

Mendelova univerzita v Brně

Agronomická fakulta

Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin



**Agronomická
fakulta**

**Mendelova
univerzita
v Brně**



**Uplatnění dusíkatého hnojení a plečkování
při pěstování kukuřice seté**

Diplomová práce

Vedoucí práce:
prof. Ing. Tomáš Lošák, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Tomáš Kalabus

Brno 2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatel : **Bc. Tomáš Kalabus**
Studijní program: Fytotechnika
Obor: Fytotechnika
Název tématu: **Uplatnění dusíkatého hnojení a plečkování při pěstování kukuřice seté**
Rozsah práce: 40-50 stran

Zásady pro vypracování:

1. Diplomová práce bude zpracována formou jednoletého polního poloprovozního pokusu s kukuřicí setou.
2. Cílem práce bude posouzení výnosově-kvalitativních parametrů kukuřice pěstované na zmo po aplikaci kapalného N – hnojiva DAM-390 aplikovaného jak samostatně, tak v kombinaci s plečkováním oproti samotnému plečkování a nehnojené kontrole.
3. Každá varianta bude 4x opakována, přičemž při sklizni budou odebrány vzorky biomasy pro chemické analýzy.
4. Dosažené výsledky budou statisticky vyhodnoceny.

Seznam odborné literatury:

1. LOŠÁK, T. – MAŇÁSEK, J. – HLUŠEK, J. – PROKEŠ, K. – FILIPČÍK, R. – VARGA, L. Efekt dávek dusíku ve výživě zrnové kukuřice při velmi vysoké zásobě P, K, Ca a Mg v půdě. *Agrochémia : Agrochemistry*. 2010. sv. XIV, (50), č. 1, s. 13–16. ISSN 1335-2415.
2. PROKEŠ, K. – HLUŠEK, J. – LOŠÁK, T. *Výživa kukuřice v podmínkách bramborářské výrobní oblasti*. Disertační práce. MZLU v Brně, 2008. 170 s.
3. LOŠÁK, T. – HLUŠEK, J. – MARTINEC, J. – JANDÁK, J. – SZOSTKOVÁ, M. – FILIPČÍK, R. – MAŇÁSEK, J. – PROKEŠ, K. – PETERKA, J. – VARGA, L. – DUCSAY, L. – OROSZ, F. – MARTENSSON, A. Nitrogen fertilization does not affect micronutrient uptake in grain maize (*Zea mays* L.). *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*. 2011. sv. 61, č. 6, s. 543–550. ISSN 0906-4710.
4. MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 2002. 889 s. ISBN 0-12-473542-8.
5. MAŇÁSEK, J. – LOŠÁK, T. – PROKEŠ, K. – HLUŠEK, J. – VÍTEZOVÁ, M. – ŠKARPA, P. – FILIPČÍK, R. Effect of nitrogen and potassium fertilization on micronutrient content in grain maize (*Zea mays* L.). *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2013. sv. LXI, č. 1, s. 123–128. ISSN 1211-8516.

Datum zadání diplomové práce: listopad 2013

Termín odevzdání diplomové práce: duben 2015


Bc. Tomáš Kálabus
Autor práce




doc. Ing. Tomáš Lošák, Ph.D.
Vedoucí práce


prof. Ing. Jaroslav Hlušek, CSc.
Vedoucí ústavu


prof. Ing. Ladislav Zeman, CSc.
Děkan AF MENDELU

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: Uplatnění dusíkatého hnojení a plečkování při pěstování kukuřice seté vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne: 20. 4. 2015

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Dovoluji si tímto poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu prof. Ing. Tomáši Lošákovi, Ph.D. za jeho vstřícnost a ochotu při vedení této práce, doporučení odborné literatury, za rady a cenné připomínky. Dále bych rád poděkoval panu Ing. Josefu Maňáskovi Ph.D., bez jehož přispění by tato práce nejspíš nevznikla, za pomoc při praktické části pokusu, věnovaný čas a praktické rady. Poděkování patří také panu Ing. Vlastimilu Lapčikovi ze společnosti TOPAGRA, spol. s r. o. za umožnění realizovat tento pokus na jejich pozemcích. V neposlední řadě bych rád poděkoval celé rodině a všem známým, kteří mě v průběhu celého studia podporovali a motivovali.

ABSTRAKT

V jednoletém polním poloprovozním experimentu s kukuřicí setou byly posuzovány výnosově – kvalitativní parametry hybridu KWS 9361 po aplikaci kapalného N - hnojiva DAM 390 jak samostatně formou úkapu, respektive postřiku, tak v kombinaci s plečkováním, oproti samostatnému plečkování a nehnojené kontrole. Základní dávka N byla u všech variant $156 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ s dohnojením vybraných variant během vegetace na celkovou dávku $195 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Během vegetace byly odebrány vzorky rostlin na analýzu obsahu N a výnos sušiny, přičemž hmotnost sušiny rostlin se přechodně průkazně snížila u varianty po foliární aplikaci hnojiva, v ostatních variantách nebyl signifikantní rozdíl v hmotnosti rostlin. Výnos zrna byl v rozpětí $15,95 - 16,59 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ bez průkazných rozdílů mezi variantami. HTS, obsah N v sušině biomasy a obsah škrobu v zrně nebyly průkazně ovlivněny variantou. Z ekonomického hlediska lze doporučit samotné plečkování, které přineslo zisk $1556 \text{ Kč}\cdot\text{ha}^{-1}$. Naopak použití plečky spolu s přihnojením se jeví na základě jednoletých výsledků jako nerentabilní (ztráta – $406 \text{ Kč}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Klíčová slova: kukuřice, dusík, DAM 390, hnojení, plečka, výnos, kvalita

ABSTRACT

In a one – year pilot field experiment with maize were evaluated the yields – qualitative parameters of KWS 9361 hybrid after the application of liquid N – fertilizer DAM 390 applied either on its own as drip-out, respectively sprayed, or in combination with a cultivator as against hoeing itself and the control. The N dose was $156 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ for all treatments plus supplementary fertilisation during vegetation in selected treatments to a total dose of $195 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. During vegetation the samples were taken for analysis of plant N content and dry-matter yield, while the dry-matter weight of plants transiently decreased in treatment after foliar application of fertilizer, other treatments was no significant difference in the weight of plants. Grain yield was in the range $15.95 - 16.59 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, with no significant differences between the treatments. Thousand-seed weight, N content in dry-matter of biomass and starch content in the grain were not significantly affected by treatment. From an economic point of view can be recommended itself hoeing, which showed a gain of $1556 \text{ Kč}\cdot\text{ha}^{-1}$. Conversely, the use of cultivator along a side dress treatment seems unprofitable (loss - $406 \text{ Kč}\cdot\text{ha}^{-1}$) on base of 1 – year results.

Key words: maize, nitrogen, DAM 390 (UAN), fertilisation, cultivator, yield, quality

OBSAH

1 ÚVOD	8
2 CÍL PRÁCE	9
3 LITERÁRNÍ PŘEHLED	10
3.1 Agroekologické požadavky kukuřice	10
3.1.1 Původ a botanické zařazení.....	10
3.1.2 Stanoviště a půdně-klimatické faktory	10
3.1.3 Zařazení do osevního postupu	12
3.2 Zásady výživy a hnojení kukuřice	13
3.3 Dusík.....	17
3.3.1 Dusík v půdě	18
3.3.2 Dusík v rostlině.....	22
3.3.3 Zásady hnojení kukuřice dusíkem	23
3.3.4 Příznaky nedostatku a nadbytku dusíku.....	25
3.4 Plečkování.....	26
4 MATERIÁL A METODIKA	27
4.1 Charakteristika lokality.....	27
4.2 Metodika pokusu.....	28
4.3 Použité analytické a statistické metody	31
5 VÝSLEDKY A DISKUZE	32
5.1 Hmotnost sušiny rostlin během vegetace.....	32
5.2 Výnos zrna	34
5.3 Obsah N v biomase	36
5.4 Obsah N a škrobu v zrně.....	38
5.5 Korelační koeficienty.....	40
5.6 Ekonomická efektivnost hnojení	42
6 ZÁVĚR	44
7 POUŽITÁ LITERATURA	46
8 SEZNAM OBRÁZKŮ	57
9 SEZNAM TABULEK	58

1 ÚVOD

Kukuřice je již odnepaměti právem nazývána královnou našich polí a to nejen z důvodu jejího velkého zastoupení na našem území, ale i z hlediska širokého využití v zemědělství, průmyslu i potravinářství.

Z celosvětového hlediska se kukuřice zařazuje mezi nosné plodiny. Spolu s pšenicí a rýží patří mezi tři nejdůležitější obilniny světa. FAOSTAT (2013) uvádí, že se celosvětově kukuřice na zrno pěstovala v roce 2013 na ploše 184,2 mil. ha s průměrným výnosem 5,52 t.ha⁻¹. Mezi největší pěstitele kukuřice na zrno patří USA, Čína a Brazílie. V Evropě k nim patří Ukrajina, Rumunsko a Francie.

V České republice se kukuřice v roce 2013 pěstovala na ploše 330 717 ha, což představuje cca. 13,3 % výměry orné půdy. Z této plochy bylo 218 786 ha využito k výrobě siláže a 111 931 ha sklizeno na zrno s průměrným výnosem 6,03 t.ha⁻¹. Zatímco v minulosti byla kukuřice v ČR využívána převážně ke krmným účelům, v současnosti se díky pokroku šlechtění a zvýšení produkčního potenciálu moderních hybridů rozšiřují možnosti jejího využití. Kromě stabilního uplatnění jako krmivo lze kukuřici využít v potravinářském průmyslu k výrobě glukózy, mouky aj. Dále je možné kukuřičné zrno využít ve škrobárenském průmyslu k výrobě škrobu, případně v lihovarnictví k výrobě bioetanolu.

V současnosti se rozšiřuje využití kukuřičné siláže také jako obnovitelného zdroje energie, kde nachází uplatnění jako základní surovina při výrobě bioplynu. V ČR je dle České bioplynové asociace (2015) v současné době 382 zemědělských bioplynových stanic, přičemž kukuřičná siláž tvoří 34 % z celkového množství používaných substrátů.

K dosažení odpovídajícího výnosu i kvality při současné péči o půdní úrodnost je nutné dodržovat správné technologické postupy pěstování. Jedním z nich je i harmonická výživa a hnojení. Přesto má zejména hnojení dusíkem zásadní vliv na výši výnosu. Se zvyšující se cenou N-hnojiv a environmentálními riziky spojenými s aplikací těchto hnojiv, souvisí i snaha o minimalizaci možných ztrát dusíku z aplikovaných hnojiv. Jednou z možností je i využití plečkování v průběhu vegetace se současnou aplikací kapalných hnojiv. V současné době se také ověřuje protierozní účinnost plečkování s cílem o rozšíření seznamu půdoochranných technologií použitelných u širokořádkových plodin dle standardu GAEC II.

2 CÍL PRÁCE

Cílem této práce bylo zhodnocení výnosově – kvalitativních parametrů zrnové kukuřice KWS 9361 při různých způsobech hnojení, respektive kultivace. V experimentu, který byl realizován formou jednoletého polního poloprovozního pokusu, se posuzoval vliv kapalného dusíkatého hnojiva DAM 390 aplikovaného jak samostatně formou úkapu, respektive postřiku, tak v kombinaci s plečkováním, oproti samostatnému plečkování a nehnojené kontrole na:

- nárůst produkce suché hmoty (sušiny) rostlin během vegetace
- výnos zrna
- hmotnost tisíce semen (HTS)
- obsah N v rostlinách, listech a zrna
- obsah škrobu v zrna

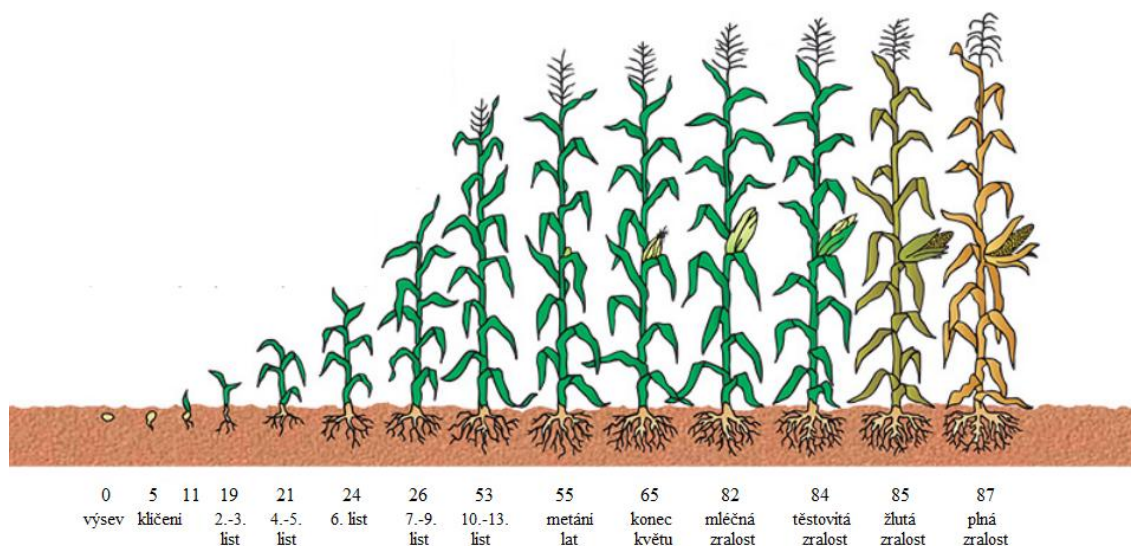
3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Agroekologické požadavky kukuřice

3.1.1 Původ a botanické zařazení

Kukuřice je starou kulturní rostlinou, jejíž pravlastí je Amerika, pravděpodobně Mexiko (KUHN, 1956). Poprvé byla domestikována přibližně před 8 000 lety v oblasti Střední Ameriky, kde vzniklo s pomocí původních obyvatel mnoho různých typů kukuřice (BITTMAN, 2004). V současnosti je kukuřice, díky své velké plasticitě, rozšířena po celém světě ve všech zeměpisných šířkách od Nového Zélandu a Argentiny až po Švédsko (ZIMOLKA et al., 2008).

ZIMOLKA et al. (2008) řadí kukuřici z botanického hlediska (*Zea mays L.*) mezi jednoleté, jednodomé, cizosprašné, různopohlavní rostliny, které mají oddělené květenství (laty a palice). Dále je možné kukuřici zařadit do podtřídy jednoděložných (*Monokotyledonae*), řádu lipnicokvětých (*Poales*), čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) a skupiny kukuřicovitých (*Maydeae*).



Obr. 1: Růstové fáze kukuřice (COLLESS, 1992)

3.1.2 Stanoviště a půdně-klimatické faktory

Půda je heterogenní systém skládající se ze tří hlavních fází, pevné, kapalné a plynné. Mezi těmito fázemi je úzký vztah a navzájem se ovlivňují (FECENKO a

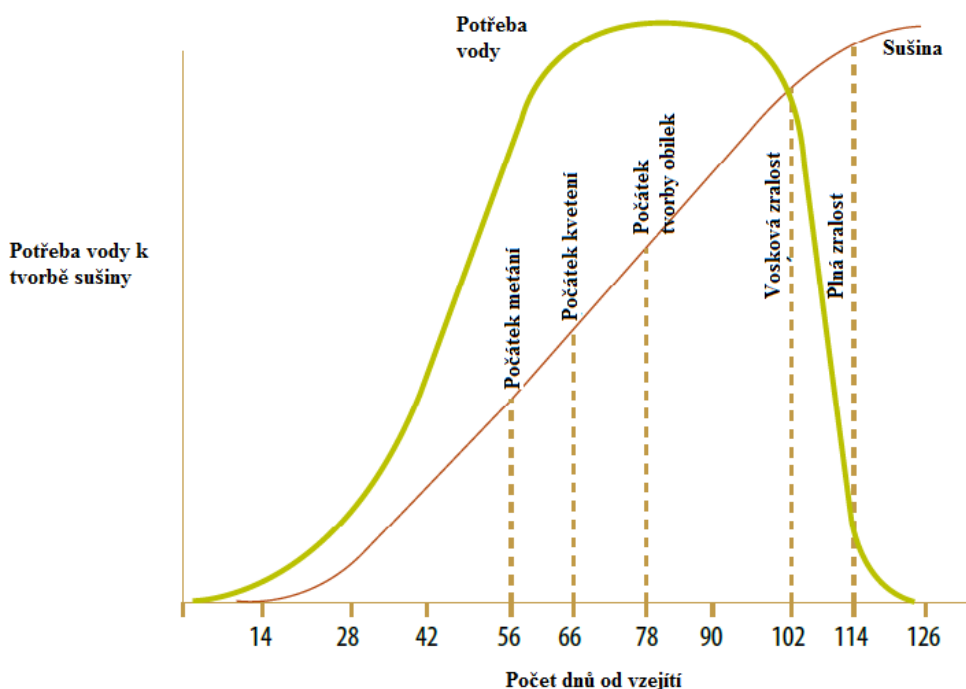
LOŽEK, 2000) a zároveň mají specifický vliv na zásobování kořenů rostlin živinami (MENGEL a KIRKBY, 2001). Základní a současně nejdůležitější vlastností půdy je její úrodnost. Tu lze definovat jako schopnost půdy vytvářet plodinám vhodné prostředí a zajišťovat dostatek živin a vody nezbytných k jejich růstu a vývoji (RYANT et al., 2003). Půdy s nízkou úrodností jsou často hůře zpracovatelné, mají nižší podíl organické hmoty, nižší biologickou aktivitu, mají zhoršenou půdní strukturu a vykazují známky půdní eroze. K zajištění odpovídajících výnosů jsou pak na těchto půdách většinou nutné zvýšené náklady na hnojiva, pesticidy a pohonné hmoty (CURRAN et al., 2013).

