

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Indikátory výživného stavu kukuřice sírou s ohledem
na obsah přijatelné síry v půdě**

Bakalářská práce

**Autor práce: Jan Belfín
Studijní obor: Rostlinná produkce**

Vedoucí práce: Ing. Ondřej Sedlář, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci „Indikátory výživného stavu kukuřice sírou s ohledem na obsah přijatelné síry v půdě“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 4. 4. 2022

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval za velkou ochotu, užitečné rady, odbornost a vynikající přístup panu Ing. Ondřeji Sedlářovi, Ph.D. při zpracování této bakalářské práce. Dále děkuji Zemědělské společnosti Komorno, a.s., za umožnění odebrání vzorků analyzovaných v této práci. V neposlední řadě chci poděkovat svým blízkým, bez jejichž podpory bych tuto práci nemohl realizovat.

Indikátory výživného stavu kukuřice sírou s ohledem na obsah přijatelné síry v půdě

Souhrn

Problematika výživy rostlin sírou se dnes dostává jednoznačně do povědomí všech zemědělců. Vzhledem k omezení atmosférických spadů síry v posledních dvou dekadách nabývá tento prvek na významu a v nejednom případě se stává limitujícím prvkem pro pěstování polních plodin. Kukuřice není jednou z nejnáročnějších plodin na výživu sírou, ale i u této plodiny způsobuje nedostatek síry kvantitativní a kvalitativní ztrátu při pěstování.

Cílem této práce bylo zhodnocení výživy kukuřice sírou na pozemcích Zemědělské společnosti Komorno a.s. v západních Čechách. Vzorky kukuřice byly odebírány na celkem 26 pozemcích, a to ve dvou růstových fázích. První odběr byl proveden ve fázi 10 pravých listů, druhý v době kvetení kukuřice. V obou případech byla zkoumána hmotnost nadzemní biomasy a obsah síry a dusíku v sušině. Při prvním odběru byl proveden odběr vzorků půdy, kdy byly laboratorně stanoveny hodnota pH a obsah přístupné síry v půdě, která byla zjištěna ve výluhu Mehlich 3.

Z výsledků stanovení nadzemní biomasy jednoznačně vyplývá, že kukuřice je plodina velmi dobře snášející monokulturní pěstování. Kukuřice po stejné předplodině měla druhou nejvyšší hmotnost nadzemní biomasy při prvním odběru a o málo vyšší než po pšenici při druhém odběru. Jak naznačují směrodatné odchylky, výnosy byly po obou předplodinách srovnatelné.

Z naměřených hodnot pH je patrné, že většina pozemků je nedostatečně zásobena vápníkem, protože hodnoty pH se na některých pozemcích pohybovaly i pod pH 5, což je již pH velmi kyselé.

Byla také zkoumána možnost využití poměru N:S ke stanovení dostatečného zásobení rostlin sírou, kdy se ukázalo jako vhodné využití tohoto indikátoru jak ve fázi 10 pravých listů, tak ve fázi kvetení.

Naměřené hodnoty obsahu síry v rostlině ukazují na nedostatečný obsah síry v sušině při druhém odběru. Obsah síry v sušině se ukázal jako vhodný indikátor výživného stavu kukuřice sírou pouze u rostlin ve fázi kvetení.

Klíčová slova: dusík, kukuřice, síra, síran, výnos

Indicators of maize sulphur status with regard to available sulphur in soil

Summary

These days, the problem of sulphur nutrition of plants is well known by farmers. In the two last decades we have noticed a reduction of atmospheric falls containing sulphur and that is the reason why the sulphur nutrition becomes a limiting element of plant production. Maize doesn't need a lot of sulphur, but even this crop has problem in quality and quantity of harvested products when the plants lack sulphur during the cultivation.

The aim of this thesis is to rate the sulphur nutrition of maize on fields belonging to Zemědělská společnost Komorno a.s. in western part of the Czech Republic. The samples were collected on 26 parcels in two growing phases. The first samples were taken when the maize had 10 leaves, second when the maize bloomed. We were examining the weight of upper biomass of plants, the content of sulphur and nitrogen. During the first sampling, we also made samples of soil where we were observing pH value and the content of sulphur using Mehlich 3. The results were related to preceding crops.

When we look at the results of upper biomass, it's clear to say that maize could be plant for more times on the same field. We compared these preceding crops: maize, wheat and rapeseed. Maize cultivated after maize has after wheat the second biggest weight of upper biomass from the first sampling time, but results from the second sampling indicate, that the weight of the upper biomass of maize was a little bit higher than after wheat. When we look at results of standard deviations, we could say that the yields after these preceding crops were at the same level.

The results of pH indicate low content of calcium, because the figures were very low. Some figures were under the level of pH 5.

Then we focused on the relation between content of sulphur in soil and sulphur in dry matter. We observed the use of rate N:S as an indicator of sulphur nutrition in plants. As a conclusion we recommend the use of this indicator of maize in both growing phases, 10 leaves and blooming of maize.

Finally, we examined the content of sulphur in plants. The results showed the lack of sulphur in dry matter of plants only from the second sampling time. Looking at the results we could recommend this indicator for the blooming plants of maize.

Keywords: maize, nitrogen, sulphate, sulphur, yield

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl práce.....	9
2.1	Hypotézy	9
3	Literární rešerše.....	10
3.1	Historie pěstování kukuřice	10
3.2	Řazení kukuřice.....	10
3.2.1	Typ fotosyntézy	10
3.3	Osevní plochy ve světě	11
3.3.1	Osevní plochy v České republice.....	11
3.4	Silážní kukuřice.....	12
3.4.1	Principy krmení silážní kukuřicí	12
3.4.2	Bioplynové stanice.....	13
3.5	Síra v kukuřici.....	15
3.6	Hnojení kukuřice seté	15
3.6.1	Hnojení kukuřice seté sírou	16
4	Síra.....	18
4.1	Síra v půdě	19
4.1.1	Organická síra	19
4.1.2	Minerální síra	20
4.2	Síra v rostlině.....	21
4.2.1	Sírné aminokyseliny.....	22
4.3	Nedostatek síry	23
4.3.1	Způsoby stanovení nedostatku síry	23
4.3.2	Projevy nedostatku síry	23
4.4	Nadbytek síry.....	25
4.5	Glukosinoláty.....	25
4.6	Principy hnojení sírou	26
4.6.1	Hnojiva obsahující síru	27
5	Metodika.....	29
5.1	Průběh počasí	30
5.2	Zemědělská společnost Komorno	30
6	Výsledky	31
6.1	Vliv předplodiny na výnos nadzemní biomasy.....	31
6.2	Vztah mezi pH a obsahem síry v půdě metodou Mehlich 3	33
6.3	Vztah mezi obsahem síry v půdě a poměrem N:S.....	34
6.4	Vztah mezi obsahem síry v půdě a obsahem síry v rostlinách.....	36

7	Diskuze	38
8	Závěr	41
9	Seznam literatury	42

1 Úvod

Naši třetí nejpěstovanější plodinou je kukuřice, která v posledních letech nabývá na významu díky jejímu využití jako vstupního materiálu do bioplynových stanic. Mezi její velké přednosti patří velký výnosový potenciál a možnost aplikace kapalných statkových hnojiv k této plodině (Sutar et al. 2017).

Dle Vaněk et al. (2016) se kukuřice pěstuje ve větší meziřádkové vzdálenosti, díky čemuž nemá velkou protierozní schopnost v raných fázích růstu. Později její protierozní schopnost roste, protože vytváří mohutný kořenový systém a velmi dobře využívá živiny obsažené v půdě.

Náplní této práce je problematika výživy kukuřice sírou, která sice není nejnáročnější plodinou na výživu tímto prvkem, ale kvůli redukci atmosférických spadů obsahujících síru se stává i tento prvek nedostatkovým při výživě kukuřice. Odsířením průmyslu došlo k omezení nežádoucího vypouštění mnoha škodlivých prvků do atmosféry, ale zároveň se velmi výrazně snížil atmosférický spad síry. Tato náhlá změna vyústila v snížení zásob síry v našich půdách, což mělo za následek nedostatečnou výživu rostlin výše zmíněným prvkem (Balík et al. 2009).

Obsah síry v našich půdách značně kolísá a pohybuje se v rozmezí 85–50 mg S/kg. Téměř veškerá síra je v půdě obsažena v organické formě, tudíž není přístupná a využitelná rostlinami. Takto vázaná forma je uvolňována v procesu mineralizace, avšak takto uvolněné množství je pro výživu rostlin nedostatečné (Matula 2007).

Při nedostatku síry rostlina tvoří málo sirmých aminokyselin, čímž dochází k snížení tvorby bílkovin. Při malém obsahu síry se v rostlině hromadí amidický dusík a klesá obsah cukrů, který je způsoben nedostatečnou fotosyntetickou aktivitou (Mengel et al. 2001). Síra je obsažena v glukosinolátech, které mají pro rostlinu význam jako obranné látky proti škůdcům. Hnojení sírou by tedy mohlo mít význam pro zvýšení obranyschopnosti rostlin. Pro dosažení vysoké a kvalitní produkce jsou v dnešní době sirmá hnojiva nepostradatelná. Síra je často aplikována přímo do půdy, ale lze provést i hnojení na list za vegetace (Kulhánek et al. 2013).

Cílem této práce je stanovení vhodného indikátoru výživného stavu kukuřice sírou vzhledem k jejímu obsahu v půdě. Dále bude zjištěn výnos nadzemní biomasy vzhledem k předplodině. V neposlední řadě bude provedeno stanovení obsahu síry v nadzemní biomase, následně proběhne zhodnocení jejího obsahu v závislosti na pH půdy a obsahu dusíku v nadzemní části rostliny. Nakonec bude vyhodnoceno využití poměru N:S jako nástroje pro stanovení dostatečného zásobení rostlin sírou.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je vyjádření výživného stavu kukuřice jednoduchým a spolehlivým indikátorem, jenž bude reflektovat zásobu přijatelné síry v půdě a výnos nadzemní biomasy.

2.1 Hypotézy

Hodnota pH půdy nebude mít vliv na obsah přístupné síry v půdě.

Kukuřici lze pěstovat monokulturně, a proto na pozemcích osetých po kukuřici nebude výnos nadzemní biomasy nejnižší.

Obsah síry v rostlině se bude zvyšovat v závislosti na rostoucím obsahu přístupné síry v půdě.

Poměr N:S je lepší indikátor příjmu síry rostlinou než samotný obsah síry v rostlině.

V půdě bude obsaženo nedostatečné množství přístupné síry pro výživu rostlin, neboť odsířením průmyslu došlo k snížení atmosférického spadu síry do půdy, což vedlo k trvalému nízkému obsahu přístupné síry v půdě. Tento fakt je ještě podpořen skutečností, že k této plodině není v tomto podniku hnojeno sírou.

3 Literární rešerše

3.1 Historie pěstování kukuřice

Kukuřice pochází z oblasti tzv. Mezoameriky, která zahrnuje střední a jižní Mexiko. Tato plodina se zde začala pěstovat již před více než 10 000 lety. Starověcí pěstitelé ji domestikovali a rozvinuli do podoby, ve které ji dnes známe. S nadsázkou se dá říct, že započali proces šlechtění, který vyústil až v dnešní hybridní a transgenní odrůdy, které jsou s velkým úspěchem pěstovány po celém světě (García-Lara & Serna-Saldivar 2019). Dle různých teorií se dostala kukuřice do Číny dříve než do Evropy. Informace o dávné historii kukuřice se dozvídáme především z legend a archeologických nálezů (Collins 1923).

Kukuřice je považována za zázračnou plodinou. Na naší planetě není žádná další obilnina, která by měla tak veliký potenciál výnosu, a proto je nazývána královnou obilnin. Její význam tkví v potravinářském průmyslu, využívá se také jako surovina pro bioplynové stanice a pro výkrm hospodářských zvířat (Sutar et al. 2017).

3.2 Řazení kukuřice

Z botanického hlediska řadíme kukuřici do čeledi lipnicovitých, avšak z hospodářského hlediska je řazena mezi obilniny. Kukuřice je původně tropická rostlina, z čehož vychází její náročnost na teplo. Díky procesu šlechtění se podařilo vyšlechtit různé hybridy, které lze pěstovat i v chladnějších oblastech ČR (Šantrůček et al. 2008).

Z hlediska pěstování ji řadíme mezi tzv. širokořádkové plodiny. Kukuřice je často pěstována v meziřádkové vzdálenosti 75 cm. Půda mezi řádky bývá bez vegetačního pokryvu, což může při silnějších deštích způsobit odnos nejcennější vrstvy půdy z pozemku. Z výše zmíněného důvodu je kukuřice setá v Evropě nejrizikovější plodinou ve vztahu k možnosti vzniku větrné a vodní eroze (Brant et al. 2020a).

Vodní eroze je proces, při kterém dochází k odnosu svrchní části půdy, což způsobuje její degradaci a má značný vliv na snížení výnosu pěstovaných plodin. Vodní eroze narušuje půdní strukturu, množství živin v půdě, pH, infiltrační schopnost půdy a v neposlední řadě půdní organickou hmotu. Náchylné jsou především pozemky svažité, které jsou v oblastech s velkým množstvím srážek (Carr et al. 2021).

3.2.1 Typ fotosyntézy

Podle typu fotosyntetického cyklu ji řadíme do skupiny rostlin, která je označována jako C4. Tyto rostliny daleko lépe hospodaří s vodou, protože se vyznačují nižším transpiračním koeficientem, což znamená, že na tvorbu sušiny spotřebují méně vody než rostliny typu C3.

Díky této vlastnosti dokáží lépe snášet sušší podmínky prostředí a poskytovat v něm dostatečné výnosy (Wang et al. 2014). Vaněk et al. (2016) tento fakt potvrzuje a uvádí, že kukuřice umí daleko lépe využívat sluneční energii. S tím souvisí i efektivnější využívání přijatých živin rostlinami kukuřice.

