

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Moderní trendy ve výživě fosforem – použití biostimulantů**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Lucie Smejkalová**

**Obor studia: Zahradní a krajinářské úpravy**

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

© 2020 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Moderní trendy ve výživě fosforem – použití biostimulantů" jsem vypracovala 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 autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 17. 7. 2020

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Kulhánkovi, Ph.D. za odborné konzultace, přínosné připomínky, užitečné rady při hledání zdrojů informací a své rodině za podporu při psaní bakalářské práce.

# Moderní trendy ve výživě fosforem – použití biostimulantů

## Souhrn

Tato práce se zabývá moderními trendy ve výživě fosforem. Zaměřila jsem se zejména na používání biostimulantů. Nadměrné hnojení minerálními P-hnojivy způsobilo v některých oblastech znečištění životního prostředí, jako je eutrofizace povrchových vod a také to, že dojde k vyčerpání zdrojů těchto hnojiv. Mnohé země se naopak na většině území potýkají s nedostatkem P v půdě. Mezi ně patří i Česká republika.

Fosfor se v mnoha půdách vyskytuje ve formách, které nejsou rostliny schopny přijmout. Hledají se proto způsoby, jak tento fosfor učinit rostlinám přístupnější. Nadějně se zdá být využívání biostimulantů, které nejsou vlastním P-hnojivem, neposkytují živiny, ale jsou schopny symbiotických vztahů s rostlinami. Rostliny jsou díky tomuto schopny získat P i z půd, kde by byl tento příjem velmi obtížný. Využívání odpadních materiálů, které obsahují velké množství P je dalším způsobem, jak omezit používání minerálních P-hnojiv a přispět tak k udržitelnějšímu zemědělství. Aplikace těchto materiálů v kombinaci s biostimulanty, má často mnohem lepší výsledky než jejich samotná aplikace. Jedním z přístupů, který zohledňuje špatnou mobilitu fosforu v půdě, je využívání správného načasování a umístění hnojiva pro konkrétní plodiny. Využívá se obalování osiva před výsevem i přesné aplikace P-hnojiv s pomocí GPS.

Biostimulanty by neměly být považovány za univerzální řešení, protože mají různé účinky na rostliny. Vždy je třeba zohlednit druh plodiny, půdy/substrátu, agrotechnické postupy a výběr správných kombinací.

**Klíčová slova:** fosfor, biostimulanty, odpadní materiály, lokální aplikace

# **Modern systems in phosphorus fertilizing – using of biostimulants**

## **Summary**

This thesis deals with modern systems in phosphorus nutrition. I focused mainly on the use of biostimulants. Excessive fertilization with mineral P-fertilizers caused environmental pollution in some areas, such as eutrophication of surface waters and also the extraction of sources of these fertilizers. In contrast, many countries face a lack of P in the soil in most areas. One them is the Czech Republic.

Phosphorus occurs in many soils in forms that plants are unable to absorb. Therefore, new ways are being investigated to make this phosphorus more accessible to plants. The use of biostimulants, which are not their own P-fertilizers and do not provide nutrients but are capable of symbiotic relationships with plants, seems promising. Thanks to this, the plants are able to obtain P even from soils where its uptake would be very difficult otherwise. The use of waste materials that contain large amounts of P is another way to reduce the use of mineral P-fertilizers and thus contribute to more sustainable agriculture. The application of these materials in combination with biostimulants often has much better results than their application alone. One approach that addresses the poor mobility of phosphorus in soil is the use of the right timing and location of the fertilizer for specific crops. Seed coating before sowing and precise application of P-fertilizers with the help of GPS are used.

Biostimulants should not be considered a universal solution since they have different effects on plants. The type of crop, soil/substrate, agro-technical practices and the selection of the right combinations must always be taken into account.

**Keywords:** phosphorus, biostimulants, waste materials, local use

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce.....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Literární přehled.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1</b>	<b>Charakteristika příjmu fosforu rostlinami.....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Moderní trendy hnojení fosforem .....</b>	<b>11</b>
<b>4.1</b>	<b>Využití biostimulantů .....</b>	<b>12</b>
4.1.1	Biostimulanty houbového původu .....	13
4.1.2	Bakteriální biostimulanty.....	17
4.1.3	Výtažky z řas a rostlin .....	20
<b>4.2</b>	<b>Uplatnění odpadních materiálů ve výživě P .....</b>	<b>23</b>
4.2.1	Čistírenské kaly .....	23
4.2.2	Další odpadní materiály .....	24
<b>4.3</b>	<b>Lokální aplikace P do půdy/substrátu .....</b>	<b>25</b>
<b>4.4</b>	<b>Kombinace výše uvedených možností .....</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>Literatura .....</b>	<b>29</b>

# 1 Úvod

Fosfor patří mezi makroprvky nezbytné pro růst a vývoj rostlin. Navzdory jeho nezastupitelnosti v rostlinném metabolismu je jeho obsah v půdách poměrně nízký a často bývá ve formách hůře přístupných pro rostliny. Fosforečné minerály by podle některých autorů mohly být vytěženy za 50-100 let a jejich nadměrné využívání ve formě anorganických hnojiv často způsobuje eutrofizaci povrchových vod. Vyvíjí se proto nové metody, jak rostlinám tento fosfor zpřístupnit. Slibné se zdá být využívání biostimulantů.

Biostimulantem mohou být houby, bakterie, řasy i různé výluhy obsahující mikroorganismy (např. z kompostů). Biostimulanty usnadňují mineralizaci látek, které by jinak byly rostlinám jen těžko přístupné, dále např. omezují vliv biotických a abiotických stresů rostliny. Nelze o nich tedy hovořit jako o hnojivech, protože neposkytují přímo živiny rostlinám. Řada biostimulantů dokáže nejen zpřístupnit živiny důležité pro rostliny, ale také se využívají pro jejich repelentní a insekticidní účinky, dále v integrované ochraně rostlin proti škůdcům v moderním zemědělství a zahradnictví.

Organické materiály nebo vedlejší produkty, které se dříve považovaly za odpad, se nyní používají pro případné znovuvyužití fosforu v zemědělství. Čistírenské kaly, masokostní moučka, popel, kompost a další odpadní materiály jsou nadějným zdrojem P.

V některých případech je výhodné kombinovat různé typy biostimulantů, ovlivňují růst rostlin a odběr živin různými způsoby. Mohou ovlivňovat např. mechanické vlastnosti ovoce a zeleniny, dále výšku rostliny a délku kořene.

Aby se snížilo riziko ohrožení životního prostředí nadměrným hnojením minerálními hnojivy, vyvíjí se nové metody jejich aplikace. Jedním ze způsobů je obalování semen v P-hnojivech před výsadbou, což může snížit spotřebu P-hnojiv v následném růstu plodiny. Dalším způsobem je využívat moderních technologií v zemědělství, kdy je P-hnojivo aplikováno buď v pásech v blízkosti plodin nebo přímo k výsevu na pole. Tato aplikace se provádí s pomocí GPS, kvůli přesné aplikaci P-hnojiva.

## **2 Cíl práce**

Cílem této práce bylo zpracování literární rešerše shrnující aktuální poznatky v oblasti využití různých druhů biostimulantů k zpřístupnění fosforu pro rostliny. Dalším cílem bylo vytvoření přehledu ostatních moderních trendů hnojení fosforem.



## 3 Literární přehled

### 3.1 Charakteristika příjmu fosforu rostlinami

Fosfor je přijímán rostlinami ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné, převážně ve formě  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  a  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Příjem jednotlivých forem je závislý zejména na hodnotě pH půdy. Sloučeniny fosforu, sloužící jako potenciální zdroj pro výživu rostlin, se řadí mezi minerální a organické sloučeniny (Vaněk et al. 2012). Z hlavních živin je fosfor v půdě nejméně mobilní. Vysoká sorpční kapacita fosforu v půdě, mineralizace a/nebo fixace fosforu v organických půdních materiálech vede k nízké dostupnosti a příjmu tohoto makroprvku rostlinami (Marschner 1995).

Rostliny přijímají fosfor během celé vegetace poměrně rovnoměrně. Protože je fosfor v půdě málo pohyblivý, jeho obsah v půdním roztoku je nízký. Rostliny jsou schopny přijímat fosfor i při velmi nízké koncentraci v půdním roztoku. Musí však překonávat značný koncentrační gradient. Příjem fosforu je aktivní proces, vyžadující dostatek energie. Zásobárnou této energie jsou makroergické vazby v ATP (Vaněk et al. 2012). Pro dobrý růst a vývin rostlinné buňky musí rostlina nepřetržitě vykonávat činnost spojenou se spotřebou energie na zabezpečení celé řady životně nezbytných pochodů (Michalík 2001). Při nízkých teplotách mohou mít rostliny k dispozici málo energie pro příjem fosforu. Současně je značně omezena mineralizace organických sloučenin fosforu v půdě. Rostliny tak mohou přechodně vykazovat nedostatek fosforu i při jeho dostatečném obsahu v půdě. Rostliny jsou schopny do určité míry příjem fosforu ovlivňovat. Pokud je v jejich pletivech jeho nedostatek, aktivují v membránách kořenů fosfatázy a přenašeče s vysokou afinitou k fosforečnanům s cílem zlepšit příjem fosforu. Také mají snahu zvětšit prostor, ze kterého mohou fosfor získat – zvýšeným růstem kořenů na úkor nadzemní biomasy vytvářejí hustší kořenovou síť a větší množství vlásečnicových kořínků. Vytvoření bohaté kořenové soustavy je důležitým předpokladem pro příjem fosforu. Kritickým obdobím příjmu fosforu je proto také u většiny rostlin počátek vegetace, kdy se vyčerpají zásoby fosforu ze semen, rostlina postupně přechází na autotrofní výživu a nemá ještě dostatečný kořenový systém, který by zvláště na stanovištích s nižším obsahem fosforu zajistil jeho dostatek pro rostlinu. Zvyšuje se i kořenová sekrece, umožňující zvýšení rozpustnosti, a tím přijatelnosti fosforu v rhizosféře. Rostliny vydávají do prostředí větší množství iontů  $\text{H}^+$  (jeteloviny) a dále organické kyseliny (jablečná, citronová aj.), které zvyšují rozpustnost fosforečnanů. Na příjem fosforu rostlinami působí příznivě dostatečná vlhkost půdy, hodnota pH půdy (měla by se podle půdního druhu pohybovat v rozmezí 5,5 – 7,0), dostatek organických látek v půdě, dobrá biologická činnost a samozřejmě obsah

přijatelného P v půdě. Přijatý minerální fosfor je rychle zabudován do organických sloučenin a takto je transportován do míst jeho nejvyšší potřeby – mladých listů, vegetačního vrcholu, později květů a semen. Nejvyšší obsah fosforu vykazují proto generativní orgány a semena. Existují značné rozdíly ve schopnostech rostlin osvojovat si fosfor z půdy i z méně rozpustných sloučenin. K rostlinám, které si velmi dobře osvojují fosfor z půdy, patří obecně dřeviny, zvláště jehličnany (Vaněk et al. 2012).

