

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv hnojení na výnos silážní kukuřice a efektivitu využití
dusíku z hnojiv**

Diplomová práce

Autor práce Ing. Bc. Jakub Červenka

Obor studia Rostlinná produkce

Vedoucí práce Ing. Jindřich Černý, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Vliv hnojení na výnos silážní kukuřice a efektivitu využití dusíku z hnojiv" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14. 4. 2023

Poděkování

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

Vliv hnojení na výnos silážní kukuřice a efektivitu využití dusíku z hnojiv

Souhrn

Literární rešerše se zabývá problematikou silážní kukuřice, jejím pěstováním, hnojením i dopadům hnojení a pěstování silážní kukuřice na životní prostředí. Dále je pojednáváno o hnojivech, která jsou využívána pro hnojení silážní kukuřice, a o jejich rozdílném vlivu na růst rostlin a příjem dusíku těmito rostlinami.

Experimentální část diplomové práce byla zpracována z výsledků dlouhodobého polního pokusu katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin na pozemcích výzkumné stanice Červený Újezd. Tento 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 devět variant hnojení, každá z nich byla čtyřikrát opakována. Na jednu z variant nebylo aplikováno hnojivo, tyto plochy sloužily pro kontrolu. Pokus dále sleduje vliv dusíkatých minerálních hnojiv (síran amonný a DAM 390) a organických hnojiv (chlévkový hnůj, kejda a čistírenský kal). U jedné z variant bylo kombinováno minerální hnojivo DAM 390 s organickým hnojivem slámou. V další variantě je dusíkaté hnojivo DAM 390 společně aplikováno s fosforečným a draselným hnojivem. V poslední variantě je toto dusíkaté hnojivo společně aplikováno s kieseritem.

V této diplomové práci jsou zpracovány čtyři pokusné roky (2019, 2020, 2021 a 2022) za využití dvou hybridů kukuřice. Bylo tedy možné částečně porovnat vliv ročníku a hybridu na výnos čerstvé hmoty, výnos sušiny, obsah dusíku v sušině a odběr dusíku silážní kukuřicí. V práci byla zpracována efektivita využití dusíku pro jednotlivé varianty pokusu.

Hnojení silážní kukuřice a převážně aplikace dusíkatých hnojiv je nepostradatelný faktor pro dosažení kvalitní sklizně. Nehnojená varianta kontrola, dosahovala prokazatelně nižších výnosů a nižšího obsahu dusíku oproti hnojeným variantám. Odběr dusíku u této nehnojené varianty byl také prokazatelně nižší. Varianta hnojená pouze minerálním dusíkem dosahovala nižšího výnosu čerstvé hmoty a sušiny oproti variantě minerálního hnojení dusíkem, fosforem a draslíkem ve všech zahrnutých pokusných letech. Byla tak prokázána důležitost nejen hnojení dusíkem, ale i fosforem a draslíkem.

Varianty pokusu hnojené minerálním dusíkem dosahovaly ve všech pokusných letech vyššího obsahu dusíku v sušině než organická hnojiva.

Odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice byl ve všech sledovaných letech u variant s minerální aplikací dusíkatých hnojiv vyšší než u těch hnojených organickým hnojivem.

U efektivitu využití dusíku v tomto pokusu vycházely vyšší hodnoty pro organicky hnojené varianty, a to z důvodu postupného uvolňování živin z těchto hnojiv, kdy byly tyto organicky hnojené varianty ovlivněny aplikací hnojiv z předchozích let.

Klíčová slova: hnojení; dusík; silážní kukuřice; výnos

Effect of fertilization on silage maize yield and nitrogen use efficiency from fertilizers

Summary

The literature research deals with the issue of silage maize, its cultivation, fertilization and the effects of fertilization and the cultivation on the environment. In next part it is discussed fertilizers use for silage maize, their different effects on plants growth and plants nitrogen uptake.

The experimental part of the thesis was prepared from the results based on long-term field experiments of the Department of Agro-Environmental Chemistry and Plant Nutrition in research station Červený Újezd. This experiment was established in 1990 and deals with the repeated maize cultivation and different ways of maize fertilizing. The fertilization system was stabilized in 1996. In this thesis were also evaluated nine variants of fertilization and each of them was four times repeated.

For the inspection purposes was fertilizer not applied to one of the variants. The experiment also monitors the effect of nitrogenous mineral fertilizers (ammonium sulfate, UAN) and organic fertilizers (manure, slurry and sewage sludge). For one of the variants were combined mineral fertilizer UAN with organic fertilizer (straw). In the other variant were applied nitrogen fertilizer UAN with phosphorus and potassium fertilizer. In the last variant was applied nitrogen fertilizer with kieserite.

This thesis contains processed four trial years (2019, 2020, 2021 and 2022) using two maize hybrids. It was partially possible to compare the effect of cultivation year and maize hybrid with regard to fresh matter yield, dry matter yield, nitrogen content in dry matter and nitrogen uptake by silage maize. Also the nitrogen utilization efficiency was processed for every individual variant of the experiment.

Fertilization of silage maize and mainly the application of nitrogen fertilizers is indispensable factor for achieve a quality harvest. The unfertilized variant achieved demonstrably lower yields and lower nitrogen content compared to fertilized variants.

Nitrogen sampling at this unfertilized variant was also demonstrably lower. Variant fertilized only by mineral nitrogen achieved a lower yield of fresh matter and dry matter compared to the variant of fertilization by nitrogen, phosphorus and potassium in all included experimental years.

It has been proven not only the importance of nitrogen fertilizing but also fertilizing by phosphorus and potassium. Variants fertilized by mineral nitrogen reached higher nitrogen content in dry matter than organic fertilizers in all observed years.

The nitrogen uptake by silage maize plants was higher for the variants with mineral application of nitrogen fertilizers than for maize plants fertilized by organic fertilizer. The efficiency of nitrogen use in this experiment was higher for the organically fertilized variants due to the gradual nutrients release compared to previous years, when these variants were affected by previous years fertilization.

Keywords: fertilization, nitrogen, silage maize, yield

Obsah

2 Úvod	8
3 Vědecké hypotézy a cíle práce	9
4 Literární rešerše	10
4.1 Silážní kukuřice.....	10
4.1.1 Pěstování silážní kukuřice	11
4.1.2 Zakládání porostu silážní kukuřice	11
4.2 Hnojení silážní kukuřice	12
4.2.1 Hnojení silážní kukuřice dusíkem	13
4.2.2 Příjem dusíku silážní kukuřicí	15
4.2.3 Ztráty dusíku během skladování a aplikace hnojiv.....	17
4.2.4 Negativa spojená s hnojením silážní kukuřice dusíkem.....	18
4.2.5 Legislativa České republiky zabývající se aplikací dusíkatých hnojiv	18
4.3 Hnojení silážní kukuřice fosforem.....	20
4.4 Hnojení silážní kukuřice draslíkem.....	22
4.5 Hnojení silážní kukuřice sírou	22
4.6 Hnojiva.....	23
4.7 Organická hnojiva	23
4.7.1 Chlévský hnůj	25
4.7.2 Kejda.....	25
4.7.3 Čistírenské kaly	25
4.8 Sláma.....	26
4.9 Minerální (průmyslová) hnojiva	26
4.9.1 DAM 390	26
4.9.2 Síran amonný	27
4.9.3 Kieserit.....	27
5 Metodika	28
5.1.1 Odrůdy silážní kukuřice.....	29
5.1.2 Charakteristika pokusného stanoviště.....	30
5.1.3 Sběr vzorků	30
5.1.4 Laboratorní analýza vzorků	30
5.1.5 Stanovení obsahu dusíku v hmotě silážní kukuřice.....	30
5.1.6 Odběr dusíku rostlinami	31
5.1.7 Statistické vyhodnocení	31
5.1.8 Úhrn srážek a průměrná měsíční teplota	31
6 Výsledky	35
6.1 Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice	35
6.1.1 Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice v roce 2019	35

6.1.2	Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice v roce 2020	36
6.1.3	Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice v roce 2021	36
6.1.4	Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice v roce 2022	37
6.2	Výnos sušiny silážní kukuřice.....	38
6.2.1	Výnos sušiny silážní kukuřice v roce 2019	38
6.2.2	Výnos sušiny silážní kukuřice v roce 2020	39
6.2.3	Výnos sušiny silážní kukuřice v roce 2021	39
6.2.4	Výnos sušiny silážní kukuřice v roce 2022	40
6.2.5	Procentuální obsah sušiny ze sklizené čerstvé hmoty silážní kukuřice	40
6.3	Obsah dusíku v sušině silážní kukuřice	41
6.3.1	Obsah dusíku v sušině silážní kukuřice v roce 2019	41
6.3.2	Obsah dusíku v sušině silážní kukuřice v roce 2020	42
6.3.3	Obsah dusíku v sušině silážní kukuřice v roce 2021	42
6.3.4	Obsah dusíku v sušině silážní kukuřice v roce 2022	43
6.4	Odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice	44
6.4.1	Odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice v roce 2019	44
6.4.2	Odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice v roce 2020	45
6.4.3	Odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice v roce 2021	45
6.4.4	Odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice v roce 2022	46
7	Diskuze.....	47
7.1	Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice	47
7.2	Obsah dusíku v sušině a odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice.....	50
7.2.1	Efektivita využití dusíku.....	51
8	Závěr	53
9	Literatura.....	55
10	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	62
11	Seznam tabulek a grafů.....	63
11.1.1	Tabulky	63
11.1.2	Grafy	64
12	Samostatné přílohy	I

1 Úvod

Kukuřice je plodina s vysokou rozmanitostí využití a velkou měrou je pěstována po celém světě. V podmínkách naší republiky je nejčastěji využívána pro výživu skotu nebo pro výrobu bioplynu jako alternativní zdroj energie.

Přes veškeré pozitivní vlastnosti využití kukuřice nemůžeme zapomenout na fakt, že její pěstování může mít negativní dopady na udržitelnost půdní úrodnosti a kvality povrchových a podpovrchových vod. Kukuřice je plodina, při jejímž pěstování je zemědělská půda náchylná k erozi půdy. Nevhodné zvolení dusíkatého hnojení pak může vést k vyplavování nitrátů do životního prostředí. Pěstování silážní kukuřice je na území České republiky řízeno legislativou, která upravuje její hnojení, nařizuje využívání půdoochranných opatření a v budoucnu bude její pěstování na některých pozemcích zcela zakázáno. Tyto faktory silně ztěžují její pěstování, nelze však očekávat výrazný pokles pěstování, z důvodu nenahraditelnosti této plodiny v našem způsobu zemědělství.

Růst kukuřice je silně ovlivňován dusíkatým hnojením. Zvolení dávky dusíku a formy, ve které je tato živina dodána do půdy, je klíčovým aspektem k dosažení ziskovosti pěstování. V dnešní době, kdy došlo k výraznému zvýšení cen energie, a tak i k nárůstu cen dusíkatých hnojiv, pro jejichž výrobu je přidaná energie nezbytná, je důležitější hospodařit s nakoupenými hnojivy správně. V současnosti také vzniká tlak na pěstitele, aby byl aplikovaný dusík rostlinou v co nejvyšší míře přijat a nedocházelo k vyplavování do spodních vod.

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

2 Vědecké hypotézy a cíle práce

1. Vliv ročníku při stejném způsobu dusíkatého hnojení ovlivňuje výnos sušiny a příjem dusíku silážní kukuřici.
2. Silážní kukuřice hnojená kombinací prvků dusíku, fosforu a draslíku dosáhne vyššího výnosu sušiny než kukuřice hnojená pouze dusíkatým hnojivem.
3. Silážní kukuřice přijme vyšší množství dusíku, pokud bude hnojená dusíkem, fosforem a draslíkem, než když bude hnojená pouze dusíkatým hnojivem.

Cílem práce bude vyhodnotit vliv hnojení minerálními a organickými hnojivy na výnos silážní kukuřice. Budou porovnány varianty hnojení silážní kukuřice, kdy bude na každou pokusnou plochu aplikováno stejné množství dusíku. Jednotlivé varianty se budou lišit hnojivem, ve kterém bude dusík na pozemky aplikován. Budou se lišit také přítomností draslíku a fosforu jako dalších živin. Hodnocen bude i obsah dusíku v nadzemní biomase a parametry související s efektivitou jeho využití z aplikovaných hnojiv, včetně bilance dusíku. Hodnocení bude uskutečněno ve víceletém období, aby mohl být posouzen vliv ročníku na sledované parametry.

3 Literární rešerše

3.1 Silážní kukuřice

Jednou z nejnámějších obilovin pěstovanou pro potřebu lidí a zvířat je kukuřice. Tato plodina je pěstována za účelem sklizně zrna, či využití rostliny jako objemného krmiva pro polygastry (Karasa et al. 2015). Kukuřice dosáhla největšího rozšíření a takové rozmanitosti jako žádná z kulturně pěstovaných plodin (Prance & Nesbit 2005). Novák a Skalický (2017) shodně vyzdvihují významnost kukuřice jako třetí nejdůležitější obiloviny ihned po rýži a pšenici. Dále kukuřici popisují jako statnou rostlinu, která může dosahovat až pětimetrové výšky. Silážní kukuřice je nepostradatelnou součástí krmiv v oblastech, kde je mírné klima (USA, Kanada a Evropská unie). Z této rostliny se využívá celá její nadzemní část. Ta je následně řezána a umístěna do prostorů určených k uchování siláže, kde je konzervována do doby, než bude využita (Amudalat 2015). Mezi největší pěstitele silážní kukuřice ve světě můžeme řadit USA, Brazílii, Francii, Indii a Itálii. Na Africkém světadíle je kukuřice pěstována především pro přímou lidskou spotřebu (Onasanya et al. 2009). Kukuřice uchovává živiny v kompaktní formě a její úprava pro lidské či krmné využití není obtížná. Tato rostlina se také snadno sklízí a uchovává (Amudalat 2015). Jednou z nevýhod silážní kukuřice je její nízká kvalita bílkovin, a to z důvodu nedostatku aminokyselin lysinu a tryptofanu (Prance & Nesbit 2005). Výhoda kukuřice jako objemného krmiva spočívá ve vysokém obsahu vodorozpustných sacharidů (15-30 % v 1 kg) obsažených v jejích rostlinách. V těchto rostlinách je také obsaženo nízké množství dusíkatých látek, dusičnanů a bazických prvků, a tak lze zelenou hmotu velice snadno silážovat. Je tak vyřešen rozpor mezi sklizní a následnou spotřebou píce (Zimolka 2008). Během výroby kukuřičné siláže je však nutné dbát na správné dodržování technologických postupů, protože na udržitelnost a kvalitu siláže působí mnoho faktorů (Hulsen & Aerden 2014). Během fáze mléčné voskové zralosti je ve hmotě silážní kukuřice obsaženo 1,52 % dusíku, 0,37 % fosforu a 1,26 % draslíku (Baier et al. 1988). Při skladování hmoty silážní kukuřice dochází pouze k nízkým ztrátám obsahu dusíku (Tantje a Friedhelm 2004). Vegetační vývoj kukuřice probíhá obvykle od května do července. Reprodukční vývoj pak v období mezi srpnem a říjnem (Gornott & Wechsung 2016). Silážní kukuřici řadíme do skupiny plodin C₄. Má tedy vysoké nároky na teplo a teploty klesající pod 10 stupňů celsia jejímu růstu nesvědčí (Taube et al. 2020). Silážní kukuřici lze využít nejenom jako objemné krmivo pro skot, ale také na výrobu bioplynu (Kayser et al. 2011). Karasu et al. (2015) ve své práci přímo popisují kukuřici jako tropickou rostlinu, která je dnes již pěstována nejenom v tropickém pásmu, ale také v subtropickém a mírném. Dále připomíná důležitost vody pro její pěstování. Nároky na vodu činí od 500 mm do 800 mm srážek za celou vegetaci. Potřeby závlahy jsou však odlišné v různých fázích růstu. Kukuřice je velmi citlivá na vodní stres. Pokud jím rostlina trpí, dochází u ní ke snížení růstu a průběhu fyziologických pochodů. V důsledku toho dochází ke snížení výnosu silážní kukuřice. Kukuřice dobře reaguje na dostatek vláhy v podzimním období (Šuk et al. 1998). Vaněk et al. (2016) ve své práci pojednávají o další dobré vlastnosti kukuřice, kterou je její mohutný kořenový systém. Ten ve spojení s dlouhou dobou příjmu umožňuje kukuřici dobře využívat zdroje půdních živin.

3.1.1 Pěstování silážní kukuřice

Zvažujeme-li zařazení silážní kukuřice do osevního postupu je možné i její monokulturní pěstování. Musíme ovšem počítat se snížením jejího výnosu a s vyšší potřebou dusíkatých hnojiv. Je-li kukuřice pěstována po luskovinách budou rostliny dosahovat vyšší vitality a kořenový systém bude mohutnější. V praxi často dochází k pěstování kukuřice v monokulturách a pěstitelé se snaží deficit výnosu kompenzovat dusíkatými hnojivy a pesticidy (Nevens & Reheul 2005).

Potencionální výnos silážní kukuřice je definován jako maximální dosažitelný výnos vyvinutým genotypem v adaptovaném prostředí bez omezení zdrojů vody, živin a zamezení tlaku škůdců a chorob za současného používání nejlepších agrotechnických postupů (doba setí, hustota porostu, vyváženého hnojení, zpracování půdy a dodržování osevního postupu) (Ciampitti & Vyn 2012). Mezi faktory, které ovlivňují výnos silážní kukuřice řadíme mimo hnojení také ochranu proti plevelům a škůdcům, agrotechnické postupy a v neposlední řadě genetické vylepšení rostlin (Taube et al. 2020). V následných letech bude pěstování polních plodin ovlivňováno očekávanou změnou klimatu. Tyto změny budou nejenom působit na fyziologické pochody rostlin, ale také budou působit na půdní procesy jako je například mineralizace (Bleken et al. 2009).

Nejvhodnější doba pro sklizeň silážní kukuřice z krmivářského pohledu je v době kdy, zrno dosáhne těstovité zralosti. V této době dosahuje sušina celé rostliny 28-34 %. Zároveň dochází k ukončování syntézy škrobu v zrnech a je dosažena nejvyšší koncentrace energie v celé rostlině. Silážní kukuřice poskytuje na 1 hektar zemědělské půdy průměrně 28-36 tun kvalitně silážovatelné píče (Zimolka 2008).

3.1.2 Zakládání porostu silážní kukuřice

Nejvhodnějšími předplodinami pro kukuřici jsou takové plodiny, které zanechávají větší množství posklizňových zbytků. Velice vhodnými jsou jeteloviny a luskoviny, které obohacují půdu o dusík a zanechávají v ní velké množství organického materiálu (Zimolka 2008). V praxi je však kukuřice často pěstována po sobě nebo jako přerušovač obilných sledů (Šuk et al. 1998). Monokulturní pěstování vede také ke zvýšení množství rostlinných škůdců (Zimolka 2008). Při nedostatku vláhy je snížen růst a výnos silážní kukuřice (Gheysari et al. 2009). Abuzar et al. (2011) se ve svém výzkumu zabývali ovlivňování porostu kukuřice jeho hustotou. Jejich pozorováním bylo zjištěno, že při nízké hustotě porostu se mnoho rostlin moderních odrůd kukuřice nekultivuje účinně a velice často vyprodukuje pouze jeden klas na rostlinu. Naproti tomu při vysoké hustotě populace započiná u rostlin soutěž o světlo, vodu a živiny. To může být pro rostliny škodlivé, protože hustý porost stimuluje u rostlin apikální dormanci, vyvolává neplodnost a ve výsledku snižuje počet klasů na jedné rostlině. Za hustoty porostu 40 000 rostlin na hektar rostliny vytvoří maximální počet zrn v řádku klasu kukuřice a nejvyšší množství zrn v klasu (447,3). Zato při hustotě 60 000 rostlin na hektar vytvořily rostliny nejvyšší počet klasů na rostlinu a počet řádku zrn v klasu. Pro vyšší výnos kukuřice se tak doporučuje hustota porostu 60 000 rostlin na hektar se vzdáleností rostlin v řádku 22,7 cm.

Při nízkých dávkách aplikace dusíkatých hnojiv byly vyzorovány odezvy na výnos u kukuřice pěstované v monokultuře mnohem vyšší, než tomu bylo u porostů kukuřice pěstovaných v širším osevním postupu. Při vyšších úrovních hnojení byly tyto rozdíly minimalizovány (Černý et al. 2012). U nepřetržitého pěstování silážní kukuřice na stejném pozemku dochází k silnému odběru živin, a to hlavně dusíku. Pokud nejsou tyto živiny do pole navraceny, může dojít k vyčerpání půdních zásob. U bezorebného zakládání porostu silážní kukuřice dochází ke změnám účinnosti mineralizace, ta ovlivňuje přísun a příjem dusíku rostlinou (Struck et al. 2019).

Při pěstování silážní kukuřice je vhodné využívat meziplodiny, protože dobře zavedená meziplodina může snížit množství vyplavených nitrátů až o 50 %. K výsevu meziplodiny by mělo dojít co nejdříve po sklizni hlavní plodiny, protože v období krátkých dnů a nízkých teplot přijímají rostliny pouze malé množství dusíku (Velthof et al. 2020).

Plevele obecně snižují výnos kulturních rostlin, protože jim ubírají světlo, živiny, vodu, CO₂ a zvyšují náklady na pěstování. Mezi plevele, které se nejčastěji na našem území vyskytují v porostech kukuřice, patří merlík bílý, ježatka kuří noha, rdesno blešník a pět'our maloúborný (Mikulka 2014). Aplikace herbicidů významně zvyšuje výnos kukuřice. Vyšší hustota porostu snižuje zaplevelení silážní kukuřice (Ullah et al. 2008). Mezi hlavní škůdce kukuřice je považován zavíječ kukuřičný. Jeho larvy škodí vnitřním žírem stonků a palic. Dalším druhem škodícím na kukuřici je bázlivec kukuřičný. Dospělci tohoto druhu škodí žírem na listech a bliznách a způsobují nepravidelný vývoj zrna. Larvy pak škodí žírem na kořenech. Posledním škůdcem jsou larvy bzunky ječné. Ty způsobují deformaci nadzemních částí vzházející kukuřice (Kazda 2014).

Většina chorob silážní kukuřice je houbového původu (Prokinová 2014).

3.2 Hnojení silážní kukuřice

Mnoho různých biotických a abiotických faktorů ovlivňuje růst a výnos silážní kukuřice. Jedním z nich je i výživa, protože kukuřice vyžaduje nepřetržité zásobování živinami po celou dobu růstu (Jena et al. 2015). Na náročnosti kukuřice na přísun živin se shodují i Onasanya et al. (2009). Ti během polních pokusů zjistili, že kukuřice vyžaduje odpovídající přísun živin, a to především N, P a K. Za správného hnojení těmito prvky rostliny dosahují dobrého růstu a vysokého výnosu. Potřeba hnojení však musí odpovídat situaci na stanovišti, sem patří obsah organických látek v půdě, metoda zpracování půdy, předplodina a světelná intenzita. Mezi plodiny s vysokým potencionálem snižování obsahu organické hmoty v půdě patří kukuřice (Balík et al. 2020).

Cena hnojiv do značné míry ovlivňuje ziskovost pěstování kukuřice, protože způsob hnojení významně ovlivňuje výnos. Dalšími důležitými faktory je výběr osiva, způsob ochrany rostlin a cena paliv (Gornott & Wechsung 2016).

U pěstované silážní kukuřice dochází v závislosti na čase k poklesům obsahu dusíku a fosforu. To pravděpodobně souvisí s nižšími dávkami hnojiv aplikovanými na zemědělskou půdu. K tomu dochází z důvodu politiky snižování aplikace těchto hnojiv. Dalším důvodem je zvyšování výnosů těchto rostlin, tak dojde k naředění obsahu živin ve větším objemu (Velthof et al. 2020).

Dle výsledků pokusů 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 dlouholetých polních pokusů (Balík et al. 2012).

Rostlina v převaze přijímá živiny, které jsou rozpuštěné ve vodě, jako ionty nebo molekuly. Kořenové vlášení rostlin je plně uzpůsobeno pro příjem a zásobování nadzemních orgánů minerálními živinami a vodou (Baier et al. 1988). Při hnojení kukuřice je vhodné intenzivněji hnojit předplodinu, protože kukuřice dobře reaguje na živiny z tzv. „staré půdní síly“, a to i z hlubších půdních horizontů (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). Prvky, které mohou být limitující v růstu silážní kukuřice, jsou hořčík a vápník (dle pH). Důležité je i nepodceňovat hnojení mikroprvky, kterých může být v půdě nedostatek (Novák a Vrzal 1995).

