

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Technologie úspory minerálního hnojení kukuřice
Diplomová práce**

Bc. Cedrik Bergl

Rostlinná produkce - Pěstování rostlin

Ing. Jaroslav Tomášek, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Technologie úspory minerálního hnojení kukuřice" 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 21.4.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jaroslavu Tomáškoví, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce a za jeho čas, který si vždy dokázal vyčlenit pro rady a tipy během jejího zpracovávání. Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům Výzkumné stanice v Červeném újezdu a studentům, kteří se účastnili prací při vedení pokusu.

Technologie úspory minerálního hnojení kukuřice

Souhrn

V aktuální době se stále rozšiřují plochy pěstované kukuřice v České republice. Kukuřice má stále ještě potenciál ve zvyšování už tak vysokých výnosů a její využití se dotýká mnoha průmyslových odvětví.

Plodina samozřejmě vyžaduje dostatek základních živin potřebných pro svůj vývoj. Z hlediska problému vodní eroze a vyplavování živin u dané širokořádkové plodiny, zvyšujících se cen minerálních hnojiv i každého vstupu do porostu by vhodná aplikace minerálních hnojiv omezit. Dané omezení aplikace minerálních hnojiv by mohlo být možné díky využití půdních bakterií schopných fixovat vzdušný dusík, zpřístupňovat živiny pro rostliny a snižovat rizika vzniku stresujících faktorů.

V literární rešerši byly popsány souvislosti s pěstováním a hnojením kukuřice a rizika, která jsou s danou plodinou spojována. Dále byly popisovány konkrétní bakterie jako je například *Peanebacillus polymyxa*, *Bacillus megaterium* či jiné s množstvím potvrzených pozitivních vlivů na růst a výnos kukuřice.

Pro ověření literárních znalostí byl založen maloparcelkový pokus na Výzkumné stanici v Červeném Újezdu FAPPZ s aplikací PROVEO MEGA a PROVEO POLYMYXA na rostliny kukuřice. Zmíněné přípravky obsahují právě bakterie *Peanebacillus polymyxa* a *Bacillus megaterium*. Předpokladem bylo, že aplikované přípravky budou mít pozitivní vliv na růst kořenového systému a na výnos zelené hmoty i sušiny kukuřice na siláž.

Na základě měření během vegetace, při sklizni a po ní nedošlo k prokázání statisticky významného vlivu přípravků PROVEO MEGA a PROVEO POLYMYXA na růst a výnos rostlin. Nicméně varianta ošetřená PROVEO POLYMYXA vykazovala mírně vyšší průměr v délce kořenů měřených v první polovině vegetace a nejlepší výsledky v rámci množství sklizené zelené hmoty a sušiny silážní kukuřice.

Klíčová slova: půdní bakterie, stimulace, kořeny, dusík

Maize mineral fertiliser saving technology

Summary

Currently, the area of maize cultivation in the Czech Republic is still expanding. The use of maize affects many industries and it still has a lot of potential to increase the already high yields.

The crop requires sufficient essential nutrients for its development. Given the problem of water erosion and nutrient leaching in the wide row crop in question, with the rising price of mineral fertiliser and the cost of any input to the crop, it would be advisable to limit the use of mineral fertiliser. This limitation of mineral fertiliser application could be possible by using soil bacteria capable of fixing atmospheric nitrogen, making nutrients available to plants and reducing the risk of stress factors.

The literature research described the context of growing and fertilising maize and the risks associated with the crop, as well as specific bacteria such as *Peanebacillus polymyxa*, *Bacillus megaterium* along with other ones, that have a number of confirmed positive effects on maize growth and yield.

To verify the literature-sourced knowledge, a small-plot experiment was established at the Research Station in Červený Újezd FAPPZ with the application of PROVEO MEGA and PROVEO POLYMYXA on maize plants. These products contain *Peanebacillus polymyxa* and *Bacillus megaterium* bacteria. The assumption was that the applied products would have a positive effect on the growth of the root system as well as the green and dry matter yield of maize silage.

Statistically, there was no significant effect of PROVEO MEGA and PROVEO POLYMYXA treatment on plant growth and yield, based on measurements during the growing season, during the harvest and after the harvest. However, the variant treated with PROVEO POLYMYXA showed a slightly higher average root length in the first half of the growing season and the best results in terms of harvested green and dry matter of silage maize.

Keywords: soil bacteria, stimulation, roots, nitrogen

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Vědecká hypotéza a cíle práce.....	2
3 Literární rešerše.....	3
3.1 Historie, vývoj a charakteristika plodiny kukuřice	3
3.1.1 Původ kukuřice	3
3.1.2 Vývoj zemědělské plochy kukuřice a jejích výnosů v ČR ve 20. a 21. století.....	4
3.1.3 Botanická charakteristika kukuřice (<i>Zea mays L.</i>)	4
3.1.4 Morfologická charakteristika kukuřice	5
3.2 Pěstování kukuřice a co s ním souvisí	7
3.2.1 Fyziologické vlastnosti kukuřice a optimální podmínky pro její růst a vývoj v podmínkách České republiky.....	7
3.2.2 Zařazení v osevním postupu	9
3.2.3 Zpracování půdy a zakládání porostu	10
3.2.4 Ochrana porostu kukuřice během vegetace	12
3.3 Výživové potřeby kukuřice	13
3.3.1 Vápník figurující ve výživě kukuřice	14
3.3.2 Dusík figurující ve výživě kukuřice	14
3.3.3 Hnojení fosforem	16
3.3.4 Hnojení draslíkem	18
3.3.5 Hnojení hořčíkem.....	18
3.3.6 Hnojení sírou.....	19
3.4 Problémy spojené s pěstováním kukuřice, coby širokořádkové plodiny.....	19
3.4.1 Eroze půdních ploch s pěstovanou kukuřicí	19
3.4.2 Dopad eroze a ztráty živin na životní prostředí	20
3.4.3 Dopad eroze a vyplavování živin z ekonomického úhlu pohledu.....	21
3.4.4 Možnosti řešení problémů s vyplavováním minerálních hnojiv a s financováním zprostředkování živin rostlinám	22
3.5 Přípravky na bázi bakterií.....	22
3.5.1 Význam bakterií vázajících vzdušný dusík v biohnojivech	22
3.5.2 Aplikování přípravků na bázi bakterií	23
3.5.3 Bakterie žijící volně či symbioticky	23
3.5.4 Bakterie rodu <i>Azotobacter</i>	24
3.5.5 <i>Paenibacillus polymyxa</i>	26
3.5.6 <i>Bacillus megaterium</i>	29
4 Metodika.....	30
4.1 Agrotechnické faktory.....	30

4.2	Průběh počasí dle automatické meteorologické stanice	31
4.3	Rozbor půd na N_{\min} a AZP	32
4.4	Aplikované přípravky u varianty TE2 a TE3	32
4.5	Hodnocení pokusu.....	34
5	Výsledky	35
5.1	Statistické vyhodnocení hodnot získaných během vegetace	35
5.2	Statistické vyhodnocení hodnot získaných během sklizně	37
5.2.1	Vyhodnocení silážní kukuřice.....	37
5.2.2	Vyhodnocení výnosu zrna	41
5.3	Komentář k výzkumným hypotézám	43
5.3.1	Hypotéza 1	43
5.3.2	Hypotéza 2	43
6	Diskuze	44
7	Závěr	48
8	Literatura.....	49
9	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	61
10	Samostatné přílohy	I

1 Úvod

V diplomové práci se budu zabývat technologiemi úspory minerálního hnojení. Ty budou cílené pro pěstování kukuřice na siláž i pro zrno. Právě kukuřice se významně dotýkají problémy související s minerálním hnojením. U kukuřice pěstované pro zrno je riziko spojené s faktem, že se jedná o širokořádkovou plodinu, jejíž pěstování může vést k degradaci půdy (Šarapatka 2008). Kukuřice na siláž je problematická jak z hlediska širokých řádků, tak i z opakovaného pěstování na stejných půdních blocích, které jsou v blízkosti živočišné produkce v daném zemědělském pozemku. To má za následek ekologicky negativní dopady spojené s půdní erozí a vyplavováním značného množství minerálních hnojiv (Kvítek & Típl 2005).

Agronomové, kteří hospodařili v devadesátých letech 20. století, by byli překvapeni, kdyby viděli změny, které do současnosti v zemědělství proběhly. Jednou z těchto změn je dle Křena et al. (2015) snížení počtu pěstovaného skotu či prasat v České republice. Jen mezi roky 1994 a 2004 bylo toto snížení zaznamenáno ve všech krajích naší republiky. Právě skot byl a je primárním zdrojem organického hnojiva dostupného pro každý zemědělský podnik s přidruženou živočišnou výrobou. Tato redukce chovu skotu se projeví na množství produkce hnoje, který dle Hůly et al. (2008) tvoří v půdě jak zdroj živin potřebných pro správný vývoj rostlin, tak i organických látek podílejících se na udržení celkové úrodnosti.

Další zásadní změnou, která nastala ve všech výrobních oblastech, je výrazné zúžení osevních postupů kvůli upřednostňování ekonomicky lukrativnějších kulturních plodin. Úkolem osevních postupů ovšem bylo zajistit udržitelně úrodné půdy. Kritériem úrodnosti je zajištění správné půdní struktury, se kterou souvisí správné poměry pevných částic, vody a vzduchu v rámci objemové hmotnosti a zajištění zdrojů a přístupnosti rostlinných živin. Právě zúžení osevních postupů vede ke snížení jejich efektivnosti (Lipský, 1995; Urban & Šarapatka 2003).

Významnou změnou je také vysoká intenzifikace pěstování (Zhang et al. 2011). Příčin této změny je více. Jednou z nich je neustálý nárůst populace, který vede i k potřebě většího množství potravin. Je tedy nutné dosahovat vyšších výnosů. Tento problém však graduje, a to vlivem stálého snižování výměry zemědělské plochy (Lipovský 2010). Další příčinou intenzifikace je pochopitelná motivace pěstitelů dosahovat i vyšších zisků kvůli stále se zvyšujícím nákladům, které jsou s pěstováním kulturních plodin spojeny (Procházka 2023).

Právě živiny jsou pro správný vývoj rostlin stěžejní a změny, které byly v minulých odstavcích zmíněné, zastoupení jednotlivých makroprvků a mikroprvků v půdě negativně ovlivňují. Snížení živin je tedy nutné eliminovat prostřednictvím dodání zmíněných prvků do půdy v podobě minerálních hnojiv, bez kterých by dnešní podoba zemědělství nebyla výživově udržitelná (Vaněk et al. 2016).

Minerální hnojiva mají potenciál zemědělskému hospodaření pomoci a zajistit jeho prosperitu (Erisman et al. 2008). Ovšem menší množství organických hnojiv dodávaných do půdy, nedodržování správných a efektivních osevních postupů a výrazná intenzifikace rostlinné výroby vedou ke zhoršování půdní struktury, které v souvislosti s přemírou plošného hnojení minerálními hnojivy vedou k ekologickým problémům (Guo et al. 2010; Le et al. 2010; Zhang et al. 1996). Jedním z řešení daných problémů je rozvíjet technologie úspory aplikací minerálních hnojiv, ale i tak respektovat nároky rostlin na jednotlivé živiny.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem diplomové práce bylo zjistit vliv stimulačních přípravků na bázi půdních bakterií a stimulačních přípravků na produkci biomasy a sušiny u silážní a zrnové kukuřice. Dalším cílem práce bylo zhodnotit vliv těchto postupů na úsporu minerálních hnojiv a kvantifikovat nákladovost těchto ošetření.

Pro ověření cílů DP byly založeny pokusy s kukuřicí na Výzkumné stanici FAPPZ v Červeném Újezdu. Maloparcelkový pokus byl založen s následujícími variantami:

- 1) neošetřená kontrolní varianta
- 2) varianta ošetřená *Peanebacillus polymyxa* v dávce 2 l.ha⁻¹ na list
- 3) varianta ošetřená pomocným stimulačním přípravkem

Hodnocení pokusu bylo zaměřeno na:

- 1) sledování vzházení rostlin, měření výšky rostlin a dynamiky růstu kořenů
- 2) zjištění výnosu zelené hmoty a sušiny z jednotlivých výzkumných parcel
- 3) výpočty úspory dávek minerálních hnojiv

Vědecké hypotézy diplomové práce:

- 1) Předpokládá se, že aplikace pomocných půdních přípravků na list kukuřice bude mít pozitivní vliv na celkový výnos zelené hmoty a sušiny u kukuřice na siláž.
- 2) Předpokládá se, že aplikace půdních bakterií v porostu kukuřice bude mít pozitivní vliv na růst kořenů.

3 Literární rešerše

3.1 Historie, vývoj a charakteristika plodiny kukuřice

3.1.1 Původ kukuřice

Původ plodiny, která byla během svého vývoje známá také jako turecká pšenice či na Moravě Turkyně, sahá do Ameriky. Její existence čítá až 10000 let př. n. l. Konkrétní oblastí, kde archeologové našli pozůstatky, které nasvědčují tomu, že zde byla přítomna, je Střední Amerika. Právě ve Střední Americe se nachází pestrá zásobárna příbuzných forem a rodů této plodiny, se kterými mohlo dojít ke křížení¹ (Ranum et al. 2014).

Kukuřice je považována za jednu z prvních plodin, kterou zemědělci pěstovali před 7000 až 10 000 lety. Archeologické důkazy o využití kukuřice jako potravinu pocházejí z různých nalezišť v Mexiku, kde byly objeveny malé kukuřičné klasy v jeskyních, jejichž stáří se odhaduje na více než 5000 let. Průzkumy fosilního pylu a kukuřičných klásků v archeologických lokalitách podporují myšlenku, že kukuřice má svůj původ v Mexiku. Existují však i jiné teorie, které naznačují, že kukuřice může pocházet z oblasti Himálaje v Asii a vznikla křížením mezi rostlinami *Coix spp.* a některými druhy *Andropogoneas*. Obě rostliny mají pět párů chromozomů (Piperno et al. 2001).

Do Evropy se plodina dostala až v době Kolumbových cest koncem 15. století, byť konkrétní datum známé není. Hlavním využitím rostliny ze začátku bylo obohatit místní zahrady svým orientálním vzhledem. Prvně domestikována byla ovšem už v Americe v oblasti Mexika a Peru. V zemích, kde se následně vyskytla, a začala být cíleně pěstována, se těšila velké oblibě hlavně díky možné variabilitě pěstování a své vysoké produkci. Z těchto důvodů se zařadila mezi nejpěstovanější plodiny. V Evropě zaujímala druhé místo, a to hned po bramborách (Zimolka et al. 2008). Do oblasti dnešní Moravy ji přinesli až Romové, a to z Turecka či Rumunska (Kůst 2010).

Kromě dvou nejznámějších záměrů pěstování, kterými jsou zisk siláže a zrna, hraje v postupném rozšiřování ploch s touto plodinou roli jak potravinářský, tak i nepotravinářský průmysl. V rámci potravy se využívá k výrobě škrobu, olejů, tuků, a i pekárenských produktů. V průmyslu nepotravinářském je kukuřice potřeba k výrobě bioplastů, dále se využívá ve stavebnictví, farmacii, kosmetice a dnes i k výrobě obnovitelných zdrojů, jakými jsou například biopaliva, bioplyn, biomasa apod. (Battisti et al. 2023; Ranum et al. 2014).

Významným tématem je v posledních deseti letech pochopení dynamiky růstu biomasy kukuřice v závislosti na obsahu přístupného dusíku v odběrové zóně kořenů a lepším hospodaření rostliny s danou živinou. Potenciál výnosu siláže či zrna při sklizni kukuřice (konkrétní čísla v následující kapitole) ještě stále není naplněn. Očekává se, že při ideální době dodání dusíku v konkrétních vývojových stádiích rostlin mohou výnosy rapidně stoupnout (Yan et al. 2016).

¹ *Tripsacum* a *Euchlaena*

3.1.2 Vývoj zemědělské plochy kukuřice a jejích výnosů v ČR ve 20. a 21. století

Trend rozšiřujícího se využití plodiny kukuřice, který byl nastíněn v minulých odstavcích, se projevoval významně do 80. let 20. století, kdy byl výrazný nárůst plochy pěstované plodiny. Ve 21. století se růst celkové výměry pěstované kukuřice markantně zpomalil, ale stále přetrvává. V roce 2000 celková plocha plodiny zaujímala 271 723 ha. O deset let později vzrostla výměra o 10 161 ha a v roce 2018 dosahovala celých 305 956 ha. Rozdílný vývoj je ovšem u kukuřice pěstované na zrno a kukuřice pěstované na siláž. Plocha kukuřice na zrno nejprve postupně rostla. V roce 2000 bylo k pěstování využito 39 317 ha a do roku 2010 se tato hodnota zvyšovala až na hodnotu 99 945 ha. Následně výměra začala lehce klesat a v roce 2018 už zaujímala 81 851 ha. U kukuřice silážní probíhal vývoj přesně naopak. Nejprve do roku 2010 osevní plocha klesala a do roku 2018 opět rostla. Ve zmíněném roce 2018 dosáhla 224 105 ha, což je pouze o 8 301 ha méně než v roce 2000.

Zajímavý je vývoj výnosů, který se u kukuřice projevil. Od roku 2000 až do roku 2018 se pohyboval výnos kukuřice na zrno od 5,58 do 8,79 t.ha⁻¹. Mezi roky 2000 a 2015 se opakovaly propady a opětovné nárůsty. Až v letech 2020 a 2021 přesáhl výnos 9 t.ha⁻¹ a dosáhl až k 9,65 t.ha⁻¹. U kukuřice silážní se během popisovaných dvaceti let výnosy pohybovaly od 33,13 do 40,72 t.ha⁻¹ (MMR 2021).

Hodnoty výnosů se samozřejmě odvíjejí nejen od nových odrůd, prodeje nových přípravků na ochranu rostlin či stimulačních přípravků, ale i od klimatických podmínek, které jsou nevyzpytatelné a jeden rok může být extrémně chudý na úhrn srážek a druhý naopak bohatý. Ovšem ani s průměrnými hodnotami úhrnů srážek a teplot v určitých letech nelze zcela odhadnout výši výnosu, neboť je směrodatné, v jaké vývojové fázi kukuřice v konkrétních srážkových a teplotních obdobích byla (Hejnák et al. 2008).

Jako rozdíl ve vývoji pěstování kukuřice v minulosti a dnes lze definovat i účel, za jakým se kukuřice ve 21. století pěstuje. Význam potravinářský a krmný se mírně upozadil a důležitost si plodina získala pro své využití k výrobě obnovitelné energie. To vysvětluje, proč má plodina v osevních sledech stále podstatnou roli i přes snížení jejího využití v potravinářství a v chovu dobytka (“Situční a výhledová zpráva” 2018)

3.1.3 Botanická charakteristika kukuřice (*Zea mays L.*)

Podtřída: jednoděložné (*Monokotyledonae*)

Řád: lipnicokvěté (*Polales*)

Čeleď: lipnicovité (*Poaceae*) (Khaeim et al. 2022)

Jedná se o rostlinu:

- Jednoletou
- Jednodomou
- Cizosprašnou
- Různopohlavní
- Typu diklinických rostlin se samčími – prašníkovými a samčími – pestíkovými květy, které tvoří oddělená květenství, kterými jsou laty a palice.

Existují jednotlivé poddruhy, které se dělí dle tvaru zrna, barvy zrna a barvy pluch na větenech palice. Těmito poddruhy jsou:

Kukuřice obecná tvrdá (*Zea mays convar. indurata* Sturt., syn. *Zea mays convar. vulgaris* Körn)

Kukuřice koňský zub (*Zea mays convar. identata* Stur., syn. *Zea mays convar. dentiformis* Körn.)

Kukuřice polozubovitá (*Zea mays convar. aorista* Grebensch., syn. *Zea mays convar. semiidentata* Kulesch)

Kukuřice cukrová (*Zea mays convar. saccharata* Stur.)

Kukuřice vosková (*Zea mays convar. ceratina* Grebensch., Kulesh.)

Kukuřice škrobnatá (*Zea mays convar. amylacea* Sturt., Mont., Grebensch., syn. *Z. m. convar. macrosperma* Glosch.)

Kukuřice pluchatá (*Zea mays convar. tunicata* St. Hill, syn. *Cryptosperma* Bonaf, syn. *Glumacea* Larranaga)

Existuje delší výčet poddruhů, ovšem zde postačí základní rozdělení se zmínkou kukuřice pluchaté, která se jako jediná nepoužívá k výrobě jakéhokoli produktu, ale ve sféře studia má významnou roli (Húska et al. 1997; Zimolka et al. 2008)

3.1.4 Morfologická charakteristika kukuřice

Vegetativními orgány kukuřice jsou:

○ **Kořeny**

Růst kořenů probíhá v počátečních fázích vývoje velice intenzivně. Po vzejití dosahují kořeny hloubky 30–40 cm už v prvním měsíci růstu. To znamená v době, kdy má rostlina 2–3 pravé listy (Zimolka et al. 2008).

U kukuřice se vyvíjejí nejprve primární kořeny v zárodku (Brant et al. 2020). Vyrůstá tedy jeden zárodečný kořínek – radícula, ze kterého se následně větví 7–13 kořínků postranních. Odlišností ovšem je to, že radícula nezůstává jako je tomu u jiných obilnin během dalšího vývoje zakrnělá, ale může se dále větvit a tvořit tak boční kořeny (Hochholdinger et al. 2004). Jedná se ovšem o kořenový systém důležitý dle Branta et al. (2020) pro rostlinu zejména v prvotních fázích vývoje. Významnější jsou kořeny tvořící se následně. Jedná se o kořeny sekundární (Diviš et al. 2010). Ty dosahují rozsáhlejšího zastoupení v rámci celého kořenového systému a přebírají tak hlavní zásobovací funkci rostliny. Vyrůstají z bazálního interkalárního meristému spodního článku stébla. To se týká i tzv. vzdušných neboli opěrných kořenů, které dle Římovského et al. (1989) vyrůstají až ze 4 nadzemních kolének vyskytujících se těsně nad povrchem půdy. Jejich funkcí je jak opora rostliny, tak i zásobování vodou a živinami. Podmínkou je, že musí být ve styku s půdou. Pokud ve styku nejsou, jsou schopné pouze přijímat vzdušnou vlhkost.

Mohutný kořenový systém kukuřice je svazčitý a zasahuje do značné hloubky (Hruška et al. 1962). Hlavní zastoupení kořenů představují ovšem jemné kořínky, které obvykle neprorůstají hlouběji než do 20 cm a jejich radius kolem rostliny tvoří 1 metr (Sobotik et al. 2018; Kutschera et al. 2009). Uvádí se, že celková hloubka prokořenění se pohybuje do 1,8 m (Čvančara 1962).

○ **Stéblo**

Stejně jako u kořene je rychlost růstu stébla poměrně vysoká. Denní přírůstek se pohybuje až k 14 cm. Stéblo je tvořeno internodií a nody. Jejich počet se pohybuje okolo 11–15 a stejně jako celková dosažená výška stébla (obvykle 120–300 cm) se i počet zmíněných článků a uzlů odvíjí od ranosti daného hybridu a pěstebních podmínek stanoviště (Diviš et al. 2010; Belej 1982). Počet internodií ovlivní výšku porostu, se kterou souvisí celková listová plocha, mikroklima porostu a ochrana před vodní erozí (Brant et al. 2020).

Stéblo je vyplněno dřevem, která slouží v době růstu jako zásoba živin (Brant et al. 2020). V obvodu dřevě vyplňující stéblo se pod pokožkou rozkládají cévní svazky, jejichž množství se směrem do středu stébla snižuje. Podporu stability stébla zajišťuje také architektura stébla související s rozmístěním klasů – samičích květenství. V místě, kde se nachází klas, je rozšířené úžlabí a článek je odkloněn od vertikální osy na opačnou stranu pro vytvoření rovnováhy vlivem narůstající hmotnosti klasu. Na vrcholu vrchního článku se pak nachází lata, tedy samčí květenství (Zimolka et al. 2008).

Listy vyrůstají z nodů vstřícně a střídají se tak, že z každého nodu vyrůstá jeden list ale vždy na opačné straně. Vzniknou tak dvě řady listů. Spodní část každého článku je pak chráněna pochvou listu, díky čemuž jim dlouho zůstává charakter meristému (Diviš et al. 2010).

○ **Listy**

Na předešlé stránce bylo popsáno rozmístění listů na stéblu. Zajímavé je kromě jejich střídavého umístění i změna velikosti v závislosti na jejich pořadí. Listy mají tendenci se směrem vzhůru zvětšovat, a to až ke čtvrtému listu odspodu. Následně se tendence mění a s každým dalším patrem jsou listy menší. Velikostí je myšlena šířka i délka. Ty největší listy vznikají během června, kdy je pro růst optimální teplota 20 °C (Zimolka et al. 2008). Velikost listu souvisí s množstvím srážkové vody, která na nadzemních orgánech ulpívá a stéká ke stéblu, které vodu následně vede až k půdě, kde dojde k její infiltraci do zóny kořenů (Brant et al. 2016).

Samotné listy bývají obvykle široké, dlouze kopinaté a mají výrazné střední žebro. Okraje čepele jsou vlivem odlišné rychlosti růstu oproti střední části vlnité.

Počet listů se odvíjí od odrůdy. Množství stoupá od 8 listů u raných hybridů až k 24 a více u pozdějších hybridů. Stejně tak se od odrůdy odvíjí samotná velikost listů či úhel, který svírají s hlavním stéblem (Diviš et al. 2010).

Důležitou roli hrají listy kromě fotosyntézy i v efektivním využívání vody v závislosti na klimatických podmínkách. Velké elastické buňky – cellulae bulliformes zasahují do mezofylu a svým nabobtnáním při zvýšení turgoru v rostlině zapříčiní rozvinutí listu a naopak. Tím se spolu s průduchy podílejí na regulaci transpirace (Brant et al. 2020).

Erektivní postavení listů představuje výhodu jak v zajištění dopadu slunečního záření do spodních pater listů a tím i k jeho efektivnějšímu využití, tak i v stoku srážkové vody blíže ke kořenům (Brant et al. 2016).

Generativními orgány kukuřice jsou:

- **Květy a květenství**

Kukuřice je plodinou jednopohlavnou jednodomou (Diviš et al. 2010). Právě ve stavbě květenství se kukuřice odlišuje od jiných zástupců lipnicovitých rostlin (Hruška et al. 1962).

Samičí pestíkové květy vytváří palici – spadix. Ta se vyskytuje v úžlabí listů střední části stébla. Pestíkové květy tvoří dvoukvěté klásky. Vrchní klásek je plodný a ten spodní zakrnělý. Osa klasu je tvořena klasovým vřetenem, v jehož jamkách se nacházejí samičí klásky. Jejich uspořádání je párovité v podélných řadách. Počet je obvykle sudý. Rozpětí počtu klásků se pohybuje od 8 do 18.