3.3 Osevní plochy ve světě

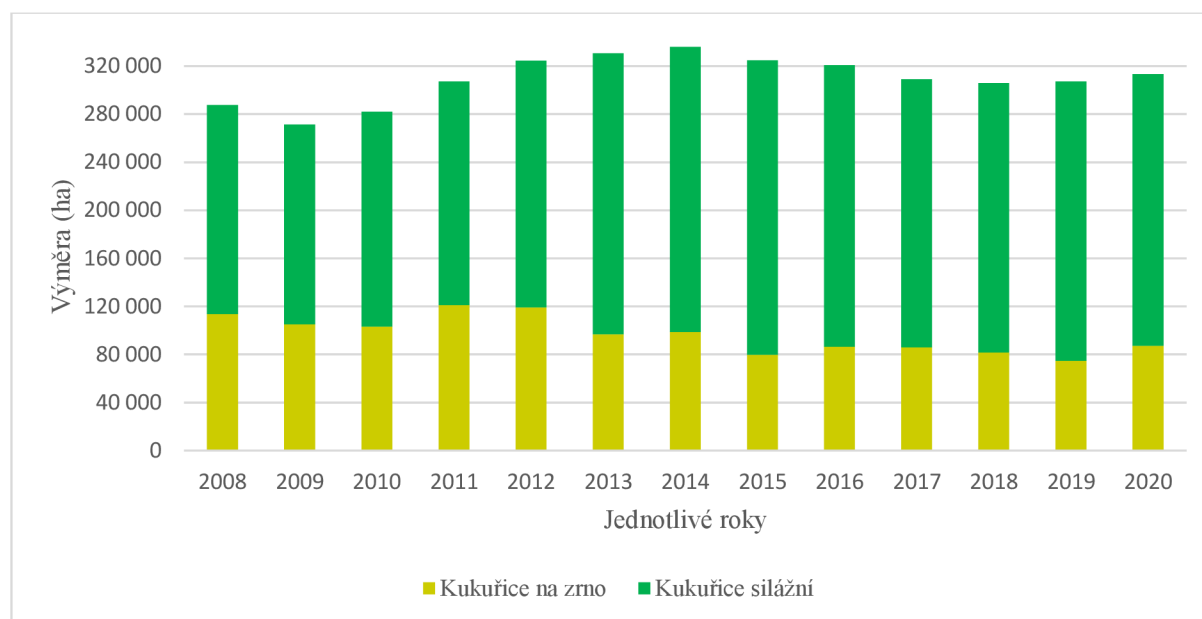
Pěstování kukuřice je dnes rozšířeno po celém světě. Největší podíl připadá na Spojené Státy americké, kde je situováno 40 % světové produkce kukuřice. Většina vypěstované kukuřice je ve vyspělých státech používána ke krmení hospodářských zvířat (Kling 1991). Téměř 64 % ploch kukuřice se nachází v rozvojových zemích, což ale tvoří pouze 43 % sklizeného množství kukuřice. Rozdíl ve výnosech je mezi vyspělými a rozvojovými státy znatelný. Tento paradox je zapříčiněn velkými rozdíly v dosažených výnosech kukuřice, které bývají ve vyspělých zemích až třikrát vyšší (Dowswell et al. 2019).

3.3.1 Osevní plochy v České republice

Podle Vaňka et al. (2016) kukuřice poskytuje v našich podmínkách nejvyšší výnosy ze všech u nás pěstovaných zrnin. Kukuřice poskytuje vyšší výnosy zrna v nejteplejších oblastech naší republiky. Tento fakt je dán vysokou náročností kukuřice na teplo. V méně příznivých oblastech se většinou pěstuje spíše silážní kukuřice.

Jak ukazuje Graf 1, osevní plochy kukuřice se u nás drží již od roku 2011 nad hranicí 300 tisíc hektarů ročně. Převážnou část plochy u nás představuje kukuřice silážní. Vývoj osevních ploch kukuřice na zrna měl u nás klesající trend, v posledních letech kolísá mezi 74 až 90 tisíci hektary ročně. V roce 2008 činila výměra kukuřice na zrna téměř 114 tisíc hektarů, v roce 2020 to bylo jen lehce nad 87 tisíci hektary. Výnosy kukuřice byly velice ovlivňovány ročníkem, kdy se mezi roky 2008–2020 pohybovaly od 5,54 do 9,79 tun/hektar. Opačnou tendenci má u nás pěstování silážní kukuřice. V roce 2008 byla osevní plocha silážní kukuřice 173 tisíc ha, avšak v roce 2020 dosahovala již 226 tisíc ha. Od roku 2012 se u nás pěstuje každoročně více než 200 tisíc hektarů silážní kukuřice. Pro úplnost je vhodné uvést, že výnosy se u nás mezi roky 2008–2020 pohybovaly mezi 29,13 až 41,79 t/ha (Český statistický úřad 2021).

Graf 1 Vývoj osevních ploch kukuřice v ČR (dle Českého statistického úřadu 2021)



3.4 Silážní kukuřice

Kukuřice má v současné době v České republice pozici nejpěstovanější jednoleté píce. Tato plodina má ze všech našich pícnin nejvyšší výnosový potenciál díky heteroznímu efektu (Brant et al. 2020a). Heterozní efekt je jev, kdy potomek dvou geneticky vzdálených rodičů je ve sledovaných parametrech lepší než oba rodiče. Mezi nejčastější projevy heteroze patří rychlejší růst, tvorba většího množství biomasy, zlepšení zdravotního stavu a vyšší odolnost vůči stresovým podmínkám, což v neposlední řadě indikuje zvýšený výnos sklizených plodin (Kalloo et al. 2006). Dále její palice obsahuje větší množství škrobu, tvoří významnou část sklizené píce a tím zvyšuje hodnotu píce. Výhodou je také jednofázová sklizeň a vysoký obsah vodorozpustných sacharidů, což dělá z kukuřice snadno silážovatelnou hmotu. Velkým benefitem je fakt, že sklizeň kukuřice je v dnešní době velmi technologicky vyspělá (Brant et al. 2020a).

Silážní kukuřice je nejvíce rozšířený zdroj píce pro přežvýkavce v oblastech, kde jsou pro její pěstování vhodné podmínky. Při sklizni kukuřice je cílem odvést co nejvíce biomasy z pozemku, proto strniště při sklizni silážní kukuřice bývá zhruba 10 cm vysoké. (Allen et al. 2003).

3.4.1 Principy krmení silážní kukuřicí

Kukuřice je dnes ve velkém měřítku používána při chovu skotu. Ze zkušenosti chovatelů vyplývá, že silážní kukuřice je vhodným doplňkovým krmivem při chovu skotu na pastvinách, avšak nemůže nahradit pastvu (Kolver et al. 2001).

Úroveň zkrmování kukuřice má vliv i na množství bílkovin ve výživě skotu, kdy při absenci jiných krmiv klesá množství bílkovin v krmné dávce. Z výzkumu vyplývá, že při nadměrném zkrmování silážní kukuřice došlo k poklesu mléčné produkce. Pravděpodobné vysvětlení nízké produkční schopnosti skotu při přílišném zkrmování siláží lze spatřit v nedostatečném přísunu bílkovin ve stravě (Stockdale 1995).

Siláž obsahuje malé množství vápníku, hořčíku, sodíku a fosforu. Pokud představuje silážní kukuřice více než 25 % krmiva skotu, je vhodné zajistit skotu dodatečný přísun minerálů. Silážní kukuřice obsahuje dostatek vlákniny, díky čemuž při zkrmování doporučených denních dávek v kombinaci s jinými krmivy většinou nedochází k nedostatku vlákniny ve výživě skotu (Kolver et al. 2001).

Pokud byla využívána ke krmení pouze kukuřičná siláž, vykazovalo hovězí maso horší kvalitu v porovnání s masem, kdy byl skot krmen travní senáží či byla obě krmiva kombinována. Maso z takto krmených zvířat vykazovalo menší stabilitu barvy masa (O'Sullivan et al. 2002). Z výše zmíněného výzkumu plyne, že i přes velký výnosový potenciál je nevhodné používat ke krmení skotu pouze silážní kukuřici.

Z výsledků Stockdale (1995) vyplývá, že při přidávání silážní kukuřice do krmné dávky byl zaznamenán mírný nárůst produkce mléka, avšak při zvyšujícím se pastevním využitím skotu význam přidávání siláže do krmné dávky klesal.

3.4.2 Bioplynové stanice

Energetické nároky se zvyšují kvůli rostoucí celosvětové populaci a pokračování procesu industrializace. Tyto zvýšené nároky mají při používání fosilních paliv vliv na zvyšování skleníkového efektu, což způsobuje znečištění vzduchu a globální oteplování. Z výše uvedeného důvodu význam využití bioplynových stanic stoupá, protože jsou přívětivější k životnímu prostředí v porovnání s fosilními palivy. Chlévská mrva či kejda získaná od chovaného dobytka jsou společně se silážní kukuřicí nejvyužívanějšími substráty pro bioplynové stanice (Ayhan et al. 2013).

Jak již bylo uvedeno, jednoznačně stoupá význam kukuřice jako energetické plodiny. Její velká výhoda plyne z velkých výnosů, které dosahují běžně 30 i daleko více tun biomasy z hektaru. Energetické plodiny jsou jednou z alternativ, jak diverzifikovat zemědělskou produkci a zlepšit ekonomiku zemědělského podniku. Část energie z bioplynové stanice může být spotřebována přímo v podniku a část dodávána do elektrické sítě za účelem výděleku (Hutňan et al. 2010).

Honsová (2013) předpokládala, že v roce 2020 u nás bude zhruba 720 bioplynových stanic. Pro uspokojení potřeb takového množství bioplynových stanic je potřeba asi 130–150 tisíc hektarů kukuřice.

Denní spotřeba kukuřičné siláže na instalovanou kapacitu 1 MW je 45 tun, což představuje 16 500 tun kukuřičné siláže na rok. Pro zajištění tohoto množství siláže na roční spotřebu bioplynové stanice je potřeba, aby daný podnik pěstoval 410 ha silážní kukuřice, což může vést k vytlačování ostatních plodin z osevních postupů. Provozování bioplynové stanice poskytuje mnohem vyšší zisk než chov skotu, což může v budoucnu ještě více snížit zájem o chov skotu (Lajdova et al. 2016).

Samotná kukuřičná zrna nejsou z ekonomického hlediska ten nejlepší vstupní materiál pro bioplynovou stanici, neboť náklady spojené se získáním suchého a čistého zrna jsou značné. Trh se zemědělskými komoditami je ale nestálý. Během roku běžně nastávají situace, kdy výkupní cena zrnové kukuřice je podnákladová a v takové situaci mohou být kukuřičná zrna použita z ekonomického hlediska jako vstupní materiál do bioplynových stanic (Hutňan et al. 2010).

Meziproduktem při výrobě v bioplynové stanici je digestát. Digestát může být dle zvolené technologie buď pevného, nebo kapalného charakteru. Jeho předností je vysoký obsah minerálního dusíku, který je zde přítomen především ve formě amonné, jež je dostupná pro rostliny. Dále obsahuje ostatní makro- a mikroelementy potřebné pro správný růst rostlin. Z výše zmíněných důvodů je digestát hojně používán jako hnojivo. Digestát obsahuje stabilní organickou hmotu, která je vhodná pro zlepšování půdních vlastností. Aplikací digestátu do půdy lze v dlouhodobém horizontu vyřešit problém s acidifikací polí, neboť digestát vykazuje alkalické pH (Makdi et al. 2012).

Jeho aplikace do půdy podporuje mineralizaci. V porovnání s kejdou obsahuje digestát menší podíl labilnějších frakcí uhlíku a má vyšší hodnotu pH (7,9–9,0), což způsobuje u digestátů vyšší ztráty dusíku ve formě emisí amoniaku. K rychlé mineralizaci přispívá především úzký poměr C:N, který je u digestátů 4:1. Digestáty jsou vedle dusíku bohaté na draslík. Obsah dusíku kolísá mezi 4–7 kg/m³, obsah draslíku se pohybuje mezi 3–5 kg/m³. Obsah ostatních makroprvků (např. fosforu a síry) v digestátu je podstatně nižší (Kusá et al. 2020). Obsah síry v digestátu se pohybuje v setinách procent. Aplikací 10 tun digestátu na hektar lze do půdy dodat 1,5–5,0 kg síry, což pro pokrytí potřeb na síru náročných rostlin nestačí (Lošák & Dostál 2019).

3.5 Síra v kukuřici

Kukuřice patří k plodinám, které jsou ovlivněny nízkým obsahem síry v půdě, přestože kukuřice nemá příliš vysoké nároky na síru. Síra je obecně velmi důležitým prvkem pro správný růst rostliny. Síra hraje důležitou roli v syntéze aminokyselin, bílkovin, koenzymů a také chlorofylu. Při nedostatku síry při pěstování kukuřice nedochází jen ke snížení výnosů, ale také ke snížení kvality produkce (Carciochi et al. 2019).

Sutar et al. (2017) uvádí, že síra je velmi často prvkem limitujícím růst a vývoj rostlin kukuřice i při dostatku ostatních živin. Ztráty na produkci nedostatkem síry mohou dosahovat od 10 % až do neuvěřitelných 35 %. Carciochi et al. (2018) uvádějí obsah síry v mladých listech rostliny jako vhodný nástroj k prognóze případného hnojení rostlin sírou.

Autoři ale neporovnali tuto metodu s tradiční metodou zjišťování obsahu síry v celé nadzemní části rostlin, takže tyto metody nelze vzájemně porovnat. Další metodou zjištění obsahu síry v rostlině je obsah síry v zrnu, který by mohl být vhodným nástrojem k zjištění zásobenosti rostlin sírou. Na druhou stranu již bylo prokázáno, že poměr N:S v zrnu není vhodným ukazatelem (Carciochi et al. 2019).

3.6 Hnojení kukuřice seté

Kukuřice je plodinou vyžadující vyšší dávky draslíku (K), jak vyplývá z Tabulky 1. Nedostatečná výživa draslíkem se projevuje sníženým počtem zrn v palici. Při sklizni silážní kukuřice je ve hmotě vyšší množství draslíku než při pozdější sklizni na zrno. Kukuřice přijme většinu živin v období od konce června do konce srpna, kdy dochází k velkému nárůstu biomasy, rostliny kvetou a utváří se kukuřičné palice. Příjem draslíku se po odkvětu snižuje. Příjem fosforu (P) a hořčíku (Mg) je po celou dobu vegetace rovnoměrný (Vaněk et al. 2016).

Kritické období růstu a příjmu živin je na počátku vegetace, kdy má kukuřice kvůli své malé konkurenční schopnosti a slabému prokořenění půdy omezenou schopnost příjmu živin, obzvláště fosforu. Hodnoty odběrového normativu jsou uvedeny v Tabulce 1. V období od intenzivního růstu nadzemní části rostliny přes objevení laty až po období zhruba 25–30 dní po objevení laty přijme kukuřice 70–75 % všech živin. Díky delšímu pobytu na pozemku je kukuřice schopna využít i živiny, které se uvolňují v průběhu vegetace (Vaněk et al. 2016).