3.2.1 Hnojení silážní kukuřice dusíkem

Nejdůležitějším aspektem pro růst rostlin je přísun dusíku (Neuberg 1995). Hnojení rostlin silážní kukuřice dusíkem je všeobecně považováno jako klíčový aspekt pro dosažení optimálních ekonomických výsledků pěstování. Dusík je totiž částečně zodpovědný za dosažení produktivity plodiny. Nedostatek rostlinou přijatelného dusíku představuje jeden z hlavních faktorů omezující vývoj rostliny (Amanullah et al. 2009). Onasanya et al. (2009) shodně uvádějí, že dusík je nezbytnou živinou pro růst rostlin a tvoří 1 až 4 % sušiny silážní kukuřice. Dusík je obsažen v rostlinných bílkovinách, nukleových kyselinách a dalších sloučeninách, které jsou nezbytné pro růst rostlin (Jena et al. 2015). Dusík tvoří nezbytnou část chlorofylu a mnoho různých rostlinných enzymů. Příjmovou schopnost dusíku silážní kukuřice ve fyziologické zralosti lze rozdělit na kapacitu příjmu a na rychlost remobilizace. Doposud mezi odbornou veřejností panuje mnoho neshod v hlavních fyziologických mechanismech, které řídí příjem živin. Většina z nich pramení v souvislostech s celkovým příjmem živin rostlinou a jejími parametry účinnosti (Campitti & Vyn 2012). Dusíkaté hnojení výrazně ovlivňuje výnos kvality zrna. Po aplikaci takového hnojiva se zvyšuje koncentrace sacharidů a tuků v zrna. Dále hnojení dusíkem zvyšuje rychlost růstu a index listové plochy (Faheed et al. 2016). Omar (2022) shodně uvádí, že kukuřice vykazuje pozitivní odezvy na aplikaci dusíkatého hnojení. Při vysokých dávkách dusíku produkovaly kukuřice vyšší výnosy zrna. Zvýšená aplikace dusíku nestimuluje nárůst počtu zrn, ale zvyšuje jejich hmotnost a zlepšuje kvalitativní charakteristiky jako je obsah bílkovin v zrna kukuřice. Hnojení dusíkem byla za posledních padesát let neúčinnější cesta ke zvyšování výnosu silážní kukuřice (Mascia et al. 2019). Produkce zrna a biomasy se v průběhu let zvyšovala, došlo tak ke zvýšenému příjmu jak makroživin, tak mikroživin (Bender et al. 2013). Znalost množství a dostupnosti dusíku pro rostliny silážní kukuřice je jedním z klíčových faktorů pro vyvážené hnojení a zároveň omezování nežádoucího vyplavování dusičnanů (Struck et al. 2019). Snížený příjem dusíku zpomaluje růst silážní kukuřice. Tento prvek je velice důležitý pro příjem fosforu, draslíku a dalších prvků do rostliny. Pokud nebude rostlina přijímat dostatečné množství dusíku, nebude efektivně tyto prvky využívat (Onasanya et al. 2009). Je prokázáno, že kukuřice reaguje pozitivně na dusíkaté hnojení. Za zvyšujících

se dávek dodávaného dusíku je zvyšován výnos silážní kukuřice. Dusík hraje významnou roli v pícninařské kvalitě silážní kukuřice. Mnoho studií se shoduje, že aplikace dusíkatých hnojiv zvyšuje obsah bílkovin, i celkový obsah dusíku v rostlinách kukuřice. Na druhou stranu vyšší hladiny dodaného dusíku negativně působí na obsah vlákniny ve hmotě silážní kukuřice. Dusík podporuje růst rostlin a rozvoj listů (Eltelib et al. 2006). Obvyklou pěstitelskou praxí je využívání vysokých dávek dusíkatého hnojení při pěstování silážní kukuřice. To ovlivňuje růst rostlin tím, že zvyšuje index listové plochy, jeho trvání a také asimilaci dusíku rostlinou (Černý et al. 2012). Celkový obsah bílkovinných látek v rostlině kukuřice se s jejím dozráváním snižuje, a to z důvodu redukce listů v průběhu dozrávání (Horst et al. 2021). Agronomické postupy jako je umístění hnojiva, doba a správná úroveň jeho aplikace při optimální hustotě porostu, udržují pro rostliny dostupný dusík v kořenové zóně rostlin. Nedostatek pro rostliny přijatelného dusíku v jakékoliv růstové fázi kukuřice snižuje buněčné dělení a prodlužování buněk, což zkracuje délku listů a prodlužuje čas pro vývoj listů. Snižené dávky dusíku snižují výnos zrna o 43-74 % a počet zrn na rostlině o 33-65 % (Amanullah & Shah 2010). Dle Adams et al. (2004) rostliny přijímají velké množství dusíku, který využívají pro vegetativní růst. Pokud je však dusík rostlinami přijímán nadbytečně, vyvolává u nich měkký, bujný růst, kvůli kterému jsou části rostlinného těla náchylnější k napadnutí škůdci či chladovému poškození.

Při pěstování silážní kukuřice probíhá nitrifikace pomaleji, než když je na pozemku udržován trvalý travní porost. To je z důvodu nižší zásobenosti půdy dostupným uhlíkem, který se nachází v kořenových exsudátech těchto travních porostů (Velthof et al. 2020).

Největším finančním nákladem vstupujícím do produkce silážní kukuřice je hnojení dusíkem. Uvádí se, že výnos kukuřice se zvyšuje zároveň s aplikovaným množstvím dusíkatého hnojiva, dokud není dosaženo vrcholového bodu, po kterém již zvyšování dávky dusíkatého hnojiva nemá žádný vliv na výnos či ostatní parametry. Maximálně efektivní množství dodaného dusíku se pohybuje okolo 140 kg na hektar. Následné navyšování dávky dusíku již není ekonomicky ani ekologicky výhodné (Hassan et al. 2010). Za ekonomicky optimální dávku hnojení dusíkem je považovaná taková dávka, u které jsou náklady na přidání ještě jednoho kilogramu vyšší, než by byla hodnota výnosu z tohoto přidání (Schröder et al. 1998). 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). Růst kořenů je zvyšován pouze za dostatečné koncentrace dusíku v půdě. Za nízkých koncentrací dusíku v půdě je růst kořenů pomalý. Šlechtěním silážní kukuřice byly vyšlechtěny nové hybridy, jejichž kořeny mají odlišnou architekturu oproti těm předchozím. Nové kultivary mají méně uzlinových kořenů a větší vzdálenost těchto kořenů od bočního větvení. To potencionálně zvyšuje hloubkové hledání živin a efektivitu využití dusíku v půdě (Taube et al. 2020). Kukuřice je tak velmi náročnou plodinou na zpracování půdy. Mohutný kořen vyžaduje hlubokou přípravu půdy, aby bylo možné vytvořit příznivé podmínky pro příjem vody a živin (Novák a Vrzal 1995). Dalším způsobem hnojení je fertigace. Jedná se o způsob souběžné aplikace hnojení a závlahy. Tento způsob má konzistentní vliv na celkovou efektivitu využití dusíku a jeho rovnoměrnější distribuci. Takové hnojení však není určeno do našich polních podmínek, ale může být využíváno malopěstiteli (Hassan et al. 2010).

3.2.2 Příjem dusíku silážní kukuřicí

Zprostředkování interakcí genotypu rostliny s půdou a povětrnostními vlivy je složitý proces. (Novák & Vidovič 2003). Efektivní využití aplikovaného dusíku je považováno za jeden z nejdůležitějších vstupů potřebných pro zvýšení výnosů kukuřice (Amanullah & Shah 2010). Dusík je v převaze přijímán ve formě aniontu NO_3^- (nitrátová forma), ale také může být přijímán ve formě NH_4^+ (amoniakální forma). V profilu ornice se dusík vyskytuje převážně v nitrátové formě, a to i v případech, že na pole bylo aplikováno hnojivo s amoniakální formou dusíku. Amoniakální dusík je totiž poután do sorpčního komplexu, zatímco nitrátový nikoliv. Nadbytek nitrátové formy může vést k nahromadění nitrátů do rostlin nebo jejich vyplavení či vytěkání. Přílišné amoniakální hnojení může vést k okyselení zemědělských půd (Baier et al. 1988). Mechanizmy kořenů rostlin kukuřice, podílející se na příjmu těchto dvou forem dusíku, mohou hrát klíčovou roli pro jeho příjem (Mascia et al. 2019). Obsah dusíku v rostlinách silážní kukuřice se výrazně snížil z průměrné hodnoty 13 g dusíku na kilogram sušiny, která byla běžná v osmdesátých a devadesátých letech minulého století, na dnešní průměrnou hodnotu 10 – 11 g dusíku na kilogram sušiny (Velthof et al. 2020).

Úprava aplikačních dávek dusíku dle potřeb plodiny může zlepšit využití dusíku a snížit jeho ztráty. Dle polních pokusů bylo dosahováno nejlepšího využití dusíku rostlinou kukuřice z minerálních hnojiv za aplikace v rozpětí 60 až 120 kg dusíku na hektar zemědělské půdy (Černý et al. 2012). Výnos zrna silážní kukuřice je zvyšován s množstvím aplikovaného dusíku (Amanullah & Shah 2010). Příjem živin rostlinami silážní kukuřice je velmi specifický a liší se od ostatních plodin rychlostí a dobou příjmu a také tím, do kterých rostlinných částí jsou živiny ukládány. Dusík je v těchto rostlinách vysoce mobilní, ve fázi růstu R2 se začíná přesouvat do zrna (Bender et al. 2013). Pokud rostliny silážní kukuřice nemají dostatek přijatelného dusíku v prvních fázích vegetace, vykazují nižší obsah dusíku i v následných obdobích (Černý et al. 2012). Obecně může silážní kukuřice využívat dusík z minerálních a organických hnojiv poměrně efektivně. Příjem dusíku rostlinou však zpomaluje dva týdny po květu palic. Do této fáze se často rostlina dostane v polovině měsíce srpna a pak nastává riziko vyplavování mineralizovaného dusíku z aplikovaných organických či minerálních hnojiv (Kayser et al. 2011). Dynamika uvolňování a příjmu dusíku rostlinami silážní kukuřice je v porostu založeném pomocí bezorebné technologie zpracování půdy snížena oproti konvenčním technologiím zpracování půdy (Struck et al. 2019). Hybridy silážní kukuřice se liší rozdílnou produktivitou i reakcí na hnojení dusíkem. Také růstové parametry jsou ovlivněny výběrem hybridů kukuřice (Faheed et al. 2016). Hassan et al. (2010) ve své práci uvádějí, že optimální přísun živin je pro růst kukuřice zásadní. Růst a výnos kukuřice může být ovlivněn výběrem hnojiva. Druh hnojiva ovlivňuje i využití dodaných živin. Dále uvádějí, že způsob aplikace hnojiva ovlivňuje příjem živin do plodiny a jejich výnos. Plodina je obvykle schopna využít 30-50 % dodaného anorganického dusíku. Jeho zbytek se pak z pozemků ztrácí těkáním, denitrifikací nebo vylouhováním ve formě dusičnanů. Podpovrchová aplikace hnojiva poskytuje u rostlin vyšší výnos než ta povrchová. Autoři práce doporučují aplikaci hnojiva do prostoru 5 centimetrů vedle rostliny či pod výsev rostliny. Množství pouze 50% anorganického hnojiva dodaného rostlinám podpovrchovým způsobem mělo stejné pozitivní účinky jako na rostliny po aplikaci celé dávky hnojiva na povrch půdy. Efektivita využití aplikovaného dusíku závisí na rychlosti působení hnojiva.

Výhodou této aplikace je jeho pozvolnější působení a snížení vyplavování. Celkově tak rostliny dokážou přijmout vyšší množství dusíku a tvořit kvalitnější výnos. Adekvátním využitím hnojiv můžeme dosáhnout až o 67 % vyššího výnosu oproti nehnojeným pozemkům. Dle Černého et al. (2012) je stanoveno potřebné množství obsahu dusíku v rostlinách silážní kukuřice na 1,05 %. To je množství, při jehož obsahu by rostliny měly tvořit maximální výnos. Jedná se tedy o kritickou koncentraci dusíku a odpovídá aplikaci 100 kg dusíku na hektar.

Výnos sušiny silážní kukuřice se mezi roky 2000 – 2015 meziročně zvýšil o 0,9 % na písčitéch půdách a o 0,6 % na jílovitých půdách. Nárůst těchto výnosů lze především přičíst genetickému pokroku. S narůstajícími výnosy se zvyšuje i odběr živin rostlinou silážní kukuřice. Rannější odrůdy kukuřice přijímají nižší množství dusíku, protože i výnosy těchto porostů jsou nižší (Velthof et al. 2020). Nejeefektivněji aplikujeme dusík, pokud tento prvek dodáváme do půdy samostatně. Tímto hnojením se dusík projeví nejvíce v růstu rostlin. Jednostranné hnojení dusíkem však snižuje půdní úrodnost a u ostatních živin, které jsou z půdy odvezeny při sklizni, už nedojde k jejich navrácení (Prokeš a Zeman 2014). Míra příjmu dusíku silážní kukuřicí ovlivňuje její výnos. Rozdíly v akumulaci dusíku v sušině kukuřice je přisuzováno příjmu dusíku po fázi kvetení (Amanullah et al. 2009). To shodně uvádějí Amanullah & Shah (2010), kteří ve své práci udávají pozitivní působení vyšších dávek dusíku během pozdější růstové fáze na tvořící se výnos. To je zvyšováno úměrně tomu, jak je zvyšována rychlost působení dusíkatého hnojiva. Výnosy zrna a biomasy silážní kukuřice jsou přímo úměrné délce trvání vegetativní a reprodukční fázi. Šířka listů kukuřice se zmenšuje, dosahuje-li půda vysoké hladiny dusíku, ale také při vysoké hustotě rostlin na plochu. Listová plocha a výnos je zvyšován, pokud je aplikováno dusíkaté hnojivo s vyšší rychlostí působení dusíku (Amanullah et al. 2009).

Nadměrné aplikační dávky dusíku nemohou být rostlinou kukuřice přijímány a místo toho snižují efektivitu využití dusíku (Omar et al. 2022).

Z důvodu sledování cyklu dusíku v prostředí je dnes vypočítáván index efektivnosti využití dusíku (NUE – nitrogen use efficiency). To je zavedená veličina, která je využívána k objasnění správnosti hospodaření s dusíkem. Existuje více způsobů výpočtu tohoto ukazatele, které mohou vykazovat odlišné výsledky (Congreves et al. 2021). V převaze případů je efektivita využití dusíku brána jako komplexní vlastnost tvořená dvěma hlavními složkami, a to příjmem dusíku rostlinami (NUpE – nitrogen uptake efficiency) a účinností využití (NUtE – nitrogen utilization efficiency). V těchto dvou základních částech se vyhodnocuje nejenom biochemie, fenologie a anatomie rostlin, ale i reakce dusíkatého hnojení na životní prostředí. Hlavním úkolem budoucího pěstování kukuřice je zlepšování hodnot NUpE, protože ten se u všech rostlin ze skupiny obilovin pohybuje na nízkých úrovních (Mascia et al. 2019). Většina těchto konvenčních indexů se v zásadě zaměřuje na hodnocení reakcí plodin a bilanci dusíku v krátkodobém měřítku. To však neukazuje pravdivou informaci o cyklování dusíku v průběhu času a jeho náchylnosti ke ztrátám (Congreves et al. 2021).

Ve svém výzkumu se Černý et al. (2012) zabývali stupňovitým hnojením dusíku monokultury silážní kukuřice pěstované na černozemi. Jimi prezentované výsledky pocházely

z dvanácti pokusných let. Výsledky jejich pokusu jsou zobrazeny v tabulce číslo 1. Z jejich závěrů lze usuzovat, že pokud aplikujeme na pozemek dávku 60 kg N.ha⁻¹ dojde ke zvýšení výnosu o 9 %. Při aplikaci 120 kg N.ha⁻¹ došlo ke zvýšení výnosu oproti nehnojené variantě o 28 %. Navýšení aplikační dávky dusíku nad 120 kg N.ha⁻¹ nevykazovalo již výrazné navýšení výnosu. Kukuřice, která v jejich pokusu nebyla dusíkem hnojena obsahovala 0,80 % podílu dusíku v sušině. Obsah dusíku se s narůstajícími dávkami hnojení zvyšoval. Nejvyššího obsahu dusíku dosahovala varianta hnojená 240 kg N.ha⁻¹. Ta obsahovala 1,25 % dusíku v sušině s odběrem 184,78 kg N.ha⁻¹.

Tabulka číslo 1 Stupňovité dávky hnojení kukuřice dusíkem a jeho vliv na výnos a příjem dusíku (Černý et al. 2012).

Varianta	Doba aplikace	Aplikace N v (kg.ha ⁻¹)	Výnos sušiny (t.ha ⁻¹)	Obsah N (%)	Příjem N (kg/ha)
Kontrola		0	11,18	0,80	87,55
N0+60	V7	60	12,14	0,84	99,96
N60	před setím	60	12,57	0,93	116,91
N120	před setím	120	14,02	1,11	156,54
N180	před setím	180	14,21	1,22	177,29
N240	před setím	240	14,76	1,25	184,78

3.2.3 Ztráty dusíku během skladování a aplikace hnojiv

Častou chybou vyskytující se v zemědělské praxi je špatně zvolená dávka a forma dodávaného dusíku. Většinou jsou špatně vyhodnoceny podmínky stanoviště, a tak dochází k vysokým ztrátám dusíku a znečištění podzemních vod (Kayser et al. 2011). V polních podmínkách jsou ztráty dusíku způsobeny převážně 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). Nejvyšší ztráty NO₃⁻ z obilovin byly pozorovány při pěstování silážní kukuřice. Na středně těžkých půdách v dolním Sasku docházelo u kukuřice k vyplavování o 25 kg NO₃⁻ vyššímu, než u ostatních plodin (Möller et al. 2011). Proměna klimatických podmínek, do nichž můžeme řadit i zvýšenou koncentraci atmosférického CO₂, změn srážek a zvýšení teploty vzduchu, povede ke zkrácení cyklu plodin, a tak i příjmové kapacitě dusíku. Rovněž může docházet ke zvyšování rychlosti rozkladu uhlíku. To může vést k akumulaci dusíku v půdě a tím zvýšení hladiny NO₃ (Basso et al. 2016). Se zaváděním nových hybridů odrůd silážní kukuřice je neustále zvyšován příjem dusíku těmito rostlinami. Jedná se tedy o genetický pokrok a zároveň tak dochází ke zvyšování výnosu těchto plodin. Množství biomasy kořenů starých a nových hybridů zůstává stejné (Taube et al. 2020).

V Evropské unii byla od počátku devadesátých let implementována řada vládních a environmentálních nařízení s cílem snížit emise živin do životního prostředí. Těch živin, které souvisejí se zemědělstvím. Členské státy Evropské unie se zavázaly ke stanovení maximální aplikační dávky dusíku a fosforu, využívání meziplodin, období zákazu aplikace statkových hnojiv a mnoho dalších. I přes veškerá opatření, které byly přijaty, často dochází

k vyplavování NO_3 z půdy. Například při pěstování kukuřice na písčitých půdách dochází k vyplavování nad míru, kterou stanovuje nitrátová směrnice (Velthof et al. 2020).

Přidání inhibitorů nitrifikace do na podzim aplikované kejdy, může snížit vyplavování nitrátů do podzemních vod (Velthof et al. 2020).

3.2.4 Negativa spojená s hnojením silážní kukuřice dusíkem

Hnojení dusíkem je často spojováno s významnými negativními dopady na životní prostředí, ale aplikace dusíkatých hnojiv je nezbytný předpoklad k dosažení odpovídající úrovně produkce a kvality rostlinné výroby (Basso et al. 2016). Pěstování silážní kukuřice je ve velké míře spojováno se znečišťováním podzemních vod, a to především vyplavováním dusičnanů do ní. Rostlina kukuřice, která má poměrně krátkou vegetační dobu a málo rozvinutý kořenový systém, odebere z půdy poměrně nízké množství dusíku (225 Kg Ha^{-1}). To ve většině případů neodpovídá množství dodaného dusíku, které je významně vyšší. Rostliny kukuřice přemírou dusíku nijak netrpí. Nedochází k jejich polehání ani ke ztrátě kvality. Množství dusíku, které po takovém pěstování kukuřice zůstane v půdě, je však daleko vyšší než u ostatních plodin (Nevens & Reheul 2005). Toto tvrzení se shoduje i s prací Nannen et al. (2011). Ti udávají, že i přes to, že má kukuřice vysokou využitelnost dusíku na pozemcích, kde byla pěstována, zůstává velké množství této živiny. Je to z toho důvodu, že míra hnojení neodpovídá odběru živin rostlinou a je daleko vyšší.

Neadekvátní vysoké hnojení dusíkem může v důsledku vést ke kontaminaci zdrojů podzemních vod, k degradaci půdy a může způsobit i zdravotní obtíže. Těmto negativům se můžeme vyhnout, pokud se vyvarujeme nadměrné dávce hnojení dusíku nebo jejího rozdělení do více aplikací. Také je množné využívat pomalu působící hnojiva, a tak snížit ztráty dusíku vyplavováním a zvýšit příjem dusíku rostlinou. Neoptimálnější přístup hnojení silážní kukuřice dusíkem je dodání pouze takového množství živin, které kukuřice vyžaduje pro svůj růst (Hassan et al. 2010). Antje a Friedhelm (2004) uvádějí, že množství ztrát dusíku může být omezeno výběrem vhodného hnojiva.

Jednou z nevýhod používání dusíkatých hnojiv je, že veškerý takto dodaný dusík není rostlinou přijat. Výhradní používání chemických hnojiv způsobuje zhoršování fyzikálně-chemických a biologických vlastností půd (Faheed et al. 2016). Celkové množství zbytkových dusičnanů v půdě je přímo závislé na rychlosti působení dusíkatého hnojiva a frekvenci pěstování v osevním postupu. Pokud pěstujeme silážní kukuřici, můžeme aplikovat na jeden hektar zemědělské půdy pouze 170 kg dusíku (Nevens & Reheul 2005).

3.2.5 Legislativa České republiky zabývající se aplikací dusíkatých hnojiv

Evropská unie upravuje nařízení pro členské státy týkající se ochrany vod před znečištěním dusičnany, a to zejména ve zranitelných oblastech směrnici 91/676EHS o ochraně vod před znečištěním dusičnany ze zemědělských zdrojů. Tato směrnice stanovuje nástroje pro snížení znečištění vod dusičnany ze zemědělských zdrojů a definuje pravidla pro vymezení zranitelných oblastí i požadavky na tvorbu a zavedení akčního programu. Tato směrnice se také nazývá „nitrátová směrnice“. Do české legislativy byla implementována

prostřednictvím § 33 vodního zákona (zákon č. 254/2001 Sb.). V tomto zákoně jsou formulovány tři hlavní požadavky směrnice Evropské rady. Jsou zde vymezeny zranitelné oblasti, je vytvořen akční program a popsáno pravidelné přezkoumávání. Případné úpravy vymezení zranitelných oblastí a akčních programů v intervalech nepřesahují čtyři roky. Stanovení zranitelných oblastí a akčních programů je dále legislativně řešeno v nařízení vlády č. 262/2012 Sb. Vládou ČR byl 1. července 2020 vyhlášen 5. akční program na pětileté období od roku 2020 do roku 2024. Dle nařízení vlády č. 262/2012 Sb. jsou na orné půdě a trvalých travních porostech vymezena období zákazu hnojení, která jsou zobrazena v tabulce číslo 2 (Wollnerová 2022).

Tabulka číslo 2 Vymezení zákazu aplikace dusíkatých hnojiv na orné půdě a TTP (Wollnerová 2022).

Klimatický region *	Minerální dusíkatá hnojiva	Hnojiva s rychle uvolnitelným dusíkem	Hnojiva s pomalu uvolnitelným dusíkem
0-5	1.11.-15.2. (1.11. - 31.1. **)	15.11.-15.2. (15.11.-31.1.**)	15.12.-15.2.
6-7	1.11.-28.2. (1.11.-15.2.**)	15.11.-28.2. (15.11.-15.2.**)	15.12.-28.2.
8-9	15.10.-28.2. (15.10-15.2.**)	5.11.-28.2. (5.11.-15.2.**)	15.12.-28.2.
* první číslice kódu bonitované půdně ekologické jednotky.			
** platí na zemědělských pozemcích s průměrnou sklonitostí nepřevyšující 5 stupňů a s porostem ozimých plodin.			

