

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Vliv půdních bakterií na růst a vývoj kukuřice
v podmínkách ekologického pěstování**

Diplomová práce

**Bc. Tereza Lukešová
Ekologické zemědělství**

Ing. Jaroslav Tomášek, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Vliv půdních bakterií na růst a vývoj kukuřice v podmínkách ekologického pěstování" jsem vypracovala 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 autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.4. 2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Jaroslavu Tomáškoví Ph.D. za odborné rady, trpělivost a odpovědný přístup k vedení této práce. Děkuji také za čas strávený konzultacemi a cenné zkušenosti, které jsem během praktické části získala.

Vliv půdních bakterií na růst a vývoj kukuřice v podmínkách ekologického pěstování

Souhrn

Kukuřice patří mezi naše nejnvýkonnější plodiny. Proto se při zakládání porostů kukuřice a při jejím pěstování rozvíjejí nové technologické postupy, jak dosáhnout vysokých výnosů. Ale je třeba se při pěstování této plodiny soustředit také na to, jaký vliv má tato činnost na životní prostředí.

Diplomová práce byla zaměřena na vliv bakteriálních a houbových bioefektorů na růst, a vývoj kukuřice. V literární rešerši byly popsány biologické metody ochrany kukuřice, ale i jiných plodin. Práce je zaměřena na přirozené nepřátele škůdců a patogenů, tzv. bioagens a jejich využití v ekologickém zemědělství. Tato forma ochrany rostlin je vhodnou alternativou za chemické přípravky, které poškozují životní prostředí. V literární části jsou popsány také negativní vlivy minerálních hnojiv a možnost snížení jejich spotřeby při použití prospěšných půdních mikroorganismů. Jsou zde zmíněny také další faktory ovlivňující výnosy, zdravotní stav kukuřice a funkci těchto mikroorganismů. Jedním z nejdůležitějších vlivů je vliv ročníku, ten je dán především počasím.

Praktická část je zaměřena na zhodnocení účinku biologických přípravků na růst a vývoj kukuřice. Jedná se konkrétně o přípravky Baskus a Galleko, které jsou vhodné do systému ekologického hospodaření. Pokus proběhl na Výzkumné stanici FAPPZ Červený Újezd České zemědělské univerzity. Pokus proběhl v sezóně roku 2022 na dvou hybridech silážní a zrnové kukuřice s číslem ranosti FAO 250-310. Sklizeň se uskutečnila 13. a 14. září a společně s ní proběhlo i hodnocení různých parametrů rostlin.

Přípravky měly pozitivní účinky na výnos zelené biomasy i suché hmoty. Stimulátor od Firmy Galleko zvýšil výnos zrna v čerstvém i suchém stavu. Ve výsledcích nebyly patrné statisticky průkazné rozdíly ošetřených a kontrolních variant, ale i přes to jsou tyto přípravky hospodářsky významné. Varianta MT2 měla o 25,3 % vyšší výnos zelené biomasy a MT3 o 5,4 % než u kontrolní varianty. U varianty MT2 byl zjištěn i vyšší výnos suché hmoty a to o 24,7 % v porovnání s kontrolou. U přípravku Galleko se zvýšil výnos zrna u varianty G5 o 4,3 %, G3 o 3,6 % a G2 o 3,1 %. Zvýšení výnosu zelené hmoty byl pozorován u varianty G3 o 4,8 % a u varianty G5 o 3,9 %. Byl prokázán vliv přípravku Baskus na sněť kukuřičnou. Ošetřená varianta byla o 53,99 % méně napadena snětí než kontrolní varianta.

Klíčová slova: stimulace, sucho, půdní pokryv, fotosyntetická produkce

The effect of the Baskus stimulator on the growth and development of corn in organic farming

Summary

Maize is one of our most productive crops. Therefore, new technological approaches are being developed to achieve high yields in the establishment and cultivation of maize. However, when growing this crop, we also need to focus on the environmental impact of this activity.

This thesis focused on the effect of bacterial and fungal bioeffectors on the growth, and development of maize. A literature search described biological control methods for maize, as well as other crops. The work is focused on natural enemies of pests and pathogens, the so-called bioagents and their use in organic agriculture. This form of plant protection is a suitable alternative to chemicals that damage the environment. The literature section also describes the negative effects of mineral fertilisers and the possibility of reducing their consumption by using beneficial soil micro-organisms. Other factors affecting yield, maize health and the function of these micro-organisms are also mentioned. One of the most important influences is that of the season, which is mainly determined by the weather.

The practical part is aimed at evaluating the effect of biological products on the growth and development of maize. Specifically, Baskus and Galleko are suitable for organic farming systems. The experiment took place at the Research Station FAPPZ Červený Újezd of the Czech Agricultural University. The experiment was conducted in the 2022 season on two hybrids of silage and grain maize with FAO 250-310 earliness number.

The products had positive effects on both green biomass and dry matter yield. Galleko's stimulator increased grain yield in both fresh and dry state. The results did not show statistically significant differences between the treated and control variants, but despite this, the products were economically significant. The MT2 and MT3 variants had 25.3 % and 5.4 % higher green biomass yields than the control variant, respectively. The MT2 variant was also found to have a higher dry matter yield of 24.7 % compared to the control. For Galleko, the grain yield increased by 4.3 %, 3.6 % and 3.1 % for G5, G3 and G2, respectively. An increase in green matter yield was observed for G3 and G5 by 4.8 % and 3.9 % respectively. The effect of Baskus on maize anthers was demonstrated. The treated variant was 53.99 % less infested by anthracnose than the control variant.

Keywords: stimulation, drought, soil cover, photosynthetic production

Obsah

1 Úvod	9
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	11
2.1 Hypotézy	11
2.2 Cíl práce	11
3 Literární rešerše	12
3.1 Pěstování kukuřice	12
3.1.1 Historie	12
3.1.2 Morfologie a biologie	12
3.1.3 Škůdci a choroby	13
3.1.4 Silážní kukuřice.....	15
3.1.5 Kukuřice na zrno	15
3.1.6 Teorie výnosu.....	15
3.1.7 Vliv sucha	16
3.1.8 Změny klimatu	17
3.1.9 Optimalizace výnosu	17
3.1.10 Hnojení dusíkem	18
3.1.11 Zelené hnojení.....	18
3.1.12 Organické hnojení	19
3.1.13 Udržitelné zemědělství	20
3.1.14 Rizika při pěstování kukuřice	21
3.1.15 Vliv genetiky na růst kukuřice	21
3.2 Ekologické a konvenční zemědělství	22
3.3 Biostimulanty (bioefektory)	23
3.3.1 Bakteriální bioefektory	24
3.3.1.1 Azotobacter.....	25
3.3.1.2 Pseudomonas	25
3.3.1.3 Paenibacillus polymyxa.....	26
3.3.1.4 Bacillus thuringiensis ssp.	27
3.3.1.5 Chromobacterium ssp.....	28
3.3.1.6 Yersinia entomophaga.....	28
3.3.2 Houbové bioefektory	28
3.3.2.1 Aflatoxiny.....	29
3.3.2.2 Trichoderma	30
3.3.2.3 Pythium oligandrum.....	30
3.3.3 Hmyz	31
3.3.3.1 Trichogramma.....	31

3.3.4	Mykorhiza.....	31
3.4	Výživa rostlin a makroprvky	32
3.5	Biodiverzita organismů v porostech kukuřice	34
4	Metodika	35
4.1	Charakteristika stanoviště	35
4.1.1	Klimatické podmínky	35
4.1.2	Půdní podmínky	35
4.2	Agrotechnika pokusu	35
4.2.1	Přípravek Galleko	36
4.2.2	Přípravek Baskus.....	36
4.2.3	Popis sledovaných hybridů kukuřice	37
4.2.4	Popis použitých přípravků	37
4.2.4.1	Baskus	37
4.2.4.2	Galleko	38
4.3	Hodnocení pokusu	38
4.3.1	Hodnocení zdravotního stavu	39
5	Výsledky	39
5.1	Meteorologické údaje za rok 2022	39
5.2	Hodnocení přípravku Baskus	41
5.2.1	Vzcházení variant.....	41
5.2.2	Průměrná hmotnost jedné rostliny	41
5.2.3	Výnos kukuřice	42
5.3	Hodnocení přípravku Galleko	42
5.3.1	Vzcházení variant.....	42
5.3.2	Výška rostlin	43
5.3.3	Hodnocení výnosu zrna	43
5.3.4	Hodnocení výnosu kukuřice	44
5.3.5	Vliv přípravků na HTZ.....	45
5.3.6	Vliv přípravků na poškození palic	46
6	Diskuze	47
6.1	Vliv přípravku Baskus	47
6.2	Vliv přípravků firmy Galleko	49
7	Závěr	51
8	Literatura	52

1 Úvod

Kukuřice setá patří mezi nejvýznamnější a nejproduktivnější plodiny světa. Počátky pěstování má v období před 6 000 lety, kde se nacházely naleziště divokých forem dnešní kukuřice pocházející z tropických a subtropických oblastí Jižní a Střední Ameriky. Na evropský kontinent se kukuřice dostala koncem 15. století po objevení Ameriky. V posledních letech se její plochy významně rozšiřují. V devadesátých letech minulého století se kukuřicí na zrno oselo celosvětově přes 131 milionů hektarů. V roce 2017 se výměra kukuřice pohybovala přes 197 milionů hektarů a její plochy se budou i nadále zvyšovat. Nenarůstá však jen plocha kukuřice, ale zvedají se i výnosy. V roce 1990 byl průměrný výnos z jednoho hektaru 3,69 tuny. O 27 let později průměrný výnos dosahoval 5,75 t. ha⁻¹. Přispělo k tomu především intenzivnější šlechtění a zlepšující se agrotechnika (Hezký 2021). Využívá se nejenom jako krmivo pro hospodářská zvířata nebo potravina pro přímý lidský konzum. Své využití má i v různých odvětví průmyslu (stavební, chemický, farmaceutický či kosmetický), ale v současné době má největší využití jako energetická plodina v bioplynových stanicích při výrobě bioplynu.

Při pěstování kukuřice jsou v běžné praxi používány různé chemické látky na ochranu rostlin a zvýšení výnosu, které působí negativně na životní prostředí. Jejich alternativou mohou být biologické přípravky, které nepoškozují okolí a mohou přispět k udržitelnějšímu a odolnějšímu zemědělství (Van Oosten et al. 2017). Jejich použití pomáhá rostlinám absorbovat živiny, vytvořit silnější kořenový systém a produkovat více biomasy, zejména listů, čímž usnadňuje přežití rostlin za nepříznivých vnějších podmínek (Wolski et al. 2019). Kukuřice je v určitých oblastech naprosto zásadní a její růst je ovlivněn klimatickými změnami a extrémními jevy jako je extrémní sucho. Je tedy třeba pečlivě volit použité hybridy, které jsou odolné vůči těmto jevům a podpořit je některým z bioefektorů, které jsou využitelné i v ekologickém zemědělství. Postupy ekologického pěstování kukuřice mají pozitivní dopady především na čistotu vod, kde se často vyskytuje velké množství dusičnanů. V důsledku ekologického hospodaření dochází ke zvýšení biodiverzity a omezení eroze (Finke 1999). Ochrana rostlin v ekologickém zemědělství se opírá o prevenci napadení rostlin původci chorob a škůdci a prevenci nadměrného výskytu plevelů. Jedná se převážně o nepřímé způsoby ochrany, jejichž cílem je omezení vzniku vhodných podmínek pro škodlivý výskyt patogenů nebo škůdců (Kumari et al. 2020). Mikrobiální hnojiva jsou zvláště šetrná k životnímu prostředí, nejsou objemné a nákladově efektivní. Kromě toho hrají významnou roli ve výživě rostlin a podporují výskyt užitečných organismů a tím redukuje patogeny (Chandini et al., 2019).

Je třeba uvážit budoucí postupy v pěstování kukuřice, ale i dalších plodin vzhledem k zachování a podpoře dobrého stavu životního prostředí. Je vhodné snížit spotřebu chemických látek a nahradit je alternativními přípravky na bázi například užitečných bakterií, virů nebo hub, které přispívají k větší biodiverzitě a nepoškozují půdu ani její okolí. Na tomto principu funguje systém ekologického zemědělství a integrovaná ochrana rostlin, která upřednostňuje biologické přípravky, čímž chrání kvalitu potravin i životního prostředí.

Zemědělci se potýkají s nedostatkem informací o budoucích reakcích kukuřice na teplejší a sušší klima (Mumo et al. 2021). Proto je třeba testovat inovativní postupy a přípravky

k zachování úrodné půdy, stabilních výnosů a dobrého zemědělského i agroenvironmentálního stavu.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

2.1 Hypotézy

- 1) Předpokládá se, že aplikace pomocných přípravků (Baskus a dalších) na list kukuřice bude mít pozitivní vliv na celkový výnos sušiny silážní hmoty.
- 2) Předpokládá se, že aplikace Baskus na list bude mít vliv na snížení výskytu houbových chorob (fusarióz) u palic kukuřice.

2.2 Cíl práce

Cílem diplomové práce bude zjistit vliv stimulačních přípravků (Baskus a dalších) na produkci biomasy a sušiny u silážní kukuřice v simulovaných podmínkách EZ. Dalším cílem práce bude zhodnotit vliv přípravku Baskus na rozvoj houbových chorob na listech a na palicích.

3 Literární rešerše

3.1 Pěstování kukuřice

3.1.1 Historie

První zmínky o pěstování kukuřice pochází z tropických a subtropických oblastí Jižní a Střední Ameriky. Začali s tím Aztékové, Mayové a Inkové před 5 600 lety. Archeologické pozůstatky nejstaršího kukuřičného klasu, nalezené v jeskyni Guila Naquitz v údolí Oaxaca v Mexiku, datují se zpět zhruba 6250 let (Buckler & Stevens 2005). V roce 1493 byla do Evropy přivezena Kryštofem Kolumbem z jeho první cesty do Španělska. Během dalšího století se rozšířila po celé Evropě, Asii a Africe. Na naše území se dostala až v 17. století, pravděpodobně z Turecka. Roku 1930 se začalo s pěstováním prvních hybridů. V současné době je kukuřice plodinou pěstovanou téměř ve všech půdněklimatických podmínkách od 40° jižní šířky až po 56° severní šířky (Prugar 2008). Skutečný původ této rostliny zůstává obestřen tajemstvím – pro botaniky je skutečnou záhadou. I když první dochované písemné materiály o existenci kukuřice spadají do období po objevení Ameriky, její pěstování bylo doloženo již v nejstarších mexických a peruánských kulturách. Kukuřice je rostlinou, u které se nepodařilo objevit divokou formu (Národní zemědělské muzeum Praha 2012).

3.1.2 Morfologie a biologie

Kukuřice setá (*Zea Mays*) patří do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*). „*Zea*“ bylo odvozeno ze starého Řeckého názvu pro potravinářskou travu. Rod *Zea* se skládá ze čtyř druhů, z nichž *Zea mays* L. je z ekonomického hlediska důležitá. Další druh „*teosintes*“ tvoří převážně divoké trávy z Mexika a střední Ameriky (Tripathi 2011). Kukuřice je jednou z plodin upravených tak, aby se přizpůsobila oblasti pěstování, což má za následek její poddruhy, které se liší mimo jiné obsahem škrobu (Adiaha 2017). Je to vysoká jednoletá rostlina, jejíž výška se pohybuje od 1-4 m a tvoří velké, úzké, protilehlé listy. Obvykle mají rostliny kukuřice 3 typy kořenů – semenné kořeny, adventivní a vláknité, a opěrné kořeny. Kořeny rostou velmi rychle a rovnoměrně. Vhodné půdy mohou umožnit růst kořenů kukuřice až 60 cm do stran a do hloubky. Stonek dosahuje tloušťky tří až čtyř centimetrů a horní listy jsou odpovědné za zachycení světla. Listová čepel je široká s nápadným středním žebrem. Kukuřice patří mezi rostliny jednopohlavné a jednodomé. Samčí tyčinkovité květy tvoří klásky v latách. Samičí pestíkovité květy vytváří palice. Je to klas s hrubou hlavní osou, na které jsou zrna v řadách (Kumar et al. 2012). Celková plocha listů v době zralosti může přesáhnout jeden metr čtvereční na rostlinu.

Kukuřice potřebuje 450 až 600 mm srážek za sezónu. Minimální teplota pro klíčení je 10 °C, ale rychlost se zvýší při 16-18 °C. Při 20 °C by kukuřice měla vzejít během pěti až šesti dní. Kritická teplota nepříznivě ovlivňující výtěžnost je přibližně 32 °C. Mráz může poškodit kukuřice ve všech růstových fázích. V době zralosti má každá rostlina již spotřebováno cca 250 l vody (du Plessis 2003).

3.1.3 Škůdci a choroby

Ochrana rostlin v ekologickém zemědělství se opírá o prevenci napadení rostlin původci chorob a škůdci a prevenci nadměrného výskytu plevelů. Jedná se převážně o nepřímé způsoby ochrany, jejichž cílem je omezení vzniku vhodných podmínek pro škodlivý výskyt patogenů nebo škůdců (Kumari et al. 2020).

Hmyz a rostlinné patogeny způsobují celosvětové ztráty miliardy dolarů v produkci kukuřice. Kromě toho existují i některé houby, které napadají jádra kukuřice a produkují toxiny (mykotoxiny), které jsou škodlivé pro člověka a zvířata a způsobují podstatné přímé a nepřímé ekonomické ztráty (Dowd et al. 2018).

Úrodu kukuřice ohrožuje cca 130 hmyzích škůdců. V ranných vývojových fázích představují hrozbu larvy kovaříkovitých brouků rodu *Agriotes* a bzunka ječná (*Oscinella frit*). V období konce června zjišťujeme jednoho z nejvýznamnějších škůdců zavíječe kukuřičného (*Ostrinia nubilalis*), který se vyskytuje ve všech pěstitelských lokalitách kukuřice v České republice. Jako poslední významný škůdce kukuřice se zařadil brouk bázlivec kukuřičný (*Diabrotica virgifera virgifera*), kde hospodářské škody způsobují jak larva, tak dospělci (Tripathi et al. 2011).

Kukuřice trpí asi 110 chorobami, které jsou způsobeny bakteriemi, houbami nebo viry. Spektrum onemocnění i škůdců se liší dle agroklimatických oblastí. V našich podmínkách jsou častými chorobami například virová mozaika kukuřice, obecná snětivost, obecná listová spála, rzivost, fuzariózy nebo antraknózová listová spála (Tripathi et al. 2011).

Rostliny ohrožuje řada infekčních druhů rodu *Pseudomonas*, *Erwinia*, *Xanthomonas*, *Clavibacter*, *Bacterium*, *Agrobacterium* nebo například *Bacillus*. Vlivem těchto bakterií dochází k rozvoji mnoha různých chorob, které se projevují společnými symptomy – k nejnápadnějším patří žloutnutí listů a v pozdějších stádiích i vznik lézí – a v konečném důsledku vedou k závažnému poklesu produkce. Nežádoucí dopad půdních infekcí se dále prohlubuje ve stresových podmínkách, například je-li plodina vystavena extrémním teplotám (nižším než 10 °C v případě teplomilných druhů), nedostatku slunečního světla, okusu bezobratlými škůdci (zejména hmyzem a hlísticemi), případně je-li půda na lokalitě podmačena anebo přehnojená (Monas technology s r.o. 2020).

Studie dle Kumari et al. (2019) prokázala účinnost *Trichoderma viride* v polních podmínkách proti plísni kukuřičné. Nejlépe byly hodnoceny výsledky po použití této houby s neemovým (nimbovým) olejem. Proti plísni listů kukuřice způsobené *Cochliobolus heterostrophus*, byla úspěšně použita *Trichoderma harzianum* v kombinaci s difenokonazol-propikonazolinem (Shao-quiring et al. 2019).

Kukuřice je velmi důležitou plodinou a v některých oblastech přímo nepostradatelnou. Takovou oblastí je například Nepál. Zde je kukuřice existenční plodina a její nedostatek by mohl mít fatální následky, proto je třeba ji chránit hlavně proti zavíječi kukuřičnému, který je zde největší hrozbou. Jako velice účinná se v toto boji ukázala houba *Trichogramma chilonis*. Biologicky potlačuje výskyt zavíječe kukuřičného, některých druhů vrtalek, a tím významně zvyšuje výnos plodiny (Bhandari et al. 2020). Při pokusu v Egyptě z roku 2020 byl zjištěn pozitivní vliv aplikace *Azotobacter chroococum*, a *Bacillus circulans* společně s organickými hnojivy na kukuřici. Zvýšil se její růst i výnosy a příjem živin byl efektivnější. Navíc bioorganické hnojení zvýšilo obsah rozpustných cukrů, škrobu, sacharidů, bílkovin

a aminokyselin v semenech kukuřice. Snížil se obsah kyseliny abscisové v semenech v porovnání s chemickými hnojivy a zvýšila se bakteriální aktivita v půdě (Gao et al. 2020).

Jiná studie z roku 2020 se zaměřila na pokus s polyversum. Tento přípravek obsahující *Pythium oligandrum* byl použit na jeteli červeném. Prokázalo se, že jetel byl výrazně méně postižován chorobami kořenového systému. Dále došlo ke stimulaci větvení kořenů a lepšímu růstu rostlin. Vyšší výnosy byly spojeny s opakovaným použitím Polyversum (Pisarčík et al. 2020). *Pythium oligandrum* se také osvědčilo při ošetření pšenice. Ukázalo se, že bylo významně potlačeno *Fusarium culmorum* bez ztráty kvality pšenice (Ng et al. 2021). Dále bylo *P. oligandrum* použito na vinnou révu, kde bylo jeho úkolem potlačit nekrózy révy způsobené *Neofusicoccum parvum*. Ošetřené rostliny vykazovaly snížení nekrotických až o 35 % (Yacoub et al. 2020).

Carbas et al. (2020) uvádí, že v kukuřičných zrnech 14 i zelené hmotě byly detekovány fumonisiny (FB1 a FB2), aflatoxiny (AFB1, AFB2, AFG1 a AFG2), deoxyvalenol (DON), mykotoxin T2, ochratoxin (OTA) a zearelenon (ZEA). Aflatoxiny produkují houby rodu *Aspergillus*, ochratoxiny rovněž *Aspergillus* a navíc *Penicillium* a všechny ostatní produkují houby rodu *Fusarium*.

Byla provedena studie na ovlivnění výskytu zavíječe kukuřičného (*Sitophilus zeamais*), který způsobuje ztráty jak na poli, tak ve skladech. Aplikace esenciálních olejů může být důležitou technikou, která má být zkoumána při řízení výskytu hmyzu kvůli jeho známé insekticidní aktivitě a nízkému riziku pro životní prostředí. Chemická analýza olejů ukázala, že chemické složení domácích (*Elionurus sp.*) a exotických (*Cymbopogon citratus*) citronové trávy je podobné, avšak exotické druhy obsahovaly větší množství sloučenin. Domácí a exotické citronové trávy mají účinnost na mortalitu zavíječe kukuřičného a je ověřeno, že zvýšení aplikované dávky se odráží ve zkrácení doby expozice hmyzu, než dojde k uhynutí. Oba druhy mají kapacitu a potenciál pro využití v managementu zavíječe kukuřičného a mohou být alternativou pro malochovatele a ekologickou produkci (Radünz et al. 2022).

Zavíječ kukuřičný je hostitelem *Nosema pyrausta*, která má nízkou patogenitu, což způsobuje určitou úmrtnost larev zejména při zátěži prostředí, ale většina hostitelských jedinců se dožije dospělosti, mají však sníženou plodnost a dlouhověkost. Parazit se přenáší transovariálně (Dent et al. 2000).

V současné době jsou z literatury známy čtyři kuklicovití (Tachinidae) rodu *Celatoria*, které parazitují na dospělých druzích rodu *Diabrotica*. Rozmanitost reprodukčních strategií je zajímavým rysem čeledi Tachinidae. Dospělé samice mohou klást vajíčka přímo do hostitele, nebo samice mohou na hostitelskou rostlinu snášet vajíčka, která hostitel pozře při krmení. Avšak distribuce uvedená pro druh *Celatoria* by měla být považována za prozatímní vzhledem k tomu, že tyto druhy byly zkoumány velmi málo. Není ještě zcela pochopena ekologie včetně hostitelské specifčnosti těchto druhů stejně jako jejich dopad na populace *Diabrotica* (Zhang et al. 2004).

