

NATŪRALIŲ RADIONUKLIDŲ SAVITASIS AKTYVUMAS AUGALINĖJE PRODUKCIJOJE, DIRVOŽEMYJE IR TRĄŠOSE

Jadvyga LUBYTĖ, Antanas ANTANAITIS, Gediminas STAUGAITIS

Lietuvos žemdirbystės institutas

Savanorių pr. 278, Kaunas

El. p. analize@agrolab.lt

Santrauka

Lietuvoje užaugintoje augalų produkcijoje, dirvožemyje ir trąšose tirti natūralūs radioaktyvieji nuklidai ^{226}Ra (radžio), ^{238}U (urano), ^{232}Th (torio) ir ^{40}K (kalio). Nustatyta, kad tirtose trąšose radionuklidų savitasis aktyvumas nuo nustatymo ribos kinta net iki 14700 Bq kg^{-1} , priklausomai nuo tirtų radionuklidų bei trąšų rūšies. Iš ^{238}U urano serijos radioaktyviųjų nuklidų ^{226}Ra savitasis aktyvumas yra labai padidėjęs granuliuotame superfosfate (770 Bq kg^{-1}). ^{40}K savitasis aktyvumas priklausė nuo kalio koncentracijos mineralinėse trąšose ($r = 0,9999$).

Visi tirti augalai 2006 m., palyginti su 1987 ir 1988 m., kaupė daugiau ^{226}Ra , ^{238}U ir ^{232}Th . Didžiausi radionuklidų patekimo iš dirvožemio į augalus koeficientai buvo apskaičiuoti kopūstams ir burokėliams.

Įtręštuose dirvožemiuose užaugintose daržovėse, palyginti su daržovėmis, užaugintomis mažiau sukultūrintuose dirvožemiuose, kaupiasi 1,1–1,9 karto daugiau ^{226}Ra , 1,2–3,0 karto – ^{238}U , ^{232}Th ir nuo 1,4 iki 2,5 karto daugiau ^{40}K . Be to, daržovėse (ypač kopūstuose ir burokėliuose), užaugintose įtręštuose dirvožemiuose, nustatytas didelis ^{40}K savitasis aktyvumas – 2010–2030 Bq kg^{-1} sausųjų medžiagų.

Reikšminiai žodžiai: radionuklidai, savitasis aktyvumas, augalinė produkcija, dirvožemis, trąšos.

Įvadas

Radioaktyvumas arba jonizuojanti spinduliuotė yra savaiminis atomo neutronų, protonų, elektronų ir trumpų elektromagnetinių bangų bei šviesos kvantų spinduliavimas. Radionuklidų yra ir aplinkoje, ir organizmuose. Gamtinės kilmės radionuklidai atsirado kartu su Visata ir yra mūsų planetos Žemės sudedamoji dalis. Kaip radiacija arba jonizuojantys spinduliai veikia žmogų ir gyvąją gamtą? Radionuklidų skleidžiami spinduliai yra nematomi, neturintys nei kvapo, nei skonio. Net maži jonizuojančių spindulių kiekiai skatina vėžinių ligų atsiradimą, dideli – suardo ląsteles, pažeidžia organizmo audinius ir sukelia greitą mirtį. Didelių dozių poveikis pajuntamas greitai – per keletą valandų ar dienų, o mažų – išryškėja po kelerių metų. Žmogaus kūno organai nevienodai reaguoja į jonizuojančius spindulius. Jautriausi jiems yra žmogaus kaulų čiulpai, sėklidės, akies lęšiukas, skydliaukė. Jonizuojantys spinduliai ypač skatina pieno liaukų ir skydliaukės vėžį, taip pat laisvųjų radikalų atsiradimą, kurie gali suardyti organizmo gyvąsias ląsteles ir audinius, sumažinti organizmo imuninę sistemą /Morkūnas, 2004/.

Spinduliai iš kosmoso, radioaktyviųjų medžiagų skilimas Žemės plutoje, radono ir kiti natūralūs jonizuojančios spinduliuotės šaltiniai sukuria natūralų gamtinį radiacijos foną. Labiausiai paplitę natūralios kilmės radionuklidai yra iš urano-radžio, urano-aktinio ir torio šeimų bei kalis. Urano izotopas (^{238}U) sudaro 99,275 %, radžio (^{226}Ra) bei torio (^{232}Th) – 100 %, o kalio (^{40}K) – tik 0,0119 % gamtinio šių elementų kiekio. Minėtų izotopų skilimo pusperiodis yra atitinkamai $4,510^9$; $1,6 \cdot 10^3$; $1,4 \cdot 10^{10}$ ir $1,3 \cdot 10^9$ metų /Boguslovskij, 2002/. ^{40}K sąlygojama dozė sudaro 99 % visos dozės. Antropogeninės taršos radionuklidų ^{137}Cs ir ^{90}Sr sąlygojama dozė yra labai nedidelė, palyginti su gamtinės kilmės radionuklidais. Lietuvos gyventojams per metus tenka vidutiniškai 2,3 mSv (1 sievertas lygus maždaug 100 R). Dozė, gaunama dėl maiste esančių minėtų radionuklidų jonizuojančiosios spinduliuotės, sudaro dešimtąją dozės dalį /Maisto produktų ir ..., 2005/.

Radionuklidų koncentracija įvairiuose augaluose nevienoda. Mažiau jų rasta vaisiuose, daugiau – senuose lapuose. Kopūstų viršutiniuose lapuose, kurie nuimami ruošiant maistą, susikaupia daugiau radionuklidų, palyginti su jų gūžėmis. Fosfatinuose dirvožemiuose išaugintose daržovėse radionuklidų koncentracija buvo didesnė negu nesuardytuose smėlio dirvožemiuose /Shibles, Riddle, 1991/.

Lapinių daržovių ir ropių lapuose radionuklidų susikaupė daugiau negu morkų arba ropių šakniavaisiuose /Shibles, Riddle, 1991; Million ir kt., 1994/.

