

ASIMILACE DUSIČNANOVÉHO, AMONNÉHO A AMIDICKÉHO DUSÍKU U ZEMĚDĚLSKÝCH PLODIN

JOSEF ZEHNÁLEK, VOJTĚCH ADAM a RENÉ KIZEK

*Ústav chemie a biochemie, Agronomická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno
zahnalek@mendelu.cz*

Došlo 14.6.04, přepracováno 13.2.06, přijato 18.3.06.

Klíčová slova: asimilace dusíku, dusík, dusičnanový dusík, amonný dusík, amidický dusík, nitrogenasa, nitrátreduktasa, nitritreduktasa, glutamátdehydrogenasa, ureasa, aminotransferasy, dusíkatá hnojiva

Obsah

1. Úvod
2. Obsah a formy dusíku v půdě
3. Význam dusíku pro rostliny
 - 3.1. Příjem a asimilace dusíku rostlinami
 - 3.1.1. Příjem vzdušného dusíku
 - 3.1.2. Příjem nitrátů
 - 3.1.3. Příjem amonného dusíku
 - 3.1.4. Příjem dusíku z močoviny
 - 3.2. Vliv dusíku z kapalného hnojiva DAM-390 na ječmen jarní
4. Regulace a transport

1. Úvod

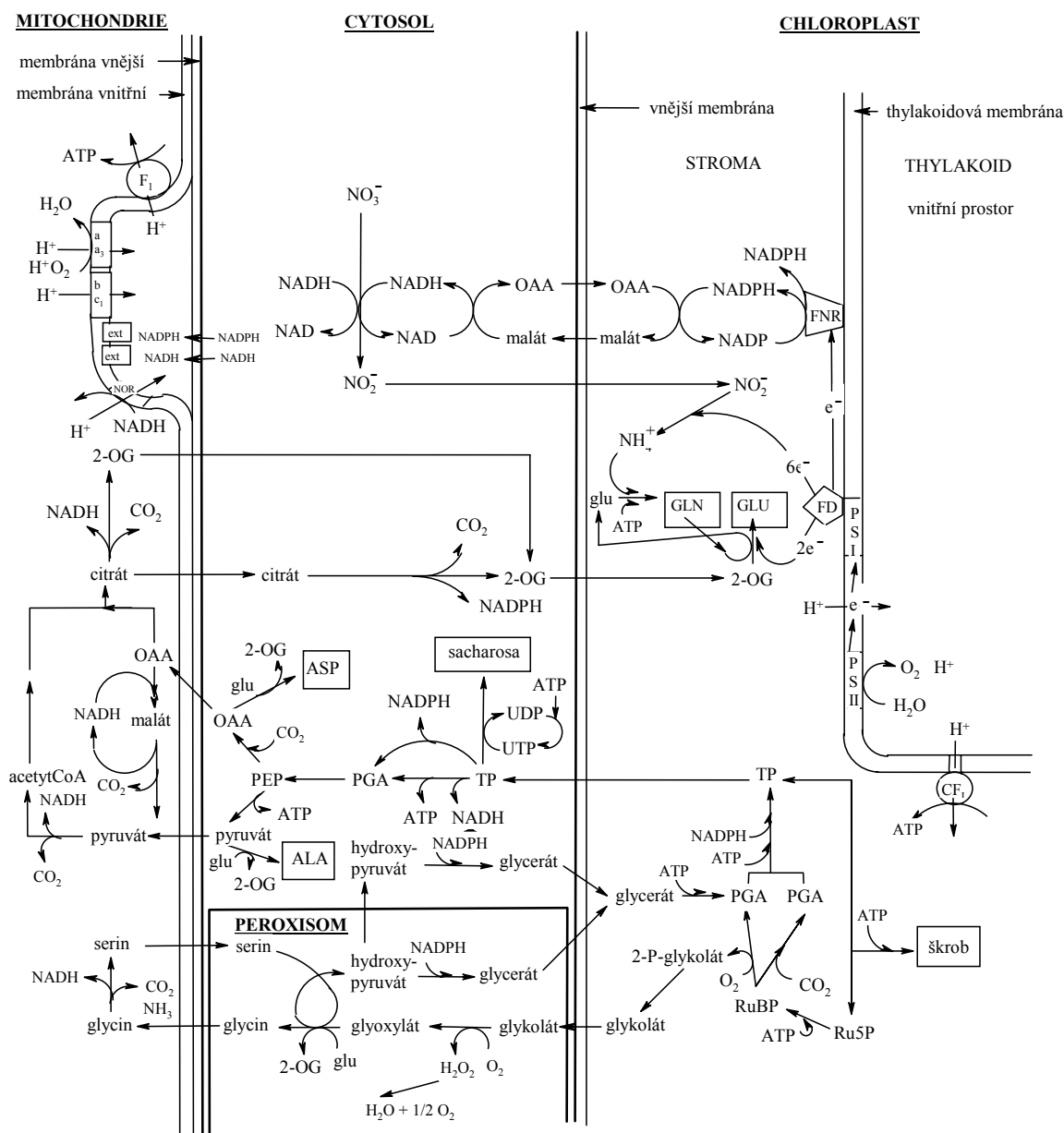
Zemědělské plodiny získávají svou energii ze slunečního záření v procesech spojených s fotosyntézou. Získaná chemická energie je využívána především pro asimilaci oxidu uhličitého, který vstupuje do Calvinova cyklu. Tímto způsobem představuje fotosyntéza základ látkového i energetického metabolismu rostlin a zabezpečuje zdroj energie i organických látek pro všechny heterotrofní organismy (organismy neschopné fotosyntézy). Produkty fotosyntézy jsou také zdrojem energie pro příjem mikro a makro elementů, včetně různých anorganických forem dusíku. Přehledné schéma tvorby a využití chemické energie v průběhu syntézy sacharidů a aminokyselin v buňkách listů C_3 rostlin je ukázáno na obr. 1 (cit.¹).

