

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Přeměny dusíkatých hnojiv v půdě

Bakalářská práce

Autor práce: Tereza Podmanická

Obor studia: Rostlinná produkce

Vedoucí práce: prof. Ing. Daniela Pavlíková, CSc.

© 2017 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Přeměny dusíkatých hnojiv v půdě " jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.4. 2017 _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou moc poděkovala prof. Ing. Daniele Pavlíkové, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky.

Souhrn

Tato práce má charakter kompilační. Skládá se ze třech hlavních vzájemně propojených tematických okruhů.

První část je věnována koloběhu dusíku v přírodě a jeho jednotlivým přeměnám v daném prostředí. Důraz je kladen především na přeměny dusíku v půdě, protože jejich znalost je nezbytná pro porozumění působení dusíkatých hnojiv, i schopnost zvolit správnou strategii hnojení v zemědělské praxi a optimálně tak zajistit potřeby rostlin s ohleduplným přístupem k životnímu prostředí. V této části jsou rovněž popsány možnosti úniku dusíku z půdy, z nichž hlavní postavení zaujímají ztráty plynných forem dusíku. Z hlediska výživy rostlin je důležitou přeměnou dusíku v půdě především mineralizace sestávající z amonizace a nitrifikace. V návaznosti na mineralizační děje je pozornost zaměřena na příjem dusíku rostlinou a jeho úlohu v metabolismu rostlin, přičemž je diskutována problematika nedostatku nebo nadbytku dusíku ve výživě rostlin.

Druhá část podává podrobný přehled jednotlivých minerálních dusíkatých hnojiv, která jsou rozdělena podle zastoupené formy dusíku v daném hnojivu. Pro každé hnojivo je uvedeno složení, vlastnosti a specifikum jejich působení v půdě. Použití daného hnojiva závisí na konkrétních požadavcích rostlin a pěstebních podmínkách. Dle zákonitostí chování dusíku v půdě, hnojiva s amonnou formou dusíku se používají k základnímu hnojení, zatímco hnojiva s ledkovou formou jsou vhodná k přihnojování během vegetace.

Poslední část práce je zaměřena na dusíkatá hnojiva s pozvolným účinkem v půdě. Tato skupina zahrnuje hnojiva s pozměněnou rozpustností, obalovaná hnojiva a hnojiva s přísadkou inhibitorů nitrifikace či ureázy. Tato hnojiva mají význam v dlouhodobějším poskytování dusíku rostlinám a především v omezení ztrát dusíku z půdy.

Klíčová slova: dusík, mineralizace, půda, dusíkatá hnojiva, pozvolně působící hnojiva

Transformations of nitrogen fertilizers in soil

Summary

This work has a compilation character. It consists of three main interconnected parts.

The first part focuses on the natural nitrogen cycle and on individual transformations in a particular environment. The emphasis is put mainly on the transformations of nitrogen in soil as their knowledge is essential for understanding the effect of nitrogen fertilizers or the ability to choose the right fertilizing strategy in agriculture, and thus optimally attend to the plants' needs and at the same time maintain environmental-friendly attitude. In this part there is also a description of possible nitrogen losses from the soil where denitrification and volatilization play the main role. Regarding plant nutrition the main important nitrogen transformation in soil is mineralization consisting of ammonization and nitrification. Following the mineralization processes the attention is concentrated on the absorption of nitrogen by plants and its role in plant metabolism. This part deals with the lack or excess of nitrogen in the plant nutrition.

The second part offers a detailed description of individual mineral nitrogen fertilizers which are divided according to the nitrogen form present in the particular fertilizer. For each fertilizer there is content, properties and specification of how it works in the soil. The usage of individual fertilizers depends on the requirements of a particular plant and cultivation conditions. According to the principles of nitrogen behaviour in soil, fertilizers with an ammonium form of nitrogen are used for basic fertilization, whereas fertilizers with nitrate form are appropriate for supplementary fertilization during growth.

The last part of the work is dedicated to slow - release nitrogen fertilizers. This group includes break – down fertilizers, controlled – release fertilizers and fertilizers with added nitrification or urease inhibitors. These fertilizers play their role in the long-term supply of nitrogen to plants and mainly in preventing nitrogen losses from the soil.

Keywords: nitrogen, mineralization, soil, nitrogen fertilizers, slow – release fertilizers

Obsah

1 Úvod	1
2 Cíl práce	1
3 LITERÁRNÍ REŠERŠE	2
3.1 Koloběh dusíku v přírodě	2
3.2 Zdroje dusíku pro rostliny	3
3.2.1. Biologická fixace dusíku	4
3.2.1.1 symbiotická fixace dusíku	4
3.2.1.2 nesymbiotická fixace dusíku	5
4 Dusík v půdě a jeho přeměny	6
4.1 Mineralizace	7
4.1.1 Amonizace.....	9
4.1.2 Nitrifikace.....	11
4.1.2.1 Autotrofní nitrifikace.....	11
4.1.2.2. Heterotrofní nitrifikace	12
4.2 Denitrifikace	13
4.3 Ztráty dusíku z půdy	14
5 Příjem dusíku a jeho přeměny v rostlinách	15
5.1 Význam dusíku v rostlinách	17
5.1.1 Nedostatek dusíku	18
5.1.2 Nadbytek dusíku	19
6 Minerální hnojiva	20
6.1 Minerální dusíkatá hnojiva	21
6.1.1 Dusíkaté hnojivo s ledkovým dusíkem.....	22
6.1.2 Dusíkatá hnojiva s amonným dusíkem	22
6.1.3 Hnojiva se dvěma formami dusíku	24
6.1.4 Dusíkatá hnojiva s organickým (amidovým) dusíkem.....	26
7 Dusíkatá hnojiva pozvolně působící	28
7.1 Pozvolna rozpustné sloučeniny - BDFs	29
7.2 Obalovaná hnojiva - CRFs	30
7.3 Hnojiva stabilizovaná	32
7.4 Výhody a nevýhody PP hnojiv	34
8 Závěr	35
9 Seznam použité literatury	36

1 Úvod

V zemědělské praxi je dusíku věnována největší pozornost, poněvadž nejvíce ovlivňuje tvorbu výnosu, je tzv. motorem růstu a významně se podílí na tvorbě biomasy.

Minerální hnojiva jsou v dnešní době hlavním zdrojem výživy rostlin, neboť půda je často ochuzována o organickou hmotu (hnůj, kejda, aj.) v důsledku snižujícího se stavu hospodářských zvířat. V souvislosti s nižší produkcí krmiv pro hospodářská zvířata nadále klesají osevní plochy bobovitých rostlin, které zúrodňují půdu a zanechávají velké množství kvalitních posklizňových zbytků s vysokým obsahem dusíku.

Postupným vývojem je rostlinná produkce stále více zintenzivňována v důsledku narůstání lidské populace s potřebou vyšších nároků na výživu a také z důvodu konkurenceschopnosti. Tento trend neustálého růstu za cílem maximálního výnosu však neodpovídá dynamice přirozeně regenerujícím se půdním procesům neboli zachování půdní úrodnosti a tím stoupá vyšší potřeba minerálních hnojiv. Druhou problematikou zůstává efektivita využití dusíkatých minerálních hnojiv, která hraje důležitou roli především v minimalizaci negativního dopadu na životní prostředí a také se odráží v ekonomice zemědělského podniku. Základní strategie volby daného hnojiva a dosažení požadované efektivity vychází z dobré znalosti zákonitostí o přeměnách dusíku v půdě daného agronoma.

Jednou z cest pro lepší využití minerálních dusíkatých hnojiv bez zbytečných ztrát dusíku je používání pozvolně působících hnojiv a stabilizovaných hnojiv, která se však zcela ještě nestala běžnou součástí v systému hnojení většiny zemědělských podniků kvůli vysoké ceně.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je zpracování literární rešerše zaměřené na přeměny forem dusíku v hnojivech po jejich aplikaci do půdy. Pozornost bude zaměřena i na hnojiva obsahující inhibitory nitrifikace či ureázy a na pozvolně působící hnojiva.

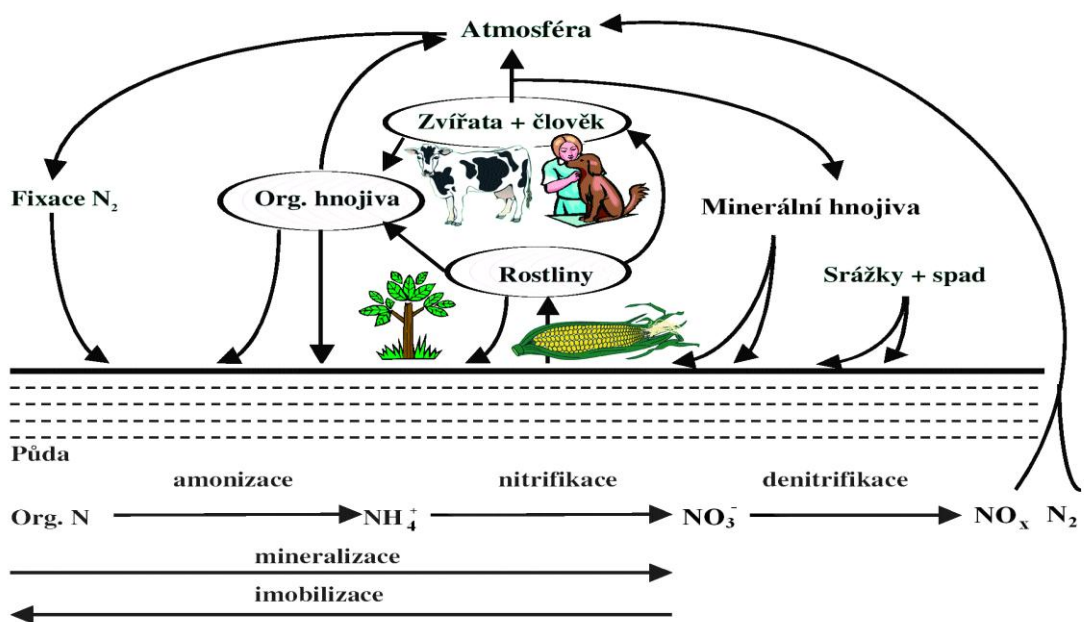
3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 Koloběh dusíku v přírodě

Dusík patří spolu s uhlíkem, kyslíkem a vodíkem mezi základní makroprvky, které jsou nedílnou součástí živých soustav. Tyto prvky se podílejí na tvorbě organických látek nezbytných pro stavbu organismů a biochemické pochody. Dusík je významnou živinou nejen pro rostliny, ale i pro půdní mikroorganismy a představuje významnou složku bílkovin, enzymů, fosfatidů, chlorofylu, nukleových kyselin, alkaloidů a mnoho dalších sloučenin.

Celkové množství dusíku na naší planetě odhadem stanoveno na $1,68 \cdot 10^{17}$ tun, přičemž největší podíl celkového dusíku zaujímá litosféra (98 %), malý podíl (2 %) se nachází v atmosféře a velmi malé množství dusíku připadá na hydrosféru a biosféru. Převážná část dusíku na Zemi je pevně vázána a jen malé procento N je schopné přeměn pro následné využití živými organismy (Balík a kol., 2012).

Uzavřený koloběh biogenních prvků se nachází v přirozených ekosystémech, kdežto v agrosystémech dochází k narušování celistvosti tohoto cyklu. Zásahem člověka dochází k odčerpávání živin sklizněmi kulturních plodin a půda se stává náchylná ke ztrátám živin vlivem eroze, infiltrace a úniku (Matousch a Vostal, 1988). Úkolem každého agronoma by mělo být adekvátně zasahovat do přirozeného koloběhu prvků, aniž by byla hrubým způsobem porušena rovnováha mezi vstupy a výstupy daného prvku v rostlinné produkci a tím předejít následnému negativnímu působení na životní prostředí.



Obrázek 1 - Koloběh dusíku (Vaněk a kol., 2016).

3.2 Zdroje dusíku pro rostliny

Atmosférický dusík, který ve složení vzduchu zaujímá 75,51 %, je jedním ze zdrojů půdního dusíku. Forma elementárního plynného dusíku je pro většinu rostlin nepřijatelná, tudíž jedna z cest převodu dusíku do biocenózy nastává vznikem oxidů při bouřkách s následnou oxidací na kyselinu dusičnou, která se spolu s deštěm dostává do půdy (Hruška a Oulehle, 2008). Oxidy dusíku a amoniak nacházející se v atmosféře mohou také vznikat činností bakterií nebo vlivem člověka a do půdy se rovněž dostávají pomocí srážek nebo spadem pevných částic (Matousch a Vostal, 1988). Dusíkaté atmosférické depozice dopadají nejdříve na vegetační pokryv, tudíž se listová plocha stává iniciačním vstupem do ekosystému foliární absorbcí dusíku (Arntzen a Ritter, 1994). V podmínkách ČR přísun dusíku ve srážkách a pevných spadech se pohybuje okolo 20 kg N/ha za rok (Šarapatka, 2010).

