

Dynamics of nitrogen in the soil under winter wheat (*Triticum aestivum* L.) depending on tillage systems

Dynamika dusíka v pôde pod pšenicou letnou f. ozimnou (*Triticum aestivum* L.) v závislosti od spôsobu obrábania

Boris VÁCLAV*, Peter ONDRIŠÍK, Dagmara BRASOVÁ and Jana URMINSKÁ

Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Agrobiological Sciences, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovak Republic, *correspondence: xvaclavb@is.uniag.sk

Abstract

The trial on an experimental basis of Slovak University of Agriculture in Nitra during the growing seasons 2011/2012 and 2012/2013 under winter wheat was conducted. The object of this study was to determine the effects of different tillage systems on the dynamics of inorganic nitrogen forms. Three tillage systems were used: B1 → conventional soil cultivation – medium depth ploughing (to 0.25 m); B2 → shallow soil cultivation (to 0.20 m); B3 → minimalization soil tillage – disk tillage (to 0.15 m). Within each treatment was used of NPK fertilization according to its content in soil + plough down of post harvest residues. Concentration of nitrate nitrogen ($1.29 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ – $29.68 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) and ammonium nitrogen ($0.13 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ – $14.34 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) had significant dynamics over the whole research period. The highest content of N_{in} was in the autumn season ($39.09 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), which provide sufficient nutrients for initial growth of the winter wheat. Tillage system had no statistically significant effect on dynamics of inorganic nitrogen in the soil. On the other hand, reduction of depth tillage has been associated with an increase content of inorganic nitrogen (B1 = $9.54 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; B2 = $9.89 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; B3 = $11.19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). The results of experiment shown that dynamics of inorganic nitrogen was mainly influenced by the change of temperature and humidity parameters during the growing season.

Keywords: ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, tillage systems, winter wheat

Abstrakt

Pokus bol realizovaný na experimentálnej báze v priebehu dvoch vegetačných období 2011/2012 a 2012/2013 pod pšenicou letnou f. ozimnou. Štúdia bola

zameraná na stanovenie dynamiky anorganických foriem dusíka vplyvom rôznych spôsobov obrábania. V experimente boli použité tri spôsoby obrábania: B1 → konvenčný spôsob obrábania – stredne hlboká orba (do 0,25 m); B2 → plytká orba (do 0,20 m); B3 → minimalizačný spôsob obrábania – tanierovanie (do 0,15 m). V každom spôsobe obrábania bolo použité NPK hnojenie na základe aktuálneho obsahu živín v pôde a so súčasným zapracovaním pozberových zvyškov predplodiny. Koncentrácie dusičnanového dusíka ($1,29 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} - 29,68 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) a amónneho dusíka ($0,13 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1} - 14,34 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) mali výraznú dynamiku počas celého výskumného obdobia. Najvyššia koncentrácia N_{an} bolo zistená v jesennom období ($39,09 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), ktorá zabezpečuje dostatočné množstvo živín pre počiatkový rast pšenice letnej f. ozimnej. Spôsob obrábania nemal štatisticky preukazný vplyv na dynamiku anorganického dusíka v pôde, ale na druhej strane, pri zníženej hĺbke obrábania sa v pôde zvyšovala koncentrácia anorganického dusíka (B1 = $9,54 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; B2 = $9,89 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; B3 = $11,19 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Z výsledkov experimentu môžeme skonštatovať, že dynamika anorganického dusíka je predovšetkým ovplyvňovaná teplotnými a vlhkosťnými parametrami počas vegetačného obdobia.

Kľúčové slová: amónny dusík, dusičnanový dusík, pšenica letná f. ozimná, spôsob obrábania