2. Obsah a formy dusíku v půdě

Hlavním zdrojem dusíku pro rostliny jsou amonné a nitrátové ionty obsažené v půdě. Obsah celkového dusíku v ornici (svrchní vrstva půdy 0–25 cm) je poměrně stálý (98–99 % organicky vázaný dusík a 1–2 % anorganicky vázaný dusík), protože je v rozhodující míře zabudovaný do těžce biologicky i chemicky rozložitelných sloučenin. Dusík je zde vázán na aromatická jádra huminových kyselin, fulvokyselin, huminů a dalších složitých organických sloučenin. Průměrný obsah dusíku v ornici se pohybuje v rozmezí 0,11–0,23 %. V závislosti na půdním typu se za vegetační období z půdních zásob (organicky vázaného dusíku) zpřístupní mineralizací 90–200 kg N na hektar. Mineralizace (tvorba anorganického dusíku) probíhá aerobním rozkladem půdní organické hmoty. Vzniklé aniony NO_3^- se nacházejí v půdním roztoku a kationy NH_4^+ jsou výměnným způsobem vázány na půdní sorpční komplex nebo pevně fixovány do mezivrstvových prostorů jílových minerálů. Koncentrace anorganického dusíku v půdním roztoku je relativně nízká a např. u dusičnanového dusíku se pohybuje od 0,1 do 1,0 mmol l^{-1} (cit.²).

3. Význam dusíku pro rostliny

V rostlinách je dusík obsažen jak v anorganické, tak hlavně v organické formě. Organické sloučeniny dusíku plní v rostlinách celou řadu funkcí, např. stavební, metabolickou, transportní i zásobní³. Množství dusíku v rostlinné sušině se v průměru pohybuje v rozmezí 1–3 % a zřídka klesá pod 1 %. Nitrofilní rostliny na ruderalních stanovištích mohou obsahovat v sušině až 6 % dusíku. Obsah dusíku je v rostlinách regulován různými způsoby, pravděpodobně i geneticky, a je v různých částech rostliny odlišný⁴. Významné jsou i rozdíly v obsahu dalších prvků (S, P, Mg, K atd.) mezi jednotlivými orgány a pletivy rostliny. Ke změnám v obsahu prvků v různých rostlinných částech dochází také v průběhu ontogeneze. U obilnin v období odnožování je intenzita příjmu živin přibližně na úrovni nárůstu jejich hmotnosti, zatímco při sloupkování intenzita příjmu živin (zejména u dusíku) zaostává za intenzitou růstu, a v době od květu do zrání je příjem dusíku, fosforu a hořčíku zhruba opět na úrovni nárůstu sušiny. Celkové množství přijímaného prvku se během růstu rostliny zvyšuje, ale obsah vztažený na jednotku hmotnosti sušiny klesá. Tento jev je způsoben zvyšováním množství celulosy, hemicelulosy a ligninu v celkové hmotnosti sušiny rostliny. Změny obsahu živin během ontogeneze mají poměrně pravidelný průběh a řada autorů je popsala i vhodnou matematickou funkcí, např. Justes a spol.⁵.



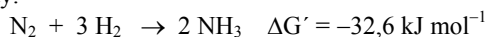
Obr. 1. Schéma produkce energie a jejího využití v průběhu syntézy sacharidů a hlavních aminokyselin v listových buňkách rostlin C₃; ALA – alanin, ASP – aspartát, ATP – adenosintrifosfát, FD – ferredoxin, FNR – ferredoxin-NADP-oxidoreduktasa, GLN – glutamin, GLU – glutamát, NAD – nikotinamadeninukleotid, NADP – nikotinamadeninukleotidfosfát, OOA – oxalacetát, 2-OG – 2-oxoglutarát, PEP – fosfoenolpyruvát, PGA – 3-fosfoglycerát, PSI – fotosystém I, PSII – fotosystém II, Ru5P – ribulosa-5-fosfát, RuBP – ribulosa-1,5-bisfosfát, TP – triosafosfát

3.1. Příjem a asimilace dusíku rostlinami

3.1.1. Příjem vzdušného dusíku

Kromě půdy může být zdrojem dusíku pro rostliny atmosféra (jeho molekulární forma N₂). Molekula N₂ je chemicky velmi stabilní a k jejímu zapojení do oběhu

v živých organismech je nezbytná její redukce na amonné ionty.



