

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE



Jiří Balík, Jindřich Černý, Daniela Pavlíková

**Systém dusíkaté výživy CULTAN
u travních a jetelotravních porostů**

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Praha 2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů



Systém dusíkaté výživy CULTAN u travních a jetelotravních porostů

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

Prof. Ing. Jiří Balík, CSc.

Ing. Jindřich Černý, Ph.D.

Prof. Ing. Daniela Pavlíková, CSc.

Praha 2012

Systém dusíkaté výživy CULTAN u travních a jetelotravních porostů (certifikovaná metodika)

Autoři

prof. Ing. Jiří Balík, CSc.
Ing. Jindřich Černý, Ph.D.
prof. Ing. Daniela Pavlíková, CSc.

Oponenti metodiky

Ing. Michaela Budňáková – Ministerstvo zemědělství ČR
prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc. – Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Certifikovaná metodika byla schválena Ministerstvem zemědělství ČR – Odborem rostlinných komodit pod č.j. 201542/2012-17221.

Certifikovaná metodika byla zpracována v rámci řešení projektu NAZV č. QH 71077.

© Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012

PRAHA 2012

ISBN 978-80-213-2330-8

Obsah

I.	Cíle metodiky	3
II.	Vlastní popis metodiky	3
III.	Srovnání „novosti postupů“	3
IV.	Popis uplatnění metodiky	3
V.	Úvod.....	4
	V.1 Dusík v půdě	4
	V.2 Dusík v rostlině	7
	V.3 Principy systému CULTAN	9
	V.3.1 Druhy dep a techniky aplikace.....	12
VI.	Metodika polních pokusů založených pro ověření možnosti hnojení travních a jetelotravních porostů systémem CULTAN	17
VII.	Výsledky pokusů ověřujících možnosti hnojení travních a jetelotravních porostů systémem CULTAN	19
VIII.	Souhrn výsledků experimentů	25
IX.	Závěry pro praxi	26
X.	Ekonomické přínosy využití systému hnojení CULTAN	27
XI.	Seznam vědeckých publikací, které předcházely metodice.....	28
XII.	Seznam použité literatury	29

I. Cíle metodiky

Cílem metodiky je seznámit zemědělce s principy hnojení metodou CULTAN travních a jetelotravních porostů, které vyplývají z výsledků polních pokusů provedených v rámci řešení projektu NAZV č. QH 71077.

II. Vlastní popis metodiky

Pro správné pochopení principů metody CULTAN a pro její porovnání s konvenčními postupy hnojení dusíkem plošně na povrch půdy bylo nezbytné detailně se seznámit s chováním dusíku v půdě i v rostlině. Této problematice je věnována první část publikace. V další části je popisována metoda CULTAN se všemi jejími specifiky s následným výběrem nejdůležitějších výsledků hnojení touto metodou na travních a jetelotravních porostech z maloparcelkových pokusů v ČR.

III. Srovnání „novosti postupů“

Metodika vychází z německých základů prof. Karla Sommera z Univerzity v Bonnu a aktuálních výsledků výzkumu v maloparcelkových pokusech v ČR. Metoda CULTAN má ve srovnání s konvenčními postupy hnojení ekonomická i ekologická pozitiva. U metody CULTAN se celé dávka dusíku aplikuje jednorázově a přitom je zároveň dosaženo mírně vyšších výnosů. U této metody je také omezen pohyb dusíku do hlubších vrstev půdy, proto nehrozí kontaminace podzemních vod.

IV. Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena zemědělcům a zemědělským poradcům.

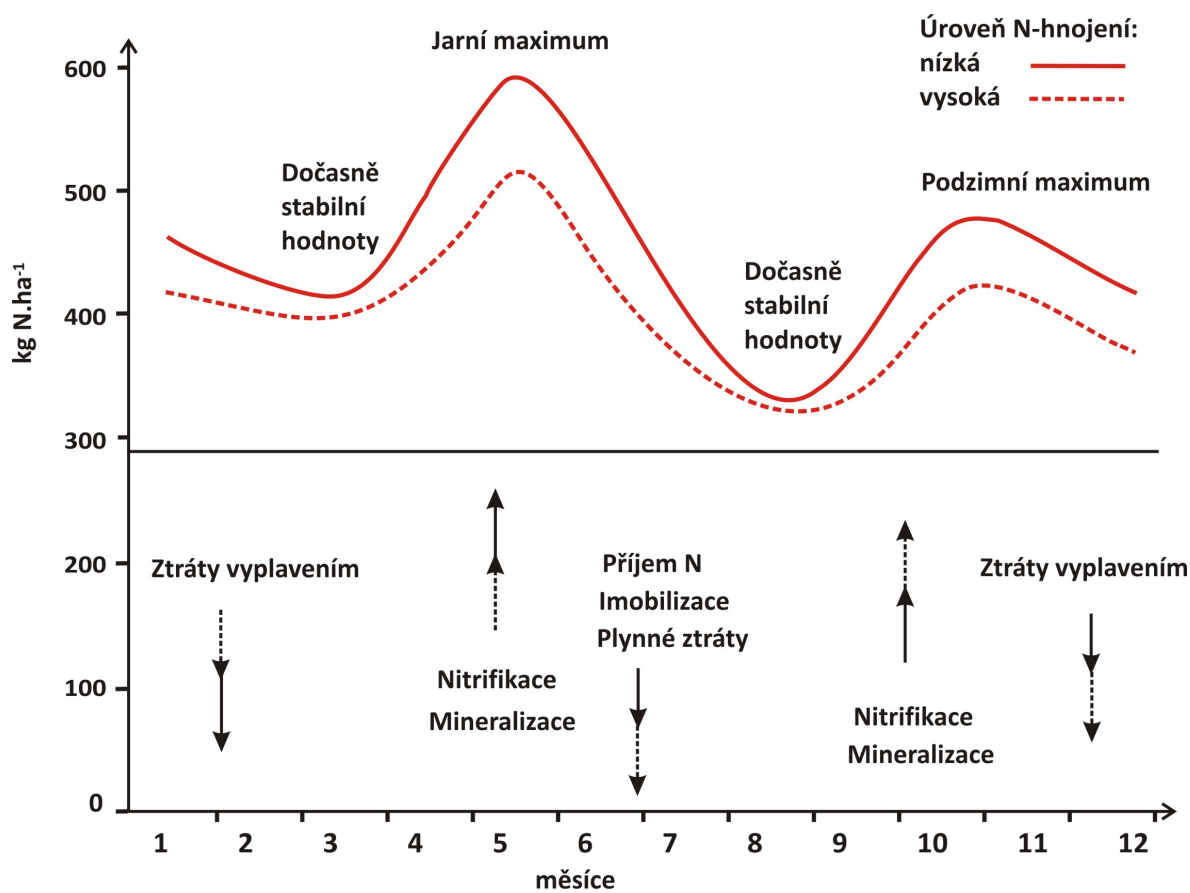
V. Úvod

V ČR je metoda CULTAN (Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition) poměrně novým systémem dusíkaté výživy rostlin. Základem metody CULTAN je aplikace celé dávky dusíku potřebné pro vegetaci jednorázově. Hnojivo je aplikováno v amonné formě přímo do půdy. Takto aplikovaný dusík je v půdě méně pohyblivý, proto nedochází k jeho výrazným ztrátám vyplavením či povrchovým smyvem. Využití dusíku z hnojiva by mělo být vyšší než při konvenčních hnojení v dělených dávkách na povrch půdy, proto pro dosažení stejného výnosu stačí nižší dávky hnojiva. S tím jsou také spjata významná ekologická pozitiva metody CULTAN. Navíc možnost jednorázové aplikace šetří čas, náklady na práci a pohonné hmoty. Tato metoda je již úspěšně aplikována v Německu, kde je jí dosahováno vyšších výnosů většiny zemědělských plodin (Sommer, 2005). Metoda CULTAN se tak jeví jako perspektivní alternativa výživy rostlin. Hlavním limitujícím faktorem je však nutnost použití speciální aplikační techniky. Pro správné pochopení principů metody CULTAN je nezbytná znalost chování dusíku v půdě i rostlině.

V.1 Dusík v půdě

Obsah dusíku v ornici dosahuje průměrných hodnot 0,1–0,2 %, může však kolísat v rozmezí 0,03–0,5 % (Ivanič et al., 1984). Při celkové průměrné hmotnosti orniční vrstvy okolo 3 mil. kg.ha⁻¹ půdy lze počítat s celkovou potenciální zásobou dusíku v půdě okolo 3000–6000 kg.ha⁻¹ (Bielek, 1984). Z tohoto množství tvoří pouze 1–2 % dusík přístupný pro rostliny ve formě amonné (NH_4^+) a dusičnanové (NO_3^-). Hlavní podíl dusíku je obsažen v organických dusíkatých sloučeninách. Ke zdrojům organického dusíku v půdě patří mikrobiální biomasa, metabolity organismů žijících v půdě, rostlinné a živočišné zbytky. Z celkového dusíku obsaženého v organických sloučeninách je 20–40 % součástí aminokyselin, 5–10 % se vyskytuje v aminosacharidech a 1–7 % v dusíkatých bázích nukleových kyselin (Černý et al., 1997). Tento organický dusík může být mineralizován na anorganické formy přístupné pro rostliny (Balík et al., 1997). Nejvíce přístupného dusíku se běžně nalézá v ornici, kde se dusík uvolňuje mineralizací organických látek. V průběhu roku dochází ke značným změnám v obsahu minerálního dusíku v půdě (graf 1).

