

AZOTO JUNGINIŲ (NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^-) KONCENTRACIJA LIZIMETRŲ VANDENYJE SKIRTINGAI TRĘŠTUOSE SMĖLINGŲ PRIEMOLIŲ DIRVOŽEMIUOSE

Tomas ADOMAITIS, Zigmas VAIŠVILA, Jonas MAŽVILA,
Silvija GRICKEVIČIENĖ, Leonas EITMINAVIČIUS

Lietuvos žemdirbystės institutas
Savanorių pr. 287, Kaunas
El. p. dirvotyra@agrolab.lt

Santrauka

Ilgalaikiame sėjomaininiame bandyme, įrengtame 1971 m. smėlingame lengvo priemolio sekliai karbonatingame giliau glėjiškame rudžemyje (*Epicalcari – Endohypogleyic Cambisol*), tirta sistemingo žemės ūkio augalų (daugiamečių žolių, žieminių kviečių, cukrinių runkelių, vasarinių miežių, vienamečių mišinių) tręšimo skirtingomis azoto, fosforo ir kalio normomis ir jų deriniais bei meteorologinių sąlygų (hidroterminio režimo) įtaka azoto junginių koncentracijai lizimetrų vandenyje.

Tyrimais nustatyta, kad nitratų (NO_3^-) koncentracija lizimetrų vandenyje labiausiai priklauso nuo išberto azoto trąšų kiekio. Vidutiniais 27 metų duomenimis, patręšus žemės ūkio augalus 114 kg ha^{-1} azoto norma fosforo ir kalio trąšų fone, 40 cm gylyje įrengtų lizimetrų vandenyje nitratų koncentracija padidėjo $66,8 \text{ mg l}^{-1}$, o padidinus azoto trąšų normą iki 228 kg ha^{-1} – $144,1 \text{ mg l}^{-1}$ ir siekė atitinkamai $159,1$ ir $300,8 \text{ mg l}^{-1}$. Amonio (NH_4^+) koncentracijai lizimetrų vandenyje mineralinių trąšų poveikis nežymus: netręšto laukelio 40 cm gylyje amonio nustatyta vidutiniškai $0,32 \text{ mg l}^{-1}$, patręšus mažesnėmis ($\text{N}_{114}\text{P}_{96}\text{K}_{96}$) įvairių derinių azoto, fosforo ir kalio normomis – $0,28$ - $0,4$, didesnėmis ($\text{N}_{228}\text{P}_{192}\text{K}_{192}$) – $0,32$ - $0,44$, o 80 cm gylyje – atitinkamai $0,29$; $0,35$; $0,29$ - $0,38 \text{ mg l}^{-1}$.

Nitratų koncentracija lizimetrų vandenyje nuo azoto trąšų labiau didėjo, kai žemės ūkio augalai buvo netręšti fosforu. Jų koncentracija su išbertu azoto trąšų kiekiu statistiškai patikimiau koreliavo, kai bandymo plote augo javai ($\eta = 0,65$ - $0,67$), cukriniai runkeliai ir vienametės žolės ($\eta = 0,63$).

Su vegetacijos periodo meteorologinėmis sąlygomis (hidroterminiu režimu) nitratų koncentracija vandenyje patikimai koreliavo tik auginant cukrinius runkelius bei vienametes ir daugiames žoles, o amonio – žieminius kviečius, vienametes žoles ir miežius. Daugiau nitratų buvo išplaunama, kai buvo auginami kasmetinės sėjos augalai, o mažiau – daugiames žolės.

Reikšminiai žodžiai: NPK trąšos, augalai, hidroterminis koeficientas, lizimetriniai vandenys, NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- koncentracija.

Įvadas

Nors azotas yra vienas labiausiai paplitusių gamtoje ir pagrindinis augalų mitybos elementas, tačiau jo perteklius kenkia gamtai. Azoto ir fosforo junginiai sukelia vandens telkinių eutrofikaciją. Pavojingiausia aplinkai azoto forma yra nitratai (NO_3^-), kurie, skirtingai negu amonis (NH_4^+), nesorbuojami dirvožemio ir prasčiau paimami augalų, todėl migruoja biosferoje. Apie 90-98% azoto iš dirvožemio išplaunama nitratų formos. Be to, dalis nitratų virsta kenksmingais nitritais (NO_2^-).

Didelę reikšmę cheminių elementų ir junginių migracijai turi krituliai, o vandens infiltracijos procesų dirvožemiuose intensyvumui svarbiausią reikšmę – hidroterminis

režimas ir dirvožemio granulimetrinė sudėtis /Tyla, 1995/. Azoto išplovimas priklauso nuo žemės dirbimo, kalkinimo, tręšimo, augalų rūšies, dirvožemio genezės ir granulimetrinės sudėties, prasisunkusio vandens kiekio, dirvožemio azotingumo, klimatinių sąlygų, dirvos užimtumo augalais /Thomas ir kt. 1992; Mažvila ir kt., 1992; Nearing ir kt., 1993; Ežerinskas, 1993; Šileika, 1996; Rimšelis ir kt., 1997; Tyla ir kt., 1997; Meals, Budd, 1998; Juškauskas, 1998; Cambardela ir kt., 1999; Goulding ir kt., 2000; Rudzianskaitė, 2001/.

Žemės ūkio intensyvėjimas didina maisto medžiagų išplovimą /Jordan ir kt., 1997/, tačiau daugelyje šalių atliktų tyrimų rezultatai rodo, kad galima mažinti jo poveikį gamtinei aplinkai, pasirenkant sėjomainas su tarpiniais augalais ir nuolat užimta dirva /Burt, Haycock, 1993; Claesson, Stainek, 1996; Torstensson, 1998/. Švedų tyrėjai nustatė, kad azoto išplovimas sumažėja 20 kg ha⁻¹, kai vėlyvą rudenį ir žiemą laukai padengti augalais /Jakobsson, 1999/.

Daugiamečių tyrimų duomenimis, NO₃⁻ jonų koncentracija lizimetriniuose vandenyse, prasisunkusiuose pro skirtingus dirvožemius, įvairavo nuo 49,2 iki 71,5 mg l⁻¹, o per metus azoto išsplovė vidutiniškai 31-33 kg ha⁻¹. Išplovimą lėmė prasisunkusių kritulių kiekis. Be to, poveikį turėjo ne tik azoto trąšų kiekis, dirvožemio granulimetrinė sudėtis, bet ir jo humusingumas bei azotingumas. Tačiau net lengvuose Rytų Lietuvos dirvožemiuose azoto išplovimo nuostoliai neviršijo 10 % įterpto kiekio /Lietuvos ekologinis tvarumas..., 1999/.