Jednou z možností základního hnojení porostu kukuřice je tzv. aplikace hnojiva pod patu. Hnojivo je při tomto způsobu aplikace aplikováno při setí, kdy je ukládáno do hloubky větší než 10 cm přímo pod seťové lože či do meziřádků úzkořádkových plodin (Brant et al. 2020c). Vaněk et al. (2016) uvádí, že pokud není ke kukuřici aplikováno žádné organické hnojivo, je nejlepší využít aplikaci NPK hnojiva při předseťové přípravě a NP hnojiva pod patu.

Pro hnojení kukuřice seté se často využívají kapalná organická hnojiva. Nejpoužívanějšími jsou digestát a kejda. Kejda se aplikuje u kukuřice buď před výsevem, nebo po vzejití porostu do fáze šesti pravých listů. Před výsevem se kapalná hnojiva aplikují na povrch pozemku a následně jsou zapravována. Lepší alternativou je aplikace přímo do půdy, čímž lze zabránit ztrátám N do ovzduší. Kapalná hnojiva lze aplikovat pomocí hadicových aplikátorů přímo do porostu. Kapalná organická hnojiva jsou velkým přínosem při pěstování kukuřice, avšak nejvyšších výnosů je dosahováno v kombinaci s aplikací minerálních hnojiv (Brant et al. 2020a).

Kusá et al. (2020) potvrzují velký přínos aplikace kapalných organických hnojiv při pěstování kukuřice. Benefity lze spatřovat především ve vysokých nárocích kukuřice na draslík. Životní cyklus kukuřice umožňuje až tři aplikace na jeden pozemek ročně. Aplikaci lze provést před setím, ve fázi šestého listu a po sklizni předplodiny. Před výsevem a po sklizni jsou u nás aplikovány největší dávky digestátů, což souvisí s potřebou vyprázdnění jímek v zemědělských podnicích.

Brant et al. (2020b) se věnovali možnostem aplikace tekutých organických hnojiv před setím kukuřice po ozimém žitu. V pokusu byla před setím aplikována kejda a digestát do proudu zeminy se současným kypřením do hloubky 25 cm. Kypření přispělo k rozrušení drnu žita a aplikované organické hnojivo bylo rovnoměrně rozmístěné v půdním profilu. Tento způsob aplikace organických hnojiv přispěl k omezení ztrát dusíku vytěkáním a organické hnojivo zároveň přispělo k výbornému rozvoji kořenového systému, z čehož plyne i vyšší nárůst nadzemní biomasy.

Tabulka 1 Odběrový normativ (kg živin/t produkce) (dle Vaněk et al. 2016)

Produkt	N	P	K	Ca	Mg
Zrno	22–26	4,4–6,6	21–33	4,3–7,1	4–6
Siláž	3,5–4	0,7–0,9	2,9–3,7	0,9–1,3	0,3–0,6

3.6.1 Hnojení kukuřice seté sírou

Sutar et al. (2017) prováděli pokusy s aplikací síry k porostům kukuřice. Polní pokusy probíhaly v různých klimatických podmínkách a jednoznačně potvrdily potřebu výživy kukuřice sírou. Aplikace síry až do množství 45 kg/ha podpořila rychlejší růst rostlin, celkový výnos a zvýšila kvalitu sklizené produkce. Dále uvádí, že příjem síry rostlinami se výrazně zvyšuje při dávce síry 60 kg/ha, ale takto vysoká dávka již nemá výraznější vliv na růst rostlin.

Carciochi et al. (2019) měřili obsah síry v rostlinách při aplikacích různých dávek sírných hnojiv. Z jejich výsledků je patrné, že největší význam měla aplikace síry na pozemcích s nízkým podílem organické hmoty a obsahem síranů nižším než 28 kg síry/ha (v profilu 0–60 cm). Hnojení sírou obecně nezvýšilo obsah dusíku v jednotlivých pletivech rostlin. Aplikace síry zvýšila obsah dusíku v nadzemní části rostlin pouze v raných růstových fázích. V těchto rostlinách zároveň došlo k zvýšení obsahu síry, neboť mezi příjmem dusíku a síry platí synergické vztahy. Mehta et al. (2005) prováděli pokusy, ve kterých aplikoval síru ke kukuřici. Dle výsledků se po aplikaci 60 kg síry/ha zvýšil příjem dusíku, fosforu, síry a železa rostlinami. Aplikace síry zvýšila i kvalitu produkce, kdy konkrétně došlo ke zvýšení hmotnosti tisíce zrn a palice obsahovaly větší počet zrn.

K odstranění nedostatků síry lze využít i organická hnojiva. Nejvhodnějšími hnojivy jsou hnůj a čistírenské kaly. Pouhá aplikace organických hnojiv nemůže zajistit dostatečný příjem síry do půdy, jenž by pokryl každoroční ztráty síry z ní. Z výše uvedeného vyplývá, že aplikace minerálních hnojiv je důležitou součástí pěstování kukuřice. Aplikací síranu vápenatého se prokazatelně zvýšil obsah minerální síry v půdě, zároveň došlo k zvýšení výnosů pěstovaných plodin (Kulhánek et al. 2013).

4 Síra

Síra je jedním z nejhorněji zastoupeným prvkem na Zemi. V přírodě se vyskytuje v oxidované formě jako sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), nebo v redukované formě sulfidů nejčastěji jako pyrit (FeS_2). V těchto formách ji nalezneme v břidlici, uhlí, vápencích či jako čistý prvek v sedimentech. Nejvíce síry je v litosféře ($24,3 \times 10^{18}$ kg), dále v hydrosféře ($1,3 \times 10^{18}$ kg) a v půdě ($2,6 \times 10^{14}$ kg). Množství síry v rostlinách je mnohem menší ($7,6 \times 10^{11}$ kg), avšak nejméně síry je v atmosféře ($4,8 \times 10^9$ kg) (Tlustoš et al. 2011).

Vzhledem k nedostatku síry v půdě je věnována tomuto prvku větší pozornost ve vztahu k výživě rostlin. V mnoha zemích po celém světě se síra stala limitujícím prvkem pro pěstování rostlin kvůli nedostatečnému hnojení a omezení atmosférického spadu. V západní Evropě je nedostatek síry sledován u řepky (Scherer 2001).

Mobilní síra se do atmosféry dostává antropogenními emisemi, vulkanickou činností, degradací půdní organické hmoty a těkáním dimethylsulfidu z moří a oceánů. Z antropogenních zdrojů tvoří až 85 % spalování fosilních paliv, zbytek jsou emise způsobené zpracováním sulfidických rud. K zdrojům oxidu siřičitého patří rafinérie ropy či chemické provozy vyrábějící siřené sloučeniny (Tlustoš et al. 2011).

Ke snížení obsahu síry v půdě došlo tzv. odsířením průmyslu. Díky tomu se dostává do půdy méně síry z ovzduší, což ve spojení s nízkým nebo žádným hnojením sírou vede k tomu, že je síry v půdě pro pěstované rostliny nedostatek (Mengel et al. 2001). České země byly mezi lety 1950 až 2000 známy jako významný producent emisí síry. Například v roce 1991 byly v Praze naměřeny emise 394 kg síry/ha, v severních oblastech České republiky 484 kg síry/ha. V ostatních částech republiky dosahovaly téměř 100 kg síry/ha (Balík et al. 2009). Velké množství emisí bylo vytvářeno spalováním hnědého uhlí, na kterém byla naše energetika závislá. Velké množství síry v atmosféře mělo vliv na změnu pH půd a vedlo k velkému poškození ekosystémů. S těmito následky se vypořádáváme dodnes (Tlustoš et al. 2011). Součet suché a mokré depozice se po roce 2000 pohybuje na úrovni 15–30 kg síry/ha. Tato změna zásobenosti půd sírou značně ovlivnila obsah síry a podíl jednotlivých frakcí síry v půdě (Balík et al. 2009).

Schnug & Haneklaus (2005) zmiňují, že pouze v některých oblastech světa je zásobení půd sírou z atmosférického spadu a hnojiv dostatečné. Na druhou stranu se nemusí nedostatek síry na rostlině projevit a reakce jednotlivých plodin na hnojení sírou taktéž není univerzální.

Pro některé části světa je nedostatek síry známým problémem. Již ve 30. letech 20. století byly zaznamenány nedostatky síry při pěstování luskovin v kanadských prériích. Na konci 60. let 20. století se zde již objevil problém nedostatku síry při pěstování řepky. V této

oblasti se nalézají zhruba 4 miliony hektarů orné půdy, která trpí nedostatkem síry, a podstatně větší oblast je potenciálně postižitelná tímto nedostatkem (Grant & Hawkesford 2015).

V dnešní době se síra obvykle řadí na čtvrtou příčku nejdůležitějších prvků (po dusíku, fosforu a draslíku) ve výživě rostlin (Sutar et al. 2017).

4.1 Síra v půdě

4.1.1 Organická síra

Celkový obsah síry v ornici půd se pohybuje nejčastěji v rozmezí 85–250 mg/kg síry. Síra je v půdě převážně zastoupena v podobě organické půdní hmoty, která není přístupná pro výživu rostlin. Touto vlastností se síra v mnohém podobá dusíku. Síra je z organické půdní hmoty uvolňována pro rostliny procesem mineralizace, kdy se mrtvá organická hmota přeměňuje na anorganické látky. Tímto procesem se na úrodných půdách na jaře uvolní během 60 dnů až 4 kg S/ha, což není dostatečné množství pro optimální růst rostlin. Na druhou stranu nelze v našich půdách příliš počítat s významným uvolněním síry kvůli mobilizaci zásob celkové síry v půdě biologickou mineralizací (Matula 2007).

Na vlhkých a středně vlhkých stanovištích kolísá obsah síry v půdě mezi 100–1000 mg/kg síry. Obsah organické síry v půdě obecně klesá až do hloubky 1,5 metru, kde je nulový. V rašeliných půdách tvoří organická síra 100 % síry v půdě, v ostatních půdách 90–95 %. Poměr C:N:S je v půdní organické hmotě 125:10:1,2 (Mengel et al. 2001).

Více než 95 % síry vázané v organických sloučeninách v půdě se dělí na síranové estery a síru vázanou v uhlíkatých sloučeninách. Organicky vázané sloučeniny síry nejsou sloučeniny přímo pro rostliny přijatelné, jejich význam lze spatřovat v zpřístupnění síry pro rostliny až po mineralizaci. Síranové estery hrají důležitou roli v krátkodobém uvolnění síry pro rostliny, naopak síra vázaná na uhlíkaté sloučeniny není tak rychle uvolnitelná mineralizací (Scherer 2001). Síra se v půdě nachází i v podobě minerálů. Síra je totiž prvkem geogenně hojným a její velké množství je součástí minerálů např. pyritu a sádrovce. Tyto minerály jsou vynášeny podzemní vodou na zemský povrch (Schnug & Haneklaus 2005).

Estericky vázaná síra není přímo vázaná na uhlík. Do této skupiny patří sulfamáty (C-N-S), sulfátové thioglyceridy (N-O-S) a sulfátové estery (C-O-S). Druhou skupinou je síra vázaná na uhlík, což jsou sирné aminokyseliny, merkaptany, disulfidy a sulfonové kyseliny (Kulhánek et al 2013).

Dle Vaňka et al. (2016) je síra v půdě vázána na organické sloučeniny v oxidované a redukované formě. V oxidované formě se jedná o estery s lipidy, polysacharidy i

glukosinoláty. Tato forma síry v půdě převládá a je považována za potenciální zdroj síry pro rostliny mineralizací. Sírany jsou z esterů uvolňovány enzymy, které se nazývají sulfatázy. Pokud je síra vázaná v redukované formě, jedná se o aminokyseliny cystein a methionin. Síra je v nich vázána přes uhlík a jejich mineralizace je tak složitější.

4.1.2 Minerální síra

Anorganická síra tvoří zhruba 10–20 % celkové síry v půdě. V půdách se nachází ve formě síranů, sulfidů, siřičitanů, thiosíranů a elementární síry (Kulhánek et al. 2013). Minerální síru můžeme rozdělit do různých frakcí. První je síra v půdním roztoku (vodorozpustná), druhá se označuje jako síra adsorbovaná na půdních částicích a třetí je síra okludovaná (Kulhánek et al. 2013). Obsah síry ve vodném výluhu dobře koreluje s množstvím síry přístupné rostlinám (Matula 2007), a proto je nejdůležitější mít přehled o přístupné frakci pro rostliny, což představují sírany, které stanovíme ve vodném výluhu. Vaněk et al. (2016) uvádějí jako průměrný obsah vodorozpustné síry v půdním roztoku 15 ppm. Okludovaná a adsorbovaná síra v půdě je potenciálně přístupná pro náročné plodiny (brukvovité) (Kulhánek et al. 2013). Kulhánek et al. (2011) doporučuje použít ke stanovení těchto frakcí minerální síry metodu dle Shana, díky které lze zjistit přibližný obsah síry v půdním roztoku (S_{H_2O}), síru adsorbovanou na povrchu půdních částic (S_{ads}) a rovněž síru vysráženou ve formě síranů vápenatých a hořečnatých (S_{okl}).

Síra je v půdě přítomna ve formě méně rozpustných sloučenin, ze kterých se oxidací stávají sírany. V dobře provdušněných půdách jsou nejčastější sírany, které jsou zde ve formě vodorozpustných solí, síranů adsorbovaných na půdní koloidy anebo nerozpustné sírany (Kulhánek et al. 2013).

Největší význam pro výživu porostů mají sírany. Síranový anion je velmi dobře pohyblivý v půdní vodě, neboť je díky svému zápornému náboji odpuzován od povrchu půdních částic, které mají stejný náboj. Díky této vlastnosti jsou v období promyvného režimu půd zaznamenávány velké ztráty síranů, které jsou pomocí vody unášeny do spodních vrstev půd. Tímto způsobem může docházet k ztrátám 30 až 80 kg síry/ha/rok (Matula 2007).

Sírany jsou v půdním roztoku v rovnováze se sírany v pevné fázi. Sorpce síranů z půdního roztoku probíhá stejně jako u fosforu na oxidy železa a hliníku (Kulhánek et al. 2011).