## 4 Moderní trendy hnojení fosforem

Zásoba přijatelného fosforu v půdách klesá a fosfor se postupně stává limitujícím prvkem výnosu a kvality produkce. Při současném omezeném hnojení statkovými hnojivými (např. hnojem), případně organickými hnojivými (např. kompostem) a minerálními P-hnojivými dochází k odčerpání fosforu z půdy, které bilančně přesahuje vstupy. To má za následek snižování obsahu přístupného fosforu v půdě (Kunzová 2009).

V průmyslově vyspělých zemích je nízká dostupnost fosforu v zemědělských půdách kompenzována vysokým vstupem P-hnojiv pro zajištění vysoké produktivity plodin a výnosu. Odtok vody, eroze půdy a prosakování v přehnojovaných zemědělských půdách však mohou způsobovat environmentální problémy, jako je eutrofizace jezer a řek (Sanchez et al. 1997).

Rostoucí množství organických materiálů nebo vedlejších produktů, dříve často považovaných za odpad, se nyní používá pro případné znovuvyužití fosforu v zemědělství. Jedná se např. o komposty, zbytky anaerobní fermentace, pevné komunální odpady a popel. Spolu s hnojem hospodářských zvířat tyto biologické zdroje mohou kromě fosforu obsahovat cenné množství organických látek a živin, které mají potenciál zlepšit strukturu a úrodnost půdy a nahradit tak anorganická hnojiva. Další strategií je přidání biostimulantů (jednoduchých a/nebo kombinovaných mikrobiálních přípravků), které stimulují mikrobiální přístupnost půdního anorganického a organického fosforu, ale jejich efektivita v polních pokusech je stále málo prozkoumaná. V posledních letech také došlo k pokroku v získávání fosforu z odpadních vod, kalů, hnoje a dalších vedlejších produktů odpadu do potenciálně užitečných hnojiv neobsahujících kontaminanty, jako je např. struvit (fosforečnan hořečnato-amonný) a produktů získaných spalováním odpadu (Withers et al. 2014).

## 4.1 Využití biostimulantů

Biostimulanty byly představeny jako alternativní prostředky vedoucí ke snížení používání minerálních hnojiv. Obecně obsahují mikroorganismy schopné zvýšit úrodnost půdy (Mezuan et al. 2004). Biostimulant je látka obsahující živé mikroorganismy, které při aplikaci na semena, povrch rostliny nebo půdu kolonizují rhizosféru nebo vnitřní část rostliny a podporují růst zvýšením dostupnosti živin rostlině (Vessey 2003). Biostimulanty mohou také snižovat hodnotu pH, což vede ke zvýšení dostupnosti stopových prvků, které zlepší růst rostlin (Mahfouz & Eldin 2007), měly by zvýšit i odolnost vůči chorobám a patogenům (Holečková et al. 2018). Biostimulanty stimulují růst kořenů, usnadňují rozpouštění a mineralizaci látek s nízkou přístupností živin a omezují vliv biotických a abiotických stresů rostliny (Neumann 2012).

V posledních letech přitahují pozornost výzkumu biologické metody ochrany s využitím antagonistických mikroorganismů v biologické kontrole. V polních pokusech např. antagonistické izoláty zlepšily klíčivost zrn pšenice (El-Gremi et al. 2017). Ačkoli používání pesticidů je tradiční metoda, jejich vedlejší environmentální účinky a postupná odolnost patogenu vůči účinné látce podněcuje k hledání alternativních strategií hubení patogenů (Brent & Holloman 2007). Jednou z alternativ je využití rodů *Trichoderma*, *Gliocladium*, *Erwinia*, *Pseudomonas* a *Bacillus* pro jejich antagonistické působení. Rozvoj tzv. mikrobiálních biokontrolních činidel stoupá i vzhledem k možnému využití těchto látek v ekologickém zemědělství (El-Gremi et al. 2017). Vujanovic et al. (2012) uvádí, že výskyt hub *Epicoccum*, *Acremonium*, *Chaetomium*, *Kabatiella*, *Penicillium* a *Trichoderma* negativně ovlivnily izoláty *Fusarium* a *Bipolaris*, a proto mohou být potenciálními antagonisty nebo kandidáty v biologické kontrole proti patogenům.

Literatura popisuje pozitivní vliv biostimulantů na růst ovoce a zeleniny. Povaha jejich pozitivního vlivu však není zcela známa, a proto je studium mechanismů jejich působení v některých případech stále výzvou (Drobek et al. 2019). Současně existují studie, ve kterých nebyl zjištěn žádný účinek biostimulantů na výnos (Milić et al. 2018; Bona et al. 2018). Z tohoto důvodu patří biostimulanty mezi aktuální témata v zemědělství a vyžadují podrobný výzkum (Drobek et al. 2019).

#### 4.1.1 Biostimulanty houbového původu

Houby podporující růst rostlin (Plant growth-promoting fungi – PGPF) patřící do rodů *Trichoderma*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Phoma* atd. byly popsány jako prospěšné pro několik kulturních plodin, nejen díky podpoře jejich růstu, ale také jejich ochranou před chorobami (Hyakumachi 1994; Koike et al. 2001; Muslim et al. 2003; Shivanna et al. 1996).

Arbuskulární mykorhizní houby (AMF) a *Trichoderma* spp. jsou půdní mikroorganismy, které mají pozitivní vliv na růst rostlin a odolnost vůči biotickým a abiotickým stresům četných plodin (Buysens et al. 2016). Mohou však být negativně zasaženy zemědělskými postupy jako je orba, nadměrné hnojení, aplikace pesticidů a pěstování monokultur (Gosling et al. 2006). Je známo, že při nízkých koncentracích živin jsou AMF schopny učinit rostlinám některé živiny (například fosfor) dostupnější, což by mohlo vysvětlit vyšší výnosy rostlin kolonizovaných AMF (Smith & Read 2008).

AMF jsou všudypřítomné půdní mikroorganismy, které tvoří symbiotická společenstva s velkou většinou suchozemských rostlin. Tyto houby poskytují rostlinám minerály (zejména fosfor) výměnou za sacharidy (Smith & Read 2008).

Hlavní funkce AMF jsou následující:

- Podpora absorpce minerálů – zejména fosforu, zinku a mědi
- Zvýšení absorpce vody
- Stimulace růstu
- Produkce vysoce kvalitního ovoce
- Zvýšení odolnosti vůči environmentálním stresům
- Zvýšení odolnosti vůči půdním chorobám (Incesu et al. 2015)

Asi osmdesát procent suchozemských rostlin je schopno vzájemně prospěšné interakce s AMF (Harrison 1997; Smith & Read 1997). Téměř veškerý výzkum s mykorhizou ukázal, že půda s omezeným množstvím fosforu inokulovaná AMF může zlepšit příjem fosforu rostlinami (Ortas et al. 2002). Tato symbiotická asociace však není charakteristická pro všechny rostliny a výskyt kolonizace kořenů se liší v závislosti na druhu rostliny a AMF (Jeffries & Barea 2001). Úspěšné použití AMF v udržitelném zemědělství vyžaduje výběr vhodné kombinace hostitel-houba (Tarbell & Koske 2007; Haas & Krikun 1985) a má zásadní význam u určitých druhů rostlin, které vykazují špatnou schopnost tuto symbiózu utvářet (Akiyama et al. 2001).

Bylo popsáno, že kombinovaná aplikace AMF a organických látek může pomoci usnadnit příjem živin rostlinami (Hammer et al. 2014), ačkoli tento účinek je spojen i s edafickými vlastnostmi a přítomností dalších půdních mikroorganismů (Akhter et al. 2015).

Kombinovaná aplikace *Trichoderma* spp. a AMF vykazuje pozitivní účinky na výživové složení několika druhů rostlin, včetně měsíčku, rajčate, okurky nebo melounu (Calvet et al. 1993; Datnoff et al. 1995; Chandanie et al. 2009; Martínez-Medina et al. 2009). Nicméně byly také popsány negativní účinky na rostliny po společné aplikaci těchto hub (Green et al. 1999; Martínez et al. 2004).

*Trichoderma* spp. jsou volně žijící vláknité houby přítomné v půdě a rhizosféře rostlin. Jsou to oportunističtí avirulentní symbionti rostlin zvyšující jejich růst, příjem živin a odolnost proti biotickým stresům (Harman et al. 2004). *Trichoderma* je rod hub v půdě široce používaných jako zdroj biokontrolních látek v zemědělství díky účinným antagonistickým mechanismům, jako je mykoparazitismus, antibióza nebo konkurence proti rostlinným patogenům a hád'átkům (Lorito et al. 2010; Medeiros et al. 2017). Některé kmeny jsou schopné vyvolat obranyschopnost u rostlin (Yedidia et al. 1999) a stimulovat jejich růst a vývoj (Shoresh et al. 2010; Hermosa et al. 2012) navázáním molekulární vazby s kořeny (Hermosa et al. 2013; Mendoza-Mendoza et al. 2018). Byly pozorovány vzájemně prospěšné vztahy mezi *Trichoderma* spp. a mnoha druhy rostlin, jako jsou okurky, rajčata, hrách, řepka huseníček (Vinale et al. 2008; Contreras-Cornejo et al. 2009; Samolski et al. 2012) a dokonce i dřevinami (Carrero-Carrón et al. 2018). Velmi snadno se kultivují in vitro (Buysens et al. 2016). *Trichoderma* je také schopna produkovat několik proteinů, které mohou být rozpoznávány rostlinnými receptory, což umožňuje asociaci *Trichoderma*-rostlina (Mendoza-Mendoza et al. 2018). Mnoho studií uvádí synergismus mezi AMF a *Trichoderma* spp. na výnosech rostlin (Calvet et al. 1993; Chandanie et al. 2009). Je dobře známo, že druhy *Trichoderma* mají schopnost kolonizovat rhizosféru rostlin *Brassicaceae*, podporovat růst a vývoj a stimulovat systémovou ochranu (Poveda et al. 2019).

Buysens et al. (2016), ve svém pokusu uvádějí, že inokulace krycí plodiny (*Medicago sativa*) zvyšuje výnos brambor a velikost hlíz. Cílem této studie bylo prozkoumat dopad aplikace AMF a *Trichoderma harzianum*. U kultivaru Sarpo Mira naočkování krycí plodiny zvýšilo výnos brambor a počet hlíz na rostlinu.

El-Gremi et al. (2017) ve svém pokusu prokázali, že semena pšenice obalovaná *Trichoderma* spp. mají významně vyšší výnos a nižší výskyt chorob, jako jsou fuzariózy klasu. Rouphael et al. (2020) ve svém pokusu uvádějí zvýšení hmotnosti sušiny kořenů kukuřice po ošetření AMF a *Trichoderma* spp. v porovnání s neošetřenými rostlinami.

*Rhizophagus* spp. jsou dominantním druhem hub vyskytujících se v půdách, kde jsou pěstovány zemědělské plodiny (Sýkorová et al. 2007). Snadno se kultivují in vitro nebo in vivo, což podporuje jejich potenciál pro hromadnou výrobu (Voets et al. 2005). *Rhizophagus irregularis* je běžně se vyskytující AMF. Vytváří symbiotický vztah s kořeny většiny rostlin a vznikající symbióza může vést ke zlepšení růstu rostlin (Campos et al. 2015).