Graf 1: Změna obsahu N_{min} v půdě v hloubce 0–0,6 m (upraveno dle Bízika, 1989)



Mineralizace organických dusíkatých látek představuje amonifikaci, tzn. konverzi organických sloučenin na amoniak (Jansson a Persson, 1982; Šimek, 1998). Výchozím materiálem jsou především proteiny a polypeptidy. Jejich hydrolýzou za účasti katalytických peptidáz se uvolňují aminokyseliny. Dalším krokem je deaminace vzniklých aminokyselin, při které se uvolňuje NH_3 , který ve vodném prostředí přijímá proton a přechází na NH_4^+ . Tento děj může probíhat za aerobních i anaerobních podmínek a účastní se na něm řada fyziologicky velmi odlišných mikroorganismů a bezobratlých živočichů (Bielek, 1998; Šimek, 1998). Odhaduje se, že v podmínkách mírného pásma je ročně mineralizováno 1–3 % celkového půdního dusíku. Na orných půdách střední Evropy se mineralizací uvolní 50–90 kg N.ha⁻¹ za vegetační sezónu (Barekzai et al., 1992).

Amoniak uvolněný mineralizací (amonifikací) vstupuje do různých procesů, nejvíce však jako hlavní zdroj do nitrifikace (Šimek, 1998). Nitrifikace je v mnoha půdách a ekosystémech klíčovým procesem, neboť transformuje relativně nepohyblivou amonnou formu na velmi pohyblivou dusičnanovou formu dusíku. Tím se dusík zpřístupňuje rostlinám jako dobře využitelná živina, ale zároveň však vzniká riziko jeho ztrát vyplavováním a denitrifikací (Šimek, 2000). Nitrifikace je oxidační proces, kdy amonný

dusík je postupně oxidován převážně autotrofními mikroorganismy přes dusitany až na dusičnany (Tlustoš et al., 2007).

Nitrifikace je obligátně aerobní proces a zároveň při něm dochází k okyselování půdního prostředí (Šimek, 2000). Dvoustupňový proces nitrifikace je uskutečňován dvěma různými skupinami bakterií: nitritačními (*Nitrosomonas*) a nitratačními (*Nitrobacter*) (Jansson a Persson, 1982). Obsah dusičnanů v půdě se obvykle pohybuje v rozmezí 2–20 mg.kg⁻¹ půdy (Ivanič et al., 1984).

Denitrifikace je na rozdíl od nitrifikace redukční proces, při kterém jsou dusičnany za přítomnosti organických látek redukovány přes oxidy dusíku až na elementární dusík. V našich podmínkách převažuje denitrifikace působená fakultativně anaerobními mikroorganismy, které během rozkladu využívají kyslík dusičnanů (Tlustoš et al., 2007). Míra denitrifikace do značné míry záleží na mikrobiálních a fyzikálních podmínkách půdy. Proces denitrifikace, a tím zvyšující se emise dusíku, je intenzivnější při vyšší teplotě půdy (Chatskikh et al., 2005). Hlavním předpokladem průběhu denitrifikace je omezená aerace půdy, která je většinou způsobena vyšším obsahem vody v půdě (Vaněk et al., 1997a). Podle Groffmana a Tiedje (1988) dosahuje denitrifikace nejvyšších hodnot při nasycení vodní kapacity půdy od 60 do 100 %. Na únik dusíku do atmosféry mají vliv i velké a časté výkyvy vlhkosti půdy, ke kterým nejčastěji dochází při zavlažování (Inubushi et al., 2000). Rostlinný pokryv může také zvýšit míru denitrifikace, a to vlivem respirace kořenů a mikrobiální biomasy, kterou se tak vytváří anaerobní mikroklima v rhizosféře (Qian et al., 1997). Na míru ztrát dusíku denitrifikací má vliv množství aplikovaného N, ale i způsob aplikace hnojiva. Thompson a Meisinger (2004) stanovili vyšší míru denitrifikace po zapravení hnojiva (kejdry) do půdy (ztráty N – 17 %), než při aplikaci na povrch (ztráty N – 11 %). Podle Nelsona a Hubera (2001) může být v ideálních podmínkách během 5-ti dnů denitrifikováno až 112 kg N.ha⁻¹. Vedle biologické denitrifikace se v půdách vyšších poloh může objevit i denitrifikace způsobena chemickou cestou. Chemická denitrifikace je reakce amidů a aminokyselin s HNO₂; podobně může reagovat i NH₃ s HNO₂ za vzniku dusitanu amonného, který se rozkládá na N₂ a H₂O (Balík, 1982).

Proces imobilizace přispívá k ochraně před migrací dusíku z půdy. Nejvýznamnější je imobilizace biologická, při níž minerální dusík vstupuje do biomasy rostlin a půdních mikroorganismů. Menší část je pak poutána nebiologickou cestou (Vostal et al., 1989). Ta se týká především amonných iontů navázaných do mezivrstev jílovitých minerálů (Stevenson a Cole, 1999). Množství takto fixovaného amoniaku může na orných půdách tvořit 20–1000 mg N.kg⁻¹ půdy (Smith et al., 1994).

Základním předpokladem biologické imobilizace je rozklad organické hmoty s nízkým obsahem dusíku, resp. širokým poměrem C/N. Dolní hranice poměru pro imobilizaci je 25/1 (Bielek, 1998). Při užším poměru C/N převažuje uvolňování dusíku mineralizací nad jeho imobilizací. Zvýšení vstupu minerálního dusíku do půdy může vést ke zvýšení mikrobiální aktivity a podpoře přímé imobilizace mikroby. Mikrobiální imobilizace je však často limitována dostupností uhlíku (Wallenstein et al., 2006). Přídavek organické hmoty podporuje proces imobilizace dusíku v půdě, avšak s rostoucí stabilitou přidané organické hmoty množství imobilizovaného dusíku klesá (Jedidi et al., 1995).

Vyplavení dusíku do podzemních vod, větrná eroze, smyv dusíku v organických látkách nebo v anorganické formě (NO_3^- a NH_4^+) či volatilizace patří mezi základní ztráty dusíku v agroekosystému. Vyplavení dusíku je způsobeno velkou pohyblivostí NO_3^- iontů, které v půdě nejsou vázány, a jsou proto snadno vyplavovány z dosahu kořenů až do podzemní vody.

K vodní erozi dochází při větších srážkách na svažitých pozemcích s horší retenční schopností půdy. Vodní erozi dochází ke smyvu jemných půdních částic, organické hmoty, popř. dusíkatých hnojiv z konvenční povrchové aplikace.

Volatilizace je proces ztrát dusíku z půdy způsobený těkáním amoniaku z povrchu či vrchní vrstvy půdy. Míra volatilizace amoniaku je převážně ovlivněna hodnotou pH; nejvyšší je na alkalických půdách (Zhang et al., 2010b). K vyšší volatilizaci amoniaku také dochází v anaerobních podmínkách (Zhou et al., 2008). Ztráty volatilizací se pohybují okolo 5 %, mohou však dosáhnout i hodnoty 25 % z dávky dusíku, a to v závislosti na půdně-klimatických podmínkách, dávce a formě hnojiva i na způsobu a době aplikace (Němeček, 2002).

V.2 Dusík v rostlině

Dusík je nejdůležitější živinou rostlin. Je součástí důležitých organických látek, jako jsou bílkoviny, nukleové kyseliny, nukleoproteiny, chlorofyl, enzymy a jiné (Mengel a Kirkby, 2001). U trav a širokolistých rostlin se jeho obsah v sušině obvykle pohybuje mezi 1–2 % a u jetelovin 2–3 %, přitom obsah dusíku je vyšší u mladších rostlin (McNeill a Unkovich, 2007). Aplikace dusíkatého hnojiva zvyšuje výnos biomasy a koncentraci proteinů v rostlinách. Aplikace dusíku ovlivňuje složení aminokyselin v proteinech a ovlivňuje jejich nutriční hodnotu. Nedostatek dusíku se u rostlin projevuje slabým růstem. Tyto rostliny jsou nižší, stonky či stébla mají tenčí a listy dosahují menších velikostí a dříve

opadávají. Větvění kořenů je při nedostatku dusíku omezeno, ale poměr mezi kořeny a prýtem je zvýšen. Rostliny trpící nedostatky dusíku dříve dozrávají a mají kratší vegetační dobu. U obilnin dochází k omezenému odnožování, počet klasů a zrn v klasu je nižší, zrna jsou menší, avšak často s relativně vysokým obsahem proteinů kvůli sníženému importu sacharidů do zrna ve fázi plnění zrna (Mengel a Kirkby, 2001). Nadbytek dusíku je méně častý, má výrazný vliv na bujný růst rostlin. Rostliny produkují více vegetativní hmoty na úkor generativních orgánů, mají větší asimilační plochu a listy jsou tmavozeleně zbarvené (Vaněk et al., 2007).

Dusík může být, na rozdíl od jiných rostlinných živin, přijímán ve formě jak kationtu NH_4^+ , tak i aniontu NO_3^- . Přijímané množství dusíku závisí hlavně na jeho množství v půdním roztoku a je určeno fyziologickou potřebou rostliny. Amonný iont je rostlinou přijímán pomocí difúze (Barber et al., 1963), ale při velmi nízkých koncentracích NH_4^+ v půdním roztoku se na příjmu podílí vysoce specifické přenašeče (Wang et al., 1994). Výživa rostlin amonnou formou dusíku vede ke zvýšení obsahu volných aminokyselin v kořenech (Causin a Barneix, 1993) i nadzemní hmotě (Neuberg et al., 2009).

