

Biokuro pelenų panaudojimo galimybės auginant vasarinius miežius

Kristina Bunevičienė,

Donata Drapanauskaitė,

Romas Mažeika

Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centras,
Instituto al. 1,
58344 Akademija, Kėdainių r., Lietuva
El. paštas kristina.buneviciene@lammc.lt

Biokuro pelenai – sudėtingas ir nevienalytis neorganinių kristalinių ir amorfinių mineralų mišinys kartu su organinėmis medžiagomis. Biokuro pelenai paprastai yra papildyti K, P, Ca ir Mg, šie makroelementai yra būtini augalams, skatina jų augimą. Daug biokuro pelenų yra šalinama sąvartynuose. Pelenai, perdirbti į granuliuotus produktus, gali būti naudojami kaip atskiros arba papildomos mineralinės trąšos žemės ūkyje.

Tyrimų tikslas – nustatyti biokuro pelenų cheminę sudėtį ir jų tinkamumą pelenų granuliuojamajam gamybai; įvertinti biriais ir granuliuotais biokuro pelenais tręštų vasarinių miežių grūdų ir šiaudų derlių bei priklausomumą nuo derliaus ir įterpto skirtingų tręšimo produktų K_2O kiekio.

Ekspertas vykdytas 2017–2018 metais. Sunkiųjų metalų (Cr, Pb, Ni, Cd) ir mikroelementų (Zn ir Cu) koncentracijos biokuro pelenuose neviršijo leistinų normų, iš jų buvo galima gaminti tręšimo produktus (pelenų granules) ir naudoti vegetaciniame eksperimente. Vykdydamas vegetacinį eksperimentą nustatyta, kad tręšimo produktai abejais tyrimų metais reikšmingai ($P < 0,05$) padidino augintų vasarinių miežių grūdų ir šiaudų derlių, o atlikta koreliacinė regresinė analizė abejais tyrimo metais buvo teigiamai stipri ($P < 0,01$). Vasarinių miežių derlius didėjo didinant K_2O kiekį tręšimo produktuose.

Raktažodžiai: biokuro pelenai, pelenų granulės, vasariniai miežiai, derlius

ĮVADAS

Biokuras – vienas iš atsinaujinančių energijos šaltinių (AEI), kurių atsiradimą nulemia gamta. Dėl šios priežasties sparčiai didėja biokuro panaudojimas daugelio šalių energetikoje. Biomasės naudojimas elektros energijai gaminti, taip pat šildymui ir aušinimui vis sparčiau plinta (Chojnacka et al., 2019), todėl visame pasaulyje susidaro didelis kiekis biomasės deginimo pelenų. Literatūroje pateikiamas biomasės pelenų kiekis nurodomas taip: 31 kt – Danijoje, 133 kt – Austrijoje, 234 kt – Nyderlanduose,

250 kt – Italijoje, 528 kt – Švedijoje ir >1 000 kt – Kanoje (Lamers et al., 2018). Sudeginus biokurą apie 4–13 % susidaro pelenų (Lamers et al., 2018). Biokuro pelenai (BP) – sudėtingas ir nevienalytis neorganinių kristalinių ir amorfinių mineralų mišinys su organinėmis medžiagomis. Biokuro pelenuose paprastai yra augalams būtinų makroelementų: kalio (K), fosforo (P), kalcio (Ca) ir magnio (Mg). Cinkas (Zn), varis (Cu), geležis (Fe) ir manganas (Mn) augalams taip pat yra būtini (Dimkpa, Bindraban, 2016). Šiuo metu didelė biokuro pelenų dalis yra šalinama sąvartynuose (Pesonen et al., 2017).

Keletas tyrimų atskleidė, kad biokuro pelenai gali būti naudojami kaip atskiros arba papildomos mineralinės trąšos žemės ūkyje (Maschowski et al., 2016). Juose daug Ca, todėl gali būti naudojami rūgščioms dirvoms tręšti. Mokslininkai teigia, kad pelenai turi tokias pat ar labai panašias savybes, kaip ir kalkės (Drapanauskaite et al., 2020). Svarbu ir tai, kad pelenai yra šarminė atlieka, pH siekia apie 13 pH vienetų (Yliniemi et al., 2016), todėl tinka rūgščioms dirvoms tręšti. Priklausomai nuo degimo metu naudojamos biokuro sudėties, pelenų dalelėse gali būti toksiškų elementų (Yao et al., 2014), taip pelenai gali tapti pagrindiniu užterštumo šaltiniu. Vandenyje tirpūs mikroelementai gali užteršti dirvožemį ir požeminius vandenis. Mokslininkai nustatė, kad net žemos koncentracijos chromas (Cr), kadmis (Cd), nikelis (Ni) ir švinas (Pb) kelia pavojų aplinkai (Pujilestari et al., 2017). Pelenai, palyginti su dirvožemiu, yra mažiau tankūs ir lengvesni, todėl lengvai patenka į viršutinius dirvožemio sluoksnius ir ten kaupiasi (Kafodya, Okonta, 2018). Vėliau vandens ar vėjo srautas gali išmesti smulkesnes daleles į atmosferą (Kuppusamy et al., 2016). Siekiant išvengti šios problemos reikia pridėti rišamosios medžiagos, kad pasikeistų dulkių miltelių fizinė būseną biokuro pelenų granulėse (Bowden-Green, Briens, 2016). Kaip rišiklis yra tinkamos įvairios natūralios ar sintetinės medžiagos, taip pat kalkių krosnies dulkės (KKD) (Arulrajah et al., 2017). Informacijos apie kokybę ir maistinių medžiagų išsiskyrimą naudojant tokius produktus yra mažai (Al-Homi-

dy et al., 2017). Pažymėtina, kad biokuro pelenai tinka daugumai daržo ir sodo augalų, ypač tiems, kurie nemėgsta chloro, t. y. grikiams, bulvėms, saulėgražoms ir kt. Augalai, kurie mėgsta rūgščią dirvą, biokuro pelenų netoleruoja.

Tyrimų tikslas – nustatyti biokuro pelenų cheminę sudėtį ir jų tinkamumą pelenų granuliu gamybai; įvertinti biriais ir granuliuotais biokuro pelenais tręštų vasarinių miežių grūdų ir šiaudų derlių bei priklausomumą nuo derliaus ir įterpto skirtingų tręšimo produktų K_2O kiekio.