Ortas et al. (2002) ve své studii prokázali, že *Glomus clarium* poskytoval nejvýraznější zlepšení v růstu a výživě citrusů, což vedlo k větší ploše listů, výšce rostlin, průměru stonku a rostlinné biomase s vyšším obsahem P. Cílem této studie bylo prověřit a vybrat nejvhodnější AMF pro zvýšení růstu zlepšením absorpce fosforu rostlinami. Sazenice pomeranče (*Citrus sinensis* L.) pěstované v nádobách ve skleníku byly inokulovány pěti druhy AMF. Citrusové sazenice naočkované spórami *Glomus clarium* rostly rychleji než rostliny naočkované jinými mykorhizními houbami.

Martínez-Medina et al. (2009) zjistili, že se zvýší úroveň mykorhizní kolonizace kořenů rostlin melounu při naočkování *Glomus mosseae*.

Incesu et al. (2015) uvádějí, že mykorhizní inokulace zvyšuje růst výhonků a hmotnost sušiny rostlin *Diospyros virginiana* v porovnání s neinokulovanými rostlinami. Nejvyšší celkovou hmotnost sušiny a růst výhonků vykazovaly rostliny inokulované *Glomus etunicatum*.

Marin et al. (2003) pozorovali u rostlin *Diospyros kaki* kolonizovaných *Glomus intraradices* zvýšení růstu výhonků a kořenů.

Chandanie et al. (2009) zkoumali interakci mezi *Penicillium simplicissimum* a *Trichoderma harzianum* v souvislosti s jejich vlivem na růst okurek. Kombinovaná inokulace *Penicillium simplicissimum* a *Trichoderma harzianum* byla účinná při zvýšení růstu výhonků rostlin a suché hmotnosti kořenů.

Vessey & Heisinger (2001) uvádějí, že inokulace *Penicillium billai* zvýšila délku kořenů, dále zvýšila absorpční kapacitu kořenů a tím došlo ke zvýšení obsahu fosforu v kořenech hrachu.

Tabulka 1. Přehled houbových biostimulantů a jejich účinků v různých pokusech

Houba	Pokusné podmínky	Vliv na rostlinu	Zdroje
<i>Trichoderma</i> spp.	Nádobový pokus	Zvýšené klíčení a růst pšenice	El-Gremi et al. 2017
	Skleníkové podmínky	Zvýšení hmotnosti kořenů a sušiny kukuřice	Rouphael et al. 2020
<i>Trichoderma harzianum</i>	Polní pokus	Zvýšení výnosu brambor	Buysens et al. 2016
<i>Glomus clarium</i>	Skleníkové podmínky	Zvýšení růstu rostlin, průměru stonků a zvětšení plochy listů u <i>Citrus sinensis</i>	Ortas et al. 2002
<i>Glomus etunicatum</i>	Skleníkové podmínky	Zvýšený růst výhonků a zvýšení výnosu sušiny <i>Diospyros virginiana</i>	Incesu et al. 2015
<i>Glomus intraradices</i>	Skleníkové podmínky	Zvýšený růst výhonku <i>Diospyros kaki</i>	Marin et al. 2003
<i>Glomus mosseae</i>	Nádobový pokus	Zvýšení mykorhizní kolonizace kořenů melounu	Martínez-Medina et al. 2009
<i>Penicillium simlicissimum</i> & <i>Trichoderma harzianum</i>	Polní a skleníkové podmínky	Zvýšený růst výhonků okurky a zvýšení hmotnosti sušiny kořenů	Chandanie et al. 2009
<i>Penicillium billai</i>	Polní podmínky	Zvýšení délky kořenů a obsahu P v kořenech hrachu	Vessey & Heisinger 2001



#### 4.1.2 Bakteriální biostimulanty

Skupina biostimulantů obsahující prospěšné rhizobakterie se obecně nazývají rhizobakterie podporující růst rostlin (Plant growth promoting rhizobacteria - PGPR) (Wu et al. 2005). PGPR jsou heterogenní skupinou půdních bakterií v rhizosféře, žijících ve spojení s kořeny, které mohou zlepšit rozsah nebo kvalitu růstu rostlin přímo a/nebo nepřímo různými mechanismy (Nelson 2004). Uvádí se velké množství bakterií, včetně druhů *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Burkholderia*, *Bacillus* a *Serratia*, které mají pozitivní vliv na růst rostlin (Kloepper et al. 1989; Okon & Labandera-Gonzalez 1994; Glick 1995). Mnoho bakteriálních kmenů se úspěšně používá jako PGPR a jako biokontrolní činidla proti chorobám rostlin. Mechanismy jejich působení zahrnují produkci enzymů a antibiotik, které by ve vysokých koncentracích mohly také ovlivnit necílové organismy, a tím i biologickou rozmanitost a procesy v půdě (Lagerlöf et al. 2015). Produkce antibiotik neovlivňuje pouze mikroorganismy a jejich interakce s rostlinami. Je také známo, že bakteriální biokontrolní činidla se dají použít proti rostlinným parazitickým hlísticím (Abally 2012; Mutua et al. 2011; Niazi et al. 2014). Několik bakterií, včetně kmenů rodů *Pseudomonas* a *Bacillus*, je nyní komerčně dostupných a úspěšně se používají místo pesticidů v rostlinné výrobě (Choudhary & Johri 2009).

Bakterie podporující rozpustnost fosforečnanů hrají důležitou roli ve výživě rostlin prostřednictvím zvýšení příjmu fosforu rostlinou a jejich použití jako PGPR jsou velmi důležitým přínosem k výživě rostlin. Použití bakterií mobilizujících fosforečnany jako očkovacích látek současně zvyšuje výnosový potenciál pěstované plodiny. Kmeny z rodů *Pseudomonas*, *Bacillus* a *Rhizobium* patří mezi nejúčinnější v oblasti solubilizace fosfátů. Hlavním mechanismem rozpustnosti minerálních fosfátů je produkce organických kyselin a kyselých fosfatázy hrající hlavní roli při mineralizaci organického fosforu v půdě. Bylo naklonováno a charakterizováno několik genů kódujících fosfatázu a bylo izolováno několik genů zapojených do solubilizace minerálních fosfátů. Proto genetická manipulace s bakteriemi solubilizujícími fosfáty za účelem zlepšení jejich schopnosti zlepšit růst rostlin může zahrnovat klonování genů podílejících se na solubilizaci minerálních i organických fosfátů, následované jejich expresí do vybraných kmenů rhizobakterií (Rodriguez & Fraga 1999). Mezi bakterie solubilizující fosfáty patří jak aerobní, tak anaerobní kmeny, s převahou aerobních kmenů žijících v půdách (Raghu & MacRae 1966).

Alternativním přístupem k použití bakterií solubilizujících fosfáty jako mikrobiálních inokulantů je použití smíšených kultur nebo společné inokulace s jinými preparáty. Několik

studií prokazuje příznivý vliv kombinované inokulace bakterií solubilizujících fosfáty a *Azotobacter* na výnos, akumulaci fosforu a dusíku v různých plodinách (Kundu & Gaur 1984; Monib et al. 1984). Společná inokulace *Pseudomonas striata* a *Bacillus polymyxa*, vykazujících schopnost solubilizace fosfátů, s kmenem *Azospirillum brasilense* vedla k významnému zlepšení výnosu zrna a sušiny čiroku obecného (*Sorghum bicolor*), se současným zvýšením příjmu fosforu ve srovnání s oddělenými inokulacemi těchto kmenů (Alagawadi & Gaur 1992). Toto ukazuje na výhodu smíšených inokulací PGPR (Rodriguez & Fraga 1999). Dále bylo popsáno několik příkladů současné podpory růstu a zvýšení příjmu fosforu rostlinami v důsledku inokulace dvěma kmeny *Rhizobium leguminosarum* (Chabot et al. 1996a; Chabot et al. 1996b). Současné zvýšení příjmu fosforu a výnosu bylo také pozorováno po očkování *Bacillus firmus* (Datta et al. 1982), *Bacillus polymyxa* a *Bacillus cereus* (Gaur & Ostwal 1972). Ne všechny laboratorní nebo polní pokusy však přinesly pozitivní výsledky (Smith et al. 1962).

Rostlinná rhizosféra je všestranné a dynamické ekologické prostředí intenzivních interakcí rostlin a mikrobů, sloužící mj. k využití nezbytných mikro- a makroprvků z omezeného množství přístupných forem živin (Jeffries et al. 2003). Interakce mikrob-rostlina v rhizosféře může být pro rostliny prospěšná, neutrální, variabilní nebo škodlivá (Cattelan et al. 1999; Kumar et al. 2015). Podpora růstu rostlin může být také způsobena zvýšením mobilizace hůře rozpustných živin a následnou asimilací v rostlinách (Lifshtiz et al. 1987; Rodriguez & Fraga 1999). Mikroorganismy, které zvyšují dostupnost živin mohou poskytnout udržitelná řešení pro současné a budoucí zemědělské postupy (Rai 2006).

Účinnost biostimulantu závisí na životaschopnosti bakterií, která může být snížena vystavením vnějším podmínkám, jako je teplota, vlhkost a světlo. Pro udržení životaschopnosti, je nutné smíchat bakterii s nosičem, který udrží její životaschopnost, ale zároveň se snadno aplikuje (Altuhaish et al. 2014).

Simanungkalit (2001) uvádí, že *Azospirillum* sp. a *Azotobacter* sp. jsou aerobní mikroby volně žijící v půdě, kteří fixují vzdušný dusík. *Pseudomonas* sp. a *Bacillus* sp. jsou bakterie schopné zvýšit přístupnost fosforu a draslíku v půdě, zlepšit příjem dusíku, fosforu a draslíku rostlinami (Han & Lee 2005). *Pseudomonas* sp. a *Azospirillum* sp. také produkují hormony, které zlepšují růst rostlin (Altuhaish et al. 2014).

Jedním z nejhojnějších mikroorganismů v rhizosféře je fluorescenční *Pseudomonas* spp. V Indii je *Pseudomonas fluorescens* široce používán jako biofungicid, který nahrazuje 15 procent chemických fungicidů. Podobně se *Pseudomonas striata* běžně používá jako solubilizátor fosfátů, který poskytuje 15-20 procent fosforu požadovaného pro výnos plodin. Uvádí se, že očkování osiva *Pseudomonas* zvyšuje produktivitu plodin a snižuje populace

škodlivých mikrobů v polních podmínkách (Kumar et al. 2015). De Freitas & Germida (1992) prokázali, že kmeny *Pseudomonas* výrazně zvyšují časný růst rostlin v půdě s nízkou úrodností. Kmeny *Pseudomonas putida* a *Pseudomonas fluorescens* zvýšily růst kořenů a výhonků u řepky, salátu a rajčat (Hall et al. 1996; Glick et al. 1997), dále i brambor, ředkviček, rýže, cukrové řepy, rajčat, hlávkového salátu, jablek, citrusů, fazolí, pšenice a okrasných rostlin (Suslov 1982; Lemanceau 1992; Kloepper 1994). Burr et al. (1978) ve své studii prokázali, že *Pseudomonas fluorescens* a *Pseudomonas putida* stimuloval růst brambor pěstovaných ve skleníku. Jejich aplikace vedla ke zvýšení čerstvé hmotnosti rostlin a délky kořenů. Dále zjistili, že inokulací semen *Pseudomonas* spp. byl zvýšen výnos brambor pěstovaných v polních podmínkách až na 33 %.