Čnělky vyčnívají během kvetení z listenů, které obalují palici (v počtu 4-5-12). Čnělky neboli blizny jsou jen řídko obarvené, dlouhé a nitkovité a zakončují kulovitý semeník.

Samčí prašníkové květy jsou dle Vrzala (1995) uspořádané do laty – panícula. Lata se nachází na vrcholu rostliny a je tvořena hlavní větví a vedlejšími spirálovitě rozvětvenými větvemi, jejichž počet je různý.

Klásky jsou tvořeny dvojicí květů, jedním přisedlým a druhým se stopkou. Květy obsahují tři prašníky, které jsou nejviditelnější v době metání laty. Klásky jsou uspořádány do řad. Ty jsou na vedlejších větvích dvě a na větví hlavní jich je více (Zimolka et al. 2008).

- **Zrno**

Jedná se o nažku neboli suchý jednosemenný nepukavý plod s tenkým oplodím. Tvar zrna se odvíjí od uspořádání na palici. Při vysoké hustotě bývají zrna plochá a při nižší hustotě téměř kulovitá. Jejich tvar se odvíjí i od umístění na palici. Na bázi mají kulatější tvar a ve středu spíše zploštělý (Zimolka et al. 2008). Příkladem uspořádání obilek na palici lze demonstrovat na kukuřici seté. U té je počet obilek na palici v rozmezí 400–600 kusů při počtu řad v rozmezí 14–22 a počtu obilek v řadě v rozmezí od 30–50 (Brant et al. 2020).

Semeno je kryto oplodím. To je hladké a na svém vrcholu je malý zbytek po čnělce a na bázi malý zbytek po stopce. Pupek neboli hillum je tmavá semenná jizva, která vzniká odstraněním zbytku stopky z báze oplodí (Zimolka et al. 2008).

3.2 Pěstování kukuřice a co s ním souvisí

3.2.1 Fyziologické vlastnosti kukuřice a optimální podmínky pro její růst a vývoj v podmínkách České republiky

Kukuřice patří pro svou efektivitu fotosyntézy mezi další tropické rostliny, které jsou schopné fixovat CO₂ i při jeho nízkých koncentracích. Jedná se o způsob fixace C₄ rostlin, které se vlivem teplých stanovišť často potýkají s nedostatkem vody (Khaeim et al. 2022). To vede k méně intenzivnímu otevírání listových průduchů, čímž se snižuje i koncentrace CO₂ potřebného pro fotosyntézu. Právě u C₄ rostlin katalyzuje proces fixace CO₂ v Hatch-Slackově cyklu enzym fosfoenolpyruvátkarboxyláza neboli PEP-karboxyláza. Tento enzym je citlivější

k CO₂ než enzym Rubico, který plní tuto funkci u C₃ rostlin. CO₂ z ovzduší nebo uvolněný fotorespirací se fixuje do fosfoenolpyruvátu – PEP a vzniká tak kyselina oxaloctová (čtyřuhlákatá sloučenina namísto tříuhlíkaté jako je tomu u C₃ rostlin) (Hejnák et al. 2008). Tento způsob fixace zajišťuje rychlejší a efektivnější fotosyntézu a stavba listů zajišťuje i lepší využití vody a živin při tvorbě sušiny, která je 2–3krát vyšší než u C₃ rostlin. Mimo to je vidět i pokrok v rychlosti fotosyntézy u nově vznikajících hybridů kukuřice oproti těm starším. Rychlost fotosyntézy se u nových hybridů po odkvětu zpomalí ale obsah chlorofylu se u nich snižuje výrazně pomaleji než u hybridů starších. Téměř veškeré nově vznikající asimiláty po odkvětu směřují do zrna a ty starší vytvořené před květem se přerozdělují a některé z nich směřují do zrna také. Výsledkem je zvýšení hmotnosti zrn u nových hybridů kukuřice oproti svým předchůdcům (Ding et al. 2007).

Dle fotoperiodického dělení rostlin náleží kukuřice mezi plodiny krátkodenní (Mes 1953). Jedná se o rostliny fotoperiodicky citlivé, u kterých je kritickou fotoperiodou udávána minimální či maximální délka působení světla během 24hodinového cyklu, která stále indukuje kvetení. Kritická fotoperioda krátkodenních rostlin se pohybuje do 14 hodin. Vždy musí docházet ke střídání tmy a světla. V našich podmínkách se ovšem pěstuje naprosté minimum rostlin, které ke kvetení vyžadují krátkodennost. Kromě kukuřice je to například sója. Dané plodiny jsou adaptované na významné úhrny srážek v druhé polovině letního období a doba kvetení tak vychází na podzim. To ovšem není v našich podmínkách vhodné, a proto je právě většina plodin dlouhodenních a ke kvetení nedochází v době, kdy jsou reálná rizika výskytu mrazu (Hejnák et al. 2008; Mes 1953).

Nejvhodnější oblastí pro pěstování kukuřice je kukuřičná výrobní oblast. Ta zahrnuje pět podoblastí, K1 – K5. Plocha dané oblasti zahrnuje 6,7 % zemědělského půdního fondu ČR. Jedná se tedy o nejmenší výrobní oblast na našem území. Charakteristickými vlastnostmi pro danou oblast je rovný až mírně zvlněný terén dosahující do 250 m n. m. Klimatický region je velmi teplý a suchý (VT) a zahrnuje tyto hodnoty:

- Průměrná roční teplota: 9-10 °C. V případě kukuřice na zrno je optimální teplota 16,5-17 °C v období od dubna do září (Zimolka et al. 2008). Optimální teplota pro růst a vývoj generativních orgánů je 20–24 °C (Hůla et al. 2008).
- Průměrný roční úhrn srážek: 500-600 mm. V případě kukuřice na zrno je třeba minimálně 300 mm úhrnů srážek v době vegetace (Zimolka et al. 2008).
- Výskyt suchých vegetačních období: 30-50 %

Převládají zde černozemní a lužní půdní typy, drnové půdy a nivní půdy na písčích. Půdy jsou hlinité až hlinitopísčité a stupeň zornění přesahuje 80 %. Dané podmínky panují v okolí Brna, Hodonína, Břeclavi, Znojma a Vyškova. Kukuřice preferuje hluboké a strukturní půdy s neutrální půdní reakcí (Hůla et al. 2008).

Cukrová kukuřice lze pěstovat i ve výrobních oblastech, kde je nižší průměrná roční teplota. Příkladem je řepářská výrobní oblast. Teplota vhodná pro klíčení je 10 °C a více. Všechny malé rostliny ovšem snesou i mírné mrazy do -2,5 °C (Petříková et al. 2012). Existují případně i hybridy s kratší vegetační dobou, která umožní sklízet kukuřici na zrno v daných méně optimálních podmínkách (Vaněk et al. 2016).

Ještě tolerantnější k odlišným podmínkám optima kukuřičné výrobní oblasti jsou silážní kukuřice. Ty se pěstují i například v bramborářské výrobní oblasti, kde jsou průměrné roční teploty 5-8 °C (Petříková et al. 2012). Stanoviště s nižšími teplotními průměry jsou pro pěstování zmíněné kukuřice vhodné díky její kratší vegetační době (Vaněk et al. 2016). V daných podmínkách je vhodné pěstovat kukuřici na lehčích půdách, u kterých dochází k lepšímu prohrátí. Nevhodnými jsou půdy těžké a zamokřené, které neumožní dostatečně brzké setí (Hůla et al. 2008).

Teplota limitující růst kukuřice se dle Sánchez et al. (2014) pohybuje mezi 4-6 °C a na tvorbu 1000 g sušiny potřebuje rostlina 260-320 l vody (Hellriegel 1883; Larcher 1988). Tato hodnota je oproti jiným plodinám pěstovaným v našich podmínkách poměrně nízká. Například u řepy či brambor je transpirační koeficient až 650 l.kg⁻¹ a u luštěnin dosahuje 800 l.kg⁻¹ (Larcher 1988).

3.2.2 Zařazení v osevním postupu

Kukuřice ať pěstovaná na zrno či na siláž velice dobře reaguje na organické hnojení, které předchází jejímu setí (Žydělis 2019). Vyžaduje kvalitní organickou hmotu zapracovanou v půdním profilu. Může se jednat jak o hnůj, tak i o rostlinné zbytky pěstované předplodiny. Nejvhodnější předplodinou pro kvalitu svých rostlinných zbytků a schopnost fixace dusíku jsou luskoviny a jeteloviny (Pál & Zsombik 2024; Wollmann & Möller 2022). Konkrétně lze využít například jetel luční či vikev obecnou. Kukuřice pěstovaná po vikvi obecné s absencí aplikování dusíkatých minerálních hnojiv dosahovala v optimálních klimatických podmínkách totožných výnosů jako kukuřice, která sice měla jako předplodinu obilninu, ovšem bylo k ní aplikováno 80 kg N.ha⁻¹ prostřednictvím minerálních hnojiv. V roce s neoptimálními klimatickými podmínkami dosáhla dokonce kukuřice s luskovinou předplodinou vyšších výnosů (Pál & Zsombik 2024).

Způsob pěstování kukuřice je zajímavý z toho důvodu, že byt' se jedná o obilninu, tak požadavky na hnojení i zpracování půdy se blíží spíše okopanině. To se týká i jejího vnímání coby „zlepšující“ plodiny (Skládanka et al. 2014). Další vlastností, která charakterizuje kukuřici spíše jako zmíněnou okopaninu, je její využití jako přerušovač obilních sledů (Diviš et al. 2010). To podporují i na rozmanitost zužující se osevní postupy podléhající ekonomice trhu. Stále více se pěstují obilniny jako pšenice či ječmen. Dále je v dnešní době velmi lukrativní pěstování řepky. Minimálně v porovnání s jinými plodinami (Baranyk & Fábry 2007; Žídek 2018).

Při potřebě většího množství obilnin je potřeba přerušit jejich sled v osevním plánu zlepšující plodinou, ke které lze aplikovat organické hnojivo v podobě například hnoje, kterou je v tomto případě právě kukuřice, a to i přes to že se jedná také o obilninu (Berzsenyi et al. 2000; Žydělis 2019). Při zařazení kukuřice mezi jiné obilniny je vhodné využít jako její předplodinu spíše pšenici ozimou a jako následnou plodinu zasít ječmen jarní, pšenici jarní či pšenici ozimou, jenž dobře využijí podmínky, které po sklizni kukuřice na půdním bloku panují. Jde hlavně o nižší zastoupení dusíku v půdě, který tak nevede k riziku poléhání (Klem 2011). Jarní obilniny se volí v případě, kdy se pěstovala kukuřice na zrno, která má delší vegetační dobu, neboť se sklízí ve fázi žluté zralosti a nikoli voskově mléčné zralosti jako kukuřice na

siláž, a proto by se ozimá obilnina nestačila včas zasít. Samozřejmě z hlediska stavu pole je třeba počítat s větším množstvím rostlinných zbytků po sklizni kukuřice. Obzvláště při sklizni kukuřice na zrno, kdy rostlinné zbytky mohou významně ztížit setí jarní obilniny a mohou také představovat rizika v podobě přenášení chorob a škůdců (Deac et al. 2015). Případně mohou být zdrojem houbových chorob, které vedou k výskytu mykotoxinů v zrnu následných plodin (Kazda 2014). Ovšem i při brzké sklizni kukuřice na siláž a zasetí ozimé obilniny jakou je například pšenice ozimá může nastat vlivem rostlinných zbytků problém, a to v podobě podryvání divokými prasaty, která takto ničí zasetou plodinu. Důvodem tohoto počínání zvířat je výskyt rostlinných zbytků v půdním profilu, které jim slouží jako potrava a naučené cesty z minulých let (Zeman et al. 2016).

Jako jedna z mála plodin lze kukuřice pěstovat i po sobě, a to dvakrát i třikrát (Diviš et al. 2010). Při příliš častém opakování pěstování dané monokultury na stejném pozemku může vznikat riziko výskytu škůdců, jako je bázlivec kukuřičný nebo zavíječ kukuřičný². Redukovat zavíječe kukuřičného lze mnoha různými metodami. Boj s bázlivcem kukuřičným je ovšem složitější a primární obranou proti jeho výskytu je právě střídání plodin (Kazda 2014; Křen et al. 2015).

Jiným rizikem je, že se velké množství posklizňových zbytků stane zdrojem infekce houby rodu *Fusarium spp.* (Deac et al. 2015; Prokinová 2014).

Kromě možného problému výskytu škůdců či houbových chorob může monokulturní pěstování kukuřice více let na stejném pozemku způsobit i rozvoj některých druhů plevelů. Příkladem může být pcháč oset, svlačec rolní, violky, béry, ježatka kuří noha, pýr plazivý či oves hluchý. Dané plevele tvoří významné konkurenty kukuřice, ovšem redukce pomocí herbicidů bývá obvykle účinnou ochranou (Kazda et al. 2010).

Dalším rizikem pěstování kukuřice na siláž na stejném pozemku je zhutnění půdy, které převážně během sklizně hrozí (Brant et al. 2016).

3.2.3 Zpracování půdy a zakládání porostu

V dnešní době je obvyklé zařazovat kukuřici mezi obilniny. Tedy využít ji jako zlepšující plodinu, ke které se aplikuje organické hnojivo například hnůj skotu a přerušit sled pšenice, ječmene či jiných obilnin (Diviš et al. 2010; Žydelis 2019).

Bezprostředně po sklizení předplodiny, v tomto případě mělce kořenící obilniny, se provádí podmítka do hloubky 6–12 cm (Křen et al. 2015). K té bývají využívány talířové a radličkové podmítače. Který z nich se odvíjí obvykle od rozhodnutí agronoma či hospodáře. Je ovšem běžné, že podnik či hospodář vlastní pouze jeden z nich, a tudíž nemá na výběr. Cílem podmítky je přerušit vztlínání vody kapilárními póry a zamezit tak ztrátě vody evaporací. Dále se mírně zapraví rostlinné zbytky a prokypří vrchní vrstva půdy. To vede ke klíčení semen plevelů a ztrátových zrn předplodiny (Neudert & Procházková 2009).

3–4 týdny po provedení podmítky se v běžné zemědělské praxi intenzivního zemědělství využívá obvykle tradiční zpracování půdy, tedy orba, a to do hloubky 22–25 cm (Hakansson 1998). Prostřednictvím té se do půdy zapraví organické hnojivo, které je pro kukuřici velmi

2 Bázlivec kukuřičný – *Diabrotica virgifera virgifera* (LeConte, 1868), zavíječ kukuřičný – *Ostrinia nubilalis* (Hübner, 1796)

vhodné, případně hnojivo minerální (Richter 2015). Dále se zapraví vzešlé plevely a výdrol po předplodině. Pro jarní setí kukuřice a snížení množství vstupů na pole v jarním období je dobré na podzim ještě strhnout hrubou brázdou (Křen et al. 2015).

Pro dosažení dobrého a kvalitního výnosu je třeba zajistit setí v optimálním termínu a správný počet a rozmístění vzešlých jedinců na jednotce plochy (Ali et al. 2017). Povrch pozemku by měl být srovnaný bez hrud kvůli redukci chyb během setí a prokypřený pro lepší a rychlejší prohřátí půdy a zajištění tak vhodné teploty pro klíčení semen (Karayel & Ozmerzi 2002). Semena klíčí, když teplota půdy překročí minimální hodnotu, kterou je 5 °C. Při teplotě 10 °C klíčí semena kukuřice až 34 dní, ovšem při zvyšující se teplotě se doba klíčení zkracuje. Ideální teplota pro klíčení je vyšší, konkrétně 15-20 °C (Khaeim et al. 2022). Osivo by mělo mít díky prokypření půdy i dostatek přístupného vzduchu. Při srovnávání a kypření povrchu pole je důležité vyhnout se utužení půdy. Vhodnou strategií je nejprve srovnat a nakypřit povrch pole a následně teprve připravit seťové lůžko. Díky tomuto rozdělení se docílí vzejití prvních jarních plevelů, které se následně mechanicky zlikvidují (Hůla et al. 2008). Seťové lůžko by mělo být na dně mírně utuženo, aby voda vzlínala až k uloženému osivu a překryto prokypřenou půdou do výšky až 4 cm (Karayel & Ozmerzi 2002).

Datum setí se řídí teplotou půdy a jarními klimatickými podmínkami. Obecně by ovšem mělo být setí provedeno na našem území od poloviny dubna do poloviny května. Riziko dřívějšího výsevu spočívá v nízkých teplotách a pozdějšího v prodloužení vegetace a tím i oddálení termínu sklizně. Uvádí se, že posunutí data setí po 15. květnu o jeden den znamená oddálení sklizně o dny dva (Křen et al. 2015).

K setí se využívají obvykle pneumatické stroje pro přesné setí (Brant et al. 2016). Vzdálenost rostlin v řádku a obecně hustota porostu se odvíjí od užitkového směru pěstované kukuřice, zvoleného hybridu a s tím souvisí, že i od délky vegetační doby. Dle Getaneh et al. (2016) je optimální meziřádková vzdálenost 65 cm a vnitrořádková vzdálenost rostlin 25 cm. Daná rozteč je vhodná pro zvýšení výnosu zrna. Užší meziřádky se volí spíše u kukuřice silážní. Konkrétní hodnota se pohybuje okolo 45-50 cm. Kombinací meziřádkové vzdálenosti a rozestupu semen v řádku se řídí hustota budoucího porostu. Pokud se sníží počet rostlin na ploše, může vzniknout problém s nízkým budoucím výnosem a vyšším rizikem zaplevelení (Allard 1999). Proto je důležité dbát na správnou hustotu porostu, která se pohybuje mezi 50 000-65 000 rostlin.ha⁻¹. Hodnota by ovšem neměla být ani vyšší, vzhledem k vlivu architektury koruny na vertikální distribuci světla v koruně rostlin. Účinnost zachyceného slunečního záření se se zvyšující hustotou porostu klesá (Zhang et al. 2006).

Obecně se se snižující kvalitou podmínek stanoviště snižuje i hustota vedeného porostu. Stejně tak čím delší je vegetační doba porostu, tím se snižuje jeho hustota kvůli riziku vzniku houbových chorob vlivem vysoké vlhkosti (Brant et al. 2010).

V případě, že na pozemku nepanují vhodné podmínky k vzejití semen, lze tento proces podpořit některými vstupy. V sušších a teplejších oblastech bývá problém s nedostatkem vláhy. To lze řešit využitím válců. Válením se urovná povrch pozemku, což je příhodné pro správný efekt preemergentně působícího herbicidu a pro mírné utužení ornice zvyšující vlhkost vlivem podpory kapilárního vzlínání vody (Kazda et al. 2010; Vrzal et al. 1995).

Opačný problém nastává u těžších půd, kde se vytvoří škraloup a je zde vysoká objemová hmotnost vlivem nedostatku vzduchu. Řešení může nabídnout plečkování. To se vede ve směru řádku mimo zasetá místa. Hloubka prvního zásahu bývá 3–4 cm a druhého je již mělčí.

Plečkování je také efektivní ovšem drahý způsob redukce plevelů (Diviš et al. 2010). Plečkování je v konvenčním zemědělství méně časté než válení. Jiný mechanický způsob omezení výskytu plevelů je vláčení. To se provádí kolmo na řádky lehkými hřbovými branami. Rozdíl kromě směru užití je i v tom, že se provádí až po úplném vzejití rostlin (Raffaelli 2002; Zimolka et al. 2008).

3.2.4 Ochrana porostu kukuřice během vegetace

Při konvenčním pěstování kukuřice se běžně nevyužívají mechanické způsoby redukce zaplevelení. Daný způsob je vhodný při ekologickém pěstování. V takovém případě bývá cena sklizeného produktu vyšší, a i dotace na plochu dosahuje vyšších hodnot. Z těchto důvodů je možné u ekologického systému pěstování tuto finančně náročnější redukci plevelů využít (Zimolka et al. 2008). Oproti tomu v konvenčním zemědělství se používá aplikace pre a postemergentních herbicidů (Iqbal 2020; Vrzal et al. 1995).

Preemergentní aplikace se realizuje při ranějších výsevech nebo v oblastech s nevhodnými podmínkami pro klíčení kukuřice. Oba dva případy spojuje dlouhá doba bezporostního období, kdy plevelům cílová plodina nemá jak konkurovat, a proto mají volné pole působení. Plevelé nejen brání růstu plodin tím, že vytvářejí konkurenci o dostupné zdroje, ale také přinášejí značné ztráty v úrodě, snižují kvalitu produkce a mohou představovat zdroj mnoha chorob (Singh et al. 2018). Použití je vhodné do 3 dnů po zasetí. Pro aplikování je důležité mít urovnaný povrch půdy, aby vznikl celistvý herbicidní film. K tomu je potřeba dostatečná vlhkost, která se při suchých podmínkách zajistí zvýšením dávky vody při aplikaci, a to minimálně na $400 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$. Osivo by mělo být zaseto dostatečně hluboko, aby se nevyskytlo v oblasti herbicidního filmu, kde by po vyklíčení mohlo být poškozeno (Kazda et al. 2010; Mikulka 2014).

Postemergentní aplikace je většinou používanější variantou. Aplikace je ovšem možná pouze do 6. listu kukuřice. Po výskytu 6. listu dochází k diferenciaci vzrostného vrcholu a aplikovaný herbicid by tak mohl negativně ovlivnit další vývoj rostliny. Redukující účinnost herbicidu se uvádí do 4–8 pravých listů dvouděložných plevelů a do počátku odnožování u plevelných trav (Mikulka 2014).

Dle Jursíka a Soukupa (2006) je časná postemergentní aplikace ideálním řešením, jejíž efekt často nevyžaduje další herbicidní úpravy. Prostřednictvím tohoto způsobu, kdy se aplikuje herbicid v době 2–3 listů kukuřice, se umožní redukovat konkrétní plevele, které se na poli vyskytnou. Také díky jejich časně růstové fázi, která bývá shodná s růstovou fází kukuřice, je i účinnost herbicidu téměř zaručená.

Další regulace se vztahuje na choroby a škůdce. Za účelem ochrany proti chorobám a škůdcům bývá osivo mořeno. Problémy nastávají na pozemcích s opakovanou monokulturou kukuřice, neboť se často nezapraví veškeré rostlinné zbytky a ty následně tvoří místo přezimování hub a hmyzu. Častým problémem je v posledních letech snětivost kukuřice a výskyt hub rodu *Fusarium spp.* Mezi často se vyskytující se škůdce patří hlavně Zavíječ kukuřičný, jehož housenky prožírají stébla a způsobují jejich lámání nebo zvýšenou náchylnost k houbovým chorobám. V České republice mohou být používány pouze přípravky zapsané v platném vydání Seznamu registrovaných přípravků na ochranu rostlin (Kazda et al. 2010).

3.3 Výživové potřeby kukuřice

Kukuřice je plodinou, která má velmi rozvinutou schopnost využívání postupně uvolňovaných živin ze sorpčního komplexu do půdního roztoku během celé vegetace. Je ovšem nutné zohlednit fyziologické potřeby a stavy kukuřice v jednotlivých růstových fázích a podřídít tomu její hnojení. Příkladem toho je zajistit dostatek přístupných živin na počátku vegetace, kdy mají rostliny nízké konkurenční schopnosti (Singh et al. 2018). Je to z toho důvodu, že jsou velmi citlivé na aktuální klimatické podmínky a snadno dochází k vzniku stresových stavů, například vlivem snížení teplot během klíčení a vzházení. Způsob zakládání porostu nejenže ovlivňuje optimální hustotu na poli, ale také umožňuje efektivnější a cílenější využití půdy a dalších zdrojů, což napomáhá rychlejšímu a lepšímu růstu a rozvoji rostlin (Gul et al. 2015). Kukuřice má také zpočátku menší kořenový systém, a proto při horším stavu živin v půdě a například aplikovaných hnojivech daleko od osiva během hnojení pod patu může nastat problém deficitu potřebných prvků (Brant et al. 2016; Vaněk et al. 2016).

Klíčení a vzházení kukuřice sice probíhá velmi pomalu, ale přístupné živiny, hlavně fosfor, jsou v tomto období pro rostliny stěžejní, neboť podmiňují následnou intenzitu tvorby kořenů i nadzemních orgánů. Před začátkem kvetení mají rostliny přijato až 75 % veškerých živin. Dynamika příjmu konkrétních prvků během vegetace je však individuální (Kuchenbuch & Jung 1988).

Je také důležité zajistit rovnoměrné horizontální i vertikální rozložení živin v půdním profilu. Mohutný kořenový systém dosahuje postupně do značných hloubek, a proto je důležité, aby měl možnost odběru živin během vegetace při dosažení rozdílné hloubky s postupným vývojem (Brant et al. 2016). Rozvrstvení živin také zajistí omezení zvýšení osmotického tlaku, což pozitivně ovlivňuje příjem živin. S příjmem živin pak roste i objem podzemní a nadzemní fytomasy (Hejnák et al. 2008).

Častou situací při opakovaném pěstování kukuřice po sobě na stejném pozemku je, že se snižuje množství živin v podorniční vrstvě. Není totiž zajištěn dostatečný vertikální pohyb živin. To může mít za následek v sušších letech tvorbu většího množství solí. Soli potom vytvářejí pro porost stresový faktor (Isayenkov 2012).

Pro regulace dávek hnojiva, ať se jedná o doplňování dusíku, fosforu, draslíku či dalších živin, je stěžejní vycházet z normativní potřeby živin kukuřice na produkci 1 tuny či silážní hmoty (Vaněk et al. 2002). Jedná se o množství, které kukuřice k produkci jedné tuny produktu spotřebuje a následně je z pole odvezeno. Je potřeba dané množství v půdě nahradit a uchovat, aby nedocházelo k ochuzování půdy o živiny a o snížení výnosu pěstované plodiny i plodin následujících (Richter 2015).