Pro zabudování amonného iontu do rostlin je potřeba dostatečného přísunu organických látek z listů do kořene. V rostlinách citlivých na koncentraci amonného iontu lze pozorovat vysoký tok NH_4^+ iontů přes plazmatickou membránu oběma směry (Cerezo et al., 2001). Vyloučený NH_4^+ iont však může být rostlinou opětovně přijat (Balík et al., 2006). Při příjmu NH_4^+ iontu kořeny dochází k okyselení půdy, a to z důvodu uvolnění H^+ iontu do prostředí (Kleiner, 1981).

Při nízkých koncentracích dusičnanů v půdě hraje difúze důležitou roli v příjmu dusíku rostlinou (Strebel et al., 1983). Většinou jsou však dusičnany přes membránu přenášeny pomocí protonového symportu (Ullrich, 1992). Příjem dusičnanů je spojen s depolarizací plasmatické membrány, tzn., že dusičnany jsou do buňky přijímány společně s protony, aby se vyrušil negativní náboj cytosolu (Ullrich a Novacky, 1981). Dusičnany jsou nejprve redukovány, a potom přijaty do metabolismu organických dusíkatých sloučenin. Asimilace dusičnanů v rostlinách zahrnuje redukci NO_3^- na NO_2^- , dále redukci NO_2^- na NH_4^+ prostřednictvím enzymu nitritreduktázy a zabudování NH_4^+ do organických látek. Příjem NO_3^- je proto energeticky náročnější než příjem NH_4^+ (McNeill a Unkovich, 2007). Vlivem mechanismu protonového symportu uplatňovaného při příjmu dusičnanů dochází ke zvyšování hodnoty pH vnějšího prostředí (Mengel et al., 1983; Durand a Bellon, 1994). Při jednostranné výživě NO_3^- dochází v rostlině ke zvýšené tvorbě organických

aniontů (následek redukce nitrátů na NH_3), a tím je zvýšen příjem kationtů, především K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} (Fernandes a Rossiello, 1995; Pavlíková et al., 2007).

Příjem NH_4^+ iontu probíhá ve větší míře v blízkosti kořenové špičky (Bloom et al., 2003; Cramer et al., 2009), protože koncentrace NH_4^+ je v půdním roztoku velmi nízká a rostliny ho přijímají převážně při kontaktu kořínků s pevnou půdní fází. Zatímco NO_3^- ionty jsou společně s vodou přijímány převážně kořenovým vlášením (Javot a Christophe, 2002).

Rostliny dokáží v malém množství přijímat i organický dusík ve formě jednoduchých aminokyselin (Näsholm et al., 2000). Metabolismus přijatého organického dusíku se skládá převážně z transaminačních reakcí, které na rozdíl od asimilace NO_3^- nebo NH_4^+ nespotřebovávají žádnou energii. Nevýhodou je však až 2krát pomalejší příjem kořeny než NO_3^- (Gärdenäs et al., 2011) a 4krát pomalejší než NH_4^+ (Trčková et al., 2006).

V.3 Principy systému CULTAN

Minerální hnojiva představují nejdražší a objemově nejvýznamnější každoroční vstup do zemědělství (Šantrůček et al., 2007), i proto je v posledních letech, a to hlavně v Německu, intenzivně studován a postupně uplatňován v zemědělské praxi nový systém výživy rostlin dusíkem, tzv. CULTAN, který by měl zvyšovat využití živin z aplikovaného hnojiva. CULTAN je zkratka pro anglický výraz Controlled Uptake Long Term Ammonium Nutrition „Dlouhodobě řízená výživa rostlin amonným dusíkem“ (Balík et al., 2007). Při klasické plošné aplikaci dusíkatých hnojiv přijímají rostliny dusík (jetel i trávy) převážně ve formě nitrátů. Současně jetel, obdobně jako další bobovité rostliny při výživě minerálním dusíkem, omezují zakládání hlízek na fixaci vzdušného N_2 . Toto chování je založeno na skutečnosti, že nitrát po jeho redukci a asimilaci v listech jetele podporuje růst nadzemní části na úkor rozvoje kořenů. Sacharidy jsou přednostně využity pro růst dřívě, než byly přetransformovány k rhizobiím v kořenech. Právě v důsledku nedostatečného přívodu sacharidů přerušují rhizobia fixaci N_2 . Uvedený průběh však nenastává při metodě CULTAN. Tato alternativa výživy travních a jetelotravních směsí využívá speciální injektážní techniky, která aplikuje dusíkaté roztoky bohaté na amonný iont do půdy do hloubky 7 – 20 cm do blízkosti kořenů za vzniku míst s vysokou koncentrací amoniaku, tzv. dep (Sommer, 2005; Kücke a Scherer, 2006). V depu je amonný iont navázán na půdní a organické částice (Vaněk et al., 2009). Toxicita amoniaku brání nitrifikačním bakteriím jeho přeměně na mnohem pohyblivější dusičnanovou formu. Hnojivo je proto v depu poměrně stabilní a nedochází k posunu a ke ztrátám aplikovaného dusíku. Při lokální aplikaci NH_4^+

se v půdě vytváří prostor nasycený amoniakem s difúzním gradientem na okrajích depa (Kozlovský, 2011). Při rovnoměrné aplikaci není koncentrace amoniaku v půdě toxická a všechny kořeny rostlin trav se účastní příjmu živiny stejně. U metody CULTAN se tento příjem týká pouze části kořenů v okolí hranice vytvořeného depa. Tyto kořeny se výrazně větví a vytvářejí hustou síť kolem depa. Během růstu rostliny se kořeny posouvají od vnější hranice depa směrem dovnitř (Balík et al., 2008a).

Amonný iont je přijímán rostlinou a v kořenové špičce je okamžitě zabudován do organických sloučenin (v hraniční oblasti kořenů a DEPO). Vytváří se zde sink-efekt pro transport sacharidů z listů ke kořenům do oblasti DEPO. To znamená, že na rozdíl od výživy NO_3^- iontem a močovinou je sacharidy následně lépe zásoben celý kořenový systém a obdobně i stonek, případně bulva nebo hlízy, které se nacházejí mezi nadzemní částí a kořenovou zónou v DEPO oblasti. Také peptidové vazby jsou podobně ovlivněny. Transport amidů a aminokyselin jako přímo asimilovaných sloučenin z oblasti DEPO k vegetačním vrcholům ovlivňuje pozitivně peptidové vazby v kořenech, stonku, bulvách, hlízách. Transport asimilovaného amonného dusíku (aminokyselin, amidů) probíhá přímo do mladých rostoucích částí a ne do starých vyvinutých listů, jako je tomu u nitrátů. Současně je také výrazně omezeno stárnutí starších a zastíněných listů, což je typické pro výživu nitráty a močovinou. Pro výživu NH_4^+ iontem je dominantní podpora rozvoje kořenového systému (obr. 2). Vytvoření sinku transportu sacharidů z nadzemní části rostliny do kořenů, a tím i podpora rozvoje kořenového systému v oblasti DEPO může mít tak silný efekt, že je u kořenů potlačen princip geotropismu. Toto lze vysvětlit tím, že škrobová zrna v kořenové špičce jsou rozkládána díky intenzivnímu příjmu amonného iontu a kořenová špička tak ztratí orientaci v souladu s geotropismem. Ze všech dosavadních sledování je zřejmé, že v systému CULTAN je celkově větší biomasa kořenů (Balík et al., 2008b).

Obrázek 1: Růst kořenů v závislosti na formě dodaného dusíku (Sommer, 2005)



V porostech jetelotrav při konvenčním způsobu hnojení dochází po seči a následném hnojení dusíkem k nekrotickým okrajovým částem listů jetele. Tím je značně inhibován růst jetele. Obdobné nekrotické skvrny však nebyly pozorovány při systému CULTAN. Možným zdůvodněním je skutečnost, že při systému CULTAN není amoniak přijímán rostlinami jetele. Proto lze předpokládat, že ústup podílu jetele v porostu není způsoben dominantním a agresivním rozvojem trav při hnojení, ale toxickým působením minerálního N hnojení na rozvoj jetele. Tato toxicita je vyvolána tím, že jetel po seči musí sám ukládat velmi mnoho dusíku do omezeného listového aparátu, protože hlízkové bakterie neomezily svoji aktivitu a dále probíhá fixace vzdušného N_2 . Tato disproporce bývá potom ještě umocněna následným dusíkatým hnojením. Přitom v této fázi je optimální rozvoj a počet hlízek na kořenech, neboť dodaný minerální dusík byl již spotřebován před sečí travami a veškerá výživa jetele dusíkem přešla na symbiotickou fixaci. Proto aplikace dusíku (při konvenčním způsobu) po 1. seči výrazně překračuje potřeby jetele. Nitrátový dusík přijatý jetelem je nad rámec potřeb, způsobuje „latentní toxicitu“ a oslabení vývoje jetele. Toto jsou hlavní příčiny, proč jetel mizí z porostů jetelotrav při konvenčním hnojení. Právě negativní

působení N by mělo být odstraněno při hnojení metodou CULTAN. Při postupu podle metodiky CULTAN je možno dostatečně zásobovat minerálním dusíkem trávy a byliny, aniž je vyvolána toxicita pro jetel. Vzdálenost mezi jednotlivými aplikačními body by měla být asi 15 – 20 cm, což odpovídá přibližně střední délce postranních kořenů trav.

