

## LEACHING OF MINERAL NITROGEN FROM ARABLE LAND IN RELATION TO THE PREVIOUS TYPE OF SOIL FERTILIZATION

### VYPLAVOVÁNÍ MINERÁLNÍHO DUSÍKU Z ORNÉ PŮDY V ZÁVISLOSTI NA KVANTITĚ A KVALITĚ PŘEDCHOZÍCH DÁVEK ŽIVIN

**Elbl J., Kintl A., Záhora J.**

Department of Agrochemistry, Soil Science, Microbiology and Plant Nutrition, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1/1665, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: xelbl@mendelu.cz

#### ABSTRACT

Realized laboratory experiment builds on research of escape mineral forms of N from arable land, which has long been carried out in The Department of Microbiology. The basis of our research is the use of experimental containers ( $d = 110\text{mm}$  and  $v = 400\text{ mm}$ ). The containers are for each experiment filled with agricultural lands (from arable horizon and under-arable horizon). These soils were removed from interest area (water source protection zone – Březová nad Svitavou) and these soils were fertilized various types of fertilizers. For the experiment *leaching of mineral nitrogen in relation to the previous type of soil fertilization*, we used samples of arable land from the previous long-term experiment. This long-term experiment was made by five variants of the fertilizer (each variant had three repeat): V1 – control, without the application of fertilizers; V2 – application of  $90\text{ g/m}^2$  mineral fertilizer GSH (N:P: K:S ~ 10: 10: 10: 13, registration number 2007), V3 – application of  $50\text{ml/m}^2$  B Lignohumat B (registration number 2723), V4 – application of  $50\text{ ml/m}^2$  Lignohumat B +  $45\text{g/m}^2$  mineral fertilizer GSH (50% of the recommended dose); V5 – application of  $150\text{ml/m}^2$  Lignohumat B (300% of the recommended dose) +  $45\text{g/m}^2$  mineral fertilizer GSH. In each experimental pot were planted indicator plant *Deschampsia caespitosa*. Indicator plant grew in the experimental containers for 72 day. After the end of the long-term experiment, we removed from each variant arable horizon (from all repetition of each variant) and we homogenized these samples of arable land in each variant. After homogenization, we obtained from each variant (V1 - V5) five samples of arable land. For the implementation *Availability of mineral nitrogen in relation to the previous type of soil fertilization* experiment has been used cylindrical experimental pots. We used plastic (PVC) pots with the following dimensions  $d(\text{diameter})= 120\text{mm}$  and  $v(\text{height})= 90\text{mm}$ . Each experimental pot we filled by arable land form previous experiment (after homogenization). It was created again five variants (V1 - V5) and three repetitions for each variant. This way we determined availability of mineral nitrogen in land from arable horizon, after soil fertilization. The obtained results detection of  $N_{\min}$  confirmed a different influence of fertilizer to saturate soil by mineral nitrogen.

**Key words:** nitrogen, experimental pot, arable land, fertilizers

**Acknowledgments:** This work was supported by the project NAZV reg. number: QJ1220007

## ÚVOD

Předkládaná práce se věnuje problematické oblasti úniku minerálního dusíku ( $N_{\min}$ ) z orné půdy, která je v posledních letech velmi diskutovaným problémem, a to z důvodu kontaminace zdrojů pitné vody. Podle Šimka (2003) je  $N_{\min}$  v půdě tvořen amonným ( $N - NH_4^+$ ) a dusičnanovým dusíkem ( $N - NO_3^-$ ). Kontaminovány jsou jak povrchové, tak i podzemní zdroje jinak kvalitní pitné vody. Největší riziko představují dusičnany neboli nitráty, které jsou autory z ČR (Úlehlová 1989; Kočí, Burkhard & Maršálek 2000; Šimek 2003; Nohel, Záhora & Mejzlík 2008; Pitter 2009) i ze zahraničí (Galloway & Cowling 2002; Schimel & Bennett 2004; Sutton 2011) označovány za hlavní hrozbu pro kvalitu pitné vody, získávanou ze zdrojů lokalizovaných v zemědělských oblastech.