Nors nemažai yra duomenų, kad nuo 1991 metų potencialiai galimi azoto išplovimo kiekiai žymiai sumažėjo dėl menkesnio mineralinių trąšų naudojimo, tačiau kai kuriais tyrimais pastebimas azoto, ypač nitratinio, koncentracijos padidėjimas Lietuvos upėse /Šileika, 1996/. Vilainių polderio pievoje (Nevėžio upės salpoje prie Kėdainių) nustatyta, kad padidėjusią NO₃⁻ koncentraciją upėse, tekančiose per žemėnaudas 1992-1993 m., lyginant su 1991 m., nulėmė didesni krituliai ir sumažėję derliai. Mineralinio ir nitratinio azoto koncentracijos ir išplauti kiekiai patikimai koreliavo su krituliais ir praėjusių metų žolių derliumi. Nitratų koncentracijos taip pat priklausė nuo gruntinio vandens gylio – kuo arčiau žemės paviršiaus, tuo nitratų koncentracijos didesnės. Tuo tarpu amoniakinio azoto patikimo ryšio su krituliais, drenažo nuotėkiu ir žolių derliumi, nenustatyta /Juškauskas, 1998 /.

Ištirta, kad racionaliai tręšiant išsiplauna apie 2,4 % panaudotų mineralinių trąšų ir apie 6,5-8,1 % mėšlo azoto /Švedas, Antanaitis, 2000/. V. Ežerinskio /1995/ tyrimais, pataręsus N₄₅₋₉₀P₃₀₋₆₀K₄₅₋₉₀ norma, NO₃⁻ buvo išplauta 20 %. Dirvožemio lizimetrinių tyrimų Lietuvoje pradininkės S. Blažienės (1961) teigimu, augant bulvėms, per 70 cm storio dirvožemio sluoksnį azoto išplaunama priemolyje 33,6, priemolyje – 30,2 kg ha⁻¹.

Tyrimų tikslas – ilgalaikiais tyrimais (1976 - 2002 m.) nustatyti azoto, fosforo ir kalio trąšų skirtingų normų ir jų santykio, sukaupto azoto kiekio augalų derliuje bei meteorologinių sąlygų įtaką azoto junginių (NO₃⁻, NH₄⁺, NO₂⁻) koncentracijai lizimetru vandenyje.

Tyrimų sąlygos ir metodai

Tyrimai daryti daugiafaktoriniame 45 variantų tręšimo bandyje, kuris buvo įrengtas 1971 m. smėlingame lengvo priemolio sekliai karbonatingame giliau glėjiškame rudžemyje (*Epicalcari-Endohypogleyic Cambisol*).

Dirvožemyje (iki 89 cm) vyrauja (45,4-47,5 %) smulkus smėlis (0,25-0,05 mm), o 22,4-28,4 % sudaro rupios dulkės (0,05-0,01 mm). Fizinio molio (< 0,01 mm) yra 16,2-23,2 %, o dumblo dalelių jame – daugiausiai – 7,3-10,7 %. Ariamojo sluoksnio dirvožemis - neutralus, mažo hidrolizinio rūgštumo, gausiai pasotintas bazėmis, vidutiniškai humusingas,

mažo fosforingumo ir vidutinio kalingumo. Podirvis šarmiškas, kiek daugiau negu ariamasis sluoksnis turintis jūdrijo fosforo ir mažiau jūdrijo kalio.

Azoto, fosforo ir kalio normos kviečiams, miežiams, vienamečiams mišiniams bei fosforo ir kalio normos daugiametėms varpinėms žolėms buvo nuo 90 iki 180 kg ha⁻¹, cukriniams runkeliams – nuo 120 iki 240 kg ha⁻¹, o azoto trąšų norma daugiametėms žolėms – nuo 157,5 iki 315 kg ha⁻¹. Naudota amonio salietra, superfosfatas ir kalio chloridas. Lauko sėjomainoje augo žieminiai kviečiai (1974, 1980, 1983, 1987, 1994, 1996, 1998 ir 2002 m.), cukriniai runkeliai (1971, 1975, 1981, 1984, 1999 m.), vasariniai miežiai (1972, 1985, 1988, 1995, 2000 m.), vienamečiai mišiniai (1973, 1976, 1982, 1986, 1997, 2001 m.) ir daugiametės varpinės žolės (1977-1979 ir 1989-1993 m.).

Šilovos tipo lizimetrai įrengti 1976 m. 40 cm gylyje devynių – N₀P₀K₀; N₀P₉₆K₉₆; N₁₁₄P₉₆K₀; N₁₁₄P₉₆K₉₆; N₀P₁₉₂K₁₉₂; N₂₂₈P₀K₁₉₂; N₂₂₈P₁₉₂K₀; N₂₂₈P₁₉₂K₁₉₂ ir 80 cm – keturių – N₀P₀K₀; N₁₁₄P₉₆K₉₆; N₀P₁₉₂K₁₉₂; N₂₂₈P₁₉₂K₁₉₂ bandymo variantų laukeliuose.

Meteorologinėms sąlygoms įvertinti Selianinovo pasiūlytas hidroterminis koeficientas (HTK) skaičiuotas pagal formulę:

$$HTK = \frac{\sum p}{0,1\sum t}$$

kai $\sum p$ – kritulių suma V, VI, VII, VIII ir IX mėnesiais, kurių temperatūra aukštesnė kaip 10°C,

$\sum t$ – to paties periodo aktyvių (aukštesnių kaip 10°C) temperatūrų suma.

Tyrimų laikotarpiu vidutinė sausra (HTK- 0,68 ir 0,57) buvo 1992 ir 2002 m., nedidelė sausra (HTK-0,8-0,9) 1982, 1983, 1991, 1999 m., normaliai drėgna (HTK-1,0-1,5) – 1976, 1977, 1978, 1984, 1985, 1986, 1988, 1989, 1990, 1994, 1995, 1996, 1997, 2001 m., drėgna (HTK-1,6-1,77) – 1981, 1987, 1993, 1998 ir 2000 m., šlapia (HTK-2,24) – 1980 metais.

Lizimetrų vanduo imtas pavasarį (iki sėjos ir tręšimo) balandžio - gegužės mėn. ir rudenį (po derliaus nuėmimo) rugsėjo – gruodžio mėn. Kadangi nitritų (NO₂) išplaunami kiekiai iš dirvožemio, lyginant su nitratais (NO₃⁻) ir amoniu (NH₄⁺), yra nedideli, taupant lėšas, jie nustatyti tiksliai 1994-1996, 1998-2002 metais. Azoto junginių analizės atliktos LŽI ATC laboratorijose kalorimetriniu metodu.