V období sucha vykazují rostliny hnojené CULTAN systémem vyšší odolnost k suchu než ty, které přijímaly dusík převážně ve formě dusičnanů nebo močoviny. Vyvinutější kořenový systém, intenzivnější růst kořenů ve směru klesající vodní hladiny, rozdíly v tloušťce buněčných stěn a nižší transpirační koeficient jsou pravděpodobně důvody pro lepší příjem a vyšší efektivnost využití vody (Sommer, 2003). U metody CULTAN nebyl potvrzen výrazný antagonismus amonného iontu k ostatním kationtům. Je to způsobeno tím, že u metody CULTAN je jen malý podíl kořenů z celého kořenového systému zapojen do příjmu amoniaku. Dokonce příjem draslíku a vápníku je u rostlin hnojených systémem CULTAN zvýšen ve srovnání s rostlinami hnojenými dusičnany (Roselt, 1990; Balík et al., 2007). Toto chování může být zdůvodněno tím, že rostliny hnojené systémem CULTAN vytvářejí bohatší kořenové systémy oproti konvenčně vyživovaným rostlinám (Sommer et al., 1987). Při příjmu amonného iontu dochází k acidifikaci rhizosféry. Na alkalických a neutrálních půdách se tím zvyšuje mobilizace málo rozpustných fosforečnanů a následně i jejich příjem (Gahoonia et al., 1992), stejně tak se zvyšuje příjem mikroelementů, jako je bór, železo, mangan a zinek (Reynolds et al., 1987).

V.3.1 Druhy dep a techniky aplikace

U metody CULTAN se používají různé druhy dep (kapalná, granulová, kuličková, misková, jamková, doplňovací). Při pěstování travních a jetelotravních směsí se však používají pouze kapalná a granulová depa podle typu hnojiva. Ta mohou být buď povrchová, nebo injektážní a podle typu aplikace se dělí na bodová a liniová (pásová) (Vorsatz, 1995; Weimar, 2003).

Povrchová depa

Tvorba povrchových dep (obr. 3) má nízké technické nároky. Do rostoucích plodin se mohou aplikovat pomocí tažených hadic. Předpokladem této metody je, že roztoky hnojiv nejsou příliš těkavé a při aplikaci se částečně vsáknou do půdy. Hodnota pH půdy musí být nižší než 7 a půda nesmí obsahovat volné uhličitany, aby nevznikly ztráty volatilizací

amoniaku. Půda by měla být dostatečně vlhká, aby rostliny dorostly svými kořeny na povrch a přijaly dusík z hnojiva (Sommer, 2008). Nejčastější použití povrchových dep je na kamenitých půdách a při aplikaci kapalných organických hnojiv, jako např. kejdy. Při aplikaci organických hnojiv se doporučuje použít přídavek síranu amonného na zvýšení obsahu dusíku (Sommer, 2005).

Obrázek 3: Rozmístění kořenů kolem povrchového depa (Weimar, 2006)



Injektážní depa

Hlavním výrobcem injektážní techniky pro metodu CULTAN je německá firma Maschinen und Antriebstechnik GmbH & Co.KG, Güstrow (www.mua-landtechnik.de). Její injektážní aplikátory mají označení GFI a pracovní záběr 3–12 m (obr. 4A). Aplikátor je složen z 12–48 aplikačních kol s variabilním nastavením šířky mezi jednotlivými aplikačními koly v závislosti na hnojené plodině. Každé kolo obsahuje 12 aplikačních hrotů, které umisťují hnojivo 20 cm od sebe do 6 cm hloubky. Dávkování je řízeno počítačem z kabiny traktoru a aplikátor může pracovat při tlaku 2,0 až 8,0 bar, kterému odpovídá dávka hnojiva 50 až 3000 l.ha⁻¹. Aplikátor dobře funguje na všech typech a druzích půd, a to i na kamenitých půdách, protože každé kolo je samostatně uchyceno na rám přes pružinu, která chrání kolo před poškozením. V pokusech se však ukázalo, že při přeschnutí nebo utužení vrchní vrstvy půdy mohou mít hroty problém dosáhnout požadované hloubky vpichu, proto je doporučeno provádět aplikaci při vhodných vláhových podmínkách půdy. Dalším výrobcem injektážní techniky je holandská firma Duport (obr. 4B). Pokusy s injektážní aplikací hnojiva DAM ukázaly jako optimální hloubku umístění hnojiva 10 cm.

Při větší i menší hloubce klesala využitelnost dusíku z hnojiva Janzen et al. (1989). Na využitelnost lokálně aplikovaného hnojiva má vliv i vzdálenost hnojiva od kořenů.

Obrázek 4: (A) Injektážní aplikátor GFI 3A s aplikačními hroty (Kozlovský, 2011)



B) Injektážní aplikátor firmy Duport (www.duport.nl)



Na tvorbu injektážních liniových dep můžeme použít i radličkové aplikátory (obr. 5). Jejich použití je však možné pouze u jarních plodin před založením porostu nebo u širokořádkových plodin.

Na stanovištích, kde půda během roku výrazně na povrchu vysychá, se hnojení metodou CULTAN provádí jako liniová nebo bodová injektáž 6 – 20 cm hluboko do půdy (Sommer, 2003). Na využitelnost lokálně aplikovaného hnojiva má vliv i vzdálenost hnojiva od kořenů. Petersen (2005) zaznamenal nejvyšší využitelnost hnojiva u plodin při aplikaci dusičnanu amonného do vzdálenosti 2 cm od kořenů. Při větší vzdálenosti využitelnost hnojiva klesala, ale při nižší vzdálenosti hrozí poškození rostlin toxicitou amoniaku (Balík et al., 2008b).

Obrázek 5: Radličkový aplikátor



Na Technické univerzitě v německém Braunschweigu je momentálně ve vývoji vysokotlaký vstřikovací aplikátor pro tvorbu injektážních dep (obr. 6). Tímto aplikátorem je hnojivo pod vysokým tlakem až 40 MPa vstřikováno do půdy bez kontaktu jakéhokoliv mechanického dílu s půdou. Výhodou je nižší opotřebení aplikačních částí, avšak nevýhodou je větší náročnost na správné seřízení stroje a nerovnoměrná hloubka dep v závislosti na různých půdních vlastnostech.

Obrázek 6: Vysokotlaký vstřikovací aplikátor (Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik, Braunschweig)



V současném období jsou nejčastěji používána v systému CULTAN tato hnojiva: kapalný čpavek, amoniakální vody, síran amonný, DAM 390, SAM. Tato hnojiva je vhodné kombinovat s inhibitory nitrifikace. Při míchání jednotlivých forem dusíku by neměl

celkový podíl amonné formy v hnojivu klesnout pod 25 %. Současně by celková dávka N ve formě močoviny neměla překračovat 50 %. Zásadně se zde nedoporučuje kombinace močoviny s inhibitory ureázy. Jeho aplikace by způsobila vysoký příjem dusíku ve formě močoviny a mohla by se projevit latentní nebo akutní fytotoxicita amoniakem (Weimar, 2003; Balík et al., 2007; Sommer a Scherer, 2007). V okrajových zónách depa se mohou ve větší míře kumulovat dusičnany jako produkt nitrifikace amoniaku (Menge-Hartmann a Schittenhelm, 2008), proto se na biologicky vysoce aktivních půdách může pro zvýšení stability amoniaku v depu použít inhibitor nitrifikace (Weimar a Sommer, 1990). Mezi používaná organická hnojiva CULTAN metodou patří kejda, močůvka a kapalné zbytky z bioplynových stanic. Z důvodu nízkého obsahu dusíku v kejdě či močůvce je nutné aplikovat vysoké dávky hnojiva, což má negativní vliv na strukturu půdy. Tento problém však může být vyřešen zvýšením obsahu dusíku v hnojivu přidáním roztoku síranu amonného. Koncentrace dusíku by měla být aspoň 10 kg/m³. S technologií CULTAN může být také spojena aplikace ostatních makro a mikroelementů, systémových přípravků na ochranu rostlin a růstových regulátorů. Současně s příjmem živin z CULTAN depa totiž nastává podle intenzity růstu kontinuální příjem účinných látek přípravků na ochranu rostlin a růstových regulátorů. Rostliny preferují tento způsob aplikace před šokovým ošetřením postřikem na list, protože systémově účinné látky jsou v rostlinách dobře pohyblivé xylémem, ale méně floémem. Ke správnému rozmístění účinných látek v rostlině proto dochází při kořenovém příjmu a nikoliv při postřiku na list (Sommer, 2005).

Při používání amonných roztoků se zvýší využitelnost dusíku z hnojiva jeho zapravením do půdy (Blaylock a Cruse, 1992). Při systému hnojení CULTAN jsou výrazně omezeny ztráty dusíku volatilizací, vyplavením a povrchovým smyvem, proto někteří autoři předpokládají využitelnost dusíku při bodovém injektážním hnojení vysokými dávkami amonných hnojiv až 90 % (Sommer, 2005; Schumacher, 2009).

VI. Metodika polních pokusů založených pro ověření možnosti hnojení travních a jetelotravních porostů systémem CULTAN

Polní pokusy byly založeny na třech stanovištích jako dva zásevové cykly.

Charakteristika pokusných stanovišť

Troubsko

Pozemek výzkumné stanice je tvořen půdním typem degradovaná černozem, zrnitostním složením hlinitá až jílovitohlinitá s půdní reakcí neutrální. Půda je mírně humózní. Dlouhodobý průměrný roční úhrn srážek je 547 mm z toho ve vegetačním období 344 mm. Dlouhodobá průměrná roční teplota je 8,4 °C, ve vegetačním období 14,8 °C.

Červený Újezd

Pokusný pozemek je tvořen půdním typem hnědozem. Půda je hlinitá až jílovitohlinitá. Průměrná roční teplota se pohybuje okolo 7,6 °C. Průměrný úhrn srážek činí 549 mm. Během vegetace je průměrná teplota 13,9 °C a průměrný úhrn srážek 549 mm.

Jevíčko

Půdní typ je černozem degradovaná. Zrnitostně se jedná o půdu hlinitou v celém profilu. Půdotvorný substrát tvoří spraš. Pokusné stanoviště má průměrnou roční teplotou 7,4 °C a s celoročním dlouhodobým průměrem srážek 545 mm.