4.2 Síra v rostlině

Rostlina přijímá síru z půdy převážně aktivním způsobem ve formě síranového aniontu. Příjem síry rostlinou bývá málo ovlivňován ostatními prvky, ale naopak po aplikaci síranů do půdy dochází k depresi obsahu fosforu v nadzemní části rostliny. Jako jediný antagonistický prvek ve vztahu k síře byl zjištěn anion selenu (SeO_4^{2-}), ale tento vztah nemá příliš velký praktický význam (Matula 2007).

Obsah síry v rostlině se pohybuje v rozmezí 0,1–0,5 % síry v sušině. Nejvíce ji potřebují rostliny produkující hodně bílkovin, pryskyřic a silic, tedy řepka a brukvovité zeleniny (Pavlíková et al. 2011).

Rostliny mohou využívat SO_2 i z ovduší, ale pouze jistou část své potřeby (maximálně 30 % z celkové potřeby). Při malé koncentraci SO_2 v ovduší a nízké koncentraci síranů v půdě se využití zvyšuje a působí na rostliny příznivě, ale od koncentrace 1–1,5 mg SO_2/m^3 může dojít k poškození dalšími složkami emisí, které jsou obsaženy společně s SO_2 ve vzduchu. Síra je v rostlině dobře pohyblivá, je transportována do mladých listů a do meristémů. V rostlině se hromadí ve formě síranu, který slouží jako zásobní látka (Vaněk et al. 2016).

Síra může být v rostlině asimilována přímým vestavěním síranu do organických sloučenin za vzniku sulfurylové skupiny. V této formě se často vyskytuje v sulfolipidech v membránách thylakoidů. Dále je v sekundárních metabolitech a v látkách signální povahy. Acetylkoenzym A je významnou sirmou sloučeninou. Podílí se na syntéze lipofilních sloučenin (např. mastných kyselin) a tvorbě terpenů. Převážná část síry se však v rostlině vyskytuje v redukované formě, tedy především v cysteinu a jeho metabolitech (Pavlíková et al. 2011).

Přijátá síra je z kořenů transportována xylémem do nadzemních orgánů. Malé množství je redukováno v plastidech kořenů. Transport síry rostlinou je proces vyžadující energii. Síraný jsou často redukovány v chloroplastech a ukládány do vakuol. Síraný jsou redukovány na sulfidy převážně v plastidech, kde je dostatek adenosintrifosfátu (ATP) a redoxních ekvivalentů (Grant & Hawkesford 2015). Síraný jsou navázány na ATP za vzniku adenosinfosfosulfátu (APS). Po další reakci s ATP vzniká fosfoadenosinfosfosulfát (PAPS). Sulfát z APS je přenesen na redukovaný glutathion. Za účasti ferredoxinu je sulfonová skupina redukována na sulfanylovou skupinu, která po reakci s acetylserinem dá vznik cysteinu. Z cysteinu vznikají různými přeměnami metabolity, např. methionin, acetylkoenzym A, vitaminy B1 a H. Dále jsou to sekundární metabolity, např. alicin (Pavlíková et al. 2011).

Síra v rostlině je ve formě disulfidických můstků nepostradatelným pojivem mezi dvěma řetězci polypeptidů. Jejich význam lze spatřit i při pečení chleba, kdy disulfidické

můstky spolu s cysteinem, cystinem a gluteninem hrají důležitou roli v pružnosti těsta (Mengel et al. 2001).

Síra v rostlině je omezeně pohyblivá. Po aplikaci hnojiva se tedy celkový obsah síry zvýší více v mladých listech než v celé nadzemní biomase, což dokládá malou schopnost transportu síry ze starých listů do mladých rostlinných pletiv. Výše zmíněná skutečnost je velmi důležitým vodítkem k tomu, jak včas zjistit u rostlin příznaky nedostatku síry (Carciochi et al. 2019).

Sírany představují většinu síry v rostlině. U řepky může být podíl síranů na celkové síře v rostlině i 80 % a více. Vhodný obsah v rostlině řepky pro dobrý výnos semene je 2 g/kg síry. V rostlinách je obecně vyšší obsah síry v suchých letech, kdy díky intenzivní transpiraci v rostlinách dochází k transportu síry z hlubších vrstev do rostlin (Matula 2011).

4.2.1 Sirné aminokyseliny

Většina minerálního síranu asimilovaného a redukovaného rostlinami je nakonec převedena do formy cysteinu a methioninu (Giovanelli et al. 1980), dvou aminokyselin, které jsou nedílnou součástí plnohodnotných bílkovin (Matula 2007).

Oxidací cysteinu vzniká cystin, který má významnou úlohu ve struktuře bílkovin. Vytváří zde často vnitro nebo meziřetězcové disulfidové můstky. Thiolové skupiny cysteinových zbytků umožňují vytvářet struktury Fe-S, které slouží k přenosu elektronů (např. ferredoxin) (Pavlíková et al. 2011).

Cystein je důležitý prekurzor pro vznik dalších sirných látek včetně glutathionu. Glutathion společně s S-methylmethioninem (SMM) jsou hlavními transportními formami redukované síry v rostlině, respektive cysteinu a methioninu (Grant & Hawkesford 2015).

Glutathion je prekurzorem pro tvorbu chelatinů, jejichž funkcí je detoxikace těžkých kovů (např. kadmia). Dále je součástí askorbátglutathionového cyklu, který slouží k redukci peroxidů vznikajících během buněčného cyklu, čímž chrání buněčné membrány před oxidací nenasyčených mastných kyselin (Pavlíková et al. 2011).

4.3 Nedostatek síry

4.3.1 Způsoby stanovení nedostatku síry

Symptomy deficiencie síry jsou jedny z nejtěžších k odlišení od symptomů nedostatku jiných prvků. Hranice nedostatku síry v rostlině se v jednotlivých rostlinách liší dle náročnosti na tento prvek. Například u řepky lze mluvit o nedostatku od hranice 3,5 mg/g síry a u obilnin pod 1,2 mg/g síry (Schnug & Haneklaus 2005). Stanovení obsahu celkové síry v rostlině je lehce rozporuplné. Obsah síry v rostlině se zvyšuje s postupujícím růstem. V období růstu se zvyšuje obsah v mladých listech vrchního patra, kam je síra rostlinou přednostně transportována (Matula 2011).

Carciochi et al. (2019) doporučují využít obsah síry v mladých listech kukuřice ve fázi výšky rostlin 35–50 cm ke zjištění nedostatku síry, kdy jako hranici nedostatku stanovil obsah 2,1 g/kg síry v sušině. Navíc stanovil tuto hranici i pro stanovení celkového obsahu síry v zrně, kdy jako prahovou hodnotu nedostatku určil 1,12 g/kg síry.

Mengel et al. (2001) uvádějí poměr N:S jako jeden z nástrojů zjištění nedostatku síry v rostlině. Poměr u na síru chudých rostlin může být 70:1 až 80:1. Jako další nástroj k zjištění nedostatku síry uvádí obsah akumulovaných NO_3^- , či amidů. Projevy na rostlině mohou být podobné jako při nedostatku dusíku, proto je vhodné provést analýzu rostlin. Při nedostatku síry je zvýšen obsah NO_3^- , ale při nedostatku dusíku není obsah síranů ovlivněn. Daleko více je ovlivněn růst nadzemní části rostlin než kořenů. Rostliny jsou pevné, křehké a stonky jsou tenké. Matula (2011) uvádí, že v bílkovinách je potřeba 34–36 atomů dusíku na 1 atom síry. V hmotnostním vyjádření se jedná o vhodný poměr N:S 15,77–14,87:1. Poměr větší než 20 znamená nedostatečnou výživu porostů sírou.

Carciochi et al. (2019) doporučují použít poměr N:S či celkový obsah síry pouze v mladých listech kukuřice, neboť oba nástroje k zjištění zásobenosti rostlin sírou vykazovaly u mladých listů vyšší stabilitu než při stanovení v celé nadzemní biomase.

4.3.2 Projevy nedostatku síry

V případě deficiencie síry dochází k akumulaci dusíku, což je při nedostatku síry spojováno s nízkým obsahem sacharidů v rostlině. Nedostatek cukru způsobuje nízká fotosyntetická aktivita rostlin trpících nedostatečnou výživou sírou. Výše zmíněné děje se samozřejmě odrážejí ve výnosu a v kvalitě sklizených produktů (Mengel et al. 2001).

U řepky se na listech objevují chlorózy, které začínají na okrajích listů a postupně se projeví na ploše celého listu. Žilky na listech přitom zůstávají zelené, protože jsou zde zúžené mezibuněčné prostory a dochází zde k efektivnímu transportu síranů na krátké vzdálenosti. Chloróza se nikdy nevyvine v nekrózu. Speciálně u řepky lze pozorovat tzv. bílé kvetení. Bílá barva se objevuje na okvětních plátcích, protože jsou buňky přeplněné sacharidy z důvodu špatně fungujícího metabolismu bílkovin (Schnug & Haneklaus 2005).

Vaněk et al. (2016) uvádí jako typický vizuální projev na rostlinách žloutnutí listů, které začíná od těch nejmladších. U brukvovitých rostlin jsou listy nejprve zelené, poté žloutnou a často mají růžový nádech. Listy brukvovitých rostlin rostou omezeně do šířky, proto se jeví jako dlouhé a štíhlé. Celkový růst rostlin je vzpřímený, ale rostliny jsou velmi slabé a nízké. Rostlina produkuje méně obranných látek, čímž se stává náchylnější k chorobám a napadení škůdci (např. mšicemi).

Nedostatek síry má negativní vliv i na bobovité rostliny. Při sníženém množství přístupné síry klesá aktivita nitrogenázy, je omezena fixace vzdušného dusíku, čímž se snižuje kvalita i kvantita produkce (Kulhánek et al. 2013). Při deficienci síry se v kořenech hromadí auxin, důsledkem čehož rostlina tvoří laterální kořeny hustěji a blíže kořenové špičky (Pavlíková et al. 2011).

Při objevení symptomů nedostatku síry v porostu, nemusí být tento poznatek už prakticky využitelný. Při projevech nedostatku síry již dochází k neodvratitelným ztrátám, a proto je informace o nedostatku síry spíše využitelná ve vztahu k následným plodinám (Matula 2007). Při pěstování řepky lze provést účinné hnojení sírou pouze do fáze intenzivního dlouhivého růstu, kdy lze ještě s vyšší pravděpodobností ovlivnit výši výnosu semene (Matula 2011).

4.3.2.1 Projevy nedostatku síry u kukuřice

Příznaky na kukuřici se projevují spíše v období dlouhivého růstu, což lze vysvětlit zvýšenou potřebou této živiny v tomto období. Často se stává, že v druhé polovině vegetace symptomy nedostatku síry zmizí. Tento jev lze vysvětlit zvýšeným množstvím síry v půdě díky mineralizaci a zvyšujícímu se prokořenění půdy rostlinami kukuřice, čímž je pro rostliny dostupná i síra z hlubších vrstev půdy (Carciochi et al. 2019).

Sutar et al. (2017) uvádějí, že nedostatek síry u kukuřice se projevuje žloutnutím mladých a nových listů na rostlině. Specifickým projevem je chloróza mezi jednotlivými

žilkami na listech, po které následuje zčervenání stonků a listů rostliny. Červenání listů začíná od okraje listové čepele, pokračuje směrem do středu listu, přičemž staré listy zůstávají zelené.

4.4 Nadbytek síry

Rostliny snášejí obecně vyšší obsah síranů v půdním roztoku, neboť mohou nadbytečné množství síranů ukládat ve svých pletivech bez poškození. Při příliš vysoké koncentraci v půdě (nad 4000 mg/l v půdním roztoku) nastávají velké problémy, jelikož toto množství působí depresivně na rostliny. Větším problémem je ale spolupůsobení nadbytku síry s přebytkem chloru, sodíku a draslíku, což vede k zasolení půd. Dochází tak k zvýšení koncentrace solí v půdním roztoku v aridních oblastech a krytých objektech. Druhým problémem je koncentrace SO₂ v ovzduší, kdy při koncentraci nad 0,3 mg/m³ jsou poškozována pletiva rostlin (Vaněk et al. 2016).

Při nadbytku síry v zasolených půdách přijímá rostlina větší množství síranů a chloridů, kvůli čemuž dochází k velkým změnám v metabolismu síry, což vede k poškození pletiv, oslabení rostlin, a především ke snížení výnosu (Shevyakova 1981).

4.5 Glukosinoláty

Glukosinoláty jsou látky bohaté na síru, které po hydrolýze přecházejí v různé produkty (isothiokyanáty, nitrily či thiomočovinu) (Halkier & Gershenzon 2006). Jejich molekula je tvořena cukernou složkou a aglykonem (Vaněk et al. 2016). Jedná se o sekundární rostlinné metabolity, které se nacházejí v rostlinách, kde mají své nepostradatelné funkce. Množství glukosinolátů v rostlinách je různé, záleží na způsobu pěstování, pěstované plodině a klimatických podmínkách. Nejvíce glukosinolátů z našich nejpěstovanějších plodin se nachází v řepce (Tripathi & Mishra 2007).

Tyto látky mají mnoho pozitivních i negativních funkcí. Glukosinoláty působí jako obranné sloučeniny proti škůdcům. Velký význam mají ve výživě jako sloučeniny zabraňující rakovině, biopesticidy a látky ovlivňující chuť potravin (Halkier & Gershenzon 2006).

Původní odrůdy řepky měly vyšší obsah glukosinolátů, čímž docházelo k problémům při zkrmování řepných šrotů a při použití v lidské výživě. Vyšlechtěním odrůd „00“, tedy odrůd s výrazně redukováným obsahem glukosinolátů, se tento problém podařilo vyřešit. Vyšlechtění „00“ odrůd vedlo u řepky zároveň ke snížení odolnosti vůči chorobám a škůdcům, což lze označit za velký problém vzhledem k velké výměře ploch řepky u nás (Baranyk et al. 2010).

Jejich význam lze spatřit i v zásobě síry dusíku pro rostlinu. Samotné glukosinoláty nejsou škodlivé, neboť problémy nastávají až po jejich štěpení (Pavlíková et al. 2011). Z glukosinolátů vznikají štěpením různé látky, mezi které patří např. isothiokyanáty a nitrily.

Isothiokyanáty jsou látky odpovědné za hořkost, avšak nitrily jsou látky negativně přímo ovlivňující zdraví (Tripathi & Mishra 2007).