3.3 Hnojení silážní kukuřice fosforem

Fosfor rostliny vyžadují pro růst a fotosyntézu. Je také nepostradatelný pro průběh metabolických procesů a dosažení výnosu (Jena et al. 2015). Pokud je rostlina silážní kukuřice pěstována v prostředí s nedostatkem fosforu, dochází u ní ke snížení vývoje a výnosu. Fosfor je nezbytný pro tvorbu semen a jejich zrání. Také se podílí na dlouhé řadě fyziologických procesů nutných pro vývoj a zrání rostlin. Fosfor je zprostředkovatelem enzymatických reakcí v rostlině. Je nezbytný pro dělení buněk, protože je základní součástí nukleoproteinů. Ty se podílejí na reprodukci buněk (Onasanya et al. 2009). Při správné výživě silážní kukuřice fosforem je nezbytné zajistit dostatečné množství dostupného fosforu během ranného růstu kukuřice. To má totiž dopad na konečný výnos. Během roku aplikace tvoří příjem fosforu z aplikovaného minerálního hnojiva pouze 15 – 30 %. Je tedy nezbytné, aby měla rostlina dostatek dostupného fosforu z předchozích aplikací. Organická hnojiva pocházející z výkalů hospodářských zvířat se liší dle původce nejen koncentrací fosforu, ale také obsahem sloučenin, ve kterých je fosfor obsažen (Jing et al. 2019). Vaněk et al. (2016) udávají důležitost obsahu fosforu v mladých rostlinách. Ty však přijímají fosfor rovnoměrně během celé vegetace. Příjem tohoto prvku rostlinami je aktivní proces vyžadující dostatek energie. Při nízkých teplotách mohou mít teplomilné rostliny k dispozici málo energie, a to z toho důvodu, že u nich asimilační pochody začínají až při vyšších teplotách. Tyto rostliny tak mohou vykazovat nedostatek fosforu i při jeho dostatku v půdě. Za chladného či suchého počasí je příjem fosforu ztížen a tento deficit nemusí být zcela nahrazen. Na listech kukuřice se poté objeví antokyanové zbarvení. Pro příjem fosforu je rozhodující vytvoření rozsáhlého kořenového systému. Fytáza je enzym, který při klíčení uvolňuje anionty kyseliny fosforečné. Ty jsou hlavním zdrojem fosforu pro mladé rostliny. Semeno kukuřice však vykazuje jednu z nejnižší aktivity fytázy ze zemědělských plodin. Obiloviny jsou také skupinou plodin, které mají nízkou osvojovací schopnost fosforu. Asrade et al. (2013) shodně uvádějí, že kukuřice má ze všech plodin největší a nepřetržitou kapacitu příjmu fosforu po celý její životní cyklus. Dále uvádí, že se nedostatek fosforu podílí na snižování výnosu kukuřice, avšak oproti dusíku a draslíku nebývá tento prvek limitním. Z neobnovitelných zdrojů pochází 90 % minerálního fosforu a 67 % světové rozlohy je postiženo nedostatkem fosforu.

Fosfor je v půdě méně pohyblivý než dusík a většina aplikovaného fosforu v půdě zůstane. Riziko vyplavení tohoto prvku do povrchových vod je úměrně zvyšováno s narůstající dávkou aplikovaných fosforečných hnojiv (Velthof et al. 2020). Fosfor je pro rostliny nejdostupnější v ornici a jeho dosažitelnost strmě klesá s hloubkou půdního profilu. Hloubka umístění dostupného fosforu ovlivňuje vývoj a distribuci kořenů. Mnoho studií poukazuje na fakt, že rostliny v případě potíží při získávání fosforu reagují na tento nedostatek adaptací kořenové morfologie a fyziologie, která zvyšuje jejich schopnost si tento prvek osvojit (Chen et al. 2022). Při zjištění nedostatku fosforu během vegetace je jeho doplnění velmi obtížné kvůli jeho omezené pohyblivosti v půdě. Využití mimokořenové aplikace nemusí být také vždy účinné. Vysoké předzásobení hnojení fosforem před pěstováním kukuřice může mít na půdách s vysokou půdní zásobou negativní následky. Rozpustné fosforečnany na sebe poutají kovy za vzniku nerozpustných sloučenin. V těchto případech se u rostlin kukuřice může projevit druhotný nedostatek zinku. To se však může v podmínkách České republiky objevit jen velmi výjimečně (Vaněk et al. 2016).

Míra využití aplikovaných fosforečných hnojiv rostlinami se pohybuje mezi 10-25 %. Většina pěstitelů však aplikuje vyšší množství fosforečného hnojiva než rostlina pro svůj růst vyžaduje. Fosfor, který může být využitelný pro výrobu hnojiv, se na naší planetě vyskytuje pouze v omezeném množství a zatím nebylo zjištěno, jak jeho zdroje obnovit. Bude-li spotřeba fosforečných hnojiv pokračovat současným tempem, dojde k vyčerpání globální zásoby fosforu ještě před koncem tohoto století. Zlepšení účinnosti využívání fosforečných hnojiv je zásadní pro udržení celosvětové potravinové bezpečnosti (Chen et al. 2022).

Obsah fosforu v sušině silážní kukuřice byl snížen stejně jako tomu bylo u obsahu dusíku ve stejné hmotě. V osmdesátých letech byla naměřena průměrná hodnota 2,5 g fosforu na kilogram sušiny až na současnou hodnotu 2 g P na kilogram sušiny (Velthof et al. 2020).

Velký přebytek živin má za následek zhoršení kvality podzemních a povrchových vod v důsledku nadměry obsahu dusíku a fosforu. Tento nadbytek způsobuje acidifikaci půdy a eutrofizaci nezemědělského ekosystému v důsledku emisí amoniaku (Velthof et al. 2020).

Chen et al. (2022) se zabývají ovlivněním příjmu dusíku distribucí přijatelného fosforu do rozdílných hloubek půdního profilu. Ve své práci uvádějí, že růst a distribuce kořenů je významně ovlivněna hloubkou umístění hnojiva a hraje důležitou roli pro příjem živin a celkový výnos. Tímto agronomickým opatřením může být vytvořena rovnováha mezi konkurenčními strategiemi rostliny pro hledání živin kořeny. Optimální fenotyp kořenů kukuřice je takový, který představuje kompromis mezi příjmem vody a dusíku z větší hloubky půdního profilu a imobilních živin jako je fosfor z nižších hloubek půdního profilu. Aplikace fosforečného hnojiva do střední hloubky (15 cm) se v jejich polním pokusu ukázalo jako nejefektivnější pro snížení metabolických nákladů a spotřebu živin. Zároveň takovéto hnojení napomáhá růstu kořenů do hloubky, a tak je optimalizován prostor distribuce kořenového systému a je zlepšována dostupnost kořenového systému v celém rozsahu ornice. Tím dochází k adekvátnímu příjmu fosforu, ale i dusíku. Růst kořenů do větších hloubek napomáhá příjmu živin, a tak je oddalováno stárnutí nadzemních částí rostliny. To napomáhá ke zvýšení výnosu biomasy a zrna a zlepšuje efektivitu využití živin. Tento polní pokus byl prováděn na hlinitopísčitéch půdách. Před setím bylo na pozemek aplikováno dusíkaté hnojivo močovina v dávce 315 kg na hektar a síran draselný v dávce 270 kg na hektar. Při setí kukuřice do hloubky 5 cm bylo současně aplikováno P_2O_5 v dávce 105 kg na hektar do rozdílných hloubek půdního profilu. Výsledky dvouletého pokusu se zobrazením příjmu fosforu a dusíku je zobrazeno v tabulce číslo 3. York et al. (2010) ve své práci shodně udávají důležitost kořenové architektury na získávání půdních zdrojů interakcí rostlin a koloběhu živin. Dále uvádějí jako důležité vyvíjení nových genotypů kukuřice s kvalitnější kořenovou architekturou, které budou lepe využívat aplikovaný dusík a tím sníží potřebu aplikace těchto hnojiv.

Tabulka číslo 3 Výsledky polního pokusu s rozdílnou hloubkou aplikace fosforečného hnojiva (Chen et al. 2022).

Pokusný rok	Hloubka aplikace P	Výnos zrna (t.ha ⁻¹)	Počet zrn v palici	Obsah N (kg.ha ⁻¹)			Obsah P (kg.ha ⁻¹)		
				VT	R2	R6	VT	R2	R6
2018	5	9,71	476,2	173,3	205,5	278,5	29,8	40,1	75,5
	10	11,06	493,6	175,1	209,9	280,6	31,3	44,1	81,1
	15	12,18	525,5	182,5	245,5	311,5	34,9	50,2	88,1
	20	11,02	491,5	170,1	225,2	295,1	31,9	48,8	82,6
2019	5	9,29	469,9	180,1	202,3	268,8	29,2	42,4	72,8
	10	10,28	480,4	188,4	258,5	299,1	31,2	57,0	82,1
	15	11,02	506,6	188,5	278,3	326,3	32,0	62,6	90,8
	20	10,03	478,8	175,9	250,8	303,7	30,3	57,1	81,0

3.4 Hnojení silážní kukuřice draslíkem

Kukuřice odebere na tvorbu 1 tuny siláže 2,9 – 3,7 kg draslíku z půdy. Draslík je rostlinou kukuřice přijímán v období od konce června do počátku srpna. Je proto nutné poskytnout kukuřici v tomto období dostatek přijatelného draslíku. Jeho příjem vrcholí 6. až 7. týden vegetace, kdy u kukuřice začíná období počátku kvetení. Případný nedostatek draslíku u kukuřice se projeví mimo ovlivnění biochemických procesů také zevně, a to okrajovou nekrózou spodních listů. Draslíkem jsou totiž přednostně zásobeny meristémy a mladší listy. Kukuřice reaguje výrazněji na nedostatek draslíku než na nedostatek fosforu. Vhodnými hnojivy jsou draselné soli. Aplikace vyšších dávek draselného hnojiva je výhodnější na podzim (Vaněk et al. 2016).

3.5 Hnojení silážní kukuřice sírou

Síra je klíčovou živinou v zemědělství, ovlivňuje metabolismus samotných rostlin a také jejich výnosovou kvalitu. Pro správnou rostlinnou produkci je nutný vstup síry do půdy. Snížená depozice síry má vliv na růst rostlin (Suran et al. 2023). V posledních desetiletích dochází ke snižování obsahu síry v půdách. V ČR byla pro rok 2019 roční depozice síry 4,2 kg na hektar, to je výrazný rozdíl oproti osmdesátým létům minulého století, kdy depozice činila hodnotu 100 kg na hektar. Takový přísun byl dostatečný pro rostlinnou výrobu, avšak nadměra síry mohla působit toxicky na pěstované plodiny. Kukuřice vykazuje dobrou výnosovou odezvu na hnojení sírou v dávkách od 25 do 60 kg na hektar. Požadavky plodin na síru mohou být ovlivněny obsahem půdní organické hmoty, ze které se může síra uvolňovat pro zásobování rostlin (Suran et al. 2021). Organicky vázaná síra je obecně pro rostliny nedostupná. Je totiž hůře rozpustná. V průběhu vegetace může být část této síry mineralizována a uvolňována. Z celkového půdního obsahu síry je 5-10 % v minerální formě. U rychle rostoucích plodin jako je kukuřice může být problematické udržení správné dávky síry. Pro udržení stálého půdního obsahu je také nutné do půdy dodávat uhlík, který je

obsažen v organických hnojivech. Je prokázáno, že hnojení čistírenskými kaly a chlévským hnojem pozitivně působí na obsah síry v půdě (Suran et al. 2023).

3.6 Hnojiva

Jedním z hlavních faktorů, které určují výnos píce, je aplikace hnojiv. Pro optimální růst a vývoj je nutný přiměřený přísun živin v dané růstové fázi. Stupeň využití živin z aplikovaných hnojiv na půdu závisí na povětrnostních podmínkách, biologické charakteristice plodin a množství aplikovaného hnojiva (Eltelib et al. 2006).

Kombinace organických a minerálních hnojiv působí pozitivně na udržitelnou produkci plodin na zemědělské půdě (Nazli et al. 2016).

3.7 Organická hnojiva

Organická hnojiva jsou většinou vlastním produktem zemědělského podniku, který je vytváří pro vlastní spotřebu. Jedná se o odpady živočišné výroby, zbytky po výrobě bioplynu, čistírenské kaly, ale i posklizňové zbytky či záměrně pěstované plodiny určené ke hnojení. Kvalita a množství živin v hnojivech je závislá na vstupních surovinách a skladování těchto hnojiv (Vaněk et al. 2016). Silážní kukuřice je schopná relativně efektivně využívat dusík z organických hnojiv (Komainda et al. 2018).

Fyzikální vlastnosti půdy jsou zlepšovány, pokud je jako zdroj živin pro rostliny využíváno organické hnojení. Zároveň se jedná i o šetrný způsob hnojení ve vztahu k životnímu prostředí. V dnešní době je využívání organických hnojiv preferováno před minerálními hnojivy. Důvodem jsou jejich vysoké ceny a negativní působení na půdní strukturu, životní prostředí a lidské zdraví (Nazli et al. 2016). Organická hnojiva jsou tedy bezpečnějším a ekologickým zdrojem živin, které obnovují úrodnost půdy, předchází potencionálním environmentálním problémům způsobeným nadužíváním minerálních hnojiv. Také vytváří pozitivní zbytkový efekt pro následnou plodinu poskytnutím makro a mikro prvků. To vše platí pouze v případě, že hnojivo bylo na pozemek aplikované správně (Nazli et al. 2016).

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

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 vyloučit až 140 kg dusíku, nosnice však jenom 1 kg. V tabulce číslo 4 jsou u nejčastěji využívaných organických hnojiv znázorněny hodnoty obsahu dusíku a poměry dusíku k uhlíku (McGinn & Janzen 1996).

Tabulka číslo 4 Složení organických hnojiv (Wollnerová 2022).

Hnojiva	Sušina	Org. látek	Uhlík	Dusík	Poměr C : N
	%	kg/t	kg/t	kg/t	
Hněj skotu	22	165	86	6,7	13
Kejda skotu	7,3	57	30	3,9	8
Kejda prasat	5,3	42	22	4,1	5
Digestát	6,5	49	26	4,5	6
Fugát digestátu	4,3	32	17	4,2	6
Zelené hnojení	15	100	50	2-5	10-25

Správně používaná organická hnojiva poskytují fyzikální i chemickou podporu pro rostliny. Na severu Itálie bylo díky aplikaci organických hnojiv sníženo vyplavování dusičnanů v rozmezí od 20 do 50 %. V polních podmínkách dochází přibližně k 15 % ztrátám organického hnojiva (Basso et al. 2016).

Silážní kukuřice je plodina, na kterou lze aplikovat velmi vysoké množství organického hnojiva bez negativních dopadů na výnos a kvalitu plodiny (Velthof et al. 2020).

Původ a druh statkového a organického hnojiva rozhoduje o aktuálním obsahu minerálního dusíku a rychlosti uvolňování dalšího dusíku z nich. Působení hnojiv a rychlost uvolňování dusíku v půdním prostředí lze odhadnout dle poměru uhlíku k dusíku. Podle rychlosti uvolňování dusíku rozdělujeme dusíkatá hnojiva do dvou skupin. Na hnojiva s rychle uvolnitelným dusíkem, která mohou být rychlým zdrojem živin. Do druhé skupiny řadíme hnojiva s pomalu uvolnitelným dusíkem. Ta jsou zdrojem organických látek. V tabulce číslo 5 jsou organická hnojiva rozdělena dle rychlosti působení (Wollnerová 2022).

Tabulka číslo 5 Rozdělení organických dusíkatých hnojiv dle rychlosti jejich působení (Wollnerová 2022).

Hnojiva s rychle uvolnitelným dusíkem	
Statková hnojiva	kejda skotu, kejda prasat, fugát kejdy
	hnojůvka, močůvka, silážní šťávy
	drůbeží trus s podestýlkou, sušený drůbeží trus
	výkaly a moč zanechané zvířaty na pozemku
Org. hnojiva s poměrem C : N nižším než 10	digestát (kapalný) z bioplynových stanic, fugát digestátu
	výpalky
Hnojiva s pomalu uvolnitelným dusíkem	
Statková hnojiva	hněj skotu, hněj prasat, hněj ovcí a koz
	separát kejdy
organická hnojiva s poměrem C : N o hodnotě 10 a vyšší	kompost, separát digestátu
	tuhý digestát z bioplynových stanic
	výpalky

3.7.1 Chlévský hnůj

Nejstarším a nejlevnějším způsobem zvyšování půdní úrodnosti je aplikace chlévského hnoje. Vědci se shodují na tom, že chlévský hnůj je nejlepším zdrojem živin pro půdu, ze kterého může plodina tyto živiny čerpat (Onwubiko & Echcerobia 2019). Chlévský hnůj je výborným zdrojem rostlinných živin a zlepšuje chemické, fyzikální a biologické vlastnosti půdy (Yolcun et al. 2010).

Kvalita chlévského hnoje je závislá na jeho výrobě. Při použití řezané slámy, která pojme větší množství výkalů, snížíme ztrátu dusíku o 30 % až 50 % a je také zlepšeno zrání hnoje. Proces zrání hnoje v sobě zahrnuje kvašení a hnití. Během těchto procesů jsou komponenty rozkládány a přeměňovány na látky jiného kvalitativního složení (Neuberg 1995). Po aplikaci chlévského hnoje na zemědělskou půdu musí být vždy co nejrychleji zapraven do půdy. V opačném případě by se obsah močoviny přeměnil na amoniak a ten by se odpařil do atmosféry (Sogbedji et al. 2006).

Jedním z problémů využívání chlévského hnoje je nízký a nejistý obsah živin v něm. O obsahu živin rozhoduje zdroj hnoje, způsob výroby a rychlost jeho rozkladu (Onwubiko & Echcerobia 2019).

3.7.2 Kejda

Maximální přípustné aplikační množství kejdy bylo Evropskou unií stanoveno na 170 kg na hektar. To odpovídá nitrátové směrnici. Členské státy mohou aplikovat vyšší dávky dusíku v organickém hnojivu, pokud mohou prokázat, že vyšší aplikační dávky nevedou k vyšším koncentracím NO_3 než 50 miligramů na litr této vody (Velthof et al. 2020).

Při dlouhodobé aplikaci kejdy na stejný pozemek byla prokázána vyšší výtěžnost dusíku z tohoto organického hnojiva. Výtěžnost, která v prvním roce činila pouhých 20 %, se po čtvrtém roce aplikace zvýšila na více než 60 % při dávce kejdy, která odpovídala ročnímu přísunu 100 kilogramům dusíku na hektar zemědělské půdy. K tomuto navýšení využitelnosti dusíku dochází díky dlouhodobé mineralizaci aplikované organické hmoty (Velthof et al. 2020).

Účinnost příjmu dusíku z kejdy je oproti minerálním hnojivům nižší, a to především kvůli organicky vázané frakci. Ta zastupuje zhruba 45 % z celkového obsahu N a živiny, které obsahuje jsou v roce aplikace pro rostliny málo přístupné (Nannen et al. 2011).

3.7.3 Čistírenské kaly

Požadavky na zlepšení kvality povrchových vod vedly ke zvýšení kapacity čističek odpadních vod. Tím se navýšila i produkce zde vznikajících kalů. Čistírenské kaly obsahují vysoký obsah organických látek a živin. Obsah živin je však nutné uvádět v sušině, protože obsah vody závisící na ošetření kalů je velmi proměnlivý a může tvořit až 70 % obsahu. Převážná část organických látek je v kalech tvořena odumřelými organismy podílejících se na biologickém procesu čištění vod. Příznivě tak ovlivňují biologickou činnost půd a mohou nahradit ostatní organická hnojiva. Oproti nim je však v kalech nižší obsah draslíku. Povolena

dávka aplikace je 5 tun kalů na hektar ročně. Rizikem využívání čistírenských kalů pro hnojení je obsah rizikových prvků, který je sledován a legislativa udává maximální obsažené množství těchto rizikových prvků, aby nedošlo ke kontaminaci zemědělských půd a následné potravinářské produkci (Vaněk et al. 2016). V Evropě je stále populárnější zpracovávat čistírenské kaly separací. Složení kalů můžeme rozdělit na pevnou a kapalnou fázi. Pevná fáze obsahuje malé množství minerálního dusíku, a to ještě v nesprávném poměru s fosforem. Má však nízký obsah vody a nižší hmotnost. Kapalná fáze má naopak vysoký obsah minerálního dusíku v příznivém poměru k fosforu (Schröder et al. 2014). V České republice může být pro omezenou možnost aplikace organických statkových hnojiv alternativou hnojení stabilizovanými čistírenskými kaly z čistíren odpadních vod (Černý et al. 2012). Trend odklonu od minerálního hnojení a návrat k těm organickým vytváří nutnost výzkumu alternativních a potencionálně dostupných zdrojů hnojiv jako jsou čistírenské kaly. Ty jsou dobrým zdrojem fosforu, ale mohou také obsahovat toxické prvky (Balík et al. 2022).

3.8 Sláma

S inovacemi v živočišné výrobě, při kterých zaniká využití obilné slámy, je stále více sláma využívána jako organické hnojivo. Sláma je významným zdrojem organických látek, které je vhodné zapojit do koloběhu látek a živin. Na jednu tunu slámy se doporučuje aplikovat 4 – 6 kg dusíku. Aplikace tekutých organických hnojiv je vhodnější z důvodu navlhčení slámy. Z minerálních hnojiv je nutné aplikovat ta obsahující dusík s amonnou formou, ne ta s ledkovým dusíkem. Při využívání hnojiva DAM 390 se aplikační dávka pohybuje okolo 70 – 120 kg na hektar (Vaněk et al. 2016).

3.9 Minerální (průmyslová) hnojiva

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 % aplikovaného minerálního hnojiva je využito rostlinou (Schröder et al. 1998). Velkou výhodou, kterou mají minerální hnojiva oproti statkovým, je jejich dostupnost a snadný transport. Statková hnojiva jsou svou výrobou situována do určité oblasti a jejich převoz je obtížný (Schröder et al. 2014).

3.9.1 DAM 390

Minerální hnojivo DAM 390 je vodný roztok dusičnanu amonného a močoviny. Celkově obsahuje 30 % hmotnostního nebo 39 % objemového dusíku. Polovina dusíku v tomto hnojivu je ve formě amidické, čtvrtina ve formě nitrátové a zbylá čtvrtina ve formě amonné. Výhodou tohoto hnojiva je vysoká rovnoměrnost jeho aplikace (Vaněk et al. 2016).

3.9.2 Síran amonný

Minerální hnojivo síran amonný obsahuje dusík ve formě čpavku. V půdní vodě se rychle rozpouští. Většina NH_4^+ je sorbována výměnou sorpcí na půdní koloidy. Tím je značně omezena pohyblivost a vyplavování dusíku v humidnějších podmínkách. Nitrifikace v půdě je u tohoto hnojiva oproti ostatním hnojivům pomalejší. Je tak vhodnou volbou pro základní hnojení. Síran amonný má okyselující charakter, používá se pro hnojení od neutrálních nebo slabě kyselých podmínek pěstování a pro plodiny snášející kyslejší podmínky pěstování. Pozvolnější působení dusíku je vhodné při pěstování kukuřice s delší vegetační dobou (Vaněk et al. 2016).

3.9.3 Kieserit

Kieserit je složen ze síranu hořečnatého a příměsí chloridu draselného. Toto hnojivo je určeno k základnímu hnojení či přihnojení během vegetace. Obsahuje 15 % hořčíku, 21 % síry a 3 % chlóru. Využívá se na půdách s dobrou zásobou draslíku (Vaněk et al. 2016).

4 Metodika

Pro zpracování experimentálních částí této diplomové práce byly využity výsledky pokusů provedeného katedrou agroenvironmentální chemie a výživy rostlin Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů na stanovišti Červený Újezd. Tento pokus probíhá od roku 1990 a je zaměřen na hnojení silážní kukuřice. V pokusu je opakovaně pěstována silážní kukuřice, tedy její pěstování probíhá v časové monokultuře. V roce 1996 byl v pokusu ustálen systém hnojení, který je využíván doposud. Pro tuto práci byly využity výsledky ze čtyř let, a to od roku 2019 až do roku 2022.

Pro pokus bylo využito šesti odlišných postupů hnojení, přičemž jedna varianta byla určena jako kontrolní. Na této ploše nebyla aplikovaná žádná hnojiva. Veškeré varianty hnojení se opakovaly pravidelně každý rok stejným způsobem. Všechny odlišné varianty hnojení v pokusu jsou a byly prováděny ve čtyřech opakováních na pozemcích o rozměrech 20 m x 8,5 m. Výměra jednoho opakování varianty je 170 m².

Během agronomického roku bylo na všechny varianty, mimo kontrolních ploch, aplikováno celkem 120 kg N.ha⁻¹. V tabulce číslo 6 Jsou zobrazena využitá hnojiva a jejich dávka dle jednotlivých variant. V tabulce číslo 7 je zobrazeno množství dodaných živin u každé varianty pokusu.

Tabulka číslo 6 Popis jednotlivých variant polního pokusu.

Číslo varianty	Označení varianty v textu	Druh hnojiva	Dávka hnojiva	Termín aplikace
1	Kontrola	Bez hnojení		
2	Síran amonný	Síran amonný	585	Jaro
3	DAM 390	DAM 390	400	Jaro
4	DAM 390 + P a K	DAM 390	400	Jaro
		Supersosfát trojitý	150	Podzim
		Draselná sůl	300	Podzim
5	DAM 390 s kieseritem	DAM 390	400	Jaro
		Kieserit	400	Jaro
6	DAM 390 se slámou	DAM 390	400	Jaro
		Pšeničná sláma	5000	Podzim
7	Kal	Čistírenský kal		Podzim
8	Hnůj	Chlévský hnůj		Podzim
9	Kejda	Kejda		Podzim

Tabulka číslo 7 Množství dodaných živin k jednotlivým variantám pokusu.

