

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Vliv hnojení na příjem dusíku silážní kukuřicí

Bakalářská práce

Autor práce: Bc. Jakub Červenka

Obor studia: Rostlinná produkce

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Černý, Ph.D.

© 2020 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci "Vliv hnojení na příjem dusíku silážní kukuřicí" vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15. července 2020

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jindřichovi Černému, Ph.D. za vedení a odborné rady při zpracování této práce.

Vliv hnojení na příjem dusíku silážní kukuřicí

Souhrn

Literární rešerše se zabývá problematikou silážní kukuřice, jejím pěstování, hnojením i dopadům pěstování silážní kukuřice na životní prostředí a využívanými hnojivy.

Cílem experimentální části práce bylo vyhodnotit vliv hnojení na příjem dusíku u silážní kukuřice. Současně byly sledovány výnosy čerstvé hmoty a sušiny.

Experimentální část byla zpracována z výsledků dlouhodobého polního pokusu katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin na pozemcích výzkumné stanice Červený Újezd. Pokus se zabývá opakovaným pěstováním kukuřice a různým způsobem jejího hnojení. Pokus byl založen v roce 1990 a v roce 1996 byl ustálen systém hnojení. V práci bylo vyhodnoceno šest variant hnojení, každá z nich byla čtyřikrát opakována. Na jednu z variant nebylo aplikováno hnojivo, tyto plochy sloužily pro kontrolu. Pokus dále sleduje vliv minerálních (síran amonný a DAM 390) a organických hnojiv (chlévký hnůj a kejda). Poslední varianta byla hnojena kombinací minerálního hnojiva DAM 390 a organického hnojiva, sláma. V této práci je zpracován pouze pokusný rok 2019, proto nebylo možné porovnat vliv ročníků na sledované parametry.

Hnojení silážní kukuřice je nepostradatelné pro kvalitní sklizeň. Nehnojené pozemky prokazatelně dosahovaly nižších výnosů. Lepších výnosů dosahovaly plochy hnojené kombinací více živin než pouze dusíku. Hnojení organickými hnojivy působí příznivě na tvorbu vyššího množství čerstvé hmoty silážní kukuřice než hnojení minerálními hnojivy. Plochy hnojené kejdou dosahovaly nejvyššího výnosu čerstvé hmoty a varianty s aplikací chlévkého hnoje zase nejvyššího výnosu sušiny. Kukuřice hnojené minerálními hnojivy obsahovaly vyšší podíl sušiny než kukuřice po aplikaci hnojiva organického. V přepočtu na tony plochy hnojené statkovými hnojivy dosahovaly vyšších hodnot. Minerální hnojiva také zvyšovala podíl dusíku v sušině silážní kukuřice. Plochy kukuřice hnojené organickými hnojivy odebíraly méně dusíku než plochy hnojené minerálními hnojivy. Přídavek slámy ke hnojivu DAM 390 nepatrně zvyšuje výnos čerstvé hmoty a také sušiny.

Klíčová slova: dlouhodobý polní pokus, dusík, silážní kukuřice, výnos

Effect of fertilization on nitrogen uptake of silage maize

Summary

The literature search deals with the issue of silage maize, its cultivation, especially fertilization, the impact of silage maize cultivation on the environment and the fertilizers used.

The aim of the experimental part of the work was to evaluate the effect of fertilization on nitrogen uptake of silage maize. At the same time were monitored the yields of fresh matter and dry matter.

The experimental part was write out from a long-term field experiment of the Department of Agro-Environmental Chemistry and Plant Nutrition on the grounds of the Červený Újezd research station. The experiment deals with repeated cultivation of maize and various methods of fertilization. The experiment was established in 1990 and in 1996 was implemented the fertilization system. Six fertilization variants were evaluated in the work and each of them was repeated four times. On of these variants was not applied any fertilizer and this area was used for inspection. The experiment also monitors mineral fertilizers (ammonium sulfate and UAN) and organic fertilizers (manure and slurry). The last variant was fertilization by a combination of mineral fertilizer, manure fertilizer UAN and straw. In this thesis was processed only the experimental year 2019, so it was not possible to compare the influence of this specific year on the monitored parameters.

Fertilizing maize areas is indispensable for quality harvesting. Non-fertilized land has been shown to achieve lower yields. Areas fertilized by a combination of more nutrients than just nitrogen achieve better yields. Fertilization by organic fertilizers helps maize to produce a higher amount of fresh matter compared to inorganic fertilizers. Areas fertilized by manure achieved the highest yield of fresh matter and variants with the application of manure achieved the highest yield of dry matter. Maize which has been fertilized by mineral fertilizers contained a higher proportion of dry matter than maize fertilized by organic fertilizer. Anyway, by the conversion to the tons of product its showed the areas fertilized by manure fertilizers reached higher values. Inorganic fertilizers also increased the proportion of nitrogen in the dry matter of silage maize. Areas of maize fertilized by organic fertilizers consumed less nitrogen than areas fertilized by mineral fertilizers. The addition of straw to UAN fertilizer slightly increases the yield of fresh matter as well as dry matter.

Keywords: long - term field experiment, nitrogen, silage maize, yield

Obsah

1 Úvod	8
2 Cíl práce.....	9
3 Literární rešerše.....	10
3.1 Silážní kukuřice.....	10
3.1.1 Historie a význam kukuřice seté.....	10
3.1.2 Výnosové prvky kukuřice.....	12
3.1.3 Vývoj osevních ploch silážní a zrnové kukuřice	12
3.1.4 Plevelné rostliny silážní kukuřice	12
3.1.5 Škůdci silážní kukuřice.....	13
3.1.6 Choroby silážní kukuřice	13
3.2 Pěstování kukuřice.....	14
3.2.1 Zařazení kukuřice v osevním postupu	14
3.2.2 Zakládání porostu kukuřice	15
3.2.3 Sklizeň silážní kukuřice	16
3.3 Hnojení silážní kukuřice.....	16
3.3.1 Hnojení silážní kukuřice dusíkem	17
3.3.2 Ztráty dusíku při skladování a aplikaci.....	19
3.3.3 Hnojení silážní kukuřice fosforem.....	20
3.3.4 Negativa spojená s pěstováním silážní kukuřice	21
3.3.5 Koloběh dusíku v atmosféře	22
3.4 Hnojiva.....	23
3.4.1 Rozdělení dusíkatých hnojiv a omezení jejich aplikace dle zákona.....	23
3.4.2 Organická hnojiva.....	24
3.4.3 Chlévský hnůj	25
3.4.4 Kejda.....	26
3.4.5 Čistírenské kaly	27
3.5 Minerální (průmyslová) hnojiva.....	27
3.5.1 Síran amonný	28
3.5.2 DAM 390.....	28
3.5.3 Trojitý superfosfát	28
3.5.4 Kieserit.....	28
4 Metodika	29
4.1 Charakteristika pokusu.....	29
4.1.1 Odrůda silážní kukuřice RGT Sixxtus.....	30
4.1.2 Charakteristika pokusného stanoviště.....	30
4.1.3 Sběr vzorků.....	30
4.2 Laboratorní analýza vzorků	30

4.2.1	Stanovení obsahu dusíku v hmotě silážní kukuřice	31
4.2.2	Odběr dusíku rostlinami.....	31
4.2.3	Statistické vyhodnocení	31
4.3	Úhrn srážek a průměrná měsíční teplota.....	31
5	Výsledky.....	33
5.1	Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice	33
5.2	Obsah sušiny v nadzemní biomase silážní kukuřice	34
5.3	Obsah dusíku v sušině silážní kukuřice	36
5.4	Odběr dusíku silážní kukuřicí.....	36
6	Diskuze	38
6.1	Výnos silážní kukuřice.....	38
6.2	Obsah dusíku v sušině silážní kukuřice	39
6.3	Odběr dusíku rostlinou silážní kukuřice.....	39
7	Závěr.....	41
7.1	Hypotézy.....	41
8	Literatura.....	43
9	Seznam použitých zkratk a symbolů	48
10	Samostatné přílohy	I
10.1	Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice t.ha ⁻¹	I
10.2	Sušina silážní kukuřice v procentech	II
10.3	Výnos sušiny silážní kukuřice v t.ha ⁻¹	III
10.4	Obsah N v sušině silážní kukuřice v procentech	IV
10.5	Odběr N silážní kukuřicí v kg.ha ⁻¹	V

1 Úvod

Původ plodiny kukuřice neznáme, i přes to došlo k jejímu maximálnímu rozšíření takřka po celém světě. Tato plodina vyniká rozsahem svého využití. Lze jí zpracovat pro přímou lidskou spotřebu, a tím rozšiřovat potravinové spektrum populace. Můžeme ji snadno uchovat v podobě siláže, je proto vhodnou komponentou pro výživu skotu, ve které tvoří podstatnou část. Se snahami využívat alternativní a obnovitelné zdroje energie je kukuřice v posledních letech využívána pro výrobu bioplynu, který je následně přetvářen na elektrickou energii. Kukuřice je tedy jednou z nejvýznamnějších plodin v celosvětovém měřítku.

Cílem dnešních pěstitelů není jen vypěstování kukuřice s vysokým výnosem hmoty a příznivým složením, ale také snížení dopadů pěstování kukuřice na půdu a životní prostředí. Eroze půdy a vyplavování nitrátů jsou hlavními negativy spojenými s pěstováním kukuřice. Ztráty dusíku jsou častým tématem vědeckých prací. Regulace množství hnojení dusíkem pomocí legislativy zabraňuje přílišnému vyplavování nitrátů během pěstování kukuřice.

Hnojení dusíkem značně ovlivňuje růst kukuřice. O zvolení dávky a druhu hnojiva rozhodují podmínky pěstování. Správná dávka dusíkatého hnojiva by měla být dostatečná pro vytvoření požadovaného výnosu a zároveň taková, aby hnojení nezvyšovalo náklady na pěstování kukuřice a zároveň nedocházelo k vyplavování nitrátů.

V práci bylo porovnáno několik druhů hnojiv a jejich odlišné působení na růst a příjem dusíku u silážní kukuřice. Výběr správné strategie hnojení je předpokladem pro úspěšné pěstování silážní kukuřice, dosažení optimálního výnosu a kvalitativních parametrů.

2 Cíl práce

Cílem práce bylo vyhodnotit vliv různých hnojiv (organická a minerální) na obsah dusíku v nadzemní biomase silážní kukuřice. Současně byl sledován výnos silážní kukuřice a odběr dusíku rostlinami.

Hypotézy:

1.) Nehnojený porost monokultury kukuřice dosahuje nižšího výnosu sušiny a horších kvalitativních parametrů než porosty kukuřice hnojené organickými či minerálními hnojivy.

2.) Kukuřice hnojená na jaře minerálním hnojivem DAM 390 dosáhne při sklizni vyššího výnosu sušiny než kukuřice hnojená hnojem na podzim.

3.) Kukuřice přijme více dusíku z minerálních hnojiv než ze stejného množství aplikovaného dusíku v organickém hnojivu.

4.) Kukuřice hnojená pouze dusíkatým hnojivem dosahuje nižšího výnosu a horších kvalitativních parametrů než kukuřice hnojená dusíkem, draslíkem a fosforem.

5.) Přídavek slámy k hnojivu DAM 390 napomůže vyššímu výnosu čerstvé hmoty oproti hnojení samotným DAM 390.

3 Literární rešerše

3.1 Silážní kukuřice

Kukuřice setá je rostlina, kterou zařazujeme do čeledi lipnicovité a podčeledi kukuřicovité. Tato plodina je velmi statná a dosahuje výšky až 5 metrů. V celosvětovém měřítku patří kukuřice po rýži a pšenici k nejvýznamnějším obilninám. Samčí květy kukuřice jsou tvořeny terminální latou. Samičí květy jsou tvořeny úžlabní palicí, která je zahalena papírovitými listeny, z nichž na vrcholu vyčnívají dlouhé žláznaté nitkovité blizny. Palice na dužnatém větenu obsahuje obilky. Ty jsou více nebo méně hranaté se žlutou, červenou nebo bělavou barvou. Původ této rostliny není spolehlivě doložen. Zřejmě se jedná o území dnešního Mexika (Novák a Skalický 2017).

Kukuřice je plodina s vysokými nároky na teplo. V nejteplejších oblastech naší republiky poskytuje jisté výnosy zrna. V méně příznivých oblastech se osvědčují hybridní odrůdy s krátkou vegetační dobou nebo je pěstována jako jednoletá pícnina. Výnosem zrna kukuřice překonává všechny zrniny, včetně ozimé pšenice. Náleží mezi rostliny typu C4, a tak velice dobře využívá sluneční energii. Mohutným kořenovým systémem a delší dobou příjmu živin dochází k dobrému využití půdních živin (Vaněk et al. 2016). Největšími pěstiteli kukuřice jsou státy USA, Brazílie, Francie, Indie a Itálie. V Africkém kontinentě je kukuřice pěstována spíše pro přímou lidskou spotřebu (Onasanya et al. 2009).

Kukuřice je v podstatě tropickou plodinou, avšak v dnešní době se nepěstuje pouze v tropickém pásmu, ale také v subtropickém a mírném pásmu.

Voda je jedním z nejdůležitějších environmentálních faktorů, ovlivňuje růst a produkci kukuřice. Ta má na závlahu vysoké nároky. Spotřeba vody v období jejího růstu se pohybuje od 500 do 800 mm. Nároky na závlahu se však liší dle fáze růstu. Nejvyšší nároky na vodu má kukuřice v době kvetení. Kukuřice je velmi citlivá na vodní stres. Pokud jí kukuřice trpí, snižuje se její růst a fyziologické procesy. To zapříčiňuje snížení výnosu biomasy (Karasu et al. 2015).

Glycidy jsou převládající složkou zrna kukuřice. Na škrob připadá zhruba 60–70 % z nich. Dusíkaté látky tvoří 10 %, vláknina 2 %, tuk je nejvíce zastoupen v klíčku, tvoří asi 3–6 % zrna. Kukuřice má tedy po ovsu nejvyšší množství tuku v znu (Tauferová et al. 2014).

3.1.1 Historie a význam kukuřice seté

Kukuřice je jedna z nejdůležitějších obilovin pro spotřebu lidí a zvířat. Pěstuje se na zrno a pícniny (Karasa et al. 2015). Žádná jiná plodina nedosáhla takového rozšíření a takové rozmanitosti použití jako kukuřice (Prance & Nesbit 2005).

Silážní kukuřice je důležitým krmivem v oblastech s mírným klimatem. (USA, Kanada a Evropská unie) a využívá se celá nadzemní část, která je řezána a umístěna do silážních prostor, kde je konzervována (Amudalat 2015).

Kukuřice pochází z tropické a subtropické oblasti Jižní a Střední Ameriky. Tuto plodinu znali naši předkové z dávných amerických indiánských kmenů, a to již 4000 let před naším letopočtem. V této době měli místní domorodci k dispozici speciální odrůdy pukancové nebo stolní kukuřice ke konzumaci v mléčné zralosti. I přes to, že kukuřice byla pro místní

kmeny posvátnou rostlinou, původní podoba kukuřice, vznik a vývin nejsou dosud objasněny (Šuk et al. 1998).

Zrno kukuřice hraje důležitou úlohu ve výkrmu prasat a drůbeže, hodí se i do ostatních krmných směsí. V současné době se zvyšuje význam kukuřice pro přímou lidskou spotřebu. Z kukuřice je možné vyrábět biologicky rozložitelné plasty. Silážní kukuřice hraje důležitou roli při produkci objemných krmiv (siláže) a patří mezi rozhodující krmné plodiny (Novák a Vrzal 1995).

V 16. století byla kukuřice přivezena do Afriky. Do 19. století se pak rozšířila po celém kontinentu. Kukuřice se stala v Africe oblíbenou plodinou, protože poskytuje nejvyšší výnos v přepočtu na lidskou práci. Poskytuje živiny v kompaktní formě a snadno se připravuje pro lidskou či krmnou spotřebu. Palice je dobře chráněná před ptáky a deštěm. Dobře se sklízí a uchovává (Amudalat 2015).

Očekávaná změna klimatu bude ovlivňovat pěstování polních plodin na orné půdě. Změny klimatu budou nejenom působit na fyziologii rostlin, ale také budou ovlivňovat různé půdní procesy jako je například mineralizace (Blenken et al. 2009).

Obrázek číslo 1: Porost silážní kukuřice (Červenka 2020).



3.1.2 Výnosové prvky kukuřice

Dle fáze růstu, ve které je kukuřice sklizena rozlišujeme kukuřici silážní a kukuřici zrnovou. Zrnová kukuřice je sklizena až po dosažení fyziologické zralosti porostu, To jest, když obsah sušiny v zrna dosáhne 65–68 %. V tuto dobu je zrno tvrdé, lesklé a na bázi má načervenalou barvu. Takto barevná vrstva naznačuje konec ukládání živin do zrna. Hektarový výnos zrna se pohybuje v rozmezí 5,58 – 8,73 tun.

Oproti tomu nejvhodnější doba pro sklizeň silážní kukuřice z pohledu krmivářského je na konci těstovité zralosti zrna, to jest při sušině rostlin 28–34 %, kdy dochází k ukončování syntézy škrobu v zrnech a je dosaženo nejvyšší koncentrace energie v celé rostlině. Silážní kukuřice poskytuje výnos kvalitní, dobře silážovatelné píče o hektarovém výnosu 28–36 tun, která tvoří až polovinu některých krmných směsí pro skot (Zimolka 2008).

Existuje řada biotických a abiotických faktorů, které výrazně ovlivňují výnos kukuřice (Abuzar et al. 2011). Kvalita kukuřičné bílkoviny je nízká kvůli deficitu aminokyselin lysinu a tryptofanu (Prance & Nesbit 2005).

3.1.3 Vývoj osevních ploch silážní a zrnové kukuřice

Český statistický úřad (2018) udává, že na našem území bylo v roce 1980 vyseto 24 304 hektary zrnové a 281 981 hektar silážní kukuřice. Zrnová kukuřice po asi 20% propadu z minulých třech let v důsledku sucha a potřebě ploch víceletých pícnin, vzrostla svou výměrou na necelých 100 000 hektarů pro rok 2018. Ve stejném roce bylo vyseto 223 829 hektarů silážní kukuřice. Její plochy se o cca 50 000 hektarů snížily oproti roku 1980 a o 150 000 hektarů oproti roku 1990. V posledních letech je silážní kukuřice vysévána takřka na stejné rozloze, a to okolo 230 000 hektarů.

Obliba pěstování silážní kukuřice je stále stejná na jedné straně sice klesá stav skotu, na druhé se ovšem zvyšuje počet bioplynových stanic, které kukuřici spotřebovávají.

U zrnové kukuřice se zvýšil výnos. S tím souvisí i vysoké zastoupení zrnové kukuřice v osevních postupech především v teplejších oblastech České republiky (Prokeš a Zeman 2014).

3.1.4 Plevelné rostliny silážní kukuřice

Přítomnost plevelů v kukuřičných porostech drasticky snižuje jejich výnos. Plevelé konkurují kulturním plodinám nejenom zabraným prostorem, ale dalším množstvím růstových faktorů, které jsou pro kulturní plodinu nedostupné. Vyšší hustota porostu snižuje zaplevelení. V tropických oblastech tvoří největší zaplevelení plevelné druhy *Cyperus rotundus* a *Cynodon dactylon* (Ullah et al. 2008).