Pěstování kukuřice udržitelným způsobem vyžaduje věnovat pozornost výběru odrůd a zemědělským vstupům jako je hnojení, zavlažování a ochrana proti škůdcům a chorobám. Zde se dá využít biologické ochrany, které může zahrnovat různé druhy hub, virů a bakterií. Mezi entomopatogeny lze dosáhnout dobré účinnosti s kmeny sporotvorné bakterie *Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki* (Btk), zaměřené na mladé larvy *lepidoptera*. Bioinsekticidní účinek závisí na insekticidních proteinech (Cry), normálně obsažené v parasporálních

krystalech produkovaných bakterií. Dobrá účinnost se očekává i při použití bakulovirů, které představují přírodní a vysoce selektivní bioinsekticidy specificky působící proti svému hostiteli (Ruiu & Lentini 2022).

3.1.4 Silážní kukuřice

Kukuřice na siláž je velmi důležitou plodinou při výrobě objemných krmiv. Kukuřičná siláž se vyznačuje vysokým obsahem energie a živin. Výživová hodnota kukuřičné siláže je vysoce závislá na jeho stravitelnosti a obsahu škrobu. Obsah škrobu v kukuřičné siláži je ovlivněn hlavně stavem zralosti rostliny při sklizni (Hatew et al. 2016). Jedná se o jedno z nejdůležitějších krmiv ve výživě přežvýkavců také díky vysokému výnosovému potenciálu a dobré skladovatelnosti (Saylor 2021).

Kvalita fermentace kukuřičné siláže je závislá na hodnotě pH a koncentraci komplexních sloučenin, jako je kyselina mléčná, octová, propionová a máselná, množství alkoholu a esterů. Produkty fermentace přítomné v siláži jsou z velké míry ovlivněny vlastnostmi čerstvé rostliny, jako je obsah sušiny, proteinů, vlákniny či sacharidů (Kung et al. 2018).

3.1.5 Kukuřice na zrno

Kukuřice na zrno je základní potravinou v mnoha rozvojových zemích a také jednou z hlavních složek krmiv pro hospodářská zvířata po celém světě. Kukuřičné zrno poskytuje ve 100 g 365 kcal a skládá se z přibližně 73 % škrobu, 10 % bílkovin a 5 % oleje, zbytek tvoří vláknina, vitamíny a mikroživiny (Jaradat & Goldstein 2013). S ohledem na roli kukuřice v krmivu pro zvířata i v lidské spotřebě je třeba se zabývat nejen výnosem, ale složením zrna. Získané výsledky ukázaly, že povětrnostní podmínky byly určujícím faktorem variability výnosu zrna (88 %) a zvolený hybrid byl určujícím faktorem variability obsahu bílkovin a oleje (83 %). Negativní korelace mezi znaky naznačovaly, že zvýšení výnosu zrna znamenalo pokles obsahu bílkovin a oleje (Bonea & Dunareanu 2022).

Vhodné hybridy do našich podmínek k pěstování na zrno jsou například Mantilla, Severeen, Perley, LG 30.267 nebo Clementeen (Oseva Uni 2022.)

3.1.6 Teorie výnosu

Tvorba výnosu je dynamický proces, kdy se jednotlivé výnosové prvky tvoří postupně v čase a jsou ovlivňovány průběhem počasí, dynamikou uvolňování živin z půdy, škodlivými činiteli i agrotechnickými zásahy. Podle fotosyntetického cyklu patří kukuřice mezi C4 druhy, mezi tzv. tropické trávy. Stabilita výkonu je také velmi důležitá pro zajištění dlouhodobě vysokých výnosů (Tripathi 2011). Nevýhodou kukuřice je, že nedokáže odnožovat, a tudíž nemá schopnost kompenzovat redukci rostlin v porostu zvýšením počtu produktivních odnoží. Výhodou však je to, že je možné organizaci porostu přesně regulovat (Petr et al. 1980). Výnos zrna je závislý na hybridech, organizaci porostu (počet rostlin na plošnou jednotku), na hnojení, vodním režimu, ošetřování porostu a na stanovišti. Velmi významná je interakce těchto faktorů.

Hlavními výnosotvornými prvky zrnové kukuřice jsou počet palic na jednu rostlinu, průměrný počet zrn na jednu rostlinu a průměrná hmotnost zrna na jednu rostlinu (Petr & Húska 1997).

3.1.7 Vliv sucha

Sucho je považováno za jeden z nejdůležitějších abiotických faktorů, které ovlivňují celosvětovou produkci kukuřice. Stres ze sucha může nepříznivě ovlivnit různé aspekty fyziologického metabolismu a růstu kukuřice, včetně fotosyntézy, růstu rostlin, produkce sušiny a tvorby výnosu zrna (Ge et al. 2012). Kukuřice prochází různými morfologickými, biochemickými a fyziologickými změnami, na které reaguje a přizpůsobuje se jim (Almeida et al. 2014). Rostlinné průduchy, tvořené ochrannými buňkami na povrchu listů, jsou hlavní cesta pro výměnu vody a plynu s atmosférou. Otvory se zmenšují, když rostliny trpí stresem ze sucha (Kim et al. 2010). Studie z roku 2021 poukázala na vliv flavonoidů na odolnost kukuřice vůči suchu. Flavonoidy se podílejí na odstraňování kyslíkových radikálů a zmírňují stresem vyvolaná oxidační poškození. Mohou tak usnadnit setí kukuřice, posílit její odolnost, zmírnit poškození a regulovat fyziologické pochody rostlinných průduchů (Li et al. 2020). Bylo zjištěno, že listová aplikace antioxidantů (glutathion, kyselina askorbová) a houbové suspenze dokáže potlačit produkci reaktivních forem kyslíku a zachovat fotosyntetické pigmenty. Takto ošetřené rostliny se stávají odolnějšími vůči suchu a dokážou si zachovat dobrý výnos (Musaddaq 2021). Výnos kukuřičného zrna je při tepelném stresu snížen především prostřednictvím životaschopnosti pylu, která zase určuje počet zrn. Vyšší teploty zrychlují vývojovou rychlost, což má za následek kratší vegetativní a reprodukční fázi (cca 30 dní za celý cyklus) (Lizaso 2018). Teplota, množství srážek a referenční evapotranspirace jsou hlavními klimatickými faktory ovlivňujícími výnos kukuřice. Nejenže jsou na sobě závislé, ale také se výrazně změnilo v důsledku změny klimatu, která způsobuje nelinearitu a nestacionaritu v datech počasí (Chidzalo et al. 2022).

Sušší oblasti se vyznačují vyšší evapotranspirací než srážkami, což zintenzivňuje používání slané vody při zavlažování (Minhas et al. 2020). Solný stres způsobuje omezení osmotického a iontového řádu a osmotická složka je zodpovědná za omezení absorpce vody, což způsobuje snížení relativního obsahu vody, turgorového tlaku a vodního potenciálu buněk (Wan et al. 2017). Iontová složka způsobuje toxicitu specifickými ionty, jako je Na^+ , což vede k omezení vstřebávání živin, syntézy proteinů, metabolismu lipidů a fotosyntézy (Volkov & Beilby 2017). Kukuřice je citlivá na solný stres, s prahem slanosti $1,1 \text{ dS m}^{-1}$ v závlahové vodě a $1,7 \text{ dS m}^{-1}$ v extraktu nasycení půdy (Ayers & Westcot 1985). Existují však rozdíly v toleranci mezi genotypy, mezi úrovněmi salinity a typy solí přítomných ve vodě nebo půdě (Zahra et al. 2018). Studie ukazují, že použití určitých látek zlepšuje reakci rostlin na stres způsobený solí, jako je kyselina askorbová (Alhasnawi et al. 2016), kyselina salicylová (Batista et al. 2019) a kyselina gibberelová (Sá et al. 2020). Tyto kyseliny plní funkce chemických přenašečů, odpovědných za tvorbu a růst tkání, mediátorů mezibuněčné komunikace, pomáhají při translaci stresového signálu a homeostáze (Volkov a Beilby, 2017). Kyselina askorbová, gibberelová a salicylová zlepšily kvalitu kořenů, čímž se vyrovnalo rozložení zásob pro růst stonků a kořenů. Kyselina askorbová podporovala větší délku sazenic. Kyselina gibberelová

a salicylová mají také oxidační aktivitu, kromě toho, že působí jako regulátory růstu a molekuly signalizující stres, zlepšují homeostázu (Sá et al. 2020).

3.1.8 Změny klimatu

V německé studii byly zkoumány dopady změny klimatu na pěstování kukuřice ve středomořských klimatických podmínkách. Plánování zavlažování a určování požadavků na vodu jsou velmi důležité pro přizpůsobení se změně klimatu. K měření byl použit model CROPWAT, což je software používaný k výpočtu reakce požadavků plodin na vodu na různé klimatické podmínky a strategie zavlažování. Jako klimatická data byla ve studii použita referenční (1961–1990) a budoucí (2070–2099) klimatická data určená systémem regionálního klimatického modelu ICTP verze 3. Podle výsledků bude průměrná referenční evapotranspirace vegetačního období ve studované lokalitě v budoucnu v průměru o 0,49 mm za den vyšší. V období 2070–2099 budou požadavky na závlahovou vodu u kukuřice v průměru o 7,37 % vyšší než v letech 1961 až 1990. Pro období 1961–1990 a 2070–2099 byla vypočtena průměrná evapotranspirace plodin 5143,1 a 480,1 mm. Tyto výsledky simulace odhalily, že plánování zavlažování při pěstování kukuřice ve středomořských klimatických zónách by mělo být přizpůsobeno změně klimatu (Yetik & Sen 2022).

Produktivita plodin je citlivá na změnu klimatu, zejména ve vyprahlé Střední Asii, kde bylo provedeno jen málo studií o tom, jak produktivita plodin reaguje na globální změnu klimatu. Na základě historie trendů výnosů hlavních plodin v Kazachstánu tato studie navrhla kvantitativní metodu pro odhad citlivosti relativních výnosů plodin na vývoj agrotechniky a nárůst teploty v Kazachstánu. Tento výzkum byl zaměřen na posouzení potenciálního dopadu budoucích scénářů globální změny klimatu na výnosy plodin ve 14 zemědělských oblastech Kazachstánu na základě interakce mezi rozvojem agrotechniky a změnou klimatu. V této studii byly jako hodnotící roky vybrány roky 2060 a 2100. Podíl zemědělské technologie byl zásadní z hlediska výnosu kukuřice, ta je rovněž méně citlivá na teplotu v porovnání s pšenicí. Výsledky ukázaly, že výnosy kukuřice a pšenice se budou až do roku 2060 podle budoucích scénářů změny klimatu nadále zvyšovat, ale odhady změn výnosů po roce 2060 jsou z dlouhodobého hlediska velmi nejisté (Wenyu 2022).

Výsledky íránské simulace změny klimatu ukázaly, že v období 2040–2070 se intenzita a frekvence tepelného stresu během doby květu kukuřice zvýšila o 2,37 °C a 79,7 % v porovnání se základní linií, což povede ke snížení výnosu. Rostoucí teploty v chladných oblastech v důsledku globálního oteplování by zapříčinily lepší klimatickou situaci pro růst kukuřice, takže za optimistických emisních scénářů a optimálních postupů hospodaření budou zemědělci schopni zvýšit výnos obilí až na 9,2 t ha⁻¹. Závěrem bylo, že zemědělci v horkých a mírných oblastech by měli zvážit optimální termíny setí a nové kultivary kukuřice, které jsou dobře přizpůsobeny danému klimatu, aby se snížilo riziko tepelného stresu (Deihimfard 2022).

3.1.9 Optimalizace výnosu

Klimatické podmínky významně ovlivňují produktivitu kukuřice. Z abiotických faktorů je to množství dusíku dostupného v půdním profilu a teplota půdy – dva důležité faktory, které

výrazně ovlivňují produkci kukuřice v raných fázích růstu plodin. Výsledky studie ukázaly, že maximální efektivita využití dusíku bylo dosaženo u hybridů kukuřice s nízkou aplikací dusíku ($75 \text{ kg. ha}^{-1} \text{ N}$). Maximální výnos zrna kukuřice ($0,086,4 \text{ kg. rostlina}^{-1}$), sušina ($0,203 \text{ kg. rostlina}^{-1}$) a obsah obilných bílkovin ($15,0 \%$) však byly pozorovány u hybridů kukuřice, které byly pěstovány s aplikací $300 \text{ kg. ha}^{-1} \text{ N}$. Proto se doporučuje, aby aplikace $300 \text{ kg. ha}^{-1} \text{ N}$ na hybrid kukuřice tolerantní vůči teplotám, mohla být považována za nejlepší zemědělskou metodu pro dosažení optimálního výnosu kukuřičného zrna za současného měnícího se klimatu (Jawad 2022). V České republice se ale uplatňuje nitrátová směrnice. Podle této směrnice se musí řídit každý zemědělec provozující zemědělskou činnost ve zranitelných oblastech. Roční spotřeba dusíkatých hnojiv je stanovena na 170 kg. ha^{-1} za rok (Ministerstvo zemědělství ČR 2022).

3.1.10 Hnojení dusíkem

Nadměrná aplikace minerálních hnojiv do zemědělské půdy, může mít negativní dopad na životní prostředí. Proto je třeba věnovat pozornost optimální aplikační míře výnosu kukuřice a účinnosti využití dusíku, aby bylo zachováno udržitelné využívání obdělávané půdy. Byly testovány dva typy dusíkatých hnojiv, a to močovina a dusíkaté hnojivo s pomalým uvolňováním N. Průměrný výnos zrna v hnojivu s pomalým uvolňováním N byl v letech 2018, 2019 a 2020 o $21,3 \%$, 25% a $16,2 \%$ vyšší než u močovinného hnojiva. Celkový příjem rostlinného dusíku v hnojivu s pomalým uvolňováním dusíku byl v letech 2018, 2019 a 2020 o $2,3 \%$, $5,5 \%$ a $3,3 \%$ vyšší než u močovinného hnojiva. Zjistilo se, že kombinace pomalu se uvolňujícího dusíkatého hnojiva a mírné dávky močoviny ($180 \text{ kg. ha}^{-1} \text{ N}$) byla optimální strategií pro zvýšení výnosu zrna kukuřice (Xing 2022).

Močovina s řízeným uvolňováním byla široce přijata za účelem zvýšení účinnosti využití dusíku a produkce kukuřice, ale dopady se mohou značně lišit v závislosti na dostupnosti vody v půdě. Když vlhkost půdy během celého vegetačního období byla udržována na $55 \pm 5 \%$ kapacity pole, akumulace dusíku byla největší (Li 2017).

Výnosy kukuřice jsou ovlivňovány úrovní hnojení dusíkem, společně se závlahou plodiny. Pokud je plodina více zavlažována, zvyšuje se tím i potřeba dusíku k dosažení maximálního výnosu, protože dochází k vyplavování dusíku do spodních vrstev půdy (Sinclair & Jafarikouhini 2022).

Řada studií se zaměřila na negativní účinky nadměrného množství dusíkatých hnojiv, Meng et al. uvedli, že nadměrná aplikace dusíku má za následek pozdější sklizeň nebo poléhání rostlin (Liu 2019), ale také způsobila negativní dopady na životní prostředí, jako je acidifikace půdy, vyplavování dusičnanů, emise skleníkových plynů atd., což vede k degradaci různých ekosystémových funkcí (Ma et al. 2021). Proto je jednou z nejnaléhavějších otázek v zemědělství, jak koordinovat produkci plodin a zajistit udržitelnost ekosystémů.

3.1.11 Zelené hnojení

Zelené hnojení by mohlo pomoci k úspoře hnojiv a snížit emise a ztráty živin (Abdalla et al. 2019). V celosvětovém měřítku meziplodin na zelené hnojení společně s hlavní plodinou

ušetřilo 26 % N hnojiva, zvětšilo se množství půdního organického uhlíku o 320 kg. ha¹, kompenzuje se asi 8 % skleníkových efektů, a také se snížily ztráty vyplavováním N o 40–50 % (Christopher & Don 2015). Zelené hnojení zvýšilo dostupný půdní dusík, organickou hmotu, dostupný obsah draslíku (Wang et al. 2022), a může nahradit 11–32 % N. Dále snižuje emise CH₄ o 3,5 % a zvyšuje uhlíkový sekvestrační potenciál o 21,8 % (Zhou et al. 2020).

Rozklad zeleného hnojení a následné uvolňování živin závisí převážně na fyzikálních, chemických a biologických aspektech půdy (Tejada et al. 2008). Použití zeleného hnojení nemělo významný vliv na aktivitu katalázy, ale významně zvýšilo aktivitu sacharázy, ureázy a fosfatázy v půdě s mezplodinami a jarní kukuřicí v Číně (Ablimit et al. 2022). Předchozí studie týkající se zeleného hnojení ukázaly, že jeho zavedení změnilo vstup uhlíku a dusíku do půdy, což stačí ke změně struktury půdních mikrobiálních komunit, funkcí půdy a související enzymové aktivity (Kim et al. 2020). Bohatý půdní mikrobiom může zlepšit funkce půdy, posílit rostlinnou produkci a zvýšit odolnost rostlin vůči globálním klimatickým změnám, jakož i biologickému stresu (Chen et al. 2019). Použití mezplodin na zelené hnojení při pěstování kukuřice významně zvýšilo počet bakterií v půdě, také obsah organické hmoty a dostupný draslík (Wang et al. 2022).

3.1.12 Organické hnojení

Pro zvýšení úrodnosti půdy a udržení produktivity polí v systémech zemědělské výroby bylo podporováno nahrazování minerálních hnojiv hnojem. Při nahrazení 50 % minerálního hnojiva hnojem se zvýšil ekonomický zisk, zatímco negativní dopady na životní prostředí klesly. Celkově výsledky naznačují, že nahrazení 50 % minerálního dusíku hnojem, zejména tekutým hnojem, mělo velký potenciál pro udržitelnou rotační produkci kukuřice a pšenice v Severočínské nížině. Hnůj je velmi cenným zemědělským artiklem a aktuálně ho není dostatek, aby se dal využít v takto velké míře (Li 2020).

Kravský hnůj má schopnost eliminovat těžké kovy v půdě a obnovuje zdraví půdy (Upadhyay et al. 2021). Hnůj skotu také zlepšuje diverzitu mikrobiálního společenstva v půdě (Yang et al. 2019).

Drůbeží hnůj působil pozitivně na růst kukuřice, zvýšil příjem P rostlinou a indukoval půdní enzymy jako je fosfodiesteráza, kyselá fosfomonoesteráza a alkalická fosfomonoesteráza v oblasti rhizosféry (Waldrip et al. 2011). To naznačuje, že tyto enzymatické aktivity mineralizují alkalický organický fosfát v půdě. Proto může být drůbeží hnůj vhodným doplňkem pro obnovu zasolených půd. Také významně indukuje růst rostlin, udržuje poměr C/N a pozitivně působí na výnos (Adekiya et al. 2020). Richa et al. (2020) uvádí vhodnost drůbežího trusu v zemědělství jako organického hnojiva. Půdní enzymy hrají klíčovou roli v biogeochemických procesech tím, že zprostředkovávají rozklad půdní organické hmoty (Sinsabaugh et al. 2009). Drůbeží trus je bohatým zdrojem mikroživin a makronutrientů včetně bakterií, které mohou synergicky působit na růst a výnos rostlin kukuřice i v zasolené půdě (Upadhyay & Singh 2014).

Také organické materiály ve formě huminových kyselin aplikovaných do půdy, mají pozitivní vliv na růst a vývoj rostlin a mohou mít účinky na zmírnění nepříznivých důsledků intenzivní zemědělské výroby v přírodním prostředí (Brodowska 2022).

3.1.13 Udržitelné zemědělství

Produkce potravin se stává zranitelnou v důsledku proměnlivosti klimatu a životního prostředí. Očekává se do budoucna další zhoršení této situace. Na zemědělskou výrobu působí tlaky zvětšujícího se počtu obyvatelstva a tím i větší poptávka po potravinách. Tato situace vyžaduje rozšíření pěstebních ploch a snížení intervalů úhoru. To vede ke snížení půdní úrodnosti a degradaci půdy (Oyewole 2022). Prostor Nigérie na obyvatele se stále zmenšuje (Taiz 2013). To je velká hrozba pro produkci potravin se stále rostoucím počtem obyvatel. Z toho vyplývá, že je třeba přijmout postupy udržitelného hospodaření. Předpokládá se, že nejvíce postiženými budou malí zemědělci (Woodfine 2009). Důsledkem toho je, že bude nepříznivě ovlivněna dostupnost potravin v domácnostech. Naléhavou prioritou v celosvětovém úsilí o zajištění komerčního zemědělství a zajištění potravin pro miliony lidí bude vyžadovat boj proti znehodnocování půdy. Dále nízká zemědělská produktivita v důsledku neefektivnosti výroby mezi drobnými zemědělci přispívá k nedostatku potravin. Dochází k poklesu hlavních potravinářských plodin, zejména kukuřice s obrovským poklesem hektarového výnosu (Mango et al. 2015).

Jeden z důležitých faktorů zlepšení produktivity zemědělské výroby je efektivní využití vstupů a znalost výrobních postupů a případných socioekonomických charakteristik zemědělců spojených s efektivitou výroby. Zlepšení produktivity lze dosáhnout zlepšením efektivnosti výroby (Abdulai et al. 2018). V Nigérii vedly špatné zemědělské postupy k nízké zemědělské produktivitě, což je hlavní faktor hladu a neudržitelného živobytí (Ayuk 2001). Udržitelné agroenvironmentální postupy proto nejsou pouze prioritou, ale jejich dosažení je nezbytné pro další zemědělský růst (Jibir & Abdu 2016). Udržitelné zemědělství je praxe, která by mohla uspokojovat lidské potřeby a tím chránit přírodní zdroje a kvalitu životního prostředí. Kukuřice je v mnoha oblastech nejdůležitější plodinou, která by mohla v afrických zemích nahradit čirok a proso. Je to cenná plodina, které se může dařit v různých agroekologických zónách a je součástí potravinové nabídky pro domácnost mnoha lidí různého socioekonomického zázemí v Africe (Olaniyan 2015). V Nigérii je průměrný výnos 1,68 t. ha⁻¹ kukuřice nízký ve srovnání s průměrným výnosem 9,3 t. ha⁻¹ ve Spojených státech (Oyewole 2022).

Pokračování v používání chemických hnojiv v zemědělství vyvolalo několik otázek, včetně znečištění životního prostředí, vysoké náklady na produkt a zdravotní dopady. Mnoho odborníků podpořilo využívání obnovitelných a udržitelných metod v zemědělství, zahrnující aplikaci ekologických a živočišných hnojiv, kompostů a zeleného hnoje. V porovnání s chemickými hnojivy je používání organických hnojiv udržitelnější způsob, jak zvýšit produktivitu plodin (Tao et al. 2017).

Trvale udržitelné systémy hospodaření jsou na vnějších vstupech mnohem méně závislé. Je to dáno především pěstováním rostlin fixujících dusík, zlepšováním pěstebních systémů, recyklací odpadů jako zdroje živin, absencí minerálních hnojiv a pesticidů a také podporou farem s živočišnou i rostlinnou výrobou současně a pěstování jetelotrav, jako zdroj pro výrobu vlastních krmiv (Niggli 2011).

Pokud budou udržitelné zemědělské postupy zlepšovat kvalitu vody, úrodnost půdy, hospodaření s rostlinami a mikroklima, výsledkem bude dostatečná produkce potravin, lepší

ochrana proti přírodním katastrofám a zvýšená odolnost vůči proměnlivosti a změnám klimatu (Jibir & Abdu 2016).

3.1.14 Rizika při pěstování kukuřice

Zemědělství je nejvíce ohrožené hospodářské odvětví (Jarvis et al. 2010). Již nyní existuje mnoho důkazů o poklesu výnosů plodin v různých částech zeměkoule díky výrazné variabilitě klimatu a dopadu změn (Zhu et al. 2019). To má za následek zkracování sezónní délky pěstování plodin (Cook & Vizzy 2012), zvýšení výskytu škůdců a chorob (Ziska et al. 2011), vyšší zaplevelení (Hassan et al. 1995) nebo menší agroklimatický rozsah vhodných oblastí pěstování (Adhikari et al. 2015). Déle hrozí nebezpečí celkového snížení výnosů a tím zvýšení potřeby dovozu (Herrero et al. 2010). S předpokládanou budoucí globální změnou klimatu směřující k dalšímu zvyšování teplot a poklesu srážek ve většině částí světa je spojeno se zvýšením četnosti a závažnosti extrémních klimatických jevů. Zejména v subsaharské Africe a Keni tvoří kukuřice hlavní základní potravinovou plodinu. Navzdory ekonomické a nutriční hodnotě spojené s kukuřicí, je i nadále náchylnější na stále vyšší frekvenci výskytu proměnlivosti klimatu související s extrémními klimatickými jevy, zejména suchem (Mumo et al. 2018).