Indijoje dviejuose skirtingų morfologinių savybių dirvožemiuose tirtas natūraliųjų radionuklidų susikaupimas kviečių grūduose, taip pat nustatyti radionuklidų perėjimo iš dirvožemio į augalus koeficientai ir jų priklausomumas nuo kalcio ir kalio koncentracijų dirvožemyje. Tyrimų duomenimis, gauti koeficientai buvo labai nevienodi: ^{238}U – nuo $4,0 \cdot 10^{-4}$ iki $2,1 \cdot 10^{-3}$, ^{232}Th – nuo $6,0 \cdot 10^{-3}$ iki $2,4 \cdot 10^{-2}$, ^{226}Ra – nuo $9,0 \cdot 10^{-3}$ iki $1,6 \cdot 10 \cdot 10^{-2}$ ir ^{40}K – nuo 0,14 iki 3,1. Didžiausias ^{238}U , ^{232}Th ir ^{226}Ra kiekis (54–75 % aktyvumo) susikaupė šaknyse ir tik apie 1–2 % grūduose, o ^{40}K – atitinkamai 57 % ir 16 % /Pulhani ir kt., 2005/.

Nustatyta, kad radionuklidų savitasis aktyvumas augaluose bei gyvulių organizme priklauso nuo radionuklido, jo junginių fizikinių ir biologinių savybių, taip pat nuo biologinių ir ekologinių augalų ir gyvulių rūšies ypatybių, aplinkos užterštumo /Linsalata ir kt., 1989; Wood, Eckart, 1991; Vera ir kt., 2002/.

Radionuklidų koncentracija dirvožemyje priklauso nuo dirvodarinių uolienu tipo ir genetinių ypatybių, granulimetrinės sudėties, organinės medžiagos kiekio, dirvožemio rūgštumo (pH), sorbcijos talpos, CaCO_3 koncentracijos, antropogeninės apkrovos (vietinės ir regioninės) ir kitų dirvožemio cheminių bei fizikinių savybių /Meriwether ir kt., 1988; Wood, Eckart, 1991; Boguslovskij, 2002; Vera ir kt., 2002/. Urano koncentracijos dirvožemyje kitimo ribos yra nuo 2,3 iki 4,0 mg kg^{-1} , torio – nuo 8,0 iki 24,1 mg kg^{-1} /Meriwether ir kt., 1988/.

Įvairiose šalyse atlikta nemažai tyrimų, susietų su radionuklidų koncentracijomis dirvožemiuose, tačiau dauguma tirtųjų radionuklidų buvo technogeniniai. Natūraliųjų radionuklidų tyrimai apima dideles teritorijas. J. S. Duvalis nagrinėjo ^{238}U pasiskirstymą viršutiniame JAV dirvožemio sluoksnyje ir nustatė valstijas ir regionus su mažomis (mažiau kaip 1,5 mg kg^{-1}) ir didelėmis (daugiau kaip 5,0 mg kg^{-1}) šio radionuklido koncentracijomis /Duval, 1990/. Pastaroji koncentracija yra susijusi su granitinėmis, metamorfinėmis (granito), fosfatinėmis ir kt. uolienomis, kurios būdingos rytų, vakarų ir

kai kurioms centro valstijoms. Šiuose regionuose paprastai radžio bei radono kiekis būna nukrypstantis nuo normos.

Pateiktas dirvožemio užterštumo radioaktyviomis medžiagomis vertinimo kriterijus yra 1295 Bq kg^{-1} arba 35 pCi g^{-1} ir rodo, kada dirvožemis gali būti naudojamas be jokių apribojamų /Wood, Eckart, 1991/.

Nustatyta, kad radionuklidų ^{232}Th , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{228}Ra aktyvumo santykiai dirvožemyje ir daržovėse, kur radionuklidų fonas padidėjęs, nuosekliai mažėjo: ^{228}Ra (148) > ^{226}Ra (76) > ^{232}Th (0,6) /Linsalata ir kt., 1989/.

Kiti literatūros šaltiniai nurodo, kad Ra neutraliuose dirvožemiuose migruoja lėtai, tačiau, didėjant dirvožemio rūgštumui, jo migracija spartėja /Frissel, Koster, 1990/.

Ištirta, kad, ilgą laiką intensyviai tręšiant mineralinėmis trąšomis, gali pakisti dirvožemyje esančių radionuklidų kiekis /Nikolaev ir kt., 1981; Solovjev, Golubev, 1981, Askbrant ir kt., 1996; Kuznecov ir kt., 2002/. Vėliau šie elementai gali patekti į augalus bei gyvulių ir žmonių organizmą ir jiems kenkti /Aleksėev, 1987/.

Tyrimų tikslas – nustatyti natūralių radionuklidų ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K koncentraciją naudojamose trąšose, dirvožemyje bei kai kuriuose žemės ūkio augaluose ir pateikti jų koncentracijų kaitą.

Tyrimų sąlygos ir metodai

Radioaktyvumui (^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) įvertinti buvo atrinkti mineralinių trąšų (kompleksinės trąšos NPK+S (firmos „Arvi“), diamofosas ir granuliuotas superfosfatas (AB „Lifosa“), kalio chloridas – iš Soligorsko (Baltarusija), kalio sulfatas „Belaruskalis“ dumblo, dirvožemio (0–20 cm sluoksnis), augalų ėminiai. Trąšų ėminiai (po 3 ėminius) atrinkti pagal Europos Parlamento ir Tarybos reglamento (EB) Nr. 2003/2003 (2003m. spalio 13 d. dėl trąšų) nurodymus. Augalų (grūdai, šiaudai, morkos, bulvės, burokėliai, kopūstai, svogūnai, pašariniai ir cukriniai runkeliai, daugiametės ir vienametės žolės) ir dirvožemio ėminiai 1987, 1988-ais (70 ėminių) ir 2006 m. (16 ėminių) ūkininkų laukuose iš 20 vietų (Neveronys, Kauno r., Pociūnai, Kėdainių r., Daugėlaičiai, Šiaulių r., Vydmantai, Kretingos r.). Tyrimams buvo parinkti vyraujantys dirvožemiai pagal granulimetrinę ir cheminę sudėtis, organinės medžiagos kiekį bei jautriųjų fosforo ir kalio koncentracijas. Dumblas imtas iš Kauno valymo įrenginių dumblo saugojimo aikštelės Ežerėlyje 2001 m. ir 2006 m., o dirvožemis ir augalai – 2006 m. iš įrengto 2001 m. A. Gradecko (Lietuvos miškų institutas) bandymo Ežerėlyje. Dirvožemis – smėlinis puveningasis šlynžemis GLv-s. Bandymo dirvožemio agrocheminės savybės pateiktos 1 lentelėje. Bandymo plotas 0,5 ha. Tyrimai daryti 0,5 ha plote pagal tokią schemą:

1. Be dumblo.
2. 250 t ha^{-1} dumblo saus. medž. (įterpta 2001 m.).
3. $250 + 250 \text{ t ha}^{-1}$ dumblo saus. medž. (įterpta 2001 m. ir 2002 m.).