Na našem území se mezi nejvýznamnější plevely řadí merlík bílý. Jeho výskyt se dnes přesouvá i do úzkořádkových plodin, protože porosty nejsou dostatečně husté. Dalším plevelem je ježatka kuří noha, která se rozmnožuje pouze generativně, a proto je třeba dbát na správné vyžrání chlévského hnoje, a tak zamezit dalšímu rozšiřování. Rdesno blešník je dalším plevelem, který se u nás vlivem nevhodného střídání plodin a vysoké přizpůsobivosti rozšiřuje. Posledním významným plevelem je pětour malolobý. Problematický je

především svým nepřetržitým vzcházením, ke kterému stačí dostatek vláhy. Jeho regulace se tedy musí provádět během celé vegetace (Mikulka 2014).

Plevelé obecně snižují výnos kulturních plodin, protože ubírají rostlinám světlo, živiny, vodu, CO₂ a zvyšují náklady na pěstování. Aplikace herbicidů významně zvyšuje výnos kukuřice. Zemědělci v Etiopii běžně ztrácí až 40 % výnosu v důsledku zaplevelení (Tesfay et al. 2015).

3.1.5 Škůdci silážní kukuřice

Největším škůdcem kukuřice je zavíječ kukuřičný. Jeho larvy škodí od července do září vnitřním žírem ve stoncích a palicích. Ty jsou následně napadány houbovými chorobami. Dalším škůdcem je bázlivec kukuřičný. U tohoto druhu škodí dospělci od července do září žírem na listech a bliznách, což zapříčiňuje nepravidelný vývoj zrna. Larvy škodí od května do června poškozením či úplným zničením kořenového systému. Posledními škodícími živočichy jsou larvy první generace bzunky ječné. Ty škodí od května do června deformací nadzemních částí vzcházející kukuřice (Kazda 2014).

3.1.6 Choroby silážní kukuřice

Většina chorob silážní kukuřice je houbového původu. Při onemocnění kukuřice spálou klíčnicích rostlin a hnilobou stébel kukuřice nekrotizuje rostlina od kořenů až po stéblo. Nekrózu zapříčiňují houby rodu *Fusarium* a *Phythium*. Bělорůžová hniloba obilek kukuřice je choroba, při které jsou napadány palice. Zrna ztrácejí lesk, scvrkávají se. V palicích se tvoří bělavé až narůžovělé povlaky mycelia hub poté palice trouchnivějí. Pokud jsou houbovým onemocněním napadeny všechny nadzemní části rostlin a pokud jsou na rostlině výtrusné háčky, jedná se o obecnou snětivost kukuřice. Poslední chorobou je obecná listová spála kukuřice, při které se na listových čepelích tvoří oválné až protáhlé skvrny (Prokinová 2014).

3.2 Pěstování kukuřice

3.2.1 Zařazení kukuřice v osevním postupu

Co se týká zařazení kukuřice v osevním postupu, není kukuřice plodinou, která by vyžadovala speciální předplodinu (Novák a Vrzal 1995). Kukuřici řadíme mezi teplomilnou rostlinu. Má tedy vyšší nároky na vláhu a ještě vyšší na půdu (Tauferová et al. 2014).

Kukuřice je obilovina, která má svými požadavky na agrotechniku a hnojení charakter okopaniny. Nejvhodnějšími předplodinami pro kukuřici jsou takové plodiny, které zanechávají větší množství posklizňových zbytků. Velice dobrými předplodinami jsou pro kukuřici jeteloviny a luskoviny, které obohacují půdu o dusík a zanechávají v ní velmi kvalitní posklizňové zbytky (Zimolka 2008). Po těchto plodinách však v praxi kukuřice není řazena. Spíše se využívá jako přerušovač obilných sledů. Negativní vliv těchto předplodin nelze vyrovnat vhodnou meziplodinou nebo organickým či minerálním hnojením (Šuk et al. 1998). V případě, že používáme kukuřici jako přerušovač obilných sledů, je nejvhodnější jí zařazovat po pšenici (Novák a Vrzal 1995). Další velmi vhodnou předplodinou pro kukuřici jsou okopaniny hnojené chlévským hnojem (Zimolka 2008). Dále uvádí, že kukuřici lze úspěšně pěstovat po sobě, avšak při takovém pěstování se zvyšují požadavky na agrotechniku a hnojení. (Novák a Vrzal 1995) a (Šuk et al. 1998) ve svých publikacích shodně tvrdí, že při pěstování kukuřice po sobě vzniká problém se zaplevelením a je nutné využívat při regulaci plevelů razantnějších pesticidů.

Doporučený rozsah pěstování kukuřice po sobě jsou dva až tři roky. Nedoporučuje se pěstování monokultury kukuřice po sobě více než pět až šest let, a to ani na úrodných půdách (Šuk et al. 1998). V současných tržně orientovaných osevních sledech s vysokým podílem obilnin a olejnin se opakované pěstování kukuřice po sobě často využívá. Běžně dochází k pěstování dva až tři roky po sobě. Monokulturní pěstování vede také ke zvýšenému množství rostlinných škůdců (Zimolka 2008). Kukuřice může být dobrou předplodinou, avšak výnosný porost kukuřice odčerpá velké množství půdní vláhy a orba může tak být obtížná a nekvalitní (Novák a Vrzal 1995). Kukuřice je často předplodinou pro jarní ječmen (Zimolka 2008).

Pěstování silážní kukuřice v monokultuře či osevním postupu s úzkým rozsahem vede ke snížení jejího výnosu. Je prokázáno, že kukuřice pěstovaná v širokém osevním postupu má daleko vyšší výnos sušiny s nižší potřebou dusíkatých hnojiv. Kukuřice, kterou budeme pěstovat po luštěninách, bude mít vitálnější a větší kořenový systém. Díky tomu může přijmout více živin a vody. Kukuřice pěstovaná v osevním postupu je tedy produktivnější než její pěstování v monokultuře. V praxi je však kukuřice, i přes veškeré nevýhody pěstována v monokultuře či úzkém rozsahu osevního postupu. Pěstitelé se neúspěšně snaží výnos plodin vylepšit dusíkatým hnojením či pesticidy (Nevens & Reheul 2001).

3.2.2 Zakládání porostu kukuřice

Kukuřice je plodinou velmi náročnou na zpracování půdy. Mohutný kořenový systém vyžaduje hlubokou přípravu půdy, aby se vytvořily příznivé podmínky pro příjem vody a živin (Novák a Vrzal 1995). Nedostatek závlahy snižuje růst a výnos kukuřice (Gheysari et al. 2009). Při volbě technologie zpracování půdy před vysetím kukuřice je nutné zahrnout do úvahy předplodinu, zapravení statkových hnojiv či zadržení maximálního množství půdní vláhy. Na dostatek vláhy v podzimním období kukuřice velmi dobře reaguje. Významnou úlohu v přípravě půdy hraje také půdní druh a termín agrotechnického zásahu. Proto postup přípravy půdy pro výsev kukuřice nemůže být vždy stejný a je značně variabilní (Šuk et al. 1998). V podmínkách naší republiky většinou převažuje tradiční technologie s orbou. Podmítka do hloubky 6 až 12 centimetrů se využívá, pokud kukuřice následuje za jinou obilovinou. Poté následuje středně hluboká orba do hloubky 22 cm. Při orbě jsou do půdy zapravována organická a minerální hnojiva. Hlubší orba se využívá, pokud je kukuřice pěstována po sobě či po okopaninách (Zimolka 2008). V oblastech, kde není dostatek vláhy se doporučuje urovnat hrubou brázdou již na podzim. V jarním období je žádoucí rychlé prohřátí půdy, zajistit dostatek vzduchu pro klíčení semen a současně šetřit s půdní vodou. Příprava půdy před setím se provádí pouze do hloubky setí. Jarní úpravu půdy provádíme co nejdříve v závislosti na počasí daného ročníku. Před setím není žádoucí půdu utužit či přípravou vytvořit velké množství hrud (Prokeš a Zeman 2014). Příprava půdy je nejčastěji prováděna smykováním a následným vláčením. Tyto operace je možné pomoci kombinátorů sloučit do jedné. Tímto zásahem je omezen výpar půdní vody. Dále je zrychleno vzcházení plevelů a jejich následná likvidace a také je zvyšováno prohřátí půdy (Novák a Vrzal 1995). Výsevek kukuřice je stanoven dle ranosti hybridu a účelu pěstování. Tabulka číslo 1 zobrazuje optimální hustotu porostu dle ranosti hybridů. Výsevek je od tohoto počtu navýšen o 15–30 % s přihlédnutím na ztráty během vzcházení a vegetace dle podmínek, ve kterých kukuřici pěstujeme (Petr 1989).

Abuzar et al. (2011) se zabýval ve svém výzkumu ovlivňování porostu kukuřice hustotou porostu. Zjistili, že při nízké hustotě porostu se mnoho moderních odrůd kukuřice nekultivuje účinně a velice často produkuje pouze jeden klas na rostlinu. Naopak hustá populace zvyšuje soutěž rostlin o světlo, vodu a živiny. To může být pro rostliny škodlivé, protože hustý porost stimuluje apikální dormanci, vyvolává neplodnost, a nakonec snižuje počet klasů. Při hustotě 40 000 rostlin na hektar rostliny vytvořily maximální počet zrn v řádku klasu kukuřice a nejvyšší množství zrn v klasu (447,3). Zato při hustotě 60 000 rostlin na hektar rostliny vytvořily nejvyšší počet klasů na rostlinu (1,33) a počet řádku zrn v klasu (15,4). Výnos biomasy byl při této hustotě roven 16 890 kg a zrna 2 604 kg z hektaru. Pro vyšší vynos kukuřice se tak doporučuje hustota porostu 60 000 rostlin na hektar se vzdáleností rostlin v řádku 22,7 cm.

Tabulka číslo 1: Optimální počet rostlin kukuřice na 1 hektar (Petr et al. 1989).

Ranost hybridů	FAO	Počet rostlin na 1 hektar (tisíce)	
		Zrno	Siláž
Velmi raný	do 200	90 - 110	100 - 120
Raný a středně raný	200 - 300	80 - 90	90 - 110
Středně pozdní	300 - 400	65 - 80	80 - 90
Pozdní	400 - 500	65 - 80	80 - 90
Velmi pozdní	500 - 600		75 - 85

3.2.3 Sklizeň silážní kukuřice

Na kukuřičnou siláž je kladeno několik požadavků. Hlavním cílem je dosažení vysokého výnosu sušiny. Dále požadujeme vysokou koncentraci živin a jejich co nejvyšší stravitelnost. V poslední řadě je žádaná výborná silážovatelnost a předpoklad nízkých ztrát konzervací a skladováním (Šuk et al. 1998). Sušina kukuřice, která je určena ke sklizni je 25–30 %. Mléčně vosková zralost je nejvhodnějším termínem pro sklizeň kukuřice na siláž. V této fázi kukuřice poskytuje vysoký výnos sušiny s 45–55% podílem palic. Podmínkou pro kvalitní siláž je obsah vysokého podílu palic. Ty se totiž podílejí na živinovém výnosu z 60–75 %. Nutné je volit hybridy, které v dané oblasti nasazují dostatečné množství palic. Na množství palic dále pozitivně působí výběr vhodné hustoty porostu, a i nepřehnojení dusíkem (Novák a Vrzal 1995).

Píce sklizené kukuřice je silážováním konzervována a je tak vyřešen rozpor mezi sklizní a následným zkrmováním. Díky vysokému obsahu vodorozpustných sacharidů (15–30 % v 1 kg sušiny) a nízkému množství dusíkatých látek, dusičnanů a bazických prvků, lze kukuřici velmi snadno silážovat. Za dobrých podmínek a dodržení správné technologie není nutné přidávat do hmoty silážní aditiva. Kukuřičná siláž obsahuje 33,9 % sušiny (Zimolka 2008). Při tvorbě kukuřičné siláže je důležité dodržovat správné technologické postupy. Na kvalitu a udržitelnost siláže totiž působí mnoho faktorů (Hulsen & Aerden 2014).

Rostlina kukuřice průměrně ve fázi mléčně voskové zralosti obsahuje 1,52 % dusíku, 0,37 % fosforu a 1,26 % draslíku (Baier et al. 1988). Během skladování kukuřice v podobě siláže dochází pouze k zanedbatelným ztrátám obsaženého dusíku (Antje a Friedhelm 2004).

3.3 Hnojení silážní kukuřice

Růst a výnos silážní kukuřice ovlivňuje mnoho různých biotických a abiotických faktorů. Výživa je nejdůležitějším z nich, protože kukuřice vyžaduje nepřetržité zásobování živinami po celou dobu růstu (Jena et al. 2015). Hnojením silážní kukuřice se zabývali (Onasanya et al. 2009). Během polních pokusů zjistili, že kukuřice vyžaduje adekvátní přísun živin zejména N, P a K. Při správném vyrovnaném hnojení těmito prvky dosahují rostliny

dobrého růstu a vysokého výnosu. Požadované množství těchto živin závisí na předplodině, obsahu organických látek v půdě, metodě jejího zpracování a světelné intenzity.

Dostatečný přísun živin je nezbytný pro optimální růst a vývoj kukuřice. Výběr hnojiva ovlivňuje výnos plodiny a účinnost jeho využití. Aplikace hnojiva vedle či pod úroveň osiva zvyšuje účinnost jeho využití, příjem živin do plodiny a její výnos (Hassan et al. 2010).

Dle výsledků pokusu může být vliv hnojení na výnos rozdílný, neboť půdní podmínky a průběh počasí v jednotlivých letech výrazně ovlivňuje tvorbu výnosu. Proto je pro posuzování působení hnojiv třeba dlouhodobých polních pokusů (Balík et al. 2012).

Živiny jsou rostlinou přijímány především rozpuštěné ve vodě jako ionty nebo molekuly, ale také v plynné formě. Příjmovými orgány prvků rozpuštěných ve vodě jsou kořeny, a především zóna kořenového vlášení, které je na rozdíl od meristemické a prodlužovací zóny plně přizpůsobeno pro příjem a zásobování nadzemních orgánů minerálními živinami a vodou (Baier et al. 1988).

Při hnojení kukuřice je vhodné intenzivněji hnojit předplodinu, protože kukuřice příznivě reaguje na živiny z tzv. „staré půdní síly“. Kukuřice je schopná využít tyto živiny v následujícím roce, a to i z hlubších půdních horizontů. Na přímé hnojení příliš nereaguje (Novák a Vrzal 1995).

Silážní kukuřice průměrně z půdy odebere na jednu tunu hlavního produktu 3,5 – 4 kg dusíku, 0,7–0,9 kg fosforu a 2,9 – 3,7 kg draslíku (Vaněk et al. 2016).

Prvkem, který může být limitující z hlediska výživy kukuřice, může být hořčík. Na pozemek ho zpravidla dodáváme jednou za pět let. Vápník je na pole dávkován dle půdních podmínek v závislosti na pH půdy. Nezanedbatelná je i důležitost hnojení mikroprvky, kterých je obvykle v půdě nedostatek (Novák a Vrzal 1995).

3.3.1 Hnojení silážní kukuřice dusíkem

Hlavním pohonem růstu rostlin je dusík. Ten rostliny vyžadují v průběhu celé ontogeneze (Neuberg 1995). V převaze je dusík přijímán jako aniont NO_3^- (nitrátová forma), ale také může být přijímán ve formě NH_4^+ (amonná forma). V ornici je pro rostliny k dispozici převážně dusík v nitrátové formě, a to i přes to, že bylo hnojeno amoniakální formou dusíku. Amonný dusík je totiž z velké části poután na sorpční komplex. Nitrátový dusík nemůže být do sorpčního komplexu vázán. Nadbytek nitrátové formy může vést k intenzivnímu příjmu spojené s nahromaděním nitrátů v rostlinách, ale také hrozí nebezpečí vyplavení nebo vytěkání. Příliš velké množství amoniakální formy dusíku způsobuje přes výměnné reakce v sorpčním komplexu okyselování půdy (Baier et al. 1988). Dusík je složkou bílkovin, nukleových kyselin a dalších sloučenin nezbytných pro proces růstu rostlin (Jena et al. 2015). Kukuřice reaguje pozitivně na dusíkaté hnojivo. Při zvyšujících se dávkách dusíkatého hnojiva je zvyšován i výnos silážní kukuřice. Tento prvek hraje důležitou roli v kvalitě pícnin. Mnoho vědců se shoduje, že aplikace dusíku zvyšuje obsah bílkovin v silážní kukuřici a zvýšila se i hladina dusíku v rostlinách. Na druhou stranu bylo zjištěno, že vyšší hladina dusíku vykazovala malý vliv na obsah vlákniny silážní kukuřice. Aplikace dusíkatých hnojiv podporuje růst rostlin a zvyšuje tak jejich výšku. Dále podporuje rozvoj listů a jejich vývoj. To může vést ke zvětšení délky, šířky a velikosti listu (Eltelib et al. 2006).

Rostliny přijímají velké množství dusíku a využívají ho pro vegetativní růst. Přebytečný dusík vytváří v rostlinách měkký, bujný růst, kvůli kterému je rostlina náchylnější k napadení škůdci či poškození chladem (Adams et al. 2004). Dusík je nezbytnou živinou pro růst a tvoří 1 až 4 % sušiny silážní kukuřice. Také je složkou bílkovin a nukleových kyselin. Dále je obsažen v chlorofylu a mnoha rostlinných enzymech. Snížený příjem dusíku snižuje růst kukuřice. Tento prvek také zprostředkovává využití fosforu, draslíku a dalších prvků. Při nízkých dávkách dusíku nejsou tyto prvky efektivně využívány (Onasanya et al. 2009).

Zvolení správné aplikační dávky a druhu dusíkatého hnojiva je velmi náročné a vyžaduje dobrou znalost této problematiky. Do úvahy se také musí vzít termín aplikace a zbytkový účinek dusíkatého hnojiva (Nannen et al. 2011).

Ekonomicky optimální dávka dusíkatého hnojiva je obvykle definována jako dávka, při které jsou náklady na přidání ještě jednoho kilogramu dusíku vyšší než hodnota výnosu z tohoto přidání (Schröder et al. 1998).

Při volbě dusíkatého hnojiva je důležité brát v úvahu ekologické podmínky daného stanoviště (Vrzal et al. 1989).

Hnojení dusíkem je často spojováno s významnými negativními dopady na životní prostředí, ale aplikace dusíkatých hnojiv, ať už ve formě organické nebo minerální je nezbytným předpokladem k dosažení odpovídající úrovně produkce a kvality rostlinné výroby (Basso et al. 2016).