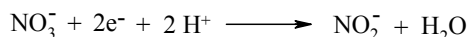
Redukce molekulárního dusíku probíhá jen u nemnoha prokaryotních organismů (např. půdní bakterie rodu *Azotobacter* a *Clostridium*, sinice rodu *Nostoc*). Neefektivnější zdroj amoniaku pro vyšší rostliny jsou bakterie

rodu *Rhizobium*, které žijí symbioticky v hlízkách na kořenovém systému bobovitých rostlin a jejich činností je fixováno 10 až 30 g dusíku na m² za rok. V kořenových hlízkách se těsně spojují bakteriální buňky, které degenerují na tzv. bakteroidy s buňkami hostitelské rostliny. Bakteroidy produkují enzym nitrogenasu (EC 1.18.6.1.) a speciální hemoprotein leghemoglobin, jehož strukturální gen je součástí genomu hostitele. Enzym nitrogenasa má dvě složky: azoferredoxin se 4 atomy Fe a 4 sulfidovými skupinami na molekulu bílkoviny ($M_r = 6 \cdot 10^4$) a molybdoferredoxin (tetramer $\alpha_2\beta_2$; $M_{ra} = 5,1 \cdot 10^4$, $M_{r\beta} = 6 \cdot 10^4$), obsahující 2 atomy Mo, 24 atomů Fe a 24 sulfidových iontů na molekulu⁶. Bylo zjištěno, že v bakteroidu probíhá redukce dusíku na amoniak a v cytosolu buňky se tvoří kyselina asparagová, asparagin a glutamin, které se potom uplatňují v metabolismu dusíku.

3.1.2. Příjem nitrátů

Příjem nitrátů kořeny rostlin a jejich následná redukce a asimilace představují hlavní způsob, jímž je anorganický dusík přeměňován na organický. V celém procesu využití dusíku se jeví jako limitující redukce nitrátů enzymem nitrátreduktasou⁷, která je regulovaná především množstvím přijatého nitrátu. Nitrát je do buněk transportován aktivním transportním systémem a po vstupu do rostliny je NO₃⁻ redukován buď ihned v kořenech, nebo až v listech⁸. Nitrát vstupující do cytosolu může být: redukován na amonný iont, dočasně převeden do vakuoly⁹, symplastem transportován do xylému nebo pasivně unikne z kořenů zpět do substrátu. Redukce NO₃⁻ probíhá ve dvou stupních. Nejprve je nitrátreduktasou (EC 1.6.6.1) redukován

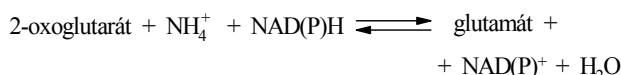
NO₃⁻ za vzniku NO₂⁻, který je pak enzymem nitritreduktasou (EC 1.7.7.1) dále redukován na NH₃:



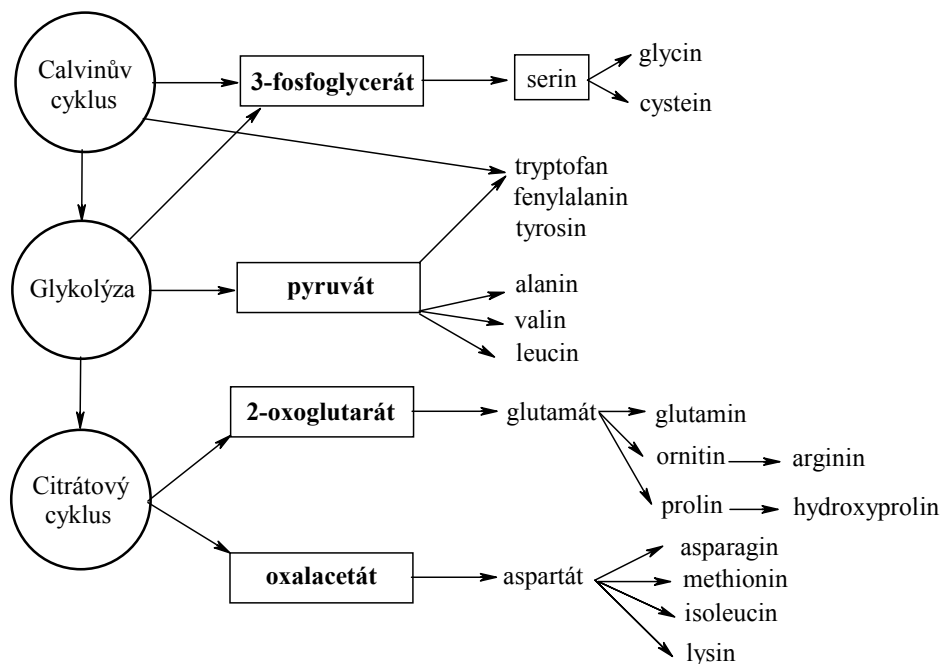
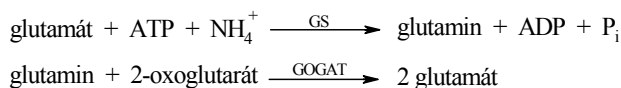
Nitrátreduktasa je lokalizována v cytosolu, kde je patrně asociována s vnější membránou plastidů, a využívá elektrony především z NADH. Její aktivita je řízena zejména samotnými nitráty a také světlem¹⁰. O regulaci nitrátreduktasy existuje velké množství prací, např.^{11,12}. Nitrity jsou pro buňky škodlivé, a proto jsou okamžitě redukovány nitritreduktasou lokalizovanou ve stromatu plastidů (obr. 1).

