

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Vliv bioefektoru RhizoVital na přístupnost fosforu v půdě
a odběr P rostlinami kukuřice**

Bakalářská práce

Autor práce: Zdeněk Beneš

Vedoucí práce: Ing. Martin Kulhánek, Ph.D.

© 2016 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Vliv bioefektoru RhizoVital na přístupnost fosforu v půdě a odběr P rostlinami kukuřice " jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.4.2016

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Martinovi Kulhánkovi, Ph.D. za vedení a pomoc při psaní bakalářské práce, dále bych rád poděkoval své rodině za podporu při studiu.

Vliv bioefektoru RhizoVital na přístupnost fosforu v půdě a odběr P rostlinami kukuřice

Souhrn

Fosfor se pravděpodobně v nejbližší době stane rozhodujícím prvkem ve výživě rostlin. Hlavním důvodem jsou především omezené zdroje P pro výrobu hnojiv. Proto je nutné hledat dlouhodobé řešení. Jednou z možností je využití odpadů obsahujících P, jako jsou např. čistírenské kaly, digestát nebo popel. Další možnost vychází z faktu, že přibližně 90 % P v půdě se nachází v rostlinám nepřístupných formách. Mobilizací těchto forem by bylo možno zajistit dostatek P pro růst rostlin v dlouhodobém horizontu. Za tímto účelem jsou vyvíjeny tzv. bio-efektory, které podporují dostupnost živin pro rostliny. Je však zřejmé, že by aplikace samotných bio-efektorů mohla vést k postupnému odčerpávání většiny P z půdních zásob. Nejvýhodnější se tedy jeví aplikace bio-efektorů v kombinaci s různými fosforečnými hnojivy, popř. odpady. Zejména mleté fosfáty, popel a digestát obsahují značné množství rostlinám hůře dostupných forem P. Společnou aplikací těchto hnojiv s bio-efektory by tedy mělo dojít k zefektivnění využití P, tedy i ke snížení vstupů P hnojiv do půdy.

Cílem práce bylo ověřit vliv kombinace 3 bioefektorů (účinné mikroorganismy: *Bacillus amyloliquefaciens*, kmeny FZB42 a FZB45 a kombinace kmene FZB42 s *Paenibacillus mucilaginosus*, kmen JX-1) v kombinaci s mletým fosfátem, čistírenskými kaly, torefikovanými čistírenskými kaly, separovaným digestátem, slámovým a dřevěným popelem na růst nadzemní hmoty kukuřice a obsah a odběr fosforu a dalších vybraných živin.

Z hodnocení variant hnojení bez ohledu na aplikované bioefektory lze usuzovat, že největší efekt na výnos nadzemní biomasy měly čistírenské kaly, dřevěný popel a zejména slámový popel. Tato hnojiva průkazně zvýšila i obsah a odběr S. U dalších sledovaných parametrů nebylo možné určit jednoznačné tendence.

Aplikací bioefektorů samotných i v kombinaci s uvedenými materiály nebylo dosaženo jejich pozitivního vlivu u sledovaných parametrů. Naopak kombinace kmene FZB42 s *Paenibacillus mucilaginosus* vykazovala v řadě případů průkazně negativní vliv.

Klíčová slova: fosfor, kukuřice, půda, rostlina, bioefektor

Influence of bioeffector RhizoVital on the soil phosphorus availability and P uptake by maize

Summary

Phosphorus is likely to become, in the near future, a critical element in plant nutrition. The main reasons are primarily limited resources of P for fertilizer production. Therefore, it is necessary to look for a long term solution. One option is to use P -containing waste, such as sewage sludge, digestate or ashes. Another option arises from the fact that approximately 90 % of P in soil is found in non-bioavailable forms. Therefore, mobilization of these forms could secure enough P for plant growth in the long term horizon. So-called bioeffectors are developed for this purpose; to promote the accessibility of nutrients for plants. It is evident, however, that the application of bioeffectors alone could lead to a gradual outflow of the most P from the soil. Therefore the most favourable appears application of bioeffectors in combination with various phosphatic fertilizers or wastes. Especially rock phosphates, ash and digestate contain significant amounts of non-bioavailable P-forms. That implies that the joint application of these fertilizers and bioeffectors should lead to more efficient utilization of P, and thus reduce the input of fertilizers into the soil.

The aim was to verify influence of a combination of 3 bioeffectors (effective microorganisms: *Bacillus amyloliquefaciens*, strains FZB42 and FZB45, and the combination of FZB42 strain with *Paenibacillus mucilaginosus* strain JX - 1) in combination with rock phosphate, sewage sludge, torrefied sewage sludge, separated digestate, straw and wood ash on increase of aboveground biomass of maize and on the content and uptake of phosphorus and other selected nutrients.

The evaluated alternatives of fertilization regardless of applied bioeffectors suggest that the greatest effect on the yield of above-ground biomass showed sewage sludge, wood ashes, and especially straw ashes. These fertilizers significantly increased the content and uptake of S as well. In other monitored parameters it was not possible to clearly identify the tendencies.

The application of bioeffectors alone or in combination with the above mentioned materials did not bring the positive effect on the monitored parameters. On the contrary, the combination of *Paenibacillus* strains FZB42 *mucilaginosus* showed in many cases significantly negative impact.

Keywords: phosphorus, maize, soil, plant, bioeffector

Obsah

1 Úvod	8
2 Cíl práce	10
3 Hypotézy	11
4 Literární rešerše	12
4.1 Fosfor v půdě	12
4.1.1 Anorganické formy fosforu	13
4.1.1.1 Primární fosforečné minerály	14
4.1.1.2 Sekundární vysrážené a adsorbované fosforečnany	14
4.1.2 Organické formy fosforu	14
4.1.3 Sorbovaný fosfor.....	15
4.2 Fosfor v rostlině	15
4.2.1 Požadavky rostlin.....	15
4.2.2 Příjem fosforu rostlinou	16
4.2.3 Absorpce a transport fosforu.....	17
4.3 Cesty k preciznější aplikaci fosforu	18
4.3.1 Běžné postupy	18
4.3.2 Lokální aplikace.....	18
4.4 Běžně používaná fosforečná hnojiva	20
4.4.1 Superfosfát granulovaný jednoduchý (SP)	20
4.4.2 Superfosfát granulovaný trojitý (TSP).....	20
4.4.3 Hyperkorn + magnezium (HFP)	20
4.4.4 Hyperfosfát (HP).....	21
4.5 Využití odpadů obsahujících fosfor	21
4.5.1 Kaly z čistíren odpadních vod	21
4.5.2 Digestát z bioplynových stanic	21
4.5.3 Popel z biomasy	22
4.6 Bioefektory	23
4.6.1 <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	23
4.6.2 <i>Paenibacillus mucilaginosus</i>	24
4.7 Stručná charakteristika hnojení kukuřice	25
4.7.1 Nároky na živiny.....	25
4.7.1.1 Nároky na fosfor	26
5 Metodika	27
5.1 Analytická stanovení	29
5.1.1 Rozbor půdy - Stanovení fosforu metodou Mehlich 3	29
5.1.2 Rozbor rostlin – rozklad na suché cestě.....	29

5.1.3	Statistické vyhodnocení pokusu.....	29
6	Výsledky	30
6.1	Hodnocení variant dle dodaných bioefektorů	30
6.2	Hodnocení dle variant hnojení.....	38
7	Diskuse	40
8	Závěr.....	44
9	Seznam literatury	46
10	Seznam tabulek	51

1 Úvod

Většina fosforu v půdě (přibližně 90 %) se nachází v rostlinám nepřístupných formách. Mobilizací těchto forem by bylo možno zajistit dostatek P pro růst rostlin v dlouhodobém horizontu. Za tímto účelem jsou vyvíjeny tzv. bioefektory, které podporují dostupnost živin pro rostliny. Potřeba zvýšit zemědělskou produkci se v průběhu posledních šedesáti let projevila masivním používáním minerálních hnojiv. Vzhledem k nárůstu světové populace se očekává růst poptávky po krmivech a potravinách, omezená dostupnost produktivní zemědělské půdy, a vzrůstající závislost na minerálních hnojivech. Je tedy důležité nalézt alternativní strategie pro výživu rostlin. Je však zřejmé, že by aplikace samotných bioefektorů mohla vést pouze k postupnému odčerpávání P z půdy. Nejvýhodnější se tedy jeví aplikace bio-efektorů v kombinaci s různými fosforečnými hnojivy, popř. odpady. Zejména mleté fosfáty, popel a digestát obsahují značné množství rostlinám hůře dostupných forem P. Společnou aplikací těchto hnojiv s bio-efektory by tedy mělo dojít k zefektivnění využití P, tedy i ke snížení vstupů P hnojiv do půdy.

BioFactor je integrovaný projekt, jehož cílem je vyvinout alternativní postupy ve výživě rostlin s využitím tzv. bioefektorů, mikroorganismů podporujících růst rostlin a extraktů z přírodních materiálů. Bioefektory stimulují růst kořenů, usnadňují rozpouštění a mineralizaci látek s nízkou přístupností živin a omezují vliv biotických a abiotických stresů u rostlin). V rámci řešení projektu budou izolovány a charakterizovány nové bioefektory a budou využity při řešení alternativních způsobů hnojení zejména při systémech minimalizujících vstupy minerálních hnojiv, pro ekologické zemědělství, při využití odpadních materiálů jako hnojiv a u nových aplikačních technologií s lokalizací minerálního hnojiva.

Bioefektory jsou tvořeny definovanými řetězci hub *Trichodermy*, *Penicillium* a *Sebacinales*, a bakteriemi rodu *Bacillus* a *Pseudomonades* u kterých byl přesně charakterizován potenciál pro rozvoj kořenů stejně jako potenciál usnadňující rozpouštění živin ze stabilních matric. Dále do této skupiny patří výluhy z mořských řas a rostlin, suchozemských rostlin, z kompostů a vermikompostů, stejně jako separované aktivní látky z těchto materiálů. Získané aktivní výluhy budou hodnoceny selektivně i ve vhodných kombinacích. Kukuřice, pšenice a rajče byly vybrány jako testovací plodiny. Modelové a přesné polní pokusy realizované dle identické metodiky v několika evropských zemích dají odpověď na adaptaci a účinnost těchto látek v různých půdně-klimatických podmínkách. Cílem projektu je najít alternativní možnosti zvýšení přístupnosti živin rostlinám popřípadě

zlepšit jejich zdravotní stav. Výsledkem projektu budou technologie pěstování rostlin s aplikací bioefektorů jako alternativa konvenční aplikace minerálních hnojiv, které posílí principy šetrného zemědělství k životnímu prostředí a omezí vstupy agrochemikálií do prostředí.

2 Cíl práce

Cílem práce je hodnocení vlivu bioefektorů RhizoVital 42 (*Bacillus amyloliquefaciens*, kmen FZB42) a RhizoVital 45 (*Bacillus amyloliquefaciens*, kmen FZB45) na výnos nadzemní hmoty, výšku rostlin a odběr fosforu rostlinami kukuřice z půdy chudé na fosfor.

Dalším cílem je ověření mobilizace fosforu z hůře dostupných forem v různých hnojivech prostřednictvím působení uvedených bioefektorů.

Vedlejším cílem práce je hodnocení vlivu uvedených bioefektorů na odběr dalších limitujících živin (síry a zinku) kukuřicí.

3 Hypotézy

Aplikace bioefektorů RhizoVital 42 (*Bacillus amyloliquefaciens*, kmen FZB42) a RhizoVital 45 (*Bacillus amyloliquefaciens*, kmen FZB45) povede prostřednictvím mykorhizy a podpory růstu kořenů rostlin ke zvýšení odběru P rostlinami kukuřice z půd chudých na přístupný fosfor.

Pokud je fosfor limitující živinou v půdě lze předpokládat, že aplikace bioefektorů povede i ke zvýšení výnosu nadzemní biomasy rostlin a odběru P.

Aplikace bioefektoru v kombinaci s hnojivem s hůře přístupným fosforem povede k jeho zvýšené mobilizaci z těchto hnojiv.

Použití bioefektorů může ovlivnit i odběry dalších limitujících živin z půdy.

Kombinace různých bioefektorů může mít vliv na zvýšení přístupnosti P pro rostliny i další sledované parametry.

4 Literární rešerše

4.1 Fosfor v půdě

Fosfor v půdě patří mezi nezastupitelné makrobiogenní prvky, které jsou nezbytné pro růst a vývin rostlin a nemůže být nahrazen jiným prvkem. Fosfor je v rostlinném metabolismu nezbytný, přesto je jeho obsah v půdě poměrně nízký (Blume *et al.*, 2002; Mengel, 1996; Schachtschabel *et al.*, 1992; Mengel, 1991). Schilling (2000) uvádí, že toto rozmezí může být překročeno v půdách bohatých na humus. Celkové množství fosforu v půdě se pohybuje mezi hodnotami 0,01 - 0,15 %. Půdy s vyšším obsahem organické hmoty vykazují vyšší obsah fosforu, zatímco půdy lehké s malým obsahem organické hmoty mají obsah fosforu nízký. Převážná část celkového fosforu v půdě je pro rostliny v nepřístupné formě. Různé formy fosforu vychází ze sloučeniny kyseliny H_3PO_4 a v malé míře vazby $H_4P_2O_5$. Sloučeniny fosforu, které slouží jako potencionální zdroj pro výživu rostlin a půdních mikroorganismů, jsou minerální a organické sloučeniny (Vaněk *et al.*, 2012). U většiny půd se vyšší obsah fosforu nachází v povrchových vrstvách, protože je zde zvýšená biologická aktivita, která způsobuje akumulaci organického materiálu. Průměrně se obsah fosforu pohybuje okolo 0,05 %. Podíl organického fosforu na celkovém se pohybuje v rozmezí 2 až 75 % a podíl anorganického fosforu na celkovém obsahu fosforu v půdě se tedy může pohybovat v rozpětí 25 až 98 % (Fecenko *et Ložek*, 2000).