Zde je souhrn odebraných prvků dle Vaňka et al. (2007) jednou tunou produktu:

- Dusík: 22–26 kg.t⁻¹ zrna a slámy, 3,4 – 4 kg.t⁻¹ silážní hmoty
- Fosfor: 4,4 – 6,6 kg.t⁻¹ zrna a slámy, 0,7 – 0,9 kg.t⁻¹ silážní hmoty
- Draslík: 21 – 33 kg.t⁻¹ zrna a slámy, 2,9 – 3,7 kg.t⁻¹ silážní hmoty
- Vápník: 4,3 – 7,1 kg.t⁻¹ zrna a slámy, 0,9 – 1,3 kg.t⁻¹ silážní hmoty

- Hořčík: 4 – 6 kg.t⁻¹ zrna a slámy, 0,3 – 0,6 kg.t⁻¹ silážní hmoty
- Síra: 3,1 – 3,5 kg.t⁻¹ zrna a slámy, 0,4 – 0,5 kg.t⁻¹ silážní hmoty

3.3.1 Vápník figurující ve výživě kukuřice

Kukuřice preferuje půdní reakci v rozmezí pH 5,5 až 6,5. Při nižších hodnotách pH je omezován příjem dalších živin, což vede k velkým ztrátám na výnosech (Ali et al. 2017). Převážně u výnosu sklizeného zrna bývá markantní pokles. Kyselou půdu je tedy třeba cíleně vápnit. Vápnění se provádí ideálně k předplodině, či bezprostředně po její sklizni. Využívají se uhličitanové formy vápenatých hnojiv či vápenec dolomitický při nedostatku hořčíku v půdě (Zimolka et al. 2008). K orientaci při volbě dávek je možné se řídit dle přístupného vápníku v půdě. Hodnota jeho obsahu by měla být vždy tzv. dobrá. Tomu odpovídají u jednotlivých druhů půd tyto hodnoty:

- Půda lehká: 1801–2800 mg.kg⁻¹
- Půda střední: 2001–3300 mg.kg⁻¹
- Půda těžká: 3001–4200 mg.kg⁻¹

Dané hodnoty představují optimum, kdy nehrozí ani nedostatek a ani přebytek obsahu požadovaného vápníku (Vaněk et al. 2016).

Při kyselých podmínkách půdy dochází ke snižování výnosové schopnosti kukuřice vlivem sníženého příjmu jiných živin, například fosforu. To potvrzují agrochemické testy na obsah prvků v listech. Po vápnění na kyselých půdách může dojít ke zvýšení výnosu o desítky procent. To podporuje udržení zvýšené pozornosti při kontrolách pH půdních bloků (Andric et al. 2012; Nwachuku & Loganathan 1991).

3.3.2 Dusík figurující ve výživě kukuřice

Hlavním makrobiogenním prvkem, který je třeba kukuřici zajistit, je obsah dostupného dusíku. Při volbě dávky dusíku je třeba vycházet z jeho odběru dle předpokládaného výnosu. Co je z půdy odebráno, by mělo být hnojením nahrazeno. Přehled dle Sturm et al. (1994) je zde:

- Výnos 12 t.ha⁻¹ silážní kukuřice či 6 t.ha⁻¹ kukuřice na zrno představuje odběr 160 kg N.ha⁻¹
- Výnos 15 t.ha⁻¹ silážní kukuřice či 7,5 t.ha⁻¹ kukuřice na zrno představuje odběr 200 kg N.ha⁻¹
- Výnos 18 t.ha⁻¹ silážní kukuřice či 9 t.ha⁻¹ kukuřice na zrno představuje odběr 240 kg N.ha⁻¹
- Výnos 21 t.ha⁻¹ silážní kukuřice či 10,5 t.ha⁻¹ kukuřice na zrno představuje odběr 280 kg N.ha⁻¹

Minerální dávky dusíku by měly být v rozmezí 80–200 kg.ha⁻¹. Dávka se odvíjí i od množství, typu a kvality aplikovaného organického hnojiva. Strategie hnojení se u kukuřice na siláž a na zrno neliší (Yang et al. 2017).

Organická hnojiva

Organickým hnojivem může být digestát či chlévský hnůj například skotu, jehož dávka se pohybuje okolo $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Silva et al. 2006). Dané hnojivo významně prospívá kukuřici právě v případech, kdy se plodina zařazuje v osevním sledu jako přerušovač obilních sledů. Také je příhodná jeho aplikace za situace, kdy je v půdě nedostatek humusových látek (Berzsenyi et al. 2000). Menší pozitivní efekt má pouze v případě, kdy panují výrazněji sušší klimatické stavy (Richter 2015). Ovšem jeho aplikací se docílí zvýšení retenční schopnosti půdy (Silva et al. 2006).

Hnůj má jedinou slabinu, co se týče obsahu živin. Zastoupení fosforu je například oproti draslíku poměrně nízké. To se dá řešit aplikací minerálních fosforečných hnojiv do zrající mrvy. Kromě zvýšení obsahu fosforu se i během zrání mírně sníží ztráty dusíku o několik procent (Hlušek 2004).

Dodávání dusíku pouze ve formě hnoje skotu ovšem vede k nižším výnosům během sklizně. Lepší účinek má kombinace daného hnoje s minerálním dohnojením porostu dusíkatými hnojivy (Žydalis 2019).

Kdyby se využila kejda skotu, pak se dávka bude pohybovat kolo $70 \text{ kg t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ovšem pozitivní vliv má rozdělení aplikace. Například první dávku zapravit na podzim a druhou během vegetace ideálně v době 4-6 listu plodiny (Schröder 1999).

Kejda je prospěšným hnojivem díky velmi dobře rostlinám přístupnému dusíku ve formě amoniakální, nitrátové a zbylé zabudované v organických látkách, ze kterých je postupně využíván. Kromě dusíku se v ní nachází dobře využitelný organicky vázaný fosfor, labilní draslík, síra, hořčík a vápník. Obsah makroprvků je ovšem až o polovinu nižší než ve hnoji. Živiny jsou většinou v minerální formě, čímž jsou ihned přijatelné rostlinami. Jsou ovšem nestálé, a proto je doporučeno kejdu co nejdříve zapravit do půdy (Shakoor et al. 2022).

Organická hmota zapravená do půdního profilu zajišťuje správné agrochemické, biologické, fyzikální a fyzikálně-chemické vlastnosti půdy. Je zdrojem i prospěšných bakterií a heteroauxinů, tzn. látek stimulační povahy. To vše vede k zajištění dobré půdní úrodnosti jak v době pěstování kukuřice, tak i v následujících letech (Stott et al. 2018).

Aby nedošlo k překročení maximální možné dávky dusíku, který se může k plodině užít, je vhodné mít představu o obsahu dusíku v jednotlivých organických hnojivech. Průměrné hodnoty obsahu N jsou:

- Chlévský hnůj – 0,42 % N
 - Kejda skotu – 0,49 % N
 - Kejda prasat – 0,76 % N
 - Digestát z kejdy prasat a kukuřičné siláže – 0,51 % N
 - Drůbeží podestýlka – 1 % N
- (Dostál & Richter 2008)

Hnojení dusíkem v minerální formě

Důležitost dusíku ve výživovém režimu kukuřice dokládá i jeho třikrát vyšší potřeba v poměru k fosforu či draslíku. Nejvyšší nároky má kukuřice na dostupnost dusíku v období

kvetení a tvorby semen (Belej et al. 1982). Jedná se o prvek ovlivňující veškerou produkci plodiny a hrající klíčovou roli v udržitelnosti zemědělství (Tilman et al. 2002).

Důležitým rozhodnutím je, zda se bude dodávat dusík jen v minerální formě, jen v organické formě nebo zda se využije kombinace daných forem. Kombinované hnojení přináší z hlediska teplot a srážek v průměrném roce zvýšení výnosů. Dále je důležité vzít v úvahu klimatické podmínky území. Ve vlhčích a chladnějších oblastech je dobré dávky hnojiv rozdělit do více aplikací. To znamená před setím a jednou či několikrát během vegetace (Richter 2015). Předpokladem je, že se z minerálních hnojiv či z těch organických dusík v přijatelné formě dostane do půdního roztoku a z toho bude přijat rostlinami. Ovšem v případě, že se jedná o sušší oblast, je pro dosažení vyššího výnosu lepší zapravit dusík jednorázově nebo rozdělit hnojení do dvou fází, kdy se například kejda zapraví na podzim a v době vegetace se aplikuje zbytek dusíku ve formě minerální (Brant et al. 2016; Schröder 1999).

Určení doby aplikace hnojiv během vegetace významně souvisí s dynamikou odběru dané živiny. Ta je v různých růstových fázích kukuřice odlišná. Nárůst odběru dusíku je od květu do plné zralosti, to znamená ve druhé polovině vegetace. Je vhodné, aby právě v danou dobu měla plodina zajištěna jeho dostatek (Kising 1985). Optimální dobou pro hnojení během vegetace, aby nedošlo k jejímu prodloužení a ke snížení obsahu sušiny ve sklizeném produktu je, dle Schröder (1999), když rostliny mají 4-6 listů. Později se to již nedoporučuje.

Je třeba dávat pozor na výšku dávky, neboť při rozmetání granulí minerálního hnojiva dochází k jejich zachytávání v paždích listů, což vede k poškozování rostlin. Je tedy vhodné držet dávku v rozmezí 20–40 kg N t.ha⁻¹ a aplikaci provádět do výšky porostu 20 cm. V případě použití hadicových aplikátorů s místem aplikace do meziřadí. Díky tomu je možné dávku zvýšit (Brant et al. 2020; Vaněk et al. 2016). Stejný případ platí i u DAM, kdy aplikace na listy může vést k popálení, a proto je vhodné využít podlistovou aplikaci s dávkou dusíku až 60 kg t.ha⁻¹. Každé poškození rostlin a následná potřebná regenerace rostlin vede ke snížení obsahu sušiny ve sklizeném produktu (Richter 2015).

Před setím se používají buď ve vodě dobře rozpustná granulovaná hnojiva LAV, LAD či močovina s inhibitorem nitrifikace či ureázy. Jedná se tedy o dusík dodaný do půdy v amonné a amidické formě, což je právě cílem. Kromě těchto hnojiv se užívá i anorganická sůl síran amonný, který působí pozitivně tím, že probíhá pomaleji proces nitrifikace v něm obsaženého dusíku a způsobí uvolňování kationtů ze sorpčního komplexu do půdního roztoku. Dále také podporuje rozpustnost fosforu v půdě, což je žádoucí právě v první fázi vegetace (Mollier & Pellerin 1999; Vaněk et al. 2016). Před setím se využívají i kapalná hnojiva, jako je DAM 390 či SAM 240. V sušších oblastech je v případě kukuřice pěstované po sobě a bez úpravy poměru C:N dobré využít právě zmíněný DAM 390 (Zimolka et al. 2008).

3.3.3 Hnojení fosforem

Fosfor má významný vliv na růst biomasy kořenů i nadzemní části rostlin, a to hlavně v rané fázi vegetace (Mollier & Pellerin 1999). Důležité je před hnojením znát hodnotu pH půdy. Za předpokladu, že půda není v optimálním rozmezí hodnot (neutrální až slabě kyselá), je vhodné pH dostatečně dluho před setím upravit (Ali et al. 2017). Pokud to již není například z časových důvodů možné, je vhodné využít například hnojení pod patu, kdy se snižuje imobilizace fosforu. K imobilizaci dle Vaňka et al. (2002) dochází právě v kyselém prostředí,

kdy vznikají nerozpustné sloučeniny, hlavně fosforečnany železa a hliníku. V zásaditém prostředí se zase tvoří velmi špatně rozpustný fosforečnan vápenatý (Belej et al. 1982). Celkově je v půdách dostatečné množství fosforu ale ve formách špatně rozpustných, tudíž špatně dostupných pro potřebu rostlin (Kratz et al. 2019).

Ke zjištění potřebné dávky na konkrétním pozemku je potřeba vycházet z předpokládaného výnosu, prostřednictvím kterého se zjistí, kolik fosforu bude z půdy odčerpáno, a dále z obsahu přístupného fosforu v půdě. Podle toho, jak vyjde obsah přístupného fosforu, je dle Vaňka et al. (2016) hnojení korelováno takto:

- **Dobry** obsah P - 80 – 115 mg.kg⁻¹.
Pokud je obsah přístupného fosforu dobrý, pouze se doplní rozdíl mezi předpokládaným odčerpáním a aktuálním obsahem.
- **Nizký** obsah P - do 50 mg.kg⁻¹.
Pokud je obsah nízký, je vhodné dávku navýšit o 25 %.
- **Velmi vysoký** obsah P - nad 185 mg.kg⁻¹
Pokud je obsah velmi vysoký, je potřeba hnojení fosforem na 2 až 3 roky eliminovat.

Aplikace fosforu a zapravení do půdy se často spojuje se zaoráním hnoje v podzimních měsících (Richter 2015). K tomu se využívá superfosfát jednoduchý či trojitý. Obecně by se superfosfáty dle doporučení Schachtman et al. (1998) měly aplikovat jednou až dvakrát během roku. Fosfor lze aplikovat i na jaře před setím při předset'ové přípravě nebo při hnojení pod patu. K tomu je příhodný Amofos či vícesložkové NP či NPK hnojivo. Lze ho aplikovat i na široko (Ryant 2004, Vaněk et al. 2016). Při hnojení hnojem či jiným organickým hnojivem je dobré část fosforečného hnojiva zapravit s ním a druhou část aplikovat během setí pod patu jako startovací hnojivo (Battisti et al. 2023; Schröder 1999).

Při aplikaci pod patu se hnojivo umísťuje během setí 4–5 cm pod úroveň osiva a 4–5 cm do strany od něj. Díky tomuto způsobu aplikace se docílí toho, že budou mít rostliny právě v rané fázi růstu dostatek přijatelného fosforu, což významně urychlí růst kořenů i nadzemních orgánů a tím se i podpoří výše výnosu. Výhoda dále spočívá v lepším příjmu fosforu i za nižších teplot, například při 10 °C v květnu (zamezení hyperchlorofylace rostlin) a v omezení imobilizace a retrogradace prvku. Pod patu lze upotřebit i jednoduchý a trojitý superfosfát (Battisti et al. 2023; Brant et al. 2016; Vaněk et al. 2016).

Obsah přijatelného fosforu v půdě by měl být dostupný pro rostliny již při vzcházení. Jeho nedostatek spolu s nízkými teplotami mohou vést k snížené tvorbě chlorofylu, a naopak zvýšené tvorbě antokyanů, což způsobuje fialové zbarvení rostlin s jejich nižší vzrůst (Tomášek & Cihlár 2017). Vzhledem k tomu, že má kukuřice zpočátku méně rozvinutý kořenový systém, je příhodné hnojit pod patu pro veškeré výhody popsané v minulém odstavci (Mollier & Pellerin 1999). Ovšem předpokladem pro dosažení kýženého výnosu je zajištění i správného hnojení základního. Fosfor je sice během počátku vegetace velice důležitý, ale je odebírán postupně i následně během vegetace. Obzvláště je důležité, aby rostliny přijaly jeho dostatečné množství do fáze květu, kdy započne jeho translokace do zrna (Kratz et al. 2019).

Je třeba myslet i na to, že lokace hlavního odběru se s růstem kořenů posouvá do hloubky až jednoho metru. Proto je nutné zajistit obsah fosforu pro postupné potřeby rostlin i hlouběji v půdním profilu (Brant et al. 2016).

3.3.4 Hnojení draslíkem

Příjem draslíku je první měsíc vývoje kukuřice velmi malý. Jeho odběr koreluje s pomalým počátečním růstem rostlin. Po prvním měsíci následuje exponenciální růst jeho příjmu až do vzniku lat. Svého vrcholu dosáhne odběr v době voskové zralosti. Dále začne klesat vlivem jeho výdeje rostlinami kořenovými exsudáty. Tento jev se týká pouze kukuřice pěstované pro zrno vlivem delšího vegetačního období (Kuchenbuch & Jung 1988).

Hnojení draslíkem se provádí v ideálním případě během podzímky, kdy se společně s posklizňovými zbytky částečně zapraví do půdy. Pro danou možnost je vhodné využít draselnou sůl. Jedná se však o optimální situaci. Draselná sůl, Korn-Kali, síran draselný, Patentkali či Magnesia-Kainit lze aplikovat i později (Vaněk et al. 2016). Použití konkrétního hnojiva z předešlého výčtu závisí na tom, jaké další živiny je potřeba do půdy zapravit (Vaněk 2002).

Druhou vhodnou možností je draselné hnojivo aplikovat s hnojem a zaorat. Poslední možností je pak na jaře před setím či pod patu (Richter et al. 2002).

Použití draselných hnojiv mělo za následek zvýšenou koncentraci většiny stopových prvků v nadzemní části kukuřice (Wyszkowski & Brodowska 2021).

Optimální hodnoty obsahu draslíku v půdě jsou u jednotlivých půdních druhů různé. Vypadají dle Zimolky et al. (2008) takto:

- Dobrý obsah u půdy lehké: 161–275 mg K.kg⁻¹
- Dobrý obsah u půdy středně těžké: 171–310 mg K.kg⁻¹
- Dobrý obsah u půdy těžké: 261–350 mg K.kg⁻¹

Je opravdu třeba myslet na, že při potřebě vyšší dávky draslíku je žádoucí provést aplikaci během podzimních měsíců, a nikoliv na jaře. Dostatečné dávky by ovšem neměly být zanedbány, neboť právě na nedostatek draslíku má zásadní vliv na negativní reakci rostlin vůči stresu (Gul et al. 2015). Jedním abiotickým faktorem, který může způsobit stres u rostlin je sucho. Dostatek draslíku přijatelného rostlinami se podílí na snížení daného stresu v rostlinách (Bashir 2012)

3.3.5 Hnojení hořčíkem

Hořčík je přijímán v prvním měsíci a půl oproti dusíku a draslíku jen velmi málo. Zvyšování jeho příjmu nastane v druhé polovině druhého měsíce vegetace. Následně jeho odběr konstantně a stabilně vzrůstá bez jakýchkoli výchylek až do období sklizně (Kuchenbuch & Jung 1988). Jedná se o prvek nepostradatelný ve vývoji rostlin. Je součástí mnoha metabolických dějů. Zajišťuje tvorbu chlorofylu a je významný pro zabudovávání dusíku do aminokyselin (Hejnák et al. 2008).

Rostliny si přijímají hořčík z půdního roztoku, jenž je postupně doplňován zásobami v půdě. Doba a intenzita eroze, vlhkost půdy, pH a aktivita kořenů mikroorganismů jsou faktory, které ovlivňují uvolňování hořčíku z půdy, aby byl dostupný pro rostliny (Senbayram et al. 2015).

Stanovení dávky se provádí jako u předešlých prvků ovšem s jedním rozdílem. Po zjištění rozdílu normativního odběru hořčíku na jednu tunu produktu a obsahu přístupného hořčíku

v půdě se již neodečítá vstup prvku do půdy prostřednictvím posklizňových zbytků předplodiny. Důvodem je to, že jeho množství je v něm zanedbatelné (Ranjbar & Jalali 2012; Vaněk 2002).

Optimální hodnoty obsahu hořčíku v půdě jsou dle Zimolky et al. (2008) u jednotlivých půdních druhů různé. Vypadají takto:

- Dobrý obsah u půdy lehké: 136–200 mg Mg.kg⁻¹
- Dobrý obsah u půdy středně těžké: 161–265 mg Mg.kg⁻¹
- Dobrý obsah u půdy těžké: 221–330 mg Mg.kg⁻¹

Aplikace hnojiva s obsahem hořčíku je vhodná buď při vápnění, které se provádí bezprostředně po sklizni předplodiny, nebo samostatně. Obvykle se ale v případě jeho nedostatku využije vícesložkové hnojivo a hnojení se spojí s jiným prvkem, například draslíkem či dusíkem (Tan et al. 1991).

Při základním hnojení se využívá obvykle Kieserit ideálně během podzimu nebo je možné i při předset'ové přípravě. Nebo dále i K + S hořká sůl, která se může aplikovat i foliárně (Vaněk et al. 2016).

3.3.6 Hnojení sírou

Během proteosyntézy vznikají bílkoviny, které podporují a umožňují nabývání fytohmoty. K tvorbě bílkovin je zapotřebí tvorba aminokyselin. Pro vznik sirných aminokyselin cystin, cystein a metionin je ovšem zapotřebí obsah síry (Hejnák et al. 2008). Tu je tedy třeba do půdy zapravit hlavně v oblastech s jejím nedostatkem. Její význam lze demonstrovat na zvýšení výnosu kukuřice na pozemku s deficitem vody oproti ploše s jejím nedostatkem. Podporuje to tedy tvrzení jejího pozitivního vlivu na stresovou situaci vyvolanou deficitem vody (Kulczycki et al. 2022). Vliv síry má pozitivní vliv i dle Usmani et al. (2020).

Zjištění dávky se provádí jako u hořčíku. I zde není třeba počítat se sírou v posklizňových zbytcích předplodiny. Normativní odběr síry je oproti předešlým prvkům nejnižší.

K hnojení se využívá například Kieserit, síran amonný, síran draselný, síran hořečnatý, síran vápenatý atd (Zimolka et al. 2008).

3.4 Problémy spojené s pěstováním kukuřice, coby širokořádkové plodiny

3.4.1 Eroze půdních ploch s pěstovanou kukuřicí

Půdní plochy, na kterých se pěstuje kukuřice, podléhají velkým tlakům vzniku eroze (Hůla et al. 2008). Důvodem toho je, že se jedná o širokořádkovou plodinu, která se vysévá na jaře a po vzejití se porost dlouho vyvíjí, než zakryje významnější plochu půdy (Brant et al. 2016). Silnější zapojení porostu lze pozorovat až ve druhém měsíci vegetace, kdy je již půdní pokrývnost porostu efektivnější (Janeček et al. 2012). Půda je tedy z velké části a po dlouhou dobu bez dostatečného půdního pokryvu, což je předpoklad vzniku eroze (Kvítek & Tipl 2003). Tento předpoklad je u širokořádkových plodin, mezi které patří například i brambory či řepa největší. Méně náchylné k erozi jsou pak plochy s olejninami a obilninami. Nejlepší půdoochranný povrch tvoří jeteloviny a trávy.

Eroze je narušení půdního povrchu spojeného s následným transportem půdní hmoty. Bývá zapříčiněna přímým působením vody, větru a ledu na půdní povrch. Nastává v situacích, kdy půda není kryta buď dobře založeným porostem, nebo rostlinnými zbytky (Hůla et al. 2008).

Významný podíl na erozi půdy s pěstovanou kukuřicí má vodní eroze. Jejím prvočinitelem jsou dopadající kapky deště, ať přímo či přes nadzemní orgány, na povrch půdních agregátů (Morgan 2005). Ty jsou kinetickou energií kapek různě intenzivních srážek rozrušovány a rozpadají se na menší jemné půdní částice (Quansah 1981; Sharma et al. 1991; van Dijk et al. 2002). Tyto půdní částice poté v součinnosti s bobtnajícími půdními agregáty zamezují vsaku vody do půdy (Leguedois et al. 2005; van Dijk a kol. 2002). Omezená infiltrace vody se nejprve projeví držením se vody v menších prohlubních, a postupně s přibývajícím objemem vody dochází k vzniku povrchového odtoku. Voda také transportuje půdní částice spolu s živinami (van Dijk et al. 2022). Půdní částice se hromadí obvykle na kraji polí, ovšem vyplavené živiny jsou transportovány dále do škarp podél cest a do vodních toků, kde jejich vysoké obsahy zapříčiňují další ekologicky negativní důsledky, mezi které patří například eutrofizace vody a negativní působení na životní prostředí vodních živočichů. Splavené nerozpuštěné látky vedou k zanášení vodních toků a látky chemické k snížení jakosti povrchových vod (Kvítek & Tipl 2003; Lescourret et al. 2015).

3.4.2 Dopad eroze a ztráty živin na životní prostředí

Eutrofizace se v kontextu smyvu dusíkatých a fosforečnanových hnojiv z půdního profilu nazývá eutrofizace antropogenní. Kromě živin z polí se ve vodě shromažďují i splaškové vody. Zvyšující se koncentrace dusíkatých a fosforečnanových sloučenin zapříčiňuje množení řas a sinic a jejich následné hromadění u hladiny se označuje jako vodní květ. V daném vodním prostředí se snižuje obsah kyslíku, což vede k nárůstu anaerobních procesů. Absence kyslíku způsobuje úhyn ryb a jiných vodních živočichů a voda se stává z vodárenského hlediska k využívání nevhodná. Při dně nádrží povrchových vod se totiž za daných podmínek tvoří sirovodík, amoniak a toxické nitrosaminy (Kvítek & Tipl 2003).

Podmínky podporující nadměrný výskyt řas, sinic a jednobuněčných organismů zahrnují kromě zvyšujících se koncentrací dusíku a fosforu také nadměrné množství anorganického uhlíku, vysoké letní teploty, přítomnost světla a absenci kyslíku. Dané podmínky mohou vznikat i přirozeně bez lidského přičinění, neboť vody bývají obohacovány minerálními sloučeninami i během povrchového a podzemního proudění (Štěpánek 1974, 1979).

Na kontaminaci povrchových vod se podílejí v různých měrách tři druhy odtoků.

1. Povrchový odtok – tok vody po povrchu pozemku vyvolaný půdní erozí. Podílí se na kontaminaci vod z 30 %.
2. Hypodermický odtok – tok vody v podpovrchové půdní vrstvě vzniklý prosakující gravitační vodou z povrchu. Na kontaminaci vod se podílí ze 40 %.
3. Základní odtok – podpovrchový tok vody ve větších hloubkách, než je tok hypodermický. Na kontaminaci se podílí ze zbylých 30 %.

Všechny typy odtoků obsahují minerální sloučeniny aplikovaných hnojiv. Převážně se jedná o dusíkatá hnojiva. Odhaduje se, že právě ta budou mít v míře spotřeby celosvětově

rostoucí tendenci. Konkrétně se z aktuálně používaných 80 mil tun dusíkatých hnojiv zvýší jejich spotřeba na 180 mil. tun (Bindraben et al. 2015). Jejich ztráty vyplavením ovšem tvoří až 50 % jejich aplikovaného množství (Singh et al. 2014). Dusík se v půdě vyskytuje ve formě amidické, amonné, dusitanové a dusičnanové. Amidický dusík musí být pomocí půdních enzymů hydrolyzován na dusík amonný. Ten je již přijatelný pro rostliny. Amonná forma dusíku se může vázat na půdní sorpční komplexy, a tudíž se nevyuluje do podzemních vod. Může ovšem dojít i k jeho oxidaci tzn. nitrifikaci a přes meziprodukt dusitanu vznikají dusičnany. Ty jsou také přímo přijatelné pro rostliny. Nevýhodou je ovšem to, že se nemohou vázat na půdní sorpční komplex a jsou ve vodě vysoce rozpustné (Vaněk et al. 2016). Jejich sloučeniny tak mohou být snadno splavovány a tvoří tak zdroj kontaminace vod vedoucí k ekologickému znečištění podzemních i povrchových vod (Gu et al. 2013; Kvítek & Tipl 2003; Zhang et al. 1996). Dusíkatá hnojiva jsou teda pro konkrétní využití vybírána dle formy obsahu dusíku a dle ceny (Vaněk et al. 2016).