Další cestou může být fixace vzdušného dusíku mikroorganismy, která je velmi významná v získávání dusíku pro rostliny, o níž je pojednáno v kapitole 3.2.1.

Půdní dusík v přirozeném koloběhu podléhá přeměnám vlivem působení mnoha faktorů a tím kromě jiného mohou být pokryty potřeby rostlin. Podstatnou zásobárnu dusíku tvoří půdní organická hmota, v níž je zabudováno velké množství sloučenin s aminoskupinami. Tyto organické látky však musí projít mineralizací za pomoci mikroorganismů, aby dusík mohl být plně využíván jako zdroj výživy. Mineralizační děje jsou podrobně vysvětleny v kapitole 4.

V rámci této kapitoly lze vzít v úvahu také půdní edafon, neboť mikroorganismy do svých těl ukládají velké množství živin především dusíkaté látky, které jsou po jejich odumření uvolňovány a částečně zpřístupňovány rostlinám (Šarapatka, 2010).

S postupným rozvojem nauk o výživě rostlin a péči o půdu, se začala v rostlinné produkci běžně používat hnojiva (minerální a organická), která lze považovat jako další možný zdroj dusíku.

Podíl dusíku osiva a sadby, byť tento vstup není velký, je třeba také uvést, poněvadž dusík osiva a sadby hraje důležitou roli při klíčení rostlin a v následném výnosu plodin (Matousch a Vostal, 1988).

3.2.1. Biologická fixace dusíku

Biologickou fixací dusíku se rozumí převod atmosférického dusíku do biosféry neboli přeměna vzdušného dusíku na amoniak katalyzovaný enzymem nitrogenázou za pomoci mikroorganismů. Jedná se o velmi důležitý biochemický děj v přirozeném koloběhu prvků v přírodě. Schopnost této přeměny mají mikroorganismy, které taxonomicky patří mezi sinice a bakterie zahrnující různé druhy žijící v odlišném prostředí jako jsou anaerobní bakterie (*r. Clostridium*), fakultativní bakterie (*r. Citrobakter*), anaerobní bakterie (*r. Azospirillum*) a bakterie žijící v aerobních podmínkách, kde je hlavním zástupcem *Azotobakter* (Möllerová, 2006).

Fixátoři dusíku jsou výlučně prokaryotické organismy a podle své schopnosti metabolizovat dvojjadrovou molekulu dusíku se nazývají diazotrofové (Šimek, 2008).

Vaněk a kol. (2016) uvádějí, že enzym nitrogenáza, která redukuje dvojjadrovou molekulu dusíku nejspíše přes diamid, hydrazin až na amoniak, je složena ze dvou komponent. Skládá se z bílkovinné složky Fe - proteinu obsahující železo a síru po čtyřech atomech, na něž se váže Mg - ATP, mající význam v přenosu energie a elektronů na druhou část enzymu tzv. Mo - Fe - protein, který je složen ze dvou atomů molybdenu, třiceti atomů síry a železa, kde již probíhá vlastní redukce dusíku. Dle Šarapatky (2010) tato redukční rovnice potřebuje energii ve formě ATP, přičemž je potřeba 10 molekul na 1 molekulu vytvořeného NH₃.

3.2.1.1 Symbiotická fixace dusíku

V podmínkách ČR je pro nás významná fixace vzdušného dusíku hlízkovými bakteriemi (*r. Rhizobium*) žijících v symbióze s bobovitými rostlinami (č. *Fabaceae*), z nichž jsou pro nás hospodářsky důležité luskoviny a píce (Möllerová, 2006). U rostlin čeledi *Fabaceae* disponuje schopností symbiotické fixace nejspíše 90 % druhů, přičemž u kvalitních porostů jetele a vojtěšky dosahuje fixace hodnot 200 – 250 kg N/ha za rok a u jednoletých bobovitých 40 – 80 kg N/ha za rok (Vaněk a kol., 2016).

Lze usuzovat, že pěstování bobovitých rostlin může být ekonomicky výhodné z hlediska malé potřeby minerálních hnojiv a také ekologické, avšak se musí dát pozor po sklizni, kdy přemíra minerálního dusíku po snadné mineralizaci z rostlinných zbytků může napáchat škody v životním prostředí.

Bobovité rostliny jsou schopny krýt svou celkovou potřebu dusíku symbiotickou fixací až z 85 %, pokud jsou splněny vhodné podmínky, a to – strukturní půdy s dostatečnou aerací se slabě kyselou až slabě zásaditou reakcí a dostatek živin s důrazem na fosfor, draslík a mikroprvky (Vaněk a kol., 2016).

Aktivita hlízkových bakterií se snižuje s velkým množstvím minerálního dusíku v půdě, proto je kontraproduktivní hnojení bobovitých rostlin dusíkatými hnojivy, ale neplatí to v případě špatných stanovištních podmínek, kde lze doporučit startovací dávku dusíku. Pokud hlízkové bakterie nejsou v půdě přítomny v dostatečném počtu, k symbiotické fixaci dochází omezeně a rostlina si musí potřebný dusík opatřit z jiných zdrojů, proto se z tohoto důvodu provádí tzv. očkování semen bobovitých rostlin zejména na těch půdách, kde se daná plodina ještě nepěstovala (Baier, 1982).

Dle Mollerové (2006) rostliny do svého půdního okolí vylučují látky, tzv. kořenové exudáty obsahující fenoly, na které bakterie reagují tím, že tvoří cytokininy (tzv. regulátory buněčného dělení), jimiž navodí změny kořenových vlásků a poté bakterie mohou pronikat do kořenů. V primární kůře kořene nastává buněčné dělení, při kterém vznikají hálky obsahující růžové barvivo leghemoglobin. Účinnost fixace záleží na množství vytvořených hlízek (hálek) na rostlině a na její hostitelské, fotosyntetické aktivitě.

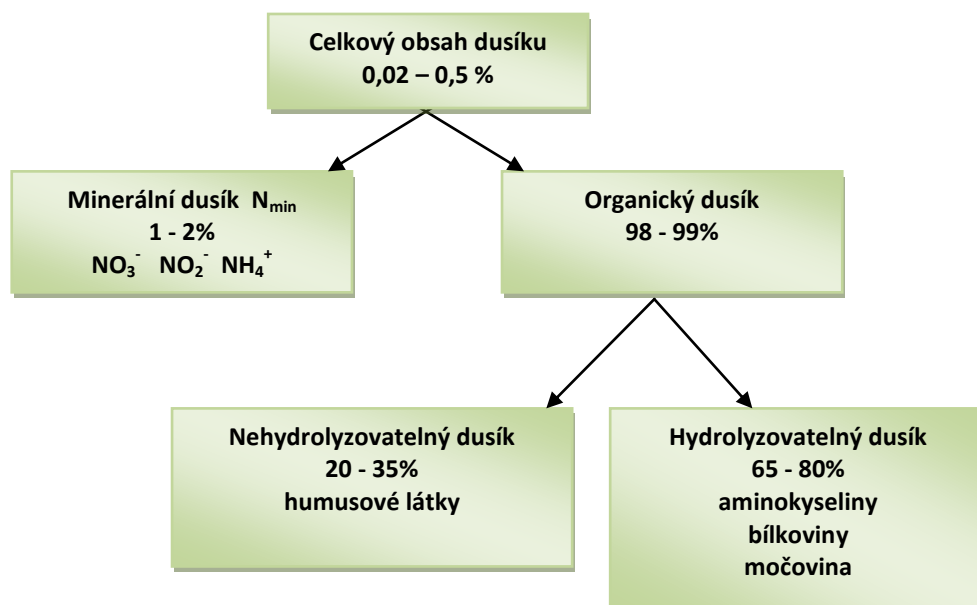
Rostlina tedy mikroorganismům poskytuje živiny a energii, ty jí naopak předávají velký podíl fixovaného dusíku. Díky této symbiotické fixaci hlízkovitými bakteriemi jsou bobovité rostliny považovány za největší exportéry dusíku, a tím velmi ceněny ve výživové oblasti.

3.2.1.2 Nesymbiotická fixace dusíku

Poutání vzdušného dusíku bez symbiotické vazby na rostlinu zajišťují především půdní bakterie. Tento proces probíhá prakticky na celé ploše půd a je výrazně ovlivňován podmínkami prostředí (Vostal a Matousch, 1988). Hlavní zástupce volně žijících bakterií Azotobakter vyhledává ornou půdu s neutrálním pH a vyšším obsahem organických látek. Průměrná biologická fixace volně žijícími bakteriemi se pohybuje v rozmezí 5 – 10 kg N/ha, přičemž k intenzivnější fixaci dochází při vyšší teplotě a vlhkosti (Mikanová a Šimon, 2013). Tento přirozený proces ovšem není příliš ovlivnitelný, protože se váže na dané stanovištní podmínky a množství takto fixovaného dusíku je nízké, proto se mu nepřikládá tak velký význam.

4 Dusík v půdě a jeho přeměny

Dle Šarapatky (2010) se obsah dusíku v půdě pohybuje od 0,02 do 0,5 % (průměrně 0,15 %). Dle mnohých autorů včetně Arntzena a Rittera (1994) frakce minerálního dusíku v půdě, která je dostupná pro rostliny, v daném čase nepřesahuje 1 % z celkového N a běžně se dusík stává nedostatečnou živinou, jelikož většina dusíku je zabudována do organické hmoty nebo fixována v jílových minerálech. Vaněk a kol. (2016) uvádějí, že množství minerálního dusíku v půdě se mění s odběrovým normativem rostlin, hnojením, zásobou organických látek, povětrnostními a stanovištními podmínkami.



Obrázek 2 – Frakce dusíku v půdě (Šarapatka, 2010; Vaněk a kol., 2016).

Organicky vázaný dusík zaujímá 98 – 99 %, který však nejprve musí projít rozkladnými a mineralizačními procesy, aby mohl být pro rostliny dostupný. Ke zdrojům organické hmoty patří odumřelé rostlinné a živočišné zbytky, humusové látky (fulvokyseliny a látky nehumínové povahy), biomasa mikroorganismů s jejich metabolity aj. V níže přiložené tabulce je názorně uvedena doba rozkladu jednotlivých typů organické hmoty.

typ organické hmoty	doba rozkladu
Kořínky	1 - 3 týdny
zelené hnojení	1 - 4 měsíce
posklizňové zbytky	3 - 30 měsíců
Fulvokyseliny	2 - 40 let
humínové kyseliny	200 - 4000 let

Tabulka 1 – Rozklad organické hmoty (Šarapatka, 2010).

Pro rostliny z hlediska výživy je důležitá minerální část dusíku v jeho amonné a dále dusičnanové formě. V půdách, obzvláště těžkých, je však významná část dusíku ve formě kationtu amonného zabudována v jílových minerálech a na výživě rostlin se nepodílí (Vaněk a kol., 2016). V úrodných půdách je zpravidla zastoupení hydrolyzovatelného dusíku vzhledem k celkovému množství dusíku vyšší, zatímco v neúrodných půdách je tento poměr opačný (Bielek, 1984). Je zřejmé, že i v horších podmínkách stanoviště zůstává větší část dusíku v primární organické hmotě.

Dle Arntzena a Rittera (1994) probíhá v půdě mnoho pozvolných dějů, nacházejících se v různých reakčních stupních a jedná se o tyto procesy:

- **Mineralizace** – získávání minerálních forem dusíku z organické hmoty, zahrnující amonizaci a nitrifikaci
- **Denitrifikace** – mikrobiální transformace nitrátů na plynné formy dusíku
- **Organická imobilizace** – amonné a nitrátové ionty jsou vázány do organických sloučenin resp. využívány rostlinami
- **Volatilizace** – ztráta dusíku resp. amoniaku z půdy nebo listů rostlin
- **Fixace amoniaku** – amonné ionty jsou zabudovány do půdních jílových minerálů
- **Vyluhování (vyplavování)** – pohyb nitrátů a dalších pohyblivých částic půdním profilem

4.1 Mineralizace

V rámci koloběhu dusíku probíhají v půdě dva důležité protichůdné děje – mineralizace a imobilizace. Při mineralizaci dochází k přeměně organicky vázaných prvků na formy

minerální, které jsou pro rostliny přijatelné, zatímco při imobilizaci jsou minerální formy fixovány mikroorganismy a zabudovány do organických sloučenin (Osman, 2013).

Dle Šarapatky (2010) oba dva děje probíhají současně, přičemž převažující imobilizaci značí pokles minerálního dusíku v čase, zatímco rostoucí zásoba dusíku indikuje intenzivní mineralizaci. Pro tyto dva děje je velmi důležitý poměr C:N organické masy. Dochází-li ke zvyšování tohoto poměru na hodnotu 30:1 a více, tak dochází k zabudování dusíku do organických sloučenin neboli imobilizaci. Naopak pokud je tento poměr pod 20:1, pak nastává uvolňování minerálního dusíku. Pokud jsou hodnoty v poměru C:N v rozmezí 20 - 30:1 nedochází ani k mineralizaci ani k imobilizaci dusíku.