Na druhou stranu některé z nich inhibují chemicky indukované nádorové bujení. Velkou pozornost si pro své protirakovinné účinky zaslouhuje hlavně sulforafan, který je obsažen v brokolici v nejvyšší koncentraci ze všech brukvovitých zelenin. Mezi další významné brukvovité zeleniny obsahující sulforafan lze zařadit růžičkovou kapustu a hlávkové zelí (Petříková et al. 2012). Thiokyanáty a thiomocovina mohou narušit dostupnost jódu pro štítnou žlázu, což může ohrozit zdraví lidí i zvířat. U zvířat se projevují jako látky retardující růst a snižující produktivitu tím, že při nadměrném příjmu glukosinolátů je poškozována endokrinní žláza, což snižuje užitkovost zvířat (Tripathi & Mishra 2007).

4.6 Principy hnojení sírou

První nedostatky síry byly v Evropě zaznamenány až v 80. a 90. letech minulého století, takže tato problematika je pro nás stále ještě relativně velmi nová (Valenta 2011). Před samotným hnojením je nejprve potřeba stanovit, kolik síry je v půdě obsaženo. To lze zjistit půdním testem. V tomto bodě nastávají u síry velké problémy, neboť velké množství síry je obsaženo v půdní organické hmotě, díky čemuž může v krátké době dojít ke změně obsahu přístupné síry pro rostliny. Sířany jsou hlavní příjmovou formou síry pro rostliny, ale kvůli potřebné hodnotě pH pro rostliny se nemohou prakticky vůbec sorbovat (poutat) v půdě (Matula 2011).

Síra je nejčastěji aplikována do půdy, ale může být aplikována i foliárně (na list). Při tomto způsobu aplikace se síra velmi rychle dostává do rostliny, ale velká část takto aplikované síry je ukládána do vakuol, což vylučuje její využití při tvorbě výnosu. Lepší variantou je aplikace elementární síry, kdy nedochází k velkým ztrátám síry. Elementární síra musí být totiž před adsorpcí listy oxidována na sířany, což je pozvolný proces, při kterém se plynule dostávají sířany do listů rostlin a jsou efektivněji využívány. V cytozolu nedochází k přílišné akumulaci síranů, díky čemuž je zamezeno ztrátám síry ukládáním do vakuol rostlin (Kulhánek et al. 2013). Množství síry přijatelné pro rostliny má velký vliv na příjem dusíku rostlinou. Pro tvorbu sírných aminokyselin je nezbytná redukce síranů i nitrátů. Po aplikaci síry roste množství sírných aminokyselin v kukuřici, z čehož vyplývá důležitost hnojení sírou (Sutar et al. 2017). Hnojení sírou by mohlo přispět ke snížení spotřeby pesticidů, neboť má prokazatelný vliv na zvýšení obranyschopnosti rostlin (Kulhánek et al. 2013).

Naši nejnáročnější plodinou na výživu sírou je řepka. Na druhou stranu díky zvýšené enzymatické aktivitě arylsulfatázy si řepka mobilizuje síru i z organických sloučenin. Hnojení

řepky lze provést jako základní hnojení před setím. Častější je aplikace na jaře dle obsahu minerální síry v ornici. Nejvhodnějším termínem pro aplikaci síry bývá měsíc březen (Baranyk et al. 2007).

Kulhánek et al. (2013) prováděli aplikaci hnoje (140 kg síry/ha) a čistírenských kalů (93 kg síry/ha) k bramborům, kdy sledoval působení těchto hnojiv na brambory a na dvě následné plodiny, nejprve pšenici a následně jarní ječmen. Z pokusů jednoznačně vyplývá, že dlouhodobou aplikací hnoje a čistírenských kalů dochází k zvýšení mobilních frakcí v půdě, především vodorozpustné frakce (Kulhánek et al. 2013). Matula (2011) považuje přívod síry do zásoby minerální síry z organické půdní hmoty za bezvýznamný, neboť množství síry jen zřídka převyšuje 7–10 kg/ha/rok. Hnojení sírou vede ke zvýšenému příjmu síry rostlinami, což se projevuje nárůstem výnosů (Kulczycki 1996).

4.6.1 Hnojiva obsahující síru

Síran amonný je dusíkaté hnojivo, které obsahuje 20–21 % dusíku. Při dávce 100 kg síranu draselného je do půdy aplikováno 22–23 kg síry v mobilní formě síranu. Výhodou je dodání síry společně s dusíkem, neboť síra je nezbytná k efektivnímu využití dusíku v metabolismu rostlin. Nevhodná je aplikace do příliš alkalických půd, které se u nás ale vyskytují spíše sporadicky (Matula 2007). Nitrifikace dusíku je v půdě u tohoto hnojiva pomalejší, a proto je vhodné ho využít k základnímu hnojení. Vzhledem k vysokému obsahu síry je vhodným hnojivem pro plodiny na síru náročné (řepka, chmel či brukvovité zeleniny). Po aplikaci bez zapravení dochází k vytěkání čpavku do ovzduší. Hnojivo vykazuje výrazně okyselující charakter, proto je vhodným hnojivem na slabě alkalických či neutrálních půdách (Vaněk et al. 2016). Význam tohoto hnojiva vzrostl s jeho granulací, protože je možné ho aplikovat společně s dalšími granulovanými jednosložkovými hnojivy (Tlustoš et al. 2011). Každým rokem je ve světě aplikováno přes 4 miliony tun síry v tomto hnojivu. Díky nízké ceně k poměru obsažené síry se jedná o celosvětově nejoblíbenější sírné hnojivo (Valenta 2011).

Kieserit je využitelným hnojivem v půdách s nedostatkem hořčíku. Jedná se o síran hořečnatý, který obsahuje 19–21 % síry (Matula 2007). Hnojivo je vhodné pro většinu našich půd, neboť nedostatek hořčíku je zde běžný. Aplikovat ho můžeme nejlépe do půd těžkých a středních s dobrou zásobou draslíku a nedostatkem hořčíku (Kulhánek et al. 2013).

Hořká sůl obsahuje 11–12,5 % síry. Díky snadné rozpustnosti ve vodě je hnojivo používané k foliární aplikaci, avšak v maximální koncentraci roztoku do 5% koncentrace roztoku, čímž lze při aplikaci 400 l/ha dodat do porostu pouze 2 kg síry/ha. (Matula 2007).

Hořká sůl je vhodná k mimokořenové aplikaci za vegetace, jelikož se jedná o heptahydrát síranu hořečnatého, tak je toto hnojivo snadno rozpustné (Kulhánek et al. 2013).

Dále lze zmínit **síran draselný**, který obsahuje 16 % síry a 40 % draslíku (Matula 2007). Kvůli vysoké ceně se používá k plodinám velmi citlivým na chlór. Mezi takové plodiny patří: chmel, rajčata, hrách či cibule (Vaněk et al. 2016). Hnojivo je dostupné v práškové i granulované formě (Kulhánek et al. 2013).

Síran vápenatý neboli sádra je hnojivo, které dle původu a stupně hydratace obsahuje 14–18 % síry. Hlavní nevýhodou tohoto hnojiva je nízká rozpustnost ve vodě (Matula 2007). Síran vápenatý neovlivňuje pH. Používá se jako zdroj vápníku a síry, přičemž lze využít i k odstranění Na ze zasolených půd (Vaněk et al. 2016).

DASA je dusíkaté hnojivo obsahující síru. Jedná se o směs dusičnanu amonného a síranu amonného. V hnojivu se nachází 26 % dusíku a 13 % síry. Vzhledem k vysokému obsahu amonného dusíku se hnojivo používá k základnímu hnojení (Vaněk et al. 2016).

Elementární síra je perspektivní a v současné době zkoumané koncentrované minerální hnojivo. Po aplikaci dochází ke snížení pH a uvolnění vápníku z fosforečnanů, čímž je P zpřístupněn rostlinám. Velkou výhodou je její pomalá oxidace, díky čemuž se snižuje riziko vyplavení síranů do spodních vrstev půdy. Síra je v tomto hnojivu velmi koncentrovaná, takže se snižují náklady na manipulaci a transport s hnojivem (Kulhánek et al. 2013). Elementární síra existuje v kapalně formě i jako granulované hnojivo. Kapalnou formu tvoří suspenzní roztok elementární síry ve vodném roztoku, kdy obsah síry dosahuje až 50 %. Nevýhodou je špatná rozpustnost síry a ucpávání aplikačních trysek. V granulované formě může hnojivo obsahovat až 90 % síry. Výhodou je relativně nízká cena v přepočtu na živiny. Díky pomalé rozpustnosti lze toto hnojivo spíše řadit mezi zásobní hnojiva (Valenta 2011). Mengel et al. (2001) nedoporučují po aplikaci zapravit elementární síru do půdy, neboť bude takto hnojivo nedostupné pro kyslík. Oxidací totiž vzniká síran, který mohou rostliny následně využít.

5 Metodika

Vzorky půdy a nadzemní biomasy silážní kukuřice byly odebírány z polních provozních ploch Zemědělské společnosti Komorno, a.s. Na všech pozemcích bylo aplikováno tzv. pod patu hnojivo Amofos v dávce 120 kg/ha. Vzorky nadzemní biomasy rostlin byly odebrány dvakrát v průběhu vegetace v termínech 7. 7. 2021 a 2. 8. 2021, vždy řádek o délce 1,0 m. Rostlinné vzorky byly vysušeny při teplotě 45 °C do konstantní hmotnosti.

Půdní vzorkování bylo provedeno jen jednou během vegetace s první odebranou růstovou fází, odebírán byl půdní profil 0–30 cm.

Půdní reakce byla stanovena jako výměnné pH v 0,01 mol/l roztoku CaCl₂ (1:2,5 w/v), doba třepání 60 minut (Zbíral et al. 2016).

Rostlinný materiál byl mineralizován rozkladem na suché cestě (Mader & Čurdová 1997). Obsah živin v půdě a rostlinách byl stanoven optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem na přístroji ICP-OES Agilent 720 (Agilent Technologies Inc., USA).

Pro stanovení celkového obsahu dusíku v rostlinné biomase byl použit rozklad na mokré cestě v prostředí kyseliny sírové (1:20 w/v) katalyzovaný práškovým selenem. Obsah celkového dusíku v nadzemní biomase byl stanoven metodou podle Kjeldahla na přístroji Vapodest 50S (Gerhardt, Spolková republika Německo). Rostlinný materiál určený k analýzám byl homogenizován laboratorním střížným mlýnem SM100 (Retsch, Spolková republika Německo).

Půda byla po vysušení při laboratorní teplotě zhomogenizována a přeseťta na sítu s velikostí ok 2 mm. Obsah vodorozpustné síry v půdě byl stanoven extrakcí vodou 1:10 w/v s dobou třepání 60 min (Kowalenko 2008) a obsah přijatelné síry byl stanoven ve výluhu Mehlich 3 1:10 w/v s dobou třepání 10 min (Mehlich 1984) (upraveno dle metodiky ÚKZÚZ).

V Tabulce 2 jsou uvedeny průměrné obsahy makroprvků v půdě se slovním hodnocením. Kromě vápníku byly průměrné obsahy živin v půdě vyhovující. Obsah dusíku v půdě nebyl měřen. V oblasti se nacházejí převážně těžší půdy, takže bylo využito hodnocení pro těžké půdy.

Tabulka 2 Průměrné obsahy přístupných (Mehlich 3) makroprvků ve zkoumaných půdách (hodnoceno dle Prášková & Němec 2016)

Živiny	Draslík	Fosfor	Hořčík	Vápník
Průměrné obsahy v půdě (Mehlich 3) (mg/kg)	184,6	64,1	201,8	1646,2
Vyhovující obsah (mg/kg)	171–260	51-80	121–220	1701-3000
Hodnocení	Vyhovující	Vyhovující	Vyhovující	Nízký

5.1 Průběh počasí

Průběh počasí byl v tomto období odlišný než v běžných letech. V měsíci květnu byly zaznamenány velice nízké teploty vzduchu, což mělo za následek nedostatečné prohřátí půdy a nadprůměrné srážkové úhrny, což vedlo ke zpomalení vzcházení kukuřice. Červen byl teplotně již příznivější pro růst kukuřice, avšak velké srážkové úhrny pokračovaly. Díky dostatečné zásobě vody a příznivým teplotám došlo za necelý měsíc mezi odběry k velkému nárůstu biomasy rostlin, kdy výška rostlin již při druhém odběru přesahovala 3 metry. Výnosy nadzemní biomasy kukuřice byly nadprůměrné, neboť kukuřice měla dostatek vody a později i vyšší teploty vzduchu nutné k optimálnímu růstu (Inpočasí 2022).

5.2 Zemědělská společnost Komorno

V rámci praktické části této bakalářské práce byly odebírány vzorky kukuřice na pozemcích, na kterých hospodaří Zemědělská společnost Komorno, a.s. Tato společnost sídlí na jižním Plzeňsku a hospodaří na 4400 ha zemědělské půdy v 29 katastrálních územích. Zhruba 1800 ha tvoří orná půda, na které pěstují obilniny (především ječmen a pšenici), řepku a silážní kukuřici. V menší míře pěstují mák, kmín a len. V živočišné výrobě se především zaměřují na chov mléčného skotu, ale zabývají se i chovem skotu bez tržní produkce mléka plemene Aberdeen Angus. V neposlední řadě podnik provozuje bioplynovou stanici a střešní fotovoltaickou elektrárnu (Zemědělská společnost Komorno 2022).