Detailed abstract

Aim of this study was to investigate the effect of different soil tillage on dynamics of inorganic nitrogen forms during the two growing season 2011/2012 and 2012/2013. Dynamics of N_{in} forms was monitored in two soil depth (0 – 0.3 m; 0.3 – 0.6 m) under winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Experiment was realised on the experimental bases of Slovak University of Agriculture in Nitra – Dolná Malanta. Locality of Dolná Malanta is in 175 – 185 m above sea level and belongs to warm climate zone. The studied soil was a Haplic Luvisol (loess parent material). In the experiment three main tillage systems for winter wheat were used: B1 = conventional soil cultivation (to 0.25 m); B2 = shallow soil cultivation (to 0.20 m); B3 = minimalization soil tillage (to 0.15 m). Within each treatment was used of NPK fertilization according to its content in soil + plough down of post harvest residues. Preceding crop was pea (*Pisum sativum*). Soil samples were taken in the two-weeks intervals, in each growing period was made 11 takings of soil samples. In the collected samples were determined contents of inorganic nitrogen forms ($N\text{-NO}_3^-$ and $N\text{-NH}_4^+$) in 1% solution of potassium sulphate (K_2SO_4) by the following methods: $N\text{-NO}_3^-$ → by acid 2.4-phenoldihydrosulphide; $N\text{-NH}_4^+$ → by Nessler test solution. The results were processed by mathematical-statistical methods (programs Statgraphics Plus 5.0 and MS Excel). Dynamics of both inorganic nitrogen forms was significant during growing season 2011/2012 and 2012/2013, which was also confirmed by high coefficient of variation (Table 2.).

Variants of soil cultivation and growing seasons did not show a statistically significant influence on content of nitrate nitrogen. On the other hand, date of sampling and depth of sampling had highly significant influence on content of $N\text{-NO}_3^-$ (Table 3.).

The concentration of nitrate nitrogen was significantly higher in autumn period compared with spring and summer period. Content of N-NO_3^- was $7.36 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ in 0.0 – 0.3 m depth of sampling and $4.97 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ in 0.3 – 0.6 m. It may be result of unfavorable conditions for nitrification in soil depth 0.3 – 0.6 m.

Content of ammonium nitrogen was not statistically affected by the depth of sampling and variants of soil cultivation. Vice versa, date of sampling and growing seasons did show a highly significant influence on the content of N-NH_4^+ (Table 3.).

For the statistical evaluation of content inorganic nitrogen was found only one factor (variants of soil cultivation) without statistical significance (Table 3.). Despite this fact, results can confirm moderate increase of concentration inorganic nitrogen among the monitored variants of soil cultivation ($B1 = 9.54 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; $B2 = 9.89 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; $B3 = 11.19 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). On base of results, for nitrogen fertilization according to content of nitrogen in soil + plough down of post harvest residues was recommended minimization method of tillage (B3). This measurement has shown the highest value of N_{in} and this system of tillage can reduce the input costs. Disk tillage is shallow ploughing, which causes a adequate aeration of soil without excessive erosion of soil structure and restriction activity of soil microorganisms.

The results of experiment shown that dynamics of inorganic nitrogen was mainly influenced by the change of temperature and humidity parameters during the growing season.

Úvod

Dusík je motorom rastu každej rastliny. Tvorí najväčšiu silu v ojedinelej výrobe na svete, kde sa produkuje viac energie, ako sa spotrebováva. Tak ako každý prvok, má aj dusík svoje špecifiká, ktoré sa týkajú výskytu, kolobehu v prírode, vzťahu k rastlinám a živým organizmom. Stanovenie obsahu N a jeho foriem je veľmi dôležité pre pochopenie dynamiky a premien dusíka v pôde. Liu et al. (2003) uvádzajú, že dusičnanový a amónny dusík sú hlavné formy dusíka, ktoré môžu byť priamo absorbované rastlinami. Vyšší obsah anorganického dusíka v pôde je prospešný pre príjem N rastlinami, ale môže zvyšovať riziko vyplavovania N z pôdneho profilu. Yli-Viikari et al. (2007) tvrdia, že dusíkatá bilancia je identifikovaná ako hlavný agroenvironmentálny indikátor, ktorý poskytuje informácie o potenciálnych stratách dusíka do ovzdušia a do povrchových alebo podzemných vôd.

