

Agroekologija
Agroecology
Агроэкология

Skirtingų sėjomainų agroekologinis įvertinimas

**Ramutė Aksomaitienė,
Saulius Gužys,
Zita Petrokienė**

*Lietuvos žemės ūkio universiteto
Vandens ūkio institutas,
Parko g. 6,
LT-5048 Vilainiai, Kėdainių rajonas,
el. paštas chal@water.omnitel.net*

2000–2003 m. LŽŪU VŪI buvo atliekami penkių, įvairaus intensyvumo (kaupiamųjų, javų ir daugiamečių žolių) sėjomainų agroekologinio įvertinimo tyrimai giliau karbonatingo, giliau glėjiško lengvo priemolio rudžemyje (RDg-4-K2).

Didžiausiu produktyvumu pasižymėjo kaupiamųjų sėjomaina, per 4 metus sukaupusi 532 GJ ha⁻¹ bendrosios energijos derlių, o didžiausiu energijos efektyvumu – žolių sėjomaina (energijos transformavimo koeficientas 12,2). Žolių bei kaupiamųjų sėjomainose mineralinio azoto kiekis 0–60 cm dirvožemio sluoksnyje buvo 55–66 kg/ha, t. y. 11–12% daugiau, palyginus su javų monokultūra bei tradicine Norfolkio sėjomaina. Mineralinis azotas labiausiai išplautas javų monokultūros sėjomainoje (63 kg ha⁻¹ per 4 metus). Kaupiamųjų, žolių, taip pat varpinių ir ankštinių javų sėjomainose drenažu išplauto mineralinio azoto kiekiai buvo labai panašūs (44,5–47,0 kg ha⁻¹), mažiausiai jo išplauta tradicinėje Norfolkio sėjomainoje (32,8 kg ha⁻¹). Drenažu per rotaciją fosfatų išplauta vidutiniškai 42–62 g ha⁻¹, ir taikomų sėjomainų įtaka buvo maža. Per 4 metus kalio išplauta 2,0–5,5 kg ha⁻¹. Produktyvesnėse agroekosistemose ir racionaliai tręšiant kalio trąšomis jo išplauta nedaug.

Raktažodžiai: sėjomainos, azotas, fosforas, kalis, drenažo vanduo, koncentracija, išplovimas, tarša

ĮVADAS

Teiginių, kad žemės ūkio intensyvinimas didina aplinkos pasklidąją taršą, mokslinėje literatūroje apstu. Lietuvoje ir daugelyje kitų šalių atlikti tyrimai parodė, kad didėjant žemės ūkio naudmenų plotams upių baseinuose, didėja azoto ir fosforo koncentracija upių vandenyje [1, 11–13, 15, 24, 26, 27, 29]. Nepaneigdami seniai žinomų tiesių, naujais moksliniais tyrimais parodė, kad pasklidoji vandens tarša tiesiogiai susijusi su klimato sąlygomis, sunaudojamų trąšų kiekiu, auginamais augalais ir bendra ūkininkavimo kultūra. Ilgamečiais Rotamstedo bandymų stoties tyrimais nustatyta, kad taikant optimalų tręšimą, azoto išplaukama iki 30 kg ha⁻¹ per metus (ES standartų didžiausia leidžiama norma – 34 kg ha⁻¹ per metus). O prieš 120 metų drenažu analogiškais sąlygomis azoto iš-

plauta 74% daugiau dėl mažo derlingumo ir žemesnio bendro ūkininkavimo lygio [9].

Sėjomainos – viena svarbiausių organizacinių žemdirbystės priemonių. Kylant žemdirbystės kultūrai, dabar jau daugelyje šalių būtų galima pasiekti, kad maisto medžiagos ir net drėgmė nelimituotų augalų derliaus. Tačiau be sėjomainų vis dėlto neišvengsime biologinių veiksnių, ribojančių augalų derlingumą [33]. Įvairių sėjomainų agronominio įvertinimo tyrimų tiek pasaulyje, tiek Lietuvoje atlikta gana nemažai. Anksčiau mokslas rekomendavo taikyti daugialaukes (7–9 ir daugiau rotacijos narių), tuo tarpu dabartinėmis ūkininkavimo sąlygomis siūloma taikyti iki 4 narių sėjomainas [20]. Be to, specializuojantis ūkiams, derinant prie rinkos, netenka prasmės netgi tokios tradicinės, akcentuotos dirvožemio našumui išsaugoti, sėjomainos, kaip Norfolk-

ko, nes žemvaldžiui yra gana sudėtinga plėtoti kelių kryptių prekinį ūkį. Vis labiau plinta monokultūra (javų, cukrinių runkelių ir pan.). Naujausi moksliniai tyrimai parodė, kad javų santalką sėjomainoje, be žalos augalų derlingumui, galima didinti net iki 100%, su sąlyga, kad bus auginami ir ankštiniai javai [21]. Ieškoma būdų, kaip blogesnę priešsėlį kompensuoti mineralinėmis trąšomis [16]. Čekijoje atliktais tyrimais nustatyta, kad monokultūros taikymas įgalina pasiekti didesnę produktyvumą, nei tradicinė Norfolkio sėjomaina, bet šiuo atveju sunkiau sureguliuoti NPK balansą, eikvojami dirvožemio išteklių, reikia gausiau tręšti mineralinėmis trąšomis. Negatyviam atsėliavimo poveikiui augalams išvengti, siūloma kaitalioti augalų veisles [23].

Jei žemės dirbimo ir tręšimo technologijos, skirtingų specializacijų sėjomainos agronominiu požiūriu įvertintos gana išsamiai, tai aplinkosaugos požiūriu, poveikiu vandens kokybei – gana menkai. Žinoma, kad daugiametėmis žolėmis užsėtuose plotuose cheminių elementų išplovimo nuostoliai būna mažesni nei plotuose, kuriuose auginami kiti augalai. Daugiausia cheminių elementų išplaunama laikant juodąjį pūdymą [14, 22]. Azoto migraciją dirvožemio profiliu spartina monokultūros taikymas [3, 5]. Žemės ūkio poveikį gamtinei aplinkai galima mažinti naudojant kuo mažesnę neatkuriamų išteklių kiekį, visiškai panaudojant atliekas, minimaliai įdirbant dirvą, pasirenkant sėjomainas su tarpiniais augalais ir nuolat užimta dirva, auginant didelio biologinio potencialo augalus, subalansuotai tręšiant, t. y. taikant rentabilų ūkininkavimą ir didinant trąšų panaudojimo efektyvumą [5–7, 9, 17, 25]. Nuo pokyčių, kurie vyksta dirvožemyje auginant tam tikrus augalus, priklauso per dirvožemį prasisunkiančio ar jo paviršiumi nutekantio vandens kokybė ir užterštumas. Tai, kad apie 67% išplaukamo N yra dirvožemio azotas [28], žinoma seniai, o tyrimų duomenų apie jo formas, dinamiką, migraciją dirvožemio profilyje, žmogaus veikiamose agroekosistemose Lietuvoje yra nedaug. Be to, agroekosistemos kokybiniai rodikliai turi įtakos ne tik azoto, bet ir įvairių fosforo junginių, kalio ir daugelio kitų biogeninių elementų apykaitoje.