Číslo varianty	Označení varianty v textu	Roční množství živin dodané hnojením kg.ha ⁻¹				
		N	P	K	Mg	S
1	Kontrola	0	0	0	0	0
2	Síran amonný	120	0	0	0	120
3	DAM 390	120	0	0	0	0
4	DAM 390 + P a K	120	31,5	150	0	0
5	DAM 390 s kieseritem	120	0	0	60	80
6	DAM 390 se slámou	120	1)	1)	1)	1)
7	Kal	120	1)	1)	1)	1)
8	Hněj	120	1)	1)	1)	1)
9	Kejda	120	1)	1)	1)	1)

Varianta pokusu, na které nebylo aplikované hnojivo, slouží ke sledování výnosů rostlin a porovnání účinnosti jednotlivých druhů hnojiv. V dlouhodobém hledisku slouží k hodnocení půdních vlastností a reakcí. Termíny výsevu pokusu v jednotlivých pokusných ročnících jsou znázorněny v tabulce číslo 8.

Tabulka číslo 8 Termíny výsevu a sklizní pokusu

Pokusný ročník	Termín výsevu	Termín sklizeň
2019	24.5.	5.9.
2020	17.4.	2.9.
2021	7.5.	15.9.
2022	27.4.	25.8.

4.1.1 Odrůdy silážní kukuřice

Pro polní pokus byly použity dvě odrůdy silážní kukuřice. První z nich byla raná odrůda kukuřice RGT Sixxtus s kombinovaným využitím pro zrno, siláž a bioplyn. FAO číslo této odrůdy kukuřice je 270. Jedná se o dvouliniový hybrid, který byl registrován v roce 2011. Tuto odrůdu je doporučeno pěstovat v obilnářské, řepařské a kukuřičné výrobní oblasti. Optimální hustota porostu pro sklizeň by měla být od 80 do 90 tisíc rostlin na jeden hektar.

V roce 2022 byla produkce odrůdy RGT Sixxtus ukončena, a tak byla pro pokusy využita odrůda RGT Attraxion, která má velice podobné vlastnosti, jako dříve využívaná odrůda. Tato odrůda má trojstranné využití pro produkci zrna a krmiva, ale najde i uplatnění v bioplynových stanicích. Číslo FAO je 270. Jde o dvouliniovou ranou hybridní odrůdu, která rovnoměrně dozrává a je odolnější proti vodnímu stresu, polehání a lámání stonku. Stejně jako u předešlé odrůdy je doporučený výsevek 80-90 tisíc rostlin na hektar.

4.1.2 Charakteristika pokusného stanoviště

Polní pokus byl 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 tu dosahuje 7,7 °C. Na stanoviště průměrně spadne 493 mm srážek ročně. Půdy stanoviště jsou hlinité a půdní typ je luvizem. Půdní pH se pohybuje okolo hodnoty 6,13. Během pokusu nebylo na pozemky aplikované vápenaté hnojivo. V tabulce číslo 9 je zobrazeno množství živin před zahájením pokusu na stanovišti Červený Újezd.

Tabulka číslo 9 Obsah prvků 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 se řídil podle doby, ve které porost kukuřice dosáhl mléčné – voskové zralosti. Jednotlivě jsou tyto dny zobrazeny v tabulce číslo 8. Sklizená nadzemní biomasa byla bezprostředně po posečení zvážena. Dle tohoto měření byl následně vypočten celkový výnos čerstvé hmoty v t. ha⁻¹. Pomocí řezačky byla ze sklizené hmoty vytvořena řezanka, která byla následně analyzována v laboratoři.

4.1.4 Laboratorní analýza vzorků

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

4.1.5 Stanovení obsahu dusíku v hmotě silážní kukuřice

Pro stanovení obsahu dusíku ve hmotě silážní kukuřice bylo v laboratorních podmínkách využito Kjeldahovy metody. Tato analytická metoda se skládá ze tří na sebe navazujících kroků, kterými jsou mineralizace, destilace a titrace. Pro část mineralizace bylo nutné vytvořit směs smícháním 0,5 g vzorku, 1,7 g katalyzátoru a 10 ml 96% H₂SO₄. Katalyzátor byl vytvořen smísením 1 g CuSO₄.5H₂O, 100g K₂SO₄ a 0,1 selenu. Katalyzátor

byl přidán za účelem dosažení dostatečné mineralizace. Takto připravená směs byla 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 dvě poslední části analýzy, 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.

4.1.6 Odběr dusíku rostlinami

Výpočet odběru dusíku rostlinami byl proveden na základě výsledků obsahu dusíku a výnosu sušiny. Výsledky obsahu dusíku (%) byly přepočteny na obsah dusíku v kilogramech v 1 tuně a následně byl výsledek vynásoben výnosem sušiny v ($t \cdot ha^{-1}$).

4.1.7 Statistické vyhodnocení

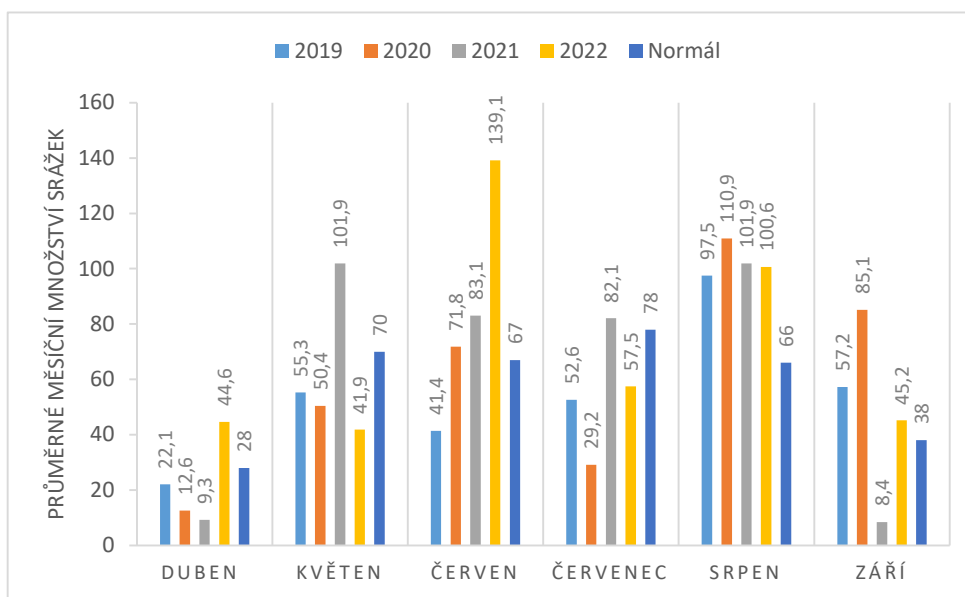
Pro statistické vyhodnocení byl využit program Statistica 12, kde byla využita jednofaktorová ANOVA. Podrobněji byly hodnoty zpracovány pomocí Scheffého metody s intervalem 95% spolehlivosti.

4.1.8 Úhrn srážek a průměrná měsíční teplota

Tabulka číslo 10 Průměrné měsíční srážky na stanovišti Červený Újezd

Srážky na stanovišti Červený Újezd ($mm \cdot m^2$)						
	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září
2019	22,1	55,3	41,4	52,6	97,5	57,2
2020	12,6	50,4	71,8	29,2	110,9	85,1
2021	9,3	101,9	83,1	82,1	101,9	8,4
2022	44,6	41,9	139,1	57,5	100,6	45,2
Normál	28	70	67	78	66	38

Graf číslo 1 Průměrné měsíční srážky na stanovišti Červený Újezd.

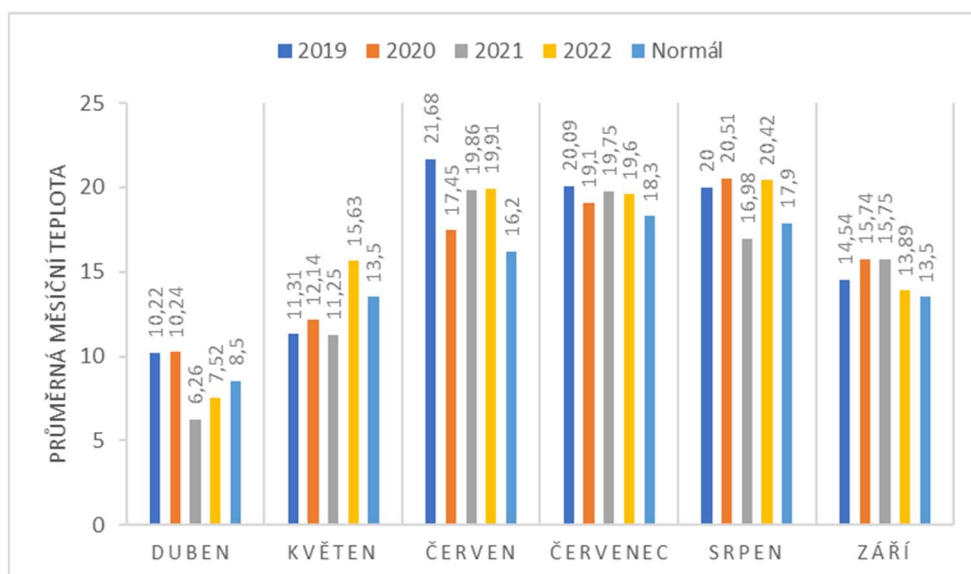


V měsíci dubnu byl u všech pokusných let, kromě roku 2022, zaznamenán nižší úhrn srážek oproti srážkovému normálu. Nejnižší úhrn srážek s hodnotou 9,3 mm.m² byl zaznamenán v roce 2021. Nejvyšší v roce 2022 s hodnotou 44,6 mm.m². V měsíci květnu byl zaznamenán nižší úhrn srážek oproti srážkovému normálu v letech 2019, 2020 a 2022. Nejnižší úhrn srážek 41,9 mm.m² ze všech pokusných let byl naměřen pro měsíc květen v roce 2022. V jediném pokusném roce byl v měsíci květen zaznamenán vyšší úhrn srážek oproti srážkovému normálu, a to v roce 2021 s hodnotou 101,9 mm.m². V měsíci červnu dosahovaly pokusné roky 2020, 2021 a 2022 vyšší hodnoty srážek oproti srážkovému normálu. Nejvyšší úhrn byl zjištěn v pokusném roce 2022 s hodnotou 139,1 mm.m². Naopak nižší úhrn srážek v měsíci červnu oproti srážkovému normálu a nejnižší zaznamenaná hodnota 41,4 mm.m² byla zjištěna v pokusném roce 2019. V měsíci červenci byl zjištěn nadprůměrný a zároveň nejvyšší úhrn srážek 82,1 mm.m² v pokusném roce 2021. U všech ostatních pokusných let (2019, 2020 a 2022) byl naměřen nižší úhrn srážek oproti srážkovému normálu. Nejnižší úhrn srážek 29,2 mm.m² byl zaznamenán v pokusném roce 2020. Měsíc srpen byl ve všech pokusných letech srážkově nadprůměrný. Nejnižší úhrn srážek 97,5 mm.m² byl naměřen v pokusném roce 2019 nejvyšší úhrn srážek 110,9 mm.m² byl pak zjištěn v pokusném roce 2020. V měsíci září byl v letech 2019, 2020 a 2022 zaznamenán vyšší úhrn srážek oproti srážkovému normálu. Nejvyšší úhrn srážek z těchto pokusných let byl zaznamenán v roce 2020. Nejnižší úhrn srážek a zároveň jediný pokusný rok, ve kterém byla naměřena nižší hodnota oproti srážkovému normálu byl pokusný rok 2021 s hodnotou 8,4 mm.m².

Tabulka číslo 10 Průměrná měsíční teplota na stanovišti Červený Újezd

Teplota na stanovišti Červený Újezd (C°)						
	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září
2019	10,22	11,31	21,68	20,09	20	14,54
2020	10,24	12,14	17,45	19,1	20,51	15,74
2021	6,26	11,25	19,86	19,75	16,98	15,75
2022	7,52	15,63	19,91	19,6	20,42	13,89
Normál	8,5	13,5	16,2	18,3	17,9	13,5

Graf číslo 2 Průměrná měsíční teplota na stanovišti Červený Újezd.



V měsíci dubnu byla u pokusných let 2019 a 2020 průměrná měsíční teplota vyšší oproti teplotnímu normálu. Nejvyšší teplota 10,24 °C byla naměřena v pokusném roce 2020. V pokusných letech 2021 a 2022 byla průměrná měsíční teplota naopak nižší oproti teplotnímu normálu. Nejnižší průměrná měsíční teplota 6,26 °C byla zaznamenána v pokusném roce 2021. V měsíci květnu byla zaznamenána nižší průměrná měsíční teplota u pokusných let 2019, 2020 a 2021 oproti teplotnímu normálu. Nejnižší teplotu 11,25 °C v měsíci květnu vykazoval pokusný rok 2021. Nejvyšší a zároveň jediná teplota, která byla vyšší oproti teplotnímu normálu byla naměřena pro měsíc květen v pokusném roce 2022 s hodnotou 15,63 °C. Pro měsíc červen byla ve všech pokusných letech zaznamenána vyšší teplota oproti teplotnímu normálu. Nejvyšší průměrná měsíční teplota v měsíci červen (21,68 °C) byla zaznamenána v pokusném roce 2019. Naopak nejnižší teplota ze všech pokusných let byla zjištěna v pokusném roce 2020 s hodnotou 17,45 °C. V měsíci červenci byla u všech pokusných let zjištěna vyšší průměrná měsíční teplota oproti teplotnímu normálu. Nejvyšší průměrná měsíční teplota pro měsíc červenec (20,09 °C) byla naměřena v pokusném roce 2019. Naopak nejnižší průměrná měsíční teplota pro měsíc červenec byla naměřena v pokusném roce 2020 s hodnotou 19,1 °C. V měsíci srpnu byla zaznamenána vyšší průměrná

měsíční teplota v pokusných letech 2019, 2020 a 2022. Nejvyšší průměrná měsíční teplota pro měsíc srpen (20,51 °C) byla zjištěna v pokusném roce 2020. V pokusném roce 2021 byla naměřena průměrná měsíční teplota 16,98 °C. To byla nejnižší naměřená průměrná měsíční teplota ze všech pokusných let a zároveň to byl jediný pokusný rok, kdy byla tato teplota nižší oproti teplotnímu normálu. Měsíc září byl ve všech pokusných letech teplotně nadprůměrný. Nejvyšší průměrná měsíční teplota (15,75 °C) v tomto měsíci byla naměřena v pokusném roce 2021. Nejnižší průměrná měsíční teplota (13,89 °C) byla zjištěna v pokusném roce 2022.

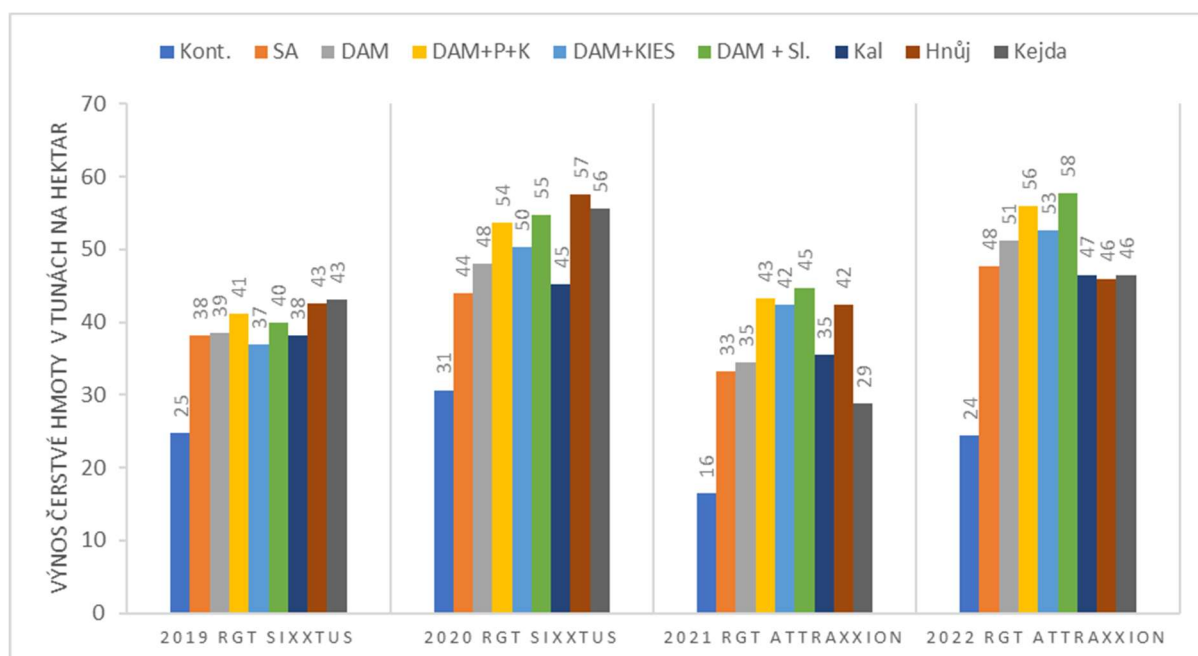
5 Výsledky

Statistické zpracování výsledků této diplomové práce se nachází v samostatných přílohách práce.

5.1 Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice

V grafu číslo 3 jsou zobrazeny výnosy čerstvé hmoty pro veškeré varianty hnojení ze čtyř zahrnutých pokusných let. V grafu číslo I je vyobrazeno statistické vyhodnocení výnosu čerstvé hmoty silážní kukuřice.

Graf číslo 3 Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice (2019, 2020, 2021 a 2022).



5.1.1 Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice v roce 2019

V roce 2019 vykazovaly pokusné plochy, mimo variantu kontrola, menší rozdíly než v následujících letech. Průměrný výnos čerstvé hmoty všech variant byl 38,13 tun na hektar. Ze všech čtyř pokusných let vykazovaly pokusné plochy druhého nejnižšího průměrného výnosu čerstvé hmoty. Nejnižšího dosaženého výnosu čerstvé hmoty ($24,81 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a zároveň nejvyššího rozdílu od průměrného výnosu této hmoty bylo pozorováno u varianty kontrola. Naopak nejvyšší hektarový výnos byl pozorován na plochách hnojených kejdou, které průměrně dosahovaly výnosu 43,03 tun na hektar čerstvé hmoty. Podobné výsledky výnosu čerstvé hmoty byly navázeny u ploch hnojených síranem amonným ($38,13 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), hnojivem DAM 390 ($38,52 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a čistírenskými kaly ($38,07 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Oproti těmto variantám dosahovaly podobných, avšak vyšších výnosů, čerstvé hmoty pokusné plochy po aplikaci

hnojiva DAM 390 s fosforem a draslíkem ($41,21 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a hnojiva DAM 390 aplikovaného se slámou ($39,98 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Ze všech hnojených variant bylo pozorováno nejnižšího výnosu čerstvé hmoty $36,85$ tun na hektar u varianty společné aplikace hnojiva DAM 390 s kieseritem. Druhého nejvyššího výnosu čerstvé hmoty $42,53$ tun na hektar dosahovaly plochy hnojené chlévským hnojem. V tabulce číslo I je znázorněn Scheffého test pro parametr: Výnos čerstvé hmoty v roce 2019. Z něj je patrné, že statistická významnost vzniká pouze mezi nehnojenou variantou kontrola a ostatními variantami.

5.1.2 Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice v roce 2020

V pokusném roce 2020 byla pozorována větší rozdílnost výsledků oproti předchozímu roku. Průměrný hektarový výnos čerstvé hmoty byl vypočten na $48,85$ tun na hektar. Tento výsledek byl nejvyšší ze všech zpracovaných pokusných let. Nejnižšího výnosu čerstvé hmoty dosahovala varianta bez aplikace hnojiv ($30,67 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Nejvyšší výnos čerstvé hmoty byl sklizen na pozemcích hnojených chlévským hnojem ($57,45 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a druhý nejvyšší výnos čerstvé hmoty byl zaznamenán u ploch hnojených kejdou ($55,60 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Varianta s aplikací síranu amonného dosahovala nejnižšího výnosu čerstvé hmoty s hodnotou $44,00$ tun na hektar ze všech ploch s aplikací hnojiva. Plochy hnojené čistírenskými kaly vykazovaly druhý nejnižší výnos čerstvé hmoty ($45,18 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) z hnojených variant pokusu. Varianty obsahující hnojivo DAM 390 tvořily pomyslný střed výnosů s hodnotami, kde bylo samotné hnojivo DAM 390 ($48,08 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), hnojivo DAM 390 s přidavkem P a K hnojiva ($53,70 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), hnojivo DAM 390 s kieseritem ($50,25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a hnojivo DAM 390 společně se slámou ($54,75 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). V tabulce číslo II je znázorněn Scheffého test pro parametr: Výnos čerstvé hmoty v roce 2020. Z něj je patrné, že vzniká statistická významnost pouze mezi nehnojenou variantou kontrola a ostatními variantami.

5.1.3 Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice v roce 2021

Pokusný rok 2021 byl ze všech zahrnutých pokusných ročníků výnosově nejslabší. Průměrný výnos čerstvé hmoty dosahoval hodnoty $35,69$ tun na hektar. Nejnižší výnos čerstvé hmoty ($16,46 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl navážen u varianty kontrola bez aplikace hnojiv. Druhý nejnižší výnos stejného parametru a zároveň nejnižší ze všech ploch po aplikaci hnojiva byl zaznamenán u varianty kejda s hodnotou $28,86$ tun na hektar. Naopak nejvyšší výnos čerstvé hmoty ($44,75 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl navážen na plochách hnojených hnojivem DAM 390 s přidavkem slámy. Druhý nejvyšší výnos čerstvé hmoty ($43,26 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl na další variantě obsahující hnojivo DAM 390 společně s fosforem a draslíkem. U zbylých variant, u kterých bylo také aplikováno hnojivo DAM 390 byly zjištěny tyto hodnoty výnosu čerstvé hmoty: u samotného hnojiva DAM 390 ($35,51 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a u varianty, kdy bylo hnojivo DAM 390 na pozemky aplikováno společně s kieseritem, byl vytvořen výnos $42,43$ tun čerstvé hmoty na hektar. Nejnižší výnos z minerálně hnojených variant, byl pak zaznamenán u varianty s aplikací síranu amonného ($33,16 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). U zbylých organicky hnojených variant byl u čistírenských kalů navážen výnos čerstvé hmoty ($35,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a u varianty s hnojením chlévským hnojem ($42,30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). V tabulce číslo III je zobrazen Scheffého test pro parametr: Výnos čerstvé

hmoty v roce 2021. Z něj je patrné, že vzniká statistická významnost mezi variantou kontrola a ostatními variantami mimo variantu kejda. Dále vzniká statistická významnost mezi variantou kejda a DAM 390 s fosforem a draslíkem, DAM 390 s kieseritem a DAM 390 s přídatkem slámy.

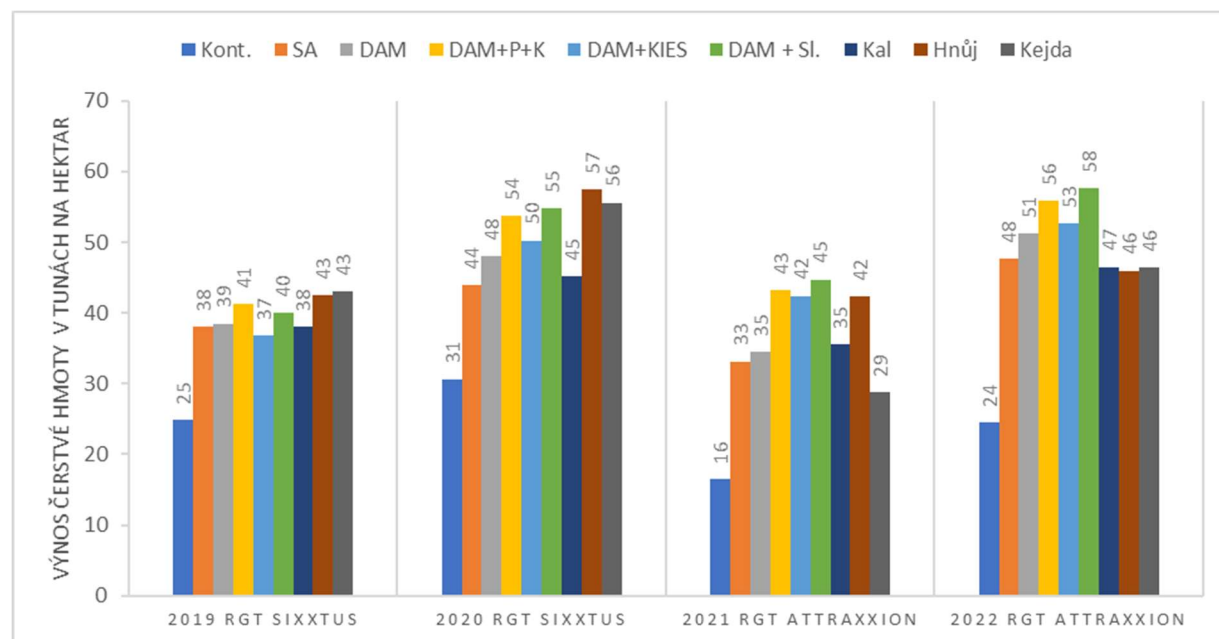
5.1.4 Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice v roce 2022

V pokusném roce 2022 byl zaznamenán druhý nejvyšší průměrný výnos ze zahrnutých pokusných roků, a to (47,62 t.ha⁻¹). Jako u všech předchozích let byl zaznamenán nejnižší výnos čerstvé hmoty (24,49 t.ha⁻¹) u nehnojené varianty kontrola. Nejvyšší výnos čerstvé hmoty (57,7 t.ha⁻¹) byl vytvořen u varianty DAM 390 společně se slámou, ve které je kombinováno minerální a organické hnojení. Druhý nejvyšší výnos čerstvé hmoty (55,88 t.ha⁻¹) byl vytvořen v další pokusné variantě, ve které bylo využito hnojivo DAM 390 společně s fosforem a draslíkem. Výnos čerstvé hmoty byl u variant hnojených pouze hnojivem DAM 390 (51,23 t.ha⁻¹) a u varianty s aplikací hnojiva DAM 390 a kieseritu (52,64 t.ha⁻¹). Nejnižší výnos čerstvé hmoty (47,73 t.ha⁻¹) u variant s minerálním hnojením byl zaznamenán u ploch po aplikaci síranu amonného. Veškeré varianty pokusu, které byly hnojené pouze organickými hnojivy, dosahovaly nižšího výnosu čerstvé hmoty než ty, u kterých bylo využito minerální hnojení. Nejnižší výnos čerstvé hmoty (45,99 t.ha⁻¹) byl navážen u varianty hnojené chlévským hnojem, vyšší výnos (46,42 t.ha⁻¹) byl vytvořen na pozemcích hnojených kejdou. Nejvyšší výnos (46,52 t.ha⁻¹) z variant s využitím pouze organického hnojení byl navážen u varianty s aplikací čistírenských kalů. V tabulce číslo IV je zobrazen Scheffého test pro parametr: Výnos čerstvé hmoty v roce 2022. Z něj je patrná statistická významnost mezi variantou kontrola a ostatními variantami. Dále je statistická významnost mezi variantou DAM 390 s přídatkem slámy a variantami čistírenský kal, chlévský hnůj a kejda.