METODAI IR SĄLYGOS

Eksperimento vieta ir aprašymas. Vegetacinis eksperimentas vykdytas 2017–2018 m. Lietuvos agrarinių ir miškų mokslų centro (LAMMC) Agrocheminių tyrimų laboratorijos vegetacinių bandymų atviroje aikštelėje. Eksperimente buvo naudojami plastikiniai indai, kurių plotas – $0,07 \text{ m}^2$. Vegetaciniai indai buvo pripildyti 9 l persijoto dirvožemio, 1 l dirvožemio rankiniu būdu buvo sumaišytas su pelenais ir skirtingomis pelenų granulėmis. Gautas mišinys paskleistas ant paviršiaus. Tręšimo normos pasirinktos dvi: 1,5 ir $3,0 \text{ t ha}^{-1}$. Jos apskaičiuotos pagal veikliosios medžiagos (K_2O) kiekį pelenuose ir granulėse. Papildomai buvo naudota amonio salietra ir granuliuotas superfosfatas, tręšimo norma – po 90 kg ha^{-1} . Vegetaciniai indai buvo laikomi natūraliomis klimato sąlygomis ir pagal poreikį vienodai laistomi (1 pav.).



1 pav. Vasariniai miežiai vegetaciniuose induose atliekant eksperimentą
Fig. 1. Spring barley in vegetative pots during the experiment

Induose buvo pasėta po 20 vasarinių miežių (lot. *Hordeum L.*) sėklų. Vegetacinio eksperimento metu auginti LAMMC Žemdirbystės institute sukurti vasariniai miežiai 'Ema DS'. Sėklos buvo įterptos į dirvą 1 cm gylyje vienodais atstumais, pasirinkti keturi variantų pakartojimai. Naudotas kontrolinis variantas be trąšų. Indai buvo išdėstyti randomizuotai. Eksperimente naudoti devyni variantai, jie pateikti 1 lentelėje.

Vasariniai miežiai pasėti 2017 m. gegužės 15 d. ir 2018 m. gegužės 11 dieną. Užaugintas derlius abejais metais nuimtas po 12 savaitių. Nuėmus derlių pirmiausia buvo pasvertas šiaudų derlius, o iškūlus varpas – grūdų derlius.

Vykdamas eksperimentą buvo naudojamas paprastas išplautžemio priešmėlio dirvožemis (*Haplic Luvisol*) (WRB, 2014). Jis buvo paimtas pavasarį (2017–2018) iš LAMMC Vokės filialo laukų Vilniaus rajone, nustatytos jo savybės: pH – 5,5; maisto medžiagos: judrusis K_2O – 0,015–0,017 % ir P_2O_5 – 0,036–0,038 % (LVP D-07: 2016, 9 leidimas. Laboratorijoje parengtas Egnerio–Rimo–Domingo, (A–L) ištraukoje metodas); judrusis Ca – 0,092–0,10 % ir Mg – 0,010–0,011 % (LVP D-13: 2016, 2 leidimas). Šie elementai nustatyti LAMMC Agro-

cheminių tyrimų laboratorijoje (ATL). Sunkieji metalai dirvožemyje: Cd (0,052–0,060 mg kg⁻¹), Pb (8,75–9,84 mg kg⁻¹), Ni (5,40–5,75 mg kg⁻¹), Cr (9,40–9,98 mg kg⁻¹), Cu (3,47–4,30 mg kg⁻¹) ir Zn (17,9–21,0 mg kg⁻¹) nustatyti LAMMC Žemdirbystės instituto Agrobiologijos laboratorijoje naudojant induktyviai susietos plazmos masių spektrometrijos (ICP–MS) metodą.

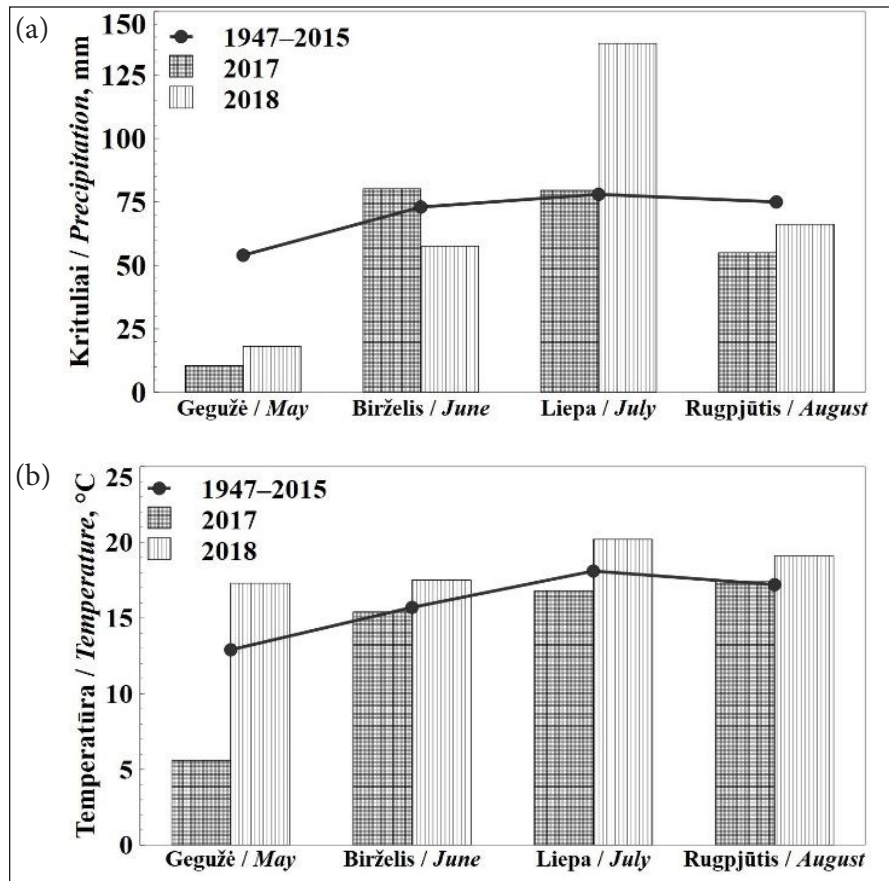
Biokuro pelenų ir pelenų granulių fizikiniai ir cheminiai rodikliai nustatyti LAMMC ATL. pH_{KCl} nustatytas pagal standartą LST EN 13037, K – LST EN 13657:2003, LST ISO 9964–3:1998; P – LST EN 13657:2003, LST EN ISO 6878:2004; Ca ir Mg – LST EN 13657:2003, LST EN ISO 7980:2000; Cd – LST EN 13657:2003, LST EN ISO 15586:2004; Cu ir Zn – LST EN 13657:3003, LST ISO 8288:2002 ir Cr, Pb, Ni, Fe, Al ir S – LST EN 13657:2003, LST EN ISO 11885:2009.