3.1.3. Příjem amonného dusíku

Zabudování amoniaku do aminokyselin probíhá dvěma způsoby. Při vyšších koncentracích NH₃ je funkční enzym glutamátdehydrogenasa (EC 1.4.1.2), který katalyzuje reakci 2-oxoglutarátu:



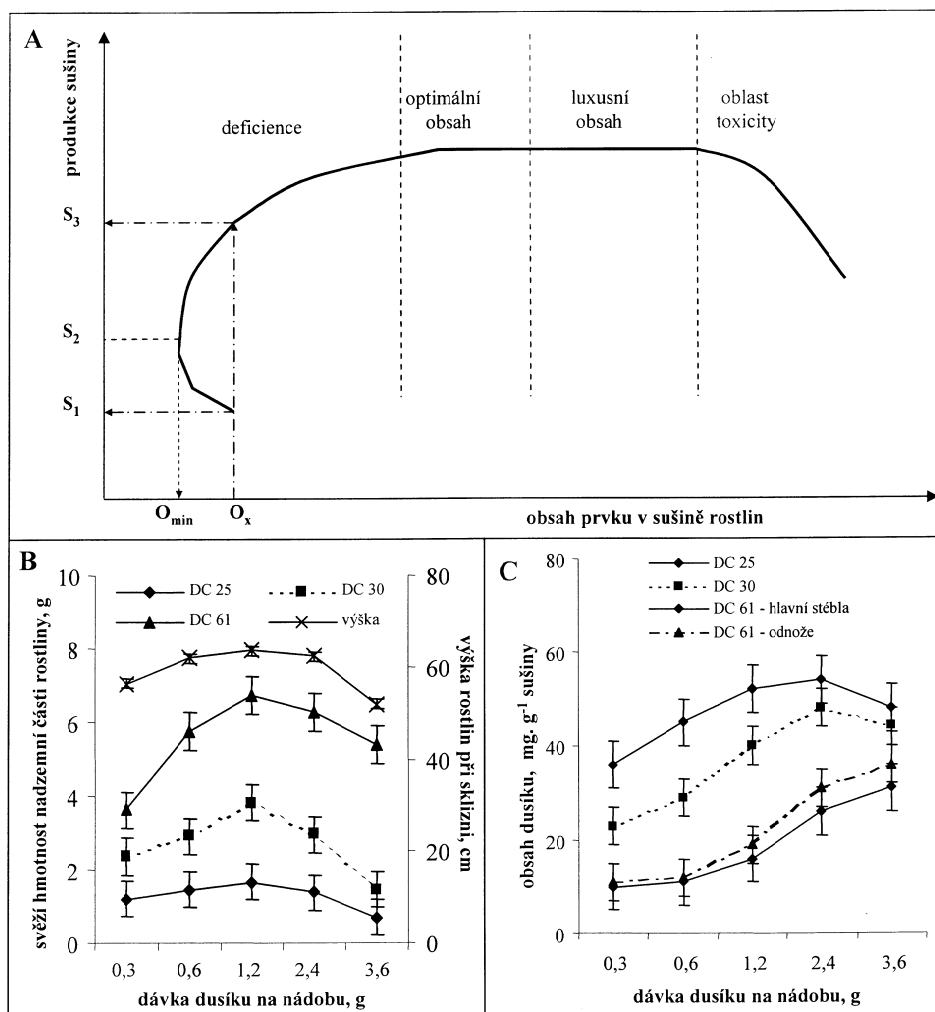
Účinnější se však jeví enzymový systém GS/GOGAT (GS = glutaminsyntetasa (EC 6.3.1.2), GOGAT = glutamát-syntetasa (EC 1.4.1.13), který realizuje následující sled reakcí:



Obr. 2. Biosyntéza aminokyselin z rozličných intermediátů Calvinova cyklu, glykolýzy a citrátového cyklu

Glutaminsynthetasa je oblastí styku metabolismu uhlíku a dusíku v chloroplastech a podílí se také na zabudování amoniaku do kyseliny 2-oxoglutarové i v peroxizomech a mitochondriích^{13,14}. Klíčovou úlohu při syntéze aminokyselin má glutamát, který v rostlině představuje pool α -aminodusíku. Skupina aminotransferas se význač-

nou měrou podílí na vzájemných přeměnách aminokyselin^{15,16} a na mnohých syntetických pochodech, např. na syntéze sekundárních metabolitů. Uhlíkaté skelety pro různé aminokyseliny jsou odvozeny převážně z intermediátů fotosyntézy, glykolýzy a citrátového cyklu (obr. 1 a 2). Rostliny jsou schopny přijímat dusík i ve formě NH_4^+