Hnojení dusíkem je největším nákladem vstupujícím do produkce kukuřice a jeho účinné řízení je cestou pro zlepšení produktivity a udržitelnosti životního prostředí. Uvádí se, že výnos kukuřice se zvyšuje souběžně s aplikovaným množstvím dusíkatého hnojiva, dokud není dosaženo vrcholového bodu, po kterém již zvyšování dávky dusíkatých hnojiv nemá žádný vliv na výnos či ostatní parametry. Tato maximální hranice se pohybuje v okolo 140 kg na hektar. Vyšší dávky hnojení již porost kukuřice neovlivní (Hassan et al. 2010).

Nejefektivněji a zároveň nejekonomičtěji aplikujeme dusík, pokud tento prvek dodáváme do půdy samostatně. Takovýmto hnojením se dusík projeví nejvíce v růstu rostlin. Toto jednostranné hnojení však snižuje půdní úrodnost o ostatní živiny, které jsou z pole odvezeny sklizní, a následně nedojde k jejich navrácení (Prokeš a Zeman 2014).

Při sestavování plánu hnojení dusíkem se určuje celková potřeba dusíku pro získání požadovaného výnosu a potřebné kvality produkce na daném stanovišti. Do výpočtu je třeba zahrnout dusík dodaný statkovými hnojivy, včetně zapravených vedlejších produktů, předplodin a posklizňových zbytků. Výsledná dávka minerálních hnojiv je jen orientační dávka. Ta musí být přizpůsobena s přihlédnutím k vlastnostem stanoviště, průběhu počasí a vývoje porostu (Dostál 2003).

Silážní kukuřice v období od vzejití až do fáze kvetení spotřebuje přibližně 55 % dusíku, 80 % draslíku a 50 % fosforu z celkového množství odebraných živin (Vrzal et al. 1989). Nejvyšší nároky na příjem dusíku má kukuřice v období intenzivního růstu a tvorby palic, to je zhruba 60 dní od zasetí. Neekonomické je aplikování celé dávky N najednou. Vhodné je dávku rozdělit, aplikovat dvě třetiny formou organickou a zbylou třetinu formou průmyslových hnojiv. Dusík významně ovlivňuje nárůst biomasy a tím i celkový výnos. Nedostatečný příjem dusíku se na rostlinách projeví pomalým růstem, žlutozeleným zbarvením a tenkým stéblem. Tento nedostatek se obvykle objeví až po

odkvětu. Malé palice jsou nevyvinuté a méně ozrněné. Snížené zásobení dusíkem se více projeví v suchých obdobích nebo při nerovnoměrném rozdělení srážek (Novák a Vrzal 1995).

Aplikace dusíku je významným agronomickým opatřením, které ovlivňuje výnos a kvalitu pěstovaných plodin. Působení dusíku v půdě je však rozdílné na odlišných pozemcích, ale dokonce i na různých částech jednoho pozemku. Na méně úrodných půdách se aplikace dusíku projeví nejvíce. Na úrodných půdách rostliny využijí z hnojiv jen 12–16 %. Zbylých 84–88 % N přijímají z půdy. Pouze 56–60 % je rostlinou přijímáno z méně úrodných půd (Balík et al. 2012).

Při nízkém hnojení dusíkem byl zaznamenán vyšší výnos u silážní kukuřice pěstované v monokultuře než u normálního osevního postupu. Zvyšováním dávky dusíku došlo k vyrovnání výnosu u obou způsobů (Černý et al. 2012).

Změny klimatických podmínek, mezi které patří i zvýšení koncentrace atmosférického CO₂, změny srážek a zvýšení teploty vzduchu, povedou ke zkrácení cyklu plodin a absorpční kapacitě dusíku. Také může dojít ke zvyšování rychlosti rozkladu uhlíku, což může vést k akumulaci dusíku v půdě a tím zvýšení hladiny NO₃ (Basso et al. 2016).

3.3.2 Ztráty dusíku při skladování a aplikaci

Na těkání amoniaku (NH₃) ze statkových hnojiv bylo zaměřeno mnoho studií, protože tak dochází ke ztrátám dusíku pro rostlinnou výrobu a je zbytečně zatěžováno životní prostředí. I přes to, že chlévská mrva je ze stáje denně odklízena, ztráty dusíku se v tomto období pohybují mezi 40 až 60 %. Míra votalizace závisí na teplotě, rychlosti větru, zpracování povrchu a poloze umístění hnojiště (McGinn & Janzen 1996). K významným ztrátám dusíku z organických nebo minerálních hnojiv řadíme především únik dusíku do atmosféry. K těmto ztrátám dochází nejčastěji při povrchové aplikaci či při pozdním zapravení, a to především votalizací amoniaku (Balík et al. 2012).

V zemědělské praxi je často chybně volená dávka a forma dodávaného N k tamním podmínkám, což vede k vysokým ztrátám dusíku a znečišťování podzemních vod (Kayser et al. 2011).

V polních podmínkách jsou ztráty dusíku způsobeny hlavně vyplavením dusičnanů do podzemních vod, vyprcháním v podobě čpavku a emisemi N₂ a CO₂. V budoucnu budou pěstitelé schopni snížit vyplavování dusičnanů bez toho, aby byl snížen výnos plodin (Basso et al. 2016).

Při pěstování silážní kukuřice byly pozorovány nejvyšší ztráty NO₃⁻ ve srovnání s ostatními obilovinami. Na středně těžké půdě v dolním Sasku bylo vyplavení NO₃⁻ o 25 kg na hektar vyšší než u ostatních plodin (Möller et al. 2011).

Chceme-li dosáhnout optimálního využití chlévského hnoje je důležité, aby byl rovnoměrně rozmetán a neprodleně poté zapraven orbou do půdy. Nestane-li se tak, dojde ke ztrátám hnojivých hodnot, a to především dusíku (Richter a Římovský 1996). Ztráty dusíku dle času zapravení chlévského hnoje zobrazuje tabulka číslo 2.

**Tabulka číslo 2: Ztráty dusíku dle doby zapravení chlévského hnoje
(Richter a Římovský 1996).**

Zapravení	Ztráty hnojivých hodnot v procentech	Hektarové ztráty N v Kg
Ihned po rozmetání	Stopy	Stopy
Po 6 hod.	16	33,9
Po 24 hod.	21	45
Po 4 dnech	36	76,5

3.3.3 Hnojení silážní kukuřice fosforem

Rostliny přijímají fosfor ve formě aniontu kyseliny trihydrogenfosforečné, zejména ve formě H_2PO_4^- a HPO_4^{2-} . V půdním roztoku je fosfor velmi málo obsažen. Je proto důležité, aby se po odčerpání z roztoku včas doplnil z pevné fáze půdy. Fosfor může být přijímán rostlinami i pokud je v půdním roztoku v nízké koncentraci. Příjem fosforu je aktivní děj, vyžadující dostatek energie. V půdě je obsaženo od 0,01 do 0,15 % fosforu. Půdy s vyšším obsahem organické hmoty vykazovaly většinou vyšší množství fosforu. Fosfor je v půdě málo pohyblivý (Vaněk et al. 2016).

Fosfor rostliny využívají pro růst a fotosyntézu. Dále je nezbytný pro průběh metabolických procesů a dosažení výnosu (Jena et al 2015).

Hnojení P a K hnojivy může být prováděno na podzim nebo na jaře před setím či předzásobně, a to z důvodu relativně malé pohyblivosti těchto prvků v půdě. Nedostatek těchto prvků v půdní zásobě zvyšuje náchylnost rostlin na chlad, choroby a polehání. Nedostatek fosforu se projeví nejdříve u mladých rostlin změnou zbarvení, užšími listy a malou, často deformovanou, palicí. Při nízkých teplotách je příjem fosforu snížen, proto se jeho nedostek může projevit i na půdách středně zásobených, zvláště byla-li tato hnojiva dodána do půdy na jaře. Správná výživa se projeví na nasazení palic, jejich velikosti a i vývinu, čímž je zlepšena kvalita silážní hmoty (Novák a Vrzal 1995).

Fosfor je živina, která obdobně jako dusík způsobuje při nedostatku snížený vývoj a výnos silážní kukuřice. Tento prvek je důležitý pro tvorbu semen plodů a jejich zrání. Dále hraje fosfor důležitou roli v mnoha fyziologických procesech nutných pro vývoj a zrání rostlin. Fosfor zprostředkovává enzymatické reakce v rostlině. Je nezbytný pro dělení buněk, protože je základní součástí nukleoproteinů. Ty se podílejí na reprodukci buněk (Onasanya et al. 2009).

Dostupnost fosforu během ranného růstu kukuřice má hlavní dopad na konečný výnos, proto ho musí mít kukuřice v době klíčení dostatek. V roce aplikace tvoří příjem fosforu z aplikovaného minerálního hnojiva pouze 15–30 %. Je tedy důležité, aby rostlina měla dostatek dostupného fosforu z předchozích aplikací (Jing et al. 2019).

3.3.4 Negativa spojená s pěstováním silážní kukuřice

Kukuřice je často spojována s negativními dopady na čistotu pozemních vod, a to především dusičnany. Kukuřice má krátkou vegetační dobu a málo rozvinutý kořenový systém, a tak čerpá z půdy relativně malé množství dusíku ($225 \text{ kg} \times \text{Ha}^{-1}$). Hnojiva je také často aplikováno více než kukuřice vyžaduje, protože kukuřice není na přehnojení náchylná nepolehává ani neztrácí kvalitu. Proto v půdě zůstává vyšší množství dusíku než u jiných plodin. To může vést ke znečišťování vod. Další nevýhodou pěstování kukuřice je fakt, že půda zůstává dlouhou dobu 6 až 7 měsíců bez pokryvu. Při pěstování monokulturních porostů kukuřice je toto negativum ještě horší (Nevens & Reheul 2005).

Nesprávným dusíkatým hnojením můžeme narušit proces eutrofizace. Ta ovlivňuje biodiverzitu a narušuje využití vody pro pitné a rekreační účely. Vysoká koncentrace především nitrátů může znehodnocovat spodní vody. Ovzduší může být znečišťováno oxidy dusíku, a to především oxidem dusným, který je skleníkovým plynem a amoniakem (Balík et al. 2003).

Nannen et al. (2011) shodně udává, že ačkoliv má kukuřice vysokou využitelnost dusíku, na polích po sklizni zůstává velké množství tohoto prvku, protože na pole je dusík dodáván v přebytku v organickém nebo minerálním hnojivu buď samostatně nebo v kombinaci. Efektivní absorpce dusíku z minerálního hnojiva se na písčité půdě pohybovala mezi 51 až 61 %.

Nesprávná aplikace dusíkatého hnojiva může vést ke kontaminaci zdrojů podzemních vod, k degradaci půdy, může způsobovat zdravotní obtíže. Tento problém lze minimalizovat, pokud určíme správný postup hnojení, jako je vyhnout se nadměrné dávce dusíku či rozdělení dávky do více aplikací. Při aplikaci pomalu se uvolňujícího hnojiva se snižují ztráty dusíku a dochází k menší kontaminaci podzemních vod a je zvyšována absorpce dusíku rostlinou. Tyto hnojiva mají pozitivní efekt na hmotnost listů, kořenů a celkový výnos. Nejelekologičtější přístup ke zvyšování účinnosti dusíkatých hnojiv je dodávat jenom tolik dusíku, kolik rostlina potřebuje pro svůj růst. Pro stanovení této dávky lze vycházet z předchozí sklizně či očekávané sklizně (Hassan et al. 2010). Antje a Friedhelm (2004) také uvádějí, že množství ztrát dusíku může být omezeno výběrem vhodného hnojiva.

Některé zemědělské systémy s vysokými extrémními vstupy (např. Evropské) mohou vést k nadbytku živin v půdě. Tento nadbytek může vést ke znečišťování vod a ovzduší. Oproti tomu, pokud zemědělské půdě způsobíme ochuzení o zásobu živin vlivem nízkých vnějších vstupů, nastává skutečné riziko omezení zemědělské produkce do budoucna (Balík et al. 2012).

Silážní kukuřice je často spojována s intenzivní produkcí a vysokými přebytky dusíku v půdě (Kayser et al. 2011).

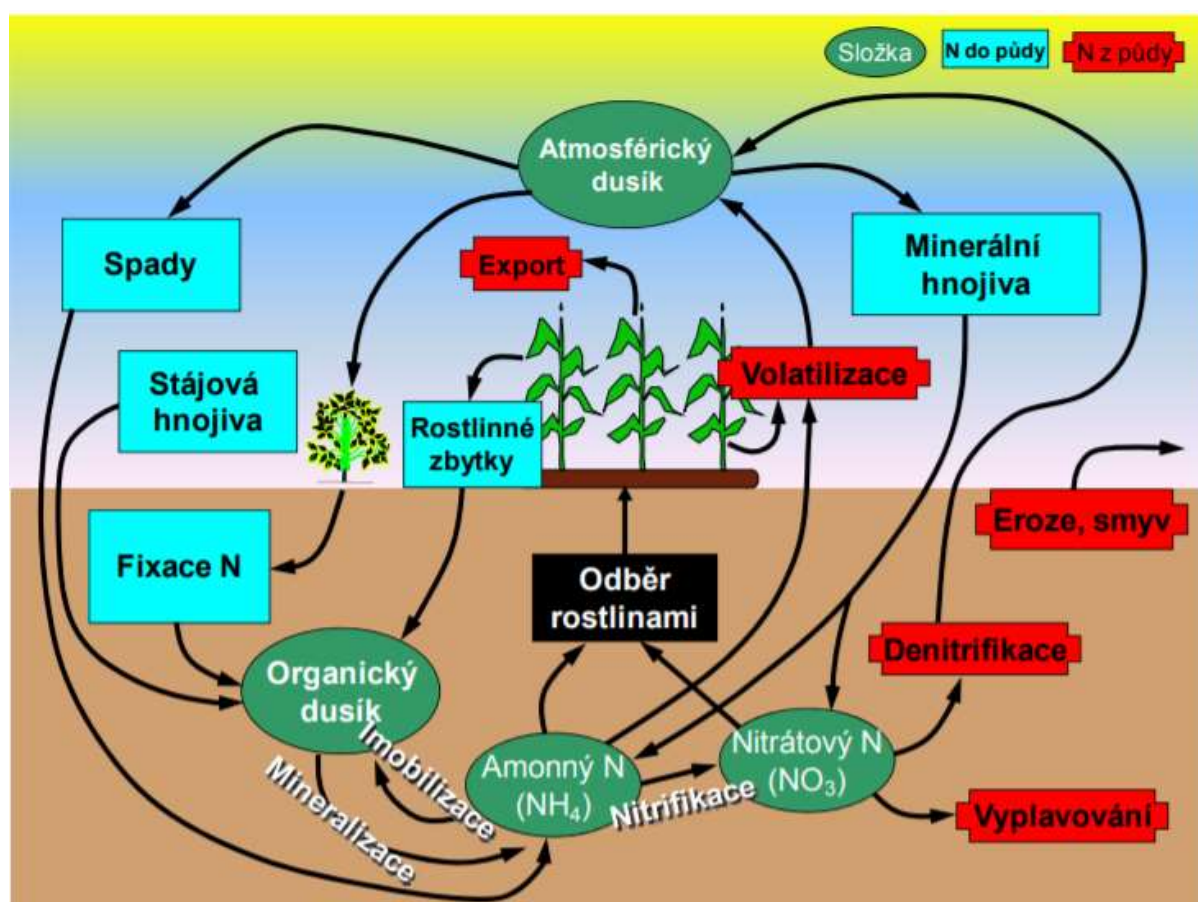
Pozemky oseté širokořádkovými plodinami, jako je silážní kukuřice, trpí během pěstování vysokou erozí. Kukuřice má také vliv na snížení obsahu humusu v půdě (Möller et al. 2011).

Nadměrná aplikace dusíku na pole v podobě hnojiv je po stránce ekonomické i ekologické nežádoucí. Vyplavování dusičnanů ze zemědělské půdy je celosvětový problém v oblastech s intenzivní zemědělskou produkcí (Basso et al. 2016).

3.3.5 Koloběh dusíku v atmosféře

Balík et al. (2012) udává, že nezastupitelné místo ve všech živých soustavách zastupuje dusík. Ty jej využívají k tvorbě mnoha rozličných organických látek. V pevné formě je dusík nejstabilnější. Litosféra obsahuje 98 % celkového N na zemi, a to především ve svrchní vrstvě půdy. Zde se nachází asi jedna třetina celkového N na zemi. Z celkového množství je pouze 2,5 % N v přístupných formách a může tak podléhat přeměnám a být využíván živými organismy. Atmosféra země obsahuje milionkrát více dusíku než všechny živé organismy na zemi. Schéma koloběhu dusíku je zobrazeno v obrázku číslo 2.

Obrázek číslo 2: Schéma koloběhu uhlíku (Balík et al 2012).



Měření emisí amoniaku v zemědělství je velmi důležité, protože únik emisí z uskladněných nebo aplikovaných hnojiv do ovzduší má za následek významnou ztrátu dusíku pro rostlinnou výrobu. Vysoká hodnota amoniaku v atmosféře může mít za následek okyselení povrchu půdy a vody, způsobuje poškození rostlin a snižuje biologickou rozmanitost rostlin v přírodních systémech (McGinn & Janzen 1996).

3.4 Hnojiva

Výnos a kvalitu rostlinné produkce mohou příznivě ovlivnit hnojiva. Tímto názvem souhrnně nazýváme látky a sloučeniny, které poskytují rostlinám živiny. Ty mohou zlepšit jejich výživu, půdní úrodnost a ostatní půdní vlastnosti. Hnojiva rozdělujeme dle původu a převahy hlavní složky na hnojiva organická a minerální (Vaněk et al. 2016). Budňáková (2017) nehodnotí používání hnojiv v České republice za uplynulých dvacet let moc pozitivně. Pokles chovu dobytka po roce 1989 zapříčinil snížení organického hnojení na našem území. K dalšímu úbytku organických hnojiv dochází v bioplynových stanicích a spalovnách. Nižší využití statkových hnojiv snižuje obsah organické hmoty v zemědělské půdě. Tím dochází ke snížení půdní úrodnosti a zvyšování eroze, a utužení půdy.

Úrodnost půdy není stálá, ale mění se v závislosti v čase. Hospodaření na půdě a další faktory, jako je vodní a větrná eroze snižují úrodnost půdy a ta poté nemůže předávat živiny rostlinám. Proto je nutné živiny do půdy navracet v podobě hnojiv (Onwubiko and Echcerobia 2019).

Aplikace hnojiv je jedním z hlavních faktorů, které v podstatě určují výnos píce. Přiměřený přísun živin v dané růstové fázi je nezbytným předpokladem pro optimální růst a vývoj silážní kukuřice. Základní živiny jako jsou dusík a fosfor jsou důležité pro růst a výnos rostliny. Stupeň využití živin z hnojiv aplikovaných na půdu závisí na povětrnostních podmínkách, biologické charakteristice plodin a množství aplikovaného hnojiva (Eltelib et al. 2006).

Kombinované používání organických hnojiv jako je hnůj, zelené hnojení a kompost s minerálními hnojivy se ukázal jako velmi prospěšný pro udržitelnou produkci plodin, a to díky svému pozitivnímu vlivu na produktivitu plodin, úrodnost půdy a absorpci živin rostlinami (Nazli et al. 2016).

