

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Možnosti uplatnění bioefektorů při pěstování kukuřice**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Ingrid Ungerová**

**Obor studia: Rozvoj venkovského prostoru**

**Vedoucí práce: Ing. Martin Kulháněk, Ph.D.**

© 2019 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Možnosti uplatnění bioefektorů při pěstování kukuřice" 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 12. 4. 2019

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Martinu Kulhánkovi, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce, za rady, cenné poznámky a připomínky, trpělivost a za čas, který mi věnoval.

# Možnosti uplatnění bioefektorů při pěstování kukuřice

## Souhrn

Bioefektory jsou produkty, které obsahují mikroorganismy jako účinné látky. Jejich aplikace by mohla být jedním ze způsobů, jak zvýšit výnosy nadzemní biomasy a zlepšit mobilizaci živin z méně dostupných forem v půdě. Cílem této diplomové práce je zhodnotit výsledky získané z pokusů v letech 2014-2016 s kukuřicí na siláž a ohodnotit vliv aplikace bioefektorů.

V nádobových a maloparcelových polních pokusech byly testovány různé bioefektory (např. Proradix-*Pseudomonas sp.*, RhizoVital-*Bacillus Amyloliquefaciens*). Ty byly aplikovány buď samostatně, nebo v kombinaci s různými P-hnojivy (např. mletý fosfát, trojitý superfosfát) a N-hnojivy (např. dusičnan amonný s močovinou, dusičnan amonný s vápencem). V pokusech byl sledován výnos sušiny nadzemní hmoty a obsah a odběr makroprvků nadzemní hmotou kukuřice.

Prokazatelné výsledky mezi variantami s bioefektory a relevantními kontrolami byly dosaženy pouze u nádobových pokusů, a to v případě obsahu živin v sušině u prvků N, Ca a K a v případě odběru živin rostlinami u prvků Ca a S. Účinky aplikace bioefektorů na zvýšení výnosu sušiny nebyly potvrzeny. Vyšší výnosy sušiny byly u variant, kde byla aplikována P-hnojiva. Neprůkazné zvýšení obsahu živin v sušině po aplikaci bioefektorů bylo zaznamenáno u prvků N, K a S a zvýšený odběr živin rostlinami po aplikaci bioefektorů byl zaznamenán u prvků N, P, Mg a S.

Z výsledků pokusů je zřejmé, že bioefektory zpravidla neovlivnily ani výnos sušiny, ani odběr sledovaných prvků. Proto je třeba další výzkum zaměřený na testování více plodin a kmenů mikroorganismů. Jednou z pravděpodobných cest k průkazně pozitivním výsledkům je i aplikace bioefektorů v prostředí s podobnými podmínkami, kde byly mikroorganismy izolovány.

**Klíčová slova:** Bioefektory; kukuřice; obsah a odběr makroprvků rostlinami; výnosové parametry.

# The possibilities of using bioeffectors for maize growing

## Summary

Bioeffectors are products containing microorganisms as active substances. Their application could be one way to increase above-ground biomass yields and improve nutrient mobilization from less available forms in the soil. The aim of this thesis is to evaluate the results obtained from the measured values of experiments established in 2014-2016 with silo-maize and to evaluate the effect of the bioeffectors application.

Various bioeffectors (eg, Proradix-*Pseudomonas* sp., RhizoVital-*Bacillus Amylolyquefaciens*) were tested in pot experiment and small plot field trials. These were applied either alone or in combination with various P-fertilizers (eg rock phosphate, triple superphosphate) and N-fertilizers (eg., ammonium nitrate with urea, ammonium nitrate with limestone). The above ground dry biomass yield and macronutrient content and uptake by maize plants was recorded.

The significant differences between bioeffectors and related controls were achieved only in pot experiments, in the case of nutrient content in dry matter for elements N, Ca and K and in case of nutrient uptake by plants for Ca and S. The effects of bioeffectors application on increasing dry matter yield were not confirmed. Higher aboveground biomass yields were measured for variants where P-fertilizers were applied. The non-significant increase in nutrient content in the dry matter after application of bioeffectors was observed at the N, K and S elements and the increased nutrient uptake by plants after application of bio-effectors was recorded in the N, P, Mg and S elements.

From the results of the experiments it is clear that the bioeffectors usually did not affect either the dry matter yield or the monitored elements. Therefore, further research is needed to test more crops and strains of microorganisms. One of the probable ways to get a positive results is the application of bioeffectors in an environment with similar conditions where the microorganisms were isolated.

**Keywords:** Bioeffectors; maize; content and collection of macroelements by plants; yield parameters.

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	8
<b>2 Cíle a hypotézy</b> .....	9
<b>2.1 Cíle</b> .....	9
<b>2.2 Hypotézy</b> .....	9
<b>3 Výživa rostlin</b> .....	10
<b>3.1 Stručný popis funkce makroprvků</b> .....	10
3.1.1 Uhlík .....	11
3.1.2 Vodík .....	11
3.1.3 Kyslík.....	11
3.1.4 Dusík.....	11
3.1.5 Fosfor.....	11
3.1.5.1 Koloběh fosforu .....	12
3.1.6 Draslík.....	12
3.1.7 Síra.....	12
3.1.8 Vápník.....	13
3.1.9 Hořčík .....	13
<b>3.2 Mykorhiza</b> .....	13
3.2.1 Endomykorhiza .....	13
3.2.2 Ektomykorhiza.....	14
<b>4 Biostimulanty (bioefektory)</b> .....	15
<b>4.1 Bakteriální bioefektory</b> .....	16
4.1.1 <i>Pseudomonas sp</i> .....	16
4.1.2 <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> .....	17
4.1.3 <i>Bacillus subtilis</i> .....	18
4.1.4 <i>Pseudomonas jessenii</i> .....	19
<b>4.2 Houbové bioefektory</b> .....	19
4.2.1 <i>Trichoderma sp</i> .....	19
4.2.2 <i>Trichoderma harzianum</i> .....	20
4.2.3 <i>Pythium oligandrum</i> .....	20
<b>5 Metodika práce</b> .....	21
<b>5.1 Nádobové pokusy 2014</b> .....	21
<b>5.2 Polní pokusy 2014</b> .....	23
<b>5.3 Polní pokus 2015</b> .....	25
<b>5.4 Polní pokusy 2016</b> .....	27
<b>6 Analytická stanovení</b> .....	30
<b>6.1 Analýzy půdy</b> .....	30

6.1.1	Stanovení fosforu metodou Mehlich 3.....	30
<b>6.2</b>	<b>Analýzy rostlin.....</b>	<b>30</b>
6.2.1	Rozklad na suché cestě .....	30
6.2.2	Stanovení obsahu celkového dusíku.....	31
<b>6.3</b>	<b>Statistické vyhodnocení.....</b>	<b>31</b>
<b>7</b>	<b>Výsledky.....</b>	<b>32</b>
7.1	Nádobové pokusy 2014.....	32
7.2	Polní pokusy 2014 .....	35
7.3	Polní pokus 2015 .....	38
7.4	Polní pokusy 2016 .....	40
<b>8</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>47</b>
<b>10</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>48</b>

# 1 Úvod

K uspokojení celosvětových požadavků na kulturní plodiny se zemědělské systémy v průmyslových zemích musely podřít. Na jedné straně vysoká aplikační dávka minerálních hnojiv spolu s použitím pesticidů, zavlažováním a krátkým střídáním plodin zvýšila výnosy a přispěla ke snížení hladovosti zemí. Na druhou stranu moderní zemědělství s vysokými vstupy vytvořilo řadu ekologických problémů. V této souvislosti je znepokojivé znečištění podzemních vod a eutrofizace vodních systémů v důsledku eroze půdy a vyluhování živin a odtoku ze zemědělských polí. Rozsáhlé používání minerálních hnojiv přispívá ke změně klimatu, jelikož výroba a použití hnojiv způsobují významné emise skleníkových plynů.

V posledních desetiletích bylo zemědělství a rostlinná výroba téměř úplně závislá na minerálních hnojivech. Celosvětová spotřeba těchto hnojiv je především ovlivněna prudkým nárůstem populace, tím pádem poptávce po potravinách, krmivech a v neposlední řadě i rozvojem pěstování rostlin na biopaliva. Minerální hnojiva jsou však vyrobena především z neobnovitelných zdrojů a mají tedy omezenou dostupnost. Z těchto důvodů je nutné nalézt alternativní strategie pro výživu rostlin. Alternativy, které minimálně sníží aplikaci minerálních hnojiv a byly by šetrné k životnímu prostředí.

Přirozené půdní vlastnosti byly do značné míry ignorovány, a to především kvůli intenzivním zemědělským výrobním procesům, které spoléhaly na výživu rostlin minerálními hnojivy. Z výše uvedených důvodů se pro zdravé životní prostředí vyvíjejí ekologicky šetrné výrobní metody a zemědělské systémy s omezenými vstupy chemikálií. Jednou z nejvíce přijatých a sledovaných alternativ intenzivních zemědělských postupů je aplikace bioefektorů.

Během uplynulého desetiletí vzrůstal zájem výzkumných pracovníků o integraci produktů jako bioefektory do řady přípravků šetrných k životnímu prostředí, které zajišťují lepší produktivitu plodin a stabilitu výnosů.

Rostliny potřebují k růstu a vývoji minimálně sedmáct prvků, a to ve správném množství. Jejich nedostatek nebo nadbytek způsobuje různá poškození. Každý druh rostliny má své specifické požadavky na množství každé živiny, a dokonce záleží i na jejich poměrech. Většina živin se vyskytuje v půdě v méně dostupných formách. Jedním z možných způsobů alternativní náhrady je využití tzv. bioefektorů, které by měly zlepšit mobilizaci živin (hlavně fosforu) z méně dostupných forem v půdě, zlepšit růst rostlin a přispět k rozvoji mykorrhizy.



## **2 Cíle a hypotézy**

### **2.1 Cíle**

Cílem této diplomové práce je zhodnocení vlivu aplikace tzv. bioefektorů aplikovaných samostatně nebo v kombinaci s hnojivy na výnos, obsah makroprvků v nadzemní hmotě a odběr makroprvků rostlinami silážní kukuřice.

### **2.2 Hypotézy**

Aplikace bioefektorů povede ke zvýšení výnosu kukuřice silážní oproti relevantní kontrole.

Živiny se v půdě vyskytují převážně v rostlinám nepřístupných formách. Aplikace bioefektorů zvýší jejich mobilitu, a tím pádem i dostupnost pro rostliny. To povede ke zvýšenému odběru makroprvků rostlinami.

Po aplikaci bioefektorů spolu s P-hnojivy se P rychleji uvolňuje a je lépe dostupnější pro rostliny, zejména na stanovištích s jeho nedostatkem.

Po aplikaci N-hnojiva metodou CULTAN spolu s bioefektory, aplikovanými mezi osivo a depo, dojde při prorůstání kořenů pásem bioefektorů k snadnější inokulaci.

### 3 Výživa rostlin

Většina půdních podmínek na celém světě může zajistit rostlinám, přizpůsobeným danému klimatu a půdě, dostatečnou výživu po celý životní cyklus bez přidání živin jako hnojiva. Pokud ale půda nedokáže rostlinám dodat dostatečné množství živin pro správný růst a výnos, musíme živiny do půdy dodávat. Rozdíly v obsahu živin významně ovlivňují fotochemický proces fotosyntézy a hrají proto zásadní roli při růstu a rozvoji rostlin (Kalaji et al. 2018).

V roce 1972 Emanuel Epstein definoval dvě kritéria pro prvky, které jsou podstatné pro růst rostlin. V nepřítomnosti daného prvku není rostlina schopna dokončit normální životní cyklus nebo daný prvek je součástí některé podstatné rostlinné složky nebo metabolitu (Epstein 1972).

Každá rostlina potřebuje k správnému vývoji devět makrobiogenních a osm mikrobiogenních prvků. Jejich nedostatek nebo nadbytek způsobuje poruchy růstu, jiné zabarvení rostlin nebo až jejich úhyn. Nedostatek živin silně ovlivňuje strukturu a funkce fotosyntetického aparátu, vede ke snížení produkce biomasy a nerovnováze ve vodních vztazích. Problém není pouze nedostatek živin, ale i jejich nadbytek (Kalaji et al. 2018).

Základní živiny pro rostliny jsou uhlík, kyslík a vodík. Tyto prvky jsou získávány rostlinou ze vzduchu (resp. z vody), ostatní živiny rostlina získává především z půdy (Taiz & Zeiger 2002).

Všechny prvky kromě C, O, H rostliny přijímají jako ionty. Jejich dostupnost pro rostliny závisí na několika faktorech jako je např. pH, hydrolytická aktivita, půdní struktura a obsah půdní organické hmoty (Kalaji et al. 2018).

Nezbytným orgánem pro příjem živin jsou kořeny. Struktura kořene ovlivňuje rychlost příjmu živin.

Živiny se mohou pohybovat v rostlinách tam, kde jsou nejvíce potřeba. Když jsou živiny v rostlině mobilní, projevují se nejprve příznaky nedostatku na starších listech. Ne všechny živiny jsou však stejně pohyblivé. Když je méně mobilní živina z půdy méně dostupná, trpí naopak mladší listy, protože se živina nehýbe a zůstává ve starších listech.

#### 3.1 Stručný popis funkce makroprvků

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

### 3.1.1 Uhlík

Uhlík tvoří páteř většiny rostlinných biomolekul včetně bílkovin, škrobů a celulózy. Je fixován fotosyntézou, ve formě  $\text{CO}_2$ . Rostlina získává uhlík ze vzduchu.

Zvyšuje transpiraci a množství chlorofylu. Je základní složkou rostlinné organické hmoty. K nedostatku uhlíku v praxi obvykle nedochází (Taiz & Zeiger, 2002).

### 3.1.2 Vodík

Vodík rostlina získává výhradně z vody. Vodíkové ionty jsou nezbytné pro protonový gradient, který pomáhá řídit transportní řetězec elektronů při fotosyntéze a při dýchání.

Vodík je rovněž základní složkou rostlinné organické hmoty. Nedostatek vodíku není v praxi běžný, množství souvisí s dostatkem vody (Taiz & Zeiger, 2002).

### 3.1.3 Kyslík

Kyslík je součástí mnoha organických a anorganických molekul v rostlině. Je získáván jak ze vzduchu, tak i z půdní vody přes kořeny. Rostliny produkují plynný kyslík  $\text{O}_2$  spolu s glukózou během fotosyntézy. V rámci buněčného dýchání rozkládá glukózu za vzniku ATP.

Kyslík je základní složkou rostlinné organické hmoty. Nedostatek kyslíku není v praxi běžný (Taiz & Zeiger, 2002).

### 3.1.4 Dusík

Dusík je hlavní složkou několika nejdůležitějších rostlinných látek. Tvoří složku aminokyselin, které tvoří stavební prvky bílkovin. Je také mj. podstatnou složkou chlorofylu. Dusík je rostlinami přijímán ve formě  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ .

Dusík je součástí nukleových kyselin, proteinů, hormonů a koenzymů. Nedostatek dusíku nejčastěji vede k pomalému růstu a následně celkově menšímu vzrůstu dospělých rostlin (Roy et al. 2006).

### 3.1.5 Fosfor

Fosfor je zapojen do mnoha životně důležitých rostlinných procesů. Je přítomen v organických i anorganických formách, které jsou v rostlině snadno transportovány. Všechny přenosy energie jsou kriticky závislé na fosforu. Fosfor je rostlinami přijímán ve formě  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ .

Fosfor v rostlinách je součástí fosfolipidů, nukleových kyselin, ATP a koenzymů. Nedostatek fosforu se projevuje pomalým růstem nadzemních orgánů rostlin, pomalý vývoj pupenů, květy a plody opadávají předčasně (Filippelli 2002).

#### 3.1.5.1 Koloběh fosforu

Koloběh je biogeochemický cyklus, který popisuje pohyb fosforu přes litosféru, hydrosféru a biosféru. Na rozdíl od mnoha jiných biogeochemických cyklů, atmosféra nehraje významnou roli v pohybu fosforu, protože sloučeniny fosforu jsou obvykle v pevné fázi.

Na zemi se fosfor postupně stává méně dostupným rostlinám, protože dochází k jeho postupnému vyplavování. Nízká koncentrace fosforu v půdách snižuje růst rostlin a zpomaluje růst mikroorganismů v půdě. Půdní mikroorganismy působí jako záchyt a zdroj dostupného fosforu.

Fosfáty se rychle pohybují rostlinami, nicméně jejich pohyblivost v půdě je velmi nízká. Cyklus fosforu je jedním z nejpomalejších biogeochemických cyklů (Oelkers 2008).

#### 3.1.6 Draslík

Draslík má výbornou mobilitu a je dobře rozpustný v rostlinných pletivech. Rostlina přijímá draslík ve formě iontu  $K^+$ .

