. / perennial grasses I u. y. 2) žieminiai kviečiai / winter wheat 3) kaupiamieji / accumulative 4) vasariniai miežiai / spring barley
Sideracinė For green manure	1) lubinai žaliajai trąšai / lupines for green manure 2) žieminiai rugiai / winter rye 3) žieminiai rapsai žaliajai trąšai / winter rape for green fertiliser 4) žieminiai rugiai / winter rye 6) bulvės / potatoe 7) vasariniai miežiai / spring barley
Intensyvioji Intensive	1) vikių ir avižų mišinys žalajam pašarui + įsėlis / vetch and oat mix for green feeds + undersowing 2) daugiametės žolės I n. m. / perennial grasses I u. y. 3) žieminiai rugiai ir po jų tarpinis pasėlis – žieminiai rapsai / winter rye followed by interim crop – winter rape 4) bulvės ir po jų tarpinis pasėlis – žieminiai rugiai žaliajam pašarui / potatoe followed by interim crop – winter rye for green feeds 5) kukurūzai / maize 6) vasariniai miežiai ir po jų tarpinis pasėlis – aliejiniai ridikai / spring barley followed by interim crop – oilseed radishes

auginimo technologijas. Nupjovus pirmąją žolę, sulėkščiutos daugiametės žolės lauko su kaupiamaisiais, intensyviojoje ir Norfolko sėjomainose.

Rugpjūčio mėn. pradžioje sideracinėje sėjomainoje sulėkščiuoti žieminiai rapsai, skirti žaliajai trąšai. Galvijų mėšlu (55 t ha⁻¹) patręšti žieminiams

javams skirti su kaupiamaisiais, intensyviosios, trilaukės ir Norfolko sėjomainų laukai. Organinės trąšos įterptos užariant 15–20 cm gyliu. Monopasėlyje gilusis arimas atliktas po 10–15 dienų nukūlus rugių derlių. Šiaudai palikti ir įterpti kaip organinė trąša. Rugsėjo pradžioje kultivuota du kartus, prieš pirmąjį kultivavimą išbertos $N_8P_{20}K_{30}$ trąšos. Pasėti žieminiai rugiai 'Matador' 180 kg ha^{-1} ir žieminiai kviečiai 'Skagen' 200 kg ha^{-1} . Žieminiai kviečiai spalio mėn. pradžioje nupurkšti herbicidu *Logran 20 WG* $0,3 \text{ l ha}^{-1}$ (veiklioji medžiaga (v. m.) triasulfuronas 200 g kg^{-1}). Prasidėjus žieminių javų pavasario vegetacijai laukeliai tręšti 200 kg ha^{-1} amonio salietra ir po dviejų savaičių papildomai 250 kg ha^{-1} . Pasėliai nupurkšti augimo reguliatoriais *Cycocel 750 SL1*, $1,2 \text{ l ha}^{-1}$ (v. m. chlormekvatchloridas 750 g l^{-1}) ir *Stabilan 750 SL* (v. m. chlormekvatchloridas 750 g l^{-1}). Žieminiai rugiai pavasarį purkšti herbicidu *Arelon flussig*, $1,2 \text{ l ha}^{-1}$ (v. m. izoproturonas 50 g l^{-1}) $2,0 \text{ l ha}^{-1}$, $1,0 \text{ l ha}^{-1}$, fungicidais *INPUT 460 EC* (v. m. protiokonazolas 160 g l^{-1} , spiroksaminas 300 g l^{-1}) $1,0 \text{ l ha}^{-1}$ ir *Fandango* (v. m. protiokonazolas 100 g l^{-1} , fluoksastrobina 100 g l^{-1}) $1,0 \text{ l ha}^{-1}$. Lauko sėjomainoje su kaupiamaisiais į žieminius kviečius baigiantis kovo mėn. įsėtas dobilų motiejukų įsėlis, naudotas herbicidas *MCPA Super*, $1,2 \text{ l ha}^{-1}$ (v. m. MCPA 500 g l^{-1}).

2014–2016 m. nuėmus miežių priešsėlius dirva suarta 15–20 cm gyliu. Pavasarį miežiams skirta dirva kultivuota du kartus, įterpta 300 kg ha^{-1} $N_{16}P_{16}K_{16}$ ir papildomai tręšta salietra (N_{34}) 100 kg ha^{-1} ; 3–4 lapelių tarpsnis). Vasarinių miežių 'Orphelija' norma 190 kg ha^{-1} ($4,5\text{--}5 \text{ mln ha}^{-1}$). 2015 m. pasirodžius piktžolėms miežių pasėliai nupurkšti herbicidu *Mustang*, $0,6 \text{ l ha}^{-1}$ (v. m. florasulamas $6,25 \text{ g l}^{-1}$, 2,4-D 2-etiloheksilo-esteris $452,5 \text{ g l}^{-1}$), fungicidu *Bumper Super 490* (v. m. prochlorazas 400 g l^{-1} + propikonazolas 90 g l^{-1}) $0,5 \text{ g l}^{-1}$, 2017 m. *Lontrel* (v. m. mklopiralidas 720 g kg^{-1}) ir fungicidu *Amistar* (v. m. azoksistrobinas 250 g l^{-1}). Pagal poreikį naudotas insekticidas *Karate Zeon* (v. m. lambda cihalotrinas 50 g l^{-1}) $0,12 \text{ g l}^{-1}$.

Dirvožemio drėgmė ir temperatūra matuota su portatyvine dirvožemio respiracine sistema LI-COR 8100A vienoje laukelio vietoje 0–10 cm armens sluoksnyje. Matavimai buvo vykdomi tris kartus per vegetaciją: po sėjos ar atsinaujinus žie-

minių kviečių ir rugių vegetacijai, vegetacijos viduryje ir vegetacijos pabaigoje.