Celosvětová poptávka po potravinách očekává nárůst o 70–90 %, zatímco ve východní Africe se očekává, že poptávka po kukuřici vzroste o 50 % (FAO 2012). Celosvětově studie naznačují, že na každé zvýšení o 1 °C nad prahovou teplotou plodiny povede ke ztrátě výnosu kukuřice o 10 % (Lobell et al. 2011). Zemědělci se potýkají s nedostatkem informací o budoucích reakcích kukuřice na teplejší a sušší klima (Mumo et al. 2021).

3.1.15 Vliv genetiky na růst kukuřice

Transformace kukuřice je kompozitní technologie založená na desetiletích úsilí o optimalizaci mnoha faktorů zahrnujících mikrobiologii a fyzikální/biochemické úpravy DNA. V poslední době vývoj genů stimulujících růst nebo morfogenních genů pro zlepšení účinnosti rozšířil škálu transformovatelných genotypů (Kausch 2021). Jen v roce 2019 bylo 60,9 Mha transgenních odrůd kukuřice vysazeny po celém světě (ISAAA 2019). Nové odrůdy kukuřice generované pomocí technologií genetické modifikace produkují až o 10 % vyšší výnosy než podobné konvenční odrůdy (Stokstad 2019). Transformační technologie v kukuřici byla ústředním bodem současné agronomie a pokroku u kukuřice a bude i nadále zásadní pro budoucí vývoj nových odrůd kukuřice (Kausch et al. 2019). První pokus o transformaci kukuřice pomocí exogenní DNA byl hlášen před více než 50 lety (Coe & Sarkar 1966) prostřednictvím injekce genomové DNA z fialové, červenoprašné odrůdy kukuřice do apikální meristémy 242 sazenic kukuřice divokého typu. Dva hlavní přístupy používané k vytváření transgenní kukuřice jsou zprostředkovány *Agrobacterium tumefaciens* nebo ostřelování mikroprojektily. Tyto přístupy jsou považovány za standardní, protože jsou nejpoužívanější a ověřené. V budoucnosti se očekává snadná transformace kukuřice nezávislá na genotypu, efektivní šlechtění, pokročilá genomika a rychlejší úprava genomu (Kausch 2021).

Možností je také transgenní kukuřice. Schopnost vkládat transgeny do rostliny tvoří základ nejrevolučnější technologie zdokonalování plodin 20. století. Převážná část dosud komercializovaných transgenů plodin byla určena na pomoc při ochraně plodin proti hmyzu, chorobám a plevelu (Maredia et al. 2003).

3.2 Ekologické a konvenční zemědělství

Kukuřice je jednou z nejdůležitějších potravinářských plodin v světě po rýži a pšenici. Největší přínos kukuřičné produkce v Indonésii pochází z provincie Východní Jáva, což je 25,60 %. Spotřebitelů kukuřice přibývá, stejně jako zájmu o potravinovou bezpečnost a šetrný přístup k životnímu prostředí. Toto je hlavní důvod počátku pěstování této plodiny v režimu ekologického zemědělství, které v této oblasti zatím není příliš rozšířené (Rahmawati 2020).

Po celém světě jsou hojně používána hnojiva, chemikálie, herbicidy či pesticidy za účelem dosažení vyššího výnosu na jednotku plochy. Použití více než optimálních nebo doporučených dávek těchto chemikálií a hnojiv vede k znečištění životního prostředí, jako je půda, voda, znečištění ovzduší, snížená kvalita potravin, rozvoj odolnosti různých plevelů, chorob a škůdců, degradace půdy, nedostatek mikroživin v půdě, toxicita pro různé prospěšné organismy přítomné nad i pod povrchem půdy (Chandini et al., 2019).

Postupy ekologického pěstování kukuřice mají pozitivní dopady především na čistotu vod, kde se často vyskytuje velké množství dusičnanů. V důsledku ekologického hospodaření dochází ke zvýšení biodiverzity a omezení eroze (Finke 1999). Pěstování kukuřice má několik hledisek udržitelnosti, které spolu vzájemně souvisí a ovlivňují se. Je to hledisko ekologické, ekonomické, sociální, institucionální a technologické. Strategie pro udržitelnou produkci kukuřice by mohly být prováděny účinným uplatňováním referenčních nákupních cen, posilujících partnerství zemědělce s krmivářským průmyslem, podporou ekologického pěstování kukuřice a optimalizací a efektivním využitím předsklizňových a posklizňových strojů (Ariningsih 2021).

Kukuřice pěstovaná na zrno patří zatím k nejméně efektivním plodinám. V roce 2014 se z 3 866 certifikovaných ekologických zemědělců věnovalo pěstování kukuřice na zrno pouhých 19. Důvodem nižších výnosů v EZ je jednak odlišný způsob obhospodařování půdy, kdy na prvním místě je snaha o zachování a zvyšování půdní úrodnosti a teprve pak snaha o maximální výnosy. Dalším důvodem je pěstování běžně dostupných odrůd obilnin, šlechtěných v podmínkách intenzivní výživy minerálním dusíkem, které bez intenzivního hnojení neumí dávat výnosy (Horáková & Hrabalová 2015). V roce 2019 u nás bylo pouze 18 ekofarek zabývajících se pěstováním kukuřice na zrno. Jejich průměrný výnos byl 5,31 t. ha⁻¹ a plocha v plně ekologickém režimu činila 666,87 ha. Počet ekofarek s produkcí silážní kukuřice bylo 19 s výnosem 12,29 t. ha⁻¹. Veškerá produkce bio kukuřice byla tento rok bez problémů prodána hlavně do zahraničí (Šejnohová et al. 2020).

Alternativní využití kukuřice může být i jako meziplodina na čajových plantážích. Pomáhá tak zlepšit kvalitu a chuť čaje a účinně kontrolovat populační výskyt hlavních hmyzích škůdců. V této studii byly čajovníky pěstovány s kukuřicí ve dvou směrech výsadby od východu k západu. Ekologické zastínění výrazně ovlivnilo obsah volných mastných kyselin v rostlinách

čaje ve srovnání s nestíněnou kontrolou. Významně se zvýšil obsah theaninu a kofeinu a index kvality katechinu v listech čajových rostlin, současně se významně snížil obsah celkových polyfenolů a poměr fenol/amoniak. Navíc byly významně sníženy populační výskyty *Empoasca onukii* a *Trialeurodes vaporariorum*. Ekologické zastínění výrazně ovlivnilo složení půdních mikrobiálních společenstev na čajových plantážích, ve kterých se výrazně snížila diverzita půdních mikroorganismů (Zou et al. 2022).

3.3 Biostimulanty (bioefektory)

Bioefektory jsou přírodní sloučeniny, které mohou být použity v ekologickém zemědělství, protože nepředstavují žádné známé riziko pro životní prostředí. Mohou přispět k udržitelnějšímu a odolnějšímu zemědělství (Van Oosten et al. 2017). Tyto látky jsou aplikovány na rostliny, aby se předešlo případným ztrátám na výnosech způsobených vnějšími faktory. Ovlivňují vitalitu rostlin a potenciál výnosu, aniž by změnilly genetický systém, poskytovaly přímo živiny nebo odstranily stresor. Jejich použití pomáhá rostlinám absorbovat živiny, vytvořit silnější kořenový systém a produkovat více biomasy, zejména listů, čímž usnadňuje přežití rostlin za nepříznivých vnějších podmínek (Wolski et al. 2019).

Bioefektory se používají v kombinaci s hnojivem, aby se zlepšila účinnost živin. Alternativní hnojiva jsou podporována, ale často mají nižší dostupnost klíčových makroprvků, zejména fosforu (Thonar et al. 2018). Tyto sloučeniny obsahují mikroorganismy (bakterie nebo houby) a aktivní přírodní látky (extrakty z půdy, kompost, mořské řasy, mikrobiální zbytky nebo rostlinné extrakty). Jejich využití vede k mobilizaci živin z méně biologicky dostupných forem v půdě, podporuje růst kořene a vývoj mykorhizy. Mikroorganismy mohou hrát důležitou roli při zvyšování dostupnosti živin, zejména fosforu, rostlinám. Můžeme je rozdělit na 2 hlavní skupiny, a to houbové a bakteriální bioefektory (Holečková et al. 2017). Jejich primární funkcí není dodávat živiny (hnojivo) ani chránit rostliny před škůdci či patogeny, bioefektory stimulují přirozené procesy, které zvyšují příjem a využití živin (Rauphel & Colla 2018).

V biologické ochraně rostlin se uplatňují dvě hlavní strategie – (i) podpora užitečných organismů a (ii) jejich introdukce. Smyslem podpory užitečných organismů je vytváření takových podmínek, které jsou vhodné pro jejich přežívání, rozmnožování, vývoj a růst. Důsledkem bývá větší biodiverzita na daném pozemku. Mezi organismy tak funguje přirozená kompetice o živiny a prostor, která nutně vede i ke snížení populací některých druhů včetně škůdců a patogenů. Na druhou stranu se populace organismů rovněž rozšiřuje o další druhy, kde také najdeme parazity, predátory a antagonisty škůdců. Co se introdukce užitečných organismů týče, jedná se o aplikaci konkrétních mikroorganismů například ve formě registrovaných přípravků proti chorobám a škůdcům (Brant et al. 2020).

Účinky bioefektorů na podporu růstu rostlin jsou založeny na více mechanismech, například na kontrole rostlinných patogenů buď stimulací obranných mechanismů rostliny nebo mikrobiálním antagonizmem. Některé bioefektory indukují růst rostlin stimulací vlastní produkce rostlinných hormonů, jako jsou auxiny nebo cytokininy, nebo produkcí přímo hormonem podobných sloučenin. Některé bioefektory jsou spojeny se zvýšenou aktivitou fosfatázy v půdě a také ukázaly schopnost uvolňovat fosfor z hůře přístupných forem v půdě.

Další důležitý mechanismus je založen na tzv. efektu „mycorrhiza helper“, který byl pozorován u mnoha bakteriálních bioefektorů (Thonar et al. 2018).

Mikrobiální hnojiva jsou zvláště šetrná k životnímu prostředí, nejsou objemná a nákladově efektivní. Kromě toho hrají významnou roli ve výživě rostlin (Chandini et al. 2019).

3.3.1 Bakteriální bioefektory

Bakterie se schopností působit jako bioefektory byly izolovány z řady ekosystémů s alkalickou, kyselou i suchou půdou. Jedná se zejména o rody *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azotobacter*, *Atospirillum*, *Pseudomonas* a *Bacillus* (Van Oosten et al. 2017). Na trhu jsou dostupné Rhizobakterie podporující růst rostlin důležitých rodů *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azospirillum* a *Azotobacter* ve formě lyofilizovaných endospór (bakteriálních buněk) v práškové nebo kapalné formě. Používají se jako biologická hnojiva nebo biokontrolní činidla (Schneider et al. 2017).

Některé bakterie mají schopnost fixovat atmosférický dusík na amoniak, je to reakce, která v průmyslovém měřítku zastupuje chemický proces, který vyžaduje vysoké teploty, zvýšený tlak a speciální katalyzátory. Schopnost mikroorganismů využívat plynný dusík jako jediný zdroj dusíku a zapojit se do symbiózy s hostitelskými rostlinami přináší řadu ekologických výhod, ale z fyziologického hlediska je proces citlivý na kyslík a závislý na energii (Dixon a Kahn 2004). Mezi činnosti rodů *Azotobacter*, *Acetobacter*, *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas* a *Burkholderia* patří zvýšená mobilita živin, produkce fytohormonu, řízení patogenů, zmírnění stresu a mohou také zvýšit růst rostlin. Produkují organické kyseliny, jako je karboxylová kyselina, která snižuje pH půdy a zvyšuje se solubilizace fosforu bakteriemi (Zabihi et al. 2011). Přímé mechanismy bakterií PGPR zahrnují zvýšení obsahu živin v rhizosféře prostřednictvím biologické fixace dusíku, solubilizaci anorganického fosfátu, schopnost snížení pH, mineralizace organického fosfátu a produkce rostlinných hormonů, jako jsou auxin, cytokinin a giberelin (Bjelic et al. 2018).

Z hlediska zemědělství jsou velmi důležité bakterie syntetizující organické kyseliny s nízkou molekulovou hmotností, které rozpouštějí anorganický fosfor (Gouda et al. 2018). Hlavním mechanismem v půdě pro solubilizaci minerálních fosfátů je snížení pH půdy mikrobiální produkcí organických kyselin a mineralizace organického fosforu kyselými fosforečnany. Během procesu přeměny je část fosforu asimilována mikroorganismy. Důležitou roli při tom hraje kyselina dusičná a sírová. Výsledkem je, že tyto organické a anorganické kyseliny převádějí fosforečnan vápenatý na formu snadno dostupnou pro rostliny. Existuje velké množství mikroorganismů rozpouštějících fosfáty přítomných v půdě. Mezi bakteriemi jsou to druhy jako *Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Micrococcus* a *Flavobacterium* a mezi houbami jsou to například druhy *Penicillium*, *Sclerotium* a *Aspergillus* (Anand et al. 2016).

Důležitá je také biologická fixace dusíku, která může nahradit použití chemických dusíkatých hnojiv. Půdní bakterie mohou přeměnit atmosférický dusík na pevný dusík, který může být dál používán rostlinami. Rhizobakterie dokáží transformovat dusíkatý plyn přítomný v atmosféře do rozpustných dusíkatých sloučenin, které rostliny využijí pro svůj růst (Chen et al. 2018). Některé půdní bakterie, schopné fixovat dusík, tvoří volný vztah nazývaný asociativní

symbióza, kdy osídlují kořeny rostlin. Přeměna vzdušného dusíku na amoniak využívá enzym nitrogenázu (bílkovinný komplex s atomy Fe a Mo), který katalyzuje redukci molekuly dusíku na amonný iont. Reakce je energeticky velmi náročná. Rhizobakterie kolonizují buňky kořenů rostlin, kde dochází k tvorbě kořenových uzlin. V kořenovém uzlu existuje bakterie bez buněčné stěny, která fixuje atmosférický dusík a produkuje amoniak. Naopak rostlina poskytuje bakterii pevný uhlík z fotosyntézy, kterou bakterie vyžaduje pro růst (Olanrewaju et al. 2017).

3.3.1.1 Azotobacter

Azotobacter je gramnegativní nesymbiotická volně žijící bakterie, která je schopna fixovat vzdušný dusík. Některé druhy mají bičíky a jsou pohyblivé. Bakterie *Azotobacter* vylučují komplex vitamínu B, různé rostlinné hormony jako jsou Gibbereliny nebo kyselina naftyloctová (NAA) a další látky, které inhibují některé kořenové patogeny, podporují růst a příjem minerálů (Mahanty et al. 2017). *Azotobacter spp.* Má vliv na solubilizaci fosforu (Sethi & Gupta 2013), produkuje fytohormony (Chobotarov et al. 2017), siderofory (Shahid et al. 2019), vitamíny (Revillas et al. 2000), syntetizuje antimikrobiální sloučeniny (Nagaraja et al. 2016) a produkuje metabolity jako alginát a polyhydroxybutyrát (Gurikar et al. 2016). Při syntéze enzymů se podílí na degradačních procesech toxických látek a některé druhy *azotobacter* rozkládají aromatické sloučeniny, jako jsou insekticidy, fungicidy a herbicidy (Chennappa et al. 2019).

Azotobacter může vykazovat různé chování v závislosti na druhu a kmenech, podmínkách růstu, typu pesticidu a koncentracích kontaminantů; proto je užitečné vyhodnotit účinek těchto faktorů na modelové organismy, jako je *Azotobacter vinelandii*, což je volně žijící aerobní bakterie (Noar & Bruno-Bárcena 2018)

Bakterie má oválný nebo kulovitý tvar a za příznivých podmínek je schopna vytvořit silnostěnné cysty, a tak přežít delší dobu v půdě. Pomáhá také ke zvýšení celkové aktivity dusíkatých látek v půdě. Vzhledem ke svým vlastnostem se využívá jako biostimulant například u kukuřice, pšenice, rýže, čiroku nebo cukrové třtiny. Hlavní výhodou, využití bakterií rodu *Azotobacter* je, že jsou neškodné pro životní prostředí oproti používání chemických hnojiv a zvyšují výnos dané plodiny (Devendra 2021).

3.3.1.2 Pseudomonas

Rod *Pseudomonas* zahrnuje jednu z nejsložitějších, nejrozmanitějších a ekologicky významných bakterií na planetě. Zástupci rodu se nachází ve velkém množství ve všech přírodních prostředích a vytvářejí vztah s rostlinami a zvířaty. (Spiers a kol., 2000). Skupina rhizobakterií *Pseudomonas* (*P. fluorescens*, *P. putida* a *P. aeruginosa*) navazuje prospěšný vztah s rostlinami. Některé kmeny jsou známy jako prostředek pro biologickou kontrolu a ochranu. Tyto bakterie jsou známy i jako PGPR bakterie podporující růst rostlin se schopností chránit rostliny před půdními patogeny (Widnyana & Javandira 2016). Tyto mikroorganismy mohou zvyšovat dostupnost imobilních živin v půdě po rozpuštění jejich minerálních forem. Aplikace *Pseudomonas putida* samostatně nebo v kombinaci s fosforem zlepšila růst rostlin, příjem živin (N, P, K) a antioxidační aktivitu (Israr et al. 2016).

Pseudomonády jsou striktně aerobní, jako konečný akceptor elektronů tedy využívají kyslík. V anaerobních podmínkách za nepřítomnosti nitrátu mohou fermentovat arginin. *Pseudomonas chloritidismutans* je schopna jako alternativní akceptor elektronů využívat aniontů ClO_3^- (Woltering et al. 2001). Převážná většina druhů rodu *Pseudomonas* není schopna růst v kyselých podmínkách, při pH nižším 4,5. Jsou kataláza pozitivní a většinou oxidáza pozitivní (Palleroni 2005).

Mezi nejrozšířenější druhy pseudomonád patří *Pseudomonas fluorescens* (Spiers et al. 2000). Tato bakterie představuje fyziologicky rozmanitý druh, který významně přispívá k přeměně organické hmoty. Přirozeně se vyskytuje v půdě a na povrchu kořenů či listů rostlin. Tyto organismy mají pozitivní vliv na výživu 30 a zdraví rostlin (Botelho et al. 1998). Rhizosférické organismy, mezi které patří právě *Pseudomonas fluorescens*, produkují látky antibiotického typu. Tyto látky inhibují vývoj patogenních hub, plísní a také stimulují fotosyntézu. Vyvolávají systémovou resistenci, která napomáhá k celkové obranyschopnosti rostlin (Moynihan et al. 2009).

Pseudomonas jessenii je fluorescenční, gram-negativní bakterie. Byly pozorovány účinky *Pseudomonas jessenii* (kmen RU 47) a *Bacillus amyloliquefaciens* (kmen FZB 42) na růst rostlin v prostředí přirozeně se vyskytujících bakterií a houbových kolonií v rhizosféře a v půdě u rajčat a kukuřice. *Pseudomonas jessenii* zvýšil růst rostlin rajčete, zatímco *Bacillus amyloliquefaciens* zvýšil růst kukuřičných rostlin. Bylo dokázáno, že oba mikroorganismy byly ovlivněny bakteriemi v rhizosféře (Eltlbany & Smalla 2013).

3.3.1.3 *Paenibacillus polymyxa*

P. polymyxa je nepatogenní grampozitivní bakterie, která vytváří endospory a nachází se převážně v kořenu rostliny a v půdě. Má širokou škálu hostitelských rostlin, které chrání před 29 patogeny a stresem. Tato bakterie má schopnost degradovat hlavní komponenty buněčné stěny, jako je třeba celulóza, pektin či xylan a využívá některé dostupné uhlíkové substráty (Timmusk et al. 2005). *P. Polymyxa* umí vytvářet endofytické kolonie uvnitř rostliny. Bakterie, které jsou schopné endofytické kolonie, vstupují pasivně do kořenů rostlin pomocí trhlin nebo prostřednictvím hydrolytických enzymů (Yang et al. 2017). Tyto organismy se vyskytují v rostlinných tkáních. Jsou dobře chráněny před abiotických stresem, jako jsou například velké změny teploty, pH, výživy a dostupnosti vody. Endofyty svému rostlinnému hostiteli nijak neškodí a napomáhají růstu a zdraví hostitelských rostlin pomocí přímých a nepřímých mechanismů. Jeden z hlavních přímých mechanismů pro podporu růstu je fixace dusíku z atmosféry (Puri et al. 2016). Dále má tato bakterie schopnost produkce antibiotik, zvyšuje porozitu půdy a syntetizuje rostlinné hormony, jako jsou například auxiny či citokininy. (Padda et al. 2016).

Některé zemědělské plodiny jako kukuřice, ječmen a pšenice, vykazují interakci s tímto bakteriálním rodem. Kukuřice si během domestikace uchovala velmi podobnou sadu bakterií jako její divoký předchůdce, z nichž jednou je právě *paenibacillus* (Johnston-Monje & Raizada 2011). U kukuřice byly pozorovány delší kořeny, výhonky a větší biomasa (Khan et al. 2020). Jedním ze způsobů, jak může tato bakterie podpořit růst rostlin, je zvýšení příjmu živin, jako je dusík, fosfát nebo železo, což je fenomén nazývaný biofertilizace. Mnoho, ale ne všechny

bakterie tohoto kmene, obsahují geny fixující dusík, pomocí kterých mohou přeměnit atmosférický dusík na amoniak, užitečný zdroj dusíku pro rostlinu (Zhou et al. 2020).

Ve studii z roku 2020 byl izolován jeden silný antifungální bakteriální kmen *P. polymyxa* 7F1 z rizosféry pšenice. Test lokalizace enzymu *P. polymyxa* 7F1 indikovala vysokou aktivitu v supernatantu bezbuněčného kultivačního média, což naznačuje, že jde o extracelulární enzym. Byla to tepelně odolná bílkovinná látka (60 °C do 90 °C) a stabilní v širokém rozmezí pH (2,6-9,0). Analýza naznačila, že by to mohl být enzym glykosylhydroláza. Jedná se o protein vykazující fungicidní aktivitu proti několika houbovým patogenům, například *Fusarium graminearum* (Ran 2020).

P. polymyxa je známá díky své schopnosti produkovat nízkomolekulární antibiotika s molekulovou hmotností 19. Mezi uváděná antibiotika patří polypeptidy, polymyxiny, saltavalin, gavaserin, jolipeptin, gatavalin a fusaricidiny. Tyto antibiotika inhibují růst grampozitivních bakterií a hub jako *Pyricularia grisea* a *Rhizoctonia solani* (Velkov 2017).

3.3.1.4 *Bacillus thuringiensis* ssp.

Bacillus thuringiensis (dále v textu jako Bt) je grampozitivní, sporulující, aerobní půdní bakterie. Nejčastěji se tato bakterie používá k regulaci larev motýlů, dvoukřídlých a brouků (Usta 2013). Aby na daný organismus toxiny účinkovaly, musí být nejprve požřeny. Proto je zásadní aplikovat přípravek s Bt přímo na napadené místo, což vyžaduje vyšší preciznost při aplikaci než u chemických insekticidů (Starnes et al. 1993). Aby toxiny fungovaly jako bioinsekticidy, musí se dostat do trávicí soustavy hmyzu. Ve střevním prostředí jsou pak uvolněny a enzymaticky přeměněny na jednodušší toxiny. Ty se pak naváží na receptory střevního epitelu hmyzu a způsobí zvýšené ukládání vody do buněk stěny střeva, které vede až k jejich prasknutí, následné celkové perforaci střeva, uvolnění bakterií trávicího traktu do tělní dutiny a úhynu hmyzu na sepsi (Kühne et al. 2006; Hrudová 2015). Požření menší, než letální dávky vede pouze ke snížení plodnosti dospělého jedince. Toxiny nejlépe účinkují na mladé housenky, proto se doporučuje aplikovat přípravek při jejich líhnutí nebo krátce po něm. Ideální teplota pro aplikaci je přes 25 °C, pro úspěšné použití stačí, když teplota stoupne po několik dní alespoň na několik hodin nad 15 °C. Při růstu rostlin a zvětšování jejich listové plochy postupně dochází ke zředování povlaku s Bt. UV záření a déšť zase způsobují degradaci toxinů, resp. smývání preparátu. Jeho účinnost je vlivem těchto faktorů omezena většinou na několik hodin, případně maximálně čtyři až sedm dní (Kühne et al. 2006).