Meteorologinės sąlygos. Vykdamas eksperimentą užfiksuota suminis kritulių kiekis ir vidutinė temperatūra, rezultatai parodyti 2 paveiksle. Vegetacinio eksperimento metu (gegužės–rugpjūčio mėn.) suminis kritulių kiekis antraisiais tyrimo metais buvo užregistruotas didesnis ir siekė 279 mm, palyginti su 2017 m., kai iškrito 225 mm kritulių, o daugiametis suminis kritulių vidurkis yra 236 mm

1 lentelė. Vegetacinio eksperimento variantai

Table 1. Treatments of the vegetation experiment

Varianto numeris <i>Treatment number</i>	Tręšimo produktai <i>Fertilizers</i>	Tręšimo norma <i>Fertilizer rate, t ha⁻¹</i>	Sutrumpinimas <i>Abbreviation</i>
1	Kontrolė <i>Control</i>	0	K
2	Biokuro pelenai <i>Biofuel ash</i>	1,5	BP 1.5
3	Biokuro pelenai <i>Biofuel ash</i>	3,0	BP 3.0
4	Pelenų granulės, kuriose 30 % pelenų <i>Ash granules with 30% ash in granule</i>	1,5	BPG30 1.5
5	Pelenų granulės, kuriose 30 % pelenų <i>Ash granules with 30% ash in granule</i>	3,0	BPG30 3.0
6	Pelenų granulės, kuriose 50 % pelenų <i>Ash granules with 50% ash in granule</i>	1,5	BPG50 1.5
7	Pelenų granulės, kuriose 50 % pelenų <i>Ash granules with 50% ash in granule</i>	3,0	BPG50 3.0
8	Pelenų granulės, kuriose 70 % pelenų <i>Ash granules with 70% ash in granule</i>	1,5	BPG70 1.5
9	Pelenų granulės, kuriose 70 % pelenų <i>Ash granules with 70% ash in granule</i>	3,0	BPG70 3.0



2 pav. (a) Suminis kritulių kiekis (mm) ir (b) vidutinė temperatūra (°C) 2017–2018 m., Kaunas

Fig. 2. (a) Total amount of precipitation (mm) and (b) average temperature (°C) in 2017–2018 during the experiment in Kaunas

(2(a) pav.). Vadinas, 43 mm mažesnis nei 2018 m. ir 11 mm didesnis nei 2017 metais. 2018 m. liepos mėn. buvo labai drėgnas. Suminis iškritusių kritulių kiekis siekė net 138 mm ir tai sudarė pusę iškritusių kritulių kiekio per visą vegetacijos laikotarpį bei du kartus daugiau, nei užfiksuotas daugiametis suminis kritulių kiekis.

Vidutinė temperatūra vegetacijos metu buvo +13,8 ir +18,5 °C, o vidutinė daugiametė +15,5 °C (2(b) pav.). Antraisiais tyrimo metais vidutinė temperatūra visais mėnesiais buvo aukštesnė nei daugiametė, o pirmaisiais – žemesnė arba lygi jai. 2017 m. gegužės mėn. buvo labai vėsus, vidutinė temperatūra siekė tik +5,6 °C, o 2018 m., priešingai, daug šiltesnis (+11,7 °C).

Statistinė analizė. Mėginių cheminės analizės buvo atliktos trimis pakartojimais. Gautų rezultatų vidutinės vertės ir \pm standartinis nuokrypis apskaičiuotas naudojant kompiuterinę programą *Microsoft Office Excel 2016*. Statistinei analizei buvo naudojamas programinės įrangos paketas SAS, 9.3

versija (SAS institutas, JAV). Esminiai skirtumai lyginti taikant Dunkano testą ($P < 0,05$), o ryšiumi tarp kintamųjų rodiklių nustatyti buvo naudojama koreliacinė regresinė duomenų analizė.

TYRIMŲ REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Tręšimo produktų – BP ir KKD miltelių bei granuliuotų pelenų (BPG) – cheminė sudėtis. Išsiaiškinti biokuro pelenų ir iš jų pagamintų granuliuotų pelenų cheminę sudėtį yra būtina, kad suprastume jų poveikį aplinkai ir augalams. Prieš pradėdant eksperimentą, pirmiausia buvo nustatyti BP, KKD, BPG kokybės rodikliai, t. y. maisto medžiagų bendri kiekiai: K, P, Ca, Mg, Fe, aliuminio (Al), sieros (S); sunkieji metalai: Zn, Cu, Cr, Ni, Pb ir Cd; įvertintas pH. Kai $\text{pH} > 7$, terpė yra šarminė. Biokuro pelenai yra šarminė atlieka (Yliniemi et al., 2016). Nustatyta pH vertė pelenuose siekė $12,9 \pm 0,06$. Kalkių krosnies dulkių pH irgi buvo aukštas ($12,8 \pm 0,16$). Atitinkamai pagamintose biokuro pelenų granulėse

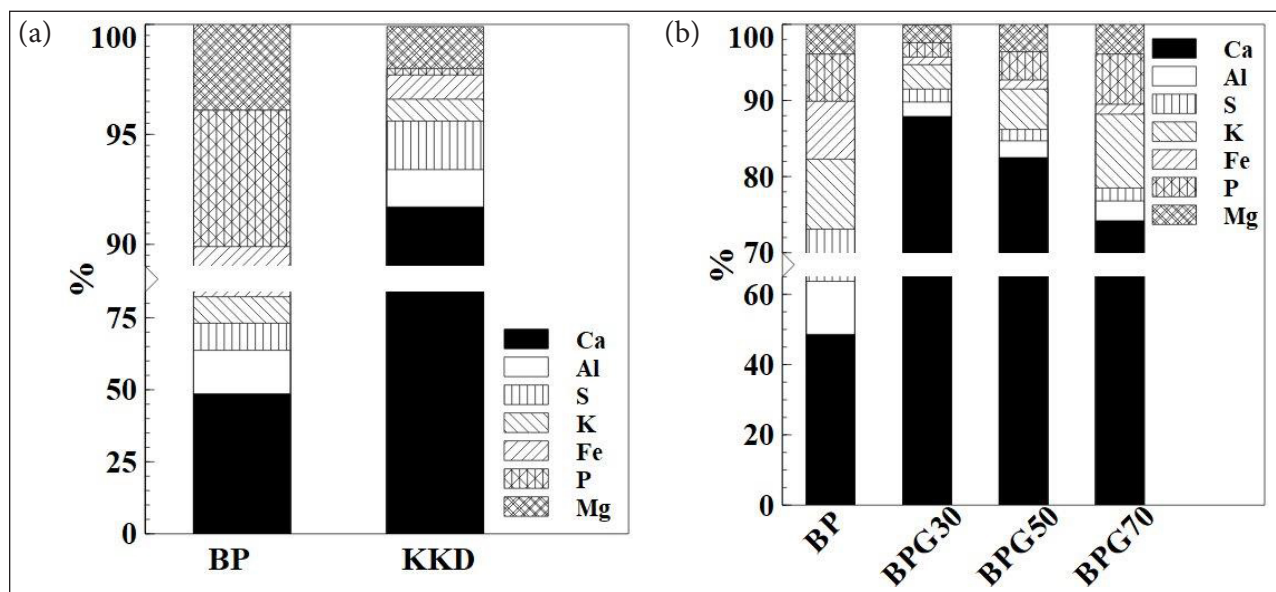
pH: BPG30 – $12,8 \pm 0,07$, BPG50 – $12,8 \pm 0,06$ ir BPG70 – $12,9 \pm 0,07$.