Vyšší koncentrace fosforu v povrchové vrstvě půdy je způsobena především aplikací fosforečných hnojiv a také rozkladem rostlinných zbytků na povrchu půdy (Soenne, 2009). Fosfor dodaný do půdy se v závislosti na podmínkách (především hodnotě pH a činnosti půdních mikroorganismů) velmi rychle váže s ionty železa, hliníku a vápníku a vytváří poměrně stabilní sloučeniny anorganických fosfátových minerálů (apatity, vivianit, variscit, strengit). Fosfor se tedy stává součástí půdního sorpčního komplexu. Tyto stabilní formy půdního fosforu se vyskytují v celém rozmezí hodnot pH různých půd. V kyselých půdách tvoří fosforečné sloučeniny s železem a hliníkem, v zásaditých s vápníkem. Celý proces je výsledkem biologických a chemických mechanismů v půdě, který je ovlivněn množstvím různých faktorů (Nash *et al.*, 2014; Brandštýl, 2013). Ke zvýšené mobilitě sorbovaného fosforu může tedy přispívat nejen vyvápňení půd (Schachtschabel *et al.*, 1992), ale i například aktivita půdních hub žijících v mykorhize (Jones *et al.*, 1991). Z hlediska vazeb fosforu v půdě se mohou vytvořit tři základní skupiny: anorganické sloučeniny fosforu, organicky vázaný fosfor a výměnně sorbovaný fosfor (Balík *et al.*, 2002).

4.1.1 Anorganické formy fosforu

Nejdůležitější anorganické fosfáty jsou: hydrogenfosforečnan vápenatý, oktakalciumfosfát, hydroxylapatit, fluorapatit, chlorapatit, trengit, variscit. Hydroxylapatit a fluorapatit se vyskytují v půdách v nejčastěji isomorfních směsích, což je dáno podobnou velikostí iontů OH^- a F^- . Apatit je stabilní pouze v alkalických půdách a při pH nižším než 7 dochází k jeho rozkladu. Rozpustnost fosforečnanů vápenatých při stejné hodnotě pH klesá v řadě: dikalciumfosfát > oktakalciumfosfát > hydroxylapatit > fluorapatit. Čím vyšší je hodnota pH půdy a větší koncentrace vápníku v půdním roztoku, tím snadněji se z dodaných vodorozpustných forem fosforu minerálních hnojiv stávají stabilnější formy (Balík *et al.*, 2002).

Minerální vápenaté sloučeniny fosforu mohou za příznivých podmínek postupně uvolňovat fosfor do půdního roztoku. Sloučeniny s hliníkem a železem mají naopak velmi malou rozpustnost a obzvlášť sloučeniny železa jsou pro většinu rostlin nepřijatelné. Chemická sorpce fosforu v půdách probíhá rychle. Proces doprovází srážení rozpustných fosforečnanů přes řadu nestabilních sloučenin ve formě koloidních hydratovaných částic, které mají poměrně velký povrch a jsou pro rostliny ještě přijatelné do té doby, než dojde k postupné krystalizaci. Stárnutím sloučenin se tedy značně snižuje jejich rozpustnost, a tím i přijatelnost pro rostliny (Vaněk *et al.*, 2012).

Dokud nebyly podrobně známy principy sorpce, značná role byla přisuzována při transformacích fosforu v půdě za tvorby velmi stabilních fosforečnanů hlinitých a železitých. Oba minerály ale mohou v půdě prakticky vznikat až při pH nižším 4, a proto mají ve většině evropských půd malý význam (Balík *et al.*, 2002).

Podíl anorganických sloučenin fosforu v půdě značně kolísá a je odvislý od druhu a typu půdy, obsahu organických látek, úrovně hnojení fosforem apod. V našich podmínkách zjistili Baier a Smetánková obsah minerálně vázaného fosforu v rozmezí přibližně 45 – 88 % P z jeho celkové zásoby v půdě.

Převážná část minerálních sloučenin fosforu v půdě je ve vodě nerozpustné formě. Podíl ve vodě rozpustných sloučenin je nepatrný (0,9 – 2,2 mg P na kg na vzduchu vyschlé půdy). Toto množství by ve většině případů nestačilo k výživě rostlin. Na celkovém množství fosforu přijatelného rostlinami se proto podílí i část ve vodě nerozpustných fosforečných sloučenin především těch, které jsou rozpustné ve slabých minerálních nebo organických kyselinách, nacházejících se v půdě, popřípadě i těch sloučenin fosforu, které přecházejí do roztoku při alkalické půdní reakci (Jurčík, 1978).

4.1.1.1 Primární fosforečné minerály

Vyskytují se rozptýleně ve všech magmatických horninách. Jsou to vápenaté sloučeniny tvořené ze tří molekul $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ a jedné molekuly chloridu, fluoridu nebo hydroxidu vápenatého (Blume et al., 2002; Troeh et Thompson, 2005; Vaněk *et al.*, 2012).

4.1.1.2 Sekundární vysrážené a adsorbované fosforečnany

Převažující anorganické sloučeniny fosforu v půdách slabě kyselých až alkalických jsou soli vápenaté, které vznikají v půdách při chemických reakcích původně rozpustných sloučenin, nebo uvolňováním kyseliny fosforečné: $\text{Ca}_3(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Tyto reakce mohou vést až ke vzniku apatitů. V neutrálních půdách nejčastěji vzniká stabilnější sloučenina oktokalciumfosfát. V alkalickém prostředí vzniká převážně hydroxylapatit. V kyselém prostředí se tvoří soli kationtů železa a hliníku - variscit a strengit. Tvorba solí kyseliny fosforečné v půdě závisí na jejím pH a má významný dopad na chování fosforu v půdě a dostupnosti rostlinám (Vaněk *et al.*, 2012).

4.1.2 Organické formy fosforu

Jsou nepostradatelnou složkou organické půdní složky. Rozdělení organického fosforu v půdě proto také koresponduje s rozdělením organické hmoty v půdním profilu. Podíl takto vázaného fosforu činí většinou 30- 50 % celkového obsahu fosforu v půdě. Podstatnou část organického fosforu tvoří fytin (až 50 % organického fosforu), dále fosfolipidy, nukleové kyseliny, nukleoproteidy a fosforylované lipidy, které se nacházejí v kořenové hmotě a dále se do půdy dostávají posklizňovými zbytky a statkovými hnojivy. Velká část organicky vázaného fosforu v půdách je výsledkem biologické sorpce fosforu půdními mikroorganismy, které mobilizují fosfor do svých těl. Po odumření mikroorganismů může být takto vázaný fosfor v dalších procesech mineralizace uvolněn a zpřístupněn pro rostliny, a má tedy velký význam pro výživu rostlin fosforem.

Je zřejmé, že pH půdy má značný vliv na výskyt jednotlivých sloučenin fosforu v půdě. V kyselé půdě převládají fosforečnany železité s velmi malou rozpustností. Aplikace vápence výrazně zvyšuje obsah frakcí vápenatých sloučenin, proto je úprava pH významná pro příznivější fosforečný režim půdy. Při nehnojení dochází k úbytku přijatelných vápenatých sloučenin fosforu, ještě výraznějším poklesu organického fosforu a čerpání půdních rezerv, které nejsou dostatečně obnovovány. Hnojení (každoroční nebo jednorázové na tři roky) dostatečně kryje úbytek odebraného fosforu sklizněmi.

Fosfor je v půdě málo pohyblivý (i po dlouhodobém hnojení je průnik fosforu do hlubších horizontů půdního profilu malý).

Pro výživu rostlin je významný zejména fosfor z půdy, ze kterého se tvoří převážná část rostlinné produkce (Vaněk *et al.*, 2012).

4.1.3 Sorbovaný fosfor

Sorpce fosforu může být uskutečněna na železitých nebo hlinitých oxidech, allofanu, jílových minerálech, organických hlinitých nebo železitých komplexech a na kalcitu. Obecně platí, že čím je sorbent více amorfni, tím je sorpce větší. Dvojvazné napojení fosforu je relativně pevné. Odštěpení OH^- iontu je tím snazší, čím je nižší hodnota pH. Zvýšení mobility takto sorbovaného fosforu je možné vyvápněním půd.

Sorpce fosforu je významná především na půdách s vysokým obsahem železa. Také v karbohydrátových půdách může být značný podíl fosforu výměnně sorbován, protože zde jsou také přítomny železité/hlinité oxidy/hydroxidy i jílové minerály. Protože vývoj půd je v humidních oblastech spojen s okyselováním a uvolňováním oxidů železa, vzrůstá v těchto oblastech schopnost fosfor sorbovat.

V určitých případech může být sorbovaný fosforečnan na oxidy a hydráty železa opět okludován oxidy železa. Takto okludovaný fosfor není pro rostliny přístupný. K tomuto procesu dochází především na kyselých, dobře provzdušněných půdách (Balík *et al.*, 2002).

4.2 Fosfor v rostlině

4.2.1 Požadavky rostlin

Fosfor patří mezi esenciální prvky a v se rostlině vyskytuje např. v nukleových kyselinách (DNA, RNA), membránových fosfolipidech a nukleotidech nebo adenosinfosfátech (ATP, ADP, AMP). Je transportován buď jako fosfátový cukr nebo jako anorganický fosfát. V místech výskytu mykorrhizy je příjem fosforu vyšší (Ruttenberg, 2014; Lack *et Evans*, 2005; Öpik *et Rolfe.*, 2005; Michalík, 2001; Gardner *et al.*, 1985). Nároky jednotlivých druhů na fosfor se příliš neliší. Odběr fosforu sklizní se většinou pohybuje v závislosti na dosahovaném výnosu v rozmezí 15-40 kg P/ha. Existují ale značné rozdíly v osvojování si fosforu z půdy z méně rozpustných sloučenin. K rostlinám, které si velmi dobře osvojují fosfor z půdy, patří obecně dřeviny, bobovité rostliny, hořčice a pohanka. Okopaniny a většina zelenin mají střední schopnost k přijímání fosforu a nejnižší

osvojovací schopnost mají obilniny. Rostliny využívají poměrně malé množství fosforu z hnojiv - přibližně 10- 20 % podle stanoviště. Toto je způsobeno tím, že fosfor je půdou rychle sorbován a rostlina si až v pozdějších růstových fázích vytvoří dostatek kořenů pro přijímání půdního fosforu. Na výživě rostlin se nejvíce podílí fosfor z půdy minerální vápenaté fosforečnany, hlinité fosforečnany a fosfor vázaný v organické složce půdy uvolňující se mineralizací (Vaněk *et al.*, 2012)

4.2.2 Příjem fosforu rostlinou

Rostlinná buňka je tvořena složitým dynamickým systémem zahrnujícím celou řadu vzájemně integrovaných a podmíněných subsystémů a prvků. Pro všechny živé systémy včetně těch rostlinných je nejvíce charakteristickou vlastností neustálá výměna energie a látek s vnějším prostředím. Pro zajištění dobrého vývinu a růstu rostlinné buňky musí v rostlině nepřetržitě probíhat procesy spojené se spotřebou energie kvůli zabezpečení celé řady životně důležitých pochodů. Jedním z těchto procesů je transport metabolitů a iontů v rámci buňky, pletiv a orgánů a membránový transport iontů a jejich akumulace v cytoplazmě (NH_4^+ , K^+ , NO_3^- , H_2PO_4^- a HPO_4^{2-}) (Michalík, 2001).

Rostliny přijímají fosfor ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné a to hlavně ve formě HPO_4^{2-} a H_2PO_4^- (Vaněk *et al.*, 2012). Na alkalických půdách převládá aniont HPO_4^{2-} a na kyselých H_2PO_4^- (Schilling, 2000).

Na příjem fosfátů mají pozitivní vliv kationty Ca^{2+} a Mg^{2+} , naopak nadbytek kationtu K^+ snižuje nejen jejich příjem, ale také transport do nadzemních částí rostliny.

Při výskytu mykorrhizy na kořenech rostliny lépe mobilizují fosfor a to i za nepříznivých podmínek (Schröder *et al.*, 2011).

V půdním roztoku se nachází fosforu velmi málo, proto je nutné, aby se po jeho odčerpání z půdního roztoku doplňoval z pevné fáze půdy dostatečnou rychlostí. Rostliny dokážou přijímat fosfor i za velmi nízkých koncentracích v půdním roztoku. Toto je ale pro rostliny náročné a musí mít dostatek energie k překonání značného koncentračního gradientu (stotisíckrát vyšší koncentrace v rostlinách než v půdním roztoku). Při nízkých teplotách může být příjem fosforu omezen, protože rostliny nemají k dispozici dostatek energie. Zároveň se značně omezuje mineralizace organických sloučenin fosforu v půdě. Je tedy možné, že rostliny budou přechodně vykazovat deficit fosforu i přesto, že ho je v půdě dostatečné množství. Příjem fosforu je rostlinami do jisté míry ovlivnitelný. Pokud ho rostlinná pletiva mají nedostatek, dokáží aktivovat v membránách kořenů přenašeče s vysokou afinitou

k fosforečnanům a fosfatázy, aby zlepšily příjem fosforu. Dalším prostředkem pro lepší příjem fosforu je zvýšený růst kořenů a tím i větší množství vlásečnicových kořínků, což je důležitý faktor nejen pro jeho příjem. Dochází také ke zvýšení kořenové sekrece, která zvyšuje přijatelnost fosforu v rhizosféře. Byla zaznamenána také sekrece enzymů, díky kterým s mikroflórou dochází k uvolňování fosforu z organických sloučenin. Zvýšenou sekrecí aminokyselin a cukrů se zvyšuje výskyt mikroorganismů, včetně mykorrhizy (Vaněk *et al.*, 2012).

Dlouhodobý nedostatek fosforu také snižuje celkový příjem a následně intenzitu transportu fosforu z kořenů do nadzemních částí rostliny. Pokud rostliny rostou v podmínkách nízké hladiny živin, potom dokážou živiny potřebné pro růst a vývoj získávat z vnějšího prostředí. Ve vztahu k fosforu umí rostliny vyrovnávat stálou hladinu cytoplazmatického fosforu, která je neustále doplňována příjmem z vnějšího prostředí a translokací z jiných částí rostliny. Důležitá úloha připadá na vodní režim v půdě z hlediska zabezpečení optimálního výživného režimu v polních podmínkách. Při dobrých vláhových podmínkách se zvyšuje migrace fosfátů v půdě, ale zároveň optimální vodní režim buňky zvyšuje akumulaci fosfátů. Nedostatek vody sníží příjem fosforu a jeho koncentrace v xylémovém exudátu se vyrovná vnějšímu prostředí a následkem stresu způsobeným nedostatkem vody nedochází k aktivnímu transportu fosfátů do cytoplazmy. Při těchto podmínkách se fosfor přijímá pasivně (Michalík, 2001).

4.2.3 Absorpce a transport fosforu

Pro přijímání živin, hlavně pro ionty dusíku a fosfátové ionty, je charakteristická selektivita a genetická podmíněnost. Z kvantitativního hlediska je příjem živin závislý na několika faktorech- struktuře a uspořádání pletiva kořene, metabolické aktivitě kořenového systému a ekologických podmínkách. Soustavným růstem kořenů se zvětšuje adsorpční povrch a tím se nepřetržitě tvoří další podmínky k přijímání živin z následujících prostorů v půdě. Vzhledem k velkému množství faktorů (heterogenita pletiv a buněk kořenového systému, rozdílné funkce jednotlivých iontů, konkrétní agroekologické podmínky atd.) není možné definovat univerzální mechanismus příjmu iontů, který by zohlednil veškeré faktory. Vzhledem k různým koncentracím iontů v půdě se kořeny musí přizpůsobovat změnou režimu jejich příjmu (Michalík, 2001).