Bandymo statistinių duomenų sklaida charakterizuojama standartinių nuokrypių, o veiksmų tarpusavio ryšiai – regresinės ir koreliacinės analizės metodais. Duomenys apdoroti programa MS Excel.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Tyrimų duomenys rodo, kad azoto junginių, ypač nitratų (NO₃⁻), koncentracijai lizimetrų vandenyje žymų poveikį turi azoto trąšos. Vidutiniais 1976-2002 m. duomenimis, patręšus žemės ūkio augalus 114 kg ha⁻¹ azoto norma, fosforo ir kalio trąšų fone, 40 cm gylyje įrengtų lizimetrų vandenyje nitratų koncentracija padidėjo 66,8 mg l⁻¹, o padidinus azoto trąšų normą iki 228 kg ha⁻¹ – 144,1 mg l⁻¹ ir siekė atitinkamai 159,1 bei 300,8 mg l⁻¹. Dar didesnis (atitinkamai 112,4-250,0 mg l⁻¹) nitratų koncentracijos padidėjimas lizimetrų vandenyje dėl azoto trąšų įtakos nustatytas bandymų laukeliuose, kuriuose žemės ūkio augalai nebuvo tręšti fosforo trąšomis. Kalio trąšos mažiau stabilizavo nitratų išplovimą iš viršutinių dirvožemio sluoksnių (1 lentelė). Tyrimų duomenimis, 80 cm gylyje esančių lizimetrų vandenyje nitratų koncentracija yra vidutiniškai apie 1,3 karto mažesnė negu 40 cm gylyje. Nitratinio azoto (NO₃⁻) koncentracijos lizimetrų vandenyje duomenų disper-

sija per tiriamąjį laikotarpį didelė. Netręštų laukelių 40 cm gylio lizimetrų vandenyje NO_3^- koncentracija siekė iki 174, o kasmet tręštų N_{114} P_{96} K_{96} ir N_{228} P_{192} K_{192} normomis – atitinkamai iki 327 ir 624 mg l^{-1} . Ši įvairavimą lėmė daug veiksnių: bandyme augintų augalų rūšys, vegetacijos laikotarpiai, meteorologinių sąlygų ypatumai ir kt. (1 pav.).

Amonio azoto (NH_4^+) koncentracija tirtuose lizimetrų vandenyse nedidelė, duomenų sklaida minimali. Pastebimas mažas mineralinių trąšų poveikis. Jei netręšto laukelio 40 cm gylyje amonio nustatyta vidutiniškai 0,32 mg l^{-1} , tai patręšus mažesnėmis įvairių derinių azoto, fosforo ir kalio normomis – 0,28-0,4, didesnėmis – 0,32 - 0,44, o 80 cm gylyje įrengtų lizimetrų vandenyse – atitinkamai 0,29; 0,35; 0,29-0,38 mg l^{-1} .

1 lentelė. Mineralinių trąšų poveikis azoto junginių (NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^-) koncentracijai lizimetrų vandenyje

Table 1. Influence of mineral fertilization on nitrogen compounds (NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^-) concentration in lysimeter water

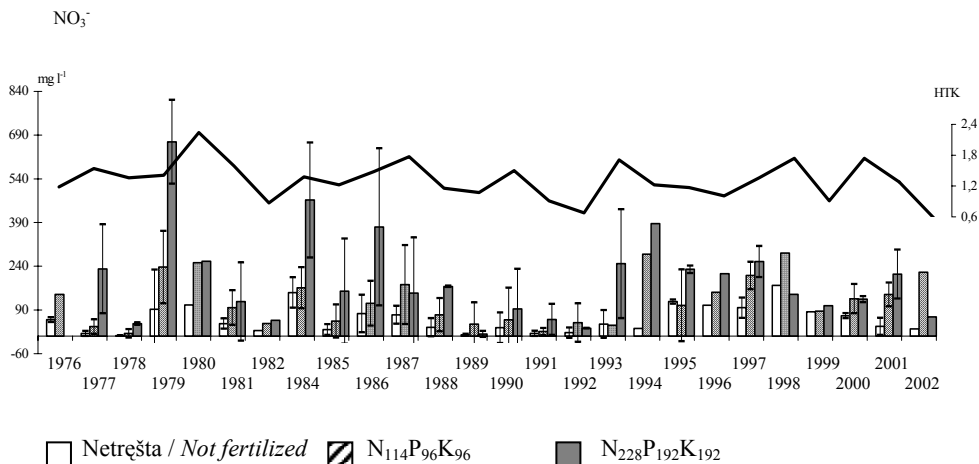
Radviliškio r., Skėmiai, 1976-2002 m.

Vidutinė trąšų norma kg ha^{-1} Average fertilizer rate kg ha^{-1}			NO_3^-		NH_4^+		NO_2^-	
			mg l^{-1}					
			n = 520		n = 623		n = 97	
N	P_2O_5	K_2O	$\bar{X} \pm S$	M*	$\bar{X} \pm S$	M	$\bar{X} \pm S$	M
40 cm gylyje / At the depth of 40 cm								
0	0	0	50,4±46,1	32,1	0,32±0,17	0,29	0,17±0,17	0,12
0	96	96	46,7±41,2	40,6	0,32±0,23	0,26	0,14±0,12	0,10
114	0	96	159,1±102	162,1	0,28±0,25	0,19	0,09±0,06	0,09
114	96	0	76,1±64,6	44,0	0,32±0,21	0,26	0,09±0,02	0,09
114	96	96	113,5±90,8	93,5	0,49±0,42	0,32	0,07±0,03	0,07
0	192	192	50,8±40,3	49,8	0,44±0,47	0,27	0,08±0,03	0,09
228	0	192	300,8±211,6	287,6	0,36±0,26	0,28	0,2±0,24	0,10
228	192	0	243,6±146,8	216,0	0,32±0,26	0,26	0,14±0,13	0,10
228	192	192	194,9±171,5	148,9	0,36±0,27	0,32	0,15±0,13	0,10
80 cm gylyje / At the depth of 80 cm								
0	0	0	39,4±32,4	28,8	0,29±0,21	0,23	0,12±0,08	0,11
114	96	96	95,8±77,8	86,8	0,35±0,27	0,24	0,09±0,02	0,09
0	192	192	35,9±25,8	32,1	0,29±0,21	0,23	0,07±0,03	0,08
228	192	192	196,3±162,5	157,0	0,38±0,34	0,23	0,1±0,01	0,10

* Mediana (duomenų vidurinis skaičius) / Median (the middle number of the data)

Nitritinio azoto (NO_2^-) lizimetrų vandenyse dar mažiau negu amonio ir jo koncentracijos pokyčiai nuo azoto trąšų nežymūs. Netręštų laukelių 40 cm gylio lizimetruose NO_2^- vidutinė koncentracija nustatyta – 0,17, 80 cm gylio – 0,12, mažesnėmis normomis tręštų laukelių atitinkamai – 0,07-0,14 ir 0,09, didesnėmis – 0,07-0,15 ir 0,07-0,10 mg l^{-1} . Kiek daugiau nitritų vandenyje rasta po vienamečių žolių negu po javų auginimo bei po vasaros - rudens negu po žiemos - pavasario sezono.