Dle RYANTA et al. (2004) kukuřice na půdu nemá vyhraněné požadavky, vyšší výnosové jistoty však bývá dosaženo na půdách středních až těžších s půdní reakcí od 5,6 do 7,0. SKLÁDANKA (2006) uvádí, že kukuřice snáší půdy slabě kyselé nebo slabě zásadité, zároveň dodává, že na půdách s pH nižším než 5 může dojít ke snížení výnosu rostlinné hmoty až o 30 %. LARSON a OLDHAM (2008) doporučují půdy s pH 6,0 – 7,0. Dále zmiňují, že pokud je pH půdy nižší jak 5,5 tak může docházet k problémům s přístupností některých živin pro rostliny (např. N, P, K, S, Mg, Ca), také může docházet k inhibici růstu kořenů a aktivity některých prospěšných půdních mikroorganismů. Jako nevhodné se jeví půdy těžké, chladné, erozně ohrožené nebo pozemky v mrazových kotlinách (ZIMOLKA et al., 2008).

Počáteční vývoj kukuřice je velmi pomalý. Začíná klíčit při teplotách půdy 7 – 8 °C. Ideální teploty pro klíčení jsou však 12 - 15 °C, respektive 20 – 24 °C pro růst a vývoj generativních orgánů (ZIMOLKA et al., 2008). Hraniční teploty pro růst kukuřice jsou dle O'KEEFFA (2009) mezi 10 °C až 30 °C. Při nižší, respektive vyšší teplotě vzduchu dochází k redukci nebo až k úplnému zastavení růstu. Kukuřice je teplomilná plodina, proto málo odolává mrazu. Při teplotě těsně pod 0 °C žloutne a při teplotě – 2 °C zcela zmrzne (KUHN, 1956). Suma efektivních teplot během celého vegetačního období, potřebná k dosažení plné zralosti, by měla být mezi 1700 až 3120 °C a to v závislosti na ranosti hybridu (SKLÁDANKA, 2006).

Kukuřice je poměrně citlivá na nedostatek vody. Díky svému mohutnému kořenovému systému je kukuřice schopná si opatřit vláhu až z hloubky 3 m, nejčastěji ji však využívá z hloubky do 1,5 m. Tomu by také měla odpovídat hladina spodní vody na pozemku (VRZAL a NOVÁK, 1995). Přesto jsou dle FECENKA a LOŽEKA (2000)

nároky kukuřice na vodu poměrně nízké. Stejní autoři (2000) uvádějí, že k tvorbě 1 g sušiny je ve středoevropských podmínkách potřeba přibližně 270 g vody, přičemž ječmen vyžaduje 310 g a pšenice 340 g. ZIMOLKA et al. (2008) naopak popisují, že kukuřice vyžaduje k tvorbě 1 g sušiny 349 gramů vody, také O'KEEFF (2009) uvádí potřebu až 388 g vody.



Obr. 2: Požadavky kukuřice na vodu vzhledem k nárůstu sušiny (COLLESS, 1992)

Nejvíce vody vyžaduje během metání až do mléčné zralosti (obr. 2), kdy nárokuje 80 – 120 mm srážek měsíčně. Během kvetení blizen může docházet v důsledku sucha k jejich zasychání (ZIMOLKA et al., 2008) a tím i ke snížení výnosu zrna. Stres z nedostatku vody během kvetení a opylování může vést až ke snížení výnosu o 6 – 8 % (O'KEEFF, 2009).

3.1.3 Zařazení do osevního postupu

Kukuřici je možné podle směru užití zařadit jak k píceinám, tak i k zrninám. Z hlediska technologie pěstování se však stále řadí k okopaninám, jelikož se pěstuje v širokých řádcích (JAVŮREK et al., 2010). Vhodnost konkrétní předplodiny závisí především na půdních a klimatických podmínkách. Mezi nejvýznamnější faktory patří

vodní režim. Pokud je příznivý, zvýšená intenzita hnojení zmenšuje význam předplodiny (POSPIŠIL, 2001). Nejvhodnějšími předplodinami jsou dle ZIMOLKY et al. (2008) plodiny zanechávající větší množství posklizňových zbytků. Jako nejlepší uvádí leguminózy, tzn. plodiny poutající vzdušný dusík, o který pak obohacují půdu a zároveň v ní zanechávají velké množství kvalitních posklizňových zbytků. Kukuřice se však obvykle zařazuje mezi dvě obilniny jako přerušovač obilních sledů. Přičemž jako vhodnější předplodina se jeví pšenice než ječmen (PROCHÁZKOVÁ et al., 2011). Kukuřice patří k plodinám, které snášejí pěstování v monokultuře, čehož se v zemědělských podnicích poslední dobou často využívá. Výjimkou nejsou ani pěti a víceleté monokultury (HŮLA, et al., 2008). Při pěstování po sobě se považuje za účelný dvouletý až tříletý sled, přičemž ani na úrodné půdě se nedoporučuje pěstování po sobě více než pět až šest let (SVOBODA, 2004).

ŠIMON et al. (1999) uvádí, že nebyl zjištěn podstatný rozdíl ve výnosu mezi kukuřicí pěstovanou po obilnině a širokolisté předplodině. PROCHÁZKOVÁ et al. (2011) naopak uvádějí výnos kukuřice na zrno v závislosti na výrobní oblasti o 4 – 9 % vyšší po širokolistých předplodinách než po obilninách. VYN (2006) popisuje, že při pěstování kukuřice po kukuřici dochází v závislosti na typu půdy a jejím zpracování ke snížení výnosu zrna o 4 – 18 % oproti kukuřici pěstované po sóji. Při dlouhodobějším pěstování kukuřice v monokultuře dochází také k rozšiřování škůdců kukuřice. Především zavíječe kukuřičného (*Ostrinia nubilalis*) a bázlivce kukuřičného (*Diabrotica virgifera virgifera*) (ZIMOLKA et al., 2008).

Při zařazování kukuřice do osevního postupu je třeba postupovat dle standardů GAEC. Na plochách, které jsou v aplikaci LPIS označeny jako silně erozně ohrožené (SEO) nelze kukuřici vůbec pěstovat. Naopak na plochách označených jako mírně erozně ohrožené (MEO) ji lze pěstovat pouze za předpokladu dodržení stanovených protierozních opatření. Bez omezení lze kukuřice pěstovat na plochách erozně neohrožených (NOVOTNÝ et al. 2014).

3.2 Zásady výživy a hnojení kukuřice

Výživa kukuřice musí být založena na vytváření optimálních podmínek pro růst a vegetaci ve vztahu k prostředí (půdě), ve kterém je rostlina pěstována. Kukuřice dobře využívá i živiny z hlubších vrstev půdy. Během vegetace se však hloubka půdního profilu, odkud dochází k odběru živin, mění (RYANT et al., 2004).

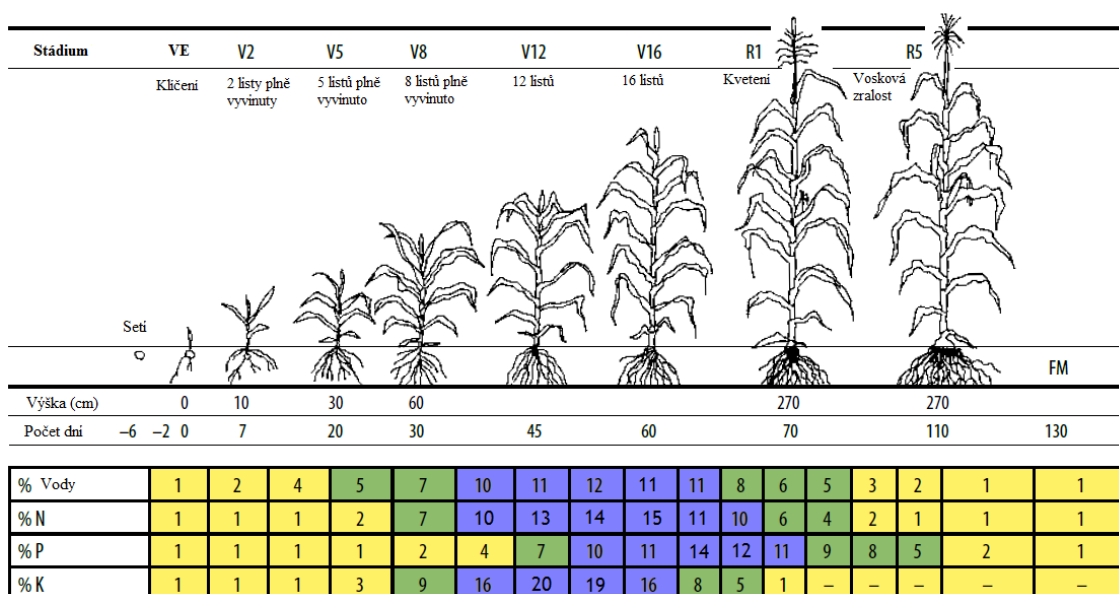
Kukuřice je plodinou, která vytváří velké množství organické hmoty, čemuž odpovídá i značné množství odčerpaných živin, přičemž citlivě reaguje na živiny v tzv. staré půdní síle a na zásoby půdní vláhy (LOŠÁK et al., 2010b). K realizaci svého výnosového potenciálu je nezbytné, kromě základních pěstitelských opatření (termín setí, výběr hybridu, ochrana proti plevelům a škůdcům), zajistit kukuřici adekvátní množství živin (BUNDY, 1998). LYNCH (2013) se domnívá, že výnos kukuřice je limitován především dvěma důležitými mobilními zdroji, zahrnující dusík a vodu, stejně jako dvěma imobilními zdroji, fosfor a draslík.

PROKEŠ (2008) na základě tříletých polních pokusů uvádí odběr živin kukuřicí na zrno v těchto rozmezích ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$): 91 – 213 N; 17 – 55 P; 21 – 59 K; 0,2 – 6,1 Ca; 7 – 21 Mg. FECENKO a LOŽEK (2000) odkazují na výsledky experimentů na Katedře agrochémie a výživy rostlin na SPU v Nitře, kde na půdě s vysokým obsahem živin a hnojením N na úrovni $160 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, byl zjištěn následující odběr živin na produkci 1 tuny zrna: 26 kg N; 2,4 kg P; 29 kg K; 0,67 kg Ca a 1,25 kg Mg. KLÍR et al. (2008) uvádí, že kukuřice odebere na tvorbu 1 tuny zrna a odpovídající množství slámy 25,9 kg N, 4,7 kg P a 22,1 kg K. Celkový odběr živin na určitou výnosovou úroveň se podle jednotlivých autorů liší, což se dá vysvětlit specifickými vlastnostmi jednotlivých hybridů, půdními a klimatickými podmínkami stanoviště, poměrem zrno : sláma a také vlastní agrotechnikou (FECENKO a LOŽEK, 2000).

LOŠÁK et al. (2010b) uvádějí, že kukuřice je z hlediska výživy a tím i potřeby hnojení specifickou plodinou, která se vyznačuje určitými zvláštnostmi, které je nezbytné respektovat, chceme-li dosáhnout požadovaného výnosu a kvality sklizeného produktu. Počátek vegetace je u kukuřice charakterizován velmi pomalým růstem a také nízkým odběrem živin. První měsíc vegetace odčerpá z hektaru 3,3 – 5,6 kg N (stejně množství přijme před mléčnou zralostí za jeden den). Při dosažení výšky porostu 40 – 50 cm a hmotnosti jedné rostliny přibližně 50 g sušiny již kukuřice odčerpala 132 kg N, 15,4 kg P, 184 kg K, 17,6 kg Ca a 10,1 kg Mg (ZIMOLKA et al., 2008). V následujícím

období, kdy dochází k intenzivnímu růstu nadzemních částí rostlin (prodlužovací růst), které probíhá zpravidla v měsíci červnu a první dekádě července, kukuřice přijme až 75 % všech živin (VANĚK et al., 2007).

U draslíku dochází k vrcholu jeho příjmu ve fázi voskové zralosti, pak následuje částečný pokles doprovázený exkrecí draslíku přes kořenový systém do půdy. U silážní kukuřice k tomuto jevu nedochází, protože ji sklízíme ve voskově-mléčné zralosti (RYANT et al., 2004). Draslík v rostlině napomáhá k tvorbě silného stébla, zvyšuje odolnost chorobám a podílí se na transportu vody v rostlině (LARSON a OLDHAM, 2008). V případě hnojení draslíkem doporučuje KUNZOVÁ (2010) hnojit draselnými hnojivy těžké půdy na podzim, lehké půdy v humidních oblastech pak na jaře, před setím.



Obr 3: Procentuální odběr N, P, K a H₂O v průběhu vegetace (COLLESS, 1992)

Odběr fosforu a hořčíku je v průběhu vegetace více konstantní a v zásadě koresponduje se zvyšující se hmotností sušiny v čase (HANWAY, 1963). Kukuřice je vysoce citlivá na absorpci P v raných růstových fázích (LAUZON a MILLER, 1997), kdy mladé rostlinky mohou projevovat známky deficiencie. Projevy nedostatku bývají znatelné především za teplého, slunečného počasí, kterému předcházelo chladné a vlhké období. V těchto podmínkách dochází k intenzivnímu růstu, přičemž kořeny nejsou schopny přijmout dostatečné množství P z půdní zásoby. Tento jev je patrný především

u mladých rostlin, které nemají vytvořen dostatečný kořenový systém (LARSON a OLDHAM, 2008). Z toho důvodu doporučují RYANT et al. (2004) využívat tzv. hnojení „pod patu“ s využitím superfosfátu nebo amofosu. Hnojivo je vhodné aplikovat 4 – 5 cm pod úroveň výsevu a 4 – 5 cm do strany, což zajistí vyšší efektivitu hnojení (BALÍK et al., 2003).

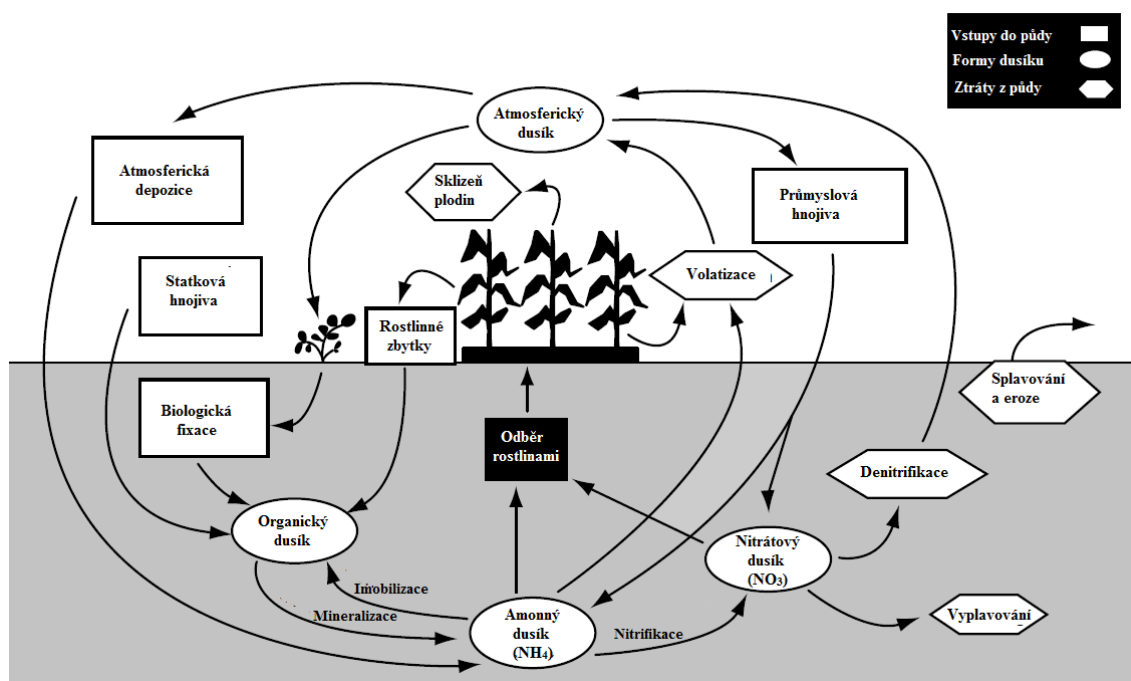
Při určování konkrétních dávek fosforu, draslíku a hořčíku by se mělo vycházet z rozboru půd, tedy ze stanovení přijatelného P, K a Mg (VANĚK et al., 2007). Dle BUNDY (1998) je vhodné provádět půdní rozборы minimálně každé tři roky a na půdách zasolených nebo s nízkou pufrací kapacitou nejlépe každý rok.