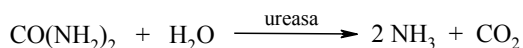
Obr. 3. (A) Schématické znázornění vztahu mezi obsahem živin v rostlině a tvorbou sušiny rostlin. Mají-li rostliny malou produkci sušiny (S_1), tak i nevelký příjem živin jim stačí pro dosažení obsahu živin O_x („akumulační efekt“). Pokud je dobře vyvážený příjem dostatečného množství živin a jejich inkorporace během období rychlého růstu, tak dochází ke značnému zvětšení produkce sušiny (z S_1 na S_3), a to bez potřeby nápadného zvýšení obsahu živin v rostlinném pletivu. Jestliže je příjem živin během období rychlého růstu pomalejší než přírůstek sušiny (z S_1 na S_3), pak obsah živin v rostlině úměrně klesá z O_x na O_{min} („zředovací efekt“). Přijímají-li rostliny dále živiny („luxusní výživa“), potom se produkce rostlin již nezvyšuje, a při značném nadbytku živin v rostlinách dochází k depresivnímu až toxickému účinku. (B) Vliv stupňovaných dávek dusíku v DAM – 390 před setím na růst rostlin ječmene jarního (*Hordeum vulgare* L., cv. Zenit) během vegetace při jeho kultivaci v Mitscherlichových nádobách (20 rostlin v nádobě) s 6 kg zeminy (71 mg kg^{-1} fosforu, 143 mg kg^{-1} draslíku a 55 mg kg^{-1} hořčíku; postup stanovení viz.⁴⁵). Sedm dnů před setím ječmene bylo provedeno hnojení závlukou roztoky těchto minerálních hnojiv: superfosfát (8,3 % P ve formě $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$; Agrofert) a DAM-390 (vodný roztok 42,2 % dusičnanu amonného a 32,7 % močoviny; Duslo Šala). I. odběr rostlin byl v době odnožování (po 32 dnech kultivace) – DC 25, cit.³⁰; II. odběr v době sloupkování (po 42 dnech) – DC 30; III. odběr v době kvetení (po 70 dnech) – DC 61 a plně zralosti (po 100 dnech) – DC 91. Celkový dusík byl stanoven destilační metodou, fosfor spektrofotometricky, vápník a hořčík metodou atomové absorpční spektrofotometrie, draslík a sodík atomovou emisí spektrofotometrií⁴⁶. (C) Obsah celkového dusíku v nadzemních částech rostlin ječmene

a některých aminokyselin za účasti celé skupiny enzymů^{16,17}. Podle novějších poznatků může být na lokalitách s nízkým obsahem živin nebo s vysokým obsahem organických látek přijímán dusík v organických formách¹⁸. Na těchto stanovištích vylučují kořeny rostlin zvýšené množství polyfenolů, které urychlují rozklad bílkovin na aminokyseliny. Ty jsou spolu s fenoly přijímány rostlinami a následně začleněny do metabolismu^{14,19}.

3.1.4. Příjem dusíku z močoviny

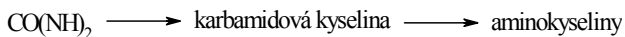
V přirozených půdních podmínkách je příjem celých molekul močoviny kořeny rostlin málo pravděpodobný vzhledem k jejímu rychlému enzymovému rozkladu^{2,20}. Pomocí mikrobiálního enzymu ureasy (EC 3.5.1.5.) se močovina hydrolyticky štěpí, vzniká uhličitán amonný, který se snadno rozkládá a uvolňuje se amoniak²¹.

Reakce probíhá podle rovnice:



Amonný dusík vzniklý rozkladem močoviny je buď přímo zdrojem dusíku pro rostliny nebo za vhodných podmínek je oxidován nitrifikačními bakteriemi až na dusičnan a ty jsou rostlinami přijímány. Je dokázáno, že rostliny mohou přijímat i celé nerozložené molekuly močoviny a využít je buď přímo zabudováním do organických látek nebo až po enzymovém rozkladu. Asimilace močoviny je aktivní metabolický proces, který je pro rostliny zdrojem nejen dusíku, ale i uhlíku. Potvrdily to práce se značenou močovinou např. u obilnin^{22,23}.

Začlenění močoviny do metabolismu rostlin může probíhat podle následujícího schématu:



Ze zemědělských plodin mají poměrně vysokou ureasovou aktivitu rostliny bobovité a naopak k rostlinám s nízkou ureasovou aktivitou patří obilniny. Ureasová aktivita byla zjištěna v semenech, nadzemních částech i kořenech rostlin. Při vysoké koncentraci močoviny v živném prostředí rostlin s vyšší ureasovou aktivitou může vznikat v jejich pletivech nadměrné množství volného amoniaku, který nejsou rostliny schopny detoxikovat zabudováním do organických sloučenin. O amoniaku je známo, že vyskytuje-li se v rostlinných buňkách ve větším množství než je jejich metabolická potřeba, působí jako prudký rostlinný jed²⁴. Vlastnosti močoviny umožňují její využití i pro mimokořenové přihnojování zemědělských plodin. Bylo zjištěno, že dusík z močoviny přijímají všechny nadzemní orgány rostlin^{25–28}.