5.2 Výnos sušiny silážní kukuřice

V grafu číslo 4 jsou zobrazeny výnosy sušiny pro veškeré varianty hnojení ze čtyř zahrnutých pokusných let. V grafu číslo II je vyobrazeno statistické vyhodnocení výnosu sušiny silážní kukuřice.

Graf číslo 4 Výnos sušiny silážní kukuřice (2019, 2020, 2021 a 2022).



5.2.1 Výnos sušiny silážní kukuřice v roce 2019

Výnos sušiny v pokusném roce 2019 byl s hodnotou (13,43 t.ha⁻¹) druhý nejnižší ze všech zahrnutých pokusných let. Nejnižší výnos sušiny (9,75 t.ha⁻¹) byl pozorován u nehnojené varianty kontrola. Z hnojených variant byl nejnižší výnos sušiny (12,62 t.ha⁻¹) zaznamenán u ploch hnojených hnojivem DAM 390 společně s kieseritem. Zbylé varianty s minerálním hnojením se pohybovaly na podobné úrovni. Plochy hnojené hnojivem DAM 390 (13,65 t.ha⁻¹), síranem amonným (13,89 t.ha⁻¹) a nejvyšší výnos sušiny (14,18 t.ha⁻¹) u čistě minerální varianty hnojení byl zaznamenán u ploch s aplikací hnojiva DAM 390 společně s fosforem a draslíkem. U kombinované varianty minerálního a organického hnojiva DAM 390 se společnou aplikací slámy, byla vytvořena sušina 13,88 tun na hektar. Nejvyšší výnos u variant hnojených organickým hnojivem a zároveň nejvyššího zaznamenaného výnosu sušiny (14,92 t.ha⁻¹) dosahovala varianta hnojená chlěvským hnojem. Celkově druhý nejvyšší výnos sušiny (14,87 t.ha⁻¹) byl zaznamenán u ploch hnojených kejdou. Nejnižší výnos z organicky hnojených variant a zároveň nejnižší celkový výnos sušiny (13,13 t.ha⁻¹) byl pozorován u ploch s aplikací čistírenských kalů. V tabulce číslo V je zobrazen Scheffého test pro parametr: Výnos sušiny roce 2019.

Žádná z variant nevykazovala statistickou průkaznost.

5.2.2 Výnos sušiny silážní kukuřice v roce 2020

V pokusném roce 2020 dosahovaly všechny varianty polního pokusu průměrně druhého nejvyššího výnosu sušiny ze všech zahrnutých let a to 14,3 tun na hektar. Nejnižší výnos sušiny ($9,83 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl zaznamenán u nehnojené varianty kontrola. Nejnižší výnos sušiny ($12,28 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) ze všech hnojených variant byl pozorován u ploch hnojených síranem amonným. Zároveň se jednalo o nejnižší výnos z variant obsahujících minerální hnojení. Druhý nejnižší výnos sušiny ($13,95 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl navážen u varianty hnojené samotným hnojivem DAM 390. Plochy hnojené hnojivem DAM 390 společně s kieseritem dosahovaly výnosu sušiny 14,75 tun na hektar. Nejvyšší výnos sušiny ($16,17 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) ze všech čistě minerálních hnojiv byl zaznamenán u varianty hnojené hnojivem DAM 390 společně s aplikací fosforu a draslíku. Kombinovaná varianta hnojiva DAM 390 se slámou dosahovala výnosu sušiny 15,81 tun na hektar. Nejvyšší výnos celkový a zároveň z organických variant ($16,45 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl pozorován u ploch po aplikaci kejdy. Druhý nejvyšší výnos sušiny ($16,15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl navážen u ploch hnojených chlévským hnojem. Nejnižší výnos z organických variant hnojení ($13,31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl zaznamenán u varianty hnojení čistírenskými kaly. V tabulce číslo VI je zobrazen Scheffého test pro parametr: Výnos sušiny v roce 2020.

Statistická významnost vzniká mezi variantou kontrola a variantami DAM 390 s fosforem a draslíkem, DAM 390 s kieseritem, DAM 390 s přidavkem slámy, chlévským hnojem a kejdou. Dále je statistická významnost mezi variantou síranu amonného a kejdou.

5.2.3 Výnos sušiny silážní kukuřice v roce 2021

Pokusný rok 2021 byl ze všech zahrnutých let výnosově nejslabší. Průměrný výnos sušiny činil 10,53 tun sušiny na hektar. Nejnižší výnos sušiny ($5,33 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl zaznamenán u nehnojené varianty kontrola. Nejvyšší výnos sušiny ($13,14 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl navážen u minerální varianty hnojení hnojivem DAM 390 společně s aplikací fosforu a draslíku. Druhý nejvyšší výnos z čistě minerálních variant ($12,57 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl vytvořen na pozemcích po aplikaci hnojiva DAM 390 společně s kieseritem. Pozemky hnojené samotným hnojivem DAM 390 produkovaly průměrně 10,10 tun sušiny na hektar. Nejnižší výnos sušiny ($9,36 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) z minerálně hnojených variant byl navážen na pozemcích po aplikaci síranu amonného. Pozemky hnojené čistírenskými kaly vyprodukovaly výnos 10,53 tun sušiny na hektar. Nejvyššího výnosu sušiny ($12,07 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) z čistě organických variant dosahovaly plochy hnojené chlévským hnojem. U kombinované varianty minerálního a organického hnojení hnojivem DAM 390 se slámou byl pozorován výnos 13,08 tun sušiny na hektar. V tabulce číslo VII je zobrazen Scheffého test pro parametr: Výnos sušiny v roce 2021.

Statistická významnost je mezi variantou kontrola a ostatními variantami mimo síran amonný a kejda. Dále je statistická významnost mezi variantou kejda a variantami DAM 390 s fosforem a draslíkem a DAM 390 s přidavkem slámy.

5.2.4 Výnos sušiny silážní kukuřice v roce 2022

Pokusný rok 2022 byl po stránce výnosu sušiny ze všech zahrnutých let výnosově nejsilnější. Průměrný výnos sušiny činil 15,81 tun na hektar. Nejvyšší zaznamenaný výnos sušiny (19,70 t.ha⁻¹) byl pozorován u varianty kombinovaného hnojení minerálním hnojivem DAM 390 společně s organickou slámou. Nejvyšší výnos sušiny (17,52 t.ha⁻¹) u čistě minerálních variant byl pozorován u ploch po aplikaci hnojiva DAM 390 s kieseritem. Nepatrně nižší výnos sušiny (17,50 t.ha⁻¹) byl navážen u variant hnojených hnojivem DAM 390 se společnou aplikací fosforu a draslíku. Pozemky hnojené samotným hnojivem DAM 390 vytvořily výnos 16,35 tun sušiny na hektar. Nejnižší výnos sušiny z čistě minerálních hnojiv a zároveň ze všech hnojených variant (14,75 t.ha⁻¹) byl zaznamenan u ploch po aplikaci síranu amonného. Nejvyššího výnosu sušiny (16,48 t.ha⁻¹) ze všech organických variant hnojení dosahovaly pozemky po aplikaci čistírenských kalů. Varianty pokusu s aplikací kejdy dosahovaly výnosu 15,68 tun na hektar. Nejnižší výnos sušiny (15,53 t.ha⁻¹) byl navážen na pozemcích hnojených chlévským hnojem. V tabulce číslo VIII je zobrazen Scheffého test pro parametr: Výnos sušiny v roce 2022.

Statistická významnost je mezi variantou kontrola a ostatními variantami.

5.2.5 Procentuální obsah sušiny ze sklizené čerstvé hmoty silážní kukuřice

Procentuální obsah sušiny ze sklizené hmoty je zobrazen v tabulce číslo 11.

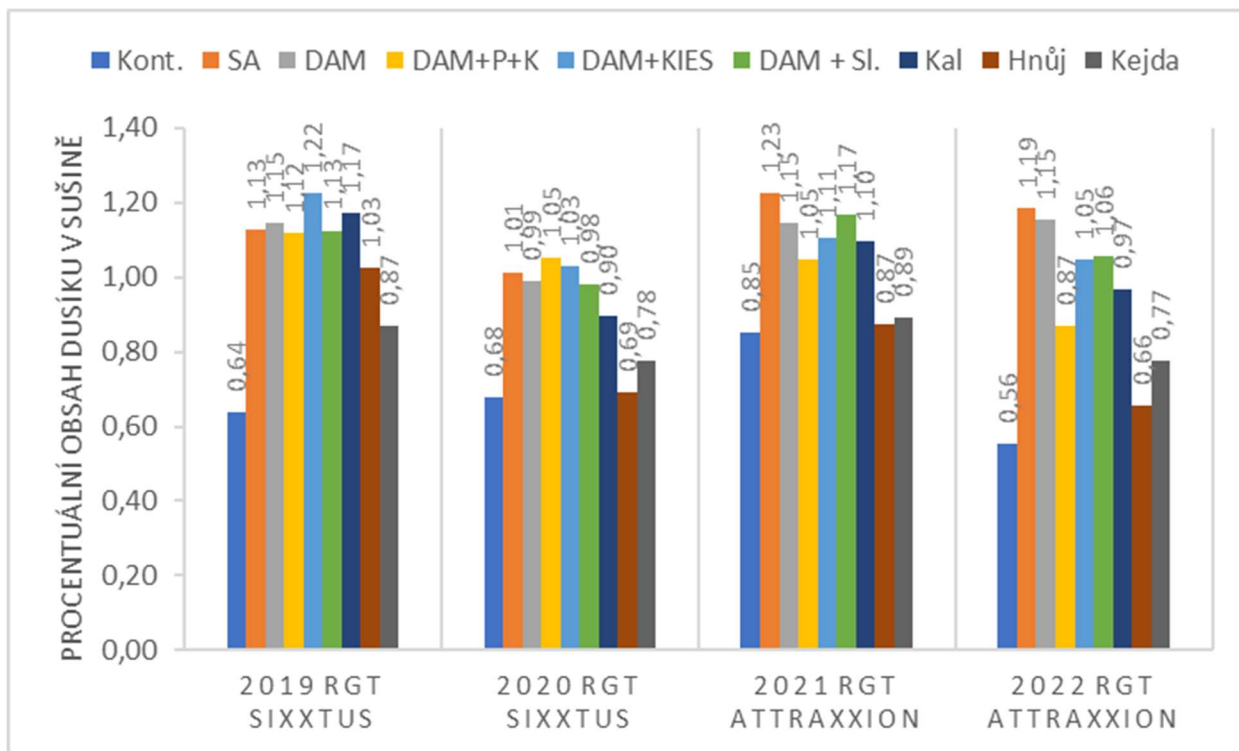
Tabulka číslo 11 Procentuální obsah sušiny z čerstvé hmoty silážní kukuřice

Varianta	2019	2020	2021	2022
	RGT Sixxtus	RGT Sixxtus	RGT Attraxxion	RGT Attraxxion
Kont.	39,31	32,07	32,37	35,80
SA	36,42	27,90	28,22	30,90
DAM	35,44	29,01	29,27	31,92
DAM+P+K	34,41	30,10	30,38	31,31
DAM+KIES	34,26	29,36	29,62	33,28
DAM + Sl.	34,73	28,88	29,23	34,15
Kal	34,48	29,46	29,67	35,42
Hněj	35,08	28,11	28,54	33,78
Kejda	34,56	29,59	29,79	33,79

5.3 Obsah dusíku v sušině silážní kukuřice

V grafu číslo 5 jsou zobrazeny obsahy dusíku v rostlinách silážní kukuřice pro veškeré varianty hnojení ze čtyř zahrnutých pokusných let. V grafu číslo III je zobrazeno statistické vyhodnocení obsahu dusíku v sušině silážní kukuřice.

Graf číslo 5 Obsah dusíku v rostlinách silážní kukuřice (2019, 2020, 2021 a 2022).



5.3.1 Obsah dusíku v sušině silážní kukuřice v roce 2019

V pokusném roce 2019 byl naměřen nejvyšší obsah dusíku ze všech zahrnutých pokusných let v sušině silážní kukuřice, a to 1,05 %. Stejných výsledků dosahoval i pokusný rok 2021. Nejnižší obsah dusíku byl zjištěn u nehnojených ploch kontroly. Nejnižší obsah dusíku (0,87 %) ze všech hnojených ploch byl naměřen u varianty po aplikaci kejdy. Nejvyšší obsah dusíku ze všech variant pokusu (1,22 %) byl sledován u ploch hnojených hnojivem DAM 390 se společnou aplikací kieseritu. Druhý nejvyšší obsah dusíku (1,17 %) byl pozorován u varianty hnojené čistírenskými kaly. Tato organická varianta dosahovala vyššího obsahu dusíku než zbylé varianty obsahující minerální hnojení dusíkem. Stejný výsledek 1,13 % byl zjištěn u dvou variant, a to u varianty po aplikaci síranu amonného a po hnojení hnojivem DAM 390 společně se slámou. O něco nižší obsah dusíku (1,12 %) byl sledován u ploch po aplikaci hnojiva DAM 390 společně s fosforem a draslíkem. Druhý nejvyšší obsah dusíku v sušině ze všech minerálně hnojených variant byl zaznamenán u varianty hnojené samotným hnojivem DAM 390, a to 1,15 %. Varianta hnojená chlévským hnojem dosahovala

průměrně 1,03% obsahu dusíku v sušině rostlin. V tabulce číslo IX je zobrazen Scheffého test pro parametr: Obsah dusíku v sušině rostlin v roce 2019.

Statistická významnost je mezi variantou kontrola a ostatními variantami. Dále je statistická významnost mezi variantou kejda a ostatními variantami mimo variantu chlévský hnůj. Statistická významnost je také mezi variantou chlévský hnůj a variantou DAM 390 s kieserite.

5.3.2 Obsah dusíku v sušině silážní kukuřice v roce 2020

V pokusném roce 2020 byl zjištěn nejnižší obsah dusíku v sušině rostlin ze všech zahrnutých pokusných let. V rostlinné sušině byl zjištěn průměrný 0,9% obsah dusíku. Nejnižší obsah dusíku v sušině (0,68 %) byl zaznamenán u nehnojené varianty kontrola. O něco vyšší obsah dusíku v sušině (0,69 %) byl zjištěn u varianty hnojené chlévským hnojem. Jednalo se tak o nejnižší obsah dusíku v sušině ze všech hnojených variant pokusu. Zbylé čistě organicky hnojené varianty dosahovaly nižšího obsahu dusíku než ty, u kterých bylo využito minerální hnojení. U ploch s aplikací kejdy byl zjištěn 0,78% obsah dusíku a u varianty hnojené čistírenskými kaly dosahoval obsah dusíku hodnoty 0,90 %. Nejvyšší obsah dusíku (1,05 %) ze všech variant a zároveň z minerálně hnojených variant byl zaznamenán u ploch po hnojení hnojivem DAM 390 společně s přídatkem fosforu a draslíku. Druhý nejvyšší obsah dusíku (1,03 %) byl zjištěn u varianty po aplikaci hnojiva DAM 390 společně s kieseritem. Varianta hnojená síranem amonným dosahovala průměrně 1,01% obsahu dusíku v sušině. Nejnižší obsah dusíku (0,99 %) z variant využívající minerální hnojení byl zaznamenán u ploch po aplikaci samotného hnojiva DAM 390. V tabulce číslo X je zobrazen Scheffého test pro parametr: Obsah dusíku v sušině rostlin v roce 2020.

Statistická významnost je mezi variantou kontrola a ostatními variantami mimo varianty chlévský hnůj a kejda. Dále je statistická významnost mezi variantou chlévský hnůj a ostatními variantami mimo varianty kontrola a kejda. Statistická významnost je také mezi variantou kejda a ostatními variantami mimo varianty čistírenský kal, chlévský hnůj a kontrola.

5.3.3 Obsah dusíku v sušině silážní kukuřice v roce 2021

V pokusném roce 2021 byl průměrný obsah dusíku v rostlinné sušině 1,05 %. Jednalo se tak o stejný výsledek jako v roce 2019 a byl to zároveň nejvyšší obsah dusíku ze všech sledovaných pokusných let. Nejnižší obsah dusíku (0,85 %) byl pozorován u nehnojených ploch kontroly. Nejnižší obsah dusíku v sušině rostlin (0,87 %) ze všech hnojených variant byl zaznamenán u ploch hnojených chlévským hnojem. Druhý nejnižší obsah dusíku v sušině (0,89 %) ze všech hnojených variant byl sledován u ploch po aplikaci kejdy. Nejvyšší obsah dusíku v sušině (1,1 %) z variant s čistě organickým hnojením byl sledován u varianty hnojené čistírenskými kaly. U ploch po aplikaci síranu amonného byl sledován nejvyšší obsah dusíku (1,23 %) ze všech variant pokusu. Druhý nejvyšší obsah dusíku v sušině (1,17 %) ze všech variant hnojení byl zjištěn u varianty s kombinovaným organickým a minerálním hnojením hnojivem DAM 390 se slámou. Obsah dusíku v sušině u varianty se samotným

hnojivem DAM 390 byl 1,15 % a u varianty hnojiva DAM 390 se společnou aplikací kieseritu byl 1,11 %. Nejnižší obsah dusíku v sušině (1,05 %) ze všech variant využívající minerální hnojení byl sledován u ploch po aplikaci hnojiva DAM 390 s přídatkem fosforu a draslíku. V tabulce číslo XI je znázorněn Scheffého test pro parametr: Obsah dusíku v sušině rostlin pro rok 2021.

Statistická významnost je mezi variantou kontrola a variantami síran amonný, DAM 390, DAM 390 s kieseritem a DAM 390 s přídatkem slámy. Dále je statistická významnost mezi variantou síran amonný a variantami chlévský hnůj a kejda. Statistická významnost je dále mezi variantou DAM 390 a variantami chlévský hnůj a kejda. DAM 390 s přídatkem slámy pak vykazuje statistickou významnost s variantami hnůj a kejda.

5.3.4 Obsah dusíku v sušině silážní kukuřice v roce 2022

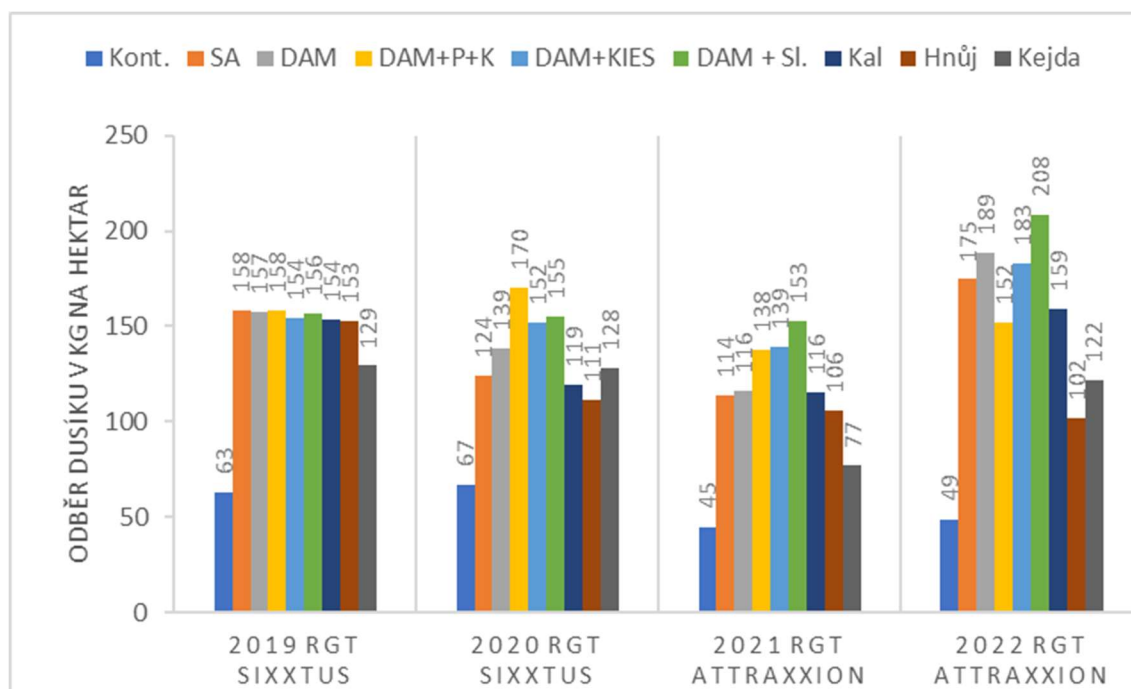
V pokusném roce 2022 byl zaznamenán druhý nejnižší obsah dusíku ze všech zahrnutých pokusných let. Rostliny silážní kukuřice v průměru obsahovaly 0,92 % dusíku v sušině. Nejnižší obsah dusíku v sušině (0,56 %) ze všech variant byl zaznamenán u nehnojené varianty kontrola. Ze všech hnojených variant byl nejnižší obsah dusíku (0,66 %) pozorován u ploch hnojených chlévským hnojem. Plochy po aplikaci kejdy vykazovaly 0,77% obsah dusíku v sušině rostlin. Nejvyšší obsah dusíku (0,97 %) z čistě organických variant hnojení byl zaznamenán u ploch hnojených čistírenskými kaly. Nejvyšší obsah dusíku v sušině (1,19 %) ze všech variant byl pozorován u ploch po aplikaci síranu amonného. Druhý nejvyšší obsah dusíku v sušině rostlin (1,15 %) byl zjištěn u variant hnojených samotným hnojivem DAM 390. Plochy po aplikaci hnojiva DAM 390 s kieseritem vykazovaly 1,05% obsah dusíku v sušině a u ploch hnojených hnojivem DAM 390 se slámou byl zjištěn 1,06% obsah dusíku v sušině. Nejnižší obsah dusíku v sušině rostlin (0,87 %) z variant s využitím minerálního hnojení byl zjištěn u ploch hnojených hnojivem DAM 390 s přídatkem fosforu a draslíku. V tabulce číslo XII je zobrazen Scheffého test pro parametr: Obsah dusíku v sušině rostlin pro rok 2022.

Statistická významnost je vykazována mezi všemi variantami mimo variantu chlévský hnůj a kontrola. Statistická významnost není mezi variantou DAM 390 a variantami síran amonný, DAM 390 s kieseritem a DAM 390 s přídatkem slámy. Varianta DAM 390 s přídatkem fosforu a draslíku nevykazuje statistickou významnost s variantami čistírenský kal a kejda. Varianta DAM 390 s kieseritem nevykazuje statistickou významnost s variantami DAM 390, DAM 390 s přídatkem slámy a čistírenským kalem. Varianta DAM 390 s přídatkem slámy nevykazuje statistickou významnost s variantami DAM 390, DAM 390 s kieseritem a čistírenským kalem. Varianta čistírenský kal pak nevykazuje statistickou významnost s variantami DAM 390 s přídatkem fosforu a draslík, DAM 390 s kieseritem a DAM 390 s přídatkem slámy. Varianta chlévský hnůj nevykazuje statistickou významnost s variantou kontrola a variantou kejda. Varianta kejda nevykazuje statistickou významnost s variantami DAM 390 s fosforem a draslíkem a chlévským hnojem.

5.4 Odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice

V grafu číslo 6 jsou zobrazeny odběry dusíku rostlinami silážní kukuřice pro veškeré varianty hnojení ze čtyř zahrnutých pokusných let. V grafu číslo IV je zobrazeno statistické vyhodnocení odběru dusíku.