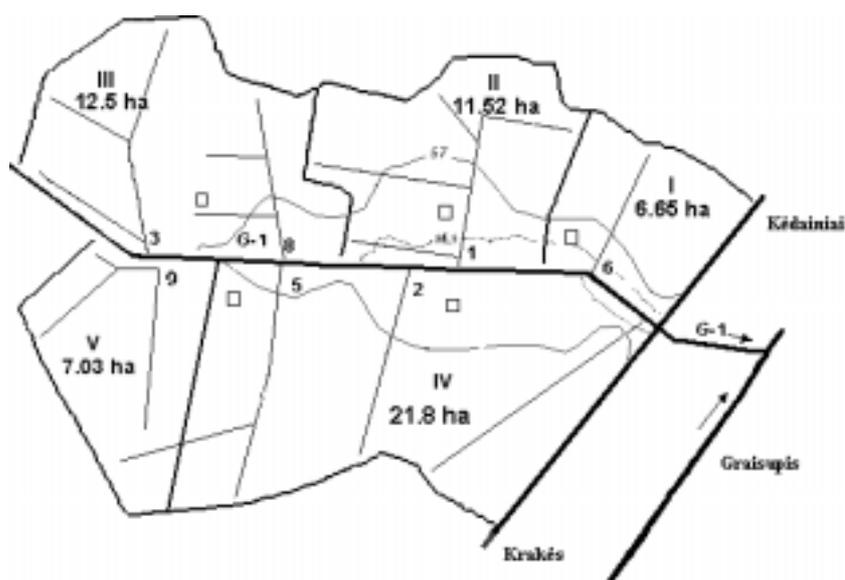
Remdamiesi turimomis žiniomis, formuluojame hipotezę, kad agrolandšafto pasklidoji tarša turėtų būti atvirkščiai proporcinga ekosistemos bendrosios biomasės sintezei, o visos priemonės, už-

tikrinančios gausių augalų derlių, mažina potencialią vandens taršos riziką.

Tyrimų tikslas – įvertinti NPK migracijos ryšius su agroekosistemos biologiniu produktyvumu ir jį nulemiančiais veiksniais.

TYRIMŲ SĄLYGOS IR METODAI

Tyrimai atlikti 2000–2003 m. Lietuvos žemės ūkio universiteto (LŽŪU) Vandens ūkio institute (VŪI), Lipliūnų kaime. Tyrimų pagrindas – 5 drenažo sistemos, kurių kiekvienoje taikyta atskira lauko augalų sėjomaina (1 pav., 1 lentelė). Dirvožemis – giliau karbonatingas giliau glėjiškas rudžemis (RDg-4-K2), (CMg-n-w-can), smėlingas lengvas priemolis ant priemolio. Jo agrocheminių savybių variacija, pradedant tyrimus, pateikta 2 lentelėje. Augalai tręšti tik mineralinėmis trąšomis. Bendras sėjomainos rotacijų tręšimas pateiktas 3 lentelėje. Lauko augalams taikyta jiems įprasta agrotechnika. Esant reikalui naudojamos cheminės augalų apsaugos priemonės. Auginami šiuo veislių augalai: cukriniai runkeliai 'Accord', vasariniai miežiai 'Ula', žieminiai kviečiai 'Širvinta II', žieminiai rugiai 'Moldavskij 10', daugiametės žolės (raudonieji dobilai 'Liepsna' + pašariniai motiejukai 'Gintaras II', pašariniai žirnai 'Odin', vasariniai kviečiai 'Nandu', žieminis rapsas 'Valesca'. Javų ir žolių derliaus apskaitinių laukelių plotas – 30 m², kaupiamųjų – 45 m². Augalų derlius nustatytas 6–8 pakartojimais. Drenažo nuotėkis matuotas tūriniu būdu. Vandens mėginiai imti kas 15 dienų. NH₄⁺-N, NO₃⁻-N ir PO₄³⁻-P koncentracija vandenyje nustatyta kolorimetriškai analizatoriumi „FIA Star 5012 system“, NH₄⁺-N – dujų difuziniu, NO₃⁻-N – kadmio



1 pav. Tyrimų poligono schema. I–V – sėjomainų laukai, D-1 – D-9 – drenažo sistemų žiotys, o – dirvožemio bandinių ėmimo vietos

1 lentelė. Sėjomainos rotacijų schema					
Metai	Variantas (Sėjomainų rotacija)				
	I (Norfolko)	II (kaupiamųjų)	III (javų)	IV (žolių)	V (javų)
2000	Cukriniai runkeliai	Cukriniai runkeliai	Miežiai	Žieminiai kviečiai + įs.	Žieminiai kviečiai
2001	Miežiai+ įsėlis	Vasariniai kviečiai	Žieminiai rugiai	Daugiametės žolės	Pašariniai žirniai
2002	Daugiametės žolės	Cukriniai runkeliai	Vasariniai kviečiai	Daugiametės žolės	Žieminiai kviečiai
2003	Žieminiai kviečiai	Vasariniai kviečiai	Žieminiai rapsai	Žieminiai kviečiai	Cukriniai runkeliai

2 lentelė. Dirvožemio ariamojo horizonto agrocheminės savybės ir jų variacija

Variantas	pH _{KCl}	mekv kg ⁻¹		Judrieji mg kg ⁻¹		%	
		hidrolizinis rūgštumas	sorbuotų bazių suma	P ₂ O ₅	K ₂ O	humu- sas	bendras N
1	7,1	6,3	300	218	125	1,80	0,14
2	7,2	7,9	320	185	172	2,77	0,21
3	7,2	9,0	280	197	92	2,98	0,20
4	7,2	6,3	360	174	82	2,70	0,18
5	7,2	7,6	330	143	106	2,99	0,20
x	7,22	7,5	318	183	115	2,68	0,19
<i>Sx</i>	0,02	0,51	14	12	16	0,22	0,01
<i>V%</i>	2,4	25	27	15	31	25	22
<i>Rv</i>	0,1	2,7	80	75	90	1,19	0,07

redukciniu metodu, PO₄³⁻-P (atlikus mineralizaciją su kalio persulfatu) – molibdeniniu metodu, K⁺ – liepsnos fotometru [30]. Dirvožemio bandiniai imti grąžtu 2 kartus per metus (pavasarij, atsinaujinus vegetacijai ir rudenį, nuėmus derlių). Pavyzdžiai imti kas 20 cm iki 1 m gylio, prisilaikant genetinių horizontų ir jų netaisant. Dirvožemio analizės atliktos šiais metodais: pH_{KCl} – potenciometriniai, judrieji P₂O₅ ir K₂O – A–L, humusas – Tiurino, bendrasis N – Kjeldalio. Duomenys apdoroti matematinės statistikos metodais [32].