Sliekų kiekis dirvoje nustatytas po derliaus nuėmimo cheminių repelentų metodu. Kiekviename laukelyje buvo įkalti trys rėmeliai ($50 \times 50 \text{ cm}$) 10 cm gylyje. Naudotas 0,55 % formalino tirpalas, jis piltas du kartus kas 15 min. Išlindę sliekai surinkti, skaičiuoti ir pasverti. CO_2 išsiskyrimas iš dirvožemio nustatytas IRGA metodu (angl. *Infrared Gas Analyzer*). Naudota portatyvinė dirvožemio respiracinė sistema LI-8100A su kamera 8100-103. Kiekviename apskaitiniame laukelyje pavasarį buvo įkaltas 20 cm diametro žiedas ir atlikti trys matavimai: po sėjos ar atsinaujinus žieminių kviečių vegetacijai, augalų vegetacijos viduryje ir pabaigoje.

Tyrimo metų duomenys apdoroti vieno veiksnio dispersinės analizės metodu, naudojant kompiuterinę programą ANOVA iš programos paketo SYSTAT 12. Skirtumų tikimybės lygis tarp visų variantų nustatytas LSD testu.

METEOROLOGINĖS SĄLYGOS

Lyginant 2017 m. duomenis su daugiamečiais vidurkiais galima teigti, kad vasario mėn. rezultatai nesiskyrė. Kovo mėn. temperatūrų vidurkis buvo aukštesnis, o kritulių per šį mėnesį sulaukta 40 % daugiau, palyginti su daugiamečiais duomenimis.

Daugiamečiai duomenys rodo, kad atsinaujinus žieminių rugių ir žieminių kviečių vegetacijai bei prasidėjus vasarinių miežių vegetacijai, vidutinė temperatūra balandį siekė $6,1 \text{ }^\circ\text{C}$, kritulių išrito labai daug – $73,7 \text{ mm}$ (daugiamečių kritulių suma – tik $38,4 \text{ mm}$).

Temperatūros vidurkis gegužės mėn. buvo $12,9 \text{ }^\circ\text{C}$, o daugiamečių temperatūrų vidurkis – $12,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Kritulių 2017 m. gegužę iškrito $10,5 \text{ mm}$, kai daugiamečių kritulių vidurkis yra $53,8 \text{ mm}$. Birželio mėn. kritulių kiekis siekė $80,2 \text{ mm}$ (daugiamečių kritulių vidurkis – $62,6 \text{ mm}$). Vidutinė mėnesio temperatūra pakilo iki $15,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ir buvo artima daugiamečiams temperatūrų vidurkiams – $15,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Liepos mėn. vidutinė temperatūra siekė $17,6 \text{ }^\circ\text{C}$, kritulių kiekis – $79,6 \text{ mm}$. Šie duomenys yra labai panašūs į daugiamečių vidurkių. Rugpjūčio mėn. pasižymėjo gausiais krituliais, tačiau aukštos dienos temperatūros buvo palankios pradėti derliaus nuėmimo darbus.

TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

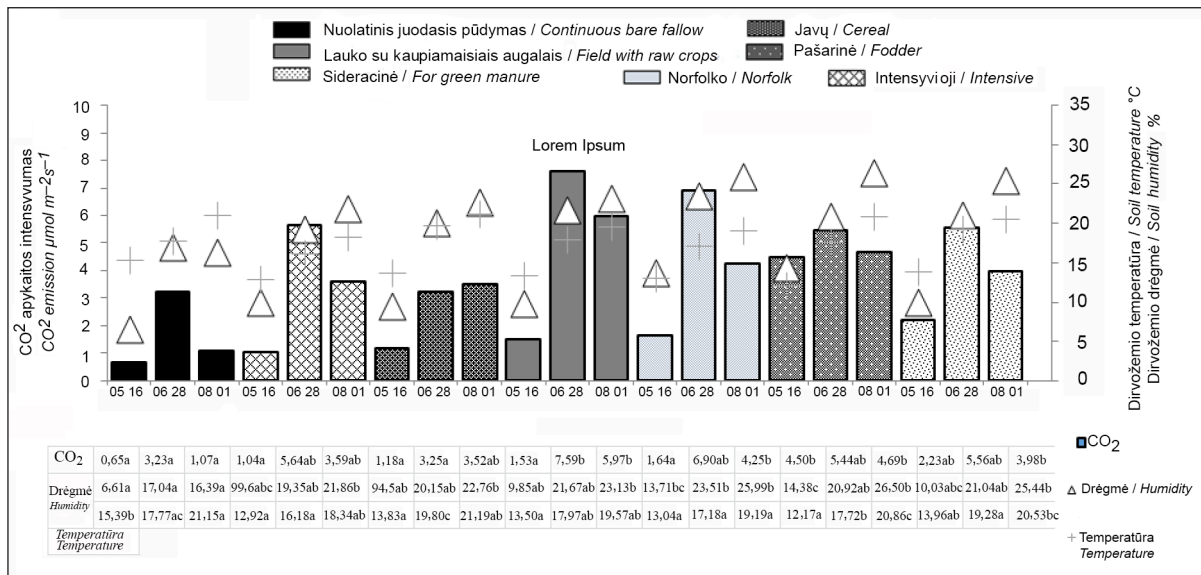
Dirvožemio CO₂ emisija, temperatūra ir drėgmė. CO₂ emisijų iš dirvožemio tyrimai ganėtinai nauji, todėl stokoja vientisumo (Al-Kaisi, Yin, 2005). Aplinkos veiksniai turi įtakos CO₂ emisijai iš dirvožemio, po žemės dirbimo padidėja jautrumas drėgmės kiekiui ir temperatūrai, tai gali trukti apie 35 dienas (Zhang et al., 2007).