Draslík je hlavní látkou ovlivňující vodní bilanci a iontovou rovnováhu rostlin. Rostliny potřebují draslík pro otevírání a zavírání průduchů a pro syntézu bílkovin. Nedostatek draslíku u rostlin je vážnou fyziologickou poruchou výživy rostlin. Rostlina hůře hospodáří s vodou, narušuje se syntéza sacharidů, snižuje se odolnost proti parazitům (Heiberg & White 1951).

#### 3.1.7 Síra

Síra je strukturální složka některých aminokyselin a vitamínů. Je nezbytná pro růst a funkci chloroplastů. Síra je přijímána rostlinou ve formě  $SO_4^{2-}$ .

Síra je u rostlin složkou proteinů a koenzymů. Příznaky nedostatku zahrnují žloutnutí listů a zakrnělý vzrůst (Sirko et al. 2009).

### 3.1.8 Vápník

Vápník je důležitý pro utváření a odolnost buněčné stěny, zachovává správné funkce membrán, aktivuje některé enzymy. Je významným regulátorem buněčné odpovědi na podněty. Rostlina přijímá vápník ve formě  $\text{Ca}^{2+}$ .

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).

### 3.1.9 Hořčík

Hořčík je součástí chlorofylu, proto hraje důležitou roli ve fotosyntéze. Také je aktivátorem mnoha důležitých enzymů. Stejně jako draslík je hořčík v rostlinách velmi pohyblivý. Rostliny ho přijímají ve formě  $\text{Mg}^{2+}$ .

Příznaky nedostatku hořčíku v rostlinách se projevují tzv. mramorovým vzhledem starších listů. Nedostatek hořčíku způsobuje předčasné stárnutí rostlin (Marschner 2012).

## 3.2 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 živiny, jako je fosfor, odebrané z půdy. Většina rostlin tvoří mykorhizní sdružení (Kottke & Nebel 2005).

V soužití houba kolonizuje kořenové tkáně hostitelské rostliny buď intracelulárně (endomykorhiza) nebo extracelulárně (ektomykorhiza) (Johnson et al. 1997).

Mykorhiza jsou obzvláště přínosná pro rostliny, které jsou v půdě s malým obsahem živin.

### 3.2.1 Endomykorhiza

Při endomykorhize houbová vlákna pronikají do rostlinných kořenových buněk. Endomykorhiza dále dělena dle skupin rostlin na arbuskulární, erikoidní a orchideoidní (Remy et al. 1994).

Nejčastější houboví symbionti jsou z oddělení Glomeromycota.

### **3.2.2 Ektomykorhiza**

Při ektomykorhize nedochází k průniku houbových vláken do jednotlivých buněk uvnitř kořene. Ektomykorhizní houby vytvářejí tzv. hyfový plášť, který pokrývá primární část kořene. Touto houbovou sítí zvětšují plochu savé části a tím i přísun živin (Simard et al. 1997).

Ektomykorhiza je symbiotická asociace mezi kořeny u asi 10 % rostlinných rodů, převážně se jedná o dřeviny. Nejčastější houboví symbionti jsou z oddělení Basidimycota, Ascomycota a Zygomycota (Den Bakker et al. 2004).

## 4 Biostimulanty (bioefektory)

Zemědělská výroba je v současnosti závislá na čerpání neobnovitelných zdrojů. Alternativní hnojiva jsou podporována, ale často mají nižší dostupnost klíčových makroprvků, zejména fosforu. Biologické inokulátory, tzv. bioefektory, mohou být kombinovány s hnojivem, aby se zlepšila účinnost živin (Thonar et al. 2018).

Bioefektory mohou být používány v ekologickém zemědělství, protože jejich použití nepředstavuje žádné známé riziko pro životní prostředí. Mohou přispět k tomu, aby zemědělství bylo udržitelnější a odolnější (Van Oosten et al. 2017).

Bioefektory jsou sloučeniny, které obsahují mikroorganismy (bakterie nebo houby) a aktivní přírodní látky (extrakty z půdy, kompost, mořské řasy, mikrobiální zbytky nebo rostlinné extrakty). Jejich využití by mělo vést k mobilizaci živin z méně biologicky dostupných forem v půdě, podporovat růst kořene a vývoj mykorrhizy. Mikroorganismy mohou hrát důležitou roli při zvyšování dostupnosti živin, zejména fosforu, rostlinám (Holečková et al. 2017).

Tyto přírodní sloučeniny spouštějí fyziologické a molekulární procesy, které ovlivňují výnos plodin a jejich kvalitu. Jejich primární funkcí není dodávat živiny (hnojiva) ani chránit rostliny před škůdci či patogeny, bioefektory stimulují přirozené procesy, které zvyšují příjem a využití živin (Rauphel & Colla 2018).

Biostimulanty se aplikují na rostliny, aby se předešlo snížení výnosů způsobené vnějšími faktory. Ovlivňují vitalitu rostlin a potenciál výnosu, aniž by změnilly genetický systém, poskytovaly přímo živiny nebo odstranily stresor. Použití biostimulantů pomáhá rostlinám absorbovat živiny, vytvořit silnější kořenový systém a produkovat více zelené hmoty, zejména listů, čímž usnadňuje přežití rostlin za nepříznivých okolních podmínek (Wolski et al. 2019).

Tyto produkty jsou vyvinuty pro širokou škálu zemědělských a okrasných rostlin. Přispívají k lepšímu zdraví rostlin, protože se také používají proti různým chorobám a škůdcům. Podpora růstu rostlin přispívá k vyšším výnosům a k lepší kvalitě produkce (Holečková et al. 2018).

Účinky bioefektorů na podporu růstu rostlin vychází z různých mechanismů, například z kontroly rostlinných patogenů buď stimulací obranných mechanismů rostliny nebo mikrobiálním antagonizmem. Některé bioefektory indukují růst rostlin stimulací vlastní produkce hormonu rostlin, jako jsou auxiny nebo cytokininy, nebo produkcí přímo hormonem podobných sloučenin. Pokud jde o získání fosforu, 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).

Bioefektory můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin houbové bioefektory a bakteriální bioefektory (Holečková et al. 2017).

## 4.1 Bakteriální bioefektory

Bakterie s potenciálem působit jako bioefektory byly izolovány z řady ekosystémů s alkalickou, kyselou i suchou půdou. Tyto bakterie patří do několika rodů, jako jsou *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).

### 4.1.1 *Pseudomonas sp*

Bakterie, která je přítomna ve všech zemědělských půdách, žijící často v rhizosféře. Rod *Pseudomonas* je vhodný jako biokontrolní organismus produkující látky podporující růst. Použití těchto bakterií může sloužit jako účinný přístup k posílení rostlinné produkce. Používání bakterií je považováno za udržitelné řešení pro zlepšení rostlinné výroby (Holečková et al. 2017).

Tyto mikroorganismy mohou zvyšovat dostupnost imobilních živin v půdě po rozpuštění jejich minerálních forem. Použití *Pseudomonas putida* zlepšilo růst a výnos různých plodin, jako je rýže, rajčata nebo pšenice. Aplikace *Pseudomonas putida* samostatně nebo v kombinaci s fosforem zlepšila růst rostlin, příjem živin (N, P, K) a antioxidační aktivitu (Israr et al. 2016).

Na univerzitě KwaZulu-Natal, Pietermaritzburg, v letech 2010/2012 byly provedeny experimenty laboratorní, skleníkové i polní, kde studovali účinky osmi kmenů diazotrofních bakterií na růst a výnos kukuřice. Kukuřičná semena byla ošetřena *Bacillus megaterium*, *Pseudomonas sp.* (kmény B5, A3, A6, A61), *Burkholderia ambifaria*, *Enterobacter cloacae* a *Pantoea ananatis*, jejichž cílem bylo stimulovat růst rostliny a udržení nebo zvýšení výnosů za snížené potřeby N hnojení. Všechny diazotrofní bakterie zvýšily klíčivost semen kukuřice a *Pseudomonas sp.* (B5) a *B. megaterium* významně zvýšily nadzemní část rostlin. *Pseudomonas sp.* (B5) a *Pseudomonas sp.* (A3) velmi významně zvýšila délku kořenů. Zpracování semen s vybranými diazotrofními bakteriemi vedlo ke zvýšení klíčivosti semen, ale nezpůsobilo žádné



významné zvýšení výnosu zrn, sušiny, výšky rostlin a obsahu chlorofylu ve srovnání s neošetřenou kontrolou. To mohlo být způsobeno vysokou konkurencí ze strany původní mikroflóry půdy. Ovlivnit účinnost bakterií může i kořenová exudace, kolonizace kořenů jinými bakteriemi a zdraví půdy (Ferreira et al. 2013; Liu et al. 2015; Kifle & Laing 2016).

#### 4.1.2 *Bacillus amyloliquefaciens*

*Bacillus amyloliquefaciens* je považován za kořeny kolonizující biokontrolní bakterii a používá se k boji proti některým patogenům rostlinných kořenů. Ukázalo se, že poskytuje výhody rostlinám v půdních i hydroponických aplikacích. Působí proti bakteriálním a houbovým patogenům (Chen et al. 2016).

Zlepšuje odolnost kořenů proti abiotickému stresu, což umožňuje rostlinám, jako je kukuřice, tolerovat vysoké koncentrace solí, současně snižuje koncentrace solí v rostlinné tkáni (Wu et al. 2014).

*Bacillus amyloliquefaciens* je grampozitivní, aerobní a endospóry tvořící bakterie. Často se používají jako komerční chemikálie v průmyslu. Jsou jedním z přínosných činidel používaných k podpoře růstu rostlin a potlačení chorob v půdě v zemědělství. *Bacillus amyloliquefaciens* produkuje mnoho metabolitů jako jsou např. enzymy (chitinázy, peroxidázy, proteázy, fofatázy, celulózy), kasein, elastin, škrob, nitrity, eskulin a arbutin, adenin, guanin, hypoxanthin, pektin, testosteron, tyrosin, mnoho typů antibiotik (bacilomyciny, fengycin, difficiden) a další látky. Produkce antibiotik účinkuje na rostliny antifungálně, antibakteriálně i antinematocidně. Tyto bakterie mají také schopnost produkovat širokou škálu sekundárních metabolitů, jejichž cílem je potlačit konkurenční bakterie, houby, viry a nematody v rhizosféře rostlin, podporují vývoj kořenů a zlepšují klíčivost semen. Tyto poznatky shrnuje ve svém literárním přehledu Holečková et al. (2018).

Kyselina mléčná je hlavní složkou kořenových exsudátů kukuřice, tyto kyselé a jiné kořenové exsudáty jsou zdrojem uhlíku a energie pro *Bacillus amyloliquefaciens*. Kvůli těmto vlastnostem jsou často tyto bakterie používané jako „bio-hnojivo“ a jako prostředek biologické ochrany v zemědělství. Bakterie také snižují vliv abiotických stresových podmínek jako je sucho, slanost půdy nebo nedostatek živin v půdě.

Existuje studie na vliv inokulace *Bacillus amyloliquefaciens* na růst rostlin rýže za stresových podmínek, způsobené slaností půdy po dobu 30 dnů. Tato studie vycházela za předpokadu, že použití mikroorganismů poskytuje alternativní technologii ke zlepšení schopnosti stresové tolerance v rostlinách. Výsledky laboratorní práce ukázaly, že naočkované rostliny, ve srovnání s kontrolními rostlinami, mají lépe narostlou nadzemní část i kořenovou

část. Stimulace růstu kořenů a efektivní kořenové plochy jsou důležité pro lepší příjem vody a živin, což je nejdůležitější nástroj k zvládnutí stresových podmínek. Analýza této studie ukázala, mimo jiné, že přítomnost deaminázy v bakteriích zmírňuje účinek soli na chlorofyl, čímž podporuje růst rostlin (He et al. 2013).

Další experiment ukazuje, že kmen FZB42 je schopen snížit závažnost onemocnění spodního kořene způsobené patogenem *Rhizoctonia solani* na salátu. Výsledky ukázaly, že kmen FZB42 je schopen efektivně kolonizovat rhizosféru hlávkového salátu a podporovat významné potlačení spodní hniloby způsobené *Rhizoctonia solani* (Chowdhury et al. 2015).

#### 4.1.3 *Bacillus subtilis*

*Bacillus subtilis* je všudypřítomná gram-pozitivní bakterie běžně se vyskytující ve vodě, půdě, vzduchu i ve zbytcích rostlin. Tyto bakterie produkují endospóry, které jim umožňují vydržet a překonávat extrémní teploty a suchá období. Dále produkují řadu proteáz a další enzymy. Jsou považované za benigní organismus, protože nemá žádné vlastnosti, které způsobují patogenní nebo toxické onemocnění u lidí, zvířat i rostlin. *Bacillus subtilis* může být používán jako součást hnojiva v ekologickém zemědělství na osivo plodin nebo přímo do půdy, kde kolonizuje rhizosféru. I když se vyskytují zprávy o rozsáhlých pozitivních účincích této bakterie na růst, výnos, odolnost vůči chorobám, pozitivní účinky ještě nejsou dostatečně ověřeny (Holečková et al. 2017).

*Bacillus subtilis* se používá jako půdní inokulátor v zahradnictví a zemědělství. Je známo, že má symbiotický vztah k druhům *Azotobacter*. Společně pracují na snížení úrovně nerozpustného fosforu v půdě. *Bacillus subtilis* pomáhá uvolňovat fosfátové vazby a distribuovat fosfát v různých rostlinách po celé vegetační období. Je to dobrá alternativa k nerozpustným fosfátovým hnojivům (Yánez-Mendizábal 2011).

Bylo publikováno, že *Bacillus subtilis* produkuje široké spektrum antibakteriálních a antimykotických sloučenin, dále také antibiotika jako je difficiden a oxydifficidin, které jsou účinné proti široké škále aerobních a anaerobních bakterií. Aplikace *Bacillus subtilis* měla silný účinek proti houbovému patogenu, který způsobuje růžové onemocnění hnilobu kořenů u cibule (Katz & Demain 1977; Korzybski et al. 1978).

Altuhaish & Hamim (2014) realizovali polní experiment s cílem zkoumat vliv bioefektoru, který obsahuje *Bacillus subtilis*, na rajčatech. Tento výzkum naznačuje, že aplikace biologického hnojiva zlepšuje růst a produkci.

#### 4.1.4 *Pseudomonas jessenii*

*Pseudomonas jessenii* je fluorescenční, gram-negativní bakterie. Studie, ve které byl pozorován účinek *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. Experiment se skládal ze tří variant, které se čtyřikrát opakovaly (kontrola, *Pseudomonas jessenii* a *Bacillus amyloliquefaciens*). *Pseudomonas jessenii* zvýšil růst rostlin rajčete ve srovnání s kontrolou, zatímco *Bacillus amyloliquefaciens* zvýšil růst kukuřičných rostlin. Bylo dokázáno, že oba mikroorganismy byly ovlivněny bakteriemi v rhizosféře (Eltlbany & Smalla 2013).

## 4.2 Houbové bioefektory

Houbové bioefektory jsou například arbuskulární mykorhizní houby ve formě spór a extraradické mycelium na různých nosných materiálech, jako je perlit, vermikulit, písek nebo rašelina. Kromě toho jsou zástupci kořenového houbového rodu *Trichoderma* aplikovány jako spóry formou prášků (Schneider et al. 2017).

### 4.2.1 *Trichoderma sp*

Kmeny rodu *Trichoderma ssp.* jsou vláknité plísně, které se vyskytují ve většině typech půd na různých stanovištích. *Trichoderma* je houbový gen, který zahrnuje druhy, které se v současné době používají jako bioefektory. Produkují různé enzymy a antibiotika. Hlavní hydrolytické enzymy jsou proteázy, chitinázy a endochitinázy. Jsou účinné proti širokému spektru rostlinných patogenů. Tyto houby podporují růst nadzemní části rostlin i vývoj kořenového systému. Kmeny *Trichoderma* mohou zlepšit příjem živin rostlinou a mají také nepřímý vliv na zdraví rostlin (Holečková et al. 2017).

Několik kmenů *Trichodermy* bylo vyvinuto jako biokontrolní činidla proti houbovým chorobám rostlin. Různé mechanismy zahrnují antibiózu, parazitismus, indukci rezistenci vůči hostiteli a konkurenci. Biokontrolní činidla obecně rostou ve svém přirozeném prostředí na kořenovém povrchu a ovlivňují zejména choroby kořenů, mohou ale také být účinná i proti chorobám listů (Harman 2006).

*Trichoderma* je také hlavní složkou v několika komerčně vyrobených biofungicidů. Biofungicid je určen k listové aplikaci, na ochranu semen nebo se aplikuje do půdy. Půdní aplikace se používá k léčbě a potlačení různých chorob způsobených patogeny jako *Botrytis*, *Fusarium* a *Penicillium sp.* Používá se i proti škůdcům (Samuels et al. 2014; Gomes et al. 2015).