Mineralizace je exotermický proces, který je spojen s uvolňováním energie (Vaněk a kol., 2009). Rostlinné a živočišné zbytky obsahují mnoho odlišných tříd organických sloučenin, jež podléhají mineralizaci v různých stupních a uvolňují odlišné produkty v závislosti na podmínkách prostředí. V rámci tématu je pro nás však důležitý rozklad bílkovin, kterým se uvolňují aminokyseliny podléhající dalším změnám, kde konečnými produkty jsou H_2O , CO_2 , NH_4^+ , NO_3^- , SO_4^{2-} (Osman, 2013).

Dle Vaňka a kol. (2016) na mineralizační proces má významný vliv množství vody a teplota půdy. Při teplotě kolem 0 °C je mineralizace velmi malá a s rostoucí teplotou se výrazně zvětšuje a vysoké intenzity dosahuje především v oblastech nad 30 °C. Každá změna o 10 °C se mineralizace urychlí dvakrát až třikrát.

Pozitivním faktorem na mineralizaci je střídání sucha a vlhka. Po dobu sucha dochází k uvolňování lehce rozložitelných organických sloučenin z jílovitých ochranných obalů a po navlhčení se mineralizační proces rychle aktivuje. Také v důsledku suchého období dochází k většímu odumírání živých mikroorganismů (Bielek, 1984).

Fu et al. (1986) zjišťovali při pokusu rychlost mineralizace na třech vzorcích půdy v odlišném prostředí, které jednotlivě měly hodnoty pH 4, 6 a 8. Dospěli k závěru, že rychlost mineralizace narůstá se zvyšujícím se pH, tudíž nejrychleji probíhá ve vzorku s hodnotou pH 8, což značí mírně alkalické prostředí.

Je důležité zmínit pojem tzv. priming effect, jehož podstatou je uvolňování půdní organické hmoty po přidání jiných lehce rozložitelných organických látek, které stimulují nárůst a činnost mikroflóry. Tudíž po podání minerálních dusíkatých hnojiv dochází k intenzivní mineralizaci dusíku z půdních organických látek a tato závislost je lineárně rostoucí (Bielek, 1984).

Dle Fecenka a Ložka (2000) se v průběhu vegetace z půdních zásob zpřístupní 90 - 200 kg N/ha v závislosti na půdním typu. Nehnojené půdy, např. podzoly a zasolené půdy vykazují nízkou intenzitu mineralizace, zatímco vysokou míru mineralizace lze očekávat v černozemích, hnědozemích, fluvizemích, atd.

Balík a kol. (2010) uvádějí, že v průběhu roku dochází ke značným změnám v obsahu minerálního dusíku (N_{min}) v půdě a lze očekávat tzv. maxima a minima. Na jaře dochází k oteplování, přičemž se mikrobiální činnost zvyšuje a obsah minerálního dusíku dosahuje tzv. jarního maxima. Naopak v létě těsně před sklizní a po sklizni nastává minimum N_{min} v důsledku průběžného odběru N rostlinami a postupným snižováním mineralizace. Na podzim obsah N_{min} opět stoupá do tzv. podzimního maxima díky rozkladu posklizňových zbytků a klesá na zimní minimum vlivem nízké teploty a tím útlumu mikrobiální činnosti.

Mezi hlavní významy mineralizace v rámci zemědělství patří zdroj energie pro mikroorganismy ovlivňující biologickou aktivitu a tím úrodnost půd, dále zajišťuje základní hnojivo pro rostliny, oxid uhličitý a minerální živiny. V neposlední řadě lze uvolněnou energii z mineralizace použít pro humifikaci (Bielek, 1984).

4.1.1 Amonizace

V mineralizačních procesech vlastnímu uvolnění amoniaku předchází amonizace, která se díky svému širokému spektru činitelů a definovaných podmínek stává nejuniverzálnějším procesem ze všech reakcí transformujících dusík. Na začátku těchto dějů stojí tedy rozložitelné organické látky obsahující různé aminosloučeniny, jako jsou bílkoviny, močovina, kyselina močová, kyselina hippurová a chitin. Amonizací je odštěpen amoniak z aminokyselin nebo amidů v aerobním i anaerobním prostředí, tudíž se na ní mohou podílet aerobní a anaerobní bakterie, plísňe i aktinomycety (Bielek, 1984).

Jedná se o složitý proces, kde hlavní úlohu hrají mikrobiální enzymy vyskytující se jednak v podobě endoenzymů působících intracelulárně nebo jako exoenzymy v adsorbované formě na půdních koloidech. V některých případech se do rozkladných procesů mohou zapojit i enzymy z rostlinných zbytků (Mikanová a Šimon, 2013). Pomocí proteolytických enzymů dochází tedy k rozkladu bílkovinné molekuly na peptidy, peptony až na aminokyseliny, které jsou deaminovány celou škálou enzymatických systémů (Úlehlová, 1989).

V případě, že reakce proběhne za přístupu vzduchu, konečnými produkty rozkladu jsou oxid uhličitý, amoniak a voda. Jsou-li aerobní podmínky nedostatečné, tak se uvolňují i další sloučeniny jako merkaptany, sirovodík, organické kyseliny, aminy a jiné (Bielek, 1984).

Pokud se pro demonstraci reakce použije nejjednodušší aminokyselina glycin, tak konečnými produkty za aerobních podmínek bude kyselina mravenčí, oxid uhličitý a amoniak, kdežto anaerobní prostředí dává vznik kyselině octové a amoniaku (Vaněk a kol., 2012). Amonné ionty mohou být přímým zdrojem N pro mikroorganismy a rostliny, další část se může vázat na půdní koloidy, které zamezí případným ztrátám anebo se mohou oxidovat na nitrátovou formu (Šarapatka, 2010). Úlehlová (1989) doplňuje, že osudem amoniakálního dusíku může být volatizace v plynné formě do vzduchu nebo se může přeměnit zpět na organický dusík.

Bielek (1984) uvádí, že mezi důležité parametry ovlivňující kvantitu uvolněného dusíku, patří obsah a kvalita amonifikovaných sloučenin resp. poměr C:N. Čím více dusíku je v rozkládané látce, tím více se ho uvolňuje a naopak je zabudován do mikrobiálních těl, pokud obsahují velké množství uhlíku.

Mezi další faktory ovlivňující rychlost amonizace patří původ organické hmoty, zdali je rostlinný či živočišný, dále struktura látek (složitě či jednoduše) nebo zda se jedná o čerstvou nebo vyvělou rostlinnou hmotu.

Určitou úlohu mají také dané podmínky ekologického prostředí. Vlhkost nemá příliš velký vliv, poněvadž amonizace dokáže probíhat v širokém rozpětí od velmi nízké vlhkosti až do samotného nasycení, ale hraje roli v případě, pokud organické látky mají široký poměr C:N. Lze to vysvětlit tím, že mineralizace uhlíku má sestupnou tendenci se vzrůstající vlhkostí, proto je výhodnější nižší vlhkost, při které se C:N poměr zužuje (Bielek, 1984). Závislost amonizace na teplotě je lineárního charakteru, kdy ke zvýšení intenzity dochází se vzrůstající teplotou. Za teplotní optimum je považováno 25 – 30 °C (Vaněk a kol., 2016). Na amonizaci nepříznivě působí dlouhodobější anaerobní podmínky, které mohou způsobovat hromadění toxických produktů jako např. sirné sloučeniny a dále snižovat enzymovou aktivitu vlivem úbytku mikroorganismů neboli substrátu. Následné provzdušnění půdy vede k rychlé regeneraci a obnově procesu (Matoush a Vostal, 1988). V případě aerace panuje určitá závislost na vlhkosti, je pravidlem, že pokud jsou půdní póry zaplněny vodou, nezbyvá místo pro vzduch.

4.1.2 Nitrifikace

Nitrifikací se rozumí oxidace redukovaných forem dusíkatých látek za vzniku dusitanů a následně dusičnanů. Jedná se tedy o biologickou přeměnu amonia a organických sloučenin dusíku z redukovaných forem na oxidovanější (Šimek, 2008). Tento proces je velmi důležitý, jelikož přeměňuje málo pohyblivou amonnou formu dusíku na velmi pohyblivý dusičnanový iont, který se pro rostliny stává dobře využitelnou živinou. Dle typu nitrifikátora se nitrifikace rozděluje na autotrofní a heterotrofní. Nitrifikační reakce katalyzuje skupina nitrifikačních mikroorganismů, které uvolněnou energii využívají pro svůj metabolismus. Poněvadž se jedná o oxidační reakci, je zapotřebí dostatek kyslíku.

4.1.2.1 Autotrofní nitrifikace

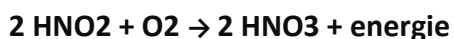
Do autotrofní nitrifikace vstupuje amoniak z amonných solí jako zdroj dusíku. První stupeň nitrifikace se označuje jako nitritace.



Rovnice nitritace, (Vaněk a kol. 2012).

Nitritační reakci vykonávají specifické nitritační bakterie jako např. *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrosococcus*, *Nitrosolobulus* a *Nitrosospira* (Bielek, 1984). Produkty prvního mezistupně nitritační oxidace jsou hydroxylamin nebo hyponitrit, které dále pokračují v oxidaci na dihydroxyamonium a kyselinu dusitou (Mikanová a Šimon, 2012).

Druhému stupni nitrifikace se říká nitratice, při níž dochází k přeměně dusitanu na dusičnan zahrnující sled hydratace, oxidace a dehydratace za využití bakterií rodu *Nitrobacter*.



Rovnice nitratice, (Vaněk a kol. 2012).

Nitrifikace, na rozdíl od amonizace, je velmi citlivá k podmínkám vnějšího prostředí. Půdní struktura hraje nejdůležitější roli v nitrifikačních procesech, neboť přímo ovlivňuje vodní a vzdušný režim půdy a tím intenzitu nitrifikace. Dostatek kyslíku je hlavním předpokladem pro oxidační děje, proto je velmi důležitý poměr mezi kapalnou a plynnou

složkou v půdních pórech. Optimální vlhkost se pohybuje většinou v hodnotách 50 – 70 % maximální vodní kapacity. V přesušených půdách nitrifikace téměř neprobíhá (Bielek, 1984).

Ke správnému průběhu nitrifikační reakce je důležitá velikost půdních částic tvořící aktivní povrch pro činnost nitrifikační mikroflóry. Strukturní půda, s předpokladem dobrých biologických podmínek, je tvořena půdními agregáty o velikosti částic 1 - 10 mm (Šimek, 2008). Pokud jsou splněny všechny parametry dobré struktury půdy, lze očekávat intenzivní činnost nitrifikačních bakterií.

Za optimum lze považovat slabě kyselé až zásadité prostředí, přičemž pod hodnotou pH 5,5, oxidace dusíku je značně zpomalena. Rychlost nitrifikace klesá s poklesem teploty. Teplotní optimum se pohybuje v rozmezí 25 – 30 °C a zcela ustává pod 5 °C (Vaněk a kol., 2016).

Dle Bielka (1984), nachází-li se v půdě vyšší obsah snadno rozložitelných dusíkatých organických látek, autotrofní mikroflóra se potlačí a aktivuje se až tehdy, kdy amonifikační bakterie tuto organickou hmotu rozloží. Čím více substrátu se v půdě nachází, tím více se nitrifikace zintenzivňuje, avšak příliš vysoká hladina amoniaku může být pro nitrifikační mikroflóru toxická. Důsledkem zvýšené hladiny amoniaku může nastat hromadění dusitanů v půdě, což se stává například po aplikaci dusíkatých minerálních hnojiv s obsahem amonné formy dusíku. Tím dojde k toxickému působení pro nitratační bakterie a následně se nitrifikace inhibuje. Proto lze snadno vydedukovat, že se vždy musí co nejvhodněji korelovat dávka minerálního dusíkatého hnojiva vzhledem k půdním podmínkám, aby nebyl podporován tento nežádoucí jev.

4.1.2.2. Heterotrofní nitrifikace

Produkce nitritů nebo nitrátů může probíhat i za pomoci heterotrofních organismů zahrnující určité bakterie a širokou škálu hub - mikromycety. Jedná se o mikroorganismy, které využívají pro tvorbu uhlíkového skeletu organické látky.

Nitrifikace probíhá převážně autotrofními mikroorganismy, poněvadž oxidují dusík s vyšší intenzitou než heterotrofní nitrifikátoři, kteří pro získání energie využívají více zdrojů. Nízká aktivita heterotrofních nitrifikátorů může být vykompenzována vysokým zastoupením v půdě (Bielek, 1984).

Dle Šimka (2007) heterotrofní nitrifikace nabývá na významu v některých půdách nebo za určitých podmínek. Například dominantního postavení v oxidaci dusíku může zaujímat v kyselých půdách nebo při nízké aeraci, při které autotrofní nitrifikace neprobíhá.