Názory na spôsob a význam obrábania pôdy sa menia a spravidla sa opierajú o súčasný stav v pestovateľských technológiách, založených na vedecko-technickom pokroku, na vývoji techniky ako aj vedeckých princípoch hospodárenia na pôde orientovaných na šetrnosť k životnému prostrediu a na znižovanie ekonomickej a energetickej náročnosti pestovateľských systémov poľných plodín (Šoltysová et Danilovič, 2011). Spôsob orby a množstvo pozberových zvyškov môžu výrazne ovplyvniť pôdny pomer C:N. Uvedený pomer je dôležitým ukazovateľom kvality pôdy a taktiež ovplyvňuje hospodárenie s pôdou (Lou et al., 2012; Puget et Lal, 2005). Obrábaním pôdy sa pomerne intenzívne ovplyvňuje činnosť mikroorganizmov, ktoré sa podieľajú o. i. aj na premenách dusíka v pôde. Pri intenzívnejšom a hlbšom kyprení sa v pôde tvorí viac dusičnanov ako v plytko obrobenej alebo v neobrobenej pôde (Líška et al., 2008). Balota et al. (2003) a Franchini et al. (2007) tvrdia, že

intenzívne využívanie pôdy, konvenčná orba vedie k pôdnej degradácii a k zníženiu udržateľnosti poľnohospodárskeho systému.

Cieľom práce bolo sledovanie zmien v ročnej dynamike anorganických foriem dusíka v pôde v závislosti od spôsobu obrábania v úzkom vzťahu s poveternostnými podmienkami počas dvoch vegetačných obdobíach 2011/2012 a 2012/2013 pod pšenickou letnou f. ozimnou pri bilančnom hnojení NPK hnojivami so zaoraním pozberových zvyškov.

Materiál a metodika

Pokus bol realizovaný na výskumno-experimentálnej báze SPU Nitra – Dolná Malanta, ktorá je vzdialená od areálu SPU približne 5000 m. Lokalita sa nachádza v nadmorskej výške 175 – 180 m. Ide o teplú klimatickú oblasť na hnedozemných zosprašovaných prolúviálnych sedimentoch. Priemerná teplota za vegetačné obdobia predstavovala 10 °C a priemerný ročný úhrn zrážok 593 mm (2011-2013).

Poľný pokus prebehol v 2 vegetačných obdobíach 2011/2012 a 2012/2013. Ako krycia plodina bola v našom experimente využitá pšenica letná f. ozimná a jej predplodinou bol hrach siaty.

V pokuse boli využité tri spôsoby obrábania: B1 – stredne hlboká orba (do 0,25 m), B2 – plytká orba (do 0,20 m) a B3 – tanierovanie (do 0,15 m). V rámci každého obrábania pôdy sme použili jeden variant hnojenia – hnojenie priemyselnými hnojivami + zapravenie pozberových zvyškov - bilančné hnojenie na základe obsahu N_{an} v pôde a požiadaviek pšenice letnej f. ozimnej na úrodu 6 t a so súčasným zapracovaním pozberových zvyškov (hrach siaty). Dynamika a pohyb anorganických foriem dusíka v pôdnom profile bola sledovaná v dvoch hĺbkach pôdneho profilu: 0,0 – 0,3 m a 0,3 – 0,6 m. Odbery pôdnych vzoriek boli v dvojtýždňových intervaloch, pričom v každom vegetačnom období bolo realizovaných 11 odberov pôdnych vzoriek v štyroch opakovaníach. V odobratých vzorkách pôdy sa stanovovali obsahy anorganických foriem dusíka (vo výluhoch 1% K_2SO_4) nasledovnými metódami: dusičnanový dusík – kolorimetricky s kyselinou 2,4 fenol disulfónovou; amónny dusík – kolorimetricky s Nesslerovým činidlom.

Výsledky boli analyzované pomocou ANOVA použitím matematicko-štatistických programov Statgraphics Plus 5.0 a MS Excel.

Výsledky a diskusia

Výsledky v sledovanom experimente v priebehu vegetačných období 2011/2012 a 2012/2013 nám potvrdzujú výraznú dynamiku dusičnanového dusíka, o ktorej svedčí i vysoké rozpätie hodnôt 1,29 – 29,68 $mg \cdot kg^{-1}$ a variačný koeficient 97,02% (Tabuľka 2.). Výraznú dynamiku dusičnanového dusíka počas vegetačného obdobia zistili i Ondrišík et al. (2012). Obsahy $N-NO_3^-$ počas sledovaného obdobia dosiahli priemernú hodnotu 6,17 $mg \cdot kg^{-1}$ (Tabuľka 2.).