Tyrimais nustatyta, kad tais metais, kai sėjomainoje buvo auginami žieminiai kviečiai, cukriniai runkeliai, miežiai ir vienamečiai mišiniai, nitratinio azoto išplovimas buvo didesnis, negu auginant daugiametes žoles (2 lentelė).



1 paveikslas. Nitratų (NO_3^-) koncentracija 1976-2002 metais, priklausomai nuo trąšų normų ir hidroterminio režimo

Figure 1. Nitrate (NO_3^-) concentration during 1976-2002 in relation to fertilizer rates and hydrothermal regime

Palyginus didelė nitratų koncentracija lizimetų vandenyse buvo, kai bandyme augo cukriniai runkeliai, patręšti didelėmis azoto normomis be fosforo arba kalio trąšų. Mažiausiai nitratų į podirvio vandenį išplauta auginant daugiamečių žolės. Nors ir gausiai (315 kg ha^{-1}) jas tręšiant azotu, NO_3^- koncentracija buvo apie 1,5-3 kartus mažesnė negu kai augo cukriniai runkeliai. Javų (žiemiųjų kviečių ir vasarinių miežių) ir vienamečių mišinių augimo metais analogiškai tręštų bandymo variantų laukelių lizimetų vandenyse nitratų koncentracija mažai skyrėsi. Ji kiek mažesnė negu cukrinių runkelių, bet didesnė negu daugiamečių žolių auginimo metais.

A. Railos (1970) tyrimų duomenimis, velėniniuose jauriniuose glėjiškuose ir velėniniuose jauriniuose dirvožemiuose auginant daugiamečių žolės, iš A_1 horizonto nitratų išplaunama NO_3^- koncentracija neviršijo $20,5 \text{ mg l}^{-1}$. Amonio buvo išplaunama labai mažai.

Nevėžio slėnio pievų žolę patręšus $N_{180} P_{90} K_{180}$ (1986-1989 m.) ir $N_{60} P_{45} K_{90}$ (1990-1996 m.) normomis, priklausomai nuo kritulių kiekio, mineralinio azoto per metus buvo išplaunama 2,5-9,2, o nitratinio – 0,3-7,1 kg ha^{-1} /Juškauskas, 1998/.

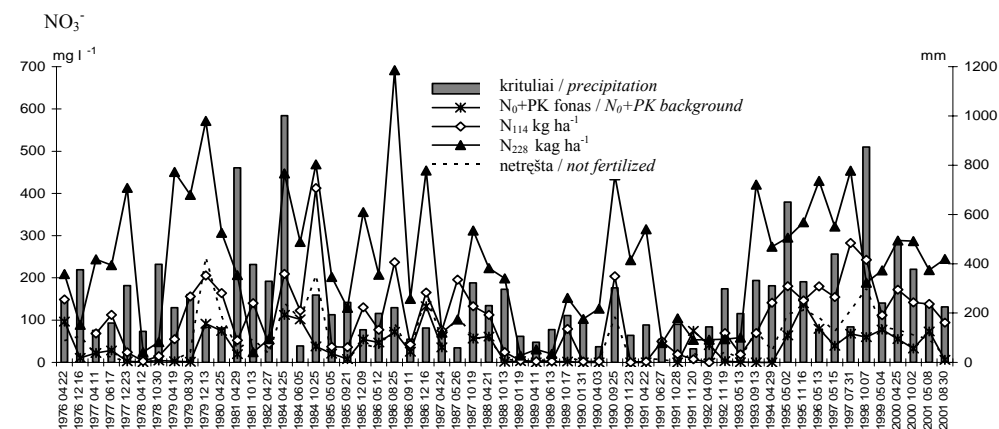
Viso tyrimų periodo duomenys byloja, kad ilgametis kasmetinis tręšimas azotu nitratų išplovimą didina, tačiau svyravimų kreivės rodo NO_3^- koncentracijos dinamiką ir priklausomumą nuo metų laiko (2 pav.).

2 lentelė. Nitratų (NO_3^-) koncentracija lizimetrų vandenyje, auginant įvairius augalus (vidurkis \pm standartinė paklaida)

Table 2. Nitrate (NO_3^-) concentration in lysimeter water as affected by cultivation of different crops (mean \pm standard error)

Radviliškio r., Skėmiai, 1976-2002 m.

Daugiametės žolės <i>Perennial grasses</i>			Vienametės žolės <i>Annual grasses</i>			Javai <i>Cereals</i>			Cukriniai runkeliai <i>Sugar beet</i>			
Trašų norma kg ha^{-1} <i>Fertilizer rate kg ha^{-1}</i>			Trašų norma kg ha^{-1} <i>Fertilizer rate kg ha^{-1}</i>			NO_3 mg l^{-1}			Trašų norma kg ha^{-1} <i>Fertilizer rate kg ha^{-1}</i>			
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
40 cm gylyje / 40 cm depth												
0	0	0	32,0 \pm 61,1	0	0	0	53,2 \pm 60,4	78,2 \pm 61,1	0	0	0	79,7 \pm 70,3
0	90	90	25,0 \pm 37,0	0	90	90	40,7 \pm 42,8	52,9 \pm 62	0	120	120	58,2 \pm 36,3
157,5	0	90	87,7 \pm 106,7	90	0	90	194,3 \pm 150,5	211,3 \pm 74,9	120	0	120	190,2 \pm 106,6
157,5	90	0	40,4 \pm 53,0	90	90	0	98,7 \pm 124,1	76,3 \pm 79,1	120	120	0	80,1 \pm 41,0
157,5	90	90	89,2 \pm 109,0	90	90	90	125,5 \pm 110,7	119,6 \pm 111,3	120	120	120	106,1 \pm 63,2
0	180	180	16,1 \pm 27,7	0	180	180	25,2 \pm 21,7	65,3 \pm 39,3	0	240	240	53,6 \pm 42,7
315	0	180	256,3 \pm 224,2	180	0	180	397,2 \pm 310,7	330,4 \pm 145,3	240	0	240	361,8 \pm 143,5
315	180	0	200,1 \pm 199,5	180	180	0	212,7 \pm 99,5	232,5 \pm 74,4	240	240	0	306,9 \pm 187,3
315	180	180	174,7 \pm 220,8	180	180	180	283,3 \pm 15,2	193,5 \pm 102,8	240	240	240	189,7 \pm 231,5
80 cm gylyje / 80 cm depth												
0	0	0	18,1 \pm 22,2	0	0	0	40,5 \pm 52,5	45,2 \pm 32,5	0	0	0	53,8 \pm 55,9
157,5	90	90	75,6 \pm 87,1	90	90	90	116,7 \pm 79,7	133,8 \pm 96,8	120	120	120	62,8 \pm 72,6
0	180	180	32,7 \pm 22,6	0	180	180	15,9 \pm 18,9	36,3 \pm 30,3	0	240	240	38,5 \pm 34,0
315	180	180	142,0 \pm 177,9	180	180	180	170,3 \pm 138,1	244,7 \pm 184	240	240	240	186,7 \pm 249,5