4.2 Denitrifikace

Pod pojmem denitrifikace se nejčastěji rozumí redukce oxidovaných forem dusíku (NO_3 a NO_2^-) na plynné sloučeniny (N_2O , NO a N_2), která probíhá dvěma cestami, a to fyzikálně - chemickými reakcemi nebo biologickými procesy.

Respirační denitrifikace je typickým biologickým procesem probíhající za nepřítomnosti nebo sníženého obsahu kyslíku. Fakultativně anaerobní mikroorganismy (rody *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus*, *Microccus*) využívají kyslík nitrátů nebo nitritů k respiraci a dusík slouží jako akceptor vodíku (Úlehlová, 1989).

Dle Vaňka a kol. (2012) se jedná o velmi složitý proces, který je v závislosti na rozmanitých podmínkách ovlivňován mnoha faktory a interaguje s dalšími probíhajícími procesy, přičemž může vznikat širší škála produktů. Příznivé podmínky pro denitrifikaci nastávají v přítomnosti nitrátů a lehce rozložitelných organických látek, které rychleji podléhají denitrifikačním reakcím při neutrálním až mírně alkalickém pH v půdě. Úlehlová (1989) doplňuje, že denitrifikace je intenzivnější v rhizosféře než na ostatních místech půdy, jelikož se v okolí kořenů nachází dostatek organických látek v podobě kořených výměšků a rostlinných zbytků.

Řetězec níže znázorňuje obecnou redukci dusíku nastávající při respirační denitrifikaci.



Redukce dusíku, (Fecenko a Ložek, 2000).

V rámci koloběhu dusíku se konečné produkty respirační denitrifikace, oxidy dusíku a molekulový dusík, uvolňují do atmosféry. Pokud je obsah kyslíku velmi nízký, tak se z půdy uvolňuje především N_2 jako konečný produkt denitrifikace. Oxidy dusíku jsou produkovány především v polních podmínkách, kde půdní saturace kyslíkem kolísá. V rámci bilance dusíku v zemědělských systémech řadíme respirační denitrifikaci k možným ztrátám dusíku z půdy, která činí 5 - 15 kg N/ha za rok, avšak tato hodnota může dosahovat až 30 - 60 kg N/ha za rok

v zamokřených a neprovzdušněných půdách s vysokými dávkami dusíkatých hnojiv (Šarapatka, 2010).

Pod pojmem nspecifická denitrifikace se ukrývá redukce minerálního dusíku na amoniak, který se následně zabudovává do proteinové struktury denitrifikujícího organismu, což je v podstatě běžný proces asimilace dusíku živým organismem (Bielek, 1984). Rozdíl oproti respirační denitrifikaci je v tom, že mikroorganismus přijímá dusičnan v aerobních podmínkách a redukce dusíku není využita při procesu zisku energie, ale pro buněčnou stavbu. Tímto mechanismem dochází k zabezpečení dusíku před únikem z půdního prostředí.

V půdě může také probíhat chemodenitrifikace bez účasti mikroorganismů zahrnující systémy chemických reakcí, ve kterých hraje roli nestabilita kyseliny dusité a dusitanů v přítomnosti amidů a aminokyselin. K těmto reakcím se nepřikládá velký význam, protože neprobíhají příliš často (Vaněk a kol., 2016).

4.3 Ztráty dusíku z půdy

Ztráty dusíku z půdy patří mezi nejzávažnější problémy v zemědělství mající dopad na životní prostředí, ekonomiku a oblast týkající se hygieny a toxikologie.

Dusík z půdy může unikat několika způsoby, mezi něž patří: denitrifikace, volatizace amoniaku, vyplavování, odnos v biomase nebo eroze. O některých možnostech úniku dusíku bylo již zmíněno výše v textu.

Při vyplavování dusíkatých látek hraje významnou roli dusičnanový iont, poněvadž je v půdním profilu velmi dobře pohyblivý a není schopný v půdě specificky sorbovat. K vyplavování dochází v půdách, které jsou náchylné k hromadění dusičnanů vlivem vhodných podmínek pro nitrifikační procesy za současného působení dalších klimatických faktorů daného stanoviště jako např. zrnitostní složení, vodní a vzdušný režim atd. Konkrétně se jedná především o písčité, štěrkovité půdy v období silných dešťů nebo při nadměrném zavlažování. Tímto procesem se dusičnany dostávají do spodních vod a způsobují eutrofizaci, která se negativně odráží na kvalitě životního prostředí (Terman, 1980).

Z důvodu možného smyvu dusičnanů ze zemědělských ploch se musí v zemědělské praxi používat dusíkatá hnojiva podle pravidel vycházející z nitrátové směrnice zajišťující ochranu vod a vodních zdrojů, která vymezuje např. období zákazu hnojení (mimovegetační),

hnojení podle stanovištních podmínek, skladování hnojiv, hospodaření na svazích a u vod (Klír a Pišanová, 2014).

Další možností ztráty dusíku z půdy je vodní eroze, která je často spojována se svahovitostí terénu a intenzitou vodních srážek daného prostředí. Jedná se o ztrátu půdního materiálu bez bližší specifikace formy dusíku (Bielek, 1984).

Značná část dusíku je také obsažena ve sklízených produktech, které se většinou vyváží ze zemědělského podniku s výjimkou pastevních systémů, kde se může až 85 % navrátit ve formě exkrementů chovaných zvířat (Šimek, 2008).

Volatilizace amoniaku je proces, při kterém plynný amoniak uniká z půdy do ovzduší obvykle po hnojení močovinou, bezvodým čpavkem a organickými hnojivy, zvláště pokud nejsou zapravena do půdy (Šimek, 2008). Ke zvýšené produkci plynného amoniaku přispívají určité podmínky daného stanoviště jako např. vysoké pH půdy, při kterém dochází k zesílení nasycování sorpčního komplexu vápníkem resp. hořčíkem, tudíž se snižuje sorpce amoniaku. Alkalicky působí také sodík a draslík, kdy s jejich vzrůstající koncentrací obzvláště při zasolování půdy, může dojít k aktivaci volatilizace mnohem intenzivněji než při působení vápníku a hořčíku (Bielek, 1984). Dalším významným faktorem je suché a teplé počasí, které napomáhá k zintenzivnění rozkladu močoviny a úniku amoniaku do ovzduší, proto přidávkem inhibitoru ureasy k močovině je možné zabránit těmto ztrátám dusíku a zlepšit tak využitelnost hnojiva (Pišanová a Růžek, 2006).

5 Příjem dusíku a jeho přeměny v rostlinách

Rostliny přijímají dusík především z půdy v iontové formě, je jím kationt amonný nebo aniont dusičnanový. O příjmu těchto iontů rozhoduje sama rostlina v závislosti na daných podmínkách jako je např. půdní reakce, teplota, vlhkost a aerace půdy (Pavlíková a kol., 2008). Dle Baiera (1982) příjem aniontu dusičnanového převažuje při kyselém pH a příjem kationtu amonného může být vyšší v neutrálním a zásaditém prostředí. Jedno z vysvětlení může spočívat v tom, že při hnojení ledkovými hnojivy se do půdy nedostávají kyselinotvorné anionty, které však bývají obsaženy v hnojivech s amoniakální formou dusíku (např. SO_4^{2-}).

Je důležité zmínit, že rostlina může do určité míry přijímat dusík i v jiných formách jako jsou malé molekuly organických dusíkatých sloučenin (aminokyseliny, močovina). Ve všech

případech se jedná o aktivní elektrogenní příjem, nicméně pouze amoniak NH_3 může fosfolipidovou membránou difundovat (Pavlíková a kol., 2008).

V půdách disponujících dobrými podmínkami pro nitrifikaci a tam kde je vysoká mikrobiální činnost, dochází k rychlé oxidaci amonného dusíku na nitrátový, tím převažuje příjem nitrátového aniontu, který je v půdním profilu dobře pohyblivý a rostliny jej snadno přijímají (Vaněk a kol., 2016).

Dle Fecenka a Ložka (2000) nižší teplota snižuje příjem nitrátového iontu a naopak stimuluje příjem kationtu amonného, poněvadž při nízkých teplotách je snižená redukce nitrátů v rostlině, zabudování NH_4^+ do organických sloučenin z amoniakálních hnojiv je intenzivnější než při nitrátové výživě.

Dle Baiera (1982) přívod nitrátového iontu jednak podporuje příjem kationtů K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} a také při redukcí nitrátů v rostlině vznikají OH^- ionty, kdy jejich část může být do půdy převedena ve formě HCO_3^- a tím alkalizovat prostředí. Pokud rostlina přijme NH_4^+ nastane okyselující efekt po zabudování do neutrální organické molekuly, přičemž vyloučené H^+ ionty způsobí v půdě pokles pH. Z toho důvodu je nutné se vyhnout extrémní výživě pouze jednou dusíkatou formou, která by zapříčinila iontovou nerovnováhu a ohrozilo by tak příjem dalších živin.

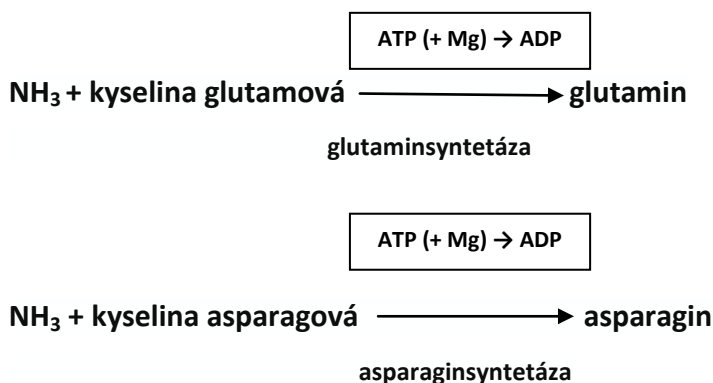
Dle Fecenka a Ložka (2000) se kationt amonný po přijetí rostlinou metabolizuje na amoniak a ten se dále zabuduje do aminokyselin. V případě, že se amoniak nezabuduje do organických sloučenin, může být pro rostlinu toxický už při velmi malé koncentraci. Děje se tak v důsledku selhání metabolizujících prostředků jako např. nedostatek sacharidů nebo uhlíkatých akceptorů, nízká aktivita enzymů, deficit mikroprvků aj.

Dle Vaňka a kol. (2016) jsou rostliny vybaveny transportními mechanismy zabudovaných v buněčných membránách, přičemž v příjmu nitrátového iontu je využíván aktivní symport s vodíkovým kationtem. Tzv. vysoce afinitní transportní systém umožňuje příjem NO_3^- při nižších koncentracích a naopak transportní systém s nízkou afinitou hraje roli při vysokých koncentracích, tudíž je rostlina do určité míry chráněna před nežádoucími vlivy zapříčiněných výkyvy nízkých a vysokých hladin NO_3^- .

Dle Pavlíkové a kol. (2008) NO_3^- vstupující do cytosolu může být redukován na NH_3 , dočasně převeden do vakuoly, symplastem transportován do xylému nebo pasivně transportován zpět do rhizosféry.

Baier (1982) uvádí, že redukce dusičnanů na amonný dusík probíhá především v listech za pomoci enzymů – nitrátreduktázy a nitritreduktázy. V prvním kroku dochází v cytoplasmě k redukcí nitrátu na nitrity z účasti nitrátreduktázy, jejíž enzymatická aktivita je přímo závislá na fotosyntéze a přítomnosti molybdenu. V druhém kroku redukce probíhá v chloroplastech přes hyponitrit, hydroxylamin až na amoniak za pomoci nitritreduktázy.

Další krok vazby amoniaku na aminokyseliny znázorňuje schéma, které je uvedeno níže.



Rovnice vazby amoniaku na AMK, (Baier, 1982).

Dle Mengela a Kirkbyho (2001) se dusík v rostlinách nachází ve třech frakcích, z nichž první anorganická frakce přechází nevratným způsobem na druhou nízkomolekulární frakci, která zahrnuje aminokyseliny, amidy a aminy. Třetí frakcí jsou bílkoviny (80 – 85 % veškerého N v rostlině) a nukleové kyseliny, které spadají pod vysokomolekulární organickou frakci, která se zpětně může rozkládat ve druhou frakci. Velikost jednotlivých frakcí je ovlivňována výživou rostlin, především zásobováním rostlin dusíkem. Tyto tři etapy přeměn dusíku představují hlavní metabolické cesty dusíku v rostlinách.

5.1 Význam dusíku v rostlinách

Jak již z výše uvedeného textu vyplývá, dusík patří mezi základní stavební kameny fyziologicky důležitých sloučenin (aminokyselin, bílkovin, nukleových kyselin, chlorofylu, enzymů a redoxních systémů), tudíž má dusík jak látkový předpoklad, tak je i nosičem rostlinného metabolismu.