Bt se běžně vyskytuje v životní prostředí a osidluje různorodá stanoviště, což je příčinou velké vnitrodruhové variability jedinců (Anwer 2017). Kühne et al. (2006) uvádí, že v roce 1999 bylo známo přes 67 poddruhů (ssp.) Bt, Anwer (2017) již uvádí 85 ssp. této bakterie. Různé kmeny Bt zároveň produkují odlišné toxiny, které reagují jen s určitými enzymy v těle škůdců, vážou se jen na konkrétní receptor a účinkují tak pouze na velmi specifickou skupinu hmyzu. Ostatní necílové organismy jsou ovlivněny minimálně (Hrudová 2015). Na rozdíl od mnohých chemických pesticidů, toxiny Bt jsou selektivní a mají jen velmi malý negativní dopad na životní prostředí (Lacey et al. 2015)

Nejpoužívanějšími zástupci Bt v bioinsekticidech v ekologické zemědělství jsou *Bt kurstaki*, *entomocidus*, *galleriae*, *aizawai*, *israelensis* a *tenebrionis* (Usta 2013; Lacey et al. 2015)

3.3.1.5 *Chromobacterium* ssp.

Chromobacterium subtsugae bylo v roce 2007 izolováno jako nový druh účinný proti mandelince bramborové a dospělcům bázlivce kukuřičného (*Diabrotica virgifera*). Americká firma Marrone Bio Inovations registrovala přípravek Grandevo na bázi *C. subtsugae* a zaznamenala úspěchy i při aplikaci proti housenkám požírajícím zeleninu, proti vlnatkám a mšicím (Lacey et al. 2015; Farrar et al. 2018). Jaronski (2018) uvádí i možnost použití proti škůdci slunečnice osenici polní (*Agrotis segetum*) a listopasu čárkovanému (*Sitona lineatus*) parazitujícím na luskovinách.

3.3.1.6 *Yersinia entomophaga*

Tato bakterie je aktivní vůči zástupcům z řádu motýlů, brouků a rovnokřídlých. Po pozření těmto jedincům způsobuje smrt během několika dnů. Pro ostatní necílové organismy (včetně žíhal a včel), malé savce, ptáky a ryby je ale neškodná (Glare & O'Callaghan 2019). Pokusy ve skleníku také prokázaly účinnost i proti západníčkovi polnímu (*Plutella xylostella*). Západníček je celosvětový škůdce brukvovité zeleniny a řepky. Největším problémem při jeho regulaci je nedostatek přirozených konkurenčních druhů, a také schopnost vývinu rezistence proti syntetickým pesticidům, např. proti pyrethroidům a organofosfátům (Hurst et al. 2019).

3.3.2 Houbové bioefektory

Mezi mykorrhizními houbami a kořeny rostlin existuje symbiotický vztah. Z různých typů hub jsou pro zemědělství nejdůležitější arbuskulární mykorrhizní houby (AMF), které tvoří symbiotický vztah s více než 80 % rostlin. AMF jsou jednou z nejrozšířenějších, ekologicky a ekonomicky významných houbových skupin (Schussler et al 2001). Tyto houby zlepšují agregaci půdy dvěma způsoby. První je produkce extra-kořenového mycelia, které proplete částice půdy, fyzicky je chrání před erozí, zatímco druhá je produkce amfifilních molekul, jako je glomalin, který podporuje vazbu částic půdy. Arbuskulární mykorrhizní houby jsou tvořeny bryofyty, pteridophyty, gymnospermy a angiospermy a jsou všudypřítomné ve většině mírných a tropických ekosystémech včetně zemědělských systémů (Johnson & Gehring 2007).

Arbuskulární mykorrhizní houby tvoří symbiózu s více než dvěma třetinami známých rostlin a zemědělských plodin. Podporují růst rostlin, zvyšují jejich výnos a také odolnost vůči abiotickému stresu při nedostatku fosfátu (Igiehon & Babalola 2017). Houba pomáhá rostlině přijímat kromě fosforu i dusík, draslík a hořčík. Rostlina se tak stává odolnější vůči hmyzu, suchu či patogenům (Gosling et al 2006).

Podobně jako bakterie jsou i houby (*Ascomycota*, *Zygomycota*, *Oomycota*, *Deuteromycota* a *Chytridiomycota*) patogenní pro jednotlivé druhy škůdců (hmyz, roztoči,

hádátka), ale jsou neškodné pro obratlovce a rostliny. Nezanechávají žádná toxická rezidua a minimálně znečišťují životní prostředí (Koubová 2009). Entomopatogenní houby jsou tradičně označovány výhradně jako patogeny členovců, ale nedávné studie ukazují, že jejich ekologický význam je mnohem větší – hrají roli důležité složky rhizosféry a podporují růst rostlin (Lacey et al. 2015).

Pokud porovnáme vlastnosti a účinky hub a bakterií ve vztahu k využití v biologické ochraně, hlavní odlišnost je ve způsobu napadení hostitele. Bakterie infikují hostitelský organismus skrze přijímanou potravu, houby naopak dokážou proniknout kutikulou a tělními otvory (Khetan 2001; Koubová 2009).

Houby nejčastěji napadají hmyz ve stádiu larvy a kukly, mohou ale napadat i vajíčka nebo dospělé jedince. U entomopatogenních hub jsou aktivní infekční jednotkou konidie (nepohyblivé spory), které se zachytí na povrchu organismu, vyklíčí a dokážou penetrovat hmyzí kutikulu kombinací mechanického tlaku a enzymatického rozkladu (Starnes et al. 1993). Využívají enzymy ze skupiny lipázy, chitinázy, peptidázy a proteázy (Anwer 2017). Místem napadení je většinou oblast mezi ústním ústrojím na záhybu článků těla škůdce nebo skrz průduchy; zde je kutikula měkčí, což usnadňuje její penetraci. Je tu i vlhčí prostředí, které urychluje růst (klíčení) houby (Usta 2013). Uvnitř hostitele houba využívá živiny z hemolymfy, vegetativně roste a ničí okolní tkáň. Entomopatogenní houby také produkují různé sekundární metabolity účinkující jako toxiny, což vede až k úhynu jedince. Podle velikosti škůdce a virulenci hub celý proces trvá od tří do čtrnácti dnů. Poté, pokud je vzdušná vlhkost dostatečná, začne houba prorůstat tělem a vytvoří mycelium na povrchu hmyzu, kde dochází ke konidiogenezi a tvorbě nových spor. Ty jsou pak rozneseny větrem nebo deštěm (Kühne et al. 2006; Koubová 2009; Anwer 2017).

3.3.2.1 Aflatoxiny

Přítomnost různých druhů *Lepidoptera* na kukuřičných polích, jako je např. *Sesamia cretica* a *Ostrinia nubilalis*, negativně ovlivňuje kvalitu rostlin, které jakmile jsou poškozeny larvami, jsou náchylnější k napadení fytopatogenními vláknitými houbami (Alma et al. 2005). Mezi nimi je *Aspergillus flavus* nejnebezpečnější díky své schopnosti produkovat aflatoxiny, sekundární metabolity toxinogenních vláknitých mikroskopických hub. Aflatoxiny mají škodlivý až smrtelný účinek na lidský nebo zvířecí organismus (Probst et al. 2007). Strategie zaměřené na zamezení šíření plísní na rostlinný materiál jak na poli, tak během skladování může účinně snížit kontaminaci produktů těmito mykotoxiny (Gibellato et al. 2021). Použití fungicidů dokáže aflatoxiny potlačit, ale pouze za cenu negativního vlivu na životní prostředí. Dají se zde použít přípravky obsahující mikrobiální agens *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* Berlinier nebo vaječné parazitoidy rodu *Trichogramma* Westwood (*Hymenoptera: Trichogrammatidae*). Vyšší aplikace přípravků s bioagens by však nebyla ekonomicky udržitelná, kromě toho, že zatím není možné posoudit její důsledky. Několik slibných a ekologicky šetrných přístupů k omezení *A. flavus* a kontaminace plodin je založeno na použití různých mikrobiálních organismů. Zejména se jedná o různé druhy kvasinek, bakterií a hub. Byl použit atoxigenní kmen *A. flavus* pro využití intraspecifické biokompetice. Ukázalo se, že

je to účinná metoda kontroly produkce aflatoxinu v různých plodinách. Úspěšné příklady byly hlášeny u koření, bavlníkových semen a kukuřice (Dorner 2004).

3.3.2.2 *Trichoderma*

Je to rychle rostoucí houba, vyskytující se v půdách všech klimatických zón. Četné kmeny tohoto rodu jsou schopné degradovat uhlovodíky, chlorfenolové sloučeniny, polysacharidy a xenobiotické pesticidy používané v zemědělství. Hlavní mechanismy biologické kontroly, které *Trichoderma* využívá, v přímé konfrontaci s houbovými patogeny, jsou mykoparazitismus a antibióza (Vinale et al. 2008).

Trichoderma umí mobilizovat a zachycovat půdní živiny, čímž ji činí efektivnější a konkurenceschopnější než mnoho jiných půdních mikrobů (Benítez et al. 2004). Tato houba patří mezi všudypřítomné obyvatele půdního a vodního prostředí. Druhy *Trichoderma* jsou známé tím, že udržují parazitický nebo symbiotický vztah s rostlinami a živočichy a jsou obvyklými obyvateli půdy a vodního prostředí s různorodými aplikacemi v oblasti zemědělství, průmyslu a bioremediace (Hossain et al. 2017).

V závislosti na kmenu poskytuje *Trichoderma* v zemědělství různé benefity. Kolonizují rhizosféru a umožňují rychlé založení stabilních mikrobiálních komunit. Kontroluje patogenní účinky a konkurenční mikroflóru s použitím různých mechanismů. Dále zlepšují zdraví rostlin a stimulují růst kořenů (Harman et al. 2004).

Trichoderma harzianum je volně žijící vláknitá houba, vyskytující se v půdě. Jako bioefektor, *Trichoderma harzianum*, může antagonizovat různorodou řadu fytopatogenních hub, včetně *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani* a *Fusarium oxysporum* (Yang et al. 2009). Chet a Baker (1980) zjistili, že i mírně zvýšené pH může redukovat účinnost *T. harzianum* a že tato houba přežívá v půdě déle, je-li půda vlhká. Při studiu teplotních podmínek se ukázalo, že houby rodu *Trichoderma* rostou optimálně při teplotách 15-25 °C. Byly však nalezeny také izoláty účinné při 2 °C a zároveň je popsán kmen *T. harzianum*, který preferuje teploty nad 32 °C.

V zemědělství je *Trichoderma* velmi rozšířená. Především díky její vysoké reprodukční schopnosti, účinnosti v předávání živin, silnou agresivitou vůči fytopatogenním houbám a její efektivnosti při podpoře růstu rostlin (Benítez et al. 2004).

3.3.2.3 *Pythium oligandrum*

Pythium oligandrum má schopnost kolonizovat rhizosféru mnoha druhů plodin a je odpovědný za snížení výskytu chorob způsobených řadou půdně přenášených houbových patogenů. Podporuje růst rostlin v důsledku interakcí s kořeny. Během této interakce produkuje auxinovou sloučeninu tryptamin. Tyto houby produkují elicitor, který aktivuje i obranný systém rostlin (Le Floch et al. 2003). Jedná se o nepatogenní půdní organismus, který dokáže fungovat v mykorrhizním stavu s rostlinami a zároveň parazitovat ostatní houby ze stejného i jiných rodů. V 1 g půdy můžeme nalézt 4–20 životaschopných zárodků (Klaban 2011).

Většina členů rodu *Pythium* jsou rostlinné patogeny, *Pythium oligandrum* se odlišuje od patogenních druhů tím, že chrání rostliny před biotickými stresy a podporuje jejich růst. Jednou

z nejpozoruhodnějších vlastností je schopnost vstoupit a kolonizovat kořenový systém před rychlým degenerováním. *Pythium oligandrum* a jeho příznivé účinky jsou výsledkem synergického působení několika mechanismů, včetně antagonismu proti řadě půdních patogenů a podpoře růstu rostlin (Benhamou et al. 2012).

Kromě zemědělství je tato houba využívána také v lékařství, jelikož pomáhá léčit mnoho kožních onemocnění (Naceradska et al. 2017). Studie také prokázaly, že tato houba je schopná ochránit mladou vinnou révu proti patogenu *P. chlamydospora* (Yacoub et al. 2016). Vůči *P. oligandrum* je vysoce zranitelná také *Phytophthora parasitica*. Antagonista je přitahován k hostiteli buňky určitým mechanismem, který pravděpodobně zahrnuje specifické chemické stimuly nebo chemotropní růst. Změny v permeabilitě membrán by mohly vést k vnitřní osmotické nerovnováze, což vede k dezorganizaci cytoplazmy a agregaci, jako je ta, která předchází parazitismu a následné vnitřní kolonizaci buněk *P. parasitica* (Picard et al. 2000)

Komplex oligandrin a proteinové frakce buněčné stěny aktivují obranný systém rostlin a tím inhibují růst patogenů. *P. oligandrum* též stimuluje růst rostlin pomocí látky tryptamin, prekursoru fytohormonu (indol-3octové kyseliny) řídícího růst rostlin (Deacon 2013).

3.3.3 Hmyz

3.3.3.1 Trichogramma

Drobněnky rodu *Trichogramma* z řádu blanokřídlých se řadí mezi nejmenší hmyz na světě. Přesto jsou velkými pomocníky proti nejrůznějším škůdcům. Drobněnky parazitují na vajíčkách celé řady škůdců z řádu motýlů (Lepidoptera) – například zavíječe kukuřičného (*Ostrinia nubilalis*), obaleče jablečného (*Cydia pomonella*), černopásky bavlníkové (*Heliothis armigera*), můry zelné (*Mamestra brassicae*) nebo můry kapustové (*Lacanobia oleracea*). Bývají, proto používány jako takzvaný bioagens, tedy ochranný přípravek na bázi živých organismů (Huang 2020).

Čínská studie z roku 2020 potvrdila účinky *Trichogrammy* proti asijskému zavíječi kukuřičnému. Na plochách ošetřených *Trichogramma* také vzrostl výnos z přibližně 8,4 na 10,5 t. ha⁻¹ (Huang 2020).

Jiná studie testovala vliv *T. chilonis*, *T. dendrolimi* a *T. pretiosum* na blýskavku kukuřičnou (*Spodoptera frugiperda*). Výsledky ukázaly, že míra parazitismu u tří parazitoidů se pohybovala od 10,7 % do 31,4 %, bez významných rozdílů. Polní vypouštění parazitoidů navíc vedlo k výraznému snížení míry poškození rostlin. Byla zjištěna pozitivní korelace mezi teplotou (14,5–24,5 °C) a mírou parazitismu *T. chilonis*. Naproti tomu relativní vlhkost (66 % ~ 77 %) jejich výkon neovlivnila. Dohromady lze všechny tři druhy *Trichogramma* použít jako potenciální bioagens pro kontrolu *S. frugiperda*, což nepochybně pokládá pevný základ pro jejich aplikaci (Yang 2022).

3.3.4 Mykorhiza

Mykorhiza je symbiotické soužití mezi houbou a rostlinou, konkrétně kořenovým systémem vyšších rostlin. Mykorhiza hraje důležitou roli v rostlinné výživě, půdní biologii i v chemii půdy. Rostlina vytváří organické molekuly, jako jsou cukry, fotosyntézou a dodává je do houby. Houby dodávají rostlině vodu a minerální látky, které odebírá z půdy – jako je

fosfor. Většina rostlin tvoří mykorrhizní sdružení (Kottke & Nebel 2005). Funkce tohoto vztahu jsou různé, může jít o výměnu organických a anorganických látek nebo o poskytnutí ochrany a dalších služeb. Mykorrhizní houby regulují dynamiku půdní organické hmoty, půdního uhlíku a emise skleníkových plynů. Upravují půdní strukturu a vodní režim (Trivedi 2007).

Plant Growth Promoting Rhizobacteria je označení pro půdní bakterie nacházející se v rhizosféře. Ty mají příznivý vliv na růst a vývoj rostlin. Rostliny indukují kolonizaci rhizosféry rhizobakteriemi uvolňováním iontů, enzymů a metabolitů, které jsou pro ně zdrojem potravy (Fasusi a Babalola 2021). Patří sem rody *Pseudomonas spp.*, *Bacillus spp.*, *Enterobacter spp.*, *Variovax spp.*, *Klebsiella spp.*, *Burkholderia spp.*, *Azospirillum spp.*, *Serratia spp.* a *Azotobacter spp.* (Nadeem et al. 2014).

Mechanismy, kterými rhizobakterie působí na rostliny, mohou být přímé nebo nepřímé. Přímé využívají bakteriální vlastnosti, které přímo ovlivňují růst a vývin rostlin. Zahrnují produkci auxinu, ACC deaminázy, cytokininů, gibberelinů, fixaci dusíku, zpřístupnění fosforu a sekvestraci železa pomocí bakteriálních sideroforů. Nepřímé mechanismy působí jako inhibitory houbových a bakteriálních patogenů představujících riziko pro rostliny. Účinkují pomocí ACC deaminázy, antibiotiky, enzymy rozpouštějícími buněčnou stěnu, konkurence, induced systemic resistance, quorum quenching a siderofory. Mechanismy působení PGPR ve prospěch rostlin jsou hojně využívány v biologické ochraně rostlin (Olanrewaju et al. 2017).

Existuje několik typů mykorrhizní symbiózy, které se v zásadě dělí na dva typy – ektomykorrhizní a endomykorrhizní. Pokud dochází k průniku houbových vláken do rostlinných kořenových buněk, jedná se o endomykorrhizu. Endomykorrhizní symbióza se dále dělí na podtypy arbuskulární, erikoidní (ta má další dva typy: arbutoidní a monotropoidní) a orchideoidní. Kromě endomykorrhizy se v přírodě vyskytuje také ektomykorrhizní symbioma a je charakteristická tím, že se mykorrhizní houba nachází pouze mezi buňkami hostitele (Peterson et al. 2004). Přechodným typem mezi ektomykorrhizní a endomykorrhizní symbiózou je ektendomykorrhizní symbióza.

U všech typů mykorrhizní symbiózy platí, že má-li vůbec vzniknout, je třeba, aby půda obsahovala živé mykorrhizní houby. Ty mohou být přítomny ve formě klidových stadií (spor) nebo jako již symbioticky rostoucí či vegetativní mycelium (dočasně přežívající bez hostitele) (Gryndler et al. 2004).

3.4 Výživa rostlin a makroprvky

Půdní podmínky po celém světě ve většině případů zajistí rostlinám, přizpůsobeným danému klimatu a půdě, dostatečnou výživu po celý životní cyklus bez přidání dalších živin jako hnojiva. Pokud ale půda není schopna rostlinám dodat potřebné množství živin pro správný růst a výnos, musíme živiny do půdy dodat. Rozdíly v obsahu živin významně ovlivňují proces fotosyntézy a hrají proto zásadní roli při růstu a vývoji rostlin. Každá rostlina potřebuje k vývoji devět makrobiogenních a osm mikrobiogenních prvků. Jejich nedostatek či nadbytek způsobuje poruchy růstu, jiné zbarvení rostlin nebo může dojít k jejich úhynu (Kalaji et al. 2018). Základní živiny pro rostliny jsou uhlík, kyslík a vodík. Tyto prvky získává rostlina ze vzduchu (resp. z vody), ostatní živiny jsou získávány především z půdy (Taiz & Zeiger 2002).

Makrobiogenní prvky jsou spotřebovávány ve větším množství a přispívají k více než 95 % celkové biomasy rostlin (Marschner 2012).

Uhlík tvoří základ většiny rostlinných biomolekul včetně bílkovin, škrobů a celulózy. Je fixován fotosyntézou, ve formě CO_2 . Rostlina získává uhlík ze vzduchu. Zvyšuje transpiraci a množství chlorofylu. Je hlavní složkou rostlinné organické hmoty. K nedostatku uhlíku v praxi obvykle nedochází (Taiz & Zeiger 2002).

Vodík rostlina získává pouze z vody. Vodíkové ionty jsou nezbytné pro protonový gradient, který pomáhá řídit transportní řetězec elektronů při fotosyntéze a dýchání. Vodík je také základní složkou rostlinné organické hmoty. Nedostatek vodíku nebývá problémem, množství souvisí s dostatkem vody (Taiz & Zeiger 2002).

Kyslík je součástí většiny organických a anorganických molekul v rostlině. Je získáván ze vzduchu, ale i z půdní vody prostřednictvím kořenů. Rostliny produkují plynný kyslík O_2 spolu s glukózou během procesu fotosyntézy. V rámci buněčného dýchání rozkládá glukózu za vzniku ATP. Kyslík je jednou ze složek rostlinné organické hmoty. Nedostatek kyslíku není běžný (Taiz & Zeiger 2002).

Dusík je důležitou součástí několika nejdůležitějších rostlinných látek. Tvoří složku aminokyselin, které tvoří stavební prvky bílkovin. Je také podstatnou složkou chlorofylu. Dusík je rostlinami přijímán ve formě NO_3^- , NH_4^+ . Dusík je složkou nukleových kyselin, proteinů, hormonů a koenzymů. Nedostatek dusíku nejčastěji vede ke zpomalení růstu a následně celkově menšímu vzrůstu dospělých rostlin (Roy et al. 2006).

Fosfor se účastní mnoha životně důležitých rostlinných procesů. Nachází se v organických i anorganických formách, které jsou v rostlině snadno transportovány. Všechny přenosy energie jsou závislé na dostatku fosforu. Fosfor je rostlinami přijímán ve formě H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} . Fosfor v rostlinách je součástí fosfolipidů, nukleových kyselin, ATP a koenzymů. Nedostatek fosforu se projevuje zhoršením růstu nadzemních orgánů rostlin, pomalým vývojem pupenů a předčasným opadáváním květů a plodů (Filippelli 2002). Fosfáty se rychle pohybují v rostlinách, ale jejich pohyblivost v půdě je spíše nízká. Cyklus fosforu je jedním z nejpomalejších biogeochemických cyklů (Oelkers 2008).

Draslík má dobrou mobilitu a je snadno rozpustný v rostlinných pletivech. Rostlina přijímá draslík ve formě iontu K^+ . Draslík je důležitý pro vodní bilanci a iontovou rovnováhu rostlin. Rostliny potřebují draslík pro otevírání a zavírání průduchů a pro syntézu bílkovin. Nedostatek draslíku u rostlin je závažnou fyziologickou poruchou ve výživě rostlin. Rostlina má problém s hospodařením s vodou, narušuje se syntéza sacharidů a snižuje se její odolnost proti parazitům (Heiberg & White 1951).

Síra je stavební složka některých aminokyselin nebo vitamínů. Je nepostradatelná pro růst a funkci chloroplastů. Síra je přijímána rostlinou ve formě SO_4^{2-} . Síra je u rostlin složkou proteinů a koenzymů. Příznaky nedostatku jsou žloutnutí listů a zakrnělý vzrůst rostliny (Sirko et al. 2009).

Vápník je důležitý pro vznik a odolnost buněčné stěny, zachovává správné funkce membrán a aktivuje různé enzymy. Je důležitým regulátorem buněčné odpovědi na podněty. Rostlina přijímá vápník ve formě Ca^{2+} . Tato živina se podílí na fotosyntéze a stavbě rostlin. Nedostatek vápníku ovlivňuje příjem živin, vedoucí k odumírání tkáně na určitých místech. Příznaky nedostatku vápníku jsou u rostlin různé (Simon 1978).

Hořčík je součástí chlorofylu, proto je zásadní ve fotosyntéze. Také je aktivátorem mnoha důležitých enzymů. Stejně jako draslík je hořčík v rostlinách dobře pohyblivý. Rostliny ho přijímají ve formě Mg^{2+} . Příznaky nedostatku hořčíku v rostlinách se projevují tzv. mramorovým vzhledem starších listů. Nedostatek hořčíku působí předčasné stárnutí rostlin (Marschner 2012).