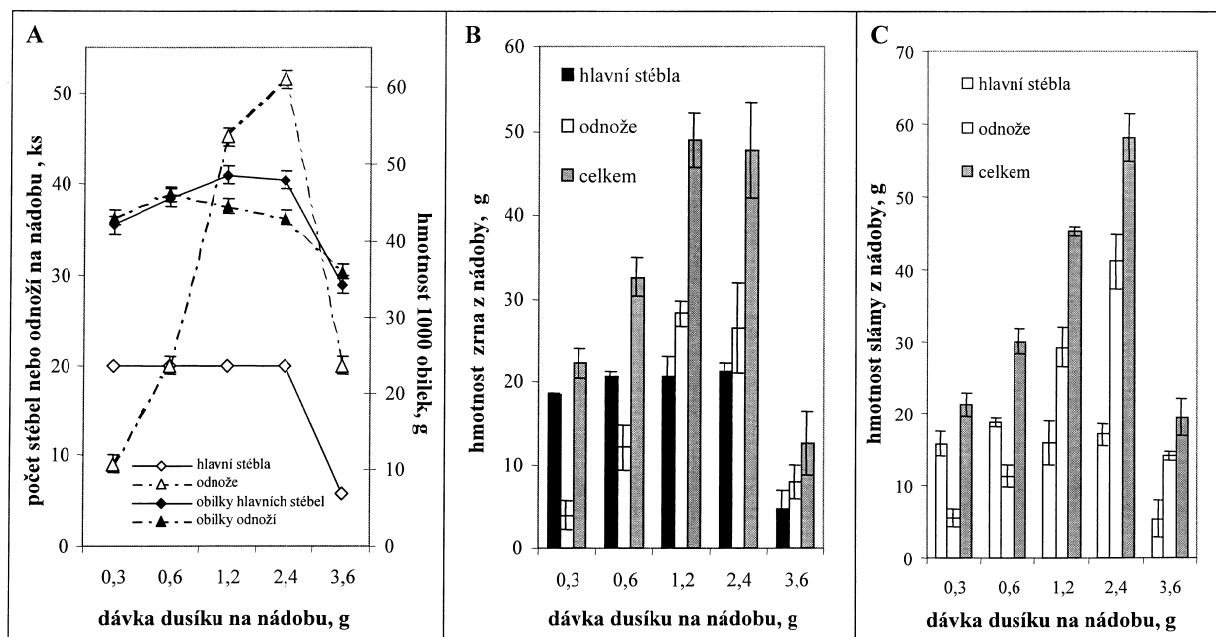
3.2. Vliv dusíku z kapalného hnojiva DAM-390 na ječmen jarní

Podle množství minerálního prvku v sušině byly popsány čtyři kategorie jeho vlivu na růst a vývoj rostliny: deficit, optimum, nadbytek a toxicita²⁹ (obr. 3A). Deficit prvku může být akutní (na rostlině se objevují viditelné

symptomy deficiencie, např. žloutnutí listů a růstová deprese) a latentní (viditelné symptomy se neprojevují, ale aplikace nedostatkového prvku zvýší produkci biomasy). Při optimálním a luxusním příjmu minerálního prvku nejsou pozorovatelné symptomy deficiencie a produkce biomasy se nemění (obr. 3A). Toxický obsah prvku se projevuje vznikem viditelných symptomů (nekrózy, změna obsahu rostlinných pigmentů, opad listů) a výrazně se snižuje produkce biomasy (Obr. 3A). Výše popsany mechanismus je ukázán na našem experimentálním modelu ječmene jarního (*Hordeum vulgare* L., cv. Zenit) při aplikaci rozdílné dávky dusíku (N1 = 0,3; N2 = 0,6; N3 = 1,20; N4 = 2,40 a N5 = 3,6 g dusíku na nádobu; dusík byl aplikován ve formě kapalného hnojiva DAM-390 (vodný roztok 42,2 % dusičnanu amonného a 32,7 % močoviny). Rozdíly v růstu ječmene vlivem stupňovaných dávek dusíku byly pozorovány již ve fázi odnožování rostlin (DC 25, cit.³⁰) a sloupkování rostlin (DC 30) (obr. 3B). Hmotnost nadzemních částí rostlin byla u variant N2, N3 a N4 vyšší při porovnání s variantou N1 (0,3 g N na nádobu). Nejvyšší dávka dusíku použitá u varianty N5 (3,6 g N na nádobu) byla v oblasti toxicity. Hmotnost nadzemních částí rostlin ve fázi DC 25 nebo DC 30 byla snížena o více jak 40 nebo 35 % a výška rostlin byla snížena o 8 % ve srovnání s variantou N1 (obr. 3B). Získaný experimentální výsledek plně kopíruje průběh křivky ukázané na obr. 3A. Obsah prvků stanovený v sušině rostlin s dobou kultivace výrazně klesal, jak je dobře patrné z výsledků analýz obsahu dusíku v rostlinách odebraných v růstových fázích DC 30 a v období kvetení (DC 61) (obr. 3C). Zjistili jsme, že vyšší obsahy dusíku byly v odnožích a nižší v hlavních stéblech rostlin. Přestože se obsah dusíku v sušině nadzemní části rostliny během vegetace snižoval, jeho odběr nadzemní části se naopak zvyšoval. V období DC 25 byl odběr dusíku nadzemní části jedné rostliny 9,6 mg, v období DC 30 15,1 mg a DC 61 25,5 mg. Pozorovaná změna obsahu dusíku souvisí s velmi výrazným nárůstem biomasy rostlin (svěží i suché hmotnosti). Aplikovaný dusík ovlivnil také výnos ječmene. Je známo, že výnos obilnin tvoří tyto prvky: počet klasů na plošnou jednotku (počet rostlin a plodných stébel), počet zrn v klasu (počet klásků a plodných kvítků) a hmotnost obilek. Nejdříve se signifikantně zvyšoval výnos až do aplikované dávky dusíku 1,2 g N na nádobu. Při vyšší dávce dusíku došlo k pozvolnému poklesu hmotnosti 1000 obilek ječmene (obr. 4A, B). V případě varianty s nejvyšší dávkou N (3,6 g na nádobu) výnos obilek naopak velmi výrazně poklesl v porovnání s variantou N1 (obr. 4B, C). U rostlin z varianty N3 a N4 byl výnos zrna (hmotnost zrn získaných ze sklizených rostlin) z odnoží vyšší než z hlavních stébel a podílel se na celkovém výnosu zrna 58 % respektive 55 %. Pouze nejvyšší dávka N5 způsobila pokles výnosu zrna i slámy (obr. 4B, C).