3.4.1 Rozdělení dusíkatých hnojiv a omezení jejich aplikace dle zákona

Legislativa České republiky dle Klír a Kozlovská (2016) rozděluje dusíkatá hnojiva do pěti hlavních skupin.

- a) Minerální dusíkatá hnojiva – jednosložková, vícesložková s obsahem dusíku
- b) Hnojiva s rychlouvolnitelným dusíkem – statková hnojiva (kejda nebo její tekutý podíl po separaci, hnojůvka, močůvka, trus drůbeže a drobných hospodářských zvířat)
- c) Hnojiva s pomalu uvolnitelným dusíkem – statková hnojiva (hnůj a tuhý podíl po separaci kejdy)
- d) Skliditelné rostlinné zbytky – sláma, chrást a tráva
- e) Upravené kaly

V blíže určených zranitelných oblastech je na orné půdě či trvalých travních porostech zakázáno používání dusíkatých hnojivých látek dle tabulky číslo 3.

Tabulka číslo 3: Omezení aplikace dusíkatých hnojivých látek (Dostál 2003).

Klimatický region	Minerální dusíkatá hnojiva	Hnojiva s rychle uvolnitelným dusíkem	Hnojiva s pomalu uvolnitelným dusíkem
(0 - 5)	(1. 11. - 15. 2.)	(15. 11. - 15. 2.)	(15. 12. - 15. 2.)
(6 - 9)	(15. 10 - 28. 2.)	(5. 11. - 28. 2.)	(15. 12. - 28. 2.)

Celkové množství zbytkových dusičnanů v půdě přímo souvisí s rychlostí působení dusíkatého hnojiva a frekvencí pěstování kukuřice v osevním postupu. Při pěstování silážní kukuřice můžeme na jeden hektar aplikovat pouze 170 kg čistého dusíku (Nevens & Reheul 2001).

Na zemědělských půdách mohou být používána minerální i statková hnojiva pouze, když nehrozí přímé vyplavení nebo povrchový smyv dusíku do vod. Využití živin rostlinami a případné ztráty závisejí na půdně-klimatických podmínkách, pěstovaných plodinách, typu hnojiv a statkových hnojiv, jakož i termínu aplikace (Dostál 2003).

3.4.2 Organická hnojiva

Organická neboli statková hnojiva jsou většinou produktem zemědělského podniku či rolníků pro svou vlastní potřebu. Jedná se o odpady z živočišné výroby, zbytky po výrobě bioplynu, čistírenské kaly, ale i posklizňové zbytky či záměrně pěstované plodiny určené ke hnojení. Kvalita a množství živin v těchto hnojivech záleží na systému chovu, vstupních surovinách a také na skladování a aplikaci těchto hnojiv. Tyto hnojiva mají vysokou hnojivou hodnotu, soustředí se v nich velké množství živin, krmiva a steliva (Vaněk et al. 2016). Silážní kukuřice je schopná relativně efektivně využívat dusík z organických hnojiv (Komainda et al. 2018).

Využití organických materiálů jako zdrojů živin pro rostliny zlepšuje fyzikální vlastnosti půdy a je to také šetrný způsob hnojení ve vztahu k životnímu prostředí. V poslední době vzniká značný zájem o používání organických hnojiv jako zdrojů živin pro zemědělské plodiny, a to po celém světě. Důvodem pro omezování využívání minerálních hnojiv je jejich vysoká cena, negativní účinky na půdní strukturu, životní prostředí a také lidské zdraví (Nazli et al. 2016).

Nevýhodou veškerých organických hnojiv je přístupnost živin, která je závislá na poměru uhlíku k dusíku a dalších faktorů prostředí (teplota a vlhkost) (Onwubiko and Echerobia 2019).

Nedostatek fosforu významně snižuje růst rostlin kukuřice. Při společné aplikaci fosforu a dusíku se zvyšuje výtěžnost biomasy. Bylo prokázáno, že aplikace fosforečných hnojiv zvyšuje obsah bílkovin v listech kukuřice (Eltelib et al. 2006).

Domácí zvířata mohou vylučovat asi 78 % dusíku obsaženého v jejich krmivu. Tato hodnota je závislá na příjmu bílkovin. Část dusíku je vylučována jako močovina v moči, zbytek výkaly. Za rok mohou dojnice takto vyloučit až 140 kg dusíku, nosnice však jenom 1 kg (McGinn & Janzen 1996).

Organická hnojiva jsou bezpečným a ekologickým zdrojem živin, které obnovují úrodnost půdy, předchází potenciálním enviromentálním problémům způsobeným nadužíváním minerálních hnojiv. Také vytváří pozitivní zbytkový efekt pro další plodinu poskytnutím makro a mikro prvků v různých požadovaných kvantitách rostlinou. To platí pouze pokud je hnojivo aplikováno na pozemek správně (Nazli et al. 2016).

Jsou-li organická hnojiva správně používaná poskytují fyzikální i chemickou podporu pro rostliny. V Severní Itálii bylo díky využívání statkových hnojiv sníženo vyplavování dusičnanů v rozmezí od 20 do 50 %. V polních podmínkách dochází přibližně k 15% ztrátám organického hnojiva (Basso et al. 2016).

3.4.3 Chlévský hnůj

Aplikace chlévského hnoje je jedna z nejstarších a nejlevnějších způsobů zvyšování půdní úrodnosti. Mezi vědci panuje shoda, že hnůj je nejlepším zdrojem živin pro půdu, ze kterého může plodina tyto živiny čerpat (Onwubiko and Ehcercobia 2019).

Z agrotechnického hlediska je kukuřice pěstována jako okopanina, proto je jí doporučováno hnojit organickými hnojivy. Z těch se nejčastěji využívá chlévský hnůj. Na méně úrodných půdách s dostatkem humusu na něj kukuřice kladně reaguje. Suchý ročník účinnost chlévského hnoje snižuje. Při hnojení chlévským hnojem se využívá dávky 30 až 40 tun na hektar (Zimolka 2008).

Uzráním na hnojišti z chlévské mrvy vzniká chlévský hnůj. Chlévská mrva je složena ze směsi výkalů, podestýlky a zbytků krmiva. Množství a kvalita chlévské mrvy závisí na druhu zvířete a systému ustájení. Kvalita chlévského hnoje závisí na skladování a aplikaci tohoto hnojiva (Vaněk et al. 2016). Přejít mezi chlévskou mrvou a chlévským hnojem není náhlý (Neuberg 1995). Organické látky hnoje by neměly být rozloženy na hnojišti úplně. Tento přeměný proces by měl být zastaven ve fázi, kdy lehce rozložitelné látky jsou v určité rovnováze (chemicko-biologické) k jejich rozkladným produktům. Toho lze dosáhnout v závislosti na ročním období zhruba za 2–3 měsíce zrání mrvy. Správně vyztáhlý hnůj je tmavý a snadno rýpatelný v povrchové vrstvě hnědočerný, ve spodní nazelenalý. Při kontaktu se vzduchem rychle černá. Mírně páchne po amoniaku. Zbytky steliv jsou patrné a lze je snadno mechanicky oddělit (Richter a Římovský 1996). Metoda podestýlání rozhoduje o ztrátách dusíku. Pokud slámu nařezeme, bude její schopnost pojímání výkalu vyšší než u nenařezané slámy, a to až 100 kg výkalů na 100 kg slámy. Tato úprava slámy snižuje ztráty dusíku (o 30 až 50 %) a zlepšuje zrání na hnojišti. Zrání chlévské mrvy na hnojišti představuje procesy kvašení, hnití, při kterých se komponenty rozkládají a přeměňují na látky jiného kvalitativního složení (Neuberg 1995). Chlévský hnůj je dobrým zdrojem rostlinných živin a zlepšuje chemické, fyzikální a biologické vlastnosti půdy (Yolcun et al. 2010).

Pokud je chlévský hnůj aplikován na povrch a následně není zapraven, může se obsah močoviny přeměnit na amoniak a ten se poté odpaří do atmosféry (Sogbedjl et al. 2006).

Chlévský hnůj hraje důležitou roli i při ochraně rostlin proti škůdcům a chorobám. Je prokázáno, že přiměřená aplikace dávky hnoje zvyšuje schopnost rostlin odolat nenapadení hmyzím škůdcem. Zdravé rostliny jsou schopné také produkovat látky, které bojují proti útokům škůdců a mikroorganismů.

Problémem u chlévského hnoje je fakt, že obsah živin je nízký a velmi nestálý. O obsahu živin rozhoduje zdroj hnoje, způsob výroby a rychlost jeho rozkladu (Onwubiko and Ehcercobia 2019).

Obsah živin ve chlévském hnoji zobrazuje tabulka číslo 4.

Tabulka číslo 4: Obsah živin ve chlévském hnoji (Vaněk et al. 2016).

Druh	Obsah v čerstvém stavu (%)						
	Sušina	OI	N	P	K	Ca	Mg
Skot	24	17	0,48	0,11	0,52	0,37	0,08
Skot (hluboká podestýlka)	25	20	0,7	0,15	0,66	0,5	0,13

3.4.4 Kejda

Pozdější doba výsevu od 20. dubna až do 10. května předurčují kukuřici jako plodinu vhodnou pro aplikaci kejdy (Neuens & Reuhel 2005). Kukuřice pozitivně reaguje na hnojení kejdou, a to především kejdou prasat, skotu nebo digestátu z kejdy. Pozitivní je také možnost aplikace kejdy v létě na posklizňové zbytky nebo k meziplodinám (Zimolka 2008).

Organické hnojivo složené z pevných a tekutých výkalů zvířat bez podestýlky, které vzniká ve stájích, kde jsou zvířata ustájena na roštových podlahách se nazývá kejda. O její kvalitě rozhoduje především její zředěnost vodou. Nejvyšší kejda pochází z chovů drůbeže. Méně kvalitní kejdou produkuje skot a kejda prasat vykazuje podstatně nižší množství živin (Vaněk et al. 2016).

Aplikujeme-li kejdou na povrch půdy do meziřádků kukuřice vylepšíme tak vláhové a teplotní podmínky a částečně omezíme půdní erozi, a to z důvodu vytvoření souvislé vrstvy z organických zbytků nacházejících se v půdě (Novák a Vrzal 1995).

Kvalitně produkovaná kejda je dobrým zdrojem organických látek živin, bakterií a heteroauxinů. Tyto stimulační látky obecně zvyšují půdní úrodnost a působí příznivě na růst rostlin. V kejdě je dusík z 50–60 % obsažen v amoniakální formě. Dále je dusík tvořen z 10 % nitrátovou formou. Zbytek dusíku je uložen v organických pozvolně působících látkách. Před aplikací kejdy je nutné je důkladně promíchat. Při skladování se v jímkách a nádržích utváří na dně sediment z kejdy a na povrchu plovoucí koláč. Ten zabraňuje úniku amoniaku z kejdy (Zimolka 2008). Nannen et al. (2011) udává, že účinnost příjmu N z kejdy je ve srovnání s minerálními hnojivy nižší, a to hlavně kvůli organicky vázané frakci. Ta tvoří zhruba 45 % celkového obsahu dusíku a živiny, které obsahuje, jsou v roce aplikace pro rostliny málo přístupné.

Množství produkce a složení kejdy u jednotlivých druhů zvířat zobrazuje tabulka číslo 5. Tabulka číslo 6 zobrazuje dávku a dobu aplikace kejdy.

Tabulka číslo 5: Produkce a složení kejdy u jednotlivých druhů zvířat (Vaněk et al 2016).

Kejda	Roční produkce (t/DJ/rok)	Obsah v čerstvém stavu (%)						
		sušina	OL	N	P	K	Ca	Mg
Skotu	21	7,8	6	0,32	0,07	0,4	0,14	0,04
Prasat	19	6,8	5,3	0,5	0,13	0,19	0,24	0,04
Drůbeže	31	11,8	8,1	0,96	0,28	0,32	0,94	0,06

Tabulka číslo 6: Dávka a doba aplikace kejdy (Křen et al. 2015).

	Termín aplikace	Dávky v tunách na hektar		
		Skot	Prasata	Drůbež
Silážní kukuřice	na podzim	80 - 90	55 - 60	25 -30
Zrnová kukuřice	na jaře	70 - 80	50 - 55	20 - 25

3.4.5 Čistírenské kaly

Čistírenské kaly obsahují vysoký obsah organických látek a živin, především dusíku a fosforu. Jejich obsah je však značně ovlivněn původem a ošetřením kalů. Toto hnojivo běžně obsahuje 70 % vody. Kaly do půdy dodávají vysoké množství poměrně dobře a rychle rozložitelných organických látek. Z části mohou nahradit funkci klasických statkových hnojiv, avšak obsahují nižší množství draslíku. U kalů je nutné sledovat obsah rizikových prvků a ke hnojení používat jen kaly s vyhovujícím složením (Vaněk et al. 2016).

Zpracování čistírenských kalů včetně separace se stává v Evropě stále více populární. Složení kalů můžeme rozdělit na pevnou a kapalnou fázi. Pevná fáze má obvykle relativně nízký obsah minerálního dusíku a nevyvážený poměr dusíku a fosforu. Tato fáze má však výhodu v nízkém obsahu vody, a tak nižší hmotnosti. Kapalná fáze je přesný opak pevné fáze. Vysoký obsah minerálního dusíku dobře vyrovnává poměr k fosforu (Schröder et al. 2014).

3.5 Minerální (průmyslová) hnojiva

Minerální hnojiva jsou většinou produktem chemického průmyslu. Na rozdíl od statkových hnojiv se vyznačují vyšší koncentrací živin. Minerální hnojiva obsahují jednu nebo více živin. Průmyslová hnojiva jsou vyráběna z přírodních surovin. Dusík je získáván přímou syntézou amoniaku z dusíku a vodíku (Vaněk et al. 2016).

Při aplikaci minerálních hnojiv je nápomocná půdní organická hmota. Ta prostřednictvím huminových látek eliminuje nepříznivé účinky minerálních hnojiv, zlepšuje půdní úrodnost, zvyšuje výměnou půdní kapacitu a dostupnost prvků živin (Nazli et al 2016). Pouze asi 50 % minerálního hnojiva, aplikovaného na pole, je využito rostlinou (Schröder et al. 1998). Minerální hnojiva mají oproti statkovým hnojivům výhodu v dostupnosti a snadnosti transportu. Statková hnojiva jsou totiž vyráběna v určitém místě a jejich převoz je obtížný (Schröder et al 2014).

Rostlinná výroba je absolutně závislá na využívání minerálních hnojiv. Z půdy je každoročně využito kořeny a odplaveno srážkovou vodou takové množství živin, které by

nebylo možné do půdy navrátit statkovými hnojivy. Využívání minerálních hnojiv je podstatnou náležitostí pro provádění intenzivní zemědělské výroby. Minerální hnojiva zabráňují poklesu živin v půdě, zvyšují jejich obsah a vytvářejí možnosti pro trvalé zvyšování výnosu (Taufertová et al. 2014).

3.5.1 Síran amonný

V síranu amonném s chemickou značkou $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ je obsažen dusík ve čpavkové formě. Po jeho aplikaci se v půdní vodě poměrně rychle rozpouští. Jeho pohyblivost a možnost vyplavení v humidnějších podmínkách je značně omezena, protože velká část NH_4 iontů je sorbována výměnou sorpcí na půdní koloidy. Síran amonný je využíván pro základní hnojení, a to z důvodu pomalejší nitrifikace. Toto hnojivo má výrazně okyselující charakter. Z hlediska pozvolnějšího působení dusíku je vhodný pro aplikaci k plodinám s delší vegetační dobou, jako je kukuřice nebo brambory (Vaněk et al. 2016).

3.5.2 DAM 390

Vodní roztok dusičnanu amonného a močoviny nazýváme DAM 390. Toto hnojivo obsahuje 30 % hmotnostního a 39 % objemového dusíku. Polovina dusíku je ve formě amidického, čtvrtina v nitrátové a poslední čtvrtina v amonné formě. DAM 390 má silně korozivní účinky na barevné kovy a slabou agresivitou působí na běžnou uhlíkovou ocel. DAM 390 se účinností vyrovná ostatním hnojivům a rovnoměrností aplikace je dokonce předčí. Lze ho také kombinovat s většinou pesticidů. K jařinám je vhodné využít DAM 390 k základnímu hnojení. Zavlačíme-li DAM 390 po aplikaci zvýšíme jeho účinnost hnojení. Toto hnojivo však není vhodné k přihnojování kukuřice na list (Vaněk et al. 2016).

3.5.3 Trojitý superfosfát

Vzniká z fosfátu rozkládáním kyselinou fosforečnou. Trojitý superfosfát obsahuje 20 až 21 % fosforu. Skoro všechen obsažený fosfor je vodorozpustný. Tento druh fosfátu není zdrojem síry, protože neobsahuje síran vápenatý (Vaněk et al. 2016).

3.5.4 Kieserit

Je prodáván v krystalické nebo granulované formě. Jedná se o síran hořečnatý s příměsí chloridu draselného. V tomto hnojivu je obsaženo 15 % hořčíku, 21 % síry a 3 % chloru. Kieserit můžeme použít k základnímu hnojení, ale také k přihnojování během vegetace. Pokud budeme toto hnojivo aplikovat na lehkých půdách k jařinám, provedeme tuto aplikaci až při předset'ové přípravě (Vaněk et al. 2016)

4 Metodika

4.1 Charakteristika pokusu

Experimentální části této bakalářské práce byly zpracovány za využití výsledků pokusu provedeného katedrou agroenvironmentální chemie a výživy rostlin Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů na stanovišti Červený Újezd. V roce 1990 započal polní pokus s opakovaným pěstováním silážní kukuřice, tedy jejího pěstování v časové monokultuře a v roce 1996 byl ustálen systém hnojení. Pro tuto práci byly využity výsledky z roku 2019.

Pro pokus bylo využito šesti odlišných postupů hnojení, přičemž jedna varianta byla určena jako kontrolní. Tedy bez aplikace jakýchkoliv hnojiv. Tyto varianty hnojení se opakovaly pravidelně každý rok ve stejné podobě. Každý ze šesti postupů hnojení byl čtyřikrát opakován, a to na pozemcích o rozměrech 20 x 8,5 m. Tedy na ploše 170 m².

Za agronomický rok bylo na všechny varianty mimo kontrolních ploch aplikováno celkem 120 kg N.ha⁻¹. K pokusu byly využity dvě pouze organické formy hnojiv, a to chlévských hnůj a kejda. Dále byly aplikovány dvě minerální formy hnojiv síran amonný a DAM 390. Zbylé plochy byly hnojeny kombinací statkových a minerálních hnojiv v podobě pšeničné slámy a DAMu 390.

Organická hnojiva byla na pozemek aplikována na podzim a následně poté byla zapravena orbou. Chlévský hnůj byl aplikován dle obsahu dusíku tak, aby celková dávka N hnojení tvořila 120 kg N.ha⁻¹. Na pozemek bylo průměrně rozhozeno 21,7 t.ha⁻¹ chlévského hnoje. Kejda byla také aplikována v množství, které odpovídalo dávce 120 kg N.ha⁻¹ aplikátorem na široko nebo hadicovým aplikátorem. Minerální hnojiva byla aplikována ručně zhruba týden před setím a zapravena předsetřovou přípravou.