Kromě kontaminace podzemních a povrchových vod dusičnany se jejich ztráta podílí na okyselování půdy a na postupném vyčerpávání našich neobnovitelných zdrojů. Dále ztráta do ovzduší představuje podporu zvýšení skleníkových plynů. Konkrétně se jedná o oxidy dusíku, které tvoří až desetkrát větší množství emisí než oxid uhličitý (Guo et al. 2010; Le et al. 2010; Lescourret et al. 2015; Zhang et al. 2013).

3.4.3 Dopad eroze a vyplavování živin z ekonomického úhlu pohledu

Kromě degradace půdy v podobě změn jejích fyzikálních vlastností, snížení mocnosti půdního profilu, ztrát ornice a v ní obsažených živin a organických látek, a kromě negativního dopadu na životní prostředí představuje ztráta živin z půdního profilu i významné ekonomické následky pro hospodáře a zemědělské podniky (Lescourret et al. 2015). Nejen, že se zkomplikuje vývoj pěstované plodiny s následným snížením výnosu, ale pokus o doplnění živin vede ke vzniku dalších finančních nákladů (Kvítek & Tipl, 2003). Ty mohou být v dnešní době pro hospodáře či podniky fatální. Jedná se jak o vývoj cen ropy potažmo pohonných hmot či energií (Očenášková 2022).

Politická situace mezi Ukrajinou a Ruskem vygradovaná ve válečný spor představila pro české zemědělství významnou komplikaci z hlediska zvyšujících se nákladů na hnojiva. Jejich výroba je podmíněna využitím zemního plynu a ropy. Jejich cena se zvyšovala, následkem čehož se zvyšovala i cena hnojiv, a to o desítky až stovky procent. 80 % nákladů při výrobě například dusíkatých hnojiv tvoří právě využití plynu. Minerální hnojiva se v meziročním srovnání let 2021 a 2022 zdražila v průměru o 154 % (Očenášková 2022).

Nárůst cen nebyl jediným problémem, který zemědělci museli vzniknuvší situaci řešit. Vlivem enormně se zvyšujících nákladů se mnoho výrobců, mezi které patří například Lovochemie, rozhodlo výrobu hnojiv snížit, čímž vznikl i jejich nedostatek. Ten byl podtrhnut i zamezením dovozu hnojiv od ruských dodavatelů.

Zvyšování cen lze demonstrovat na ceně nitrátového hnojiva ledku. Tuna daného hnojiva stála v roce 2021 4 000 Kč. V roce 2022 stoupla prodejní hodnota na 17 000 Kč. Tato cena následně sice opět klesala, ale v daném roce to významně ovlivnilo hospodářský výsledek většiny zemědělských podniků i soukromých zemědělců (Očenášková, 2022).

3.4.4 Možnosti řešení problémů s vyplavováním minerálních hnojiv a s financováním zprostředkování živin rostlinám

Omezení eroze půdy je možné docílit využitím protierozních opatření. Mezi ta patří:

- Organizační opatření – např. dělení pozemků, osevní postupy
- Agrotechnická opatření – např. redukované zpracování půdy (pásové zpracování půdy)
- Technická opatření – kanály, terénní úpravy (Hůla et al. 2008)

Další možností je:

- **Omezení minerálního hnojení a využití přípravků na bázi bakterií**

Omezení dopadů eroze půdy a zajištění dostatečného množství živin přístupných pro rostliny s potenciálním uspořením financí je možné řešit taktikou minerálního hnojení. Využití chemických přípravků na bázi půdních bakterií napomáhajících výživě rostlin je významné téma, jak zamezit vstupu minerálních prvků do vodních toků a také jak možná ušetřit finanční prostředky za jejich nákupy (viz výsledky pokusu).

3.5 Přípravky na bázi bakterií

3.5.1 Význam bakterií vázajících vzdušný dusík v biohnojivech

Jedna z hlavních živin, kterou je třeba kukuřici a obecně kulturním plodinám zajistit je dusík. Ten se aplikuje v organické či minerální formě a pokud se nezajistí jeho dostatečné množství přijatelné pro rostliny, může se očekávat negativní efekt jeho deficitu v podobě snížení výnosu a snížení kvality sklizeného produktu.

65 % dusíku se fixuje v suchozemském prostředí, mezi které patří zemědělská činnost, 20 % dusíku je fixováno vodním prostředím a 15 % je fixováno uměle prostřednictvím výroby minerálních hnojiv (Mayer et al. 2000).

O dostupnost dusíku se ovšem kromě zemědělce stará i mikroedafon v půdě. Konkrétně se jedná o bakterie, které žijí v symbióze s rostlinami nebo volně v rhizosféře rostlin. Doménou daných bakterií je biologické fixace dusíku. Daný proces je založen na enzymatické přeměně atmosférického dusíku na amoniak. Mikroorganismům, které jsou toho schopny, se říká diazotrofové. Mezi ně patří Rhizobakterie dobře známé v symbiotickém soužití s bobovitými rostlinami (Aasfar et al. 2021). Druhou skupinou významnou díky součinnosti s dalšími kulturními plodinami, hlavně s obilninami jsou bakterie rodu *Azotobacter*, *Paenibacillus*, *Azospirillum*, *Clostridium*, *Methanosarcina*, *Burkholderia*, *Herbaspirillum* či *Gluconacetobacter* (Malik et al. 2002, Kennedy et al. 2004, Ritika & Utpal 2014). Tyto bakterie žijí volně, to znamená nesymbioticky. Jejich využití může pomoci udržitelnosti pěstování plodin jako je širokořádková kukuřice, jejíž zařazení je v osevním sledu v České republice často spjato s živočišnou produkcí, produkcí pro zpracování v bioplynových stanicích a s problematikou vyplavování aplikovaných minerálních živin (Brant et al. 2016, Wani et al. 2013).

Bakterie netvoří samy o sobě zdroj dusíku či fosforu, nýbrž zprostředkovávají dusík a fosfor v přijatelné formě rostlinám, čímž se podílejí na zlepšení úrodnosti půdy (Wani et al. 2013, Velmourougane et al. 2019). V reakci na aplikaci některých z diazotrofů se prokázalo zvýšení i jiných prvků v půdním prostředí. Těmito prvky jsou například uhlík, síra a draslík. Příčinou je zintenzivnění mineralizace rostlinných zbytků vlivem přítomnosti aplikovaných bakterií. Důsledkem toho se také snížila absorpce těžkých kovů rostlinami (Kizilkaya 2009). Dle výzkumu představuje 1 tuna bakteriemi vázaného dusíku v kooperaci s luštěninami a sinicemi pro rostliny takové množství přijatelného dusíku, jakým je obsah ve dvou tunách aplikovaného minerálního dusíkatého hnojiva (Cheng 2008). I to podporuje snížení závislosti rostlin na aplikaci minerálních hnojiv (Wani et al. 2016, Bageshwar et al. 2017). V té souvislosti působí pozitivně i snížení abiotických stresů a snížení tlaků chorob a škůdců, které představují další rizika v naplnění výnosových potenciálu rostlin (Jones & Oburger 2011; Tilman et al. 2011). Daná biohnojiva tak představují inovaci, která vede k lepší udržitelnosti pěstování a k významnému snížení aplikovaných dávek minerálních hnojiv do půdy.

3.5.2 Aplikování přípravků na bázi bakterií

Přípravky s obsahem mikroorganismů patří mezi biohnojiva (Wani et al. 2013). Jejich způsob aplikace je různý. Buď se využívají na moření osiva, máčení kořenů sazenic v bakteriální kultuře či k aplikaci inokula na list postřikem. Aplikace postřikem bývá nejběžnější variantou využití. Další způsob inokulace je využití rašelinových granulí. Výhoda dané formy aplikace spočívá v tom, že prostředí granulí, ve kterém se kultury bakterií nacházejí, podpoří jejich počáteční vývoj v půdě (Kannaiyan et al. 1980, Singh et al. 1999). Počátek vývoje populace spočívá v jejich množení. Cílové místo pro správné dosažení úlohy, která se od nich očekává, je rozhraní půdy a kořenů v rhizosféře či zabudování v rostlinných pletivech. Jejich hlavní úlohou je zkvalitnění zásobení živinami, hlavně dusíkem, fosforem a dalšími (Aasfar et al. 2021).

3.5.3 Bakterie žijící volně či symbioticky

Biologická fixace dusíku bakterií žijících symbioticky s rostlinami je založena na vzájemné životní podpoře. Organismy, které jsou schopny biologické fixace dusíku žijící v symbiotickém vztahu, se rozlišují na nodulující a nenodulující.

V rámci nenodulující symbiózy je známé soužití sinic (např. rodu *Anabaena*) s houbami, kapradinami či mechorosty. Jeden z nejrozšířenějších symbiotických vztahů lze najít mezi sinicemi a houbami, kdy výsledný organismus představuje lišejník. Sinice (fotobiont) vytváří v dané kooperaci zdroj dusíku a organických látek a houba (mykobiont) zdroj anorganických látek a vody. Kromě toho zajišťuje houba sinici i ochranu před negativními abiotickými faktory, kterými pro sinici může být například přímé sluneční záření (Lange 2001).

V rámci zemědělské produkce je významná symbióza nodulující. Doposud nejvýznamnější soužití představují heterotrofní bakterie rodu *Rhizobium* s rostlinami čeledi bobovitých. Dle Roughley et al. (1995) mohou fixovat dané bakterie ročně až 300 kg N.ha⁻¹. Jedná se ovšem o ideální stav. Průměrnou hodnotou fixovaného dusíku při dané symbióze je 150–160 kg N.ha⁻¹ za rok (Maier et al. 2000). Dané bakterie osidlují vnitřní pletiva rostlin. Výchozím kořenovým orgánem, který při symbióze vzniká jsou hlízky. Právě v těch k fixaci

dusíku dochází. Jejich rozšířený výskyt se spojuje s intenzivní formou zemědělství, což znamená s pravidelně zpracovávanou půdou. Důvodem je optimální objemová hmotnost při specifickém poměru vody a vzduchu v půdě. Preferují vzdušné lehké půdy s dostatečným zásobením draslíku a fosforu. Vhodné pH půdy je 7 a teplota kolem 28 °C (Gage 2004).

Autotrofní a heterotrofní bakterie fixující vzdušný dusík mohou žít i volně, tedy v půdě či vodě. Z dosavadních výzkumů mají rostliny z daného působení bakterií nižší prospěch než při nodulující symbióze. Dle Vadakattu et al. (2006) a Reed et al. (2011) mají ovšem volně žijící bakteriální fixátoři potenciál vázat až 60 kg N.ha⁻¹ za rok. Nevýhodu mají oproti symbiotickým bakteriím tu, že zdroje jejich energie musí obstarat sami ve svém okolí. Dalším znevýhodněním je přístup kyslíku, který inhibuje činnost nitrogenáz. Obecné průměrné hodnoty fixovaného dusíku volnými fixátory, mezi které patří i aktinomycety, je 2–25 kg N.ha⁻¹ za rok (Herridge 2008).

Přítomnost volně žijících bakterií fixujících vzdušný dusík se spojuje s kukuřicí, rýží a některými dalšími obilninami. Jejich působení ovšem ještě není zcela prozkoumáno a tvoří stále inovativní formu zprostředkování živin (Aasfar et al. 2021).

3.5.4 Bakterie rodu *Azotobacter*

Množství autorů, kteří prezentují výsledky svých pokusů s aplikací bakterií rodu *Azotobacter*, dosvědčuje širší povědomí o dané problematice. Existuje přes 4000 publikací, které se touto tematikou zabývají. Hlavní místo nachází *Azotobacter* ve výzkumech biochemických, genetických a zemědělských. Z hlediska četnosti výzkumů a prezentování jejich výsledků jsou nejpokročilejšími zeměmi Spojené státy a Indie, které představují zdroj necelé čtvrtiny všech publikací (Aasfar et al. 2021).

Výskyt populací rodu *Azotobacter* je poměrně široký. Mohou se nacházet v půdách, ve vodě, v sedimentech, a i v kořenech rostlin (Aquilanti et al. 2004). Dle Rana et al. (2020) ovšem možnost obývání *Azotobacter* vnitřních pletiv rostlin není prokázána, a tudíž i možnost obývání kořenů, jak uvádějí jiné zdroje, není jednoznačně možné.

Při odběrech vzorků půd se jejich přítomnost prokázala u 30–80 % případů, byť se jednalo i o menší hodnoty jejich množství. Stále ovšem není jednoznačně určeno, zda jde spíše o rhizosferické bakterie či nerhizosferické. Spíše se jednalo o priority konkrétních druhů (Bartholomew 1965). Některé druhy byly v bezprostřední blízkosti kořenů nacházeny ve vyšším zastoupení a některé naopak preferovaly volnou půdu. Obecným poznatkem ovšem je, že vyšší zastoupení daného rodu bakterií osidluje úrodné půdy s dostatečným zdrojem fosforu (Brenner et al. 2005).

Bakterie rodu *Azotobacter* jsou, jak již bylo zmíněno, nesymbioticky žijící mikroorganismy fixující vzdušný dusík. Jejich zastoupení v půdě bývá malé. Byly ovšem nalezeny v rhizosféře různých plodin například kukuřice (Arun 2007). Výkonnost fixace dusíku je u daných bakterií nižší než u mikroorganismů obývajících vnitřní prostředí rostlin, a to z důvodu nižšího parciálního tlaku kyslíku v pletivech, než je v okolí půdy (Rana et al. 2020). Dle výzkumu Sasha et al. (2016) dokážou dané bakterie fixovat 15,5 kg N.ha⁻¹ za rok. Jiné výsledky ovšem uvádějí, že daná hodnota může být až o 45 kg vyšší (Bhattacharyya & Jha 2012).

Limitujícím faktorem při biologické fixaci dusíku je obsah některých živin v půdě. Konkrétně se jedná o fosfor a molybden. S nedostatkem fosforu v půdě (v rozpustné i nerozpustné formě) se výzkumníci často nesečkávali. Výsledkem zkoumání ovšem bylo, že je fixace dusíku danými bakteriemi závislá na přítomnosti molybdenu za předpokladu půdy bohaté na fosfor. V případě, že byly půdy na fosfor chudší projevovala se závislost jak na zmíněném fosforu, tak i na molybdenu. Proces je ovšem dynamický, což má za následek, že se potřeby zmíněných prvků v čase mění. V počátečních růstových fázích rostlin (v daném případě kukuřice) je limitujícím prvkem fosfor a v polovině vegetačního období se přesouvá závislost fixace na přítomnost molybdenu (Jean et al. 2013).

Kromě fixace dusíku a zvýšení jeho akumulace v rostlinách se podílejí na zpřístupnění fosforu rostlinám prostřednictvím schopnosti jeho uvolnění ze špatně rozpustných sloučenin a jsou schopné svou produkcí růstových hormonů pozitivně ovlivňovat růst rostlin. Mezi dané hormony patří kyselina indolactová, cytokininy a gybereliny. Látky mohou rostlinám napomáhat i při obraně proti fytopatogenům a stimulovat mikroorganismy v rhizosféře (Deubel & Merbach 2005; Wani et al. 2013). Dle Choudhury & Kennedy (2004), Wani et al. (2013) a Ritika & Utpal (2014) dokázaly bakterie rodu *Azotobacter* výnos plodin, ke kterým byly aplikované zvýšit až o 40 %. Hlavní způsob účinku ovšem není jednoznačný (Sumbul et al. 2020).

Kromě fosforu dokáží vlivem svých produktů zvýšit dostupnost i draslíku a zinku (Aasfar et al. 2021).

Co se týče fosforu tak i ten je pro bakterie rodu *Azotobacter* potřebnou živinou. V půdách bývá často velká zásoba fosforu ovšem v nepříjemných formách pro rostliny. Jedná se o nerozpustné formy například ve sloučeninách $(Ca_3PO_4)_2$, (Al_3PO_4) či (Fe_3PO_4) . Z toho vyplývá, že i přes dostatečné zásoby fosforu v půdě mohou rostliny vlivem nerozpustných forem, ve kterých se prvek nachází a vlivem jeho velmi nízké mobility trpět jeho nedostatkem (potřebná dávka fosforu je specifikována v podkapitole „Hnojení fosforem“) (Nosrati et al. 2014). Snížená mobilita fosforu je způsobena jeho vysokou reaktivitou v půdních sorpčních komplexech (Barker a kol., 2015).

Bakterie rodu *Azotobacter* patří mezi mikroorganismy, které jsou schopné solubilizovat fosfor. Jedním z produktů azotobakterií jsou exopolysacharidy, které jsou činitelem při zpřístupnění rostlinám fosforu ze sloučenin $(Ca_3PO_4)_2$. Dále se uvádí, že *Azotobacter* svou solubilizaci fosforu podporuje mutagenézí vycházející z půdních izolátů (Kumar et al. 2001). Hlavním mechanismem solubilizace fosforu, podepřený mnoha výzkumy je produkce organických kyselin, které zapříčiní acidifikaci mikrobiálních buněk a okolí kolem nich, což vede k uvolnění iontů fosforu z minerálů vlivem substituce vodíkových kationtů za kationty vápenaté (Trivedi & Sa 2008). Během průběhu daného procesu je dle Scervino et al. (2010) důležitější kvalita kyselin než jejich množství. Výzkumy mechanismu zpřístupňování fosforu ale stále probíhají (Illmer & Schinner 1995).

Výše popisované vlastnosti daných fixátorů dusíku jsou důvodem, proč je jejich využití v zemědělské produkci tak atraktivním řešením snížení výroby a aplikace minerálních hnojiv. Kromě inokulace samotného rodu *Azotobacter* je možné dle mnoha pokusů využít synergické působení bakterií s jinými mikroorganismy a inokulovat je společně. Takovým případem může

být kooperace Azotobakterií a Azospirilů při které se zlepší vývoj kořenů s čímž souvisí i účinnější příjem vody a minerálních látek a zlepší se i ochrana před houbovými a bakteriálními patogeny. Dalším příkladem je spojení Azotobakterií a Rhizobakterií. To vede k efektivnější nodulaci s čímž souvisí vyšší obsah dusíku v kořenech a v metabolizujících rostlinných buňkách (Okon & Itzigsohn 1995, Yadav & Vashishat 1991).

Způsob aplikace se odvíjí od toho, zda se jedná o moření osiva, nebo se bakterie aplikují až během vegetace (Aasfar et al. 2021). Nátěry osiva kapalnou formou inokula pomocí lepidla se provádí bezprostředně před setím (Bashan et al. 2014). Obdobně se nátěr může využít k aplikaci na granule minerálních hnojiv. Ty se mohou aplikovat jak během setí, tak i během vegetace (Malusá et al. 2012). Jiný způsob využití kapalné formy je pomocí listového biohnojiva aplikovaného na listy postřikem (Jambhulkar et al. 2016).

Pokud je potřeba využít pevnou formu biohnojiva tak si lze vybrat mezi práškem a granulami dle potřeby konkrétní velikosti částic (Bashan et al. 2014).

Azobakterie jsou, a ještě budou předmětem výzkumů, neboť na úrovni genetiky o nich stále nejsou uspokojivé poznatky. Ohledně biologické fixace také ještě není známo, zda se jedná o přirozený proces v rhizosféře, který je vyvolán potřebou bakterií získávat dusík pro své životní potřeby či zda se jedná o proces vyvolávaný konkrétními signály rostlin v jejichž bezprostřední blízkosti se bakterie vyskytují. Kromě toho ani přesný mechanismus limitace biologické fixace nedostatkem fosforu není zcela objasněn. Dále není zjištěné, jak budou bakterie reagovat v systému pěstování kulturních plodin s taktikou hnojení spočívající v inokulaci prostřednictvím daných Azotobakterií a průběžným přihnojováním minerálními hnojivy. I tak je tento mikroorganismus slibným inovativním řešením v zajištění živin rostlinám, což dokazují veškeré výzkumy prováděné již desítky let (Aasfar et al. 2021)

3.5.5 *Paenibacillus polymyxa*

Bakterií, která náleží do skupiny fixátorů vzdušného dusíku je i *Paenibacillus polymyxa* (Prazmowski, 1880). Dle Wani et al. (2013) byla v předešlém textu definována jako bakterie žijící volně. Dle Puri et al. (2016) a jím popisovaným výzkumem aplikovaných bakterií *Paenibacillus* k rostlinám kukuřice se ovšem tvořily jejich kolonie jak rhizosferické tak i endofytické. Endofytické bakterie jsou definované tím, že žijí v živých pletivech rostlin a jejich přítomnost nevyvolává negativní důsledky ve vývoji svého hostitele. Jedná se čistě o potřebu zajištění místa pobytu a o zdroj živin, který pro ně rostliny představují. Vztah je ovšem vzájemně prospěšný. Bakterie *Paenibacillus* jsou označovány jako endofytiční diazotofové (Döbereiner 1992). Rostlinám jsou prospěšné pro jejich vývoj přímými i nepřímými mechanismy. Mezi hlavní mechanismus přímý patří právě podpora vývoje prostřednictvím schopnosti fixace dusíku a jeho sdílení s hostitelskou rostlinou (Puri et al. 2016).

Paenibacillus polymyxa je bakterií představující velký potenciál v zajištění udržitelného zemědělství (Freitas et al. 2007). Jejich působením se zabývá také množství výzkumných prací ovšem doba, kdy je předmětem zkoumání je podstatně kratší než v případě popisovaných Azotobakterií. I z tohoto důvodu je méně dostupných výsledků o jejich vlivu na rostliny po aplikaci (Puri et al. 2016).

Významnou výhodou daných mikroorganismů je jejich místo působení. V případě kukuřice jsou těmito místy kořeny a stonky. Díky tomu jsou také bakterie chráněné před mnohými negativními abiotickými vlivy jako jsou například pH půdy, dostupnost vody a živin či biotickými, mezi které patří konkurence mezi mikroorganismy. Samozřejmě ne v případě, kdy se nacházejí v rhizosféře (Puri et al. 2016).

Zajímavé výsledky přinesl výzkum, při kterém byly rostliny kukuřice inokulované bakteriemi *Paenibacillus polymyxa* P2b-2R a *Paenibacillus polymyxa* P2b-2Rgfp (Puri et al. 2016).

Paenibacillus polymyxa P2b-2R byla izolovaná z pletiv borovice lesní. Pletiva byla povrchově sterilizována. Borovice rostla v Kanadě blízko Williams Lake. Místo růstu bylo chudé na živiny a nacházelo se v nadmořské výšce 1300 m. n. m.

Paenibacillus polymyxa P2b-2R byla po izolování aplikovaná na medium bez přidaného dusíku. I tak dokázala přežít a dále se vyvíjet. Při jejím laboratorním pozorování byla zjištěna redukční aktivita acetylenu (Bal et al. 2012). Také se zjistilo že bakterie je nositelkou genu nifH, který kóduje nitrogenázu (Anand & Chanway 2013). Tato všechna zjištění dokazovala schopnost bakterie fixovat atmosférický dusík.

První pokusy zahrnovali inokulaci bakterie *Paenibacillus polymyxa* P2b-2R do borovice lesní, kukuřice a řepky (Anand & Chanway 2013; Puri et al. 2015; Puri et al. 2016). U všech rostlin se projevila podpora vývoje rostlin a byla zjištěna fixace atmosférického dusíku. U kukuřice byla fixace dusíku pozorovatelná pouze v první části vegetace, konkrétně mezi 10. a 40. dnem vývoje. Tyto výsledky působily pozitivně ovšem podpora rostlin v růstu po delší dobu vegetace by byla žádoucí. S touto myšlenkou Puri et al. (2016) vedl další pokus s rostlinami kukuřice.

V následném pokusu byla použita opět bakterie *Paenibacillus polymyxa* P2b-2R a její derivát *Paenibacillus polymyxa* P2b-2Rgfp značeným fluorescenčním proteinem GFP, což je autofluorescenční proteinový systém využívaný k lokalizaci endofytických bakterií (Zimmer 2002). Pozorované byly tři skupiny rostlin kukuřice po patnácti jedincích. U první skupiny byly semena kukuřice inokulována pomocí *Paenibacillus polymyxa* P2b-2R, u druhé *Paenibacillus polymyxa* P2b-2Rgfp a třetí skupina byla kontrolní. Poslední skupina byla ošetřena pouze sterilním fosfátovým pufrem. Osivo bylo odebráno od firmy „West Coast Seeds“. Cílem experimentu bylo kvantifikovat fixaci dusíku danými bakteriemi a v souvislosti s tím zhodnotit podporu vývoje rostlin. Cílem bylo také docílit delšího trvání prospěšného působení bakterií na rostliny během vegetace, než bylo při předešlém pokusu. Délka sledování vývoje rostlin zde byla stanovena na 3 měsíce.

Rostliny byly pěstované v uzavřeném půdním prostoru, to znamená v květináčích o rozměrech 12 × 8 × 4 cm. Pěstební substrát byl namíchaný ze sterilní směsi křemičitého písku tvořícího 69 % objemu, dále Turface tvořícího 29 % objemu a uhličitanu vápenatého zaujímajícího zbylý objem.

Pro analýzu výsledku byly po 3 měsících náhodně vybrání 2–5 zástupců z každé pozorované skupiny. U těch byly vyhodnoceny početní stavy rhizosferických a endofytických kolonií. U rostlin inokulovaných *Paenibacillus polymyxa* P2b-2R byla zjištěna hustota kolonie

u vnitřních bakterií v kořenech $2,11 \times 10^6$ KTJ.g⁻¹ čerstvé hmotnosti a u vnitřních bakterií v ve stonku $2,34 \times 10^3$ KTJ.g⁻¹ čerstvé hmotnosti. U rostlin inokulovaných *Paenibacillus polymyxa* P2b-2Rgfp byla zjištěna hustota kolonie u vnitřních bakterií v kořenech $7,52 \times 10^6$ KTJ.g⁻¹ čerstvé hmotnosti a u vnitřních bakterií v ve stonku $5,67 \times 10^2$ KTJ.g⁻¹ čerstvé hmotnosti. V případě rhizosferické kolonie byla populační hustota u *Paenibacillus polymyxa* P2b-2R $3,20 \times 10^6$ KTJ.g⁻¹ suchého kořene a u *Paenibacillus polymyxa* P2b-2Rgfp $9,31 \times 10^6$ KTJ.g⁻¹ suchého kořene. V případě kontrolní skupiny žádné nálezy kolonizace rhizosferické či endofytické učiněny nebyly.