Bílkoviny jsou tvořeny sledem aminokyselin spojených peptidovou vazbou a nachází se především v mladých orgánech, dělivých pletivech, enzimech, nukleoproteinech a v dalších

látkách podílejících se na tvorbě biomasy. Obecně v zelených částech rostlin jsou bílkoviny přítomny především v enzymaticky činné formě, zatímco v semenech a zrnech se nacházejí hlavně zásobní bílkoviny (Baier, 1982). Dusík je také obsažen v chlorofylu, který se skládá ze čtyř pyrolových jader, v jejímž centru je hořčík. Dalšími dusíkatými látkami jsou heterocyklické sloučeniny, mezi které patří purin a pirimidin, jejichž báze spolu s ribózou a zbytkem kyseliny fosforečné tvoří nukleotidy, které jsou základem DNA neboli genetické informace rostlin.

Nároky dusíku pro rostliny jsou velmi vysoké, zvláště u rostlin, které během vegetace vytvářejí velké množství biomasy, proto vyvstávají určité rozdíly v potřebě množství dusíku mezi různými druhy rostlin, přičemž jednotlivé dávky dusíku se odvíjejí od různého období růstu a podle stanovištních podmínek. Mengel a Kirkby (2001) uvádějí, že v průběhu dozrávání přechází značná část dusíkatých látek z vegetativních orgánů (listů, stébel) do generativních orgánů (obilky, semena, plody).

5.1.1 Nedostatek dusíku

Nedostatek dusíku pro rostlinu má za následek narušení metabolismu, nedostatečnou tvorbu stavebních a funkčních bílkovin, omezený růst vedoucí ke sníženým a nekvalitním výnosům (Vaněk a kol., 2016). Viditelné jsou především příznaky v zabarvení, poněvadž je omezena tvorba chlorofylu. Postižené listy bývají vzpřímeně postaveny a chlorotické většinou na celé listové ploše, přičemž nejprve jsou světle zelené, později žluté, někdy i načervenalé vyúsťující až v nekrózy (Baier, 1982). Obvykle jsou nejdříve zasaženy nejstarší listy, poněvadž v nichž dochází k odbourávání chlorofylu, který se přesouvá do vegetačního vrcholu, na místo větší potřeby. Kombinace malých listů a nedostatek chlorofylu snižuje fotosyntézu a tím je snížena tvorba dalších rostlinných orgánů, což ovlivňuje i růst kořenů, tudíž rostlina přijímá mnohem méně živin z půdy (Vaněk a kol., 2016). Porosty s nedostatečným zásobováním dusíkem jsou tedy většinou viditelně světle zbarveny, mají nižší vzrůst, malé listy, tenké větvenité lodyhy a rychleji dozrávají (Neuberg, 1998).

Nízký obsah dusíku se projevuje různým způsobem u jiných druhů rostlin a také záleží na vývojové fázi, ve které se vždy diferencuje konkrétní část rostliny a tím ten následek absence dusíku může být rozdílný. Při demonstraci na obilninách se nedostatek dusíku projevuje

především malou intenzitou odnožování, redukováním počtem klasů na ploše a zrn v klasu a malou velikostí zrn (Baier, 1982).



Obrázek 3 - Deficit N u cukrovky (web2.mendelu.cz).



Obrázek 4 - Deficit N u kukuřice (web2.mendelu.cz).

5.1.2 Nadbytek dusíku

K tomuto stavu dochází méně často a ve většině případů bývá pro rostlinu latentní. Nadbytek dusíku působí různě podle druhu rostlin a růstové fáze rostliny, tak jako je tomu v opačném případě. Na nadbytek dusíku na počátku vegetace bývají velmi citlivé drobnosemenné plodiny (brukev, salát, zelí) dále řepa, jeteloviny, trávy a další. Proto je kladen důraz na správnou aplikaci prvních dávek hnojiv na počátku vegetačního období a dát obzvláště pozor u hnojiv s dusíkem v amonné formě, který v nadměrném množství více omezuje vzcházivost rostlinek než dusík ledkový (Vaněk a kol., 2016).

Nadbytek dusíku může způsobovat problémy s růstem kořenů, poněvadž dochází k rozvětvení kořenů v místech větší koncentrace dusíku a tím se brání v růstu hlavního kořene, což vede ke sníženému příjmu živin (Baier, 1982).

U rostlin s nadbytkem dusíku lze tedy pozorovat sytě zelenou barvu, mohutný vzrůst, řídká pletiva a zaschlé až nekrotické okraje listů (Kalina, 2005). Nadměrný růst biomasy působí negativně na celkové mikroklima rostliny, protože kvůli hustému olistění se zhoršují světelné podmínky a drží se v porostech větší vlhkost, což napomáhá k rozvinutí různých chorob zvláště plísňových (Hlušek a Richtr, 1996). Dále rostliny trpí nízkou mechanickou odolností pletiv a snadno poléhají. Ozimy a dřeviny mají větší náchylnost k vymrzání v důsledku velkého množství přírůstků a nevyzrálostí pletiv (Vaněk a kol., 2016).

Nadbytek dusíku ovlivňuje také kvalitu výsledného produktu z důvodu hromadění dusičnanů v rostlině a snížených skladovacích vlastností. U obilnin je počet klasů na jednotku plochy a počet zrn v klase zredukován, dále zrna jsou malá, avšak obsahují poměrně hodně bílkovin v důsledku nedostatečného přesunu sacharidů do zrna při zkráceném období dozrávání (Fecenko a Ložek, 2000).

6 Minerální hnojiva

Pojem hnojiva je vymezen v zákonu o hnojivech č. 156/1998 Sb. ve znění zákona č. 308/2000 Sb. Jako hnojivo je považována látka obsahující živiny pro výživu kulturních rostlin a lesních dřevin, pro udržení nebo zlepšení půdní úrodnosti a pro příznivé ovlivnění výnosu či kvality produkce.

Minerální hnojiva též nazývaná anorganická nebo průmyslová jsou sloučeniny chemického průmyslu, které se vyrábějí z přírodních surovin. V případě dusíku se jedná o přímou syntézu dusíku a vodíku za vzniku amoniaku (Vaněk a kol., 2016). Vyznačují se vysokou koncentrací živin a mnohá hnojiva kromě hlavní složky (živiny) obsahují další doprovodné komponenty užitečné pro samotnou rostlinu nebo příznivě působí na půdní úrodnost.

Minerální hnojiva slouží především jako zdroj živin, zatímco organickými hnojivy se zlepšují půdní vlastnosti. Za předpokladu dostatečného obsahu humusu a optimálního stavu půdní reakce mohou být minerální hnojiva plně účinná (Kalina, 2005).

Při hnojení minerálními hnojivy se musí zohlednit nároky rostlin a také obsah živin v půdě. Za tímto účelem se provádí agrochemické zkoušení půd a následně se vypracuje plán hnojení polních plodin. To ovšem neplatí v případě dusíku, poněvadž jeho zastoupení v přijatelné formě v půdě je velmi malé a proměnlivé, tudíž hnojení dusíkem je téměř vždy nezbytné a účinné. Jednotlivé dávky dusíku se volí podle požadavku rostlin, které dusík z hnojiva dobře využijí, proto nelze očekávat působení dusíku v dalším roce.

Základní rozdělení hnojiv podle zákona o hnojivech (vyhláška č. 474 / 2000 Sb.):

- Minerální jednosložková hnojiva
 - dusíkatá, fosforečná, draselná
 - hnojiva s vápníkem, hořčíkem a sírou (hnojiva s druhotnými živinami)

- Minerální vícesložková hnojiva
 - NPK, NP, PK
- Minerální hnojiva, která jako součásti určující typ obsahují jen stopové živiny
- Vápenatá a hořečnatovápenatá hnojiva
- Organická a organominerální hnojiva

V rámci zadání je v kapitolách níže věnována pozornost pouze minerálním dusíkatým jednosložkovým hnojivům. Pro všechna tato hnojiva platí společné, že při jejich manipulaci a skladování se musí dodržovat bezpečnostní pravidla resp. nakládat s hnojivy dle pokynů výrobce.

6.1 Minerální dusíkatá hnojiva

V dusíkatých hnojivech se dusík může nacházet ve třech formách, a to v ledkové - nitrátové (NO_3^-), amonné (NH_4^+) nebo amidové (NH_2). Aplikace hnojiva s danou dusíkatou formou (formami) závisí na pěstebních podmínkách a požadavcích rostlin, přičemž pro optimalizaci dávek je zapotřebí využít všech dostupných podkladů o stanovišti porostu, rozbořech půd a rostlin.

Tabulka 2 nám předkládá proměnlivost využití jednotlivých dusíkatých hnojiv v daných letech.

Hnojivo/rok	Procentní podíl					
	1971 (62 kg N)	1985 (101 kg N)	2000 (55 kg N)	2005 (73 kg N)	2011 (95 kg N)	2012 (99 kg N)
LAV, LAD, LAS	41,4	30,3	34,5	29,8	32,5	35,1
DASA	–	–	–	5,4	4,3	2,9
Dusičnan amonný	–	14,6	6,6	5,4	1,9	1,9
DA (roztok)	–	–	–	–	0,3	0,2
Ledek vápenatý	6,5	3,2	2,2	0,7	0,4	3,0
DAM	–	14,2	27,0	30,7	33,3	24,5
Močovina	6,6	10,2	17,0	16,1	19,8	24,8
Síran amonný	31,3	9,2	6,7	6,2	2,5	2,2
NPK a NP hnojiva	11,5	16,3	4,0	2,9	2,9	4,0
Amofosy	–	–	–	2,8	1,2	1,3
Ostatní hnojiva	2,7	2,0	2,0	–	0,9	–

Tabulka 2 - Zastoupení dusíkatých hnojiv (Vaněk a kol., 2016).

6.1.1 Dusíkaté hnojivo s ledkovým dusíkem

Ledek vápenatý (LV)

Chemické složení: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

Ledek vápenatý je základním hnojivem s ledkovou formou dusíku obsahující 15 % N, z toho 1,5 % amonného N a 20 % Ca. Jedná se o bílé granule velikosti 1 - 4 mm, které se ve vodě rychle rozpouští, na vzduchu hnojivo rychle vlhne a nemá sklon ke spékavosti (Agrofert Holding, 2004).

Ledku vápenatému se připisuje rychlý nástup účinku z důvodu velké pohyblivosti dusičnanové formy v půdě a snadné přijatelnosti rostlinami. LV je zásadité hnojivo a tudíž se doporučuje k aplikaci na kyselější půdy, čímž se zajistí lepší využitelnost ostatních živin.

LV je typické hnojivo tzv. na list v koncentraci 1 až 2 % a používá se na regenerační přihnojování ozimů, na pozdní (kvalitativní) přihnojování obilnin, na regenerační hnojení zesláblých porostů jetelovin, k přihnojení cukrovky, krmné řepy, máku, kukuřice, směsek na zeleno i k operativnímu odstranění nedostatku vápníku ve výživě rostlin (Fecenko a Ložek, 2000).

Vzhledem k dobré rozpustnosti, rychlému účinku, a tím možnému úniku dusíku do podzemních vod se doporučuje na lehkých půdách nepřekračovat dávku 45 kg N/ha (Vaněk a kol., 2016).

Výzkumem bylo prokázáno, že rostlina s odpovídajícím množstvím Ca se lépe vypořádá s biotickými a abiotickými stresy – houbové choroby, sucho, teplo, chlad. LV se tedy široce využívá v intenzivních systémech obdělávání půdy, které mají vysoký důraz na kvalitu plodin (IPNI, 2016).

6.1.2 Dusíkatá hnojiva s amonným dusíkem

Síran amonný (SA)

Chemické složení: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Snadno rozpustný síran amonný obsahuje 19 - 21 % N a 24 % S, je dostupný ve formě drobných krystalek, které jsou bezbarvé nebo zabarvené v závislosti na obsahu nečistot. Hnojivo je velmi náchylné na změny vlhkosti a teploty, které mohou vést ke ztvrdnutí, a proto se k němu přidává hydrofobizační prostředek (Agrofert Holding, 2004).

Síran amonný je po stránci složení i působení kyselého hnojivo. Rostlina po příjmu kationtu amonného uvolňuje vodíkové ionty, které jsou následně neutralizovány hydroxidovými ionty nacházející se v půdě, proto je síran amonný vhodný k aplikaci do neutrálních a alkalických půd, kde nehrozí hromadění kyselých zbytků.

Síran amonný se po zapravení do půdy rychle rozpouští a vstupuje do výměnných reakcí s kationty kapalně i pevně půdní fáze. Velká část kationtu amonného se váže na sorpční komplex, a tím se zamezí případným ztrátám dusíku (IPNI, 2012).

Vzhledem k chování amonného dusíku v půdě je vhodné SA aplikovat při základním hnojení především u plodin s pomalým počátečním růstem (např. kukuřice), přičemž bylo prokázáno, že k intenzivnějšímu nárůstu biomasy dochází při lokální aplikaci hnojiva (Tlustoš a kol., 1997).