3 lentelė. Bendras lauko augalų sėjomainos rotacijų tręšimas kg ha⁻¹ veikliosios medžiagos

Sėjomaina (variantas)	Maisto medžiagos		
	N	P	K
1. Norfolko	274	128	172
2. Kaupiamųjų	498	236	380
3. Javų monokultūra	314	86	193
4. Žolių	156	46	65
5. Varpinių + ankštinių javų	192	105	182

Straipsnyje vartojami šie simboliai ir santrumpos: x – aritmetinis ar svartinis vidurkis, Rv – variacijos amplitudė, $V\%$ – variacijos koeficientas, Sx – vidurkio vidutinė kvadratinė paklaida, r – porinės, R – daugianarės koreliacijų koeficientai, η – koreliacinis santykis, $x_{ekstr.}$ – funkcijos ekstremumas, D – determinacijos indeksas, R_{05} – patikimo (95%) skirtumo riba, * – patikima 95%, ** – 99% tikimybei, NPK – veiklioji medžiaga (N, P₂O₅, K₂O kg ha⁻¹).

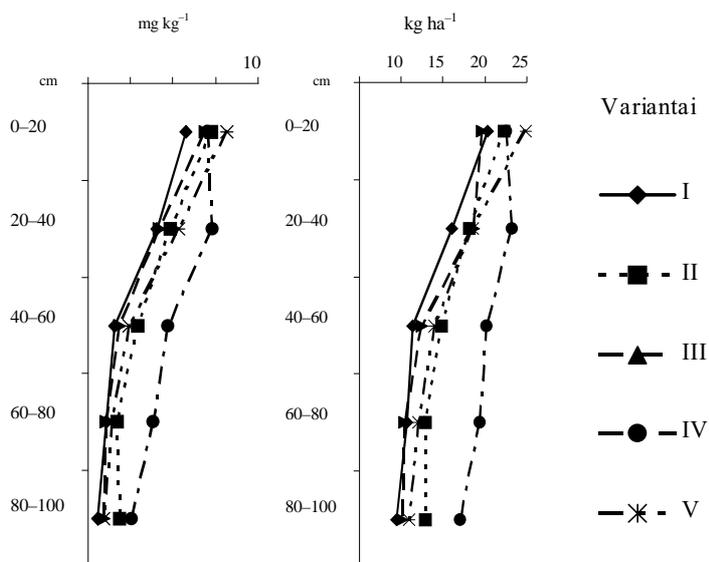
REZULTATAI IR JŲ APTARIMAS

Dirvožemis. Tiek mineralinio azoto koncentracija, tiek sukaupu jo kiekiu išsiskiria daugiamečių žolių sėjomainos rotacija (2 pav.). Vidutiniais duomenimis, N_{min} koncentracija ir jo sukaupimas kiekis čia buvo aukščiau nei tik viršutiniuose dirvožemio horizontuose (7,6–7,9 mg kg⁻¹ ir 22,5–23,2 kg ha⁻¹), bet ir per visą profilį iki 100 cm gylio, kur ji siekė atitinkamai 4,1 mg kg⁻¹ ir 17,0 kg ha⁻¹. Nors ši sėjomainos rotacija buvo menkiausiai tręšta

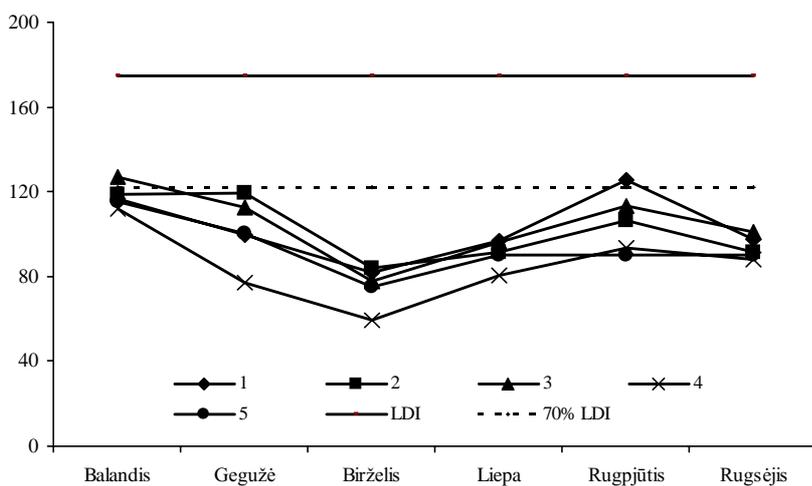
tiek azoto, tiek kitomis trąšomis, tačiau aukštesnį dirvožemio profilio mineralinį azotumą lėmė daugiamečių ankštinės žolės. Kituose tyrimuose nustatyta, kad gausiai užderėję raudonieji dobilai kitiems rotacijos nariams gali palikti 200 kg ha⁻¹ ir daugiau biologiškai fiksuoto oro azoto [18]. Didesniu mineraliniu dirvožemio azotumu išsiskyrė ne tik žolių, bet ir kaupiamųjų (2 variantas) bei varpinių ir ankštinių javų (5 variantas) sėjomainos. Tačiau čia padidinti N_{min} junginių kiekiai aptikti tik viršutiniuose (iki 40 cm) dirvožemio horizontuose, kur N_{min} koncentracija siekia 5,9–8,5 mg kg⁻¹, o jo sukaupimas 18,1–24,9 kg ha⁻¹. Kaupiamųjų sėjomainos atveju tai sietina su mineraliniu tręšimu, o varpinių ir ankštinių javų atveju – ir su tręšimu, ir su ankštiniais augalais. Duomenų statistinė analizė parodė, kad N_{min} koncentracija mg kg⁻¹ (y₁) bei jo sukaupimas kg ha⁻¹ (y₂) 0–60 cm dirvožemio sluoksnyje yra sąlygojami augalų derlingumo GJ ha⁻¹ (x):

$$y_1 = 7,48 - 0,0194x + 0,00004x^2; \eta = 0,32^*; D = 10\%; x_{ekstr.} = 240;$$

$$y_2 = 86,269 - 0,431x + 0,0011x^2; \eta = 0,46^*; D = 21\%; x_{ekstr.} = 196.$$



2 pav. Skirtingų sėjomainų įtaka vidutinei metinei mineralinio azoto koncentracijai mg kg^{-1} bei sukauptam jo kiekiui kg ha^{-1} dirvožemio profilyje (1 m)



3 pav. Vidutinės dirvožemio (0–60 cm) produktyviosios drėgmės atsargų augalų vegetacijos periodu dinamika

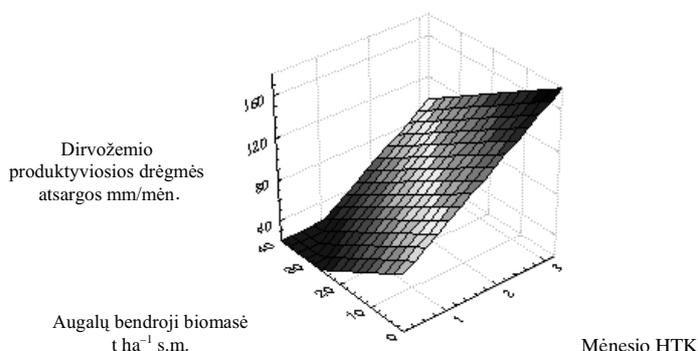
Iš lygčių galima spręsti, kad gausenis lauko augalų derlingumas (iki $200\text{--}240 \text{ GJ ha}^{-1}$) neleidžia kauptis dirvožemyje didesnėms N_{\min} atsargoms. Tačiau jei dėl kokių nors priežasčių augalai negali efektyviai pasinaudoti trąšų ir dirvožemio azotu (bloga agrotechnika, meteorologinės sąlygos ir pan.), arba jei tręšiama normomis, viršijančiomis augalų poreikius, ši koncentracija išauga.