Išmatavus dirvožemio CO₂ emisiją, dirvožemio drėgmę ir temperatūrą paaiškėjo, kad CO₂ emisijos intensyvumą mažino žema dirvožemio temperatūra ir drėgmė. F. Morellis su bendraautorais (2010) taip pat pabrėžė, kad CO₂ emisija iš dirvožemio didėja, jeigu dirvožemis yra drėgnas. CO₂ emisijos iš dirvožemio mažėjimą rodo per pirmąjį matavimą (05–16) gauti rezultatai. Matavimų duomenys atskleidė, kad mažiausias CO₂ intensyvumas vyksta nuolatiname juodajame pūdyme, palyginti su tirtomis sėjomainomis, kuriose auginami įvairias biologines savybes turintys žemės ūkio augalai, paliekantys dirvožemyje šaknis bei kitas augalines liekanas, kuriomis minta mikroorganizmai ir sliekai. Kaip teigia S. Buragienė (2013), fotosintezės produktai į šaknis patenka transformacijos būdu. Antžeminė dalis asimiliuoja medžiagas iš atmosferos, vykdo fotosintezę, ir augalas susintetintas medžiagas transformuoja į šaknis. Įvairios organinės

liekanos yra anglies šaltinis, skirtas mikrobiologiniam dirvožemio kvėpavimui.

Per vasarinių miežių vegetaciją vykdytų tyrimų rezultatai rodo tolygų CO₂ emisijos iš dirvožemio išsiskyrimą pašarinėje sėjomainoje. Miežių priešėlis buvo pašariniai runkeliai, paliekantys organinių liekanų, o pačiame pasėlyje buvo įsėtas daugiamečių žolių mišinys. Pašarinės sėjomainos miežių pasėlyje pirmą kartą matuojant CO₂ emisiją, ji buvo nustatyta 2,74 karto didesnė, palyginti su javų, ir 4,33 karto, palyginti su kaupiamųjų augalų sėjomainų pasėliais (1 pav.). Lauko su kaupiamaisiais augalais sėjomainoje vasarinių miežių vegetacijos viduryje nustatytas greičiausias liekanų skaidymas ir intensyvus CO₂ išsiskyrimas (7,59 μmol m⁻²s⁻¹) tik pakilus dirvožemio temperatūrai ir drėgmei. Aukštesnė dirvožemio temperatūra skatina dirvožemio mikroorganizmų veiklą, organinių medžiagų irimo procesus ir intensyvesnį augalų šaknų kvėpavimą (Yiqi, Zhou, 2010).

Per vasarinių miežių vegetaciją vienas mažiausių CO₂ emisijos iš dirvožemio išsiskyrimų nustatytas javų sėjomainoje, kurioje miežių priešėliui buvo pasirinktos avižos, tad jų skaidymas ir kvėpavimas buvo neintensyvus. Norfolkio sėjomainos vasarinių miežių pasėlyje aktyvesnė CO₂ emisija vyko vasarinių miežių vegetacijos viduryje, kai įšilusioje ir drėgnoje dirvoje prasidėjo intensyvus



1 pav. Dirvožemio drėgmė, temperatūra ir CO₂ emisija vasarinių miežių pasėlyje, 2017 m.

Fig. 1. Soil humidity, temperature and CO₂ emission in the spring barley crop 2017

Pastaba: ^{a-d} reikšmės, turinčios tą pačią raidę, esminiais skirtumais nepasižymi.

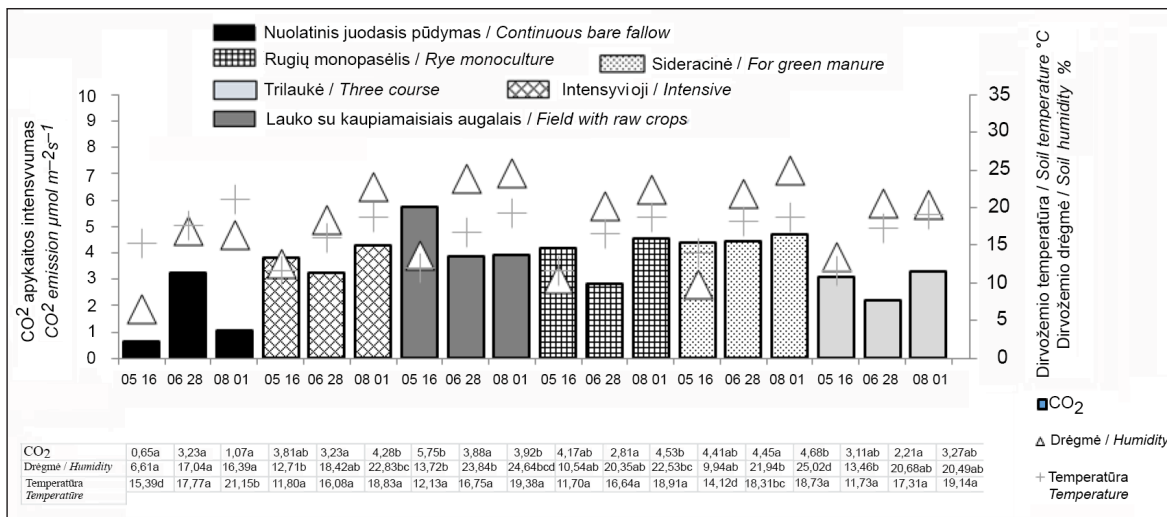
Notes: ^{a-d} means followed by the same letter for the same measurement did not differ significantly.