Tato vláknitá houba zvyšuje odolnost před biotickým a abiotickým stresem, a tudíž nepřímo stoupá např. účinnost využití dusíku. Hluboké a rozvinuté kořeny rostlin umožňují vydržet sucho, což bylo potvrzeno např. pro kukuřici a okrasné rostliny. Výše uvedené vlastnosti se používají k ošetření osiva proti různým patogenům a mykotoxinům (Ferrigo et al. 2014; Galletti et al. 2015).

#### **4.2.2 *Trichoderma harzianum***

*Trichoderma harzianum* je volně žijící vláknitá houba, vyskytující se v půdě. *Trichoderma* patří k houbám, které se v současné době používají jako mykoparazitické houby. Produkují chitin a degradující enzymy, které hydrolyzují stěnu hostitelké buňky. Mohou také vytvářet za vhodných podmínek vysoké obsahy celulózy (Holečková et al. 2018). Kmen T22 umožňuje zvýšit účinnost fotosyntézy a růstu u rajčat (El-Gremi et al. 2017). Jako bioefektor, *Trichoderma harzianum*, může antagonizovat různorodou řadu fytopatogenních hub, včetně *Botrytis cinerea*, *Rhizoctonia solani* a *Fusarium oxysporum* (Yang et al. 2009).

*Trichoderma harzianum* byla použita ve studii s bramborami, v podmínkách in vitro a ve skleníku v Belgii. Cílem této studie bylo zjistit vliv naočkování *Rhizophagus irregularis* společně s *Trichoderma harzianum* na předplodinu brambor (vojtěšku) a přímo při výsadbě brambor. V obou studiích bylo zjištěno zvýšení hmotnosti bramborových hlíz. Výhodnější zemědělskou praxí ke zvýšení výnosu brambor bylo očkování předchozí krycí plodiny oběma mikroorganismy než přímé očkování k bramborám. Nicméně rozdíl mezi těmito strategiemi na produkci brambor nemusí být pouze přičítán kolonizaci arbuskulárních mykorhizních hub, ale příčinou může být i vyšší dostupnost N (Buysens et al. 2016).

#### **4.2.3 *Pythium oligandrum***

*Pythium oligandrum* kolonizuje 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).

Studie dokázaly, že při ošetření kořenů rajčat houbou *Pythium oligandrum*, indikuje zvýšené množství ethylenu, což snižuje závažnost bakteriální choroby *Ralstonia solanacearum* (Hase et al. 2008).

## 5 Metodika práce

V této části jsou přehledy všech pokusů, jejichž výsledky jsou v rámci této diplomové práce hodnoceny. Jedná se o pokusy realizované v rámci projektu Biofactor, na kterém se podílelo 21 pracovišť zahrnujících převážně evropské univerzity, výzkumné ústavy a distributory biostimulantů. Uvedené pokusy jsou tak většinou součástí společných metodik, tzv. „joint experimentů“. Cílem této práce bude podat ucelený přehled o výsledcích dosažených v projektu, zejména v rámci polních pokusů realizovaných na České zemědělské univerzitě.

V práci bylo použito 5 bioefektorů. Pro větší přehlednost jsou uváděny ve zkratkách BE1 až BE5 a jejich účinné mikroorganismy jsou následující:

BE1 – *Trichoderma harzianum*, kmen T22

BE2 – *Pseudomonas sp.*, kmen DSMZ 13134

BE3 – *Bacillus amyloliquefaciens*, kmen FZB42

BE4 – *Paenibacillus mucilaginosus*

BE5 – kombinace mikroorganismů – *Trichoderma harzianum*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus subtilis*

### 5.1 Nádobové pokusy 2014

V roce 2014 byl založen nádobový pokus (30.4.). Do nádob o objemu 6 litrů bylo zaseto vždy 5 zrn kukuřice (*Zea mays*, odrůdy *Colisée*). Půda byla získána ze stanovišť Humpolec a Lukavec (pokusná stanice VÚRV, Humpolec). Podrobnější popis stanovišť, včetně souřadnic odběru zemin pro pokus, je uveden v tabulce 1. Vzhledem k tomu, že na uvedených lokalitách probíhaly pokusy častěji, jen s rozdílem v pozicích, jsou stanoviště v jednotlivých ročnících označena písmeny.

Substrát byl namíchan z půdy (kambizem) a křemenného písku v poměru 2:1 (3325 g suché půdy + 1665 g písku). Tím se snížil obsah P na stanovišti Humpolec na velmi nízký (48 mg P/kg) a na stanovišti Lukavec na vyhovující (80 mg P/kg).

Tabulka 1: Klimatické a půdní vlastnosti stanovišť Humpolec A a Lukavec A.

<b>Stanoviště</b> (GPS)	<b>Humpolec A</b> (49°33'17'' s.š.; 15°21'00'' v.d.)	<b>Lukavec A</b> (49°34'17'' s.š.; 14°59'20'' v.d.)
<b>Průměrná roční teplota</b> (°C)	7,0	7,7
<b>Průměrné roční srážky</b> (mm)	665	666
<b>Nadmořská výška</b> (m n. m.)	525	610
<b>Půdní typ</b>	kambizem	kambizem
<b>Půdní druh</b>	písečito-hlinitá	hlinito-písečité
<b>pH</b>	5,7	5,4
<b>Obsah P<sub>Mehlich3</sub></b> (mg/kg)	80 (vyhovující obsah)	120 (vysoký obsah)

Každá varianta byla realizována v pěti opakováních. Po dvou týdnech pěstování byly rostliny kukuřice vyjednoceny na finální počet tří rostlin na nádobu. Ke všem variantám byla aplikována stejná dávka N (0,5 g N/nádobu) a K (0,85 g K/nádobu). Dusík byl dodán ve formě dusičnanu vápenatého (DV) a draslík v podobě K-hnojiva Patentkali (Ptk). V pokusu byly testovány tři bioefektory v kombinaci se dvěma P-hnojivy (0,25 g P/nádobu). Jako bioefektory byly použity: BE0 – voda (stejný objem vody, jako bioefektorového roztoku), BE1 – Trianium P, BE2 – Proradix a BE3 – RhizoVital 42.

Bioefektory byly aplikovány lokálně pipetou, 5 ml ke každému zrnu (25 ml/nádobu). Výše uvedené bioefektory byly testovány v kombinaci s hnojivy: mletý fosfát (MF) a trojitý superfosfát (TSP), kterými byla dodána stejná dávka P. Všechny varianty (tabulka 2) byly srovnávány s kontrolními variantami, složenými z neaktivního bioefektoru (vody – BE0) a uvedených P hnojiv, včetně neaktivního bioefektoru s P nehnojenou variantou.

Nadzemní biomasa byla po sklizni, která proběhla 13.8.2014, dále sušena a zpracována pro následné analýzy.

Tabulka 2: Schéma nádobového pokusu 2014 pro stanoviště Humpolec i Lukavec.

č.v.	Varianta	N (g/nádoba)	P (g/nádoba)	K (g/nádoba)	BE1 (ktj*/g)	BE2 (ktj/g)	BE3 (ktj/g)
1	BE0 + NK	0,5	-	0,85	-	-	-
2	BE1 + NK	0,5	-	0,85	1,12 x 10 <sup>8</sup>	-	-
3	BE2 + NK	0,5	-	0,85	-	9,08 x 10 <sup>8</sup>	-
4	BE3 + NK	0,5	-	0,85	-	-	8,75 x 10 <sup>8</sup>
5	BE0 + MF + NK	0,5	0,25	0,85	-	-	-
6	BE1 + MF + NK	0,5	0,25	0,85	1,12 x 10 <sup>8</sup>	-	-
7	BE2 + MF + NK	0,5	0,25	0,85	-	9,08 x 10 <sup>8</sup>	-
8	BE3 + MF + NK	0,5	0,25	0,85	-	-	8,75 x 10 <sup>8</sup>
9	BE0 + TSP + NK	0,5	0,25	0,85	-	-	-
10	BE1 + TSP + NK	0,5	0,25	0,85	1,12 x 10 <sup>8</sup>	-	-
11	BE2 + TSP + NK	0,5	0,25	0,85	-	9,08 x 10 <sup>8</sup>	-
12	BE3 + TSP + NK	0,5	0,25	0,85	-	-	8,75 x 10 <sup>8</sup>

\* ktj – kolonie tvořící jednotky

## 5.2 Polní pokusy 2014

Ve stejných oblastech (Humpolec a Lukavec, pokusná stanice VÚRV), kde byla odebrána půda pro nádobový pokus, byly provedeny také polní pokusy. V tabulce 3 je uvedena charakteristika výše uvedených stanovišť, včetně jejich souřadnic.

Polní pokusy byly založeny 23.4.2014 na stanovišti Humpolec, 25.4.2014 na stanovišti Lukavec a byly realizovány obdobně jako pokusy nádobové (schéma v tabulce 4). Testovanou rostlinou byla rovněž kukuřice (*Zea mays*, odrůdy *Colisée*) a její výsevek byl 95 tisíc zrn na hektar. V tomto polním pokusu byl rovněž hodnocen vliv aplikace bioefektoru v kombinaci s P-hnojivý.

Tabulka 3: Klimatické a půdní vlastnosti pokusných stanovišť Humpolec B a Lukavec B.

<b>Stanoviště</b> (GPS)	<b>Humpolec B</b> (49°33'14'' s.š.; 15°21'24'' v.d.)	<b>Lukavec B</b> (49°34'20'' s.š.; 14°59'18'' v.d.)
<b>Průměrná roční teplota</b> (°C)	7,0	7,7
<b>Průměrné roční srážky</b> (mm)	665	666
<b>Nadmořská výška</b> (m n. m.)	525	610
<b>Půdní typ</b>	kambizem	kambizem
<b>Půdní druh</b>	písčito-hlinitá	hlinito-písčitá
<b>pH</b>	5,1	4,8
<b>Obsah P<sub>Mehlich3</sub></b> (mg/kg)	77 (nízký obsah)	75 (nízký obsah)

Během polního pokusu byly na parcely o výměře 31,5 m<sup>2</sup> aplikovány dva bioefektory: BE2 – Proradix a BE3 – RhizoVital 42. Bioefektory byly aplikovány buď samostatně, nebo v kombinaci s mletým fosfátem (MF) a trojitým superfosfátem (TSP), s dávkou P 26 kg/ha v obou hnojivech. Pokusy byly hnojeny jednotně dusíkem (120 kg N/ha v LAV) a draslíkem (50 kg K/ha v Ptk) při setí. Pro účely polního pokusu byly založeny stejné kontrolní varianty jako u nádobového pokusu.

Bioefektory byly aplikovány dvěma způsoby. Prvním způsobem byla plošná aplikace 9 litrů roztoku bioefektoru na parcelu: 22,7 kg/ha Proradixu a 2 l/ha RhizoVitalu (dávka na parcelu byla ředěna v 9 litrech vody). Plošná aplikace byla provedena bezprostředně po výsevu. Proradix 6,6x10<sup>10</sup> ktj/parcela, RhizoVital 2,5x10<sup>10</sup> ktj/parcela. Druhým způsobem byla lokální aplikace injektážním aplikátorem GFI 3A (Maschinen und Antriebstechnik GmbH, Güstrow, Německo), který aplikuje roztok do hloubky cca 10 cm. Touto technikou bylo aplikováno 10x nižší množství Proradixu 2,27 kg/ha a nižší dávka 1,5 l/ha RhizoVitalu. Lokální aplikace byla provedena ve fázi 5. rozvinutého listu.

Všechna hnojiva byla zapravena do půdy před setím, do hloubky 10 cm. Polní pokus byl sklizen 18.9.2014 na stanovišti v Humpolci a 21.9.2014 na stanovišti v Lukavci.



Tabulka 4: Schéma polního pokusu 2014, s aplikacemi bioefektorů a hnojiv.

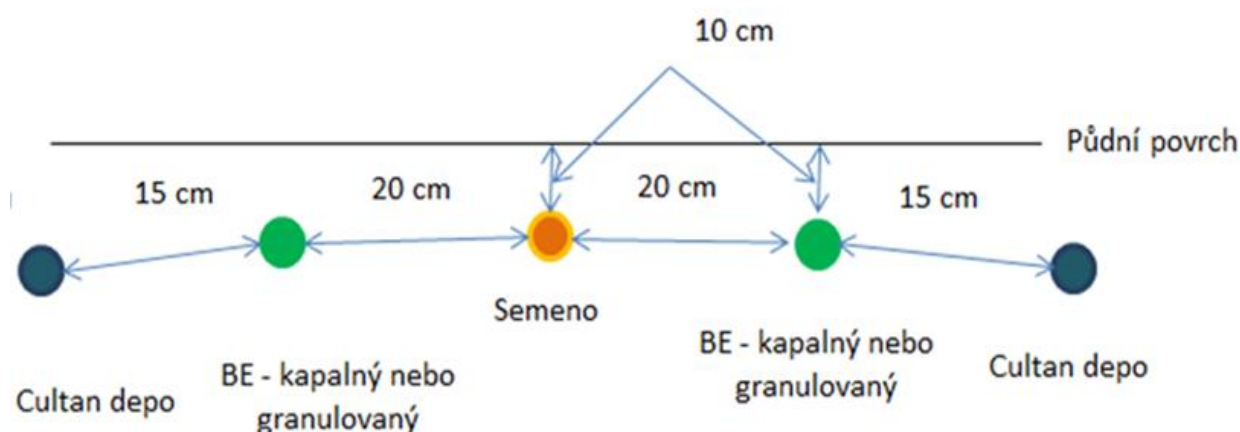
č.v.	Varianta	BE2 (kg/ha) BE3 (l/ha)	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)
1	Nulová kontrola	-	120	-	50
2	BE0 plošně	-	120	-	50
3	BE0 plošně + MF	-	120	26	50
4	BE0 plošně + TSP	-	120	26	50
5	BE2 plošně + 0	22,7	120	-	50
6	BE3 plošně + 0	2	120	-	50
7	BE2 plošně + MF	22,7	120	26	50
8	BE2 plošně + TSP	22,7	120	26	50
9	BE3 plošně + MF	2	120	26	50
10	BE3 plošně + TSP	2	120	26	50
11	BE2 lokálně + MF	2,27	120	26	50
12	BE2 lokálně + TSP	2,27	120	26	50
13	BE3 lokálně + MF	2	120	26	50
14	BE3 lokálně + TSP	1,5	120	26	50

Z každé varianty bylo sklizeno 20 průměrných rostlin ze dvou středních řad každé parcely ke zjištění výnosu. Reprezentativní vzorek tří vybraných rostlin z každé parcelky byl usušen a jemně namlet pro další analýzy.

### 5.3 Polní pokus 2015

Dne 18.5.2015 byl založen polní pokus na stanovišti v Humpolci (pokusná stanice VÚRV, v.v.i.). Podrobnější popis pokusného stanoviště je uveden již dříve v tabulce 3 (Humpolec B). Testovací rostlinou byla kukuřice (*Zea mays*, L. odrůdy *Colisée*). Založeno bylo 14 variant (tabulka 5) ve čtyřech opakováních, přičemž výměra jednotlivých parcel byla 31,5 m<sup>2</sup>. Během polního pokusu byly na parcely aplikovány dva bioefektory: BE2 – Proradix a BE3 – RhizoVital 42. Jednotlivé varianty jsou podrobně popsány níže.

Hlavním cílem polního pokusu bylo ověřit strategii aplikace bioefektorů pro úsporu nákladů. Bioefektory byly vždy aplikovány v pásech (hloubka 10 cm) do řádků vedle semen (obrázek 1).



Obrázek 1: Princip lokální aplikace metodou CULTAN.

V pokusu byly použity dvě formy bioefektorů:

- 1) kapalina (BE2/BE3 kap), kde aplikační dávka byla 9 litrů roztoku na parcelu
- 2) granulovaná forma (BE2/BE3 gran), kde byly granule vyrobeny postřikem zásobního roztoku PDX/RV na pemzu 0 - 3 mm (Palkowitschia sro, Česká republika).

Konečná dávka BE2 byla vždy 2,27 kg/ha a BE3 1,5 l/ha.

Bioefektory byly aplikovány 4 dny po zasetí kukuřice a byly kombinovány se třemi způsoby hnojení dusíkem:

- 1) 80 kg N/ha 3 dny před výsevem + 60 kg N/ha u 2-3 rozvinutých listů (N1)
- 2) lokální aplikace 140 kg N/ha pomocí strategie CULTAN ve fázi 2-3 rozvinutého listu (obrázek 1; N lokálně)
- 3) 80 kg N/ha ve fázi 2-3 rozvinutého listu + 60 kg N/ha (N2).

Dusík byl dodán plošně ve formě ledku amonného s vápencem (LAV) a lokální aplikací, metodou CULTAN ve formě dusičnanu amonného s močovinou (DAM).