Nors dirvožemio drėgmės režimas tiesiogiai priklauso nuo meteorologinių sąlygų, dirvožemio agrofizikinių bei hidrloginių savybių, tačiau taikoma augalų sėjomaina jai taip pat turi įtakos (3 pav.). Vidutiniai metiniai dirvožemio (0–60 cm) produktyviosios drėg-

mės dinamikos per vegetacijos periodą tyrimai rodo, kad žemiausia ji yra žolių sėjomainos sąlygomis ($59\text{--}112 \text{ mm}$). Tuo tarpu kitų tirtų sėjomainų sąlygomis jos dirvožemyje sukaupiama $4\text{--}42\%$ daugiau. Iš esmės tai taip pat susiję su augalų biomasės sinteze ir transpiracija (4 pav.). Auginami didesnio biologinio potencialo augalai apriboja dirvožemio produktyviosios drėgmės kumuliaciją. Tačiau nepriklausomai nei nuo taikomos sėjomainos, nei nuo metų meteorologinių sąlygų didesnę vegetacijos periodo dalį augalams produktyviosios drėgmės trūksta. Panašius rezultatus gauna ir kiti tyrėjai [4, 19].

Derlius. Atskirų metų, atskirų sėjomainos narių derlius pateiktas 4 lentelėje. Šių duomenų pagrindu atlikta agroekosistemos bendrosios biomasės sintezės ryšio su maisto medžiagų migracijos dėsniniais analizė. Per 4 metus didžiausiu produktyvumu pasižymėjo kaupiamųjų sėjomainos rotacija (532 GJ ha^{-1}) (5 pav.). Tačiau nedaug nuo jos atsiliko ir javų sėjomainos rotacija, kada varpiniai javai kaitaliojami su ankštiniais (5 variantas – 506 GJ ha^{-1}). O žemiausias jis buvo javų monokultūros ir žolių sėjomainos sąlygomis (atitinkamai 90 ir 70% kaupiamųjų sėjomainos sukaupto bendrosios energijos kiekio). Tačiau palaikyti didelį sėjomainos rotacijos produktyvumą auginant kaupiamuosius augalus reikalingos didžiausios energijos sąnaudos, o energetinis efektyvumas – mažiausias (energijos transformavimo koeficientas 5,3) (6 pav.).

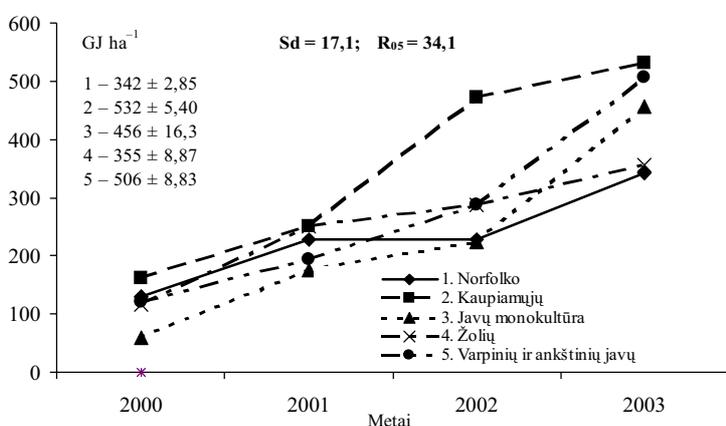
$$z = 67,292 + 34,934x - 2,051y; R = 0,50^{**}; r_{HTK} = 0,41; r_{derlius} = 0,43$$



4 pav. Dirvožemio (0–60 cm) produktyviosios drėgmės kiekio mm/mėn. (z) ryšys su agroekosistemos produktyvumu t ha^{-1} (y) ir hidraterminiu koeficientu (x)

4 lentelė. Lauko augalų pagrindinės ir šalutinės produkcijos derlius t ha⁻¹ (cukriniai runkeliai, daugiametės žolės, javų šiaudai – s. m., rapsų grūdai – 8,5%, javų grūdai – 15%)

Metai	Sėjomaina				
	1. Norfolko	2. Kaupiamųjų	3. Javų	4. Žolių	5. Javų
2000	5,06 2,48	6,43 2,86	2,07 1,09	4,21 2,70	4,42 2,76
2001	2,85 2,97	3,51 1,84	2,27 4,42	7,45 –	1,62 2,66
2002	– –	7,00 5,88	2,01 0,98	2,11 –	4,17 1,42
2003	3,75 2,86	2,85 1,02	5,47 7,47	2,62 1,32	10,40 2,30
Pagrindinė produkcija					
Šalutinė produkcija					



5 pav. Suminis komuliacinis skirtingų sėjomainų augalų pagrindinės ir šalutinės produkcijos bendrosios energijos derlius GJ ha⁻¹ ± Sx

Elementų ir junginių koncentracija drenažo vandenyje. Mineralinio azoto (NH₄⁺ + NO₃⁻) koncentracijos drenažo vandenyje tyrimų rezultatai (5 lentelė) nerodo ypač didelės jos kaitos taikant skirtingas sėjomainas. Jos buvo labiau išreikštos kritulių kiekio, lemiančio drenažo nuotėkį, atžvilgiu. Pastebėta tiesi-

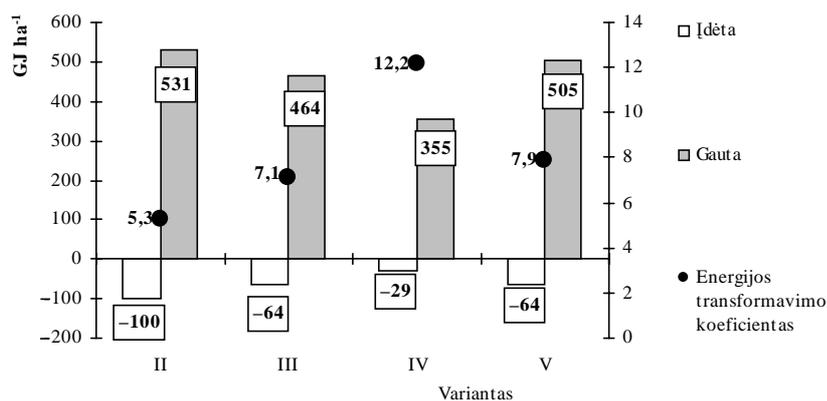
nė atvirkštinė vidutinės metinės N_{min} koncentracijos drenažo vandenyje mg l⁻¹ (y) ir per metus iškritusių kritulių kiekio mm (x) koreliacija. $y = 21,44 - 0,021x$; $r = 0,63^{**}$; $D = 40\%$. Tačiau nors ir ne taip ženkliai, skirtingų sėjomainų taikymas taip pat veikia šią koncentraciją. Vidutiniais duomenimis, aukščiausia (12,1–12,6 mg l⁻¹) ji gauta taikant kaupiamųjų (2 variantas) bei varpinių ir ankštinių javų sėjomainas (5 variantas). Tuo tarpu taikant javų monokultūrą ir žolių sėjomainą ji sumažėja apie 1–2 mg l⁻¹. Žemiausia (9 mg l⁻¹) ji buvo taikant tradicinę Norfolk sėjomainos rotaciją. Iš esmės tokie rezultatai bu-