3.5 Biodiverzita organismů v porostech kukuřice

V porostech kukuřice se nevyskytují jen škůdci, ale i další hmyz, který se dá využít jako přirozený nepřítel škůdců. Nejčastější druhy střevlíkovitých v kukuřičných polích na jihu Moravy podle Štěrbý (2010) byli: Kvapník plstnatý (*Pseudaophonus rufipes*), *Pterostichus melanarius*, Kvapník kovový (*Amara aenea*), Kvapník měnivý (*Harpalus affinis*), Střevlíček ošlejšchový (*Anchomenus dorsalis*), a *Zabrus tenebroides*. Na kukuřičném poli u Litvínovic sledovaném Svobodou v roce 2012 byly nejpočetnější podobné druhy jako u Štěrbý (2010), (*Pterostichus melanarius* a *Pseudaophonus rufipes*) a dále druh *Agonum sexpunctatum*. Nejpočetnější střevlíkovití v kukuřici pěstované ve východním Rumunsku byli: *Pseudaophonus rufipes*, *Poecilus cupreus*, *Pterostichus stenos*, *Pterostichus macer* a *Metoponus rupicola*. Podle Boháče (1999), který prováděl průzkum na polích kukuřice, jsou nejčastějšími druhy drabčíkovití *Aleochara bipustulata*, *Oxytelus rugosus*, *Tachyporus hypnorum* a *Philonthus cognatus*.

Roku 2017 byla zjišťována aktivita a dominantní zastoupení druhů v kukuřičném poli. Celkem bylo od května do září 2017 určeno 353 kusů brouků spadajících do 10 čeledí a 43 druhů. V kukuřičném poli bylo 8 čeledí se zástupci 39 druhů a celkem 353 kusy brouků. V kukuřici byly nejvíce zastoupeny druhy *Aleochara bipustulata* a *Omalium caesum* a to každý 11 kusy. Toto množství činilo 3 % z celkového počtu brouků kukuřice. Čeleď střevlíkovití (Carabidae) byla zastoupena 12 druhy. Nejvíce jedinců patří do druhu *Poecilus cupreus*. V kukuřici se vyskytovalo 153 jedinců druhu *Poecilus cupreus*, což činilo 43 % z celkového počtu brouků odchycených v kukuřičném poli (353 ks). Nejvíce se vyskytující jedinci patřili k čeledím střevlíkovití a drabčíkovití, které jsou rozebrány níže. Jejich procentuální zastoupení v kukuřici činilo 68 a 24 %. Dále se zde vyskytovali čeledi Cantharidae a Nitidulidae. V kukuřici bylo chyceno 9 jedinců reliktních druhů (3 % z celkového počtu jedinců kukuřice). Dva druhy: *Harpalus latus* a *Notiophilus biguttatus* náleželi k čeledi střevlíkovití. Zbylé 3 druhy: *Othius punctulatus*, *Philonthus quisquiliarius* a *P. utratilis* patřili k čeledi drabčíkovití. Nosatcovití, mandelinkovití a lesknáčovití se na polích vyskytovaly do 2 % z celkového množství odchycených brouků (Slováková 2018).

Biodiverzita byla na poli sledována také roku 2015. Zde bylo determinováno celkem 11 druhů brouků s celkovým počtem 122 odchycených jedinců. Poměr počtu druhů k počtu jedinců (index diverzity podle Oduma) je 0,09, takže se převážně také jedná převahu dominantního druhu *Poecilus cupreus* (Brusová 2015).

4 Metodika

Tato diplomová práce je založena na základě výsledků, které byly zjištěny během polního pokusu na Výzkumné stanici katedry agroekologie a rostlinné produkce ČZU v Červeném Újezdě v roce 2022.

4.1 Charakteristika stanoviště

Výzkumné pracoviště v Červeném Újezdě bylo založeno v roce 1974. Na tomto pracovišti jsou realizovány různé vědecké projekty a granty kateder České zemědělské univerzity a doktorské, diplomové a bakalářské práce. Část pokusné plochy je vyčleněna pro komerční využití. Probíhají zde pokusy chemických a osivářských firem. Pokusná stanice se rozkládá na 30 hektarech z čehož pro vědeckou práci je vyčleněno 8 hektarů. Stanice je plně soběstačná v rámci technologie na zakládání, ošetřování a sklizeň pěstovaných plodin. Geologicky je toto území tvořeno opukami z období křídý překrytými sprašemi a sprašovými pokryvy z období pleistocénu. Opuky jsou vápnité se štěrkovým rozpadem. Převažujícím půdním druhem jsou zde spraše a nevápnité sprašové pokryvy.

4.1.1 Klimatické podmínky

Výzkumná stanice v Červeném Újezdě se nachází v oblasti mírně suché, teplé s převážně mírnou zimou. Stanice je v nadmořské výšce 398 m n.m. Průměrná délka slunečního svitu za rok je zde 1902 hodin. Za vegetační období doba slunečního svitu činí 1396 hodin. Souhrn klimatických podmínek dává vzniknout hnědozemím, popřípadě hnědozemím illimerizovaným vyluhováním svrchních půdních horizontů při současném posunu koloidních částic do spodních vrstev. Plochy, kde se provádí pokusy jsou součástí takzvané Bělohorské plošiny, která je mírně zvlněná. Terén obdělávaných ploch je převážně rovný, jednoduchý s jižní expozicí. Průměrná nadmořská výška je 405 metrů n.m. s nejvyšším bodem 420 m n.m, kterým je vrcholkem mírného svahu nacházející se na jižním okraji daného území. Pokryv je hluboký kvarterního charakteru vyznačující se dobrou sorpcí srážek. Půdní substrát vykazuje dobrou úroveň vnitřní drenáže. Území pokusných ploch v Červeném Újezdě je z geologického pohledu tvořené opukami se sprašovým překryvem.

4.1.2 Půdní podmínky

Z hlediska chemických vlastností vykazuje půda střední sorpční kapacitu s neutrální reakcí a nasycený koloidní komplex. V půdě je mírný obsah humusu a zásoba fosforu a draslíku je dostatečná. Plochy realizace jsou směřovány na východní stranu katastru obce Červený Újezd.

4.2 Agrotechnika pokusu

Kukuřice byla vyseta dne 27. 4. 2022 klasickou technologií rozteče řádků 75 cm po předplodině pšenici ozimé. Hustota výsevu činila 80 000 rostlin na 1 ha. Pokus byl založen na

parcelkách o velikosti 30 m², vždy byly na parcele 4 řádky o šířce 75 cm. Na jaře před setím proběhla standardní příprava půdy pro setí kukuřice. Aplikace hnojiv na široko byla realizována 27.4. 2022. Pro pokus byl použit hybrid DEKALB DKC4098 ve třech variantách ošetření se čtyřmi opakováními a hybrid AMAVERITAS v pěti variantách se čtyřmi opakováními. 9.6. 2022 byl aplikován preemergentní herbicid Lumax v dávce 3,25 l. ha⁻¹ a Titus 45 g. ha⁻¹ aplikování bodově na pýr plazivý.

V období setí (duben) byly teploty nižší, než obvykle a to o 1,7 °C a nadměrné množství srážek. V květnu došlo k mírnému oteplení o 2 °C a k ústupu srážek na normální hodnotu. V dalších měsících oteplování pokračovalo. V červnu byly teploty mimořádně nadprůměrné s teplotou 19,91 °C, což je o 2,0 °C vyšší teplota, než je v této oblasti v tuto dobu normální. Silně nadprůměrný byl v tomto měsíci i úhrn srážek a to 139,1 mm. Během července se teploty i srážky pohybovaly v normálu. Srpen byl nadprůměrně teplý s průměrnou teplotou 20,42 °C, což je o 1,8 °C více než obvykle. Srážky se pohybovaly ve vyšších hodnotách a to 153 % normálu. 13. září se uskutečnila sklizeň. Tento měsíc byla teplota i srážky v normálu a vše probíhalo bez komplikací.

4.2.1 Přípravek Galleko

Na tento pokus byl vybrán hybrid KWS AMAVERITAS (FAO 250). 27.4. 2022 proběhla aplikace hnojiva LAD27 v dávce 120 kg N. ha⁻¹. Zde byly použity přípravky Galleko arider, Galleko růst, Galleko květ a plod a Galleko smáčedlo. Sklizeň zelené hmoty proběhla 13. 9. 2022.

Pokus byl založen s následujícími variantami:

- G1 Kontrola
- G2 EKO arider – v dávce 0,8 l. ha⁻¹ ve fázi 8-10 listů a v dávce 0,7 l. ha⁻¹ ve výšce rostlin 100 cm
- G3 růst + květ a plod – Galleko růst v dávce 0,8 l. ha⁻¹ ve fázi 8-10 listů, Galleko květ a plod v dávce 1 l. ha⁻¹ ve výšce rostlin 100 cm
- G4 EKO arider+smáčedlo – Galleko arider v dávce 0,5 l. ha⁻¹ ve fázi 8-10 listů + smáčedlo v dávce 1 l. ha⁻¹
- G5 růst+ květ a plod dohromady – Galleko růst v dávce 0,8 l. ha⁻¹ + květ a plod v dávce 0,8 l. ha⁻¹ ve fázi 8-10 listů

4.2.2 Přípravek Baskus

Použit byl hybrid DEKALB DKC4098. Bylo aplikováno 173 kg. ha⁻¹ DASA, kde čistá dávka N je 80 kg. ha⁻¹. Sklizeň proběhla 14. září 2022. Obsah sušiny byl zjištěn z řezanky z každé parcely, dosušením v sušárně při 105 °C po dobu 12 hodin. Aplikace přípravku Baskus proběhla ve výšce porostu 100 cm 27. června 2022.

Pokus byl založen s následujícími variantami:

Tabulka 1 – varianty a jejich ošetření

	MT1	MT2	MT3	JF1	JF2
Baskus	kontrola bez ošetření	4 l. ha ⁻¹	2 l. ha ⁻¹		
Prosaro				kontrola bez ošetření	1 l. ha ⁻¹

4.2.3 Popis sledovaných hybridů kukuřice

Hybrid DEKALB DKC 4098 je v posledních dvou letech výnosově nejstabilnější hybrid v kontinentálních podmínkách střední Evropy s FAO 310. Tento středně raný hybrid je vynikající v extrémních podmínkách – výborně odolává suchu a sálavému teplu. Je velmi přizpůsobivý a umí využít potenciál v lepších podmínkách. Je vysoce odolný vůči chorobám stonku i palice. Velmi dobře uvolňuje vodu, palice jsou oválnější s menšími zrny a většími mezerami.

Hybrid KWS AMAVERITAS (FAO 250) je silážní hybrid s vysokým výnosem suché hmoty, s vysokým obsahem škrobu a stravitelností organické hmoty. Vyznačuje se velmi rychlým počátečním růstem a vývojem a výborným zdravotním stavem. Silný stay green efekt zajistí dostatečně široké sklizňové okno pro vysokou kvalitu následných siláží. Hybrid je určen do chladnějších oblastí, kde vždy zabezpečí vysoký obsah škrobu v sušině a vysoký výnos škrobu z hektaru.

4.2.4 Popis použitých přípravků

4.2.4.1 Baskus

Jedná se o směs probiotických mikroorganismů, která je určena k podpoře dobrého zdravotního stavu rostlin a zvýšení jejich odolnosti. Přípravek je ve formě rozpustného koncentráту a je vhodný k použití v ekologickém zemědělství. Tento čistě biologický produkt je ve výhradním vlastnictví firmy MONAS technology s.r.o. a je uložen ve sbírce mikroorganismů jako CCDM 109. Obsahuje celkem 7 různých druhů mikroorganismů, které působí jak proti G⁺, tak proti G⁻ bakteriím. Jednotlivé složky přípravku mají pozitivní efekt na zdraví rostlin samy o sobě, nicméně díky kombinaci několika různých druhů se podařilo vyvinout produkt, jehož účinek je konzistentní napříč širokým spektrem patogenů a při celé škále environmentálních podmínek. Tři z komponent obsažených v přípravku podporují přirozenou obranyschopnost rostlin, zatímco zbylé čtyři aktivně potlačují patogenní bakterie (Monas technology s r.o. 2020).

4.2.4.2 Galleko

Přípravky Galleko jsou vícesložkové, obsahují humáty, aminokyseliny, oligosacharidy, růstové hormony auxiny, mořské řasy, mikro a makro živiny (Kozak et al. 2016). Stimulátory s názvem Galleko vyráběné domácí firmou DURST VJV se sídlem v Bolaticích okres Opava navázaly na dlouholetou tradici předchozí úspěšné řady s názvem Trisol. Tato nová řada přípravků se stimulačními účinky byla na počátku roku 2013 firmou TRISOL s.r.o. na trh v České republice uvedena, aby se sjednotila nabídka produktů v České a Slovenské republice.

Galleko arider je pomocný přípravek určený na všechny porosty ve všech fázích růstu na protistresovou ochranu rostlin – sucho, zamokření, zasolení a ostatní stresové podmínky, dále na použití v průběhu celé vegetace jako přídavek k základní výživě, listové výživě a pesticidům. Má smáčivý, lepivý a penetrační účinek. Obsahuje směs oligopeptidů a aminokyselin, antioxidanty a výtažky z mořských řas. Tento přípravek optimalizuje energetický metabolismus, podporuje růstové procesy, zvyšuje příjem živin a vláhy, zvyšuje výkon fotosyntézy a zlepšuje zdravotní stav rostlin.

Galleko růst je určen pro podporu růstu kořenů i nadzemních částí rostlin na husté a kvalitní porosty plodin v počátečních fázích růstu. Regeneruje porosty po chemickém, mechanickém a mrazovém poškození. Galleko růst stimuluje růst a tvorbu výnosu. Podporuje tvorbu jemného a bohatého kořenového vlášení, čímž způsobuje účinnější využití vláhy a dodané výživy. Má smáčivý, lepivý a adaptogenní účinek. Zvyšuje práh tolerance vůči chorobám.

Galleko květ a plod je určený pro oblasti s nízkými nebo nedostatečnými srážkami, pro všechny polní kultury po celé období hlavního růstu. Na ozimé a jarní plodiny před květem, v období kvetení a po době odkvětu. Podporuje růst mladých plodů. Je vhodný i pokud potřebujeme zvýšit a prodloužit účinek současně aplikovaných postřiků a výživy. Zvyšuje práh odolnosti vůči chorobám. Podporuje intenzivní tvorbu zásobních a účinných látek, cukrů, silic, hořčin.

Galleko smáčedlo je určené na použití v průběhu celé vegetace jako přídavek k základní výživě, listové výživě, fungicidům, insekticidům a akaricidům. Přirozeně zvyšuje odolnost rostlin k nepříznivým podmínkám

4.3 Hodnocení pokusu

Během celé vegetace byl sledován růst a vývoj rostlin. Hodnotil se především vývoj rostlin a jejich zdravotní stav. Na konci pokusu byly rostliny spočítány a byl zjištěn počet rostlin na řádek (7,5 m²). Byla zjišťována také hmotnost jedné rostliny, výnos zelené hmoty dle počtu rostlin a obsah sušiny. Sušina byla zjišťována odebráním vzorků řezanky z každého opakování. Hmotnost vzorku byla přibližně 500 g. Vzorky byly sušeny při teplotě 105 °C po dobu 12 hodin. Po usušení byl vzorek znovu zvážen a ze zjištěné hodnoty se počítala sušina celé rostliny. Sklizeň kukuřice proběhla ručním odlámaním palic. Palice byly ihned vymláčeny na sklízecím stroji Wintersteiger. Hmotnost zrn byla zjištěna z každé varianty, dále byla zjištěna vlhkost zrna sušením při teplotě 45 °C po dobu 48 hodin a následně byl přepočítán výnos zrna na jeden hektar. Výsledky byly hodnoceny v programu Statistica 12.1 pomocí Tukey Anova HSD testu

4.3.1 Hodnocení zdravotního stavu

Hodnocení zdravotního stavu proběhlo v plné zralosti 22.9.2022. Hodnotil se stupeň nakažení fuzáriem na variantě MT2 a kontrolní variantě z dvaceti po sobě jdoucích rostlin na nesklizených okrajových řádcích po odloupení krycích listů palic. Hodnotí se bodově každá napadená palice v parcelce.

Metodika vychází z ÚKZÚZ Metodiky (Stupnice 9-1).

9 bez napadení

7 napadeno do 5 zrn na palici

5 napadeno do 15 zrn na palici

3 napadeno do 50 zrn na palici

1 napadeno více než 50 zrn na palici

Dále byl hodnocen počet palic napadených snětí kukuřičnou (*Ustilago maydis*). Sledoval se počet všech palic napadených patogenem; výsledná hodnota je aritmetickým průměrem všech napadených palic na parcele. Sledovalo se i napadení listů rzí kukuřičnou (*Puccinia sorghi*).

5 Výsledky

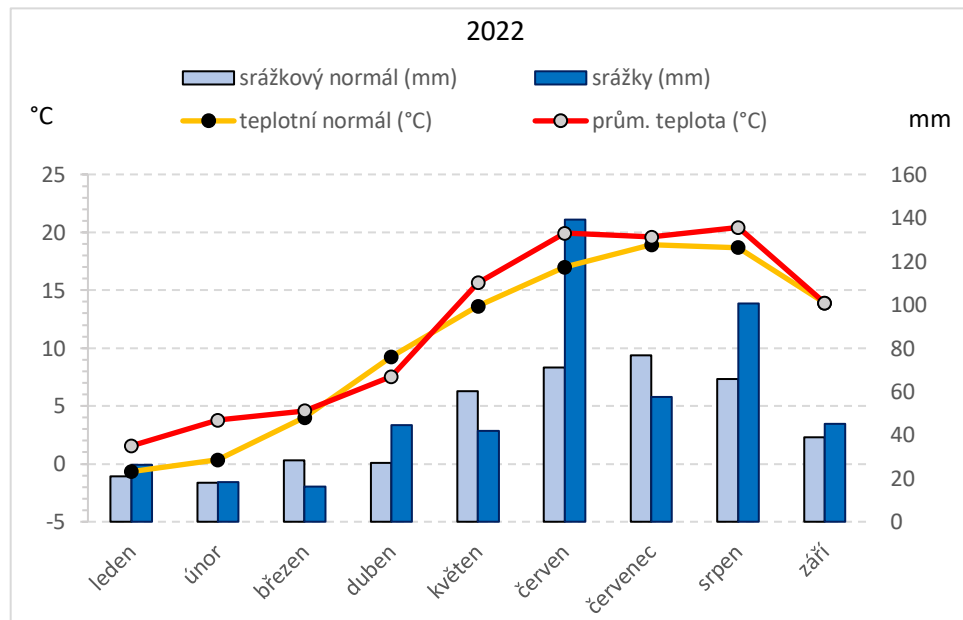
Vyhodnocování výsledků probíhalo během celého vegetačního období kukuřice. Zaznamenával se průběh počasí a vývoj silážní kukuřice ošetřené přípravkem Baskus a kukuřice zrnové, na kterou byl aplikován stimulátor Galleko. U silážní kukuřice byla sledována průměrná hmotnost jedné rostliny, výnos zelené hmoty dle počtu rostlin a podle opakování, výnos sušiny, počet rostlin na řádek (tzn 7,5 m²) a obsah sušiny v procentech. U zrnové kukuřice se sledoval výnos zelené hmoty, výnos suché hmoty, počet rostlin na sklizňový řádek a výška rostlin. Hodnocen byl výnos zrna, vliv přípravku na HTZ a výnos biomasy.

5.1 Meteorologické údaje za rok 2022

Rok 2022 byl porovnáván s dlouhodobým normálem, který pochází z nejbližší (9,5 km vzdálené) meteorologické oficiální stanice Praha Ruzyně z let 1991-2020. Data měření pokusného stanoviště pochází z vlastní meteorologické stanice u hlavní budovy. Ty jsou znázorněny v grafu 1. Zima, tedy leden a únor, byly z pohledu průběhu teplot nadnormální, březen byl v teplotním normálu a duben byl teplotně podnormální, což se projevilo na zpoždění klíčení kukuřice, která byla zasetá 27.4.2022. Co se týká zásoby vody v půdě, po celou vegetační dobu nebyl pozorován přísušek. Srážky chodily pravidelně, jak po zasetí, tak i během intenzivního růstu kukuřice (červen a červenec) byly srážkové podmínky velmi dobré (červen a srpen silně nadnormální). Letní měsíce byly teplotně nadnormální, což urychlovalo zrání kukuřic. Sklizeň proběhla v optimální vlhkosti řezanky, zrno pak po týdnu v průměrném obsahu sušiny palic 75 %.

Tabulka 2 Průběh počasí Červený Újezd v porovnání s průměrem (2022)
 (Zdroj: Meteorologická stanice Červený Újezd, Normál Praha Ruzyně 1981–2010)

rok 2022	teplotní normál (°C)	prům. teplota (°C)	odchylka od normálu	hodnocení	srážkový normál (mm)	srážky (mm)	% normálu	hodnocení
leden	-0,7	1,55	2,2	nadnormální	21	26,1	125	nadnormální
únor	0,3	3,78	3,4	silně nadnormální	18	18,4	102	normální
březen	4,0	4,57	0,6	normální	28	16,3	57	normální
duben	9,2	7,52	-1,7	podnormální	27	44,6	164	silně nadnormální
květen	13,6	15,63	2,0	nadnormální	60	41,9	70	normální
červen	17,0	19,91	2,9	Mimořádně nadnormální	71	139,1	196	silně nadnormální
červenec	18,9	19,60	0,7	normální	77	57,5	75	normální
srpen	18,7	20,42	1,8	silně nadnormální	66	100,6	153	nadnormální
září	13,9	13,89	0,0	normální	39	45,2	117	normální



Graf 1: Průběh počasí v roce 2022 na Výzkumné stanici (vztaženo k normálu Ruzyně 1991-2020).

5.2 Hodnocení přípravku Baskus

5.2.1 Vzházení variant

Byly spočítány všechny sklizňové rostliny těsně před sklizní. Počet sklizňových rostlin z průměru jednotlivých opakování je znázorněn v tabulce 3. Pro objektivní hodnocení bylo důležité dokázat, že rozdíly mezi průměry jednotlivých opakování nebyly průkazně odlišné. Počet rostlin v jednotlivých parcelkách nebyl výrazně rozdílný, rozdíly mezi variantami byly statisticky neprůkazné.

Tabulka 3: Počty rostlin na sklizňový řádek (14.9.2022)

varianta	Počet kusů	HSD Tukey test
MT1	50,3	a
MT2	44,5	a
MT3	45,8	a
JF1	39,8	a
JF2	41,8	a

Tukeyuv HSD test; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PC = 77,867, sv = 15,000
a – stejná písmena ve sloupci pod sebou značí statisticky neprůkazné rozdíly

5.2.2 Průměrná hmotnost jedné rostliny

Při sklizni byla sledována průměrná hmotnost jedné rostliny. Všechny hodnoty jsou zaznamenány v tabulce 4. Průměrné hmotnosti jednotlivých rostlin nebyly výrazně rozdílné, rozdíly mezi variantami byly statisticky neprůkazné. Obě varianty ošetřené přípravkem Baskus měly lepší výsledky než neošetřená varianta. MT2 o 204 g a MT3 o 44 g. Lépe dopadla varianta ošetřená přípravkem Prosaro (JF2) s rozdílem 22 g vyšší průměrné hmotnosti jedné rostliny oproti kontrole.

Tabulka 4: Průměrná hmotnost jedné rostliny (g)

Varianta	Průměrná hmotnost jedné rostliny (g)	HSD Tukey test
MT1	804	a
MT2	1008	a
MT3	848	a
JF1	997	a
JF2	1019	a

Tukeyuv HSD test; proměnná prům. hmotnost 1 rostliny (data_kuk) Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PC = 63595,, sv = 15,000
a – stejná písmena ve sloupci pod sebou značí statisticky neprůkazné rozdíly

5.2.3 Výnos kukuřice

Byl hodnocen vliv podpůrného přípravku Baskus na růst a vývoj silážní kukuřice. Když porovnáme variantu MT2, ošetřenou přípravkem Baskus 4 l. ha⁻¹ a variantu MT3, kde bylo aplikováno jen 2 l. ha⁻¹ téhož přípravku, je patrné, že varianta ošetřená větší dávkou měla ve všech ohledech lepší výsledek. Z hlediska výnosu zelené hmoty měl přípravek Baskus v obou dávkách pozitivní vliv. V dávce 4 l. ha⁻¹ byl výnos zelené hmoty o více než 11,19 t. ha⁻¹ vyšší než u kontrolní varianty. V obsahu sušiny byly varianty MT2 a kontrolní varianta MT1 pouze nepatrně rozdílné. Varianta MT3 byla v tomto ohledu podprůměrná. Výnos suché hmoty byl vyšší u varianty MT2 o 5,28 t. ha⁻¹ než u varianty MT3 a o 4,54 t. ha⁻¹ vyšší než u varianty kontrolní. To nasvědčuje pozitivnímu působení tohoto stimulantu. Vyšší výnos, než MT2 měla varianta JF2 ošetřena konvenčním přípravkem Prosaro (fungicid). Rozdíl ale není statisticky významný.