4.3 Cesty k preciznější aplikaci fosforu

Technologické postupy hnojení zahrnují pracovní postupy, systémy hojení a stroje k realizaci těchto systémů. Systém hnojení je komplex opatření pro zajištění výživy rostlin v daném období. V každém podniku se vypracuje v rámci osevního postupu požadavek jednotlivých plodin na přísun živin na základě jejich spotřeby pro požadovanou ekologicko-výrobní hladinu. Pro volbu systému a intenzity hnojení jsou vedle požadavků plodin v osevním postupu a jejich dosahované produkce důležité další faktory jako například půdní a klimatické podmínky a úroveň agrotechniky (Kovaříček *et al.*, 1998).

Správné hnojení fosforem by mělo brát v úvahu rozdílnost pěstitelských systémů (konvenční zpracování půdy, minimalizační zpracování půdy či bez zpracování půdy). Ideální systém hnojení používá vhodné zdroje fosforu, aplikační dávky, vhodný čas a bere v úvahu půdní úrodnost. Cílem používání nejen fosforečných hnojiv by měla být optimalizace rostlinné produkce bez dopadu na životní prostředí (Chien *et al.*, 2011).

4.3.1 Běžné postupy

Rozmetadla průmyslových hnojiv, která se u nás používala dříve, měla dopravní charakter např. automobilní. Po roce 1990 se u nás prodávají převážně nesená rozmetadla. Je to projev výrazného omezení intenzity hnojení, zlepšení fyzikálních vlastností hnojiv. Tento trend však neodpovídá velikostní skladbě pozemků v našem zemědělství. Trend zvýšeného zastoupení nesených odstředivých rozmetadel může mít v následujících obdobích negativní důsledky. Pokud se zvýší intenzita hnojení a tím i hektarové dávky aplikovaných hnojiv, musíme počítat s jejich omezeným využitím na delších pozemcích a při velkých pracovních záběrech. Stejně by v našich podmínkách bylo iluzorní předpokládat využití neseného rozmetadla v progresivních přístupech hnojení, jako je aplikace hnojiv mísených jak ve stabilním zařízení, tak i ve vícekomorovém rozmetadle (Kovaříček *et al.*, 1998).

4.3.2 Lokální aplikace

Předpokladem k zabezpečení vysokých výnosů kukuřice je důležité vytvoření mohutného kořenového systému, který je schopen dostatečně zásobit rostlinu během vegetace vodou a živinami. Zemědělská praxe usilovně hledá možnosti jak řešit hnojení kukuřice fosforem. Jedno z východisek je aplikace fosforu pod patu zvláště na půdách s jeho nízkou zásobou. Tento systém nabízí mnoho předností, ale na druhé straně se nesmí zapomínat, že

kukuřice fosfor odčerpává během celé vegetace z celého půdního profilu, všude tam, kde je schopná zakořenit.

Z výsledků pokusů je patrné, že v prvních fázích růstu (do 7. – 8. listu) byl obsah fosforu v sušině rostlin hnojených amofosem pod patu vyšší ve srovnání s plošnou aplikací. To znamená, že rostliny v této růstové fázi pozitivně reagovaly na přítomnost hnojiva aplikovaného cíleně pod patu. V pozdějších růstových fázích se rozdíly v obsahu fosforu v rostlinách vyrovnávají a aplikace hnojiva k patě nemá na obsah tohoto prvku v rostlinách prakticky žádný vliv. Z toho je patrné, že kořenový systém odebírá fosfor z celého půdního profilu. Proto je v pro pozdější růstové fáze velmi důležité dostatečné a rovnoměrné vyhnojení celého půdního profilu fosforem. Z výše uvedených výsledků je patrné, že se jednoznačně nedá tvrdit, že hnojení fosforem pod patu zabezpečí optimální výživu a nejvyšší výnosy. Orientace pouze na tuto formu hnojení je proto problematická a je třeba ji chápat jako doplňující agrotechnický zákrok, který příznivě ovlivňuje počáteční růstové fáze kukuřice. I nadále je potřeba věnovat pozornost základnímu hnojení fosforu na plochu, které zabezpečí dobré zásobení fosforem v půdním profilu (Kulovaná, 2002).

Vedle cíleného zpracování půdy má významný vliv na efektivitu hospodaření i cílené ukládání hnojiva do depa v půdě. V Německu se u mnoha zemědělců se plošné hnojení fosforem považuje za hazard a vážně se hovoří o tom, že v blízké budoucnosti (snad už do 5 let, podle tempa jeho zdražování) se způsob jeho aplikace začne administrativně korigovat. Jedním z důvodů je i to, že například v Brazílii dodávají do půdy při pěstování sóji po sóji až 0,3 t/ha Amofosu, aby dosáhli potřebný výnos. Nahrazení tradičního plošného hnojení metodami hnojení do depa s sebou přináší několik důležitých předností:

- Kořeny rostlin obklopují depa a postupně z něj odebírají živiny.
- Oproti plošnému hnojení se na půdní koloidy váže výrazně menší část draslíku, než při plošném hnojení.
- Amonný dusík zde pomaleji nitrifikuje, a tudíž nehrozí jeho vyplavení do spodních vod.
- Rostliny „rychleji“ najdou fosfor, který potřebují pro počáteční růst kořenů.
- Ve spojení s GPS navigací na traktoru můžeme v závislosti na pěstované plodině a povětrnostních podmínkách ukládat hnojivo precizně do depa v celém profilu ornice a vždy na potřebné místo.

Tímto způsobem lze řešit i případný problém s ochuzením podorničí o některé živiny vlivem vynechání orby. Na některých půdách tak mohou po několika letech v podorničí chybět především méně pohyblivé živiny, například fosfor (Šabatka, 2011).

4.4 Běžně používaná fosforečná hnojiva

4.4.1 Superfosfát granulovaný jednoduchý (SP)

Dodává se ve formě šedých a šedohnědých granulí o velikosti 1 - 6,3 mm. Charakteristický je typický nakyslý zápach. Obsahuje 17- 19 % P_2O_5 (7,5- 8,5 % fosforu), 20 % vápníku a 10 % síry. Jedná se o hnojivo s vysokým obsahem balastní sádry. Pokud je v půdě nedostatek síry, tak je vhodným hnojivem. Převážná část fosforu je zde ve vodorozpustné formě, proto je lehce přístupné pro rostliny.

Superfosfáty jsou univerzálními hnojivy pro všechny rostliny při předseťové přípravě. Na půdách, které jsou dobře zásobené fosforem a se slabě kyselou až neutrální půdní reakcí je možná jejich aplikace i před orbou nebo podmítkou. Proti tomu na půdách chudých na fosfor je úspěšné lokální zapravení fosforu do blízkosti osiva (např. hnojení pod patu při setí). Účinnost fosforu v superfosfátu je možné zvýšit kombinací s organickým hnojením. Superfosfáty by se zásadně neměly aplikovat na pozemky s výrazně kyselou půdní reakcí, protože vodorozpustný fosfor zde poměrně rychle přechází na formy, které jsou pro rostliny málo přijatelné (Vaněk *et al.*, 1998).

4.4.2 Superfosfát granulovaný trojitý (TSP)

Vyrábí se rozkladem surových fosfátů kyselinou fosforečnou, díky které odpadá tvorba sádry, která snižuje obsah fosforu v jednoduchém superfosfátu.

Trojitý superfosfát obsahuje 45-48 % P_2O_5 (20- 21 % fosforu). Téměř veškerý fosfor je vodorozpustný a má stejné použití jako jednoduchý superfosfát (Vaněk *et al.*, 1998).

4.4.3 Hyperkorn + magnezium (HFP)

Hnojivo obsahuje 26 % P_2O_5 (11,5 % fosforu) a 3 % MgO (1,8 % hořčíku). Výroba probíhá mletím měkkých fosfátů a poté se granuluje. Kromě fosforu obsahuje i celou řadu dalších doprovodných živin (zinek, bór, molybden, mangan) a dále minimálně 36 % vápníku. Toto hnojivo obsahuje malé množství lehčeji rozpustného fosforu, proto je uvolňování fosforu do půdy a pro rostliny velmi pozvolné. Je velice vhodný do kyselých půd s pH nižším než 5,5. Využití fosforu se možné zvýšit kombinací s organickým hnojením (Vaněk *et al.*, 1998).

4.4.4 Hyperfosfát (HP)

Výroba probíhá mletím měkkých fosfátů. Hnojivo obsahuje minimálně 12,8 % fosforu a 1,8 % hořčíku. Účinnost fosforu je dána hlavně jemností mletí - čím jemnější, tím účinnější. Vysoká jemnost hnojiva ale velmi komplikuje jeho aplikaci. Ostatní balastní prvky jsou stejné jako u Hyperkornu. Obdobné je i tady jeho použití. Vzhledem k jeho těžce rozpustné formě fosforu je možné využití při zásobním hnojení vytrvalých kultur, popřípadě u plodin s dobrou osvojecí schopností jako jsou jeteloviny nebo luskoviny (Vaněk *et al.*, 1998).

4.5 Využití odpadů obsahujících fosfor

4.5.1 Kaly z čistíren odpadních vod

Čistírenské kaly jsou látky velmi rozmanitého složení. Heterogenní povaha je dána jednak jejich původem, odlišnostmi v technologických postupech čištění a případně obdobím produkce kalů. Kaly ze stejné čistírny odpadních vod často vykazují poměrně stabilní obsahy některých živin, organické hmoty a sušiny. Ve vztahu k bilanci živin v půdě je nutné znát složení kalů. Z pohledu využití kalů jako hnojiva je důležitý zejména obsah rostlinných živin. Kaly jsou zdrojem důležitých makroprvků, především dusíku, fosforu a síry.

Souhrnné studie uvádějí ve většině případů příznivý vliv na chemické, fyzikální i biologické půdní vlastnosti. Při hnojení čistírenskými kaly je často popisováno mírné zvýšení hodnoty pH, přestože mineralizační procesy organické hmoty a přeměny některých živin (dusík, síra) spíše předpokládá pokles pH půdy.

Organická hmota dodávaná v kalech do půdy přispívá ke zlepšení vlastností půdy, jako jsou objemová hmotnost, pórovitost a tím související vodní režim půdy.

Použití čistírenských kalů jako hnojiva umožňuje recyklaci cenných složek, jako je organická hmota, dusík, fosfor a další živiny (Černý *et al.*, 2014).

4.5.2 Digestát z bioplynových stanic

Mezi suroviny, které se zpracovávají v bioplynových stanicích, patří biomasa rostlinného nebo živočišného původu, tj. biologicky rozložitelný odpad. Fermentační zbytek-digestát se v současné době uplatňuje jako hnojivo v rostlinné výrobě, popřípadě po separaci jako tuhá složka k výrobě kompostů. Z agrochemického hlediska se jeví jako zásadní problém malé množství lehce rozložitelných organických látek v digestátu. Proces fermentace je spojen s velkými ztrátami organického uhlíku, kdy 24 - 95 % sušiny organických látek je

transformováno do metanu. Přestože je digestát definován podle vyhlášky jako organické hnojivo, svým složením a vlastnostmi se blíží spíše kombinovaným minerálním hnojivům. Při porovnání jednotlivých skupin digestátů odlišných podle zastoupení kofermentů je patrné, že na organické látky a rostlinné živiny jsou nejchudší digestáty, které pocházejí jen ze samotné kejdy mladého skotu. Naopak nejbohatší digestáty byly získány ze směsí siláže pícnin a kejdy skotu, která byla zastoupena významným podílem tak, že nebylo nutné směs kofermentů nijak ředit další vodnatou tekutinou. Při použití řidší kejdy prasat do směsi s pící byl výsledný digestát chudší na organické látky a živiny oproti digestátu z píce a kejdy skotu.

Digestát z bioplynových stanic je hnojivo které se svým složením a účinky spíše blíží kombinovaným minerálním hnojivům, přičemž aplikací na zemědělskou půdu podle zásad správné zemědělské praxe dosahuje požadovaný účinek z pohledu harmonické výživy a výnosu polních plodin. Digestát je zdrojem dalších živin, které při úspěšné eliminaci potenciaálních rizik mohou napomoci produkční účinnosti půd v podmínkách trvale udržitelného zemědělství (Dostál *et al.*, 2014).

4.5.3 Popel z biomasy

Nejdůležitějšími zdroji biomasy pro produkci energie jsou dřevo a dřevní odpad (64 %), biologicky rozložitelný komunální odpad (24 %), zemědělské plodiny a odpad z jejich zpracování (5 %), gastroodpad, živočišné zbytky, vodní rostliny, řasy a další. Většina (více než 97 %) světové energie z obnovitelných zdrojů pochází ze spalování biomasy. Produkce popela (476 milionů tun) z obnovitelných zdrojů tvoří 60 % produkce popela ze spalování uhlí.

Podobně jako podíl popela, tak i obsahy jednotlivých živin jsou významně ovlivněny tím, odkud biomasa pochází, druhem rostliny, popřípadě její částí. Dřevo a kůra jsou bohaté na vápník, popele ze slámy a obilovin jsou bohaté na draslík. Důsledkem vysokého obsahu oxidu vápenatého je vysoká hodnota pH, která vede k úvahám o využití tohoto materiálu k úpravě půdní reakce. Fosfor a hořčík jsou v popelech zastoupeny zpravidla mezi 1- 2 % a ačkoli nejsou v popelech ze spalování biomasy zastoupeny tak výrazně jako vápník nebo draslík, jedná se o cenné živiny, kterých je v našich půdách nedostatek, a proto bychom měli maximalizovat jejich navrácení do ekosystému (Ochecová *et al.*, 2014).

4.6 Bioefektory

Potřeba zvýšit intenzitu zemědělské produkce se v průběhu posledních šedesáti let projevila masivním používáním minerálních hnojiv. Je tedy potřeba nalézt alternativní strategie pro výživu rostlin. Jednou z možností alternativních strategií je použití tzv. bioefektorů, což jsou preparáty, které obsahují mikroorganismy (bakterie, houby) a aktivní přírodní sloučeniny (výluhy z půdy nebo kompostu, mikrobiální zbytky, rostlinné výtažky, namletá rostlinná hmota nebo řasy a další). Bioefektory jsou vyvíjeny pro široké spektrum plodin. Jejich efektivita spočívá v zabudování živin z hůře přístupných forem fosforu obsažených ve fosforečných hnojivech, protože převážná část celkového fosforu v půdách je pro rostliny v nepřijatelné formě. Hlavními principy účinnosti bio-efektorů pro zvýšení přístupnosti živin jsou: podpora růstu kořenů, ovlivnění procesů v rhizosféře a činnosti mikroorganismů (Holečková *et al.*, 2014).