Kumar et al. (2015) ve své studii uvádí, že použití *Pseudomonas* spp. na semena *Cajanus cajan* vedlo po ošetření bakteriemi k vyšší koncentraci živin a lepšímu růstu rostlin. Došlo k zvýšení délky výhonků, kořenů a hmotnosti sušiny. Také prokázal, že *Pseudomonas* spp. významně eliminují choroby přenášené v půdě u *Cajanus cajan*.

Mnoho druhů z rodu *Bacillus* přítomných v půdě může být v rhizosféře rostlin podporováno v závislosti na látkách vylučovaných kořeny. Fenotypicky vysoká rozmanitost byla nalezena u druhů *Bacillus* s interakcí na rostliny, což vede k epyfitické i endofytické kolonizaci (McSpadden Gardener 2004). Bylo zjištěno, že druhy *Bacillus subtilis*, *Bacillus cereus* a *Bacillus amyloliquefaciens* interagují s rostlinami a mají příznivé účinky včetně potlačování chorob (Choudhary & Johri 2009). *Bacillus subtilis* je nejlépe charakterizovaným zástupcem grampozitivních bakterií. Je to aerobní, endospory tvořící tyčinková bakterie běžně se vyskytující v půdě, ve vodních zdrojích i ve spojení s rostlinami (Kunst et al. 1997).

Han & Lee (2005) uvádějí, že použití bakterií solubilizujících fosfáty, jako je *Bacillus megaterium*, zvýšilo hmotnost sušiny rostlin lilku (*Solanum torvum*).

Altuhaish et al. (2014) ve své studii prokázali zlepšenou absorpci živin, růst a produkci u rajčat. Aplikace biostimulantu poskytla rostlinám vhodné podmínky (zejména přísun živin) stimuluje jejich růst, což vedlo ke zvýšené produkci. Výsledek byl ve shodě s Adesemoye et al. (2008), kteří zjistili, že společná aplikace *Pseudomonas aeruginosa* a *Bacillus subtilis* vedla ke zvýšení biomasy rajčat.

Mahfouz & Sharaf-Eldin (2007) uvádějí, že hnojení rostlin fenyklu (*Foeniculum vulgare*) pomocí různých kmenů bakteriálních biostimulantů a polovičních dávek dusíku, fosforu a draslíku, zvýšilo růst rostlin, větvení, čerstvou hmotnost rostliny, hmotnost sušiny a výnos plodů.

Yadav et al. (2003) studovali účinnost biostimulantu *Azotobacter* a zjistili, že očkování *Azotobacter* zvyšuje výnos hlíz brambor o 5-14 %.

#### 4.1.3 Výtažky z řas a rostlin

Vzhledem k některým nežádoucím účinkům anorganických hnojiv a pesticidů na životní prostředí (Joshi & Tandon 2003), vzniká velký zájem o regulaci růstu a vývoje rostlin pomocí nových přípravků, které vykazují aktivity stimulující růst a umožňují rostlině modifikovat své morfologické a fyziologické chování tak, aby maximalizovaly účinnost stávajících i aplikovaných vstupů (Senn 1987; Carlson et al. 1987; Sharma et al. 1990). Tyto vlastnosti kromě uvedených mikrobiálních biostimulantů mají i výtažky z řas/rostlin, pokud se aplikují postřikem na list nebo mořením semen. Některé zbytky rostlin/řas, jako jsou *Ascophyllum nodosum*, *Pueraria montana* var. *Lobata* a *Yucca schidigera*, jsou považovány za dobré zdroje pro výrobu biostimulantů (Khan et al. 2009).

Přípravky na bázi mořských řas se široce používají v zemědělských, chemických, kosmetických a potravinářských přípravcích. Výtažky z mořských řas obsahují hlavní a vedlejší živiny, aminokyseliny, vitamíny, cytokininy a látky podporující růst (auxin a kyselinu abscisovou) (Mooney & van Staden 1986) a mimo jiné je u nich uváděna i stimulace růstu a výnosu rostlin (Rao 1991; Smitte 1991), dále zvyšují toleranci vůči stresu z prostředí (Zhang & Schmidt 2000; Zhang et al. 2003), zvyšují příjem živin z půdy (Verkleij 1992; Turan & Köse 2004), zvyšují antioxidační vlastnosti (Verkleij 1992) a aktivitu proti široké škále patogenních virových, bakteriálních a plísňových chorob (Portillo et al. 2007; Percival 2010).

Hnědé řasy jsou bohatým zdrojem bioaktivních látek jako jsou polysacharidy, peptidy, omega-3 mastné kyseliny, karotenoidy, fenolické látky, vitamíny a minerály (Kadam et al. 2015a). V Evropě jsou hlavními druhy řas využívanými pro průmyslové využití *Laminaria hyperborea*, *Laminaria digitata* a *Ascophyllum nodosum* (Netalgae 2014). *Ascophyllum nodosum* je hnědá mořská řasa, která patří do třídy *Phaeophyceae* a je dobrým zdrojem fukoidanu, alginátů, ascophyllanu, laminarinů a polyfenolů (Jiang et al. 2010). *Ascophyllum nodosum* je bohatým zdrojem fenolických sloučenin s antioxidačními a antimikrobiálními vlastnostmi (Kadam et al. 2015b). *A. nodosum* se už běžně používá jako hnojivo v agrochemickém průmyslu (Werner & Kraan 2004). Komerční přípravky extraktů *A. nodosum* stimulují růst a větvení výhonků (Temple & Bomke 1989), zvyšují růst kořenů, podporují vývoj laterálních kořenů (Metting et al. 1990), zlepšují absorpci živin (Yan 1993) a zvyšují odolnost vůči chorobám (Featonby-Smith & van-Staden 1983) a snášenlivost vůči environmentálním stresům, jako jsou sucho, zasolení a mráz (Nabati 1991).

Např. Biovita je komerčně dostupný přírodní nutriční organický produkt obsahující vyváženou kombinaci živin a dále aminokyseliny, vitamíny a hormony (gibereliny, auxiny, cytokininy atd.) odvozené z mořských řas *Ascophyllum nodosum*. Tento druh řas je celosvětově uznáván jako vynikající přírodní hnojivo, které obsahuje 2 % kyseliny abscisové, 3 % adeninu a 5 % kyseliny indolyloctové (Kingman & Moore 1982). Extrakt této mořské řasy působí jako biostimulant, používá se u zemědělských a zahradních plodin s mnoha příznivými účinky na výnos a kvalitu (Crouch & van Staden 1994). Předpokládá se, že použití tohoto extraktu z mořských řas zpřístupní aplikované živiny rostlinám snadněji a účinněji a povede k rozpadu komplexních molekul na jednoduché molekuly, které mohou buňky využít (Leopold & Kriedman 1988), což vede ke zvýšenému růstu a výnosu. Při použití v granulované formě tento produkt podporuje růst rostlinných kořenů a výhonků a zvyšuje aktivitu mikrobů v půdě (Prakash 2009). Bylo zjištěno, že kapalná forma při použití na semena urychluje klíčení a zvyšuje nutriční hodnotu sklizeného produktu. Kromě toho aplikace kapalného extraktu z mořských řas postřikem umožňuje absorpci minerálů listovou epidermis díky zlepšené účinnosti absorpce stomaty (Mancuso et al. 2006), stimuluje metabolické procesy v listech a pomáhá rostlině využívat živiny v listu, které zde mohou zůstat imobilizovány (Sen et al. 2015). Extrakt přechází do mízy rostliny a spolu s auxiny a dalšími hormony přímo ovlivňuje růst rostlin (Sen et al. 2015).

Sen et al. (2015) provedli experiment, jehož účelem bylo stanovení účinku *Ascophyllum nodosum* (Biovita) na rozklad zbytků plodin; růst, výnos a jakost pšenice v systému zpracování půdy bez orby. Všechna pozorování byla provedena při sklizni. Toto ošetření mělo stimulační účinek na růst rostlin, což vedlo ke zvýšení suché hmotnosti. Dále aplikace extraktových granulí usnadnila rychlost rozkladu posklizňových zbytků rýže, které zůstaly na poli před zasetím pšenice. Z tohoto lze usoudit, že extrakt z mořských řas (*Ascophyllum nodosum*) v biostimulantu Biovita by mohl významně zlepšit růst, úrodnost a obsah bílkovin v pšenici, pokud by se aplikoval společně s N, P a K. Jeho stimulační působení na půdní mikroflóru zároveň podporuje rychlý rozklad posklizňových zbytků.

Jiný přípravek Biozyme je látka regulující hormonální růst, je extrahována z mořských řas *Ascophyllum nodosum*, která je bohatá na prekurzory cytokininů a auxinů, enzymy, některá chelatační činidla, minerály, betainy, polyaminy, organické kyseliny, oligosacharidy, aminokyseliny a hydrolyzované proteiny (Khan et al. 2009; Sen & Santosh 1996). *A. nodosum* je nejrozšířenějším druhem řas využívaným pro zemědělské účely (Verkleij 1992). Důkazy rostlinných hormonů v této chaluze byly zaznamenány již v 50. letech minulého století (Sen 1987). Sen & Kumar (1996) uvádějí zvýšení výnosu rýže při aplikaci extraktu z mořských řas

Biozyme. Tandon & Dubey (2015) provedli polní experiment za účelem zkoumání účinků přípravku Biozyme na sóju. Zkoumali vhodnou dávku a účinky na obsah chlorofylu, počet listů, počet lusků, délku kořenů, výnos a další. Aplikace granulí Biozyme a polovina z doporučené dávky NPK měla významné účinky na všechny růstové a výnosové parametry sóji.

Je známo, že aktivita bakterií v půdě se zvyšuje při aplikaci extraktu z mořských řas, což podporuje mineralizaci organické hmoty (Stephenson 1968). Zvýšení bakteriální aktivity v půdě v důsledku aplikace granulí vyvolalo sekreci organických polyuronidů půdními bakteriemi. Polyuronidy působí jako půdní kondicionéry, pozitivně působící na provzdušňování, kapilaritu a stimulaci růstu kořenového systému rostlin (Stephenson 1968). Tento proces také napomáhá rychlému rozkladu rostlinných zbytků a je akceptovanou a doporučenou praxí v konvenčním zemědělství (Sen et al. 2015).

Zemědělci pěstující rýži a pšenici přidáním extraktu z mořských řas ve formě granulí zvýší a urychlí dostupnost živin prostřednictvím zvýšeného rozkladu posklizňových zbytků rýže - není proto nutné je odstraňovat spalováním. To je jedním z důvodů, proč jsou extrakty z mořských řas považovány za neznečišťující a neohrožující jakýkoliv ekosystém (Dhargalkar & Pereira 2005).

U extraktů z mořských řas byly rovněž pozorovány následující pozitivní účinky:

- 1) Zlepšení mrazuvzdornosti ječmene (*Hordeum vulgare*) při použití *A. nodosum* (Burchett et al. 1998)
- 2) Lepší vegetativní růst měsíčku lékařského (Aldworth & van Staden 1987)
- 3) Zvýšení odběru živin N, P a K sójou (Rathore et al. 2009)
- 4) Zvýšení výnosu čínské zeli (Marek et al. 2008)

Mohan et al. (1994); Rajkumar & Subramanian (1999) zaznamenali zvýšení růstu kukuřice a kalužnice křivoklasé ve fázi semenáčků po použití extraktu z řepky.