Tabulka 5: Výnos zelené a suché hmoty a obsah sušiny

varianta	výnos zelené biomasy (t. ha ⁻¹) ¹	obsah sušiny (%) ²	výnos suché hmoty (t. ha ⁻¹) ³
MT1	44,24 a	41,5 a	18,36 a
MT2	55,43 a	41,2 a	22,90 a
MT3	46,65 a	37,5 a	17,62 a
JF1	54,85 a	43,1 a	24,01 a
JF2	56,05 a	42,1 a	23,57 a

a – stejná písmena ve sloupci pod sebou značí statisticky neprůkazné rozdíly

1. Tukeyuv HSD test; proměnná výnos zelené t.ha⁻¹ r (data_kuk) Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PC = 192,37, sv = 15,000
2. Tukeyuv HSD test; proměnná obsah sušiny (data_kuk) Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PC = 7,9725, sv = 15,000
3. Tukeyuv HSD test; proměnná výnos suché hmoty t.ha⁻¹ (data_kuk) Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PC = 41,497, sv = 15,000

5.3 Hodnocení přípravku Galleko

5.3.1 Vzcházení variant

Byly spočítány všechny sklizňové rostliny těsně před sklizní. Počet sklizňových rostlin z průměru jednotlivých opakování je znázorněn v tabulce 6. Pro objektivní hodnocení bylo důležité dokázat, že rozdíly mezi průměry jednotlivých opakování nebyly průkazně odlišné. Počet rostlin v jednotlivých parcelkách nebyl výrazně rozdílný, rozdíly mezi variantami byly statisticky neprůkazné.

Tabulka 6: Počty rostlin na sklizňový řádek (13.9.2022)

varianta	počet ks	HSD Tukey test
G1	41,5	a
G2	42,0	a
G3	47,3	a
G4	43,5	a
G5	46,3	a

Tukeyuv HSD test; proměnná počet kusů; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PC = 15,399, sv = 15,00
a – stejná písmena ve sloupci pod sebou značí statisticky neprůkazné rozdíly

5.3.2 Výška rostlin

Výška rostlin se měřila těsně před sklizní a nebyl zjištěn průkazný rozdíl v porovnání ošetření firmy Galleko. Nicméně mírné trendy vyšších rostlin byly zjištěny u variant G2, G3, G4, G5. Nejvyšší rostliny byly zjištěny u varianty G4 (314,5 cm) oproti 309,1 cm u kontrolní varianty G1.

Tab. 7: Výška rostlin (cm) před sklizní, datum 13.9.2022

varianta	výška rostlin (cm)
G1	309,1 a
G2	311,9 a
G3	310,9 a
G4	314,5 a
G5	311,1 a

Tukeyův HSD test; proměnná výška cm; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PČ = 811,82, sv = 395,00

a – stejná písmena ve sloupci pod sebou značí statisticky neprůkazné rozdíly

5.3.3 Hodnocení výnosu zrna

Výnos zrna je druhý ukazatel efektivity přípravků firmy Galleko. Z tabulky 8 vyplývají zajímavé trendy. Nejvyšší výnosy zrna byly zjištěny na variantách G5 (12,16 t. ha⁻¹). Kromě varianty G4 (eko varianta) byly zjištěny vyšší výnosy zrna v čerstvé hmotě u varianty G3 i G2. Obsah sušiny byl velmi vyrovnaný, pohyboval se od 74,8 % u kontrolní varianty G1 až po 76,3 % u varianty G3. Nejvyšší výnosy sušiny zrna byly zjištěny u variant G5 o 4,3 %, G3 o 3,6 % a G2 o 3,1 %. Konkrétní procentuální přínosy jsou uvedeny v tabulce 9.

Tab. 8: Výnos zelené hmoty, obsah sušiny, a výnos suché hmoty u zrnové kukuřice

varianta	výnos zrna – čerstvá (t. ha ⁻¹)	obsah sušiny (%) ²	výnos sušiny zrna (t. ha ⁻¹)
G1	11,80 a	74,8	8,83 a
G2	12,04 a	75,5	9,10 a
G3	12,00 a	76,3	9,15 a
G4	11,33 a	76,2	8,64 a
G5	12,16 a	75,7	9,21 a

a – stejná písmena ve sloupci pod sebou značí statisticky neprůkazné rozdíly

1 Tukeyův HSD test; proměnná výnos zrna čerstvá; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PČ = 1,7001, sv = 15,00

2 LSD test; proměnná obsah sušiny %: Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PČ = 5,1178, sv = 16,00

3 Tukeyův HSD test; proměnná výnos zrna suchá; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PČ = 1,2170, sv = 15,00

5.3.4 Hodnocení výnosu kukuřice

V tabulce 9 je znázorněn vliv kombinace různých podpůrných přípravků firmy Galleko na výnos čerstvé hmoty a obsah sušiny. Z tabulky 8 je patrný vliv ošetření varianty G3 a G5, kde byl zjištěn výrazně vyšší výnos zelené hmoty oproti neošetřené variantě. Obě eko varianty (var. G2 a G4) měly nižší výnos zelené hmoty než kontrola, v podstatě je to velmi pozitivní výsledek. Propad výnosu zelené hmoty byl nižší u varianty, kde byl přípravek Arider společně s máčedlem. Lze tedy odvodit, že i přes absenci hnojení, tyto varianty neměly tak velký propad výnosu a přípravek Arider do jisté míry kompenzoval tento výpadek. Obsah sušiny se pohyboval od 33,2 % u kontroly (var. G1) do 38 % u varianty G3. Vliv variant na výnos suché hmoty byl patrný při ošetření přípravky Růst+Květ a plod (var. G3 a G5). V tomto případě došlo k výraznému zvýšení výnosu suché hmoty (shodně 22,31 t. ha⁻¹) oproti kontrole (18,42 t. ha⁻¹). Obě eko varianty měly prakticky shodný výnos suché hmoty jako neošetřená varianta G1.

Tab. 9: Výnos zelené a suché hmoty, obsah sušiny a průměrná hmotnost 1 rostliny silážní kukuřice

varianta	výnos zelené biomasy (t. ha ⁻¹) ¹	obsah sušiny (%) ²	výnos suché hmoty (t. ha ⁻¹) ³
G1 Kontrola	55,67 a	33,2 a	18,42 a
G2 EKO Arider	53,92 a	34,6 a	18,32 a
G3 růst + květ a plod	58,32 a	38,0 a	22,31 a
G4 EKO Arider+smáč.	54,63 a	33,8 a	18,43 a
G5 růst+ květ a plod dohromady	57,82 a	34,3 a	22,31 a

a – stejná písmena ve sloupci pod sebou značí statisticky neprůkazné rozdíly

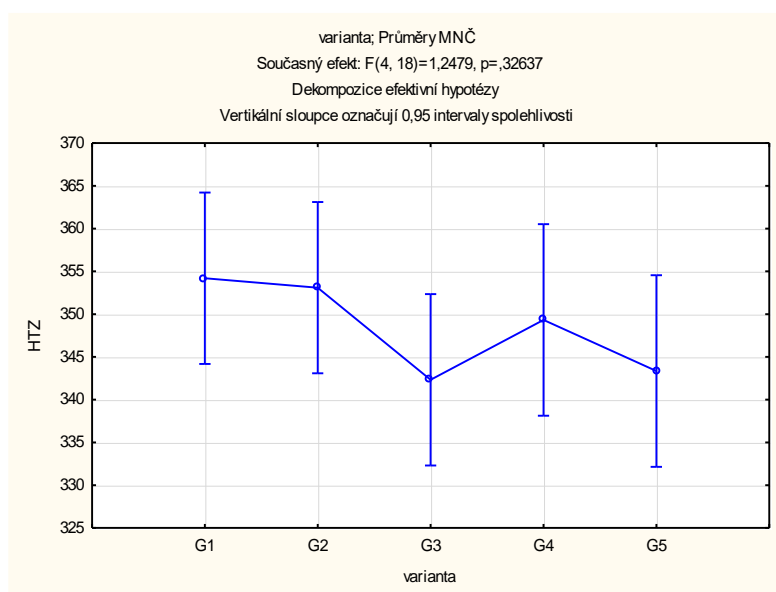
1 Tukeyuv HSD test; proměnná výnos t/ha; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PC = 46,783, sv = 15,00

2 Tukeyuv HSD test; proměnná: obsah sušiny; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PC = 15,399, sv = 15,000

3 Tukeyuv HSD test; proměnná: výnos suché hmoty; Homogenní skupiny, alfa = 0,05 Chyba: meziskup. PC = 7,9792, sv = 15,00

5.3.5 Vliv přípravků na HTZ

V grafu 2 jsou znázorněny statistické výsledky HTZ. Nebyly zjištěny průkazné rozdíly mezi variantami. Po zvážení zrna jednotlivých variant byly zjištěny trendy spíše nižší HTZ u ošetření v porovnání s neošetřenou kontrolní variantou.



Graf 2: vliv varianty na HTZ

5.3.6 Vliv přípravků na poškození palic

Tab. 10 – napadení rostlin patogeny

Varianta	Stupeň napadení fuzáriem ¹	Index průkaznosti	počet ks snětí na 10 bm ²	Index průkaznosti	podíl výskytu rzi ³ %	Index průkaznosti
Kontrola	7,8	a	1,63	a	2.38	a
MT2	7,6	a	0,88	b	2.88	a

1. LSD test; napadení fuzárií stupně; Homogenní skupiny; (p = 0,05); Chyba: meziskup. PČ = 0,40102, sv = 38,00

2. LSD test; průměrný počet ks snětí; Homogenní skupiny; (p = 0,05); Chyba: meziskup. PČ = 0,40102, sv = 38,00

3. LSD test; proměnná choroby stébla (%); Homogenní skupiny; (p = 0,05); Chyba: meziskup. PČ = 1,2023, sv = 38,0

Varianta MT2 je o 2,6 % méně napadená fuzáriem, než kontrolní varianta. Statisticky průkazný rozdíl se objevil u počtu kusů napadených snětí na 10 bm. Ošetřená varianta se ukázala být o 53,99 % méně napadená proti kontrole. Rez se vyskytovala o 0,5 % více u ošetřené varianty, kontrola se v tomto případě ukázala být méně poškozená. Hospodářsky přínosným se přípravek ukázal v boji proti fuzáriu a zvláště snětí kukuřičné. V případě napadení rzi se přípravek neosvědčil.

6 Diskuze

Průběh teplot v hlavní době růstu kukuřice byl ve většině měsíců nadnormální. U teploty dochází k dlouhodobému trendu oteplování, neboť v období let 2013 až 2019 byla každý rok průměrná roční teplota vyšší v porovnání s dlouhodobým normálem. Tato klimatická změna je způsobena zvyšováním koncentrace skleníkových plynů, které zachycují více energie, a tím dochází k oteplování. Na jaře byl zaznamenán dostatek srážek. Po zasetí převažovaly mírně nižší teploty, které měly za důsledek pomalejší vzcházení rostlin. Srážkově byla vegetace duben až září nadnormální, a tak nedošlo k žádnému přísušku. V roce 2022 bylo 429 mm, což je o 89 mm více, než je v této oblasti normální (340 mm). Porost byl celkově vyrovnaný a dobře zapojený. Díky dostatku srážek mohlo být dobře využito i hnojivo aplikované na široko, a tak rozrostlé kořeny rostliny hnojivo mohly přijmout v dostatečném množství. Vliv na výnos měl i obsah anorganického dusíku, který je na daném stanovišti střední. Při rozboru půdy na N_{min} před setím byl jeho obsah 10,3 mg. kg⁻¹ půdy. Výnos ovlivňuje také půda v dané lokalitě a její zásoba živin. Kintl et al. (2015) uvádí, že organická hmota je základním faktorem půdní úrodnosti a s tím spojenou stabilitou výnosů pěstovaných plodin. Půdy s dobrou zásobou organické hmoty mají vyšší schopnost odolávat výkyvům počasí spojených s často zmiňovanou změnou klimatu. Po založení pokusu se předpokládalo, že použité přípravky budou mít na celkový výnos sušiny a zelené hmoty pozitivní vliv. Z výsledků je patrné, že přípravky se na jednotlivých variantách promítly, ale ne v takové míře, jak bylo očekáváno.

6.1 Vliv přípravku Baskus

Tento přípravek má pozitivně ovlivňovat zdravotní stav rostlin a působit proti houbovým chorobám. Baskus je určen primárně na použití v zelenině a bramborách. Působení je založeno na principu inhibice množení bakteriálních kolonií. S tímto tématem souvisí pokus z roku 2018 v USA ve státě Oregon s přípravkem na bázi huminových a fulvo-kyselin Ful-Humix. Bylo zjištěno, že již za 30 dní tento přípravek redukuje bakterie a napomáhá množení užitečných hub, které se v půdě stávají dominantními a přispívají ke zlepšení půdní úrodnosti (Faust 2018). Nežádoucí dopad půdních infekcí se dále prohlubuje ve stresových podmínkách, například je-li plodina vystavena extrémním teplotám (nižším než 10 °C v případě teplomilných druhů), nedostatku slunečního světla, okusu bezobratlými škůdci (zejména hmyzem a hlísticemi), případně je-li půda na lokalitě podmáčená anebo přehnojená. Duben, červen a srpen tohoto roku byly srážkově nadnormální, což mohlo ovlivnit funkci přípravku. Varianta ošetřená přípravkem Baskus MT2 (4 l. ha⁻¹) vykazovala vyšší hodnoty ve výnosu zelené biomasy a suché hmoty proti kontrolní neošetřené variantě. Varianta MT2 měla vyšší výnos zelené hmoty o 8,78 t. ha⁻¹, o 3,7 % vyšší obsah sušiny a o 5,28 t. ha⁻¹ větší výnos suché hmoty v porovnání s variantou MT3. Průkazný vliv měl tento přípravek na sněť kukuřičnou. Zde byla ošetřená varianta o 53,99 % lepší než kontrolní varianta. Napadení fuzáriemi bylo u ošetřené varianty menší o 2,6 %. Roku 2009 byly zkoumány další bakteriální kmeny a jejich vliv na klíčení semen kukuřice, zelenou biomasu a suchou hmotu. Bakterie *pseudomonas putida*, *pseudomonas fluorescens* a *Ancylostoma braziliense* zvýšili klíčivost semen až o 18,5 % proti kontrole. *Azospirillum lipoferum* způsobila nárůst zelené biomasy o 78,3 % (Gholami 2009) na rozdíl od přípravku Baskus, jehož ošetřená varianta MT2 měla o 25,3 % více zelené hmoty než kontrolní varianta.

Množství zelené hmoty úzce souvisí s procesem fotosyntézy a podpora fotosynteticky aktivní plochy se dá zprostředkovat pomocí různých přípravků. Příkladem je mikrobiální růstový simulátor Polimiksobakteryn, který byl testován na Ukrajině roku 2018. Výsledky ukázaly, že ošetření semen a následná listová aplikace způsobily zvětšení listové plochy rostlin na 5315 cm² na rostlinu, což je o 40,0 % více ve srovnání s kontrolní variantou. Nárůst plochy povrchu listů byl doprovázen zvýšením čisté účinnosti fotosyntézy z 6,34 g. m² za den v kontrolní verzi na 10,39 g. m² za den (nebo 63,8 %) v důsledku bakteriizace a povrchové úpravy kukuřice (Shevchenko & Tokmakova 2018). Další přínosnou bakterií je atoxigenní kmen *Aspergillus flavus*. Tento houbový konkurent dokáže omezit hladinu aflatoxinů na zrnech kukuřice stejně úspěšně jako chemické přípravky, i když v rámci kolonizace pole představoval asi 27 % populace (Spadola et al. 2022). Také použití houby *Aspergillus sulphureus* mělo stimulační účinek na růst kořenů kukuřice při koncentracích 10–8 (127 %), 10–10 (120 %), 10–13 (115 %) (Anisimov et al. 2012).

Dle pokusů Vancové (2022) na česneku je Baskus schopný snížit i výskyt houbových chorob na polovinu. Zde je však potřeba brát na zřetel, že tento přípravek působí zejména proti bakteriálním chorobám. Z tohoto pokusu je patrné, že bakterie v přípravku Baskus jsou pravděpodobně náchylnější k vyschnutí, protože u varianty moření česneku byl zjištěn nejvyšší počet poškozených rostlin.

Působení přípravku může ovlivnit i způsob aplikace. V tomto případě byl použit postřík. Další varianty jsou kapková aplikace, moření, máčení kořenů a aplikace při výsadbě. V kombinaci s tímto přípravkem není žádoucí použití fungicidů, protože Baskus obsahuje kvasinky, ale ani baktericidních přípravků. Baskus může být kombinován s herbicidy, insekticidy a listovými hnojivy do 10 % dusíku, která neobsahují Bor (Monas technology s r.o. 2020).

In vitro byly pozorovány inhibiční účinky na bakteriální kolonie. V České republice probíhal roku 2019 experiment na vodním melounu. Listy na začátku polního pokusu již jevíly známky poškození chorobami. Konečné výsledky ukazují, že u rostlin ošetřených přípravkem Baskus kapkovou závlahou došlo k potlačení bakteriálního patogenu a ozdravení porostu (Monas technology s r.o. 2020).

V Portugalsku roku 2020 byl proveden polní experiment v petrželi. Zatímco neošetřené plochy vykazují viditelné známky žloutnutí listů, plochy, které byly ošetřeny přípravkem Baskus zůstaly živě zelené (Monas technology s r.o. 2020).

Roku 2020 se konal polní pokus biologických přípravků v salátu. Baskus byl použit jako postřík ke krčku v množství 1 l. ha⁻¹. Saláty ošetřené tímto přípravkem měly nejvyšší hmotnost v gramech a největší sílu krčku v mm narozdíl od salátů ošetřených přípravky Hirundo, Inporo a Fix H+N. 80 % salátů s přípravkem baskus bylo prodejných, větší procento prodejných salátů měl pouze přípravek Inporo (Kazda et al. 2022).

Pokus s přípravkem v česneku se uskutečnil roku 2021. Baskus byl použit na moření v dávce 3,5 ml. l⁻¹ na 6 hodin na podzim, na jaře pak jako postřík 2 l. ha⁻¹. Další část byla ošetřena na podzim i na jaře postříkem o dávce 2 l. ha⁻¹ a třetí plocha na podzim dávkou 2 l. ha⁻¹ zapravenou do půdy a na jaře postříkem 2 l. ha⁻¹. Celkové ztráty za vegetaci byly u všech tří variant menší než 10 % a u kontrolní neošetřené varianty to bylo přes 10 %. Z hlediska počtu nemocných rostlin prokázala účinek varianta dvakrát ošetřena postříkem. Zde bylo o více než 10 % méně nemocných rostlin než na kontrolní ploše. V počtu poškozených jedinců po zimě

dopadla nejlépe varianta se zapravením přípravku do země a to o 34 % lépe, než varianta bez ošetření (Kazda et al. 2022).

Laboratorní testování degradace pesticidů bakteriemi v přípravcích firmy MONAS technology ukázalo zvýšení rozsahu degradace testovaných pesticidních přípravků, a to konkrétně Pendimethalin (herbicid; hrách, brambor) – *Bacillus amyloliquefaciens* a Haloxyfop-methyl (herbicid; řepka, cibule, bob) – všechny testované bakteriální kultury. Polní testy ukázaly snížení hladin reziduí v plodinách při použití bakterií firmy MONAS. Jde o rezidua Fluxapyroxad (fungicid; jabloně, réva) a Fluroxypyr (herbicid; dvouděložné plevely, obilí, kukuřice) (Hajšlová et al. 2021).

6.2 Vliv přípravků firmy Galleko

Tyto přípravky mají mít vliv na zvýšení výnosu zelené biomasy i zrna. Konkrétně byly použity přípravky arider, květ a plod, růst a smáčedlo. Varianta G2 byla ošetřena přípravkem Galleko Arider, což je pomocný přípravek určený na všechny porosty ve všech fázích růstu na protistresovou ochranu rostlin – sucho, zamokření, zasolení a ostatní stresové podmínky. U této varianty bylo zaznamenáno zvýšení celkového výnosu o 3,1 %. Pro porovnání je zde uveden stimulant na bázi huminových a fulvo-kyselin 4R Foliar Concentrate. Po aplikaci tohoto přípravku na list byl výnos kukuřice zvýšen v průměru o 12.1–17.3 %. Byl pozorován i vliv na hmotnost tisíce semen, a to zvýšením o 13.1 %. Při tomto experimentu byla průměrná teplota vzduchu o 1,1 °C vyšší a srážek bylo o 103,0 mm méně, než je v dané oblasti běžné, na rozdíl od pokusu, kterým se tato práce zabývá. Přípravek se tedy osvědčil i svým protistresovým působením (Marenych 2019). Varianta G3 byla ošetřena přípravkem růst + květ a plod. Galleko růst je určen pro podporu růstu kořenů i nadzemních částí rostlin. Je určený pro oblasti s nízkým nebo nedostatečnými srážkami, pro všechny polní kultury po celé období hlavního růstu. Tato varianta měla o 3,6 % vyšší výnos, než varianta kontrolní a o 0,5 % vyšší výnos proti variantě G2, i když rok 2022 byl na srážky bohatý. U varianty G4 byl použit přípravek Arider + smáčedlo. Tato varianta měla proti kontrolní variantě vyšší pouze obsah sušiny, celkový výnos byl nižší. U varianty G5 byl pozorován největší nárůst výnosu a to o 4,3 %. Zde byl použit přípravek růst + květ a plod dohromady. Nebyl zjištěn výrazný trend vlivu přípravků na výšku rostlin (což není negativní ukazatel) ani vliv přípravků na HTZ kukuřice. Přípravky na podobné bázi mohou být použity i v porostech dalších plodin. Příkladem je biologický přípravek na bázi huminových kyselin AgroVerm, který byl použit na porostech pšenice a její výnos zvýšil o 2,6- 4,1 % v závislosti na aplikaci. Výraznější efekt mělo listové ošetření ve fázi odnožování. Toto ošetření mělo za následek také zvýšení obsahu bílkovin (Stepanov et al. 2018).

V letech 2015/2016 byl ve Výzkumném zemědělském ústavu Pawłowice nedaleko Wrocławu založen polní a laboratorní pokus za účelem sledování reakcí výnosu řepky ozimé, na stimulanty řady Galleko. Jednofaktorový pokus byl založen na čtyřech opakováních. Jednotlivé parcely byly rozděleny do 4 pruhů, přičemž na každý z nich byla aplikována jiná sada přípravku. Pořadí stimulantů bylo losováno a lišilo se navzájem na jednotlivých parcelách. Na každé parcele zůstal jeden pruh bez aplikace preparátu. Aplikace stimulantů měla průkazný vliv na počet větví I. řádu i počet šesulí na rostlině. Aplikace všech stimulantů měla vliv na výšku rostlin, hmotnost semen v šesuli, HTS a výnos semen. Využití stimulantů ovlivnilo pozitivně výnos semen řepky o + 4,6 % oproti kontrole (Kozak et al. 2014).

Pro demonstraci účinků těchto nových přípravků byly založeny maloparcelkové pokusy prostřednictvím ČZU na pokusné stanici v Červeném Újezdě a také na pokusných plochách University Palackého v Olomouci. Z výsledků těchto studií je patrné, že vliv přimoření Gallekem speciál 1 l. t⁻¹ osiva má kladný vliv na počet klasů na 1 m². V kombinaci s aplikací přípravku Galleko květ a plod na praporcový list tvoří variantu s velmi dobrým ekonomickým efektem. Varianta s přípravkem Galleko univerzál ve třetím listu také vykazuje dostatečné účinky ve srovnání s neošetřenou kontrolou (Hájková et al. 2014).

Kukuřice často podléhá negativním stresům – srážky, přisušky, ale hlavně teplota. V mnohých případech byl kvůli nepříznivému počasí nutný i pozdější termín setí. V květnu až začátkem června roku 2013 jsme pozorovali na mnohých porostech antokyanové zbarvení zapříčiněné nízkými teplotami (pod 10 °C). Slabé čerpání P znamená slabý růst rostlin. Rostliny, které byly podpořené přípravky Galleko růst a Galleko list, se vyvíjejí lépe a v současné době tvoří generativní orgány (Trisol 2013).