Z hlediska agrotechniky vykazuje kukuřice vlastnosti okopaniny, proto se k ní doporučuje pravidelně hnojit statkovými hnojivy. Nejčastěji jsou používána hnojiva stájová, ve velké míře se však také zapravuje sláma a posklizňové zbytky předplodiny (ZIMOLKA et al., 2008). Průměrné dávky chlévského hnoje jsou 35 až 40 t.ha⁻¹. Ve většině případů je lepší podzimní aplikace, jarní aplikaci lze tolerovat pouze na velmi lehkých půdách. Současně s aplikací hnoje se doporučuje aplikovat fosforečná průmyslová hnojiva (BALÍK a PROCHÁZKA, 1996).

Kukuřice velmi pozitivně reaguje na hnojení kejdou nebo močůvkou. Zvláště výhodné je hnojení kejdou prasat nebo skotu (RICHTER et al., 1998). Kvalita kejdy a podmínky, za kterých je aplikována, mají rozhodující vliv na využitelnost aplikovaných živin rostlinou. Z hlediska termínu aplikace jsou rozhodující půdní podmínky stanoviště. Na středních a těžších půdách je vhodnější podzimní aplikace, kdežto na půdách lehkých se doporučuje aplikace v jarním období. Použit je možné kejdu skotu v dávce 60 – 80 t.ha⁻¹, kejdu prasat v dávce 50 - 60 t.ha⁻¹ (VANĚK et al., 2007). V posledních letech došlo k rapidnímu nárůstu počtu bioplynových stanic. S tím souvisí nutnost řešit využití zbytkového produktu anaerobní digesce - digestátu. KLÍR (2011) označuje digestát obecně za organické hnojivo. Oproti tomu CIGÁNEK et al. (2010) uvádí, že se jedná o rychle působící typové organominerální hnojivo s nízkým obsahem labilního uhlíku. Digestát je nicméně důležitým zdrojem N, přičemž největší část z celkového N je ve formě NH₄⁺ (LOŠÁK et al., 2011). Digestát pocházející z kejdy prasat je také důležitým zdrojem zinku, na který je kukuřice velmi náročná (LOŠÁK et al., 2013).

3.3 Dusík

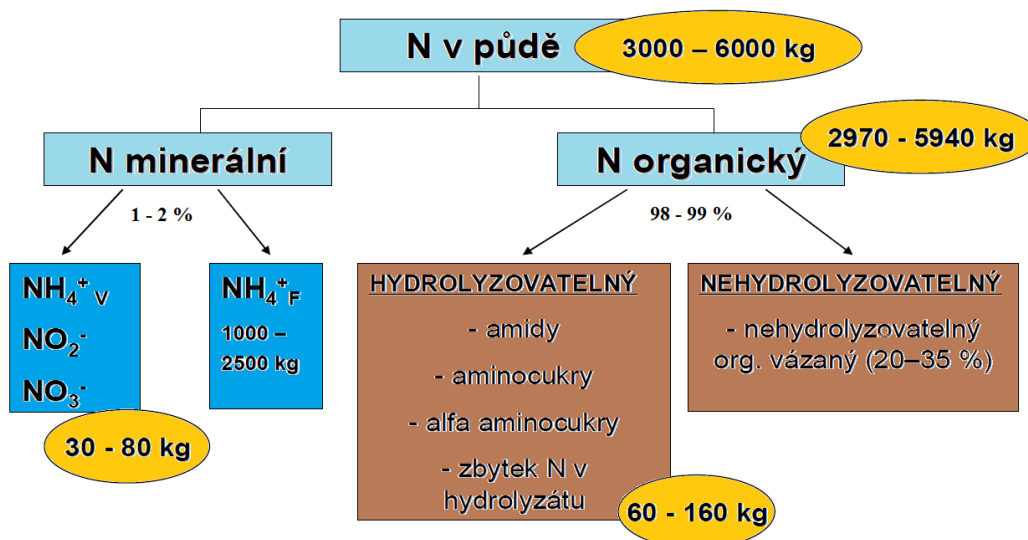
Dusík, společně s uhlíkem, jsou nejvýznamnější biogenní prvky v koloběhu živin v přírodě. Současně tvoří základní stavební prvky živé hmoty a mají zásadní vliv na životní prostředí (VANĚK et al., 2007). Přibližně 78,09 % zemské atmosféry se skládá z elementárního vzdušného dusíku (N_2) (FECENKO a LOŽEK, 2000). Jak dusík přirozeně cirkuluje mezi atmosférou, půdou a vodou, podstupuje řadu různých chemických a biologických transformací. Výsledkem těchto reakcí je vytvoření různých dusíkatých sloučenin a molekul, které jsou nepostradatelné pro růst rostlin, zvířat a lidí (McKAGUE et al., 2005). V koloběhu dusíku lze dle VAŇKA et al. (2007) pozorovat dva rozdílné procesy. Prvním je mineralizace organických látek, která vede ke vzniku minerálních forem dusíku (NH_4^+ a NO_3^-), které jsou pro rostliny přijatelné. Druhým procesem je imobilizace, při které je minerální dusík (převážně NH_4^+) vázán do organických sloučenin, zejména těl mikroorganismů.



Obr. 4: Koloběh dusíku v přírodě (SCHWAB a MURDOCK, 2005)

3.3.1 Dusík v půdě

Celkový obsah dusíku v ornici se pohybuje v rozmezí od 0,05 do 0,55 % (BERGMANN a ČUMAKOV, 1977). V podmínkách České republiky se v orniční vrstvě většiny půd nachází 0,1 – 0,2 % veškerého dusíku, přičemž 98 – 99 % je ve formě organické a zbytek ve formě minerální (RICHTER a HLUŠEK, 1999).



Obr. 5: Formy dusíku v půdě (RICHTER a HLUŠEK, 2006)

Minerální dusík v půdě se skládá především z iontů nitrátových (NO_3^-), amonných (NH_4^+) a nitritových (NO_2^-). Mimo tyto hlavní formy se mohou v půdě přechodně vyskytovat oxidy dusíku (N_2O , NO , NO_2), meziproducty mikrobiálních procesů jako hydroxylamin (NH_2OH) aj. (FECENKO a LOŽEK, 2000). V půdě se nachází také plynný molekulární dusík (BIELEK, 1998). Amoniakální dusík se v půdě vyskytuje ve dvou formách a to ve formě kationtu NH_4^+ nebo NH_3 . Ve formě amonných solí je v malém množství rozpuštěn v půdním roztoku, odkud může být rostlinou okamžitě využit. Část NH_4^+ je ve výměnné formě a po jeho vytěsnění ze sorpčního komplexu může být také rostlinami využit a část je pevně fixována do jílových minerálů (RICHTER a HLUŠEK, 2006). Nitrát (NO_3^-) je extrémně rozpustná forma dusíku. Na rozdíl od NH_4^+ se neváže na jílové minerály a nevytváří ani nerozpustné sloučeniny reakcí s jinými prvky. Jeho výhodou je vysoká pohyblivost v půdním roztoku a rychlý příjem rostlinou (McKAGUE et al., 2005). Nevýhodou je riziko jeho vyplavování, kdy se v období silných dešťů může velká část NO_3^- vyplavit z kořenové zóny rostlin.

Naopak během suchého období se může přemístit a akumulovat v povrchové vrstvě půdy (WELLS et al., 1986). FECENKO a LOŽEK (2000) uvádí, že z celkového množství ztrát N vyplavováním představuje nitrátová forma 90 – 97 %, amonná forma 0,5 – 3 % a zbytek tvoří ostatní rozpustné dusíkaté sloučeniny.

Obsah dusíku v půdě je hodnota poměrně stálá, jelikož převážná část dusíku je vázána do složitých organických sloučenin, jako jsou aromatická jádra huminových kyselin, fulvokyselin a huminů (FECENKO a LOŽEK, 2000). Tyto sloučeniny obsahují složité chemické vazby, které jsou těžce rozložitelné mikrobiologicky i chemicky, proto je dusík obsažený v těchto látkách těžce hydrolyzovatelný a pro rostliny nevyužitelný (BIELEK, 1998). Hydrolyzovatelný dusík tvoří amidy, α -aminokyseliny, aminocukry, purinové a pyrimidinové báze, kyselina hippurová, kyselina močová, močovina a další organické látky. Zdrojem této formy dusíku jsou rostlinné a živočišné zbytky, biomasa mikroorganismů, jejich metabolity a všechna organická hnojiva (FECENKO a LOŽEK, 2000). Proces transformace organického dusíku na anorganický se nazývá mineralizace, respektive někdy je také označována jako amonifikace (přeměna organických sloučenin na amoniak). V zásadě se jedná o rozklad složitých látek (bílkoviny, humusové a dusíkaté organické látky) různými skupinami půdních mikroorganismů přes polypeptidy, peptidy, aminokyseliny a působením deamináz až na amoniakální N (RICHTER a HLUŠEK, 2006). Někdy se tento proces rozděluje do dvou částí, první se nazývá aminizace a druhá amonizace (CAMBERATO, 2001).

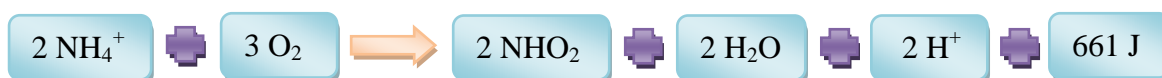


Rychlost mineralizace ovlivňuje celá řada povětrnostních a půdních faktorů např. teplota, vlhkost, aerace, pH, obsah organické hmoty aj. (FECENKO a LOŽEK, 2000). ČERNÝ et al. (1997) uvádějí, že k intenzivní mineralizaci dochází za střídání vlhka a sucha a při optimální teplotě 30 °C. Důležitý je rovněž poměr C:N, čím je tento poměr užší tím rychleji se N uvolňuje. Organická hmota s poměrem C:N nižší než 15:1 obsahuje poměrně velké množství N a je půdními mikroorganismy rychle mineralizována, naopak pokud je poměr C:N vyšší jak 30:1 (obsahuje méně N) tak se mineralizace zpomaluje (CAMBERATO, 2001). V případě, že je v půdě velké množství

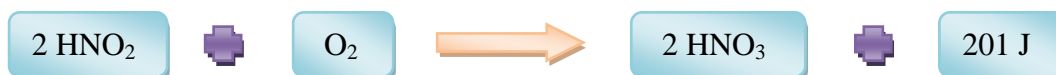
organické hmoty se širokým poměrem C:N může dojít k opačnému procesu – imobilizaci, kdy je minerální N (především NH_4^+) spotřebováván mikroorganismy na výstavbu svých těl (WELLS et al., 1986).

Koncentrace amonného dusíku je však v půdě poměrně malá (<1 mg/kg), protože v podmínkách příznivých pro mineralizaci je rychle oxidován v procesu nitrifikace (McKAGUE et al., 2005). Nitrifikace probíhá ve dvou etapách, v nichž je amonný dusík postupně oxidován autotrofními organismy až na $\text{N} - \text{NO}_3^-$. (VANĚK et al., 2007).

1. etapa – nitritace:



2. etapa – nitratice:



Na oxidaci amonných solí se v první etapě podílejí aerobní bakterie rodu *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrosospira* aj. a na oxidaci nitritů se v druhé etapě podílejí bakterie rodu *Nitrobacter* (FECENKO a LOŽEK, 2000). Nitrifikační bakterie získávají z amonných solí energii nezbytnou k syntéze organických látek a současně jsou tyto sloučeniny pro ně zdrojem dusíku (MENGEL a KIRKBY, 2001). Za příznivých podmínek pro obě reakce následuje nitratice okamžitě po nitritaci, nedochází tedy k hromadění pro rostliny toxických nitritů. Při nitrifikaci dochází v důsledku uvolnění H^+ iontů k okyselení půdy. Vznikající kyselina dusičná je neutralizována bázemi sorpčního komplexu nebo půdního roztoku (RICHTER a HLUŠEK, 1999, FECENKO a LOŽEK, 2000). Nitrifikace probíhá intenzivně na dobře provzdušněných půdách při teplotách 24 – 30 °C s pH mezi 6 – 8, při dobrých vláhových podmínkách a optimální zásobě živin (McKAGUE et al., 2005). Rychlost nitrifikace lze ovlivnit použitím inhibitorů nitrifikace, které jsou aplikovány společně s hnojivem, obsahujícím dusík ve formě NH_4^+ nebo NH_3 (RICHTER a HLUŠEK, 2006), kdy je možné v závislosti na půdních podmínkách zpomalit tento proces o několik týdnů (SCHWAB a MURDOCK, 2005).

Opačným procesem než je nitrifikace, je denitrifikace. Denitrifikace je redukční proces, při němž jsou nitráty v přítomnosti organických látek redukovány na oxidy dusíku až na elementární dusík působením fakultativně anaerobních denitrifikačních bakterií *Bacterium denitrificans*. Denitrifikace může být i chemická, kdy dochází k redukcí nitritů v přítomnosti amidů. Je však méně významná (VANĚK et al., 2007). Intenzita denitrifikace závisí od obsahu vody v půdě, aeraci půdy, pH a teplotě půdy. V případě, že se dusík dostane mimo kořenovou zónu rostlin (>0,8 m), stává se pro rostliny nevyužitelným, jediným řešením jak předejít zvýšení obsahu nitrátů v podzemních vodách je denitrifikace (RICHTER a HLUŠEK, 2006, RICHTER a HLUŠEK, 1999).

Průběh mikrobiální denitrifikace:



Další možnou cestou ztrát dusíku je volatizace. Volatizace je proces při kterém dochází k těkání amoniaku (NH_3). Dochází k ní především při aplikaci hnojiv s amidovou, amonnou nebo amoniakální formou dusíku na povrch půdy bez následného zapravení (McKAGUE et al., 2005). Volatizace je spojena především s aplikací močoviny, kdy při povrchové aplikaci se močovina pomocí enzymu ureázy rychle hydrolyticky rozkládá až na amoniak. Po hydrolyze se rychle zvyšuje pH v oblasti močoviny a dusík ve formě NH_4^+ se mění na NH_3 (PIŠANOVÁ a RŮŽEK, 2006). Na půdách s vysokou pufrací kapacitou jsou obvykle ztráty N nižší (CAMBERATO, 2001). WELLS et al. (1986) popisují, že riziko volatizace je vyšší pokud aplikujeme hnojiva na půdu pokrytou rostlinnou biomasou než při kontaktu hnojiva s holou půdou. Naproti tomu BAGGS et al. (2000) zjistili, že při využití zeleného hnojení a krycí plodiny došlo ke snížení obsahu dusičnanů v půdě, čímž se snížilo riziko vyplavování a volatizace N. Volatizaci lze snížit použitím inhibitoru ureázy, který dočasně sníží aktivitu tohoto enzymu (LARSON a OLDHAM, 2008). PIŠANOVÁ a RŮŽEK (2006) však dodávají, že při teplotě 32 °C je účinnost inhibitoru ureázy pouze 4 dny, přičemž s klesající teplotou se doba inhibice prodlužuje. Musilová (2014) uvádí účinnost inhibitoru ureázy v nádobovém pokusu po dobu 6 - ti dnů.

3.3.2 Dusík v rostlině

Obsah dusíku v sušině různých orgánů rostlin kolísá v rozpětí od 0,5 do 7,1 %. Nejvyšší obsah dusíku lze sledovat v mladých rostlinkách na počátku vegetace, během dalšího růstu se ale snižuje, celkové množství přijatého dusíku se však s nárůstem biomasy zvyšuje. Období dozrávání je charakteristické přesunem části dusíku z orgánů vegetativních do orgánů generativních (FECENKO a LOŽEK, 2000).