*Quillaja saponaria* je endemický stálezelený strom z Chile (Schlotterbeck et al. 2015). Strom se hojně používá pro extrakci saponinů, což jsou glykosidy s vysokou molekulovou hmotností obsahující hydrofobní triterpenické jádro a dva hydrofilní řetězce sacharidů (Nord & Kenne 1999; San Martín 2000). Saponiny z *Quillaja saponaria* se tradičně používají v různých průmyslových odvětvích, například jako biopesticidy a stimulanty růstu v zemědělství (Chapagain et al. 2007; Fischer et al. 2011).

*Sapindus mukorossi*, listnatý strom z čeledi *Sapindaceae*, je důležitou hospodářskou zemědělskou rostlinou v tropických a subtropických oblastech Asie (Verma et al. 2013; Reddy et al. 2013; Dobhal et al. 2007), rostoucí ve výškách od 200 do 1500 m a dosahující výšky až 20 m (Upadhyay & Singh 2012). Výluh z perikarpu obsahuje saponiny, sacharidy, proteiny a další neznámé látky. Perikarp jeho plodů má vysoký obsah triterpenoidních saponinů s vysokou povrchovou aktivitou a důležitými biologickými aktivitami (Li et al. 2013). Kromě využití k mobilizaci živin jsou biostimulanty využívány také k jiným účelům, tyto saponiny mají moluskocidní účinky, zejména proti *Pomacea canaliculata* (Verma et al. 2013). Dále bylo popsáno, že inhibují růst grampozitivních bakterií (Yang et al. 2010). Dalším využitím biostimulantů je použití saponinů v integrované ochraně rostlin proti škůdcům v moderním zemědělství a zahradnictví (Geyter et al. 2007). Ethanolový extrakt ze *Sapindus mukorossi* byl zkoumán i jako repelent a insekticid proti *Sitophilus oryzae*. Výsledky ukázaly vysokou úmrtnost i odpuzování cílového hmyzu (Rahman et al. 2007).

## 4.2 Uplatnění odpadních materiálů ve výživě P

Efektivnější využití globálních zdrojů fosforu se opírá o lepší hospodaření s fosforem v zemědělství a substitucí minerálních P-hnojiv, odvozených od fosforečných hornin, zvýšenou recyklací fosforu v organických odpadech (Oberson et al. 2011).

Výroba a používání P-hnojiv získaných z druhotných surovin, jako jsou biologické a průmyslové odpadní materiály mohou přispět k udržitelnějšímu zemědělství. Tyto materiály mohou být přetvořeny na hnojiva např. spalováním, vysrážením fosforečných solí nebo pyrolýzou a zplyňováním (Huygens & Saveyn 2018). Fosfor se vyskytuje v různých odpadních produktech v různých formách a jeho dostupnost pro plodiny může být velmi variabilní (Kratz et al. 2019). Podmínkou je však to, že fosfor musí být ve formě přístupné pro rostliny (Huygens & Saveyn 2018).

Organickým odpadem, který obsahuje nejvíce fosforu je kostní moučka, na druhém místě je čistírenský kal. V celosvětovém měřítku se však kostní moučka produkuje v mnohem menším množství než kal. Kal je proto považován za velmi slibný zdroj fosforu (Cordell et al. 2011; Havukainen et al. 2016).

### 4.2.1 Čistírenské kaly

V mnoha publikacích je čistírenský kal popsán jako zdroj fosforu a dusíku (Petersen et al. 2003). Pokud se kal používá jako hnojivo pro pěstování plodin, je kladen velký důraz na

biologickou a chemickou bezpečnost tohoto materiálu (Roig et al. 2012). Přítomnost těžkých kovů je nejčastějším faktorem omezujícím využití sloučenin fosforu získaného z čistírenských kalů v zemědělství (Donatello et al. 2010).

Dostupnost fosforu z čistírenských kalů je srovnatelná se superfosfáty (Coker & Carlton-Smith 1986). Kidd et al. (2007) uvedli, že dlouhodobé používání čistírenských kalů vedlo ke zvýšení biologicky dostupného obsahu fosforu.

V současné době je nejpoužívanější technologií pro recyklaci fosforu z kalů nebo výluhů jeho vysrážení. Fosfor může být vysrážen ve formě struvitů, hydroxyapatitů nebo fosforečnanu vápenatého. Tato technologie již byla zavedena do mnoha provozů (Yuan et al. 2012).

Tepelné využití je jedním ze způsobů používaných pro zpracování kalů. Zpracování spojené se stabilizací čistírenských kalů vede k tvorbě materiálů, které by mohly být kontaminovány různými organickými sloučeninami, což by dále mohlo způsobit kontaminaci půdy. Tepelné zpracování surového čistírenského kalu tuto možnost v zásadě vylučuje (Ciešlik et al. 2015). Naprostá většina potenciálně nebezpečných organických sloučenin, stejně jako všechny parazité a patogenní organismy jsou zcela neutralizovány (Pettersson et al. 2008). Většina organické hmoty je přeměněna na jednoduchou mineralizovanou formu. V tomto případě je největším problémem kontaminace popílků z čistírenských kalů těžkými kovy. V případě konvenčního spalování a spoluspalování jsou produkty procesu výfukové plyny, popílek a strusky. Prach a strusky by měly být řádně využity, protože často obsahují významné množství fosforu, takže je lze použít, stejně jako stabilizovaný kal bez spalování, v zemědělství (Ciešlik et al. 2015).

Pokud se ke stabilizaci kalů používají žízály, snižuje se množství organického uhlíku, zatímco množství biologicky dostupného fosforu se zvyšuje. Během tohoto procesu je také snížen obsah potenciálně nebezpečných sloučenin, jako jsou těžké kovy (Suthar 2010).

#### **4.2.2 Další odpadní materiály**

V mnoha studiích byl pozorován pozitivní vliv aplikace statkových hnojiv na úrodu plodin, vlastnosti půdy a obsah makronutrientů (Barzegar et al. 2002; Troeh & Thompson 2005). Kulhánek et al. (2014) uvedli, že použití statkových hnojiv vedlo ke zvýšenému obsahu P v půdě. Organická hnojiva mohou být nahrazena slámou ponechanou na poli po sklizni obilovin, ačkoli účinek aplikace slámy na výnos uváděný v literatuře je poměrně nízký (Powlson et al. 1985).



U kompostů jsou asi 2 % P z celkového extrahovatelná vodou, kyselina citrónová a šťavelová extrahuje asi 50-70 %, kyselina chlorovodíková ještě více, téměř 100 %. Široká škála pevných kuchyňských a zahradních odpadů, charakterizovaných v různých studiích, vykazuje podobné extrahovatelnosti, kdy 2-16 % P je přítomno jako rychle vyměnitelný anorganický P. Proto bude mít P v kompostech pravděpodobně omezenou dostupnost pro rostliny v neutrálních až alkalických půdách (Frossard et al. 2002; Sinaj et al. 2002). Kromě toho se po úpravě kompostu mohou zvýšit koncentrace Ca a hodnota pH, což zase může zvýšit sorpci P do půdy (Oehl et al. 2002; Lemming et al. 2017).

### 4.3 Lokální aplikace P do půdy/substrátu

Zvýšené používání P-hnojiv a živočišná výroba zásadně změnila globální cyklus P. Ačkoliv agronomické vstupy P-hnojiv globálně překročily odebraný P sklizenými plodinami, deficity P pokrývaly téměř 30 % celosvětové výměry půdy (MacDonald et al. 2011). Nadměrný vstup P ze zemědělských půd do vodních ekosystémů prostřednictvím odtoku nebo eroze půdy je navíc odpovědný za eutrofizaci (Bennett et al. 2001; Carpenter 2005). Řešení agronomických nerovnováh P může být možné díky účinnějšímu používání P-hnojiv (MacDonald et al. 2011).

Přístupy k hnojení fosforem, které mají potenciál zlepšit účinnost využití P a umožňovat vysoké výnosy, zahrnují přesné umístění P-hnojiv pro konkrétní plodiny, správné načasování používání P-hnojiv a jejich nové vylepšení přístupnosti. Umístění a načasování musí zohledňovat špatnou mobilitu P v půdě (Hopkins & Hansen 2019).

Jedním ze způsobů, jak dosáhnout snížení používání P-hnojiv je jejich obalování osiva před výsevem, což může snížit potřebu P-hnojiva v následném růstu plodiny (Watanabe et al. 2005). Aby bylo dosaženo optimálního účinku pro různé druhy plodin, je třeba použít roztoky o různých koncentracích (Sekiya & Yano 2010). Sekiya & Yano (2010) provedli experiment, kdy namáčeli osivo pšenice do roztoku. Touto technikou bylo v nádobovém experimentu dosaženo redukce P-hnojiva přibližně o 65 %, aniž by došlo ke snížení hmotnosti sušiny klíčících rostlin. Tento účinek také potvrdili v polních podmínkách.

Preston et al. (2019) uvádí, že tam, kde je obsah P v půdě nedostatečný, lze aplikovat P do půdy pomocí injektážní aplikace, která minimálně naruší porost a půdu, protože injektáž lze realizovat i pomocí GPS.

Další technologií používanou ve vysoce výnosových systémech je přesné umístění pásů hnojiv (Lal & Stewart 2015). Přesné rozmístění je zvláště výhodné, když jsou tyto pásy aplikovány v jiném čase než výsev. Děje se tak za pomoci traktorů s GPS, kdy je hnojivo velmi přesně umístěno ve vztahu k umístění osiva, takže pás není příliš blízko nebo daleko od

vysazených řad (Hopkins & Hansen 2019). Udržováním vysoké lokalizované koncentrace P činí formy-P rozpustnějšími (Preston et al. 2019).

#### 4.4 Kombinace výše uvedených možností

Různé typy biostimulantů mohou mít odlišné účinky na rostliny. Mnoho autorů uvádí, že různý způsob působení různých biostimulantů se děje v závislosti na rostlinných druzích a vývojových stádiích (Dong et al. 2020). Pokud jde o jejich mnohostranný účinek, je třeba zdůraznit, že tyto přípravky mohou ovlivnit mnoho charakteristik rostliny, např. velikost ovoce, výšku rostliny a délku kořene (Fawzy 2012). Dále také mohou mít vliv na mechanické vlastnosti, tj. pevnost ovoce nebo zeleniny (Tarantino et al. 2018).

Dong et al. (2020) zkoumali vliv tří komerčních biostimulantů na růst rajčat a jahod. Použité biostimulanty byly různého původu, jako je extrakt z *Pelargonium hortorum*; další obsahoval účinné látky z řasy *Ascophyllum nodosum*; poslední obsahoval proteinový koncentrát z mořského lososa. U rajčat bylo zjištěno, že biostimulanty v tomto případě zlepšují spíše hmotnost čerstvých rostlin. U jahod bylo ovlivněno větvení. Výsledky proto naznačují, že různé biostimulanty významně ovlivňují hmotnost nadzemní a podzemní biomasy v závislosti na typech tkáních a rostlinných druzích. Toto naznačuje odlišné chemické složení a pracovní mechanismy těchto přípravků.