Co se týče délky rostlin a hmotnosti biomasy tak byly u inokulovaných zástupců významné rozdíly oproti kontrolní skupině. Rostliny inokulované *P. polymyxa* P2b-2R byly ve srovnání s kontrolní skupinou o 52 % delší čímž souvisí i hmotnost jejich biomasy, která byla o 53 % vyšší. Rostliny inokulované *P. polymyxa* P2b-2Rgfp byly ve srovnání s kontrolní skupinou o 68 % delší a hmotnost jejich biomasy byla o 67 % vyšší. Tyto údaje mají významnou vypovídající hodnotu o rozdílu rostlin inokulovaných a kontrolních. Rozdíl mezi různými koloniemi bakterií je zjevný ale v dané studii statisticky málo významný (Puri et al. 2016).

Dalším předmětem analýzy byla délka kořenů, výhonů a celých rostlin. V případě inokulace *P. polymyxa* P2b-2Rgfp byly kořeny (60 cm), výhony (40 cm) a celé rostliny (100 cm) nejdéší ze všech variant. V případě *P. polymyxa* P2b-2R dosahovaly kořeny i výhony nižších hodnot ovšem rozdíl nebyl příliš významný. Kořeny dosahovaly 56 cm, výhony 37 cm a celé rostliny 93 cm. Markantní rozdíl byl ovšem v porovnání inokulovaných rostlin s kontrolní skupinou. Její kořeny byly dlouhé pouze 36 cm, výhony 29 cm a celé rostliny tedy 74 cm (Puri et al. 2016).

Hodnoty hmotnosti sušiny kořenů, výhonů a celých rostlin koreluje s výsledky délek zmíněných měřených objektů. Sušina kořenů rostlin inokulovaných *P. polymyxa* P2b-2Rgfp vážila 500 mg, výhonů 1260 mg a celých rostlin 1760 mg. V případě *P. polymyxa* P2b-2R byly hodnoty nižší. Hmotnost sušiny kořenů rostlin s populacemi bakterie *P. polymyxa* byla 450 mg, výhonů 1200 mg a celých rostlin 1650 mg. U kontrolní skupiny byly naměřené hodnoty vždy cca o 1/3 nižší než u rostlin inokulovaných. Hmotnost sušiny kořenů byla tedy 250 mg, výhonů 780 mg a celých rostlin 1030 mg (Puri et al. 2016).

Výsledek daného pokusu lze objektivně hodnotit jako kladný z hlediska podpory růstu rostlin kukuřice u kterých se vyskytovaly kolonie bakterií *Paenibacillus polymyxa*. Prostřednictvím obou pokusů se zjistilo, že endofytické bakterie se v počáteční fázi růstu nevyskytují ve stonkovém pletivu. Počáteční fázi růstu je myšlen v daném pokusu 10. – 40. den vývoje rostlin. V tomto období ovšem rostliny podporují kolonie bakterií přítomných v rhizosféře a endofytických bakteriích vyskytujících se v kořenovém pletivu. Na konci pokusu, tedy po třech měsících byly bakterie nalezeny jak v kořenových pletivech, tak i stonkových pletivech (*P. polymyxa* P2b-2R i *P. polymyxa* P2b-2Rgfp). Rhizosferické bakterie *P. polymyxa* P2b-2R i jejího derivátu značeného GFP podporovaly rostliny po celou dobu vývoje (Puri et al. 2016). Nárůst délky rostlin o více než 50 % podporují tvrzení o jednoznačném prospěšném působení bakterií (Puri et al. 2015).

Kromě fixace dusíku mají bakterie *Paenibacillus polymyxa* další významně důležité vlastnosti, které představují podporu celkového růstu rostlin. Produkují totiž hydrolytické enzymy a biofilmy působící proti negativním patogenním půdním organismům (Nielsen

a Sørensen 1997; Timmusk et al. 2005). Dále produkují fytohormony, například cytokininy, gibbereliny, a látky příbuzné auxinům (pozitivní působení popisované na minulých stránkách) (Lal & Tabacchioni 2009; Lebuhn et al. 1997; Timmusk et al. 1999). Bakterie se dále podílejí na solubilizaci fosforu v půdním prostředí (viz předešlé stránky) a snižují dopady stresu vyvolávající rostlinám nedostatek vody (Çakmakçi et al. 2006, Figueiredo et al. 2008).

3.5.6 *Bacillus megaterium*

Bacillus megaterium (de Bary, 1884) patří mezi endofytické mikroorganismy náležící do skupiny podporující růst rostlin. Konkrétně růst kořenů, listové plochy i podporující tvorbu chlorofylu. Růst podporují jak přímo, tak i nepřímo (viz *Paenibacillus polymyxa*) (Sturz et al. 2000). Bakterie byly lokalizované v kořenech, které infikovaly prasklinami na bočních kořenových spojích. Odtamtud migrují do stonků i listů (Liu et al. 2006).

V pokusu dle Lipkové et al. (2021) kdy byly dané bakterie aplikované na semena kukuřice, byly velmi pozitivní výsledky potvrzené i statisticky. Pozitivní efekt se projevil na délce kořenového systému, který měl o 18,52 % lepší výsledky než u kontrolní skupiny. Dále se efekt projevil i na výšce a hmotnosti mladé rostliny. Dané výsledky se zjišťovali 4 týdny po vzejití rostli. Dané rostliny byly v době pokusu pěstované v kultivačních komorách s řízenými abiotickými podmínkami.

Dle Zhu et al. (2023) vykazují bakterie *Bacillus megaterium* pozitivní vliv na růst rostlin i při jejich přítomnosti v rhizosféře. Daná situace vzniká při vysokém obsahu solí v půdě. Bakterie mají schopnost změnit společenstva bakterií a hub v rhizosféře a zajistit tak lepší funkci mikrobiálních společenstev v rhizosféře.

Dle popisu rhizosferických a endofytických bakterií schopných fixovat vzdušný dusík a svými produkty podporovat vývoj rostlin, v jejichž prostoru se nacházejí je otázkou proč biohnojiva/bio-stimulanty s danými diazotrofy nepoužívat. Velká část pokusů se týká Azotobakterií, které tvoří pouze rhizosferické kolonie. Rhizosferické i endofytické kolonie tvoří popisované bakterie *Paenibacillus polymyxa*, o kterých je daleko méně dostupných informací z pokusů a český trh se s nimi teprve otevírá. Výzkum dle Puri et al. (2015) popisuje vliv *P. polymyxa* na rostliny kukuřice pěstovaných v nepřirozených podmínkách, tedy v květináčích s uměle připraveným substrátem. Dané výsledky nemusí pěstitelé utvrdit v tom, že by stejný vliv měly i při aplikaci v přirozených polních podmínkách. Právě pokus aplikace pomocných půdních látek s těmito bakteriemi při pěstování kukuřice byl veden na pozemcích Výzkumné stanice v Červeném Újezdě.

4 Metodika

4.1 Agrotechnické faktory

Předplodina: Pšenice ozimá

Odrůda kukuřice: hybrid Figaro KWS (FAO 250)

Počet variant: 3

Počet opakování: 4

Rozměr sklizňové parcelky 30 m² (3 x 10 m);

4 řádky

Příprava půdy: Podzimní zpracování: orba podzimní střední

Zpracování na jaře před setím: standardní příprava půdy pro kukuřici

Aplikace hnojiv: (LAD27) v dávce 150 kg N.ha⁻¹ (na široko)

Datum aplikace: 12.5. 2023

Datum Setí: 12.5. 2023 (K setí byl využit Monosem NC Classic, jednoduchý robustní secí stroj)

- Rozteč řádků u daného secího stroje je od 35-80 cm
- Možný počet řádků je dle zvoleného počtu secích sekcí (4–18) – v tomto případě se jednalo o 4 sekce
- Přesné setí
- Způsob předset'ové přípravy je doporučen konvenční – dobře připravená půda s rovným povrchem



Obrázek 1: Setí kukuřice (12.5.2023, Cedrik Bergl)

Preemergentní aplikace herbicidu Lumax, dávka 3,25 l.ha⁻¹

Datum aplikace: 13.5.2023

Hustota výsevu: 80 tis. rostlin.ha⁻¹

Vzdálenost mezi řádky: 75 cm.

Sklizeň rostlin i zrna: 14.9.2023

Pokus byl založen v jednom bloku, na konci pokusného pozemku (0,70 ha) s rozmístěním parcel dle přiložené tabulky 1 s metodiky dle tabulky 2.

Tabulka 1: Plán pokusu; rok 2023, Červený Újezd:

x	1	2	3	0
x	2	3	1	0
x	3	1	2	0
x	1	2	3	0

Tabulka 2: Varianty a přípravky použité v pokusu v roce 2023

č. varianty	popis varianty	19.5.2023
TE1 Kontrola	Kontrola	-
TE2 MEGA	PROVEO MEGA	2 l.ha ⁻¹
TE3 POLYMYXA	PROVEO POLYMYXA	2 l.ha ⁻¹

Dávka hnojiva plošně 150 kg N.ha⁻¹ v čisté dávce, forma – LAD27 na všech pokusných parcelách

Rozmístění pokusu: metoda znáhodněných čtverců s ostatními variantami v bloku.

4.2 Průběh počasí dle automatické meteorologické stanice

Tabulka 3: Průběh počasí – meteorologická automatická stanice na pokusném poli – Červený Újezd

rok 2023	teplotní normál (°C)	prům. teplota (°C)	odchylka od normálu	hodnocení
leden	-0,7	2,18	2,9	nadnormální
únor	0,3	1,52	1,2	normální
březen	4,0	4,72	0,7	normální
duben	9,2	6,53	-2,7	podnormální
květen	13,6	12,65	-1,0	normální
červen	17,0	17,03	0,1	normální
červenec	18,9	19,76	0,8	normální
srpen	18,7	19,29	0,6	normální
září	13,9	17,48	3,6	mimořádně nadnormální
suma I-IX	10,6	11,2	0,7	
rok 2023	srážkový normál (mm)	srážky (mm)	% normálu	hodnocení
leden	21	18,3	88	normální
únor	18	17,6	98	normální
březen	28	55,3	195	nadnormální
duben	27	45,4	167	silně nadnormální
květen	60	7,5	12	mimořádně podnormální
červen	71	55,0	77	normální
červenec	77	69,6	91	normální
srpen	66	77,9	118	normální
září	39	8,6	22	silně podnormální
suma I-IX	406,9	355,2		

4.3 Rozbor půd na N_{\min} a AZP

Tabulka 4: Rozbor půdy – před setím

Obsah N-NH ₄ mg. kg ⁻¹	Obsah N-NO ₃ mg. kg ⁻¹	N anorg.	P mg. kg ⁻¹	K mg. kg ⁻¹	Ca mg. kg ⁻¹	Mg mg. kg ⁻¹	S mg. kg ⁻¹	Humus %	Hmot. Poměr K: Mg
1,3	14,3	15,5	70	248	4110	155	11,2	2,4	1,6

Datum rozboru 1.6.2023: Hodnoty rozboru platí pro dodaný vzorek a jsou uvedeny v sušině. Zkoušky byly provedeny v ZOL Postoloprty Malý – Metodika analýza půd III ÚKZÚZ.

Z výsledku rozboru na N_{\min} vychází:

- střední obsah dusíku (tab. 2).

Z výsledků AZP zkoušky vychází:

- střední obsah fosforu (s doporučenou dávkou hnojení 70 kg P.ha⁻¹)
- dobrý obsah draslíku (Doporučená dávka 135 kg K.ha⁻¹)
- vysoký obsah vápníku (0 kg Ca.ha⁻¹ nutné hnojení)
- střední obsah síry (doporučená dávka 60 kg S.ha⁻¹)

- Obsah humusu je střední
- Hodnoty pH půdy (CaCl₂) je 6,9 (půda je neutrální)

4.4 Aplikované přípravky u varianty TE2 a TE3

PROVEO MEGA („TE2 PROVEO MEGA“)

**pomocná půdní látka – mikrobiologický přípravek – kapalná půdní očkovací látka
s vysokou koncentrací půdních bakterií**

PROVEO MEGA je koncentrovaný roztok užitečných půdních bakterií rodu *Bacillus megaterium*, určený pro aplikaci na půdu a na raná vývojová stádia kulturních rostlin. Aplikace zvyšuje příjem živin z půdy.

- Podporuje růst kořenového systému
- Podporuje příjem živin z půdy
- Zintenzivňuje fotosyntézu
- Zvyšuje kvalitu a objem úrody

Pro aplikaci na půdu a listy zvyšuje příjem fosforu především na půdách s pH < 6. Užitečné bakterie *Bacillus megaterium* svojí enzymatickou výbavou mobilizují (uvolňují z nerozpustných sloučenin) fosfor do půdního roztoku a tím ho zpřístupňují pro rostlinu. Zlepšuje průběh fotosyntézy a tím ovlivňuje kvalitu a množství úrody.

Tabulka 5: Kultura půdních bakterií *Bacillus megaterium* – složení

počet aktivních zárodků	min. 1 x 10 ⁹ KTJ.g ⁻¹
Podíl sušiny	min. 3 hmot. %
Spalitelné látky v sušině při 550 °C	min. 3 hmot. %
Hodnota pH (1 % vodní suspenze)	3-6
Hustota (kg.m ⁻³)	1000-1150
Vizuální znaky:	žluto-hnědá tekutina se zápachem kvasnic a fermentátu

Rozsah a způsob použití:

Výrobek je kapalný koncentrát účinný v aplikačním množství **1,0-2,0 l.ha⁻¹** do 200-300 litrů vody (0,33-1,0 % roztok). V daném pokusu užitá dávka 2 l.ha⁻¹. Koncentrát **PROVEO MEGA** se přidává do nádrže postřikovače po jejím naplnění na 50 % objemu vody a postupně se přimíchávají ostatní složky postřiku.

Postřik je možné opakovat v 14-21 denních intervalech na listovou plochu anebo jednorázově na půdu před setím.

Tabulka 6: Doporučené dávkování pro kukuřici

Plodina	Termín	Dávkování	Dávky vody l.ha ⁻¹
Kukuřice	Preemergentně anebo do stádia 4-8 listů	1,0 – 2,0 l.ha ⁻¹	200-300 l.ha ⁻¹

Jedná se o základní informace, které jsou součástí etikety (vhodné pro konkrétní představu o přípravku)

PROVEO POLYMYXA (TE3 PROVEO POLYMYXA)

K přípravku PROVEO POLYMYXA toho zatím příliš není a informace níže jsou získané od firmy Envi Produkt s. r. o.

PROVEO POLYMYXA využívá vlastností *Paenibacillus polymyxa*, také známý jako *Bacillus polymyxa*.

Jedná se o grampozitivní bakterii schopnou vázat dusík. Působí proti několika druhům patogenních bakterií a produkuje polymyxiny.

Je velmi dobře hodnocena jako bakterie podporující růst rostlin.

Nedávným objevem této bakterie v mikrobiálním průmyslu je produkce bioaktivních sloučenin, jako jsou exopolysacharidy (EPS).

EPS není etablován pouze jako biofilm pro kolonizaci mikrobů a působí jako zachytávač živin na kořenech rostlin v rizosféře.

Bohužel: životnost tohoto mikroorganismu je při skladování podstatně nižší než u bacillusů a velmi rychle lyzuje.

4.5 Hodnocení pokusu

Hodnocení růstu během vegetace

- 26.6.2023
- Měřena výška rostlin, délka kořenů a hmotnost sušiny kořenů

Výnos silážní kukuřice

- Ruční sklizeň proběhla 14.9.2023. Sklízeli se prostřední levý řádek.

Zjištění sušiny:

- z řezanky několika rostlin z každého opakování bylo odebráno cca 500 g vzorku. Po usušení vzorku při teplotě 105 °C v délce trvání 10 hodin byla hmotnost suché hmoty zvážena a spočítána sušina jednotlivých vzorků. Každá varianta byla provedena ve čtyřech opakování.

Biomasa rostlin:

- byla zvážena a byl přepočítán výnos zelené hmoty na hektar, po výpočtu obsahu sušiny byl přepočítán výnos suché hmoty rostlin na hektar.

Hodnocení výnosu zrnové kukuřice:

- sklizeň proběhla 14.9.2023, jednalo se o ruční sklizeň palic z prostředního pravého řádku. Palice byly uskladněny na půdě Výzkumné stanice, kde bylo zrno po měsíci vymláčeno z palic sklízecím kombajnem Wintersteiger. Byla zvážena hmotnost zrn z jednotlivých opakování, byl zjištěn obsah sušiny usušením vzorků při teplotě 45 °C po dobu 15 hodin a byl přepočítán výnos zrna na hektar a 15 % vlhkost.

Statistické hodnocení:

- Tukey ANOVA HSD test. a Jednofaktorová ANOVA v Programu STATISTICA 12.1.



Obrázek 2: Měření během vegetace – BBCH 18 (26.6.2023, Cedrik Bergl)



Obrázek 3: Probíhající ruční sklizeň (14.9.2023, Cedrik Bergl)

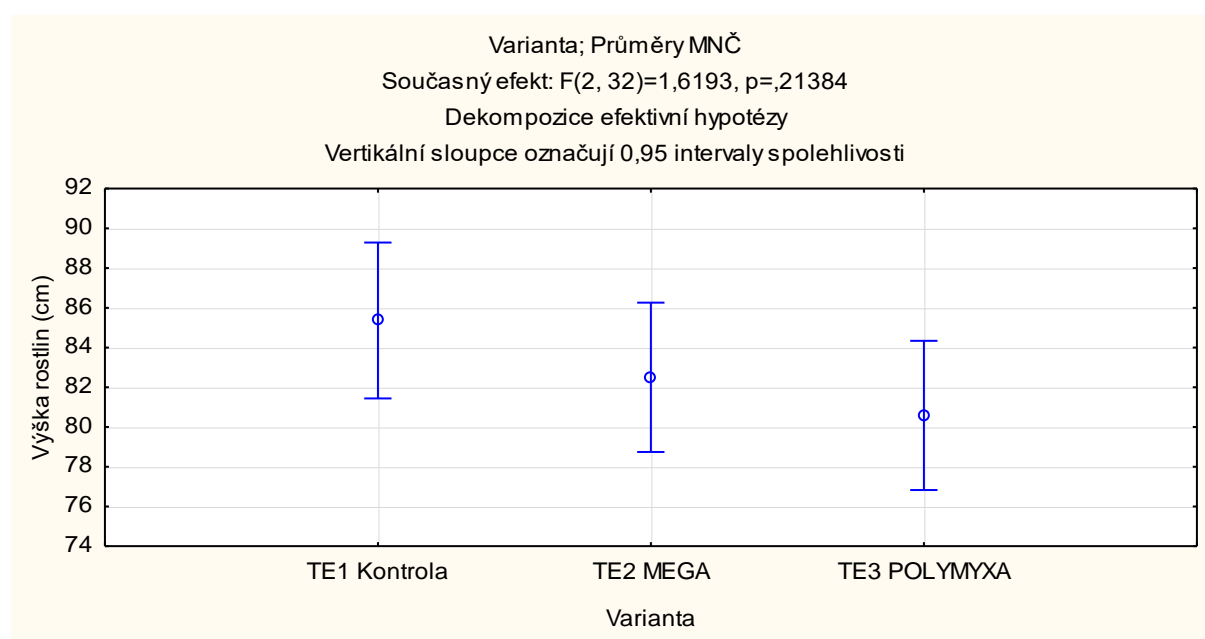
5 Výsledky

5.1 Statistické vyhodnocení hodnot získaných během vegetace

Tabulka 7: Výška rostlin, délka kořenů a hmotnost sušiny kořenů jednotlivých variant

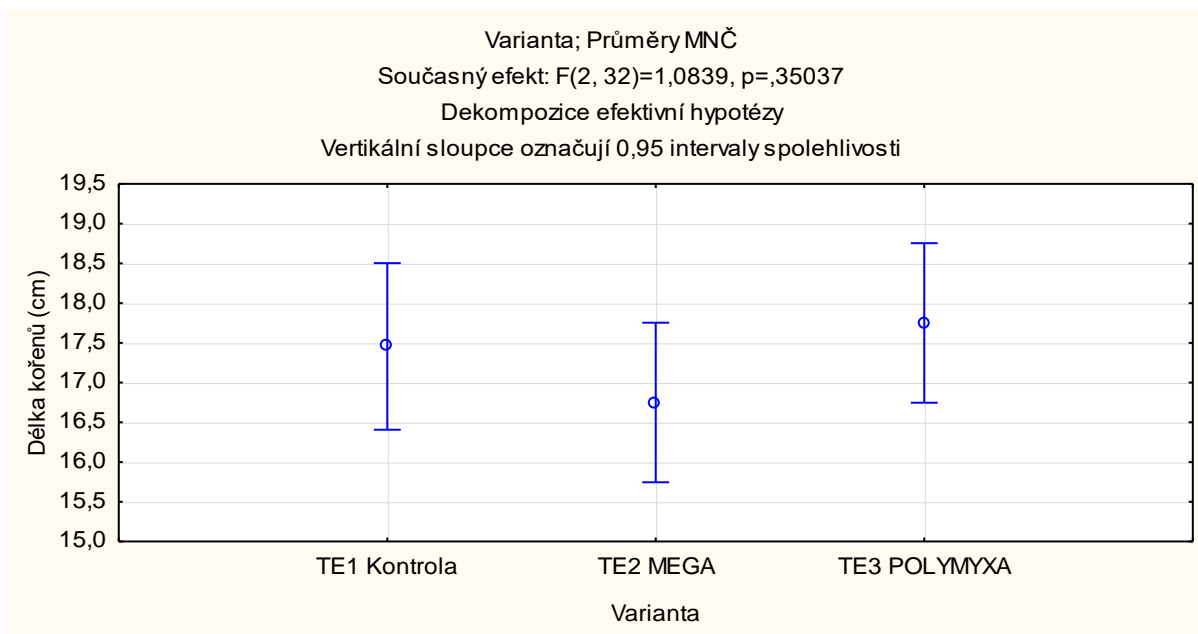
varianta	Výška rostlin (cm)	Délka kořenů (cm)	Hmotnost sušiny kořenů (g)
TE1 Kontrola	85,63 a	17,45 a	7,89 a
TE2 MEGA	82,27 a	16,75 a	6,75 a
TE3 POLYMYXA	80,58 a	17,75 a	6,75 a

a – stejná písmena ve sloupci pod sebou značí statisticky neprůkazné rozdíly
Tukey ANOVA HSD test



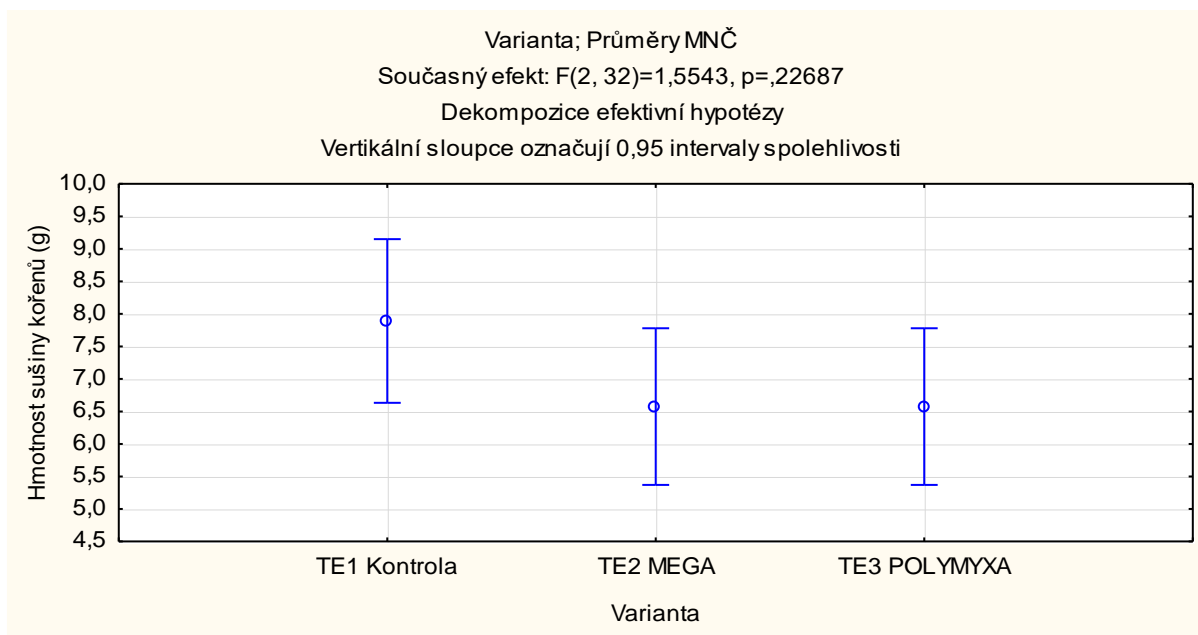
Graf 1: Výška rostlin jednotlivých variant při BBCH 18

Hodnocení dynamiky růstu rostlin (nadzemní hmoty v BBCH 18) bylo provedeno v průběhu vegetace. Z výsledků zaznamenaných v grafu 1 není statisticky průkazný rozdíl u přípravků aplikovaných u varianty TE2 a TE3 v porovnání s kontrolní variantou TE1, u které byla průměrná výška rostlin **85,36 cm**. TE3 s ošetřením PROVEO POLYMYXA dosahovala ve výšce rostlin nejnižších hodnot (**80,58 cm**). Středních hodnot pak dosahovala varianta s ošetřením pomocí přípravku PROVEO MEGA.



Graf 2: Délka kořenů jednotlivých variant při BBCH 18

Hodnocení dynamiky růstu kořenů v BBCH 18 bylo z hlediska rozdílu délky mezi ošetřenými variantami a kontrolní variantou mírně pozitivnější než u porovnávání dynamiky růstu nadzemních částí. Kořeny rostlin varianty TE3 PROVEO POLYMYXA dosahovaly nejdelší průměrné délky, která byla **17,75 cm**. U kontrolní varianty byla délka kořenů nepatrně kratší (-0,3 cm). Nejnižších hodnot dosahovaly kořeny TE3 varianty PROVEO MEGA. Průkazné statistické rozdíly ovšem nebyly zjištěny. Průkazné statistické rozdíly v průměrech délky kořenů ovšem nebyly potvrzeny.



Graf 3: Hmotnost sušiny kořenů jednotlivých variant při BBCH 18

Při měření hmotnosti sušiny kořenů se zjistilo, že i přesto, že nejdelší kořeny byly naměřeny u varianty TE3 PROVEO POLYMYXA tak hmotnost v suchém stavu byla nižší než

u kontrolní varianty TE1 (-1,14 g). Absolutně stejný výsledek byl potvrzen i u varianty TE2 PROVEO MEGA.

V rámci měření během vegetace byl zjištěn pozitivní vliv ošetřené varianty PROVEO POLYMYXA na délku kořenů, tedy i hloubku prokořenění. Daný rozdíl ovšem nebyl statisticky průkazný.