Bioefektory mikrobiálního charakteru jsou tvořeny převážně definovanými řetězci hub *Trichodermy*, *Penicillium* a *Sebacinales*, a bakteriemi rodu *Bacillus* a *Pseudomonades* u kterých byl přesně charakterizován potenciál pro rozvoj kořenů stejně jako potenciál usnadňující rozpouštění živin ze stabilních matric. Dále do skupiny bioefektorů patří výluhy z mořských řas a rostlin, suchozemských rostlin, z kompostů a vermikompostů, stejně jako separované aktivní látky z těchto materiálů. Získané aktivní výluhy jsou využívány selektivně i ve vhodných kombinacích. Cílem jejich využití jsou možnosti zvýšení přístupnosti živin rostlinám popřípadě zlepšení jejich zdravotního stavu a zároveň šetrné zemědělství k životnímu prostředí a omezení vstupů agrochemikálií do prostředí (Anonym, 2016a).

4.6.1 *Bacillus amyloliquefaciens*

B. amyloliquefaciens, kultivační médium a voda jsou součástí komerčně prodáváného přípravku RhizoVital. Spóry klíčí v kontaktu s rostoucími kořeny rostlin, které kolonizují, pokud je dostatečná vlhkost půdy a teplota přibližně 10 °C a vyšší. Jedná se o nepatogenní bakterie vyskytující se přirozeně v půdě. Některé kmeny rodu *Bacillus* jsou jasně definovány jako přírodní a geneticky modifikované kmeny *B. amyloliquefaciens*, které jsou vybrány z různých kmenů, neboť široké spektrum jejich aktivity se používá pro stimulaci růstu rostlin. Látky produkované *Bacillus amyloliquefaciens* (kmen FZB42) stimulují růst rostliny, zvyšují výnos a odolnost rostlin vůči stresu a patogenům.

RhizoVital je tekutý přípravek na vodní bázi obsahující živé spóry 2.5×10^{10} cfu/g (jednotek tvořících kolonie na gram kultury) a 20 % konzervačních látek. Při používání lze

pozorovat následující účinky: lepší klíčivost, lepší zakořenění rostlin, vyšší výnosy a výšku rostlin, rychlejší dozrávání, vyšší vitalitu rostlin, vyšší toleranci vůči stresu, sníženou intenzitu a četnost onemocnění. Tato formulace je určena pro použití do půdy, přípravek není vhodný pro aplikaci na list. Tento produkt doporučují výrobci pro pěstování zeleniny (rajčata, okurky, salát, mrkev, zelí, tuřín), okrasných plodin, ale také ostatních plodin (Anonym, 2007). Priest *et al.*, (1987) uvádí, že k růstu této bakterie dochází v teplotním rozmezí 15 - 50 °C, optimální teplota je 30 - 40 °C.

Anonym (2013) uvádí, že po aplikaci bakterie jsou kolonizovány mladé rostoucí kořeny. Dodané mikroorganismy následně soutěží s půdními patogeny a kromě toho také bakterie uvolňují hormony, které stimulují růst rostlin a látky zlepšující dostupnost živin pro rostliny. Aplikace je doporučena téměř k jakékoliv plodině. Díky dobré mísitelnosti s jinými prostředky na ochranu rostlin a hnojiv umožňuje kombinaci s téměř všemi aplikačními procesy. Produkt může být aplikován v rámci: ošetření osiva, máčení kořenů, míchání s půdou, aplikace na povrch půdy, injektážně do hydroponických systémů, ale také v kombinaci s jinými pesticidy nebo hnojivy.

RhizoVital 42 přirozeně zvyšuje aktivitu ostatních půdních mikroorganismů, podporuje růst rostlin a jejich odolnost vůči patogenům. Spóry půdní bakterie svým působením zvyšují konkurenční prostředí pro patogeny. Při zapravení do půdy začnou spóry klíčit a kolonizují nové kořínky. Bakterie uvolňují hormony, které stimulují růst rostlin a zvýšení příjmu živin a následně zvýšení výnosů. RhizoVital pomáhá vybudovat zdravý a silný kořenový systém (Anonym, 2016b).

4.6.2 *Paenibacillus mucilaginosus*

Paenibacillus mucilaginosus je bakterie, která se již od roku 1990 široce využívá v zemědělství jako biologické hnojivo. Tato bakterie je součástí biogeochemického cyklu draslíku, fosforu a jiných prvků. Je schopna degradovat nerozpustné půdní minerály s výsledným uvolněním makroprvků (draslíku a ve vodě rozpustného fosforu), užitečných pro rostliny. *P. mucilaginosus* se ale také využívá během čištění odpadních vod (Lu *et al.*, 2014; Tang *et al.*, 2014; Lu *et al.*, 2013; Ma *et al.*, 2012). Ma *et al.* (2012) uvádí, že v chromozomu této bakterie bylo detekováno mnoho esenciálních genů, které se týkají metabolismu dusíku, fosforu a draslíku. Lu *et al.* (2014) publikuje fakt, že *P. mucilaginosus* je často využíván v biologických hnojivech pro jeho schopnost mineralizace fosforu a draslíku a také pro schopnost fixace dusíku. Některé kmeny mají schopnosti antagonistické nebo naopak podporují růst rostlin. Na základě uvedených

vlastností byly přípravky obsahující tuto bakterii úspěšně použity jako biologické hnojivo při pěstování tabáku, rajčat, podzemnice olejné.

4.7 Stručná charakteristika hnojení kukuřice

4.7.1 Nároky na živiny

Kukuřice vytváří mohutný kořenový systém, proto dokáže využívat živiny i z hlubších půdních vrstev. Hloubka půdního profilu, odkud dochází k odběru živin, se během vegetace mění. Rovnoměrným rozvrstvením živin do půdního profilu omezíme lokální zvýšení osmotického tlaku, a tím příznivě ovlivníme příjem živin a zároveň podpoříme rozvoj kořenového systému. Nedostatečný vertikální pohyb živin z orniční vrstvy vede ke zvýšení koncentrace solí, která obzvláště v suchých obdobích rostliny stresuje.

Počátek vegetace je u kukuřice charakterizován velmi pomalým růstem a také nízkým odběrem živin. V prvním měsíci svého růstu odčerpá z jednoho hektaru 3,3- 5,6 kg dusíku. Před mléčnou zralostí toto množství dusíku přijme za jeden den. Při výšce porostu přibližně 0,45 m a hmotnosti sušiny jedné rostliny kolem 50 g bylo již odčerpáno 132 kg N; 15,4 kg P; 184 kg K; 17,6 kg Ca; a 10,1 kg Mg. Před objevením laty přijme rostlina až 75 % všech živin.

Odběr fosforu představuje u kukuřice téměř přímku s mírným nárůstem až do sklizně. Avšak i u této živiny jsou dvě kritická období. K prvnímu dochází na počátku růstu, kdy se začíná tvořit kořenový systém. Na půdách, které mají nízkou zásobu fosforu, může docházet k hyperchlorofylaci rostlin (červenofialové zbarvení stonku až celé rostliny). K tomuto jevu dochází v důsledku omezeného příjmu fosforu v důsledku nízkých teplot vzduchu (do 10°C). Z tohoto důvodu se doporučuje startovací hnojení fosforem nebo hnojení pod patu při setí. Druhé kritické období nastává v době tvorby laty až kvetení. Pro kukuřici je zvláště výhodné, aby do té doby přijala dostatek fosforu, protože poté následuje jeho translokace do palic a zrna. Tento požadavek bude méně významný na půdách s dobrou zásobou přístupného fosforu v půdě a příznivými vlhkostními podmínkami.

Vedle základních živin se v řadě států EU doporučuje hnojení sírou. Její nezbytnost je zdůvodněná tvorbou siřných aminokyselin, které jsou nezbytné pro syntézu bílkovin. Proteosyntézou se zajišťuje harmonický vývoj a růst. Důležitou součástí řady metabolických procesů je také hořčík, který je nezbytný pro tvorbu chlorofylu a zabudovávání dusíku do aminokyselin (Zimolka *et al.*, 2008).

4.7.1.1 Nároky na fosfor

Nedostatek fosforu se projevuje v počátečních fázích nenápadně. U rostlin dochází k omezení rozvoje kořenů a dochází k omezení intenzity růstu nadzemní fytomasy. Je-li obsah nižší než 0,4 % fosforu v sušině, deficit se velmi negativně projevuje do růstu a vývoje rostliny. Zpočátku se antokyanové zbarvení projevuje na špičkách a okrajích listů. Při výraznějším nedostatku se červenofialové zbarvení projevuje na stéblech a celých listech. Omezený příjem fosforu může být způsoben také stresovými podmínkami (sucho, nízká teplota aj.), které výrazně ovlivňují jeho příjem na počátku vegetace (Zimolka *et al.*, 2008).

5 Metodika

Nádobový pokus s kukuřicí (odráda *Colisée*) byl založen 24. 4. 2015. V 0,5 litrových nádobách bylo testováno 10 bioefektorů. Celý pokus byl realizován v řízených podmínkách skleníků ČZU. Každá varianta byla realizována ve čtyřech opakováních. Do každé nádoby bylo naváženo 538 g čerstvé zeminy (odpovídá 500 g suché) o zrnitosti ≤ 5 mm. Použitá půda pochází z lokality Bubnov (okres Žamberk) – 50°08'39,10'' N; 16°30'53,37'' E. Tato hlinito-písčité kambizem je chudá na fosfor a je zde pouze 22 mg P/kg (stanoveno metodou Mehlich 3). Velmi nízký obsah přístupného P je přitom dle této metody charakterizován jako hodnota nepřesahující 50 mg P/kg. Bližší charakteristika stanoviště je znázorněna v tabulce 1.

Tabulka 1. Charakteristika půdy odebrané ze stanoviště Bubnov

pH (0,01 M CaCl ₂)	Obsah prvků (Mehlich 3) v mg/kg									
	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Zn	Mn	B
5,2	22	60	1419	28	10	178	1,12	1,84	70	<0,03

Spolu s kontrolní nehnojenou variantou byly bioefektory aplikovány rovněž v kombinaci s hnojivy s obtížně přístupným fosforem (slámový popel, dřevěný popel, čistírenský kal, torefikovaný čistírenský kal, tuhá frakce digestátu, mletý fosfát). Ke všem variantám bylo aplikováno stejné množství dusíku ve formě dusičnanu amonného (DA) (0,05 g N/nádobu) přičemž do dávky dusíku bylo započteno i množství aplikované v hnojivech. Charakteristika hnojiv a jejich množství přidané na jednu nádobu je uvedena v tabulce 2.

Tabulka 2. Celkové obsahy N a P v hnojivech a jejich dávky na nádobu

Varianta	Obsah prvků		Dávka hnojiv g/500 g půdy	Přidáno N N (mg/500 g půdy)
	P (mg/kg)	N (mg/kg)		
Slámový popel	13610	0	0,882	50,000
Dřevěný popel	10194	0	1,177	50,000
Čistírenský kal	25053	34500	0,479	33,475
Torefikovaný č.k.	13250	30500	0,906	22,372
Separovaný digestát	4651	19500	2,580	0,000
Mletý fosfát	116000	0	0,103	50,000

Dávka fosforu v dodaných hnojivech byla vypočtena vždy na 0,012 g P na nádobu. Ke kontrole fosfor přidáván nebyl. Do nádob byly zasety vždy 4 semena kukuřice. Jednocení ze čtyř na dvě rostliny na nádobu proběhlo 30. 4. 2015. Přesný harmonogram pokusu je popsán níže. Zalévání bylo realizováno dle hmotnosti nádob na 60 % celkové vlhkosti zeminy. Během trvání nádobového pokusu byla měřena výška rostlin, a také byla vizuálně hodnocena deficiencie živin a případný výskyt chorob. Po sklizni byla u jednotlivých variant stanovena hmotnost nadzemní biomasy. Ta byla následně usušena, jemně namleta a analyzována.

Harmonogram pokusu:

- 22.4. Smíchání jemně namletých hnojiv se zeminou
- 23.4. Setí kukuřice a aplikace roztoku s bioefektory
- 24.4. Vlastní založení – zalití na 60% vlhkost
- 30.4. Jednocení na finální počet 2 rostlin
- 05.5. Hnojení dusíkem a první randomizace
- 05.5. Druhá randomizace
- 06.5. První měření výšky rostlin
- 15.5. Třetí randomizace
- 27.5. Druhé měření výšky rostlin a čtvrtá randomizace
- 10.6. Sklizeň pokusu

Pro účely této bakalářské práce byla hodnocena kontrolní nehnojená varianta ve srovnání s bioefektory RhizoVital 42 (*Bacillus amyloliquefaciens*, kmen FZB42) a RhizoVital 45 (*Bacillus amyloliquefaciens*, kmen FZB45) (oba od ABiTEP, GmbH; Berlín, Německo). U vybraných variant byla zvolena kombinace 2 bioefektorů RhizoVital 42 (*Bacillus amyloliquefaciens*, kmen FZB42) a MUCI (*Paenibacillus mucilaginosus*, kmen JX-1; ABiTEP, GmbH; Berlín, Německo), která by měla vést k výraznějšímu zvýšení mobility P. Dávkování obou bioefektorů bylo realizováno dle pokynů distributora následující:

- RhizoVital 42 – 0,035 ml na nádobu namícháno v zásobním roztoku (20 ml na nádobu)
- RhizoVital 45 – 0,035 ml na nádobu v zásobním roztoku (20 ml na nádobu)
- RhizoVital 42 + MUCI - 0,035 ml RhizoVital 42 na nádobu a 5 ml MUCI na nádobu. Spolu v zásobním roztoku (20 ml na nádobu)

5.1 Analytická stanovení

5.1.1 Rozbor půdy - Stanovení fosforu metodou Mehlich 3

Vzorek pro stanovení P metodou Mehlich 3 byl připraven následujícím postupem. Byl použit extrakční roztok dle Mehlich (1984) složený z CH_3COOH ($c=0,2 \text{ mol.l}^{-1}$), NH_4F ($c=0,015 \text{ mol.l}^{-1}$), HNO_3 ($c=0,013 \text{ mol.l}^{-1}$), NH_4NO_3 ($c=0,25 \text{ mol.l}^{-1}$) a EDTA ($c=0,001 \text{ mol.l}^{-1}$). 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 na obsah fosforečnanů. Obsah fosforečnanů byl opět měřen pomocí optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES, Varian, VistaPro, Austrálie, dále jen ICP-OES).