Úlehlová (1989); Aber *et al.* (1989); Galloway (2002); Sutton (2011); Erisman (2011) a další upozorňují na riziko, které takto uniklý  $N_{\min}$  představuje. Hlavním nebezpečím, vyplývajícím z uvedených prací, je saturace půdního prostředí dusíkatými látkami. Přesněji stav, kdy dochází k větší dostupnosti amonného a dusičnanového dusíku, než je celková kombinovaná rostlinná a mikrobiální nutriční poptávka. Pokud vezmeme v úvahu minimální afinitu půdního sorpčního komplexu k záporně nabitým částicím, tak při saturaci půdního prostředí vzniká předpoklad pro značný únik nitrátů například do podzemních vod.

Realizovaný laboratorní experiment navazuje na práci Elbl (2012), hlavním cílem bylo potvrzení vlivu aplikace organické látky v kombinaci s minerálním hnojivem na pozdější dostupnost  $N_{\min}$  v půdě.

## MATERIÁL A METODIKA

### Schéma laboratorního experimentu

K posouzení dostupnosti  $N_{\min}$  v půdních vzorcích z orničního horizontu, byly využity plastové experimentální nádoby válcového tvaru ( $s = 120\text{mm}$ ;  $v = 90\text{mm}$ ). Bylo připraveno celkem pět variant experimentu V1 – V5, a to vždy se třemi opakováními. Jak již bylo uvedeno v abstraktu a úvodu, experiment navazuje na dlouhodobě prováděný výzkum v zájmové oblasti Březová nad Svitavou. Přesněji navazuje na experiment Elbl (2012), z uvedeného pokusu byla použita orná půda, která byla vystavena aplikaci hnojiv za současného růstu indikační plodiny *Deschampsia caespitosa* /L./ P. Beauv. Elbl (2012) vytvořil pět variant: V1 – kontrolní, nehnojená, V2 – 100% dávka NPK, V3 – 100% dávka Lignohumát B, V4 – 100% dávka Lignohumát B + 50% dávka NPK, V5 – 300% dávka Lignohumát B + 50% dávka NPK. Doba trvání experimentu (Elbl, 2012) byla 72dnů. Elbl (2012) využil PVC válce o  $d = 110\text{mm}$  a  $v = 400\text{mm}$ , ve kterých byl uměle vytvořen orniční a podorniční horizont. Po ukončení pokusu byly půdní vzorky (celý orniční

horizont z každé varianty) uloženy do termostatu ( $T \approx 5,5^\circ\text{C}$ ) a po 33 dnech využity pro předkládaný experiment. Před aplikací do nově připravených experimentálních nádob byla provedena homogenizace dřívě odebraných vzorků. Došlo tak ke vzniku pěti vzorků orné půdy (V1 – V5). Hmotnost orné půdy byla ve všech nádobách stejná ( $m = 570\text{g}$ ). Nebylo prováděno nové hnojení, indikační plodiny získávaly živiny pouze z dostupných zásob v půdě. Stejně tak k vyplavení  $N_{\min}$  mohlo dojít pouze na základě přítomnosti nebo absence dusíkatých sloučenin a to v souvislosti s předchozím způsobem hnojení.

Za indikační plodinu byl zvolen salát setý (*Lactuca sativa*). Všechny experimentální nádoby byly umístěny do Fytotronu po dobu 48 dní. Závlaha byla pro celý experiment jednotná a byla rozdělena v rámci jednoho týdne do tří dávek: 100ml (po), 70ml (st) a 100ml (pá) destilované vody. Tři dny před ukončením pokusu byly všechny varianty zavlaženy dávkou 3x 200ml. Dávkování závlahy bylo zvoleno vzhledem k objemu zeminy v jednotlivých nádobách, charakteru indikační plodiny a nutnosti dosáhnout průsaku půdního roztoku do IER disků.

Přesné dávkování hnojiv, původní odběr a skladování půdních vzorků atd. je uvedeno v Elbl (2012), dále jsou pro všechna hnojiva dohledatelná složení na základě čísla registrace.