vo nulemti tręšimo bei lauko užimtumo augalais koeficiento (6 lentelė). Augant augalų tręšimui N trąšomis – N_{min} koncentracija drenažo vandenyje didėja laipsninės funkcijos dėsningumu. Apskritai tręšimas N trąšomis N_{min} koncentracijos drenažo vandenyje variaciją lėmė apie 31%. Tuo pačiu dėsningumu minėta koncentracija drenažo vandenyje didėja ir augant N balanso pertekliui. Tuo tarpu šios koncentracijos drenažo vandenyje ryšys su lauko užimtumo augalais koeficientu – parabolės pobūdžio. Ilgesnį laiką lauką laikant užimtą augalais (užimtumo koeficientas >0,45) ši koncentracija mažėja. Taigi tyrimų duomenys rodo esminę meteorologinių sąlygų ir agroekosistemos tręšimo azotu įtaką azoto koncentracijai drenažo vandenyje. Tik labai subalansuotas, užtikrinantis ne tik gausų augalų derlių, bet ir neperteklinį agroekosistemos azoto balansą azotinis tręšimas leidžia tikėtis išsaugoti aukštą drenažo vandens kokybę azoto junginių koncentracijos jame atžvilgiu.

Kadangi fosforo junginiai yra sunkiai tirpūs, menkai disocijuojantys ir labai nejudrūs, tad ir P-PO₄³⁻ koncentracija drenažo vandenyje yra nežymi. Duomenų analizė parodė, kad ji mg l⁻¹ (y) iš esmės nulemiama per metus iškritusio kritulių kiekio ir yra jam atvirkščiai proporcinga: $y = 0,0407 - 0,00005x$; $r = 0,57^{**}$; $D = 33\%$. Didžiausia P-PO₄³⁻ koncentracija (0,016 mg l⁻¹) išsiskyrė gausiausiai tręšta kaupiamųjų sėjomaina (2 variantas). 0,016 mg l⁻¹ vidutinė metinė koncentracija gauta ir 1-ajame va-

5 lentelė. Skirtingų sėjomainų įtaka vidutinei metinei elementų ir junginių koncentracijai drenažo vandenyje

Variantas (sėjomaina)	mg l ⁻¹ ± Sx		
	N _{min}	P-PO ₄ ³⁻	K ⁺
1. Norfolk	9,0 ± 2,39	0,016 ± 0,011	0,85 ± 0,09
2. Kaupiamųjų	12,1 ± 2,05	0,016 ± 0,004	0,68 ± 0,11
3. Javų monokultūra	11,2 ± 0,94	0,012 ± 0,003	0,90 ± 0,11
4. Žolių	10,1 ± 2,34	0,014 ± 0,004	1,29 ± 0,20
5. Varpinių ir ankštinių javų	12,6 ± 2,40	0,011 ± 0,008	1,09 ± 0,17
R ₀₅	5,7	0,019	0,42



6 pav. Skirtingų sėjomainų įtaka energijos transformavimo koeficientui ir balansui

riante, tradicinės Norfolko sėjomainos taikymo atveju, tačiau čia ji buvo nulemta gerokai padidėjusios 2002 m. šio junginio koncentracijos ($0,028 \text{ mg l}^{-1}$), kada iššalus daugiamečioms žolėms jos buvo apartos ir iki žieminių kviečių sėjos laukas buvo augalais neužimtas. Atlikta koreliacinė–regresinė fosfatų koncentracijos drenažo vandenyje ryšio su aplinkos veiksniais analizė išryškino, kad ją esminiai sąlygojo tręšimas fosforo trąšomis ir lauko užimtumo augalais koeficientas. Didėjant lauko augalų tręšimui P , tiek fosfatų, tiek P_{bendr} koncentracija drenažo vandenyje kinta vienodu – parabolės dėsniumu. Mūsų tyrimų duomenimis, aukščiausia ji buvo tręšiant iki $P_{50} \text{ kg ha}^{-1}$. Tuo tarpu auginant ilgesnio vegetacijos periodo augalus fosfatų koncentracija drenažo vandenyje mažėja.

Taikoma sėjomaina turėjo mažą įtaką vidutinei K^+ koncentracijai drenažo vandenyje. Ji kito nepriklausomai nuo variantų nuo $0,68$ iki $1,29 \text{ mg l}^{-1}$. Aukščiausia ji buvo 4 variante, žolių sėjomainoje. Nors šis variantas per 4 metus tręštas tik $K_{65} \text{ kg ha}^{-1}$ (v.m.), tačiau daugiamečės žolės, turėdamos galingą šaknų sistemą, geba skaldyti dirvožemio mineralus ir atpalaiduoti jų kristalų gardelėse surištą kalį [31]. K^+ koncentracijos drenažo vandenyje ryšys su agroekosistemos tręšimu kalio trąšomis ir lauko užimtumo augalais koeficientu yra parabolės pobūdžio. Taigi gausensnis

($>50 \text{ kg ha}^{-1}$) lauko augalų tręšimas K šią koncentraciją mažina, o ilgesnio vegetacijos periodo augalai (užimtumo koeficientas $>0,32$) ją didina. Tai būtų susiję su atskirų augalų grupių savybėmis. Pvz., cukrinius runkelius, kaip kaliamėgius augalus, reikia ypač gausiai, palyginus su kitais augalais (pvz., javai), tręšti kaliu. Daugiamečės žolės, nors taip pat kaliamėgės, kaip minėta, geba šį elementą pasisavinti iš sunkiai tirpių mineralų. Kadangi jos, palyginti su kitais augalais, auginamos ilgai, tai ir dirvožemį šiuo elementu netgi praturtina. K^+ koncentracijos drenažo vandenyje ryšys su K balansu taip

pat parabolės pobūdžio. Duomenys rodo, kad mažiausia ji esti esant nedideliame neigiamam K balansui (-20 – -30 ka ha^{-1}).