Duben tohoto roku byl teplotně podnormální (pod 10 °C), což ovlivnilo klíčení rostlin. U všech variant kromě G4 byl patrný nárůst výše výnosu a pozitivní vliv na zdravotní stav rostlin a jejich vývoj. Tyto přípravky jsou primárně určeny do oblastí s přisušky a vodním stresem rostlin, který snižují. V dané sezóně byly podmínky dobré, proto se rozdílly ve výnosu tolik nelišily od kontroly. Ale i přes to tam byly hospodářsky významné rozdílly.

7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo v teoretické rovině popsat bakteriální a houbové bioefektory, které se dají použít nejen na kukuřici v ekologickém zemědělství. Dále pak zhodnotit možnosti ochrany kukuřice ve vztahu k udržitelnosti zemědělství a životnímu prostředí. Dalším cílem bylo vyhodnotit účinek biologických přípravků na růst, vývoj, zdravotní stav a výnos silážní a zrnové kukuřice.

- V diplomové práci byly shrnuty nejvýznamnější houbové a bakteriální bioefektory, které mají potenciál pozitivně ovlivnit růst a vývoj kukuřice, ale i dalších plodin. Jejich fungování je závislé na dané lokalitě, počasí a vlivu aktuálního ročníku.
 - Rok 2022, kdy probíhalo pozorování, byl z počátku teplotně podprůměrný, což mělo vliv na vzházení rostlin. Další vývoj již probíhal optimálně s dostatkem srážek, což napomohlo dostatečnému využití aplikovaných hnojiv.
 - Dalším cílem bylo zhodnotit vliv biologických přípravků, které je možné využít v ekologickém zemědělství, na růst, vývoj a zdravotní stav kukuřice. V případě přípravku Baskus byla nejlépe hodnocena varianta MT2 silážní kukuřice, která měla o 11,19 t. ha⁻¹ vyšší výnos zelené biomasy v porovnání s kontrolou. U přípravku Galleko, kterým byla ošetřena zrnová kukuřice, se ukázala být nejvýnosnější varianta G5, která měla o 0,36 t. ha⁻¹ vyšší výnos zrna než varianta kontrolní. Pro lepší relevantnost výsledků by bylo přínosnější aplikovat přípravek na jednotlivých parcelkách s určitým časovým odstupem, např. 3-10 dní.
 - Z pohledu udržitelnosti zemědělství a zmírnění dopadů na krajinu je třeba uvážit změnu chemických přípravků na ochranu rostlin za biologické. Dále je důležité věnovat pozornost využívání odolnějších hybridů nebo přirozených nepřátel škůdců a patogenů (bioagens). Změna uvažování a tradičních zemědělských praktik je důležitým krokem pro systém ekologického zemědělství a udržení dobrého zemědělského a agroenvironmentálního stavu krajiny.
- **Stanovisko k výzkumným hypotézám:**
- **1. hypotéza:** Předpokládá se, že aplikace pomocných přípravků (Baskus a dalších) na list kukuřice bude mít pozitivní vliv na celkový výnos sušiny silážní hmoty. **Tato hypotéza byla přijata.** U varianty MT2 (4 l. ha⁻¹) byl výnos suché hmoty o 4,54 t. ha⁻¹ vyšší v porovnání s kontrolní variantou. Tato varianta byla také o 11,19 t. ha⁻¹ výnosnější než kontrola.
 - **2. hypotéza:** Předpokládá se, že aplikace Baskus na list bude mít vliv na snížení výskytu houbových chorob (fusariózy) u palic kukuřice. **Tato hypotéza byla přijata částečně.** Průkazný vliv měl přípravek na sněť kukuřičnou. Zde měla ošetřená varianta o 53,99 % nižší napadení než kontrolní varianta. Napadení fuzáriemi bylo u ošetřené varianty menší o 2,6 %. U rzi kukuřičné nebyla tato hypotéza přijata a ošetřená varianta vykazovala horší výsledky než kontrola.

8 Literatura

- Abdalla M, Hastings A, Cheng K, Yue Q, Chadwick D, Espenberg M, Smith P. 2019. A critical review of the impacts of cover crops on nitrogen leaching, net greenhouse gas balance and crop productivity. *Glob. Change Biol.* **25**:2530–2543
- Abdulai S, Nkegbe PK, Donkoh SA. 2018. Assessing the technical efficiency of maize production in northern Ghana: The data envelopment analysis approach. *Cogent Food and Agriculture.* **4**:1-14.
- Ablimit R, Li WK, Zhang JD, Gao HN, Zhao YM, Cheng MM, Meng XQ, Lizhe A, Chen Y. 2022. Altering microbial community for improving soil properties and agricultural sustainability during a 10year maize-green manure intercropping in Northwest China. *J. Env. Man.* **321**: 115859.
- Adekiya AO, Ejue WS, Olayanju A, Dunsin O, Aboyeji CM, Aremu C, Adegbite K, Akinpelu. 2020. Different organic manure sources and NPK fertilizer on soil chemical properties, growth, yield and quality of okra. *Sci. Rep.* **10(1)**.
- Adhikari U, Nejadhashemi AP, Woznicki SA. 2015. Climate change and eastern Africa: a review of impact on major crops. *Food Energy Secur* **4**:110–132.
- Adiaha MS. 2017. The impact of maize (*Zea mays* L.) and it uses for human development: A review. *International journal of science world.* **5**: 93-95.
- agricultural sustainability. *Plant Protection Science* **57**:95–111.
- Alhansnawi AN, Radziah CMZ, Kadhimi AA, Isahak A, Mohamad A, Yusoff WMW. 2016. Enhancement of antioxidant enzymes activities in rice callus by ascorbic acid under salinity stress. *Biologia Plantarum*, **60(4)**:783-787.
- Alma A, Lessio F, Reyneri A, Blandino M. 2005. Relationships between *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) feeding activity, crop technique and mycotoxin contamination of corn kernel in northwestern Italy. *Int. J. Pest. Manag.* **51**: 165–173.
- Almeida GD, Nair S, Borém A, Cairns J, Trachsel S, Ribaut JM, Bänziger M, Prasanna MB, Crossa J, Babu R. 2014. Molecular mapping across three populations reveals a QTL hotspot region on chromosome 3 for secondary traits associated with drought tolerance in tropical maize. *Mol. Breed.* **34**: 701-715.
- Anand K, Kumari B, Mallick MA. 2016: Phosphate solubilizing microbes: an effective and alternative approach as bio-fertilizers. *International Journal of Pharmaceutical Sciences* **8**: 37–40.
- Anisimov M, Chaikina E, Afiyatullo S, Zhuravleva O, Klykov A, Kraskovskaja N, Aminin D. 2012. Decumbenones A–C from marine fungus *Aspergillus sulphureus* as stimulators of the initial stages of development of agricultural plants. *Agricultural Sciences*, **3**.
- Anwer A. 2017. *Biopesticides and Bioagents: Novel Tools for Pest Management*. CRC Press, Boca Roton.
- Ariningsih E, Rachman B, Sudaryanto T, Ariani M, Septanti KS, Adawiyah CR. 2021. Strategies for sustainable corn production: a case of South Lampung District, Lampung Province, Indonesia. *Indonesian Center for Agricultural Socio Economic and Policy Studies*. Indonesia.
- Ayers RS, Westcot DW. 1985. *Water quality for agriculture*. Rome: FAO, **174**.

- Ayuk ET. 2001. Social, economic and policy dimensions of soil organic matter management in sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities. *Nutrient cycling in agroecosystems*. **61**:183-195.
- Batista VCV, Pereira IMC, Paula-Marinho SO, Canuto KM, Pereira RCA, Rodrigues THS, Daloso DM, Gomes-Filho E, Carvalho HH. 2019. Salicylic acid modulates primary and volatile metabolites to alleviate salt stress-induced photosynthesis impairment on medicinal plant *Egletes viscosa*. *Environmental and Experimental Botany*, **167**: 103870.
- Benhamou N, Floch G, Vallance J, Gerbore J, Grizard D, Rey P. 2012. *Pythium oligandrum*: an example of opportunistic success. *Microbiology*. **158(11)**:2679-2694.
- Benítez T, Rincón AM, Limón MC, Codón AC. 2004. Biocontrol mechanisms of *Trichoderma* strains. *International mikrobiology* 7:249-260.
- Bhandari G, Thapa RB, Giri YP, Manandhar HK, Jha PK. 2020. Field efficacy of eco-friendly management practices against maize stem borers in spring maize at Rampur, Chitwan. *Azarian Journal of Agriculture*. **7 (5)**: 146-155.
- Bjelic D, Marinkovic J, Tintor B, Mrkovacki N. 2018. Antifungal and Plant Growth Promoting Activities of Indigenous Rhizobacteria Isolated from Maize (*Zea mays* L.) Rhizosphere. *Communications in soil science and plant analysis* **49**: 88-98.
- blight of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. **9(2)**: 1660-1663.
- Boháč J. 1999. Staphylinid beetles as bioindicators. *Agriculture, ecosystems & environment*, **74**: 357-372.
- Bonea D, Dunareanu IC. 2022. Influence of hybrid and weather conditions on yield, protein and oil contents in grain of maize. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*. **22 (2)**: 2284-7995.
- Botelho GR, Guimaraes V, Bonis M, Fonseca MEF, Hagler AN, Hagler LCM. 1998. Ecology of a plant growth-promoting strain of *Pseudomonas fluorescens* colonizing the maize endorhizosphere in tropical soil. *World journal of microbiology and biotechnology* **14**: 499-504.
- Brant V, Fuksa P, Hakl J, Jursík M, Kroulík M, Prokinová E, Škeříková M, Šmöger J, Brodowska MS, Wyzkowski M, Kordala N. 2022. Use of Organic Materials to Limit the Potential Negative Effect of Nitrogen on Maize in Different Soils. *Materials*. **15**: 5755-5755.
- Brusová D. 2015. Vliv pěstování energetických rostlin na biodiverzitu. Bakalářská práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta.
- Buckler IV ES, Stevens NM. 2005, Maize Origins, Domestication, and Selection. Available from <http://bio-nica.info/Biblioteca/Buckler2005MaizeOrigins.pdf>. (Accessed February 2022).
- A Yacoub, Gerbore J, Magnin N, Chambon P, Dufour MC, orio-Costet MF, Guyoneaud R, Rey P, Ability of *Pythium oligandrum* strains to protect *Vitis vinifera* L., by inducing plant resistance against *Phaeomoniella chlamydospora*, a pathogen involved in Esca, a grapevine trunk disease. *Biological control*. **92**: 7-16.
- Carbas B, Soares A, Freitas A, Silva AS, Pinto T, Andrade E, Brites C. 2020. Mycotoxin Incidence in Pre-Harvest Maize Grains. *Proceedings* **70**:24.

- Coe Jr EH, Sarkar KR. 1966. Preparation of nucleic acids and a genetic transformation attempt in maize1. *Crop Sci* 6.
- Cook KH, Vizy EK. 2012. Impact of climate change on mid twenty-first century growing seasons in Africa. *Clim Dyn* **39(12)**:2937–2955.
- dairy science **99**: 354-368.
- Deacon JW. 2013. *Fungal biology*, 4th edition. Wiley-Blackwell. Edinburgh.
- Deihimfard R, Rahimi-moghaddam S, Azizi K, Haghghat M. 2022. Increased heat stress risk for maize in arid-based climates as affected by climate change: threats and solutions. *International Journal of Biometeorology*. 1-14.
- Dent D. 2000. *Insect Pest Management*. CABI.
- Dixon R, Kahn D. 2004. Genetic regulation of biological nitrogen fixation. *Nature reviews microbiology* **2**: 621–631.
- Dorner JW. 2004. Biological control of aflatoxin contamination of crops. *Toxin Rev.* **23**:425–450.
- Dowd PF, Naumann TA, Price NPJ, Johnson ET. 2018. Identification of a maize (*Zea mays*) chitinase allele sequence suitable for a role in ear rot fungal resistance. *Agri gene* **7**:15-22.
- Du Plessis J. 2003. Maize production. Department of Agriculture and obtainable from Resource Centre. South Africa. effects of the biological agent *Pythium oligandrum* observed in vitro. *Journal of feline*
- Eltlbany N, Smalla S. 2013. The effect of *Pseudomonas jessenii* RU47 and *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 on the rhizosphere microbial community and plant growth of tomato and maize. *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut, Prague*.
- European Corn Borer *Ostrinia nubilalis* and the Corn Earworm *Helicoverpa armigera* Employing the Farm Irrigation System. *Agronomy*. **12**: 362.
- FAO (2012) The state of food insecurity in the world: Economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- Farrar RR, Gundersen-Rindal D, Kuhar D, Blackburn MB. 2018. Insecticidal Activity of a Recently Described Bacterium, *Chromobacterium sphagni*. *Journal of Entomological Science* **53(3)**: 333–338.
- Fasusi OA, Babalola OO. 2021. The multifaceted plant-beneficial rhizobacteria toward
- Faust RH. 2018. The Effect of Humic Substance Fractions on Soil Microbial Content. Faust Bio-Agricultural Services Inc., Independence, Oregon USA.
- field conditions. *Crop protection*. **127**: 0261-2194.
- Filippelli GM. 2002. The global phosphorus cycle. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. **48**:391–425.
- Finke Ch, Moller K, Schlink S, Gerowitt B, Isselstein J. 1999. The environmental impact of maize cultivation in the European Union: Practical options for the improvement of the environmental impact. Georg-August-University of Göttingen, Göttingen.
- Gao C, El-Sawah AM, Ali DFI, Hamoud YA, Shaghaleh H, Sheteiwy MS. 2020. The Integration of Bio and Organic Fertilizers Improve Plant Growth, Grain Yield, Quality and Metabolism of Hybrid Maize (*Zea mays* L.). *Agronomy*. **10**:319.

- Ge TA, Sui FB, Bai LC, Tong CA, Sun NB. 2012. Effects of water stress on growth, biomass partitioning, and water-use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle. *Acta Physiol. Plant.* **34**: 1043–1053.
- Gholami A, Shahsavani S, Nezarat S. 2009. The effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination, seedling and yield of maize. *International journal of agricultural and biosystems engineering.* 3(1).
- Gibellato SI, Dalsóquio LF, do Nascimento ICA, Álvarez TM. 2021. Current and promising strategies to prevent and reduce aflatoxin contamination in grains and food matrices. *World Mycotoxin J.* **14**: 293–304.
- Glare TR, O’Callaghan M. 2019. Microbial biopesticides for control of invertebrates: Progress from New Zealand. *Journal of Invertebrate Pathology* **165**: 82–88.
- Gosling P, Hodge A, Goodlass G, Bending GD. 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture ecosystems & environment* **113**:17-35.
- Gouda S, Kerry RG, Das G, Paramithiotis S, Shin H, Patra JK. 2018. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. *Microbiological research* **206**: 131-140.
- Gryndler M, Baláž M, Hršelová H, Jansa J, Vosátko M. 2004. Mykorhizní symbióza, o soužití hub s kořeny rostlin. Praha, ČR: Academia.
- Gurikar C, Naik MK, Sreenivasa MY. 2016. Azotobacter: PGPR activities with special reference to effect of pesticides and biodegradation. In: Singh D, Singh H, Prabha R (eds) *Microbial inoculants in sustainable agricultural productivity.* Springer, New Delhi.
- Hájková M, Koprna R, Černý L. 2014. Výsledky maloparcelkových pokusů s aplikací přípravků řady Galleko firmy Trisol v jarním ječmeni. Konference Technologie sladovnického ječmene. Ječmen na rozcestí 27. – 30. 1. 2014.
- Hajšlová J, Krátký F, Lovecká P, Vrchotová B. 2021. Degradace pesticidů za použití mikroorganismů používaných v zemědělské výrobě. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Praha. Available from <https://zucm.cz/uploads/tiny/pages/vscht-zelinarska-unie-2021.pdf> (accessed 10.10.2022).
- Harman GE, Howell CR, Viterbo A, Chet I, Lorito M. 2004. Trichoderma species opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Review Microbiology* **2**: 43–56.
- Hatew B, Bannink A, Laar H, Jonge LH, Dijkstra J. 2016. Increasing harvest maturity of Heiberg SO, White DP. 1951. Potassium deficiency of reforested pine and spruce stands in northern New York. *Soil Science Society America Proceedings.* **15**:369–376.
- Holečková, Z., Kulhánek, M., Balík, J. 2017. Use of active microorganisms in crop production – a review. *Journal of Food.* **8 (10)**:696.
- Horáková S, Hrabalová A. 2015. Pěstování obilnin v ekologickém režimu je zajímavé nejen ekonomicky. *AGRObase zpravodaj. ČTPEZ.* **4**: 17
- Hossain MM, Sultana F, Islam S. 2017. Plant growth-promoting fungi (PGPF): phytostimulation and induced systematic resistance. In: Singh D., Singh H., Prabha R. (eds) *Plant-Microbe Interactions in Agro-Ecological Perspectives.* Springer, Singapore.
- Hrudová E. 2015. Ochrana rostlin v ekologickém zemědělství. MENDELU, Brno <https://eagri.cz/public/web/mze/zivotni-prostredi/ochrana-vody/nitratova-smernice/>.

- Huang NX, Jaworski JJ, Desneux N, Zhang F, Yang PY, Wang S. 2020. Long-term and large-scale releases of *Trichogramma* promote pesticide decrease in maize in northeastern China. *Entomologia Generalis* **40**: 331–335.
- hub s kořeny rostlin. - Akademie Praha.
- Hurst MRH, Jones SA, Beattie A, van Koten C, Shelton AM, Collins HL, Brownbridge M. 2019. Assessment of *Yersinia entomophaga* as a control agent of the diamondback moth *Plutella xylostella*. *Journal of Invertebrate Pathology* **162**:19-25.
- Chandini, Kumar, R., Kumar, R., Prakash, O. 2019. The Impact of Chemical Fertilizers on our Environment and Ecosystem. *Research Trends in Environmental Sciences*, 69.
- Chen QL, Cui HL, Su JQ, Penuelas J, Zhu YG. 2019. Antibiotic resistomes in plant microbiomes. *Trends Plant Sci.* **24**: 530–541.
- Chen SL, Tsai MK, Huang YM, Huang CH. 2018. Diversity and characterization of *Azotobacter* isolates obtained from rice rhizosphere soils in Taiwan. *Annals of microbiology* **68**: 17-26.
- Chennappa G, Udaykumar N, Vidya M, Nagaraja H, Amaresh Y, Sreenivasa M. 2019. *Azotobacter*—a natural resource for bioremediation of toxic pesticides in soil ecosystems. *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*.
- Chet, I. and Baker, R. (1980). Induction of suppressiveness of *Rhizoctonia solanii* in soil. *Phytopathology* **70**: 994-998.
- Chidzalo P, Ngare PO, Mungatu JK. 2022. Trivariate Stochastic Weather Model for Predicting Maize Yield. *Journal of Applied Mathematics.* **1**:32. 32.
- Chobotarov A, Volkogon M, Voytenko L, Kurdish I. 2017. Accumulation of phytohormones by soil bacteria *Azotobacter vinelandii* and *Bacillus subtilis* under the influence of nanomaterials. *J Microbiol Biotechnol Food Sci* **7**:271–274.
- Christopher P, Don A. 2015. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—A meta-analysis. *Agr. Ecosyst. Environ.* **200**: 33–41
- Igiehon NO, Babalola OO. 2017. Biofertilizers and sustainable agriculture: exploring arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied microbiology and biotechnology* **101**: 4871–4881.
- Incidence in Pre-Harvest Maize Grains. *Proceedings* **70**:1-5.
- Israr D, Mustafa G, Khan KS, Shahzad M, Ahmed N. 2016. Interactive effects of phosphorus and *Pseudomonas putida* on chickpea (*Cicer arietinum* L.) growth, nutrient uptake, antioxidant enzymes and organic acids exudation. *Plant Physiol Biochem.* **180**:304-312.
- Jain D, Kaur G, Bhojia AA, Chauhan S, Khandelwal SK, Meena RH, Rajpurohit D, Mohanty SR. 2021. Phenetic Characterization of Nitrogen Fixing *Azotobacter* from Rhizospheric Soil of Southern Rajasthan. *J Pure Appl Microbio*, **15(1)**:428-436.
- Jaradat AA, Goldstein W. 2013. Diversity of Maize Kernels from a Breeding Program for Protein Quality: I. Physical, Biochemical, Nutrient, and Color Traits. *Crop Sci.*, **53**: 956-976.
- Jaronski ST. 2018. Opportunities for Microbial Control of Pulse Crop Pests. *Annals of the Entomological Society of America* **111(4)**: 228–237.

- Jarvis A, Ramirez J, Anderson B, Leibing C, Aggarwal P. 2010. Scenarios of climate change within the context of agriculture. CAB International, Climate Change and Crop Production.
- Jawad R, Alhuqail A, Farhad W, Khan F, Mubeen M, Liu K, Saud S, Fahad S. 2022. Evaluating the Impact of Nitrogen Application on Growth and Productivity of Maize Under Control Conditions. *Frontiers in Plant Science*, **13**.
- Jibir A, Abdu M. 2016. Environmental and sustainable agricultural development in Nigeria: Matter arising and the way forward. *Indian Journal of Sustainable Development*, **2(2)**:1-5.
- Johnson N C, Gehring C A. 2007. Mycorrhizas: Symbiotic mediators of rhizosphere and ecosystem processes. In: Cardon Z., Whitbeck J. (Eds.), *The Rhizosphere: An ecological perspective*. Academic Press, New York. 73-100.
- Johnston-Monje D & Raizada MN. 2011. Conservation and diversity of seed associated endophytes in Zea across boundaries of evolution, ethnography and ecology. *PLoS One* **6**: e20396.
- Kalaji HM, Baba W, Gediga K, Goltsev V, Samborska IA, Cetner MD, Dimitrova S, Piszcz U, Bielecki K, Karmowska K, Dankov K, Kompala-Baba A. 2018. Chlorophyll fluorescence as a tool for nutrient status identification in rapeseed plants. *Photosynthesis Research*. **136 (3)**:329-343.
- Kausch AP, Wang K, Keappler HF, Gordon-Kamm W. 2021. Maize transformation: history, progress, and perspectives. *Mol Breeding*, **41**:38.
- Kazda J, Vospělová J, Majerčínová Z, Vancová V, Ragimová S. 2022. Zkušenosti s biologickými přípravky v ochraně rostlin. Available from https://eagri.cz/public/web/file/695778/Kazda_IOR_2022.pdf (accessed 10.10. 2022).
- Khan MS, Gao J, Chen X, Zhang M, Yang F, Du Y. 2020. Isolation and characterization of plant growth-promoting endophytic bacteria *Paenibacillus polymyxa* SK1 from *Lilium lancifolium*. *Biomed Res Int* 2020:8650957.
- Khetan S. 2001. *Microbial Pest Control*. CRC Press. New York.
- Kim N, Zabaloy MC, Guan K, Villamil MB. 2020. Do cover crops benefit soil microbiome? A meta-analysis of current research. *Soil Biol. Biochem.* **142**:107701.
- Kim TH, Bohmer M, Hu H, Nishimura N, Schroeder JI. 2010. Guard Cell Signal Transduction Network: Advances in Understanding Abscisic Acid, CO₂, and Ca²⁺ Signaling. *Annual Review of Plant Biology*, **61(1)**: 561–591.
- Klaban V. 2011. *Ekologie mikroorganismů: Ilustrovaný lexikon biologie, ekologie a*
- Kottke I, Nebel M. 2005. The evolution of mycorrhiza-like associations in liverworts: an
- Koubová D. 2009. *Využití hub v biologické ochraně rostlin proti škůdcům*. ÚZEI, Agronavigátor, Praha.
- Kozak M, Malarz W, Gniadzik M, Kaluza M. 2014. Stimulation effect of preparations GALLEKO. Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Sborník z konference „Prosperující olejniny“ 88-90.
- Kühne S, Burth U, Marx P. 2006. *Biologischer Pflanzenschutz im Freiland: Pflanzengesundheit im ökologischen Landbau*. Eugen Ulmer, Stuttgart.