Rostliny přijímají dusík především ve formě kationtu amonného (NH_4^+) a aniontu nitrátového (NO_3^-). Na příjem těchto iontů mají výrazný vliv vnější podmínky. V kyselém prostředí převažuje příjem NO_3^- , v neutrálním až alkalickém se příjem obou iontů vyrovnává nebo převažuje příjem NH_4^+ . Při nižší teplotě se zvyšuje příjem NH_4^+ . V půdách biologicky činných, vlivem intenzivní nitrifikace, převládá příjem NO_3^- (VANĚK et al., 2007). FECENKO a LOŽEK popisují, že kromě těchto dvou základních forem mohou rostliny využít i organický dusík v močovině (NH_2), u bobovitých rostlin je možné využít dusík vzdušný (N_2).

Většina amonného dusíku, který rostliny přijmou kořeny z půdního roztoku je asimilována přímo v kořenech a následně translokována v podobě aminokyselin a amidů do dalších částí rostliny (MENGEL a KIRKBY, 2001). K syntéze aminokyselin při asimilaci NH_4^+ je potřeba velké množství uhlíkatých skeletů. Amoniakální výživa tedy v porovnání s NO_3^- vyžaduje větší fixaci na uhlíkaté skelety v kořenech (MARSCHNER, 2002).

Z energetického hlediska je pro rostliny výhodnější dusík ve formě NH_4^+ jelikož jej mohou okamžitě využít k syntéze aminokyselin, dusík ve formě NO_3^- musí být nejprve redukován na amoniak, který je následně využit k tvorbě organických sloučenin. Redukce nitrátů probíhá ve dvou etapách (VANĚK et al., 2007). V první etapě dochází v cytoplazmě za účasti enzymu nitrátoreduktáza k redukci NO_3^- na NO_2^- , který je dále v druhé etapě redukován v chloroplastech na NH_3 za účasti enzymu nitritoreduktáza (FECENKO a LOŽEK, 2000). Redukce probíhá u většiny rostlin v kořenech i nadzemních částech rostlin (RICHTER a HLUŠEK, 2006) a k jejímu průběhu je zapotřebí dostatek energie, významná je i přítomnost některých prvků jako Mo, Fe, Cu, Mn a Mg (VANĚK et al., 2007).

3.3.3 Zásady hnojení kukuřice dusíkem

Dle způsobu fixace CO₂ při fotosyntéze se kukuřice řadí mezi rostliny typu C4. Kukuřice během fotosyntézy využívá CO₂, sluneční záření, vodu a dusík mnohem efektivněji než rostliny typu C3 (GREENWOOD et al., 1990).

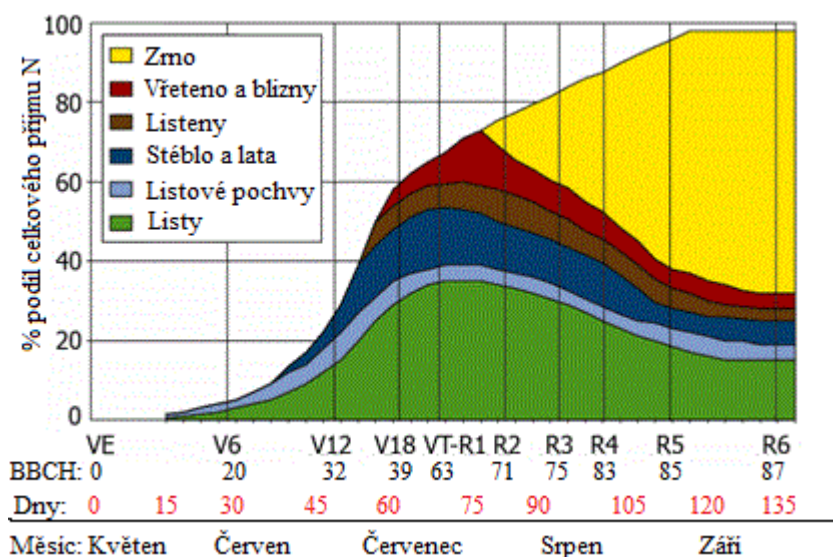
Stanovení optimální dávky dusíku a jeho dopad na rostliny a životní prostředí závisí především na půdních, respektive klimatických podmínkách a agrotechnice (BLANKENAU et al., 2002), dále na typu hybridu, délce vegetace a předpokládaném výnosu (BROWN et al., 2010). Aplikace příliš vysokých dávek dusíku než je kukuřice schopná využít vede k potenciálním ztrátám dusíku vyplavováním do spodních vod, volatilizací, denitrifikací atd. (BUNDY, 1998, OSTERHAUS a BUNDY, 2005). TILMAN et al. (2002) uvádějí, že pouze 30 - 50 % z celkového množství dodaného dusíku rostlina využije v roce aplikace. Na tento fakt poukazuje i BALÍK (1986), podle kterého je v podmínkách ČR využitelnost v roce aplikace nižší než 50 %. EVANYLO a ALLEY (1996) dodávají, že při správném načasování a uložení hnojiva může být využitelnost dusíku až 75 %.

Co se požadavků na množství dodaného dusíku týče, vykazuje obecně kukuřice vysokou variabilitu, kdy ekonomicky optimální hladina N může být v rozmezí od 0 do 250 kg N.ha⁻¹ (SCHARF et al., 2006) Například AL-KAISI a YIN (2003) zjistili optimální výnos kukuřice při dávce 140 – 250 kg N.ha⁻¹. FECENKO a LOŽEK (2000) uvádí jako optimální dávku dusíku při hnojení kukuřice na zrno v podmínkách Slovenska 160 kg N.ha⁻¹. Naopak GEHL et al. (2005) odkazuje, že aplikace 185 kg N.ha⁻¹ vedla k dosažení maximálního výnosu kukuřice, dále však dodává, že ve většině případů byla hladina 125 kg N.ha⁻¹ dostačující. Otázkou zůstává, na jakou výnosovou úroveň se hnojí.

K určení optimální dávky dusíku, lze použít půdních rozborů, které určí aktuální obsah minerálního dusíku (N_{min}) v půdě. Tyto vzorky lze odebírat před založením porostu nebo během vegetace. Nejvhodnější je testování půdy na obsah dusíku v průběhu vegetace ve fázi 5. – 6. listů (BBCH 19), kdy již došlo k částečné mineralizaci půdní organické hmoty (BROWN et al., 2010). Vhodné je také monitorovat výživný stav porostu během vegetace. ZIMOLKA et al. (2008) například doporučují kontrolu ve fázi 4. – 8. listu (BBCH 17 – BBCH 32) a dále v době těsně před

vymetáním (BBCH 53). YIN et al. (2012) na základě výzkumu zjistili, že je možné nalézt korelaci mezi obsahem N v listech a výškou porostu, lze tedy využít výšky porostu pro variabilní hnojení N.

K dosažení lepšího využití dusíku rostlinou byla provedena celá řada výzkumů, které se zabývaly stanovením optimální doby, množství a způsobu aplikace. Výsledky ukazují, že rozdělení celkové dávky N do jednotlivých růstových fází vede ke zvýšení výnosu kukuřice v porovnání s jednorázovou dávkou v době setí (HUAN et al., 2010). SHAPIRO et al. (2008) doporučují aplikovat většinu N v období jeho největšího příjmu, které začíná v růstové fázi 8. listu (BBCH 32). Během dalších přibližně šesti týdnů až do období metání přijme kukuřice 60 – 70 % z celkového odběru dusíku během vegetace (obr. 4). Období kvetení až počátku tvorby zrna je charakteristické sníženým odběrem dusíku, následně se příjem opět zvyšuje až do voskové zralosti (NAFZIGER et al., 2006).



Obr. 6: Odběr dusíku během růstu kukuřice (RITCHIE et al., 1992)

LARSON a OLDHAM (2008) doporučují aplikovat jednu třetinu z celkového množství dusíku během setí a zbylou část přibližně za měsíc až do fáze šesti listů. K základnímu hnojení je vhodné použít hnojiva s amonným a amidickým dusíkem, tedy například síran amonný, močovinu a DAM (VANĚK et al., 2007). FECENKO a LOŽEK (2000) popisují, že v kukuřičné výrobní oblasti a na středně těžkých až těžkých

půdách není nutné mít obavy z vyplavování dusíku v jarních a letních měsících, doporučují tedy aplikovat celou dávku před setím. V případě přihnojení během vegetace, při výšce porostu 20 – 40 cm, je vhodné použít hnojiva s obsahem N v NO_3^- formě (LA, LAV, LAD). Doporučená dávka dusíku je 20 – 40 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (BALÍK et al., 2001). Při použití hnojiva DAM během vegetace může dojít k dočasným nekrotám (popálení) listů. Proto se aplikace hnojiva DAM na list za využití plochých vějířovitých trysek nedoporučuje. V současné době však již existují technologie, kterými jej lze aplikovat bez poškození rostlin. Jednou z možností je využití speciálních aplikačních trubic, které umožní přihnojení hnojivem DAM pod listy, přičemž lze použít dávky kolem 60 $\text{kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$ (VANĚK et al., 2007). BUNDY (1998) uvádí, že při aplikaci DAM na povrch půdy dochází až k 20% ztrátám dusíku volatizací. Ta může být eliminována použitím inhibitorů ureázy případně zapravením hnojiva do půdy, k tomu je vhodné využít injektorů, respektive plečky.

3.3.4 Příznaky nedostatku a nadbytku dusíku

Poruchy příjmu dusíku se projevují narušením metabolismu. Při nedostatku dusíku dochází k zastavení růstu nadzemních částí rostlin i kořenů, současně se výrazně redukuje celková produkce rostlinné hmoty a zrna (VANĚK et al., 2002). Symptomy nedostatku dusíku se projevují nejdříve na starých listech. Zde dochází k proteolýze bílkovin a transportu aminokyselin do stále funkčních, mladých listů. Stéblo je slabé, ale je silně lignifikované (AMBERGER, 1996). Rostliny jsou slabé a malé. Podle stupně nedostatku se mění barva nejstarších listů od bledě zelené do žluté (RYANT et al., 2004), při dlouhodobějším nedostatku se projevují nekrózy ve tvaru písmene V ve směru od špičky listu ke středovému nervu (obr. 4) a může dojít až k úplné nekróze listů (LARSON a OLDMAN, 2008).

Nadbytek dusíku vede k bujnému růstu a k tmavozelenému zbarvení listů. Zároveň může v důsledku přehnojení dojít k prodloužení vegetační doby, zpomalenému dozrávání a ke snížení kvality osiva kukuřice (RICHTER a RYANT, 2001).



Obr. 7: Deficience dusíku u kukuřice (MAŇÁSEK, 2013)

3.4 Plečkování

Cílem kultivace půdy během vegetace je zlepšení a udržení fyzikálního stavu půdy, potlačení plevelů a udržení příznivého prostředí pro růst a vývoj pěstovaných plodin (ŠKODA a CHOLENSKÝ, 2002).

Plečkování představuje u širokořádkových plodin důležitou operaci, která přispívá k dobrému hospodaření s půdní vláhou. Plečkováním se vytváří izolační vrstvička, která zabraňuje neproduktivnímu výparu vody z půdy a usnadňuje zasakování vody při deštích (HŮLA et al., 1997). Kromě ovlivnění vodního režimu půdy má plečkování vliv také na dynamiku dusíku v půdě. Po prokypření půdy se zvyšuje mineralizace půdní organické hmoty, což je nejvíce patrné na jílovitých půdách (HASSINK, 1992). LEBLANC a CLOUTIER (2001) uvádí, že plečkováním lze zvýšit celkový výnos plodin. BÖHRNSEN (1993) popisuje po provedení mezířádkové kultivace neprůkazné zvýšení obsahu nitrátového dusíku v hloubce půdy 0,1 – 0,2 m a zvýšení výnosu přibližně o 2 %. Důležitým přínosem plečkování je také potlačování plevelů. Tento efekt je výraznější za suchých podmínek, kdy plevelné rostliny hůře regenerují. Kukuřici lze plečkovat jednou nebo dvakrát během vegetace. Plečkování je nutné provádět za příznivých vláhových a teplotních podmínek. Kultivace za vlhka vede k poškození půdní struktury a regeneraci mechanicky poškozených rostlin čímž se snižuje celková efektivnost provedené operace (HŮLA et al., 1997, LEBLANC a CLOUTIER, 2001).

4 MATERIÁL A METODIKA

4.1 Charakteristika lokality

Pokus byl založen v roce 2014 formou poloprovozního maloparcelkového experimentu na pozemku společnosti TOPAGRA, spol. s r. o., v katastru obce Bílovice, která se nachází přibližně 8 km od Uherského Hradiště (GPS souřadnice: 49° 6' 36.465311" N, 17° 33' 45.3420353" E).

Pokusný pozemek se nachází v řepařské výrobní oblasti a nadmořské výšce 192 m. n. m. Průměrná sklonitost je 2,4°. Vybraný pozemek má těžkou půdu s neutrální půdní reakcí, velmi vysokým obsahem fosforu, vyhovujícím obsahem hořčíku a dobrým obsahem draslíku a vápníku (tab. 1).

Tab. 1: *Obsah přístupných živin a pH (AZZP)*

pH/CaCl ₂	mg.kg ⁻¹			
	P	K	Mg	Ca
7,2	199	288	145	3 610

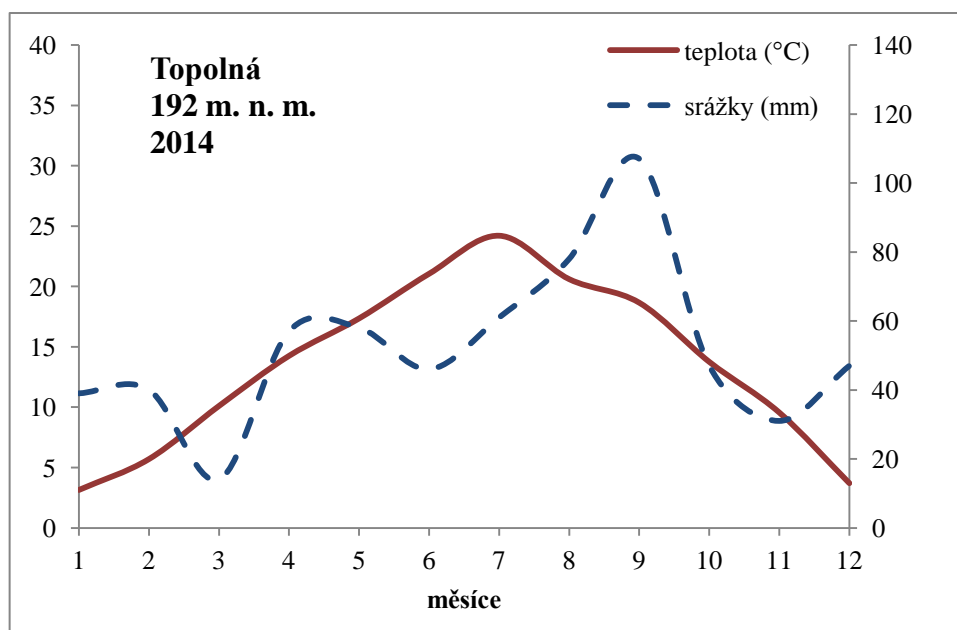
Průběh srážek a průměrných teplot během roku znázorňuje tabulka 2 a obrázek 8. Průměrná teplota během vegetace (duben až září) činila 18,6 °C a celkový úhrn srážek byl 454 mm. Rok 2014 patřil k teplotně nadprůměrným, kdy byla ve všech měsících zjištěna vyšší teplota, než je dlouhodobý průměr lokality.

Tab. 2: *Průměrné teploty a srážky v letech 1986 – 2014 (MAŇÁSEK, 2013, KALABUS, 2014)*

Roky	Průměrné teploty (°C)												Rok
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
1986-2014	-0,7	0,8	5,0	10,9	15,9	19,1	20,9	20,3	15,3	10,2	5,0	0,3	10,3
2014	3,1	5,7	10,1	14,3	17,4	21,1	24,2	20,6	18,7	13,8	9,6	3,7	13,5
srážky (mm)													
1986-2014	32,2	31,4	37,7	39,2	66,2	86,4	83,1	65	62,6	41	41,2	40,4	626
2014	39,5	40	14,5	57	58,5	46,5	61	78,5	107	47	31,5	47,5	625

Z pohledu celkového úhrnu srážek lze hodnotit rok 2014 jako průměrný, problémem nejen roku 2014, ale i posledních let, je však značná nevyrovnanost úhrnů v průběhu

měsíců i roku. Měsíce červen a červenec lze hodnotit jako suché, naopak srpen a září byly velmi vlhké.