3(a) pav. parodyta vegetaciniame eksperimente naudotų BP ir KKD pagrindinių maisto medžiagų cheminė sudėtis. Abi šios medžiagos sudarytos daugiausia iš Ca^{2+} jonų turinčių cheminių junginių. BP bendras Ca sudaro ~48,6 %, o KKD 1,9 karto daugiau, t. y. 91,7 % pagrindinių maisto medžiagų. Kitos augalų maistinės medžiagos – Mg, K, P, Fe, Al ir S – sudaro likusią dalį. Literatūroje teigiama, kad įprastai KKD sudėtis svyruoja tarp 31–55 % CaO su žymiai mažesnėmis kitų elementų koncentracijomis: 0,7–4,1 % Al_2O_3 , 1,7–9,9 % SiO_2 , 0,5–25 % MgO ir 0,03–0,22 % K_2O (El-Attar et al., 2017).

Nustatyta, kad P kiekis BP sudaro ~6,2 % visų pagrindinių maisto medžiagų, o kalkių krosnies dulkėse – tik ~0,3 %. P yra pagrindinė augalams reikalinga maistinė medžiaga. Fe ir Al aptiktas tiek BP, tiek ir KKD. BP nustatyti žymiai didesni kiekiai, atitinkamai 6,9 ir 8,9 kartus daugiau. Literatūroje teigiama, kad tiesiogiai arba jungdamas P į netirpius junginius Al^{3+} augalams yra toksiškas elementas (Muhammad et al., 2019). Šis poveikis išryškėja tik tada, kai dirvožemio pH pasiekia $<5,5$ pH vnt. (Kryzevicius et al., 2019). Fe yra maistinė medžiaga, reikalinga normaliam augalų augimui ir dauginimuisi. Pagrindinių maistinių medžiagų kiekis granuluotose medžiagose skyrėsi, tai priklausė

nuo KKD kiekio, kaip parodyta 3(b) paveiksle. Pelenų granulėse, kuriose buvo 30 % BP ir 70 % KKD (BPG30), nustatytas Ca kiekis siekė ~87,9 %. Didėjant pelenų kiekiui granulėje Ca kiekis mažėjo, t. y. sumažėjo iki ~74,2 % granulėse ir 70 % pelenų granulėje (BPG70).

Šiame tyrime buvo nustatyti šeši sunkieji metalai: Cd, Pb, Ni, Cu, Zn ir Cr. Zn ir Cu naudojami kaip mikroelementai esant mažai koncentracijai dirvožemyje (Avkopashvili et al., 2017; Aissaoui, Barkat, 2018). Pažymėtina, kad BP bendra mikroelementų ir sunkiųjų metalų koncentracija buvo 10 kartų didesnė nei KKD; Zn siekė $703 \pm 24,1 \text{ mg kg}^{-1}$ (didžiausia leidžiama koncentracija $1\ 500 \text{ mg kg}^{-1}$ (LR Aplinkos ministerija, 2011)), Cu – $123 \pm 1,2 \text{ mg kg}^{-1}$ (200 mg kg^{-1}), Cr – $28,3 \pm 1,11 \text{ mg kg}^{-1}$ (30 mg kg^{-1}), Pb – $9,07 \pm 3,114 \text{ mg kg}^{-1}$ (50 mg kg^{-1}), Ni – $8,13 \pm 0,321 \text{ mg kg}^{-1}$ (30 mg kg^{-1}) ir Cd – $4,83 \pm 0,091 \text{ mg kg}^{-1}$ (5 mg kg^{-1}). Remiantis aplinkos ministro įsakymu „Dėl medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklių patvirtinimo“ pažymėtina, kad biokuro pelenuose esantys toksiniai elementai atitinka leidžiamas normas, nurodytas įsakymo punkte apie didžiausias leidžiamas cheminių medžiagų koncentracijas pelenuose, naudojamuose žemės ūkyje (Dėl medienos kuro pelenų tvarkymo..., 2011). KKD nustatyti daug mažesni sunkiųjų metalų kiekiai:



3 pav. Pagrindinių maistinių medžiagų cheminė sudėtis (a) biokuro pelenuose (BP), kalkių krosnies dulkėse (KKD) ir (b) biokuro pelenų granulėse (BPG)

Fig. 3. The chemical composition of major nutrients in (a) biofuel ash (BP) and lime kiln dust (KKD), and (b) biofuel ash granules (BPG)

Zn – $21,1 \pm 6,51 \text{ mg kg}^{-1}$, Cu – $10,4 \pm 0,14 \text{ mg kg}^{-1}$, Cr – $12,1 \pm 2,19 \text{ mg kg}^{-1}$, Pb – $9,65 \pm 3,323 \text{ mg kg}^{-1}$, Ni – $8,60 \pm 0,283 \text{ mg kg}^{-1}$ ir Cd – $0,56 \pm 0,014 \text{ mg kg}^{-1}$. PBG30 turėjo mažiausią į dirvožemį patenkančių sunkiųjų metalų kiekį.

Tręšimo produktų poveikis vasarinių miežių grūdų derliui ir šiaudų masei. 2017–2018 m. atlikti tyrimai parodė, kad tręšimo produktai abejais tyrimų metais reikšmingai ($P < 0,05$) padidino augintų vasarinių miežių grūdų derlių. 2017 m. bendras grūdų derlius gautas ~3,2 kartus didesnis nei 2018 m. (2 lentelė). Vertinant dvejų metų vidutinį grūdų derlių paaiškėjo, kad didžiausias prieaugis pasiektas tręšiant $3,0 \text{ t ha}^{-1}$ BP, t. y. grūdų derlius gautas ~53,3 % didesnis, palyginti su kontroliniu variantu. Tam įtakos galėjo turėti padidėjęs dirvožemio pH_{KCl} . Aukštesnis pH sumažina maistinių medžiagų išplovimą ir daro įtaką cheminiams ir biologiniams procesams dirvožemyje (Neina, 2019).