Na všech stanovištích byl pokus založen výsevem bez krycí plodiny s velikostí parcel 30 m² ve 4 opakováních metodou znáhodněných bloků. Schéma pokusu je znázorněno v tabulce 1. Před výsevem byla na pokusný pozemek aplikována fosforečná a draselná hnojiva v dávce 30 P kg.ha⁻¹, draslíkem v dávce 90 K kg.ha⁻¹.

Byly vysety monokultury loloidního hybridu Perseus (*Lolium multiflorum* Lam. x *Festuca pratensis* Huds.) a festucoidního hybridu (*Lolium multiflorum* Lam. x *Festuca arundinacea* Schreb.) a jejich směsi s jetelem lučním (*T. pratense* L., odrůda Vltavín) v poměru 70 % travního komponentu a 30 % jetele. V průběhu vegetace byly provedeny dvě seče v závislosti na průběhu nárůstu porostů.

Pokus byl tvořen kontrolou, konvenční plošnou povrchovou aplikací hnojiva LAV a bodovou injektážní aplikací hnojiva DAM 390 do půdy. Aplikace dusíkatých hnojiv proběhla ve třech termínech (jaro, po první a druhé seči).

Varianty pokusu:

H1 – kontrola – konvenční způsob hnojení hnojivem LAV (L)

H2 – hnojení metodou CULTAN s použitím hnojiva DAM 390 (C)

Úroveň hnojení N:

N₁ – bez hnojení

N₂ - hnojení dusíkem: 90 kg.ha⁻¹ N, dělení dusíku 90 – 0 – 0 (jaro - po 1. seči - po 2. seči)

N₃ – hnojení dusíkem: 180 kg.ha⁻¹ N, dělení dusíku 90 – 60 – 30.

Travní druhy T:

T1 – loloidní hybrid v monokultuře (Perseus, čistota 99,5 %, klíčivost 89 %, HTS 3,94 g, výsevek 12 MKS ha⁻¹).

T2 – festucoidní hybrid v monokultuře (Felina, čistota 99,8 %, klíčivost 97 %, HTS 2,53 g, výsevek 12 MKS ha⁻¹).

T3 – jetelotravní směs na bázi loloidního hybridu Perseus: jetel luční Vltavín (čistota 99,2 %, klíčivost 93 %, HTS 1,78 g, výsevek 8 MKS. ha⁻¹) v poměru 70:30.

T4 – jetelotravní směs na bázi festucoidního hybridu Felina: jetel luční Vltavín (70:30).

Uspořádání pokusu:

(a) trávy, v. č. 1 – 12

(b) jetelotrávy, v. č. 13 – 24

Před každou sečí bylo provedeno hodnocení pokryvnosti setých druhů metodou redukované projektivní dominance (seté druhy, ostatní druhy celková pokryvnost + prázdná místa = 100 %) u každé pokusné parcely.

Rozborem laboratorních vzorků metodou NIRS byly stanoveny tyto parametry kvality píce: NL (dusíkaté látky), vláknina, PDIN (skutečně stravitelné dusíkaté látky – „proteiny“ v tenkém střevě; zahrnují ve střevě stravitelné nedegradovatelné dusíkaté látky a mikrobiální bílkoviny, které mohou být v bachoru syntetizovány z degradovatelných dusíkatých látek krmiva), PDIE (skutečně stravitelné dusíkaté látky „proteiny“ v tenkém střevě; zahrnují ve střevě stravitelné nedegradovatelné dusíkaté látky a mikrobiální bílkoviny, které mohou být v bachoru syntetizovány z energie krmiva), NEL (netto energie laktace) a NEV (netto energie výkrmu). Měření bylo provedeno na přístroji FOSS NIRSystems 6500 instrument (Company NIRSystems, Inc., Silver Spring, USA). Skenování vzorku bylo provedeno v režimu reflektance v oblasti 400 – 2500 nm, tj. ve viditelné a blízké infračervené oblasti spektra, krok snímání 2 nm. Kvalita píce byla predikována s využitím software WinISI II (Infrasoft International, Inc., USA), verze 1.50.

VII. Výsledky pokusů ověřujících možnosti hnojení travních a jetelotravních porostů systémem CULTAN

Celkový roční výnos sušiny ze tří sečí samotných trav a jetelotravní směsi je znázorněn v tabulce 1. Se zvyšující se dávkou hnojiva stoupl v obou systémech výživy produkce sušiny. Přitom výnos sušiny se po injektážní aplikaci dusíku významně nelišil od konvenčně hnojených variant. Při porovnání jednotlivých hybridů se v těchto pokusech jeví jako výnosnější varianty obsahující v jetelotravní směsi hybrid Felina. Vyšší výnos sušiny hybridu Felina oproti variantám s hybridem Perseus byl přitom pozorován při povrchové i injektážní aplikaci hnojiva. Estavillo et al. (1996) v pokusu s jetelotravní směsí dosáhli vyššího výnosu sušiny u hnojených variant oproti nehnojené kontrole, přitom obsah jetele ve směsi se zvyšující se dávkou dusičnanu amonného klesal. Autoři vysvětlují pokles zastoupení jetele ve směsi velkou konkurencí travních komponent v příjmu dodaného dusíku. V pokusu Thometa et al. (2007) ve Švýcarsku bylo zjištěno, že celkový roční výnos sušiny jetelotravní směsi při dobrých vláhových podmínkách a při dávce dusíku $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ nezávisí na rozložení dávek dusíku v průběhu vegetace. Systémem rozložení dávek dusíku však dokázali posunout až 10 % celkového výnosu sušiny z jara do podzimního období.

Tabulka 1: Výnos sušiny trav a jetelotráv ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) v závislosti na:

a) systému hnojení

Hnojení	Trávy	Jetelotrávy
LAV	10,1	11,5
CULTAN	9,8	11,4

b) na dávce dusíkatého hnojení

Dávka N ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)	Trávy	Jetelotrávy
0	7,8	10,3
90	10,1	11,7
180	11,8	12,3

c) na použitém travním hybridu

Travní hybrid	Trávy	Jetelotrávy
Perseus	8,9	10,5
Felina	11,0	12,4

Pro hodnocení pokryvnosti setých druhů byla použita metoda redukované projektivní dominance. V tabulce 2 je zachycen trend, kdy se stoupající dávkou hnojiva aplikovanou konvenčně klesá pokryvnost jetele. U systému CULTAN lze pozorovat podobný trend. Ledgard (2001) udává, že na poměr jetele a travní směsi má hlavní vliv přístupnost půdního dusíku, jetel je více konkurence schopný na stanovištích s nízkým obsahem N v půdě, naopak na stanovištích bohatých na dusík dominují travní složky. Davidson a Robson (1986) to z části vysvětlují vyšší efektivností příjmu dusíku z půdy než kombinace příjmu z půdy a fixace. V našem pokusu dosahovaly celkově vyšší pokryvnosti jetele varianty hnojené systémem CULTAN proti konvenčně hnojeným variantám. Přitom v obou systémech výživy dosahovaly vyšší pokryvnost jetele varianty s hybridem Felina ve srovnání s variantami Perseus. Tento trend byl výrazněji patrný v prvním sklizňovém roce u obou zásevových cyklů. To bylo způsobeno vyšší rychlostí vzcházení hybridu Perseus v porovnání s hybridem Felina a s tím související vyšší konkurencí vůči vzcházejícímu jeteli.

Tabulka 2: Pokryvnost jetele (%) u jetelotravních směsí

č.	varianta	Pokryvnost jetele (%)
13	LxP+Vx0	31,5
14	LxP+Vx90	20,4
15	LxP+Vx180	20,1
16	LxF+Vx0	40,9
17	LxF+Vx90	36,5
18	LxF+Vx180	32,1
19	CxP+Vx0	32,1
20	CxP+Vx90	27,3
21	CxP+Vx180	22,6
22	CxF+Vx0	41,5
23	CxF+Vx90	40,8
24	CxF+Vx180	36,4

Obsahy dusíkatých látek v travních porostech i v jetelotravních směsích byly vyrovnané u obou způsobů hnojení. Průměrný obsah dusíkatých látek v rostlinách byl 10,9 u travních porostů a 13,7 % u jetelotravních porostů pro oba systémy hnojení (tab. 3). Dusíkatým hnojením se koncentrace dusíkatých látek významně nezvyšovala. To platí pro oba zásevové cykly a všechna stanoviště. Při porovnání hybridů Perseus a Felina bylo

dosaženo vyšších obsahů dusíkatých látek v rostlinách jetelotrav u variant obsahujících hybrid Felina. Průměrný obsah dusíkatých látek u variant obsahujících hybrid Perseus byl 13,2 % a u variant s hybridem Felina byl 14,1 %.

Tabulka 3: Obsah dusíkatých látek v travních a jetelotravních porostech (% sušiny) v závislosti na:

a) systému hnojení

Hnojení	Trávy	Jetelotrávy
LAV	10,9	13,7
CULTAN	10,6	13,7

b) na dávce dusíkatého hnojení

Dávka N (kg.ha ⁻¹)	Trávy	Jetelotrávy
0	10,0	13,5
90	10,9	13,7
180	11,6	13,9

c) na použitém travním hybridu

Travní hybrid	Trávy	Jetelotrávy
Perseus	10,8	13,2
Felina	10,8	14,1

Obsah vlákniny se pohyboval kolem 273 g.kg⁻¹ sušiny v travních porostech a kolem 253 g.kg⁻¹ jetelotravních porostech (tab. 4). Výsledky neprokázaly významné rozdíly v obsahu vlákniny ani vlivem systému hnojení, ani vlivem stupňované dávky dusíku. Při porovnání obsahu vlákniny v obou travních hybridech se na všech třech lokalitách ukázal vyšší obsah na variantách s hybridem Felina než na variantách s hybridem Perseus.