Část pozemků, která nebyla hnojena sloužila ke sledování výnosů rostlin a porovnání účinnosti jednotlivých druhů hnojiv. V dlouhodobém hledisku slouží k hodnocení půdních vlastností a reakcí. V tabulce číslo 7 jsou zobrazeny jednotlivé varianty hnojení pokusu silážní kukuřice.

Tabulka číslo 7: Varianty pokusu hnojení silážní kukuřice a množství dodaných živin.

Číslo varianty	Druh hnojiva	Označní varianty v textu	Roční množství živin dodané hnojením Kg.ha ⁻¹				
			N	P	K	Mg	S
1	Bez hnojení	Kontrola					
2	SA	Síran amonný	120				137
3	DAM 390	DAM 390	120				
4	DAM 390 + Sl	DAM se slámou	120	1)	1)	1)	1)
5	Chlévský hnůj	Hnůj	120	1)	1)	1)	1)
6	Kejda	Kejda	120	1)	1)	1)	1)

1) Dle obsahu živin v organickém hnojivu

4.1.1 Odrůda silážní kukuřice RGT Sixxtus

Raná odrůda kukuřice RGT Sixxtus s kombinovaným využitím pro zrna, siláž a bioplyn. FAO číslo této odrůdy je 270. Tento dvouliniový hybrid byl registrován v roce 2011. Odrůdu je doporučeno pěstovat v obilnářských, řepařských a kukuřičných výrobních oblastech. Optimální hustota porostu při sklizni by měla být od 80 do 90 tisíc rostlin na jeden hektar.

4.1.2 Charakteristika pokusného stanoviště

Polní pokus by prováděn na pozemcích výzkumné stanice ČZU Červený Újezd. Ta se nachází v okrese Praha – západ na souřadnicích 50°4'22"N, 14°10'19"E. Nadmořská výška stanoviště se pohybuje okolo 410 m. n. m. Průměrná roční teplota zde dosahuje 7,7 °C. Průměrně na stanoviště spadne 493 mm srážek. Půdy stanoviště jsou hlinité a půdní typ je luvizem. Půdní pH se pohybuje okolo hodnoty 6,13. Během pokusu nebyly pozemky vápněny. V tabulce číslo 8 je zobrazeno množství živin obsažených v půdě.

Tabulka číslo 8: Obsah prvků v půdě ve výluhu Mehlich 3 na pokusném stanovišti Červený Újezd.

Prvek	K	P	Mg	Ca
Obsah prvku v půdě (mg.kg ⁻¹)	164	173	153	1979

4.1.3 Sběr vzorků

U každé varianty a jejich čtyř opakování byl sklizen dvojřádek o ploše 27 m². Termín sklizně byl závislý na dosažení mléčně-voskové zralosti silážní kukuřice. Sklizeň probíhala dne 5. 9. 2019. Sklizená nadzemní biomasa byla bezprostředně po posečení zvážena. Dle tohoto měření byl následně vypočten celkový výnos čerstvé hmoty v t.ha⁻¹. Pomocí rezačky byla ze sklizené hmoty vytvořena řezanka, která byla analyzována v laboratoři.

4.2 Laboratorní analýza vzorků

Vzorky odebrané z každé varianty a každého opakování byly zváženy před sušením v laboratorních sušárnách a poté i v suchém stavu. Z výsledných hodnot byl následně vypočten výnos sušiny. Dále byly vzorky pomocí střížného mlýnku rozemlety přes síto s otvory o velikosti čtyř milimetrů a následně domlety na menším laboratorním mlýnku s velikostí ok jednoho milimetru. Takto upravená hmota byla následně vhodná pro laboratorní analýzu.

4.2.1 Stanovení obsahu dusíku v hmotě silážní kukuřice

V laboratorních podmínkách byl pomocí Kjeldahlovy metody stanoven obsah dusíku ve hmotě silážní kukuřice. Tato analytická metoda se skládá ze tří na sebe navazujících postupů, kterými jsou mineralizace, destilace a titrace. Pro krok mineralizace bylo nutné vytvořit směs smícháním 0,5 g vzorku, 1,7 g katalyzátoru a 10ml 96% H₂SO₄. Katalyzátor byl vytvořen smísením 1 g CuSO₄.5H₂O, 100g K₂SO₄ a 0,1g selenu. Katalyzátor byl přidán za účelem dosažení dostatečné mineralizace. Takto připravená směs je zahřívána. Organická dusíkatá látka byla ve vroucí kyselině sírové mineralizována na amoniak. Amoniak vstupoval do chemické reakce s kyselinou sírovou za vzniku síranu amonného. Po mineralizaci byl vzorek přesunut do stroje s obchodním označením Vapodest 50s. V něm probíhaly dva poslední kroky, a to destilace a titrace. Amoniak byl v přístroji uvolněn alkalizací a jímán v roztoku kyseliny borité. Odměrnou neutralizační titrací byl následně stanoven obsah dusíku.

4.2.2 Odběr dusíku rostlinami

Výpočet odběru dusíku rostlinami byl proveden na základě výsledků obsahu dusíku a výnosu sušiny. Výsledky obsahu N (%) byly přepočteny na obsah dusíku v kilogramech v 1 tuně a následně byl výsledek vynásoben výnosem sušiny v (t.ha⁻¹).

4.2.3 Statistické vyhodnocení

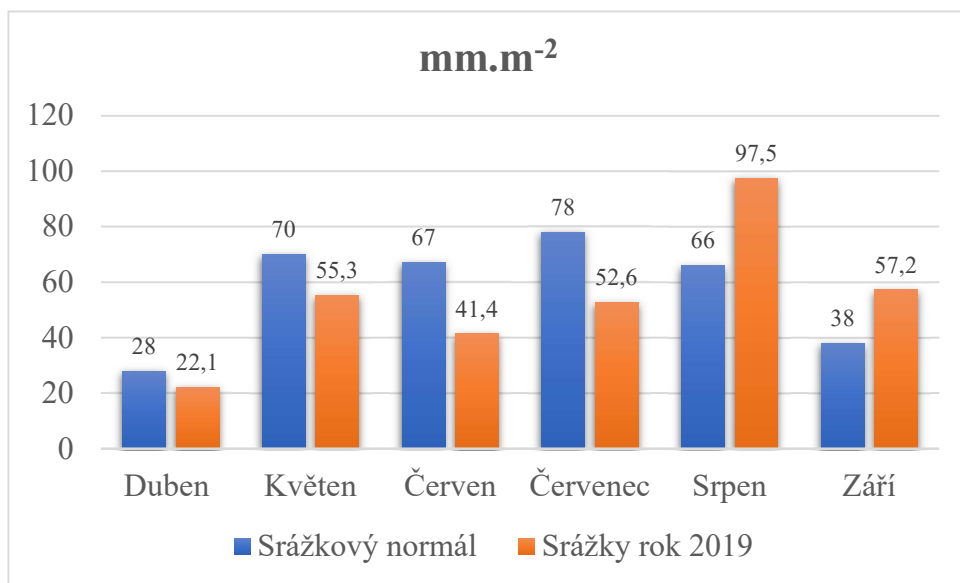
Pro statistické vyhodnocení byl využit program Statistica 12. Kde byla využita jednofaktorová ANOVA. Podrobněji byly hodnoty zpracovány pomocí Scheffého metody s intervalem 95% spolehlivosti.

4.3 Úhrn srážek a průměrná měsíční teplota

Hodnoty úhrnu srážek a průměrné měsíční teploty byly zpracovány z dat Výzkumné stanice Červený Újezd. Využity byly data pouze za období vegetace v roce 2019.

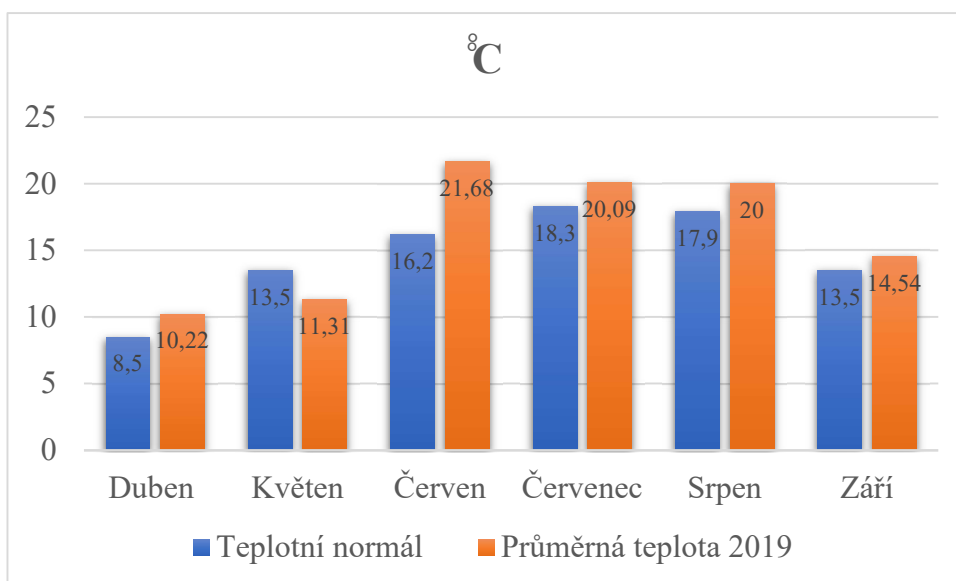
Srážky na stanovišti byly skoro po celou dobu vegetace podprůměrné až ke konci vegetace nadprůměrné. Měsíc před setím a v měsíci setí napršelo pouze 79 % srážkového normálu. Další dva měsíce spadlo ještě méně srážek, a to v červnu 62 % a v červenci 67 % srážkového normálu. Oproti tomu v posledních měsících vegetace, v srpnu 148 % a v září 151 %, byly srážky nadprůměrné. Graf číslo 1 zobrazuje měsíční souhrn srážek během vegetace v porovnání se srážkovým normálem.

Graf číslo 1: Srážky na stanovišti Červený Újezd v roce 2019.



Průměrné měsíční teploty byly oproti srážkám mimo měsíce května nadprůměrné. V měsíci červnu dosahovaly teploty mimořádně nadnormálních hodnot a v měsících červenec a srpen byly teploty silně nadnormální. V ostatních měsících teplota mírně kolísala od průměru. V grafu číslo 2 jsou zobrazeny průměrné měsíční teploty na stanovišti v porovnání s teplotním normálem.

Graf číslo 2: Průměrné měsíční teploty na stanovišti Červený Újezd v roce 2019.



5 Výsledky

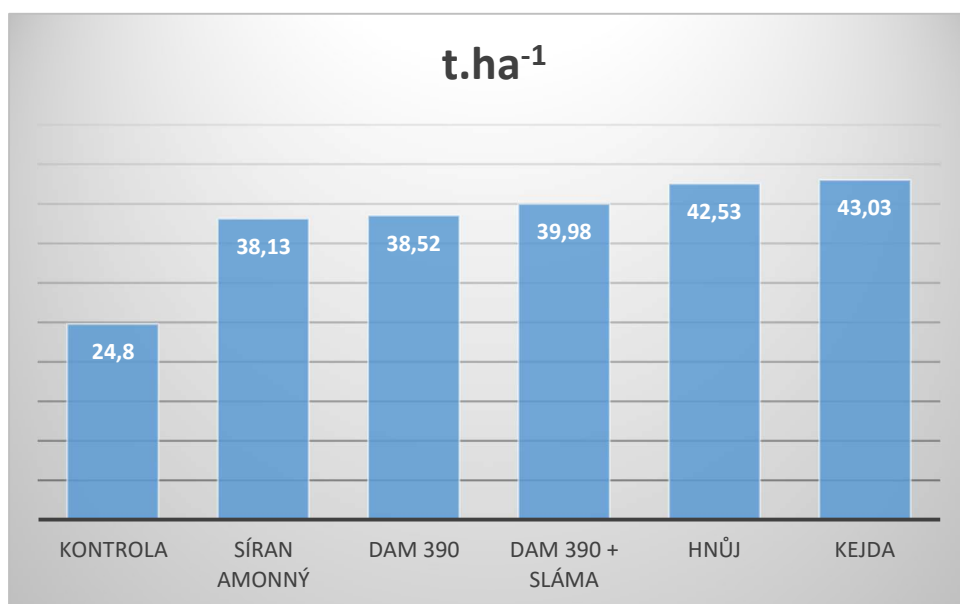
Výsledky využívané v této bakalářské práci pochází z polního pokusu provedeného katedrou agroenvironmentální chemie a výživy rostlin Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů na stanovišti Červený Újezd. Zde uvedené hodnoty zastupují pokusný rok 2019.

5.1 Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice

Zde udávané hodnoty byly zjišťovány vážením bezprostředně po sklizni. Vážena byla sklizeň z části pozemku a následně byl výsledek přepočítán pro vyjádření v $t \cdot ha^{-1}$. Ze čtyř opakování každé varianty hnojení byly vypočteny průměrné hodnoty, se kterými je dále pracováno.

Nejméně čerstvé hmoty bylo sklizeno na kontrolních pozemcích bez aplikace hnojiv, a to $24,8 t \cdot ha^{-1}$. Pozemky hnojené organickými hnojivy dosahovaly nejvyšších výnosů a přesáhly hranici 40 tun hektarového výnosu. Z pozemků hnojených hnojem bylo sklizeno $42,53 t \cdot ha^{-1}$ a nejvyššího výnosu dosahovala kukuřice ve variantě hnojené kejdou $43,03 t \cdot ha^{-1}$. Veškerá pěstovaná kukuřice, u které bylo aplikováno minerální hnojivo, dosahovala nižšího výnosu než rostliny hnojené organickým hnojivem. Z pozemku hnojeného síranem amonným bylo sklizeno $38,13 t \cdot ha^{-1}$ a rostliny po aplikaci DAM 390 dosahovaly vyššího výnosu, a to $38,52 t \cdot ha^{-1}$. Kombinací minerálního hnojiva a organického hnojiva v případě pozemků hnojených kombinací DAM 390 s přídavkem slámy bylo dosaženo vyššího výnosu než u aplikace samotného DAM 390, a to $39,98 t \cdot ha^{-1}$. Přídavek slámy tedy napomohl ke zvýšení výnosu o $1,5 t \cdot ha^{-1}$. Porovnáním sklizené hmoty z pozemků varianty kontroly a variant hnojených organickými a minerálními hnojivy bylo zjištěno, že minerální hnojiva v průměru zvýšily výnos o zhruba $13,5 t \cdot ha^{-1}$ a statková hnojiva o $18 t \cdot ha^{-1}$. V grafu číslo 3 je zobrazen výnos čerstvé hmoty u jednotlivých variant hnojení.

Graf číslo 3: Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice.

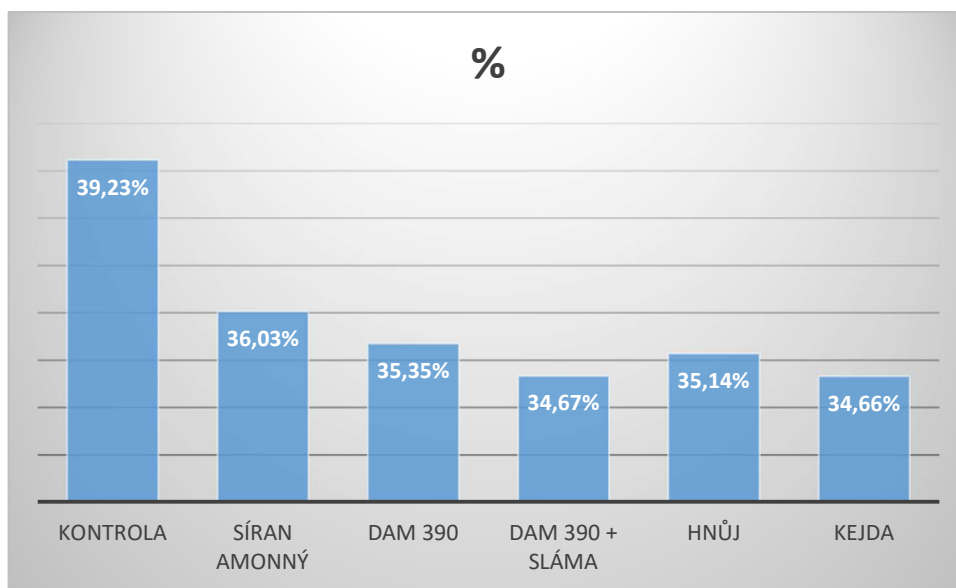


5.2 Obsah sušiny v nadzemní biomase silážní kukuřice

Hodnoty výnosu sušiny byly zjišťovány v laboratorních podmínkách ze vzorků odebraných z pokusných ploch po usušení v laboratorních sušičkách. Jako u výnosů čerstvé hmoty je zde pracováno s průměrnou hodnotou ze čtyř opakování od každé varianty hnojení.

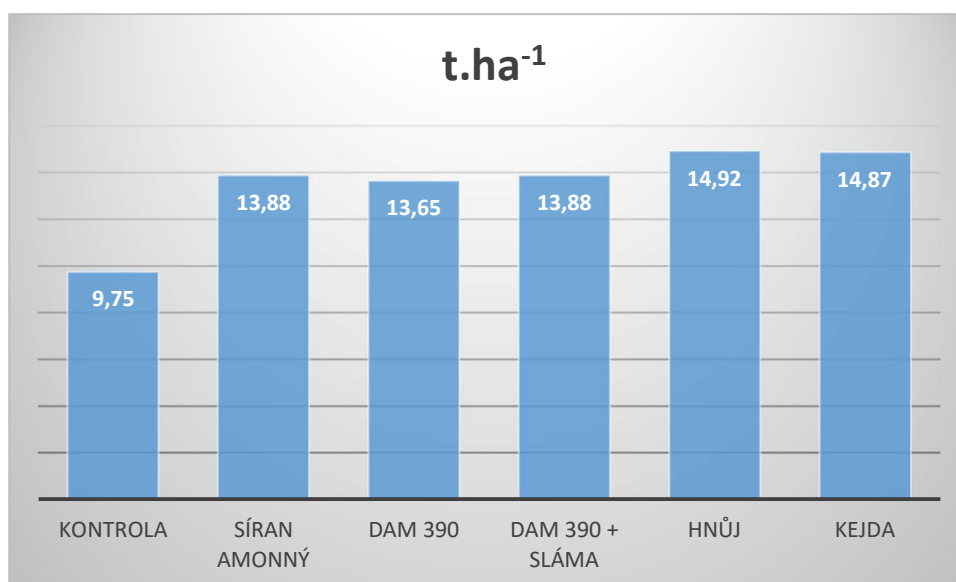
Nejvyššího procentuálního obsahu sušiny dosahovala s hodnotou 39,23 % kukuřice u varianty kontrola bez aplikace hnojiv. Druhého nejvyššího procentuálního obsahu sušiny 36,03 % dosáhly rostliny hnojené síranem amonným. Kukuřice hnojená hnojivem DAM 390 dosahovala o něco nižšího výsledku, a to 35,35 % sušiny. Výsledky z ploch hnojených organickými hnojivy dosahovaly nižších hodnot než z ploch hnojených minerálními hnojivy. Sušina silážní kukuřice ve variantě hnojené chlěvským hnojem dosahovala hodnoty 35,14 %. Nižšího zastoupení sušiny a zároveň nejnižšího výsledku ze všech hnojiv vykazovala kukuřice hnojená kejdou 34,66 %. Srovnatelného výsledku, avšak o jednu desetinu procenta výše, dosáhly rostliny hnojené hnojivem DAM 390 společně se slámou, a to 34,67 %. Kukuřice hnojená hnojivem DAM 390 bez slámy tak obsahovala vyšší zastoupení sušiny o 1,63 % než u varianty DAM 390 se slámou. V grafu číslo 4 je zobrazený procentuální výnos sušiny silážní kukuřice u jednotlivých variant hnojení.