2 paveikslas. Nitratų (NO_3^-) koncentracijos kitimo dinamika lizimetrų (40 cm gylyje) vandenyje 1976-2002 m.

Figure 2. Variation dynamics of nitrate (NO_3^-) concentration in lysimeter water (at 40 cm depth) during 1976-2002

Daugiau nitratų buvo išplaunama, kai buvo auginami kasmetinės sėjos augalai, o mažiau – augant daugiametėms žolėms skirtingais metų laikotarpiais išplovimas įvairavo (3 lentelė). Per 27 metus išbėrus augalams iki 3078 kg ha⁻¹ gryno azoto, po 2592 kg ha⁻¹ fosforo ir kalio (kasmet vidutiniškai N₁₁₄ P₉₆ K₉₆) mineralinio azoto (N_{min}) koncentracija 40 cm gylyje esančių lizimetrų vandenyje buvo 2,1-, išbėrus 6156 kg ha⁻¹ azoto bei po 5184 kg ha⁻¹ fosforo ir kalio (N₂₂₈ P₁₉₂ K₁₉₂) – 3,6, o 80 cm gylyje – atitinkamai 2,3 ir 4,6 karto didesnė negu netręštų laukelių vandenyje. Daugiausiai tirtų azoto junginių iš dirvožemio išplauta, kai buvo tręšta azoto ir kalio (be fosforo) bei azoto ir fosforo (be kalio) trąšomis. Netręšus fosforu, šių medžiagų koncentracija mažesnėmis normomis tręštų laukelių lizimetrų vandenyje buvo 2,9, didesnėmis normomis tręštų – 5,6, o netręšus kaliu atitinkamai 1,3 ir 4,5 karto didesnė negu netręštų laukelių. Tuo tarpu mineralinio azoto koncentracija netręštų ir tik fosforu bei kaliu tręštų laukelių lizimetrų vandenyje mažai skyrėsi.

3 lentelė. Nitratų (NO₃⁻) koncentracija lizimetrų vandenyje atskirais tyrimų laikotarpiais (mg l⁻¹) (vidurkis ± standartinė paklaida)

Table 3. Nitrate (NO₃⁻) concentration in lysimeter water (mg l⁻¹) during separate periods of research (mean ± standard error)

Radviliškio r., Skėmiai, 1976-2002 m.

Trąšų norma kg ha ⁻¹ Fertilizer rate kg ha ⁻¹			Javai, cukriniai runkeliai, vienametės žolės <i>Cereals, sugar beet, annual grasses</i>	Daugiametės žolės <i>Perennial grasses</i>	Javai, cukriniai runkeliai, vienametės žolės <i>Cereals, sugar beet, annual grasses</i>		
			žiemos-pavasario laikotarpis <i>winter-spring period</i>	vasaros-rudens laikotarpis <i>summer-autumn period</i>	1976-1979 ir / and 1989-1993 m.	1980-1988 m.	1994-2002 m.
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Devynerių metų laikotarpis <i>Nine- year period</i>				
40 cm gylyje / 40 cm depth							
0	0	0	57,6±57,6	52,9±57	32,0±61,1	58,1±45,5	54,4±30,6
0	96	96	51,8±38,8	40,9±45,1	25,0±37,0	50,9±37,8	50,5±28,2
114	0	96	153,9±87,6	185,7±122,3	87,7±106,7	156,6±95,2	215,9±151,9
114	96	0	71,4±59	94±165,9	40,4±53,0	61,4±43,7	132,2±119,5
114	96	96	112,7±91,9	119,8±101,9	89,2±109,0	104,8±73,5	190,2±96
0	192	192	54,7±40,7	46,5±39,6	16,1±27,7	60,7±37,2	43,2±13,7
228	0	192	307,2±205,5	296,6±226,6	256,3±224,2	343,6±199	514,5±304,4
228	192	0	236±132,8	281,4±185,1	200,1±199,5	235,9±128,5	253,9±115,9
228	192	192	193,4±188,9	191,3±184,6	174,7±220,8	221,4±181,8	232,6±80,9
80 cm gylyje / 80 cm depth							
0	0	0	45,1±31,9	35,9±39,4	18,1±22,214	36,1±26,2	38,9±20,8
114	96	96	101,9±74,5	91±90,9	75,6±87,1	75,3±56,1	168,5±82,1
0	192	192	42,6±27,6	34,1±25,8	32,7±22,6	32,2±24	33,8±16,4
228	192	192	197,2±157,4	179,5±177,4	142,0±177,9	256,8±191,6	212,2±97,7

Daugianare regresine analize nustatyta pakankamai stipri koreliacija tarp azoto junginių koncentracijos lizimetrų vandenyje ir NPK trąšų. Patręšus įvairiomis NPK trąšų normomis, nitratų išplovimo priklausomumas yra iš esmės patikimas auginant visus sėjo-

mainos augalus ($\eta = 0,67-0,89$, $t=3,7-11,3$), o labiausiai – miežius ($\eta = 0,89$, $t = 11,3$) ir vienametės ($\eta = 0,79$, $t=6,9$) bei daugiametės žolės ($\eta = 0,74$, $t = 7,6$) (4 lentelė).