Nustatyta, kad didėjant pelenų granulėse BP kiekiui derlius taip pat didėja: $\text{BPG30} < \text{BPG50} < \text{BPG70}$. Taikant $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ tręšimo normą derlius didėjo atitinkamai $11,6 < 20,8 < 31,3 \%$, o taikant dvigubai didesnę normą – $25,6 < 35,9 < 42,6 \%$, palyginti su netręštu variantu.

2017 m. gautam didesniai vasarinių miežių grūdų derliui, tikėtina, įtakos turėjo meteorologinės sąlygos. Šie metai buvo vėsesni (vidutinė temperatūra siekė $13,8 \text{ }^\circ\text{C}$) ir sausesni (vidutinis

kritulių kiekis buvo 225 mm) nei 2018 m., vidutinė temperatūra buvo $18,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ir vidutinis kritulių kiekis 279 mm (gegužės–rugpjūčio mėn.) (2 pav.). Didesnis kritulių kiekis ir temperatūros pokyčiai turėjo neigiamos įtakos grūdų derliui. Pirma, lietus išplovė didesnę maistinių medžiagų kiekį. Antra, atsipalaidavo kenksmingos medžiagos iš biokuro pelenų ir stabdė augalų augimą. 2018 m. lijo retai, bet gausiai. Tyrimo vietoje pasitaikė škvalo ir krušos, tai turėjo neigiamos įtakos augalams. Nepaisant dėl meteorologinių sąlygų patirtų nuostolių, grūdų derlius antraisiais tyrimo metais buvo kaip ir pirmaisiais ($\text{BPG30} < \text{BPG50} < \text{BPG70}$).

Atlikus eksperimentą ir gautą derlių g inde^{-1} perskaičiavus į t ha^{-1} buvo taikyta koreliacinė regresinė analizė siekiant įvertinti ryšį tarp vasarinių miežių grūdų derliaus (t ha^{-1}) ir eksperimento pradžioje įterpto skirtingų tręšimo produktų K_2O kiekio (kg ha^{-1}). Gauti rezultatai pateikti 4 paveiksle.

Tyrimo metų koreliacija buvo labai stipri, esant 99 % tikimybei. 2018 m. koreliacija nustatyta ypač stipri ir atitinkanti $r = 0,98$; 2017 m. grūdų derliaus priklausomumas nuo K_2O kiekio dirvožemyje buvo šiek tiek silpnesnis ($r = 0,91$). Vasarinių miežių derlius didėjo didėjant K_2O kiekiui tręšimo produktuose. K padeda augalams efektyviau įsisavinti dirvos drėgmę, taip padidindamas atsparumą sausroms. Tokiu būdu pagerėja šaknų

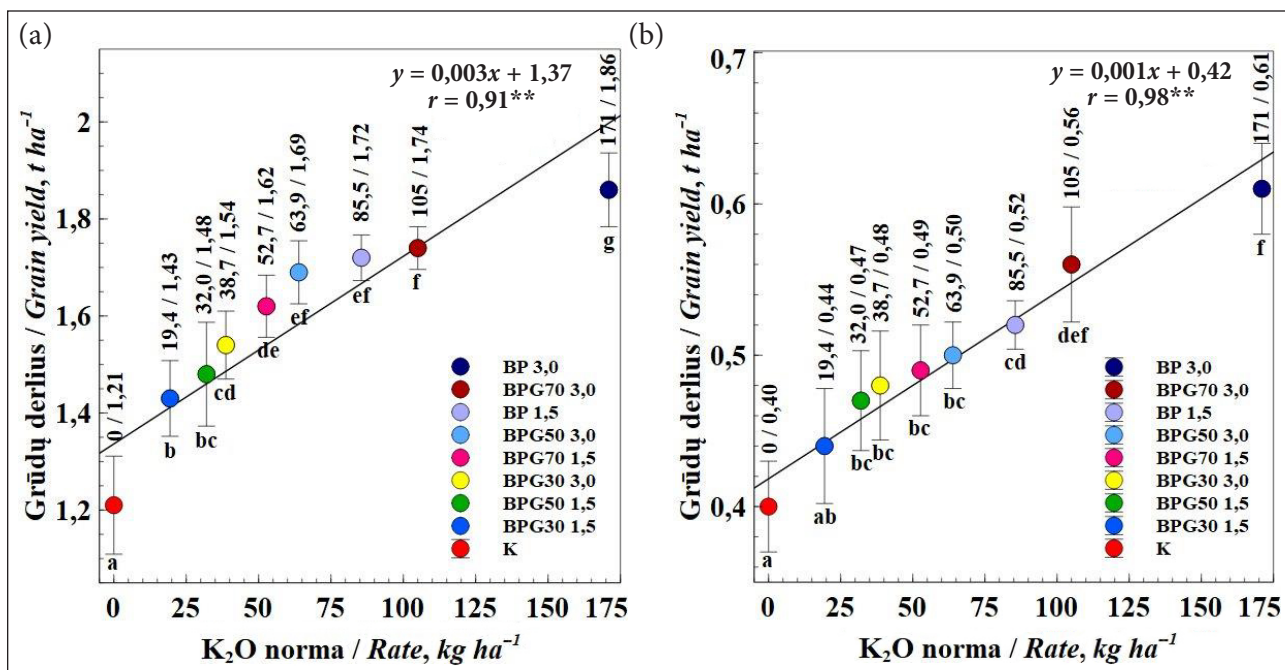
2 lentelė. Tręšimo produktų įtaka vasarinių miežių derliui

Table 2. Spring barley yield affected by fertilization products

Variantai Treatments	Tręšimo norma Fertilization rate, t ha^{-1}	Metai / Year		2017–2018 m. vidurkis / Average
		2017	2018	
Grūdų derlingumas g inde^{-1} / Grain yield, g pot^{-1}				
K	0	$8,5 \pm 0,71$	$2,77 \pm 0,208$	5,63 a
BP	1,5	$12,0 \pm 0,33$	$3,67 \pm 0,115$	7,85 e
	3,0	$13,0 \pm 0,53$	$4,27 \pm 0,208$	8,63 g
BPG30	1,5	$10,0 \pm 0,55$	$3,10 \pm 0,265$	6,55 b
	3,0	$10,8 \pm 0,49$	$3,33 \pm 0,252$	7,07 bcd
BPG50	1,5	$10,3 \pm 0,75$	$3,27 \pm 0,321$	6,80 bc
	3,0	$11,8 \pm 0,46$	$3,47 \pm 0,153$	7,65 de
BPG70	1,5	$11,4 \pm 0,45$	$3,43 \pm 0,208$	7,39 cde
	3,0	$12,2 \pm 0,31$	$3,90 \pm 0,265$	8,03 efg

Pastaba: skirtumas tarp reikšmių su ta pačia raide nebuvo statistiškai reikšmingas tarp įvairių tręšimo produktų, kai $P < 0,05$. Sutrumpinimai: K – kontrolė, BP – biokuro pelenai, BPG – biokuro pelenų granulės.