organinių liekanų (daugiamečių žolių mišinio) skaidymas (1 pav.). Dirvožemio temperatūra turi įtakos augalijos vegetacijos sezono trukmei, mineralizacijos greičiui, organinės medžiagos iriumi dirvožemyje ir maisto medžiagų įsisavinimui (Mačiulytė, Rimkus, 2016). Vasarinių miežių vegetacijos viduryje nustatytas iš esmės didesnis CO₂ emisijos iš dirvožemio išsiskyrimas lauko su kaupiamaisiais augalais sėjomainoje (nuo 1,10 iki 2,33 karto), palyginti su kitomis tirtomis sėjomainomis. Vasarinių miežių vegetacijos pabaigoje tarp sėjomainų esminių skirtumų nenumatyta, tam įtakos galėjo turėti maži dirvožemio drėgmės kiekio ir temperatūros skirtumai tarp sėjomainų bei maistinių medžiagų stygius.

Sideracinėje sėjomainoje auginant žieminius rugius CO₂ emisijos iš dirvožemio išsiskyrimas buvo tolygus visu vegetacijos laikotarpiu (2 pav.). R. Velička ir kt. (2006) nustatė, kad intensyviausiai skaidosi raudonųjų dobilų ražienojai (90,1 %) ir žieminių (87,8 %) bei vasarinių (86,7 %) rapsų kūlenos. Per pirmuosius 3 mėn. intensyviausiai skaidėsi augalų liekanos, kurių sudėtyje buvo daugiau azoto. Lauko su kaupiamaisiais augalais sėjomainoje žieminių rugių pasėlyje daugiausia CO₂ emisijos išsiskyrė matuojant pirmą kartą – atsinaujinus augalų vegetacijai. Žieminių rugių priešsėlis – antųjų metų daugiametės žolės – gausiai palieka organinių liekanų ir taip praturtina dirvą azotu.

Visose tirtose sėjomainose ir rugių monopasėlyje nustatytas intensyvus kvėpavimas pirmą kartą matuojant, atsinaujinus žieminių rugių vegetacijai ir po tręšimo salietra (tręšimo datos: kovo 29 ir balandžio 20 d.). A. Arlauskienė ir kt. (2009) teigia, kad tręšimas suaktyvina CO₂ emisiją iš dirvožemio. Vegetacijos viduryje nustatyta, kad CO₂ emisija iš dirvožemio sumažėjo 1,48 karto, palyginti su vegetacijos pradžia, nors dirvožemio drėgmė ir temperatūra buvo aukštesnė, nei atsinaujinus vegetacijai ir per pirmąjį matavimą (2 pav.). Mažiausia CO₂ emisija iš dirvožemio sėjomainos žieminių rugių pasėlyje buvo nustatyta trilaukėje sėjomainoje. Žieminių rugių pasėlyje visu vegetacijos laikotarpiu esminių skirtumų tarp sėjomainų nepastebėta.

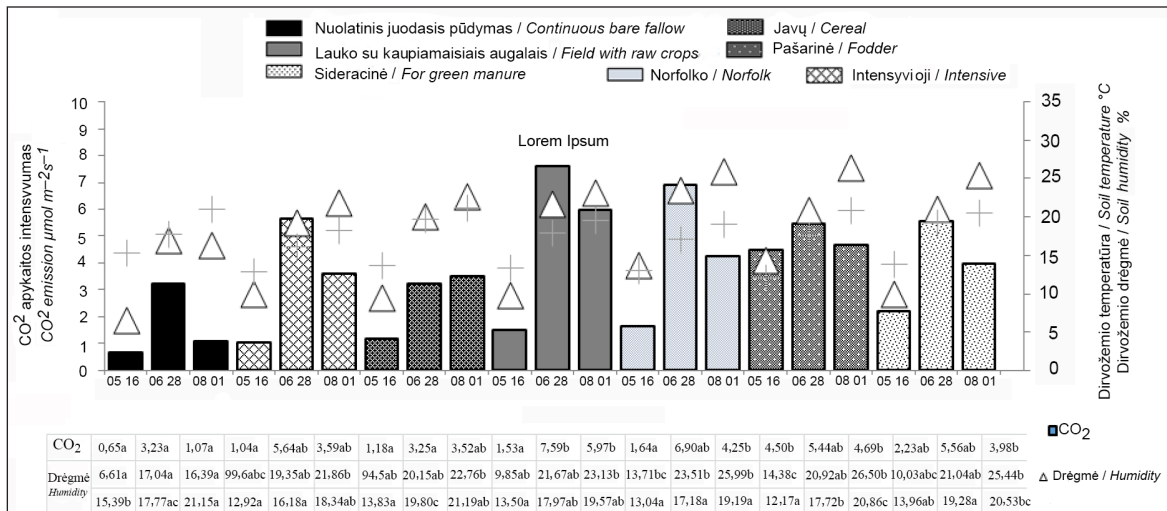
J. Lee su kolegomis (2009) nustatė CO₂ emisijų iš dirvožemio priklausomybę nuo augalų rūšies ir augimo stadijos. Javų sėjomainos žieminių kviečių pasėlyje galėjo vykti intensyvus organinių liekanų skaidymas po vikių ir avių mišinio žieminių kviečių vegetacijos pradžioje (3 pav.). Priešsėlio, žaliosios trąšos skaidymą ir mineralinio azoto atpalaidavimą dirvožemyje veikia dirvožemio drėgmė ir temperatūra, taip pat įterptų augalų cheminė sudėtis (Vinther et al., 2006). Lauko su kaupiamaisiais augalais sėjomainoje CO₂ išsiskyrimas kiekvieną kartą matuojant buvo nustatytas vis didesnis. Pastarojoje sėjomainoje žieminiai kviečiai buvo sėjami į galvijų mėšlu tręštą pūdymą.