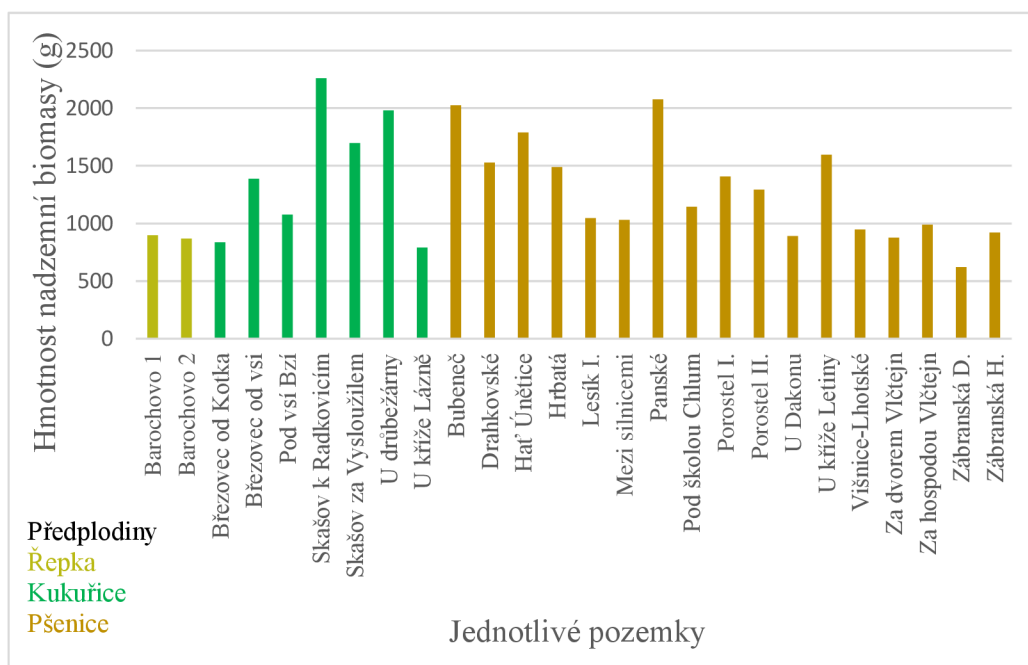
6 Výsledky

6.1 Vliv předplodiny na výnos nadzemní biomasy

V Grafu 2 je zobrazena hmotnost nadzemní biomasy z řádku o délce 1 m z odběru 7. 7. 2021. Průměrná hmotnost nadzemní biomasy byla 1286,8 g. Nejnížší průměrná hmotnost nadzemní biomasy byla zaznamenána na pozemcích po řepce. Kukuřice osetá po kukuřici vykazovala druhou nejvyšší průměrnou hmotnost biomasy a kukuřice zasetá po pšenici vykazovala ze všech třech možností nejvyšší průměrnou hmotnost biomasy. Předplodina řepka ovšem nemá velkou vypovídající hodnotu, neboť se vyskytla pouze ve dvou případech.

Výsledky v Tabulce 3 naznačují, že nejširší rozmezí hmotnosti nadzemní biomasy byly po předplodině kukuřici. Po pšenici byly lehce nižší. Hodnoty po předplodině řepce jsou díky malému počtu pozemků nevypovídající. Z výše uvedeného lze konstatovat, že po pšenici byly výnosy nadzemní biomasy kukuřice rovnoměrnější než po předplodině kukuřici. Výnosy po pšenici byly sice vyšší než po kukuřici, avšak velikost směrodatné odchylky ukazuje, že intervaly výnosu po pšenici a po kukuřici jsou velmi podobné. Z tohoto vztahu je zjevné, že kukuřici lze pěstovat monokulturně bez větších ztrát na výnosu nadzemní biomasy.

Graf 2 Hmotnost nadzemní biomasy 7. 7. 2021



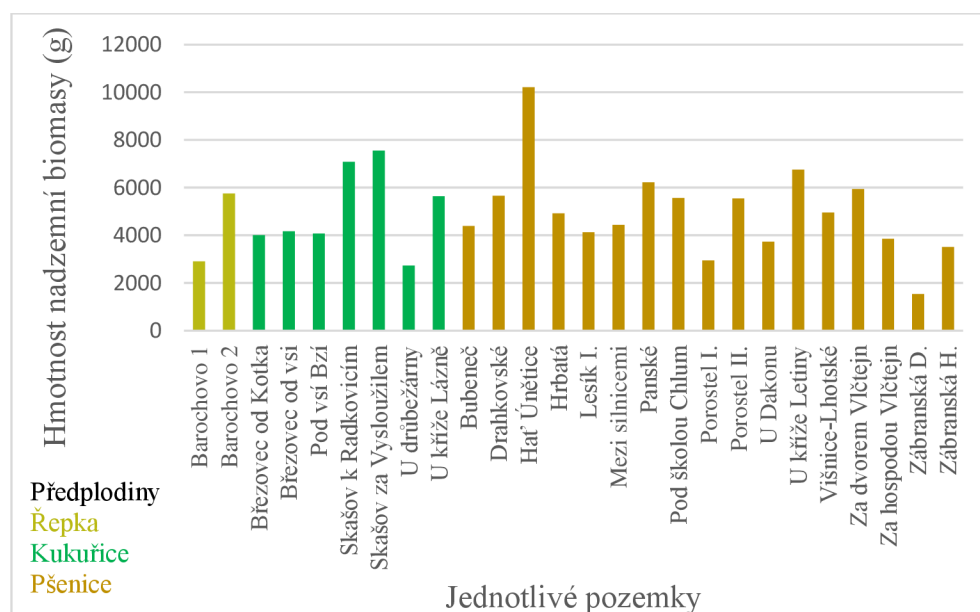
Tabulka 3 Průměrná hmotnost a směrodatné odchylky nadzemní biomasy dle předplodin
7. 7. 2021

Předplodiny	Průměr (g)	Směrodatná odchylka
Řepka	882,8	15,2
Kukuřice	1274,5	527,8
Pšenice	1432,2	411,5

V Grafu 3 je znázorněna hmotnost nadzemní biomasy odebrané 2. 8. 2021. Průměrná hmotnost nadzemní biomasy byla 4933,3 g. Nejnižší průměrná hmotnost biomasy byla na pozemcích po řepce, následovaly pozemky oseté po pšenici a nejvyšší průměrná hmotnost nadzemní biomasy byla stanovena na pozemcích po kukuřici. Výsledky týkající se předplodiny řepky, avšak nemají příliš vypovídající hodnotu, neboť se řepka vyskytla jako přeplovina jen ve dvou případech.

Z Tabulky 4 vyplývá, že nejrovnoměrnější výnosy nadzemní biomasy byly zaznamenány po předplodině kukuřici. Z tohoto lze usuzovat, že kukuřici lze pěstovat monokulturně bez větších ztrát na výnosu nadzemní biomasy. Hodnoty u řepky jsou nevypovídající kvůli malému počtu hodnot.

Graf 3 Hmotnost nadzemní biomasy 2. 8. 2021



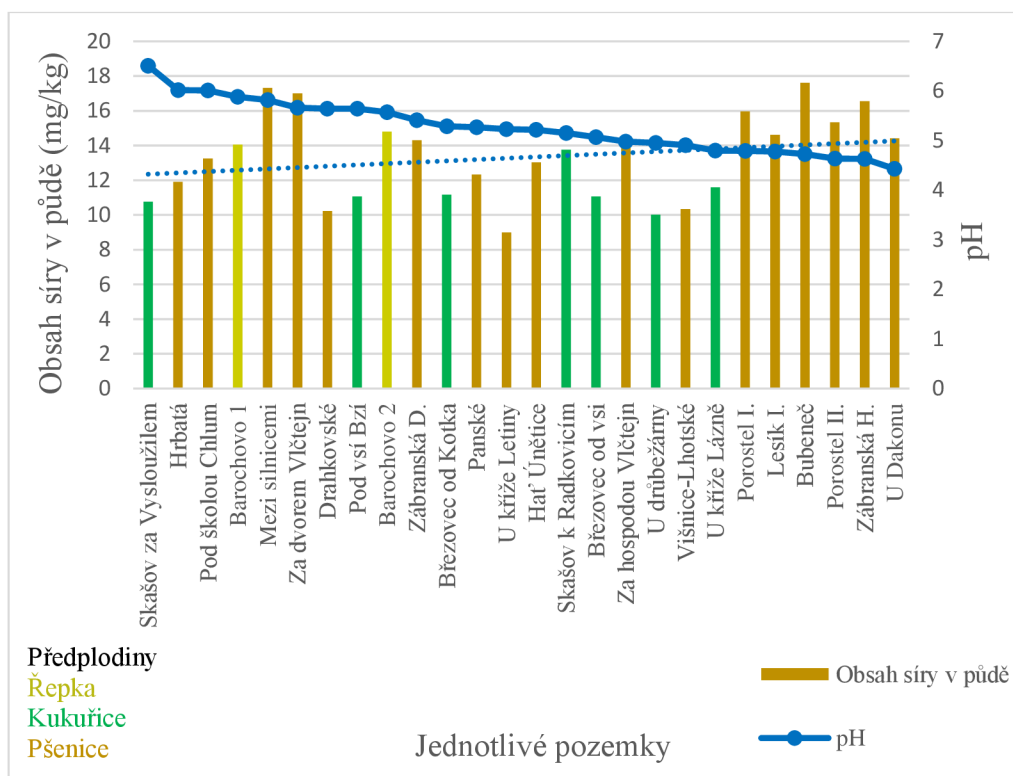
Tabulka 4 Průměrná hmotnost nadzemní biomasy dle předplodin 2. 8. 2021

Předplodiny	Průměr (g)	Směrodatná odchylka
Řepka	4331,1	1425,3
Kukuřice	5038,3	1645,3
Pšenice	4960,9	1822,8

6.2 Vztah mezi pH a obsahem síry v půdě metodou Mehlich 3

V Grafu 4 jsou uvedeny hodnoty pH, které byly změřeny na všech zkoumaných pozemcích. Průměrná hodnota pH byla 5,3, kdy se pH pohybovalo v rozpětí od 4,4 do 6,5. Dále je zde zobrazena hodnota pH ve vztahu k obsahu přístupné síry v půdě stanoveném metodou Mehlich 3. Na některých pozemcích s velmi nízkým pH je vyšší obsah přístupné síry v půdě. Jak ukazuje spojnice trendu, v grafu je patrný vztah mezi snižujícím se množstvím přístupné síry v půdě a zvyšujícím se pH, kdy při pH vyšším než 6 se obsah přístupné síry v půdě snižuje. Další vzájemné vztahy zaznamenány nebyly.

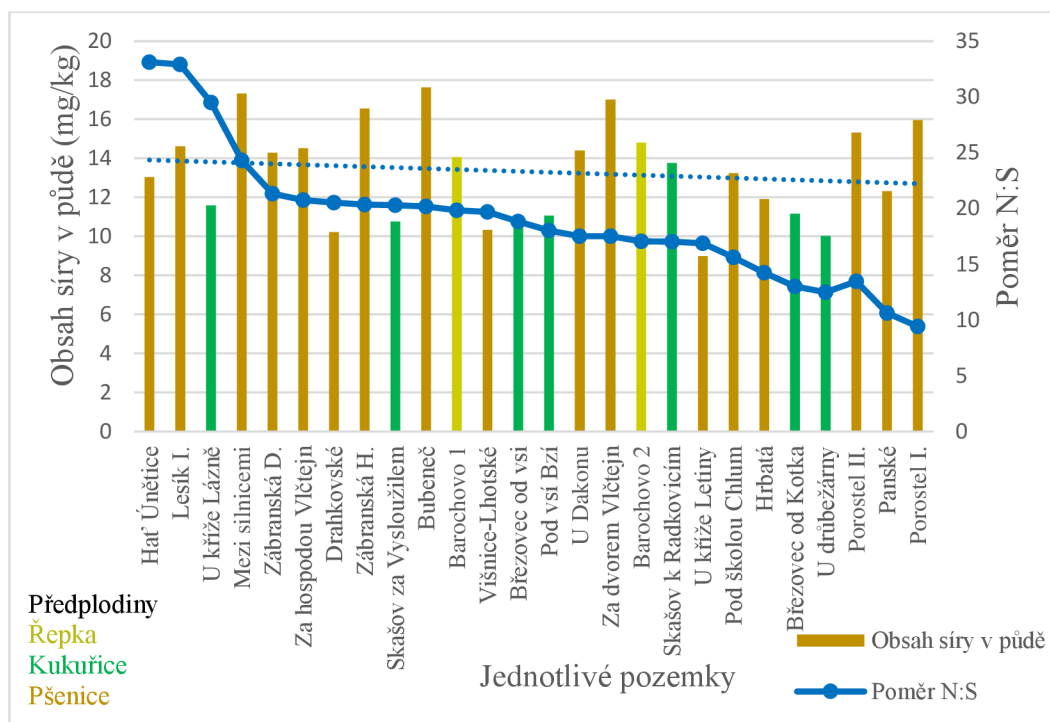
Graf 4 Stanovení pH půdy v závislosti na obsahu přístupné síry v půdě metodou Mehlich 3



6.3 Vztah mezi obsahem síry v půdě a poměrem N:S

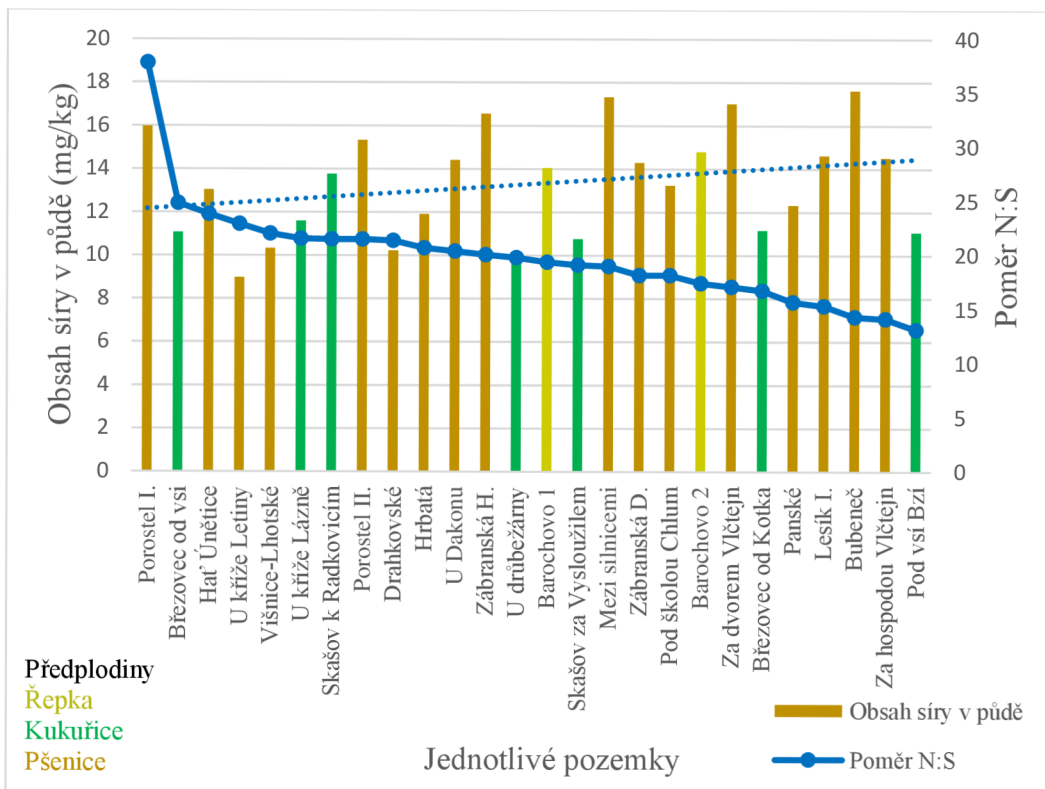
Graf 5 zobrazuje vztah mezi obsahem síry v půdě metodou Mehlich 3 a poměrem N:S v nadzemní biomase 7. 7. 2021. Poměr N:S by měl být širší při zvyšujícím se obsahu přístupné síry v půdě. Dle spojnice trendu se tento vztah potvrdil. Avšak je nutné zmínit, že na některých pozemcích s vyšším obsahem síry v půdě byl zjištěn úzký poměr N:S, což je nejspíše způsobeno širokým rozpětím obsahu dusíku v sušině rostlin, které se pohybovalo mezi 1,4–3,6 %.