Tabulka 4: Obsah vlákniny v travních a jetelotravních porostech (g.kg⁻¹) v závislosti na:

a) systému hnojení

Hnojení	Trávy	Jetelotrávy
LAV	272	254
CULTAN	273	253

b) na dávce dusíkatého hnojení

Dávka N (kg.ha ⁻¹)	Trávy	Jetelotrávy
0	275	251
90	274	255
180	269	255

c) na použitém travním hybridu

Travní hybrid	Trávy	Jetelotrávy
Perseus	266	252
Felina	279	255

Při rozdílném systému hnojení ani při použití stupňovaných dávek dusíku (0 – 180 kg.ha⁻¹) nebyl zjištěn významný vliv na koncentraci netto energie výkrmu u trav ani jetelotravních porostů (tab. 5). Žádný statisticky významný rozdíl v koncentraci NEV v biomase nebyl zjištěn ani pro oba sledované travní hybridy.

Tabulka 5: Koncentrace netto energie výkrmu u travních a jetelotravních porostů (MJ.kg⁻¹ sušiny¹) v závislosti na:

a) systému hnojení

Hnojení	Trávy	Jetelotrávy
LAV	4,9	5,1
CULTAN	4,9	5,0

b) na dávce dusíkatého hnojení

Dávka N (kg.ha ⁻¹)	Trávy	Jetelotrávy
0	4,9	5,1
90	4,9	5,0
180	4,9	5,0

c) na použitém travním hybridu

Travní hybrid	Trávy	Jetelotrávy
Perseus	5,1	5,1
Felina	5,0	5,0

Při porovnání konvenčního způsobu hnojení a systémem CULTAN nebyly nalezeny žádné statisticky významné rozdíly v hodnotách netto energie laktace (tab. 6). Nebyla zaznamenána žádná závislost koncentrace NEL na postupně se zvyšujících dávkách dusíku, ani u travních hybridů nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly. Koncentrace NEL

jetelotrav prakticky kopíruje svými hodnotami koncentraci NEL trav. Zde rovněž nejsou zaznamenány žádné statisticky významné závislosti a všechny hodnoty jsou velice vyrovnané ve všech sledovaných parametrech.

Výraznější vliv na koncentraci PDIN trav nemá systém hnojení. Se zvyšující se dávkou dusíku roste především koncentrace PDIN trav (tab. 7). Vyšší hodnoty PDIN byly stanoveny v hybridu Felina oproti hybridu Perseus.

Při hodnocení vlivu systému hnojení na koncentraci PDIE nebyly zjištěny významné rozdíly. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí 74 – 79 MJ.kg⁻¹ sušiny. Rozdíl však není statisticky průkazný stejně, jako vliv stupňované dávky hnojení. Vyšší hodnoty PDIE byly zjištěny pro hybrid Felina ve srovnání s hybridem Perseus.

Tabulka 6: Koncentrace netto energie laktace u travních a jetelotravních porostů (MJ.kg⁻¹ sušiny¹) v závislosti na:

a) systému hnojení

Hnojení	Trávy	Jetelotrávy
LAV	5,2	5,3
CULTAN	5,1	5,3

b) na dávce dusíkatého hnojení

Dávka N (kg.ha ⁻¹)	Trávy	Jetelotrávy
0	5,1	5,3
90	5,1	5,3
180	5,2	5,2

c) na použitém travním hybridu

Travní hybrid	Trávy	Jetelotrávy
Perseus	5,2	5,3
Felina	5,1	5,2

Tabulka 7: Koncentrace PDIN (g.kg⁻¹ sušiny) u travních a jetelotravních porostů v závislosti na:

a) systému hnojení

Hnojení	Trávy	Jetelotrávy
LAV	61	79
CULTAN	59	79

b) na dávce dusíkatého hnojení

Dávka N (kg.ha⁻¹)	Trávy	Jetelotrávy
0	54	77
90	60	79
180	65	80

c) na použitém travním hybridu

Travní hybrid	Trávy	Jetelotrávy
Perseus	59	79
Felina	60	79

VIII. Souhrn výsledků experimentů

Výnos sušiny travních i jetelotravních porostů nebyl po injektážní aplikaci dusíku metodou CULTAN významně odlišný od konvenčně hnojených variant. Při porovnání jednotlivých travních hybridů se jeví jako výnosnější varianty obsahující hybrid Felina, a to u jetelotravních směsí i trav. V pokusu byl také potvrzen pozitivní vliv rostoucí dávky dusíku na výnos sušiny travních i jetelotravních porostů.

Se stoupající dávkou hnojiva aplikovanou konvenčně klesá pokryvnost jetele. Hnojení metodou CULTAN omezuje snížení zastoupení jetele v jetelotravní směsi. Při porovnání hybridů trav dosahovaly jetelotravní směsi s hybridem Felina vyšší pokryvnosti jetele než varianty s hybridem Perseus.

Obsahy dusíkatých látek v jetelotravních směších i travách byly vyrovnané u obou způsobů hnojení. Dusíkatým hnojením se koncentrace dusíkatých látek u jetelotrav prakticky nezvyšovala. Obsah vlákniny jetelotrav a trav nebyl ovlivněn dávkou hnojiva ani systémem jeho aplikace. Avšak u travních i jetelotravních porostů byly pozorovány mírně vyšší obsahy vlákniny u variant obsahujících hybrid Felina. V pokusu byla zjištěna negativní závislost obsahu vlákniny na obsahu dusíkatých látek.

Při použití stupňovaných dávek dusíku ($0 - 180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), ani při odlišných systémech hnojení nebyl zjištěn žádný významný rozdíl koncentrace netto energie výkrmu u trav a jetelotrav. Koncentrace netto energie laktace jetelotravních a travních směsí kopíruje výsledky netto energie výkrmu. U PDIE a PDIN trav byly zaznamenány vyšší hodnoty u konvenčního způsobu hnojení, které však nebyly statisticky významné. Stupňované dávky hnojení dusíku ($0 - 180 \text{ kg} \cdot \text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$) zvyšovaly koncentraci PDIE i PDIN u travních porostů. U jetelotravních směsí tato závislost nebyla pozorována. U variant s hybridem Felina byla zaznamenána vyšší koncentrace u PDIN i PDIE oproti variantám s hybridem Perseus.

IX. Závěry pro praxi

Jetoletravní porosty hnojené systémem CULTAN poskytují stejné výnosy jako porosty konvenčně hnojené. Významně se neliší ani v kvalitativních parametrech. Hnojení metodou CULTAN však omezuje snížení zastoupení jetele v jetelotravní směsi. Současně jsou rostliny odolnější vůči chorobám a škůdcům. Důvodem je překonání stresu po aplikaci amonného N, a tím zvýšení odolnosti.

Mezi hnojiva nejčastěji používána v systému CULTAN patří kapalný čpavek, amoniakální vody, síran amonný, DAM 390, SAM. Tato hnojiva je vhodné kombinovat s inhibitory nitrifikace. Při míchání jednotlivých forem dusíku by neměl celkový podíl amonné formy v hnojivu klesnout pod 25 %. Současně by celková dávka N ve formě močoviny neměla překračovat 50 %. Mezi organická hnojiva používaná metodou CULTAN patří kejda, močůvka a kapalné zbytky z bioplynových stanic. Z důvodu nízkého obsahu dusíku v kejdě či močůvce je nutné aplikovat vysoké dávky hnojiva, což má negativní vliv na strukturu půdy. Tento problém však může být vyřešen zvýšením obsahu dusíku v hnojivu přidáním roztoku síranu amonného. Koncentrace dusíku by měla být alespoň 10 kg/m³. S technologií CULTAN může být také spojena aplikace ostatních makro a mikroelementů, systémových přípravků na ochranu rostlin a růstových regulátorů.

V porostu je možné hnojiva aplikovat pomocí tažených hadic. Pro využití tohoto způsobu nesmí být roztoky hnojiv příliš těkavé a při aplikaci se musí částečně vsáknout do půdy. Hodnota pH půdy musí být nižší než 7 a půda nesmí obsahovat volné uhličitany, aby nevznikly ztráty volatilizací amoniaku. Půda by měla být dostatečně vlhká, aby rostliny dorostly svými kořeny na povrch a přijaly dusík z hnojiva. Nejčastější použití povrchových dep je při aplikaci kapalných organických hnojiv, jako např. kejdy. Při aplikaci organických hnojiv se doporučuje použít přídavek síranu amonného na zvýšení obsahu dusíku

Při systému hnojení CULTAN jsou výrazně omezeny ztráty dusíku volatilizací, vyplavením a povrchovým smyvem, proto někteří autoři předpokládají využitelnost dusíku při bodovém injektážním hnojení vysokými dávkami amonných hnojiv až 90 %. Právě omezení ztrát N vyplavením činí tuto metodu vhodnou do podmínek zranitelných oblastí.

X. Ekonomické přínosy využití systému hnojení CULTAN

V současné době je v ČR přibližně 65 tis. ha jetelotravních porostů. Tyto porosty, pokud jsou hnojené systémem CULTAN, poskytují stejné výnosy i shodnou kvalitu píce jako porosty konvenčně hnojené. Využití systému hnojení CULTAN má řadu ekonomických přínosů:

1) V důsledku omezení poklesu zastoupení jetelovin v porostu při hnojení systémem CULTAN zůstává zachována výše fixace vzdušného dusíku porostem a porost vyžaduje nižší dávky hnojení dusíkem v porovnání s porostem konvenčně hnojeným (úspora představuje 10 – 15 % dávky dusíku).