Augalų ir dirvožemio ėminiai paimti 2006 m. iš kiekvieno varianto dviejų aikštelių $10 \times 10 \text{ m}$. Surinkti augalų, dirvožemio, dumblo bei mineralinių trąšų ėminiai buvo džiovinami $+45 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūroje džiovinimo spintoje ir iki pelenų sudeginti krosnyje $+400 \text{ }^\circ\text{C}$ temperatūroje. Mėginių gama spindulių spektrai matuoti Fizikos institute.

I lentelė. Tyrimų dirvožemio armens (0–20 cm) agrocheminės savybės

Table 1. Agrochemical characteristics of the ploughlayer in the experimental field (0-20 cm)

Ežerėlis, 2006 m.

Variantas <i>Treatment</i>	pH	P ₂ O ₅ K ₂ O		Organinė anglis (C) <i>Organic C</i> %	Sorbcijos talpa <i>Effective cation</i> <i>exchange capacity</i> cmol kg ⁻¹
		mg kg ⁻¹			
Be dumblo / <i>Untreated</i>	6,7	424	102	2,77	562
Dumblas 250 t ha ⁻¹ <i>Sludge 250 t ha⁻¹</i>	6,5	956	242	6,90	690
Dumblas 250+250 t ha ⁻¹ <i>Sludge 250+250 t ha⁻¹</i>	6,4	969	171	9,37	835

Gama spindulių kiekybinė analizė mėginiuose atlikta naudojant EG&G Ortec firmos (JAV) gama spektrometrą su dviem puslaidininkiniais gryno germanio (HPGe) detektoriais, kurių santykinis efektyvumas 38 % ir 30 %, o energinė skyra – atitinkamai 2,05 keV ir 1,80 keV ties 1333 keV. Spektrometro detektoriai, užtikrinantys gama spektrą plačiame energijos ruože nuo 40 keV iki 3 MeV, prijungti prie daugiakanalio analizatoriaus „Spectrum Master MCB 919“. Gama spektrų kaupimas ir tolesnė analizė atlikta programa „GammaVision“ (v. 4.01). Atliekant gama spektrometrinę analizę, mėginiai matuoti taikant standartinę geometriją, tiksliai žinant kalibravimo parametrus. Kalibravimo patikra atlikta 2002 m. profesinio TATENA testo metu.

Be to, ²²⁶Ra nustatytas radiometriškai pagal alfa aktyvumą. Matuota įrenginyje DP-100 su α-davikliu. ²³⁸U ir ²³²Th nustatyti kolorimetriškai, prieš tai juos atskyrus jonoselektyviomis dervomis /Metodičeskie ukazaniya po..., 1985/. Dirvožemio rūgštumas pH_{KCl} nustatytas potenciometriniai, judrieji fosforas ir kalis – A-L metodais. Tyrimai atlikti LŽI Agrocheminių tyrimų centro laboratorijose.

Tyrimų metu buvo labai įvairios meteorologinės sąlygos, kurioms apibūdinti naudoti agrometeorologijos stoties Dotnuvoje duomenys. 1987–1988 m. vidutinė oro temperatūra ir kritulių kiekis gegužės–rugsėjo mėnesiais buvo artimi daugiamečiam vidurkiui. 2006 metais vidutinė oro temperatūra gegužės–rugsėjo mėnesiais buvo 0,4–3,7°C aukštesnė už daugiametę. Ypač šilta buvo liepos ir rugsėjo mėnesiais, kai vidutinė mėnesio oro temperatūra atitinkamai buvo 3,7 ir 2,6 °C aukštesnė negu daugiametė. Kritulių birželio (6,8 mm) ir liepos (40,4 mm) mėnesiais iškrito 9 ir 1,8 karto mažiau nei įprastai. Tokios sąlygos turėjo neigiamos įtakos augalų augimui bei jų derlingumui.

Tyrimų duomenys įvertinti dispersinės ir koreliacinės-regresinės analizės metodais naudojant kompiuterines programas ANOVA ir STAT ENG /Tarakanovas, Raudonius, 2003/.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Mineralinių, organinių ir kalkinių medžiagų naudojimas dirvožemiui gerinti susijęs su papildomu gamtinių radionuklidų ²²⁶Ra, ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K įtraukimu į sistemą dirvožemis – augalai /Alekseev, 1987/.

Atliktų tyrimų rezultatai rodo, kad tirtose trąšose radionuklidų (^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) savitasis aktyvumas, priklausomai nuo tirtų radionuklidų bei trąšų rūšies, kinta taip: nuo nustatymo ribos (mažiausia analizės koncentracija, kuri dar gali būti nustatyta priimtiniu tikslumu ir glaudumu) iki 14700 Bq kg^{-1} (2 lentelė).

2 lentelė. Natūralių radionuklidų savitasis aktyvumas mineralinėse trąšose ir nuotekų dumble

Table 2. Natural radionuclide specific activity in mineral fertilizers and sludge 2006 m.