Ušetřené varianty TE2 pomocí PROVEO MEGA nebyl zjištěn žádný pozitivní efekt.

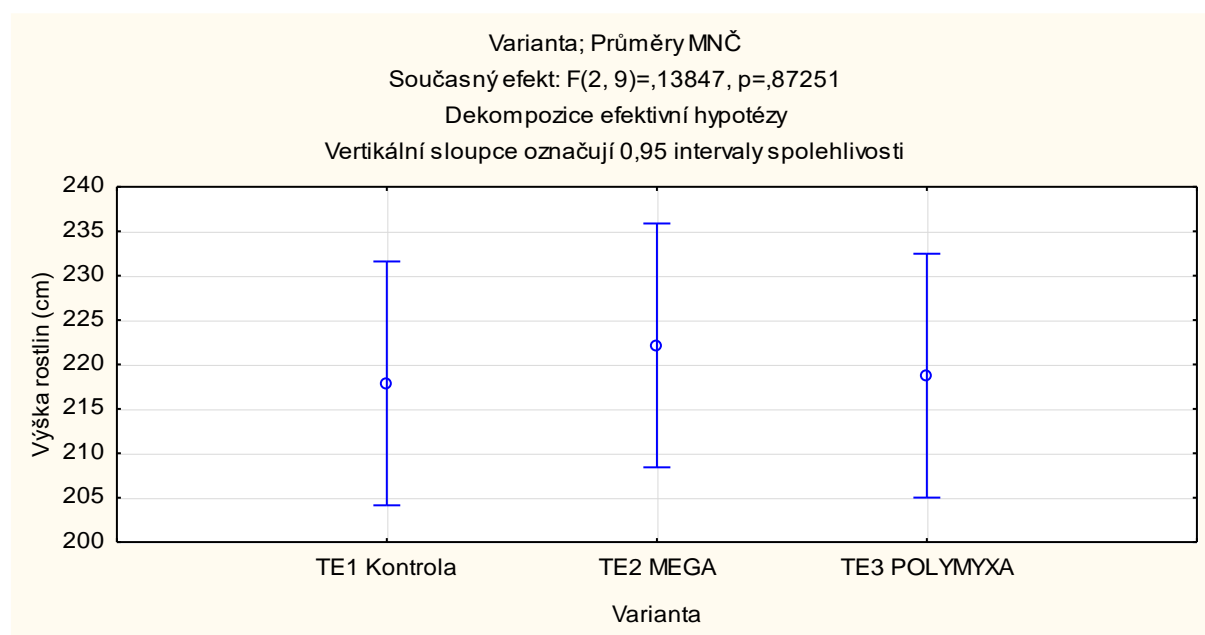
5.2 Statistické vyhodnocení hodnot získaných během sklizně

5.2.1 Vyhodnocení silážní kukuřice

Tabulka 8: Výška rostlin (cm) před sklizní, datum 14.9.2023

varianta	výška rostlin (cm)
TE1 KONTROLA	217,9 a
TE2 MEGA	222,2 a
TE3 POLYMYXA	214,4 a

a – stejná písmena ve sloupci pod sebou značí statisticky neprůkazné rozdíly
Tukey ANOVA HSD test



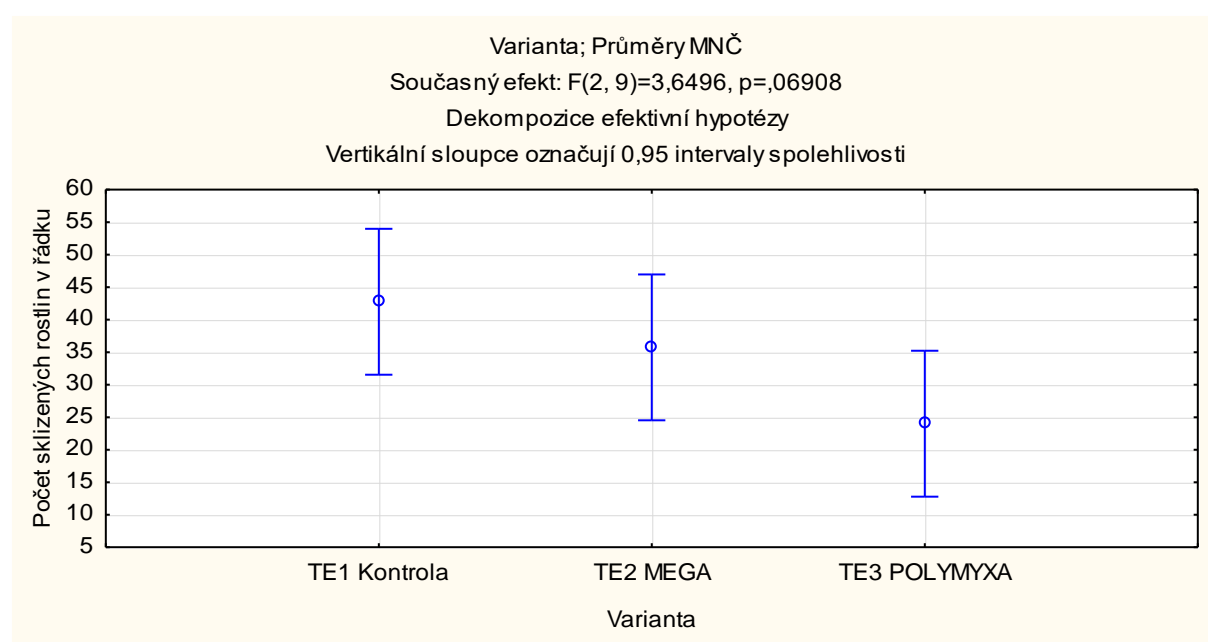
Graf 4: Výška rostlin jednotlivých variant bezprostředně před sklizní

V rámci pokusu byla hodnocena výška rostlin. Statisticky průkazné rozdíly nebyly při vyhodnocování zjištěny. Byl ovšem zjištěn trend vyšší výšky rostlin u ošetření PROVEO MEGA (+4,3 cm) oproti kontrolní neošetřené variantě. Výška rostlin u ošetření PROVEO POLYMYXA byla nižší než výška kontrolních rostlin (-3,5 cm).

Tabulka 9: Výnos zelené a suché hmoty, počet rostlin na řádek a průměrná hmotnost 1 rostliny silážní kukuřice

varianta	výnos biomasy – čerstvá (t.ha ⁻¹)	průměrná hm. 1 rostliny (g)	počet ks sklízňových rostlin na řádek	výnos suché hmoty (t.ha ⁻¹)
TE1 Kontrola	39,27 a	714 a	42,8 a	16,11 a
TE2 MEGA	37,97 a	690 a	35,8 a	15,50 a
TE3 POLYMYXA	49,78 a	823 a	26,0 a	20,61 a

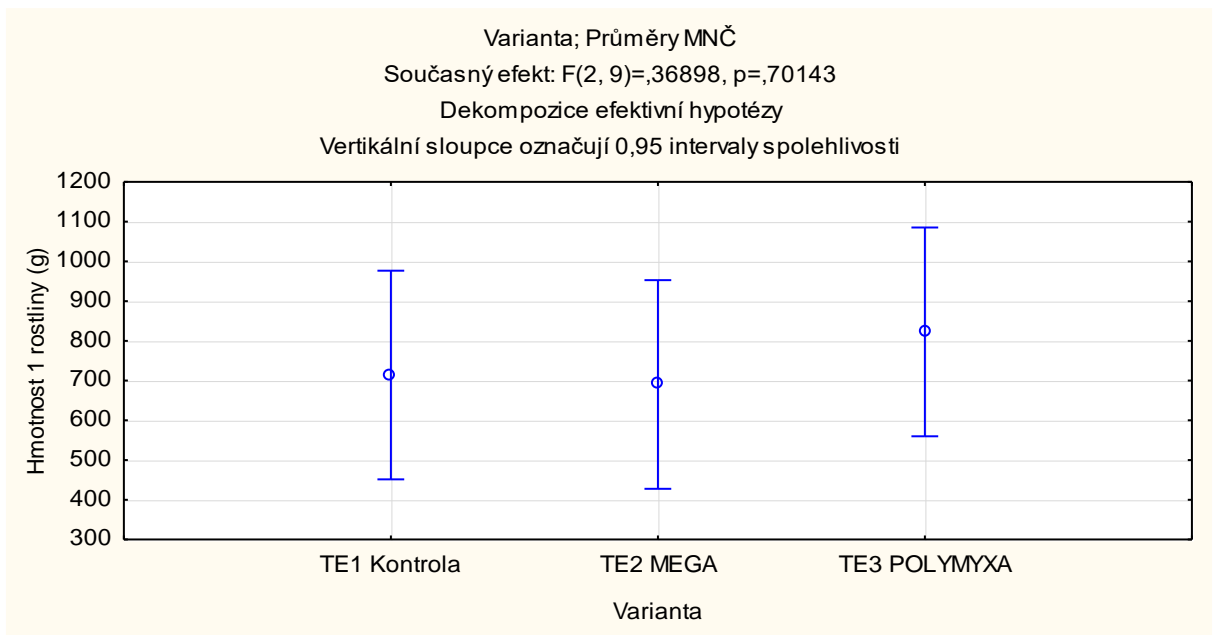
a – stejná písmena ve sloupci pod sebou značí statisticky neprůkazné rozdíly Tukey ANOVA HSD test



Graf 5: Počet sklizených rostlin jednotlivých variant v řádku

V grafu 5 je znázorněn počet sklízňových rostlin, který však nebyl statisticky průkazně rozdílný v průměrech variant, což je při hodnocení pokusu významné. Nicméně je také třeba podotknout, že i přestože u varianty TE3 PROVEO POLYMYXA bylo méně rostlin než v ostatních variantách, jejich hmotnost, přepočtená na plochu nakonec měla vliv na nejvyšší výnos zelené hmoty (49,78 t.ha⁻¹).

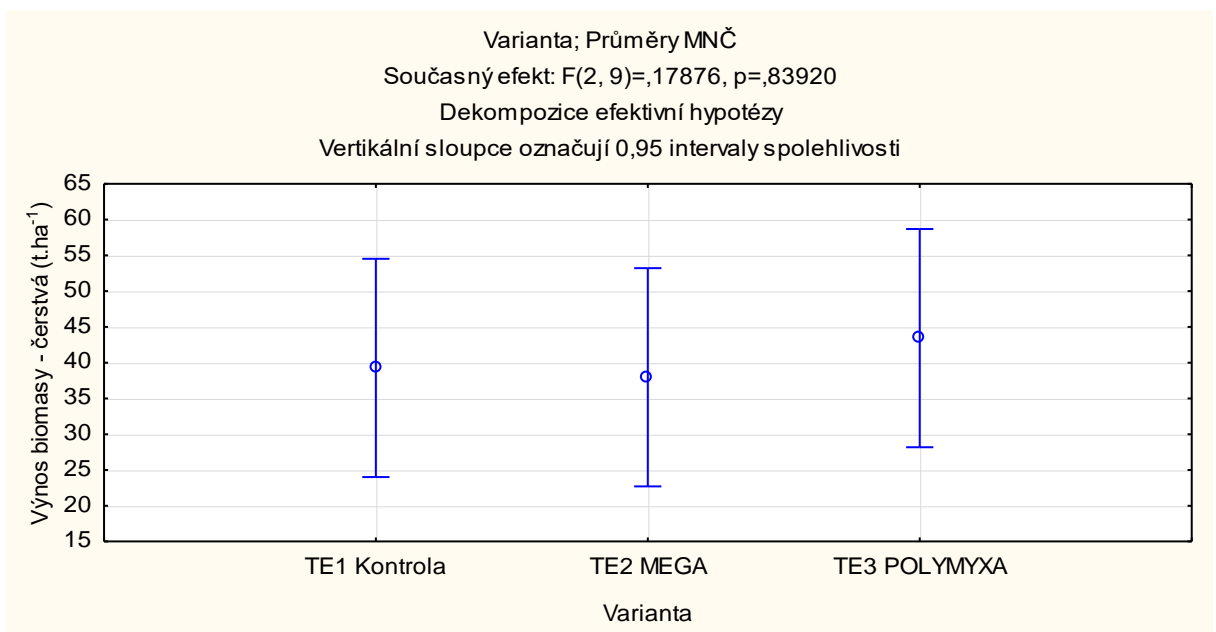
Nejvyšší počet rostlin byl zaznamenán u kontrolní varianty. V porovnání s ní dosahoval nižších hodnot počet u varianty ošetřené PROVEO MEGA (-7 rostlin) a nejnižších hodnot počet u varianty ošetřené PROVEO POLYMYXA (-16,8 rostlin).



Graf 6: Hmotnost rostlin jednotlivých variant

V rámci pokusu byla kromě počtu rostlin hodnocena i jejich hmotnost. Statisticky průkazné rozdíly zde sice nebyly zjištěny, ovšem průměrné hodnoty varianty ošetřené PROVEO POLYMYXA vykazovaly nejvyšší hodnoty. V porovnání s kontrolní neošetřenou variantou se jedná o vyšší hmotnost o 15,3 % (+109 g).

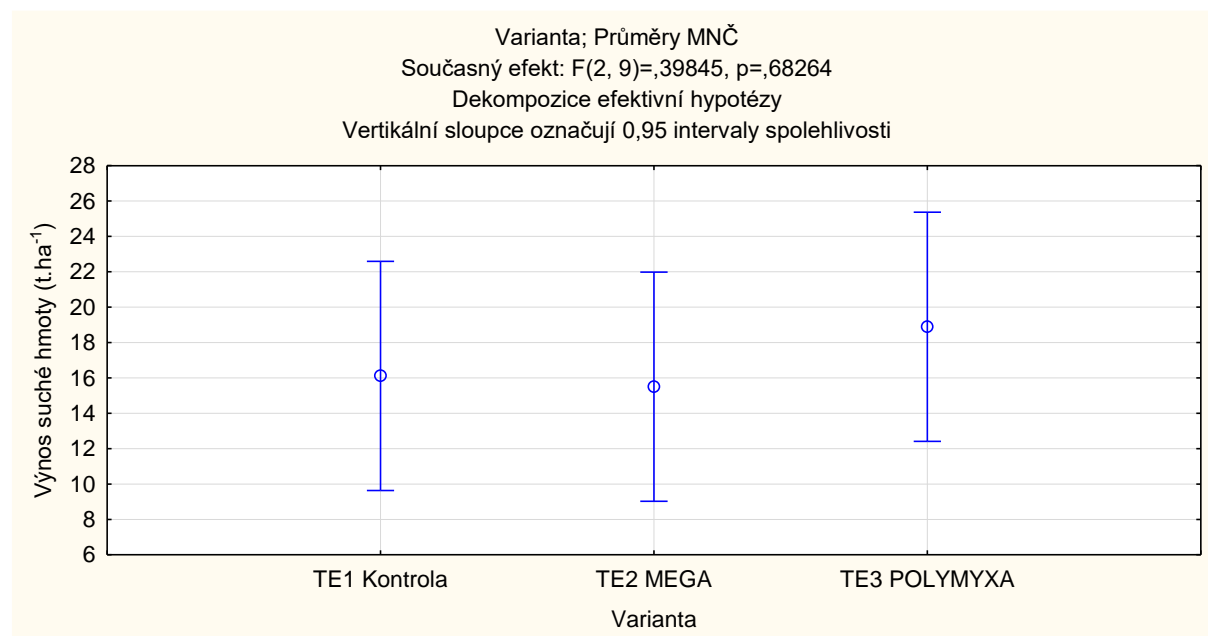
Při hodnocení varianty TE2 PROVEO MEGA byl zjištěný opačný trend než u varianty TE3. Průměrná hmotnost 1 rostliny varianty TE2 v porovnání s rostlinou kontrolní varianty je o 3,4 % nižší.



Graf 7: Výnos čerstvé biomasy jednotlivých variant

Byť byl počet rostlin u varianty ošetřené PROVEO POLYMYXA nejnižší tak výnos zelené hmoty spočítaný pomocí hmotnosti rostlin, která byla v porovnání s ostatními variantami

nejvyšší, a plochy vykazoval nejvyšší hodnotu (**49,78 t.ha⁻¹**). V porovnání s hodnotou zjištěnou u kontrolní varianty TE1 se jedná o rozdíl +10,51 t.ha⁻¹, což je navýšení výnosu o 26,7 %. Nejedná se ovšem o statisticky relevantní rozdíl. V porovnání výnosu biomasy TE3 PROVEO POLYMYXA byl výnos u varianty ošetřené PROVEO MEGA nižší (**-11,81 t.ha⁻¹**). Střední hodnoty dosáhla kontrolní neošetřená varianta (**39,27 t.ha⁻¹**).



Graf 8: Výnos suché hmoty jednotlivých variant

Přepočítaný výnos suché hmoty činil u varianty TE3 POLYMYXA 20,61 t.ha⁻¹. Tato hodnota je o 4,5 t.ha⁻¹ vyšší než u TE1 kontrolní varianty. To znamená, že výnos sušiny varianty TE3 je o 28 % vyšší než u kontrolní varianty. Vliv aplikovaného přípravku PROVEO POLYMYXA vykazuje zde výrazný pozitivní vliv. Dané procentuální navýšení výnosu sušiny je obdobné jako u navýšení výnosu zelené hmoty. Daný statistický rozdíl ovšem ani zde není průkazný.

Hmotnost sušiny varianty TE2 PROVEO MEGA je nižší než u kontrolní varianty (**-0,61 t.ha⁻¹**).

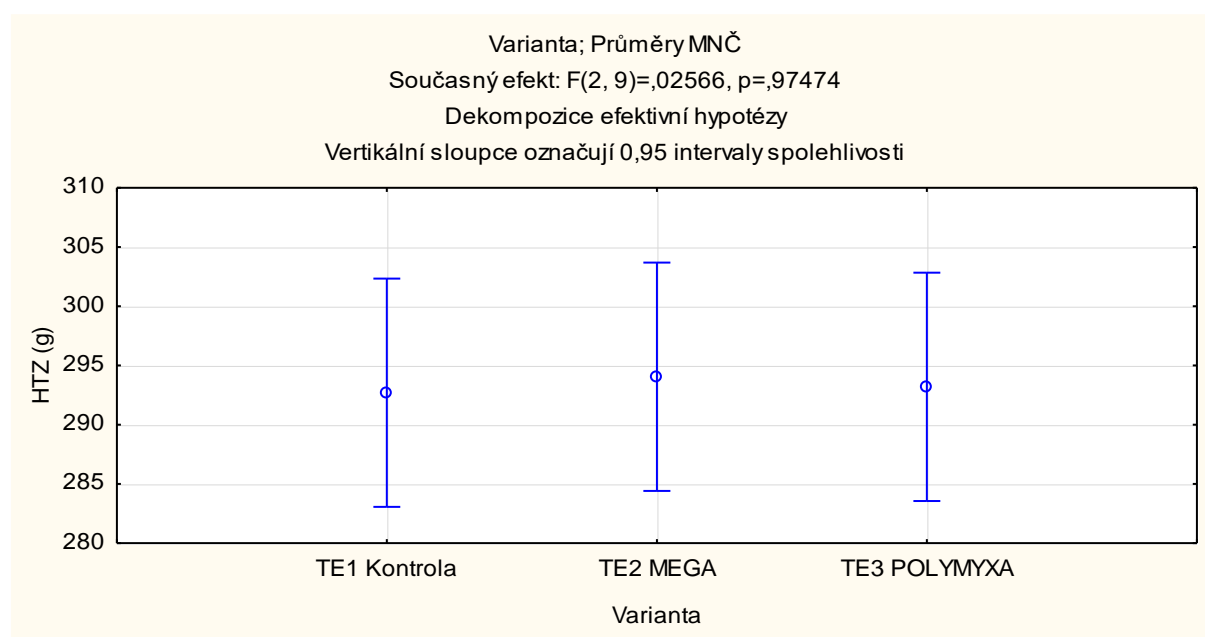
Co se týče obsahu sušiny, tak nejvyšší procento se zjistilo u TE3 varianty s aplikovanou látkou PROVEO POLYMYXA. U kontrolní varianty byl obsah sušiny v hodnotě 40,8 %. TE3 varianta dosahovala o 2,7 % vyššího obsahu sušiny. U varianty TE2 byl daný obsah v porovnání s kontrolní variantou vyšší o pouze o 0,8 %. Ani zde ovšem nebyly zjištěny statisticky průkazné rozdíly

5.2.2 Vyhodnocení výnosu zrna

Tabulka 10: Výnos zelené hmoty, výnos suché hmoty a HTZ u zrnové kukuřice

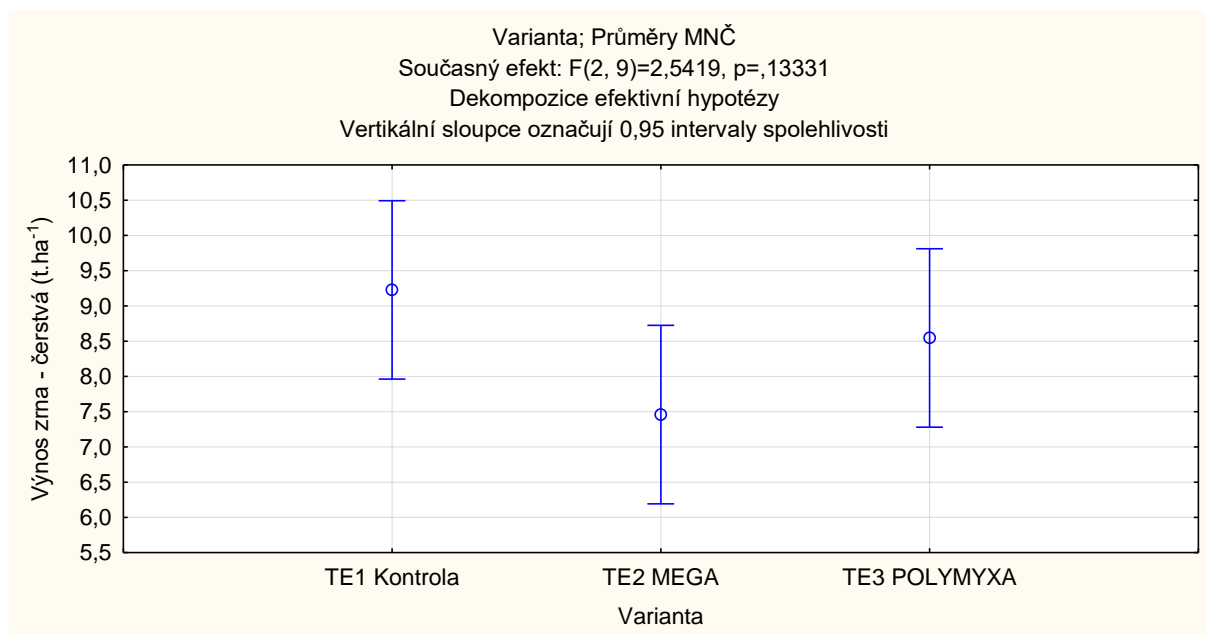
varianta	výnos zrna – čerstvá (t.ha ⁻¹)	HTZ	Hmotnost zrna na rostlinu (g)
TE1 Kontrola	9,22 a	292,7 a	138,4 a
TE2 MEGA	7,45 a	294,1 a	111,9 a
TE3 POLYMYXA	8,55 a	293,2 a	128,2 a

a – stejná písmena ve sloupci pod sebou značí statisticky neprůkazné rozdíly Tukey ANOVA HSD test



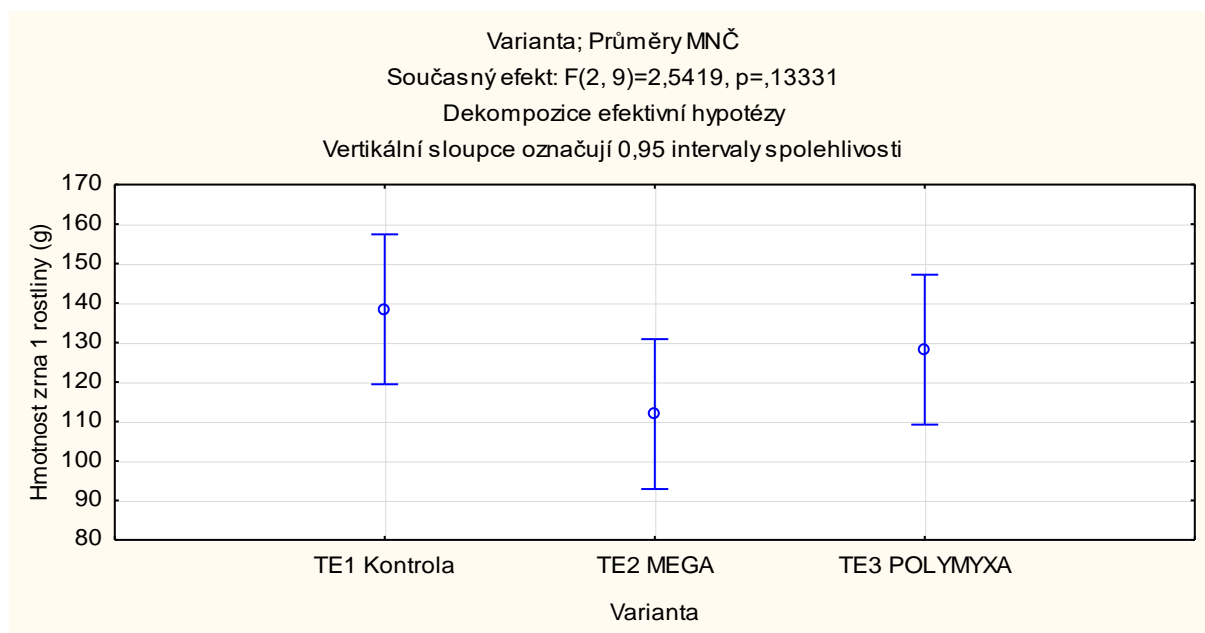
Graf 9: HTZ zrna jednotlivých variant

V rámci výzkumu bylo zjišťováno i HTZ třech pozorovaných variant. U kontrolní varianty dosahovalo HTZ hodnoty 292,7 g. V případě TE3 varianty PROVEO POLYMYXA byla hodnota vyšší (+0,5 g) a TE2 varianty PROVEO MEGA také (+3,4 g). Přípravky neměly statisticky průkazný vliv na HTZ zrna.



Graf 10: Výnos zrna v čerstvém stavu u jednotlivých variant

Výnos zrna přepočítaný na 15% vlhkost byl nejvyšší u kontrolní varianty TE1 (**9,22 t.ha⁻¹**). Nižší hodnoty se objevily u TE3 varianty PROVEO POLYMYXA a nejnižší u TE2 varianty PROVEO MEGA (**1,77 t.ha⁻¹**). Přípravky neměly statisticky průkazný vliv na zvýšení výnosu zrna.