5.1.2 Rozbor rostlin – 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 plotýnku a překryty hodinovými skličky. Teplota plotýnek 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 $350 \text{ }^\circ\text{C}$. Dále sejmeme sklička kádinky, přemístíme do teflonové pece, kde jsou přibližně 14 hodin. Po vyndání z pece přidáme do kádinek 1 ml 65 % HNO_3 . Kádinky necháme při $120 \text{ }^\circ\text{C}$ 1 hodinu odpařovat, a následně je přendáme do teflonové pece, kde je necháme 1 hodinu dovypálit při teplotě $500 \text{ }^\circ\text{C}$. Po vyjmutí z pece a vychladnutí převedeme vzorek do roztoku pomocí 1,5 % HNO_3 a ultrazvuku. Roztok je přelit do 20 ml zkumavky a po rysku doplněn 1,5 % HNO_3 . Po promíchání je vzorek připraven pro měření pomocí optické emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES, Varian, VistaPro, Austrálie) (upraveno dle Mader *et al.*, 1998).

5.1.3 Statistické vyhodnocení pokusu

Všechny výsledky budou nejprve podrobeny základním testům na normalitu rozdělení. Pokud budou parametry normalitu rozdělení splňovat, bude provedena pokročilejší analýza variance ANOVA. K hodnocení bude využit statistický software STATISTICA 12.0 (Statsoft inc., 2013)

6 Výsledky

6.1 Hodnocení variant dle dodaných bioefektorů

V tabulce 3. jsou uvedeny základní charakteristiky rostlin z hlediska účinnosti bioefektorů bez použití hnojiv. Průměrná výška rostlin 6. 5. 2015 se pohybovala v rozmezí 20,1 – 22,9 cm. Nejnížší výšky dosáhly rostliny s přidáním RhizoVitalu 42 + MUCI, nejvyšší byly rostliny s přidáním RhizoVitalu 42. Rozmezí průměrných výšek rostlin 27. 5. 2015 bylo od 64,4 – 69,6 cm. Nejnížší výšky opět dosáhly rostliny s přidáním RhizoVitalu 42 + MUCI, nejvyšší s RhizoVitalem 45. Hmotnost čerstvé hmoty (12,1 – 13,4 g) byla nejnížší také u RhizoVitalu + MUCI, nejvyšší u RhizoVitalu 45. Nejnížší hodnota sušiny (1,43 g) byla zjištěna opět u RhizoVitalu 42 + MUCI, nejvyšší u kontrolní varianty (1,75 g). Procento sušiny (11,6 – 13,9 %) bylo nejnížší u RhizoVitalu 45, nejvyšší u kontrolní varianty. Žádné z těchto hodnot nebyly statisticky významné.

Tabulka 3. Hodnocení účinnosti bioefektorů na nehojené půdě

Varianta	Výška rostlin (cm)		11. 6. 2015		
	6. 5. 2015	27. 5. 2015	Čerstvá hmoty (g)	Sušina (g)	% sušiny
	Průměr	Průměr	2 rostliny	2 rostliny	2 rostliny
Kontrola	22,8 ^a	69,1 ^a	12,7 ^a	1,75 ^a	13,9 ^a
RhizoVital 42	22,4 ^a	66,1 ^a	12,8 ^a	1,62 ^a	12,7 ^a
RhizoVital 45	22,9 ^a	69,6 ^a	13,4 ^a	1,56 ^a	11,6 ^a
RV42 + MUCI	20,1 ^a	64,4 ^a	12,1 ^a	1,43 ^a	11,8 ^a
F-test	1,08	1,15	0,69	0,97	0,76
Hladina významnosti	ns	ns	ns	ns	ns

V tabulce 4. je hodnocena účinnost bioefektorů v kombinaci se slámovým popelem. Nejnížší výška rostlin 6. 5. 2015 byla naměřena u RhizoVitalu 42 (23,1 cm), nejvyšší u RhizoVitalu 45 (26,3 cm). Naopak nejnížší výška rostlin 27. 5. 2015 byla naměřena u RhizoVitalu 45 (74,5 cm), nejvyšší u RhizoVitalu 42 (77,4 cm). Rozmezí hodnot čerstvé hmotnosti se pohybovalo 20,7 – 22,7 g. Nejvyšší hodnota byla u RhizoVitalu 45, nejnížší u RhizoVitalu 42. Též hmotnost sušiny byla statisticky neprůkazná (nejvyšší 2,99 g u RhizoVitalu 42, nejnížší 2,73 u RhizoVitalu 45). Statisticky průkazný rozdíl byl zjištěn pouze u procenta sušiny. Jeho hodnota se pohybovala v rozmezí 12,0 – 14,4 % s tím, že hodnota u

RhizoVitalu 42 byla průkazně vyšší ve srovnání s RhizoVitelem 45. Kontrola se od obou bioefektorů průkazně nelišila.

Tabulka 4. Hodnocení účinnosti bioefektorů v půdách se slámovým popelem

Varianty	Výška rostlin (cm)		11. 6. 2015		
	6. 5. 2015	27. 5. 2015	Čerstvá hmota (g)	Sušina (g)	% sušiny
	Průměr	Průměr	2 rostliny	2 rostliny	2 rostliny
Kontrola	24,1 ^a	76,5 ^a	21,6 ^a	2,97 ^a	13,8 ^{ab}
RhizoVital 42	23,1 ^a	77,4 ^a	20,7 ^a	2,99 ^a	14,4 ^a
RhizoVital 45	26,3 ^a	74,5 ^a	22,7 ^a	2,73 ^a	12,0 ^b
F-test	1,6	1,21	1,11	0,96	6,92
Hladina významnosti	ns	ns	ns	ns	0,05

V tabulce 5. je uvedena účinnost bioefektorů v kombinaci s dřevěným popelem. Hodnota průměrné výšky 6. 5. 2015 se pohybovala v rozmezí 21,1 – 25,3 cm. Statisticky průkazně nejvyšší hodnoty dosáhly shodně varianty RhizoVital 42 i 45, a to ve srovnání s nejnižší hodnotou u RhizoVital 42 + MUCI. Statisticky nevýznamné rozmezí hodnot výšky 27. 5. 2015 se pohybovalo od 66,3 do 72,8 cm. Statisticky průkazná nejvyšší hmotnost čerstvé hmoty byla zjištěna u RhizoVitalu 45 (19,4 g), nejnižší (14,9 g) u kontrolních rostlin bez bioefektoru. Rozmezí hmotnosti sušiny (2,02 – 2,31 g) a procenta sušiny (11,7 – 13,6 %) bylo mezi variantami statisticky nevýznamné.

Tabulka 5. Hodnocení účinnosti bioefektorů v půdách s dřevěným popelem

Varianty	Výška rostlin (cm)		11. 6. 2015		
	6. 5. 2015	27. 5. 2015	Čerstvá hmota (g)	Sušina (g)	% sušiny
	Průměr	Průměr	2 rostliny	2 rostliny	2 rostliny
Kontrola	21,8 ^{ab}	66,3 ^a	14,9 ^a	2,02 ^a	13,6 ^a
RhizoVital 42	25,3 ^a	71,8 ^a	17,3 ^{ab}	2,25 ^a	13,0 ^a
RhizoVital 45	25,3 ^a	72,8 ^a	19,4 ^b	2,31 ^a	11,8 ^a
RV42 + MUCI	21,1 ^b	70,8 ^a	17,4 ^{ab}	2,05 ^a	11,7 ^a
F-test	6,06	1,08	4,20	1,64	1,62
Hladina významnosti	0,01	ns	0,05	ns	ns

V tabulce 6. je hodnocena účinnost bioefektorů v kombinaci s čistírenskými kaly. Statisticky průkazně nejvyšší výšky rostlin 6. 5. 2015 dosáhla kontrolní varianta bez bioefektorů (26,0 cm), nejnižší RhizoVital + MUCI (21,1 cm). Aplikací bioefektorů došlo ke

snížení ve všech případech a průkazně aplikací RhizoVitalu 42 + MUCI. Hodnota výšky rostlin 27. 5. 2015 se pohybovala v rozmezí 66,4 – 75,3 cm. Nejvyšší hodnoty dosáhla kontrolní varianta, nejnižší RhizoVital 42. Statisticky průkazně nejvyšší hmotnost čerstvé hmoty vykazovala varianta RhizoVital 45 (18,0 g), nejnižší pak kontrolní rostlina. Nejvyšší hmotnost sušiny měla však kontrolní rostlina (2,55 g) a nejnižší RhizoVital + MUCI (1,9 g). Nejvyšší procento sušiny dosáhla kontrolní varianta (19,6 %), nejnižší pak varianta RhizoVital 45 (12,4 %).

Tabulka 6. Hodnocení účinnosti bioefektorů půdách s čistírenskými kaly

Varianty	Výška rostlin (cm)		11. 6. 2015		
	6. 5. 2015	27. 5. 2015	Čerstvá hmotá (g)	Sušina (g)	% sušiny
	Průměr	Průměr	2 rostliny	2 rostliny	2 rostliny
Kontrola	26,0 ^a	75,3 ^a	13,0 ^a	2,55 ^a	19,6 ^a
RhizoVital 42	23,3 ^{ab}	66,4 ^a	15,4 ^{ab}	2,29 ^{ab}	14,8 ^b
RhizoVital 45	25,7 ^a	71,1 ^a	18,0 ^b	2,23 ^{ab}	12,4 ^c
RV 42 + MUCI	21,1 ^b	68,6 ^a	14,6 ^{ab}	1,90 ^b	12,9 ^c
F-test	6,89	3,02	6,40	3,98	95,50
Hladina významnosti	0,01	ns	0,01	0,05	0,01

V tabulce 7. je uvedeno hodnocení účinnosti bioefektorů v kombinaci s torefikovanými čistírenskými kaly. Rozmezí hodnot výšky rostlin 6. 5. 2015 se pohybovalo od 23,8 do 24,2 cm. Rozmezí hodnot výšky rostlin 27. 5. 2015 se pohybovalo od 66,8 do 69,1 cm. Hmotnost čerstvé hmoty dosáhla hodnot 13,4 – 15,0 g a hmotnost sušiny byla 1,88 – 2,08 g. Rozdíly mezi variantami zde byly statisticky nevýznamné. Průkazně nejvyšší procento sušiny bylo zjištěno pouze u kontrolní varianty (14,9 %), ve srovnání s nejnižším u RhizoVitalu 45 (12,5 %).

Tabulka 7. Hodnocení účinnosti bioefektorů v půdách s torefikovanými čistírenskými kaly

Varianty	Výška rostlin (cm)		11. 6. 2015		
	6. 5. 2015	27. 5. 2015	Čerstvá hmotá (g)	Sušina (g)	% sušiny
	Průměr	Průměr	2 rostliny	2 rostliny	2 rostliny
Kontrola	23,8 ^a	69,1 ^a	13,4 ^a	2,01 ^a	14,9 ^a
RhizoVital 42	23,8 ^a	67,6 ^a	14,2 ^a	2,08 ^a	14,6 ^{ab}
RhizoVital 45	24,2 ^a	66,8 ^a	15,0 ^a	1,88 ^a	12,5 ^b
F-test	2,14	1,92	1,45	1,47	5,11
Hladina významnosti	ns	ns	ns	ns	0,05

V tabulce 8. je uvedena účinnost bioefektorů v kombinaci se separovaným digestátem. Statisticky neprůkazné rozmezí hodnot výšky rostlin 6. 5. 2015 se pohybovalo od 24,1 – 26,6 cm. Statisticky průkazné rozmezí hodnot výšky rostlin 27. 5. 2015 se pohybovalo od 61,6 cm (RhizoVital 42 + MUCI) do 71,8 cm (RhizoVital 42). Nejvyšší hodnoty čerstvé hmoty dosáhla varianta RhizoVital 42 (14,1 g), nejnižší RhizoVital 42 + MUCI (9,2 g). Nejvyšší obsah sušiny byl stanoven u kontrolní rostliny (2,38 g), nejnižší u RhizoVitalu 42 + MUCI (1,06 g). Nejvyšší procento sušiny měla rovněž kontrolní varianta (18,6 %), nejnižší pak RhizoVital 42 + MUCI (11,4). Negativní vliv RhizoVitalu v kombinaci s MUCI byl ve většině případů statisticky průkazný. Z uvedených výsledků je tedy zřejmé, že RhizoVital 42 + MUCI poměrně zásadně negativně ovlivnil všechny hodnocené parametry.

Tabulka 8. Hodnocení účinnosti bioefektorů v půdách se separovaným digestátem

Varianty	Výška rostlin (cm)		11. 6. 2015		
	6. 5. 2015	27. 5. 2015	Čerstvá hmotnost (g)	Sušina (g)	% sušiny
	Průměr	Průměr	2 rostliny	2 rostliny	2 rostliny
Kontrola	26,2 ^a	70,6 ^a	12,8 ^a	2,38 ^a	18,6 ^a
RhizoVital 42	26,6 ^a	71,8 ^a	14,1 ^a	2,00 ^a	14,1 ^b
RhizoVital 45	25,9 ^a	68,9 ^a	13,5 ^a	1,86 ^a	13,7 ^b
RV 42 + MUCI	24,1 ^a	61,6 ^b	9,2 ^b	1,06 ^b	11,4 ^b
F-test	2,06	4,81	11,6	15,6	14,6
Hladina významnosti	ns	0,05	0,01	0,01	0,01

V tabulce 9. byla srovnávána účinnost bioefektorů v kombinaci s mletým fosfátem. Nejnižší hodnoty výšky rostlin 6. 5. 2015 byly naměřeny u varianty RhizoVital 42 + MUCI (19,9 cm), nejvyšší u RhizoVitalu 42 (25,2 cm). Statisticky neprůkazné rozdíly byly zaznamenány u výšky rostlin 27. 5. 2015 (67,0 – 72,8 cm), hmotnosti čerstvé hmoty 12,7 – 15,9 g a hmotnosti sušiny 1,81 – 2,09 g. Statisticky průkazně nejvyššího procenta sušiny dosáhla kontrolní varianta (14,4 %) spolu s variantou RhizoVitalu 42 (14,2 %) a nejnižšího naopak RhizoVital 45 (12,1 %) a RhizoVital 42 + MUCI (12,3 %).