Note: The difference between the values with the same letter was not statistically significant between different fertilizer products when $P < 0.05$. Abbreviation: K is control, BP is biofuel ash, BPG is biofuel ash granules.



4 pav. Vasarinių miežių grūdų derliaus ir skirtingų tręšimo produktų K_2O kiekio taikymo priklausomumas (a) 2017 m. ir (b) 2018 m.

Fig. 4. The correlation between spring barley grain and application of K_2O content in different fertilization products in (a) 2017 and (b) 2018

Pastaba: ** koreliacija yra reikšminga esant 99 % tikimybei ($P < 0,01$). Skirtumas tarp reikšmių su ta pačia raide nebuvo statistiškai reikšmingas tarp įvairių tręšimo produktų, kai $P < 0,05$. Sutrumpinimai: K – kontrolė, BP – biokuro pelenai, BPG – biokuro pelenų granulės.

Note: ** The correlation significant at 99% confidence ($P < 0.01$). The difference between the values with the same letter was not statistically significant between different fertilizer products when $P < 0.05$. Abbreviation: K is control, BP is biofuel ash, BPG is biofuel ash granules.

sistemos vystymasis ir pagreitėja fotosintezė (Hassanzaman et al., 2018). Norint gauti gausų derlių kiekvienais metais reikia didinti K dirvoje. K_2O norma turėtų siekti 80–120 $kg ha^{-1}$. Per vieną sezoną augalai gali iš dirvožemio pasisavinti net 200–300 $kg ha^{-1}$ kalio (Ilgamečiai dirvožemio agrocheminių savybių stebėjimo..., 2018). Šio vegetacinio eksperimento metu K_2O kiekis tręšimo produktuose buvo nuo minimalaus (19,4 $kg ha^{-1}$) iki maksimalaus (171 $kg ha^{-1}$). Pasirinkus maksimalų K_2O kiekį grūdų derlius 2017 m. siekė 1,86 $t ha^{-1}$, o 2018 m. – 0,61 $t ha^{-1}$.

Vasarinių miežių šiaudų masė atitiko gautas grūdų derliaus tendencijas ir statistiškai reikšmingai ($P < 0,05$) skyrėsi nuo netręšto varianto. 3 lentelėje pateikti gautų šiaudų masės rezultatai. Vertinant vidutinius 2017–2018 m. rezultatus, iš esmės didesnė šiaudų masė, palyginti su kontrole, buvo nustatyta naudojant ir BP, t. y. 40,9 % ir 50,0 %, atitinkamai 1,5 $t ha^{-1}$ ir 3,0 $t ha^{-1}$ tręšimo

norma. Naudojant pelenų granules (BPG) šiaudų masė irgi didėjo didėjant biokuro pelenų kiekiui granulėje (BPG30 < BPG50 < BPG70). Kai tręšimo norma buvo 1,5 $t ha^{-1}$, vasarinių miežių šiaudų vidutinė dvejų metų masė padidėjo nuo 9,20 iki 10,7 g $inde^{-1}$ ir nuo 10,1 iki 11,9 g $inde^{-1}$ taikant 3 $t ha^{-1}$. Bendra šiaudų masė 2017 m. buvo ~2,2 karto didesnė nei 2018 metais. Lyginant su gautų grūdų bendru derliumi, kuris buvo ~3,2 karto didesnis 2017 m. (2 lentelė), galima teigti, kad 2018 m. meteorologinės sąlygos neigiamai stipriau paveikė grūdų nei šiaudų derlių. Tikėtina, kad geriau augo vasarinių miežių vegetatyvinė masė nei grūdai.

Pritaikius koreliacinę regresinę analizę nustatyti ryšiai tarp vasarinių miežių šiaudų derliaus ir prieš eksperimentą į dirvožemį įterpto K_2O kiekio matyti tiesinis priklausomumas, t. y. šiaudų derlius didėjo, kai didėjo ir K_2O kiekis. Gauti rezultatai pateikti 5 paveiksle.

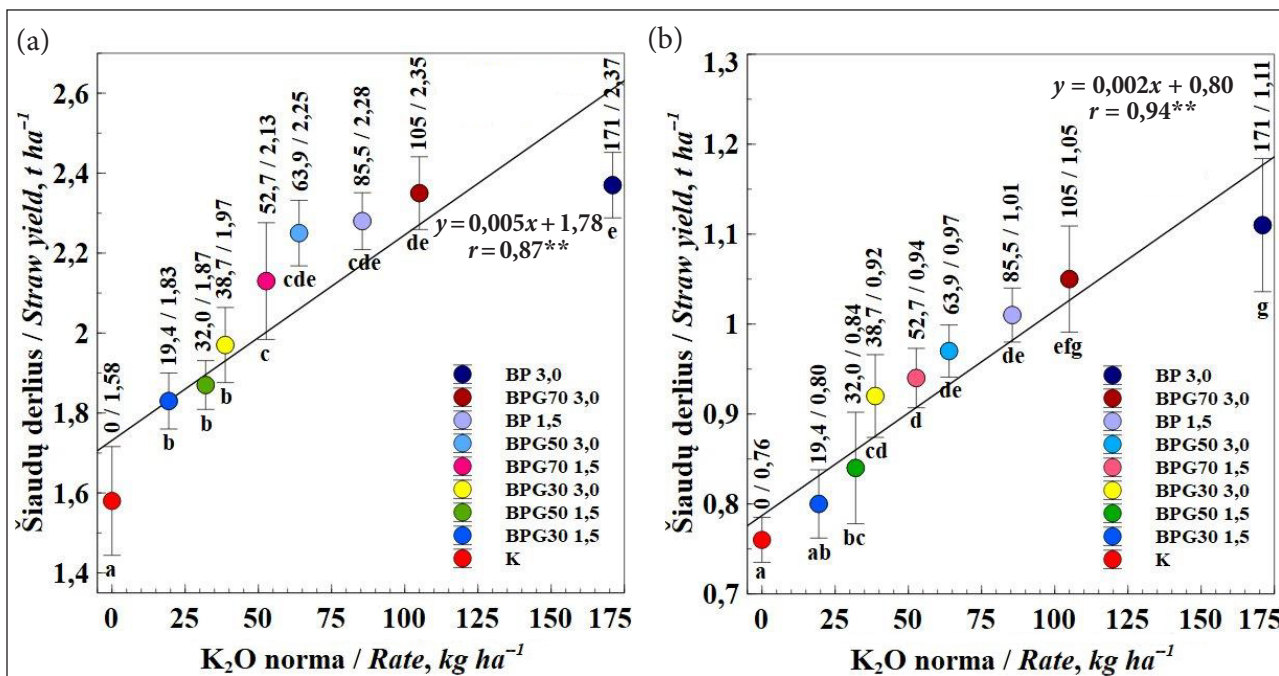
3 lentelė. Tręšimo produktų įtaka vasarinių miežių šiaudų masei