### Dostupnost minerálního dusíku

Pro účely interpretace provedeného laboratorního experimentu, je vyplavování  $N_{\min}$  z orné půdy vyjádřeno jako záchyt minerálního dusíku. Samotné hodnoty záchytu  $N_{\min}$  (mg) jsou přepočteny na objem zeminy ( $\text{mg}/\text{dm}^3 N_{\min}$ ). K zjištění záchytu  $N_{\min}$  byly využity směsné iontoměniče (IER, ion exchange resin). IER byly tvořeny směsí aniontových zrn (AER, anion exchange resin) a kationtových (CER, cation exchange resin) v poměru 1:1. Zrna AER a CER byla vložena do těl speciálních disků, které byly tvořeny prstenci z novodurového potrubí, každý o vnějším průměru 75mm a tloušťce 5mm. Jednotlivé prstence byly z obou stran opatřeny polyamidovou síťovinou UHELON tak, aby mohly být naplněny směsí CER a AER. Naplněné novodurové prstence jsou dále označovány jako IER disky (Novosádová, Záhora & Ruiz-Sinoga 2011). Pod každou experimentální nádobu byl umístěn vždy jeden IER disk. Uvedeným způsobem tak mohl být pro každou variantu ve třech opakováních zjišťován záchyt  $N_{\min}$ , který se uvolnil vyplavováním z půdního prostředí.

$N_{\min}$  zachycený na zrnech IER byl po ukončení experimentu získán resorpcí, která byla vyvolána 10%-ním roztokem NaCl. Volné ionty amonného a dusičnanového dusíku byly stanoveny podle Peoples *et al.*, (1989) destilačně titrační metodou.

### Stanovení sušiny rostlinné biomasy

Sušina rostlinné biomasy byla stanovena podle Valenta, Urban & Pukrábek (2008). Jednotlivé vzorky indikační plodiny *Lactuca Sativa* byly odebrány v celku (nadzemní a podzemní biomasa). Parametr sušiny pro účely předkládané práce představuje hodnotu produkce nadzemní a podzemní rostlinné biomasy jednotlivých indikačních plodin.

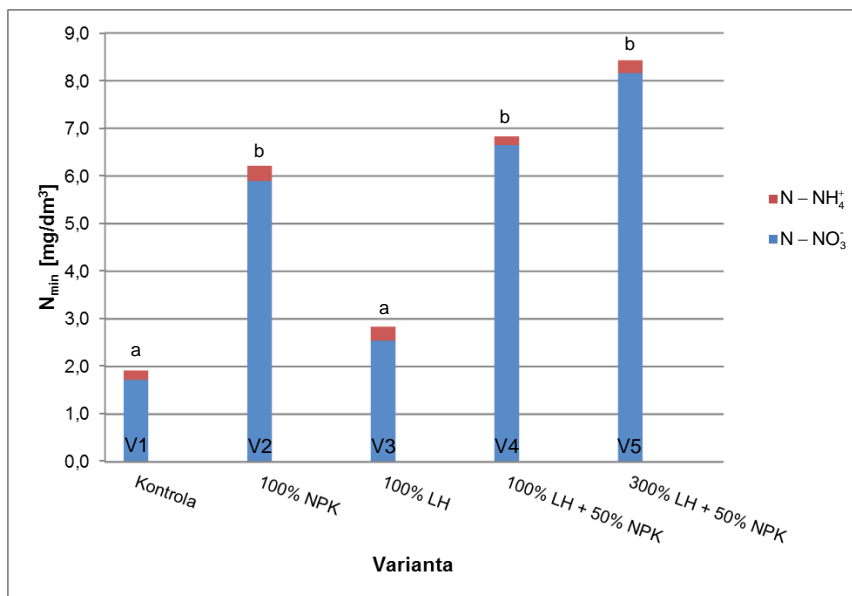
## VÝSLEDKY A DISKUZE

Předmětem našeho zájmu bylo zjištění vlivu předchozí aplikace různých druhů hnojiv a jejich vzájemné kombinace na vyplavování  $N_{\min}$  z orné půdy. Hodnoty záchytu jsou doplněny o produkci nadzemní a podzemní rostlinné biomasy, která je vyjádřena jako sušina.

### Záchyt minerálních forem dusíku

Měření záchytu  $N_{\min}$  probíhalo po dobu 48 dnů za využití IER disků, které byly umístěny pod výtokovými otvory experimentálních nádob. Získané hodnoty byly statisticky vyhodnoceny za využití metody jedno-faktorové analýzy a variance (ANOVA), dále byl proveden výpočet LSD (Least Significant Difference) na 5%-ní hladině významnosti ( $p < 0,05$ ) s Post-Hoc Tukey's HSD testem. V grafech č. 1 a 2 jsou znázorněny zjištěné záchyty  $N_{\min}$ , který je zde vyjádřen jako součet váženého průměru záchytu amonného a nitratového dusíku jednotlivých variant experimentu. Vážený průměr byl zjištěn ze tří opakování v každé variantě.