Tabulka 9. Hodnocení účinnosti bioefektorů v půdách s mletým fosfátem

Varianty	Výška rostlin (cm)		11. 6. 2015		
	6. 5. 2015	27. 5. 2015	Čerstvá hmota (g)	Sušina (g)	% sušiny
	Průměr	Průměr	2 rostliny	2 rostliny	2 rostliny
Kontrola	23,4 ^a	68,3 ^a	12,7 ^a	1,84 ^a	14,4 ^a
RhizoVital 42	25,2 ^a	72,8 ^a	14,7 ^a	2,09 ^a	14,2 ^a
RhizoVital 45	24,3 ^a	71,1 ^a	15,9 ^a	1,93 ^a	12,1 ^b
RV 42 + MUCI	19,9 ^b	67,0 ^a	14,7 ^a	1,81 ^a	12,3 ^b
F-test	12,9	1,65	1,42	1,40	8,36
Hladina významnosti	0,01	ns	ns	ns	0,01

V tabulce 10. jsou uvedeny obsahy fosforu, síry a zinku v nadzemní hmotě rostlin kukuřice a jejich odběry. Statisticky průkazný rozdíl byl zjištěn pouze u obsahu a odběru zinku. Zde byly v obou případech průkazně nejnižší hodnoty naměřeny u varianty RhizoVital + MUCI. Tyto tendence byly patrné i u ostatních sledovaných parametrů (obsah a odběr fosforu a síry). Zde se však již nejednalo o statisticky průkazné rozdíly mezi variantami. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo zpravidla u kontrolní varianty.

Tabulka 10. Vliv aplikace bioefektorů na obsah a odběr vybraných živin u nehnojené varianty

Varianty	obsah P	obsah Zn	obsah S	odběr P	odběr Zn	odběr S
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg	mg	mg
Kontrola	1767 ^a	31,4 ^a	570 ^a	3,11 ^a	0,055 ^a	1,01 ^a
RhizoVital 42	1701 ^a	26,6 ^{ab}	557 ^a	2,74 ^a	0,043 ^{ab}	0,90 ^a
RhizoVital 45	1689 ^a	31,9 ^a	593 ^a	2,63 ^a	0,050 ^a	0,92 ^a
RV 42 + MUCI	1447 ^a	22,0 ^b	559 ^a	2,05 ^a	0,031 ^b	0,79 ^a
F-test	2,01	7,01	2,67	1,96	9,55	0,65
Hladina významnosti	ns	0,01	ns	ns	0,01	ns

V tabulce 11. jsou uvedeny obsahy fosforu, síry a zinku v nadzemní hmotě rostlin kukuřice a jejich odběry v kombinaci se slámovým popelem. Aplikací RhizoVitalu 45 došlo k mírnému zvýšení obsahů i odběrů sledovaných prvků, toto zvýšení ale nebylo statisticky průkazné.

Tabulka 11. Vliv aplikace bioefektorů na obsah a odběr vybraných živin u variant se slámovým popelem

Varianty	obsah P	obsah Zn	obsah S	odběr P	odběr Zn	odběr S
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg	mg	mg
Kontrola	1236 ^a	15,1 ^a	642 ^a	3,64 ^a	0,045 ^a	1,90 ^a
RhizoVital 42	1316 ^a	14,8 ^a	670 ^a	3,89 ^a	0,044 ^a	2,00 ^a
RhizoVital 45	1444 ^a	17,4 ^a	749 ^a	3,72 ^a	0,045 ^a	1,98 ^a
F-test	2,10	2,14	2,14	0,63	0,97	0,47
Hladina významnosti	ns	ns	ns	ns	ns	ns

V tabulce 12. jsou uvedeny obsahy fosforu, síry a zinku v nadzemní hmotě rostlin kukuřice a jejich odběry v kombinaci s dřevěným popelem. Statisticky neprůkazné rozmezí u obsahu P bylo 1436 – 1630 mg/kg. Rozmezí u obsahu Zn činilo 16,5 – 23,9 mg/kg. Statisticky průkazně nejnižší hodnota byla zjištěna u RhizoVitalu 42 + MUCI oproti kontrolní variantě. Rozmezí hodnot obsahu S činilo 832 – 1027 mg/kg a odběru P 2,92 – 3,30 mg a rozdíly mezi variantami zde byly statisticky neprůkazné. Nejvyšší odběr Zn byl zaznamenán u varianty RhizoVital 45 (0,051 mg), nejnižší u RhizoVitalu 42 + MUCI (0,033 mg). Nejvyšší odběr S byl zaznamenán u varianty RhizoVital 42 (2,25 mg), nejnižší u varianty RhizoVital 42 + MUCI (1,69 mg). Z uvedených hodnot je patrné, že RhizoVital 42 + MUCI negativně ovlivnil sledované parametry.

Tabulka 12. Vliv aplikace bioefektorů na obsah a odběr vybraných živin u variant s dřevěným popelem

Varianty	obsah P	obsah Zn	obsah S	odběr P	odběr Zn	odběr S
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg	mg	mg
Kontrola	1630 ^a	23,9 ^a	1027 ^a	3,30 ^a	0,048 ^a	2,08 ^{ab}
RhizoVital 42	1471 ^a	20,4 ^{ab}	1006 ^a	3,30 ^a	0,046 ^{ab}	2,25 ^a
RhizoVital 45	1436 ^a	22,3 ^{ab}	905 ^a	3,27 ^a	0,051 ^a	2,07 ^{ab}
RV 42 + MUCI	1456 ^a	16,5 ^b	832 ^a	2,92 ^a	0,033 ^b	1,69 ^b
F-test	2,66	5,72	3,14	0,69	4,82	6,11
Hladina významnosti	ns	0,05	ns	ns	0,05	0,01

V tabulce 13. jsou uvedeny obsahy fosforu, síry a zinku v nadzemní hmotě rostlin kukuřice a jejich odběry v kombinaci s čistírenskými kaly. Statisticky nevýznamné rozdíly mezi variantami byly zjištěny u obsahu fosforu (1498 – 1761 mg/kg), síry (705 – 854 mg/kg) a odběru zinku (0,027 – 0,54 mg).

Statisticky průkazný nejnižší obsah zinku byl zjištěn u varianty RhizoVital 42 + MUCI (14,5 mg/kg), nejvyšší u RhizoVital 42 (23,7 mg/kg), nejvyšší odběr fosforu byl zaznamenán také u varianty RhizoVital 42 (3,94 mg), nejnižší u RhizoVitalu 42 + MUCI (3,10 mg), nejvyšší odběr síry byl u varianty RhizoVital 45 (1,90 mg), nejnižší u RhizoVitalu 42 + MUCI (1,36 mg). Z uvedených výsledků je patrné, že RhizoVital 42 + MUCI statisticky neprůkazně zvýšil obsah fosforu, ale ostatní odběry i obsahy vybraných živin byly statisticky průkazně sníženy.

Tabulka 13. Vliv aplikace bioefektorů na obsah a odběr vybraných živin u variant s čistírenskými kaly

Varianty	obsah P	obsah Zn	obsah S	odběr P	odběr Zn	odběr S
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg	mg	mg
Kontrola	1498 ^a	18,6 ^{ab}	705 ^a	3,81 ^{ab}	0,047 ^a	1,79 ^a
RhizoVital 42	1738 ^a	23,7 ^a	809 ^a	3,94 ^a	0,054 ^a	1,83 ^a
RhizoVital 45	1761 ^a	18,5 ^{ab}	854 ^a	3,90 ^a	0,041 ^a	1,90 ^a
RV 42 + MUCI	1641 ^a	14,5 ^b	730 ^a	3,10 ^b	0,027 ^a	1,36 ^b
F-test	2,44	8,80	0,83	5,14	3,11	26,2
Hladina významnosti	ns	0,01	ns	0,05	ns	0,01

V tabulce 14. jsou uvedeny obsahy fosforu, síry a zinku v nadzemní hmotě rostlin kukuřice a jejich odběry v kombinaci s torefikovanými čistírenskými kaly. RhizoVital 42 ani RhizoVital 45 statisticky významně nezměnil obsahy ani odběry sledovaných prvků. Vybrané obsahy i odběry živin byly ale bioefektory zpravidla sníženy.

Tabulka 14. Vliv aplikace bioefektorů na obsah a odběr vybraných živin u variant s torefikovanými čistírenskými kaly

Varianty	obsah P	obsah Zn	obsah S	odběr P	odběr Zn	odběr S
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg	mg	mg
Kontrola	1758 ^a	21,1 ^a	677 ^a	3,52 ^a	0,042 ^a	1,35 ^a
RhizoVital 42	1614 ^a	21,8 ^a	656 ^a	3,35 ^a	0,045 ^a	1,36 ^a
RhizoVital 45	1727 ^a	23,9 ^a	674 ^a	3,24 ^a	0,044 ^a	1,27 ^a
F-test	1,22	1,06	0,66	0,72	0,36	0,40
Hladina významnosti	ns	ns	ns	ns	ns	ns

V tabulce 15. jsou uvedeny obsahy fosforu, síry a zinku v nadzemní hmotě rostlin kukuřice a jejich odběry v kombinaci se separovaným digestátem. Statisticky nejvyšší obsah fosforu byl zjištěn u RhizoVitalu 42 + MUCI (2319 mg/kg), nejnižší u kontrolní varianty (1455 mg/kg). Rozmezí jeho odběru bylo od 2,44 mg (RhizoVital + MUCI) do 3,47 mg (kontrolní rostlina). Statisticky nevýznamné rozdíly byly zjištěny u obsahu a odběru zinku a jeho hodnoty činily 9,8 – 14,0 mg/kg, respektive 0,015 – 0,026 mg. Obsah síry byly nejvyšší u RhizoVitalu 42 + MUCI (622 mg/kg), nejnižší u RhizoVitalu 42 (454 mg/kg). Její odběr se pohyboval v rozmezí 0,65 – 1,10 mg. Nejvyššího odběru síry dosáhla kontrolní varianta, nejnižšího RhizoVital + MUCI. Z toho je zřejmé, že aplikace RhizoVitalu + MUCI vedla k průkaznému snížení obsahu i odběru síry a odběru zinku nadzemní hmotou rostlin a aplikací RhizoVitalu 45 došlo k mírnému zvýšení obsahů sledovaných prvků, ale odběry byly naopak sníženy.

Tabulka 15. Vliv aplikace bioefektorů na obsah a odběr vybraných živin u variant se separovaným digestátem

Varianty	obsah P	obsah Zn	obsah S	odběr P	odběr Zn	odběr S
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg	mg	mg
Kontrola	1455 ^a	11,1 ^a	463 ^a	3,47 ^a	0,026 ^a	1,10 ^a
RhizoVital 42	1481 ^a	9,8 ^a	454 ^a	2,95 ^{ab}	0,020 ^a	0,91 ^a
RhizoVital 45	1556 ^a	11,3 ^a	539 ^{ab}	2,84 ^{ab}	0,020 ^a	0,97 ^a
RV 42 + MUCI	2319 ^b	14,0 ^a	622 ^b	2,44 ^b	0,015 ^a	0,65 ^b
F-test	36,8	2,11	6,40	4,13	1,16	15,7
Hladina významnosti	0,01	ns	0,01	0,05	ns	0,01

V tabulce 16. jsou uvedeny obsahy fosforu, síry a zinku v nadzemní hmotě rostlin kukuřice a jejich odběry v kombinaci s mletým fosfátem. Statisticky nevýznamné rozdíly mezi variantami byly zjištěny u obsahu fosforu 1248 – 1563 mg/kg, obsahu síry 435 – 583 mg/kg a u odběru zinku 0,027 – 0,055 mg/kg. Obsah zinku byl nejvyšší u varianty RhizoVital 45 (26,9 mg/kg) a průkazně nejnižší RhizoVitalu 42 + MUCI (15,1 mg/kg). Totéž se potvrdilo i u odběru Zn. Nejvyšší odběr síry byl u RhizoVitalu 45 (1,12 mg) a průkazně nejnižší u RhizoVitalu 42 + MUCI (0,78 mg). Z uvedených výsledků je patrné, že RhizoVital 45 zvýšil obsah zinku a mírně i fosforu a odběry všech sledovaných živin. Kombinace Rhizovital 42 + MUCI výrazně snížila obsahy i odběry všech sledovaných živin.

Tabulka 16. Vliv aplikace bioefektorů na obsah a odběr vybraných živin u variant s mletým fosfátem

Varianty	obsah P	obsah Zn	obsah S	odběr P	odběr Zn	odběr S
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg	mg	mg
Kontrola	1563 ^a	21,4 ^{ab}	568 ^a	2,87 ^a	0,039 ^{ab}	1,04 ^{ab}
RhizoVital 42	1593 ^a	26,3 ^a	492 ^a	3,33 ^a	0,055 ^a	1,03 ^{ab}
RhizoVital 45	1648 ^a	26,9 ^a	583 ^a	3,15 ^a	0,051 ^a	1,12 ^a
RV 42 + MUCI	1248 ^a	15,1 ^b	435 ^a	2,24 ^a	0,027 ^b	0,78 ^b
F-test	3,20	4,63	2,14	3,41	9,79	5,29
Hladina významnosti	ns	0,05	ns	ns	0,01	0,05

6.2 Hodnocení dle variant hnojení

Vzhledem k tomu, že se vliv bioefektorů ukázal zpravidla jako neprůkazný, popř. vykazoval stejné tendence, bylo provedeno i srovnání variant z hlediska dodaných materiálů, a to bez ohledu na přidané bioefektory.

V tabulce 17. jsou uvedeny základní charakteristiky rostlin z hlediska hnojiv použitých v experimentu.

Tabulka 17. Základní charakteristiky rostlin z hlediska variant hnojení

Varianty	Výška rostlin (cm)		11. 6. 2015		
	6. 5. 2015	27. 5. 2015	Čerstvá hmota (g)	Sušina (g)	% sušiny
	Průměr	Průměr	2 rostliny	2 rostliny	2 rostliny
Kontrola	22 ^a	67,3 ^a	12,8 ^a	1,59 ^a	12,5 ^a
Slámový popel	24,5 ^a	76,1 ^a	21,6 ^b	2,90 ^b	13,4 ^{ab}
Dřevěný popel	23,3 ^a	70,4 ^a	17,3 ^c	2,16 ^c	12,5 ^a
Čistírenské kaly	24 ^a	70,3 ^a	15,3 ^c	2,24 ^c	14,9 ^b
Torefikované čistírenské kaly	23,9 ^a	67,8 ^a	14,2 ^{ac}	1,99 ^c	14,0 ^{ab}
Separovaný digestát	25,7 ^a	68,2 ^a	12,4 ^{ac}	1,82 ^{ac}	14,5 ^{ab}
Mletý fosfát	23,2 ^a	69,8 ^a	14,5 ^{ac}	1,92 ^{ac}	13,3 ^{ab}
F-test	1,89	1,14	30,6	19,17	3,42
Hladina významnosti	ns	ns	0,01	0,01	0,01

Mezi průměrnou výškou rostlin se nevyskytly statisticky průkazné rozdíly. Hmotnost čerstvé nadzemní hmoty se pohybovala v rozmezí 12,4 – 21,6 g. V případě sušiny se jednalo

o rozmezí 1,59 – 2,90 g. Průkazně nejnižší hmotnost čerstvé hmoty i sušiny byla zjištěna u kontroly a přidání separovaného digestátu. Hmotnost čerstvé hmoty i sušiny se nejvíce zvýšila přidáním slámového popela. Nejvyšší procento sušiny obsahovaly rostliny s přidáním čistírenských kalů. Rovněž zde se jednalo o statisticky průkazný rozdíl.