Z priemerných hodnôt $N-NO_3^-$ (Tabuľka 1.) vyplýva, že minimalizačné obrábanie najviac ovplyvnilo tvorbu dusičnanového dusíka v pôde (B3 = 6,65 $mg \cdot kg^{-1}$) v porovnaní s konvenčným obrábaním (B1 = 5,94 $mg \cdot kg^{-1}$) resp. plytkou orbou (B2 =

5,91 mg*kg⁻¹). Avšak z hľadiska štatistickej analýzy (P=0,7057) nebol zistený preukazný vplyv spôsobu obrábania na obsah dusičnanového dusíka v pôde (Tabuľka 3.). K rovnakým výsledkom dospeli Galuščáková (2007), López-Bellido et López-Bellido (2001) a Šoltýsová (1998). Papini et al. (2007) uvádzajú, že obsah a dynamiku dusičnanového dusíka v pôde ovplyvňuje rôzny spôsob obrábania pôdy. Vo svojom výskume potvrdili výskyt vyšších obsahov dusíka pri minimalizačnom obrábaní ako pri plytkej a stredne hlbkej orbe, avšak rozdiely boli zistené v spodnej vrstve odberu pôdy. I ďalší autori Chen et al. (2010) a Iqbal et al. (2012) potvrdzujú, že spôsob obrábania pôdy prostredníctvom rozdielných aeračných podmienok ovplyvňuje mineralizačné a nitrifikačné procesy v pôde.

Priemerná koncentrácia N-NO₃⁻ v oboch sledovaných vegetačných obdobiach bola pomerne vyrovnaná (6,05 mg*kg⁻¹; 6,29 mg*kg⁻¹). Z našich výsledkov môžeme skonštatovať, že nebol potvrdený preukazný vplyv vegetačného obdobia na obsah dusičnanového dusíka v pôde (Tabuľka 3.). Naopak vysoko preukazný vplyv na jeho obsah v pôde mal termín odberu (Tabuľka 3.). Najvyšší priemerný obsah N-NO₃⁻ 13,92 mg*kg⁻¹ bol nameraný v jesennom období, na druhej strane najnižší priemerný obsah 2,23 mg*kg⁻¹ bol zistený na jar (Tabuľka 1.). Ondrišík et al. (2004) a Spagni et Marsili-Libelli (2009) vo svojom výskume vysvetľujú, že vyšší obsah N-NO₃⁻ v jesenných mesiacoch je dôsledkom priaznivejších vlhkostných podmienok pre mineralizáciu pozberových zvyškov a tiež takmer nulovým odberom rastlinným krytom. Nízka koncentrácia v jarnom resp. letnom období je spôsobená vysokými odbermi rastlinami, vyplavením, resp. nedostatkom vlahy pre nitrifikačný proces.

Ďalším sledovaným faktorom, ktorý mal vysoko preukazný vplyv (P=0,00) na obsah N-NO₃⁻ bola hĺbka odberu (Tabuľka 3.). V prvej hĺbke odberu 0,0 – 0,3 m bol zaznamenaný celkový priemer 7,36 mg*kg⁻¹ a v druhej hĺbke odberu 0,3 – 0,6 m iba 4,97 mg*kg⁻¹ (Tabuľka 1.). Naše výsledky korešpondujú s výsledkami Ondrišíka (2002), Ondrišíka et al. (2009) i Smatanu (2001), ktorí uvádzajú, že pri väčšine pôd so zvyšujúcou sa hĺbkou pôdy v rámci orníčného horizontu dochádza k poklesu obsahu dusičnanovej formy dusíka.

Tabuľka 1. Obsah N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ a N_{an} za celé obdobie experimentuTable 1. Content of N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ and N_{in} over the whole experiment

Parameter (1)		Priemerný obsah, mg*kg ⁻¹ (2)		
		N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N _{an}
Obrábanie (3)	B1 (7)	5,94	3,61	9,54
	B2 (8)	5,91	3,98	9,89
	B3 (9)	6,65	4,54	11,19
Hĺbka (4)	0,0 - 0,3 m	7,36	3,9	11,26
	0,3 - 0,6 m	4,97	4,18	9,16
Vegetačné obdobie (5)	2011/2012	6,05	1,04	7,09
	2012/2013	6,29	7,05	13,33
Termín odberu (6)	1	7,16	2,19	9,35
	2	13,09	2,89	15,98
	3	13,92	4,84	18,76
	4	6,91	4,51	11,42
	5	4,45	5,8	10,25
	6	3,13	4,42	7,55
	7	2,23	3,55	5,79
	8	3,77	3,29	7,06
	9	3,82	4,89	8,71
	10	3,38	3,36	6,74
	11	5,97	4,73	10,7

(1) parameters, (2) mean content, mg*kg⁻¹, (3) tillage, (4) depth of sampling, (5) growing season, (6) date of sampling, (7) medium depth ploughing, (8) shallow ploughing, (9) disk ploughing.