Table 3. Spring barley straw weight affected by fertilization products

Variantai Treatments	Tręšimo norma Fertilization rate, t ha ⁻¹	Metai / Year		2017–2018 Vidurkis / Average
		2017	2018	
		Šiaudų derlingumas g inde ⁻¹ / Straw yield, g pot ⁻¹		
K	0	11,0 ± 0,95	5,30 ± 0,173	8,16 a
BP	1,5	16,0 ± 0,50	7,07 ± 0,208	11,5 def
	3,0	16,6 ± 0,57	7,80 ± 0,520	12,2 f
BPG30	1,5	12,8 ± 0,49	5,60 ± 0,265	9,20 b
	3,0	13,8 ± 0,66	6,47 ± 0,321	10,1 bc
BPG50	1,5	13,1 ± 0,43	5,90 ± 0,436	9,49 b
	3,0	15,7 ± 0,57	6,80 ± 0,200	11,3 def
BPG70	1,5	14,9 ± 1,02	6,57 ± 0,231	10,7 cd
	3,0	16,4 ± 0,64	7,33 ± 0,416	11,9 ef

Pastaba: skirtumas tarp reikšmių su ta pačia raide nebuvo statistiškai reikšmingas tarp įvairių tręšimo produktų, kai $P < 0,05$. Sutrumpinimai: K – kontrolė, BP – biokuro pelenai, BPG – biokuro pelenų granulės.

Note: The difference between the values with the same letter was not statistically significant between different fertilizer products when $P < 0.05$. Abbreviation: K is control, BP is biofuel ash, BPG is biofuel ash granules.



5 pav. Vasarinių miežių šiaudų derliaus ir skirtingų variantų K₂O kiekio taikymo tarpusavio priklausomumas (a) 2017 ir (b) 2018 metais

Fig. 5. The correlation between spring barley straw and application of K₂O content in different treatments in (a) 2017 and (b) 2018

Pastaba: ** koreliacija yra reikšminga esant 99 % tikimybei ($P < 0,01$). Skirtumas tarp reikšmių su ta pačia raide nebuvo statistiškai reikšmingas tarp įvairių tręšimo produktų, kai $P < 0,05$. Sutrumpinimai: K – kontrolė, BP – biokuro pelenai, BPG – biokuro pelenų granulės.

Note: ** The correlation significant at 99% confidence ($P < 0.01$). The difference between the values with the same letter was not statistically significant between different fertilizer products when $P < 0.05$. Abbreviation: K is control, BP is biofuel ash, BPG is biofuel ash granules.

Ir vienais, ir kitais tyrimo metais gauta koreliacija stipri bei labai stipri ($P < 0,01$): 2017 m. nustatyta mažesnė ($r = 0,87$), o 2018 m. didesnė ($r = 0,94$). Taikant $171 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ normą gautas vasarinių miežių šiaudų derlius pirmaisiais tyrimo metais buvo $2,37 \text{ t ha}^{-1}$, o antraisiais – tik $1,11 \text{ t ha}^{-1}$.

IŠVADOS

1. Atliktų tyrimų rezultatai parodė, kad biokuro pelenuose ir kalkių krosnies dulkėse gausu Ca^{2+} jonų turinčių junginių. BP bendras Ca sudarė ~48,6 %, o KKD – 1,9 karto daugiau. Kitos augalų maistinės medžiagos (Mg, K, P, Al, Fe ir S) sudarė likusią dalį. Nustatyta, kad didėjant pelenų kiekiui granulėje Ca kiekis mažėjo.

2. Sunkųjų metalų (Cr, Pb, Ni, Cd) ir mikroelementų (Zn ir Cu) koncentracijos biokuro pelenuose neviršijo leistinų normų, todėl juos buvo galima naudoti vegetaciniame eksperimente.

3. Vykdam 2017–2018 m. vegetacinį eksperimentą nustatyta, kad tręšimo produktai abejais tyrimų metais reikšmingai ($P < 0,05$) padidino augintų vasarinių miežių grūdų derlių. Pirmaisiais tyrimų metais bendras vasarinių miežių grūdų derlius gautas ~3,2 kartus didesnis nei antraisiais. Bendra šiaudų masė pirmaisiais metais buvo tik ~2,2 karto didesnė, tad tikėtina, kad sparčiau augo vasarinių miežių vegetatyvinė masė nei grūdai.

4. Atlikta koreliacinė regresinė analizė siekiant įvertinti ryšį tarp vasarinių miežių grūdų derliaus ir šiaudų masės parodė, kad eksperimento pradžioje įterptas skirtingų tręšimo produktų K_2O kiekis abejais tyrimo metais buvo reikšmingas ($P < 0,01$). Vasarinių miežių derlius ir šiaudų masė didėjo didėjant K_2O kiekiui tręšimo produktuose.

Gauta 2020 07 01

Priimta 2020 10 02

LITERATŪRA

1. Aissaoui H., Barkat D. 2018. Physico-chemical characterizations and impact of organic matter on the dynamics of heavy metals (Cu, and Zn) in some soils of Biskra (Algeria). *Journal of King Saud University – Science*. Vol. 32. No. 1. P. 307–311.
2. Al-Homidy A. A., Dahim M. H., Abd El Aal A. K. 2017. Improvement of geotechnical properties of sabkha soil utilizing cement kiln dust. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. Vol. 9. No. 4. P. 749–760.