Cílem metody CULTAN je tvorba zásobárny neboli tzv. “depa” amoniakálního dusíku v půdě za použití vysokotlakého vstřikování. Kořeny rostlin rostou kolem depa, což snižuje toxicitu amoniaku. V důsledku toho je příjem N kontinuální a rostliny mají zásobu N k dispozici po celou dobu vegetace, což šetří náklady ve srovnání s běžně používanou opakovanou aplikací N (Sommer 2005).

Pokus byl sklizen 11.9.2015. Z každé varianty bylo sklizeny 20 rostlin ze dvou středních řad každého pozemku pro odhad výnosu silážní kukuřice. Reprezentativní vzorek tří vybraných rostlin z každé parcely byl usušen a jemně namlet pro další analýzy.

Tabulka 5: Schéma polního pokusu 2015, s aplikacemi bioefektorů a hnojiv.

č.v.	Varianta	BE aplikace	BE2 (kg/ha) BE3 (l/ha)	N (kg/ha)	N aplikace
1	Nulová kontrola	BE0	-	-	-
2	N1 BE0	BE0	-	80 + 60 + 0	plošná
3	N2 BE0	BE0	-	0 + 80 + 60	plošná
4	N lokálně BE0	BE0	-	0 + 140 + 0	lokální
5	N1 BE2 kapalný	lokální	2,27	80 + 60 + 0	plošná
6	N2 BE2 kapalný	lokální	2,27	0 + 80 + 60	plošná
7	N lokálně BE2 kapalný	lokální	2,27	0 + 140 + 0	lokální
8	N1 BE2 granule	lokální	2,27	80 + 60 + 0	plošná
9	N lokálně BE2 granule	lokální	2,27	0 + 140 + 0	lokální
10	N1 BE3 kapalný	lokální	1,5	80 + 60 + 0	plošná
11	N2 BE3 kapalný	lokální	1,5	0 + 80 + 60	plošná
12	N lokálně BE3 kapalný	lokální	1,5	0 + 140 + 0	lokální
13	N1 BE3 granule	lokální	1,5	80 + 60 + 0	plošná
14	N lokálně BE3 granule	lokální	1,5	0 + 140 + 0	lokální

#### 5.4 Polní pokusy 2016

V roce 2016 byly založeny polní pokusy s kukuřicí (odrůda KXB 4132 – Kartagos, KWS, Velké Meziříčí, ČR). Jednotlivé pokusy byly založeny na stanovišti Lípa (9.5.2016, ÚKZÚZ, Brno) a v Humpolci (10.5.2016, VÚRV, v.v.i., Praha-Ruzyně). Podrobnější popis pokusných stanovišť je uveden v tabulce 6.

Celý pokus zahrnuje 13 variant a každá varianta byla založena ve čtyřech opakováních. Velikost jedné parcely byla 30 m<sup>2</sup> (3 x 10 m, 4 řádky na parcelu) a schéma pokusu je uvedeno v tabulce 7. Aplikace bioefektorů a hnojiv je popsána níže. Celá dávka dusíku byla vypočítána na 190 kg N/ha. Na základě obsahu půdního N<sub>min</sub> (29,3 kg/ha) bylo aplikováno pouze 161 kg N/ha minerálních hnojiv. Dusičnan vápenatý (LV) byl použit z regionálních zdrojů (LOVOCHEMIE, Lovosice, Česká republika) a síran amonný s inhibitorem nitrifikace DMPP NovaTec (SA). Celková dávka dusičnanu vápenatého byla rozdělena na dvě dílčí (107 kg N/ha před výsevem a 54 kg N/ha ve stádiu pátého vyvinutého listu). První (větší) dávka byla aplikována krátce před setím jako zdroj dostupného N pro klíčící rostliny. Druhá dávka byla aplikována během vegetace, aby byl zajištěn přísun N během vegetace. Celková dávka síranu amonného byla aplikována 9.5.2016 nebo 10.5.2016, krátce před výsevem.

Tabulka 6: Klimatické a půdní vlastnosti pokusných stanovišť Humpolec a Lípa.

<b>Stanoviště</b> (GPS)	<b>Humpolec C</b> (49°33'20'' s.š.; 15°21'11'' v.d.)	<b>Lípa</b> (49°33'43'' s.š.; 15°32'10'' v.d.)
<b>Průměrná roční teplota</b> (°C)	7,0	7,7
<b>Průměrné roční srážky</b> (mm)	665	632
<b>Nadmořská výška</b> (m n. m.)	525	505
<b>Půdní typ</b>	kambizem	kambizem
<b>Půdní druh</b>	písčito-hlinitá	hlinito-písčitá
<b>pH</b>	5,7	5,9
<b>Obsah P<sub>Mehlich3</sub></b> (mg/kg)	71 (nízký obsah)	72 (nízký obsah)

Příjem amonné formy N rostlinami či mikroorganismy a její přeměna na formu amidickou vede k vyloučení H<sup>+</sup> iontů organismy do rhizosféry. Z tohoto důvodu může dojít ke zlepšení solubilizaci Ca-fosfátů jako vedlejšího efektu (Neumann & Römheld 2002).

Fosfor byl aplikován jako granulovaný fosfát - Granuphos 18 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (7,9 % P - LANDOR, Birsfelden, Švýcarsko) v dávce 130 kg P/ha, a to 9.5. nebo 10.5.2016, krátce před výsevem kukuřice. Jako kontrolní varianta byl aplikován trojitý superfosfát (21% P) při stejné aplikační dávce a době.

V pokusu byly aplikovány tři bioefektory: BE2 – Proradix, BE4 – Muci a BE5 – CombiFect A. Bioefektory byly aplikovány v množství Proradix - 65 g na parcelu (30 m<sup>2</sup>), CombiFect A–3 g na parcelu a Muci - 450 ml na parcelu. Byly aplikovány vždy ředěné v 10 l vody na parcelu. Bioefektory a hnojiva byly zapraveny do půdy (10 cm hloubka) s výsevem.

Hodnocené parametry byly výška rostlin po 10 týdnech vegetace (19.7.2016), výnos nadzemní biomasy silážní kukuřice ve stádiu mléčné zralosti 13.9.2016 (Lípa) a 14.9.2016 (Humpolec), obsah vybraných makro a mikroprvků v nadzemní biomase. Příjem makro a mikroživin byl počítán z výnosu sušiny kukuřice a obsahu živin v nadzemní biomase.

Metodika upravena dle Holečková (2018).

Tabulka 7: Schéma polního pokusu 2016, s aplikací bioefektorů a hnojiv.

č.v.	Varianta	BE	N-hnojivo	N (kg/ha)	P-hnojivo	P (kg/ha)
1	0 0 0	-	-	-	-	-
2	0 LV 0	-	LV	107 + 54	-	-
3	0 SA 0	-	SA	161	-	-
4	0 LV MF	-	LV	107 + 54	MF	130
5	0 SA MF	-	SA	161	MF	130
6	0 LV TSP	-	LV	107 + 54	TSP	130
7	0 SA TSP	-	SA	161	TSP	130
8	BE2 LV MF	plošně	LV	107 + 54	MF	130
9	BE2 SA MF	plošně	SA	161	MF	130
10	BE4 LV MF	plošně	LV	107 + 54	MF	130
11	BE4 SA MF	plošně	SA	161	MF	130
12	BE5 LV MF	plošně	LV	107 + 54	MF	130
13	BE5 SA MF	plošně	SA	161	MF	130

## 6 Analytická stanovení

Před založením pokusů byly odebrány půdy, které byly poté analyzovány metodou Mehlich 3 (Mehlich 1984). Některé z těchto výsledků jsou uvedeny v metodice pokusu. Hlavním cílem bylo monitorování výnosových ukazatelů sledovaných plodin, případné rozdíly v zaplevelení, podíly sušiny rostlin z jednotlivých variant, celkové obsahy vybraných makroprvků v nadzemní hmotě rostlin a jejich odběry se sklizeným produktem.

### 6.1 Analýzy půdy

#### 6.1.1 Stanovení fosforu metodou Mehlich 3

Fosfor byl hlavním cílovým prvkem projektu. Proto byl jeho obsah monitorován i v půdách před založením pokusu. K tomu byla využita metoda Mehlich 3 dle Mehlich (1984, kde byla usušená jemnozem extrahována roztokem  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ( $c = 0,2 \text{ mol/l}$ ),  $\text{NH}_4\text{F}$  ( $c = 0,015 \text{ mol/l}$ ),  $\text{HNO}_3$  ( $c = 0,013 \text{ mol/l}$ ),  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  ( $c = 0,25 \text{ mol/l}$ ) a EDTA ( $c = 0,001 \text{ mol/l}$ ). Poměr zeminy a vyluhovadla činil 1:10 (10g zeminy, 100 ml vyluhovadla). Třepání probíhalo po dobu 10 min. Takto získaný roztok byl filtrován a následně byly extrakty analyzovány optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES, Varian VistaPro, Victoria, Austrálie, dále jen ICP-OES).

### 6.2 Analýzy rostlin

#### 6.2.1 Rozklad na suché cestě

Rozklad na suché cestě se skládá ze čtyř základních kroků – sušení, zuhelnění, zpopelnění a loužení popela. Do křemenných kádinek je navážen 1 g vzorku, poté jsou kádinky přemístěny na teflonovou plotnu a překryty hodinovými sklíčky. Teplota plotny je po každé hodině zvyšována. Nejprve je nastavena na  $160 \text{ }^\circ\text{C}$ , dále na  $220 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $280 \text{ }^\circ\text{C}$ , až na  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ . Po odstranění sklíček jsou kádinky přemístěny do muflové pece, kde jsou přibližně 14 hodin. Po vyndání z pece přidáme do kádinek 1 ml 65%  $\text{HNO}_3$ . Roztok je při  $120 \text{ }^\circ\text{C}$  1 hodinu odpařován, následně jsou kádinky vloženy do muflové pece na 1 hodinu při teplotě  $550 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Po vyjmutí z pece a vychladnutí je vzorek převeden do roztoku pomocí 1,5%  $\text{HNO}_3$  a ultrazvuku. Roztok je přelit do 20 ml zkumavky a po rysku doplněn 1,5%  $\text{HNO}_3$ . Po promíchání je vzorek připraven pro měření optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES, Varian, VistaPro, Austrálie) (upraveno dle Mader et al. 1998).

### **6.2.2 Stanovení obsahu celkového dusíku**

Obsah dusíku byl stanoven pouze u nádobových pokusů, a to po rozkladu koncentrovanou kyselinou sírovou dle Kjeldahla (ČSN 46 1011-18, 2003). Pro extrakci bylo naváženo 0,500 g suchého, jemně namletého materiálu. Toto množství bylo mineralizováno 10 ml koncentrované kyseliny sírové, za přítomnosti selenového katalyzátoru po dobu 1 hod při teplotě 400 °C. Mineralizovaný materiál byl následně měřen přístrojem Gerhardt Vapodest 50 s.

### **6.3 Statistické vyhodnocení**

Statistické vyhodnocení bylo realizováno prostřednictvím analýzy ANOVA za použití Tukeyho testu při hladině významnosti  $p \leq 0,05$ .

## 7 Výsledky

V této kapitole jsou vyhodnoceny naměřené výsledky z pokusů, které jsou zmiňovány v kapitole metodika práce. Pokusy byly prováděny v letech 2014, 2015 a 2016. Jednalo se o nádobové a polní pokusy. Pro účely této práce bylo hodnoceno pět různých bioefektorů, které byly různě aplikovány ke kukuřici. Byly aplikovány samostatně nebo v kombinaci s různými typy minerálních hnojiv.

### 7.1 Nádobové pokusy 2014

V tomto nádobovém pokusu byly aplikovány tři bioefektory (BE1 – Trianium P, BE2 – Proradaix a BE3 – RhizoVital 42) v kombinaci s P-hnojivy (MF – mletý fosfát a TSP – trojitý superfosfát) do namíchaného substrátu ze dvou různých stanovišť (Humpolec a Lukavec). Ke každé variantě byla aplikována stejná dávka N (ve formě dusičnanu vápenatého) a K (v podobě K-hnojiva Patentkali). Varianty byly vždy porovnávány s relevantními kontrolami.

V tabulkách 8 a 9 jsou uvedeny výsledky obsahu makroprvků naměřené v sušině rostlin kukuřice, průměrný výnos jedné rostliny a průměrný odběr makroprvků rostlinou ze stanoviště Humpolec. Průkazné rozdíly obsahů vybraných makroprvků v nadzemní hmotě rostlin (ve vztahu k relevantním kontrolám) byly zjištěny především u prvků N a Ca. Nejvyšší obsah N měly varianty, kde byl aplikován BE2 pouze s N- a K-hnojivem a BE2 s mletým fosfátem. Kontrolní varianta, kde nebyl aplikován bioefektor ani P-hnojivo a varianta, kde byl použit pouze mletý fosfát, měly nejvyšší hodnoty odběru Ca. Další průkazné rozdíly byly zjištěny v odběru makroprvků rostlinou kukuřice. Nejvíce N odebraly rostliny z varianty, kde byl použit BE2 bez P-hnojiv a kontrolní varianta, také bez P-hnojiv. Rostliny z kontrolní varianty pouze s N- a K-hnojivem také odebraly nejvíce K, Ca, Mg a S. Z uvedených výsledků nelze jednoznačně prokázat pozitivní účinek použitých bioefektorů.



Tabulka 8: Hodnoty průměrného obsahu makroprvků v sušině rostlin a průměrného výnosu jedné rostliny. Nádobový pokus 2014, Humpolec.

č.v.	Varianta	Průměrný výnos jedné rostliny (g)	Průměrný obsah makroprvků v sušině rostlin					
			N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	S (mg/kg)
1	BE0 + NK	370 <sup>c*</sup>	5296 <sup>ac</sup>	1031 <sup>a</sup>	12729 <sup>ab</sup>	2219 <sup>c</sup>	1259 <sup>b</sup>	529 <sup>ab</sup>
2	BE1 + NK	324 <sup>abc</sup>	5164 <sup>ac</sup>	1033 <sup>a</sup>	12339 <sup>ab</sup>	1587 <sup>abc</sup>	1043 <sup>ab</sup>	470 <sup>ab</sup>
3	BE2 + NK	308 <sup>ab</sup>	6678 <sup>c</sup>	1395 <sup>a</sup>	12127 <sup>ab</sup>	1676 <sup>abc</sup>	1215 <sup>b</sup>	497 <sup>b</sup>
4	BE3 + NK	297 <sup>a</sup>	5115 <sup>a</sup>	1038 <sup>a</sup>	13815 <sup>b</sup>	1438 <sup>ab</sup>	1032 <sup>ab</sup>	458 <sup>ab</sup>
5	BE0 + MF + NK	363 <sup>bc</sup>	4894 <sup>ab</sup>	1034 <sup>a</sup>	11485 <sup>ab</sup>	1840 <sup>bc</sup>	1197 <sup>b</sup>	457 <sup>ab</sup>
6	BE1 + MF + NK	352 <sup>abc</sup>	4011 <sup>ab</sup>	1097 <sup>a</sup>	10870 <sup>a</sup>	1406 <sup>ab</sup>	930 <sup>ab</sup>	405 <sup>ab</sup>
7	BE2 + MF + NK	300 <sup>ab</sup>	5404 <sup>ac</sup>	1257 <sup>a</sup>	11459 <sup>ab</sup>	1313 <sup>ab</sup>	944 <sup>ab</sup>	424 <sup>ab</sup>
8	BE3 + MF + NK	340 <sup>abc</sup>	4836 <sup>ab</sup>	1072 <sup>a</sup>	10781 <sup>a</sup>	1534 <sup>ab</sup>	1052 <sup>ab</sup>	469 <sup>ab</sup>
9	BE0 + TSP + NK	356 <sup>abc</sup>	3583 <sup>b</sup>	1277 <sup>a</sup>	10258 <sup>a</sup>	1294 <sup>ab</sup>	913 <sup>ab</sup>	444 <sup>ab</sup>
10	BE1 + TSP + NK	391 <sup>c</sup>	4389 <sup>ab</sup>	1270 <sup>a</sup>	11576 <sup>ab</sup>	1062 <sup>a</sup>	822 <sup>a</sup>	405 <sup>a</sup>
11	BE2 + TSP + NK	352 <sup>abc</sup>	4419 <sup>ab</sup>	1293 <sup>a</sup>	10478 <sup>a</sup>	1331 <sup>ab</sup>	951 <sup>ab</sup>	471 <sup>ab</sup>
12	BE3 + TSP + NK	357 <sup>abc</sup>	4808 <sup>ab</sup>	1247 <sup>a</sup>	12536 <sup>ab</sup>	1392 <sup>ab</sup>	988 <sup>ab</sup>	413 <sup>ab</sup>

\* mezi hodnotami označenými rozdílným písmenem je statisticky průkazný rozdíl při  $p \leq 0.05$

Tabulka 9: Hodnoty průměrného odběru makroprvků rostlinou. Nádobový pokus 2014, Humpolec.