Petersson et al. (2009) ve své studii uvádí, že nejlepší účinek na růst kořenů mají biostimulanty z rostlinných extraktů, což naznačuje, že mohou obsahovat některé sloučeniny jako jsou rostlinné hormony, které podporují tvorbu nových kořenů.

Paradić et al. (2011) ve svém pokusu uvádí, že směs čtyř biostimulantů obsahujících aminokyseliny, polysacharidy, vitamíny, huminové kyseliny, organický uhlík a enzymatické proteiny výrazně zvýšila výnos dvou odrůd paprik. Peptidy a aminokyseliny prokázaly ochranný účinek proti vysokým teplotám a vyvolaly růst a vývoj kořenů, zatímco vitamíny a huminové kyseliny vedly k zvýšené produkci paprik.

Tejada et al. (2018) zjistili, že kombinace kuřecího peří s hnojivem poskytla vyšší výnos kukuřice než použití samotného hnojiva. Použití peří v kombinaci s hnojivem vedlo také ke zvýšení obsahu fosforu v listech kukuřice.

Mercl et al. (2020) uvádí, že kombinace dřevěného popele s *Penicillium sp.* a *Trichoderma harzianum* významně zlepšily výživu P a následně produkci biomasy kukuřice na kyselé půdě v porovnání s aplikací samotného popele. Testované inokulanty proto představují slibný a nákladově efektivní způsob, jak zlepšit účinnost hnojení P popelem ze dřeva.

Výsledky výzkumu, který provedli Galletti et al. (2015), potvrdily některé předchozí pokusy, které naznačují, že přidání materiálů na bázi *Brassica* může být prospěšné pro růst plodin a biochemické vlastnosti půdy. Kromě toho ošetření semen *Trichoderma harzianum* ukázalo příznivý účinek na vývoj kořenů melounu při aplikaci v kombinaci se semennou moučkou z *Brassica nigra*.

## 5 Závěr

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo shrnout formou literární rešerše aktuální poznatky v oblasti využití různých druhů biostimulantů a jejich použití k zpřístupnění fosforu pro rostliny. Nejprve jsem se zaměřila na různé druhy biostimulantů. Po prostudování literatury jsem zjistila, že některé pokusy uváděly shodné výsledky, jiné nikoli a v mnoha pokusech neměla aplikace biostimulantů žádný vliv na příjem živin a výnos plodin. Vše záleželo na formě biostimulantu, druhu rostliny, prostředí a typu substrátu/půdy, popř. typu pokusu. V mnoha případech se biostimulanty jevily jako ekologičtější varianta konvenčního hnojení anorganickými hnojivy, protože k dosažení stejného efektu bylo při použití biostimulantů zapotřebí nižší dávky hnojiv. Z literatury je zřejmé, že nejlepších výsledků bylo dosahováno v laboratorních podmínkách, následovaných nádobovými pokusy. V provozních podmínkách však pozitivní vliv biostimulantů nebyl jednoznačně potvrzen. Je to především z důvodů působení mnoha dalších faktorů (půdně klimatické podmínky stanoviště apod.).

Dalším cílem bylo charakterizovat další moderní trendy v hnojení fosforem. Mnohé aktuální výzkumy ukazují využívání odpadních materiálů jako možnou alternativu minerálních P-hnojiv. Na využívání odpadních materiálů bylo provedeno mnoho studií a jedním z nejslibnějších materiálů se zdá být čistírenský kal. Řada autorů také uvedla kladné výsledky při používání kombinace různých druhů odpadů s biostimulanty. Velký potenciál má i lokální aplikace fosforečných hnojiv a šlechtění rostlin. Ukazuje se, že pravděpodobně nejperspektivnější cestou je kombinace všech uvedených možností, začínaje vyšlechtěním vhodné odrůdy, konče lokální aplikací biostimulantů spolu s odpadními materiály.

Biostimulanty jsou do budoucna slibným nástrojem k lepšímu zpřístupnění živin pro rostliny, mají však potenciál k daleko širšímu využití.

V literatuře již bylo v této oblasti publikováno mnoho studií, přesto je třeba další intenzivní výzkum, zaměřený zejména na mechanismy působení biostimulantů a na možnosti jejich uplatnění v provozních podmínkách.

## 6 Literatura

- Abally, E. 2012. Rhizobacteria Associated to *Vitis Vinifera* and Their Effect on the Control of Xiphinema Index, Meloidogyne Ethiopica and Vitis Growth. Doctoral Thesis No. 2012:78. Faculty of Natural Resources and Agriculture, SLU, Uppsala. In: Lagerlöf, J., Ayuke, F., Bejai, S., Jorge, G., Lagerqvist, E., Meijer, J., Muturi, J.J., Söderlund, S. 2015. Potential side effects of biocontrol and plant-growth promoting *Bacillus amyloliquefaciens* bacteria on earthworms. *Appl. Soil Ecol.* **96**: 159-164.
- Adesemoye, A.O., Obini, M., Ugoji, E.O. 2008. Comparison of plant growth-promotion with *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* in three vegetables. *Braz. J. Microbiol.* **39**: 423-426.
- Akhter, A., Hage-Ahmed, K., Soja, G., Steinkellner, S. 2015. Compost and biochar after mycorrhization, tomato root exudation, and development of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Front. Plant Sci.* **6**: 529.
- Akiyama, K., Matsuoka, H., Hayashi, H. 2001. Isolation and identification of a phosphate deficiency-induced C-glycosylflavonoid that stimulates arbuscular mycorrhizal formation in melon roots. *Mol. Plant-Microbe Interact.* **15**: 334-340.
- Alagawadi, A.R., Gaur, A.C. 1992. Inoculation of *Azospirillum brasilense* and phosphate-solubilizing bacteria on yield of sorghum (*Sorghum bicolor*) in dry land. *Trop Agric.* **69**: 347-350. In: Rodriguez, H., Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnol. Adv.* **17**: 319-339.
- Aldworth, S.J., van Staden, J. 1987. The effect of seaweed concentrate on seedling transplants. *S. Afr. J. Bot.* **53**: 187-189.
- Altuhaish, A., Hamim, T.A. 2014. Biofertilizer effects in combination with different drying system and storage period on growth and production of tomato plant under field conditions. *Emirates J. Food Agric.* **26**: 716-722.
- Barzegar, A.R., Yousefi, A., Daryashenas, A. 2002. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant and Soil.* **247**: 295-301.
- Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Caraco, N.F. 2001. Human impact on erodable phosphorus and eutrophication: a global perspectives. *Bioscience.* **51**: 227-234.
- Bona, E., Todeschini, V., Cantamessa, S., Cesaro, P., Copetta, A., Lingua, G., Gamalero, E., Berta, G., Massa, N. 2018. Combined bacterial and mycorrhizal inocula improve tomato quality at reduced fertilization. *Sci. Hortic.* **234**: 160-165.
- Brent, K.J., Holloman, D.W. 2007. Fungicide Resistance in Crop Pathogens: How Can it Be Managed?, second ed. FRAC Monograph No.1, Bristol, UK, p. 56. In: El-Gremi, S.M., Draz, I.S., Youssef W.A.E. 2017. Biological control of pathogens associated with kernel black point disease of wheat. *Crop Protection.* **91**: 13-19.
- Burchett, S., Fuller, M.P., Jellings, A.J., 1998. Application of seaweed extract improves winter hardiness of winter barely cv. *Igri*. Abstract-plant cell topics. York Meeting. In: Rayirath,

- P., Benkel, B., Hodges, D.M., Allan-Wojtas, P., MacKinnon, S., Critchley, A.T., Prithiviraj, B. 2009. Lipophilic components of the brown seaweed, *Ascophyllum nodosum*, enhance freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Planta*. **230**: 135-147.
- Burr, T.J., Schroth, M.N., Suslow, T. 1978. Increased potato yields by treatment of seedpieces with specific strains of *Pseudomonas fluorescens* and *Pseudomonas putida*. *Phytopathology*. **68**: 1377-1383.
- Buysens, C., Cesar, V., Ferrais, F., de Boulois, H.D., Declerck, S. 2016. Inoculation of *Medicago sativa* cover crop with *Rhizophagus irregularis* and *Trichoderma harzianum* increases the yield of subsequently-grown potato under low nutrient conditions. *Appl. Soil Ecol.* **105**: 137-143.
- Calvet, C., Pera, J., Barea, J.M. 1993. Growth response of marigold (*Tagetes erecta* L.) to inoculation with *Glomus mosseae*, *Trichoderma aureoviride* and *Pythium ultimum* in peat perlite mixture. *Plant Soil*. **148**: 1-6.
- Campos, C., Cardoso, H., Nogales, A., Svensson, J., Lopez-Raez, J.A., Pozo, M.J., Nobre, T., Schneider, C., Arnholdt-Schmitt, B. 2015. Intra and Inter-Spore Variability in *Rhizophagus irregularis* AOX Gene. *PLoS ONE*. 10 (11). e0142339.
- Carlson, D.R., Dyer, D.J., Cotterman, C.D., Durley, R.C. 1987. The physiological basis for cytokinin-induced increases in pod set in IX93-100 soybeans. *Plant Physiol.* **84**: 233-239.
- Carpenter, S.R. 2005. Eutrophication of aquatic ecosystems: biostability and soil phosphorus. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 102. 10002-10005. In: Sekiya, N., Yano, K. 2010. Seed P-enrichment as an effective P supply to wheat. *Plant Soil*. **327**:347-354.
- Carrero-Carrón, I. et al. 2018. Interactions between *Trichoderma harzianum* and defoliating *Verticillium dahlia* in resistant and susceptible wild olive clones. *Plant Pathol.* **67**: 1758-1767.
- Cattelan, A.J., Hartel, P.G., Fuhrmann, J.J. 1999. Screening for plant growth-promoting rhizobacteria to promote early soybean growth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **63**: 1670-1680.
- Cieślik, B.M., Namieśnik, J., Konieczka, P. 2015. Review of sewage sludge management: standards, regulations and analytical methods. *J. Clean. Prod.* **90**: 1-15.
- Coker, E.G., Carlton-Smith, C.H. 1986. Phosphorus in sewage sludges as a fertilizer. *Waste Manag. Res.* **4**: 303-319.
- Contreras-Cornejo, H.A., Macías-Rodríguez, L., Cortés-Panagos, C., López-Bucio, J. 2009. *Trichoderma virens*, a plant beneficial fungus, enhances biomass production and promotes lateral root growth through an auxin-dependent mechanism in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* **149**: 1579-1592.
- Cordell, D., Rosemarin, A., Schröder, J.J., Smit, A.L., 2011. Towards global phosphorus security: a systems framework for phosphorus recovery and reuse options. *Chemosphere.* **84**: 747-758.
- Crouch, I.J., van Staden, J. 1994. Commercial seaweed products as biostimulants in horticulture. *Journal of Home and Consumer Horticulture*. 1. 19-76. In: Sen, A.,