Graf 11: Hmotnost zrna jedné rostliny u jednotlivých variant

Porovnání průměrných hodnot všech variant vychází poměrově stejně jako zrna v čerstvém stavu. Nejvyšší hodnotu lze najít u kontrolní varianty (**138,4 g**). Sestupně pak klesá hmotnost zrna u varianty TE3 a TE2. Nebyl zjištěn průkazný vliv přípravků na hmotnost zrna na jednu rostlinu.

5.3 Komentář k výzkumným hypotézám

5.3.1 Hypotéza 1

Předpokládá se, že aplikace pomocných půdních přípravků na list kukuřice bude mít pozitivní vliv na celkový výnos zelené hmoty a sušiny u kukuřice na siláž.

H_0 : Předpokládá se, že aplikace pomocných půdních přípravků na list kukuřice nebude mít pozitivní vliv na celkový výnos zelené hmoty a sušiny u kukuřice na siláž.

H_1 : Předpokládá se, že aplikace pomocných půdních přípravků na list kukuřice bude mít pozitivní vliv na celkový výnos zelené hmoty a sušiny u kukuřice na siláž.

Statistické vyhodnocení dat k této hypotéze je uvedeno v grafu 7 a grafu 8. V grafu 7 vyšlo $p(0,83920) > 0,05$. V grafu 8 vyšlo $p(0,68264) > 0,05$. Tudíž v obou případech byla potvrzena H_0 .

Hypotéza „Předpokládá se, že aplikace pomocných půdních přípravků na list kukuřice bude mít pozitivní vliv na celkový výnos zelené hmoty a sušiny u kukuřice na siláž“ tak byla vyvrácena.

5.3.2 Hypotéza 2

Předpokládá se, že aplikace půdních bakterií v porostu kukuřice bude mít pozitivní vliv na růst kořenů.

H_0 : Předpokládá se, že aplikace půdních bakterií v porostu kukuřice nebude mít pozitivní vliv na růst kořenů.

H_1 : Předpokládá se, že aplikace půdních bakterií v porostu kukuřice bude mít pozitivní vliv na růst kořenů.

Statistické vyhodnocení dat k těmto hypotézám je uvedeno v grafu 2 a grafu 3. V grafu 2 vyšlo $p(0,35037) > 0,05$. V grafu 3 vyšlo $p(0,22687) > 0,05$. Tudíž v obou případech byla potvrzena opět H_0 .

Druhá hypotéza „Předpokládá se, že aplikace pomocných půdních přípravků na list kukuřice bude mít pozitivní vliv na celkový výnos zelené hmoty a sušiny u kukuřice na siláž“ tak byla také vyvrácena.

6 Diskuze

Jako způsob ochrany životního prostředí, ušetření prostředků na koupi a aplikaci minerálních hnojiv a zajištění udržitelného zemědělství v 21. století se souběžným zajištěním dostatečných výnosů sklizené kukuřice byly v pokusu aplikované přípravky obsahující bakterie. Ty měly zajistit fixaci vzdušného dusíku, zvýšení příjmu živin z půdy, podpořit růst kořenového systému mladých rostlin, zvýšit intenzitu fotosyntézy a zvýšit tak i objem a kvalitu sklizeného produktu.

V souvislosti s podporou růstu v počátečních fázích vegetace, kdy je to z hlediska růstu kořenů stěžejní se ovšem pozitivní předpoklady popisované v předešlém odstavci neprojeví. Podle Lipkové et al. (2021) nabízí využití *Bacillus megaterium* významný potenciál ve zvýšení délky kořenů a hmotnosti celé rostliny již po 4 týdnech vývoje. Dle jejích výsledků se délka kořenů zvýšila celkově o 18,52 % v porovnání s kontrolní skupinou (jednalo se dokonce o statisticky průkazný rozdíl). V případě našeho pokusu a měření ve fázi BBCH 18 měla však varianta s aplikovanou bakterií *Bacillus megaterium* v souvislosti s délkou kořenů vzhledem ke kontrolní variantě o 4 % horší výsledek (Graf 2). Je nutné zmínit, že statisticky průkazného rozdílu dosáhla Lipková et al. (2021) v pokusu u rostlin kukuřice pěstovaných v kultivačních komorách za kontrolovaných podmínek. Daný potenciál by se ovšem měl projevit, byť s nižším efektem i v přirozených polních podmínkách.

Vliv aplikované bakterie *P. polymyxa* byl také zkoumán v souvislosti s dynamikou růstu kořenů (BBCH 18). V pokusu, který popisoval Puri et al. (2016) byly měřeny délky kořenů variant rostlin kukuřice během růstu s aplikovanou zmíněnou bakterií a rostliny kontrolní skupiny. V nejlepším případě byly kořeny zkoumané varianty delší dokonce o 66,6 %, v horším případě o 55,5 %. Jedná se o pozoruhodné výsledky. Ovšem statisticky nebyly příliš relevantní. I tak je vidět jasný efekt, který aplikované bakterie přinesly. Také je zde třeba zmínit, že se nejednalo o polní podmínky, neboť byly rostliny v květináčích s kontrolou nad abiotickými faktory.

V našem pokusu měly rostliny v první polovině vegetace lepší výsledek v délce kořenů pouze u varianty s aplikovaným přípravkem obsahujícím *P. polymyxa*. Délka kořenů byla ale vůči kontrolní variantě delší pouze o 1,7 %. Statisticky byl rozdíl nevýznamný (Graf 2).

Co se týče výšky rostlin, tak nebyl během dne měření kořenů a jejich sušiny ani zde zjištěný pozitivní vliv aplikovaných bakterií. Naopak nejvyšší průměrné hodnoty dosáhla kontrolní varianta (Graf 1).

Dle studií jiných autorů byl předpoklad výsledků zjišťovaných během vegetace jiný. Je ovšem nutné poukázat na variabilitu podmínek, které v polním pěstování hrozí. Konkrétně se jedná o klimatické podmínky.

Vlivem nadnormálního stavu srážek během března (55,3 mm oproti průměrné hodnotě 28 mm) a silně nadnormálního stavu srážek během dubna (45,4 mm oproti průměrné hodnotě 27 mm) byla výrazně opožděná možnost přípravy půdy pro setí. Kvůli tomu bylo i setí podstatně zpožděné, nejvíce v historii Výzkumné stanice v Červeném Újezdě. Konkrétně se jednalo až o 12. květen. Problémem byl ovšem i srážkově mimořádně podnormální průběh května, kdy na plochách výzkumné stanice panovaly prakticky aridní podmínky (Tabulka 3). Ty měly

nesporný negativní efekt na aplikaci přípravků obsahující zvolené bakterie. Oba přípravky PROVEO MEGA i na trhu ještě nedostupný a zkoumaný přípravek PROVEO POLYMYXA je třeba aplikovat buď preemergentně, nebo do prvotních růstových fází porostu (Tabulka 5). Podmínkou ovšem je dostatek vláhy pro vývoj a množení v nich obsažených bakterií. S jejich aplikací se čekalo na vhodné vláhové podmínky v extrémně suchém květnu déle, než bylo plánováno (do 19. května). Veškeré popisované události vedly pravděpodobně k tomu, že bakterie neměly optimální podmínky pro svůj rozvoj a množení, čímž byl v počátcích vegetace snížen jejich očekávaný pozitivní efekt na růst kořenů i celých rostlin. A to vše i přesto, že byly zvolené maximální možné/doporučené dávky daných přípravků (PROVEO POLYMYXA coby experimentální přípravek nemá stanovené přesné podmínky aplikace, pouze doporučené). Zmíněný pozitivní efekt je významný jak při panujících ideálních klimatických podmínkách, tak i v době pro rostliny vznikajícího stresu vlivem například deficitu půdní vláhy, nízkých teplot či snížené dostupnosti živin (Çakmakçi et al. 2006, Figueiredo et al. 2008).

U rostlin kukuřice je nutné počítat s faktem, kterým je pomalejší rozvoj kořenového systému. Následkem pomalejšího růstu je i možný vznik rizika nižšího zásobení některými živinami potřebnými zejména v prvních fázích vegetace. Jednou z těchto živin je fosfor. Ten má důležitou funkci právě na počátku růstu, kterou je podpora a urychlení vývoje jak podzemní, tak i nadzemní biomasy. Právě růst kořenového systému v první fázi vegetace je stěžejní pro následné zásobení vodou a živinami (kapitola „Výživové potřeby kukuřice“). V zemědělské praxi se z těchto důvodů využívá hnojení pod patu, prostřednictvím kterého je dodána potřebná míra popisovaného prvku pro podporu růstu mladých rostlin. Zvláště při zjištěném nižším obsahu přístupného fosforu v půdě při agrochemickém zkoušení půd (Battisti et al. 2023; Brant et al. 2016). V případě tohoto pokusu byl obsah přístupného fosforu střední, což samo o sobě nemusí mít negativní dopad, ale objevit se může. Zde byla absence hnojení startovací dávky pod patu. Vyvíjející se mladé rostlinky tak musely čelit jak nedostatku vody vlivem suchého května, tak i střednímu množství přístupného fosforu, jehož sníženou dostupnost ještě zvýraznilo omezené množství půdního roztoku. Tyto faktory tak představovaly neoptimální podmínky pro rozvoj porostu. Variantám rostlin s aplikovanými půdními bakteriemi pravděpodobně nepomohla ani schopnost fixátorů solubilizovat půdní fosfor a zvýšit jeho přístupnost rostlinám vlivem nevhodných vláhových podmínek a mírně opožděné plánované aplikaci.

Na příjmu fosforu pro podporu počátečního růstu kořenů i nadzemní biomasy se podílí významně panující teploty, které se ovšem pohybovaly v normálních hodnotách a dále také pH půdy. Jeho hodnota byla na pokusném pozemku 6,9, což představuje neutrální prostředí. Tento faktor byl tedy příznivý pro příjem rostlinami. Ovšem daná hodnota může částečně vysvětlovat absenci pozitivního efektu aplikovaného přípravku PROVEO MEGA. Daný přípravek má totiž dle etikety zmiňované pozitivní vlivy na příjem živin a popisovaného fosforu zvláště v půdním prostředí s pH nižším než 6.

Přítomnost ostatních přístupných živin vyšel během AZP v celku dobrý bez předpokladu negativního vlivu na vývoj porostu. Střední hodnota dusíku zjištěná během N_{min} testů byla podpořena hnojením LAD 27 na široko před setím. A co se týče zjišťovaného humusu v půdě, tak jeho obsah byl dle testu definován jako střední. Půdní podmínky tedy vykazují dobrý stav (Metodika).

Výsledky měření mohly být také zkreslené možným nerovnoměrným aplikováním LAD 27 před setím. Teoreticky vzniklá ohniska s menším či větším množstvím dopadnutých granulí mohla následně ovlivnit jednotlivé sektory i v rámci jednotlivých parcel. Je třeba myslet na veškeré možnosti, které mohly ovlivnit výsledky pokusu ovšem daná možnost není v tomto případě pravděpodobná.

Další vývoj všech tří variant byl silně ovlivněn klimatickými podmínkami následných měsíců. Vláhově nevhodné podmínky trvaly téměř dva měsíce. Pršet začalo právě až ke konci června. To vedlo ke snížení až zániku stresu a k následně normálnímu, avšak opožděnému vývoji rostlin.

Během sklizně byl zjištěn ve sklizených řádcích nižší počet rostlin u variant s aplikovanými přípravky. Důvodem mohlo být nerovnoměrné vzházení během neoptimálních podmínek v prvních fázích vegetace. Mohlo se také jednat o problém náhodný v souvislosti s výskytem Zavíječe kukuřičného, který byl na rostlinách zpozorován. Jeho přičiněním mohlo dojít k lámání stébel a redukci počtu rostlin (Kazda 2014). Byť výskyt Zavíječe kukuřičného byl potvrzený tak během sklizně nebyly spadané rostliny pozorovány v takovém množství a v souvislosti s konkrétními variantami, aby tato možnost byla pravděpodobná. Další možností je i to, že mohlo dojít k problémům se secím strojem, neboť z počátku se opravdu daná situace řešila. Problém byl ovšem zjištěn a vyřešen již v začátcích procesu, a proto tato varianta také není příliš pravděpodobná.

Kontrastem k nižšímu počtu sklizňových rostlin varianty s aplikovaným PROVEO POLYMYXA byla průměrná hmotnost jedné rostliny, která dosáhla nejvyšších hodnot (Graf 6). Průměrný výnos čerstvé biomasy a stejně tak i výnos suché hmoty přepočtený na hektar byl tedy nejvyšší právě u této varianty (Graf 7). Daný pozitivní vliv ve zvýšení sklizené biomasy se shoduje i s pokusy dle Puri et al. (2015). Spekulací ovšem může být, jestli zvýšení průměrné hmotnosti jedné rostliny nebylo vyvolané tím, že měly rostliny kolem sebe více místa a nevyužily tak lépe potenciál slunečního záření. Výsledky týkající se zvýšeného množství sklizené biomasy ovšem v tomto pokusu nebyly statisticky průkazné.

Druhá varianta s aplikovanými bakteriemi v přípravku PROVEO MEGA nevykazovala pozitivní vliv na výnos zelené hmoty, výnos suché hmoty ani na průměrnou hmotnost jedné rostliny. *P. polymyxa* i *Bacillus megaterium* jsou jak endofytické bakterie, tak i bakterie s přímou spojitostí na rhizosféru kořenů (Döbereiner 1992; Lipková et al. 2021, Puri et al. 2016; Zhu et al. 2023). Ovšem zatímco *P. polymyxa* by dle Puri et al. (2016) v rhizosferickém prostředí měla podporovat růst rostlin fixací a zpřístupňováním živin tak *Bacillus megaterium* má v rhizosféře dle Zhu et al. (2023) jiný dominantní mechanismus podpory růstu rostlin. Obdobně jako uvádí etiketa výrobku, že je přípravek PROVEO MEGA vhodný do půd s pH nižším než 6 (což je určitý limitující faktor při pěstování) tak Zhu et al. tvrdí, že významný pozitivní efekt má *Bacillus megaterium* na růst kukuřice v půdách s vysokým obsahem solí (opět limitující faktor při pěstování). Jeho mechanismus účinku je změna houbových a bakteriálních společenstev v rhizosféře kukuřice, což následně podpoří vývoj rostlin a zvýší i výnos zelené hmoty. Takové půdní prostředí ovšem při tomto pokusu nebylo.

Vyvozuji z toho, že dle Zhu et al. (2023) a doporučení přípravku PROVEO MEGA je *Bacillus megaterium* vhodný spíše do půd s problematickými půdními podmínkami, které na

výzkumné parcele nebyly (když pominu deficit vody v počátečních vývoje rostlin, který pravděpodobně negativně ovlivnil rozvoj bakterií).

Déšť přichází prakticky až v období žní, a proto kukuřice nevyužívá svůj výnosový potenciál. Nejvyšší HTZ bylo zjištěno u varianty s ošetřením PROVE MEGA, výnos zrna na rostlinu, potažmo i výnos zrna počítaný na jeden hektar ovšem byly nejnižší (Graf 9). Výnos zrna v čerstvém stavu byl nejvyšší u kontrolní varianty a u variant s ošetřením PROVEO POLYMYXA byly hodnoty střední (Graf 10).

Již dle zjištění výnosu zelené hmoty byly očekávány u varianty s aplikovaným PROVEO POLYMYXA vyšší hodnoty sklizeného zrna. Negativně mohlo dané výsledky ovlivnit zkrácení vegetace vlivem pozdějšího setí či neoptimálně rozložené srážky během vegetace. Jak bylo již zmíněno v souvislosti s počtem rostlin v řádku, tak v porostu byl výskyt Zavíječe kukuřičného. S tímto škůdcem obvykle úzce souvisí i napadení houbovými chorobami (Kazda et al. 2010). V případě našeho pokusu se objevila ve zrna houba rodu *Fusarium L.* (kapitola „Ochrana porostu kukuřice během vegetace“). Jedná se o další faktor, který mohl mít negativní vliv na měřené hodnoty.

Ještě před započítáním pokusu jsem byl přesvědčený o pozitivním vlivu bio-stimulantů na bázi bakterií a jejich přínosu v zemědělském hospodaření. Výsledky daného pokusu statistického vyhodnocení toto přesvědčení ani hypotézy, které na něm byly založené nepotvrdil. Z hlediska ekologie měly aplikace bakterií umožnit nižší dávkování minerálních hnojiv ovšem se zajištěním stejných výnosů. Protože byly ovšem hypotézy vyvráceny nelze doporučit snížení dávek minerálních hnojiv, natož je počítat, při aplikaci bio-stimulantů na bázi bakterií *P. polymyxa* či *Bacillus megaterium*. Pozitivní ekologický efekt na vyplavování minerálních živin a zatěžování životního prostředí tímto pokusem nebyl potvrzen.

7 Závěr

Tématem diplomové práce bylo pěstování silážní a zrnové kukuřice a možnost snížení aplikace minerálních hnojiv s předpokladem, že aplikované bakterie fixující vzdušný dusík a zpřístupňující další živiny rostlinám toto snížení umožní. Efektem poklesu množství aplikovaných minerálních hnojiv byl ekologický přesah související s vyplavováním minerálních forem živin z půdy a zvyšující se koncentrací daných prvků v podzemních i povrchových vodách. Dalším pozitivem by bylo ušetření nákladů na koupi a aplikaci daných minerálních hnojiv.

Hypotézy o zvýšení výnosu zelené hmoty a sušiny silážní kukuřice a o podpoře růstu kořenů u variant rostlin s aplikovanými přípravky PROVEO MEGA a PROVEO POLYMYXA, coby bio-stimulantů na bázi bakterií ovšem byly vyvráceny. U varianty s *Bacillus megaterium* nebyly zjištěny z hlediska zkoumaných hypotéz žádné pozitivní vlivy. U *Paenibacillus polymyxa* byl zjištěn mírný pozitivní efekt na délku kořenů a výnos zelené hmoty i sušiny silážní kukuřice. U dané varianty bylo ale spočítáno nižší množství sklizňových rostlin ve vybraném řádku, což mohlo ovlivnit průměrnou hmotnost jedné rostliny, a i přepočítaný výsledek výnosu na hektar. Mírně vyšší průměrné hodnoty ovšem i tak nebyly statisticky průkazné.

V porovnání s jinými popisovanými výsledky výzkumů přinesl tento pokus zásadní informace týkající se využití bakterií v polních podmínkách v zemědělské praxi. Předěšlé výzkumy s danými bakteriemi v dohledaných zdrojích byly založené na kontrole abiotických podmínek, neboť byly vedené buď v kultivačních komorách nebo byly rostliny umístěny v květináčích s řízenou záhlvkou. Díky tomuto pokusu mohou zemědělci využití bakterií provádět v závislosti na očekávaných klimatických podmínkách, či dle těch stávajících zvážit přihnojení minerálně. Pak by se ovšem jednalo o zvýšení nákladů. Je tedy třeba se danou problematikou dále zabývat, aby byla nalezena vhodná a efektivní systematika využití daných bakterií.

Osobně vidím potenciál v opakování pokusu. Primárně s aplikací PROVE POLYMYXA. Smysl vidím v pravděpodobnosti klimaticky vhodnější sezóny na daném stanovišti pro pěstování kukuřice, než byla v roce 2023. Vhodnější podmínky by mohly umožnit dřívější termín setí a lepší vláhové poměry pro rozvoj aplikovaných bakterií v počátku vegetace. Dále vidím potenciál v čtenějších měření hodnot během vegetace pro lepší pochopení reakcí populací bakterií na aktuální vláhové a teplotní podmínky a jejich následném efektu na rostliny.

8 Literatura

Aasfar A, Bargaz A, Yaakoubi K, Hilali A, Bennis I, Zeroual Y, Meftah KI. 2021. Nitrogen fixing Azotobacter species as potential soil biological enhancers for crop nutrition and yield stability. *Frontiers in microbiology* **12**:628379.

Ali A, Muhammad ES, Muhammad I, Rafi Q, Muhammad AA, Bashrat A, Muhammad AJ. 2017. Inter-and Intra-Row and plant spacing impact on maize (*Zea mays* L.) growth and productivity: A review. *International Journal of Advanced Science and Research* **2(1)**, 10-14.

Allard RW. 1999. History of plant population genetics. *Ann Rev Gen* **33**:1-27.

Andric L, Rastija M, Teklic T, Kovacevic V. 2012. Response of maize and soybeans to liming. *Turkish Journal of agriculture and forestry* **36(4)**:415-420.

Aquilanti L, Favilli F, Clementi F. 2004. Comparison of different strategies for isolation and preliminary identification of Azotobacter from soil samples. *Soil Biology and biochemistry* **36(9)**:1475-1483.

Arun KS. 2007. Biohnojiva pro udržitelné zemědělství. *Agribios* 6:76-77.

B. Šarapatka (2008), Fyzikální degradace půdy a způsoby ochrany, *Ekozemědělci v přírodě*, 1: 26-27.

Baranyk P, Fábry A. 2007. Řepka: pěstování, využití, ekonomika. Profi Press, Praha.

Barker AV, Pilbeam DJ. 2015. *Handbook of Plant Nutrition*. CRC Press, Boca Raton.

Bartholomew WV, Clark FE. 1965. *Soil Nitrogen*. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.

Bashan Y, de-Bashan LE, Prabhu SR, Hernandez JP. 2014. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant and soil* **378**:1-33.

Battisti M, Moretti B, Blandino M, Grignani C, Zavattaro L. 2023. Maize response to nitrogen and phosphorus starter fertilisation in mineral-fertilised or manured systems. *The Crop Journal* **11**:922-932. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214514122002264> (accessed March 21, 2024).

Belej J, Janda J. 1982. *Kukurica. Příroda*, Bratislava.

BELEJ J. 1982 *Kukurica. Příroda*, Bratislava.

Berzsenyi Z, Győrffy B, Lap DQ. 2000. Effect of crop rotation and fertilisation on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment. *European Journal of Agronomy* **13**:225-244. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1161030100000769> (accessed March 18, 2024).

Bhattacharyya P. N, Jha DK. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* **28**:1327-1350.

Bindraban PS, Dimkpa C, Nagarajan L, Roy A, Rabbinge R. 2015. Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants. *Biology and Fertility of Soils* **51**:897-911. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s00374-015-1039-7> (accessed March 3, 2024).

Bindraban PS, Dimkpa C, Nagarajan L, Roy A, Rabbinge R. 2015. Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants. *Biology and Fertility of Soils* **51(8)**:897-911.

Brant V, Bečka D, Cihlář P, Fuksa P, Hakl J, Holec J, Chyba J, Jursík M, Kobzová D, Krček V, Kroulík M, Kusá H, Novotný I, Pivec J, Prokinová E, Růžek P, Smutný V, Škeříková M, Zábranský P. 2016. Pásové zpracování půdy (strip tillage): klasické, intenzivní a modifikované. Profi Press, Praha.

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

Brenner DJ, Staley JT, Krieg NR. 2005. Classification of procaryotic organisms and the concept of bacterial speciation. *Bergey's manual of systematic bacteriology*. Springer, Boston.

Çakmakçi R, Dönmez F, Aydın A, Şahin F. 2006. Growth promotion of plants by plant growth-promoting rhizobacteria under greenhouse and two different field soil conditions. *Soil Biology and Biochemistry* **38(6)**:1482-1487.

Čvančara F. 1962. Zemědělská výroba v číslech. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

Deac V, Rotar I, Vidican R, Ignea M, Mălinaş A. 2015. The influence of precursory plant on winter wheat production from long-term experiences. *Bulletin UASVM Agriculture* **72 (1)**.

Deubel A, Merbach W. 2005. Influence of microorganisms on phosphorus bioavailability in soils. In *Microorganisms in soils: roles in genesis and functions*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin.

Ding L, Wang KJ, Jiang GM, Liu MZ, Gao LM. 2007. Photosynthetic rate and yield formation in different maize hybrids. *Biologia plantarum* **51**:165-168. Available at <http://bp.ueb.cas.cz/doi/10.1007/s10535-007-0032-x.html> (accessed March 14, 2024).

Diviš J. 2010. Pěstování rostlin: (učební texty pro obor provozní podnikatel a pozemkové úpravy a převody nemovitostí)2., dopl. vyd.. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, České Budějovice.

Diviš JA, Júza J, Moudrý J, Vondrys J, Bárta J. 2010. Pěstování rostlin. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, České Budějovice.

Döbereiner J. 1992. Recent changes in concepts of plant bacteria interactions: endophytic N₂ fixing bacteria. *Ciência e Cultura* **44(5)**:310-313.

Dostál J, Richter R. 2008. Porovnání kvality kejdy digestátem z bioplynových stanic a jejich využití ke hnojení zemědělských plodin. Sborník z odborného semináře Kukuřice v praxi, KWS Osiva s. r. o., Brno.

Erisman JW, Sutton MA, Galloway J, Klimont Z, Winiwarter W. 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature geoscience* **1(10)**:636-639.

Figueiredo MV., Burity HA, Martinez CR, Chanway CP. 2008. Alleviation of drought stress in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by co-inoculation with *Paenibacillus polymyxa* and *Rhizobium tropici*. *Applied soil ecology* **40(1)**:182-188.

Freitas ADSD, Vieira CL, Santos CEDR, Stamford NP, Lyra MDCCPD. 2007. Caracterização de rizóbios isolados de Jacatupé cultivado em solo salino no Estado de Pernambuco, Brasil. *Bragantia* **66**:497-504.

Gage DJ. 2004. Infection and Invasion of Roots by Symbiotic, Nitrogen-Fixing Rhizobia during Nodulation of Temperate Legumes. *Microbiol. Mol. Biol.* **68**:280-300.

Gu B, Ge Y, Chang SX, Luo W, Chang J. 2013. Nitrate in groundwater of China: Sources and driving forces. *Global Environmental Change* **23**:1112-1121. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959378013000782> (accessed March 19, 2024).

Gul S, Khan MH, Khanday BA, Nabi S. 2015. Effect of Sowing Methods and NPK Levels on Growth and Yield of Rainfed Maize (*Zea mays* L.). *Scientifica* **2015**:1-6. Available at <http://www.hindawi.com/journals/scientifica/2015/198575/> (accessed March 16, 2024).

Gul S, Khan MH, Khanday BA, Nabi S. 2015. Effect of Sowing Methods and NPK Levels on Growth and Yield of Rainfed Maize (*Zea mays* L.). *Scientifica* **2015**:1-6. Available at <http://www.hindawi.com/journals/scientifica/2015/198575/> (accessed March 21, 2024).