Pri amónnom dusíku bol celkový priemerný obsah za celé sledované obdobie 4,04 mg*kg⁻¹. Minimálny obsah N-NH₄⁺ počas obidvoch pokusných období bol zaznamenaný na úrovni 0,13 mg*kg⁻¹ a maximálny obsah bol 14,34 mg*kg⁻¹. Výraznú dynamiku nám potvrdzuje i vysoký variačný koeficient 93,39% (Tabuľka 2.).

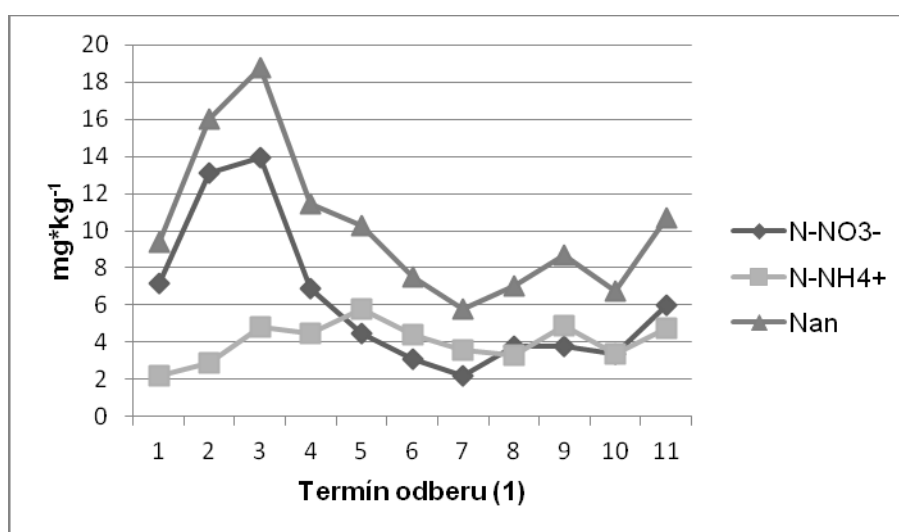
Najvyššiu hladinu amónnej formy dusíka sme zaznamenali pri treťom variante obrábania B3 – tanierovanie, rozdiely obsahov pri jednotlivých variantoch obrábania boli len mierne stúpajúce B1 = 3,61 mg*kg⁻¹, B2 = 3,98 mg*kg⁻¹ a variant B3 = 4,54 mg*kg⁻¹. Z uvedených údajov môžeme skonštatovať, že vplyv spôsobu obrábania na obsah N-NH₄⁺ nebol štatisticky zistený (Tabuľka 3.). Zhodné výsledky zistili i Ondříšek et al. (2012), ktorí skonštatovali, že najvyšší obsah amónneho dusíka vo variante s tanierovaním pravdepodobne súvisí so zhoršenými aeračnými podmienkami pre nitrifikáciu v tomto variante.

Vegetačné obdobie malo štatisticky vysoko preukazný vplyv (P = 0,00) na dynamiku amónneho dusíka (Tabuľka 3.). V sledovanom vegetačnom období 2011/2012 jeho

priemerná koncentrácia bola $1,04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ a v nasledujúcom (2012/2013) dosiahla hodnotu $7,05 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Tabuľka 1.). Vyššie koncentrácie N-NH_4^+ vo vegetačnom období 2012/2013 môžeme dať do súvislosti so zvyšujúcou sa vlhkosťou pôdy, ktorá bola výrazne vyššia v porovnaní s predchádzajúcim ročníkom. Viacerí autori uvádzajú, že dynamiku amónneho dusíka ovplyvňuje predovšetkým ročník (Ložek et al., 1991; Ondříšek, 1998), čo potvrdzujú i naše výsledky. V pôdach s vyšším obsahom vody, pri anaeróbných podmienkach sa zastavujú nitrifikačné procesy a pravdepodobne z toho dôvodu sa hromadí dusík v amónnej forme.