3. Ali M. A. M., Yang H. S. 2011. Utilization of cement kiln dust in industry cement bricks. *Geosystem Engineering*. Vol. 14. No. 1. P. 29–34.
4. Arulrajah A., Mohammadinia A., D'Amico A., Horpibulsuk S. 2017. Cement kiln dust and fly ash blends as an alternative binder for the stabilization of demolition aggregates. *Construction and Building Materials*. Vol. 145. P. 218–225.
5. Avkopashvili G., Avkopashvili M., Gongadze A., Tsulukidze M., Shengelia E. 2017. Determination of Cu, Zn and Cd in soil, water and food products in the vicinity of RMG gold and copper Mine, Kazreti, Georgia. *Annals of Agrarian Science*. Vol. 15. No. 2. P. 269–272.
6. Bowden-Green B., Briens L. 2016. An investigation of drum granulation of biochar powder. *Powder Technology*. Vol. 288. P. 249–254.
7. Chojnacka K., Moustakas K., Witek-Krowiak A. 2019. Bio-based fertilizers: a practical approach towards circular economy. *Bioresource Technology*. Vol. 295.
8. Collins R. J., Emery J. 1983. *Kiln Dust-Fly Ash Systems for Highway Bases and Subbases*. Report No. FHWA/RD-82/167. Washington, D. C.: U. S. Department of Energy, Federal Highway Administration. 142 p.
9. *Dėl medienos kuro pelenų tvarkymo ir naudojimo taisyklių patvirtinimo*. 2011. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija.
10. Dimkpa C. O., Bindraban P. S. 2016. Fortification of micronutrients for efficient agronomic production: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. Vol. 36. No. 1. P. 1–26.
11. Drapanauskaite D., Buneviciene K., Repsiene R., Mazeika R., Navea J., Baltrusaitis J. 2020. Physico-chemical characterization of pelletized lime kiln dust as potential liming material for acidic soils. *Waste and Biomass Valorization*. In press.
12. El-Attar M. M., Sadek D. M., Salah A. M. 2017. Recycling of high volumes of cement kiln dust in bricks industry. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 143. P. 506–515.
13. *Ilgamečiai dirvožemio agrocheminių savybių stebėjimo tyrimai: galutinė ataskaita*. 2018. LAMMC Agrocheminių tyrimų laboratorija. P. 1–99.
14. Hasanuzzaman M., Bhuyan M. H. M. B., Nahar K., Hossain M. S., Al Mahmud J., Hossen M. S., Masud A. A. C., Moumita F. M. 2018. Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*. Vol. 8. No. 31. P. 1–29.
15. Kafodya I., Okonta F. 2018. Effects of natural fiber inclusions and pre-compression on the strength properties of lime-fly ash stabilised soil. *Construction and Building Materials*. Vol. 170. P. 737–746.
16. Kryzevicius Z., Janusiene L., Karcauskiene D., Slepeliene A., Vilkiene M., Zukauskaite A. 2019. Aluminium leaching response to acid precipitation

- in a lime-affected soil. *Žemdirbystė–Agriculture*. Vol. 106. No. 4. P. 315–320.
17. Kuppasamy S., Thavamani P., Megharaj M., Venkateswarlu K., Naidu R. 2016. Agronomic and remedial benefits and risks of applying biochar to soil: current knowledge and future research directions. *Environment International*. Vol. 87. P. 1–12.
 18. Lamers F., Cremers M., Matschegg D., Schmidl C., Hannam K., Hazlett P., Madrali S., Dam B. P., Roberto R., Mager R., Davidsson K., Bech N., Feuerborn H.-J., Saraber A. 2018. Options for increased use of ash from biomass combustion and co-firing. *IEA Bioenergy*. Vol. 32. P. 1–61.
 19. Maschowski C., Zangna M. C., Trouve G., Giere R. 2016. Bottom ash of trees from Cameroon as fertilizer. *Applied Geochemistry*. Vol. 72. P. 88–96.
 20. Muhammad N., Zvobgo G., Zhang G. 2019. A review: The beneficial effects and possible mechanisms of aluminum on plant growth in acidic soil. *Journal of Integrative Agriculture*. Vol. 18. No. 7. P. 1518–1528.
 21. Neina D. 2019. The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. *Applied and Environmental Soil Science*. Vol. 2019. P. 1–9.
 22. Pesonen J., Kuokkanen T., Rautio P., Lassi U. 2017. Bioavailability of nutrients and harmful elements in ash fertilizers: effect of granulation. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 100. P. 92–97.
 23. Pujilestari E. S., Hudiyono S., Moersidik S. S. 2017. Environmental impact of metals leaching generated from long term coal ash disposal placement of more than 10 years periods. *Asian Journal of Applied Sciences*. Vol. 5. No. 6. P. 1116–1122.
 24. Serafimova E., Mladenov M., Michailova I., Pelovski Y. 2011. Study on the characteristics of waste wood ash. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*. Vol. 46. No. 1. P. 31–34.
 25. WRB 2014. World Reference Base for Soil Resources. *World Soil Resources Reports No. 106*. FAO. P. 187–189.
 26. Yao Q., Samad N. B., Keller B., Seah X. S., Huang L., Lau R. 2014. Mobility of heavy metals and rare earth elements in incineration bottom ash through particle size reduction. *Chemical Engineering Science*. Vol. 118. P. 214–220.
 27. Yliniemi J., Nugteren H., Illikainen M., Tiainen M., Weststrate R., Niinimäki J. 2016. Lightweight aggregates produced by granulation of peat-wood fly ash with alkali activator. *International Journal of Mineral Processing*. Vol. 149. P. 42–49.
- Kristina Bunevičienė, Donata Drapanauskaitė, Romas Mažeika**
- POSSIBILITIES OF USING BIOFUEL ASH IN THE CULTIVATION OF SPRING BARLEY**
- S u m m a r y*
- Wood biofuel ash is a complex and heterogeneous mixture of inorganic crystalline and amorphous minerals together with organic matter. Biofuel ash is usually enriched with K, P, Ca and Mg, which are essential macronutrients for plant growth. Currently, a large proportion of biofuel ash is disposed of in landfills. However, ash processed into granular products can be used as a stand-alone or additional mineral fertilizer in agriculture.
- The aim of the research is to determine the chemical composition of biofuel ash and evaluate its suitability for the production of ash granules; also to evaluate the yield of spring barley grain and straw fertilized with bulk and granular biofuel ash, and the correlation between the yield and the amount of K₂O applied by different fertilization products.
- The experiment was carried out in 2017–2018. Concentrations of heavy metals (Cr, Pb, Ni, Cd) and microelements (Zn and Cu) in wood biofuel ash did not exceed the permissible norms, and from them it was possible to produce fertilization products (ash granules) and use them in a vegetation experiment. During the experiment, it was found that the fertilization products significantly ($P < 0.05$) increased the yield of grown spring barley grains and straw in both years of the study, and the performed correlation regression analysis was positively strong in both years of the study ($P < 0.01$). The yield of spring barley increased with the increase of K₂O content in fertilizer products.
- Keywords:** biofuel ash, ash granules, spring barley, yield