Graf 5 Obsah síry v půdě metodou Mehlich 3 vzhledem k poměru N:S 7. 7. 2021



Graf 6 zobrazuje vztah mezi obsahem síry v půdě metodou Mehlich 3 a poměrem N:S v nadzemní biomase 2. 8. 2021. Ani v tomto grafu se vztah mezi širším poměrem N:S a vyšším obsahem síry v půdě dle spojnice trendu potvrdil, avšak ne u všech pozemků. Nejspíše i v tomto případě hraje roli široký rozptyl hodnot obsahu dusíku v sušině, který se pohyboval mezi 0,7–1,7 %.

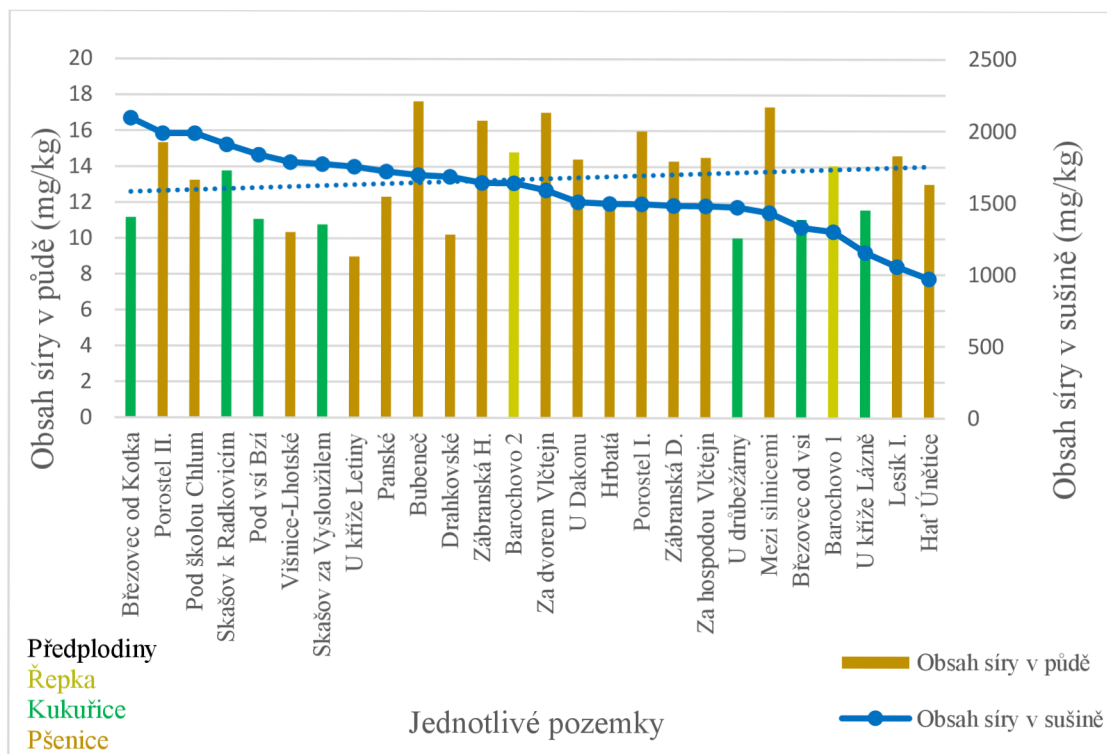
Graf 6 Obsah síry v půdě metodou Mehlich 3 vzhledem k poměru N:S 2. 8. 2021



6.4 Vztah mezi obsahem síry v půdě a obsahem síry v rostlinách

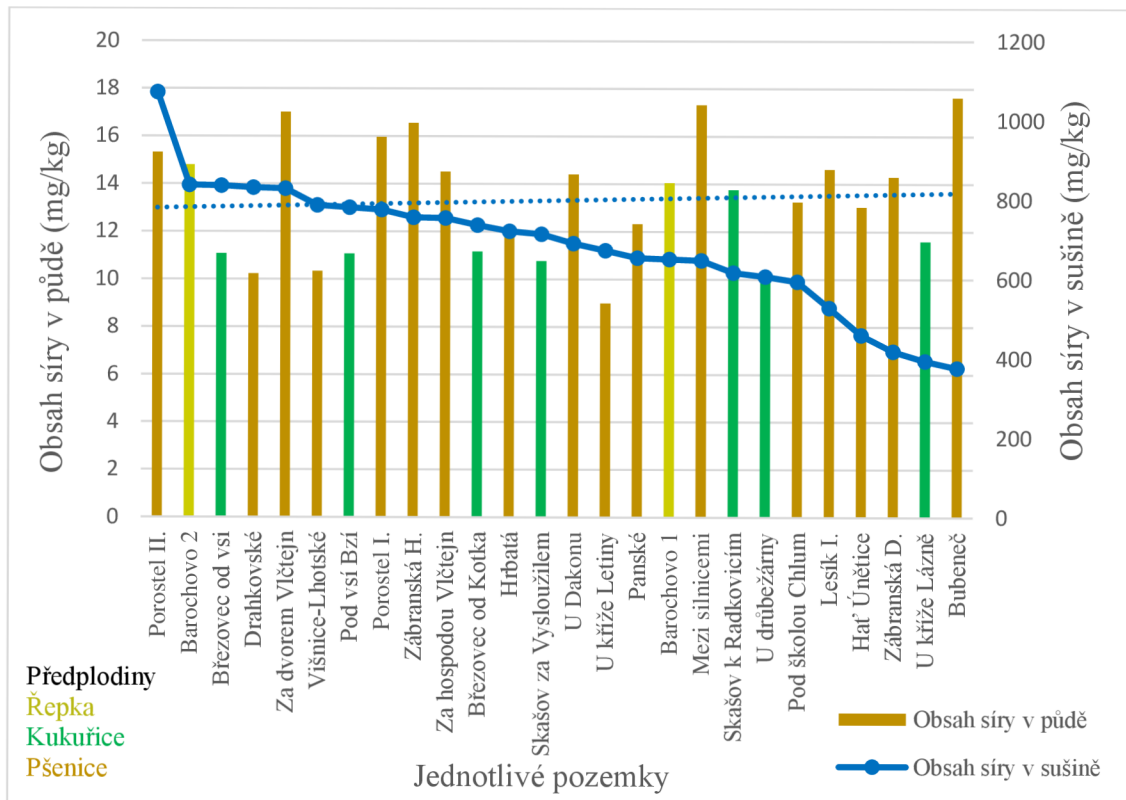
V Grafu 7 je zobrazen vztah mezi obsahem síry v půdě metodou Mehlich 3 a obsahem síry v sušině z odběru 7. 7. 2021. V grafu lze pozorovat jev, kdy při zvyšujícím se obsahu síry v půdě se snižuje obsah síry v sušině. Z grafu tedy vyplývá, že zde není přímý vztah mezi zvyšujícím se obsahem síry v půdě a zvyšujícím se obsahem síry v sušině.

Graf 7 Vztah mezi obsahem síry v půdě metodou Mehlich 3 a obsahem síry v sušině 7. 7. 2021



V Grafu 8 je zobrazen vztah mezi obsahem síry v půdě metodou Mehlich 3 a obsahem síry v sušině z odběru 2. 8. 2021. I v tomto grafu je patrný trend zvyšujícího se obsahu síry v půdě a klesajícího obsahu této živiny v sušině. Z tohoto vyplývá, že zde není přímý vztah mezi těmito dvěma charakteristikami.

Graf 8 Vztah mezi obsahem síry v půdě metodou Mehlich 3 a obsahem síry v sušině 2. 8. 2021



7 Diskuze

Cílem výzkumné části této bakalářské práce bylo zkoumání výživy kukuřice sírou v závislosti na obsahu přístupné síry v půdě. Odběry vzorků byly provedeny na pozemcích Zemědělské společnosti Komorno, a.s., v západních Čechách.

První sledovanou charakteristikou bylo pH půdy. Hodnoty pH se nacházely v rozpětí od 4,43 do 6,51. Průměr všech hodnot pH byl stanoven na 5,27. V tomto případě byl zkoumán vliv pH na obsah přijatelné síry v půdě. Z našich výsledků je patrné, že obsah přijatelné síry není příliš ovlivňován pH půdy. Vaněk et al. (2016) uvádí, že síra je rozpustná ve velkém rozpětí hodnot pH, což se shoduje s našimi výsledky, neboť pozemky s výrazně nižším pH nevykazují výrazné rozdíly hodnot obsahu přístupné síry. Sutar et al. (2017) toto zjištění potvrzuje a dodává, že obsah přístupné síry v půdě lehce stoupá při současném poklesu půdního pH. Spojnice trendu v Grafu 4 tento vztah rovněž potvrzuje, neboť se mírně zvyšuje obsah přístupné síry v půdě, avšak pouze při prudkém poklesu hodnoty pH. Lze tedy říci, že vliv hodnot pH na obsah síry v půdě je velmi malý.

Další sledovanou charakteristikou této bakalářské práce byl výnos nadzemní biomasy kukuřice vztažený k jednotlivým předplodinám. Předpoklad byl takový, že výnos nadzemní biomasy na pozemcích osetých po kukuřici nebude nejnižší. Tato hypotéza se potvrdila, neboť na pozemcích po této předplodině byl výnos nadzemní biomasy v jednom případě nižší a v druhém vyšší než po pšenici, avšak rozpětí směrodatné odchylky bylo u obou předplodin široké. Naše výsledky se shodují s Lal (1997), který prováděl pozorování výnosů monokulturně pěstované kukuřice. Stejně pozemky byly v takovém případě po dobu 8 let osévány jen kukuřicí. První čtyři roky sledování měly výnosy nadzemní biomasy stoupající tendenci. V dalších letech se trend obrátil, kdy výnos nadzemní biomasy zaznamenal s každým dalším rokem prudký pokles. Nevens & Reheul (2001) ve své studii zjistili, že při použití střídání různých plodin poskytuje kukuřice vyšší výnosy než při monokulturním pěstování při stejné úrovni hnojení dusíkem. Tento fakt může v budoucnu nabývat na významu při snižování používání minerálních hnojiv, kdy lze správným střídáním plodin dosáhnout stejného výnosu.

Dále byl sledován vztah mezi obsahem přístupné síry v půdě a obsahem síry v sušině rostlin. Carciochi et al. (2019) zjišťoval obsah síry v mladých listech. Výsledky tohoto autora ukazují, že při zvýšení obsahu přístupné síry v půdě bylo zaznamenáno znatelné zvýšení obsahu síry v sušině. V našem případě se tato hypotéza nepotvrdila, protože na pozemcích s vyšším obsahem přístupné síry v půdě nebyly zaznamenány vyšší hodnoty přístupné síry v sušině. Stanovení obsahu přístupné síry v půdě bylo provedeno za použití extrakčního činidla Mehlich

3. Toto činidlo je však schopné vytěsnit i síru, která není potenciálně přístupná pro rostliny. Tento jev potvrzuje Kulhánek et al. (2013) a dodává, že je nutné sledovat pro vyhodnocení výživy sírou i další indikátory.

Jako potenciální ukazatel dostatečné zásobenosti rostlin sírou byl vyhodnocován poměr N:S v rostlinách. Matula (2011) stanovil jako prahovou hodnotu poměr N:S 20:1. Naše výsledky se neshodují s doporučením tohoto autora, neboť při druhém odběru bylo dle průměrného poměru N:S, který byl 19,8, zásobení rostlin sírou téměř dostatečné, avšak dle Sutar et al. (2017) byl celkový obsah síry v rostlině velmi nízký. Obsah síry byl pouhých 682 mg/kg síry, ale tento autor uvádí jako minimální obsah pro rostliny 1000 mg/kg síry. Carciochi et al. (2019) doporučuje využívat poměr N:S pouze pro stanovení dostatečného obsahu síry v mladých rostlinách, avšak ne v celé biomase rostliny. Průměrný obsah síry v sušině při prvním odběru byl v našem případě 1583,8 mg/kg sušiny a průměrný poměr N:S byl 18,3. Naše výsledky se neshodují s výsledky tohoto autora, neboť průměrný obsah síry v sušině byl dle Sutar et al. (2017) při prvním odběru dostatečný, avšak dle průměrného poměru N:S bylo zásobení rostlin sírou hodnoceno jako nedostatečné. Obsah síry v sušině byl při prvním odběru 1583,8 g/kg síry a tento autor stanovil jako limitní hodnotu 1120 mg/kg síry.

Poslední sledovanou charakteristikou této práce je obsah síry v sušině, který byl zkoumán při obou dvou odběrech. Z výsledků obsahu síry v sušině je patrné, že hypotéza o nízkém obsahu síry v sušině rostlin se potvrdila, neboť při druhém odběru byl průměrný obsah síry v sušině 682 mg/kg síry (0,0682 %). Sutar et al. (2017) uvádí rozpětí obsahu síry v sušině pro všechny rostliny v rozpětí 0,1–0,5 %. Ovšem lipnicovité nejsou příliš náročné na výživu sírou, a proto lze počítat spíše s nižšími limity obsahů síry v sušině. Autor dále dodává, že minimální hodnota pro obsah síry v kukuřici po 60 dnech pěstování, by měla být alespoň 1120 mg/kg síry v sušině. Dle autora vždy záleží na metodě stanovení, a proto se mohou hodnoty mírně lišit. Při využití této hodnoty jako kritického množství síry v sušině kukuřice lze konstatovat, že při prvním odběru byly hodnoty nad limitem. Tyto hodnoty jsou mírně zavádějící kvůli velmi pomalému počátečnímu růstu, který byl způsoben chladným počasím a nízkými teplotami v ČR v na jaře 2021. Vhodnější je využití hodnot z druhého odběru, kdy již byly všechny hodnoty podlimitní. Carciochi et al. (2019) uvádí hodnotu 2100 mg /kg síry v sušině jako vhodný obsah pro mladé rostliny kukuřice ve výšce 35 cm. V našem případě této hodnoty nedosáhla ani jedna varianta, avšak rostliny dosahovaly při prvním odběru vyšší výšky. Pro tuto výšku rostlin by byla limitní hodnota obsahu síry v sušině jistě nižší, a tak by již mnoho hodnot z prvního odběru ukazovalo na dostatečné zásobení rostlin sírou. Obsah síry v sušině při prvním odběru nelze tedy jednoznačně vyhodnotit, ale lze uvést, že minimálně část pozemků

by vykazovala dostatečné zásobení sírou. Pro stanovení hodnoty optimálního obsahu síry v této růstové fázi by bylo nutno provést víceleté sledování.