Graf číslo 6 Odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice (2019, 2020, 2021 a 2022).



5.4.1 Odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice v roce 2019

V pokusném roce 2019 byl odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice druhý nejvyšší ze všech sledovaných let. Průměrně tyto rostliny přijaly 142,6 kg dusíku na hektar. Nejnižší příjem dusíku ($62,81 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) byl zaznamenán u nehnojené varianty kontroly. Nejvyšší příjem u hnojených variant byl zjištěn u organické varianty hnojení kejdou ($129,34 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Nejvyšší příjem dusíku ($158,35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) byl pozorován u ploch hnojených hnojivem DAM 390 společně s fosforem a draslíkem. Veškeré varianty pokusu s minerálním hnojením dosahovaly vyššího příjmu dusíku než ty s organickým hnojením. Druhý nejvyšší příjem dusíku ($158,16 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) byl zjištěn u variant po aplikaci síranu amonného. Plochy hnojené samotným hnojivem DAM 390 vykazovaly příjem 157,28 kg na hektar. Varianta hnojení hnojivem DAM 390 s kieseritem dosahovala nejnižšího příjmu dusíku ze všech čistě minerálních variant hnojení, a to 154,28 kg na hektar. Kombinovaná varianta organického a minerálního hnojiva DAM 390 se slámou vykazovala příjem 156,43 kg dusíku na hektar. Z čistě organicky hnojených variant byl zjištěn nejvyšší příjem dusíku ($153,63 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) u ploch hnojených čistírenskými kaly. O něco nižší příjem dusíku ($153,11 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) byl pozorován u varianty

hnojené chlévským hnojem. V tabulce číslo XIII je zobrazen Scheffého test pro parametr: Odběr dusíku v roce 2019.

Statistická významnost je mezi variantou kontrola a ostatními variantami mimo variantu kejda.

5.4.2 Odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice v roce 2020

Odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice byl v roce 2020 druhý nejnižší ze všech sledovaných pokusných let. Průměrně rostliny přijaly 129,48 kg dusíku na hektar. Nejnižší příjem dusíku ($66,38 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl pozorován u nehnojených ploch varianty kontrola. Veškeré varianty obsahující minerální hnojení dosahovaly vyššího odběru dusíku než ty, které byly hnojeny čistě organickými hnojivy. Nejvyšší odběr dusíku ($170,21 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) z minerálních variant a zároveň ze všech variant byl pozorován u ploch hnojených hnojivem DAM 390 společně s fosforem a draslíkem. Druhý nejvyšší odběr dusíku ($155 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl zaznamenán u varianty hnojené hnojivem DAM 390 společně se slámou. Varianta hnojení hnojivem DAM 390 s kieseritem dosahovala příjmu 152,11 kg na hektar. Nižší příjem dusíku ($138,53 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl zaznamenán u ploch po aplikaci samotného hnojiva DAM 390. Nejnižší příjem dusíku ($123,96 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) ze všech variant využívající minerální hnojení byl pozorován u ploch po hnojení síranem amonným. Nejvyšší příjem dusíku ($128 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) z čistě organicky hnojených variant byl zjištěn u ploch po aplikaci kejdy. Varianta využívající hnojení čistírenskými kaly dosahovala odběru 119,42 kg dusíku na hektar. Nejnižší příjem dusíku ($111,29 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) z organických a zároveň všech hnojených variant byl zaznamenán u ploch hnojených chlévským hnojem. V tabulce číslo XIV je zobrazen Scheffého test pro parametr: Odběr dusíku v roce 2020.

Statistická významnost je mezi variantou kontrola a ostatními variantami mimo variantu chlévský hnůj. Dále je statistická průkaznost mezi variantou DAM 390 s fosforem a draslíkem a variantami čistírenský kal a chlévský hnůj.

5.4.3 Odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice v roce 2021

Odběr dusíku rostlinami kukuřice byl v roce 2021 nejnižší ze všech zahrnutých pokusných let. Rostliny z půdy odebraly průměrně 111,47 kg dusíku na hektar. Nejnižší odběr dusíku ($44,79 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) ze všech variant a zároveň nejnižší ze všech pokusných let byl zaznamenán v tomto roce u nehnojené varianty kontrola. Všechny čistě organicky hnojené varianty dosahovaly nižšího odběru dusíku než varianty s minerálním hnojením. Nejnižší odběr dusíku ($77,08 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) ze hnojených variant byl zjištěn u ploch po aplikaci kejdy. Zároveň se jednalo o nejnižší odběr dusíku ze všech zahrnutých pokusných let. U varianty hnojené chlévským hnojem byl zjištěn odběr 105,86 kg dusíku na hektar. Nejvyšší odběr dusíku ($115,72 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) z čistě organicky hnojených variant byl zaznamenán u ploch hnojených čistírenskými kaly. Nejvyšší příjem dusíku ($152,86 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl zjištěn u kombinované varianty organického a minerálního hnojení varianty s aplikací hnojiva DAM 390 se slámou. Nejvyšší odběr dusíku ($138,99 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) z čistě minerálních variant byl zjištěn na plochách se společnou aplikací hnojiva DAM 390 s kieseritem. Druhý nejvyšší odběr

dusíku ($137,66 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) z čistě minerálních variant hnojení byl zaznamenán u ploch hnojených hnojivem DAM 390 společně s přidavkem fosforu a draslíku. U varianty s aplikací samotného hnojiva DAM 390 byl pozorován odběr $116,04 \text{ kg}$ dusíku na hektar. Nejnižší odběr dusíku ($114,19 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) z čistě minerálních variant hnojení byl zjištěn u ploch s aplikací síranu amonného. V tabulce číslo XV je zobrazen Scheffého test pro parametr: Odběr dusíku v roce 2021.

Statistická významnost je v tomto roce mezi variantou kontrola a ostatními variantami mimo variantu kejda. Dále je statistická významnost mezi variantou kejda a variantami DAM 390 s fosforem a draslíkem, DAM 390 s kieseritem a DAM 390 s přidavkem slámy.

5.4.4 Odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice v roce 2022

V pokusném roce 2022 byl zaznamenán nejvyšší odběr dusíku ze všech zahrnutých pokusných let. Rostliny v tomto roce průměrně odebraly z půdy $148,67 \text{ kg}$ dusíku na hektar. Nejnižší odběr dusíku ($48,76 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) byl zaznamenán u nehnojené varianty kontrola. Nejnižší příjem dusíku ($102,24 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) z veškerých hnojených variant byl zjištěn u ploch hnojených chlévským hnojem. Druhý nejnižší odběr dusíku ($121,51 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) ze stejného rozsahu by zaznamenán u varianty po aplikaci kejdy. Nejvyšší odběr dusíku z variant čistě organického hnojení byl pozorován u varianty hnojené čistírenskými kaly, a to $159,06 \text{ kg}$ na hektar. Nejvyšší odběr dusíku ($208,28 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) ze všech variant a zároveň nejvyšší ze všech zahrnutých let byl zjištěn u variant s kombinovanou formou minerálního a organického hnojení na pozemcích s aplikací hnojiva DAM 390 se slámou. Z čistě minerálních variant byl s odběrem $188,55 \text{ kg}$ dusíku na hektar zjištěn nejvyšší odběr u ploch po aplikaci samotného hnojiva DAM 390. Společná aplikace hnojiva DAM 390 s fosforem a draslíkem vykazovala odběr $151,65 \text{ kg}$ dusíku na hektar. U varianty hnojení hnojivem DAM 390 s kieseritem byl zaznamenán odběr $183,34 \text{ kg}$ dusíku na hektar. Nejnižší odběr dusíku ($174,66 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) z variant hnojených čistě minerálním hnojivem byl zjištěn u ploch po aplikaci síranu amonného. V tabulce číslo XVI je zobrazen Scheffého test pro parametr: Odběr dusíku v roce 2022.

Statistická významnost je v tomto roce mezi variantami kontrola a ostatními variantami mimo variantu chlévský hnůj. Dále je statistická významnost mezi variantou chlévský hnůj a síran amonný. Varianta DAM 390 vykazuje statistickou významnost s variantami chlévský hnůj a kejda. Varianta DAM 390 s fosforem a draslíkem vykazuje statistickou významnost s variantou DAM 390 s přidavkem slámy. Varianta DAM 390 s kieseritem vykazuje statistickou významnost s variantou chlévský hnůj a kejda. Varianta DAM 390 s přidavkem slámy vykazuje statistickou významnost s variantami chlévský hnůj a kejda. Varianta čistírenský kal vykazuje statistickou významnost s variantou chlévský hnůj.

6 Diskuze

V této diplomové práci, která se zabývá polním pokusem katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, byly zpracovány pouze čtyři pokusné roky (2019, 2020, 2021 a 2022). Balík et al. (2012) uvádějí, že vliv aplikace hnojiv může mít odlišné výsledky na výnos plodin. Průběh počasí a půdní podmínky v různých letech pěstování mohou mít výrazný vliv na růst rostlin a účinnost hnojení. Je proto velmi důležité pro zjišťování účinků hnojiv na rostliny využívat dlouhodobé polní pokusy. Využití výsledků pouze ze čtyř let nemusí mít plnou vypovídající hodnotu.

Ovlivnění výsledků tohoto pokusu může být také způsobeno pěstováním silážní kukuřice v monokultuře. Novák a Vrzal (1995) a Šuk et al. (1998) shodně uvádějí, že pokud je kukuřice pěstována po sobě, může být problém s vyšším tlakem plevelů. Dle Zimolky (2008) dochází při monokulturním pěstování kukuřice ke zvyšování počtu rostlinných škůdců. Nevhodnost pěstování kukuřice v monokultuře řeší ve své práci Nevens & Reheul (2005). Dle nich je prokázán negativní vliv tohoto typu pěstování na výnos rostlinné sušiny a vyšší potřeby dusíkatých hnojiv. Uvádějí, že pokud je kukuřice pěstována po vhodných předplodinách, tvoří vitálnější a větší kořenový systém, díky kterému dokáže přijmout více živin a vody. Tyto výše zmíněné faktory mohou mít vliv na výsledky uváděné v diplomové práci.

6.1 Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice

Nezbytným předpokladem pro růst rostlin je přítomnost dusíku v půdě. Na tomto tvrzení se shodují práce Baier et al. (1988), Jena et al. (2015) a Onasanya et al. (2009). Ve výsledcích pokusů je patrné, že přídavek dusíku do půdy ve formě hnojiv, působí pozitivně na zvyšování výnosů plodin. Ve všech čtyřech zahrnutých pokusných letech byl nejnižší výnos zaznamenán u nehnojených ploch varianty kontrola. Eltelib et al. (2006) uvádějí, že aplikace dusíkatých hnojiv podporuje růst rostlin silážní kukuřice. Napomáhá růstu listů a jejich vývoji. Při zvyšujících se dávkách aplikace dusíkatého hnojiva je zvyšován i výnos silážní kukuřice. To ve své práci potvrzují i Černý et al. (2012). Ti se ve svém výzkumu zabývali stupňovitou aplikační dávkou dusíku při pěstování kukuřice. Zjistili, že zvyšující se dávka aplikovaného dusíkatého hnojiva působí příznivě na růst rostlin. Do dávky 120 kg dusíku na hektar bylo zjištěno výrazné navýšení výnosu silážní kukuřice. Pokud bylo provedeno hnojení dávkou nad tuto hranici nebylo již navýšení výnosu čerstvé hmoty tak výrazné. Tím lze vysvětlit výrazné navýšení výnosu čerstvé hmoty u hnojených variant oproti variantě kontrola. V tabulce číslo 12 je zobrazeno navýšení výnosu sušiny hnojených variant oproti variantě kontrola. Černý et al. (2012) ve své práci uvádějí, že při aplikační dávce 120 kg dusíku na hektar je výnos sušiny silážní kukuřice navýšen o 28 %. V našem pokusu bylo zaznamenáno navýšení výnosu daleko vyšší. To může být způsobeno vyšším průměrným výnosem sušiny ($11,18 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) na nehnojené variantě kontrola oproti našemu průměrnému výnosu 8,4 tun na hektar. Tento rozdílný výnos může být způsoben dle Struck et al. (2019) nepřetržitým pěstováním silážní kukuřice na stejném pozemku, kdy dochází k silnému odběru živin, a to hlavně dusíku. Pokud nejsou tyto živiny do pole navraceny, může dojít k vyčerpání

půdních zásob. Nehnojená varianta kontrola v polním pokusu Černého et al. (2012) byl dvanáct po sobě jdoucích let bez hnojení. Na naší kontrolní variantu bez ošetření dusíkatými hnojivy nebylo aplikováno žádné hnojivo po dobu třiceti dvou let, včetně posledního zahrnutém pokusného roku. To je dvakrát tak dlouhá doba, po kterou byla na těchto plochách pěstována silážní kukuřice a docházelo k odběru živin. Tento úbytek živin v půdním profilu se mohl projevit na nižším výnosu sušiny silážní kukuřice v našem polním pokusu. Rozdílné hodnoty nehnojených variant pokusů mohou být dle Balíka et al. (2012) způsobeny rozdílnými podmínkami stanoviště pokusů. Dle Vaňka et al. (2016) je například proces mineralizace velice citlivý na vnější podmínky stanoviště. Černý et al. (2012) ve své práci také uvádějí důležitost půdních podmínek pro proces mineralizace.

Tabulka číslo 12 Procentuální vyjádření navýšení výnosu čerstvé hmoty hnojených variant oproti nehnojené variantě kontrola.

Varianta	2019	2020	2021	2022
SA	42 %	25 %	76 %	68 %
DAM	40 %	42 %	90 %	87 %
DAM+P+K	45 %	64 %	47 %	100 %
DAM+KIES	29 %	50 %	36 %	100 %
DAM + Sl.	42 %	61 %	46 %	125 %
Kal	35 %	35 %	98 %	88 %
Hněj	53 %	64 %	27 %	77 %
Kejda	52 %	67 %	61 %	79 %

Dalším důvodem, který mohl vést k nižšímu výnosu čerstvé hmoty u nehnojené varianty kontrola je dle práce Onasanya et al. (2009) ten, že dusík zprostředkovává využití fosforu a draslíku a dalších prvků. Při nízkých dávkách dusíku v půdě nemohou být tyto ostatní živiny efektivně využívány.

I přes to, že byla ve všech variantách využita stejná dávka dusíku ($120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), byly výsledky výnosu čerstvé hmoty ve všech pokusných letech odlišné. To potvrzují Hassan et al. (2010) ti ve své práci uvádějí, že odlišný druh hnojiva může způsobovat rozdílné výsledky výnosu čerstvé hmoty kukuřice. To potvrzují ve své práci i Vrzal et al. (1989), kteří tvrdí, že při výběru hnojiva je nutné brát v úvahu ekologické podmínky daného stanoviště. Lze tedy potvrdit tvrzení, že výběrem dusíkatého hnojiva můžeme ovlivnit růst a vývoj rostlin silážní kukuřice i přes stejné aplikované množství živin.

Výsledky polního pokusu v Červeném Újezdě se shodují s prací Onasanya et al. (2009). Ti během svých polních pokusů zjistili, že kukuřice vyžaduje sice adekvátní hnojení dusíkem, ale zároveň je pro její růst důležité zajistit přísun fosforu a draslíku. Za správného a vyrovnaného hnojení těmito prvky dosahují rostliny silážní kukuřice dobrého růstu a vysokého výnosu. Dle výsledků našeho pokusu lze toto tvrzení potvrdit, protože ani v jednom ze čtyř zahrnutých pokusných ročníků nevykazovala varianta pokusu hnojená

samotným hnojivem DAM 390 vyššího výnosu než varianty obsahující aplikaci hnojiva DAM 390 a jiného hnojiva. Jena et al. (2015) ve své práci řešili důležitost fosforu pro růst rostlin a jejich fotosyntézu. Uvádějí, že se fosfor zúčastňuje mnoha metabolických procesů a je nezbytný pro dosažení optimálního výnosu. Onasanya et al. (2009) přirovnávají živinu fosforu k dusíku, kdy při jeho nedostatku dochází shodně jako u dusíku ke snižování výnosu čerstvé hmoty silážní kukuřice. Nižší výnos u kukuřice, která vyrůstá v prostředí s nedostatečným příjmem fosforu a draslíku, může být způsoben dle Nováka a Vrzala (1995) vyšší náchylností těchto rostlin na chlad, choroby a polehání.

Porovnáme-li výnosy čerstvé hmoty dvou minerálně hnojených variant našeho polního pokusu zjistíme, že varianta po aplikaci dusíkatého hnojiva síran amonný dosahuje ve všech zahrnutých pokusných letech nižšího výnosu čerstvé hmoty než varianta po aplikaci hnojiva DAM 390. Průměrný výnos čerstvé hmoty varianty ošetřené hnojivem síran amonný, byl ve sledovaných čtyřech ročnících 41 tun na hektar a průměrný výnos sušiny byl u této varianty pokusu 12,6 tun na hektar. U varianty hnojení hnojivem DAM 390 byl průměrný hektarový výnos čerstvé hmoty za stejné období 43 tun na hektar a výnos sušiny byl 13,5 tuny na hektar. Rozdíl výnosu čerstvé hmoty je tak 2 tuny na hektar ve prospěch varianty po aplikaci hnojiva DAM 390. Rozdíl výnosu sušiny je mezi těmito variantami 0,9 tun na hektar ve prospěch stejné varianty pokusu. To může být dle Vaňka et al. (2016) způsobeno okyselujícím charakterem síranu amonného. Baier et al. (1988) shodně uvádějí negativní působení amoniakálních hnojiv na půdní kyselost. Dle Vaňka et al (2016) může být příjem fosforu rostlinami silně ovlivněn kyselostí půdy, protože při nevhodném pH je fosfor přístupný pro rostliny vázán do sloučenin, ve kterých není pro rostliny dostupný. Hodnoty pH stanoviště se pohybují okolo hodnoty 6,13 pH. Pro zajištění dobré rozpustnosti fosforu v půdě je vhodná hodnota pH v rozmezí 6,2 – 6,5 nebo v okolí tohoto rozmezí. Okyselování půdy v tomto případě tak může mít na růst rostlin silážní kukuřice vliv.

Dalším důvodem nižšího výnosu u varianty hnojené síranem amonným v porovnání s variantou po aplikaci hnojiva DAM 390 může být fakt, že hnojivo síran amonný působí dle Vaňka et al. (2016) pozvolněji. Tento mírný nedostatek pro rostliny dostupného dusíku v počátečních fázích růstu se může projevit i v pozdějších fázích růstu. Černý et al. (2012) ve své práci uvádějí, že pokud rostliny nemají dostatek dusíku v prvních fázích růstu vykazuje obsah dusíku nižší hodnoty i v dalších obdobích růstu. To se shoduje s prací Jena et al. (2015), kteří tvrdí, že kukuřice vyžaduje nepřetržitou zásobu živin během celého svého vegetačního období. Dle Onasanya et al. (2009) snížený příjem dusíku zpomaluje růst silážní kukuřice. Amanullah et al. (2009) shodně uvádějí, že nedostatek pro rostlinu přijatelného dusíku představuje jeden z hlavních faktorů omezující vývoj této plodiny.

6.2 Obsah dusíku v sušině a odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice

Výsledky polního pokusu se shodují s tvrzením Elteli et al. (2006), kteří uvádějí, 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 nebyly tyto plochy hnojeny dusíkem.

I přes použití stejných hnojiv a aplikační dávky dusíku, nebyla v pokusu ani v jednom ze zahrnutých pokusných let sledována stejná hodnota pro parametr: Odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice. To lze vysvětlit tvrzením Balíka et al. (2012), kteří ve své práci uvádějí, že odběr dusíku sklizenými produkty je výsledkem jejich výnosu a množství dusíku v nich obsažených. Pokud bereme v úvahu kolísání obsahu dusíku v jednotlivých ročníchích a nestálost výnosu dochází tak k rozdílům ve skutečném odběru dusíku v jednotlivých letech.

Porovnáme-li obsah dusíku a jeho odběr u variant s hnojením čistě organickým hnojivem zjistíme, že varianta hnojená kaly z čističky odpadních vod dosahuje vyšších hodnot než varianta hnojená chlévským hnojem či varianta po aplikaci kejdy. Sušina rostlin silážní kukuřice pěstovaná na plochách ošetřených čistírenskými kaly průměrně vykazovala 1,03% obsah dusíku a odběr dusíku těmito rostlinami tvořil hodnotu 137 kg na hektar. U varianty hnojené chlévským hnojem byl pozorován nižší obsah dusíku v sušině rostlin kukuřice 0,81 % a nižší odběr dusíku 118 kg na hektar. Nízký obsah dusíku 0,83 % byl také zaznamenán u rostlin kukuřice pěstovaných na plochách varianty po aplikaci kejdy. Odběr dusíku rostlinami kukuřice byl u této varianty nižší než u varianty ošetřené čistírenskými kaly a to s hodnotou 114 kg na hektar. Obsah dusíku v sušině rostlin byl tak u těchto dvou variant v průměru nižší o 0,2 % a odběr dusíku byl v průměru nižší o 21 kg na hektar, než tomu bylo u varianty hnojené čistírenskými kaly. To může být dle Schröder et al. (2014) způsobeno vyšším zastoupením minerálního dusíku u tohoto druhu hnojiva, které je pro příjem rostlinami dostupnější.

Obsah dusíku v sušině rostlin kukuřice a jeho odběr u organicky hnojených variant byl ve všech sledovaných pokusných letech nižší, než u variant hnojených minerálním dusíkatým hnojivem. Průměrný obsah dusíku v sušině silážní kukuřice u čistě organických variant pokusu byl v průměru 0,82 % a průměrný odběr dusíku byl u těchto variant 116 kg na hektar. U čistě minerálně hnojených variant pokusu byl sledován průměrný obsah 1,09 % dusíku v sušině rostlin kukuřice. Odběr dusíku těmito rostlinami byl stanoven na 151 kg na hektar za sledované čtyřleté období. To představuje v průměru rozdíl 0,27 % obsahu dusíku v sušině rostlin a odběru 35 kg dusíku. Tento rozdíl může být způsoben dle Vaňka et al. (2016) pozvolným působením organických živin kdy se počítá s rozdělením živin do tříletého období. Toto snížené množství živin u organicky hnojených variant může dle Černého et al. (2012) zapříčinit nízký příjem živin v počátečních fázích růstu rostlin silážní kukuřice, které se projeví na sníženém příjmu dusíku i v pozdějších fázích růstu. Tento rozdíl mezi organickými a minerálními způsoby hnojení lze také vysvětlit tvrzením Nannen et al. (2011), kteří ve své práci uvádějí, že nízký obsah je u těchto způsobů hnojení způsoben nižší účinností příjmu dusíku oproti té, která je dosažena u minerálních hnojiv. Vysvětlují tento jev tím, že dusík je ve statkových hnojivech vázaný v organických frakcích zhruba ze 45 %, a tak

jsou živiny v době aplikace pro rostliny málo přístupné. Onwubiko & Echcerobia (2019) ve své práci shodně udávají, že o obsahu využitelných živin z organických hnojiv rozhoduje rychlost rozkladu těchto hnojiv. Na pozvolném působení organických hnojiv se shodují ve své práci i Balík et al. (2012).

I přes absenci dusíkatého hnojení u varianty kontrola byl ve všech čtyřech zahrnutých pokusných ročnících zaznamenán odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice. Obsah dusíku v sušině rostlin u varianty kontrola byl rozdílný v závislosti na dosaženém výnosu sušiny. Nejvyšší odběr byl pozorován v pokusném roce 2020, ve kterém rostliny kukuřice odebraly z půdy 66,83 kg dusíku na hektar. V tomto roce byl také výnos sušiny u varianty kontrola nejvyšší ze všech zahrnutých pokusných let (9,83 t.ha⁻¹). Naopak nejnižší odběr byl zaznamenán v pokusném roce 2021 (44,79 kg.ha⁻¹). U tohoto roku byl také zjištěn nejnižší výnos sušiny (5,33 t.ha⁻¹). Dusík, který byl využit rostlinami pro růst, se do půdy dostal poutáním mikroorganismů, rostlinnými zbytky a ve formě spadů. Část dusíku mohla být uvolněna v půdě z nepřístupných forem procesem mineralizace do forem pro rostliny přístupných. To potvrzují ve své práci Vaněk et al. (2016). Balík et al. (2012) uvádějí, že průměrné spady dusíku se srážkami jsou 22 kg.ha⁻¹ za rok. Volně žijící organismy pak do půdy mohou fixovat 5 kg.ha⁻¹ dusíku ročně.

Varianta kontrola sice ve všech pokusných ročnících dosáhla odběru dusíku, ale tento odběr byl v porovnání s ostatními hnojenými plochami velmi nízký. To lze vysvětlit tvrzením Eltelib et al. (2006), kteří ve své práci uvádějí, že aplikace hnojiv obsahujících dusík zvyšuje příjem dusíku silážní kukuřicí.