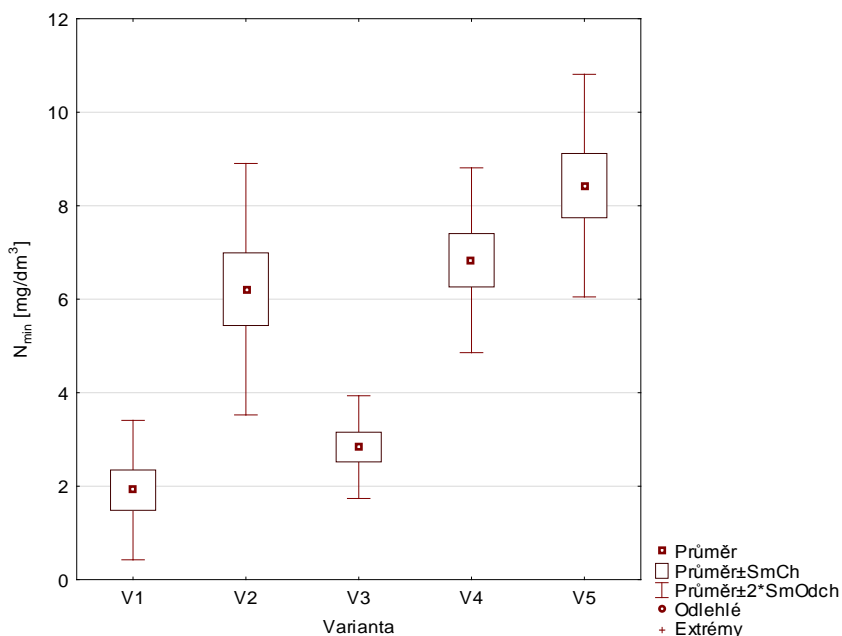
Graf 1 Porovnání průměrných hodnot ( $\bar{x}$  z každé varianty,  $n = 3$ ) záchytu minerálního dusíku mezi rozdílnými variantami experimentu. Jednotlivá písmena indikují významné rozdíly.



Z hodnot uvedených v grafu č. 1 vyplývá, že nejvyššího záchytu  $N_{\min}$  bylo dosaženo u variant, které byly v předchozím experimentu hnojeny kombinací minerálního hnojiva a organické látky (V4= 6,84mg/dm<sup>3</sup> a V5= 8,43 mg/dm<sup>3</sup>). Rozdíl v záchytu  $N_{\min}$  mezi kontrolní variantou V1, kde byla naměřena nejnižší hodnota záchytu V1= 1,92mg/dm<sup>3</sup> a variantami V4 a V5 je statisticky průkazný.

Zvýšenou dostupnost minerálního dusíku u variant V4 a V5 lze vysvětlit přidavkem dostupného organického uhlíku ( $C_{org}$  ve formě lignohumátu) při předchozím experimentu. Na základě prací Buterbach & Gundersen (2011); Barrett & Burke (2000); Wolf & Snyder (2003) a Sutton (2011), ve kterých jednotliví autoři na základě konkrétních experimentů nebo závěrů z dlouhodobých pozorování, potvrzují vliv  $C_{org}$  na mikrobiální aktivitu. Lze tedy předpokládat, že v přítomnosti dostupného  $C_{org}$  zvyšují MO svoji činnost a tím i zpracování  $N_{min}$ . Dochází tak ke zvyšování kapacity půdního prostředí pro dusíkaté sloučeniny, a to nejenom pro minerální formy dusíku. Vytváření zásob organických dusíkatých látek je pro půdu absolutně nezbytné. Důvod je jednoduchý, popisuje ho například Sutton (2011): organické formy N jsou minimálně pohyblivé a mohou tak zůstat v půdním prostředí i při zvýšených dávkách závlahy (nedochází k vyplavování). Následně pak v příhodných podmínkách může dojít k depolymeraci těchto organických (makromolekulárních) sloučenin a posléze i k mineralizaci na jednotlivé minerální formy dusíku.

Graf 2 Porovnání průměrných hodnot ( $\bar{x}$  z každé varianty,  $n = 3$ ) záchytu minerálního dusíku mezi rozdílnými variantami experimentu.