Obr. 8: Průběh teplot a srážek v roce 2014

4.2 Metodika pokusu

Na pozemku o výměře 17 ha byla po vzejití kukuřice vyměřena plocha, na které probíhal vlastní pokus. Předplodinou byla kukuřice na zrno, jejíž posklizňové zbytky byly po mulčování a aplikaci hnojiva DAM 390 ($100 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$) zaorány. Předset'ová příprava spočívala ve stržení hrubé brázdy a finální přípravě set'ového lože kompaktozemem. Před setím byl aplikován DAM v dávce $400 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ ($156 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$). Setí bylo realizováno 6 řádkovým pneumatickým secím strojem Monosem (14. 4. 2014) s výsevkem 83 000 jedinců na hektar. Hloubka setí byla nastavena na 4 cm. Pro pokus byl vybrán hybrid KWS 9361. Jedná se o dvouliniový (Sc) hybrid s typem zrna koňský zub a kombinovaným využitím s FAO Z 300/ S 290. Odrůda pozitivně reaguje na vyšší hustotu porostu a je tolerantní k občasným přísuškům. Ve fázi 3. listů kukuřice byla provedena (7. 5. 2014) postemergentní herbicidní ochrana přípravkem Adengo v dávce $0,44 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Samotný pokus byl realizován v 6 variantách, každá varianta byla 4x opakována. Každá parcelka byla 50 m dlouhá a tvořilo ji 6 řádků kukuřice, přičemž k odběrům

vzorků sloužily vnitřní 4 řádky a krajní dva řádky tvořily ochranný obsev kolem parcel. Schéma pokusu je znázorněno v tab. 3. První varianta sloužila jako kontrola a nebylo na ní během vegetace prováděno hnojení ani plečkování. Na druhé a třetí variantě bylo provedeno plečkování, přičemž ve variantě tři bylo současně aplikováno hnojivo. Ve čtvrté variantě bylo aplikováno hnojivo formou úkapu na povrch půdy do meziřádku. V páté a šesté variantě bylo hnojivo aplikováno zádovým postřikovačem na povrch půdy mezi řádky kukuřice (var. 5), resp. foliárně na povrch listů (var. 6).

Tab. 3: *Schéma pokusu*

Varianta	Popis	Dávka N v kg.ha ⁻¹		
		Před setím	BBCH 32	Celkem
1	Kontrola	156	0	156
2	Plečka	156	0	156
3	Plečka + úkap	156	39	195
4	Úkap	156	39	195
5	Plošně mezi řádky	156	39	195
6	Foliárně	156	39	195

V pokusu bylo použito kapalně hnojivo DAM 390. Plečkování a hnojení bylo provedeno 9. 6. 2014 ve fázi BBCH 32 (první kolénko). Dávka dusíku v hnojených variantách činila 39 kg.ha⁻¹. V den aplikace (9. 6. 2014) ani v následujících 10 – dnech nepršelo, přičemž byly vysoké teploty vzduchu (kolem 25 – 30 °C). K plečkování bylo využito plečky a aplikátoru, které sestrojil Ing. Maňásek, Ph.D. Jedná se o pasivní plečku (obr. 9), na níž je umístěn aplikátor s odstředivým čerpadlem, který je osazen dvěma tryskami s dutým kuželem (Lurmark, HCX 2), které udržují v systému nastavený tlak 2 bary a jsou kalibrovány pro jezdovou rychlost 2 km.hod⁻¹ při níž je aplikována dávka hnojiva 100 l.ha⁻¹. Hnojivo je aplikováno pod povrch půdy do středu meziřádku na hloubku plečkování (5 – 10 cm).

Během vegetace bylo provedeno celkem 5 odběrů vzorků rostlin kukuřice. První tři odběry se prováděly ve fázích BBCH 32 – první kolénko (9. 6. 2014), BBCH 34 - čtvrté kolénko (16. 6. 2014) a BBCH 37 - sedmé kolénko (23. 6. 2014), kdy se v každém termínu a opakovaní odebíralo 5 rostlin těsně nad zemí. Čtvrtý odběr se prováděl v období BBCH 65 - plný květ lat (22. 7. 2014), kdy se odebíralo 15 listů pod

primární palicí. Po dosažení plné zralosti se při pátém odběru (27. 10. 2014) odebíralo 15 palic. Vzorky rostlinné hmoty z prvního až čtvrtého odběru byly ihned po odběru krájeny na malé části a sušeny, po stanovení celkové sušiny následně homogenizovány na šrotovníku a analyzovány na obsah N v sušině. U palic se při odběru stanovila sklizňová vlhkost, dále po vyschnutí a vyzrnění HTS, výnos zrna, obsah N a škrobu v zru.



Obr. 9: Aplikace hnojiva DAM 390 při plečkování (KALABUS, 2014)

Charakteristika hnojiva DAM 390

Jedná se o vodný roztok dusičnanu amonného a močoviny. Obsahuje 42,2 % NH_4NO_3 a 32,7 % $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Celkový obsah dusíku je 39 % objemových. Dusík je v něm obsažen z poloviny ve formě amidické (NH_2), čtvrtiny ve formě nitrátové (NO_3^-) a čtvrtiny ve formě amonné (NH_4^+). Reakce roztoku je slabě alkalická (7,5 – 8,5). DAM je silně korozivní na barevné kovy, proto je nejvhodnější ho skladovat a převážet v PVC nádobách nebo sklolaminátu. Výhodou DAMu je rovnoměrnost aplikace a možnost tank-mixu s většinou pesticidů (VANĚK et al., 2007)

4.3 Použité analytické a statistické metody

Stanovení obsahu dusíku

Obsah dusíku byl v rostlinné hmotě stanoven po spalování na mokré cestě v $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ z mineralizátu coulometricky na přístroji SL 02 (ZBÍRAL, 1994).

Stanovení škrobu

Stanovení škrobu probíhalo polarimetricky dle Ewerse, dle ČSN 56 0512-16 (560512) Metody zkoušení mlýnských výrobků. Metoda zahrnuje dvojité stanovení. Při prvním stanovení je za tepla vzorek ošetřen zředěnou HCl, následně se po čiření a filtraci polarimetricky změří optická rotace roztoku. Při druhém stanovení se vzorek extrahuje 40 % etanolem a po následném okyselení HCl, čiření a filtraci se změří optická rotace. Rozdíl mezi oběma měřeními vynásobený známým faktorem udává obsah škrobu ve vzorku (ANONYM, 1978).

Statistické vyhodnocení dat

Statistická analýza dat byla provedena prostřednictvím statistického balíku STATISTICA 12.0, kde bylo ke statistickému zhodnocení dat využito jednofaktorové ANOVY. Ke stanovení statisticky průkazných rozdílů mezi variantami byl použit Scheffeho test. Statisticky průkazné rozdíly mezi jednotlivými variantami, jsou v tabulkách označeny rozdílnými malými písmeny (a, b) při $P < 0,05$. K vyjádření těsnosti vztahů mezi sledovanými ukazateli byly vypočteny Pearsonovy korelační koeficienty (r).

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

5.1 Hmotnost sušiny rostlin během vegetace

Tab. 4: *Hmotnost sušiny celé rostliny během vegetace*

Varianta č.	Popis	Hmotnost sušiny 1 rostliny (g)		
		BBCH 32	BBCH 34	BBCH 37
1	Kontrola	10,48 a	23,89 ab	39,32 a
2	Plečka	10,90 a	24,54 ab	38,33 a
3	Plečka + úkap	11,60 a	25,55 a	41,45 a
4	Úkap	11,85 a	25,75 a	37,99 ab
5	Plošně mezi řádky	11,99 a	24,29 ab	40,11 a
6	Foliárně	10,87 a	21,30 b	34,90 b

Tabulka 4 demonstruje hmotnosti sušiny nadzemní biomasy rostlin odebraných v jednotlivých růstových fázích kukuřice. Lze si všimnout rychlého nárůstu nadzemní biomasy v období intenzivního růstu, kdy denní přírůstek sušiny se pohybuje okolo 2 g na rostlinu. První odběr, který byl proveden v den aplikace hnojiva ve fázi BBCH 32 (1. kolénko), nevykázal průkazné odchylky mezi jednotlivými variantami. Ve druhém odběru, který byl proveden ve fázi BBCH 34 (4. kolénko), byl zjištěn průkazný rozdíl mezi variantou 6 (foliárně) a variantami 3, resp. 4. V růstové fázi BBCH 37 (7. kolénko) byla zjištěna průkazně nižší hmotnost sušiny rovněž ve variantě 6 a to oproti všem ostatním, s výjimkou varianty 4. LAPČÍK (2014), který prováděl totožný experiment (tentýž pozemek i hybrid) ve variantách 1 – 4, zjistil hmotnost sušiny jedné rostliny v rozmezí 4,20 – 6,06 g (BBCH 31), 23,57 – 29,40 g (BBCH 34) a 39,86 – 49,99 g (BBCH 37). S výjimkou prvního odběru se naše hodnoty víceméně shodují.

Na základě výsledků druhého a třetího odběru, nelze sledovat průkazně pozitivní vliv jednotlivých variant na nárůst hmotnost sušiny nadzemní biomasy oproti kontrole. Lze však pozorovat negativní vliv foliární aplikace DAMu (var. 6), kdy byla v obou odběrech zjištěna nejnižší hmotnost sušiny. Tento fakt lze zdůvodnit retardací růstu po poškození rostlin “popálením“ jako následek foliární aplikace DAMu (obr. 10). Nicméně tato retardace byla pouze dočasná a neměla vliv na hmotnost sušiny listů pod primární palicí ani výnos zrna (tab. 5 – 7).



Obr. 10: Poškození porostu po foliární aplikaci hnojiva DAM 390 (KALABUS, 2014)

Tabulka 5 uvádí hmotnost sušiny 15 listů pod primární palicí odebraných v růstové fázi BBCH 65 (plný květ). Nejvyšší hmotnost sušiny je možné sledovat po aplikaci hnojiva formou úkapu do meziřadí (var. 4), naopak nejnižší v kontrolní variantě (var. 1). Statisticky průkazný rozdíl můžeme sledovat ve variantě 4 oproti variantám 1 – 3. Nami zjištěné hodnoty se neshodují s MAŇÁSKEM (2013), který na základě tříletých pokusů uvádí průměrnou hmotnost sušiny 15 listů pod primární palicí při hnojení $120 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ v rozmezí 51,7 – 61,7 g, respektive při $240 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ 52,8 – 60 g. Dosažené vyšší hodnoty lze vysvětlit optimálními růstovými podmínkami pro kukuřici, jež panovaly v roce 2014.

Tab. 5: Hmotnost sušiny 15 listů pod primární palicí (BBCH 65)

Varianta č.	Popis	Hmotnost sušiny 15 listů (g)
1	Kontrola	85,44 a
2	Plečka	85,56 a
3	Plečka + úkap	86,00 a
4	Úkap	98,66 b
5	Plošně mezi řádky	92,26 ab
6	Foliárně	89,99 ab

5.2 Výnos zrna

Tab. 6: Výnos zrna

Varianta č.	Popis	Výnos při 14 % vlhkosti (t.ha ⁻¹)	Rel. (%)	Sklizňová vlhkost (%)
1	Kontrola	15,95 a	100,00	26,78 a
2	Plečka	16,56 a	103,82	28,43 a
3	Plečka + úkap	16,28 a	102,07	28,05 a
4	Úkap	16,53 a	103,64	27,78 a
5	Plošně mezi řádky	16,59 a	104,01	27,68 a
6	Foliárně	16,18 a	101,44	28,13 a

Tabulka 6 uvádí výnos zrna při 14 % vlhkosti. Dosažený výnos na všech variantách byl nadprůměrný. Námi ověřované agrotechnické zásahy průkazně nezvýšily výnos zrna v porovnání s kontrolou (+ 1,44 až 4,01 %). Neprůkazný efekt přihnojení dusíkem za vegetace u var. 3 - 6 je možno vysvětlit i suchým a teplým počasím v období aplikace, které mohlo vést ke ztrátám aplikovaného dusíku (především volatilizací) a tím k jeho nižší utilizaci. K podobnému závěru dospěli také SINGH et al. (2005), kteří zjistili mezi variantami hnojenými 151 kg N.ha⁻¹ a 202 kg N.ha⁻¹ rozdíl ve výnosu pouze 0,1 t.ha⁻¹. Zajímavý je však druhý nejvyšší výnos ve variantě 2, kdy bylo provedeno samostatné plečkování bez aplikace hnojiva v průběhu vegetace. Tento fakt může souviset s provzdušněním půdy, vedoucí k mineralizaci půdní organické hmoty a podpoře růstu kořenového systému rostlin. LAPČÍK (2014) uvádí, že po plečkování, resp. plečkování s úkapem došlo v porovnání s kontrolou k signifikantnímu zvýšení výnosu z 12,49 t.ha⁻¹ na 13,19 respektive 13,31 t.ha⁻¹. Námi zjištěné výsledky však tuto skutečnost průkazně nepotvrzují. PROKEŠ (2008) uvádí, že po jednorázové aplikaci 161 kg N.ha⁻¹ před setím zjistil průměrný výnos 10,06 t.ha⁻¹. Podobný výsledek prezentují i SZULC et al. (2008), kteří po aplikaci 150 kg N ha⁻¹ dosáhli výnosu zrna 10,50 t.ha⁻¹. Námi zjištěný výnos byl však na základní úrovni hnojení (156 kg N.ha⁻¹) mnohem vyšší. PUNTEL (2012) uvádí při dávce dusíku 225 kg.ha⁻¹ průměrný výnos zrna 13,8 t.ha⁻¹. Naopak MAŇÁSEK (2013) zjistil při dávce 240 kg N.ha⁻¹ průměrný výnos 10,94 t.ha⁻¹. Námi zjištěné výsledky výnosu zrna jsou opět vyšší a to i při celkově nižší dávce N (195 kg.ha⁻¹). Vysvětlení lze hledat především v průběhu počasí, zejména dostatkem vláhy v rozhodujícím období vegetace na konci července a v srpnu, což

potvrzují i poznatky FECENKA a LOŽEKA (2000). Z výše uvedeného je zřejmé, že celkový výnos zrna ovlivňuje stanoviště a jeho úrodnost, ročník, dávka N (DUARTE et al., 2005, MAŇÁSEK, 2013), ale i zvolený hybrid (MIAO et al, 2006, SZULC et al., 2008).

Z výsledků sklizňové vlhkosti (tab. 6) je zřejmé, že se kukuřice sklízela při vlhkosti zrna 26,78 – 28,13 % bez průkazných rozdílů mezi variantami. Rok 2014 byl z pohledu sklizně zrnové kukuřice problematický. Vlhké počasí v měsících září a říjen nebylo ideální pro uvolňování vody ze zrna, což v konečném důsledku vedlo, k vyšší sklizňové vlhkosti kukuřice a vyššímu výskytu houbových chorob, převážně pak fuzárií v porostech. Dle SZULCE et al., (2008) různá dávka dusíku (0 - 150 kg N.ha⁻¹) průkazně neovlivňuje sklizňovou vlhkost zrna, jejíž průměrná hodnota byla během tříletých experimentů 26,7 %. LOŠÁK et al., (2010b) a MAŇÁSEK (2013) poukazují na průkazný vliv ročníku na vlhkost zrna.

Tab. 7: *Hmotnost tisíce semen (HTS)*

Varianta č.	Popis	HTS (g)
1	Kontrola	359 a
2	Plečka	361 a
3	Plečka + úkap	365 a
4	Úkap	364 a
5	Plošně mezi řádky	359 a
6	Foliárně	357 a

Hmotnost tisíce semen (HTS) uvádí tabulka 7. Staticky průkazných rozdílů mezi variantami nebylo dosaženo. MADDONI et al., (1998) se domnívají, že HTS ovlivňuje zejména průběh počasí během vegetace, a to hlavně nárůst sumy efektivních teplot (SET). Denní rozložení teplot vyjádřených sumou efektivních teplot ovlivňuje kromě fotosyntetické aktivity také distribuci asimilátů mezi vegetativní částí rostliny a zrnem. PETR et al., (1988) popisují, že hnojení dusíkem má vliv na počet zrn v palici, délku palice a HTS. Mimo jiné také snižuje stres z pěstování kukuřice v monokultuře (NEVES a RAHEULA, 2001). LAPČÍK (2014) uvádí HTS v rozmezí 336 – 343 g, nezjistil však průkazný rozdíl mezi variantami hnojení. Podobný výsledek uvádějí také SZULC et al., (2008), kteří při dávce 150 kg N.ha⁻¹ zjistili HTS 339,2 g. BRUNS a

EBELHAR (2006) dosáhli během dvouletých experimentů po aplikaci 134 kg N.ha⁻¹ průměrnou HTS 330 g avšak po aplikaci 224 kg N.ha⁻¹ zjistil průměrnou HTS 344,5 g. Stejní autoři prezentují, že v 2001 dosáhli při nižší dávce N HTS 352 g, resp. 368 g při dávce vyšší. Do tohoto rozpětí je možné zařadit i námi zjištěné výsledky.