6.2.1 Efektivita využití dusíku

V tabulce číslo 13 jsou vypočtené hodnoty pro parametr efektivita využití dusíku u jednotlivých variant pokusu ve všech sledovaných pokusných letech. Tento parametr byl vypočítán dle Balíka et al. (2012). Ti ve své publikaci uvádějí tento postup výpočtu. Od odběru dusíku na hnojené variantě odečíst odběr dusíku na variantě kontrola a následný výsledek vydělit aplikační dávkou dusíku na hnojené variantě. U minerálně hnojených variant byla k výpočtu využita plná dávka 120 kg dusíku na hektar. U organických hnojiv byla tato dávka upravena koeficientem z důvodu postupného uvolňování živin z těchto hnojiv. Koeficient pro čistírenský kal je dle Balíka et al. (2012) 0,30, pro chlévský hnůj 0,20 a pro kejdu 0,35.

U organicky hnojených variant pokusu jsou vypočítány příznivější hodnoty efektivit využití dusíku než u variant s minerálním hnojením. Dle Vaňka et al. (2016) je to způsobeno pozvolným uvolňováním živin z organických hnojiv. To je sice do výpočtu upraveno koeficientem, ale měření pro jeden rok bude ovlivněno hnojením z předchozího roku.

Tabulka číslo 13 Efektivita využití dusíku v polním pokusu.

Varianta	2019 RGT Sixxtus	2020 RGT Sixxtus	2021 RGT attraxxion	2022 RGT attraxxion
SA	79,5 %	47,6 %	57,8 %	104,9 %
DAM	78,7 %	59,7 %	59,4 %	116,5 %
DAM	79,6 %	86,1 %	77,4 %	85,7 %
DAM+KIES	76,2 %	71,1 %	78,5 %	112,1 %
DAM + SL	78,0 %	73,5 %	90,1 %	132,9 %
Kal	252,3 %	146,1 %	197,0 %	306,4 %
Hnůj	376,2 %	185,2 %	254,4 %	222,9 %
Kejda	158,4 %	145,6 %	76,9 %	173,2 %

7 Závěr

Z předchozího textu je patrné, že pro rentabilní pěstování silážní kukuřice je důležité vytvořit správný postup hnojení. Dnes již nikdo nemůže vyvrátit příznivý vliv hnojení na výnos zemědělských hnojiv. Volba postupu hnojení, který bude vyvážený a zároveň ekonomicky příznivý, je velice obtížná. Vyžaduje mnoho let zkušeností a znalost podmínek, ve kterých rostliny pěstujeme. Nutné je zvolit optimální druh hnojiva, které bude ve zdejších podmínkách pro rostliny nejvhodnější. Pak je důležité stanovit optimální dávku, dobu aplikace a případně způsob zapravení hnojiva.

S narůstajícími cenami dusíkatých hnojiv je nutné přemýšlet ve větší míře nad finanční stránkou hnojení. Promyslet, zda se nám aplikování vyšší dávky hnojiva odrazí adekvátně na zvýšení výnosu nebo již není toto přidání živin finančně přínosné.

Úbytek zemědělské půdy či omezení pěstování kukuřice na některých pozemcích bude nutit zemědělce k vytváření vyšších hektarových výnosů. Správně zvolený postup hnojení jim k tomu může pomoci.

Výnos zemědělských plodin je do určité míry ovlivňován vlivem počasí daného ročníku. Tento vliv je velmi těžké odhadnout i když bude pěstování do posledního kroku správně naplánované, může být výnos plodin silně ovlivněn nepřízní počasí.

Nejvyšší výnosy silážní kukuřice byly zaznamenány u variant hnojených kombinací prvků dusíku fosforu a draslíku. Jen samotné hnojení dusíkem není pro rostlinu příznivé. Plochy, které byly hnojeny pouze minerální formou dusíku, vykazovaly jeho nejvyšší obsah, což ovlivňuje kvalitu sklizené píce.

Z výsledků pokusu je patrné, že různé druhy hnojiva mohou mít i přes stejné množství dodaného dusíku odlišné účinky na růst rostlin a odběr dusíku silážní kukuřicí.

Hypotézy

Následující hypotézy byly ověřeny výsledky z polního pokusu katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin v pokusných letech 2019, 2020, 2021 a 2022.

1. Vliv ročníku při stejném způsobu dusíkatého hnojení ovlivňuje výnos sušiny a příjem dusíku silážní kukuřicí.

I přes stejný způsob aplikace a dávky dusíku u jednotlivých variant pokusu nebyl ve všech čtyřech zahrnutých pokusných letech zaznamenán stejný výsledek výnosu sušiny a příjmu dusíku silážní kukuřicí. Jediné dva faktory, které byly během pokusných let proměnlivé jsou množství srážek a teplota stanoviště. Lze tak usuzovat, že vlivy počasí mají vliv na růst a příjem dusíku u silážní kukuřice. Tato hypotéza tak byla potvrzena.

2. Silážní kukuřice hnojená kombinací prvků dusíku, fosforu a draslíku dosáhne vyššího výnosu sušiny než kukuřice hnojená pouze dusíkatým hnojivem.

Porovnáním varianty samotného hnojení hnojivem DAM 390 a varianty, kdy k tomuto hnojivu byl společně aplikován fosfor a draslík, je patrné, že v každém zahrnutém pokusném roce dosahovaly vyššího výnosu pozemky hnojené dusíkem, fosforem a draslíkem, oproti samotné aplikaci dusíku. Tato hypotéza tak byla potvrzena.

3. Silážní kukuřice přijme vyšší množství dusíku, pokud bude hnojená dusíkem, fosforem a draslíkem, než když bude hnojená pouze dusíkatým hnojivem.

Porovnáním varianty se samotnou aplikací hnojiva DAM 390 a varianty s aplikací hnojiva DAM 390 s přídavkem fosforu a draslíku bylo zjištěno, že ve třech letech dosahovala první varianta nižšího odběru dusíku a v posledním roce vyššího odběru dusíku. Hypotéza byla ve třech zahrnutých pokusných letech potvrzena, v posledním roce vyvrácena.

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.
- 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.
- AMANULLAH a Paigham SHAH. Nitrogen Rates and its Time of Application Influence dry Matter Partitioning and Grain Yield in Maize Planted at low and high Densities. *Journal of Plant Nutrition*. 2010, **34**(2), 224-242. ISSN 0190-4167.
- AMANULLAH, Professor & Marwat, Khan & Shah, P. & Maula, N. & Akhtar, Shahnaz. Nitrogen levels and its time of application influence leaf area, height and biomass of maize planted at low and high density. *Pakistan Journal of Botany*. 2009, **41**. 761-768.
- ASRADE, Dinkayehu, Martin KULHÁNEK, Jindřich ČERNÝ, Ondřej SEDLÁŘ a Jiří BALÍK. Effects of long-term mineral fertilization on silage maize monoculture yield, phosphorus uptake and its dynamic in soil. *Field Crops Research*. 2022, **280**. ISSN 03784290.
- TANTJE, Herrmann a Taube FRIEDHELM. The Range of the Critical Nitrogen Dilution Curv 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.
- BALÍK, Jiří, Martin KULHÁNEK, Jindřich ČERNÝ, Ondřej SEDLÁŘ, Pavel SURAN a Dinkayehu Alamnie ASRADE. The Influence of Organic and Mineral Fertilizers on the Quality of Soil Organic Matter and Glomalin Content. *Agronomy*. 2022, **12**(6). ISSN 2073-4395.

- BALÍK, Jiří, Martin KULHÁNEK, Jindřich ČERNÝ, Ondřej SEDLÁŘ a Pavel SURAN. Soil Organic Matter Degradation in Long-Term Maize Cultivation and Insufficient Organic Fertilization. *Plants*. 2020, **9**(9). ISSN 2223-7747.
- 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.
- BENDER, Ross R., Jason W. HAEGELE, Matias L. RUFFO a Fred E. BELOW. Příjem živin, rozdělení a remobilizace u moderních transgenních hybridů kukuřice chráněných proti hmyzu. *Agronomický časopis* . 2013, **105** (1), 161-170. ISSN 0002-1962.
- 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.
- CONGREVES, Kate A., Olivia OTCHERE, Daphnée FERLAND, Soudeh FARZADFAR, Shanay WILLIAMS a Melissa M. ARCAND. *Nitrogen Use Efficiency Definitions of Today and Tomorrow*. *Frontiers in Plant Science*. 2021, **12**. ISSN 1664-462X.
- CIAMPITTI, I. A., Vyn, T. J. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: A review. *Field Crops Research*, 2012. **133**, 48-67.
- ČERNÝ, J., Balík, J., Kulhánek, M., Vašák, F., Peklová, L., Sedlár, O. The effect of mineral N fertiliser and sewage sludge on yield and nitrogen efficiency of silage maize. *Plant Soil Environ*, 2012. **58**(2), 76-83.
- 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.

- FAHEED, Fayza A., El MOHAMED a Huda M. MAHMOUD. Improvement of Maize Cro Yield (*Zea mays* L.) by using of Nitrogen Fertilization and Foliar Spray of Some Activators. *Journal of Ecology of Health & Environment*. 2016, **4**(1), 33-47.
- GHEYSARI, Mahdi, Seyed Majid MIRLATIFI, Mohammad BANNAYAN, Mehdi HOMAEI 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.
- GORNOTT, C., Wechsung, F. Statistical regression models for assessing climate impacts on crop yields: A validation study for winter wheat and silage maize in Germany. *Agricultural and forest meteorology*, 2016. **217**, 89-100.
- 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.
- HORST, Egon Henrique, Valter Harry BUMBIERIS JUNIOR, Mikael NEUMANN a Secundino LÓPEZ. Effects of the Harvest Stage of Maize Hybrids on the Chemical Composition of Plant Fractions: An Analysis of the Different Types of Silage. *Agriculture*. 2021, **11**(8). ISSN 2077-0472.
- HULSEN, Jan a Dries AERDEN. Signály krmení: praktická příručka ke krmení dojníc pro jejich zdraví a užítkovost. Praha: [Profí Press], 2014. ISBN 978-80-86726-62-5.
- CHEN, Xiaoying, Peng LIU, Bin ZHAO, Jiawang ZHANG, Baizhao REN, Zhe LI a Ziqiang WANG. Root physiological adaptations that enhance the grain yield and nutrient use efficiency of maize (*Zea mays* L) and their dependency on phosphorus placement depth. *Field Crops Research*. 2022, **276**. ISSN 03784290.
- 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.
- 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. *ZemdirbysteAgriculture*. 2015, **102**(3), 313-318. DOI: 10.13080/z-a.2015.102.040. ISSN 1392-3196.

- 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. Škúdcí polních plodin. Praha: Profi Press, 2014. ISBN 978-80-86726-61-8.
- 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.
- MASCIA, Maria, Davide SEGA, Anita ZAMBONI a Zeno VARANINI. Nitrogen Starvation Differentially Influences Transcriptional and Uptake Rate Profiles in Roots of Two Maize Inbred Lines with Different NUE. *International Journal of Molecular Sciences*. 2019, **20**(19). ISSN 1422-0067.
- 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.
- 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
- 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.
- 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.

- 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, Viliam a Jozef VIDOVIČ. Transpiration and nutrient uptake dynamics in maize (*Zea mays* L.). *Ecological Modelling*. 2003, **166**(1-2), 99-107. ISSN 03043800. Dostupné z: doi:10.1016/S0304-3800(03)00102-9
- NOVÁK, Jan a Milan SKALICKÝ. *Botanika: cytologie, histologie, organologie a systematika*. Čtvrté vydání. Praha: Powerprint, 2017. ISBN 978-80-7568-036-5.
- OMAR, S., R. ABD GHANI, H. KHAEIM, A.H. SGHAIER a M. JOLÁNKAI. *The effect of nitrogen fertilisation on yield and quality of maize (Zea mays L.)*. *Acta Alimentaria*. 2022, **51**(2), 249-258. ISSN 0139-3006.
- 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.
- 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.
- 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.

- STRUCK, I. J., Reinsch, T., Herrmann, A., Kluß, C., Loges, R., & Taube, F. Yield potential and nitrogen dynamics of no-till silage maize (*Zea mays* L.) under maritime climate conditions. *European Journal of Agronomy*, 2019. **107**, 30-42.
- 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), 343-360.47 DOI: 10.1007/s11104-006-0006-3. ISSN 0032-079X.
- SURAN, Pavel, Martin KULHÁNEK, Jiří BALÍK, Jindřich ČERNÝ a Ondřej SEDLÁŘ. Evaluation of Soil S Pools under 23 Years of Maize Monoculture. *Agronomy*. 2021, **11**(12). ISSN 2073-4395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy11122376
- SURAN, Pavel, Jiří BALÍK, Martin KULHÁNEK, Ondřej SEDLÁŘ a Jindřich ČERNÝ. Influence of Long-Term Organic Fertilization on Changes in the Content of Various Forms of Sulfur in the Soil under Maize Monoculture. *Agronomy*. 2023, **13**(4). ISSN 2073-4395.
- ŠUK, Jaroslav, Jiří BALÍK, P. JACOBÉ, Václav JAMBOR, Václav KOHOUT, R. LOUČKA, V. TÁBORSKÝ a Jaroslav VRZAL. Kukuřice. Kněžves: VP AGRO, 1998. ISBN 80-86153-99-1.
- TAUBE, F., Vogeler, I., Kluß, C., Herrmann, A., Hasler, M., Rath, J., ... & Malisch, C. S. Yield Progress in Forage Maize in NW Europe—Breeding Progress or Climate Change Effects. *Frontiers in Plant Science*, 2020. 11.
- 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.
- VELTHOF, G., Schooten, H. V., & Dijk, W. V. (2020). Optimization of the Nutrient Management of Silage Maize Cropping Systems in The Netherlands: A Review. *Agronomy*, **10**(12), 1861.
- 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.

- YORK, Larry M. a Jonathan P. LYNCH. Intensive field phenotyping of maize (*Zea mays* L.) root crowns identifies phenes and phene integration associated with plant growth and nitrogen acquisition. *Journal of Experimental Botany*. 2015, **66**(18), 5493-5505. ISSN 0022-0957.
- ZIMOLKA, Josef. Kukuřice: hlavní a alternativní užitkové směry. Praha: Profi Press, 2008. ISBN 978-80-86726-31-1
- WOLLNEROVÁ, Jana, Lada KOZLOVSKÁ a Jan KLÍR. Hospodaření ve zranitelných oblastech – 5. akční program nitratové směrnice: Metodika pro praxi [online]. Druhé. Praha, 2022. ISBN 978-80-7427-376-6.

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

CO₂ – oxid uhličitý

DAM 390 - kapalné dusíkaté hnojivo

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

K – draslík

SA – síran amonný

N – dusík

N₂ – plynná podoba dusíku

NUE – index efektivity využití dusíku

NUtE – účinnost využití dusíku

NUpE – příjem dusíku rostlinami

NO₃⁻ - dusičnany

NH₄⁺ - amonný kationt

P – fosfor

P₂O₅ – oxid fosforečný

pH – vodíkový exponent

R2 – fáze růstu kukuřice

10 Seznam tabulek a grafů

10.1.1 Tabulky

Tabulka číslo 1 Stupňovité dávky hnojení kukuřice dusíkem a jeho vliv na výnos a příjem dusíku

Tabulka číslo 2 Vymezení zákazu aplikace dusíkatých hnojiv na orné půdě a TTP

Tabulka číslo 3 Výsledky polního pokusu s rozdílnou hloubkou aplikace fosforečného hnojiva

Tabulka číslo 4 Složení organických hnojiv

Tabulka číslo 5 Rozdělení organických dusíkatých hnojiv dle rychlosti jejich působení

Tabulka číslo 6 popis jednotlivých variant polního pokusu.

Tabulka číslo 7 Množství dodaných živin k jednotlivým variantám pokusu

Tabulka číslo 7 Termíny výsevu a sklizní pokusu

Tabulka číslo 8 Obsah prvků ve výluhu Mehlich 3 na pokusném stanovišti Červený Újezd

Tabulka číslo 9 Průměrné měsíční srážky na stanovišti Červený Újezd

Tabulka číslo 10 Průměrná měsíční teplota na stanovišti Červený Újezd

Tabulka číslo 11 Procentuální obsah sušiny z čerstvé hmoty silážní kukuřice

Tabulka číslo 12 Procentuální vyjádření navýšení výnosu čerstvé hmoty hnojených variant oproti nehnojené variantě kontrola.

Tabulka číslo 13 Efektivita využití dusíku v polním pokusu.

Tabulka číslo I Scheffého test pro parametr výnos čerstvé hmoty v roce 2019.

Tabulka číslo II Scheffého test pro parametr výnos čerstvé hmoty v roce 2020.

Tabulka číslo III Scheffého test pro parametr výnos čerstvé hmoty v roce 2021.

Tabulka číslo IV Scheffého test pro parametr výnos čerstvé hmoty v roce 2022.

Tabulka číslo V Scheffého test pro parametr výnos sušiny v roce 2019.

Tabulka číslo VI Scheffého test pro parametr výnos sušiny v roce 2020.

Tabulka číslo VII Scheffého test pro parametr výnos sušiny v roce 2021.

Tabulka číslo VIII Scheffého test pro parametr výnos sušiny v roce 2022.

Tabulka číslo IX Scheffého test pro parametr obsah dusíku v sušině rostlin v roce 2019.

Tabulka číslo X Scheffého test pro parametr obsah dusíku v sušině rostlin v roce 2020.

Tabulka číslo XI Scheffého test pro parametr obsah dusíku v sušině rostlin v roce 2021.

Tabulka číslo XII Scheffého test pro parametr obsah dusíku v sušině rostlin v roce 2022.

Tabulka číslo XIII Scheffého test pro parametr odběr dusíku v roce 2019.

Tabulka číslo XIV Scheffého test pro parametr odběr dusíku v roce 2020.

Tabulka číslo XV Scheffého test pro parametr odběr dusíku v roce 2021.

Tabulka číslo XVI Scheffého test pro parametr odběr dusíku v roce 2022.

10.1.2 Grafy

Graf číslo 1 Průměrné měsíční srážky na stanovišti Červený Újezd.

Graf číslo 2 Průměrná měsíční teplota na stanovišti Červený Újezd.

Graf číslo 3 Výnos čerstvé hmoty silážní kukuřice (2019, 2020, 2021 a 2022).

Graf číslo 4 Výnos sušiny silážní kukuřice (2019, 2020, 2021 a 2022).

Graf číslo 5 Obsah dusíku v rostlinách silážní kukuřice (2019, 2020, 2021 a 2022).

Graf číslo 6 Odběr dusíku rostlinami silážní kukuřice (2019, 2020, 2021 a 2022).

Graf číslo I Statistické vyhodnocení pro parametr výnos čerstvé hmoty (ANOVA).

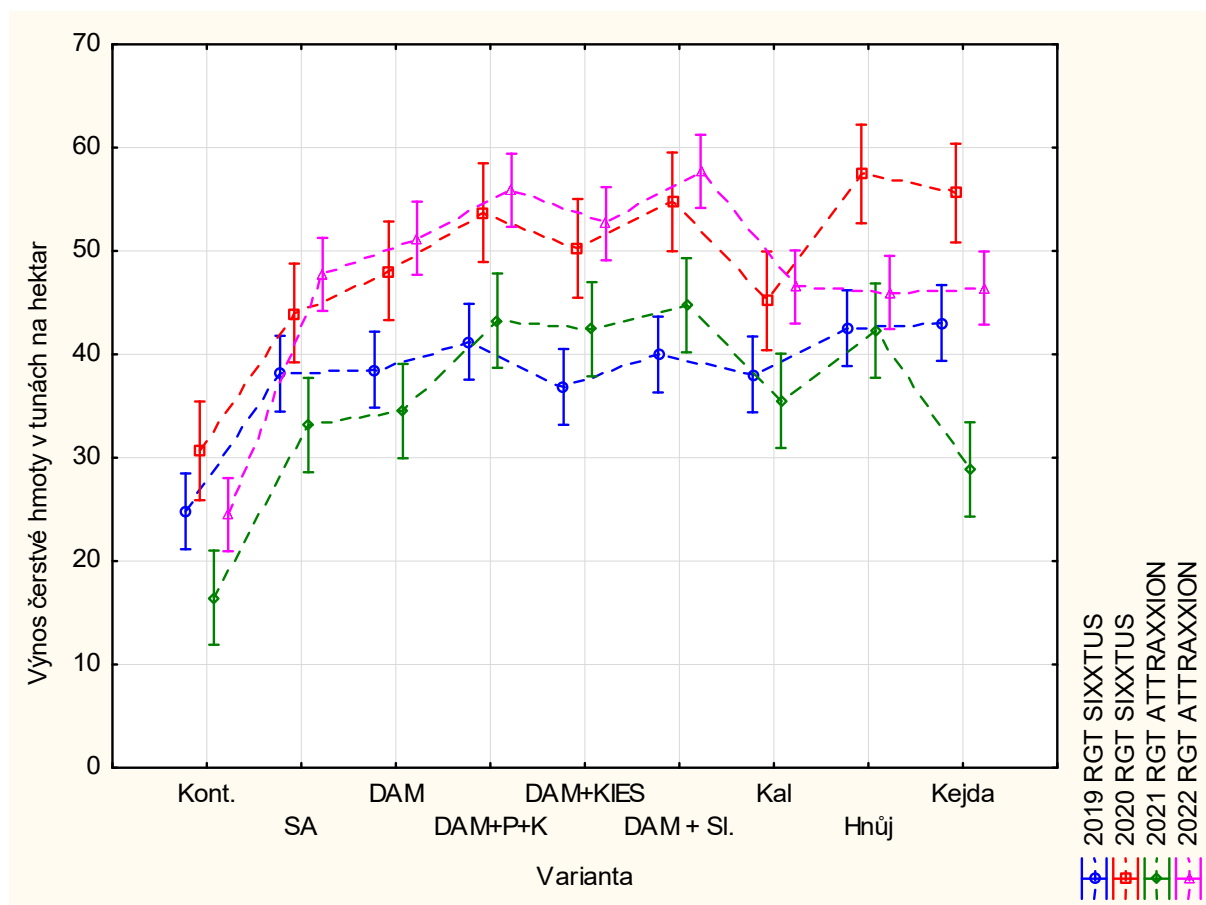
Graf číslo II Statistické vyhodnocení výnosu sušiny (ANOVA).

Graf číslo III statistické vyhodnocení obsahu dusíku v sušině rostlin silážní kukuřice (ANOVA).

Graf číslo IV Statistické vyhodnocení odběru dusíku (ANOVA).

11 Samostatné přílohy

Graf číslo I Statistické vyhodnocení pro parametr výnos čerstvé hmoty (ANOVA).



Tabulka číslo I Scheffého test pro parametr výnos čerstvé hmoty v roce 2019.

Kont.		0,007082	0,005086	0,000494	0,020089	0,001453	0,007447	0,000156	0,000100
SA	0,007082		1,000000	0,990760	0,999986	0,999752	1,000000	0,922251	0,865563
DAM	0,005086	1,000000		0,996311	0,999887	0,999959	1,000000	0,953606	0,911466
DAM+P+K	0,000494	0,990760	0,996311		0,926095	0,999989	0,989516	0,999982	0,999782
DAM+KIES	0,020089	0,999986	0,999887	0,926095		0,989951	0,999990	0,744736	0,649802
DAM + Sl.	0,001453	0,999752	0,999959	0,999989	0,989951		0,999685	0,997471	0,991380
Kal	0,007447	1,000000	1,000000	0,989516	0,999990	0,999685		0,916472	0,857537
Hnůj	0,000156	0,922251	0,953606	0,999982	0,744736	0,997471	0,916472		1,000000
Kejda	0,000100	0,865563	0,911466	0,999782	0,649802	0,991380	0,857537	1,000000	

Tabulka číslo II Scheffého test pro parametr výnos čerstvé hmoty v roce 2020.