Dle Vaňka a kol. (2016) síran amonný lze využít u plodin, které snášejí lehce kyselou půdní reakci (brambory, oves, žito) a pro svůj obsah síry je vhodný ke hnojení u brukvovitých (řepka, hořčice) a siličnatých plodin (chmel, cibule).

Bezvodý amoniak

Chemické složení: NH_3

Amoniak obsahuje 82 % dusíku a je tedy nejkoncentrovanějším dusíkatým hnojivem. Jedná se o bezbarvý plyn ostrého a dráždivého zápachu, který se vyrábí se ze směsi vodíku a dusíku tlakovou katalytickou syntézou (Laegreid et al., 1999).

V nádrži vysokotlakého aplikačního zařízení se amoniak nachází v kapalně formě, avšak při kontaktu s půdou přechází do plynné fáze za vniku hydroxidu amonného. Určitá část amoniaku se může ztratit během nebo po aplikaci, přičemž jsou rozhodující tyto faktory: vlhkost půdy, hloubka aplikace, mezery aplikačních nožů a kationová výměnná kapacita (FIFA, 2006).

Tento druh hnojiva se využívá při základním hnojení rostlin náročných na dusík na podzim za nižších teplot, kdy je omezena nitrifikace a na přihnojování řádkových kultur při meziřádkové kultivaci (IPNI, 2012).

I přes nízkou cenu, použití tohoto hnojiva není v ČR příliš rozšířené, poněvadž vyžaduje náročnou manipulaci, odbornou obsluhu, přesné podmínky aj.

6.1.3 Hnojiva se dvěma formami dusíku

Dusičnan (ledek) amonný (DA)

Chemické složení: NH_4NO_3

Ledek amonný obsahuje 34 až 35 % dusíku, z toho polovinu v nitrátové a polovinu v amonné formě. Po fyziologické stránce je hnojivo neutrální a velmi dobře rozpustné ve vodě. Vzhled krystalků je závislý na teplotě při sušení (Agrofert Holding, 2004).

Řadí se k univerzálním dusíkatým hnojivům, přičemž jeho využití je výhodné pro přihnojování během vegetace a doporučuje se hnojivo zapravovat do půdy. Využití DA je populární v zahradnictví zejména během chladnějších a sušších období v roce (FIFA, 2006).

Značnou nevýhodou tohoto hnojiva je náročnost v transportu, manipulaci a skladování, poněvadž se řadí mezi hořlaviny a výbušniny, proto je jeho prodej omezen (Gowariker et al., 2009).

Dusičnan amonný tvoří základ pro výrobu ledků s přídavkem další suroviny - vápenec, dolomit nebo síran vápenatý. Tato hnojiva obsahují vždy podobné množství dusíku.

Dusičnan (ledek) amonný s vápencem (LAV)

Chemické složení: $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$

Ledek amonný s vápencem obsahuje okolo 27 % dusíku, přibližně polovinu dusíku v ledkové formě a polovinu dusíku v amonné formě. Vyrábí se z dusičnanu amonného a jemně mletého vápence ve formě bělavých až světle hnědých granulí o velikosti 2 – 5 mm a disponuje vynikajícími fyzikálně – mechanickými vlastnostmi zaručující výbornou skladovatelnost (Agrofet Holding, 2004).

Dle Vaňka a kol. (2016) obsah pozvolně působící amonné formy a rychle působící nitrátové formy činí LAV univerzálním hnojivem, které lze použít jak před setím, tak během vegetace a je vhodný pro všechny plodiny včetně trvalých travních porostů. LAV lze použít na všech půdách včetně těch, kde panují horší podmínky (těžké půdy, nízké pH, nízká biologická činnost), poněvadž se pomocí vápníku podpoří drobtovitost půdy a tím se zlepší vodní a vzdušný režim v půdě. Výhodou LAV je možnost aplikace vyšších dávek, a tím snížení počtu vstupů. LAV je nejpoužívanější dusíkaté hnojivo v ČR.

Ledek amonný s hořčíkem (LAD)

Chemické složení: : $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{MgCO}_3$

LAD obsahuje směs dusičnanu amonného a jemně mletý dolomit s celkovým obsahem dusíku 26,2 % a hořčíku (MgO) je 3,6 %. Toto hnojivo je na trhu v podobě bělavých a světle hnědých granulí o velikosti 2 - 5 mm s upraveným povrchem proti spékavosti a jeho fyzikálně – mechanické vlastnosti mu zaručují výbornou skladovatelnost (Agrofert Holding, 2004).

LAD má široké využití, je vhodný zejména tam, kde se vyskytuje nízký obsah hořčíku. Využití hnojiva je především u plodin a kultur náročných na hořčík, jako jsou brambory, luskoviny, chmel, ovocné stromy, zelenina, vinná réva (Hlušek a Richtr, 1996).

DAM 390

Jedná se o bezbarvý roztok dusičnanu amonného a močoviny obsahující 30 % N, který je bez zápachu nebo s mírným zápachem po čpavku. Objemová hmotnost hnojiva odpovídá hodnotě 1,3, která vyjadřuje, že 100 l hnojiva má hmotnost 130 kg a z toho dusík zaujímá 30 hmotnostních jednotek, což připadá na 39 kg dusíku. Poměr jednotlivých forem dusíku v hnojivu je následující: polovina v amidové, čtvrtina v nitrátové a čtvrtina v amonné formě.

DAM 390 se používá při základním hnojení před setím nebo výsadbou především na jaře, k přihnojování během vegetace a k urychlení rozkladu zaorané slámy. Aplikaci lze provádět postřikovači a hnojivovou závlahou, případně i letecky. Při předsetové přípravě půdy lze použít nezředěný DAM 390 ke všem plodinám, aplikuje se na povrch půdy a poté je vhodné hnojivo zavlažet. Pro přihnojování během vegetace se používá buď v koncentrovaném stavu (obiloviny, řepka, travní porosty) nebo zředěný (většina ostatních plodin). Aplikuje se foliárně nejlépe za vlhkého počasí, aby nedošlo k popálení listů, tudíž se nedoporučuje aplikace na širokolisté plodiny (Fecenko a Ložek, 2000; Vaněk a kol., 2016)

Mezi výhody tohoto hnojiva patří teplota vysolování, která je až při $-10\text{ }^\circ\text{C}$, což umožní celoroční skladování nejlépe ve sklolaminátových nádržích (Agrofert Holding, 2004). Ekonomicky výhodná je možnost míchání s pesticidy, především s růstovými herbicidy, u kterých dokonce DAM 390 zvyšuje jejich účinnost za snížené dávky. Hnojivo je ceněno pro plošnou rovnoměrnou aplikaci, pro lepší hygienu práce, snadné skladování a menší znečišťování životního prostředí kvůli minimálním ztrátám v oběhu hnojiva (Kasal a kol., 2010).

Ledek síranoamonný (DASA)

Chemické složení: $\text{NH}_3\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

Jedná se o vodorozpustné hnojivo obsahující síru, přičemž podíl jednotlivých složek připadá na 13 % S a 26 % N, z čehož 8,7 % je v dusičnanové formě a 17,3 % ve formě amonné. Dodává se v granulované formě barvy šedobílé nebo béžové (IPNI, 2012).

DASA se používá především k základnímu hnojení, ale také k přihnojování (regenerační hnojení) nebo za vegetace pro doplnění výživy dusíkem a sírou. Zvláště je vhodné pro plodiny, které jsou náročné na síru, jako řepka, slunečnice, bobovité rostliny a okopaniny (Vaněk a kol., 2016).

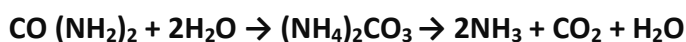
6.1.4 Dusíkatá hnojiva s organickým (amidovým) dusíkem

Močovina

Chemické složení: $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$

Močovina je nejkonzentrovanejší pevné hnojivo s obsahem 46 % dusíku v amidové formě. Vyrábí se syntézou z amoniaku a oxidu uhličitého. Hnojivo je k dostání ve formě bílých granulek, lehce rozpustných ve vodě a je povrchově upravena proti spékavosti. Amidovou formu dusíku jsou rostliny schopné přijímat jak kořeny, tak i listy při použití postřiku. V půdě probíhá její mineralizace za pomoci enzymu ureázy, který produkuje *Urobacillus pasteurie* (Addiscott, 2005).

Rozklad močoviny probíhá podle rovnice:



(Vaněk a kol., 2016).

Močovina přechází na uhličitán amonný, který se dále rozloží na amoniak, oxid uhličitý a vodu, přičemž rychlost reakce závisí na teplotě a půdních podmínkách. Močovina má tedy stejné účinky jako amoniak a měla by se používat na půdách s dostatečnou zásobou vápníku z důvodu možného okyselení půdy a je kladen důraz, aby se po hnojení dobře zapravila do půdy. Kationt amonný je půdou dobře sorbován a je buď přímým zdrojem dusíku pro rostliny anebo podléhá oxidaci na dusičnany (Laegreid et al, 1996).

Močovina vzhledem k obsahu pozvolně působící formy dusíku se především používá k základnímu hnojení, přičemž časový rozestup mezi hnojením a setím by měl být několik dní zvláště u drobnosemenných rostlin a na lehkých půdách. Roztok močoviny se také běžně používá ke hnojení na list během vegetace (FIFA, 2006). Nejčastěji se používá 1 % roztok, k obilninám i 15 % roztok močoviny (Vaněk a kol., 2016).

Z důvodu možných ztrát v podobě těkání čpavku, by se močovina neměla aplikovat za teplého, suchého počasí na lehké a alkalické půdy s malou sorpční kapacitou (IPNI, 2012).

Balík a kol. (1994) při tříletém pokusu v hnojení jetelotrávy močovinou za pomoci izotopu ^{15}N dospěli k tomu, že podíl dusíku hnojiva v jeho celkovém odebraném množství rostlinou nepřesahoval 8 %, poněvadž značná část dusíku byla imobilizována v půdní organické hmotě.

Dusíkaté vápno (DV)

Hlavní složka: CaCN_2

Dusíkaté vápno, s přívlastkem alkalizačního hnojiva, obsahuje minimálně 19,8 % dusíku a 50 % vápníku jako CaO . Účinnou složkou je tedy kyanamid vápenatý s podílem min. 40 %, přičemž dalšími složkami jsou hydroxid vápenatý (10 – 15 %), síran vápenatý (0,1 - 3 %) a karbid vápenatý nepřesahuje 0,1 %. DV vykazuje tmavě šedou až černou barvu s výrazným zápachem po karbidu (Perlka, 1997).

Jedná se o hnojivo s pozvolnějším působením, neboť se v půdě pomalu rozkládá ve dvou fázích, přičemž se nejprve v prvním kroku uvolní hydroxid vápenatý za vzniku kyanamidu, který ve druhém kroku postupně přechází na močovinu.

Vzhledem k vlastnostem je DV tedy typické hnojivo pro základní hnojení a musí se v dostatečném předseťovém předstihu zapravit do půdy, poněvadž kyanamid působí toxicky na klíčící rostlinky (Perlka, 1997).

DV je drahé hnojivo se širokým uplatněním, lze využít jako herbicid, insekticid i fungicid. Umožňuje pěstování košťálovin na půdě zamořené trvalými spory nádorovitosti, pomáhá v boji proti škůdcům (háďátka, plži, drátovci, bejlmorky, ponravy a další) a ničí i klíčící plevele (Matula, 1997).

7 Dusíkatá hnojiva pozvolně působící

Pozvolně působící hnojiva jsou definována jako hnojiva obsahující živiny pro rostliny ve formě, která oddálí příjem danou rostlinou nebo prodlouží využití významně delší dobu než je tomu u rychleji působících živin v hnojivech, jako např. ledek amonný a močovina (Masahiko, 1999).

Dle Flohrové (1989) pozvolně působící (PP) hnojiva vznikala za účelem poskytnutí optimální výživy rostlin s nejmenším negativním dopadem na životní prostředí, poněvadž intenzivní rostlinná výroba se již neobejde bez minerálních hnojiv a pesticidů. Podstata fungování PP hnojiv spočívá v pomalém a postupném uvolňování rovnoměrných dávek živin v průběhu vegetace rostlin. Hledal se takový způsob hnojení, při kterém by rostliny dostaly dávku živin na začátku vegetace v jedné aplikaci, a poté by uvolňování živin bylo usměrněné podle potřeb dané plodiny, tudíž by dané hnojení bylo efektivní a zároveň ekonomické.

Tlustoš a kol. (2007) uvádějí, že úprava chování hnojiv se řeší dvojitým způsobem a to buď přidavkem inhibitorů půdních mikrobiologických procesů ke hnojivu anebo úpravou rozpouštění hnojiva. PP hnojiva = SRFs (slow - release fertilizers) s pozměněnou rozpustností se rozdělují do dvou skupin:

- **Pozvolna rozpustné sloučeniny = BDFs (break - down fertilizers)**
- **Obalovaná hnojiva = CRFs (controlled - release fertilizers)**

Pozvolně působící hnojiva (SRFs a CRFs hnojiva) se začala využívat již od 50. let 20. století, ikdyž největší pokrok ve vývoji nastal mezi roky 1980 a 1990. První CRFs hnojiva byla striktně dusíkatá, později technologie výroby CRFs hnojiv zahrnovala i draslík, fosfor a další živiny včetně stopových prvků (Obreza et al, 2006).