Guo JH, Liu XJ, Zhang Y, Shen JL, Han WX, Zhang WF, Christie P, Goulding KWT, Vitousek PM, Zhang FS. 2010. Significant Acidification in Major Chinese Croplands. *Science* **327**:1008-1010. Available at <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1182570> (accessed March 19, 2024).

Gupta VVSR, Roper MM, Roget DK. 2006. Potential for non-symbiotic N₂-fixation in different agroecological zones of southern Australia. *Soil Research* **44(4)**:343-354.

Hakansson I, Stenberg M, Rydberg t. 1998. Long-term experiments with different depths of mouldboard ploughing in Sweden. *Soil & Tillage research* **46(3-4)**:209-223.

Hellriegel H. 1883. Beiträge zu den Naturwiss. Grundlagen des Ackerbaus. Vieweg und Sohn, Braunschweig.

Herridge DF, Peoples MB, Boddey RM. 2008. Global inputs of biological nitrogen fixation in agricultural systems. *Plant. Soil* **311**:1-18.

HLUŠEK, Jaroslav, 2004c. Statková hnojiva – kejda. Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU V Brně, Brno. Available from: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/kejda.htm (accessed December 2023)

Hochholdinger, F. et al. 2004. From weeds to crops: genetic analysis of root development in cereals. *Trends in Plant Science* **1**:42–48.

Hruška J. 1962. Monografie o kukuřici. Státní zemědělské nakladatelství, Praha.

https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/hnojeni_plodin/ (accessed December 2023)

Cheng, Q. 2008. Perspectives in biological nitrogen fixation research. *Journal of integrative plant biology* **50(7)**:786-798.

Choudhury ATMA, Kennedy, I. R. (2004). Prospects and potentials for systems of biological nitrogen fixation in sustainable rice production. *Biology and Fertility of Soils* **39**:219-227.

Illmer P, Schinner F. 1995. Solubilization of inorganic calcium phosphates—solubilization mechanisms. *Soil Biology and Biochemistry* **27(3)**:257-263.

Iqbal S, Tahir S, Dass A, Bhat MA, Rashid Z. 2020. Bio-efficacy of pre-emergent herbicides for weed control in maize: a review on weed dynamics evaluation. *Journal of Experimental Agriculture International* **42(8)**, 13-23.

Isayenkov SV. 2012. Physiological and molecular aspects of salt stress in plants. *Cytology and Genetics* **46(5)**:302–318.

Jambhulkar PP, Sharma P, Yadav R. 2016. Delivery Systems for Introduction of Microbial Inoculants in the Field. 199-218 in *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity*. Springer India, New Delhi. Available at http://link.springer.com/10.1007/978-81-322-2644-4_13 (accessed March 6, 2024).

Jean ME, Phalyvong K, Forest-Drolet J, Bellenger JP. 2013. Molybdenum and phosphorus limitation of symbiotic nitrogen fixation in forests of Eastern Canada: influence of vegetative cover and seasonal variability. *Soil Biology and Biochemistry* **67**:140-146.

Jones DL, Oburger E. 2011. Solubilization of phosphorus by soil microorganisms. *Phosphorus in action: biological processes in soil phosphorus cycling* **1**:169-198.

Jursík M, Soukup J. 2006. Regulace plevelů v kukuřici *Agromanuál* **1**:1801-7673.

Kannaiyan S, Govindarajan K, Lewin HD. 1980. Effect of foliar spray of *Azotobacter chroococcum* on rice crop. *Plant and Soil* **56**:487-490.

Karayel DAVUT, Ozmerzi A. 2002. Effect of tillage methods on sowing uniformity of maize. *Canadian Biosystems Engineering* **44**, 2-23.

Kazda J, Mikulka J, Prokinová E. 2010. *Encyklopedie ochrany rostlin*. Profi Press, Praha.

Kazda J. 2014. *Škůdci polních plodin*. Profi Press, Praha.

Kennedy IR, Choudhury ATMA, Kecskés ML. 2004. Non-symbiotic bacterial diazotrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promotion be better exploited?. *Soil Biology and Biochemistry* **36(8)**:1229-1244.

Khaeim H, Kende Z, Jolánkai M, Kovács GP, Gyuricza C, Tarnawa Á. 2022. Impact of Temperature and Water on Seed Germination and Seedling Growth of Maize (*Zea mays* L.). *Agronomy* **12**. Available at <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/2/397> (accessed March 14, 2024).

Kizilkaya R. 2009. Nitrogen fixation capacity of *Azotobacter* spp. strains isolated from soils in different ecosystems and relationship between them and the microbiological properties of soils **30(1):73-82**.

Klem K. 2011. Využití diagnostických metod pro rozhodovací procesy v pěstební technologii jarního ječmene: (metodika pro zemědělskou praxi). Agrotest fyto, Kroměříž.

Konvalina P, Moudrý J. 2007. Pěstování rostlin v ekologickém zemědělství. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.

Koutná P. 2006. Ekologické zemědělství [PhD Thesis]. Masarykova univerzita, Brno.

Kratz S, Vogel C, Adam C. 2019. Agronomic performance of P recycling fertilizers and methods to predict it: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **115:1-39**.

Křen J, Neudert L, Procházková B, Smutný V, Hůla J. 2015. Obecná produkce rostlinná. Mendelova univerzita v Brně, Brno.

Kuchenbuch R, Jung J. 1988. Changes in root-shoot ratio and ion uptake of maize (*Zea mays* L.) from soil as influenced by a plant growth regulator. *Plant and Soil* **109:151-157**. Available at <http://link.springer.com/10.1007/BF02202079> (accessed April 15, 2024).

Kulczycki G, Sacała E, Chohura P, Załuska J. 2022. Maize and Wheat Response to Drought Stress under Varied Sulphur Fertilisation. *Agronomy* **12**. Available at <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/5/1076> (accessed March 25, 2024).

Kumar V, Behl RK, Narula N. 2001. Establishment of phosphate-solubilizing strains of *Azotobacter chroococcum* in the rhizosphere and their effect on wheat cultivars under green house conditions. *Microbiological research* **156(1):87-93**.

Kůst F. 2010. Kukuřice – plodina širokého využití – Speciál kukuřice. *Farmář* **16:3**

Kutschera L, Lichtenegger E, Sobotik M. 2009. Wurzelatlas der Kulturpflanzen gemäßigter Gebiete mit Arten des Feldgemüsebaues. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.

Ladha JK, Tirol-Padre A, Reddy CK, Cassman KG, Verma S, Powlson DS, Kessel C, Richter D, Chakraborty D, Pathak H. 2016. Global nitrogen budgets in cereals: A 50-year assessment for maize, rice and wheat production systems. *Scientific reports* **6(1):1-9**.

Lal S, Tabacchioni S. 2009. Ecology and biotechnological potential of *Paenibacillus polymyxa*: a minireview. *Indian Journal of Microbiology* **49(1):2-10**.

Larche V. 1988. Fyziologická ekologie rostlin. Academia, Praha.

Le C, Zha Y, Li Y, Sun D, Lu H, Yin B. 2010. Eutrophication of lake waters in China: cost, causes, and control. *Environmental management* **45:662-668**.

Lebuhn M, Heulin T, Hartmann A. 1997. Production of auxin and other indolic and phenolic compounds by *Paenibacillus polymyxa* strains isolated from different proximity to plant roots. *FEMS Microbiology Ecology* **22(4)**:325-334.

Lescourret F, Magda D, Richard G, Adam-Blondon AF, Bardy M, Baudry J, Doussan I, Dumont B, Lefèvre F, Litrico I, Martin-Clouaire R, Montuelle B, Pellerin S, Plantegenest M, Tancoigne E, Thomas A, Guyomard H, Soussana, JF. 2015. A social–ecological approach to managing multiple agro-ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability* **14**:68-75.

Lipková, N., Cinkocki, R., Maková, J., Medo, J., & Javoreková, S. (2021). Characterization of endophytic bacteria of the genus *Bacillus* and their influence on the growth of maize (*Zea mays*) in vivo. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 10(5), e3602-e3602.

Lipovský Z. 2010. Kam se ubírá česká krajina. *Geographia cassoviensis IV* **2**:77-83.

Lipský Z. 1995. The changing face of the Czech rural landscape. *Landscape and Urban Planning* **31**:39-45.

Liu X, Zhao H, Chen S. 2006. Colonization of Maize and Rice Plants by Strain *Bacillus megaterium* C4. *Current Microbiology* **52**:186-190. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s00284-005-0162-3> (accessed January 15, 2024).

Maier RM, Pepper IL, Gerba ChP. 2000. *Environmental Microbiology*. Academic Press, Elsevier.

Malik AI, Colmer TD, Lambers H, Setter TL, Schortemeyer M. 2002. Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. *New Phytologist* **153(2)**:225-236.

Malusá E, Sas-Paszt L, Ciesielska J. 2012. Technologies for Beneficial Microorganisms Inocula Used as Biofertilizers. *The Scientific World Journal* **2012**:1-12. Available at <http://www.hindawi.com/journals/tswj/2012/491206/> (accessed September 6, 2023).

Mes MG. 1953. Possible cultural methods of speeding up breeding experiments with maize; the influence of length of day, night temperature and vernalization on flowering. *South African Journal of Science* **49(7)**:221.

Mikulka J. 2014. *Plevele polních plodin*. Profi Press, Praha.

MMR. (2021). *Statistická data – Zemědělství a lesnictví*. Regionální informační servis, Praha. Available at <https://www.risy.cz/cs/vyhledavace/statisticka-data/> (accessed December 13, 2023).

Mollier A, Pellerin S. 1999. Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency. *Journal of Experimental Botany* **50**:487-497. Available at <https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/50.333.487> (accessed March 21, 2024).

Mollier A, Pellerin S. 1999. Maize root system growth and development as influenced by phosphorus deficiency. *Journal of Experimental Botany* **50**:487-497. Available at

<https://academic.oup.com/jxb/article-lookup/doi/10.1093/jxb/50.333.487> (accessed March 21, 2024).

Neudert L., Procházková B. 2009. Zpracování půdy a zakládání porostů. *Zemědělec – týdeník moderního hospodáře XVII*, **26**:11-14.

Nielsen P, Sørensen J. 1997. Multi-target and medium-independent fungal antagonism by hydrolytic enzymes in *Paenibacillus polymyxa* and *Bacillus pumilus* strains from barley rhizosphere. *FEMS Microbiology Ecology* **22(3)**:183-192.

Nosrati R, Owlia P, Saderi H, Rasooli I, Malboobi MA. 2014. Phosphate solubilization characteristics of efficient nitrogen fixing soil *Azotobacter* strains. *Iranian journal of microbiology* **6(4)**:285.

Nosrati R, Owlia P, Saderi H, Rasooli I, Malboobi MA. 2014. Phosphate solubilization characteristics of efficient nitrogen fixing soil *Azotobacter* strains. *Iranian journal of microbiology* **6(4)**:285.

Novák D, Vrzal J. 1995. *Základy pěstování kukuřice a jednoletých píceňin*. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, Praha.

Nwachuku DA, Loganathan P. 1991. The effect of liming on maize yield and soil properties in Southern Nigeria. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **22(7-8)**:623-639.

Očenášková A. 2022. Hnojiva kvůli plynu zdražují o desítky procent. Krize dusí i Lovochemii z Agrofertu. *E.conomia*, Praha. Available from: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/ceny-hnojiv-prudce-rostou-zdrazi-kvuli-nim-i-potravinu/> (accessed November 2023)

Očenášková A. 2022. Končíme, už to nešlo utáhnout, zní od farmářů. Malé zemědělce v Česku drtí zdražování. *E.conomia*, Praha. Available from: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/promeny-zemedelstvi/koncime-uz-to-neslo-utahnout-zni-od-farmanu-male-zemedelce-v/> (accessed November 2023)

Okon Y, Itzigsohn R. 1995. The development of *Azospirillum* as a commercial inoculant for improving crop yields. *Biotechnology advances* **13(3)**:415-424.

Pál V, Zsombik L. 2024. Effect of Common Vetch (*Vicia sativa* L.) Green Manure on the Yield of Corn in Crop Rotation System. *Agronomy* **14**. Available at <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/1/19> (accessed March 14, 2024).

Petr J, Húska J. 1997. *Speciální produkce rostlinná*. Česká zemědělská univerzita, Praha.

Piperno DR, Flannery KV. 2001. The earliest archaeological maize (*Zea mays* L.) from highland Mexico: cw accelerator mass spectrometry dates and their implications. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **98**: 2101–2103

Procházka M. 2023. Potvrzeno. Regulovaná část ceny elektřiny lidem zdraží od ledna o tisíce ročně. *Novinky*, Praha. Available from: [Cena elektřiny 2024: Zdražení o tisíce ročně \(novinky.cz\)](https://www.novinky.cz) (accessed November 2023)

- Prokinová E. 2014. Choroby polních plodin. Profi Press, Praha.
- Puri A, Padda KP, Chanway CP. 2015. Can a diazotrophic endophyte originally isolated from lodgepole pine colonize an agricultural crop (corn) and promote its growth?. *Soil Biology and Biochemistry* **89**:210-216.
- Puri A, Padda KP, Chanway CP. 2016. Evidence of nitrogen fixation and growth promotion in canola (*Brassica napus* L.) by an endophytic diazotroph *Paenibacillus polymyxa* P2b-2R. *Biology and Fertility of Soils* **52**:119-125.
- Puri A, Padda KP, Chanway CP. 2016. Seedling growth promotion and nitrogen fixation by a bacterial endophyte *Paenibacillus polymyxa* P2b-2R and its GFP derivative in corn in a long-term trial. *Symbiosis* **69**:123–129.
- Raffaelli M, Bàrberi P, Peruzzi A, Ginanni M. 2002. Options for mechanical weed control in grain maize—effects on weeds. In *Proceedings of 5th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control* **1**:147-152.
- Rana KL, Kour D, Kaur T, Devi R, Yadav AN, Yadav AN, Yadah N, Dhaliwal HS, Saxena AK. 2020. Endophytic microbes: biodiversity, plant growth-promoting mechanisms and potential applications for agricultural sustainability. *Antonie Van Leeuwenhoek* **113**:1075-1107.
- Ranjbar F, Jalali M. 2012. Calcium, Magnesium, Sodium, and Potassium Release during Decomposition of Some Organic Residues. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **43**:645-659. Available at <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103624.2012.644005> (accessed March 22, 2024).
- Ranum P, Peña-Rosas JP, Garcia-Casal MN. 2014. Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences* **1312**:105-112. Available at <https://nyaspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nyas.12396> (accessed March 12, 2024).
- Reed SC, Cleveland CC, Townsend AR. 2011. Functional ecology of free-living nitrogen fixation: a contemporary perspective. *Annual review of ecology, evolution, and systematics* **42**:489-512.
- Richter R, Hlušek J, Ryant P, Lošák T, 2002. Organická hnojiva a jejich postavení v zemědělské praxi. *Úroda* **50(9)**:9–12. Available from: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/pdf/org_hnojiva_uroda02.pdf (accessed September 10, 2023).
- Richter R, Ryant P. 2008. Výživa kukuřice, s. 111–134. In: ZIMOLKA J. et al. (eds): *Kukuřice: hlavní a alternativní užitkové směry*. Profi Press, Praha.
- Richter R. 2015. Multimediální učební texty z výživy a hnojení polních plodin. Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU V Brně, Brno. Available from: Multimediální učební texty z výživy rostlin (mendelu.cz) (accessed January 10, 2024).

Ritika B, Utpal D. 2014. Biofertilizer, a way towards organic agriculture: a review. *Afr J Microbiol Res* **8**:2332–2343.

Roughley RJ, Gault RR, Gemell LG, Andrews JA, Brockwell J, Dunn BW, Griffiths GW, Hartley Elizabeth J, Hebb DM, Peoples MB, Thompson JA. 1995. Autecology of *Bradyrhizobium japonicum* in soybean-rice rotations. *Plant and soil* **176**:7-14.

Ryant P. 2003. Multimediální učební texty z výživy rostlin. Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU V Brně, Brno. Available from: Multimediální učební texty z výživy rostlin (mendelu.cz) (accessed January 10, 2024).

Římovský K, Hrabě F, Vitek L. 1989. Pícninářství: polní pícniny. Vysoká škola zemědělská, Brno.

S Bashir. 2012. Response of brown sarson to NPK application under early, normal and late sown conditions. Division of Agronomy, SKUAST-K.

Sánchez B, Rasmussen A, Porter JR. 2014. Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. *Global Change Biology* **20**:408-417. Available at <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gcb.12389> (accessed March 15, 2024).

Scervino JM, Mesa MP, Della Mónica I, Recchi M, Sarmiento Moreno N, Godeas A. 2010. Soil fungal isolates produce different organic acid patterns involved in phosphate salts solubilization. *Biology and fertility of soils* **46**:755-763.

Senbayram M, Gransee A, Wahle V, Thiel H. 2015. Role of magnesium fertilisers in agriculture: plant–soil continuum. *Crop and Pasture Science* **66**. Available at <http://www.publish.csiro.au/?paper=CP15104> (accessed March 22, 2024).

Shakoor A, Bosch-Serra ÀD, Alberdi JRO, Herrero C. 2022. Seven years of pig slurry fertilization: impacts on soil chemical properties and the element content of winter barley plants. *Environmental Science and Pollution Research* **29**:74655-74668. Available at <https://link.springer.com/10.1007/s11356-022-21030-2> (accessed March 20, 2024).

Schröder JJ. 1999. Effect of split applications of cattle slurry and mineral fertilizer–N on the yield of silage maize in a slurry-based cropping system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **53**:209-218.

Silva PSL e, Silva J da, Oliveira FHT de, Sousa AKF de, Duda GP. 2006. Residual effect of cattle manure application on green ear yield and corn grain yield. *Horticultura Brasileira* **24**:166-169. Available at http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362006000200008&lng=en&tlng=en (accessed March 20, 2024).

Singh A, Maji S, Kumar S. 2014. Effect of biofertilizers on yield and biomolecules of anti-cancerous vegetable broccoli. *International Journal of Bio-resource and Stress Management* **5**:262-268.

Singh K, Kaur T, Bhullar MS, Brar AS. 2018. The Critical period for weed control in spring maize in North-West India. *Maydica* **61(1)**:7.

Singh MS, Devi RKT, Singh NI. 1990. Evaluation of methods for Azotobacter application on the yield of rice **12**:22-24.

Situační a výhledová zpráva. 2018. Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha.

Skládanka J. 2014. Pícninářství. Mendelova univerzita v Brně, Brno.

Sobotik M, Graf T, Himmelbauer M, Bodner G, Bohner A, Loiskandl W. 2018. In-situ root system characterization of hop and maize via soil profile excavation. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment* **69(2)**:121-130.

Stott DE, Kennedy AC, Cambardella CA. 2018. Impact of soil organisms and organic matter on soil structure. In *Soil quality and soil erosion* **1**:57-73.

Sturm H, Buchner A, Zerulla W. 1994. *Gezieht düngen*. Verlags Union Agrar, DLG Verlag Frankfurt, Frankfurt.

Sturz AV, Christie BR, Nowak J. 2000. Bacterial endophytes: potential role in developing sustainable systems of crop production. *Critical reviews in plant sciences*, **19(1)**:1-30.

Sumbul A, Ansari RA, Rizvi R, Mahmood I. 2020. Azotobacter: A potential bio-fertilizer for soil and plant health management. *Saudi journal of biological sciences* **27(12)**:3634-3640.

Štěpánek, M., Bernátová, V., Kopřivík, B., Lukavský, J., Mašínová, L., Pokorný, J., Sládečková, A., Švec, J. 1979. *Hygienický význam životních dějů ve vodách*. Avicenum, Praha.

Štěpánek, M., Červenka, R. 1974. *Problémy eutrofizace vod v praxi*. Avicenum, Praha.

Tan K, Keltjens WG, Findenegg GR. 1991. Role of magnesium in combination with liming in alleviating acid-soil stress with the aluminium-sensitive sorghum genotype CV323. *Plant and Soil* **136**:65-71. Available at <http://link.springer.com/10.1007/BF02465221> (accessed March 25, 2024).

Tilman D, Balzer C, Hill J, Belfort BL. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the national academy of sciences* **108(50)**:20260-20264.

Tilman D, Cassman KG, Matson PA, Naylor R, Polasky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* **418(6898)**:671-677.

Timmusk S, Nicander B, Granhall U, Tillberg E. 1999. Cytokinin production by *Paenibacillus polymyxa*. *Soil Biology and Biochemistry* **31(13)**:1847-1852.

Tippl M, Kvítek T. 2013. *Ochrana povrchových vod před dusičnany z vodní eroze a hlavní zásady protierozní ochrany v krajině*. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy Praha, Praha.

Tomášek J, Cihlár P. 2017. Porovnání různých způsobů výživy kukuřice. Pages 117-120 in Mišík V, Honsová H, Bečková L, Bečka D, editors. *Prosperující olejnin* 2017. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.

Trivedi P, Sa T. 2008. *Pseudomonas corrugata* (NRRL B-30409) mutants increased phosphate solubilization, organic acid production, and plant growth at lower temperatures. *Current Microbiology* 56:140-144.

Urban B. Šarapatka. 2003. *Základy ekologického zemědělství, Agroenvironmentální aspekty a pěstování rostlin* 1:3-269.

Usmani MM, Nawaz F, Majeed S, Shehzad MA, Ahmad KS, Akhtar G, Aqib M, Shabbir RN. 2020. Sulfate-mediated Drought Tolerance in Maize Involves Regulation at Physiological and Biochemical Levels. *Scientific Reports* 10. Available at <https://www.nature.com/articles/s41598-020-58169-2> (accessed March 25, 2024).

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

Vaněk V, Balík, Pavlíková D, Tlustoš D. 2002. *Výživa a hnojení polních a zahradních plodin*. 3. doplnění vydání, Redakce odborných časopisů Zemědělec, Praha.

Vaněk V, Balík, Pavlíková D, Tlustoš D. 2007. *Výživa polních a zahradních plodin*. Profi Press, Praha.

Viscardi S, Ventrino V, Duran P, Maggio A, De Pascale S, Mora ML, Pepe O. 2016. Assessment of plant growth promoting activities and abiotic stress tolerance of *Azotobacter chroococcum* strains for a potential use in sustainable agriculture. *Journal of soil science and plant nutrition* 16:848-863.

Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin ...: (sborník příspěvků). 2001. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.

Wani SA, Chand ST. 2013. Potential Use of *Azobacter Chroococcum* in Crop Production; An Overview. *Curr Agri Res* 2013 1:35-38.

Wollmann I, Möller K. 2022. Increased phosphorus availability from sewage sludge ashes to maize in a crop rotation with clover. *Soil Use and Management* 38:1394-1402. Available at <https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/sum.12806> (accessed March 12, 2024).

Wyszkowski M, Brodowska MS. 2021. Potassium and Nitrogen Fertilization vs. Trace Element Content of Maize (*Zea mays* L.). *Agriculture* 11. Available at <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/2/96> (accessed March 21, 2024).

Yadav AS, Vashishat RK. 1991. Associative effect of *Bradyrhizobium* and *Azotobacter* inoculation on nodulation, nitrogen fixation and yield of mungbean. *Indian journal of microbiology*. New Delhi 31(3):297-299.

Yan P, Yue S, Meng Q, Pan J, Ye Y, Chen X, Cui Z. 2016. An Understanding of the Accumulation of Biomass and Nitrogen is Benefit for Chinese Maize Production. *Agronomy Journal* 108:895-904. Available at <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2134/agronj2015.0388> (accessed March 12, 2024).

Yang X, Lu Y, Ding Y, Yin X, Raza S, Tong Y'an. 2017. Optimising nitrogen fertilisation: A key to improving nitrogen-use efficiency and minimising nitrate leaching losses in an intensive wheat/maize rotation (2008–2014). *Field Crops Research* **206**:1-10. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378429016306311> (accessed March 17, 2024).

Zeman, J., Heroldová, M., Svobodová, P., & Kamler, J. 2016. Význam řepy cukrové v potravě prasete divokého (*Sus scrofa*) a vznik škod na porostech. *Listy Cukrovarnické a Reparské* **132**:7-8.

Zhang F, Cui Z, Fan M, Zhang W, Chen X, Jiang R. 2011. Integrated Soil-Crop System Management: Reducing Environmental Risk while Increasing Crop Productivity and Improving Nutrient Use Efficiency in China. *Journal of Environmental Quality* **40**:1051-1057. Available at <http://doi.wiley.com/10.2134/jeq2010.0292> (accessed March 17, 2024).

Zhang J, Dong S, Wang K, Hu C, Lin P. 2006. Effect of shading on the growth development and grain yield of summer maize. *Ying Yong Sheing Tai Xue Bao* **17(4)**:657-662.

Zhang W-feng et al. 2013. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **110**:8375-8380. Available at <https://pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1210447110> (accessed March 19, 2024).

Zhang WL, Tian ZX, Zhang N, Li XQ. 1996. Nitrate pollution of groundwater in northern China. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **59**:223-231. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0167880996010523> (accessed March 19, 2024).

Zhu Q et al. 2023. A newly isolated *Bacillus megaterium* OQ560352 promotes maize growth in saline soils by altering rhizosphere microbial communities and organic phosphorus utilization. *Rhizosphere* **27**. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S245221982300085X> (accessed February 13, 2024).

Zimmer M. 2002. Green fluorescent protein (GFP): applications, structure, and related photophysical behavior. *Chemical reviews* **102(3)**:759-782.

Zimolka J. 2008. *Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry*. Profi press, Praha.

Zimolka J. 2008. *Speciální produkce rostlinná – rostlinná výroba: (polní a zahradní plodiny, základy pícninářství)*2. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Brno.

Židek B. 2018. *Byznys s řepkou je lukrativní hlavně díky podpoře biopaliv*. Novinky, Praha. Available from: <https://www.novinky.cz/clanek/ekonomika-byznys-s-repkou-je-lukrativni-hlavne-diky-podpore-biopaliv/> (accessed November 2023).

Žydelis R, Lazauskas S, Volungevičius J, Povilaitis V. 2019. Effect of organic and mineral fertilisers on maize nitrogen nutrition indicators and grain yield. *Zemdirbyste-Agriculture* **106(1)**.

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

TE1 Kontrola = kontrolní varianta TE1

TE2 MEGA = varianta TE2 s aplikovaným přípravkem PROVEO MEGA

TE3 POLYMYXA = varianta TE3 s aplikovaným přípravkem PROVEO POLYMYXA

P. polymyxa = *Paenibacillus polymyxa*

10 Samostatné přílohy



*Obrázek 1: Výskyt Zavíječe kukuřičného
(14.8.2023, Cedrik Bergl)*



*Obrázek 2: Výskyt houbové choroby (14.9.2023,
Cedrik Bergl)*