Trąša / Fertilizer	$^{226}\text{Ra}\pm s^*$	$^{238}\text{U}\pm s$	$^{232}\text{Th}\pm s$	$^{40}\text{K}\pm s$
	Bq kg ⁻¹ saus. medž./ Bq kg ⁻¹ in dry matter			
Kompleksinės trąšos NPK+S (N – 6 %, P ₂ O ₅ – 18 %, K ₂ O – 34 %, S – 2 %) <i>Complex fertilizer</i>	<4,9**	<4,0	<9,0	8000±400
Diamofosas (N – 18 %, P ₂ O ₅ – 45 %) <i>Diammophos</i>	<4,9	<4,0	<9,0	<24
Kalio chloridas (K ₂ O – 60 %) <i>Potassium chloride</i>	<6,4	<6,0	<10,0	14700±900
Kalio sulfatas (K ₂ O – 50%) <i>Potassium sulfate</i>	<5,8	<6,0	<10,0	12200±700
Granuluotas superfosfatas (P ₂ O ₅ – 20 %) <i>Superphosphate granulated</i>	770±120	<4,0	<10,0	<42
Dumblas 2001 m. / <i>Sludge 2001</i>	13,5±2,0	14,0±2,6	18,5±2,8	59±7
Dumblas 2006 m. / <i>Sludge 2006</i>	17,4±2,6	18,0±3,2	20,7±3,1	61±7

*s – standartinis nuokrypis / *standard deviation*, **< x – nustatymo riba / *Limit of Quantitation* n= 3

Iš ^{238}U urano šeimos radionuklidų ^{226}Ra savitasis aktyvumas yra ypač padidėjęs granuluoto superfosfato – 770 Bq kg^{-1} . Kompleksinės NPK+S trąšos, diamofoso, kalio chlorido ir kalio sulfato ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th bei granuluoto superfosfato ^{238}U , ^{232}Th buvo mažesni už nustatymo ribą. ^{40}K savitasis aktyvumas priklausė nuo kalio koncentracijos mineralinėse trąšose ($r = 0,9999$). Didžiausias jis buvo kalio chlorido – 14700 Bq kg^{-1} .

Fosforo trąšų natūralus radioaktyvumas priklauso nuo jų gamybai naudojamų žaliavų (fosforitų, apatitų) bei jų kilmės /Nikolaev ir kt., 1981; Unsear 1982 Report..., 1982/. Pagrindiniai jų telkiniai yra Floridoje, Maroke ir Koloje. Nuosėdinių uolienu fosfatų savitasis radioaktyvumas yra žymiai didesnis nei vulkaninių. Vidutinis savitasis radioaktyvumas fosforituose pateiktas 3 lentelėje. Technologinio perdirbimo proceso metu radionuklidų koncentracijos keičiasi ir galutiniame produkte jos gali sumažėti arba padidėti nuo 2 iki 5 kartų, tai priklauso nuo fosforitų kilmės /Nikolaev ir kt., 1981/.

Didžiausia leistina radionuklidų koncentracija produktuose (dirvožemio gerinimo medžiagose) yra nurodyta dviejose Europos Sąjungos Tarybos direktyvose /Council Directive..., 1980; Council Directive ..., 1984/ ir radionuklidų yra $< 100 \text{ Bq g}^{-1}$, natūralių radionuklidų – iki 500 Bq g^{-1} .

3 lentelė. Radionuklidų vidutinis savitasis aktyvumas fosforituose /Unsear 1982 Report..., 1982/

Table 3. Average of specific activity of radionuclides in phosphate rock /Unsear 1982 Report..., 1982/

Kilmė / Origin	Savitasis aktyvumas Bq kg ⁻¹ Specific activity Bq kg ⁻¹		
	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th
Florida / Florida	1500	1600	16
Pietų Karolina / S. Carolina	4800	4800	78
Marokas / Morocco	1700	1700	30
Kola / Kola	90	40	90
Kinija / China	150	50	25

Nustatyta, kad Kauno miesto valymo įrenginių dumblo tirtų radionuklidų savitasis aktyvumas kito nuo 13,5 iki 61 Bq kg⁻¹: mažiausias buvo ²²⁶Ra (13,5 ir 17,4 Bq kg⁻¹), didžiausias – ⁴⁰K (59 ir 61 Bq kg⁻¹).

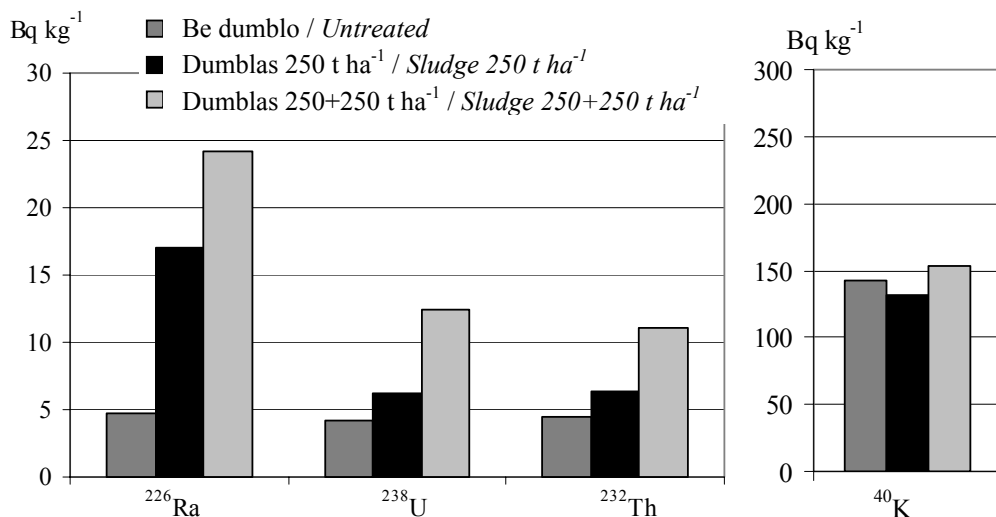
Kauno rajono Ežerėlio kaimo puveningame smėlio šlynžemyje (GLv-s) apylinkės) visų tirtų natūralių radionuklidų nustatyta mažiau, negu nurodoma vidutiniškai kituose literatūros šaltiniuose. Vidutinis savitasis aktyvumas Lietuvos dirvožemyje Bq kg⁻¹: ²²⁶Ra 11±11; ⁴⁰K – 540±360 /Butkus ir kt., 2006/. Žemės paviršiuje pirmapradžių radionuklidų aptinkama vidutiniškai: ²³⁸U – 25 Bq kg⁻¹, ²³²Th – 25 Bq kg⁻¹; ⁴⁰K – 370 Bq kg⁻¹ /Unsear 1982 report..., 1982/.

Nustatyta, kad dirvožemyje, tręštame įvairiomis nuotekų dumblo normomis, labiausiai keitėsi natūralių radionuklidų ²²⁶Ra, ²³⁸U, ²³²Th savitasis aktyvumas (1 pav.).