2 pav. Dirvožemio drėgmė, temperatūra ir CO₂ emisija žieminių rugių pasėlyje, 2017 m.
Fig. 2. Soil humidity, temperature and CO₂ emission in the winter rye crop 2017

Pastaba: ^{a-d} reikšmės, turinčios tą pačią raidę, esminiais skirtumais nepasižymi.

Notes: ^{a-d} means followed by the same letter for the same measurement did not differ significantly.



3 pav. Dirvožemio drėgmė, temperatūra ir CO₂ emisija žieminių kviečių pasėlyje, 2017 m.

Fig. 3. Soil humidity, temperature and CO₂ emission in the winter wheat crop 2017

Pastaba: ^{a-d} reikšmės, turinčios tą pačią raidę, esminiais skirtumais nepasižymi.

Notes: ^{a-d} means followed by the same letter for the same measurement did not differ significantly.

Norfolko sėjomainoje vyko intensyvus CO₂ emisijos iš dirvožemio išsiskyrimas nuo pat žieminių kviečių vegetacijos pradžios, nes prieš tai augintos bulvės buvo tręstos mėšlu (50 t ha⁻¹), taip susidarė tinkamos sąlygos mikroorganizmams, o tolimesni matavimai patvirtino, kad tai turėjo įtakos ir žieminių kviečių šaknų sistemai (3 pav.). Šioje sėjomainoje, palyginti su kitomis sėjomainomis, išryškėjo CO₂ emisijos iš dirvožemio išsiskyrimas vegetacijos pabaigoje. Tam įtakos galėjo turėti didesnis drėgmės kiekis ir aukštesnė dirvožemio temperatūra. Žieminių kviečių pasėliuose nei atliekant matavimus, nei vegetacijos laikotarpiu, nei CO₂ emisijos išsiskyrimo laikotarpiu esminių skirtumų tarp sėjomainų nebuvo nustatyta.

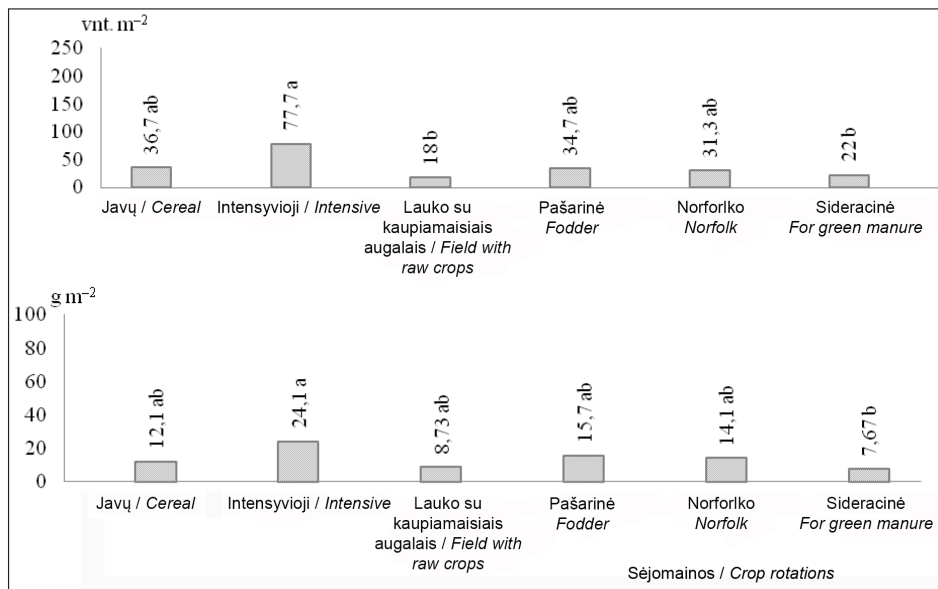
Sliekų kiekis ir masė dirvožemyje. Vasarinių miežių pasėlyje iš esmės didesnis (3,53 karto) sliekų skaičius buvo nustatytas intensyviojoje sėjomainoje (4 pav.), palyginti su kaupiamųjų augalų lauko sėjomaina, ir 4,32 karto, palyginti su sideracine sėjomaina. Intensyviojoje sėjomainoje vasarinių miežių priešėlis buvo kukurūzai, sėti po žieminių rugių, nupjautų gegužės mėn. pabaigoje žaliajai trąšai. Todėl pasiliko didelis kiekis organinių liekanų sliekams skaidyti. Žaliosios trąšos poveikis augalų derliui priklauso nuo įterptos biomasės kiekio, jos cheminės sudėties, irimo ypatumų ir dirvožemio humusingojo sluoksnio storio (Tri-

polskaja, 2005). Esmingai mažesnis (4,32 karto), palyginti su intensyviaja sėjomaina, sliekų skaičius nustatytas lauko su kaupiamaisiais augalais sėjomainoje, kurioje vasarinių miežių priešėlis buvo cukriniai runkeliai.

Sideracinės sėjomainos vasarinių miežių pasėlyje nustatyta (4 pav.) iš esmės mažesnė (3,13 karto) sliekų masė nei intensyviojoje sėjomainoje, kurioje buvo didžiausias esminis skirtumas, palyginti su kitomis sėjomainomis. Intensyviojoje sėjomainoje sliekų masė buvo didžiausia, palyginti su jų mase kitų sėjomainų pasėliuose, vidutiniškai 51,6 %.