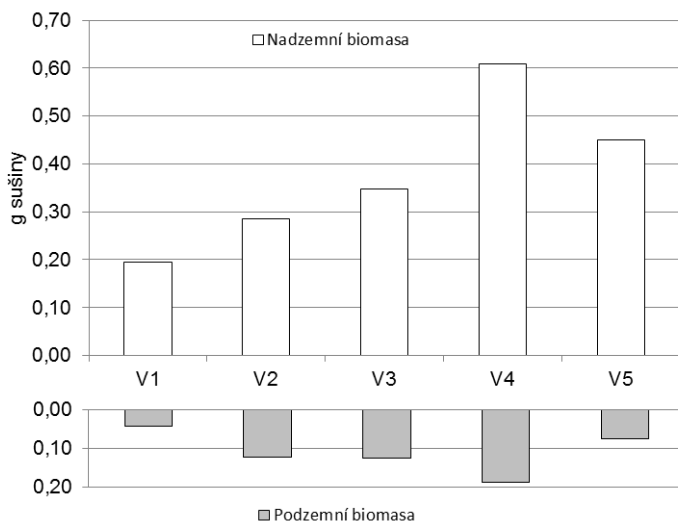
Poměrně vysokého záchytu bylo dosaženo i u varianty V2, a to i přes skutečnost, že tato varianta vykazovala vysoký záchyt už v předešlém experimentu. Očekávali jsme tedy, že většina  $N_{min}$  byla již u této varianty z půdy vyplavena. Rozdíly v záchytech mezi variantami V1 a V2, V3, V4 jsou velmi dobře patrné z grafu č. 2 (krabicový graf ANOVA analýzy). Vysvětlení je možné nalézt

například v práci Aber *et al.* (1989). Zde autoři definují saturaci půdního prostředí minerálním dusíkem a tím i spojené projevy jeho úniku z půd. Při předchozím experimentu byla zvolena doporučená dávka směsného minerálního hnojiva (NPK) pro extenzivní trávníky. Domníváme se proto v kontextu s prací Aber *et al.* (1989), že zvolená dávka hnojiva byla pro daný půdní systém v experimentální nádobě nad limitní a došlo k saturaci půdního prostředí  $N_{min}$ . Nadměrné množství takto uložených dusíkatých bylo uvolněno až v rámci druhého experimentu při zvýšených dávkách závlahy. Pokud porovnáme hodnoty zachytu pro Varianty V2, V4 a V5 neexistuje mezi nimi statisticky průkazný rozdíl.

### Produkce nadzemní a podzemní biomasy

Pro účely provedeného laboratorního experimentu, byla jako hlavní indikační faktor vlivu předchozích dávek hnojiv na rostlinu zvolena produkce nadzemní a podzemní biomasy. Hodnoty produkce nadzemní a podzemní biomasy jsou uvedeny v grafu č. 3, která je zde vyjádřena v g sušiny.

Graf 3 Porovnání průměrných hodnot ( $\bar{x}$  z každé varianty,  $n = 3$ ) produkce nadzemní a podzemní biomasy mezi rozdílnými variantami experimentu.



Z průběhu grafu 3 je patrná nejnižší produkce biomasy pro kontrolní variantu (V1= 0,24g), naopak varianty hnojené kombinací minerálního hnojiva a organické látky vykázaly celkově nejvyšší hodnoty produkce biomasy (V4= 0,80g; V5= 0,53g). Mezi jednotlivými variantami, ale neexistuje

statisticky průkazný rozdíl. Pouze u V4 byla zjištěna průkazně vyšší produkce podzemní biomasy (V4= 0,19g) v porovnání s kontrolou (V1= 0,04g).

Podle Rychnovské *et al.* (1987) byl určen hmotnostní poměr z produkce nadzemní a podzemní biomasy tzv. poměr „root and shoot“, vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tab. 1.