Tyrimų duomenys rodo, kad tręšiant daugiametes žoles skirtingomis dumblo normomis – 250 t ha⁻¹ (2001 m.) ir 250 + 250 t ha⁻¹ (2001–2002 m.), dirvožemyje, tirtame 2006 m., labiausiai padidėjo ²²⁶Ra savitasis aktyvumas – atitinkamai 3,6 ir 5,1 karto, kiek mažiau ²³⁸U – 1,4 ir 3,0 bei ²³²Th – 1,4 ir 2,5 karto. Dumblo įtaka ⁴⁰K koncentracijai dirvožemyje buvo mažiau reikšminga, nors ten, kur jo įterpta du kartus, koncentracija buvo didesnė.

Įterptas dumblas nevienodai veikė minėtų radionuklidų kaupimąsi daugiametėse žolėse (2 pav.).

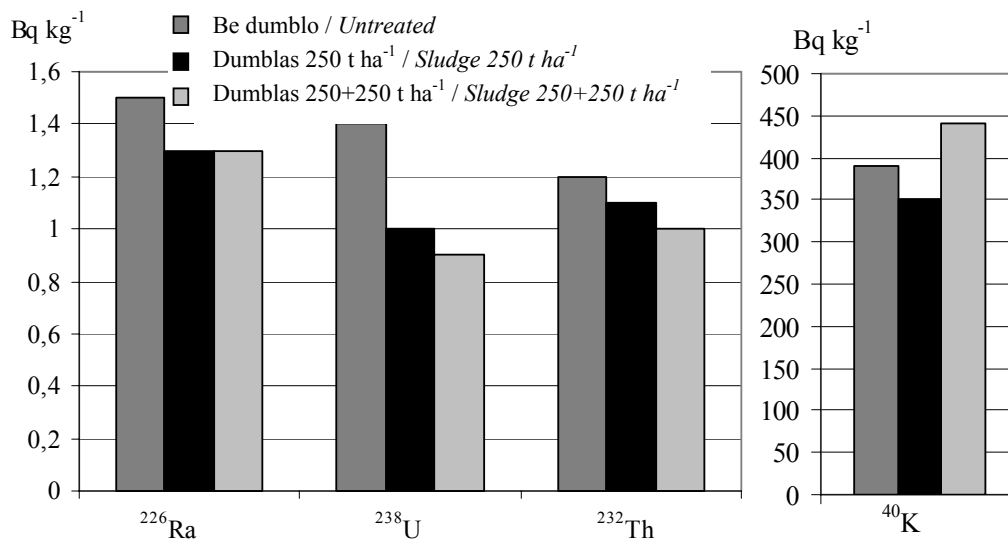
Naudojant dumblą, natūralių radionuklidų ²²⁶Ra, ²³²Th koncentracija žolėse, tręstose skirtingomis dumblo normomis, mažai skyrėsi, tačiau, didinant normas, minėtų radionuklidų koncentracija turėjo tendenciją mažėti. Tręstos daugiametės žolės sukaupe mažiau ²³⁸U. Perėjimo iš dirvožemio į augalus koeficientai (koncentracija augaluose Bq kg⁻¹ / koncentracija dirvožemyje Bq kg⁻¹) tręstuose dumblu variantų laukeliuose buvo žymiai mažesni (nuo 0,08 iki 0,21), palyginti su netręštais laukeliais (nuo 0,27 iki 0,32) (4 lentelė).



R_{05} / LSD_{05} ²²⁶Ra – 3,6; ²³⁸U – 2,0; ²³²Th – 1,5; ⁴⁰K – 26

1 paveikslas. Nuotekų dumblo įtaka natūralių radionuklidų savitajam aktyvumui dirvožemyje 2006 m. (Ežerėlis)

Figure 1. The impact of sludge on the natural radionuclide specific activity in soil, 2006 (Ežerėlis)



R_{05} / LSD_{05} ²²⁶Ra – 0,5; ²³⁸U – 0,4; ²³²Th – 0,5; ⁴⁰K – 68

2 paveikslas. Nuotekų dumblo įtaka natūralių radionuklidų savitajam aktyvumui daugiametėse žolėse (smiltyniniai lendrūnai 50 % + pievinės miglės 50 %) 2006 m. (Ežerėlis)

Figure 2. Impact of sludge on the natural radionuclide specific activity in perennial grass (sandy reedgrass 50 % + meadow grass 50 %) in 2006 (Ežerėlis)

4 lentelė. Nuotekų dumblo įtaka natūralių radionuklidų kaupimuisi daugiametėse žolėse (smiltyniniai lendrūnai 50 % + pievinės miglės 50 %)

Table 4. Impact of sludge on the accumulation of natural radionuclides in perennial grasses (sandy reedgrass 50 % + meadow grass 50 %)

Ežerėlis, 2006 m.

Variantas Treatment	Perėjimo iš dirvožemio į augalus koeficientai (koncentracija augaluose Bq kg ⁻¹ / koncentracija dirvožemyje Bq kg ⁻¹) The soil to plant transfer factors (concentration in plants Bq kg ⁻¹ / concentration in soil Bq kg ⁻¹)			
	²²⁶ Ra	²³⁸ U	²³² Th	⁴⁰ K
Be dumblo / Untreated	0,32	0,36	0,27	2,75
Dumblas 250 t ha ⁻¹ Sludge	0,08	0,21	0,17	2,65
Dumblas 250+250 t ha ⁻¹ Sludge	0,05	0,10	0,09	2,88

Tręšimas dumblu neturėjo esminės įtakos žolės derlingumui. Įterpus 250 + 250 t ha⁻¹ dumblo ir didėjant ²²⁶Ra, ²³⁸U, ²³²Th koncentracijai dirvožemyje, dar labiau mažėjo jų perėjimo iš dirvožemio į augalus koeficientai. Dažniausiai tai lėmė didėjantis organinės medžiagos kiekis ir dirvožemio sorbcijos talpa, todėl mažėjo radionuklidų kaupimasis augaluose.

Iš tirtųjų natūralių radionuklidų labiausiai kaupiasi ⁴⁰K (nuo 350 iki 440 Bq kg⁻¹). Perėjimo į daugiametės žolės koeficientai buvo nuo 2,65 iki 2,88. Įterpus 250+250 t ha⁻¹ nuotekų dumblo, ⁴⁰K savitasis aktyvumas žolėse iš esmės padidėjo 90 Bq kg⁻¹, palyginti su 250 t ha⁻¹.