V tabulce 18. jsou uvedeny obsahy a odběry vybraných živin v závislosti na variantách hnojení bez ohledu na aplikovaný bioefektor. Obsah fosforu v nadzemní hmotě kukuřice se pohyboval od 1332 do 1703 mg/kg a jeho odběr činil 2,63 – 3,75 mg. V případě podílu P v nadzemní hmotě bylo průkazně nejvyšších hodnot dosaženo u variant hnojených torefikovanými i samotnými čistírenskými kaly a rovněž i u kontrolní varianty. Průkazně nejnižšího obsahu P bylo naopak dosaženo u slámového popela. V případě odběrů fosforu vykazoval naopak slámový popel průkazně nejvyšší hodnoty a kontrolní varianta nejnižší.

K doplnění pokusů byly stanoveny i obsahy a odběry zinku a síry, které se v použité zemině ukázaly jako limitující prvky. Rovněž zde se vyskytly průkazné rozdíly mezi variantami hnojení. Nejvyšší obsah zinku byl naměřen v kontrolních rostlinách, nejméně naopak v rostlinách hnojených separovaným digestátem. Odběry Zinku vykazovaly v případě neseparovaného digestátu opačnou tendenci. U všech ostatních variant byly odběry Zn ve srovnání s neseparovaným digestátem statisticky průkazně vyšší. U obsahu síry byl průkazně nejvyšší obsah v nadzemní hmotě naměřen u varianty s přidavkem dřevěného popela (943 mg/kg). Nejmenší obsahy S naproti tomu vykazovaly shodně varianty hnojené digestátem a mletým fosfátem (520 mg/kg). Rovněž u kontrolní varianty byl naměřený obsah S průkazně nižší (570 mg/kg). Narozdíl předchozích živin nebyly u síry zaznamenány opačné trendy mezi obsahem a odběrem této živiny. Statisticky průkazně nejvyšší byly odběry S u obou variant s přidavkem popelů, nejnižší naopak u torefikovaných čistírenských kalů.

Tabulka 18. Obsahy živin a jejich odběry nadzemní hmotou rostlin z hlediska variant hnojení

Varianty	obsah P	obsah Zn	obsah S	odběr P	odběr Zn	odběr S
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg	mg	mg
Kontrola	1651 ^a	28,0 ^a	570 ^a	2,63 ^a	0,045 ^a	0,90 ^a
Slámový popel	1332 ^b	15,8 ^b	687 ^b	3,75 ^b	0,045 ^a	1,96 ^b
Dřevěný popel	1498 ^{ab}	20,8 ^c	943 ^c	3,20 ^c	0,045 ^a	2,02 ^b
Čistírenské kaly	1660 ^{ab}	18,8 ^{bc}	775 ^b	3,69 ^b	0,042 ^a	1,72 ^c
Torefikované čistírenské kaly	1700 ^a	22,2 ^c	669 ^b	3,37 ^{bc}	0,044 ^a	1,32 ^d
Separovaný digestát	1703 ^a	11,5 ^d	520 ^a	2,92 ^{ac}	0,020 ^b	0,91 ^a
Mletý fosfát	1513 ^{ab}	22,4 ^c	520 ^a	2,90 ^{ac}	0,043 ^a	0,99 ^a
F-test	3,77	21,6	45,1	11,5	13,7	87,8
Hladina významnosti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

7 Diskuse

Hlavním cílem práce bylo vyhodnotit vliv mikroorganismu *B. amyloliquefaciens* na zpřístupnění fosforu pro rostliny. Tento mikroorganismus je spolu s kultivačním médiem a vodou součástí komerčně prodávaného přípravku RhizoVital. Spóry klíčí v kontaktu s rostoucími kořeny rostlin, které kolonizují, pokud je dostatečná vlhkost půdy a teplota přibližně 10 °C a vyšší. Některé kmeny rodu *Bacillus* jsou jasně definovány jako přírodní a geneticky modifikované kmeny *B. amyloliquefaciens*, které jsou vybrány z různých kmenů, neboť široké spektrum jejich aktivity se používá pro stimulaci růstu rostlin. Látky produkované *Bacillus amyloliquefaciens* (kmen FZB42) stimulují růst rostlin, zvyšují výnos a odolnost rostlin vůči stresu a patogenům. Při používání lze pozorovat následující účinky: lepší klíčivost, lepší zakořenění rostlin, vyšší výnosy a výšku rostlin, rychlejší dozrávání, vyšší vitalitu rostlin, vyšší toleranci vůči stresu, sníženou intenzitu a četnost onemocnění (Anonym, 2007). Anonym (2013) uvádí, že po aplikaci bakterie jsou kolonizovány mladé rostoucí kořeny. Dodané mikroorganismy následně soutěží s půdními patogeny a kromě toho také uvolňují hormony, které stimulují růst rostlin a látky zlepšující dostupnost živin pro rostliny.

RhizoVital 42 přirozeně zvyšuje aktivitu ostatních půdních mikroorganismů, podporuje růst rostlin a jejich odolnost vůči patogenům. Spóry půdní bakterie svým působením zvyšují konkurenční prostředí pro patogeny. Při zapravení do půdy začnou spóry klíčit a kolonizují nové kořínky. Bakterie uvolňují hormony, které stimulují růst rostlin a zvýšení příjmu živin a následně zvýšení výnosů. RhizoVital pomáhá vybudovat zdravý a silný kořenový systém (Anonym, 2016b).

V našich pokusech jsme sledovali výšku rostlin, výnos jejich nadzemní hmoty včetně podílu sušiny a obsah a odběr P, S, Zn. Průkazné výsledky byly v některých případech pozorovatelné, avšak žádné z výše uvedených tvrzení nebylo jednoznačně potvrzeno. Přidání samotných bioefektorů do půdy zpravidla nevedlo k statisticky významným změnám. Naopak aplikací kombinace RhizoVitalu 42 + MUCI došlo ke snížení obsahu i odběru všech sledovaných živin oproti kontrole, a to především fosforu. Jako dobrou kombinaci můžeme považovat kombinaci RhizoVitalu 45 s dřevěným popelem. Jako nevhodná varianta se jeví kombinace vybraných bioefektorů s čistírenskými kaly, kdy došlo ke snížení všech sledovaných parametrů kromě obsahu fosforu a se separovaným digestátem, kdy také došlo ke snížení většiny sledovaných parametrů kromě obsahů sledovaných prvků.

Součástí práce bylo rovněž hodnocení vlivu odpadních materiálů a hnojiv, a to bez ohledu na použité bioefektory. Jedním ze sledovaných odpadních materiálů byl **popel z biomasy**.

Podobně jako podíl popela, tak i obsahy jednotlivých živin jsou významně ovlivněny tím, odkud biomasa pochází, druhem rostliny, popřípadě jejích částí. Dřevo a kůra jsou bohaté na vápník, popele ze slámy a obilovin jsou bohaté na draslík. Důsledkem vysokého obsahu oxidu vápenatého je vysoká hodnota pH, která vede k úvahám o využití tohoto materiálu k úpravě půdní reakce. Fosfor a hořčík jsou v popelech zastoupeny zpravidla mezi 1- 2 % a ačkoli nejsou v popelech ze spalování biomasy zastoupeny tak výrazně jako vápník nebo draslík, jedná se o cenné živiny, kterých je v našich půdách nedostatek (Ochecová *et al.*, 2014). Z uvedených údajů lze předpokládat, že popel jako zdroj fosforu zvýší obsah P v půdě a tím se bude podílet i na zvýšení obsahu P v nadzemní hmotě rostlin a jeho odběru. Dále je pravděpodobné, že i ostatní živiny dodané aplikací popela povedou ke zvýšení výnosů rostlin. Půda použitá v našich pokusech vykazovala nízkou hodnotu pH_{KCl} 5,2. Přidání popela (pH_{KCl} 9,0) tedy mohlo zároveň zvýšit hodnotu pH a tím se rovněž pozitivně projevit na zvýšení dostupnosti živin.

V našich pokusech byl sledován vliv slámového a dřevěného popela na výšku rostlin, hmotnost a podíl sušiny nadzemní hmoty a obsah a odběr P, S a Zn. Mezi průměrnou výškou rostlin se nevyskytly statisticky průkazné rozdíly mezi sledovanými variantami. Hmotnost čerstvé nadzemní hmoty se pohybovala v rozmezí 12,4 – 21,6 g. V případě sušiny se jednalo o rozmezí 1,59 – 2,90 g. Hmotnost čerstvé hmoty i sušiny se průkazně nejvíce zvýšila přidáním slámového popela. Tím se částečně potvrdila výše uvedená fakta.

Obsah fosforu v nadzemní hmotě kukuřice se pohyboval od 1332 do 1703 mg/kg a jeho odběr činil 2,63 – 3,75 mg. Průkazně nejnižšího obsahu P bylo dosaženo u slámového popela. V případě odběrů fosforu vykazoval naopak slámový popel průkazně nejvyšší hodnoty ve srovnání s nejnižšími u kontroly. U obsahu síry byly průkazně nejvyšší hodnoty v nadzemní hmotě naměřeny u varianty s přidavkem dřevěného popela (943 mg/kg). Statisticky průkazně nejvyšší byly odběry S u obou variant s přidavkem popelů.

Dalším odpadním materiálem sledovaným v našich pokusech byly **čistírenské kaly**. Jedná se o látky velmi rozmanitého složení. Heterogenní povaha je dána jednak jejich původem, odlišnostmi v technologických postupech čištění a případně obdobím produkce kalů. Kaly ze stejné čistírny odpadních vod často vykazují poměrně stabilní obsahy některých živin, organické hmoty a sušiny. Ve vztahu k bilanci živin v půdě je nutné znát složení kalů. Z pohledu využití kalů jako hnojiva je důležitý zejména obsah rostlinných živin. Kaly jsou

zdrojem důležitých makroprvků, především dusíku, fosforu a síry. Souhrnné studie uvádějí ve většině případů příznivý vliv na chemické, fyzikální i biologické půdní vlastnosti. Při hnojení čistírenskými kaly je často popisováno mírné zvýšení hodnoty pH, přestože mineralizační procesy organické hmoty a přeměny některých živin (dusík, síra) spíše předpokládá pokles pH půdy. Organická hmota dodávaná v kalech do půdy přispívá ke zlepšení vlastností půdy, jako jsou objemová hmotnost, pórovitost a tím související vodní režim půdy. Použití čistírenských kalů jako hnojiva umožňuje recyklaci cenných složek, jako je organická hmota, dusík, fosfor a další živiny (Černý *et al.*, 2014).

Na základě výše uvedených údajů jsme tedy vycházeli z hypotézy, že aplikace čistírenských kalů zvýší všechny sledované parametry, přesto se mezi průměrnou výškou rostlin se nevyskytly statisticky průkazné rozdíly mezi kontrolou a variantou hnojenou kaly. V případě výnosu sušiny se jednalo o rozmezí 1,59 – 2,90 g. Průkazných rozdílů bylo dosaženo v případě procenta sušiny. To se pohybovalo od 12,5 do 14,9 % a průkazně nejvyšší bylo právě u čistírenských kalů. Obsah fosforu v nadzemní hmotě kukuřice se pohyboval od 1332 do 1703 mg/kg a jeho odběr činil 2,63 – 3,75 mg. V případě podílu P v nadzemní hmotě bylo průkazně nejvyšších hodnot dosaženo u variant hnojených torefikovanými i samotnými čistírenskými kaly a rovněž i u kontrolní varianty. Statisticky průkazně nejnižší odběry S byly naopak zaznamenány u torefikovaných čistírenských kalů. Proto lze konstatovat, že se pozitivní vliv aplikace čistírenských kalů potvrdil pouze v některých případech.

Další z aplikovaných látek byl **separovaný digestát**. Z agrochemického hlediska se jeví jako zásadní problém malé množství lehce rozložitelných organických látek v digestátu. Digestát z bioplynových stanic je hnojivo které se svým složením a účinky spíše blíží kombinovaným minerálním hnojivům, přičemž aplikací na zemědělskou půdu podle zásad správné zemědělské praxe dosahuje požadovaný účinek z pohledu harmonické výživy a výnosu polních plodin. Digestát je zdrojem dalších živin, které při úspěšné eliminaci potencionálních rizik mohou napomoci produkční účinnosti půd v podmínkách trvale udržitelného zemědělství (Dostál *et al.*, 2014).

Z důvodu, že většina živin obsažených živin v digestátu je v nepřístupné formě pro rostliny jsme zvolili kombinaci s bioefektory, které by měly tyto živiny zpřístupnit. Tento fakt se v našich pokusech nepotvrdil. Dále byl v rámci této práce sledován vliv separovaného digestátu na výšku rostlin, hmotnost a podíl sušiny nadzemní hmoty a obsah a odběr P, S a Zn bez zohlednění vlivu bioefektorů.

Mezi průměrnou výškou rostlin se zde nevyskytly statisticky průkazné rozdíly. Hmotnost čerstvé nadzemní hmoty se pohybovala v rozmezí 12,4 – 21,6 g. V případě sušiny

se jednalo o rozmezí 1,59 – 2,90 g. Průkazně nejnižší hmotnost čerstvé hmoty i sušiny byla zjištěna u kontroly a přidání separovaného digestátu.

Nejvyšší obsah zinku byl naměřen v kontrolních rostlinách, nejméně naopak v rostlinách hnojených separovaným digestátem. Odběry Zinku vykazovaly v případě neseparovaného digestátu opačnou tendenci. U všech ostatních variant byly odběry Zn ve srovnání s neseparovaným digestátem statisticky průkazně vyšší. Nejmenší obsahy S vykazovaly varianty hnojené digestátem (520 mg/kg).