Nuėmus derlių ir įvertinus sliekų skaičių rugių ražienoje iš esmės daugiau (nuo 2,24 iki 11,13 karto) jų aptikta lauko su kaupiamaisiais augalais sėjomainoje (4 pav.), palyginti su kitomis sėjomainomis ir rugių monopsėliu. Tam įtakos turėjo dvejus metus augintos daugiametės žolės, jos paliko daug organinių liekanų.

Sliekų skaičius mažesnis (nuo 3,16 iki 11,13 karto) nustatytas intensyviojoje sėjomainoje, palyginti su kitomis sėjomainomis, nors priešėlis buvo taip pat daugiametės žolės, bet tik pirmų metų. R. Skuodienės ir N. Daugėlienės (2008) gauti tyrimų rezultatai atskleidžia, kad į dirvožemį patekusios įvairios daugiametės žolės ir skirtingi maisto medžiagų kiekiai turi esminę įtakos žieminių javų produktyvumo elementų formavimuisi. Tokia tendencija pastebėta ir vertinant sliekų masę (5 pav.).

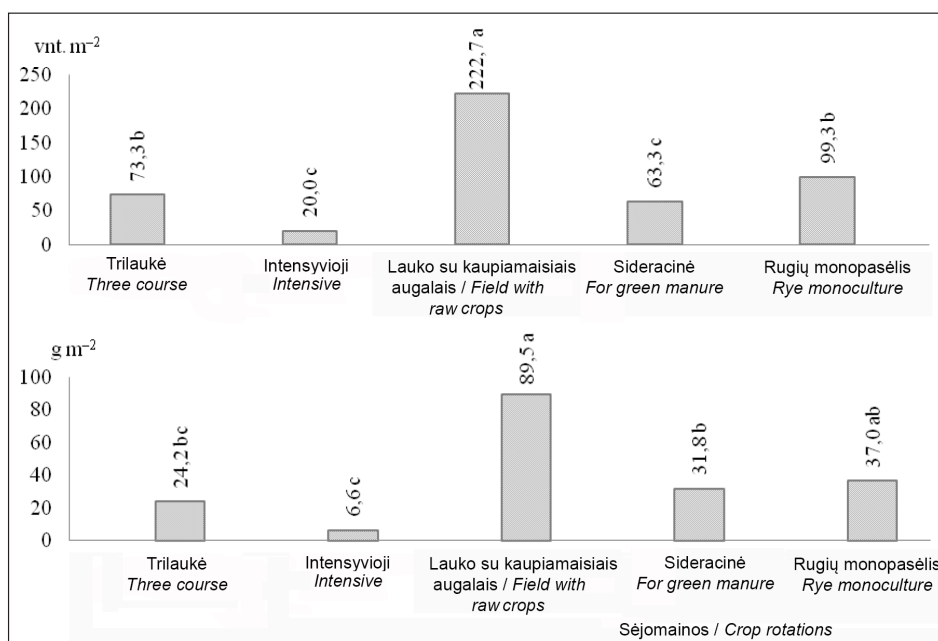


4 pav. Sliekų skaičius ir masė vasarinių miežių pasėlyje, 2017 m.

Fig. 4. Quantity and mass of earthworms in the spring barley crop 2017

Pastaba: ^{a-d} reikšmės, turinčios tą pačią raidę, esminiais skirtumais nepasižymi.

Notes: ^{a-d} means followed by the same letter for the same measurement did not differ significantly.



5 pav. Sliekų skaičius ir masė žieminių rugių pasėlyje, 2017 m.

Fig. 5. Quantity and mass of earthworms in the winter rye crop 2017

Pastaba: ^{a-d} reikšmės, turinčios tą pačią raidę, esminiais skirtumais nepasižymi.

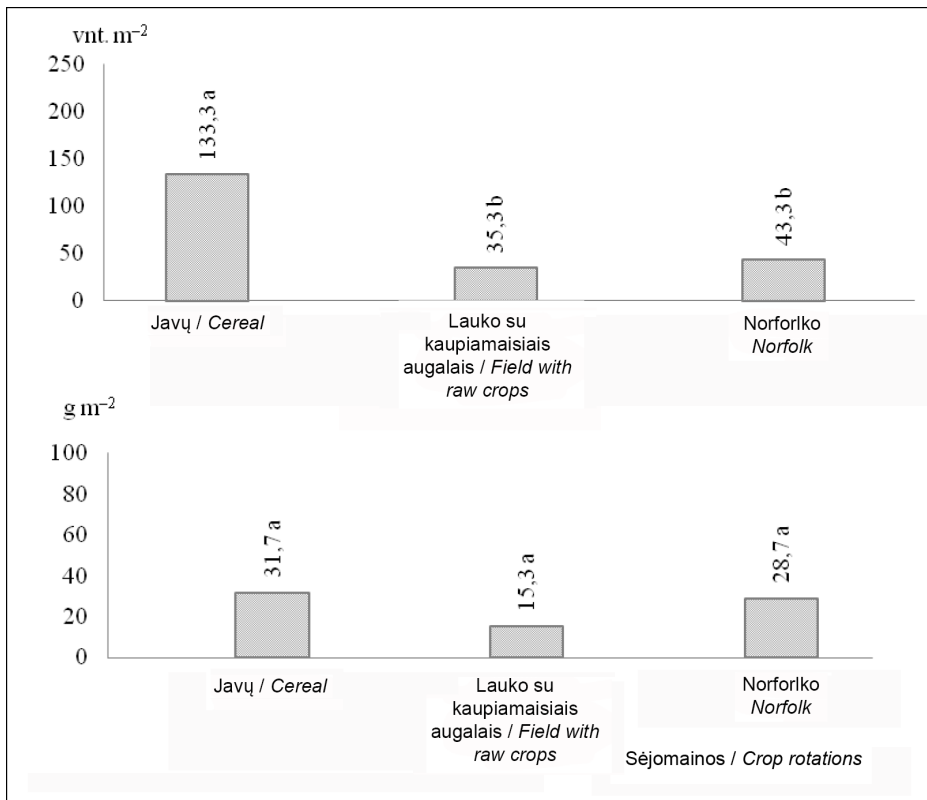
Notes: ^{a-d} means followed by the same letter for the same measurement did not differ significantly.