Lietuvoje išaugintose daržovėse natūralių radionuklidų savitasis aktyvumas įvairus, priklauso nuo augalų rūšies ir meteorologinių sąlygų (5 lentelė).

Kalio (⁴⁰K), palyginti su kitais tirtais radionuklidais, yra daug daugiau ir jis, 2006 m. tyrimų duomenimis, svogūnuose sudaro 98,6 %, burokėliuose, morkose, bulvėse ir kopūstuose – 99,4–99,5 %, grūduose – 98 %, daugiametėse žolėse – 99,1 % visų tirtų natūralių radionuklidų. ²²⁶Ra (2,7–2,9 Bq kg⁻¹), ²³⁸U (2,4–2,6 Bq kg⁻¹) ir ²³²Th (2,7–2,9 Bq kg⁻¹) vidutiniškai daugiau nustatyta kopūstuose ir burokėliuose. Dauguma 2006 m. išaugintų daržovių sukauptė vidutiniškai daugiau visų tirtų radionuklidų negu tų pačių rūšių daržovės 1987–1988 m., nes minėtais tyrimų metais meteorologinės sąlygos buvo labai skirtingos. Nepalankūs augalams augti bei jų derlingumui buvo 2006 m., o 1987 m. sąlygos buvo optimalios.

Augaluose, ištirtuose 2006 m., šių radionuklidų mažiausiai kaupėsi grūduose ir daugiametėse žolėse, 1987 ir 1988-ais tyrimų metais grūduose buvo nustatytas tolygus kai kurių radionuklidų savitasis aktyvumas, tačiau daugiametėse žolėse ²²⁶Ra ir ²³⁸U jis buvo nuo 1,5 iki 2,0 kartų mažesnis. Gerai sukultūrintuose labai didelio fosforingumo (P₂O₅ – 784 mg kg⁻¹ A-L metodu), vidutinio kalingumo (K₂O – 260 mg kg⁻¹ A-L metodu) bei humusinguose (humuso – 4,5 %) dirvožemiuose (trašazemiuose) išaugintos daržovės sukaupia nuo 1,1 iki 1,9 karto daugiau ²²⁶Ra, nuo 1,2 iki 3,0 karto – ²³⁸U ir ²³²Th bei nuo 1,4 iki 2,5 karto daugiau ⁴⁰K, palyginti su fosforingais (P₂O₅ – 199 mg kg⁻¹)

5 lentelė. Natūralių radionuklidų ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th ir ^{40}K savitasis radioaktyvumas augaluose, išaugintuose Lietuvoje

Table 5. Natural radionuclides ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K specific activity in plants growth in Lithuania

Augalai Plants	1987–1988 m.				2006 m.				
	n	Bq kg ⁻¹ saus. medž. / DM			n	Bq kg ⁻¹ saus. medž. / DM			
		$^{226}\text{Ra}\pm s^*$	$^{238}\text{U}\pm s$	$^{232}\text{Th}\pm s$		$^{226}\text{Ra}\pm s$	$^{238}\text{U}\pm s$	$^{232}\text{Th}\pm s$	$^{40}\text{K}\pm s$
Grūdai Grain	5	0,8±0,2	0,7±0,3	1,4±0,4	3	1,2±0,8	0,5±0,2	0,9±0,2	128±4
Šiaudai Straw	8	1,1±0,4	2,4±2,9	0,6±0,5	-	-	-	-	-
Morkos Carrot	10	2,5±1,5	1,5±0,7	1,0±0,4	3	2,2±0,1	2,0±0,9	2,4±1,0	1263±309
Bulvės Potato	6	0,5±0,3	0,6±0,4	0,6±0,5	2	1,2±0,1	1,3±0,3	1,4±0,3	600±100
Burokėliai Red beet	9	1,9±0,9	1,3±0,5	0,9±0,2	2	2,9±0,1	2,6±1,3	2,7±2,1	1555±672
Kopūstai Cabbage	9	0,9±0,4	1,1±0,5	0,9±0,3	2	2,7±1,1	2,4±1,7	2,9±1,7	1410±849
Svogūnai Onion					2	1,9±0,9	2,0±0,8	2,3±1,1	440±198
Pašariniai ir cukriniai runkeliai Fooder beet and sugar beet	2	2,0±0,2	1,7±0,6	2,3±1,7	-	-	-	-	-
Daugiametės žolės Perennial grasses	13	2,1±1,3	2,0±0,9	1,3±0,5	4	1,4±0,1	1,0±0,3	1,1±0,2	383±43
Vienametės žolės Annual grasses	8	1,0±0,6	2,4±1,0	1,0±0,2	-	-	-	-	-

*s – standartinis nuokrypis / standard deviation

ir mažo kalingumo (K_2O – 133 mg kg⁻¹) bei humusingumo (humuso – 2,0 %) dirvožemiais. Į fosforo perteklių mažiau reaguoja morkos ir bulvės, labiau – kopūstai ir burokėliai. Radionuklidai augaluose turėjo tendenciją didėti ten, kur buvo tręšiama didelėmis fosforo trąšų normomis, todėl susikaupė ir didesnė judriojo fosforo bei radionuklidų koncentracija dirvožemyje. Daržovės, ypač sukultūrintuose dirvožemiuose išauginti

kopūstai ir burokėliai, pasižymėjo labai dideliu ^{40}K aktyvumu (2010–2030 Bq kg⁻¹). Manoma, kad jo kaupimuisi įtakos turėjo 2006 m. sausra.

Palyginus 1987–1988 m. ir 2006 m. vidutinius ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th ir ^{40}K perėjimo iš dirvožemio į augalus koeficientus, matyti, kad visi tirti augalai 2006 m. jų sukaupė daugiau, nors dirvožemyje jų savitasis aktyvumas buvo mažesnis (6 lentelė).