- Kumar B, Karjagi ChG, Jat SL, Parihar CM, Yathish KR, Singh V, Hooda KS, Dass AK, Mukri G, Sekhar JC, Ramesh K, Kumar RS. 2012. *Maize Biology: An introduction*. Directorate of maize research. New Delhi.
- Kumari S, Tiwari S, Faisal M. 2020. Eco-friendly management of northern Corn leaf
- Kung L, Shaver RD, Grant RJ, Schmidt RJ. 2018. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *American Dairy Science Association*. **101**:4020–4033.
- Lacey LA, Grzywacz D, Shapiro-Ilan DI, Frutos R, Brownbridge M, Goettel MS. 2015. Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. *Journal of Invertebrate Pathology* **132**:1-41.
- Le Floch, G., Rey, P., Benizri, E., Benhamou, N., Tirilly, Y. 2003. Impact of auxin compounds produced by the antagonistic fungus *Pythium oligandrum* or the minor pathogen *Pythium* group F on plant growth. *Plant and Soil*. **257 (2)**:459-470.
- Li B, Fan R, Sun G, Sun T, Fan Y, Bai S, Guo S, Huang S, Liu J, Zhang H, Wang P, Zhu X, Song CP. 2021. Flavonoids improve drought tolerance of maize seedlings by regulating the homeostasis of reactive oxygen species. *Plant Soil*. **461**: 389–405.
- Li G, Zhao B, Dong S, Zhang J, Liu P, J. Vyn T. 2017. Impact of controlled release urea on maize yield and nitrogen use efficiency under different water conditions. *PLoS ONE*. **12(7)**: 1-16.
- Li S, Wu Ji, Wang X, Ma L. 2020. Economic and environmental sustainability of maize-wheat rotation production when substituting mineral fertilizers with manure in the North China Plain. *Journal of Cleaner Production*. **271**.
- Liu XR, Ren JQ, Zhang QW, Liu C. 2019. Long-term effects of biochar addition and straw return on N₂O fluxes and the related functional gene abundances under wheat-maize rotation system in the North China Plain. *Appl. Soil Ecol.*, **135**: 44–55.
- Lizaso JJ, Ruiz-ramos M, Rodríguez L, Gabaldon-leal C, Oliveira JA, Lorite IJ, Sánchez D, García E, Rodríguez A. 2018. Impact of high temperatures in maize: Phenology and yield components. *Field Crops Research*. **216**:129-140.
- Lobell DB, Bänziger M, Magorokosho C, Vivek B. 2011. Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. *Nat Clim Change* **1**:42.
- Ma DK, Yin L, Ju WL, Li XK, Liu XX, Deng XP, Wang SW. 2021. Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China. *Field Crop. Res.* **266**: 108146.
- Mahanty T, Bhattacharjee S, Goswami M, Bhattacharyya P, Das B, Ghosh A, Tribedi P. 2017. Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development. *Environmental science and pollution research*. **24**: 3315-3335.
- Mango N, Makate C, Hanyani-Mlambo B, Siziba S, Lundy M. 2015. Stochastic frontier analysis of technical efficiency in smallholder maize production in Zimbabwe: The post-fast-track land reform outlook. *Cogent Economics and Finance*, **3**:1.
- Maredia KM, Dakouo D, Mota – Sanchez D. 2003. *Integrated Pest Management in the Global Arena*. Cambridge. CABI Publishing.
- Marenych MM, Hanhur VV, Len OI, Hangur YM, Zhornyk II, Kalinichenko AV. 2019. The efficiency of humic growth stimulators in pre-sowing seed treatment and foliar

- additional fertilizing of sown areas of grain and industrial crops. *Agronomy Research* **17(1)**:194–205.
- Marschner P. 2012. *Marchner's mineral nutrition of higher plants*. Elsevier Academic Press. Amsterdam. *medicine and surgery* **19**:817-823.
- Minhas PS, Ramos TB, Ben-Gal A, Pereira LS. 2020. Coping with salinity in irrigated agriculture: crop evapotranspiration and water management issues. *Agricultural Water Management*, **227**:105832.
- Ministerstvo zemědělství. 2022. Nitrátová směrnice. Česká republika. Available from
- Monas technology s r. o. 2020. Přírodní technologie pro zemědělství – baskus. Available from <http://monastechnology.cz/index.php/produkty/?baskus> (accessed 10.10. 2022).
- Moynihan JA, Morrissey JP, Coppoolse ER, Stiekema WJ, O'Gara F, Boyd EF. 2009. Evolutionary history of the *phl* gene cluster in the plant-associated bacterium *Pseudomonas fluorescens*. *Appl Environ Microbiol* **75**: 2122–2131.
- Mumo L, Yu J, Fang K. 2018. Assessing Impacts of Seasonal climate Variability on Maize Yield in Kenya. *Int J Plant Prod* **12**:297–307.
- Mumo L, Yu J, Ojara M, Lukorito C, Kerandi N. 2021. Assessing changes in climate suitability and yields of maize and sorghum crops over Kenya in the twenty-first century. *Theoretical and Applied Climatology*, **146**:381–394.
- Musaddaq S, Khaliq A, Aslam Z, Murtaza G. 2021. Antioxidants enhanced drought tolerance and productivity of maize under semiarid environments. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. **58(3)**: 831-840.
- Naceradska M, Fridrichova M, Kellnerova D, Pekova S, Lany P. 2017. Antifungal effects of the biological agent *Pythium oligandrum* observed in vitro. *Journal of Feline Medicine & Surgery* **19(8)**.
- Nadeem SM, Ahmad M, Zahir ZA, Javaid A, Ashraf M. 2014. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology advances* **32**:429–448.
- Nagaraja H, Chennappa G, Rakesh S, Naik M, Amaresh Y, Sreenivasa M. 2016. Antifungal activity of *Azotobacter nigrificans* against trichothecene producing *Fusarium* species associated with cereals. *Food Sci Biotechnol* **25**:1197–1204.
- Národní zemědělské muzeum Praha. 2012. *Z historie zemědělství*. PressTerminal. Praha.
- Ng CA, Pernica M, Yap J, Belakova S, Vaculova K, Branyik T. 2021. Biocontrol effect of *Pythium oligandrum* on artificial *Fusarium culmorum* infection during malting of wheat. *Journal of Cereal Science*. **100**:103258.
- Niggli U. 2011. *Zemědělství s nízkými emisemi skleníkových plynů: mitigační a adaptační potenciál trvale udržitelných zemědělských systémů*. Olomouc: Bioinstitut.
- Noar J, Bruno-Bárcena J. 2018. *Azotobacter vinelandii*: the source of 100 years of discoveries and many more to come. *Microbiology* **164**:421–436.
- Oelkers EH. 2008. Phosphate mineral reactivity: from global cycles to sustainable development. *Mineralogical Magazine*. **72**:337–340.
- Oeywole SO, Afolami CA, Obayelu AE, Adeofun CO. 2022. Effect of sustainable agricultural practices on production efficiency of maize farmers in oyo and ogun states of Nigeria. *The journal of developing areas*. **56 (4)**: 121-136.

- Olanrewaju OS, Glick BR, Babalola OO. 2017. Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. *World journal of mikrobiology and biotechnology* **33**: 197.
- oligandrum: an example of opportunistic success. *Microbiology* **158**:2679-2694.
- Oseva Uni. 2022. Sortiment hybridů kukuřice 2022. Available from: <http://www.osevauni.cz/osiva/pdf/Sortiment-hybridu-kukurice-oseva-uni.pdf> (accessed 17.8.2022).
- Padda KP, Puri A, Chanway CP. 2016. Plant growth promotion and nitrogen fixation in canola (*Brassica napus*) by an endophytic strain of *Paenibacillus polymyxa* and its GFP-tagged derivative in a long-term study. *Botany* **94**:1209-1217.
- Palleroni NJ. 2005. Genus I. *Pseudomonas* Migula 1894. In: Garrity G.M., Brenner D.J., Krieg N.R., Staley J.T. (eds.), *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology* Springer Verlag. New York, **2**:323-379.
- patogenity mikroorganismů. 1. vyd. Galén, Praha.
- Peterson RL, Massicotte HB, Melville H. 2004. *Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology*. NRC Research Press, Ottawa.
- Petr J, Černý V, Hruška L. 1980. Tvorba výnosu hlavních polních plodin. SZN, Praha.
- Petr J, Húska J. 1997. Speciální produkce rostlinná. Česká zemědělská univerzita, Agronomická fakulta, Praha.
- Phytophthora parasitica* by *Pythium oligandrum*. *Applied and environmental microbiology*. **66 (10)**: 4305–4314.
- Picard K, Tirilly Y, Benhamou N. 2000. Cytological Effects of Cellulases in the Parasitism of
- Pisarčík M, Hakl J, Hrevušová Z. 2020. Effect of *Pythium oligandrum* and poly-beta-hydroxy butyric acid application on root growth, forage yield and root diseases of red clover under
- Probst C, Njapau H, Cotty PJ. 2007. Outbreak of an acute aflatoxicosis in Kenya in 2004 Identification of the causal agent. *Appl Environ. Microbiol.* **73**: 2762–2764.
- Prugar J. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský ve spolupráci s komisí jakosti rostlinných produktů ČAZV. Praha.
- 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.
- Radünz AL, Radünz M, Bizzolo AR, Tramontin MA, Radünz LL, Mariot MP, Tempel-Stumpf, ER, Calisto JFF, Zaniol F, Albeny-Simões D, Rezende RS, Dal Magro J. 2022. Insecticidal and repellent activity of native and exotic lemongrass on Maize weevil. *Brazilian Journal of Biology*. 84.
- Rahmawati UE, Suryani E, Riski R. 2020. System Thinking Approach to Increase Eco-Friendly Maize Production to Support Food Security. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Ran J, Jiao L, Zhao R, Zhu M, Shi J, Xu B. 2020. Characterization of a novel antifungal protein produced by *Paenibacillus polymyxa* isolated from the wheat rhizosphere. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. *Journal of the science of food and agriculture*, **101(5)**: 1901-1909.
- Rauphael, Y., Colla, G. 2018. Synergistic biostimulatory action: designing the next generation of plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 9 (1665). 1–7.

- Revillas J, Rodelas B, Pozo C, Martínez-Toledo M, González-López J. 2000. Production of B-group vitamins by two *Azotobacter* strains with phenolic compounds as sole carbon source under diazotrophic and adiazotrophic conditions. *J Appl Microbiol* **89**:486–493.
- Richa. Kumar V, Singh J, Sharma N. 2020. Poultry manure and poultry waste management: a review. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* **9 (6)**:3483–3495.
- Roy RN, Finck A, Blair GJ, Tandon HLS. 2006. Chapter 3: plant nutrients and basics of plant nutrition. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 25–42.
- Ruiu L, Lentini A. 2022. Sustainable Silage Maize Integrated Protection against the
- Sá FVS, Brito MEB, Silva LA, Moreira RCL, Paiva EP, Souto LS. 2020. Exogenous application of phytohormones mitigates the effect of salt stress on *Carica papaya* plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **24 (3)**:170-175.
- Saylor, BA, McCary CL, Diepersloot EC, Heinzen C, Pupo MR, Gusmão JO, Ghizzi LG, Sultana H, Ferraretto LF. 2021. Effect of Forage Processor Roll Gap Width and Storage Length on Fermentation Profile, Nutrient Composition, Kernel Processing Score, and Starch Disappearance of Whole-Plant Maize Silage Harvested at Three Different Maturities. *Agriculture*. **11**: 574.
- Sethi S, Gupta S. 2013. Impact of pesticides and biopesticides on soil microbial biomass carbon. *Univers J Environ* **3(2)**:326–330.
- Shahid M, Zaidi A, Ehtram A, Khan M. 2019. In vitro investigation to explore the toxicity of different groups of pesticides for an agronomically important rhizosphere isolate *Azotobacter vinelandii*. *Pestic Biochem Phys* **157**:33–44
- Shao-ying W, Jia M, Meng W, Xin-hua W, Ya-qian L, Jie C. 2019. Combined application of *Trichoderma harzianum* SH2303 and difenoconazole-propiconazolein controlling Southern corn leaf blight disease caused by *Cochliobolus heterostrophus* in maize. *Journal of Integrative Agriculture*. **18(9)**: 2063–2071
- Shevchenko LA, Tokmakova LM. 2018. Formation and productivity of photosynthetic apparatus of maize plants for the action of Polimiksobakteryn – a plant growth stimulator. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*. **20(89)**.
- Schneider C, Hutter I, Doring M. 2017. Commercial use of endophytes in micropropagation. VI International Symposium on Production and Establishment of Micropropagated Plants. **1155**: 483-490.
- Schussler A, Schwarzott D, Walker C. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological research* **105**:1413-1421.
- Simon EW. 1978. The symptoms of calcium deficiency in plants. *The New Phytologist*. **80(1)**: 1–15.
- Sinclair TR, Jafarikouhini N. 2022. Interactive effects of level of nitrogen and irrigation application on maize yield. *Journal of Plant Nutrition*. **45(9)**: 1305-1311.
- Sinsabaugh RL, Hill BH, Shah JJF. 2009. Coenzymatic stoichiometry of microbial organic nutrient acquisition in soil and sediment. *Nature* **462 (7274)**:795–798.
- Sirko A, De Kok LJ, Haneklaus S, Hawkesford MJ, Rennenberg H, Saito K, Schnug E, Stulen I. 2009. Sulfur metabolism in plants. Margraf Publishers. Germany.
- Slováková K. 2018. Vliv konvenčního pěstování pšenice a kukuřice na biodiverzitu epigeických brouků. [BSc. Thesis] Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

- Spadola G, Giennelli G, Magagnoli S, Lanzoni A, Albertini M, Nicoli R, Ferrari R, Burgio G, Restivo FM, Degola F. 2022. Validation and ecological niche investigation of a new fungal intraspecific competitor as a biocontrol agent for the sustainable containment of aflatoxins on maize fields. *Journal of fungi*. **8**: 425.
- Spiers AJ, Buckling A, Rainey PB. 2000. The cause of *Pseudomonas* diversity. *Microbiology-UK*, **146**:2345-2350.
- Starnes RL, Liu CL, Marrone PG. 1993. History, Use, and Future of Microbial Insecticides. *American Entomologist* **39(2)**: 83-91.
- Stepanov A, Gosse D, Panina M. 2018. Efficiency Of Biofertilizer Agroverm As A Stimulator Of Growth And Meliorant In Field Small-Plot Experiment With Wheat. *Bulletin of Science and Practice*. 4 (1).
- Stokstad E. 2019. New genetically modified corn produces up to 10 % more than similar types. *Science*. Available from <https://www.science.org/content/article/new-genetically-modified-corn-produces-10-more-similar-types> (accessed november 2022).
- Šejnohová H, Warthová S, Babáčková J, Rádlová L. 2020. Statistická šetření ekologického zemědělství Základní statistické údaje (2019). Ústav zemědělské ekonomiky a informací. Praha
- Štěrba A. 2010. Biodiverzita hmyzu v porostech kukuřice pěstované v různých režimech ochrany. Diplomová práce, Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství. Vedoucí práce doc. Ing. Hana Šefrová, Ph.D., 61 str.
- Taiz L, Zeiger E. 2002. Plant physiology. *Annals of Botany*. **3**:68-69.
- Taiz L. 2013. Agriculture, plant physiology, and human population growth: past, present, and future. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, **25(3)**: 167-181
- Tao J, Liu X, Liang Y, Niu J, Xiao Y, Gu Y, Ma L, Meng D, Zhang Y, Huang, Peng, Yin H. 2017. Maize growth responses to soil microbes and soil properties after fertilization with different green manures. *Applied mikrobiology and biotechnology* **101**:1289-1299
- Tejada M, Gonzalez JL, García AM, Parrado J. 2008. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. *Bioresour. Technol.* **99**:1758–1767.
- Thonar, C., Lékfeldt, J. D. S., Cozzolino, V., Kundel, D., Kulhánek, M. 2018. Potential of three microbial bio-effectors to promote maize growth and nutrient acquisition from alternative phosphorous fertilizers in contrasting soils. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, **4(7)**:1-16
- Timmusk S, Grantcharova N, Wagner EGH. 2005. *Paenibacillus polymyxa* invades plant roots and forms biofilms. *Appl. Environ. Microbiol* **71**:7292–7300.
- Trichoderma harzianum* by *Botrytis cinerea*. *Mycological Research*. **113 (9)**: 24-9.
- Tripathi KK, Warriar R, Govila OP, Ahuja V. 2011. *Biology of Zea mays (Maize)*. Department of biotechnology ministry of science & technology & ministry of environment and forests govt. of India. New Delhi.
- Trisol.cz. 2013. Přípravky Galleko v létě. Available from <http://www.trisol.cz/pripravky-galleko-v-lete/> (accessed november 2022).
- Trivedi PC. 2007. *Organic Farming and Mycorrhizae in Agriculture*. I K International Publishing House. New Delhi – Mumbai.

- Upadhyay SK, Ahmad, M, Srivastava AK, Abhilash PC, Sharma B. 2021. Optimization of eco-friendly novel amendments for sustainable utilization of Fly ash based on growth performance, hormones, antioxidant, and heavy metal translocation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) plant. *Chemosphere* 267.
- Upadhyay SK, Singh DP. 2014. Effect of salt-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria on wheat plants and soil health in a saline environment. *Plant Biol.* **17** (1):288–293. update. *New Phytologist.* **167**: 330–334.
- Usta C. 2013. Microorganisms in Biological Pest Control — A Review (Bacterial Toxin Application and Effect of Environmental Factors). *Current Progress in Biological Research.*
- Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 2020. Sekce zemědělských vstupů, odbor přípravků na ochranu rostlin. Brno. Available from file:///C:/Users/luke/Downloads/1856-0C%20(1).pdf (accessed 10.10. 2022).
- Van Oosten, M. J., Pepe, O., De Pascale, S., Silletti, S., Maggio, A. 2017. The role of biostimulants and bioeffectors as alleviators of abiotic stress in crop plants. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture.* 4 (5).
- Vancová V (2022). Využití biologických přípravků při pěstování česneku. *Agromanuál. Česká zemědělská univerzita v Praze.*
- Velkov T, Roberts KD, Li J. 2017. Rediscovering the octapeptins. *Nat Prod Rep* **34**: 295-309.
- Vinale F, Sivasithamparam K, Ghisalberti EL, Marra R, Woo SL, Lorito M. 2008. Trichoderma – plant – pathogen interactions. *Soil biology & biochemistry* **40**:1-10.
- Volkov V, Beilby MJ. 2017. Salinity tolerance in plants: mechanisms and regulation of ion transport. *Frontiers in Plant Science,* **8**(10):1795.
- Waldrip HM, He Z, Erich MS, 2011. Effects of poultry manure amendment on phosphorus uptake by ryegrass, soil phosphorus fractions and phosphatase activity. *Biol. Fertil. Soils* **47**: 407–418.
- Wan Q, Hongbo S, Zhaolong X, Jie L, Dayong Z, Yihong H. 2017. Salinity tolerance mechanism of osmotin and osmotin-like proteins: a promising candidate for enhancing plant salt tolerance. *Current Genomics,* **18** (6):553-556.
- Wang XY, Duan Y. Zhang J, Ciampitti IA, Cui JW, Qiu ASJ, Xu XP, Zhao SC, PingHe P. 2022. Response of potato yield, soil chemical and microbial properties to different rotation sequences of green manure-potato cropping in North China. *Soil Till. Res.* **271**: 105273.
- Wenyu W, Kashagan K, Lanhai L. 2022. Sensitivities of Wheat and Maize Productivity in Kazakhstan to Future Climate Change Scenarios. *International Journal of Plant Production.* 1-19.
- whole-plant corn silage reduces methane emission of lactating dairy cows. *Journal of*
- Widnyana IK, Javandira C. 2016. Activities *Pseudomonas* spp. and *Bacillus* sp. to Stimulate Germination and Seedling Growth of Tomato Plants. *Agriculture and agricultural science procedia* **9**:419-423.
- Wolski, K., Biernacik, M., Świerszcz, S., Talar-Krasa, M., Leshchenko, O. 2019. Effect of the application of a biostimulant and mineral fertilizers on the concentration of mineral elements in the sward of forage mixtures cultivated on light soil. *Journal of Elementology.* **24** (1): 385-397.

- Woltering AFWM, Jonker AB, Kengen SWM, Stams AJM. 2001. *Pseudomonas chloritidismutans* sp. nov., a nondenitrifying, chlorate-reducing bacterium. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* **52**: 2183–2190.
- Woodfine A. 2009. Using sustainable land management practices to adapt to and mitigate climate change in Sub-Saharan African. Resource guide version 1, TerrAfrica regional sustainable land management. Available from <http://www.terrafrica.org> (accessed november 2022).
- Xing Y, Mi F, Wang X. 2022. Effects of different nitrogen fertilizer types and application rates on maize yield and nitrogen use efficiency in Loess Plateau of China. *Journal of Soils and Sediments.* 1-21.
- Yacoub A, Gerbore J, Magnin N, Chambon P, Dufour MC, Corio-Costet MF, Guyoneaud R, Rey P. 2016. Ability of *Pythium oligandrum* strains to protect *Vitis vinifera* L.,
- Yacoub A, Haidar R, Gerbore, Masson C, Dufour MC, Guyoneaud R, Rey P. 2020. *Pythium oligandrum* induces grapevine defence mechanisms against the trunk pathogen *Neofusicoccum parvum*. *Phytopathologia Mediterranea* **59(3)**: 565-580.
- Yang H, Puri A, Padda KP, Chanway CP. 2017. Substrate utilization by endophytic bacteria *Paenibacillus polymyxa* P2b-2R that may facilitate bacterial entrance and survival inside diverse plant hosts **2**:120-130.
- Yang HH, Yang SL, Peng KC, Lo CT, Liu SY. 2009. Induced proteome of
- Yang L, Li F, Lü X, Xing B, Pan X, Shi X, Li J, Wu S. 2022. Performance of three *Trichogramma* species as biocontrol agents on *Spodoptera frugiperda* eggs. *Journal of applied entomology.* **146**: 1019-1027
- Yang Y, Ashworth AJ, DeBruyn JM, Willett C, Durso LM, Cook K, Moore JPA, Owens PR. 2019. Soil bacterial biodiversity is driven by long-term pasture management, poultry litter, and cattle manure inputs. *PeerJ* 7, e7839.
- Yetik AK, Sen B. 2022. Evaluation of the Impacts of Climate Change on Irrigation Requirements of maize by CROPWAT Model. *Gesunde Pflanzen.* 1-9.
- Zabihi HR, Savaghebi GR, Khavazi K, Ganjali A, Miransari M. 2011. *Pseudomonas* bacteria and phosphorous fertilization, affecting wheat (*Triticum aestivum* L.) yield and P uptake under greenhouse and field conditions. *Acta physiologiae plantarum* **33**: 145-152.
- Zábranský P. 2020. Efektivní hospodaření s vodou a eliminace degradace půdy v pěstebních systémech kukuřice. *Agrární komora České republiky.*
- Zahra N, Mahmood S, Raza ZA. 2018. Salinity stress on various physiological and biochemical attributes of two distinct maize (*Zea mays* L.) genotypes. *Journal of Plant Nutrition,* **41(11)**:1368-1380.
- Zhang F, Toepfer S, Riley K, Kuhlmann U. 2004. Reproductive Biology of *Celatoria compressa* (Diptera: Tachinidae), a Parasitoid of *Diabrotica virgifera virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Biocontrol Science and Technology.* **14(1)**:5-16.
- Zhou GP, Gao SJ, Xu CX, Dou FG, Shimizu KY, Cao WD. 2020. Rational utilization of leguminous green manure to mitigate methane emissions by influencing methanogenic and methanotrophic communities. *Geoderma* **361**: 114071.

- Zhou L, Zhang T, Tang S, Fu X, Yu S. 2020. Pan-genome analysis of *Paenibacillus polymyxa* strains reveals the mechanism of plant growth promotion and bio-control. *Antonie Van Leeuwenhoek* **113**: 1539–1558.
- Zhu X, Zhang A, Wu P, Qi W, Fu G, Yue G, Liu X. 2019. Uncertainty Impacts of Climate Change and Downscaling Methods on Future Runof Projections in the Biliu River Basin. *Water* **11**:2130.
- Ziska LH, Blumenthal DM, Runion GB, Hunt ER, Diaz-Soltero H. 2011. Invasive species and climate change: an agronomic perspective. *Clim Change* **105**:13–42
- Zou Y, Shen F, Zhong Y, Lv C, Fang W, Chen F. 2022. Impacts of Intercropped Maize Ecological Shading on Tea Foliar and Functional Components, Insect Pest Diversity and Soil Microbes. *Plants*. **11**: 1883-18.