Ďalším sledovaným faktorom počas skúmaného obdobia so štatisticky vysoko preukazným vplyvom na obsahy amónneho dusíka bol termín odberu pôdnych vzoriek (Tabuľka 3.). Porovnaním jesenných odberov pôdnych vzoriek s odbermi uskutočnenými v jarnom a letnom období sme zistili, že hodnoty amónneho dusíka v jesennom období mali priemernú hodnotu $3,31 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (obrázok 1.). V jarných až letných odberoch boli zaznamenané vyššie hodnoty s priemerným obsahom amónnej formy dusíka $4,32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Vyššie koncentrácie N-NH_4^+ v jarno-letných odberoch môžu byť pravdepodobne spôsobené priaznivejšími vlhkosťnými a teplotnými podmienkami pôdy. Zhang et al. (2008) taktiež potvrdzujú, že k intenzívnejšej mineralizácii dusíka v pôde počas vegetačného obdobia dochádza pri vyššej teplote a primeranej vlhkosť.

Priemerná koncentrácia N-NH_4^+ v prvej sledovanej hĺbke (0,0 – 0,3 m) bola $3,9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. V druhej hĺbke (0,3 – 0,6 m) sme namerali vyššiu priemernú koncentráciu – $4,18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ pôdy (Tabuľka 1.). Opačné výsledky zistili Papini et al. (2007), ktorí uvádzajú vyššie koncentrácie N-NH_4^+ na povrchu pôdy. Nižšie koncentrácie amónneho dusíka vo vrchnej vrstve môžu byť spôsobené priaznivými podmienkami pre nitrifikačné procesy. Na základe štatistického zhodnotenia však nebol zistený štatisticky preukazný vplyv hĺbky na obsah amónneho dusíka (Tabuľka 3.).



(1) date of sampling

Obrázok 1. Dynamiku anorganických foriem dusíka počas celého sledovaného experimentu

Figure 1. Dynamics of inorganic nitrogen forms during the whole research period

Zo štatistického vyhodnotenia sme zistili, že jediným faktorom, ktorý nemá preukazný vplyv na dynamiku anorganického dusíka boli spôsoby obrábania. Dosiahnuté výsledky korešponujú so Soon et Arshad (2005), ktorí tvrdia, že rôzne spôsoby obrábania nemali štatistický vplyv na koncentrácie N_{an} .

Napriek tomu, môžeme potvrdiť mierny nárast obsahu N_{an} pri pozorovaných spôsoboch obrábania B1 = 9,54 mg*kg⁻¹; B2 = 9,89 mg*kg⁻¹; B3 = 11,19 mg*kg⁻¹ (Tabuľka 1.). Papini et al. (2007) tiež vo svojom experimente uvádzajú, že zníženie hĺbky spracovania pôdy vedie k obohateniu obsahu dusíka v pôde.

Naopak, štatisticky preukazný vplyv na obsahy anorganického dusíka sme zaznamenali pri hĺbke odberu a štatisticky vysoko preukazný vplyv mali dva sledované faktory a to termín odberu pôdnych vzoriek a vegetačné obdobie (Tabuľka 3.).

Tabuľka 2. Základná štatistická analýza N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ a N_{an} za vegetačné obdobia 2011/2012 a 2012/2013

Table 2. Basic statistic of N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ and N_{in} during growing seasons 2011/2012 and 2012/2013

Štatistické ukazovatele (1)	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N_{an}
<i>n</i> (2)	132	132	132
<i>x</i> (3)	6,17	4,04	10,21
<i>s</i> (4)	5,98	3,78	6,80
<i>X</i> _{min.} (5)	1,29	0,13	2,51
<i>X</i> _{max.} (6)	29,68	14,34	39,09
<i>V</i> in % (7)	97,02	93,39	66,58

(1) štatistické ukazovatele, (2) počet pozorovaní, (3) priemer v mg.kg⁻¹, (4) štandardná odchýlka, (5) minimum v mg*kg⁻¹, (6) maximum v mg*kg⁻¹, (7) variačný koeficient v %

(1) statistical indicators, (2) number of observations, (3) average in mg*kg⁻¹, (4) standard deviation, (5) minimum in mg*kg⁻¹, (6) maximum in mg*kg⁻¹, (7) coefficient of variation in %

Tabuľka 3. Analýza rozptylu N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ a N_{an} počas celého výskumného obdobia.Table 3. Analysis of Variance for N- NO₃⁻, N-NH₄⁺ a N_{in} over the whole research period.