Įvertinus azoto junginių išplovimo iš dirvožemio priklausomumą nuo įvairių veiksnių: atskirų trąšų rūšių, azoto kiekio, sukaupto žemės ūkio augalų derliuje, ir hidroterminio režimo regresijos bei koreliacijos kriterijais, nustatyta, kad nitratinio azoto koncentracija lizimetų vandenyje labiausiai priklauso nuo išborto azoto trąšų kiekio ($\eta = 0,40-0,67$). Stipriausia koreliacija ($\eta = 0,67$, $v = 43$) buvo augant miežiams, o silpniausia ($\eta = 0,40$, $v = 58$) – daugiametėms žolėms (5 lentelė). Pakankamai stiprus koreliacinis ryšys tarp NO_3^- išplovimo ir azoto trąšų buvo ir kai augo miežiai, cukriniai runkeliai, žieminiai kviečiai bei vienametės žolės ($\eta = 0,63-0,67$, $v = 25-43$). Šiuo atveju determinacijos koeficientai rodo 40-42 % azoto trąšų įtaką. Amonio išplovimo iš dirvožemio patikimų sąsajų su azoto trąšomis nenustatyta.

Nuo fosforo ir kalio trąšų, lyginant su azoto, nitratų ir amonio išplovimo priklausomumas daug silpnesnis – atitinkamai $\eta = 0,18-0,39$ ir $\eta = 0,06-0,38$.

Nitratų koncentracijos lizimetų vandenyse ryšys su hidroterminiu režimu buvo statistiškai patikimas auginant cukrinius runkelius bei vienametės ir daugiametės žolės, o amonio – žieminius kviečius, vienametės žolės ir miežius.

4 lentelė. Nitratų (NO_3^-) koncentracijos lizimetų vandenyje ryšys su NPK trąšomis
Table 4. Relation of nitrate (NO_3^-) concentration in lysimeter water to NPK fertilization
 Radviliškio r., Skėmiai, 1976-2001 m.

Augalai Crops	Lygties $y=a_0+a_1N+ a_2P+ a_3K+a_4N^2+a_5P^2+a_6K^2+a_7NP+a_8NK+a_9PK$ koeficientai										η	t
	Coefficients of the equation (above)											
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9		
$y = \text{NO}_3^- \text{ mg l}^{-1}$												
Cukriniai runkeliai <i>Sugar beet</i>	99,0290	0,5335	-1,0348	0,3503	0,0641	0,0773	-0,1372	-0,1359	0,0730	0,0623	0,67*	3,7
Žieminiai kviečiai <i>Winter wheat</i>	83,5839	1,1399	-0,9740	1,4072	-0,0044	0,0129	-0,0148	-0,0053	0,0095	-0,0013	0,72*	4,8
Miežiai <i>Barley</i>	73,5008	-0,1314	-0,5533	0,7796	-0,0030	0,0004	0,0147	0,0125	-0,0045	-0,0172	0,89*	11,3
Vienametės žolės <i>Annual grasses</i>	59,3515	0,7676	-0,1023	0,0794	-0,0103	-0,0006	0,0150	0,0127	-0,0018	-0,0144	0,79*	6,9
Daugiametės žolės <i>Perennial grasses</i>	16,2663	-0,0523	-1,4588	1,4035	-0,0013	0,0288	-0,0092	-0,0016	0,0071	-0,0190	0,74*	7,6

* Ryšys patikimas esant 95 % tikimybės lygiui / Correlation significant at 95 % probability level

Nuo sukaupto azoto kiekio derliuje nitratų išplovimas labiausiai priklausė auginant sėjomainoje miežius ($\eta = 0,81$), daugiametės žolės ($\eta = 0,76$) ir cukrinius runkelius ($\eta = 0,71$), o amonio išplovimui statistiškai patikimos įtakos neturėjo.

5 lentelė. Azoto (NO_3^- , NH_4^+) išplovimo iš dirvožemio priklausomumas nuo įvairių veiksnių
Table 5. Leaching of nitrogen (NO_3^- , NH_4^+) in relation to different factors
 Radviliškio r., Skėmiai, 1976-2001 m.

Augalai <i>Crops</i>	Argu- mentas <i>Argument</i> (x)	Lygties $y = ax^2+bx+c$ koeficientai <i>Coefficients of equation</i>					η	t	Lygties $y = ax^2+bx+c$ koeficientai <i>Coefficients of equation</i>				
					η	t						η	t
		a	b	c					a	b	c		
1	2	$y = \text{NO}_3 \text{ mg l}^{-1}$					7	$y = \text{NH}_4 \text{ mg l}^{-1}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Cukriniai runkeliai <i>Sugar beet</i>		0,0020	0,4182	71,11	0,63*	4,0	$-6 \cdot 10^{-6}$	0,001	0,21	0,21	1,0		
Žieminiai kviečiai <i>Winter wheat</i>	Azoto trašos <i>Nitrogen fertilizers</i>	-0,0038	1,5596	80,6	0,65*	4,5	1,2775	-0,002	0,64	0,13	0,5		
Miežiai <i>Barley</i>		0,0033	0,7152	64,0	0,67*	5,9	$6,7 \cdot 10^{-6}$	-0,001	0,37	0,12	0,7		
Vienametės žolės <i>Annual grasses</i>		0,0042	1,9719	52,4	0,63*	4,8	$-5,4 \cdot 10^{-5}$	0,008	0,55	0,30	1,8		
Daugiametės žolės <i>Perennial grasses</i>		-0,0005	0,5807	23,8	0,40*	3,3	$-2,2 \cdot 10^{-6}$	0,0004	0,81	0,18	1,0		
Cukriniai runkeliai <i>Sugar beet</i>		0,0073	-1,6587	193,0	0,37	2,0	$-7,0 \cdot 10^{-6}$	0,001	0,21	0,24	1,2		
Žieminiai kviečiai <i>Winter wheat</i>	Fosforo trašos <i>Phosphorus fertilizers</i>	0,0043	-0,6391	165,9	0,18	1,0	$-3,5 \cdot 10^{-5}$	0,005	0,56	0,38	1,5		
Miežiai <i>Barley</i>		0,0135	-2,8676	238,6	0,31*	2,2	$-9,9 \cdot 10^{-6}$	0,001	0,37	0,25	1,6		
Vienametės žolės <i>Annual grasses</i>		0,0095	1,8308	194,5	0,28	1,8	$1,3 \cdot 10^{-5}$	-0,002	0,70	0,08	0,4		
Daugiametės žolės <i>Perennial grasses</i>		0,0143	-2,2187	117,9	0,39*	3,2	$3,0 \cdot 10^{-5}$	-0,007	0,97	0,26	1,5		
Cukriniai runkeliai <i>Sugar beet</i>		0,0041	-0,7232	156,3	0,26	1,3	$-7,0 \cdot 10^{-6}$	0,002	0,20	0,27	1,3		
Žieminiai kviečiai <i>Winter wheat</i>	Kalio trašos <i>Potassium fertilizers</i>	-0,0011	0,4273	143,2	0,19	0,9	5,4664	-0,003	0,75	0,33	1,2		