Tab. 1 Hmotnostní poměr nadzemních a podzemních částí rostlin R/S

V1	V2	V3	V4	V5
0,214555	0,436511	0,36292	0,307322	0,168967

Při porovnání všech variant nejvyššího poměru R/S dosáhla varianta V2, tuto skutečnost je možné vysvětlit sníženou dostupností  $N_{\min}$ . Z důvodu ztrát, které byly v dané variantě dosaženy při předcházejícím experimentu. Nedostatek živin způsobil nižší produkci nadzemní biomasy, a dále i podporu rozvoje kořenového systému. Důvodem byla absence živin v prvních 5cm orné půdy v experimentálních nádobách. Nejvyšší produkci nadzemní a podzemní biomasy byla zjištěna u varianty V4 (nadzemní 0,61g; podzemní 0,19g). Tento stav je možné vysvětlit dostatečnou zásobou  $C_{\text{org}}$  a dalších látek, které se vytvořily při specifickém způsobu hnojení v předcházejícím experimentu. Například podle Richtera & Hluška (2006) je obsah  $N_{\min}$  v půdě rozhoduje o intenzitě růstu rostlin a rozhodující měrou se uplatňuje N z půdní zásoby. Takový N ale musí být uvolněný procesem mineralizace, Schimel a Bennet (2004) objevili nové skutečnosti v rámci cyklu N. Konkrétně proces depolymerace, který předchází samotné mineralizaci, kdy půdní organismy zpracovávají depolymerizované látky za produkce jednodušších minerálních sloučenin například minerálního dusíku. K takové činnosti, ale půdní mikroorganismy potřebují energii, kterou získají právě z přidaného  $C_{\text{org}}$ .

Nižší poměr R/S i produkci nadzemní a podzemní biomasy v rámci V5 (v porovnání s V4), lze vysvětlit zvýšenou dávkou  $C_{\text{org}}$  (Lignohumát B) v kombinaci s NPK. Zvýšená dávka  $C_{\text{org}}$  při realizaci původního experimentu iniciovala mikrobiální aktivitu, která měla za následek kumulaci většího množství živin. Rostlina tak mohla využít bez větší nutnosti rozvoje kořenového systému látky, které byly dostupné v rhizosféře.

## ZÁVĚR

Únik  $N_{\min}$  a produkce rostlinné biomasy mohla být realizována pouze na základě přítomnosti živin z předchozího experimentu, přesněji jen díky rozdílnému způsobu hnojení. Na základě publikovaných prací Paustian (1987), Šimek (2003) a Wolf & Snyder (2003) předpokládáme, že vzorky orné půdy hnojené minerálními hnojivy nebo pouze přidávkem organické hmoty (lignohumátem), nebyly schopny vytvořit vhodné podmínky pro rozvoj mikrobiální biomasy. Mikroorganismy jsou nezbytným faktorem pro funkčnost cyklů dusíku a uhlíku v půdě. Pro varianty experimentu V1, V2 a V3 je proto typický nižší únik  $N_{\min}$  a produkce nadzemní a podzemní biomasy, protože byla v půdě celkově nižší zásoba živin, které mohly být využity rostlinami nebo vylaveny.

Provedený experiment byl zároveň zkouškou vhodnosti úpravy půdních vzorků, které byly již jednou v nádobovém experimentu využity. Orná půda aplikovaná v předkládaném experimentu nebyla znovu před aplikací pomleta ani proseta přes síto s průměrem ok 2mm, tak jako pro první experiment. Existuje tak možnost vlivu nově tvořených půdních agregátů, které vznikly při prvním využití půdy. Pro porovnání bude proveden nový experiment. Přesněji experiment Elbl (2012) bude zopakován při respektování původní metodiky, po ukončení se provede znovu homogenizace, ale tentokrát až po přesetí půdních vzorků přes síto o velikosti oka 2mm. Takto připravené vzorky orné půdy podrobíme experimentu podle metodiky uvedené výše a výsledky porovnáme.

## LITERATURA

Aber, John D., Knute J. Nadelhoffer, Paul Steudler a Jerry M. Melillo. Nitrogen Saturation in Northern Forest Ecosystem: Excess nitrogen from fossil fuel combustion may stress the biosphere. *BioScience*. 1989, roč. 39, č. 6, s. 378-38.

Barrett, J.E. a I.C. Burke. Potential nitrogen immobilization in grassland soils across a soil organic matter gradient. *Soil biology & Biochemistry*. 2000, roč. 32, 11-12, s. 1707-1716. ISSN 0038-0717. DOI: 10.1016/S0038-0717(00)00089-4

Butterbach-Bahl, Klaus a Per Gundersen. Nitrogen processes in terrestrial ecosystems. Sutton, Mark A. *The European nitrogen assessment: sources, effects, and policy perspectives*. New York: Cambridge University Press, 2011, s. 99-125. ISBN 978-1-107-00612-6.

Dykyjová, Dagmar, et al. *Metody studia ekosystémů*. 1. Vydání. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1989, 692 s.

Elbl, Jakub. *Porovnání vývoje obsahu dusíku v různých hloubkách půdy a ve vodě získané z jímací oblasti Březová nad Svitavou*. Brno, 2012, 88 s. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Záhora, CSc.