Graf číslo 4: Výnos sušiny silážní kukuřice v procentech.



Porovnáme-li výnosy sušiny v $t \cdot ha^{-1}$, zjistíme, že i přes nejvyšší procentuální obsah sušiny u varianty kontrola dosahovala kukuřice kvůli nízkému výnosu čerstvé hmoty nejnížší výnos tun sušiny na hektar, a to $9,75 t \cdot ha^{-1}$. Rostliny hnojené organickými hnojivy dosahovaly vyššího výnosu a vyššího procentuálního podílu sušiny než varianty s aplikací minerálních hnojiv, proto také dosahovaly vyššího výnosu sušiny v tunách. Kukuřice hnojené hnojem vytvořila výnos sušiny $14,92 t \cdot ha^{-1}$ a kejdou $14,87 t \cdot ha^{-1}$. Z pozemků hnojených minerálními hnojivy bylo sklizeno o více než tunu sušiny méně, a to i přes vyšší procentuální podíl sušiny, avšak nižšímu výnosu čerstvé hmoty. Varianta síran amonný dosáhla výnosu $13,88 t \cdot ha^{-1}$ a plochy hnojené hnojivem DAM 390 $13,65 t \cdot ha^{-1}$. Přídavek slámy ke hnojivu DAM 390 napomohl zvýšit výnos čerstvé hmoty, a tak nepatrně zvýšit hmotnostní výnos sušiny oproti variantě samotné aplikace DAM 390. Ve grafu číslo 5 je zobrazen výnos sušiny silážní kukuřice u jednotlivých variant.

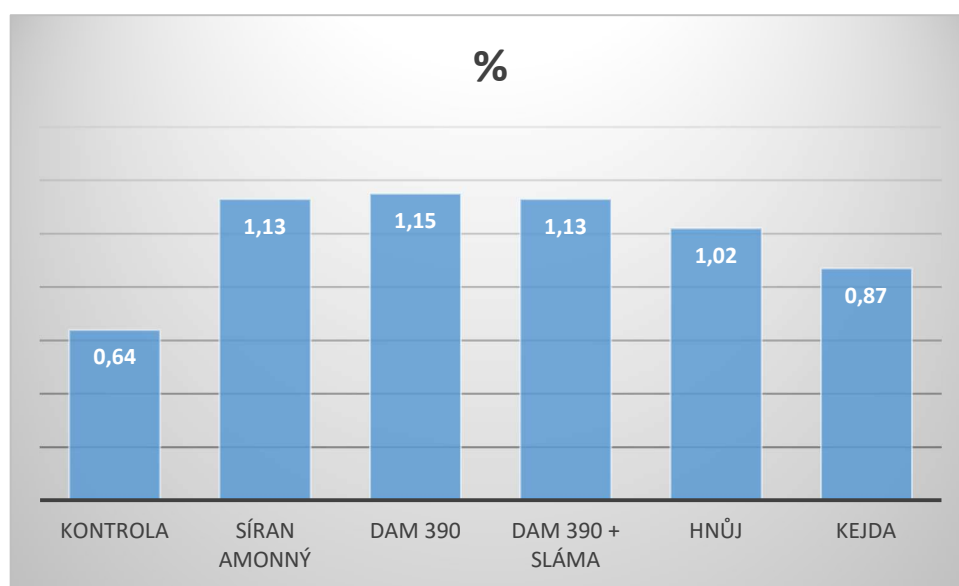
Graf číslo 5: Výnos sušiny silážní kukuřice v $t \cdot ha^{-1}$.



5.3 Obsah dusíku v sušině silážní kukuřice

Nejnižší obsah dusíku byl zaznamenán u silážní kukuřice sklizené z ploch kontrola, a to 0,64 % N. Kukuřice hnojená organickými hnojivy dosahovala nižšího obsahu dusíku než rostliny hnojené minerálními hnojivy. Nejnižšího výsledku u hnojených rostlin dosahovala kukuřice hnojená kejdou. Ta jediná nepřekročila hranici jednoho procenta s výslednou hodnotou 0,87 %. Varianta hnůj, s výsledkem 1,02 %, hranici jednoho procenta, překročila, ale kukuřice hnojená minerálními hnojivy dosahovala o desetinu procenta vyšších výsledků. Rostliny hnojené síranem amonným obsahovaly 1,13 % N. Nadzemní biomasa po aplikaci hnojiva DAM 390 dosahovala vyššího procentuálního zastoupení N o 1,15 % než rostliny hnojené síranem amonným. Přídavek slámy ke hnojivu DAM 390 nepatrně snížil procentuální zastoupení dusíku v kukuřici o dvě setiny procenta. Graf číslo 6 zobrazuje obsah N v sušině silážní kukuřice.

Graf číslo 6: Procentuální obsah dusíku v sušině silážní kukuřice.

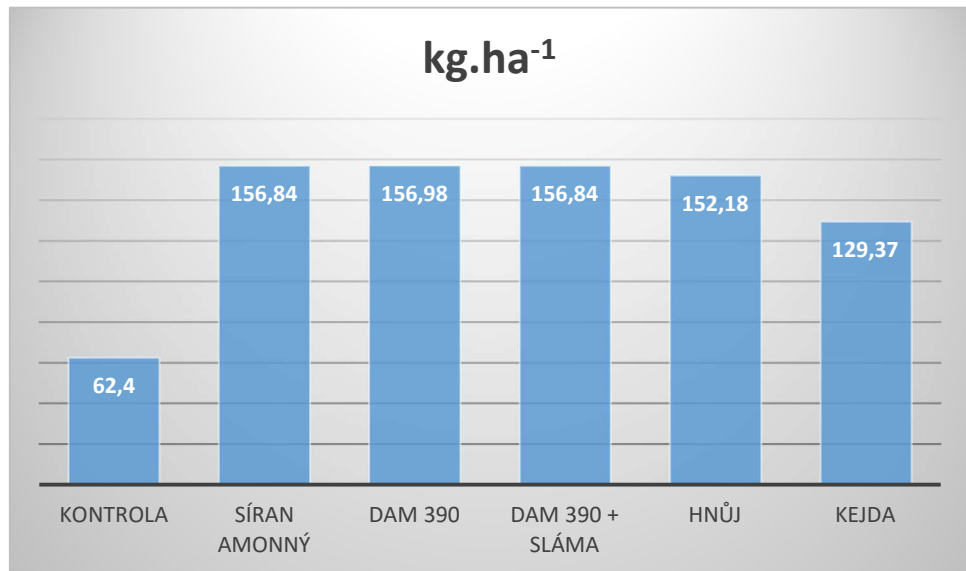


5.4 Odběr dusíku silážní kukuřicí

Nejnižší odběr dusíku byl zaznamenán na kontrolní variantě, kde z půdy, na které nebylo aplikované hnojivo, silážní kukuřice odebrala 62,4 kg.ha⁻¹. Vyššího odběru dosahovaly varianty s minerálním hnojením, proti organicky hnojeným plochám. Nejnižšího výsledku u hnojených variant dosáhla kukuřice hnojená kejdou s odběrem 129,37 kg.ha⁻¹. U odběru dusíku na hnojem hnojených plochách již nebyl zaznamenán tak velký rozdíl, jako u minerálně hnojených variantách. S hodnotou 152,18 kg.ha⁻¹ byl odběr N nižší jen zhruba o 5 kg.ha⁻¹. Rozdíl odběru N z půdy mezi variantami hnůj a kejda tak tvořil 22,81 kg.ha⁻¹ ve

prospěch chlévského hnoje. Plochy hnojené minerálním hnojivem síranem amonným vykazovaly hodnotu odběru 156,84 kg.ha⁻¹. Nejvyššího odběru dosáhla varianta hnojená hnojivem DAM 390 a to 156,98 kg.ha⁻¹. U ploch s kombinovaným hnojením DAM 390, a slámy byl odběr oproti variantě pouze DAM 390 jen o 0,14 kg.ha⁻¹ nižší. V grafu číslo 7 je zobrazen odběr N silážní kukuřicí.

Graf číslo 7: Odběr dusíku silážní kukuřice v kg.ha⁻¹.



neobsahují pouze dusík, ale i jiné prvky. Vaněk et al. (2016) uvádějí, že chlévský hnůj v čerstvém stavu průměrně obsahuje 0,48% N, 0,11 % P a 0,52 % K. Při dávce, která odpovídá aplikaci 120 kg.ha⁻¹ je do půdy aplikováno 25 t.ha⁻¹ chlévského hnoje. Souběžně s dusíkem je tak do půdy zapraveno 27,5 kg.ha⁻¹ fosforu a 130 kg.ha⁻¹ draslíku. Obdobná situace nastává i při hnojení kejdou. Pokud aplikujeme kejdu prasat s průměrným zastoupením 0,5 % N, 0,13 % P a 0,19 % K, dodáme v dávce 25 t.ha⁻¹ nejenom 120 kg.ha⁻¹, ale také 31,2 kg.ha⁻¹ fosforu a 45,6 kg.ha⁻¹ draslíku. Jena et al. (2015) ve své práci řešili důležitost fosforu pro růst a fotosyntézu. Uvádějí, že fosfor se účastní metabolických procesů a je nezbytný pro dosažení optimálního výnosu. Onasanya et al. (2009) přirovnávají živinu fosfor k dusíku, kdy při jejich nedostatku dochází ke sníženému výnosu silážní kukuřice. Snížený výnos při nedostatku fosforu a draslíku v půdě může dle Nováka a Vrzala (1995) způsobovat vyšší náchylnost rostlin na chlad, choroby a polehání.

6.2 Obsah dusíku v sušině silážní kukuřice

Výsledky polního pokusu se shodují s tvrzením Elteli et al. (2006), kteří udávají, že mnoho vědců zastává stejný názor, podle kterého aplikace dusíkatých hnojiv zvyšuje obsah dusíku v rostlinách. Ve výsledcích z polního pokusu na stanovišti Červený Újezd je patrný nižší obsah dusíku v sušině varianty kontrola, kde nebylo aplikované žádné hnojivo.

Druhý nejnižší obsah N v sušině zaznamenaly plochy hnojené kejdou. Dle Nannen et al. (2011) lze tento nízký obsah vysvětlit nižší účinností příjmu N silážní kukuřicí oproti minerálním hnojivům. To vysvětluje tím, že dusík je v kejdě vázaný v organické frakci zhruba ze 45 %, a tak jsou živiny v době aplikace pro rostliny málo přístupné.

Nejvyššího obsahu N v sušině silážní kukuřice dosahovaly plochy hnojené hnojivem DAM 390. Vaněk et al. (2016) udávají, že hnojivo DAM 390 obsahuje jednu čtvrtinu dusíku v nitrátové formě. Baier et al. (1988) zase udávají, že hnojení silážní kukuřice nitrátovým hnojivem může vést k vyššímu příjmu dusíku rostlinou. Tak lze vysvětlit, že tato forma hnojení dosáhla nejvyššího procentuálního zastoupení v sušině silážní kukuřice. Balík et al. (2012) dodávají, že významným ukazatelem hodnocení kvality pěstované plodiny je obsah dusíku v rostlinách. Míra obsahu dusíku není závislá jen na výběru strategie hnojení, ale je také ovlivňována vlivem ročníku.

Baier et al. (1988) udávají, že sušina silážní kukuřice ve fázi mléčně voskové zralosti obsahuje 1,52 %, ale i nejvyšší obsah dusíku dosažený v pokusu z Červeného Újezdu, byl pouze 1,15 %. Tento rozdíl lze vysvětlit dle názoru Balík et al. (2012), kteří udávají, že odlišná hnojiva a podmínky prostředí mohou mít vliv na odlišnost výsledku pěstování rostlin.

6.3 Odběr dusíku rostlinou silážní kukuřice

I přes to, že u varianty kontrola nebylo aplikováno žádné hnojivo, dosáhla zde silážní kukuřice odběru 62,4 kg.ha⁻¹. Dusík, který byl využit rostlinou pro růst se do půdy dostal poutáním mikroorganismů, rostlinnými zbytky a ve formě spadů. Také mohlo dojít k uvolnění dusíku v půdě z nepřístupných forem procesem mineralizace do forem pro rostliny

přístupných. To potvrzují ve své práci i Vaněk et al (2016). Balík et al. (2012) uvádějí, že průměrné spady dusíku se srážkami jsou $22 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Volně žijící organismy pak do půdy mohou fixovat průměrně $5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Varianta kontrola sice dosáhla odběru dusíku, ale tento odběr byl v porovnání s ostatními hnojenými plochami velmi nízký. Tento výsledek opět potvrzuje tvrzení Eltelib et al. (2006), kteří udávají, že aplikace dusíkatých hnojiv zvyšuje příjem dusíku silážní kukuřicí.

Nevens & Reheul (2005) ve své práci považují odběr dusíku silážní kukuřicí z půdy jako malý. Udávají, že kukuřice během růstu od zasetí do sklizně odebere z půdy pouze $225 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Tato hodnota se neshoduje s výsledky zpracovávaného pokusu, kde nejvyššího odběru dosáhla varianta hnojená síranem amoným a DAM 390 se shodným výsledkem $156,84 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Dle Vaněk et al. (2016) kukuřice na jednu tunu výnosu odebere z půdy $3,5 - 4 \text{ kg N}$. Pokud tedy varianta hnojená síranem amoným dosáhla výnosu čerstvé hmoty $38,13 \text{ t}$ odebrala by z půdy $152,52 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. U ploch hnojený DAM 390 s výnosem $38,52 \text{ t}$ by silážní kukuřice odebrala z půdy $154,08 \text{ kg N}\cdot\text{ha}^{-1}$. Odběr 4 kg N na tvorbu jedné tuny výnosu čerstvé hmoty tedy skoro odpovídá výsledkům dosažených ve zpracovávaném pokusu.

7 Závěr

Z předchozího textu je patrné, že správně zvolený postup hnojení silážní kukuřice je nepostradatelnou součástí pro její udržitelné a výnosné pěstování. Pozitivní působení hnojení pro výnos a jeho kvalitu je dnes již nevyvratitelnou pravdou. Nejedná se však jen o čistě dusíkatá hnojiva, ale o kombinaci živin dusíku, fosforu i draslíku. Plochy kukuřice hnojené nejen dusíkem, ale i ostatními prvky, totiž nepopíratelně dosahují vyššího výnosu než pozemky hnojené pouze dusíkatým hnojivem. Výnos čerstvé hmoty kukuřice je však také značně ovlivněn průběhem počasí daného roku. Období sucha může tento ukazatel dramaticky snížit.

Nehnojené pozemky silážní kukuřice vykazovaly nejvyšší procentuální zastoupení sušiny. Výnos sušiny v tunách byl však u těchto ploch malý z důvodu nízkého výnosu čerstvé hmoty. Nejvyššího výnosu sušiny v tunách dosahovala kukuřice hnojená organickým hnojivem, a to z důvodu vysokého výnosu čerstvé hmoty.

Kukuřice hnojená minerálním hnojivem dosahovala nejvyššího procentuálního obsahu dusíku v nadzemní biomase. Nejnižšího procentuálního obsahu N v sušině silážní kukuřice vykazovaly rostliny na nehnojených plochách. Veškeré pokusné plochy hnojené organickým hnojivem dosahovaly nižšího odběru dusíku a procentuálního obsahu dusíku v sušině než u kukuřice hnojené minerálním hnojivem.

Dle výsledků je také patrné, že různé druhy hnojiv mohou mít i přes stejné množství dodaného N odlišné účinky na růst rostlin a odběr dusíku silážní kukuřice.

7.1 Hypotézy

Následující hypotézy byly ověřeny výsledky z polního pokusu katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin pro rok 2019.

1.) Nehnojený porost monokultury kukuřice dosahuje nižšího výnosu sušiny a horších kvalitativních parametrů než porosty kukuřice hnojené organickými či minerálními hnojivy.

U kontrolních ploch bez aplikace hnojiv byly zaznamenány nejnižší hodnoty výnosu, ale i obsahu dusíku v sušině kukuřice. Tato hypotéza tak byla potvrzena.

2.) Kukuřice hnojená na jaře minerálním hnojivem DAM 390 dosáhne při sklizni vyššího výnosu sušiny než kukuřice hnojená hnojem na podzim.

Rostliny silážní kukuřice hnojené hnojivem DAM 390 dosahovaly v pokusu sice vyšší procentuální sušiny 35,35 % oproti 35,14 % N v kukuřici hnojené hnojem, avšak v přepočtu na tunový výnos z hektaru rostliny po aplikaci DAM 390 dosahovaly nižších hodnot než kukuřice hnojená chlěvským hnojem. Plochy hnojené DAM 390 vytvořily výnos 13,65 t.ha⁻¹ sušiny, ale plochy po aplikaci chlěvského hnoje dosahovaly výnosu 14,92 t.ha⁻¹.

Hypotéza tak nebyla potvrzena.

3.) Kukuřice přijme více dusíku z minerálních hnojiv než ze stejného množství aplikovaného dusíku v organickém hnojivu.

Veškeré plochy kukuřice hnojené pouze minerálním hnojivem dosahovaly vyššího příjmu dusíku než plochy hnojené stejnou dávkou dusíku ve formě organických hnojiv. Hypotéza tak byla potvrzena.

4.) Kukuřice hnojená pouze dusíkatým hnojivem dosahuje nižšího výnosu a horších kvalitativních parametrů než kukuřice hnojená dusíkem, draslíkem a fosforem.

Plochy silážní kukuřice hnojené pouze dusíkatým hnojivem dosahovaly sice nižšího výnosu, ale zároveň vyššího příjmu dusíku, a tak i vyšší kvality. Tato hypotéza byla tedy vyvrácena.

5.) Přídavek slámy k hnojivu DAM 390 napomůže vyššímu výnosu čerstvé hmoty oproti hnojení samotným DAMem 390.

Na plochách s aplikací hnojiva DAM 390 v kombinaci se slámou byl skoro o půl tuny vyšší výnos než u ploch hnojených pouze DAMem 390. Tato hypotéza tak byla potvrzena.