Při srovnání využití jako indikátoru obsah přístupné síry v půdě, poměru N:S a obsahu síry v sušině lze říci, že ve všech případech byl obsah síry v půdě nedostatečný. Průměrný obsah v našich vzorcích půdy byl 13,3 mg/kg síry. Kulhánek et al. (2013) stanovuje jako hranici vyhovujícího obsahu síry v půdě 20 mg/kg síry. Z tohoto důvodu lze říci, že při využití tohoto indikátoru je ve všech případech výživný stav kukuřice hodnocen jako nedostatečný. V případě Grafů 5 a 7 lze říci, že dle poměru N:S byl obsah síry nedostatečný, avšak obsah síry v sušině byl vyhovující. Z tohoto důvodu lze doporučit využití poměru N:S jako indikátoru dostatečného zásobení kukuřice sírou ve fázi 10 pravých listů. Při porovnání Grafu 6 s Grafem 8 lze říci, že v obou případech indikátory ukazují na nedostatečné zásobení sírou. Z tohoto plyne, že k hodnocení výživného stavu kukuřice ve fázi kvetení lze využít oba indikátory.

8 Závěr

- Z výsledků stanovení přístupné síry v půdě lze jednoznačně potvrdit hypotézu, že nedostatek přístupné síry v půdě je aktuální problém, jelikož množství přístupné síry lze ve všech případech považovat za nedostatečné.

- Dále bylo jednoznačně prokázáno, že kukuřice lze pěstovat na pozemku monokulturně bez vlivu na hmotnost nadzemní biomasy. V této práci byly zkoumány celkem tři předplodiny, ze kterých nejvyšší průměrnou hmotnost nadzemní biomasy vykazovaly pozemky oseté po pšenici. Hodnoty hmotnosti nadzemní biomasy na pozemcích monokulturně pěstované kukuřice byly v jednom případě o málo nižší, v druhém případě o málo vyšší než po pšenici, a proto lze říci, že kukuřice snáší dobře monokulturní pěstování.

- Poměr N:S se ukázal jako vhodný nástroj k stanovení dostatečného zásobení rostlin sírou ve vyšších růstových fázích, kdy jak poměr N:S, tak i obsah síry v sušině indikovaly nedostatečné zásobování kukuřice sírou.

- K hodnocení dostatečného zásobení rostlin sírou v nižších růstových fázích je vhodné využít poměr N:S. Obsah síry v sušině se ukázal jako nevhodný indikátor, neboť obsah síry v sušině byl v této růstové fázi dostatečný, avšak dle poměru N:S bylo zásobení rostlin sírou nedostatečné, což souhlasí s nízkým obsahem síry v půdě.

- Další hypotéza se týkala vlivu hodnoty pH na obsah přístupné síry v půdě. Dle výsledků je patrné, že hodnota pH nemá velký vliv na množství přístupné síry v půdě. Tento fakt je daný tím, že síra je v půdě rozpustná ve větší šíře hodnot pH, a proto nemá nižší hodnota pH příliš velký vliv na obsah přístupné síry v půdě.

- Jako poslední byl v této práci zkoumán vztah mezi obsahem přístupné síry v půdě a obsahem síry v sušině. Naše výsledky nepotvrzují přímý vztah mezi zvyšujícím se obsahem přístupné síry v půdě a obsahem síry v sušině. V tomto případě mohl být obsah síry v sušině omezen nedostatečným zásobením přístupnou sírou v půdě, antagonismem s jinými prvky či vyšší úhrnem srážek v období pěstování kukuřice.

9 Seznam literatury

Allen MS, Coors JG, Roth GW. 2003. Corn Silage. Pages 547–608 in Buxton DR, Muck RE, Harrison JH, editors. *Silage Science and Technology*. American Society of Agronomy, Madison.

Ayhan A, QingYu L, Alibas K, Unal H. 2013. Biogas production from maize silage and dairy cattle manure. *Journal of Animal and Veterinary Advances* **12**: 553–556.

Balík J, Kulhánek M, Černý J, Száková J, Pavlíková D, Čermák P. 2009. Differences in soil sulfur fractions due to limitation of atmospheric deposition. *Plant, Soil and Environment* **55**: 344–352.

Baranyk et al. 2007. *Řepka: pěstování, využití, ekonomika*. Profi Press, Praha.

Baranyk et al. 2010. *Olejniny*. Profi Press, Praha.

Brant V, Fuksa P, Hakl J, Jursík M, Kroulík M, Prokinová E, Škeříková M, Smöger J, Zábranský P. 2020a. Efektivní hospodaření s vodou a eliminace degradace půdy v pěstebních systémech kukuřice seté. Agrární komora ČR, Praha.

Brant V, Nýč M, Kusá H, Kroulík M, Růžek P, Zábranský P, Škeříková M. 2020b. Ekonomicky a ekologicky efektivní postupy zapravení kejdy a digestátu do půdního profilu. Kurent, České Budějovice.

Brant et al. 2020c. Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby. Kurent, České Budějovice.

Carciochi WD, Reussi Calvo NI, Wyngaard N, Divito GA, Eyherabide M, Echeverría HE. 2019. Prognosis and diagnosis of sulfur status in maize by plant analysis. *European Journal of Agronomy* **108**: 1–10.

Carciochi WD, Wyngaard N, Reussi Calvo NI, Pagani A, Divito GA, Echeverría HE, Ciampitti IA. 2018. Critical sulfur dilution curve and sulfur nutrition index in maize. *Agronomy Journal* **111**: 448–456.

Carr TW, Balkovič J, Dodds PE, Folberth C, Skalský R. 2021. The impact of water erosion on global maize and wheat productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **322**: 1–13.

Collins GN. 1923. Notes of the agricultural history of maize. Agricultural History Society Papers 2: 409–429.

Český statistický úřad. 2021. Definitivní údaje o sklizni zemědělských plodin. Český statistický úřad. Available from <https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2020> (accessed 20.1.2022).

Dowswell C, Paliwal RL, Cantrell RP. 2019. Maize in the third world. CRC Press, New York.

García-Lara S, Serna-Saldivar SO. 2019. Chapter 1 - Corn History and Culture. Pages 1–18 in Serna-Saldivar SO, editor. Corn: chemistry and technology. AACC International Press, Oxford.

Giovanelli J, Mudd SH, Datko AH. 1980. Sulphur amino acids in plants. Pages 435–505 in Mifflin BJ, editor. Amino acids and derivatives. Academic Press, Cambridge.

Grant C, Hawkesford MJ. 2015. Sulfur. Pages 261–302 in Barker AV, Pilbeam DJ, editors. Handbook of plant nutrition. CRC Press, Florida.

Halkier BA, Gershenzon J. 2006. Biology and biochemistry of glucosinolates. Annual Review of Plant Biology **57**: 303–333.

Honsová H. 2013. Pěstování kukuřice na výrobu bioplynu. Biom.cz. Available from <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/pestovani-kukurice-na-vyrobu-bioplynu> (accessed 21.2.2022).

Hutňan M, Špalková V, Bodík I, Kolesárová N, Lazor M. 2010. Biogas production from maize grains and maize silage. Polish journal and environmental studies **19**: 323–329.

Inpočasí. 2022. Blovice. Inmeteo s.r.o. Available from https://www.in-pocasi.cz/aktualni-pocasi/blovice/?&typ=srazky&historie_bar_mesic=6&historie_bar_rok=2021#monthly_graph (accessed 13.2.2022).

Kalloo G, Rai M, Singh M, Kumar S. 2006. Heterosis in crop plants. Researchco Book Centre, New Delhi.

Kling JG. 1991. Morphology and growth of maize. International Institute of Tropical Agriculture, Nigérie.

Kolver ES, Roche JR, Miller D, Densley R. 2001. Maize silage for dairy cows. Proceedings of the New Zealand Grassland Association **63**: 195–201.

Kowalenko CG. 2008. Extraction times and analysis methods influence soil test measurements of phosphorus and sulphur. Canadian Journal of Soil Science **88**: 733–747.

Kulczycki G. 1996. The effect of elemental sulfur fertilization on plant yields and soil properties. Pages 105–181 in Sparks DL, editor. Advances in agronomy. Academic Press, San Diego.

Kulhánek M, Balík J, Černý J. 2011. Změny obsahu a forem síry v půdách. Pages 27–31 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku síry ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Kulhánek M, Balík J, Vaněk V, Pavlíková D, Černý J. 2013. Využití analýz frakcí minerální síry v půdě k optimalizaci hnojení. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Kusá H, Růžek P, Vavera R, Káš M. 2020. Různé způsoby hnojení kukuřice. Zemědělec **30**: 22.

Lajdova Z, Lajda J, Kapusta J, Bielik P. 2016. Consequences of maize cultivation intended for biogas production. Agricultural Economics **62**: 543–549.

Lal R. 1997. Long-term tillage and maize monoculture effects on a tropical Alfisol in western Nigeria. I. Crop yield and soil physical properties. Soil and Tillage Research **42**: 145–160.

Lošák T, Dostál J. 2019. Digestát vo výživě a hnojení repky. Naše pole. Available from <https://nasepole.sk/digestat-vo-vyzive-a-hnojeni-repky/> (accessed 21.2.2022).

Mader P, Čurdová E. 1997. Metody rozkladu biologických materiálů pro stanovení stopových prvků. Chemické Listy **91**: 227–236.

Makdi M, Tomcsik A, Orosz V. 2012. Digestate: a new nutrient source – review. Pages 295–310 in Kumar S, editor. Biogas. Intech, Rijeka.

Matula J. 2007. Výživa a hnojení sírou. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.

- Matula J. 2011. Diagnostika výživného stavu rostlin sírou. Pages 48–57 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku síry ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Mehlich A. 1984. Mehlich-3 soil test extractant—A modification of Mehlich-2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **15**: 1409–1416.
- Mehta YK, Shaktawat MS, Singhi SM. 2005. Influence of sulphur, phosphorous and farmyard manure on yield attributes and yield of maize (*Zea mays* L.) in southern Rajasthan conditions. *Indian Journal of Agronomy* **50**: 203–205.
- Mengel K, Kirby EA, Kosegarten H, Appel T. 2001. Principles of plant nutrition. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Nevens F, Reheul D. 2001. Crop rotation versus monoculture; yield, N yield and ear fraction of silage maize at different levels of mineral N fertilization. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* **49**: 405–425.
- O'Sullivan A, O'Sullivan K, Galvin K, Moloney AP, Troy DJ, Kerry JP. 2002. Grass silage versus maize silage effects on retail packaged beef quality. *Journal of Animal Science* **80**: 1556–1563.
- Pavlíková D, Vaněk V, Pavlík M, Kolář L. 2011. Úloha síry v rostlinách a její potřeba pro rostliny. Pages 21–26 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku síry ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Petříková et al. 2012. Zelenina: pěstování, výživa, ochrana a ekonomika. Profi Press, Praha.
- Prášková L, Němec P. 2016. Bazální monitoring zemědělských půd – půdní reakce a obsah živin 1995-2013. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně, Brno.
- Shevyakova NI. 1981. Transport and metabolism of sulphate under salt stress. Pages 351–353 in Brouwer R, Gašparíková O, Kolek J, Loughman BC, editors. Structure and Function of Plant Roots. Springer, Dordrecht.
- Scherer HW. 2001. Sulphur in crop production – invited paper. *European Journal of Agronomy* **14**: 81–111.

Schnug E, Haneklaus S. 2005. Sulphur deficiency symptoms in oilseed rape (*Brassica napus* L.) - The aesthetics of starvation. *Phyton-Annales Rei Botanicae* **45**: 79–95.

Stockdale CR. 1995. Maize silage as a supplement for pasture-fed dairy cows in early and late lactation. *Australian Journal of Experimental Agriculture* **35**: 19–26.

Sutar RK, Pujar AM, Aravinda Kumar BN, Hebsur NS. 2017. Sulphur nutrition in maize-A Critical Review. *Int. J. Pure App. Biosci.* **5**: 1582–1596.

Šantrůček J, Fuksa P, Hakl J, Kocourková D, Mrkvička J, Svobodová M, Veselá M. 2008. *Encyklopedie pícninářství. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.*

Tlustoš P, Pavlíková D, Vaněk V, Habart J. 2011. Síra v životním prostředí. Pages 15–20 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. *Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku síry ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.*

Tripathi MK, Mishra AS. 2007. Glucosinolates in animal nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology* **132**: 1–27.

Valenta J. 2011. Sortiment hnojiv se sírou a její zdroje. Pages 58–60 in Vaněk V, Balík J, Pavlíková D, Tlustoš P, editors. *Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku síry ve výživě rostlin. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.*

Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. *Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press, Praha.*

Wang et al. 2014. Comparative analyses of C₄ and C₃ photosynthesis in developing leaves of maize and rice. *Nature Biotechnology* **32**: 1158–1165.

Zbiral J, Čižmárová E, Obdržálková E, Rychlý M, Vilamová V, Srnková J, Žalmanová A. 2016. *Analýza půd I. Jednotné pracovní postupy. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Národní referenční laboratoř, Brno.*

Zemědělská společnost Komorno. 2022. *O společnosti. Zemědělská společnost Komorno.* Available from <https://komorno.cz/o-spolecnosti/> (accessed 13.2.2022).

Samostatné přílohy



Obrázek 1 Odběr vzorku nadzemní biomasy 7. 7. 2021, autor: Belfin J.



Obrázek 2 Odběr vzorku půdy 7. 7. 2021, autor: Belfin J.



Obrázek 3 Odběr vzorku nadzemní biomasy 2. 8. 2021, autor: Belfin J.