5 lentelės tęsinys
Table 5 continued

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Miežiai <i>Barley</i>	Kalio trąšos	0,0069	-0,7729	139,6	0,31*	2,2	$-9,5 \cdot 10^{-7}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$	0,37	0,1	0,6
Vienametės žolės <i>Annual grasses</i>	<i>Potassium fertilizers</i>	0,0072	-0,8265	136,4	0,33*	2,1	$1,6 \cdot 10^{-6}$	0,0005	0,61	0,09	0,5
Daugiametės žolės <i>Perennial grasses</i>		0,0091	-1,1816	84,1	0,31*	2,5	$-4,5 \cdot 10^{-6}$	0,001	0,68	0,06	0,3
Cukriniai runkeliai <i>Sugar beet</i>		-0,0075	4,497	-448	0,71*	2,4	$-5,4 \cdot 10^{-6}$	0,002	0,45	0,26	0,7
Žieminiai kviečiai <i>Winter wheat</i>	Azoto kiekis derliuje	-0,0576	11,997	-435	0,59	1,8	$8,13 \cdot 10^{-5}$	-0,014	1,21	0,42	1,1
Miežiai <i>Barley</i>	<i>Nitrogen in crop yield</i>	0,0260	-1,417	27,62	0,81*	3,3	0,00016	-0,030	1,92	0,53	1,5
Vienametės žolės <i>Annual grasses</i>		-0,0104	4,189	-212	0,46	1,3	$4,31 \cdot 10^{-5}$	-0,011	1,31	0,43	1,2
Daugiametės žolės <i>Perennial grasses</i>		-0,0037	2,048	-64,8	0,76*	2,9	$6,4 \cdot 10^{-7}$	0,000	0,64	0,05	0,1
Cukriniai runkeliai <i>Sugar beet</i>		-1520,2	3732	-2001	0,54*	3,1	0,8095	-1,849	1,21	0,31	1,5
Žieminiai kviečiai <i>Winter wheat</i>	Hidro- terminis koeficien- tas	187,36	-687,05	775,4	0,26	1,4	36,727	-110,77	81,67	0,86*	6,1
Miežiai <i>Barley</i>	<i>Hydro- thermal coefficient</i>	840,98	-2403,9	1804	0,28	1,9	1,2499	-4,026	3,38	0,58*	4,1
Vienametės žolės <i>Annual grasses</i>		-18,081	340,97	-250	0,38*	2,4	-31,524	84,126	-55,0	0,66*	5,0
Daugiametės žolės <i>Perennial grasses</i>		-355,08	946,47	-486	0,28*	2,2	0,7746	-1,659	1,49	0,15	0,9

* Ryšys patikimas esant 95 % tikimybės lygiui / *Correlation significant at 95 % probability level*

Nustačius mineralinio azoto (N_{\min}) koncentracijos priklausomumą nuo vegetacinio periodo kritulių kiekio ir temperatūros, patikimas ryšys gautas aušinant cukrinius runkelius, vienametės ir daugiametės žolės (6 lentelė).

6 lentelė. Mineralinio azoto ($N_{min.}$) koncentracijos lizimetų vandenyje priklausomumas nuo meteorologinių sąlygų

Table 6. Mineral nitrogen ($N_{min.}$) in lysimeter water as affected by climatic conditions
Radviliškio r., Skėmiai, 1976-2001 m.

Augalai Crops	Regresijos lygties $y=a_1x_1+a_2x_2+b$ koeficientai*			R	t
	Coefficients of regression equation				
	a_1	a_2	b		
Cukriniai runkeliai <i>Sugar beet</i>	-54,888	-0,484	1279,36	0,54**	3,13
Žieminiai kviečiai <i>Winter wheat</i>	0,888	0,272	-33,33	0,25	1,44
Miežiai <i>Barley</i>	-27,152	-0,545	850,30	0,25	1,68
Vienametės žolės <i>Annual grasses</i>	-41,720	1,205	86,80	0,41*	2,66
Daugiametės žolės <i>Perennial grasses</i>	29,696	0,525	-623,28	0,26*	2,03

* $y-N_{min.}, x_1$ – vidutinė vegetacinio periodo temperatūra
average temperature of growing period

x_2 – metinis kritulių kiekis / *annual amount of precipitation*

** Ryšys patikimas esant 95 % tikimybės lygiui / *Correlation significant at 95 % probability level*

Išvados

1. Nitratų (NO_3^-) koncentracija lizimetų vandenyje labiausiai priklausė nuo išberto azoto trąšų kiekio.

2. Vidutiniais 27 metų duomenimis, patyrę žemės ūkio augalus 114 ir 228 kg ha⁻¹ azoto norma fosforo ir kalio trąšų fone, 40 cm gylyje įrengtų lizimetų vandenyje nitratų koncentracija padidėjo 2 ir 3,5 karto, negu augalus patyrę vien tik fosforo ir kalio trąšomis.

3. Nitratų koncentracija vandenyje labiau didėjo, kai žemės ūkio augalai buvo netręšti fosforo trąšomis.

4. Statistiškai patikimai nitratinio azoto koncentracija vandenyje su išbertu azoto trąšų kiekiu koreliavo, kai bandymo plote augo javai ($\eta = 0,65-0,67$), cukriniai runkeliai ir vienametės žolės ($\eta = 0,63$).

5. Nitratų koncentracijos ryšys su vegetacijos periodo meteorologinėmis sąlygomis (hidroterminiu režimu) buvo statistiškai patikimas auginant cukrinius runkelius bei vienametes ir daugiametes žoles, o amonio (NH_4^+) – žieminius kviečius, vienametes žoles ir miežius.

6. Daugiau nitratų buvo išplaunama, kai buvo auginami kasmetinės sėjos augalai (žieminiai kviečiai, miežiai, cukriniai runkeliai ir vienametės žolės), o mažiau – daugiametės žolės.