8 Literatura

- ABUZAR, M. R., G. U. SADOZAI, M. S. BALOCH, A. A. BALOCH, I. H. SHAH, T. JAVAID a N. HUSSAIN. Effect of Plant Population Densities on Yield of Maize. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 2011, **21**(4), 692-695.
- ADAMS, C. R., K. M. BAMFORD a M. P. EARLY. *Principles of horticulture*. 4. Oxford: Elsevier, 2004.
- AMUDALAT, Bolanle Olaniyan. Maize: Panacea for hunger in Nigeria. *African Journal of Plant Science*. 2015, **9**(3), 155-174. DOI: 10.5897/AJPS2014.1203. ISSN 1996-0824. Dostupné také z: <http://academicjournals.org/journal/AJPS/article-abstract/B19DE4F51746>
- ANTJE, Herrmann a Taube FRIEDHELM. The Range of the Critical Nitrogen Dilution Curve for Maize (*Zea mays* L.) Can Be Extended until Silage Maturity. *Agronomy Journal*. 2004, **96**(4), 1131 - 1138.
- BAIER, Jan, Milena SMETÁNKOVÁ a Věra BAIEROVÁ. *Diagnostika výživy rostlin*. Praha: Agrodat, 1988.
- BALÍK, Jiří, Jindřich ČERNÝ a Martin KULHÁNEK. *Bilance dusíku v zemědělství: certifikovaná metodika*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012. ISBN 978-80213-2329-2.
- BASSO, Bruno, Pietro GIOLA, Benjamin DUMONT, Massimiliano De Antoni MIGLIORATI, Davide CAMMARANO, Giovanni PRUNEDDU, Francesco GIUNTA a Roberto PAPA. Tradeoffs between Maize Silage Yield and Nitrate Leaching in a Mediterranean Nitrate-Vulnerable Zone under Current and Projected Climate Scenarios. *PLOS ONE*. 2016, **11**(1). DOI: 10.1371/journal.pone.0146360. ISSN 1932-6203. Dostupné také z: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0146360>
- BLEKEN, Marina Azzaroli, Antje HERRMANN, Lars Egil HAUGEN, Friedhelm TAUBE a Lars BAKKEN. SPN: A model for the study of soil-plant nitrogen fluxes in silage maize cultivation. *European Journal of Agronomy*. 2009, **30**(4), 283-295. DOI: 10.1016/j.eja.2009.01.001. ISSN 11610301. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1161030109000033>
- BUĎŇÁKOVÁ, Michaela. *Racionální použití hnojiv: zaměřené na agrochemických rozborů půd: sborník z 23. mezinárodní konference = Reasonable use of fertilizers : dedicated to ..the importance of agrochemical soil test. : proceedings of 23. international conference*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2017, **23**(1.). ISBN 978-80-213-2793-1.
- Černý, J., Balík, J., Kulháněk, M., Vašák, F., Peklová, L., Sedlár, O. (2012). *The effect of mineral N fertiliser and sewage sludge on yield and nitrogen efficiency of silage maize*. *Plant Soil Environ*, **58**(2), 76-83.

- ČSÚ [Český statistický úřad]. *Soupis ploch osevů*. První vydání. [online]. Praha: Český Statistický Úřad, 2018 [cit. 2019-07-29]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/soupis-ploch-osevu-k-31-5-2018#>
- DOSTÁL, Jiří. *Zásady správné zemědělské praxe zaměřené na ochranu vod před zněčištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2003. ISBN 80-708-4268-7.
- ELTELIB, Hani A., Muna A. HAMAD a Eltom E. ALI. The Effect of Nitrogen and Phosphorus Fertilization on Growth Yield and Quality of Forage Maize (*Zea Mays* L.). *Journal of Agronomy*. 2006, **5**(3), 515-518.
- GHEYSARI, Mahdi, Seyed Majid MIRLATIFI, Mohammad BANNAYAN, Mehdi HOMAEE a Gerrit HOOGENBOOM. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. *Agricultural Water Management*. 2009, **96**(5), 809-821. DOI: 10.1016/j.agwat.2008.11.003. ISSN 03783774. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378377408003004>
- HASSAN, S. W., F. C. OAD, S. D. TUNIO, A. W. GANDAH, M. H. SIDDIQUI, S. M. OAD a A. W. Impact of Nitrogen Levels and Application Methods on Agronomic, Physiological and Nutrient uptake Traits of Maize Fodder. *Pakistan Journal of Botany*. 2010, **42**(6), 4095 - 4101.
- HULSEN, Jan a Dries AERDEN. Signály krmení: praktická příručka ke krmení dojníc pro jejich zdraví a užitkovost. Praha: [Profi Press], 2014. ISBN 978-80-86726-62-5.
- JENA, N, K.P. VANI, V.P. RAO a A.S. SANKAR. Effect of nitrogen and phosphorus fertilizers on growth and yield of quality protein maize (QPM). *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 2015, **4**(12), 197-199.
- JING, Jingying, Julie T. CHRISTENSEN, Peter SØRENSEN, Bent T. CHRISTENSEN a Gitte H. RUBÆK. Long-term effects of animal manure and mineral fertilizers on phosphorus availability and silage maize growth. *Soil Use and Management*. 2019, **35**(2), 323-333. DOI: 10.1111/sum.12477. ISSN 0266-0032. Dostupné také z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/sum.12477>
- KARASU, Abdullah, Hayrettin KUŞÇU a Mehmet ÖZ. Yield and economic return response of silage maize to different levels of irrigation water in a sub-humid zone. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2015, 102(3), 313-318. DOI: 10.13080/z-a.2015.102.040. ISSN 1392-3196. Dostupné také z: http://www.zemdirbyste-agriculture.lt/1023_str40/
- Kayser, M., Benke, M., Isselstein, J. (2011). *Little fertilizer response but high N loss risk of maize on a productive organic-sandy soil*. *Agronomy for sustainable development*, **31**(4), 709.
- KAZDA, Jan. *Škůdci polních plodin*. Praha: Profi Press, 2014. ISBN 978-80-86726-61-8.
- KLÍR, Jan a Lada KOZLOVSKÁ. *Zásady hospodaření pro ochranu vod před znečištěním dusičnany*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2016. ISBN isbn978-80-7427-218-9.

- KOMAINDA, Martin, Friedhelm TAUBE, Christof KLUSS a Antje HERRMANN. Effects of catch crops on silage maize (*Zea mays* L.): *yield, nitrogen uptake efficiency and losses. Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2018, **110**(1), 51-69. DOI: 10.1007/s10705-017-9839-9. ISSN 1385-1314. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s10705-017-9839-9>
- KŘEN, Jan, Lubomír NEUDERT, Blanka PROCHÁZKOVÁ, Vladimír SMUTNÝ a Josef HŮLA. *Obecná produkce rostlinná*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-325-7.
- MÖLLER, Kurt, Rudolf SCHULZ a Torsten MÜLLER. Effects of setup of centralized biogas plants on crop acreage and balances of nutrients and soil humus. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2011, **89**(2), 303-312. DOI: 10.1007/s10705-010-9395-z. ISSN 1385-1314. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s10705-010-9395-z>
- MCGINN, S. M. a H. H. JANZEN. Ammonia sources in agriculture and their measurement. *Canadian Journal of Soil Science*. 1996, **78**(1), 139 - 148.
- MIKULKA, Jan. *Plevele polních plodin*. Praha: Profi Press, 2014. ISBN 978-80-86726-60-1.
- NEUBERG, Jaroslav, Jan JEDLIČKA a Hana ČERVENÁ. *Výživa a hnojení plodin: metodika*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1995. Metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe.
- NANNEN, David U., Antje HERRMANN, Ralf LOGES, Klaus DITTERT a Friedhelm TAUBE. Recovery of mineral fertiliser N and slurry N in continuous silage maize using the 15N and difference methods. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2011, **89**(2), 269-280. DOI: 10.1007/s10705-010-9392-2. ISSN 1385-1314. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s10705-010-9392-2>
- NAZLI, Recep Irfan, Ilker INAL, Alpaslan KUSVURAN, Ahmet DEMIRBAS a Veyis TANSI. Effects of different organic materials on forage yield and nutrient uptake of silage maize (*Zea mays* L.). *Journal of Plant Nutrition*. 2016, **39**(7), 912 - 921. DOI: 10.1080/01904167.2015.1109103. ISSN 0190-4167. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01904167.2015.1109103>
- NEVENS, Frank a Dirk REHEUL. Agronomical and environmental evaluation of a long-term experiment with cattle slurry and supplemental inorganic N applications in silage maize. *European Journal of Agronomy*. 2005, **22**(10), 349 - 361.
- NEVENS, F. a D. REHEUL. Crop rotation versus monoculture; N yield and ear fraction of silage maize at different levels of mineral N fertilization. *Netherlands Journal of Agricultural Science*. 2001, **49**(1), 405 - 425.
- NOVÁK, Daniel a Jaroslav VRZAL. *Základy pěstování kukuřice a jednoletých pícnin*. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 1995. Rostlinná výroba (Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR). ISBN 80-7105-097-0.
- NOVÁK, Jan a Milan SKALICKÝ. *Botanika: cytologie, histologie, organologie a systematika*. Čtvrté vydání. Praha: Powerprint, 2017. ISBN 978-80-7568-036-5.

- ONASANYA, R. O., O.P. AIYELARI, A. ONASANYA, S. OIKEH, F. E. NWILENE a O. OYELAKIN. Growth and Yield Response of Maize (*Zea mays* L.) to different Rates of Nitrogen and Phosphorus Fertilizers in Southern Nigeria. *World Journal of Agricultural Sciences*. 2009, **5**(4), 400-407.
- ONWUBIKO, Nwakuche C a Christopher ECHEROBIA. A review on organic manure for commercial farming. *Conference: 5th National Conference on Organic Agriculture project in Tertiary institution in Nigeria*. 2019, , 336 - 339.
- PETR, Jiří. *Rukověť agronoma*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1989. Rostlinná výroba (Státní zemědělské nakladatelství). ISBN 80-209-0062-4.
- PRANCE, Ghilleen a Mark NESBITT. *The cultural history of plants*. Abingdon: Routledge, 2005.
- PROKEŠ, Karel a Ladislav ZEMAN. *Kukuřice v praxi 2014: Sborník z mezinárodní konference pořádané k 95. výročí založení univerzity v Brně*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2014. ISBN 978-80-7375-937-7.
- PROKINOVÁ, Evženie. *Choroby polních plodin*. Praha: Profi Press, 2014. ISBN 978-80-86726-59-5.
- RICHTER, Rostislav a Karel ŘÍMOVSKÝ. *Organická hnojiva, jejich výroba a použití*. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 1996. Rostlinná výroba (Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR). ISBN 80-7105-117-9.
- TAUFEROVÁ, Alexandra, Michaela PETRÁŠOVÁ, Jana POKORNÁ, Bohuslava TREMLOVÁ a Pavel BARTL. *Rostlinná produkce*. Brno: Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 2014.
- TESFAY, Amare, Mohammed AMIN, Negeri MULUGETA a Sileshi FREHIWOT. Effect of weed control methods on weed density and maize (*Zea mays* L.) yield in west Shewa Orimia, Ethiopia. *African Journal of Plant Science*. 2015, **9**(1), 8-12. DOI: 10.5897/AJPS2014.1244. ISSN 1996-0824. Dostupné také z: <http://academicjournals.org/journal/AJPS/article-abstract/2DD04A849986>
- SCHRÖDER, J.J., J.J. NEETESON, J.C.M. WITHAGEN a I.G.A.M. NOIJ. Effects of N application on agronomic and environmental parameters in silage maize production on sandy soils. *Field Crops Research*. 1998, **58**, 55-67.
- SCHRÖDER, J. J., W. DE VISSER, F. B. T. ASSINCK, G. L. VELTHOF, W. VAN GEEL a W. VAN DIJK. Nitrogen Fertilizer Replacement Value of the Liquid Fraction of Separated Livestock Slurries Applied to Potatoes and Silage Maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2014, **45**(1), 73-85. DOI: 10.1080/00103624.2013.848881. ISSN 0010-3624. Dostupné také z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103624.2013.848881>
- SOGBEDJI, Jean. M., Harold. M. VAN ES, Jeff J. MELKONIAN a Robert R. SCHINDELBECK. *Evaluation of the PNM Model for Simulating Drain Flow Nitrate-N Concentration Under Manure-Fertilized Maize*. *Plant and Soil*. 2006, **282**(1-2), 343-360.

DOI: 10.1007/s11104-006-0006-3. ISSN 0032-079X. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s11104-006-0006-3>

ŠUK, Jaroslav, Jiří BALÍK, P. JACOBÉ, Václav JAMBOR, Václav KOHOUT, R. LOUČKA, V. TÁBORSKÝ a Jaroslav VRZAL. *Kukuřice*. Kněževés: VP AGRO, 1998. ISBN 80-86153-99-1.

ULLAH, Waheed, Muhammad Azim KHAN, Shahnaz ARIFULLAH a Muhammad SADIQ. Evaluation of Integrated Weed Management Practices for Maize. *PAKISTAN JOURNAL OF WEED SCIENCE RESEARCH*. 2008, **14**(1 - 2), 19 - 32.

VANĚK, Václav, Jiří BALÍK, Milan PAVLÍK, Daniela PAVLÍKOVÁ a Pavel TLUSTOŠ. *Výživa a hnojení polních plodin*. Praha: Profi Press, 2016. ISBN 978-80-86726-79-3.

VRZAL, Jaroslav, Jaroslav FOGL a Miroslav PETŘÍK. *Vliv doby hnojení a dávek N-hnojiv v průběhu vegetace na výnos a kvalitu fytomasy u kukuřice na siláž: výzkumná zpráva SPZV VII-3-4/06-2*. Praha, 1989.

YOLCU, HALIL, ADEM GUNES, MAHMUT DASCI, METIN TURAN a YUNUS SERIN. The Effects of Solid, Liquid and Combined Cattle Manure Applications on the Yield, Quality and Mineral Contents of Common Vetch and Barley Intercropping Mixture. *Ekoloji*. 2010, **19**(75), 71-81. DOI: 10.5053/ekoloji.2010.7510. ISSN 13001361. Dostupné také z: <http://www.ekoloji.com.tr/resimler/75-10.pdf>

ZIMOLKA, Josef. *Kukuřice: hlavní a alternativní užitkové směry*. Praha: Profi Press, 2008. ISBN 978-80-86726-31-1.

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

CO₂ – Oxid uhličitý

FAO číslo – (Food and Agriculture Organization) udává ranost jednotlivých hybridů silážní kukuřice

NO₃⁻ - dusičnany

NH₄⁺- amonný kationt

NH₃ - amoniak

N - dusík

N₂ - vzdušný dusík

H₂PO₄⁻ - anion dihydrogenfosforečnanový

HPO₄²⁻ - anion hydrogenfosforečnanový

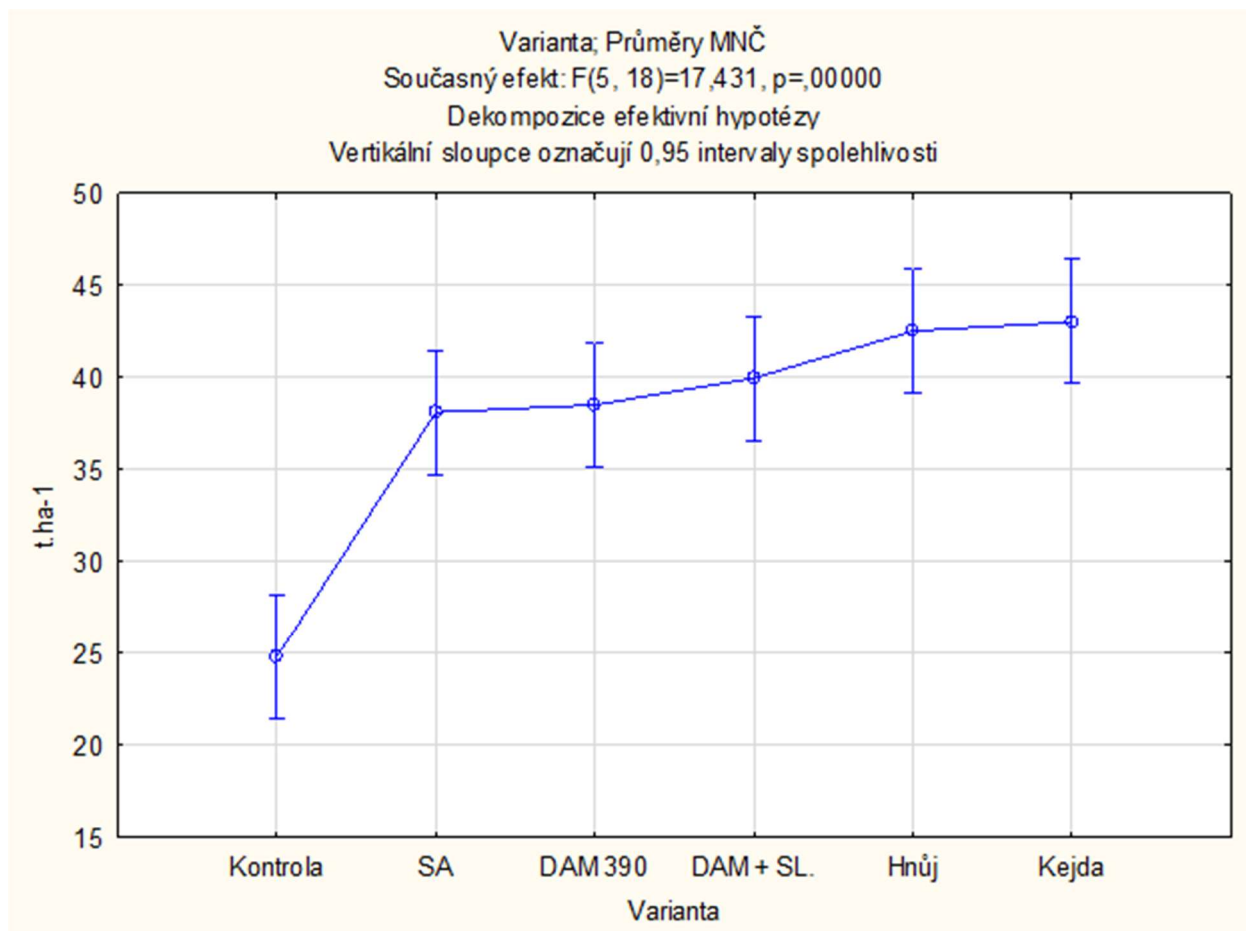
P - fosfor

K - draslík

10 Samostatné přílohy

10.1 Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice t.ha⁻¹

Graf číslo 8: Statistické vyhodnocení výnosu čerstvé hmoty silážní kukuřice t.ha⁻¹.