č.v.	Varianta	Průměrný odběr makroprvků na rostlinu					
		N (mg)	P (mg)	K (mg)	Ca (mg)	Mg (mg)	S (mg)
1	BE0 + NK	1951 <sup>b</sup>	380 <sup>a</sup>	4705 <sup>b</sup>	819 <sup>c</sup>	464 <sup>b</sup>	195 <sup>b</sup>
2	BE1 + NK	1674 <sup>ab</sup>	335 <sup>a</sup>	4004 <sup>ab</sup>	514 <sup>ab</sup>	338 <sup>ab</sup>	153 <sup>ab</sup>
3	BE2 + NK	2056 <sup>b</sup>	414 <sup>a</sup>	3705 <sup>ab</sup>	513 <sup>ab</sup>	371 <sup>ab</sup>	152 <sup>ab</sup>
4	BE3 + NK	1515 <sup>ab</sup>	307 <sup>a</sup>	4103 <sup>ab</sup>	428 <sup>ab</sup>	307 <sup>a</sup>	136 <sup>a</sup>
5	BE0 + MF + NK	1774 <sup>ab</sup>	375 <sup>a</sup>	4169 <sup>ab</sup>	666 <sup>bc</sup>	434 <sup>ab</sup>	166 <sup>ab</sup>
6	BE1 + MF + NK	1404 <sup>ab</sup>	375 <sup>a</sup>	3681 <sup>ab</sup>	498 <sup>ab</sup>	327 <sup>ab</sup>	143 <sup>a</sup>
7	BE2 + MF + NK	1612 <sup>ab</sup>	380 <sup>a</sup>	3405 <sup>a</sup>	391 <sup>a</sup>	286 <sup>a</sup>	128 <sup>a</sup>
8	BE3 + MF + NK	1647 <sup>ab</sup>	364 <sup>a</sup>	3659 <sup>ab</sup>	519 <sup>ab</sup>	357 <sup>ab</sup>	159 <sup>ab</sup>
9	BE0 + TSP + NK	1276 <sup>a</sup>	452 <sup>a</sup>	3641 <sup>ab</sup>	460 <sup>ab</sup>	324 <sup>a</sup>	157 <sup>ab</sup>
10	BE1 + TSP + NK	1705 <sup>ab</sup>	496 <sup>a</sup>	4551 <sup>ab</sup>	415 <sup>ab</sup>	320 <sup>a</sup>	158 <sup>ab</sup>
11	BE2 + TSP + NK	1559 <sup>ab</sup>	458 <sup>a</sup>	3696 <sup>ab</sup>	472 <sup>ab</sup>	337 <sup>ab</sup>	167 <sup>ab</sup>
12	BE3 + TSP + NK	1710 <sup>ab</sup>	442 <sup>a</sup>	4448 <sup>ab</sup>	496 <sup>ab</sup>	351 <sup>ab</sup>	147 <sup>ab</sup>

Výsledky ze stanoviště Lukavec jsou uvedeny v tabulkách 10 a 11. Vyšší výnos rostlin byl u variant, kde byla aplikována P-hnojiva, zejména trojitý superfosfát. Nejvyšší výnos rostlin byl nameřen u varianty, kde byl aplikován BE2 s TSP. Kontrolní varianta bez P-hnojiv obsahovala nejvíce N v sušině rostlin kukuřice. Kontrolní varianta s mletým fosfátem obsahovala v sušině rostlin průkazně největší množství Ca a Mg. V odběru makroprvků rostlinou byly nejvyšší odběry u prvků N, P, Ca, Mg a S zaznamenány u variant, kde bylo použito hnojivo TSP. Aplikace bioefektoru BE2 s TSP měla pozitivní vliv na odběr N, Ca a Mg. Větší odběr P byl zaznamenán u varianty BE1 a kontrolní varianty s TSP. U kontrolní varianty s TSP byl také zaznamenán vyšší odběr S. Ani výsledky ze stanoviště Lukavec nevyovídají jednoznačně o pozitivních účincích bioefektorů.

Tabulka 10: Hodnoty průměrného obsahu makroprvků v sušině rostlin a průměrného výnosu jedné rostliny. Nádobový pokus 2014, Lukavec.

č.v.	Varianta	Průměrný výnos jedné rostliny (g)	Průměrný obsah makroprvků v sušině rostlin					
			N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	S (mg/kg)
1	BE0 + NK	351 <sup>a</sup>	5617 <sup>a</sup>	878 <sup>a</sup>	13147 <sup>bc</sup>	1750 <sup>ab</sup>	1121 <sup>ab</sup>	501 <sup>ab</sup>
2	BE1 + NK	366 <sup>ab</sup>	4857 <sup>a</sup>	775 <sup>a</sup>	12594 <sup>c</sup>	1527 <sup>a</sup>	965 <sup>a</sup>	437 <sup>a</sup>
3	BE2 + NK	371 <sup>ab</sup>	5388 <sup>a</sup>	1104 <sup>a</sup>	13668 <sup>bc</sup>	1869 <sup>ab</sup>	1258 <sup>ab</sup>	573 <sup>b</sup>
4	BE3 + NK	350 <sup>abc</sup>	5385 <sup>a</sup>	1054 <sup>a</sup>	14311 <sup>abc</sup>	1927 <sup>ab</sup>	1207 <sup>ab</sup>	572 <sup>ab</sup>
5	BE0 + MF + NK	382 <sup>abcd</sup>	5234 <sup>a</sup>	987 <sup>a</sup>	9802 <sup>a</sup>	2234 <sup>b</sup>	1366 <sup>b</sup>	564 <sup>b</sup>
6	BE1 + MF + NK	378 <sup>abcd</sup>	5032 <sup>a</sup>	923 <sup>a</sup>	11246 <sup>ab</sup>	2088 <sup>ab</sup>	1260 <sup>ab</sup>	577 <sup>b</sup>
7	BE2 + MF + NK	406 <sup>abcd</sup>	4120 <sup>a</sup>	816 <sup>a</sup>	9996 <sup>abc</sup>	1652 <sup>ab</sup>	1018 <sup>a</sup>	515 <sup>ab</sup>
8	BE3 + MF + NK	374 <sup>abc</sup>	5019 <sup>a</sup>	1211 <sup>a</sup>	14245 <sup>abc</sup>	1860 <sup>ab</sup>	1190 <sup>ab</sup>	586 <sup>b</sup>
9	BE0 + TSP + NK	456 <sup>abcd</sup>	4453 <sup>a</sup>	1186 <sup>a</sup>	11032 <sup>a</sup>	1881 <sup>ab</sup>	1184 <sup>ab</sup>	622 <sup>b</sup>
10	BE1 + TSP + NK	462 <sup>bcd</sup>	3727 <sup>a</sup>	1192 <sup>a</sup>	11293 <sup>a</sup>	1800 <sup>ab</sup>	1162 <sup>ab</sup>	581 <sup>b</sup>
11	BE2 + TSP + NK	481 <sup>d</sup>	4774 <sup>a</sup>	1044 <sup>a</sup>	9373 <sup>a</sup>	1906 <sup>ab</sup>	1170 <sup>ab</sup>	575 <sup>b</sup>
12	BE3 + TSP + NK	450 <sup>cd</sup>	3608 <sup>a</sup>	1112 <sup>a</sup>	11445 <sup>ab</sup>	1825 <sup>ab</sup>	1139 <sup>ab</sup>	588 <sup>ab</sup>

Tabulka 11: Hodnoty průměrného odběru makroprvků rostlinou. Nádobový pokus 2014, Lukavec.

č.v.	Varianta	Průměrný odběr makroprvků na rostlinu					
		N (mg)	P (mg)	K (mg)	Ca (mg)	Mg (mg)	S (mg)
1	BE0 + NK	1939 <sup>a</sup>	307 <sup>a</sup>	4759 <sup>a</sup>	609 <sup>ab</sup>	392 <sup>ab</sup>	175 <sup>a</sup>
2	BE1 + NK	1783 <sup>a</sup>	285 <sup>a</sup>	5177 <sup>a</sup>	563 <sup>a</sup>	355 <sup>a</sup>	161 <sup>a</sup>
3	BE2 + NK	2018 <sup>a</sup>	340 <sup>ab</sup>	5094 <sup>a</sup>	699 <sup>ab</sup>	473 <sup>ab</sup>	213 <sup>ab</sup>
4	BE3 + NK	1901 <sup>a</sup>	380 <sup>ab</sup>	4604 <sup>a</sup>	677 <sup>ab</sup>	425 <sup>ab</sup>	201 <sup>ab</sup>
5	BE0 + MF + NK	1999 <sup>a</sup>	374 <sup>ab</sup>	4016 <sup>a</sup>	854 <sup>ab</sup>	521 <sup>ab</sup>	215 <sup>abc</sup>
6	BE1 + MF + NK	1885 <sup>a</sup>	347 <sup>ab</sup>	4316 <sup>a</sup>	795 <sup>ab</sup>	476 <sup>ab</sup>	217 <sup>abc</sup>
7	BE2 + MF + NK	1671 <sup>a</sup>	332 <sup>ab</sup>	4722 <sup>a</sup>	669 <sup>ab</sup>	412 <sup>ab</sup>	209 <sup>ab</sup>
8	BE3 + MF + NK	1959 <sup>a</sup>	463 <sup>ab</sup>	4733 <sup>a</sup>	673 <sup>ab</sup>	449 <sup>ab</sup>	219 <sup>abc</sup>
9	BE0 + TSP + NK	2033 <sup>a</sup>	542 <sup>b</sup>	4829 <sup>a</sup>	856 <sup>ab</sup>	541 <sup>b</sup>	284 <sup>c</sup>
10	BE1 + TSP + NK	1718 <sup>a</sup>	544 <sup>b</sup>	4952 <sup>a</sup>	833 <sup>ab</sup>	534 <sup>ab</sup>	269 <sup>ac</sup>
11	BE2 + TSP + NK	2302 <sup>a</sup>	499 <sup>ab</sup>	5174 <sup>a</sup>	924 <sup>b</sup>	563 <sup>b</sup>	276 <sup>ac</sup>
12	BE3 + TSP + NK	1595 <sup>a</sup>	478 <sup>ab</sup>	5204 <sup>a</sup>	808 <sup>ab</sup>	493 <sup>ab</sup>	259 <sup>ac</sup>

## 7.2 Polní pokusy 2014

Polní pokusy v roce 2014 byly založeny také na stanovištích Humpolec a Lukavec. Během pokusů byly použity dva bioefektory (BE2 – Proradix a BE3 – RhizoVital 42) buď samostatně nebo v kombinaci P-hnojiv (MF – mletý fosfát a TSP – trojitý superfosfát). Pokusy byly hnojeny jednotně N a K při setí. Bioefektory byly aplikovány dvěma způsoby (plošně a lokálně). V tomto pokusu byl rovněž hodnocen vliv aplikace bioefektorů na výnos sušiny, obsah živin v sušině nadzemní hmoty a na odběr živin rostlinou kukuřice.

Výsledné hodnoty ze stanoviště Humpolec jsou zaznamenány v tabulkách 12 a 13. Nameřené hodnoty jsou po statistickém vyhodnocení zcela podobné. Tudíž aplikace bioefektorů v polních pokusech se u výnosu sušiny, obsahu živin v nadzemní biomase a na odběru živin rostlinou pozitivně neprokázala. Vyšší hodnoty odběru kontrolovaných živin nadzemní hmotou byly naměřeny u BE2 aplikovaného plošně s P-hnojivy. Nejvyšší výnos sušiny byl naměřen u kontrolní varianty s MF. Vyšší hodnoty obsahu sledovaných živin byly naměřeny u variant, kde byl aplikován BE2 plošně.

Tabulka 12: Hodnoty průměrného obsahu makroprvků v sušině nadzemní hmoty a průměrného výnosu sušiny. Polní pokus 2014, Humpolec.

č.v.	Varianta	Průměrný výnos sušiny (t/ha)	Průměrný obsah živin v sušině nadzemní hmoty				
			P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	S (mg/kg)
1	Nulová kontrola	10,7 <sup>a</sup>	2659 <sup>a</sup>	11582 <sup>a</sup>	1596 <sup>a</sup>	1449 <sup>a</sup>	565 <sup>a</sup>
2	BE0 plošně	10,8 <sup>a</sup>	2728 <sup>a</sup>	10568 <sup>a</sup>	1939 <sup>a</sup>	1589 <sup>a</sup>	601 <sup>a</sup>
3	BE0 plošně + MF	11,8 <sup>a</sup>	2687 <sup>a</sup>	9926 <sup>a</sup>	1402 <sup>a</sup>	1438 <sup>a</sup>	519 <sup>a</sup>
4	BE0 plošně + TSP	10,6 <sup>a</sup>	2761 <sup>a</sup>	10739 <sup>a</sup>	1720 <sup>a</sup>	1506 <sup>a</sup>	578 <sup>a</sup>
5	BE2 plošně + 0	10,0 <sup>a</sup>	2937 <sup>a</sup>	11443 <sup>a</sup>	1954 <sup>a</sup>	1603 <sup>a</sup>	626 <sup>a</sup>
6	BE3 plošně + 0	10,0 <sup>a</sup>	2553 <sup>a</sup>	11898 <sup>a</sup>	1594 <sup>a</sup>	1494 <sup>a</sup>	569 <sup>a</sup>
7	BE2 plošně + MF	11,1 <sup>a</sup>	2253 <sup>a</sup>	11724 <sup>a</sup>	2000 <sup>a</sup>	1528 <sup>a</sup>	564 <sup>a</sup>
8	BE2 plošně + TSP	11,3 <sup>a</sup>	2755 <sup>a</sup>	11320 <sup>a</sup>	1784 <sup>a</sup>	1635 <sup>a</sup>	577 <sup>a</sup>
9	BE3 plošně + MF	11,1 <sup>a</sup>	2332 <sup>a</sup>	10396 <sup>a</sup>	1450 <sup>a</sup>	1342 <sup>a</sup>	481 <sup>a</sup>
10	BE3 plošně + TSP	10,3 <sup>a</sup>	2462 <sup>a</sup>	11715 <sup>a</sup>	1871 <sup>a</sup>	1465 <sup>a</sup>	536 <sup>a</sup>
11	BE2 lokálně + MF	9,90 <sup>a</sup>	2548 <sup>a</sup>	11753 <sup>a</sup>	1755 <sup>a</sup>	1571 <sup>a</sup>	548 <sup>a</sup>
12	BE2 lokálně + TSP	10,7 <sup>a</sup>	2684 <sup>a</sup>	11699 <sup>a</sup>	1764 <sup>a</sup>	1602 <sup>a</sup>	577 <sup>a</sup>
13	BE3 lokálně + MF	10,8 <sup>a</sup>	2582 <sup>a</sup>	10614 <sup>a</sup>	1714 <sup>a</sup>	1531 <sup>a</sup>	537 <sup>a</sup>
14	BE3 lokálně + TSP	10,7 <sup>a</sup>	2760 <sup>a</sup>	11010 <sup>a</sup>	1653 <sup>a</sup>	1535 <sup>a</sup>	578 <sup>a</sup>

Tabulka 13: Hodnoty průměrného odběru živin nadzemní hmotou. Polní pokus 2014, Humpolec.