- Srivastava, V.K., Singh, R.K., Singh A.P., Raha, P., Ghosh, A.K., De, N., Rakshit, A., Meena, R.N., Kumar, A., Prakash, O., Ghosh, M.K., Manea, M., Upadhyay, P.K. 2015. Soil and plant responses to the application of *Ascophyllum nodosum* extract to no-till wheat (*Triticum aestivum* L.). *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **46**(1):123-136.
- Datnoff, L.E., Nemecek, S., Pernezny, K. 1995. Biological control of *Fusarium* crown and root rot of tomato in Florida using *Trichoderma harzianum* and *Glomus intraradices*. *Biol. Control.* **5**: 427-431.
- Datta, M., Banish, S., Gupta, R.K. 1982. Studies on the efficacy of a phytohormone producing phosphate solubilizing *Bacillus firmus* in augmenting paddy yield in acid soils of Nagaland. *Plant Soil.* **69**. 365-373. In: Rodriguez, H., Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnol. Adv.* **17**: 319-339.
- De Freitas, J.R., Germida, J.J. 1992. Growth promotion of winter wheat by fluorescent *Pseudomonads* under growth chamber conditions. *Soil Biol. Biochem.* **24**: 1127-1135.
- Dhargalkar, V.K., Pereira, N. 2005. Seaweed: Promising plant of the millennium. *Science and Culture.* **71**. 60-66. In: Sen, A., Srivastava, V.K., Singh, R.K., Singh A.P., Raha, P., Ghosh, A.K., De, N., Rakshit, A., Meena, R.N., Kumar, A., Prakash, O., Ghosh, M.K., Manea, M., Upadhyay, P.K. 2015. Soil and plant responses to the application of *Ascophyllum nodosum* extract to no-till wheat (*Triticum aestivum* L.). *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **46** (1): 123-136.
- Dobhal, U., Bisht, N.S., Bhandari, S.L. 2007. Traditional values of *Sapindus mukorossi* Gaertn. vern. Ritha: a review. *Plant Arch.* **7**. 485-486. In: Li, R., Wu, Z.L., Wang, Y.J., Li, L.L. 2013. Separation of total saponins from the pericarp of *Sapindus mukorossi* Gaertn. by foam fractionation. *Industrial Crops and Products.* **51**: 163-170.
- Donatello, S., Tong, D., Cheeseman, C. 2010. Production of technical grade phosphoric acid from incinerator sewage sludge. *Waste Manag.* **30**: 1634-1642.
- Dong, Ch., Wang, G., Du, M., Niu, Ch., Zhang, P., Zhang, X., Ma, D., Ma, F., Bao, Z. 2020. Biostimulants promote plant vigor of tomato and strawberry after transplanting. *Sci. Hortic.* **267**:1-9.
- Drobek, M., Frąc, M., Cybulska, J. 2019. Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress. A review. *Agronomy.* **9** (335): 1-18.
- El-Gremi, S.M., Draz, I.S., Youssef W.A.E. 2017. Biological control of pathogens associated with kernel black point disease of wheat. *Crop Protection.* **91**: 13-19.
- Fawzy, Z.F. 2012. Response of growth and yield of cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) to different foliar applications of humic acid and bio-stimulators. *Int. Res. J. Appl. Basic. Sci.* **6**: 630-637.
- Featonby-Smith, B.C., van-Staden, J. 1983. The effect of seaweed concentrate on the growth of tomatoes in nematode infested soil. *Scient Hort.* **20**: 137-146.

- Fischer, M.J.C., Pensec, F., Demangeat, G., Farine, S., Chong, J., Ramírez-Suero, M., Mazet, G., Bertsch, C. 2011. Impact of *Quillaja saponaria* saponins on grapevine ekosystém organims. Antonie van Leeuwenhoek. 100. 197-206. In: Schlotterbeck, T., Castillo-Ruiz, M., Canon-Jones, H., San Martín, R. 2015. The use of leaves from young trees of *Quillaja saponaria* (Molina) plantations as a new source of saponins. Economic Botany. **69**(3): 262-272.
- Frossard, E., Skrabal, P., Sinaj, S., Bangerter, F., Traore, O., 2002. Forms and exchangeability of inorganic phosphate in composted solid organics wastes. Nutr. Cycl. Agroecosys. **62**: 103-113.
- Galletti, S., Fornasier, F., Cianchetta, S., Lazzeri, L. 2015. Soil incorporation of brassica materials and seed treatment with *Trichoderma harzianum*: Effects on melon growth and soil microbial activity. Industrial Crops and Products. **75**: 73-78.
- Gaur, A.C., Ostwal, K.P. 1972. Influence of phosphate dissolving Bacilli on yield and phosphate uptake of wheat crop. Indian J Exp Biol. 10. 393-394. In: Rodriguez, H., Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnol. Adv. **17**: 319-339.
- Geyter, E.D., Lambert. E., Geelen. D., Smagghe. G. 2007. Novel advances with plant saponins as natural insecticides to control pest insects. Pest Tech. 1. 96-105. In: Upadhyay. A., Singh, D.K. 2012. Pharmacological effects of *Sapindus mukorossi*. Rev. Inst. Med. Trop. Sao Paulo. **54**(5): 273-280.
- Glick, B.R. 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. Can. J. Microbiol. **41**: 109-117.
- Glick, B.R., Changping, L., Sibdas, G., Dumbroff, E.B. 1997. Early development of canola seedlings in the presence of the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. Soil Biol Biochem. **29**: 1233-1239.
- Gosling, P., Hodge, A., Goodglass, G., Bending, G.D., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. Agric. Ecosyst. Environ. **113**: 17-35.
- Green, H., Larsen, J., Olsson, P.A., Jensen, D.F., Jakobsen, I. 1999. Suppression of the biocontrol agent *Trichoderma harzianum* by mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* in root-free soil. J. Appl. Environ. Microbiol. **65**: 1428-1434.
- Haas, J.H., Krikun, J. 1985. Efficacy of endomycorrhizal-fungus isolates and inoculum quantities required for growth response. New Phytol. **100**: 613-621.
- Hall, J.A., Pierson, D., Ghosh, S., Glick, B.R. 1996. Root elongation in various agronomic crops by the plant growth promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2. Isr J Plant Sci. 44. 37-42. In: Rodriguez, H., Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. Biotechnol. Adv. **17**: 319-339.
- Hammer, E.C. et al. 2014. A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surface. Soil Biol. Biochem. **77**: 252-260.



- Han, H.S., Lee, K.D. 2005. Phosphate and Potassium Solubilizing Bacteria Effect on Mineral Uptake, Soil Availability and Growth of Eggplant. *J. Agric. Biol. Sci.* **1**: 176-180.
- Harman G.E., Howell C.R., Viterbo A., Chet I., Lorito M., 2004. Trichoderma species-opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nat. Rev. Microbiol.* **2**: 43-56.
- Harrison, M.J. 1997. The arbuscular mycorrhizal symbiosis: an underground association. *Trends Plant Sci.* **2**: 54-60. In: Bucher, M., Rausch, Ch., Daram, P. 2001. Molecular and biochemical mechanism of phosphorus uptake into plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **164**: 209-217.
- Havukainen, J., et al., 2016. Potential of phosphorus recovery from sewage sludge and manure ash by thermochemical treatment. *Waste Manag.* **49**: 221-229.
- Hermosa, R., Viterbo, A., Chet, I., Monte, E. 2012. Plant-beneficial effect of Trichoderma and of its genes. *Microbiology.* **158**: 17-25.
- Hermosa, R. et al. 2013. The contribution of Trichoderma to balancing the costs of plant growth and defence. *Int. Microbiol.* **16**: 69-80.
- Holečková Z., Kulháněk M., Balík J. 2018. Influence of bioeffectors application on maize growth, yields and nutrient uptake. *Inter. J. Plant Sci.* **9**(2): 92-103.
- Hopkins, B.G., Hansen, N.C. 2019. Phosphorus management in high-yield systems. *J. Environ. Qual.* **48**: 1265-1280.
- Huygens, D., Saveyn, H.G.M. 2018. Agronomic efficiency of selected phosphorus fertilisers derived from secondary raw materials for European agriculture. A meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.* **38**(52): 1-14.
- Hyakumachi, M. 1994. Plant-growth-promoting fungi from turf grass rhizosphere with potential for disease suppression. *Soil Microorg.* **44**: 53-68.
- Chabot, R., Antoun, H., Kloepper, J.W., Beauchamp, C.J. 1996a. Root colonization of maize and lettuce by bioluminescent *Rhizobium leguminosarum* biovar. *phaseoli*. *Appl Environ Microbiol.* **62**: 2767-72.
- Chabot, R., Hani, A., Cescas, P.M. 1996b. Growth promotion of maize and lettuce by phosphate-solubilizing *Rhizobium leguminosarum* biovar. *phaseoli*. *Plant Soil.* **184**: 311-321.
- Chandanie, W.A., Kubota, M., Hyakumachi, M., 2009. Interactions between the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* and plant growth-promoting fungi and their significance for enhancing plant growth and suppressing damping-off cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Appl. Soil Ecol.* **41**: 336-341.
- Chapagain, B.P., Wiesman, A., Tsrer, L. 2007. In vitro study of the antifungal activity of saponin-rich extracts against prevalent phytopathogenic fungi. *Industrial Crops and Products.* **6**: 109-115.
- Choudhary, D.K., Johri, B.N. 2009. Interactions of Bacillus spp. and plants-with special reference to induced systemic resistance (ISR). *Microbiol. Res.* **164**: 493-513.

- Incesu, M., Yesiloglu, T., Cimen, B., Yilmaz, B., Akpınar, C., Ortas, I. 2015. Effects on growth of persimmon (*Diospyros virginiana*) rootstock of arbuscular mycorrhizal fungi species. Turkish J. Agri. Forest. **39**: 117-122.
- Jeffries, P., Barea, J.M. 2001. Arbuscular mycorrhiza – a key to component of sustainable plant – soil ecosystems, in Fungal Associations, Vol. IX of The Mycota, ed. By Hock B. Springer, Berlin, pp. 95-113 In: Martínez-Medina, A., Pascual, J.A., Lloret, E., Roldán, A. 2009. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum* and their effects on *Fusarium* wilt in melon plants grown in seedling nurseries. J. Sci. Food Agric. **89**: 1843-1850.
- Jeffries, P., Gianinazzi, S., Perotto, S., Turnau, K., Barea, J.M. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. Biology and Fertility of Soils. **37**: 1-16.
- Jiang, Z., Okimura, T., Yokose, T., Yamasaki, Y., Yamaguchi, K., Oda, T. 2010. Effects of sulfated fucan, ascophyllan, from the brown alga *Ascophyllum nodosum* on various cell lines: a comparative study on ascophyllan and fucoidan. Journal of Bioscience and Bioengineering. **110**(1): 113-117.
- Joshi, P.K., Tandon, S. 2003. Analysis and effect of paper mill effluent on germination and seedling growth on some pulses. *Vigna radiata*, *Glycine max*, *Cicer arietinum*. Journal of Industrial Pollution Research. **19**(1): 9-13.
- Kadam, S.U., Tiwari, B.K., O'Donnell, C.P. 2015a. Extraction, structure and biofunctional activities of laminarin from brown algae. Int. J. Food Sci. Tech. **50**: 24-31.
- Kadam, S.U., Pankaj, S.K., Tiwari, B.K., Cullen, P.J., O'Donnell, C.P. 2015b. Development of biopolymer-based gelatin and casein films incorporating brown seaweed *Ascophyllum nodosum* extract. Food Packaging and Shelf Life. **6**: 68-74.
- Kadam, S.U., Prabhasankar, P. 2010. Marine foods as functional ingredients in bakery and pasta products. Food Research International. **43**(8): 1975-1980.
- Khan, W., Rayirath, U.P., Subramanian, S., Jitesh, M.N., Rayorath, P., Hodges, D.M., Critchley, A.T., Craigie, J.S., Norrie, J., Prithiviraj, B. 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. J. Plant Growth Regul. **20** (4): 386-399.
- Kidd, P.S., Domínguez-Rodríguez, M.J., Díez, J., Monterroso, C. 2007. Bioavailability and plant accumulation of heavy metals and phosphorus in agricultural soils amended by long-term application of sewage sludge. Chemosphere. **66**: 1458-1467.
- Kingman, A.R., Moore, J. 1982. Isolation, purification, quantification of several growth-regulating substances in *Ascophyllum nodosum* (Phaeophyta). Botanica Marina. **25**: 149-153. In: Sen, A., Srivastava, V.K., Singh, R.K., Singh A.P., Raha, P., Ghosh, A.K., De, N., Rakshit, A., Meena, R.N., Kumar, A., Prakash, O., Ghosh, M.K., Manea, M., Upadhyay, P.K. 2015. Soil and plant responses to the application of *Ascophyllum nodosum* extract to no-till wheat (*Triticum aestivum* L.). Comm. Soil Sci. Plant Anal. **46**(1): 123-136.