7. Mineralinių trąšų poveikis amonio koncentracijai lizimerų vandenyje nustatytas nežymus.

Gauta 2004 06 11
Pasirašyta spaudai 2004 08 31

LITERATŪRA

1. Burt T. P., Haycock N. E. Controlling Losses of Nitrate by Changing Land Use // Nitrate: Processes, Patterns and Management / edited by Burt T. P. - England, 1993, p.337-341
2. Cambardella C. A., Moorman T. B., Jaynes D. B. et al. Water quality in Walnut Creek Watershed: nitrate – nitrogen in soils, subsurface drainage water, shallow groundwater // Journal of Environmental Quality. - USA, vol.28, No.1,1999, p.25-34
3. Claesson S., Ståneck S. Plant Nutrient Management and the Environment / SLU. - Uppsala, 1996
4. Ežerinskis V. Dependence of plant nutrients migration within the soil on its acidity and fertility // Baltic region: Agriculture in acid soils. - Vilnius, 1993, p.105-109
5. Ežerinskis V. Kalkinimo ir tręšimo įtaka augalų maisto medžiagų išplovimui // Žemdirbystė: mokslo darbai /LŽI. - Dotnuva-Akademija, 1995, t.50, p.32-39
6. Goulding K.W.T., Poulton P.R., Webster C. P., Howe M. T. Nitrate leaching the Broadbalk Wheat Experiment, Rothamsted, UK, as influenced by fertilizer and manure inputs and the weather // Soil Use Management. - 2000, vol.16, p.244-250
7. Jakobsson Ch. Ammonia emissions – current legislation affecting the agricultural sector in Sweden // Reduction of agricultural runoff to the Baltic sea: Proceedings of International Conference. - 1999, p.19-23
8. Jordan T. E., Correl D. L., Weller D. E. Effects of agriculture on discharges of nutrients from Coastal Plain watersheds of Chesapeake Bay // Journal Environmental Quality. - 1997, p.836-848
9. Juškauskas J. Azoto junginių koncentracijų dinamika pievų drenažo nuotėkyje // Žemės ūkio mokslai. - Vilnius, 1998, Nr.2, p.73-79
10. Lietuvos ekologinis tvarumas istoriniame kontekste /atsakingi leidėjai L. Kairiūkštis, Z. Rudzikas. - Vilnius, 1999, p.181-183
11. Mažvila J., Vaišvila Z., Radžiūnas V., Adomaitis T. Ilgalaikio tręšimo mineralinėmis trąšomis įtaka derliui, dirvožemio agrocheminėms savybėms, maisto medžiagų išplovimui // Antropogeninių veiksmų įtaka dirvožemio derlingumui. - Vilnius, 1992, p.52-57
12. Meals D. W., Budd L. F. Lake Champlain basin nonpoint source phosphorus assesment // JAWRA. - 1998, p.251-265
13. Nearing M. A., Risse R. M., Rogers L. F. Estimating daily nutrient fluxes to a large Piedmont reservoir from limited tributary data // Journal Environmental Quality. - 1993, p.666-671
14. Raila A. Augalų maistmedžiagų išplovimas iš dirvožemio. - Vilnius, 1970. - 20p.
15. Rimšelis J., Šleinyš R., Tyla A. Cheminių elementų kiekis vandens telkiniuose, esančiuose intensyviai tręšiamuose plotuose // Žemdirbystė: mokslo darbai / LŽI, LŽŪU. - Akademija, 1998, t.61, p.26-35
16. Rudzianskaitė A. Cheminių elementų išplovimo dinamika drenuotuose karsto zonos dirvožemiuose: daktaro disertacija. - Kėdainiai, 2001. - 100 p.
17. Šileika A.S. Agriculture Nitrogen Impact on Water Quality in Lithuanian Rivers // Žemės ūkio mokslai. - 1996. Nr.2, p.102-110
18. Švedas A., Antanaitis Š. Aplinkos veiksnių ryšys su drenažo nuotėkų ir išplaunamų nitratų kiekiu // Žemės ūkio mokslai. - 2000, Nr.4, p.24-29
19. Thomas G. W., Haszler G. R., Crutchfield J. D. Nitrate - nitrogen and phosphate-phosphorus in seven Kentucky streams draining small agricultural watersheds: Eighteen years later // Journal Environmental Quality. - 1992, p.147-150
20. Tyla A. Augalų maisto medžiagų migracija biosferoje // Žemės ūkio mokslai. - 1995, Nr.1, p.3-10
21. Tyla A., Rimšelis J., Šleinyš R. Augalų maisto medžiagų išplovimas iš įvairių dirvožemių. - Dotnuva-Akademija, 1997. - 24 p.
22. Torstensson G. Nitrogen Availability for Crop Uptake and Leaching: Doctoral thesis / Swedish University of Agricultural Sciences. - Uppsala, 1998, p.68-74

CONCENTRATION OF NITROGEN (NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^-) COMPOUNDS IN LYSIMETER WATER OF A DIFFERENTLY FERTILIZED SANDY LOAM SOIL

T. Adomaitis, Z. Vaišvila, J. Mažvila, S. Grickevičienė, L. Eitminavičius

Summary

Effects of regular fertilization of agricultural crops (perennial grasses, winter wheat, sugar beet, spring barley, annual mixtures), and climatic conditions (hydro-thermal regime) on the concentration of nitrogen compounds in lysimeter water were studied in a long-term crop-rotation experiment, established in 1971 on epicalcari-endohypogleyic cambisol.

Experimental evidence suggests that nitrate (NO_3^-) concentration in lysimeter water depended mainly on nitrogen fertilizer application rate. Averaged data from 27 years indicate that due to fertilization of agricultural crops with 114 kg ha^{-1} of nitrogen (on the background of potassium and phosphorus fertilization), nitrate concentration in water of lysimeters at 40 cm depth increased by 66.8 mg l^{-1} to 159.1 mg l^{-1} , when the nitrogen fertilisation rate was 228 kg ha^{-1} , nitrate concentration increased by 144.1 mg l^{-1} to 300.8 mg l^{-1} . The influence of mineral fertilizers on ammonia (NH_4^+) concentration in lysimeter water was insignificant: on the average there was 0.32 mg l^{-1} of ammonia at 40 cm depth in not fertilized plot; $0.28 - 0.4 \text{ mg l}^{-1}$ when the plot was fertilized with lower rates of various combinations of nitrogen, phosphorus and potassium; $0.32-0.44 \text{ mg l}^{-1}$ when the aforementioned rates were higher. For the 80 cm depth, the numbers are 0.29 ; 0.35 ; $0.29-0.38 \text{ mg l}^{-1}$, respectively.

An increase of nitrate concentration in lysimeter water in response to nitrogen fertilization was more substantial, when agricultural crops were not fertilized with phosphorus. The correlation between nitrate concentration and applied amount of nitrogen fertilizers was more significant when cereals ($\eta = 0.65 - 0.67$), sugar beet and annual grasses ($\eta = 0.63$) were cultivated on the experimental field.

The correlation between nitrate concentration in water and climatic conditions (hydro-thermal regime) during the growing season was significant only when sugar beet, annual and perennial grasses were cultivated. The correlation between ammonia and climatic conditions was significant when winter wheat, annual grasses and barley were cultivated. Larger amounts of nitrates were leached from soil during summer - autumn and winter - spring periods when annual plants were cultivated, compared to perennial grasses.

Key words: NPK fertilizers, plants, hydro-thermal coefficient, lysimeter water, NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- concentration.