Iš esmės didesnė (2,42–13,56 karto) sliekų masė nustatyta lauko su kaupiamaisiais augalais sėjomainoje, palyginti su kitomis sėjomainomis.

Žieminių kviečių ražienoje taikant javų sėjomainą nustatytas didesnis (3,08 karto) sliekų skaičius, palyginti su Norfolkio sėjomaina, ir 3,78 karto, palyginti su kaupiamųjų augalų sėjomaina (6 pav.). Javų sėjomainoje sliekų skaičius išsiskyrė iš kitų dviejų sėjomainų, nes žieminių kviečių pa-

sėlio priešėlis buvo vikių ir avių mišinys, rudenį tręštas galvijų mėšlu, kuris paliko reikiamą kiekį organinių liekanų.

Lyginant su javų sėjomaina iš esmės mažesnis (3,78 karto) rastų sliekų skaičius buvo lauko su kaupiamaisiais augalais sėjomainoje (6 pav.), kurioje žieminiai kviečiai buvo sėti po juodojo pūdy-mo. Įvertinus sliekų masę esminių skirtumų nebuvo nustatyta.



6 pav. Sliekų skaičius ir masė žieminių kviečių pasėlyje, 2017 m.

Fig. 6. Quantity and mass of earthworms in the winter wheat crop 2017

Pastaba: ^{a-d} reikšmės, turinčios tą pačią raidę, esminiais skirtumais nepasizymi.

Notes: ^{a-d} means followed by the same letter for the same measurement did not differ significantly.

IŠVADOS

1. Rugių pasėliuose intensyvesnė CO₂ emisija iš dirvožemio buvo vegetacijos pradžioje visose sėjomainose, o lauko su kaupiamaisiais augalais po antrųjų metų daugiamečių žolių mišinio priešsėlio buvo intensyviausia. Žieminių kviečių, auginamų po daugiamečių žolių, Norfolko sėjomainoje intensyviausia CO₂ emisija buvo vegetacijos viduryje. Vasarinių miežių sparčiausia CO₂ emisija vyko vegetacijos viduryje, kai buvo palankus dirvožemio drėgmės ir temperatūros santykis. CO₂ emisijos iš dirvožemio išsiskyrimui didžiausią įtaką žieminių javų ir vasarinių miežių pasėliams turėjo priešsėlis. Po priešsėlių, paliekančių didelį augalinių liekanų kiekį dirvožemyje, CO₂ emisijos intensyvumas iš dirvožemio nustatytas didžiausias.

2. Sliekų kiekiui nuėmus žieminių javų ir vasarinių miežių derlių didžiausią įtaką turėjo augalinės liekanos, likusios po priešsėlio. Taikant lauko su kaupiamaisiais augalais sėjomainą žieminių rugių pasėlyje daugiausia sliekų nustatyta po daugiamečių žolių pirmaisiais metais, o žieminių kviečių ražienoje javų sėjomainoje – po vikų ir avių mi-

šinio. Vasarinių miežių ražienoje gauti rezultatai išsiskyrė intensyviojoje sėjomainoje, kurioje vasarinių miežių priešsėlis buvo kukurūzai, paliekantys didelį kiekį organinių liekanų. Intensyviojoje sėjomainoje auginami tarpiniai pasėliai galėjo turėti įtakos sliekų skaičiui ir masei.

3. Sliekų skaičius dirvožemyje turėjo esminės įtakos CO₂ emisijai. Didžiausia CO₂ emisija iš dirvožemio nustatyta tose sėjomainose ir tuose javų pasėliuose, kur aptiktas didžiausias sliekų skaičius.

Gauta 2019 03 21

Priimta 2019 09 30

LITERATŪRA

1. Al-Kasi M. M., Yin X. 2005. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 34. P. 437–445. Prieiga per internetą: <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2005.0437>
2. Arlauskienė A., Maikštėnienė S., Šlepetienė A. 2009. The effect of catch crops and straw on spring barley nitrogen nutrition and soil humus composition. *Žemdirbystė–Agriculture*. Vol. 96(2). P. 53–70.