5.3 Obsah N v biomase

Tab. 8: *Obsah dusíku v sušině celých rostlin během vegetace*

Varianta č.	Popis	Obsah N (%)		
		BBCH 32	BBCH 34	BBCH 37
1	Kontrola	3,89 a	3,50 a	2,75 a
2	Plečka	4,05 a	3,50 a	3,05 a
3	Plečka + úkap	3,86 a	3,60 a	2,98 a
4	Úkap	3,81 a	3,19 a	2,68 a
5	Plošně mezi řádky	3,93 a	3,33 a	2,85 a
6	Foliárně	4,34 a	3,33 a	2,91 a

Tabulka 8 uvádí obsah dusíku v sušině nadzemní biomasy rostlin odebraných v jednotlivých růstových fázích kukuřice. Ani v jednom z odběrů však nebylo dosaženo statisticky významných rozdílů mezi variantami. MAŇÁSEK (2013) uvádí, že ve fázi BBCH 32 zjistil ve svých variantách experimentu hnojených dusíkem na úrovni 120 kg N.ha⁻¹ průměrný obsah N v sušině rostliny 2,15 %, avšak při aplikaci 240 kg N.ha⁻¹ hodnotu 2,74 %. WALBURG et al. (1982) zjistili ve fázi 12. listu kukuřice stejný obsah N v sušině rostliny 2,7 % při hektarové dávce dusíku 134 i 202 kg. Námi zjištěná nejnižší koncentrace však byla přesto o více než 1 % vyšší. BUNDY (1998), CAMPBELL (2000) a SCHWAB et al. (2007) se shodují, že obsah dusíku se pohybuje v rozmezí 4 - 5 %. Lze konstatovat, že v našich pokusech se všechny varianty přibližují spodní hranici uváděné koncentrace.

PROKEŠ (2008) uvádí, že ve svých pokusech s hybridy Diana a Romario zjistil v růstové fázi DC 34 (plně vyvinuté první kolénko) obsah N v sušině u nehnojené kontroly 2,28 – 2,96 %. Obdobné výsledky uvádí i PLÉNET a LEMAIRE (1999), kteří zaznamenali v růstové fázi 13. – 14. list kukuřice obsah N v sušině 2,76 – 2,81 %, dále

WALBURG et al. (1982), kteří uvádějí ve stejné růstové fázi koncentraci N 2,3 – 2,4 %. Námi zjištěné hodnoty v růstové fázi BBCH 34 jsou v porovnání s uvedenými autory o cca. 0,5 – 1 % vyšší, což lze přičíst vlivu použitého hybridu, ale i odlišnými půdně – klimatickými podmínkami.

PLÉNET a LEMAIRE (1999) uvádějí, že ve fázi 16. – 17. listu kukuřice zjistili koncentraci N v sušině 1,88 – 2,03 %. LAPČÍK (2014) naopak popisuje ve svém pokusu obsah N v sušině rostlin v růstové fázi BBCH 37 v rozmezí 2,94 – 3,63 %. Dále poukazuje na signifikantní zvýšení obsahu N ve variantě úkap oproti variantě kontrolní, resp. plečka + úkap. V tomto případě lze konstatovat, že námi zjištěné obsahy N v sušině rostlin se ve variantách 2 a 3 blíží spodní hranici uváděné LAPČÍKEM (2014), zbylé varianty se této hodnotě alespoň přibližují.

Z tabulky 8 je patrný rychlý pokles koncentrace N v sušině rostlin, která během růstové fáze BBCH 32 – BBCH 37 v průměru poklesla o 1,11 %. Tento jev je možné přičítat tzv. „zřed'ovacímu efektu“, kdy intenzivní nárůst biomasy nebyl kompenzován příjmem živin (MENGEL a KIRKBY, 2001). Na pokles obsahu N v průběhu času nebo vývojové fáze poukazují také PLÉNET a LEMAIRE (1999), SMEAL a ZHANG (1994) a ZIADI et al. (2009). Tento pokles neredukovalo ani dodatečné přihnojení dusíkem během vegetace na úrovni 39 kg N.ha⁻¹ (var. 3 – 6).

Tab. 9: *Obsah dusíku v sušině listů pod primární palicí (BBCH 65)*

Varianta č.	Popis	Obsah N (%)
1	Kontrola	2,25 a
2	Plečka	2,22 a
3	Plečka + úkap	2,27 a
4	Úkap	2,26 a
5	Plošně mezi řádky	2,38 a
6	Foliárně	2,55 a

Obsah dusíku v sušině listů pod primární palicí odebraných v růstové fázi BBCH 65 znázorňuje tabulka 9. Z výsledných hodnot je patrné, že žádné z provedených agrotechnických zásahů neměl prokazatelný vliv na tento ukazatel. Jiných výsledků dosáhl LAPČÍK (2014), který zjistil průkazně vyšší koncentraci N ve variantách plečka

+ úkap, resp. úkap oproti variantě kontrolní. Stejný autor uvádí průměrnou koncentraci N v rozmezí 2,24 – 2,59 %. MAŇÁSEK (2013) uvádí průměrný obsah N v sušině listů u varianty hnojené 120 kg N.ha⁻¹ 1,89 %, respektive 2,77 % ve variantě hnojené 240 kg N.ha⁻¹. Lze konstatovat, že námi zjištěné hodnoty jsou v souladu s daty uvedenými oběma autory. CAMPBELL (2000) a SCHWAB et al. (2007) uvádějí, že v růstové fázi kvetení se koncentrace N v sušině listů pod palicí pohybuje v rozmezí 2,8 – 4 %. Také BUNDY (1998) uvádí jako optimální koncentraci N v listu pod palicí během této růstové fáze 2,76 – 3,75 %. Námi naměřené hodnoty jsou nižší, varianta 6 (foliárně) se však alespoň blíží spodní hranici uvedené autory. WALBURG et al. (1981) zjistili, že po aplikaci 134 kg N.ha⁻¹ byl obsah N v sušině listů ve fázi kvetení 1,6 %, avšak po aplikaci 202 kg N.ha⁻¹ narostl na 2,6 %. V našem experimentu jsme mezi variantami hnojenými nižší dávkou 156 kg N.ha⁻¹ (1, 2) a vyšší dávkou 195 kg N.ha⁻¹ (3 - 6) dosáhli maximálního zvýšení koncentrace N o 0,33 % (mezi variantou 3 a 6).

5.4 Obsah N a škrobu v zrně

Tab. 10: *Obsah dusíku v sušině zrna*

Varianta č.	Popis	Obsah N (%)
1	Kontrola	1,63 a
2	Plečka	1,81 a
3	Plečka + úkap	1,73 a
4	Úkap	1,57 a
5	Plošně mezi řádky	1,59 a
6	Foliárně	1,65 a

Obsah dusíku v sušině zrna (tab. 10) nebyl průkazně ovlivněn jednotlivými variantami pokusu. Částečně si to lze vysvětlit malými rozdíly mezi celkovou dávkou dusíku u jednotlivých variant (156, resp. 195 kg N.ha⁻¹), a částečně také průběhem počasí, předplodinou a vlivem bonity pozemku. K obdobným závěrům dospěli také LOŠÁK et al. (2010a), kteří ve dvouletém experimentu nezjistili signifikantně vyšší obsah N v sušině zrna po aplikaci nižší, resp. vyšší dávky dusíku (120, resp. 240 kg N.ha⁻¹). FECENKO a LOŽEK (2000) uvádí průměrný obsah N v kukuřičném zrnu 2,6

%, což se v našich pokusech nepotvrdilo. LAPČÍK (2014) uvádí na shodné lokalitě koncentraci N v zrna 1,66 – 1,71 %, což se shoduje s našimi výsledky. AUSTIN et al. (1980) zjistili průměrné hodnoty obsahu N v rozpětí 1,36 – 2,09 %. Také PROKEŠ (2008) dospěl k obdobným závěrům, kdy ve svých pokusech zjistil koncentraci N na úrovni 1,53 – 1,82 %. Můžeme tedy konstatovat, že námi zjištěné hodnoty korespondují s výsledky všech zmíněných autorů. Nižší hodnoty naopak zjistili CORONA et al. (2006), kteří u 100 vzorků zrna kukuřice, v závislosti na hybridu, uvádí průměrný obsah N mezi 1,02 – 1,50 %. K obdobnému závěru dospěl také MAŇÁSEK (2013), který v pokusech hnojených pouze dusíkem zjistil průměrnou koncentraci N v rozpětí 1,02 – 1,24 %. HAY et al. (1953) uvádí hodnotu 1,44 % N v sušině zrna.

Tab. 11: *Obsah škrobu v zrně*

Varianta č.	Popis	Obsah škrobu (%)
1	Kontrola	70,73 a
2	Plečka	70,00 a
3	Plečka + úkap	69,44 a
4	Úkap	70,68 a
5	Plošně mezi řádky	70,16 a
6	Foliárně	70,88 a

Zjištěné hodnoty obsahu škrobu v zrně kukuřice (tab. 11) se pohybují na úrovni 70 % bez signifikantních rozdílů mezi variantami. Obdobné hodnoty uvádí také HOLOU a KINDOMIHOU (2011), kteří během tříletých pokusů zjistili průměrný obsah škrobu v rozmezí 68 – 70,4 %. ZILIC et al. (2011) uvádějí, že se obsah škrobu v závislosti na hybridu pohybuje od 55,32 do 69,92 %. SINGH et al. (2005) zjistili po aplikaci 151 kg N.ha⁻¹ průměrný obsah škrobu v zrně kukuřice 67 %, resp. 66,6 % po aplikaci 202 kg N.ha⁻¹. Námi zjištěné hodnoty jsou při obdobných dávkách dusíku přibližně o 3 absolutní % vyšší. FECENKO a LOŽEK (2000) konstatují, že se obsah škrobu v závislosti na hnojení měnil velmi nepatrně, což je patrné i z našich pokusů. XIE – RUI ZHI et al. (2004) zjistili, že hnojení dusíkem zvyšuje obsah škrobu v zrně. Naproti tomu HOLOU a KINDOMIHOU (2011), SINGH et al. (2005) a MIAO et al. (2006) poukazují na fakt, že se zvyšující se dávkou dusíku dochází k poklesu obsahu škrobu v zrně. V našem pokusu však tento pokles není patrný. MAŇÁSEK (2013)

připomíná skutečnost, že se zvyšující se dávkou dusíku se sice snižuje obsah škrobu v zrně, ale zároveň se však, v důsledku narůstajícího výnosu zrna, celkový výnos škrobu z hektaru zvyšuje.

5.5 Korelační koeficienty

Tab. 12a: Korelační koeficienty mezi sledovanými znaky

Proměnná	var	Suš. 1. odběr rostlin (g)	Suš. 2. odběr rostlin (g)	Suš. 3. odběr rostlin (g)	Suš. list pod palicí (g)	Výnos zrna (t/ha)	HTS (g)
var	1,0000	0,3244	-0,3429	-0,3465	0,4295	0,1633	-0,1429
	p= ---	p=0,122	p=0,101	p=0,097	p=0,036	p=0,446	p=0,505
Suš. 1. odběr rostlin (g)	0,3244	1,0000	0,1709	0,2550	0,4041	0,1800	0,1904
	p=0,122	p= ---	p=0,425	p=0,229	p=0,050	p=0,400	p=0,373
Suš. 2. odběr rostlin (g)	-0,3429	0,1709	1,0000	0,3691	0,2219	0,2636	0,3449
	p=0,101	p=0,425	p= ---	p=0,076	p=0,297	p=0,213	p=0,099
Suš. 3. odběr rostlin (g)	-0,3465	0,2550	0,3691	1,0000	0,0384	0,2598	0,2713
	p=0,097	p=0,229	p=0,076	p= ---	p=0,859	p=0,220	p=0,200
Suš. list pod palicí (g)	0,4295	0,4041	0,2219	0,0384	1,0000	0,1890	0,0500
	p=0,036	p=0,050	p=0,297	p=0,859	p= ---	p=0,376	p=0,816
Výnos zrna (t/ha)	0,1633	0,1800	0,2636	0,2598	0,1890	1,0000	0,3897
	p=0,446	p=0,400	p=0,213	p=0,220	p=0,376	p= ---	p=0,060
HTS (g)	-0,1429	0,1904	0,3449	0,2713	0,0500	0,3897	1,0000
	p=0,505	p=0,373	p=0,099	p=0,200	p=0,816	p=0,060	p= ---
Skliz. vlhkost (%)	0,0948	-0,0262	0,1040	-0,0985	0,0563	0,3647	0,0739
	p=0,659	p=0,903	p=0,629	p=0,647	p=0,794	p=0,080	p=0,731
Škrob (%)	0,1438	-0,0773	-0,3017	-0,5880	0,0976	-0,4139	-0,1638
	p=0,503	p=0,720	p=0,152	p=0,003	p=0,650	p=0,044	p=0,444
N - 1.odběr (%)	0,3171	-0,0332	-0,3179	-0,3304	-0,1507	0,0763	-0,0106
	p=0,131	p=0,878	p=0,130	p=0,115	p=0,482	p=0,723	p=0,961
N - 2.odběr (%)	-0,3230	-0,2235	0,2845	0,1162	-0,5193	-0,2855	-0,1028
	p=0,124	p=0,294	p=0,178	p=0,589	p=0,009	p=0,176	p=0,633
N - 3.odběr (%)	-0,0271	0,0568	0,0665	-0,0871	-0,4034	0,0323	0,0896
	p=0,900	p=0,792	p=0,758	p=0,686	p=0,051	p=0,881	p=0,677
N - list pod palicí (%)	0,3699	0,1884	-0,2142	-0,2363	0,0238	-0,0003	0,1539
	p=0,075	p=0,378	p=0,315	p=0,266	p=0,912	p=0,999	p=0,473
N - zrno (%)	-0,2310	0,0708	0,1340	0,0329	-0,4519	0,0407	-0,0040
	p=0,277	p=0,742	p=0,532	p=0,879	p=0,027	p=0,850	p=0,985

Tab. 12b: Korelační koeficienty mezi sledovanými znaky

Proměnná	Skliz. vlhkost (%)	Škrob (%)	N - 1.odběr (%)	N - 2.odběr (%)	N - 3.odběr (%)	N - list pod palicí (%)	N - zrno (%)
var	0,0948	0,1438	0,3171	-0,3230	-0,0271	0,3699	-0,2310
	p=0,659	p=0,503	p=0,131	p=0,124	p=0,900	p=0,075	p=0,277
Suš. 1. odběr rostlin (g)	-0,0262	-0,0773	-0,0332	-0,2235	0,0568	0,1884	0,0708
	p=0,903	p=0,720	p=0,878	p=0,294	p=0,792	p=0,378	p=0,742
Suš. 2. odběr rostlin (g)	0,1040	-0,3017	-0,3179	0,2845	0,0665	-0,2142	0,1340
	p=0,629	p=0,152	p=0,130	p=0,178	p=0,758	p=0,315	p=0,532
Suš. 3. odběr rostlin (g)	-0,0985	-0,5880	-0,3304	0,1162	-0,0871	-0,2363	0,0329
	p=0,647	p=0,003	p=0,115	p=0,589	p=0,686	p=0,266	p=0,879
Suš. list pod palicí (g)	0,0563	0,0976	-0,1507	-0,5193	-0,4034	0,0238	-0,4519
	p=0,794	p=0,650	p=0,482	p=0,009	p=0,051	p=0,912	p=0,027
Výnos zrna (t/ha)	0,3647	-0,4139	0,0763	-0,2855	0,0323	-0,0003	0,0407
	p=0,080	p=0,044	p=0,723	p=0,176	p=0,881	p=0,999	p=0,850
HTS (g)	0,0739	-0,1638	-0,0106	-0,1028	0,0896	0,1539	-0,0040
	p=0,731	p=0,444	p=0,961	p=0,633	p=0,677	p=0,473	p=0,985
Skliz. vlhkost (%)	1,0000	-0,2437	-0,2478	-0,4189	0,0160	0,0082	-0,1850
	p= ---	p=0,251	p=0,243	p=0,042	p=0,941	p=0,970	p=0,387
Škrob (%)	-0,2437	1,0000	0,1099	-0,1315	-0,2747	0,1752	-0,1486
	p=0,251	p= ---	p=0,609	p=0,540	p=0,194	p=0,413	p=0,488
N - 1.odběr (%)	-0,2478	0,1099	1,0000	0,2943	0,5766	0,4604	0,3687
	p=0,243	p=0,609	p= ---	p=0,163	p=0,003	p=0,024	p=0,076
N - 2.odběr (%)	-0,4189	-0,1315	0,2943	1,0000	0,5669	-0,0127	0,6998
	p=0,042	p=0,540	p=0,163	p= ---	p=0,004	p=0,953	p=0,000
N - 3.odběr (%)	0,0160	-0,2747	0,5766	0,5669	1,0000	0,4977	0,6546
	p=0,941	p=0,194	p=0,003	p=0,004	p= ---	p=0,013	p=0,001
N - list pod palicí (%)	0,0082	0,1752	0,4604	-0,0127	0,4977	1,0000	0,0237
	p=0,970	p=0,413	p=0,024	p=0,953	p=0,013	p= ---	p=0,912
N - zrno (%)	-0,1850	-0,1486	0,3687	0,6998	0,6546	0,0237	1,0000
	p=0,387	p=0,488	p=0,076	p=0,000	p=0,001	p=0,912	p= ---

Význačný stupeň těsnosti korelace lze sledovat u obsahu N v zrně a to v souvislosti s koncentrací N v sušině biomasy z 2. odběru ($r=0,6998$ při $p=0,0001$) a koncentrací N v sušině biomasy z 3. odběru ($r=0,6546$ při $p=0,001$). Dále je možné zaregistrovat význačnou negativní korelaci mezi obsahem škrobu v zrně v souvislosti s hmotností sušiny v 3. odběru ($r= -0,5880$ při $p=0,003$). Zajímavá, je také mírně negativní korelace mezi obsahem škrobu v zrně a to v souvislosti výnosem zrna ($r= -0,4139$ při $p=0,044$) což si lze vysvětlit vlivem „zřed'ovacího efektu“.