4. Regulace a transport

Rychlost příjmu minerálních živin rostlinami je regulována jejich obsahem v rostlinách mechanismem zpětné vazby^{31,32}. Rychlost příjmu příslušného minerálního prvku



Obr. 4. Vliv aplikace stupňovaných dávek dusíku v DAM-390 před setím (A) na počet stébel, odnoží a hmotnost 1000 obilky (B) hmotnost zrna z jedné nádoby a (C) slámy; ostatní podrobnosti jsou popsány na obr. 3

se zvyšuje při poklesu jeho obsahu v rostlině a naopak. Na této kontrole se významnou měrou podílejí i nadzemní orgány rostliny. Je-li v nadzemní části rostliny zvýšená koncentrace některého minerálního prvku, dochází k jeho transportu do vodivých elementů floému. Floémem je minerální prvek transportován do kořenů rostliny. Minerální prvek může být transportován ve formě sloučenin s organickými kyselinami nebo sirnými látkami. Sirné sloučeniny jsou známy svou schopností především vázat těžké kovy v rostlinách^{33–39}. Vytvořené komplexy jsou transportovány do vakuoly, nebo na místa, kde je jejich toxicita výrazně omezena⁴⁰. V kořenech se zvyšuje obsah minerálního prvku a jsou pravděpodobně aktivovány další ochranné mechanismy, které následně omezují příjem minerálního prvku z vnějšího prostředí. Přitom nejsou dostatečně známy procesy, které regulují transport z xylému do buněk mezofylu, ani procesy zabezpečující vstup iontů do floému v listech³². Rostliny využívají celou skupinu signálních molekul a transportérů, jako je např. kyselina salicylová a nebo oxid dusnatý⁴¹. Lze předpokládat, že změny v koncentraci minerálního prvku výrazně ovlivní tyto signální molekuly a selektivní buněčné transportéry³².

Dusík v cévním systému rostlin je přemísťovaný zejména ve formě aminokyselin a dusičnanů. Mladé listy musí být zásobeny aminokyselinami až do dosažení úplné zralosti⁴². Intenzita metabolismu dusíku a zejména rychlost biosyntézy bílkovin rozhoduje o směru přemísťování dusíkatých sloučenin do různých částí rostlin. Při nedostatku dusíku v rostlině nastává proteolýza ve starších částech rostliny a dusík je z nich transportovaný do mladších listů a na tvorbu semen⁴³. Proteolýza způsobuje zmenšení chlo-

roplastů a snižování obsahu chlorofylu. Proto prvním příznakem nedostatku dusíku je žloutnutí starých listů. Při silném nedostatku dusíku list odumře a někdy i opadne⁴⁴. Kromě vizuálních příznaků se dá nedostatek dusíku objektivněji a hlavně dříve zjistit chemickým rozbořením rostlin.

Práce na této publikaci byla financována z Národního výzkumného centra LN00A081, grantu 525/04/P132 od GA ČR a IGA MZLU 3/2004.

LITERATURA

- Noctor G., Foyer C. H.: *J. Exp. Bot.*, 49, 1895 (1998).
- Marschner H.: *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press, London 1995.
- Boldt R., Zrenner R.: *Physiol. Plant.* 117, 297 (2003).
- Orsel M., Filleur S., Fraissier V., Daniel-Vedele F.: *J. Exp. Bot.* 53, 825 (2002).
- Justes E., Jeuffroy M. H., Mary B.: *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. 73 (1997).
- Schulze J.: *J. Plant. Nutr. Soil. Sc.* 162, 125 (2004).
- Glass A. D. M., Britto D. T., Kaiser B. N., Kinghorn J. R., Kromzucker H. J., Kumar A., Okamoto O., Rawat S., Siddiqi M. Y., Unkles S. E., Vidmar J. J.: *J. Exp. Bot.* 53, 855 (2002).
- Gastal F., Lemaire G.: *J. Exp. Bot.* 53, 789 (2002).
- van der Leij M., Smith S. J., Miller A. J.: *Planta* 205, 64 (1998).
- Kaiser W. M., Weiner H., Huber S. C.: *Physiol. Plant.* 105, 385 (1999).