Elementų ir junginių išplovimas drenažu. N_{min} (z_1), $P\text{-PO}_4^{3-}$ (z_2) ir K^+ (z_3) išplautas drenažu kiekis yra tiesiog proporcingas drenažo nuotėkiui mm (x) ir minėtų medžiagų koncentracijai jame mg l^{-1} (y).

$$z_1 = 15,865 + 1,282x + 0,121y; R = 0,96^{**};$$

$$r_{\text{koncentracija}} = 0,85; r_{\text{nuotėkis}} = 0,96;$$

$$z_2 = 0,011 + 0,567x - 0,00001y; R = 0,89^{**};$$

$$r_{\text{koncentracija}} = 0,69; r_{\text{nuotėkis}} = 0,89;$$

$$z_3 = -1,174 + 1,175x + 0,009y; R = 0,91^{**};$$

$$r_{\text{koncentracija}} = 0,71; r_{\text{nuotėkis}} = 0,88.$$

Tačiau nepaisant esminės kritulių kiekio ir drenažo nuotėkio įtakos elementų ir junginių išplovimui, taikoma sėjomaina bei jos produktyvumą lemiantys veiksniai taip pat turi jai įtakos. Vidutiniais suminiais 4 metų duomenimis, didžiausiu mineralinio azoto ($N\text{-NH}_4^+ + N\text{-NO}_3^-$) išplovimu išsiskyrė javų monokultūros sėjomainos rotacija (3 variantas – 63 kg ha^{-1}). Kaupiamųjų, žolių, varpinių ir ankštinių javų sėjomainų sąlygomis (2, 4 ir 5 variantai) drenažu išplauto mineralinio azoto kiekiai buvo labai panašūs ($44,5$ – $47,0 \text{ kg ha}^{-1}$). O mažiausias jis buvo taikant tradicinę Norfolko sėjomainą ($32,8 \text{ kg ha}^{-1}$) (7 lentelė). Agroekosistemos bendrosios energijos

6 lentelė. N_{min} (y_1), $P\text{-PO}_4^{3-}$ (y_2) ir K^+ (y_3) koncentracijos mg l^{-1} drenažo vandenyje ryšys su aplinkos veiksniais

Rodiklis	Regresijos lygtis	η arba r	Tikimybė %	D %	$x_{\text{ekstr.}}$
N , P ar K tręšimas kg ha^{-1} v. m.	$y_1 = 10,041x^{0,0311}$	0,56	99,4	32	–
	$y_2 = 0,013 + 0,0004x - 0,000008x^2$	0,53	99,1	28	50
	$y_3 = 1,0007 + 0,0018x - 0,000035x^2$	0,43	96,0	18	50
Lauko užimtumo koeficientas	$y_1 = 7,843 + 17,953x - 20,029x^2$	0,46	97,4	21	0,45
	$y_2 = -0,0016\ln(x) + 0,0136$	0,33	87,5	11	–
	$y_3 = 1,05 - 0,84x + 1,293x^2$	0,45	96,8	20	0,32
N ar K balansas	$y_1 = 10,256e^{0,0023x}$	0,42	95,1	18	–
	$y_3 = 0,91 + 0,0012x + 3E-05x^2$	0,38	92,8	14	-10

7 lentelė. Skirtingų sėjomainų įtaka suminiam per rotaciją elementų ir junginių išplovimui dreناžu

Variantas (sėjomaina)	mg l ⁻¹ ± Sx		
	N _{min}	P-PO ₄ ³⁻	K ⁺
1. Norfolkio	32,8 ± 2,58	0,054 ± 0,018	2,8 ± 0,20
2. Kaupiamųjų	46,9 ± 2,23	0,042 ± 0,006	2,1 ± 0,20
3. Javų monokultūra	63,1 ± 2,64	0,066 ± 0,007	4,0 ± 0,31
4. Žolių	48,1 ± 5,01	0,052 ± 0,007	5,5 ± 0,49
5. Varpinių ir ankštinių javų	44,5 ± 2,86	0,062 ± 0,010	4,8 ± 0,42
R ₀₅	9,3	0,03	0,93

derliaus GJ ha⁻¹ (x) ryšys su mineralinio azoto išplovimu kg ha⁻¹ (y) geriausiai aprašomas parabolės pobūdžio lygtimi: $y = 8,34 + 0,0884x - 0,000447x^2$; $\eta = 0,34^*$; $x_{ekstr} = 99$. Didesnis agroekosistemos produktyvumas (>99 GJ ha⁻¹ per metus) nulemia mažesnius dreناžu išplautus N_{min} kiekius. Pažangesnė agrotechnika, didelis mineralinių trąšų panaudojimo efektyvumas, o ne sunaudojamų trąšų kiekis yra esminės išsklaidytosios azotinės vandens taršos mažinimo prielaidos byloja gana gausūs Lietuvoje ir užsienyje atliktų tyrimų duomenys [3, 9, 10].

Menkas fosforo junginių dirvožemyje judrumas ir tirpumas, nedidelė jo koncentracija dreناžu vandenyje nulemia ir nedidelius jo išplovimo dreناžu nuostolius. Tam tikrais metais nepriklausomai nuo taikomų sėjomainų išplauto P-PO₄³⁻ kiekis kito nuo 1 iki 23 g ha⁻¹. Tačiau jis taip pat paklūsta bendriesiems dėsningumams. Efektyvus lauko augalų tręšimas P trąšomis (iki 67 kg ha⁻¹ v. m.) (x), lydimas didesnio augalų derlingumo, apriboja fosfatų išplovimą kg ha⁻¹ (y). $y = 0,018 - 0,00039x + 0,000003x^2$; $\eta = 0,50^*$; $x_{ekstr} = 67$. Tačiau gausiau tręšiant P

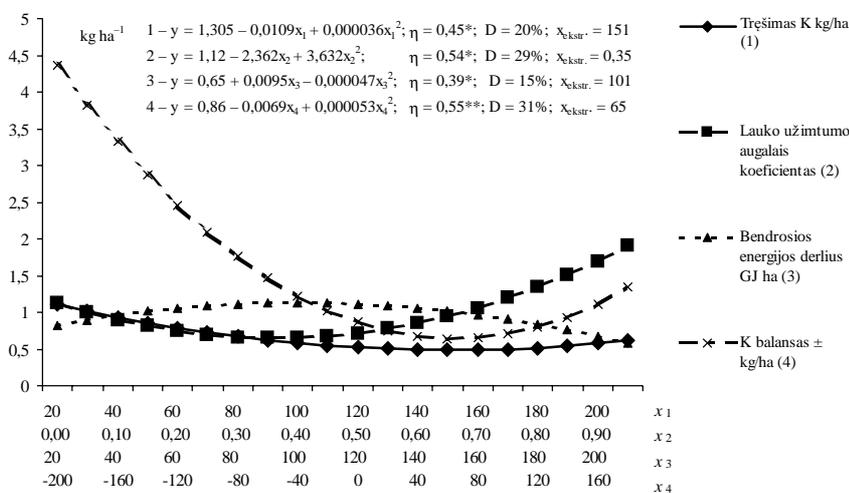
sąlygomis. Koreliacinės ir regresinės šio elemento išplovimo sąsajos su aplinkos veiksniais analizė rodo, kad jo išplovimą lemė ne tiesiogiai taikoma sėjomaina, bet kompleksas tręšimo, agrotechnikos bei dirvožemio sąlygų (7 pav.). Antai dreناžu išplauto K kiekio ryšys su agroekosistemos tręšimu kalio trąšomis bei jos produktyvumu paklūsta bendriesiems jau minėtiems dėsningumams ir yra aprašomas parabolėmis regresijos lygtimis. Didesnis agroekosistemos produktyvumas (>100 GJ ha⁻¹) ir jį užtikrinantis racionalus tręšimas K iki 150 kg ha⁻¹ lemia mažesnius kalio išplovimo nuostolius. Ir jis išauga K balanso pertekliui viršijus +65 kg ha⁻¹. Tuo tarpu ilgesnį laiką (užimtumo koeficientas >0,35) lauką laikant užimtą augalais, jo išplovimo nuostoliai didėja.