č.v.	Varianta	Průměrný odběr živin nadzemní hmotou				
		P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	S (kg/ha)
1	Nulová kontrola	28,3 <sup>a</sup>	123 <sup>a</sup>	16,9 <sup>a</sup>	15,4 <sup>a</sup>	6,00 <sup>a</sup>
2	BE0 plošně	29,2 <sup>a</sup>	113 <sup>a</sup>	20,6 <sup>a</sup>	17,0 <sup>a</sup>	6,40 <sup>a</sup>
3	BE0 plošně + MF	31,4 <sup>a</sup>	117 <sup>a</sup>	16,4 <sup>a</sup>	16,8 <sup>a</sup>	6,08 <sup>a</sup>
4	BE0 plošně + TSP	29,2 <sup>a</sup>	113 <sup>a</sup>	18,2 <sup>a</sup>	15,9 <sup>a</sup>	6,11 <sup>a</sup>
5	BE2 plošně + 0	29,6 <sup>a</sup>	116 <sup>a</sup>	19,6 <sup>a</sup>	16,1 <sup>a</sup>	6,34 <sup>a</sup>
6	BE3 plošně + 0	25,7 <sup>a</sup>	119 <sup>a</sup>	15,9 <sup>a</sup>	15,0 <sup>a</sup>	5,71 <sup>a</sup>
7	BE2 plošně + MF	24,6 <sup>a</sup>	131 <sup>a</sup>	21,8 <sup>a</sup>	16,8 <sup>a</sup>	6,18 <sup>a</sup>
8	BE2 plošně + TSP	31,2 <sup>a</sup>	127 <sup>a</sup>	20,2 <sup>a</sup>	18,5 <sup>a</sup>	6,51 <sup>a</sup>
9	BE3 plošně + MF	26,0 <sup>a</sup>	115 <sup>a</sup>	16,1 <sup>a</sup>	14,9 <sup>a</sup>	5,34 <sup>a</sup>
10	BE3 plošně + TSP	25,9 <sup>a</sup>	125 <sup>a</sup>	19,8 <sup>a</sup>	15,3 <sup>a</sup>	5,58 <sup>a</sup>
11	BE2 lokálně + MF	24,9 <sup>a</sup>	115 <sup>a</sup>	17,4 <sup>a</sup>	15,7 <sup>a</sup>	5,39 <sup>a</sup>
12	BE2 lokálně + TSP	28,7 <sup>a</sup>	125 <sup>a</sup>	18,9 <sup>a</sup>	17,1 <sup>a</sup>	6,18 <sup>a</sup>
13	BE3 lokálně + MF	27,8 <sup>a</sup>	115 <sup>a</sup>	18,8 <sup>a</sup>	16,6 <sup>a</sup>	5,83 <sup>a</sup>
14	BE3 lokálně + TSP	29,3 <sup>a</sup>	118 <sup>a</sup>	17,7 <sup>a</sup>	16,5 <sup>a</sup>	6,16 <sup>a</sup>

Na stanovišti Lukavec jsou výsledky měření statisticky velmi podobné jako na stanovišti Humpolec. V tabulkách 14 a 15 jsou zaznamenány naměřené hodnoty ze stanoviště Lukavec. Nejvyšší výnos sušiny byl zaznamenán u variant, kde bylo aplikováno P-hnojivo MF s BE0. U varianty, kde byl aplikován plošně BE2 v kombinaci s hnojivem TSP byly naměřeny nejvyšší hodnoty obsahu živin v sušině, a to u P, K a Ca. Rostliny z varianty BE0 plošně s P-hnojivem odebraly nejvíce Mg. Nejvyšší odběry Ca a S byly zjištěny u varianty BE3 plošně s MF.

Statistické vyhodnocení výsledků měření tohoto polního pokusu neukázal významný pozitivní účinek aplikace bioefektorů na výnos sušiny, na zvýšení obsahu makroprvků v sušině rostliny kukuřice a ani na zvýšený odběr makroprvků rostlinou. Vliv na aktivitu bioefektorů a na jejich účinek, na stanovišti Humpolec a Lukavec, měly pravděpodobně půdní a povětrnostní podmínky, dalším pravděpodobným faktorem je konkurence mikroorganismů s přirozeně se vyskytující mikroflórou v půdě.

Tabulka 14: Hodnoty průměrného obsahu makroprvků v sušině nadzemní hmoty a průměrného výnosu sušiny. Polní pokus 2014, Lukavec.

č.v.	Varianta	Průměrný výnos sušiny (t/ha)	Průměrný obsah živin v sušině nadzemní hmoty				
			P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	S (mg/kg)
1	Nulová kontrola	11,3 <sup>a</sup>	2496 <sup>a</sup>	10190 <sup>a</sup>	1975 <sup>a</sup>	1493 <sup>a</sup>	499 <sup>a</sup>
2	BE0 plošně	12,0 <sup>a</sup>	2283 <sup>a</sup>	9331 <sup>a</sup>	1555 <sup>a</sup>	1385 <sup>a</sup>	438 <sup>a</sup>
3	BE0 plošně + MF	13,1 <sup>a</sup>	2406 <sup>a</sup>	10029 <sup>a</sup>	1918 <sup>a</sup>	1512 <sup>a</sup>	494 <sup>a</sup>
4	BE0 plošně + TSP	12,5 <sup>a</sup>	2584 <sup>a</sup>	9795 <sup>a</sup>	1954 <sup>a</sup>	1557 <sup>a</sup>	512 <sup>a</sup>
5	BE2 plošně + 0	10,1 <sup>a</sup>	2460 <sup>a</sup>	10100 <sup>a</sup>	1965 <sup>a</sup>	1443 <sup>a</sup>	509 <sup>a</sup>
6	BE3 plošně + 0	11,3 <sup>a</sup>	2671 <sup>a</sup>	9946 <sup>a</sup>	1679 <sup>a</sup>	1436 <sup>a</sup>	420 <sup>a</sup>
7	BE2 plošně + MF	12,0 <sup>a</sup>	2257 <sup>a</sup>	10107 <sup>a</sup>	1768 <sup>a</sup>	1323 <sup>a</sup>	461 <sup>a</sup>
8	BE2 plošně + TSP	11,4 <sup>a</sup>	2739 <sup>a</sup>	10554 <sup>a</sup>	2259 <sup>a</sup>	1585 <sup>a</sup>	509 <sup>a</sup>
9	BE3 plošně + MF	12,4 <sup>a</sup>	2612 <sup>a</sup>	10235 <sup>a</sup>	2138 <sup>a</sup>	1557 <sup>a</sup>	543 <sup>a</sup>
10	BE3 plošně + TSP	11,7 <sup>a</sup>	2656 <sup>a</sup>	10425 <sup>a</sup>	1755 <sup>a</sup>	1481 <sup>a</sup>	509 <sup>a</sup>
11	BE2 lokálně + MF	11,5 <sup>a</sup>	2699 <sup>a</sup>	9686 <sup>a</sup>	1990 <sup>a</sup>	1574 <sup>a</sup>	530 <sup>a</sup>
12	BE2 lokálně + TSP	11,9 <sup>a</sup>	2343 <sup>a</sup>	9516 <sup>a</sup>	1830 <sup>a</sup>	1412 <sup>a</sup>	478 <sup>a</sup>
13	BE3 lokálně + MF	11,3 <sup>a</sup>	2678 <sup>a</sup>	10312 <sup>a</sup>	1863 <sup>a</sup>	1601 <sup>a</sup>	527 <sup>a</sup>
14	BE3 lokálně + TSP	12,3 <sup>a</sup>	2536 <sup>a</sup>	10101 <sup>a</sup>	1537 <sup>a</sup>	1379 <sup>a</sup>	435 <sup>a</sup>

Tabulka 15: Hodnoty průměrného odběru živin nadzemní hmotou. Polní pokus 2014, Lukavec.

č.v.	Varianta	Průměrný odběr živin nadzemní hmotou				
		P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	S (kg/ha)
1	Nulová kontrola	28,4 <sup>a</sup>	114 <sup>a</sup>	22,1 <sup>a</sup>	16,8 <sup>a</sup>	5,62 <sup>a</sup>
2	BE0 plošně	27,6 <sup>a</sup>	112 <sup>a</sup>	18,6 <sup>a</sup>	16,6 <sup>a</sup>	5,28 <sup>a</sup>
3	BE0 plošně + MF	31,4 <sup>a</sup>	131 <sup>a</sup>	25,0 <sup>a</sup>	19,8 <sup>a</sup>	6,44 <sup>a</sup>
4	BE0 plošně + TSP	32,4 <sup>a</sup>	122 <sup>a</sup>	24,5 <sup>a</sup>	19,5 <sup>a</sup>	6,43 <sup>a</sup>
5	BE2 plošně + 0	25,1 <sup>a</sup>	102 <sup>a</sup>	19,6 <sup>a</sup>	14,5 <sup>a</sup>	5,13 <sup>a</sup>
6	BE3 plošně + 0	30,3 <sup>a</sup>	112 <sup>a</sup>	18,8 <sup>a</sup>	16,2 <sup>a</sup>	4,74 <sup>a</sup>
7	BE2 plošně + MF	27,3 <sup>a</sup>	120 <sup>a</sup>	20,9 <sup>a</sup>	15,8 <sup>a</sup>	5,46 <sup>a</sup>
8	BE2 plošně + TSP	31,4 <sup>a</sup>	119 <sup>a</sup>	25,4 <sup>a</sup>	18,1 <sup>a</sup>	5,78 <sup>a</sup>
9	BE3 plošně + MF	32,2 <sup>a</sup>	127 <sup>a</sup>	25,6 <sup>a</sup>	19,1 <sup>a</sup>	6,58 <sup>a</sup>
10	BE3 plošně + TSP	31,1 <sup>a</sup>	123 <sup>a</sup>	20,4 <sup>a</sup>	17,3 <sup>a</sup>	5,99 <sup>a</sup>
11	BE2 lokálně + MF	31,1 <sup>a</sup>	110 <sup>a</sup>	23,1 <sup>a</sup>	18,1 <sup>a</sup>	6,17 <sup>a</sup>
12	BE2 lokálně + TSP	28,1 <sup>a</sup>	113 <sup>a</sup>	21,3 <sup>a</sup>	16,7 <sup>a</sup>	5,69 <sup>a</sup>
13	BE3 lokálně + MF	29,9 <sup>a</sup>	115 <sup>a</sup>	20,3 <sup>a</sup>	17,8 <sup>a</sup>	5,79 <sup>a</sup>
14	BE3 lokálně + TSP	31,4 <sup>a</sup>	127 <sup>a</sup>	19,1 <sup>a</sup>	17,0 <sup>a</sup>	5,34 <sup>a</sup>

### 7.3 Polní pokus 2015

Polní pokus v roce 2015 byl uskutečněn pouze na stanovišti Humpolec. V pokusu byly použity dva bioefektory (BE2 – Proradix a BE3 – RhizoVital 42) ve dvou formách (kapalná a granulovaná). Bioefektory byly kombinovány se třemi různými způsoby hnojení dusíkem. U jedné varianty byla použita metoda CULTAN. Cílem metody CULTAN je vytvoření zásobárny amoniakálního dusíku v půdě. Hlavním cílem toho polního pokusu bylo ověřit strategii aplikace bioefektorů pro úsporu nákladů na jejich aplikované množství.

Výnos sušiny byl u všech variant statisticky téměř podobný. U variant, kdy byl použit bioefektor BE3 kapalný s variantou hnojení dusíkem N1 je hodnota nejvyšší. Výsledky dosažené v měření obsahu živin v sušině nadzemní biomasy kukuřice jsou zpravidla neprůkazné. Průkazné rozdíly byly zaznamenány u varianty hnojení dusíkem lokálně pomocí strategie CULTAN s použitím BE3 ve formě granulí, a to u obsahu Ca v sušině nadzemní hmoty. U variant, kde byl použit BE2 kapalný a způsob hnojení dusíkem N-lokálně a N2 byly naměřeny nejvyšší obsahy K v sušině nadzemní hmoty. Další průkazný rozdíl byl v odběru živin rostlinou kukuřice, a to v případě P, K a S. Nejvíce P a S odebraly rostliny z varianty, kde byl aplikován dusík bez pomoci metody CULTAN a byla použita granulovaná forma BE2. Nejvíce K odebraly rostliny z varianty, kde byl dusík hnojen lokálně pomocí strategie

CULTAN a použit BE2 v kapalné formě. Všechny výsledky dosažené v měření jsou statisticky téměř totožné (tabulky 16 a 17), tudíž aplikace bioefektorů neměla pozitivní vliv na výnos sušiny, obsah živin v nadzemní biomase a nezvýšila odběr živin rostlinou kukuřice. Varianty, kde bylo použito hnojení dusíkem metodou CULTAN s bioefektory a bez bioefektorů jsou statisticky podobné, proto ani zde není prokazatelné, že aplikace bioefektorů má pozitivní vliv v kombinaci se strategií CULTAN.

Tabulka 16: Hodnoty průměrného obsahu makroprvků v sušině nadzemní hmoty a průměrného výnosu sušiny. Polní pokus 2015, Humpolec.

č.v.	Varianta	Průměrný výnos sušiny (t/ha)	Průměrný obsah živin v sušině nadzemní hmoty				
			P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	S (mg/kg)
1	Nulová kontrola	15,7 <sup>a</sup>	3047 <sup>a</sup>	21185 <sup>ab</sup>	5574 <sup>ab</sup>	2042 <sup>a</sup>	1682 <sup>a</sup>
2	N1 BE0	12,3 <sup>a</sup>	3056 <sup>a</sup>	23824 <sup>ab</sup>	4954 <sup>abc</sup>	2031 <sup>a</sup>	1567 <sup>a</sup>
3	N2 BE0	15,5 <sup>a</sup>	2941 <sup>a</sup>	22512 <sup>ab</sup>	5479 <sup>abc</sup>	2062 <sup>a</sup>	1638 <sup>a</sup>
4	N lokálně BE0	13,6 <sup>a</sup>	3275 <sup>a</sup>	23642 <sup>ab</sup>	5527 <sup>abc</sup>	2165 <sup>a</sup>	1617 <sup>a</sup>
5	N1 BE2 kapalný	14,8 <sup>a</sup>	2982 <sup>a</sup>	21903 <sup>ab</sup>	5194 <sup>abc</sup>	1978 <sup>a</sup>	1485 <sup>a</sup>
6	N2 BE2 kapalný	16,2 <sup>a</sup>	3021 <sup>a</sup>	25118 <sup>b</sup>	4576 <sup>a</sup>	1852 <sup>a</sup>	1530 <sup>a</sup>
7	N lokálně BE2 kapalný	16,1 <sup>a</sup>	2763 <sup>a</sup>	25057 <sup>b</sup>	5552 <sup>abc</sup>	1827 <sup>a</sup>	1636 <sup>a</sup>
8	N1 BE2 granule	16,6 <sup>a</sup>	3172 <sup>a</sup>	24311 <sup>b</sup>	5340 <sup>abc</sup>	2025 <sup>a</sup>	1652 <sup>a</sup>
9	N lokálně BE2 granule	15,6 <sup>a</sup>	2946 <sup>a</sup>	23823 <sup>b</sup>	5117 <sup>abc</sup>	1940 <sup>a</sup>	1587 <sup>a</sup>
10	N1 BE3 kapalný	16,9 <sup>a</sup>	2591 <sup>a</sup>	22933 <sup>ab</sup>	4970 <sup>ab</sup>	1897 <sup>a</sup>	1406 <sup>a</sup>
11	N2 BE3 kapalný	14,0 <sup>a</sup>	2695 <sup>a</sup>	17148 <sup>a</sup>	4856 <sup>ab</sup>	1809 <sup>a</sup>	1389 <sup>a</sup>
12	N lokálně BE3 kapalný	14,5 <sup>a</sup>	2928 <sup>a</sup>	24027 <sup>b</sup>	5583 <sup>abc</sup>	1982 <sup>a</sup>	1667 <sup>a</sup>
13	N1 BE3 granule	13,9 <sup>a</sup>	3126 <sup>a</sup>	21147 <sup>ab</sup>	5872 <sup>bc</sup>	2184 <sup>a</sup>	1514 <sup>a</sup>
14	N lokálně BE3 granule	13,2 <sup>a</sup>	3084 <sup>a</sup>	22404 <sup>ab</sup>	6153 <sup>c</sup>	2279 <sup>a</sup>	1573 <sup>a</sup>

Tabulka 17: Hodnoty průměrného odběru živin nadzemní hmotou. Polní pokus 2015, Humpolec.

č.v.	Varianta	Průměrný odběr živin nadzemní hmotou				
		P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	S (kg/ha)
1	Nulová kontrola	47,6 <sup>ab</sup>	331 <sup>ab</sup>	87,1 <sup>a</sup>	31,9 <sup>a</sup>	26,3 <sup>ab</sup>
2	N1 BE0	37,6 <sup>ab</sup>	292 <sup>ab</sup>	60,8 <sup>a</sup>	25,0 <sup>a</sup>	19,2 <sup>a</sup>
3	N2 BE0	45,6 <sup>ab</sup>	349 <sup>ab</sup>	84,9 <sup>a</sup>	32,0 <sup>a</sup>	25,4 <sup>ab</sup>
4	N lokálně BE0	44,6 <sup>ab</sup>	322 <sup>ab</sup>	75,1 <sup>a</sup>	29,3 <sup>a</sup>	21,8 <sup>ab</sup>
5	N1 BE2 kapalný	44,0 <sup>ab</sup>	318 <sup>ab</sup>	76,6 <sup>a</sup>	29,1 <sup>a</sup>	21,9 <sup>ab</sup>
6	N2 BE2 kapalný	46,0 <sup>ab</sup>	384 <sup>ab</sup>	69,7 <sup>a</sup>	28,2 <sup>a</sup>	23,6 <sup>ab</sup>
7	N lokálně BE2 kapalný	45,2 <sup>ab</sup>	410 <sup>b</sup>	91,5 <sup>a</sup>	20,1 <sup>a</sup>	26,9 <sup>ab</sup>
8	N1 BE2 granule	52,7 <sup>b</sup>	401 <sup>ab</sup>	89,0 <sup>a</sup>	33,7 <sup>a</sup>	27,3 <sup>b</sup>
9	N lokálně BE2 granule	45,8 <sup>ab</sup>	374 <sup>b</sup>	80,1 <sup>a</sup>	30,2 <sup>a</sup>	24,8 <sup>ab</sup>
10	N1 BE3 kapalný	43,5 <sup>ab</sup>	387 <sup>ab</sup>	83,0 <sup>a</sup>	31,6 <sup>a</sup>	23,3 <sup>ab</sup>
11	N2 BE3 kapalný	35,2 <sup>a</sup>	236 <sup>a</sup>	64,0 <sup>a</sup>	23,7 <sup>a</sup>	18,2 <sup>a</sup>
12	N lokálně BE3 kapalný	42,3 <sup>ab</sup>	349 <sup>ab</sup>	81,4 <sup>a</sup>	28,7 <sup>a</sup>	24,2 <sup>ab</sup>
13	N1 BE3 granule	43,5 <sup>ab</sup>	294 <sup>ab</sup>	81,6 <sup>a</sup>	30,4 <sup>a</sup>	21,0 <sup>ab</sup>
14	N lokálně BE3 granule	40,1 <sup>ab</sup>	292 <sup>ab</sup>	80,2 <sup>a</sup>	29,6 <sup>a</sup>	20,3 <sup>ab</sup>

#### 7.4 Polní pokusy 2016

V roce 2016 byly založeny polní pokusy v Humpolci a v Lípě. V tomto pokusu byly testovány tři bioefektory (BE2 – Proradix, BE4 – Muci, BE5 – CombiFect A) v kombinaci s N-hnojivý (LV – dusičnan vápenatý, SA – síran amonný) a P-hnojivý (MF – mletý fosfát, TSP – trojitý superfosfát).