Parameter (1)	Faktor (2)	P-hodnota (3)
N-NO ₃ ⁻	Vegetačné obdobie (4)	0,7693
	Obrábanie (5)	0,7057
	Hĺbka (6)	0,0044
	Termín odberu (7)	0,0000
N-NH ₄ ⁺	Vegetačné obdobie (4)	0,0000
	Obrábanie (5)	0,1165
	Hĺbka (6)	0,4410
	Termín odberu (7)	0,0017
N _{an}	Vegetačné obdobie (4)	0,0000
	Obrábanie (5)	0,2329
	Hĺbka (6)	0,0121
	Termín odberu (7)	0,0000

(1) parameter, (2) factor, (3) P-Value, (4) growing season, (5) tillage, (6) depth of sampling, (7) date of sampling

Záver

Zo štatistického hľadiska sme zistili vysoko preukazný vplyv vegetačného obdobia a termínu odberu na dynamiku anorganického dusíka. Hĺbka odberu pôdnych vzoriek mala preukazný vplyv, naopak rozličný spôsob obrábania nebol štatisticky významný na zmeny obsahu anorganických foriem dusíka v pôde.

Najvyššiu koncentráciu anorganického dusíka sme zaznamenali pri minimalizačnom spôsobe obrábania – B3, ktoré umožňuje primeranú aeráciu pôdneho prostredia bez nadmerného narušovania pôdnej štruktúry a obmedzenia aktivity pôdnych mikroorganizmov. Ide o spracovanie pôdy, ktorým sme schopní dosiahnuť významné úspory vstupov energie, preto by sme odporučili danú formu ako najefektívnejší spôsob obrábania pôdy.

Z výsledkov môžeme skonštatovať, že hlavnými faktormi, ktoré ovplyvnili dynamiku anorganického dusíka v pôde boli pôdno-klimatické podmienky, čo nám dokazujú i výrazne vyššie koncentrácie N_{an} v jesennom období. Zistené vysoké obsahy anorganického dusíka v jesennom období zabezpečujú dostatočný obsah živín potrebných pre počiatočný rast pšenice letnej f. ozimnej.

Podakovanie

Práca bola vypracovaná s podporou projektu VEGA 1/0816/11.

Použitá literatúra

- Balota, E. L., Colozzi-Filho, A., Andrade, D. S. , Dick, R. P. (2003) Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. *Biology and Fertility of Soils*, 38 (1), 15-20. <http://dx.doi.org/10.1007/s00374-003-0590-9>
- Chen, D., Lu, J., Wang, H., Shen, Y., Kimberley, M. O. (2010) Seasonal variations of nitrogen and phosphorus retention in an agricultural drainage river in East China. *Environmental Science and Pollution Research*, 17 (2), 312-320. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-009-0246-x>
- Franchini, J. C., Crispino, C. C., Souza, R. A., Torres, E., Hungria, M. (2007) Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, 92 (1-2), 18-29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2005.12.010>
- Galuščáková, Ľ. (2007) Vplyv pestovateľských zásahov na zmeny obsahu anorganického dusíka v pôde. Dizertačná práca, Nitra: SPU, 147.
- Iqbal, N., Masood, A., Khan, N. A. (2012) Analyzing the significance of defoliation in growth, photosynthetic compensation and source-sink relation. *Photosynthetica*, 50 (2), 161-170. <http://dx.doi.org/10.1007/s11099-012-0029-3>
- Líška, E., Bajla, J., Candráková, E., Frančák, J., Hrubý, D., Illeš, L., Korenko, M., Nozdrovický, L., Pospíšil, R., Špánik, F., Žembery, J. (2008) Všeobecná rastlinná výroba. Nitra: SPU. 452. ISBN 978-80-552-0016-3.
- Liu, X. J., Ju, X. T., Zhang, F. S., Pan, J. R., Christie, P. (2003) Nitrogen dynamics and budgets in a winter wheat-maize cropping system in the North China Plain. *Field Crop Research*, 83 (2), 111-124. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00068-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00068-6)
- López-Bellido, R. J., López-Bellido, L. (2001) Efficiency of nitrogen in wheat under Mediterranean conditions: effect of tillage, crop rotation and N fertilization. *Field Crops Research*, 71 (1), 31-46. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00146-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00146-0)
- Lou, Y., Xu, M., Chen, X., He, X., Zhao, K. (2012) Stratification of soil organic C, N and C:N ratio as affected by conservation tillage in two maize field of China. *Catena*, 95, 124-130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2012.02.009>
- Ložek, O., Bízík, J., Fecenko, J. (1991) Dynamika anorganického dusíka v pôde a jej vplyv na úrodu a kvalitu jarného jačmeňa. *Rostlinná výroba*, 37 (5), 441-451.
- Ondrišík, P. (1998) Dynamika a migrácia minerálnych zlúčenín dusíka v pôdnom profile a možnosti ich regulácie: Habilitačná práca. Nitra: VŠP. 160.
- Ondrišík, P. (2002) Effect of long-term green fallow on inorganic nitrogen content in the soil. *Journal of Central European Agriculture*, 3 (3), 247-254. ISSN 1332-9049