6 lentelė. Vidutiniai ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th ir ^{40}K perėjimo iš dirvožemio į augalus koeficientai

Table 6. Average soil to plant transfer factors for ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K

Augalai <i>Plants</i>	1987–1988 m.			2006 m.					
	n	$^{226}\text{Ra}\pm s$	$^{238}\text{U}\pm s$	$^{232}\text{Th}\pm s$	n	$^{226}\text{Ra}\pm s$	$^{238}\text{U}\pm s$	$^{232}\text{Th}\pm s$	$^{40}\text{K}\pm s$
Grūdai <i>Grain</i>	5	0,02±0,01	0,01±0,01	0,02±0,00	3	0,10±0,07	0,05±0,01	0,08±0,01	0,46±0,08
Šiaudai <i>Straw</i>	8	0,03±0,01	0,02±0,02	0,02±0,01	-	-	-	-	-
Morkos <i>Carrot</i>	10	0,10±0,08	0,05±0,03	0,03±0,04	3	0,15±0,04	0,16±0,04	0,19±0,06	4,04±1,54
Bulvės <i>Potato</i>	6	0,01±0,00	0,01±0,01	0,01±0,01	2	0,09±0,02	0,15±0,06	0,16±0,06	2,30±0,30
Burokėliai <i>Red beet</i>	9	0,06±0,07	0,03±0,05	0,02±0,01	2	0,18±0,07	0,29±0,29	0,32±0,37	5,30±3,13
Kopūstai <i>Cabbage</i>	9	0,03±0,03	0,03±0,03	0,02±0,01	2	0,18±0,13	0,28±0,32	0,32±0,35	4,40±4,31
Svogūnai <i>Onion</i>	-	-	-	-	-	0,13±0,09	0,21±0,20	0,24±0,25	1,50±0,91
Runkeliai <i>Beet</i>	2	0,05±0,02	0,04±0,02	0,03±0,02	-	-	-	-	-
Daugiametės žolės <i>Perennial grasses</i>	13	0,05±0,03	0,03±0,02	0,03±0,02	4	0,14±0,12	0,15±0,12	0,16±0,08	2,42±0,69
Vienametės žolės <i>Annual grasses</i>	8	0,01±0,01	0,04±0,02	0,05±0,01	-	-	-	-	-

^{226}Ra susikaupimo koeficientas 1987–1988 m. buvo vidutiniškai 0,04 (0,01–0,10), ^{238}U – 0,03 (0,01–0,05) ir ^{232}Th – 0,02 (0,01–0,03), t. y. šie rodikliai buvo žymiai mažesni negu 2006 m. – atitinkamai 0,12 (0,09–0,15), 0,19 (0,05–0,29) bei 0,22 (0,08–0,32). Didžiausi ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th perėjimo iš dirvožemio į augalus koeficientai 2006 m. nustatyti kopūstams ir burokėliams (0,18–0,32).

Išvados

1. Radionuklidų ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K savitasis aktyvumas trąšose, priklausomai nuo tirtų radionuklidų bei trąšų rūšies, kinta plačiu intervalu nuo nustatymo ribos iki 14700 Bq kg^{-1} . Iš ^{238}U serijos radionuklidų ypač padidėjęs ^{226}Ra savitasis aktyvumas yra granuliūto superfosfato. ^{40}K savitasis aktyvumas tiesiogiai priklausė nuo kalio koncentracijos mineralinėse trąšose ($r = 0,9999$), didžiausias kalio chlorido – 14700 Bq kg^{-1} .

2. Kauno miesto vandenvalos įmonės aikštelėje saugomame nuotekų dumble (2001 ir 2006 m.) visų tirtų natūralių radionuklidų savitasis aktyvumas kito nuo $13,5$ iki 61 Bq kg^{-1} sausųjų medžiagų. Mažiausias buvo ^{226}Ra ($13,5$ ir $17,4 \text{ Bq kg}^{-1}$), didžiausias – ^{40}K (59 ir 61 Bq kg^{-1}).

3. Įterpus į dirvožemį nuotekų dumblo 250 t ha^{-1} (2001 m.) ir $250+250 \text{ t ha}^{-1}$ (2001, 2002 m.), natūralių radionuklidų ^{226}Ra , ^{238}U bei ^{232}Th savitasis aktyvumas daugiametėse žolėse (saus. medž.) buvo panašus. Naudojant dumblą, tirtųjų radionuklidų savitasis aktyvumas turėjo tendenciją mažėti. Perėjimo iš dirvožemio į augalus koeficientai dumblu tręšose daugiametėse žolėse buvo žymiai mažesni, palyginti su netręštomis.

4. Visi 2006 m. tirti augalai, palyginti su 1987 ir 1988 m., sukaupe daugiau ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th . Didžiausi ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th perėjimo iš dirvožemio į augalus koeficientai 2006 m. nustatyti kopūstams ir burokėliams ($0,18-0,32$).

5. Įtręštuose dirvožemiuose augintose daržovėse nustatytas didelis ^{40}K savitasis aktyvumas – nuo 300 iki 2030 Bq kg^{-1} sausųjų medžiagų.

Gauta 2007 03 02

Pasirašyta spaudai 2007 05 08

LITERATŪRA

1. Alekseev J. I. Tjaželye metally v počvach i rastenijach. - Leningrad: VO Agropromizdat, 1987. - 141 s. - Rus.

2. Askbrant S., Melin J., Sandalls J. et al. Mobility of radionuclides in undisturbed and cultivated soils in Ukraine, Belarus and Russia six years after the Chernobyl fallout // Environ. Radioactivity. - 1996, vol. 31, No. 3, p. 287–312

3. Boguslovskij A. E. Osobennosti raspredelenija U, Ra, Th и ^{40}K v landšaftach Priobskogo plato: doklady II meždunarodnoj naučno-praktičeskoj konferencii „Tjaželye metally, radionuklidy i elementy biofily v okružajuščej srede“. 16-18 oktjabrja 2002 g. - Semipalatinsk-Kazachstan, 2002, t. 1, s. 470–474. - Rus.

4. Butkus D., Gaponovienė K. Ž. Lygiavertės dozės galios požemio ore šalia Lietuvos magistralių matavimo ir modeliavimo rezultatai // Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. - 2006, vol. 16, No.1, p. 3–9

5. Council Directive of 15 July 1980 amending the Directives laying down the basic safety standards for the health protection of general public and workers against the dangers of ionizing radiation // 80/836/Euratom. - 23 p.

6. Council Directive of 13 September 1984 amending Directive 80/836/ Euratom as regard the basic safety standards for the health protection of general public and workers against the dangers of ionizing radiation // 84/467/Euratom. - 8 p.