2) Způsob aplikace dusíku metodou CULTAN omezuje výši ztrát N volatilizací, vyplavením a smyvem, a to až o 25 %.

3) Při bodovém injektážím hnojením amonným dusíkem se zvyšuje využitelnost N rostlinou až o 20 %.

4) Po aplikaci amonného N musí rostlina překonat určitý stres, je proto odolnější vůči chorobám a škůdcům. Předpokládá se určitá úspora v aplikaci pesticidů, její kvantifikace je však obtížná.

Pokud by systémem CULTAN byla hnojena jedna pětina všech jetelotravních porostů v ČR, tj. 13 tis. ha, představuje to při ceně 28 Kč/kg N ekonomický přínos 8.200 tis. Kč ročně.

Významným nákladem při využívání systému CULTAN je nutnost pořízení speciálního aplikátoru hnojiv v ceně přibližně 800 tis. Kč. V případě, že aplikace hnojiva bude řešena formou služby, pohybují se náklady na aplikaci na úrovni 250 Kč/ha, tj. při aplikaci na 13 tis. ha 3.250 tis. Kč.

XI. Seznam vědeckých publikací, které předcházely metodice

- Kozlovský O., Balík J., Černý J., Kulhánek M., Hakl J., Kohoutek A. (2010). Assessment of surface and injection fertilization on various grass hybrids in grass-clover mixture. *Plant Soil Environ.* 56 (12): 557-563.
- Lang J., Novosádová I. (2010): Porovnání kvality píce při rozdílném systému dusíkatého hnojení. *Úroda* 12, vědecká příloha, s. 657-659.
- Lang, J. (2011): Porovnání produkce sušiny a kvality píce ve dvou pěstebních cyklech v systémech hnojení CULTAN a LAV. *Úroda* 12, vědecká příloha, s. 371-374
- Neuberg, M., Pavlík, M., Balík, J., Kaliszová, R., Pavlíková D. (2010). Vliv výživy amonným dusíkem na obsah aminokyselin v rostlinách jetele lučního. *Agrochémia* XIV (50): 9-12
- Neuberg, M., Pavlíková D., Pavlík, M., Balík, J. (2010). The effect of different nitrogen nutrition on proline and asparagine content in plant. *Plant Soil Environ.* 56 (7): 305-311
- Neuberg, M., Pavlíková, D., Balík, J. (2011): Dependence of free alanine levels in *Festulolium* and *Trifolium pratense* L. on types of N nutrition. *Scientia Agriculturae Bohemica* 42 (4): 147-152
- Neuberg, M., Pavlíková, D., Žižková, E., Motyka, V., Pavlík, M. (2011). Different types of N nutrition and their impact on endogenous cytokinin levels in *Festulolium* and *Trifolium pratense* L. *Plant Soil Environ.* 57 (8): 381-387
- Pavlíková D., Neuberg, M., Žižková, E., Motyka, V., Pavlík, M. (2012). Interactions between nitrogen nutrition and phytohormon levels in *Festulolium* plants. *Plant Soil Environ.* 58: 366-371
- Pavlíková D., Pavlík M., Balík J. (2008): Vliv amonného dusíku na metabolismus rostlin. *Agrochémia* XII (48): 3 - 8

XII. Seznam použité literatury

- Balík, J. (1982): Příspěvek k bilanci dusíku (15N) v půdě a jeho využití rostlinami. Disertační práce, VŠZ Praha, 197 s.
- Balík, J., Černý, J., Tlustoš, P., Pavlíková, D. (1997): Racionálně využitelný dusík organických sloučenin. Sborník z konference: Racionální použití průmyslových hnojiv, ČZU v Praze, 15–20.
- Balík, J., Pavlíková, D., Habásková, B., Nedvěd, V., Balíková, M. (2006): Obsah dusičnanů a lehce extrahovatelného uhlíku (0,01 M CaCl₂) v rhizosféře rostlin pšenice. Sborník z konference: Racionální použití hnojiv, ČZU v Praze, 79–83.
- Balík, J., Lipavský, J., Hlušek, J., Pavlíková, D., Černý, J. (2007): Usměrnění výživy rostlin amonným dusíkem (systém CULTAN). Sborník z konference: Racionální použití hnojiv, ČZU v Praze, 39–45.
- Balík, J., Pavlíková, D., Kozlovský, O. (2008a): Nová technologie výživy rostlin dusíkem – CULTAN. S námi jste úspěšní. Agrofert holding, a. s., 33–35.
- Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Vaněk, V., Pavlík, M. (2008b): Mobilita prvků a látek v rhizosféře. ČZU v Praze, 150 s.
- Barber, S.A., Walkwe, J.M., Vasey, E.H. (1963): Mechanism for the movement of plant nutrients from the soil and the fertilizer to the plant root. J Agr Food Chem, 11: 204–207.
- Barekzai, A., Steffens, D., Bohring, J., Engels, T. (1992): Principles and evaluation of the “Giessener-Model” for N fertilizer recommendations to winter cereals by means of the EUF method. Agribiol Res, 45: 65–76.
- Bielek, P. (1984): Dusík v půdě a jeho premeny. Příroda Bratislava, 135 s.
- Bielek, P. (1998): Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska. VÚPÚ Bratislava, 256 s.
- Bízik, J. (1989): Podmienky optimalizácie výživy rastlin dusíkom. Poľnohospodárska veda, Bratislava, 192 s.
- Blaylock, A.D., Cruse, R.M. (1992): Ridge tillage corn response to point injected nitrogen fertilizer. Soil Sci Soc Am J, 56(2): 591–595.
- Bloom, A.J., Meyerhoff, P.A., Taylor, A.R., Rost, T.L. (2003): Root development and absorption of ammonium and nitrate from the rhizosphere. J Plant Growth Regul, 21: 416–431.
- Causin, H.F., Barneix, A.J. (1993): Regulation of NH₄⁺ uptake in wheat plants – effect of root ammonium concentration and amino-acids. Plant Soil, 151(2): 211–218.

- Cerezo, M., Tillard, P., Gojon, A., Primo-Millo, E., García-Agustín, P. (2001): Characterization and regulation of ammonium transport systems in Citrus plants. *Planta*, 214(1): 97–105.
- Cramer, M.D., Hawkins, H.J., Verboom, G.A. (2009): The importance of nutritional regulation of plant water flux. *Oecologia*, 161: 15–21.
- Černý, J., Balík, J., Tlustoš, P., Němeček, R. (1997): Minerální a organický dusík v půdě. Sborník z konference: Racionální použití průmyslových hnojiv. ČZU v Praze, 72–78.
- Davidson, I.A., Robson, M.J. (1986): Effects of temperature and nitrogen supply on the growth of perennial ryegrass and white clover. 2. Comparison of monocultures and mixed swards. *Annals of Botany*, 57: 709–719.
- Durand, R., Bellon, N. (1994): The influence of the growth media and mineral-nutrition on corn root hydrogen bicarbonate releases and rhizosphere pH. *J Plant Nutr*, 17(5): 817–838.
- Estavillo, J.M., Gonzalez Murua, C., Besga, G., Rodriguez, M. (1996): Effect of cow slurry N on herbage productivity, efficiency of N utilization and on white clover content in a natural sward in the Basque Country, Spain. *Grass and Forage Science*, 51: 1-7.
- Fernandes, M.S., Rossiello, R.O.P. (1995): Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. *Crc Cr Rev Plant Sci*, 14: 111–148.
- Gahoonia, T.S., Nielsen, N.E. (1992): Control of pH at the soil-root interface. *Plant Soil*, 140: 49–54.
- Gärdenäs, A.I., Ågren, G.I., Bird, J.A., Clarholm, M., Hallin, S., Ineson, P., Kätterer, T., Knicker, H., Nilsson, S.I., Näsholm, T., Ogle, S., Paustian, K., Persson, T., Stendahl, S. (2011): Knowledge gaps in soil carbon and nitrogen interactions - From molecular to global scale. *Soil Biol Biochem*, 43(4): 702–717.
- Groffman, P.M., Tiedje, J.M. (1988): Denitrification hysteresis during wetting and drying cycles in soil. *Soil Sci Soc Am J*, 52: 1626–1629.
- Chatskikh, D., Olesen, J., Berntsen, J., Regina, K., Yamulki, S. (2005): Simulation of effects of soils, climate and management on N₂O emission from grasslands. *Biogeochemistry*, 76: 395–419.
- Inubushi, K., Goyal, S., Sakamoto, K., Wada, Y., Yamakawa, K., Arai, T. (2000): Influences of application of sewage sludge compost on N₂O production in soils. *Chemosphere: Global Change Science*, 2(3–4): 329–334.
- Ivanič, J., Havelka, B., Knop, K. (1984): Výživa a hnojenie rastlín. *Príroda Bratislava–SZN Praha*, 482 s.