Elbl, Jakub a Jaroslav Záhora. *Dynamika úniku klíčových živin z jímací oblasti pro zásobování města Brna pitnou vodou*. 2012. In press.

Erisman, Jan Willem. The European nitrogen in a global perspective. Sutton, Mark A. *The European nitrogen assessment: sources, effects, and policy perspectives*. New York: Cambridge University Press, 2011, s. 9-31. ISBN 978-1-107-00612-6.

Galloway, James a Ellis Cowling. Reactive Nitrogen and The World: 200 Years of change. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 2002, roč. 31, č. 2, s. 64-71. ISSN 0044-7447.

Galloway, James N., John D. Aber, Jan W. Erisman, Sybil P. Seitzinger, Robert W. Howarth, Ellis B. Cowling a B. Jack Cosby. The Nitrogen Cascade. *BioScience*. 2003, roč. 53, č. 4, s. 341-356. ISSN 0006-3568. DOI: 10.1641/0006-3568(2003)053[0341:TNC]2.0.CO;2.

Kočí, Vladimír, Jiří Burkhard a Blahoslav Maršálek. Eutrofizace na přelomu tisíciletí. In: *Eutrofizace 2000: sborník semináře, Praha 10. 10. 2000*. 1. Vydání. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2000, s. 3-13. ISBN 80-7080-396-7.



Nohel, Petr, Jaroslav Záhora a Lukáš Mejzlík. Sledování úniku minerálního dusíku z půd různých ekosystémů v ochranném pásmu vodního zdroje II. stupně Březová nad Svitavou. Praha: SOVAK – Časopis oboru vodovodů a kanalizací, 2008, roč. 17, s. 48-51.

Novosadová, Irena, Jaroslav Záhora aj. D. Ruiz-Sinoga. Vliv trsnaté trávy *Stipa tenacissima* L. na mikrobiální transformaci půdního uhlíku a dusíku v aridních podmínkách středozemního klimatu. *Úroda časopis pro rostlinnou výrobu vyd. Min. Zemědělství a Výživy: Vědecká příloha*. 2011, LIX č. 10. ISSN 0139-6013

Paustian, Keith. Rapport /Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för ekologi och miljövård = Report/ Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Ecology and Environmental Research. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, 1987. ISBN 0348-422X.

Peoples, M. B., A. W. Faizah, B. Rerkasem a D. F. Herridge. *Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field*. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1989. ISBN 09-495-1190-0.

Pitter, Pavel. *Hydrochemie*. 4. vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2009, 568 s. ISBN 978-80-7080-701-9.

Richter, Rostislav a Jaroslav Hlušek. Využití dusíku rostlinami z aplikovaných hnojiv. In: *Nové trendy v používání dusíkatých hnojiv: sborník vědeckých a odborných prací z konference: 25. října 2006 Brno MZLU, 26. října 2006 VÚRV Praha – Ruzyně*. Editor Pavel Růžek, Jana Pišánová. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2006, s. 5-14. ISBN 80-865-5596-8.

Rychnovská, Milena a kol. *Metody studia travinných ekosystémů*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1987. 269 s.

Schimmel, Joshua P. a Jennifer Bennett. Nitrogen mineralization: Challenges of a changin paradigm. *Ecology*. 2004, roč. 85, č. 3, s. 591-602. ISN 0012-9658. DOI: 10.1890/03-8002.

Sutton, Mark A. The European nitrogen assessment: sources, effects, and policy perspectives. 1. vydání. New York: Cambridge University Press, 2011, 612 s. ISBN 11-070-0612-0.

Šimek, Miloslav. *Základy nauky o půdě: 3. Biologické procesy a cykly prvků*. 1. vydání. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Biologická fakulta, 2003, 151s. ISBN 80-704-0630-5.

Úlehlová, Blanka. *Koloběh dusíku v travních ekosystémech*. 1. vydání. Praha: Academia, 1989, 110 s. Studie ČSAV, 1989, č. 20. ISBN 80-200-0192-1.

Valenta, Jan, Jaroslav Urban a Josef Pulkrábek. Analýza herbicidního stresu rostlin cukrové řepy. In: Bláha, Ladislav. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007, s. 117-122. ISBN 978-80-87011-18-8.

Wolf, Benjamin a George H. Snyder. *Sustainable soils: the place of organic matter in sustaining soils and their productivity*. New York: Food Products Press, 2003, 352 s. ISBN 1-56022-916-0.