Tokiu būdu, visų maistinių (NPK) elementų išplovimas iš dirvožemio dėl agroekosistemos tręšimo ir jos produktyvumo įtakos, paklūsta tam pačiam dėsningumui. Racionalus mineralinių trąšų naudojimas, užtikrinantis didelį augalų derlingumą, apriboja NPK išplovimą iš dirvožemio dreناžu.

IŠVADOS

2000–2003 m. Lietuvos žemės ūkio universiteto Vandens ūkio institute atlikti įvairaus intensyvumo sėjomainų agroekologinio įvertinimo tyrimai giliau karbonatingo giliau glėjiško lengvo priemolio rudžemyje (RDg-4-K2) leidžia padaryti tokias esmines išvadas ir apibendrinimus.

- Mineralinio azoto kiekis dirvožemyje priklauso nuo taikomos sėjomainos ir jos tręšimo. Aukščiausiomis mineralinio azoto atsargomis visame dirvožemio profilyje išsiskiria daugiamečių žolių sėjomainos rotacija. Gausesnis tręšimas azotu taikant kau-

7 pav. Dreناžu išplauto kalio kiekio (kg ha⁻¹) ryšys su aplinkos veiksniais

piamųjų sėjomainas mineralinio azoto atsargas padidina tik dirvožemio ariamajame horizonte. Dirvožemio mineralinis azotingumas dėl augalų produktyvumo bei jų tręšimo azotu įtakos kinta parabolės dėsningumu.

- Dirvožemio drėgmės režimą nulemia kritulių kiekis ir vidutinė oro temperatūra. Nepriklausomai nuo taikomos sėjomainos ir metinio kritulių kiekio per vegetaciją dirvožemis (0–60 cm) nesukaupia optimalios augalams produktyvios drėgmės sumos.

- Didžiausiu produktyvumu pasižymėjo kauptiamųjų sėjomainos rotacija, per 4 metus sukaupti 532 GJ ha⁻¹ bendrosios energijos derlių. Javų ir žolių sėjomainų rotacijų produktyvumas buvo atitinkamai 5–15 ir 33% mažesnis. Didžiausiu energiniu efektyvumu išsiskyrė daugiamečių žolių sėjomainos rotacija.

- Mineralinio azoto koncentracija drenažo vandenyje priklauso nuo kritulių kiekio, augalų sėjomainos ir jos tręšimo azotu. Perteklinis tręšimas šią koncentraciją padidina iki 12,1–12,6 mg l⁻¹. Tačiau ji sumažėja auginant ilgesnio vegetacijos periodo augalus (iki 10,1 mg l⁻¹).

- Fosfatų ir kalio koncentracija drenažo vandenyje mažai priklausė nuo taikomos sėjomainos.

- Drenažu išplauto azoto kiekį iš esmės nulemia drenažo vandens nuotėkis ir N koncentracija jame. Mineralinio azoto išplovimas drenažu dėl augalų biologinio produktyvumo kinta $y = a + bx - cx^2$ parabolės dėsningumu, ir didesnis augalų derlingumas mažina jo išplovimo nuostolius.

- Vidutinis fosfatų išplovimas drenažu per 4 metus buvo ne didesnis kaip 42–62 g ha⁻¹ ir taikomų sėjomainų įtaka jam buvo menka.

- Per 4 metus drenažu kalio išplauta 2,0–5,5 kg ha⁻¹. Produktyvesnė agroekosistema ir racionalus tręšimas kalio trąšomis mažina jo išplovimo nuostolius.

Gauta

2004 01 30

Literatūra

1. Aksomaitienė R., Berankienė L. The changes in nutrient amounts in the river Susve in 1960–2001 // Vandens ūkio inžinerija. Mokslo darbai. 2003. Nr. 22(42). P. 23–29.
2. Aksomaitienė R., Gužys S., Petrokienė Z. Mineralinio azoto apykaitos agroekosistemoje ryšys su jos produktyvumu ir jį nulemiančiais veiksniais // Vandens ūkio inžinerija. Mokslo darbai. 2003. Nr. 23–24(43–44). P. 69–78.
3. Anderson I. C., Buxton D. R., Karlen D. L., and Cambardella C. A. Cropping system effects on nitrogen removal, soil nitrogen, aggregate stability and subsequent corn grain yield // Agronomy Journal. 1997. Vol. 8. P. 881–886.
4. Bagdonas S. Produktyviosios drėgmės atsargos 0–1,00 m dirvožemio sluoksnyje // Lietuvos meteorologijos ir hidrologijos problemos XXI amžiaus išvakarėse. Vilnius, 1998. P. 126–129.
5. Bakhsh A., Kanwar R. S., Karlen D. L., Cambardella C. A., Bailey T. B., Moorman T. B., and Colvin T. S. N management and crop rotation effects on yield and residual soil nitrate levels // Soil Science. 2001. Vol. 166. Iss. 8. P. 530–538.
6. Burt T. P., Haycock N. E. Controlling Losses of Nitrate by changing Land Use // Nitrate: Processes, Patterns and Management. New York: John Wiley & Sons, 1993. P. 341–337.
7. Claesson S., Staineck S. Plant nutrient Management and the Environment. Uppsala: SLU, 1996. 69 p.
8. Dumbrasukas A., Larsson R. The influence of farming on water quality in the Nevėžis basin // Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba. 1996. Nr. 2(5). P. 48–55.
9. Goulding K. W. T., Poulton P. R., Webster C. P., Howe M. T. Nitrate leaching from the Broadbalk Wheat Experiment, Rothamsted, UK, as influenced by fertilizer and manure inputs and the weather // Soil use Management. 2000. Vol. 16. Iss. 4. P. 244–250.
10. Groeneveld R., Bouwman L., Kruitwagen S., VanIerland E. Land cover changes as a result of environmental restrictions on nitrate leaching in dairy farming // Environmental. Modeling & Assessment. 2001. Vol. 6. Iss. 2. P. 101–109.
11. Heathwaite A. L. Nitrogen Cycling in surface Waters and Lakes // Nitrate, Processes, Patterns and Management. England, 1993. P. 99–104.
12. Hoffman M., Johnsson H., Gustafson A., Grimvall A. Leaching of nitrogen in Swedish agriculture – a historical perspective // Agriculture Ecosystems & Environment. 2000. Vol. 80. Iss. 3. P. 277–290.
13. Honisch M., Hellmeier C., Weiss K. Response of surface and subsurface water quality to land use changes // Geoderma. 2002. Vol. 105. Iss. 3, 4. P. 277–298.
14. Huggins D. R., Randall G. W., Russelle M. P. Subsurface drain losses of water and nitrate following conversion of perennials to row crops // Agronomy Journal. 2001. Vol. 93. Iss. 3. P. 477– 486.
15. Jaynes D. B., Colvin T. S., Karleen D. L. et al. Nitrate loss in subsurface drainage as affected by nitrogen fertilizers rate // Journal Environmental Quality. 2001. Vol. 30. P. 1305–1314.
16. Jovaišienė E. Blogesnių priešsėlių kompensavimo azotu galimybės miežiams // Augalų mineralinė mityba glaucigeninio reljefo fone. Vilnius, 1992. P. 49–51.
17. Korsath A., Eltun R. Nitrogen mass balances in conventional, integrated and ecological cropping systems and the relationship between balance calculations and nitrogen runoff in an 8-year field experiment in Norway // Agriculture Ecosystems & Environment. 2000. Vol. 79. Iss. 2, 3. P. 199–214.
18. Lapinskas E. Biologinio azoto fiksavimas ir nitraginas. Akademinė, 1998. P. 102–111.
19. Lukianienė D. Vandens režimas velėniniame jauriniame priesmėlio dirvožemyje // Lietuvos meteorologijos ir hidrologijos problemos XXI amžiaus išvakarėse. Vilnius, 1998. P. 130–134.
20. Magyla A., Seibutis V. Cukrinių runkelių pasėlio fitosanitarinė būklė ir derlius trumpinant sėjomainos ro-