7. Duval J. S. Uranium in the United States // US Geological Survey Yearb, fiscal year 1989. - Denver (Colo), 1990, p. 58–60

8. Frissel M. J., Koster H. W. Radium in soil // Techn. Repts. Ser./IAEA. - 1990, No. 310, p. 323–334

9. Kuznecov V. K., Sanžarova N. I., Isamov N. I. Intensifikacija zemledelija i nakoplenie radioaktivnyh veščestv v urožae sel'skochozjaistvennyh kul'tur: doklady II meždunarodnoj naučno-praktičeskoj konferencii „Tjaželye metally, radionuklidy i elementy biofily v okružajuščej srede“. 16-18 oktjabrja 2002 g. - Semipalatinsk, Kazachstan, 2002, t. 2, s. 239–244. - Rus.

10. Linsalata P., Morse R. S., Ford H. et al. An assessment of soil-to plant - concentration for some natural analogs of the transuranic elements // Health Phys. - 1989, vol. 56, No. 1, p. 33–46

11. Maisto produktų ir geriamojo vandens radiologinių tyrimų, atliktų saugos centre (RSC) 2005 metais, apžvalga. <http://www.rsc.lt/download.php/fileid/111>

12. Metodičeskie ukazaniya po opredeleniju estesstvennyh radionuklidov v počvach i rastenijach. - Moskva, 1985. - 22 s. - Rus.

13. Meriwether J. R., Beck J. N., Keeley D. F. et al. Radionuclides in Louisiana soils // Journal Environmental Quality. - 1988, vol. 17, No. 4, p. 562–568

14. Million J. B., Sartain J. B., Gonzalez R. X. et al. Radium-226 and calcium uptake by crops grown in mixtures of sand and clay tailings from phosphate mining // Journal Environmental Quality. - 1994, vol. 23, p. 671–676

15. Morkūnas G. Radiacinė sauga? Tai visai paprasta. Radiologinės saugos centras. - 2004. - 191 p.

16. Nikolaev L. V., Achtjamov A. I., Alekseev J. V. Koncentracija i migracija nekotorych estesstvennyh radionuklidov v sisteme udobrenie-počva-rastenie // Toksikologičeskij i radiologičeskij kontrol' sostojaniya počv i rastenij v procese chimizacii sel'skogo chozjaistva: sbornik naučnyh trudov. - Moskva, 1981, s. 131–139. - Rus.

17. Pulhani V. A., Dafauti S., Hegde A. G. et al. Uptake and distribution of natural radioactivity in wheat plants from soil // Journal of environmental radioactivity. - 2005, vol. 79, No. 3, p. 331–346

18. Shibles D. B., Riddle T. C. Levels of Radium-226 in crops grow on phosphatic clay at the Polk County Mined Lands Agricultural Research // Demonstration Project. // Ed. E. A. Hanlon. - 1991. Symposium proceedings of naturally occurring radionuclides in agricultural products. Proc. Symposium UF/IFAS, FIPR, ASSMR, Fla. Chap. HPS, MLARD, Savannah River Ecol. Lab. and South. Regional Reclamation Committee (S-245) SSSA, Orlando, FL. 24–25 Jan. - 1991, p. 260–275

19. Solov'ev G., Golubev M. Vlijanie mineral'nyh udobrenij na sodержanie tjaželyh metallov v rastenijach // Agrochimija. - 1981, No. 11, s. 114–119. - Rus.

20. Tarakonovas P., Raudonius S. Agronominių tyrimų duomenų statistinė analizė taikant kompiuterines programas ANOVA, STAT, STAT-PILOT iš paketo SELEKCIJA IRRISTAT. - Akademija, 2003. - 60 p.

21. Unsear 1982 Report Ionizing radiation: Sources and biological effects. - New York: United Nations, 1982. - 773 p.

22. Vera T. F., Blanco R. P., Lozano J. C. Distribution and mobilization of U, Th and [226]Ra in the plant-soil compartments of a mineralized uranium area in south-west Spain // Journal of environmental radioactivity. - 2002, vol. 59, No.1, p. 41–60

23. Wood R., Eckart R. Resrad analysis of the validity of genetic limits on residual U-238 radioactivity in soil // Abstr./annu. Meet. Amer.nucl. soc., Orlando, FIA, June 2-6, 1991 / Trans. American Nuclear Society. - 1991, No. 63, p. 54–56

NATURAL RADIONUCLIDE SPECIFIC ACTIVITY IN PLANT PRODUCE, SOIL AND FERTILIZERS

J. Lubytė, A. Antanaitis, G. Staugaitis

Summary

Production and use of mineral fertilizers increase, yet there is a lack of knowledge in the field of radioactive matter content in mineral fertilizers and the consequent effect on the concentrations of radionuclides (^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) in plants. According to the results of mineral fertilizer analyses, specific activities of radionuclides present in the tested fertilizers depended on the specific radionuclide and type of tested fertilizer and were rather different – from barely detectable to 14700 Bq kg^{-1} . ^{238}U family member ^{226}Ra specific activity level in granulated super phosphate was exceptionally high (770 Bq kg^{-1}). ^{40}K specific activity depended on the potassium concentration in mineral fertilizer ($r = 0,9999$).

In 2006, if compared to 1987–1988, all tested plants accumulated more of ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th . The highest coefficients of radionuclides' transit from soil to plant were calculated for cabbage and red beet crops.

Vegetables cultivated on well-tamed soils, if compared to the crops cultivated on less tamed soils, accumulate 1.1–1.9 times more of ^{226}Ra , 1.2–3.0 times more of ^{238}U , ^{232}Th , and 1.4–2.5 times more of ^{40}K . Moreover, ^{40}K specific activity in vegetables, especially cabbage and red beet crops, cultivated on well-tamed soils, was remarkably high ($2010\text{--}2030 \text{ Bq kg}^{-1}$ in dry matter).

Key words: radionuclide, specific activity, vegetable, plants produce, soils, fertilizers.

Padėka. Dėkojame Lietuvos valstybiniam mokslo ir studijų fondui (VMSF sutartis P-29/06 (2006-07-28) reg. Nr. 06003; VMSF sutartis MS-7-2 2007-05-21) ir Žemės ūkio ministerijai už finansinę paramą vykdant tyrimus.