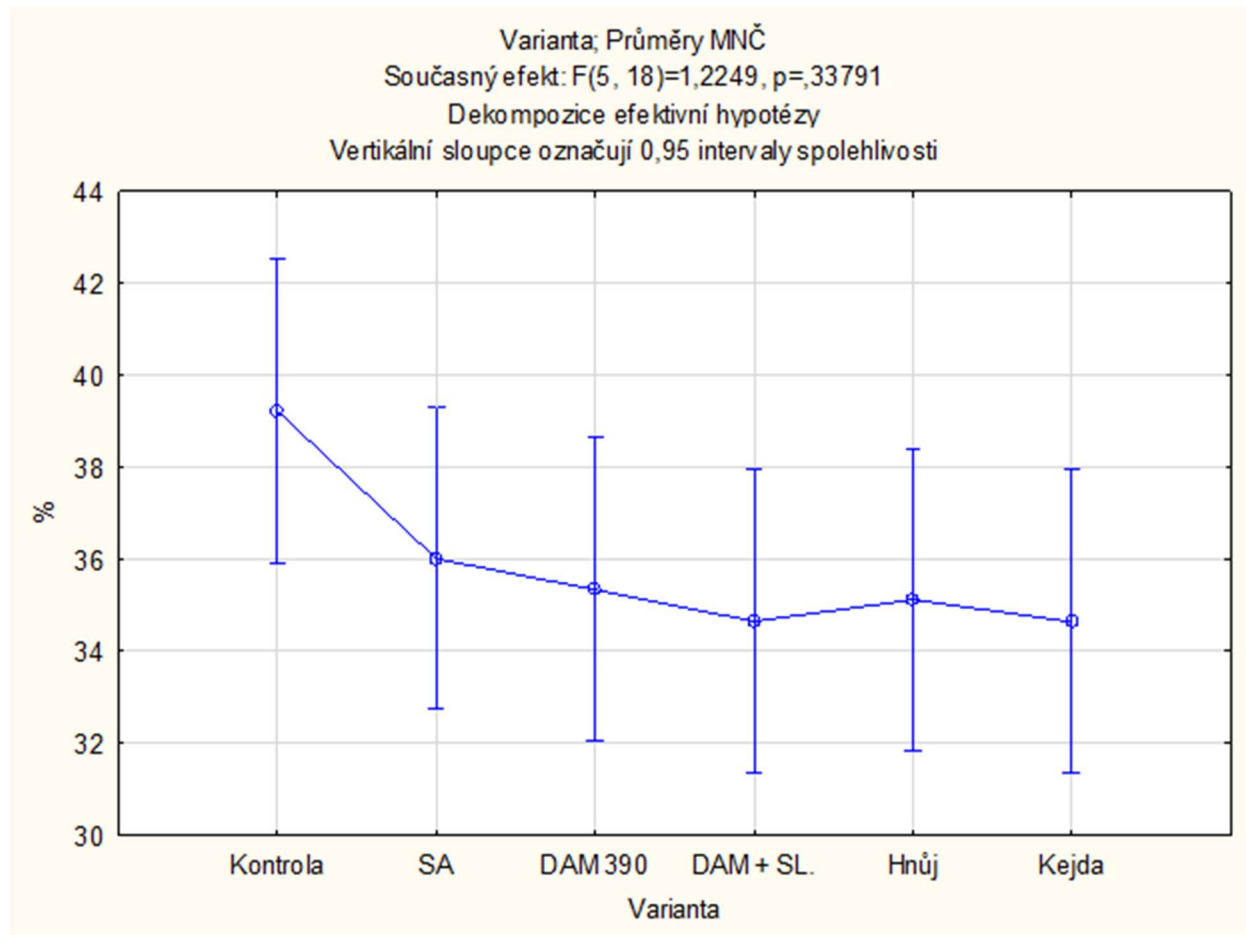


Tabulka číslo 9: Scheffeho metoda vyhodnocení výnosu čerstvé hmoty silážní kukuřice t.ha⁻¹.

Č. buňky	Scheffeho test; proměnná t.ha-1 (4) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 10,277, sv = 18,000						
	Varianta	1 24,808	2 38,126	3 38,519	4 39,979	5 42,531	6 43,034
1	Kontrola		0,000927	0,000671	0,000206	0,000029	0,000020
2	SA	0,000927		0,999990	0,982482	0,593369	0,480315
3	DAM 390	0,000671	0,999990		0,994070	0,681987	0,568329
4	DAM + SL.	0,000206	0,982482	0,994070		0,932542	0,866862
5	Hnůj	0,000029	0,593369	0,681987	0,932542		0,999966
6	Kejda	0,000020	0,480315	0,568329	0,866862	0,999966	

10.2 Sušina silážní kukuřice v procentech

Graf číslo 9: Statistické vyhodnocení procentuálního obsahu sušiny v procentech.

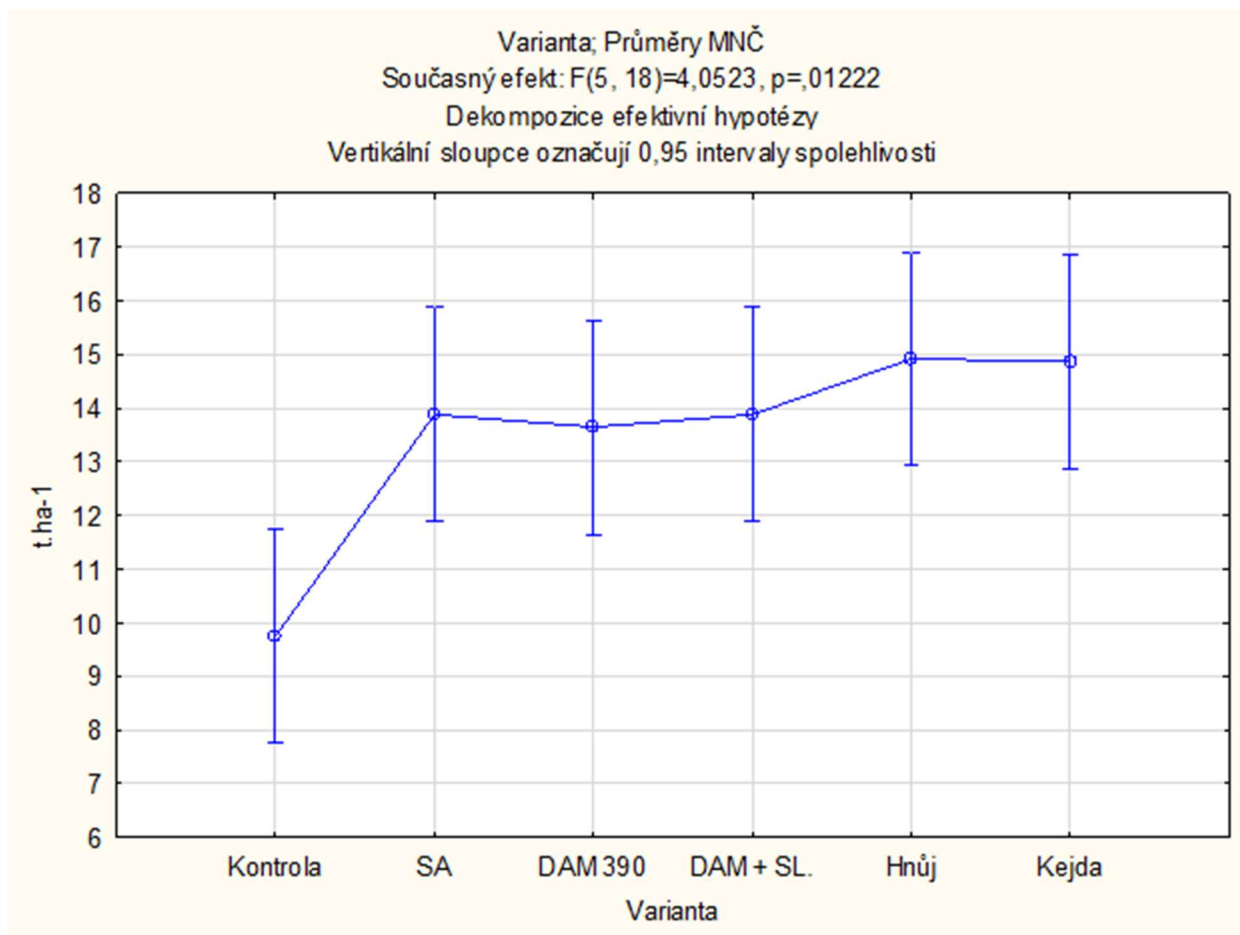


Tabulka číslo 10: Scheffeho metoda vyhodnocení procentuálního obsahu sušiny v silážní kukuřici.

Č. buňky	Scheffeho test; proměnná % (3) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. $P\check{C} = 9,8293, sv = 18,000$						
	Varianta	1	2	3	4	5	6
		39,232	36,027	35,353	34,669	35,135	34,655
1	Kontrola		0,830073	0,691924	0,534066	0,642280	0,531065
2	SA	0,830073		0,999840	0,995283	0,999368	0,995068
3	DAM 390	0,691924	0,999840		0,999826	0,999999	0,999809
4	DAM + SL.	0,534066	0,995283	0,999826		0,999974	1,000000
5	Hnůj	0,642280	0,999368	0,999999	0,999974		0,999970
6	Kejda	0,531065	0,995068	0,999809	1,000000	0,999970	

10.3 Výnos sušiny silážní kukuřice v t.ha⁻¹

Graf číslo 10: Statistické vyhodnocení sušiny v silážní kukuřici v t.ha⁻¹.

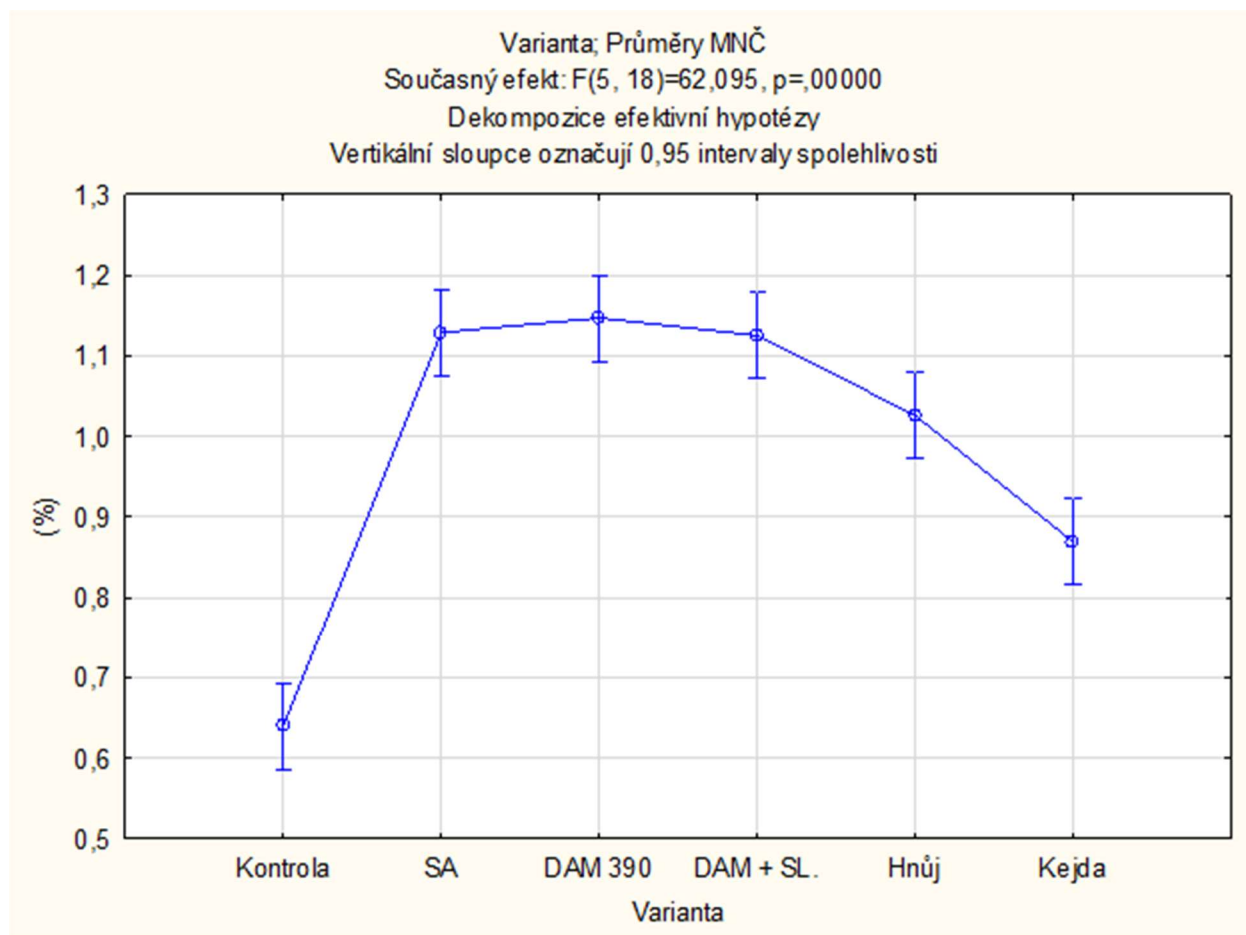


Tabulka číslo 11: Scheffeho metoda vyhodnocení sušiny silážní kukuřice v t.ha⁻¹.

Č. buňky	Scheffeho test; proměnná t.ha-1 (5) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 3,6042, sv = 18,000						
	Varianta	1 9,7530	2 13,886	3 13,652	4 13,883	5 14,919	6 14,873
1	Kontrola		0,145115	0,188662	0,145650	0,040143	0,042683
2	SA	0,145115		0,999990	1,000000	0,986610	0,989125
3	DAM 390	0,188662	0,999990		0,999990	0,967292	0,972128
4	DAM + SL.	0,145650	1,000000	0,999990		0,986423	0,988964
5	Hnůj	0,040143	0,986610	0,967292	0,986423		1,000000
6	Kejda	0,042683	0,989125	0,972128	0,988964	1,000000	

10.4 Obsah dusíku v sušině silážní kukuřice v procentech

Graf číslo 11: Statistické vyhodnocení obsahu dusíku v sušině silážní kukuřice v procentech.

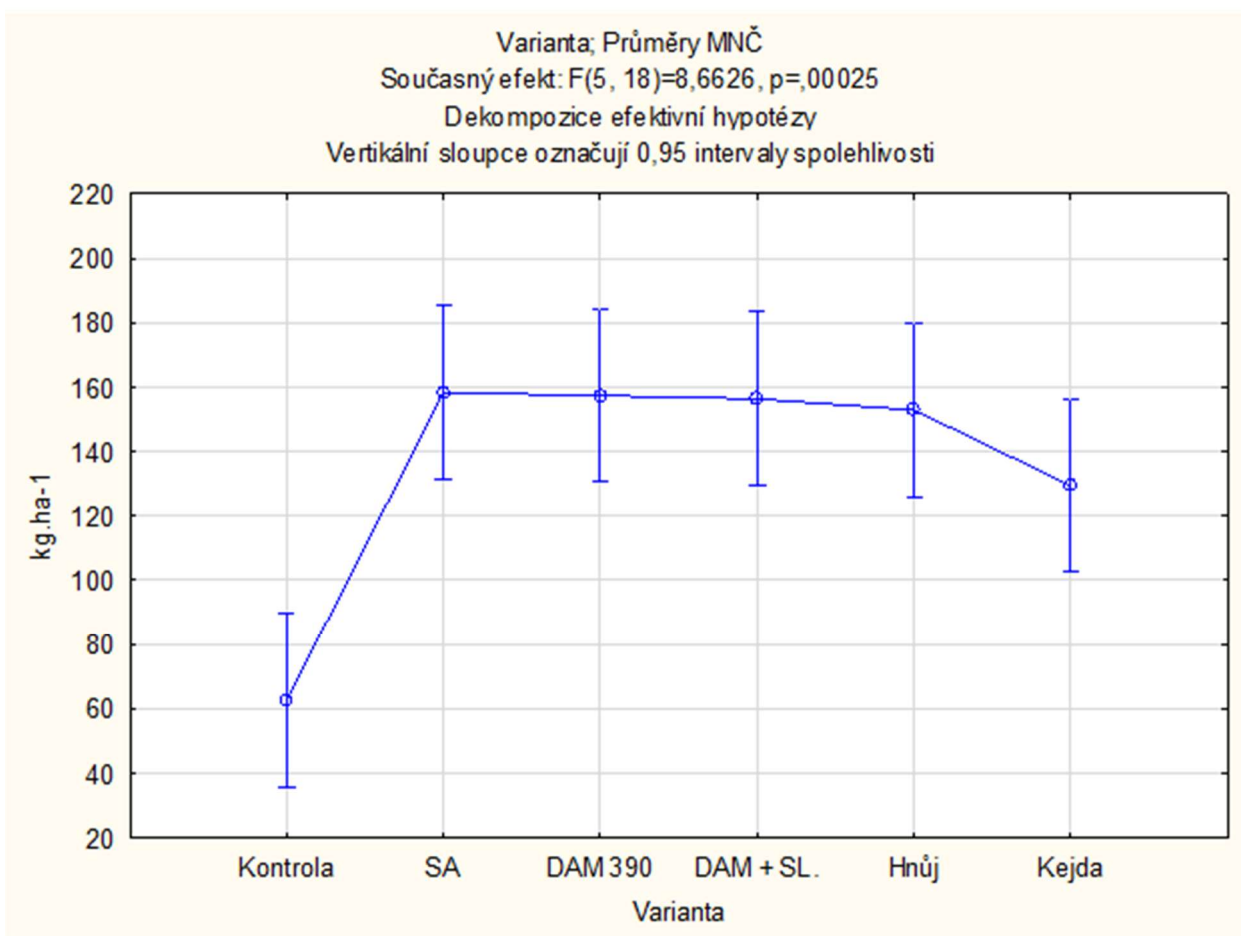


Tabulka číslo 12: Scheffeho metoda vyhodnocení obsahu dusíku v sušině silážní kukuřice.

Č. buňky	Scheffeho test; proměnná (%) (1) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,00259, sv = 18,000						
	Varianta	1	2	3	4	5	6
		,63925	1,1289	1,1468	1,1250	1,0261	,86949
1	Kontrola		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000352
2	SA	0,000000		0,998238	0,999999	0,202242	0,000082
3	DAM 390	0,000000	0,998238		0,995531	0,093544	0,000034
4	DAM + SL.	0,000000	0,999999	0,995531		0,235765	0,000099
5	Hnůj	0,000000	0,202242	0,093544	0,235765		0,016061
6	Kejda	0,000352	0,000082	0,000034	0,000099	0,016061	

10.5 Odběr dusíku silážní kukuřicí v kg.ha⁻¹

Graf číslo 12: Statistické vyhodnocení odběru dusíku silážní kukuřicí v kg.ha⁻¹.



Tabulka číslo 12: Scheffeho metoda vyhodnocení odběru dusíku silážní kukuřicí v kg.ha⁻¹.

LSD test; proměnná kg.ha-1 (2)
 Pravděpodobnosti pro post-hoc testy
 Chyba: meziskup. PČ = 654,15, sv = 18,000

Varianta	1	2	3	4	5	6
	62,635	158,31	157,38	156,40	152,93	129,40
Kontrola		0,000050	0,000056	0,000062	0,000094	0,001669
SA	0,000050		0,959229	0,916951	0,769506	0,127329
DAM 390	0,000056	0,959229		0,957600	0,808738	0,139336
DAM + SL.	0,000062	0,916951	0,957600		0,850099	0,152813
Hnůj	0,000094	0,769506	0,808738	0,850099		0,209647
Kejda	0,001669	0,127329	0,139336	0,152813	0,209647	