8 Závěr

Cílem práce bylo ověřit vliv kombinace 3 bioefektorů (účinné mikroorganismy: *Bacillus amyloliquefaciens*, kmeny FZB42 a FZB45 a kombinace kmene FZB42 s *Paenibacillus mucilaginosus*, kmen JX-1) v kombinaci s mletým fosfátem, čistírenskými kaly, torefikovanými čistírenskými kaly, separovaným digestátem, slámovým a dřevěným popelem na růst nadzemní hmoty, obsah a odběr fosforu a dalších vybraných živin rostlinami kukuřice.

Za tímto účelem byly založeny nádobové pokusy s půdou chudou na fosfor, kde byly uvedené kombinace bioefektorů a hnojiv testovány. Z výsledků hodnocení účinnosti bioefektorů lze vyvodit následující:

- Aplikace bioefektorů RhizoVital 42 (*Bacillus amyloliquefaciens*, kmen FZB42) a RhizoVital 45 (*Bacillus amyloliquefaciens*, kmen FZB45) nevedla k průkaznému zvýšení výnosu nadzemní biomasy kukuřice a zpravidla ani k průkazným změnám obsahu a odběru P, Zn a S rostlinami.
- Aplikací RhizoVitalu 42 + MUCI došlo zpravidla k průkaznému snížení obsahu i odběru všech sledovaných živin oproti kontrole, a to především fosforu.

Více průkazných rozdílů bylo zaznamenáno při hodnocení použitých hnojiv bez ohledu na přidání bioefektor:

- Hmotnost čerstvé hmoty i sušiny rostlin se zvýšila přidáním slámového popela.
- Nejnižšího obsahu P v nadzemní hmotě rostlin bylo dosaženo u slámového popela.
- V případě odběrů fosforu vykazoval naopak slámový popel vyšší hodnoty ve srovnání s kontrolou.
- U obsahu síry byly průkazně nejvyšší hodnoty v nadzemní hmotě naměřeny u varianty s přídatkem dřevěného popela.
- Nejvyšší procento sušiny obsahovaly rostliny s přidáním čistírenských kalů.
- Statisticky průkazně nejnižší odběry S byly zaznamenány u torefikovaných čistírenských kalů.
- Nejnižší obsah zinku byl naměřen v rostlinách hnojených separovaným digestátem.
- Nejmenší obsahy S vykazovaly varianty hnojené separovaným digestátem.

Z uvedených výsledků je tedy zřejmé, že aplikace bioefektorů zatím nevykazovala požadované tendence. Kombinace RhizoVital a MUCI vedla dokonce v mnoha případech k průkazně negativním výsledkům. Proto je třeba hledat další strategie, jako např. úpravu dávek a způsobů aplikace bioefektorů, včetně volby půdních podmínek více vyhovujícím testovaným mikroorganismům.

9 Seznam literatury

- Anonym 2007. ABiTEP GmbH. Datový list - RhizoVital®42 I: *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42 liquid a plant growth-promoting rhizobacteria. Berlín. p. 5. [cit. 2014-06-15]. Dostupné z <http://www.abitep.de/tl_files/content/pdf/produktinformationen/RhizoVital42-1-engl.pdf>.
- Anonym 2013. Andermatt Biocontrol AG. RhizoVital 42 - The good bacteria for the soil. Švýcarsko. p. 6. [cit. 2014-08-19]. Dostupné z <http://www.export.biocontrol.ch/media/pdf/products/biostimulants/rhizovital42/general_infoinforma_RhizoVital42.pdf>.
- Anonym 2016a. BIOEFECTOR [online]. Bioefector. [cit. 20. 2. 2016]. Dostupné z <<http://www.bioefector.info/cesky.html>>.
- Anonym 2016b. RhizoVital 42 [online]. Biocont-profi. [cit. 20. 2. 2016]. Dostupné z <http://www.biocont-profi.cz/cz/produkty/rhizovital-42_i119.htm>.
- Bačík, O. Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu [online]. Biom.cz.. 29. 6. 2009 [cit. 25. 2. 2016]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovе-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu>>.
- Balík, J., Vaněk, V., Pavlíková, D., Kulhánek, M., Jakl, M. 2002. Fosfor v půdě a jeho koloběh v přírodě. In: Sborník z konference „Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku fosforu v rostlinné výrobě“. Praha. KAVR. p. 26-34. ISBN: 80-213-0957-1.
- Blume, H. P., Brümmer, G. W., Schwertmann, U., Horn, R., Knabner et al. 2002. Lehrbuch der Bodenkunde - Scheffer/Schachtschabel. Spektrum Akademischer Verlag GmbH. Heidelberg – Berlin. 15. Aufl. 607 p. ISBN: 3-8274-1324-9.
- Brandštýl, J. 2013. Stanovení fosforečnanů ve vzorcích půdy fotometrickou metodou. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta pedagogická. Plzeň. 52 p.
- Černý, J., Balík, J., Kulhánek, M., Vašák, F., Vaněk, V. 2014. Využití kalů z čistíren odpadních vod. In: Racionální použití hnojiv. Sborník z konference konané na ČZU v Praze

dne 27. 11. 2014. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra agrochemie a výživy rostlin. Praha. 19 - 26 p. ISBN: 978-80-213-2511-1.

Dostál, J., Lošák, T., Javor, T., Hajzlerová, L., Hlušek, J., Linhart, M. 2014. Dosavadní zkušenosti s aplikací digestátu z bioplynových stanic na zemědělskou půdu. In: Racionální použití hnojiv. Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 27. 11. 2014. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra agrochemie a výživy rostlin. Praha. 27 - 35 p. ISBN: 978-80-213-2511-1.

Fenecko, J., Ložek, O. 2000. Výživa a hnojení polních plodín, Nitra, SPU. 452 s. ISBN: 80-71337-777-5.

Gardner, F. P., Pearce, R. B., Mitchell, R. L. 1985. Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. Ames, IA (USA). 321 p. ISBN: 0-8138-1376-X.

Holečková, Z., Kulhánek, M., Balík, J. 2014. Racionální použití hnojiv. In: Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 27. 11. 2014. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra agrochemie a výživy rostlin. Praha. 80 - 83 p. ISBN: 978-80-213-2511-1.

Chien, S. H., Prochnow, L. I., TU, S., Snyder, C. S. 2011. Agronomic and environmental aspects of phosphate fertilizers varying in source and solubility: an update review, Springer, Van Godewijkstraat 30, 3311 Gz Dordrech. Netherlands. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 89 -2 229-255 p. ISSN: 1385-1314.

Jones, D., Smith, B. F. L., Wilson, M. J., Goodman, B. A. 1991. Phosphate solubilizing fungi in a Scottish upland soil. Mycological Research. 95 (9). 1090-1093.

Jurčík, F. 1978. Živiny v půdě. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství a výživy ČSR. Praha. 114 p.

Kovaříček, P., Zelená, L., Vlášková, M. 1998. Perspektivní technologické postupy a stroje pro hnojení. Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR v Praze. Praha. 58 p. ISBN: 80-7105-176-4.

Kulovaná, E. Hnojení kukuřice fosforem pod patu [online]. Uroda. 22. dubna 2002 [cit. 20.2.2016]. Dostupné z <<http://uroda.cz/hnojeni-kukurice-fosforem-pod-patu/>>.

Lack, A., Evans, D. 2005. Plant Biology. 2nd ed.. Taylor & Francis Group. New York, Abingdon. 370 p. ISBN: 0-4153-5643-1.

Lu, J. J., Xue, A. Q., Cao, Z. Y., Yang, S. J., Hu, X. F. 2014. Diversity of plant growth-promoting *Paenibacillus mucilaginosus* isolated from vegetable fields in Zhejiang, China. *Annals of Microbiology*. 64 (4). 1745-1756.

Lu, J. J., Wang, J. F., Hu, X. F. 2013. Genome Sequence of Growth-Improving *Paenibacillus mucilaginosus* Strain KNP414. *Genome Announcements*. 1 (5). e00881-13.

Mader, P., Száková, J., Miholová, D. 1998. Classical dry ashing of biological and agricultural materials. Part II. Losses of analytes due to their retention in an insoluble residue. *Analisis*. EDP Sciences. 26. 121-129.

Ma, M., Wang, Z., Li, L., Jiang, X., Guan, D., Cao, F., Chen, H., Wang, X., Shen, D., Du, B., Li, J. 2012. Complete Genome Sequence of *Paenibacillus mucilaginosus* 3016, a Bacterium Functional as Microbial Fertilizer. *Journal of Bacteriology*. 194 (10). 2777–2778.

Mehlich, A. 1984. Mehlich-3 soil test extractant: A modification of Mehlich-2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 15. 1409-1416.

Mengel, K. 1991. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag Jena. 466 p. ISBN: 3-334-00310-8.

Mengel, K. 1996. Efficient use soil and fertilizer phosphate. In: Van Ittersum, M. K., Venner, G. E. G. T, Geijn, S. C., Jetten, T. H. (eds.). Book of abstracts 4th ESA-congress. Volume I. European society for agronomy. Netherlands. p. 286-287. ISBN: 90-73384-43-5.

Michalík, I. 2001. Molekulárne a energetické aspekty príjmu a asimilácie živín v rastlinách. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 158 p. ISBN: 80-7137-836-4.

Nash, D. M., Haygarth, P. M., Turner, B. L., Condon, L. M., McDowell, R. W., Richardson, A. E., Watkins, M., Heaven, M. W. 2014. Using organic phosphorus to sustain pasture productivity: A perspective. *Geoderma*. 221-222. 11-19 p.

Ochecová, P., Tlustoš, P., Száková, J., Košnář, Z., Mercl, F. 2014. Popel z biomasy – významný zdroj živin. In: Racionální použití hnojiv. Sborník z konference konané na ČZU v Praze dne 27. 11. 2014. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra agrochemie a výživy rostlin. Praha. 43 - 50 p. ISBN: 978-80-213-2511-1.

Öpik, H., Rolfe, S. A. 2005. *The Physiology of Flowering Plants*. 4th ed. Cambridge University Press. Cambridge. 392 p. ISBN: 13 978-0-521-66485-3.

Priest, F. G., Goodfellow, M., Shute, L. A., Berkeley, R. C. W. 1987. *Bacillus amyloliquefaciens* sp. nov., nom. rev. *International Journal of Systematic Bacteriology*. 37 (1). 69-71.

Ruttenberg, K. C. 2014. The Global Phosphorus Cycle. *Biogeochemistry*. 10. 499-558. In: Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. *Treatise on Geochemistry*. 2nd ed. Elsevier.

Schachtschabel, P., Blume, H. P., Brümmer, G. W., Hartge, K. H., Schwertmann, U. 1992. Scheffer/Schachtschabel - *Lehrbuch der Bodenkunde*. 13 Aufl. 491 p. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

Schilling, G. 2000. *Pflanzenernährung und Düngung*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 464 p. ISBN: 3-8252-8189-2.

Schröder, J. J., Smit, A. L., Cordell, D., Rosemarin, A. 2011. Improved phosphorus use efficiency in agriculture: A key requirement for its sustainable use. *Chemosphere*. 84 (6). 822-831.

Soinne, H. 2009. Extraction methods in soil phosphorus characterisation - Limitations and applications. Academic dissertation. University of Helsinki. Department of applied chemistry and mikrobiology. Helsinki. 49 p.

StatSoft, Inc. 2013: STATISTICA (data analysis software system). version 12.0. Dostupné z www.statsoft.com

Šabatka, J. Další vývoj technologie zpracování půdy II. [online]. Bezorebne. 18. červenec 2011 [cit. 20.2.2016]. Dostupné z http://produktiv.cz/horsch/bezorebne/german/g-indexc517.html?id=779&action=news_cz.

Tang, J., Qi, S., Li, Z., An, Q., Xie, M., Yang, B., Wang, Y. 2014. Production, purification and application of polysaccharide-based bioflocculant by *Paenibacillus mucilaginosus*. Carbohydrate Polymers. 113. 463–470.

Troef, F. R., Thompson, L. M. 2005. Soils and soil fertility, sixth edition, Blackwell Publishing Professional. Iowa. USA. 489 s. ISBN 0-8138-0955-X.

Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. 2012. Výživa zahradních rostlin. Academia. Praha. 570 p. ISBN: 978-80-200-2147-2.

Vaněk, V. 1998. Výživa a hnojení polních plodin, ovoce a zeleniny. 1.vyd. Praha: Farmář, 1998. 124 p. ISBN 80-902413-1-X.

Zimolka, J., Balounová, M., Cerkal, R., Červinka, J., Doležal et al. 2008. Kukuřice- hlavní a alternativní užitkové směry. Profi press. Praha. p. 112-114. ISBN 978-80-86726-31-1

10 Seznam tabulek

Tabulka 1. Charakteristika půdy odebrané ze stanoviště Bubnov

Tabulka 2. Celkové obsahy N a P v hnojivech a jejich dávky na nádobu

Tabulka 3. Hodnocení účinnosti bioefektorů na nehnojené půdě

Tabulka 4. Hodnocení účinnosti bioefektorů u variant se slámovým popelem

Tabulka 5. Hodnocení účinnosti bioefektorů u variant s dřevěným popelem

Tabulka 6. Hodnocení účinnosti bioefektorů u variant s čistírenskými kaly

Tabulka 7. Hodnocení účinnosti bioefektorů u variant s torefikovanými čistírenskými kaly

Tabulka 8. Hodnocení účinnosti bioefektorů u variant se separovaným digestátem

Tabulka 9. Hodnocení účinnosti bioefektorů u variant s mletým fosfátem

Tabulka 10. Vliv aplikace bioefektorů na obsah a odběr vybraných živin u nehnojené varianty

Tabulka 11. Vliv aplikace bioefektorů na obsah a odběr vybraných živin u variant se slámovým popelem

Tabulka 12. Vliv aplikace bioefektorů na obsah a odběr vybraných živin u variant s dřevěným popelem

Tabulka 13. Vliv aplikace bioefektorů na obsah a odběr vybraných živin u variant s čistírenskými kaly

Tabulka 14. Vliv aplikace bioefektorů na obsah a odběr vybraných živin u variant s torefikovanými čistírenskými kaly

Tabulka 15. Vliv aplikace bioefektorů na obsah a odběr vybraných živin u variant se separovaným digestátem

Tabulka 16. Vliv aplikace bioefektorů na obsah a odběr vybraných živin u variant s mletým fosfátem

Tabulka 17. Základní charakteristiky rostlin z hlediska variant hnojení

Tabulka 18. Obsahy živin a jejich odběry nadzemí hmotou rostlin z hlediska variant hnojení