- taciją // Cukrinių runkelių auginimas Lietuvoje integruojantis į Europos Sąjungą. Rumokai, 2002. P. 39.
21. Magyla A., Šileikaitė J., Bertulytė-Šateikienė D. Sėjomainų su didėjančiu javų, cukrinių runkelių ir pašarinių žolių plotu agronominis įvertinimas // Žemdirbystės mokslo ateitis ir dabartis. Dotnuva-Akademija, 1996. P. 123–133.
 22. Meissner R., Seeges I., Rupp H. Lysimetr studies in East Germany concerning the influence of set aside of intensively farmed land on the seepage water quality // *Agricultural ecosystems & Environment*. 1998. Vol. 67. P. 161–173.
 23. Misa P., Kren J. Measurement of sustainability of model arable farming // *Rostlinna Vyroba*. 2001. Vol. 47. Iss. 7. P. 30–308.
 24. Pauliukevičius H. Žemės naudmenų transformacijų poveikis azoto ir fosforo koncentracijoms upių vandenyje // Vandens ūkio inžinerija. Mokslo darbai. 2000. Nr. 13(35). P. 24–30.
 25. Sapek A. Polish agriculture and the protection of the quality of water in the Baltic // Participation of BAAP Project in Abating the Water Pollution in Gmina. IMUZ Publisher, 1997. P. 23.
 26. Stalnacke P., Grimvall A., Laznik M. Water quality response to the dramatic reduction in use of fertilizers in Latvia. Nutrient loads to the Baltic Sea. Linköping, 1996. P. 1–14.
 27. Šileika A. S., Kutra S., Berankienė L. Phosphate runoff in the Nevezis river (Lithuania) // *Environmental Monitoring and assessment*. 2002. Vol. 78. P. 153–167.
 28. Švedas A. Žemdirbystės ekologija. Vilnius, 1990. P. 12–22.
 29. Thysen N. Rivers in the European Union: water quality, status and trends // *River restoration in Europe*. Lelystad, 2001. P. 63–71.
 30. Unifikuoti nuotekų ir paviršinių vandenų kokybės tyrimo metodai. Vilnius, 1999. D I. 224 p.
 31. Žekonienė V. Dirvožemio agrocheminių ir biologinių savybių kitimas priklausomai nuo varpinių kiekio agrofitorozėje // *Žemės ūkio mokslai*. 1995. Nr. 3. P. 11–16.
 32. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва, 1979. 416 с.
 33. Лыков А.М. Биология почвы и урожай (по данным 75-летнего опыта) // *Земледелие*. 1990. № 9. С. 20–22.

Ramutė Aksomaitienė, Saulius Gužys, Zita Petrokienė

AGROECOLOGICAL ESTIMATION OF DIFFERENT CROP ROTATIONS

S u m m a r y

Agroecological estimations of different intensity crop rotations (row crop, cereals and perennial grass) were carried out during 2000–2003 in Endocalcari-Endohypogleyic Cambisol (CMg-n-w-can) sandy loam soils at the Institute of Water Management of LAU.

A row crop rotation was characterized by a higher productivity (532 GJ ha⁻¹ yield of total energy) during the 4 years of the trial, while the perennial grass crop

rotation was characterized by a highest energy efficiency. The amount of mineral nitrogen in soil (0–60 cm) under conditions of grass and row crop rotations was 55–66 kg ha⁻¹ or higher by 11–12% comparing with cereal monoculture and with Norfolk crop rotations.

The highest leaching volume was determined in the cereal monoculture crop rotation (63 kg ha⁻¹ during 4 years). Rather similar leached amounts of mineral nitrogen were determined under the conditions of row crop and cereal-legume crop rotations (44.5–47.0 kg ha⁻¹). The lower amounts were found in the conventional crop rotation (32.8 kg ha⁻¹).

The mean leaching of phosphates by drainage did not exceed 42–62 g ha⁻¹, and different crop rotations had no influence on it. The leaching of potassium during 4 years reached 2.0–5.5 kg ha⁻¹. The higher productivity of an agroecosystem and a rational potassium fertilization reduce the leaching losses of K.

Key words: crop rotations, nitrogen, phosphorus, potassium, drainage water, concentration, leaching, pollution

Рамуте Аксомайтене, Саулус Гужис, Зита Пятрокене

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАЗНЫХ СЕВОБОРОТОВ

Р е з ю м е

Опыт агроэкологической оценки севооборотов разной интенсивности (пропашных культур, зерновых и многолетних трав) был проведен в 2000–2003 гг. в Институте водного хозяйства Литовского института земледелия на Endocalcari Endohypogleyic Cambisols (CMg-n-w-can) суглинистой почве.

Наивысшей продуктивностью выделялся севооборот пропашных культур, урожай общей энергии которого за 4 года составил 532 ГДж га⁻¹, хотя наивысшей энергетической эффективностью выделялся севооборот многолетних трав (коэффициент трансформации энергии – 12,2). Количество минерального азота в почве севооборотов многолетних трав и пропашных культур (0–60 см) составило 55–66 кг га⁻¹, или на 11–12% выше, чем в монокультуре зерновых и в севообороте Норфолка. Наивысшее выщелачивание минерального азота отмечено в монокультуре зерновых (63 кг га⁻¹ за 4 года). В севооборотах пропашных культур, многолетних трав и зернобобовых количество выщелаченного азота дренажом было почти одинаковым (44,5–47,0 кг га⁻¹). Наименьшее количество азота было выщелочено в севообороте Норфолка (32,8 кг га⁻¹). Среднее вымывание дренажом фосфатов за ротацию не превышало 42–62 г га⁻¹, а применяемые севообороты существенного влияния не оказали на него. Вымывание калия за 4 года составило 2,0–5,5 кг га⁻¹. Более высокая продуктивность агроэкосистемы и рациональное ее удобрение калием снижают выщелачивание калия.

Ключевые слова: севообороты, азот, фосфор, калий, дренажная вода, концентрация, вымывание, загрязнение