- Janzen, H.H., Lindwall, C.W. (1989): Optimum application parameters for point injection of nitrogen in winter wheat. *Soil Sci Soc Am J*, 53(6): 1878–1883.
- Jansson, S.L., Persson, J. (1982): Mineralization and immobilization of soil nitrogen. In: Stevenson, F.J. (Editor): *Nitrogen in agricultural soils*. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 229–252.
- Javot, H., Christophe, M. (2002): The role of aquaporins in root water uptake. *Ann Bot-London*, 90: 301–313.
- Jedidi, N., Vancleemput, O., Mhiri, A. (1995): Quantification of nitrogen mineralization and immobilization in soil in the presence of organic amendments. *Can J Plant Sci*, 75: 85–91.
- Kleiner, D. (1981): The transport of NH_3 and NH_4^+ across biological membranes. *Biochim Biophys Acta*, 639, 41–52.
- Kozlovský, O. (2011): Zhodnocení nového systému výživy rostlin dusíkem cultan u ozimé. Dizertační práce. ČZU v Praze, 104 s.
- Kücke, M., Scherer, H.W. (2006): Injektionsdüngung in Deutschland. *RKL Rendsburg*, 397–429.
- Ledgard, S.F. (2001): Nitrogen cycling in low input legume based agriculture, with emphasis on legume/grass pastures. *Plant Soil*, 228: 43–59.
- McNeill, A., Unkovich, M. (2007): The nitrogen cycle in terrestrial ecosystems. In: Marschner, P., Rengel, Z. (Editors): *Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems*. *Soil Biology 10*, Springer-Verlag Berlin Hiedelberg, 37–64.
- Menge-Hartmann, U., Schittenhelm, S. (2008): Depot stability of locally injected ammonium and effect on the metabolism of spring wheat. *Landbauforsch Volk*, 58(3): 235–245.
- Mengel, K., Kirkby, E.A. (2001): *Principles of plant nutrition*. Kluwer Academic Publishers, Dodrecht, 849 s.
- Mengel, K., Robin, P., Salsac, L. (1983): Nitrate reductase activity in shoot and roots of maize seedlings as affected by the form of nitrogen nutrition and the pH of the nutrient solution. *Plant Physiol*, 71: 618–622.
- Näsholm, T., Huss-Danell, K., Högborg, P. (2000): Uptake of organic nitrogen in the field by four agriculturally important plant species. *Ecology*, 81: 1155–1161.
- Nelson, D.W., Huber, D. (2001): Nitrification Inhibitors for Corn Production. *National Corn Handbook* 55: 1–6.

- Neuberg, M., Balík, J., Pavlíková, D., Kaliszová, R. (2009): Vliv různého způsobu hnojení síranem amonným na obsah asparaginu v rostlinách trav. Sborník z konference: Racionální použití hnojiv. ČZU v Praze, 125–128.
- Němeček, R. (2002): Změny minerálního a mineralizovatelného dusíku v půdě. Disertační práce, ČZU v Praze, 112 s.
- Pavlíková, D., Balík, J., Pavlík, M., Tlustoš, P., Vaněk, V. (2007): Dusík v rostlině a jeho využití. Sborník z konference: Racionální použití hnojiv. ČZU v Praze, 28–33.
- Petersen, J. (2005): Inter-row crop competition for band-injected ammonium nitrate. *Plant Soil*, 270: 83–90.
- Qian, J.H., Doran, J.W., Walters, D.T. (1997): Maize plant contributions to the root zone available carbon and microbial transformations of nitrogen. *Soil Biol Biochem*, 29: 1451–1462.
- Reynolds, S.B., Scaife, A., Turner, M.K. (1987): Effect of nitrogen form on boron uptake by cauliflower. *Commun Soil Sci Plan*, 18(10): 1143–1154.
- Roselt, J.P. (1990): Standortuntersuchungen zur Stickstoffdepot-, PK-Spät- und ergänzenden Blattdüngung bei Winterweizen in Rheinland-Pfalz. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 205 s.
- Schumacher, H.J. (2009): Ertrags- und Qualitätsvorteile für Braugerste. *Landwirtschaft ohne Pflug*, 1: 26–28.
- Smith, S.J., Power, J.F., Kemper, W.D. (1994): Fixed ammonium and nitrogen availability indexes. *Soil Sci*, 158: 132–140.
- Sommer, K. (2003): Grundlagen des “CULTAN”- Verfahrens. In: Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) „Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen“, FAL Braunschweig Sonderheft 245: 1–22.
- Sommer, K. (2005): CULTAN - Düngung. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen, 218 s.
- Sommer, K. (2008): Bestandenführung beim Getreide nach dem “CULTAN”-Verfahren. *Getreide magazin*, 2: 2–4.
- Sommer, K., Titz, R., Wendt, T. (1987): Ammonium- Depotdüngung: Eine Möglichkeit zur umweltverträglichen Stickstoffdüngung im Feldgemüsebau. *Forschung und Beratung*, Reihe B, Berichte der Landw. Fakultät der Universität Bonn, 36: 18–41.
- Sommer, K., Scherer, H. W. (2007): Source / sink–relationships in plants as depending on ammonium as „CULTAN“, nitrate or urea as available nitrogen fertilizers. International Symposium “Sink-Source Relationships in Plants”, Kaliningrad, Rusko, 1–29.

- Stevenson, F.J., Cole, M.A. (1999): Cycles of soil carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients. John & Wiley and Sons, New York, 427 s.
- Strebel, O., Duynisveld, W.H.M., Grimme, H., Renger, M., Fleige, H. (1983): Water uptake of root and nitrate supply (mass flow, diffusion) as a function of soil profile depth and time in a sugar beet stand. *Mitteil. Deutsch. Bodenkundl. Ges.* 38: 153–158.
- Šantrůček, J. et al. (2007): Encyklopedie pícninářství. ČZU v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra pícninářství a trávnickářství, Praha 120 s.
- Šimek, M. (1998): Denitrifikace v půdě. *Rost Vyroba*, 44: 385–394.
- Šimek, M. (2000): Nitrifikace v půdě. *Rost Vyroba*, 46: 385–395.
- Thomet, P., Stettler, M., Hadorn, M., Mosimann, E. (2007): Manipulating pasture grass growth by nitrogen fertilization. *Agrarforschung*, 14: 472–477.
- Thompson, R.B., Meisinger, J.J. (2004): Gaseous nitrogen losses and ammonia volatilization measurement following land application of cattle slurry in the mid-Atlantic region of the USA. *Plant Soil*, 266: 231–246.
- Tlustoš, P., Balík, J., Pavlíková, D., Száková, J., Vaněk, V. (2007): Koloběh dusíku v přírodě. Sborník z konference: Racionální použití hnojiv. ČZU v Praze, 20–27.
- Trčková, M., Raimanová, I., Růžek, P. (2006): Využití různých forem dusíku u obilnin při mimokořenové aplikaci. Sborník z konference: Racionální použití hnojiv. ČZU v Praze, 36–40.
- Ullrich, W.R. (1992): Transport of nitrate and ammonium through plant membranes. In: Mengel, K., Pilbeam, D.J. (Editors): *Nitrogen metabolism in plants*, Oxford University Press, 121–137.
- Ullrich, W.R., Novacky, A. (1981): Nitrate-dependent membrane potential in *Lemna gibba*. *Plant Sci Lett*, 22: 211–217.
- Vaněk, V., Pavlíková, D., Balík, J., Tlustoš, P. (1997a): Dusík v půdě a jeho přeměny. Sborník z konference: Racionální použití průmyslových hnojiv. ČZU v Praze, 8–14.
- Vaněk, V., Trávník, K., Balík, J., Hodanová, J. (1997b): Zásady racionálního hnojení dusíkem. Sborník z konference: Racionální použití průmyslových hnojiv. ČZU v Praze, 43–50.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. (2007): Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press, s.r.o., 176 s.
- Vaněk, V., Kolář, L., Pavlíková, D., Černý, J. (2009): Úloha organické hmoty v půdě. Sborník z konference: Racionální použití hnojiv. ČZU v Praze, 16–25.

- Vorsatz, C. (1995): Technik zum Cultan Düngungsverfahren. Provinzialverband Rheinischer Obst- und Gemüsebauer e.V, 310–311.
- Vostal, J., Balík, J., Tesař, S. (1989): Balance dusíku v zemědělství. II. část: Pasivní složky. VŠZ Praha, 104 s.
- Wallenstein, M.D., McNulty, S., Fernandez, I.J., Boggs, J., Schlesinger, W.H. (2006): Nitrogen fertilization decreases forest soil fungal and bacterial biomass in three long-term experiments. *Forest Ecol Manag*, 222: 459–468.
- Wang, M.Y., Glass, A.D.M., Shaff, J.E., Kochian, L.V. (1994): Ammonium uptake by rice. *Plant Physiol*, 104: 899–906.
- Weimar, S. (2003): Untersuchungen zur N-Düngung nach dem CULTAN-Verfahren bei Getreide, Zuckerrüben und Kartoffeln in Rheinland-Pfalz. In: Anbauverfahren mit N-Injektion (CULTAN) „Ergebnisse, Perspektiven, Erfahrungen“, FAL Braunschweig, Sonderheft 245: 23–44.
- Weimar, S., Sommer, K. (1990): Untersuchungen zur Erschliessung von Ammonium-Depots durch Mais. *VDLUFA Schriftenreihe*, 32: 301–307.
- Zhang, H.H., He, P.J., Shao, L.M. (2010): Ammonia volatilization, N₂O and CO₂ emissions from landfill leachate-irrigated soils. *Waste Manage*, 30: 119–124.
- Zhou, S., Hou, H., Hosomi, M. (2008): Nitrogen removal, N₂O emission, and NH₃ volatilization under different water levels in a vertical flow treatment system. *Water Air Soil Poll*, 191: 171–182.

Název:	System dusíkaté výživy CULTAN u travních a jetelotravních porostů (certifikovaná metodika)
Vydala:	Česká zemědělská univerzita v Praze
Autoři:	Prof. Ing. Jiří Balík, CSc. Ing. Jindřich Černý, Ph.D. Prof. Ing. Daniela Pavlíková, CSc.
Oponenti:	Ing. Michaela Budňáková Prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.
Tisk:	Powerprint, Praha
Náklad:	50 výtisků
Počet stran:	34
Rok vydání:	2012
Vydání:	první
Doporučená cena:	neprodejné
ISBN:	978-80-213-2330-8