Kont.		0,077732	0,006706	0,000159	0,001616	0,000078	0,040206	0,000013	0,000044
SA	0,077732		0,989744	0,401429	0,879049	0,269300	0,999999	0,072824	0,185462
DAM	0,006706	0,989744		0,930048	0,999889	0,835825	0,999019	0,449138	0,727090
DAM+P+K	0,000159	0,401429	0,930048		0,996679	1,000000	0,576491	0,994172	0,999959
DAM+KIES	0,001616	0,879049	0,999889	0,996679		0,980922	0,960612	0,770044	0,946579
DAM + Sl.	0,000078	0,269300	0,835825	1,000000	0,980922		0,419721	0,999421	1,000000
Kal	0,040206	0,999999	0,999019	0,576491	0,960612	0,419721		0,134254	0,306974
Hnůj	0,000013	0,072824	0,449138	0,994172	0,770044	0,999421	0,134254		0,999966
Kejda	0,000044	0,185462	0,727090	0,999959	0,946579	1,000000	0,306974	0,999966	

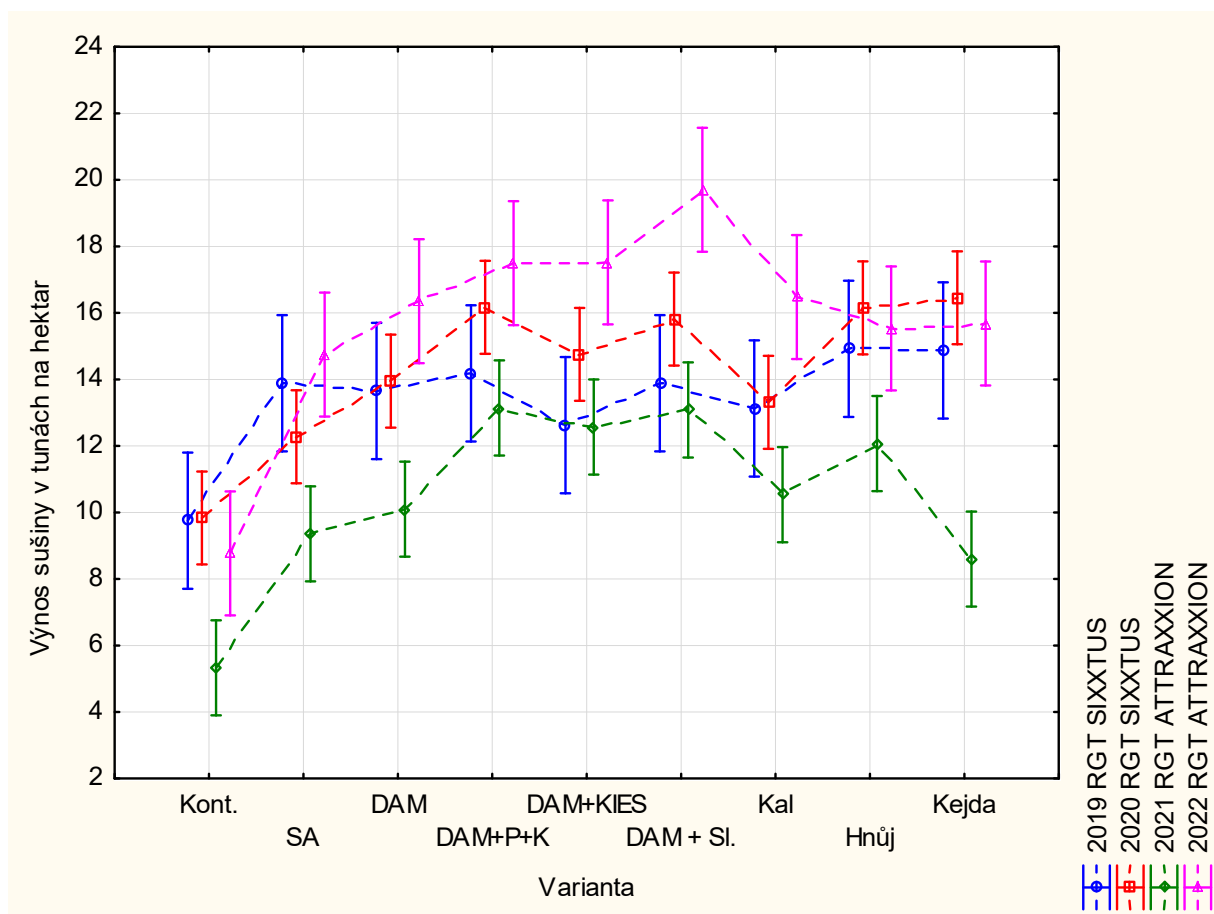
Tabulka číslo III Scheffého test pro parametr výnos čerstvé hmoty v roce 2021.

Kont.		0,006446	0,002557	0,000006	0,000010	0,000002	0,001283	0,000011	0,093759
SA	0,006446		0,999996	0,288915	0,401416	0,144052	0,999720	0,421123	0,981009
DAM	0,002557	0,999996		0,479656	0,612966	0,272612	1,000000	0,634217	0,908702
DAM+P+K	0,000006	0,288915	0,479656		1,000000	0,999991	0,637742	1,000000	0,028828
DAM+KIES	0,000010	0,401416	0,612966	1,000000		0,999737	0,763522	1,000000	0,048021
DAM + Sl.	0,000002	0,144052	0,272612	0,999991	0,999737		0,404265	0,999601	0,011070
Kal	0,001283	0,999720	1,000000	0,637742	0,763522	0,404265		0,781825	0,802714
Hnůj	0,000011	0,421123	0,634217	1,000000	1,000000	0,999601	0,781825		0,051983
Kejda	0,093759	0,981009	0,908702	0,028828	0,048021	0,011070	0,802714	0,051983	

Tabulka číslo IV Scheffého test pro parametr výnos čerstvé hmoty v roce 2022.

Kont.		0,000001	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000002	0,000003	0,000002
SA	0,000001		0,974327	0,243437	0,840723	0,072905	0,999987	0,999788	0,999975
DAM	0,000000	0,974327		0,877348	0,999959	0,545528	0,867698	0,785772	0,853961
DAM+P+K	0,000000	0,243437	0,877348		0,984196	0,999710	0,112220	0,077018	0,104773
DAM+KIES	0,000000	0,840723	0,999959	0,984196		0,817070	0,616427	0,506860	0,595967
DAM + Sl.	0,000000	0,072905	0,545528	0,999710	0,817070		0,028461	0,018442	0,026271
Kal	0,000002	0,999987	0,867698	0,112220	0,616427	0,028461		1,000000	1,000000
Hnůj	0,000003	0,999788	0,785772	0,077018	0,506860	0,018442	1,000000		1,000000
Kejda	0,000002	0,999975	0,853961	0,104773	0,595967	0,026271	1,000000	1,000000	

Graf číslo II Statistické vyhodnocení výnosu sušiny (ANOVA).



Tabulka číslo V Scheffého test pro parametr výnos sušiny v roce 2019.

Kont.		0,411515	0,491285	0,319534	0,832874	0,412571	0,677737	0,150859	0,158936
SA	0,411515		1,000000	1,000000	0,998939	1,000000	0,999976	0,999755	0,999826
DAM	0,491285	1,000000		0,999999	0,999765	1,000000	0,999999	0,998903	0,999163
DAM+P+K	0,319534	1,000000	0,999999		0,995320	1,000000	0,999709	0,999981	0,999989
DAM+KIES	0,832874	0,998939	0,999765	0,995320		0,998958	0,999999	0,946884	0,952703
DAM + Sl.	0,412571	1,000000	1,000000	1,000000	0,998958		0,999977	0,999749	0,999822
Kal	0,677737	0,999976	0,999999	0,999709	0,999999	0,999977		0,988076	0,989951
Hnůj	0,150859	0,999755	0,998903	0,999981	0,946884	0,999749	0,988076		1,000000
Kejda	0,158936	0,999826	0,999163	0,999989	0,952703	0,999822	0,989951	1,000000	

Tabulka číslo VI Scheffého test pro parametr výnos sušiny v roce 2020.

Kont.		0,605603	0,052099	0,000410	0,009948	0,000921	0,163337	0,000423	0,000211
SA	0,605603		0,923204	0,079581	0,586596	0,147449	0,996098	0,081611	0,046041
DAM	0,052099	0,923204		0,719719	0,999357	0,867617	0,999882	0,726354	0,572291
DAM+P+K	0,000410	0,079581	0,719719		0,970656	0,999999	0,394375	1,000000	1,000000
DAM+KIES	0,009948	0,586596	0,999357	0,970656		0,995373	0,966879	0,972331	0,916355
DAM + Sl.	0,000921	0,147449	0,867617	0,999999	0,995373		0,572907	0,999999	0,999880
Kal	0,163337	0,996098	0,999882	0,394375	0,966879	0,572907		0,400902	0,270544
Hnůj	0,000423	0,081611	0,726354	1,000000	0,972331	0,999999	0,400902		1,000000
Kejda	0,000211	0,046041	0,572291	1,000000	0,916355	0,999880	0,270544	1,000000	

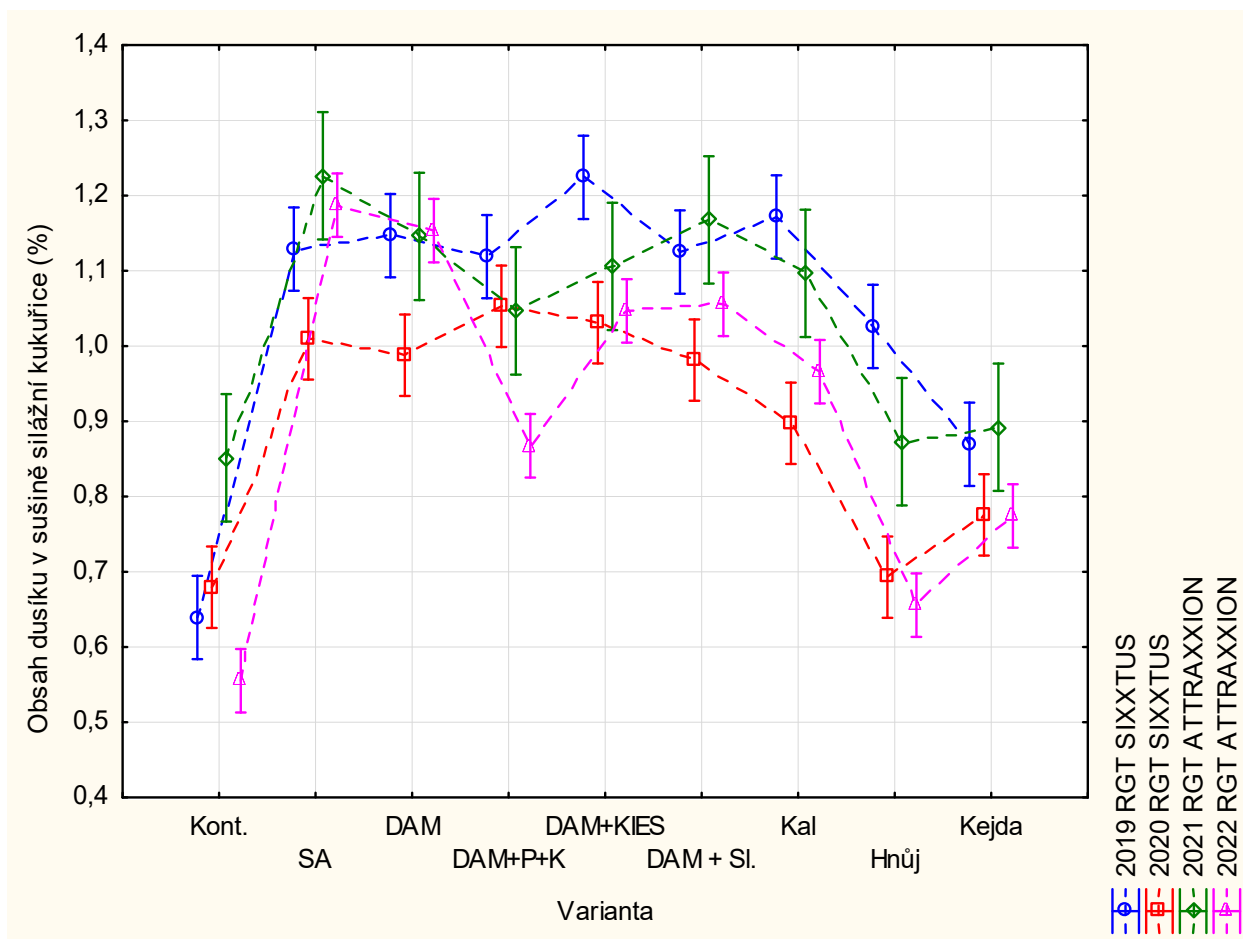
Tabulka číslo VII Scheffého test pro parametr výnos sušiny v roce 2021.

Kont.		0,072990	0,017183	0,000021	0,000074	0,000024	0,006884	0,000226	0,251188
SA	0,072990		0,999696	0,112040	0,272386	0,123949	0,992074	0,494792	0,999642
DAM	0,017183	0,999696		0,340135	0,619814	0,366286	0,999995	0,844796	0,963407
DAM+P+K	0,000021	0,112040	0,340135		0,999957	1,000000	0,548342	0,995792	0,027218
DAM+KIES	0,000074	0,272386	0,619814	0,999957		0,999981	0,820960	0,999986	0,081053
DAM + SI.	0,000024	0,123949	0,366286	1,000000	0,999981		0,578965	0,997170	0,030656
Kal	0,006884	0,992074	0,999995	0,548342	0,820960	0,578965		0,957710	0,858222
Hnůj	0,000226	0,494792	0,844796	0,995792	0,999986	0,997170	0,957710		0,185941
Kejda	0,251188	0,999642	0,963407	0,027218	0,081053	0,030656	0,858222	0,185941	

Tabulka číslo VIII Scheffého test pro parametr výnos sušiny v roce 2022.

Kont.		0,024935	0,001792	0,000251	0,000240	0,000006	0,001455	0,007111	0,005552
SA	0,024935		0,989268	0,791670	0,783097	0,109061	0,982866	0,999937	0,999766
DAM	0,001792	0,989268		0,998977	0,998795	0,568715	1,000000	0,999911	0,999981
DAM+P+K	0,000251	0,791670	0,998977		1,000000	0,927759	0,999550	0,962686	0,976819
DAM+KIES	0,000240	0,783097	0,998795	1,000000		0,932282	0,999458	0,959678	0,974688
DAM + SI.	0,000006	0,109061	0,568715	0,927759	0,932282		0,616500	0,277019	0,322695
Kal	0,001455	0,982866	1,000000	0,999550	0,999458	0,616500		0,999749	0,999932
Hnůj	0,007111	0,999937	0,999911	0,962686	0,959678	0,277019	0,999749		1,000000
Kejda	0,005552	0,999766	0,999981	0,976819	0,974688	0,322695	0,999932	1,000000	

Graf číslo III statistické vyhodnocení obsahu dusíku v sušině rostlin silážní kukuřice (ANOVA).



Tabulka číslo IX Scheffého test pro parametr obsah dusíku v sušině rostlin v roce 2019.

Kont.		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,001347
SA	0,000000		0,999992	1,000000	0,624517	1,000000	0,994896	0,524878	0,000248
DAM	0,000000	0,999992		0,999750	0,835432	0,999962	0,999901	0,309078	0,000088
DAM+P+K	0,000000	1,000000	0,999750		0,491703	1,000000	0,979657	0,657621	0,000445
DAM+KIES	0,000000	0,624517	0,835432	0,491703		0,573081	0,979926	0,008330	0,000001
DAM + Sl.	0,000000	1,000000	0,999962	1,000000	0,573081		0,990846	0,576339	0,000311
Kal	0,000000	0,994896	0,999901	0,979657	0,979926	0,990846		0,117635	0,000021
Hnůj	0,000000	0,524878	0,309078	0,657621	0,008330	0,576339	0,117635		0,070639
Kejda	0,001347	0,000248	0,000088	0,000445	0,000001	0,000311	0,000021	0,070639	

Tabulka číslo X Scheffého test pro parametr obsah dusíku v sušině rostlin v roce 2020.

Kont.		0,000003	0,000010	0,000000	0,000001	0,000014	0,002039	0,999999	0,582282
SA	0,000003		0,999956	0,993449	0,999960	0,999684	0,374284	0,000006	0,000794
DAM	0,000010	0,999956		0,922057	0,993491	1,000000	0,659598	0,000021	0,002854
DAM+P+K	0,000000	0,993449	0,922057		0,999955	0,873637	0,063024	0,000001	0,000061
DAM+KIES	0,000001	0,999960	0,993491	0,999955		0,983821	0,169572	0,000002	0,000222
DAM + Sl.	0,000014	0,999684	1,000000	0,873637	0,983821		0,742125	0,000031	0,004154
Kal	0,002039	0,374284	0,659598	0,063024	0,169572	0,742125		0,004439	0,269972
Hnůj	0,999999	0,000006	0,000021	0,000001	0,000002	0,000031	0,004439		0,756030
Kejda	0,582282	0,000794	0,002854	0,000061	0,000222	0,004154	0,269972	0,756030	

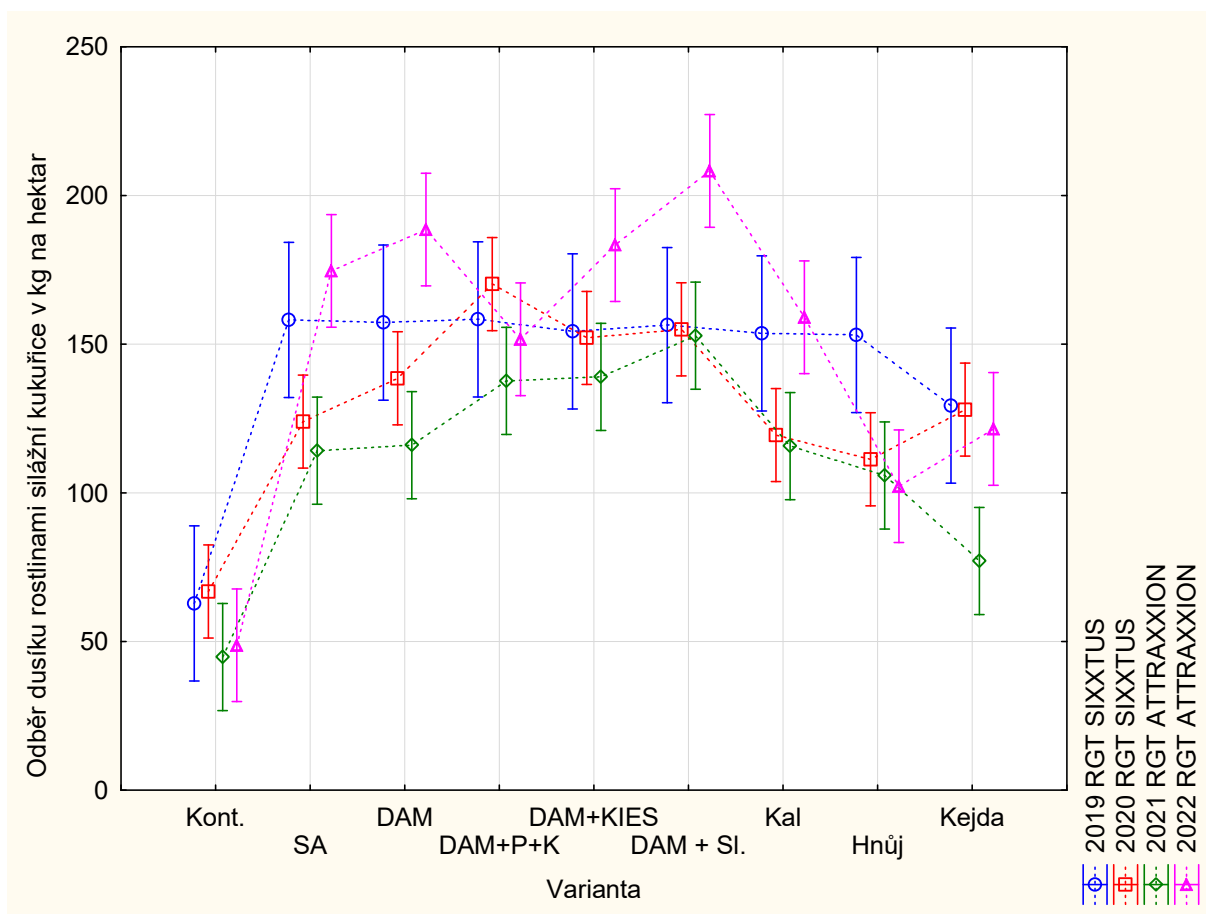
Tabulka číslo XI Scheffého test pro parametr obsah dusíku v sušině rostlin v roce 2021.

Kont.		0,000570	0,011332	0,241234	0,044191	0,005129	0,059417	0,999999	0,999831
SA	0,000570		0,979712	0,344362	0,821314	0,997543	0,755099	0,001280	0,002633
DAM	0,011332	0,979712		0,932550	0,999853	0,999999	0,999308	0,023886	0,045283
DAM+P+K	0,241234	0,344362	0,932550		0,997399	0,818139	0,999230	0,387378	0,546921
DAM+KIES	0,044191	0,821314	0,999853	0,997399		0,996462	1,000000	0,086239	0,149724
DAM + Sl.	0,005129	0,997543	0,999999	0,818139	0,996462		0,990919	0,011112	0,021776
Kal	0,059417	0,755099	0,999308	0,999230	1,000000	0,990919		0,113232	0,191491
Hnůj	0,999999	0,001280	0,023886	0,387378	0,086239	0,011112	0,113232		0,999999
Kejda	0,999831	0,002633	0,045283	0,546921	0,149724	0,021776	0,191491	0,999999	

Tabulka číslo XII Scheffého test pro parametr obsah dusíku v sušině rostlin v roce 2022.

Kont.		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,206009	0,000049
SA	0,000000		0,993311	0,000000	0,017484	0,031905	0,000042	0,000000	0,000000
DAM	0,000000	0,993311		0,000000	0,148551	0,234578	0,000544	0,000000	0,000000
DAM+P+K	0,000000	0,000000	0,000000		0,001021	0,000523	0,228692	0,000086	0,291756
DAM+KIES	0,000000	0,017484	0,148551	0,001021		1,000000	0,483921	0,000000	0,000001
DAM + Sl.	0,000000	0,031905	0,234578	0,000523	1,000000		0,343977	0,000000	0,000001
Kal	0,000000	0,000042	0,000544	0,228692	0,483921	0,343977		0,000000	0,000393
Hnůj	0,206009	0,000000	0,000000	0,000086	0,000000	0,000000	0,000000		0,074962
Kejda	0,000049	0,000000	0,000000	0,291756	0,000001	0,000001	0,000393	0,074962	

Graf číslo IV Statistické vyhodnocení odběru dusíku (ANOVA).



Tabulka číslo XIII Scheffého test pro parametr odběr dusíku v roce 2019.

Kont.		0,006584	0,007301	0,006437	0,010350	0,008068	0,011166	0,011862	0,141381
SA	0,006584		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,950891
DAM	0,007301	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,958881
DAM+P+K	0,006437	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,949020
DAM+KIES	0,010350	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	0,979150
DAM + SI.	0,008068	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	0,965690
Kal	0,011166	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	0,982342
Hnůj	0,011862	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		0,984615
Kejda	0,141381	0,950891	0,958881	0,949020	0,979150	0,965690	0,982342	0,984615	

Tabulka číslo XIV Scheffého test pro parametr odběr dusíku v roce 2020.

Kont.		0,006623	0,000345	0,000001	0,000022	0,000012	0,015923	0,068401	0,002964
SA	0,006623		0,982331	0,050471	0,567193	0,434467	0,999996	0,992832	0,999999
DAM	0,000345	0,982331		0,406452	0,988726	0,962738	0,914923	0,609471	0,997997
DAM+P+K	0,000001	0,050471	0,406452		0,936283	0,976884	0,022331	0,004653	0,098836
DAM+KIES	0,000022	0,567193	0,988726	0,936283		1,000000	0,364485	0,122850	0,749635
DAM + SI.	0,000012	0,434467	0,962738	0,976884	1,000000		0,257538	0,077503	0,620752
Kal	0,015923	0,999996	0,914923	0,022331	0,364485	0,257538		0,999693	0,999543
Hnůj	0,068401	0,992832	0,609471	0,004653	0,122850	0,077503	0,999693		0,959429
Kejda	0,002964	0,999999	0,997997	0,098836	0,749635	0,620752	0,999543	0,959429	

Tabulka číslo XV Scheffého test pro parametr odběr dusíku v roce 2021.

Kont.		0,003555	0,002572	0,000055	0,000043	0,000004	0,002722	0,014651	0,571912
SA	0,003555		1,000000	0,881728	0,846117	0,328770	1,000000	0,999872	0,383357
DAM	0,002572	1,000000		0,922396	0,894340	0,393844	1,000000	0,999428	0,319249
DAM+P+K	0,000055	0,881728	0,922396		1,000000	0,990621	0,916049	0,591584	0,015864
DAM+KIES	0,000043	0,846117	0,894340	1,000000		0,994907	0,886660	0,537582	0,012738
DAM + Sl.	0,000004	0,328770	0,393844	0,990621	0,994907		0,382027	0,122754	0,001157
Kal	0,002722	1,000000	1,000000	0,916049	0,886660	0,382027		0,999549	0,329998
Hnůj	0,014651	0,999872	0,999428	0,591584	0,537582	0,122754	0,999549		0,711752
Kejda	0,571912	0,383357	0,319249	0,015864	0,012738	0,001157	0,329998	0,711752	

Tabulka číslo XVI Scheffého test pro parametr odběr dusíku v roce 2022.

Kont.		0,000001	0,000000	0,000023	0,000000	0,000000	0,000007	0,071888	0,003697
SA	0,000001		0,996361	0,917548	0,999881	0,585051	0,992031	0,003907	0,075257
DAM	0,000000	0,996361		0,460059	0,999998	0,965020	0,739537	0,000378	0,009378
DAM+P+K	0,000023	0,917548	0,460059		0,659395	0,046195	0,999964	0,123100	0,715993
DAM+KIES	0,000000	0,999881	0,999998	0,659395		0,875696	0,891309	0,000914	0,021255
DAM + Sl.	0,000000	0,585051	0,965020	0,046195	0,875696		0,126230	0,000014	0,000349
Kal	0,000007	0,992031	0,739537	0,999964	0,891309	0,126230		0,044887	0,435591
Hnůj	0,071888	0,003907	0,000378	0,123100	0,000914	0,000014	0,044887		0,969650
Kejda	0,003697	0,075257	0,009378	0,715993	0,021255	0,000349	0,435591	0,969650	