Výsledky ze stanoviště Humpolec jsou uvedeny v tabulkách 18 a 19. Nejvyšší obsah živiny K v sušině kukuřice byl naměřen u variant bez bioefektoru s hnojivý SA a MF. Nejvyšší výnos sušiny byl u varianty bez bioefektoru s použitím hnojiv SA a TSP. Průkazné rozdíly v odběru živin rostlinou kukuřice byly zjištěny u K a Ca, přičemž nejvyšší odběry těchto prvků byly naměřeny u varianty bez bioefektoru s hnojivý SA a TSP. Naměřené hodnoty v tomto polním pokusu neprokazují pozitivní vliv bioefektorů na hodnocené parametry.



Tabulka 18: Hodnoty průměrného obsahu makroprvků v sušině nadzemní hmoty a průměrného výnosu sušiny. Polní pokus 2016, Humpolec.

č.v.	Varianta	Průměrný výnos sušiny (t/ha)	Průměrný obsah živin v sušině nadzemní hmoty				
			P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	S (mg/kg)
1	0 0 0	18,2 <sup>ab</sup>	1909 <sup>a</sup>	9923 <sup>ab</sup>	1547 <sup>a</sup>	948 <sup>a</sup>	493 <sup>a</sup>
2	0 LV 0	21,6 <sup>ab</sup>	2090 <sup>a</sup>	9255 <sup>ab</sup>	1366 <sup>a</sup>	1104 <sup>a</sup>	534 <sup>a</sup>
3	0 SA 0	22,0 <sup>ab</sup>	1379 <sup>a</sup>	7877 <sup>a</sup>	1228 <sup>a</sup>	729 <sup>a</sup>	477 <sup>a</sup>
4	0 LV MF	21,7 <sup>ab</sup>	2107 <sup>a</sup>	9646 <sup>ab</sup>	1332 <sup>a</sup>	949 <sup>a</sup>	527 <sup>a</sup>
5	0 SA MF	22,4 <sup>ab</sup>	1644 <sup>a</sup>	11833 <sup>ab</sup>	1728 <sup>a</sup>	929 <sup>a</sup>	551 <sup>a</sup>
6	0 LV TSP	20,6 <sup>ab</sup>	1944 <sup>a</sup>	11258 <sup>b</sup>	1541 <sup>a</sup>	1091 <sup>a</sup>	530 <sup>a</sup>
7	0 SA TSP	26,9 <sup>b</sup>	1808 <sup>a</sup>	10243 <sup>b</sup>	1653 <sup>a</sup>	981 <sup>a</sup>	514 <sup>a</sup>
8	BE2 LV MF	18,8 <sup>ab</sup>	1861 <sup>a</sup>	10109 <sup>ab</sup>	1652 <sup>a</sup>	983 <sup>a</sup>	518 <sup>a</sup>
9	BE2 SA MF	21,4 <sup>ab</sup>	1916 <sup>a</sup>	10078 <sup>ab</sup>	1370 <sup>a</sup>	946 <sup>a</sup>	494 <sup>a</sup>
10	BE4 LV MF	22,2 <sup>ab</sup>	1579 <sup>a</sup>	9976 <sup>ab</sup>	1906 <sup>a</sup>	928 <sup>a</sup>	492 <sup>a</sup>
11	BE4 SA MF	19,2 <sup>ab</sup>	1802 <sup>a</sup>	9579 <sup>ab</sup>	1293 <sup>a</sup>	952 <sup>a</sup>	458 <sup>a</sup>
12	BE5 LV MF	17,1 <sup>a</sup>	2041 <sup>a</sup>	9919 <sup>ab</sup>	1388 <sup>a</sup>	1025 <sup>a</sup>	438 <sup>a</sup>
13	BE5 SA MF	19,2 <sup>ab</sup>	2194 <sup>a</sup>	10350 <sup>ab</sup>	1574 <sup>a</sup>	1065 <sup>a</sup>	532 <sup>a</sup>

Tabulka 19: Hodnoty průměrného odběru živin nadzemní hmotou. Polní pokus 2016, Humpolec.

č.v.	Varianta	Průměrný odběr živin nadzemní hmotou				
		P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	S (kg/ha)
1	0 0 0	35,4 <sup>a</sup>	176 <sup>a</sup>	26,9 <sup>a</sup>	17,4 <sup>a</sup>	8,60 <sup>a</sup>
2	0 LV 0	45,4 <sup>a</sup>	198 <sup>ab</sup>	29,0 <sup>ab</sup>	23,9 <sup>a</sup>	11,5 <sup>a</sup>
3	0 SA 0	27,9 <sup>a</sup>	170 <sup>a</sup>	27,4 <sup>ab</sup>	15,0 <sup>a</sup>	10,7 <sup>a</sup>
4	0 LV MF	46,2 <sup>a</sup>	211 <sup>ab</sup>	29,1 <sup>ab</sup>	20,9 <sup>a</sup>	11,7 <sup>a</sup>
5	0 SA MF	36,4 <sup>a</sup>	256 <sup>ab</sup>	38,8 <sup>ab</sup>	19,9 <sup>a</sup>	11,8 <sup>a</sup>
6	0 LV TSP	39,4 <sup>a</sup>	229 <sup>ab</sup>	32,3 <sup>ab</sup>	22,0 <sup>a</sup>	10,9 <sup>a</sup>
7	0 SA TSP	44,6 <sup>a</sup>	274 <sup>b</sup>	44,3 <sup>b</sup>	26,5 <sup>a</sup>	13,7 <sup>a</sup>
8	BE2 LV MF	34,7 <sup>a</sup>	190 <sup>ab</sup>	31,2 <sup>ab</sup>	18,4 <sup>a</sup>	9,80 <sup>a</sup>
9	BE2 SA MF	41,1 <sup>a</sup>	215 <sup>ab</sup>	29,3 <sup>ab</sup>	20,4 <sup>a</sup>	10,6 <sup>a</sup>
10	BE4 LV MF	35,3 <sup>a</sup>	223 <sup>ab</sup>	41,3 <sup>ab</sup>	20,6 <sup>a</sup>	11,0 <sup>a</sup>
11	BE4 SA MF	34,6 <sup>a</sup>	184 <sup>ab</sup>	24,8 <sup>ab</sup>	18,3 <sup>a</sup>	8,80 <sup>a</sup>
12	BE5 LV MF	34,9 <sup>a</sup>	170 <sup>a</sup>	23,7 <sup>a</sup>	17,5 <sup>a</sup>	7,50 <sup>a</sup>
13	BE5 SA MF	41,6 <sup>a</sup>	199 <sup>ab</sup>	30,8 <sup>ab</sup>	20,1 <sup>a</sup>	10,2 <sup>a</sup>

V tabulkách 20 a 21 jsou zaznamenány výsledky měření ze stanoviště Lípa. Nejvyšší výnos sušiny byl naměřen u variant, kde nebyl použit žádný bioefektor a byly hnojeny TSP a SA. Prokazatelné rozdíly v obsahu živin v sušině nadzemní hmoty byly naměřeny u makroprvků P, Mg a S. Nejvyšší hodnoty Mg byly získány u varianty, kde nebyl použit bioefektor a byl hnojen LV a MF hnojivem. Nejvyšší hodnoty P byly naměřeny u varianty s bioefektorem BE2 a hnojivy SA a MF. Nejvyšší hodnota S byla naměřena u varianty s BE2 s hnojivy LV a MF.

Další průkazný rozdíl byl v odběru živin rostlinou kukuřice, a to v případě Ca, Mg a S. Nejvíce Ca odebraly rostliny z varianty, kde byl použit BE2 s hnojivy LV a MF. Nejvíce Mg odebraly rostliny z varianty bez bioefektoru s použitím hnojiv LV a MF. Největší odběr S byl naměřen u varianty s BE2 s hnojením SA a MF. Z dosažených výsledků jak ze stanoviště Humpolec, tak z Lípy nelze jednoznačně potvrdit pozitivní vliv aplikace bioefektorů.

Tabulka 20: Hodnoty průměrného obsahu makroprvků v sušině nadzemní hmoty a průměrného výnosu sušiny. Polní pokus 2016, Lípa.

č.v.	Varianta	Průměrný výnos sušiny (t/ha)	Průměrný obsah živin v sušině nadzemní hmoty				
			P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)	S (mg/kg)
1	0 0 0	19,1 <sup>a</sup>	1718 <sup>ab</sup>	6255 <sup>a</sup>	2815 <sup>a</sup>	1729 <sup>ab</sup>	439 <sup>ab</sup>
2	0 LV 0	21,8 <sup>ab</sup>	1823 <sup>b</sup>	6419 <sup>a</sup>	2818 <sup>a</sup>	1669 <sup>a</sup>	490 <sup>a</sup>
3	0 SA 0	21,2 <sup>ab</sup>	1718 <sup>a</sup>	6099 <sup>a</sup>	3155 <sup>a</sup>	1923 <sup>ab</sup>	461 <sup>ab</sup>
4	0 LV MF	21,8 <sup>ab</sup>	1965 <sup>b</sup>	5686 <sup>a</sup>	3882 <sup>a</sup>	2371 <sup>ab</sup>	482 <sup>ab</sup>
5	0 SA MF	22,2 <sup>ab</sup>	1850 <sup>ab</sup>	5886 <sup>a</sup>	3950 <sup>a</sup>	2188 <sup>ab</sup>	531 <sup>ab</sup>
6	0 LV TSP	22,0 <sup>b</sup>	1945 <sup>ab</sup>	4980 <sup>a</sup>	2278 <sup>a</sup>	1807 <sup>a</sup>	475 <sup>ab</sup>
7	0 SA TSP	22,8 <sup>b</sup>	1806 <sup>ab</sup>	5966 <sup>a</sup>	2900 <sup>a</sup>	1717 <sup>ab</sup>	457 <sup>a</sup>
8	BE2 LV MF	21,9 <sup>ab</sup>	1800 <sup>ab</sup>	6787 <sup>a</sup>	4489 <sup>a</sup>	2206 <sup>b</sup>	559 <sup>ab</sup>
9	BE2 SA MF	22,7 <sup>ab</sup>	2266 <sup>ab</sup>	6194 <sup>a</sup>	3128 <sup>a</sup>	2115 <sup>ab</sup>	540 <sup>ab</sup>
10	BE4 LV MF	21,1 <sup>ab</sup>	2102 <sup>ab</sup>	5870 <sup>a</sup>	3393 <sup>a</sup>	2019 <sup>ab</sup>	549 <sup>ab</sup>
11	BE4 SA MF	21,6 <sup>ab</sup>	2097 <sup>ab</sup>	6185 <sup>a</sup>	2697 <sup>a</sup>	1760 <sup>a</sup>	503 <sup>ab</sup>
12	BE5 LV MF	21,8 <sup>ab</sup>	1914 <sup>ab</sup>	5873 <sup>a</sup>	3305 <sup>a</sup>	2048 <sup>ab</sup>	533 <sup>ab</sup>
13	BE5 SA MF	20,7 <sup>ab</sup>	1850 <sup>b</sup>	6157 <sup>a</sup>	2978 <sup>a</sup>	1829 <sup>ab</sup>	504 <sup>b</sup>

Tabulka 21: Hodnoty průměrného odběru živin nadzemní hmotou. Polní pokus 2016, Lípa.

č.v.	Varianta	Průměrný odběr živin nadzemní hmotou				
		P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	S (kg/ha)
1	0 0 0	32,8 <sup>a</sup>	120 <sup>a</sup>	54,2 <sup>a</sup>	32,8 <sup>a</sup>	8,40 <sup>a</sup>
2	0 LV 0	34,8 <sup>a</sup>	140 <sup>a</sup>	61,5 <sup>a</sup>	36,5 <sup>ab</sup>	10,7 <sup>ab</sup>
3	0 SA 0	36,7 <sup>a</sup>	129 <sup>a</sup>	66,4 <sup>ab</sup>	40,7 <sup>abc</sup>	9,80 <sup>ab</sup>
4	0 LV MF	42,8 <sup>a</sup>	124 <sup>a</sup>	84,2 <sup>ab</sup>	51,4 <sup>c</sup>	10,5 <sup>ab</sup>
5	0 SA MF	40,8 <sup>a</sup>	131 <sup>a</sup>	72,1 <sup>ab</sup>	48,9 <sup>abc</sup>	11,8 <sup>ab</sup>
6	0 LV TSP	42,6 <sup>a</sup>	125 <sup>a</sup>	51,1 <sup>a</sup>	39,6 <sup>abc</sup>	10,3 <sup>ab</sup>
7	0 SA TSP	41,2 <sup>a</sup>	136 <sup>a</sup>	66,0 <sup>ab</sup>	39,1 <sup>abc</sup>	10,4 <sup>ab</sup>
8	BE2 LV MF	39,4 <sup>a</sup>	148 <sup>a</sup>	96,7 <sup>b</sup>	48,1 <sup>bc</sup>	12,2 <sup>ab</sup>
9	BE2 SA MF	51,5 <sup>a</sup>	141 <sup>a</sup>	81,5 <sup>ab</sup>	48,0 <sup>bc</sup>	12,3 <sup>ab</sup>
10	BE4 LV MF	44,4 <sup>a</sup>	125 <sup>a</sup>	71,7 <sup>ab</sup>	42,6 <sup>abc</sup>	11,6 <sup>ab</sup>
11	BE4 SA MF	44,9 <sup>a</sup>	135 <sup>a</sup>	58,8 <sup>a</sup>	38,0 <sup>abc</sup>	10,9 <sup>b</sup>
12	BE5 LV MF	41,7 <sup>a</sup>	128 <sup>a</sup>	72,3 <sup>ab</sup>	44,8 <sup>abc</sup>	11,6 <sup>ab</sup>
13	BE5 SA MF	37,8 <sup>a</sup>	128 <sup>a</sup>	61,9 <sup>a</sup>	37,6 <sup>abc</sup>	10,4 <sup>ab</sup>

## 8 Diskuze

Na účinky bioefektorů bylo provedeno už mnoho studií po celém světě. Každá studie se zaměřovala na jiné parametry a byla zkoušena na různých rostlinách. Většina byla zaměřena na pozorování růstu a rozsahu kořenového systému nebo využití mikroorganismů na ochranu rostlin. Podmínky studií byly různé, především však laboratorního rázu. Z tohoto důvodu je porovnávání výsledků a poznatků z této diplomové práce s ostatními pracemi jiných autorů náročnější.

Ferreira et al. (2013), Kifle & Laing (2016) a Liu et al. (2015) píší o pozitivních účincích bakterií kmenu *Pseudomonas* na růst a výnos kukuřice. U ošetřených semen se zvýšila klíčivost a výnos nadzemní hmoty rostlin. Významně se zvýšila i délka kořenů. Výsledky však nepotvrdily významné zvýšení výnosu zrn, sušiny, výšky rostlin a obsahu chlorofylu. Israr et al. (2016) ve své studii na rajčatech, rýži a pšenici dokazují, že použití bakterie *Pseudomonas putida* došlo ke zlepšení růstu rostlin, příjmu živin (N, P a K) a zvýšení antioxidační aktivity.

Z výsledků této diplomové práce je pozitivní vliv aplikace bioefektorů prokázán pouze u nádobových pokusů. Ze stanoviště Humpolec můžeme hodnotit, že vyšší efekt na výnosy rostlin měla aplikace minerálních fosforečných hnojiv. Největší obsah dusíku měly rostliny, které byly naočkovány bioefektorem Proradix. Kontrolní varianty, které neobsahovaly bioefektor ani P-hnojiva, prokazovaly největší obsah Ca a Mg. Vyšší obsahy P, Mg a S byly naměřeny u variant, kde byl aplikován Proradix bez P-hnojiv. Odběr makroprvků K, Ca, Mg a S rostlinou byl největší u varianty bez použití bioefektoru a bez P-hnojiv. V této diplomové práci nebyl hodnocen obsah chlorofylu ani antioxidační aktivita.