11. Sahulka J.: Studie ČSAV 10, 5 (1980).
12. Yaneva I. A., Hoffmann G. W., Tischner R.: *Physiol. Plant.* 114, 65 (2002).
13. Lancien M., Gadal P., Hodges M.: *Plant Physiol.* 123, 817 (2000).
14. van den Heuvel R. H. H., Curti B., Vanoni M. A., Mattevi A.: *Cell. Mol. Life Sci.* 61, 669 (2004).
15. Wadsworth G. J.: *Physiol. Plant.* 100, 998 (1997).
16. Marková M., Králová B.: *Chem. Listy* 98, 102 (2004).
17. Lohaus G., Büker M., Hußmann M., Soave C., Heldt H.-W.: *Planta* 205, 181 (1998).
18. Northup R. R., Yu Z. S., Dahlgren R. A., Vogt K. A.: *Nature* 377, 227 (1995).
19. Dixon R. A., Steele C. L.: *Trends Plant Sci.* 4, 394 (1999).
20. Zehnálek J., Minář J., Honza J.: *Rostl. Výr.* 36, 797 (1990).
21. Shelp B. J., Sieciechowicz K., Ireland R. J., Joy K. W.: *Can. J. Bot.* 63, 1135 (1985).
22. Zehnálek J., Procházka S.: *Rostl. Výr.* 32, 403 (1986).
23. Kronzucker H. J., Siddiqi M. Y., Glass A. D. M., Kirk G. J. D.: *Plant Physiol.* 119, 1041 (1999).
24. Liu L.-H., Ludewig U., Gassert B., Frommer W. B., von Wirén N.: *Plant Physiol.* 133, 1220 (2003).
25. Minář J., Zehnálek J.: *Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. Purk. Brun.* 17, 187 (1987).
26. Zehnálek J., Minář J.: *Scripta Fac. Sci. Nat. Brun.* 17, 203 (1987).
27. Zehnálek J., Minář J., Vicherková M.: *Rostl. Výr.* 33, 653 (1987).
28. Zehnálek J., Minář J., Vicherková M.: *Scripta Fac. Sci. Nat. Univ. Purk. Brun.* 18, 343 (1988).
29. Larcher W.: *Physiological Plant Ecology*. Springer-Verlag, New York 1995.
30. Zadoks J. C., Chang T. T., Konzak C. F.: *Weed Research* 14, 415 (1974).
31. Sumner L. W., Mendes P., Dixon R. A.: *Phytochemistry* 62, 817 (2003).
32. Loque D., von Wiren N.: *J. Exp. Bot.* 55, 1293 (2004).
33. Petrlová J., Mikelová R., Stejskal K., Kleckerová A., Zítka O., Petrek J., Havel L., Zehnálek J., Adam V., Trnková L., Kizek R.: *J. Sep. Sci.* 29, 1166 (2006).
34. Kizek R., Vacek J., Trnková L., Klejdus B., Havel L.: *Chem. Listy* 98, 166 (2004).
35. Trnková L., Kizek R., Vacek J.: *Bioelectrochemistry* 56, 57 (2002).
36. Zehnálek J., Adam V., Kizek R.: *Listy Cukrov.* 120, 222 (2004).
37. Zehnálek J., Vacek J., Kizek R.: *Listy Cukrov.* 120, 220 (2004).
38. Vacek J., Petrek J., Kizek R., Havel L., Klejdus B., Trnková L., Jelen F.: *Bioelectrochemistry* 63, 347 (2004).
39. Klejdus B., Zehnálek J., Adam V., Petřek J., Kizek R., Vacek J., Trnková L., Rozik R., Havel L., Kubáň V.: *Anal. Chim. Acta* 520, 117 (2004).
40. Kizek R., Vacek J., Trnková L., Klejdus B., Kubáň V.: *Chem. Listy* 97, 1003 (2003).
41. Shah J.: *Curr. Opin. Plant. Biol.* 6, 365 (2003).
42. Noctor G., Novitskaya L., Lea P. J., Foyer C. H.: *J. Exp. Bot.* 53, 939 (2002).
43. Hörtensteiner S., Feller U.: *J. Exp. Bot.* 53, 927 (2002).
44. Wang C., Van den Ende W., Tillberg J.-E.: *Planta* 211, 701 (2000).
45. Mehlich A.: *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 1978, 477.
46. Walinga I., van Vark W., Houba V. G. J., van der Lee J. J.: *Plant Analysis Procedures*, Wageningen Agricultural University, Wageningen 1989.

J. Zehnálek, V. Adam, R. Kizek (*Department of Chemistry and Biochemistry, Mendel University of Agriculture and Forestry, Brno*): **Assimilation of Nitrate, Ammonium and Amide Nitrogen by Agricultural Crops**

Nitrogen, carbon, oxygen and hydrogen are basic elements in organisms, forming an essential part of living matter. The main source of nitrogen for plants are ammonium and nitrate ions contained in soil. According to the amount of an individual mineral nutrient in plant dry matter, four categories of its influence on plant growth and evolution are described: deficiency, optimum, luxury and toxicity. In this work the influence of different doses of nitrogen (0.3–3.6 g per cultivation pot) on growth of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) is studied. In addition, different ways of assimilation of atmospheric, nitrate and amide nitrogen are described. Attention is also paid to possible regulation of transport and nitrogen amount in plants.