Tab. 13: Hodnoty korelačního koeficientu dle Chaddocka (ŠKRÁŠEK a TICHÝ, 1990)

0	Stupeň těsnosti	Nezávislost
< 0,3	nízká	
∈ (0,3; 0,5)	mírná	
∈ (0,5; 0,7)	význačná	volná závislost
∈ (0,7; 0,9)	vysoká	
∈ (0,9; 1,0)	velmi vysoká	
1		pevná závislost

5.6 Ekonomická efektivnost hnojení

Tabulka 14 uvádí celkové zhodnocení ekonomické efektivity použitých variant hnojení. Náklady spojené s aplikací byly stanoveny na základě ceníku agroslužeb a dle číselníku vnitropodnikových cen operací. Cena hnojiva byla převzata z ceníku společnosti Chemagra, spol s r. o. platným pro rok 2014.

Zisk z hnojení představuje rozdíl mezi přírůstkem výnosu způsobeným hnojením či plečkováním a náklady spojenými s hnojením či plečkováním. Při výpočtu ekonomických ukazatelů hnojení bylo kalkulováno s realizační cenou 3600 Kč.t⁻¹ zrna kukuřice.

Tab. 14: *Ekonomická efektivnost hnojení*

Var.	Popis	Cena hnojiva	Cena aplikace	Celkem náklady	Průměrný výnos	Přírůstek výnosu	Zisk/ztráta z hnojení
		Kč.ha ⁻¹	Kč.ha ⁻¹	Kč.ha ⁻¹	t.ha ⁻¹	Kč	Kč.ha ⁻¹
1	Kontrola	0	0	0	15,95	0,00	0
2	Plečka	0	640	640	16,56	2 196	1 556
3	Plečka + úkap	819	775	1 594	16,28	1 108	- 406
4	Úkap	819	265	1 084	16,53	2 088	999
5	Plošně mezi řádky	819	265	1 084	16,59	2 304	1 220
6	Foliárně	819	265	1 084	16,18	828	- 256

Nejvyššího zisku z hnojení bylo dosaženo po samostatném plečkování bez aplikace hnojiva DAM 390, kdy byl zjištěn zisk 1 556 Kč.ha⁻¹. Druhý a třetí nejvyšší zisk z hnojení je možné sledovat po aplikaci hnojiva formou postřiku na půdu (1 220 Kč.ha⁻¹), respektive úkapu (999 Kč.ha⁻¹). Jako ztrátové se ukázaly varianty 6 a 3, kdy bylo hnojivo aplikováno foliárně, resp. spolu s plečkováním. Ve variantě 6 byla zaznamenána ztráta 256 Kč.ha⁻¹. Varianta 3 vykazovala ztrátu 406 Kč.ha⁻¹, která byla způsobena především nižší výnosovou odezvou na aplikaci hnojiva spolu s plečkováním a vyššími náklady na aplikaci hnojiva plečkováním v porovnání s postřikovačem.

6 ZÁVĚR

Diplomová práce s názvem „Uplatnění dusíkatého hnojení a plečkování při pěstování kukuřice seté“ se zabývala problematikou vlivu různých způsobů aplikace kapalného hnojiva DAM 390 a plečkování během vegetace v porostu kukuřice seté (pěstované na zrno) odrůdy KWS 9361 na výnosově – kvalitativní parametry.

Na základě dosažených jednoletých výsledků této práce lze učinit následující závěry:

- a) U hmotnosti sušiny 1 rostliny v BBCH 32 nebylo průkazných rozdílů mezi variantami.
- b) U hmotnosti sušiny 1 rostliny v BBCH 34 a 37 byla zaznamenána nejnižší hodnota po foliární aplikaci hnojiva, kdy bylo pozorováno výrazné poškození porostu „popálením“.
- c) U hmotnosti sušiny 15 listů pod primární palicí v BBCH 65 byla zjištěna nejvyšší hodnota u varianty s úkapem. Rostliny po počátečním poškození ve variantě s foliární aplikací rychle regenerovaly a průkazný rozdíl v hmotnosti sušiny 15 listů mezi touto variantou a variantou úkap nebyl zjištěn.
- d) Výnos zrna při 14% vlhkosti kolísal v rozpětí $15,95 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (kontrola) – $16,59 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, přičemž mezi variantami nebylo navzájem průkazných rozdílů.
- e) Nejvyšší výnos zrna byl zaznamenán po aplikaci hnojiva plošně mezi řádky kukuřice (+ 4,01 % oproti kontrole) při ziskovosti 1220 Kč na ha.
- f) Plečkována varianta dosáhla druhého nejvyššího výnosu zrna s navýšením o 3,82 % oproti kontrole a ziskovosti 1556 Kč na ha.
- g) Varianta s úkapem vykázala nárůst výnosu zrna o 3,64 % oproti kontrole při ziskovosti 999 Kč na ha.
- h) Sklizňová vlhkost zrna byla 26,78 – 28,13 % bez průkazných rozdílů mezi variantami.

- i) Hmotnost tisíce semen (HTS) byla bez průkazných diferencí mezi variantami a kolísala mezi 357 – 365 g.
- j) Koncentrace N v sušině celých rostlin v růstových fázích BBCH 32, 34 a 37 nevykazovala mezi variantami průkazné difference.
- k) Celkový obsah N v sušině rostlin se během vegetace (v souvislosti s nárůstem biomasy) snižoval.
- l) Obsah N v sušině listu pod primární palicí i v zrně nevykazoval mezi variantami průkazné difference.
- m) Obsah škrobu v zrně dosáhl vysokých hodnot (69,44-70,88 %) bez průkazných diferencí mezi variantami.
- n) Přihnojení kukuřice dávkou 39 kg N.ha⁻¹ nesnižovalo obsah škrobu v zrně.
- o) Byla zaznamenána negativní korelace mezi obsahem škrobu v zrně a hmotností sušiny rostlin v BBCH 37, BBCH 65 a výnosem zrna.

Z dosažených jednoletých výsledků lze konstatovat, že v roce 2014 neměl způsob aplikace hnojiva DAM 390 ani plečkování průkazný vliv na výnos zrna a kvalitativní parametry kukuřičné biomasy a zrna. Z ekonomického hlediska se však samotné plečkování projevilo z pohledu nárůstu výnosu jako rentabilní se ziskem 1556 Kč.ha⁻¹, následované variantou s aplikací hnojiva mezi řádky kukuřice při zisku 1220 Kč.ha⁻¹ a variantou s úkapem hnojiva a ziskem 999 Kč.ha⁻¹. V praxi je možné místo trysek na postřikovači použít speciální aplikační trubice, čímž nehrozí poškození porostu. Vhodné by však bylo upravit rozteč držáků trysek na postřikovači na 0,75 m, což by odpovídalo rozteči řádků kukuřice a výrazně by se eliminovalo riziko zvednutí speciálních podlistových aplikátorů. Účinnost konkrétního způsobu aplikace hnojiva je závislá rovněž od půdních (úrodnost půdy) a povětrnostních (teplota při aplikaci) podmínek daného stanoviště i ročníku. Za chladného průběhu počasí či méně strukturní půdy (utužená, těžká, přemokřená, s nedostatkem vzduchu apod.) bude výsledný efekt plečkování vyšší.

7 POUŽITÁ LITERATURA

1. **AL-KAISI, M.M., YIN, X. (2003):** *Effects of nitrogen rate, irrigation rate, and plant population on corn yield and water use efficiency.* Agronomy journal, 95.6: 1475-1482.
2. **ANONYM (1978):** *Community methods of analysis for the official control of feeding stuffs*, July 29, 43-55, Official Journal L 206. Eighth Commission Directive 78/633/EEC of 15 June 1978 Establishing
3. **AMBERGER, A. (1996):** *Pflanzenernährung*, 4. Auflage, 319 s.
4. **AUSTIN, R. B., BINGHAM, J., BLACKWELL, R. D., EVANS, L. T., FORD, M. A., MORGAN, C. L., TAYLOR, M. (1980):** *Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes.* The Journal of Agricultural Science, 94(03), 675-689.
5. **BAGGS, E. M., WATSON, C. A., REES, R. M. (2000):** *The fate of nitrogen from incorporated cover crop and green manure residues*, KLUWER ACADEMIC PUBL, SPUIBOULEVARD 50, PO BOX 17, 3300 AA DORDRECHT, NETHERLANDS, NUTRIENT CYCLING IN AGROECOSYSTEMS 56 – 2 6. S 153-163 2000/3 issn: 1385-1314
6. **BALÍK, J. (1986):** *Influence of nitrification inhibitors on changes of mineral nitrogen in soil and on the rate of the nitrogen from urea $CO(^{15}NH_2)_2$.* Rostlinná Výroba, 31: 913–922.
7. **BALÍK, J., PAVLÍKOVÁ, D., KULHÁNEK, M., SÝKORA, K. (2003):** *Utilization of local phosphorus fertilizers application in agricultural practice.* Agrochemistry 43: 11-13.
8. **BALÍK, J. a PROCHÁZKA, J. (1996):** *Výživa a hnojení kukuřice.* Úroda, č. 4, s. 39-41. ISSN: 0139-6013.

9. **BALÍK, J., VANĚK, V., TLUSTOŠ, P. (2001):** *Výživa a hnojení kukuřice* In.: *Sborník ze semináře „Kukuřice“ 2001*. ČZU Praha, MZLU Brno, 23–26.
10. **BERGMANN, W., ČUMAKOV, A. (1977):** *Klíč na určovanie porúch vo výžive rastlín*. Príroda Bratislava, 295 s.
11. **BIELEK, P. (1998):** *Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska*. Bratislava: VÚPÚ, 256 s. ISBN 80-85361-44-2.
12. **BITTMAN, S. (2004):** *Advanced silage corn management: a production guide to coastal British Columbia and the Pacific Northwest*. Agassiz, B.C: Pacific Field Corn Association. ISBN 09-685-0151-6.
13. **BLANKENAU, K., OLFS, H.-W., KUHLMANN, H. (2002):** *Strategies to improve the use efficiency of mineral fertilizer nitrogen applied to winter wheat*. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 188.3: 146-154.
14. **BÖHRNSEN, A. (1993):** *Several years results about mechanical weeding in cereals*. In *Communications of the 4th International Conference IFOAM Non Chemical Weed Control* (pp. 95-101).
15. **BROWN, B., HART, J., HORNECK, D., MOORE, A. (2010):** *Nutrient management for field corn silage and grain in the inland Pacific Northwest*. PNW 615.
16. **BRUNS, H. A., EBELHAR, M. W. (2006):** *Nutrient uptake of maize affected by nitrogen and potassium fertility in a humid subtropical environment*. *Communications in soil science and plant analysis*, 37(1-2), 275-293.
17. **BUNDY, L. G. (1998):** *Corn fertilization*: University of Wisconsin Cooperative Extension Service Publication AA3340.
18. **CAMBERATO, J. J. (2001):** *Nitrogen in soil and fertilizers*. First published in the *SC Turfgrass Foundation News*, January-March, (8), 1: 6-10 s.

19. **CAMPBELL, C. (2000):** *Reference sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of the United States*. ISBN: 1-58161-394-6 [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: <http://www.ncagr.gov/agronomi/saaesd/scsb394.pdf>
20. **CIGÁNEK, K., LOŠÁK, T., SZOSTKOVÁ, M., ZATLOUKALOVÁ, A., PAVLÍKOVÁ, D., VÍTĚZ, T., FRYČ, J., DOSTÁL, J. (2010):** *Ověření účinnosti hnojení digestáty z bioplynových stanic na výnos ozimé řepky a ozimé pšenice a změny vybraných agrochemických vlastností půdy*, *Agrochémia : Agrochemistry*. 2010. sv. XIV. (50), no. 3, s. 16–21. ISSN 1335-2415.
21. **COLLESS, J.M., (1992):** *Maize growing*, Agfact P3.3.3, second edition. NSW Department of Agriculture, Orange.
22. **CURRAN, W., LINGENFELTER, D. D. (2013):** *The agronomy guide: 2013-2014* [online]. The Pennsylvania State University, [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: <http://pubs.cas.psu.edu/FreePubs/PDFs/agrs026.pdf>
23. **CORONA, L., OWENS, F. N., ZINN, R. A. (2006):** *Impact of corn vitreousness and processing on site and extent of digestion by feedlot cattle*, *Journal of animal science*, 2006, No. 84, str. 3020-3031, [online]. [cit. 2015-02-25]. dostupné na: <http://www.journalofanimalscience.org/content/84/11/3020.full.pdf+html>
24. **ČERNÝ, J., BALÍK, J., TLUSTOŠ, P., NĚMEČEK, R. (1997):** *Minerální a organický dusík v půdě*. Sborník z konference: *Racionální použití hnojiv*, ČZU Praha, s. 72-78.
25. **ČESKÁ BIOPLYNOVÁ ASOCIACE (2015):** *Mapa bioplynových stanic* [online]. [cit. 2015-02-25]. Dostupné z: : <http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic/>
26. **DUARTE, A. P., MASON, S. C., JACKSON, D. S., de C KIEHL, J. (2005):** *Grain quality of Brazilian maize genotypes as influenced by nitrogen level*. *Crop Science*, 45(5), 1958-1964.
27. **EVANYLO, G. K., ALLEY, M. M. (1996):** *Nitrogen soil testing for corn in Virginia*. Virginia Cooperative Extension, Publication Number 418, 16.

28. **FAOSTAT (2013):** *FAO Statistical Databases & Data-sets, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.* [online]. [cit. 2015-01-25]. Dostupné z: <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
29. **FECENKO, J., LOŽEK, O. (2000):** *Výživa a hnojení polních plodin.* Nitra: SPU Nitra. ISBN 80-7137-777-5.
30. **GEHL, R. J., SCHMIDT, J.P., MADDUX, L.D., GORDON, W.B. (2005):** *Corn yield response to nitrogen rate and timing in sandy irrigated soils.* *Agronomy journal*, 97.4: 1230-1238.
31. **HANWAY, J. J. (1963):** *Growth stages of corn (Zea mays, L.).* *Agron. J.* 55:487-492.
32. **HASSINK, J. (1992):** *Effects of soil texture and structure on carbon and nitrogen mineralization in grassland soils.* *Biology and Fertility of Soils*, 14(2), 126-134.
33. **HAY, R. E., EARLEY, E. B., DeTURK, E. E. (1953):** *Concentration and translocation of nitrogen compounds in the corn plant (Zea mays) during grain development.* *Plant physiology*, 28(4), 606.
34. **HLOU, R., KINDOMIHO, V. (2011):** *Impact of Nitrogen Fertilization on the Oil, Protein, Starch, and Ethanol Yield of Corn (Zea mays L.) Grown for Biofuel Production.* *Journal of Life Sciences*, 5, 1013-1021.
35. **HUAN, Y. U., GAI-HE, Y. A. N. G., ZHI-JIE, W. A. N. G. (2010):** *Nitrogen rate and timing considerations on yield and physiological parameters of corn canopy.* *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2: 003.
36. **HŮLA, J., ABRHAM, Z., BAUER, F. (1997):** *Zpracování půdy.* Praha: Brázda. ISBN 80-209-0265-1.
37. **HŮLA, J., PROCHÁZKOVÁ, B. a kol. (2008):** *Minimalizace zpracování půdy: uplatněná certifikovaná metodika.* 1. vyd. Praha: Profi Press. ISBN 978-808-6726-281.