Využití pozvolně působících hnojiv v dnešní době je většinou ve speciálních provozech, a to především v zahradnictví, lesnictví, údržbě travních ploch – hřišť a rekreačních ploch (Vaněk a kol., 2016).

7.1 Pozvolna rozpustné sloučeniny - BDFs

BDFs hnojiva obsahují živiny ve formě omezeně rozpustných sloučenin, případně sloučenin, z nichž jsou živiny přístupné pro rostliny až po jejich mikrobiálním rozkladu (Tlustoš a kol., 2007).

Uvolňování živin z BDFs hnojiv spočívá na základě biologického rozkladu, hydrolýzy, rozpouštění a iontové výměny, přičemž rychlost uvolňování je ovlivněna fyzikálně – chemickými vlastnostmi půdy. Tato hnojiva nejčastěji zahrnují produkty vznikající kondenzací močoviny s některými aldehydy (Trenkel, 2010).

Masahiko (1999) uvádí, že větší a těžší částice potřebují mnohem více času na rozpuštění než menší a jemnější částice daného hnojiva.

Ureaform (UF)

Jedná se o produkt kondenzace močoviny a formaldehydu s obsahem okolo 38 % N. Ureaform se používá jako jednosložkové hnojivo ve formě prášků či granulí, nebo může být mísen s jinými hnojivovými materiály a tvořit tak vícesložkové minerální hnojivo (Tlustoš a kol., 2007). Jeho využití je především v zahradnictví a hnojí sem jím trávníky, golfové hřiště, okrasné plochy a rýžová pole. V ČR je UF obsažen v dusíkatém hnojivu pod obchodním názvem Silvamix, jež vyrábí firma Ecolab Znojmo spol. s.r.o. a která je specifická tím, že uvádí na trh PP hnojiva uvolňující živiny po dobu dvou let (Šerák, 2012).

Pavlíková a Tlustoš (1994) na pokusu s mákem setým prokázali, že rostliny hnojené ureaformem se nejvíce přiblížili ideálnímu typu. Optimální obsah dusíku v době stonkování umožnil dobrý vývin lodyhy i vytvoření dostatečného počtu velkých listů a poupat, a tím pozitivně ovlivnil tvorbu tobolek i semene. V porovnání s variantou hnojenou močovinou došlo k nárůstu semene o 0,49 tun semene na hektar.

Isobutylidendočovina (IBDU)

Vzniká jako produkt kondenzace močoviny s isobutylaldehydem obsahující 31 % N, přičemž převážná část dusíku v IBDU je ve vodě nerozpustná a na rychlost uvolňování dusíku má vliv rozměr a pevnost částic IBDU. Stupeň hydrolýzy je ovlivňována teplotou, vlhkostí a pH, ale ne mikrobiální aktivitou (Masahiko, 1999). Používá se především v aplikaci při pěstování zeleniny, ovoce a rýže nebo na hnojení travních porostů (Tlustoš, 2007).

Krotonylidendimočovina (CDU)

Jedná se o pevnou látku, která se připravuje reakcí krotonaldehydu a močoviny s obsahem 32,5 % N. Počáteční zpoždění je delší než u IBDU s následným rovnoměrným uvolňováním živin. Rychlost mineralizace CDU závisí na velikosti částic, teplotě a částečně na činnosti bakterií (Masahiko, 1999). Hnojivo je vyráběno v Japonsku a v Německu, přičemž na trhu může být také k dostání pod obchodním názvem „Floramid“. Využití v agronomické praxi je obdobné jako u IBDU (Tlustoš a kol., 2007).

Močovinoacetaldehyd (Urea Z)

Jedná se o produkt kondenzace močoviny a acetaldehydu. Hnojivo utváří směs více sloučenin a to: ethylenmočoviny, ethylolmočoviny a nezreagované močoviny. Obsah dusíku připadá na 32 – 33 %. Na trhu je k dostání za nižší cenu vzhledem k levnému acetaldehydu (Tlustoš a kol., 2007).

Difurfuryltrimočovina

Toto hnojivo představuje produkt kondenzace močoviny a furfuralu s obsahem N 28,3 %. Je velmi málo rozpustná ve vodě, kde rychlost rozkladu je obdobná jako u Urea-Z (Tlustoš a kol., 2007).

Do této skupiny hnojiv lze jako příklad uvést sloučeninu i s anorganickým základem a to hydratovaný fosforečnan hořečnato – amonný (Masahiko, 1999).

7.2 Obalovaná hnojiva - CRFs

Dle Trenkel (2010) označení CRFs zahrnuje hnojiva, ve kterých faktory určující rychlost, vzor chování a dobu uvolnění jsou dobře známy a kontrolovatelné během přípravy CRF.

Obalovaná hnojiva tvoří granule konvenčního hnojiva obalené materiálem zpomalující uvolňování živin. Princip uvolňování živin u CRFs hnojiv spočívá na základě difuze nebo osmózy přes polopropustnou, celopropustnou nebo pórovitou membránu, která tvoří ochrannou vrstvu obalu hnojiva (Tlustoš a kol., 2007).

Pro přípravu anorganických obalových materiálů granulí hnojiva mohou být použity např. síra, fosforečnany, vápenec, dolomit, cement a další, zatímco z organických látek se využívá např. polymerní materiály, parafín, různé oleje, břidlice, asfalty, vosky, pryskyřice apod., případně lze vyrobit kombinaci obou typů látek obalového materiálu (Trenkel, 2010).

Největší podíl zaujímá sírou obalovaná močovina (SCU = sulphur coated urea), poněvadž se jedná o nejlevnější obalový materiál, který se snadno nanáší a navíc síra dále poslouží jako sekundární živina. Cena hnojiva po obalení sírou se zvýší přibližně o 30 – 50 %. Obsah živin připadá na 32 – 36 % N a 14 – 30 % S, dále složky obalu činí 1 – 5 %.

Trenkel (2010) uvádí, že SCU první uvedla na trh firma The Tennessee Valley Authority. Výrobní technologie spočívá v aplikaci roztavené síry pomocí spreje na částice močoviny, přičemž s cílem uzavřít trhliny, a tím snížit mikrobiální degradaci, se na částice SCU nanáší penetrační nátěr vosku a nakonec je přidán attapulgit, typ jílového minerálu, jako kondicionér.

Masahiko (1999) doplňuje, že stupeň uvolňování dusíku kolísá od různé tloušťky stěny obalu. V průměru se třetina produktu uvolňuje příliš rychle („roztržení“) a třetina příliš pomalu („zamčený zámek“). Z důvodu větší kontroly nad uvolňováním dusíku ze SCU byla použita další vrstva obalu - pryskyřice nebo termoplast. Nyní je produkt označován jako PSCU (polymer SCU), který je odolnější.

Hnojivo s pryskyřicovým obalem tzv. alkydového typu se nazývá „osmocote“. Jedná se o obalový polymerní materiál, který představuje polopropustnou membránu regulující uvolňování živin a dobu působení hnojiva (Sparks, 2004). Princip této funkce je následující: vodní páry pronikají obalem z pryskyřice k jádru hnojiva a rozpouštějí v něm obsažené živiny, které jsou pak rovnoměrně vytlačovány pryskyřičným obalem ven do okolního prostředí. Uvolňování živin probíhá kontinuálně a je ovlivňováno půdní teplotou. Rychlost uvolňování je proto přizpůsobena růstu rostlin, neboť kořeny rostlin vykazují na teplotě stejnou závislost (Flohrová, 1989).

Výrobci uvolňování živin mohou kontrolovat úpravou tloušťky povlaku nebo koncentrací aditiva v obalu řídicího uvolňování živin. Polymerní obalová technologie může být použita u celé škály hnojiv jako N-P-K, močovina, DA a další. Za normálních okolností hmotnost obalu tvoří od 10 – 20 % celkové hmotnosti.

Tlustoš a kol. (1994a) prováděli tříletý pokus ve sledování chování dusíkatých PP – hnojiv na růst a koncentraci nitrátů ve vybrané zelenině (ředkvička, mrkev, salát), přičemž vysledovali, že po aplikaci obalených ledků došlo k redukci konzumních částí zeleniny z důvodu velmi pomalého uvolňování N z hnojiva. Výsledek s kapalnými kondenzáty byl příznivější, kde u řady variant došlo k nárůstu výnosu biomasy za současného snížení obsahu nitrátů v rostlinných pletivech vzhledem ke kontrolní močovíně, proto navrhuje další technologický vývoj zaměřit na kondenzáty s úplným, časově přijatelným rozkladem.

Tlustoš a kol. (1994b) ve stejném roce provedli druhý pokus, tentokrát se přesvědčili o pozitivním vlivu obalovaných kombinovaných hnojiv na vyšší vzcházivost salátu i nižší vyplavování dusíku a bylo prokázáno vyšší využití fosforu i draslíku z obalovaných hnojiv. Nicméně výnos byl nižší v porovnání s neobaleným hnojivem kvůli nízkému uvolňování dusíku z ureaformového obalu, který byl započítán do celkové dávky dusíku.

7.3 Hnojiva stabilizovaná

Do této skupiny se řadí hnojiva, která obsahují přídavek inhibitoru nitrifikace nebo ureasy využívající se za účelem regulace mikrobiologických procesů v půdě. Podstatou je snížení aktivity bakterií po omezenou dobu přeměňující dostupné formy dusíku hnojiva a půdy. Přídavkem inhibitoru nitrifikace je omezena oxidace amonného dusíku na nitrátový a inhibitory ureasy zpomalují enzymatickou aktivitu katalyzující hydrolytické štěpení močoviny na amoniak (Tlustoš a kol., 2007).

Dle Růžka a Pišánové (2007) cílem využití inhibitorů ureasy je, aby močovina pronikla hlouběji do půdy a nedocházelo k hromadění NH_4^+ v povrchových vrstvách půdy a zároveň se omezilo akumulaci nitritových iontů, které mohou působit toxicky na klíčící semena a mladé rostlinky. K oddělení inhibitoru ureasy dochází již během transportu půdním profilem. Nejvhodnější aplikace dusíkatých hnojiv s inhibitory ureasy připadá na začátku jarní vegetace při aplikaci vyšší dávky.

Inhibitory nitrifikace se pohybují v půdním profilu společně s dusíkem za současné stabilizace amonného dusíku. Dusíkatá hnojiva s inhibitory nitrifikace se využívají především v oblastech s vyššími srážkami, na půdách s příznivými nitrifikačními podmínkami, na více

propustných půdách a u plodin s méně vstupy hnojení při vyšších dávkách (Lišťanská a Růžek, 1995).

Inhibitory zpravidla představují složité organické látky, jež se do hnojiv implementují v nízkých koncentracích a působí zpravidla od několika týdnů až po několik měsíců v závislosti na půdních a klimatických podmínkách (Trenkel, 2010).

Dle Masahiko (1999) v inhibici nitrifikace získaly praktický a komerční význam především nitrapyriin (2 – chloro - 6 - (trochloromethyl) - pyridin) a DCD (dikyandiamid). Zatímco jako inhibitory ureasy získaly na důležitosti sloučeniny NBPT nebo NBPT (N - (n - butyl) thiophosphoric diamide). Pišanová a Růžek (2007) uvádějí, že nejrozšířenějším přípravkem ve světě je Agrotein obsahující 20 % NBPT, jehož obdoba je na českém trhu k dostání pod obchodním názvem Stabiluren sloužící k úpravě močoviny nebo DAM.

Alzon 46

Jedná se o pevné hnojivo na bázi močoviny s obsahem inhibitoru nitrifikace. Celkový obsah močovinného dusíku je 46 %. Inhibitor nitrifikace se skládá ze směsi DCD a 1H - 1, 2, 4 triazolu. Využívá se pro intenzivní výživu rostlin s vysokým ekologickým efektem. Lepší využití dodaných živin umožňuje snížit dávku N až o 20 % při zachování výnosové úrovně (Agronom, 2011).

Piadin

Používá se jako stabilizátor dusíku pro organická a statková hnojiva sestávající z roztoku s kombinací účinných látek 1H - 1, 2, 4 triazolu a 3 - methylpyrazolu. Piadin zpomaluje mikrobiologickou přeměnu amonného dusíku na dusík nitrátový a lze ho použít se všemi statkovými a organickými hnojivy, která obsahují vysoký podíl amonného dusíku, nebo v nichž dochází k rychlé mineralizaci dusíku jako např. kejda, močůvka, organické zbytky z výroby bioplynu, zbytky po sklizni. Lze ho také kombinovat s pesticidy (Trenkel, 2010).