He et al. (2013), Chowdury et al. (2015) a další autoři sepsali studie na téma aplikace bioefektoru bakterie *Bacillus amyloliquefaciens* jako složky na ochranu rostlin. He et al. (2013) se zabývali růstem rýže, kde aplikace této bakterie zvyšuje schopnost stresové tolerance rostlin. Chowdury et al. (2015) ve své studii aplikovali kmen FZB42 na salát, kde dokazují, že použitý bioefektor potlačuje hnilobu způsobenou *Rhizoctonia solani*.

V této diplomové práci nebyly hodnoceny účinky bioefektorů v rámci ochrany rostlin. Zlepšení zdravotního stavu rostlin však přímo souvisí s výnosem a odběrem živin. Pozitivní vliv aplikace bioefektorů nebylo možné na základě našich výsledků v tomto směru jednoznačně prokázat.

Yáñez-Mendizábal (2011) publikoval použití *Bacillus subtilis* jako dobrou alternativu k nerozpustným fosfátovým hnojivům. Ve své studii prokazuje účinnost této bakterie, která pomáhá uvolňovat fosforečnany z hůře dostupných forem a distribuovat fosfát v různých rostlinách po celé vegetační období. Altuhaish & Hamim (2014) ve svém experimentu naznačují, že aplikace *Bacillus subtilis* má vliv na zlepšení růstu a produkci rajčat. Mnoho autorů publikovalo, že *Bacillus subtilis* produkuje široké spektrum antibakteriálních a antimykotických sloučenin (Katz & Demain 1977; Korzybski et al. 1978).

Výsledky této diplomové práce nepotvrzují zvýšení obsahu fosforu v rostlinách ani odběru fosforu rostlinou, tuto skutečnost přisuzujeme použití P-hnojiv, nikoliv použití bioefektorů. Potvrdit nemůžeme ani vliv na zlepšení růstu a výnosu. Antibakteriální a antimykotické účinky v této diplomové práci nebyly sledovány.

Buysens et al. (2016) sepsali studii, kde byla použita houba *Trichoderma harzainum* jako bioefektor a byla aplikována k bramborám. Výsledkem jejich práce bylo zjištění zvýšení hmotnosti bramborových hlíz. Kmen T22 umožňuje zvýšit účinnost fotosyntézy u rajčat (El-Gremi et al. 2017). Několik kmenů *Trichodermy* bylo vyvinuto jako biokontrolní činidlo proti houbovým chorobám rostlin (Harman 2006).

Významný vliv houby *Trichoderma harzainum* nemůžeme z našich výsledků potvrdit. Zvýšené výnosy byly způsobeny pouze hnojením minerálními hnojivy, zejména TSP. Vliv na fotosyntézu a funkce jako biokontrolní činidlo proti houbovým chorobám nebylo v této práci sledováno.

Le Floch et al. (2003), Hase et al. (2008) vydali studie, kde popisují účinky houby *Pythium oligandrum* jako složku na ochranu rostlin. Ta je odpovědná za snížení chorob způsobených houbovými patogeny a snižuje i závažnosti bakteriálních chorob. Le Floch et al. (2003) ve své práci píše o interakci této houby s kořeny, která zvyšuje růst rostlin.

V této práci nebyli hodnoceny účinky na ochranu rostlin. V pokusech nebyl použit tento druh houby, tudíž studii o podpoře růstu rostlin nemůžeme potvrdit.

Výsledky většiny studií mohou ovlivňovat podmínky pokusů. Mnoho zmiňovaných studií bylo realizováno na základě výsledků z laboratorních podmínek (He et al. 2013; Buysens et al. 2016) nebo na základě řízených podmínek v nádobových pokusech (El-Gremi et al. 2017). Tyto podmínky jsou mnohem příznivější. Nedochází tam ke konkurenci s mikroorganismy žijícími v půdě na daném stanovišti. V časopisech se dále mnohem snáze publikují průkazně pozitivní

výsledky a řada článků s neprůkaznými výsledky je zamítána. Je tedy zřejmé, že dochází k určitému nadhodnocení účinnosti bioefektorů (Lekfeldt et al. 2016).

Pozitivní výsledky bioefektorů v rostlinné produkci jsou tedy zatím nedostatečně podloženy.

## 9 Závěr

V této diplomové práci jsou zhodnoceny výsledky nádobových a maloparcelových polních pokusů prováděných v letech 2014-2016. Cílem této práce bylo vyhodnotit vliv aplikace různých bioefektorů, buď aplikovaných samostatně, nebo v kombinaci s různými P a N-hnojivy, k rostlinám kukuřice. Sledovanými parametry byly výnosy sušiny, obsah vybraných makroprvků v rostlinách a odběr vybraných makroprvků rostlinami.

Pozitivní vliv aplikace bioefektorů na výnos sušiny nebyl potvrzen v žádném pokusu v polních ani nádobových podmínkách. Nejvyšší výnosy v nádobových pokusech byly zaznamenány při použití bioefektorů Trianum P v kombinaci s trojitým superfosfátem na půdách ze stanoviště Humpolec. U nádobového pokusu ze stanoviště Lukavec byly nejvyšší hodnoty výnosu zaznamenány u variant, kde bylo použito hnojivo trojitý superfosfát. Z výsledků soudíme, že hlavní vliv na zvýšení výnosu mělo hlavně toto P-hnojivo a ne bioefektory.

V sušině nadzemní hmoty byly u polních pokusů hodnoceny obsahy makroprvků P, K, Ca, Mg a S a u nádobových pokusů byl hodnocen navíc obsah N. Průkazné výsledky byly naměřeny opět u nádobových pokusů. Pozitivní vliv na obsah dusíku, fosforu a síry u stanoviště Humpolec byl zaznamenán u aplikace Proradixu bez P-hnojiva. Aplikace bioefektoru RhizoVital 42 měl pozitivní vliv na obsah K v sušině rostlin. Při polních pokusech v roce 2015 byl zaznamenán pozitivní vliv bioefektoru na obsah K a Ca. Na obsah K měly vliv varianty, kde byl aplikován kapalný Proradix. Na obsah Ca měly vliv varianty, kde byl aplikován granulovaný RhizoVital 42.

U výsledků průměrného odběru makroprvků rostlinami kukuřice byly rozdíly průkazné pouze v případě nádobových pokusů v roce 2014. Hodnotily se prvky N, P, K, Ca, Mg a S. Pozitivní vliv byl zaznamenán v případě stanoviště Lukavec u variant, kde byl použit trojitý superfosfát s BE2-Proradix, a to u prvků N, Ca a Mg.

Veškeré výsledky v této diplomové práci ukazují, že pozitivní vliv zkoumaných bioefektorů není jednoznačně průkazný. Mnoho publikací, které byly zveřejněny, popisuje jejich pozitivní účinek, avšak jedná se především o pokusy za vhodných podmínek (laboratorních, nádobových), nikoli klasicky polních, kde dochází k různé konkurenci půdních mikroorganismů. Je tedy možné, že mnohé pozitivní výsledky a účinky bioefektorů jsou veřejnosti dokládány spíše z důvodu marketingových a finančních výhod firem, které se výrobou těchto alternativních prostředků zabývají.

## 10 Literatura

- Altuhaish, A., Hamim, T. A. 2014. Biofertilizer effects in combination with different drying system and storage period on growth and production of tomato plant under field conditions. *Emirate Journal of Food and Agriculture*. 26. 716-722.
- Buysens, C., Cesar, V., Ferrais, F., de Boulois, H. D., Declerck, S. 2016. Inoculation of *Medicago sativa* cover crop with *Rhizophagus irregularis* and *Trichoderma harzianum* increases the yield of subsequently-grown potato under low nutrient conditions. *Applied Soil Ecology*. 105. 137-143.
- ČSN 46 1011-18. 2003. Zkoušení obilovin, luštěnin a olejnin – Část 18: Zkoušení obilovin – Stanovení obsahu dusíkatých látek. Český normalizační institut. Praha.
- Den Bakker, H. C., Zuccarello, G. C., Kuyper, T. W., Noordeloos, M. E. 2004. Evolution and host specificity in the ectomycorrhizal genus *Leccinum*. *New Phytologist*. 163. 201–215.
- El-Gremi, S. M., Draz, I. S., Youssef, W. A. E. 2017. Biological control of pathogens associated with kernel black point disease of wheat. *Crop Protection*. 91. 13-19.
- 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*.
- Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. John Wiley and Sons, Inc. London.
- Ferreira, A., Pires, R., Rabelo, P., Oliveira, R., Luz, J. 2013. Implications of *Azospirillum brasilense* inoculation and nutrient addition on maize in soils of the Brazilian cerrado under greenhouse and field conditions. *Applied Soil Ecology*. 72. 103-108.
- Ferrigo, D., Raiola, A., Ramera, R., Causin, R. 2014. *Trichoderma harzianum* seed treatment controls *Fusarium verticillioides* colonization and fumonisin contamination in maize under field conditions. *Crop Protection*. 65. 51-56.
- Filippelli, G. M., 2002. The global phosphorus cycle. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 48. 391–425.
- Galletti, S., Fornasier, F., Cianchetta, S., Lazzeri, L. 2015. Soil incorporation of brassica materials and seed treatment with *Trichoderma harzianum*: Effects on melon growth and soil microbial activity. *Industrial Crops and Products*. 75. 73-78.



- Gomes, E. V., Costa, M. D., de Paula, R. G., de Azevedo, R. R., da Silva, F. L., Noronha, E. F., Ulhoa, C. J., Monteiro, V. N., Cardoza, R. E., Gutierrez, S. 2015. The Cerato-Platanin protein Epl-1 from *Trichoderma harzianum* is involved in mycoparasitism, plant resistance induction and self cell wall protection. *Scientific Reports*. 5. 1-13.
- Harman, G. E. 2006. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma spp.* *Phytopathology*. 96 (2). 190-194.
- Hase, S., Takahashi, S., Takenaka, S., Nakaho, K., Arie, T., Seo, S., Ohashi, Y., Takahashi, H. 2008. Involvement of jasmonic acid signalling in bacterial wilt disease resistance induced by biocontrol agent *Pythium oligandrum* in tomato. *Plant Pathology*. 57 (5). 870-876.
- He, P., Hao, K., Blom, J., Rückert, Ch., Vater, J. 2013. Genome sequence of the plant growth promoting strain *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *Plantarum* B9601-Y2 and expression of mersacidin and other secondary metabolites. *Biotechnologie Journal*. 164. 281-291.
- Heiberg, S. O., White, D. P. 1951. Potassium deficiency of reforested pine and spruce stands in northern New York. *Soil Science Society America Proceedings*. 15. 369–376.
- Holečková, Z. 2018. Vliv bioefektorů na výživové parametry rostlin se zaměřením na zvýšení příjmu fosforu z půdy. *Doktorská disertační práce. ČZU v Praze*. 140 s.
- Holečková, Z., Kulhánek, M., Balík, J. 2017. Use of active microorganisms in crop production – a review. *Journal of Food*. 8 (10). 696.
- Holečková, Z., Kulhánek, M., Balík, J. 2018. Microorganisms in plant protection. *International Journal of Plant Sciences*. 9 (179). 950-1078.
- Holečková, Z., Kulhánek, M., Hakl, J., Balík, J. 2018. Use of active microorganisms of the *Pseudomonas* genus during cultivation of maize in field conditions. *Plant, Soil and Environment*. 64. 26–31.
- Chen, L., Liu, Y., Wu, G., Veronican, N., K., Shen, Q., Zhang, N., Zhang, R. 2016. Induced maize salt tolerance by rhizosphere inoculation of *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9. *Physiologia Plantarum*. 158 (1). 34-44.
- Chowdhury, S. P., Hartmann, A., Gao, X. W., Borriss, R. 2015. Biocontrol mechanism by root-associated *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42. *Frontiers in Microbiology*. 6. 780.
- Israr, D., Mustafa, G., Khan, K. S., 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.
- Johnson, N. C., Graham, J. H., Smith, F. A. 1997. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism–parasitism continuum. *New Phytologist.* 135 (4). 575–585.
- Kalaji, H. M., Baba, W., Gediga, K., Goltsev, V., Samborska, I. A., Cetner, M. D., 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.
- Katz, E., Demain, A. C. 1977. Peptide antibiotics of *Bacillus*: chemistry, biogenesis and possible functions. *Bacteriological Reviews.* 41 (2). 449-474.
- Kifle, M. H., Laing, M. D. 2016. Effects of selected diazotrophs on maize growth. *Frontier Plant Science.* 7. 1429.
- Korzybski, T., Kowszyk-Gindifer, Z., Kurylowicz, W. 1978. Antibiotics isolated from the genus *Bacillus* (*Bacillaceae*) in: antibiotics – origin. Nature and Properties. *American Society of Microbiology.* 8. 1529-1661.
- Kottke, I., Nebel, M. 2005. The evolution of mycorrhiza-like associations in liverworts: an update. *New Phytologist.* 167. 330–334.
- 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.
- Lekfeldt, J. D. S., Rex, M., Mercl, F., Kulhánek, M., Tlustoš, P., Magid, J., de Neergaard, A. 2016. Effect of bioeffectors and recycled P-fertiliser products on the growth of spring wheat. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture.* 3 (22).
- Liu, Y., Yan, T., Li, Y., Cao, W., Pang, X. 2015. A simple label-free photoelectrochemical immunosensor for highly sensitive detection of aflatoxin B1 based on CdS–Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanocomposites. *RSC Advance.* 5. 19581-19586.
- Mader, P., Száková, J., Míholový, D. 1998. Classical dry ashing of biological and agricultural materials, Part II. Losses of analytes due to their retention in an insoluble residue. *Analisis.* 26 (3). 121-126.

- Marschner, P. 2012. Marchner's mineral nutrition of higher plants. Elsevier Academic Press. Amsterdam.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 15. 1409-1416.
- Neumann, G., Römheld, V. 2002. Root-induced changes in the availability of nutrients in the rhizosphere. In: Waisel Y., Eshel A., Kafkafi U. (eds.). *Plant Roots: The Hidden Half*. Marcel Dekker. 617-649.
- Oelkers, E. H. 2008. Phosphate mineral reactivity: from global cycles to sustainable development. *Mineralogical Magazine*. 72. 337–340.
- 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.
- Remy, W., Taylor, T.N., Hass, H., Kerp, H. 1994. 4 hundred million year old vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of Amerika*. 91 (25). 11841–11843.
- Roy, R. N., Finck, A., Blair, G. J., Tandon, H. L. S. 2006. Chapter 3: plant nutrients and basics of plant nutrition. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. 25–42.
- Samuels, G. J., Chaverri, P., Farr, D. F., McCray, E. B. 2014. Massive lateral transfer of genes encoding plant cell wall-degrading enzymes to the mycoparasitic fungus *Trichoderma* from its plant-associated hosts. *Public Library of Science Genetics*. 14 (4).
- 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.
- Simard, S. W., Perry, D. A., Jones, M., D., Myrold, D. D., Durall, D. M., Molina, R. 1997. Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. *Nature*. 388 (6642). 579–582.
- Simon, E. W., 1978. The symptoms of calcium deficiency in plants. *The New Phytologist*. 80 (1). 1–15.
- Sirko, A., De Kok, L. J., Haneklaus, S., Hawkesford, M. J., Rennenberg, H., Saito, K., Schnug, E., Stulen, I. 2009. *Sulfur metabolism in plants*. Margraf Publishers. Germany.

- Sommer, K. 2005. CULTAN-Düngung. Verlag Th. Mann. Gelsenkirchen. 218.
- Taiz, L., Zeiger, E. 2002. Plant physiology. Annals of Botany. 3. 68-69.
- Thonar, C., Lefkfeldt, 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.
- 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).
- 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.
- Wu, L., Wu, H., Chen, L., Lin, L., Borriss, R., Gao, X. 2014. Bacilysin overproduction in *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 markerless derivative strains FZBREP and FZBSPA enhances antibacterial activity. Applied Microbiology and Biotechnology. 99 (10). 4255-4263.
- Yáñez-Mendizábal, V. 2011. Biological control of peach brown rot (*Monilinia spp.*) by *Bacillus subtilis* CPA-8 is based on production of fengycin-like lipopeptides. European Journal of Plant Pathology. 132 (4). 609-619.
- Yang, H. H., Yang, S. L., Peng, K. C., Lo, C. T., Liu, S. Y. 2009. Induced proteome of *Trichoderma harzianum* by *Botrytis cinerea*. Mycological Research. 113 (9). 924-93