3. Buragienė S. 2013. *Skirtingų žemės dirbimo technologijų poveikis aplinkai*: daktaro disertacija. Akademija.
4. Carrijo O. A., Vidal M. C., dos Reis N. V. B., de Souza R. B., Makishima N. 2004. Tomato crop production under different substrates and greenhouse models. *Horticultura Brasileira*. Vol. 22. No. 1. P. 5–9.
5. Eidukevičienė M., Vasiliauskienė V. 2001. *Lietuvos dirvožemiai*. Vilnius: Lietuvos mokslas. P. 690–707.
6. Feizienė D., Feiza V., Kadžienė G., Vaidelienė A., Povilaitis V., Deveikytė I. 2012. CO₂ fluxes and drivers as affected by soil type, tillage and fertilization. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil and Plant Science*. Vol. 62. Issue 4. P. 311–328.
7. Feizienė D., Povilaitis V. 2009. Dirvožemio kvėpavimo dinamika skirtinguose pasėliuose organinėje ir intensyvioje žemdirbystės sistemoje. *Žemdirbystė–Agriculture*. Nr. 1. P. 127–141.
8. Foley J. A., Ramankutty N., Brauman K. A., Cassidy E. S., Gerber J. S., Johnston M., Mueller N. D., O’Connell Ch., Ray D. K., West P. C., Balzer Ch., Bennett E. M., Carpenter S. R., Hill J., Monfreda Ch., Polasky S., Rockström J., Sheehan J., Siebert S., Tilman D., Zaks D. P. M. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature*. Vol. 478. P. 337–342.
9. Gay S. H. 2007. *Journal of Environmental Management*. Vol. 5. P. 779–784.
10. Yiqi L., Zhou X. *Soil Respiration and the Environment*. USA: Academic Press (2010).
11. Lal R. 2000. Physical management of the soils of the tropics: priorities for the 21st century. *Soil Science*. Vol. 165(3). P. 191–207.
12. Lee J., Hopmans J. W., Kessel Ch., King A. P., Evatt K. J., Louie D., Rolston D. E., Six J. 2009. Tillage and seasonal emissions of CO₂, N₂O and NO across a seed bed and at the field scale in a Mediterranean climate. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol. 129. P. 378–390.
13. Lee X., Wu H. J., Sigler J., Oishi C., Siccama T. 2004. Rapid and transient response of soil respiration to rain. *Global Change Biology*. Vol. 10. P. 1017–1026.
14. Lehnert M. 2014. Factors affecting soil temperature as limits of spatial interpretation and simulation of soil temperature. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis – Geographica*. Vol. 45. No. 1. P. 5–21.
15. Mačiulytė V., Rimkus E. 2016. Dirvožemio terminis režimas Lietuvoje. *Geologija. Geografija*. T. 2. Nr. 1. P. 1–13.
16. Morell F. J., Alvaro-Fuentes J., Lampurlanes J., Cantero-Martinez C. 2010. Soil CO₂ fluxes following tillage and rainfall events in a semiarid Mediterranean agroecosystem: Effects of tillage systems and nitrogen fertilization. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol. 139. P. 167–173.
17. Parle J. N. 1963. Micro-organisms in the intestines of earthworms. *Journal of General Microbiology*. Vol. 33. P. 1–11.
18. Piaulokaitė-Motuzienė L. 2009. Mikroorganizmų dirvožemyje svarba. *Mano ūkis*. Nr. 1 [žiūrėta 2019-02-28]. Prieiga per internetą: http://www.mano-ukis.lt/print_forms/print_st_z.php?s=1766&z=81
19. Rachman A., Anderson S. H., Gantzer C. J., Thomson A. L. 2003. Influence of long-term cropping systems on soil physical properties related to soil erodibility. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 67(2). P. 637–644.
20. Skuodienė R., Daugėlienė N. 2008. Daugiamečių žolių, panaudotų kaip žalioji trąša, įtaka žieminių kvietrugių ir rugių produktyvumui. *Žemdirbystė–Agriculture*. T. 95(2). P. 72–87.
21. Tripolskaja L. 2005. *Organinės trąšos ir jų poveikis aplinkai*. Lietuvos žemdirbystės institutas.
22. Velička R., Rimkevičienė M., Kriaučiušienė Z., Marcinkevičienė A. 2006. Augalų liekanose sukaupto lignino skaidymo priemolio glėžiškame rudžemyje dėsninčiai. *Žemės ūkio mokslai*. Nr. 3. P. 10–15.
23. Vinther F. P., Hausen E. M., Olsen J. E. 2004. Effects of plant residues on crop performance, N mineralization and microbial activity including CO₂ and N₂O fluxes in unfertilised crop rotations. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Vol. 70. P. 189–199.
24. Zhang G. S., Chan K. Y., Oates A., Hesenan D. P., Huang G. B. 2007. Relationship between soil structure and runoff/soil loss after 24 years of conservation tillage. *Soil and Tillage Research*. Vol. 92. P. 122–128.
25. Žekonienė V., Račkauskienė A. 2003. Sliekų skaičius, priklausomai nuo žemdirbystės sistemos. *Vagos: mokslo darbai*. Nr. 57. P. 37–40.
26. Žiogas A. F., Zakarauskas J. D. 2008. *Dirvožemio biologija* [žiūrėta 2019-03-12]. Prieiga per internetą: <http://www.asu.lt/nm/lprojektas/dirvozemis/titlas.htm>

Lina Skinulienė, Vaclovas Bogužas, Vaida Steponavičienė,
Aušra Sinkevičienė, Aušra Marcinkevičienė,
Alfredas Sinkevičius

EFFECT OF LONG-TERM CROP ROTATIONS ON SOIL CO₂ EMISSION AND EARTHWORMS

S u m m a r y

Long-term field experiment was established in 1966 at the Experimental Station of Vytautas Magnus University, in the crop rotation collection of the Institute of Agroecosystems and Soil Science established in 1967. The soil is brown drained deeper carbonic shallow clayey (RDg8-k2) – *Endocalcari-Epihypogleyic Cambisol* (sicco) (CMg-p-w-can). The experiment was carried out in crops of winter wheat, rye and barley of different crop rotation in sequence of different preceding/catch crops. Crops of winter rye (*Secale cereale* L.) 'Matador', wheat 'Skagen' and spring barley 'Orphelija' were sown in 8 crop rotations in sequence of different preceding (catch) crop and rye monocrops.

The research aim was to investigate the effect of long-term crop rotations on the soil CO₂ emission, and on the number and mass of earthworms.

After pre-crops, leaving a large amount of plant residues in the soil, the CO₂ emission intensity was the highest. It was established that after harvesting of winter cereals and spring barely, the plant residue had the most significant influence on the amount of earthworms.

Keywords: CO₂ emission, soil humidity, soil temperature, earthworms, crop rotations