38. JAVŮREK, M., MIKANOVÁ, O., VACH, M., ŠIMON, T. (2010): *Význam půdoochranných technologií v rostlinné výrobě pro rozvoj půdní úrodnosti*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN 978-807-4270-512.
39. KLÍR, J., (2011): *Registrace, uskladnění a aplikace digestátu*. In: KAJAN, Miroslav. *Sborník z konference: Výstavba a provoz bioplynových stanic*. Třeboň: ČOV, spol. s.r.o., s. 137-158. ISBN -978-80-260-0508-7.
40. KLÍR, J., KUNZOVÁ, E., ČERMÁK, P. (2008): *Rámcová metodika výživy rostlin a hnojení*, VÚRV 2008, 48 s. ISBN 978-80-87011-61-4
41. KUHN, V. (1956): *Pěstování rostlin: speciální pěstování*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství.
42. KUNZOVÁ, E. (2010): *Výživa rostlin a hnojení draslíkem*, VÚRV Praha, s. 23, ISBN: 978-80-7427-066-6
43. LAPČÍK, V. (2014): *Uplatnění kapalného hnojiva DAM – 390 při hnojení kukuřice seté*. Bakalářská práce, MZLU v Brně, 49 s.
44. LARSON, E. J., OLDHAM, J. R. (2008): *Corn fertilization*. Mississippi State University Extension Service, [online]. [cit. 2015-01-11]. Dostupné z: <http://msucares.com/pubs/infosheets/is0864.pdf>
45. LAUZON, J. D., MILLER, M. H. (1997): *Comparative response of corn and soybean to seed-placed phosphorus over a range of soil test phosphorus 1*. Communications in Soil Science & Plant Analysis, 28.3-5: 205-215.
46. LEBLANC, M. L., CLOUTIERI, D. C. (2001): *Mechanical weed control in corn (Zea mays L.)*. In Physical Control Methods in Plant Protection (pp. 205-214). Springer Berlin Heidelberg.
47. LOŠÁK, T. (2013): *Zásadní poznatky k výživě a hnojení kukuřice*, Agromanuál: profesionální ochrana rostlin. č. 3, s. 82-84. ISSN: 1801-7673.

48. **LOŠÁK, T., HLUŠEK, J., FILIPČÍK, R., POSPÍŠILOVÁ, L., MAŇÁSEK, J., PROKEŠ, K., BUŇKA, F., KRÁČMAR, S., MARTENSSON, A., OROSZ, F. (2010a):** *Effect of nitrogen fertilization on metabolisms of essential and nonessential amino acids in field-grown grain maize (Zea mays L.)*, PLANT SOIL ENVIRON., 56, 2010 (12): s. 574–579
49. **LOŠÁK, T., MAŇÁSEK, J., HLUŠEK, J., PROKEŠ, K., FILIPČÍK, R., VARGA, L. (2010b):** *Efekt dávek dusíku ve výživě zrnové kukuřice při velmi vysoké zásobě P, K, Ca a Mg v půdě*, Agrochémia : Agrochemistry. 2010. sv. XIV. (50), č. 1, s. 13-16. ISSN 1335-2415.
50. **LOŠÁK, T., MUSILOVA, L., ZATLOUKALOVA, A., SZOSTKOVA, M., HLUŠEK, J., FRYČ, J., VITĚZ, T, HAITL, M., BENNEWITZ, E., MARTENSSON, A. (2012):** *Digestate is equal or a better alternative to mineral fertilization of kohlrabi*. Acta univ. agric. et silvic. Mendel. Brun., LX, No. 1, pp. 91–96
51. **LYNCH, J. P. (2013):** *Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize root systems*. Annals of botany, mcs293.
52. **MAŇÁSEK, J. (2013):** *Uplatnění fosforu a draslíku na výnos a kvalitu kukuřice seté*. Doktorská disertační práce, MZLU v Brně, 180 s.
53. **MARSCHNER, H. (2002):** *Mineral Nutrition in Higher Plants*. Academic Press Limited, London, 889s.
54. **MCKAGUE, K., REID, K., SIMPSON, H. (2005):** *Environmental Impacts of Nitrogen Use in Agriculture*. Ontario, Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
55. **MENGEL, K., KIRKBY, E. A. (2001):** *Principles of plant nutrition*. 5th ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, xvi, 849 p. ISBN 07-923-7150-X.
56. **MIAO, Y., MULLA, D. J., ROBERT, P. C., HERNANDEZ, J. A. (2006):** *Within-field variation in corn yield and grain quality responses to nitrogen fertilization and hybrid selection*. Agronomy journal, 98(1), 129-140.

57. **MUSILOVÁ, L. (2014):** *Uplatnění močoviny s inhibítorem ureázy při hnojení brambor*. Doktorská disertační práce, MZLU v Brně, 161 s.
58. **NAFZIGER, E., RANDALL, G., BUNDY, L., REHL, G., JOERN, B. (2006):** *Concepts and rationale for regional nitrogen rate guidelines for corn* (p. 26). Iowa State University, University Extension.
59. **NEVENS, F., REHEUL, D. (2001):** *Crop rotation versus monoculture; yield, N yield and ear fraction of silage maize at different levels of mineral N fertilization*, Netherlands Journal of Agricultural Science 49: s. 405-425.
60. **NOVOTNÝ, I. (2014):** *Příručka ochrany proti vodní erozi, 2., aktualiz. vyd.* Praha: Ministerstvo zemědělství, 73 s. ISBN 978-80-87361-33-7.
61. **O'KEEFFE, K. (2009):** *MAIZE: Growth & Development*. State of New South Wales: NSW Department of Primary Industries. ISBN 978-0-7347-1955-3.
62. **OSTERHAUS, J. T., BUNDY, L. G. (2005):** *Determining economic optimum nitrogen rates with the Illinois soil nitrogen test and soil organic nitrogen fractions*. In: *Proc. North Central Ext.-Industry Soil Fert. Conf.*, Des Moines, IA. p. 16-17.
63. **PETR, J., HÚSKA, J. (1997):** *Speciální produkce rostlinná: (obecná část a obilniny)*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita. ISBN 80-213-0152-X.
64. **PETR, J., ČERNÝ, V., HRUŠKA, L. (1988):** *Yield Formation in the Main Field Crops*. Elsevier, New York, 336.
65. **PIŠANOVÁ, J., RŮŽEK, P. (2006):** *Uplatnění inhibitorů ureasy a nitrifikace při používání dusíkatých hnojiv*, s. 36 – 39, In Sborník z konference, **RŮŽEK, P., PIŠANOVÁ, J.:** *Nové trendy v používání dusíkatých hnojiv*, VÚRV Praha, 47 s., ISBN 80-86555-96-8
66. **PLÉNET, D., LEMAIRE, G. (1999):** *Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration*. Plant and Soil, 216(1-2), 65-82.

67. **POSPIŠIL, R. (2001):** *Je pestovanie kukurice v monokultúre efektívne?.* In *Farmář*, Profi Press s. r. o. Praha, č. 11 s. 38-39
68. **PROCHÁZKOVÁ, B. a kol. (2011):** *Význam a možnosti optimalizace struktury a střídání plodin v systémech hospodaření na půdě: uplatněná certifikovaná metodika.* V Brně: Mendelova univerzita. ISBN 978-80-7375-525-6.
69. **PROKEŠ, K. (2008):** *Výživa kukuřice v podmínkách bramborářské výrobní oblasti.* Doktorská disertační práce, MZLU v Brně, 170 s.
70. **PUNTEL, L. A. (2012):** *Field characterization of maize photosynthesis response to light and leaf area index under different nitrogen levels: a modeling approach.* PhD Thesis. IOWA STATE UNIVERSITY. [online]. [cit. 2015-02-24]. Dostupné z: <http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3680&context=etd>
71. **RICHTER, R., HLUŠEK, J. (1999):** *Výživa a hnojení rostlin.* 1. vyd. Brno: MZLU, 1999, 187s. ISBN 80-7157-346-9.
72. **RICHTER, R., HLUŠEK, J (2006):** *Využití dusíku rostlinami z aplikovaných hnojiv*, s. 5 – 15, In Sborník z konference, **RŮŽEK, P., PIŠANOVÁ, J.:** *Nové trendy v používání dusíkatých hnojiv*, VÚRV Praha, 47 s., ISBN 80-86555-96-8
73. **RICHTER, R., RYANT, P. (2001):** *Aktuální otázky výživy a hnojení kukuřice* In.: *Sborník ze semináře „Kukuřice“ 2001.* ČZU Praha, MZLU Brno, 1–4 a 32–34.
74. **RICHTER, R., TRÁVNÍK, K. (1998):** *Stav půdní úrodnosti a spotřeba hnojiv v České republice.* *Agrochémia*, II, 38, 10–13.
75. **RITCHIE, W., HANWAY, J. J., BENSON, G. O. (1992):** *How a Corn Plant Develops*, Special Report No. 48, Iowa State University of Science Technology, [online]. [cit. 2015-01-15]. Dostupné z: <http://www.soilcropandmore.info/crops/Corn/How-Corn-Grows/index.htm>
76. **RYANT, P., RICHTER, R., HLUŠEK, J., FRYŠČÁKOVÁ, E. (2003):** *Multimediální učební texty z výživy rostlin* [online]. [cit. 2015-01-11]. Dostupné z: www.af.mendelu.cz/ustav/221/multitexty.

77. **RYANT, P., RICHTER, R., POULÍK, Z., HŘIVNA, L. (2004):** *Multimediální učební texty z výživy a hnojení polních plodin*. [online]. [cit. 2015-01-11]. Dostupné z: www.af.mendelu.cz/ustav/221/multitexty_2
78. **SHAPIRO, C. A., FERGUSON, R. B., HERGERT, G. W., WORTMANN, C. S., WALTERS, D. T. (2008):** *Fertilizer suggestions for corn*. Univ. of Nebraska Ext., Lincoln. EC117.
79. **SCHARF, P.C., KITCHEN, N.R., SUDDETH, K.A., DAVIS, J. G. (2006):** *Spatially variable corn yield is a weak predictor of optimum nitrogen rate*. Soil Sci. Soc. Am. J. 70:2154-2160.
80. **SCHWAB, G. J., LEE, C. D., PEARCE, R., THOM, W. O. (2007):** *Sampling plant tissue for nutrient analysis*, Cooperative Extension Service, University of Kentucky – College of Agriculture
81. **SCHWAB, G. J., MURDOCK, L. W. (2005):** *Nitrogen transformation inhibitors and controlled release urea*. Extension Report. University of Kentucky College of Agriculture, Lexington.
82. **SINGH, M., PAULSEN, M. R., TIAN, L., YAO, H. (2005):** *Site-specific study of corn protein, oil, and extractable starch variability using NIT spectroscopy*. Appl. Eng. Agric, 21, 239-251.
83. **SKLÁDANKA, J. (1996):** *Multimediální učební texty píceinářství*. [online]. [cit. 2015-01-10]. Dostupné z: http://www.af.mendelu.cz/external/prezentace/picniny/uctext/sklady.php?odkaz=ku_kurice.html
84. **SMEAL, D., H. ZHANG, H. (1994):** *Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn*. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25:1495–1503.
85. **SVOBODA, M. (2004):** *Zakládání porostů kukuřice*, Úroda, r. 52, č. 3, s. 19 - 21 . ISSN: 0139-6013.

86. **SZULC, P., SKRZYPCZAK, W., WALIGÓRA, H. (2008):** *Improvement of the effectiveness of maize (Zea mays L.) fertilization with nitrogen by the application of magnesium. Part I. Grain yield and its structure. Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura, 7.4.*
87. **ŠIMON, J., ŠKODA, V., HŮLA, J. (1999):** *Zakládání porostů hlavních polních plodin novými technologiemi.* Praha: Agrospoj, 1999, 78 s.
88. **ŠKRÁŠEK, J., TICHÝ, Z. (1990):** *Základy aplikované matematiky III.* Nakladatelství technické literatury, Praha. 255 s.
89. **TILMAN, D., CASSMAN, K.G., MATSON, P.A., NAYLOR, R., POLASKY, S. (2002):** *Agricultural sustainability and intensive production practices.* Nature, 418.6898: 671-677.
90. **VANĚK, V., BALÍK, J., PAVLÍKOVÁ, D., TLUSTOŠ, P. (2007):** *Výživa polních a zahradních plodin.* Praha: Profi Press. ISBN 976-80-86726-25-0.
91. **VRZAL, J., NOVÁK, D. a kol. (1995):** *Základy pěstování kukuřice a jednoletých píceňin.* Institut VV Mze ČR, Praha 1995.
92. **VYN, T. J. (2006):** *Making the best of corn–corn monoculture in the Eastern Corn Belt.* In: *Indiana Crop Adviser Conference Proceedings.Indianapolis.*[online]. [cit. 2015-01-11]. Dostupné z: <http://www.agry.purdue.edu/cca/2006/pdf/vyn.pdf>
93. **WALBURG, G., BAUER, M. E., DAUGHTRY, C. S. T., HOUSLEY, T. L. (1982):** *Effects of nitrogen nutrition on the growth, yield, and reflectance characteristics of corn canopies.* Agronomy Journal, 74(4), 677-683.
94. **WELLS, K. L., SIMS, J. L., SMITH, M. S. (1986):** *Nitrogen in Kentucky soils.* AGR-University of Kentucky, Cooperative Extension Service (USA).
95. **XIE RUI-ZHI, DONG SHU-TING,HU CHANG-HAO,WANG KONG-JUN (2004):** *The Difference of Sulfate on Absorption and Utilization of*

Nitrogen, Phosphorus and Potassium in Genotypes of maize (Zea mays L.), Journal of Maize Science, 2004, S2

96. **ZBÍRAL, J. (1994):** *Jednotné pracovní postupy. Analýza rostlinného materiálu.* ÚKZÚZ Brno.
97. **ZIADY, N., BÉLANGER, G., GASTAL, F., CLAESSENS, A., LEMAIRE, G., TREMBLAY, N. (2009):** *Leaf nitrogen concentration as an indicator of corn nitrogen status.* Agronomy journal, 101(4), 947-957.
98. **ZILIC, S., MILASINOVIC, M., TERZIC, D., BARAC, M., IGNJATOVIC-MICIC, D. (2011):** *Grain characteristics and composition of maize specialty hybrids.* Spanish Journal of Agricultural Research, 9(1), 230-241.
99. **ZIMOLKA, J. (2008):** *Kukuřice: hlavní a alternativní užitkové směry.* Praha: Profi Press. ISBN 978-80-86726-31-1.
100. **ZIMOLKA, J. (2008):** *Speciální produkce rostlinná - Rostlinná výroba.* Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. ISBN 978-80-7375-230-9.

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: <i>Růstové fáze kukuřice (COLLESS, 1992)</i>	10
Obr. 2: <i>Požadavky kukuřice na vodu vzhledem k nárůstu sušiny (COLLESS, 1992)</i>	12
Obr. 3: <i>Procentuální odběr N, P, K a H₂O v průběhu vegetace (COLLESS, 1992)</i>	15
Obr. 4: <i>Koloběh dusíku v přírodě (SCHWAB a MURDOCK, 2005)</i>	17
Obr. 5: <i>Formy dusíku v půdě (RICHTER a HLUŠEK, 2006)</i>	18
Obr. 6: <i>Odběr dusíku během růstu kukuřice (RITCHIE et al., 1992)</i>	24
Obr. 7: <i>Deficience dusíku u kukuřice (MAŇÁSEK, 2013)</i>	26
Obr. 8: <i>Průběh teplot a srážek v roce 2014</i>	28
Obr. 9: <i>Aplikace hnojiva DAM 390 při plečkování (KALABUS, 2014)</i>	30
Obr. 10: <i>Poškození porostu po foliární aplikaci hnojiva DAM 390 (KALABUS, 2014)</i>	33

9 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: <i>Obsah přístupných živin a pH (AZZP)</i>	27
Tab. 2: <i>Průměrné teploty a srážky v letech 1986 – 2014 (MAŇÁSEK, 2013, KALABUS, 2014)</i>	27
Tab. 3: <i>Schéma pokusu</i>	29
Tab. 4: <i>Hmotnost sušiny celé rostliny během vegetace</i>	32
Tab. 5: <i>Hmotnost sušiny 15 listů pod primární palicí (BBCH 65)</i>	33
Tab. 6: <i>Výnos zrna</i>	34
Tab. 7: <i>Hmotnost tisíce semen (HTS)</i>	35
Tab. 8: <i>Obsah dusíku v sušině celých rostlin během vegetace</i>	36
Tab. 9: <i>Obsah dusíku v sušině listů pod primární palicí (BBCH 65)</i>	37
Tab. 10: <i>Obsah dusíku v sušině zrna</i>	38
Tab. 11: <i>Obsah škrobu v zrně</i>	39
Tab. 12a: <i>Korelační koeficienty mezi sledovanými znaky</i>	40
Tab. 12b: <i>Korelační koeficienty mezi sledovanými znaky</i>	41
Tab. 13: <i>Hodnoty korelačního koeficientu dle Chaddocka (ŠKRÁŠEK a TICHÝ, 1990)</i>	42
Tab. 14: <i>Ekonomická efektivnost hnojení</i>	43