Entec 26

Jedná se o hnojivo s inhibitorem nitrifikace ENTEC s celkovým obsahem dusíku 26 % (nitrátový dusík 7,5 %, amonný dusík 18,5 %) a obsahem síry 13 % (Trenkel, 2010). Toto moderní hnojivo je dostupné v granulované formě a jeho vyšší využití dusíku umožňuje časnější termín hnojení při vyšší jednorázové dávce.

Urea stabil

Toto hnojivo obsahuje inhibitor ureázy NBPT s obsahem dusíku 46 %. Používá se ve formě granulí a omezením působení ureázy dochází k rychlejšímu průniku dusíku do kořenové zóny za současným lepším využitím pro rostlinu. Vysoký efekt použití hnojiva Urea stabil je zaručen dostatečnou jednorázovou dávkou a vhodné vláhové podmínky (Agronom, 2011).

7.4 Výhody a nevýhody PP hnojiv

PP hnojiva se často označují jako hnojiva ekologická pro svoji šetrnost k životnímu prostředí, poněvadž uvolňují živiny pozvolně, a tím dochází k omezení ztrát vymýváním a těkáním. Mají značný význam při možné aplikaci v oblastech ochrany vodních zdrojů. Na počátku hnojení se nevytváří nežádoucí vysoká koncentrace dusíku v půdním roztoku a nezvyšují se jeho ztráty z půdy (Šerák, 2012). Další předností je jejich přizpůsobení růstu rostlin v průběhu vegetace. Dle řady autorů při používání PP hnojiv je dosahováno lepších výsledků vlivem rovnoměrné výživy v průběhu vegetační doby při jedné počáteční aplikační dávce. Dále obalováním granulí hnojiva se rovněž zabraňuje nadměrné koncentraci solí v okolním prostředí a popálení rostlin (Flohrová, 1989).

Největší nevýhodou PP hnojiv však zůstává cena, která je několikanásobně vyšší než je tomu u konvenčně rozpustných hnojiv (Trenkel, 2010). Lze usoudit, že hnojiva s pozměněnou rozpustností a obalovaná hnojiva jsou relativně "mladá" hnojiva a jejich integrace do širšího využívání bude vyžadovat více času

8 Závěr

Záměrem této práce bylo podat ucelený přehled o dusíku a jeho přeměnách v půdě a uvědomit si základní zákonitosti, které později využijí v zemědělské praxi. Dusíkatá hnojiva jsou nečastěji používanými hnojivy v zemědělském podniku a považují za nezbytné znát podrobně jejich problematiku. Dle mého názoru prioritou každého agronoma by měla být péče o půdu a ochrana životního prostředí za využití veškerých možných prostředků a informací, které se nabízí, poněvadž špatně zvolené zásahy v agrosystému mohou být trvale nevratné. Bohužel v současnosti však mnoho zemědělců čelí ekonomickému tlaku a konkurenci, tudíž zjednodušují osevnické postupy a dochází k vyčerpávání půd. Obecně by mělo být pravidlem, že to co se z půdy odčerpá, by mělo být navráceno zpět a veškerá péče by měla směřovat k zachování půdní úrodnosti. V blízké budoucnosti se stále více budou řešit otázky udržitelného stavu v zemědělství tak, aby byla zachována dostatečná produkce v adekvátní kvalitě. Jednou z cest může být například rozšířenější používání pozvolně působících hnojiv nebo intenzivnější program ve vzdělávání agronomů, přičemž je to ale primárně založeno na tom, aby se zemědělství v ČR podporovalo ve všech směrech a to jak ze strany vlády, zpracovatelských firem, tak i spotřebitelů majících možnost volby koupi daného produktu.

9 Seznam použité literatury

- Agrofert Holding. 2004. Dusík a dusíkatá hnojiva. Praha. Agrofert Holding. 10 s.
- Agronom. 2011. Hnojiva s řízeným uvolňováním živin. Samostatná příloha časopisu Úroda 6 (4). 29-30.
- Addiscott, T. M. 2005. Nitrate, Agriculture and the Environment. Cabi publishing. Wallingford. p. 252. ISBN: 0851999131.
- Arntzen, C., Ritter E. 1994. Encyclopedia of Agricultural Science. Academic Press. Texas. ISBN: 0122266730.
- Baier, J. 1982. Výživa rostlin v soustavě hnojení. Institut výchovy a vzdělávání MZVŽ ČSR. Praha. 216 s.
- Balík, J., Matousch, O., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 1994. Efektivnost hnojení jetelotrávy močovinou. Rostlinná výroba. ČZU. Praha. 40. 509 – 516.
- Balík, J., Černý, J., Kulhánek, M. 2012. Bilance dusíku v zemědělství. Sborník z konference: Racionální použití hnojiv. Praha. 40 s. ISBN: 9788021323292.
- Bielek, P. 1984. Dusík v pode a jeho premeny. Příroda. Bratislava. 135 s.
- Fertilizer Industry Federation of Astralia (FIFA). 2006. Australian Soil Fertility Manual. CSIRO Publishing. Melbourne. p. 176. ISBN: 0643090215.
- Flohrová, A. 1989. Využití pomalu působících průmyslových hnojiv. Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství. Praha. 56 s.
- Fu, M. H., Tabatabai M. A., Xu X. C. 1987. Effect of pH on nitrogen mineralization in crop – residue – treated soils. Biology and Fertility of Soils. 5. 115 – 119. ISSN: 01782762.
- Gowariker, V., Dhanorkar, M. Gowariker, G., Krishnamurthy, V. N., Paranjape, K. 2009. The Fertilizer Encyclopedia. Wiley. USA. p. 880. ISBN: 978-0-470-41034-9.
- Hlušek, J., Richter, R. 1996. Průmyslová hnojiva, jejich vlastnosti a použití. Institut výchovy a vzdělávání Mze ČR. Praha. 50 s. ISBN: 8071051217.

Hruška, J., Oulehle, F. 2008. Dusík v lesních ekosystémech. Vesmír. 12. 866 - 869. Dostupné také z: <<http://casopis.vesmir.cz/clanek/dusik-v-lesnich-ekosystemech>>.

International Plant Nutrition Institute (IPNI). 2012. 4R Plant Nutrition: A Manual for Improving the Management of Plant Nutrition. IPNI. Georgia. p. 160. ISBN: 0983498830.

Kalina, M. 2005. Hnojení v zahradě. Grada Publishing a. s. Praha. 120 s.

Kasal, P., Čepl, J., Vokál, B. 2010. Hnojení brambor. Výzkumný ústav bramborářský Havlíčkův Brod s. r. o. Havlíčkův brod. 23 s. ISBN: 978-80-86940-24-3.

Kirkby, E., Mengel, K., 2001. Principles of Plant Nutrition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht. The Netherlands. p. 849. ISBN: 1402000081.

Klír, J., Pišánová, J. Nitrátová směrnice a správná zemědělská praxe [Online]. Ústav zemědělské ekonomiky a informací. 7. 2. 2014. [1. 3. 2017]. Dostupné z <<http://www.agris.cz/clanek/128952>>.

Laegreid, M. et al. 1999. Agriculture, Fertilizers and Environment. Wallingford: CAB international. UK. p. 294. ISBN: 0851993583.

Lišťánská, J., Růžek, P. 1995. Usměrnění přeměny a pohybu dusíku v půdě se zřetelem na omezení kontaminace zdrojů pitné vody nitráty. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. 7 s.

Masahiko, S. 1999. Slow - Release Nitrogen Fertilizers and Plant Nutrition. Miyagi: Tohoku university – Experimentary Farm. 305 – 335.

Matousch, O., Vostal, J. 1988. Bilance dusíku v zemědělství. ČZU. Praha. 101 s.

Matula, J. 1997. Výživa a hnojení dusíkem. Agro: Ochrana a výživa rostlin. 7. 42 – 45.

Mikanová, O., Šimon, T. 2013. Alternativní výživa rostlin dusíkem. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. 26 s. ISBN 9788074271434.

Ministerstvo zemědělství. 2009. Zákon o hnojivech a navazující prováděcí předpisy zpracované v podobě úplného znění. Praha. ISBN: 9788070848777.

Möllerová, J. 2006. Symbiotická fixace dusíku. Bakterie Rhizobium s. l. a Frankia. Živa. 1. 9 - 12. Dostupné také z: <<http://ziva.avcr.cz/2006-1/symbioticka-fixace-dusiku-bakterie-rhizobium-s-l-a-frankia.html>>.

- Muchovej, R. M. C., Rechcigl, J. E. 1995. Nitrogen Fertilizers. Boca Raton: Lewis Publishers. UK. p. 64.
- Neuberg, J. 1998. Hnojení a výživa rostlin na zahradě. Grada publishing. Praha. 149 s. ISBN: 8071694967.
- Obreza, T. A., Hanlon, E. A., Rouse, R. 2006. Advancement with Controlled-Release Fertilizers for Florida Citrus Production: 1996 - 2006. University of Florida. Soil and Water Science. 243. p. 8. Dostupné také z: <<http://edis.ifas.ufl.edu/ss463>>.
- Osman, K., T. 2013. Forest Soils: Properties and Management. Springer. London. p. 217. ISBN: 9783319025407.
- Pavlíková, D., Balík, J., Pavlík, M. 2008. Vliv amonného dusíku na metabolismus rostlin. Agrochémia. (12) 48. 3 – 8.
- Pavlíková, D., Tlustoš, P. 1994. Vliv pozvolna působícího dusíkatého hnojiva a inhibitoru nitrifikace na habitus a výnos máku setého. Sborník Vysoké školy zemědělské v Praze. 56. 71 – 77.
- Perlka. 1997. Dusíkaté vápno PERLKA. Informace pro zahradnictví. 3. 16 s.
- Pišanová, J., Růžek, P. 2006. Nové trendy v používání dusíkatých hnojiv. Praha. Výzkumný ústav rostlinné výroby. 47 s. ISBN: 8086555968.
- Pišanová, J., Růžek, P. 2007. Možnosti usměrnění přeměn N v půdě využitím inhibitorů ureasy a nitrifikace. Sborník z konference: Racionální použití hnojiv. ČZU. Praha. 34 – 38. ISBN: 9788021317079.
- Sparks, R. E. 1999. Selection of Coating and Microencapsulation Processes. St. Louis: Particle and Coating Technologies. Missouri. 3 – 29.
- Šarapatka, B. 2010. Agroekologie: východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření. Olomouc: Bioinstitut. Olomouc. ISBN: 9788087371107.
- Šerák, M. 2012. Hnojiva s pozvolným uvolňováním živin. Zahradnictví. 5. 62.
- Šimek, M. 2008. Skleníkové plyny v půdě. Vesmír. 11. 758-760. Dostupné také z: <<http://casopis.vesmir.cz/clanek/3-sklenikove-plyny-v-pude>>.

Terman, G. L. 1980. Volatilization Losses of Nitrogen as Ammonia from Surface – Applied Fertilizers, Organic Amendments and Crop Residues. *Advances in Agronomy*. 31. 189 – 223. ISBN: 978-0-12-000731-8.

Tlustoš, P., Balík, J., Matoušek, O., Pavlíková, D. 1994a. Uplatnění obalovaných ledků a kapalných kondenzátů močoviny při pěstování vybraných zelenin. *Zahradnictví* (21). 2. 69 – 82.

Tlustoš, P., Balík, J., Pavlíková, D. 1994b. Vliv obalu na uvolňování živin z kombinovaných hnojiv. *Rostlinná výroba*. Praha. ČZU. 219 – 229.

Tlustoš, P., Balík, J., Pavlíková, D., Vaněk, V. 1997. Využití dusíku kukuřicí po lokální aplikaci síranu amonného (^{15}N). *Rostlinná výroba*. Praha. ČZU. 43. 13 – 18.

Tlustoš, P., Čábelková, L., Najmanová, J., Pavlíková, D., Svoboda, L. 2007. Vývoj nových dusíkatých hnojiv a jejich uplatnění. Sborník z konference: Racionální použití hnojiv. 46 – 55. ISBN: 9788021317079.

Trenkel, M. E. 2010. Slow- and Controlled - Release and Stabilized Fertilizers: An Option for Enhancing Nutrient Efficiency in Agriculture. IFA. Paris. p. 160. ISBN: 9782952313971.

Úlehlová, B. 1989. Koloběh dusíku v travních ekosystémech. Nakladatelství Československé akademie věd. Praha. 112 s. ISBN: 8020001921.

Vaněk, V., Kolář, L., Pavlíková, D. 2009. Úloha organické hmoty v půdě. Sborník z konference: Racionální použití hnojiv. ČZU. Praha. 151 s. ISBN: 9788021320062.

Vaněk, V., Balík, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2012. Výživa zahradních rostlin. ČZU. Praha. 568 s. ISBN: 9788020021472.

Vaněk, V., Balík, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press s.r.o. Praha. 224 s. ISBN: 978-80-86726-79-3.