- Ondrišík, P., Porhajašová, J., Urminská, J., Ňaršanská, M. (2009) The effect of agrotechnical interventions on seasonal changes of inorganic nitrogen content in the soil. *Journal of Central European Agriculture*, 10 (1), 251-262. ISSN 1332-9049
- Ondrišík, P., Savišová, M., Urminská, J. (2012) Vplyv rôznych spôsobov obrábania a hnojenia pôdy na dynamiku anorganického dusíka v pôde. *Acta fytotechnica et zootechnica*, 15 (2), 47-51. ISSN 1336-9245
- Ondrišík, P., Urminská, J., Kantor, M. (2004) The dynamic of inorganic nitrogen in the soil during the growing season of winter wheat in dependence on agrotechnical measures. *Acta fytotechnica et zootechnica*, 7 (1), 14-19, ISSN 1335-258X
- Papini, R., Valboa, G., Piovanelli, C., Brandi, G. (2007) Nitrogen and phosphorous in a loam soil of central Italy as affected by 6 years of different tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 92 (1-2), 175-180. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2006.02.005>
- Puget, P., Lal, R. (2005) Soil organic carbon and nitrogen in a Mollisol in central Ohio as affected by tillage and land use. *Soil and Tillage Research*, 80 (1-2), 201-213. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2004.03.018>
- Smatana, J. (2001) Tillage and Dynamics of inorganic nitrogen in ecological and integration management systems. *Journal of Central European Agriculture*, 2 (3-4), 251-262. ISSN 1332-9049
- Soon, Y. K., Arshad, M. A. (2005) Tillage and liming effects on crop and labile soil nitrogen in an acid soil. *Soil and Tillage Research*, 80 (1-2), 23-33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2004.02.017>
- Spagni, A., Marsili-Libelli, S. (2009) Nitrogen removal via nitrite in a sequencing batch reactor treating sanitary landfill leachate. *Bioresource Technology*, 100 (2), 609-614. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.06.064>
- Šoltysová, B. (1998) Mobilita a distribúcia prístupných foriem dusíka v závislosti na diferenčnom spracovaní pôdy. *Zborník vedeckých prác. Oblastný výskumný ústav agroekológie*, 14, 15-25.
- Šoltysová, B., Danilovič, M. (2011) Vplyv obrábania na variabilitu obsahu živín v pôde. *Naše pole*, (11), 42-43.
- Yli-Viikari, A., Hietala-Koivu, R., Huusela-Veistola, E., Hyvonen, T., Perala, P., Turtola, E. (2007) Evaluating agri-environmental indicators (AEIs) – use and limitations of international indicators at national level. *Ecological Indicators*, 7 (1), 150-163. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.11.005>
- Zhang, X., Wang, Q., Li, L., Han, X. (2008) Seasonal variations in nitrogen mineralization under three land use types in grassland landscape. *Acta oecologica*, 34 (3), 322-330. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2008.06.004>