- Kloepper, J.W., 1994. Plant growth promoting bacteria (other systems). In: Okon, J., editor. Azospirillum/Plant Association. Boca Raton, FL: CRC Press. pp. 137-154. In: Rodriguez, H., Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnol. Adv.* **17**: 319-339.
- Kloepper, J.W., Lifshitz, R., Zablotowicz, R.M. 1989. Free-living bacterial inocula for enhancing crop productivity. *Trends in Biotechnology.* 7.39-44. In: Kumar, G.P., Desai, S., Reddy, G., Amalraj, E.L.D., Rasul, A., Ahmed, S.K.M.H. 2015. Seed Bacterization with Fluorescent *Pseudomonas* spp. Enhances Nutrient Uptake and Growth of *Cajanus cajan* L. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **46**(5): 652-665.
- Koike, N., Hyakumachi, M., Kageyama, K., Tsuyumu, S., Doke, N. 2001. Induction of systemic resistance in cucumber against several diseases by plant growth promoting fungi: lignification and superoxide generation. *Eur. J. Plant Pathol.* **107**: 523-533.
- Kratz, S., Vogel, C., Adam, C. 2019. Agronomic performance of P recycling fertilizers and methods to predict it: a review. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* **115**: 1-39.
- Kulhánek, M., Balík, J., Černý, J., Vašák, F., Shejbalová, Š., 2014. Influence of long-term fertilizer application on changes of the content of Mehlich-3 estimated soil macronutrients. *Plant Soil Environ.* **60** (4):151-157.
- Kumar, G.P., Desai, S., Reddy, G., Amalraj, E.L.D., Rasul, A., Ahmed, S.K.M.H. 2015. Seed Bacterization with Fluorescent *Pseudomonas* spp. Enhances Nutrient Uptake and Growth of *Cajanus cajan* L. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **46**(5): 652-665.
- Kundu, B.S., Gaur, A.C. 1984. Rice response to inoculation with N<sub>2</sub>-fixing and P-solubilizing microorganisms. *Plant Soil.* **79**: 227-234.
- Kunst, F., Ogasawara, N., Moszer, I., Albertini, A.M., Alloni, G., Azevedo, V., Bertero, M.G., Bessieres, P., Bolotin, A., Borchert, S. et al. 1997. The complete genome sequence of the Gram-positive bacterium *Bacillus subtilis*. *Nature.* **390**(6657): 249-256.
- Kunzová, E. (2009). Výživa rostlin a hnojení fosforem. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. i., Praha 6 – Ruzyně, Praha.
- Lagerlöf, J., Ayuke, F., Bejai, S., Jorge, G., Lagerqvist, E., Meijer, J., Muturi, J.J., Söderlund, S. 2015. Potential side effects of biocontrol and plant-growth promoting *Bacillus amyloliquefaciens* bacteria on earthworms. *Applied Soil Ecology.* **96**: 159-164.
- Lal, R., Stewart, B.A. 2015. Soil-specific farming: Precision agriculture. CRC Press. Boca Raton, FL. In: Hopkins, B.G., Hansen, N.C. 2019. Phosphorus management in high-yield systems. *J. Environ. Qual.* **48**: 1265-1280.
- Lemanceau, P. 1992. Effect benefiques de rhizobacteries sur les plantes: exemple des *Pseudomonas* spp. fluorescent. *Agronomie.* **12**: 413-437.
- Lemming, C., Bruun, S., Jensen, L.S., Magid, J. 2017. Plant availability of phosphorus from dewatered sewage sludge, untreated incineration ashes, and other products recovered from a wastewater treatment system. *J. Plant Nutr. Soil. Sci.* **180**: 779-787.

- Leopold, A.C., and Kriedman, P.E. 1988. Plant growth and development. New Delhi: Tata McGraw-Hill. In: Sen, A., Srivastava, V.K., Singh, R.K., Singh A.P., Raha, P., Ghosh, A.K., De, N., Rakshit, A., Meena, R.N., Kumar, A., Prakash, O., Ghosh, M.K., Manea, M., Upadhyay, P.K. 2015. Soil and plant responses to the application of *Ascophyllum nodosum* extract to no-till wheat (*Triticum aestivum* L.). *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **46**(1): 123-136.
- Li, R., Wu, Z.L., Wang, Y.J., Li, L.L. 2013. Separation of total saponins from the pericarp of *Sapindus mukorossi* Gaerten. by foam fractionation. *Industrial Crops and Products.* **51**: 163-170.
- Lifshitz, R., Klopper, J.W.E., Kozłowski, M., Simonson, C., Carlson, J., Tipping, E.M, Zaleska, I. 1987. Growth promotion of canola (rapeseed) seedlings by a strain of *Pseudomonas putida* under gnotobiotic conditions. *Can. J. Microbiol.* **33**: 309-395.
- Lorito, M., Woo, S.L., Harman, G.E., Monte, E. 2010. Translational research on *Trichoderma*: from omics to the field. *Annu. Rev. Phytopathol.* **48**: 395-417.
- MacDonald, G.K., Benett, E.M., Potter, P.A., Ramankutty, N. 2011. Agronomic phosphorus imbalances across the world's croplands. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **108**:3086-3091.
- Mahfouz, S.A., Sharaf-Eldin, M.A. 2007. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Int. Agrophys.* **21**: 361-366.
- Mancuso, S., Azzarello, E., Mugnai, S., Briand, X. 2006. Marine bioactive substances (IPA extract) improve foliar ion uptake and water tolerance in potted *Vitis vinifera* plants. *Adv. Hortic. Sci.* **20**: 156-161.
- Marek, G., Gos., K., Bobruk, J. 2008. The influence of goëmar goteo biostimulátor on yield and quality of two Chinese cabbage cultivars. In: Tandon, S., & Dubey, A. 2015. Effects of Biozyme (*Ascophyllum nodosum*) biostimulant on growth and development of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **46**(7): 845-858.
- Marschner, H. (1995): Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London. In Bucher, M., Rausch, Ch., Daram, P. 2001. Molecular and biochemical mechanism of phosphorus uptake into plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **164**: 209-217.
- Marin, M., Mari, A., Ibarra, M., Garcia-Ferriz, L. 2003. Arbuscular mycorrhizal inoculation of micropropagated persimmon plantlets. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* **78**:734-738. In: Incesu, M., Yesiloglu, T., Cimen, B., Yilmaz, B., Akpinar, C., Ortas, I. 2015. Effects on growth of persimmon (*Diospyros virginiana*) rootstock of arbuscular mycorrhizal fungi species. *Turkish J. Agri. Forest.* **39**: 117-122.
- Martínez, A., Obertello, M., Pardo, A., Ocampo, J.A., Godeas, A. 2004. Interactions between *Trichoderma pseudokoningii* strains and the arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus mosseae* and *Gigaspora rosea*. *Mycorrhiza.* **14**: 79-84. In: Poveda, J., Hermosa, R., Monte, E., Carlos, N. 2019. *Trichoderma harzianum* favours the access of arbuscular mycorrhizal fungi to non-host Brassicaceae roots and increases plant productivity. *Sci. Rep.* **9**: 1-11.

- Martínez-Medina, A., Pascual, J.A., Lloret, E., Roldán, A. 2009. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum* and their effects on *Fusarium* wilt in melon plants grown in seedling nurseries. *J. Sci. Food Agric.* **89**: 1843-1850.
- Medeiros, H.A. et al. 2017. Tomato progeny inherit resistance to the nematode *Meloidogyne javanica* linked to plant growth induced by the biocontrol fungus *Trichoderma atroviride*. *Sci. Rep.* **7**(40216): 1-13.
- Mendoza-Mendoza, A. et al. 2018. Molecular dialogues between *Trichoderma* and roots: role of the fungal secretome. *Fungal Biol. Rev.* **32**: 62-85.
- Mercl, F., García-Sánchez, M., Kulhánek, M., Košnář, Z., Száková, J., Tlustoš, P. 2020. Improved phosphorus fertilisation efficiency of wood ash by fungal strains *Penicillium* sp. PK112 and *Trichoderma harzianum* OMG08 on acidic soil. *Appl. Soil Ecol.* **147**(103360): 1-7.
- Metting, B., Zimmerman, W.J., Crouch, T., van-Staden, J. 1990. Agronomic uses of seaweed and microalgae. In: Rayirath, P., Benkel, B., Hodges, D.M., Allan-Wojtas, P., MacKinnon, S., Critchley, A.T., Prithiviraj, B. 2009. Lipophilic components of the brown seaweed, *Ascophyllum nodosum*, enhance freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Planta.* **230**: 135-147.
- Mezuan, I., Handayani, P., Inorihah, E. 2004. Application biofertilizer formulation for plant cultivation rice. *J. Sci. Agric. Indo.* **4**: 27-34.
- Michalík, I. 2001. Molekulárne a energetické aspekty príjmu a asimilácie živín v rastlinách. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 158 p.
- Milić, B., Tarlanović, J., Keserović, Z., Magazin, N., Miodragović, M., Popara, G. 2018. Bioregulators can improve fruit size, yield and plant growth of Northern Highbush Blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). *Sci. Hortic.* **235**: 214-220.
- McSpadden, Gardener, B.B. 2004. Ecology of *Bacillus* and *Paenibacillus* spp. in agricultural systems. *Phytopathology.* **94**: 1252-1258.
- Monib, M., Hosny, I., Besada, Y.B. 1984. Seed inoculation of castor oil plant (*Ricinus communis*) and effect on nutrient uptake. *Soil Biol Conserv Biosphere.* **2**: 723-732.
- Mohan, V.R., Venkataraman Kumar, V., Murugeswari, R., Muthuswami, S. 1994. Effect of crude and commercial seaweed extract on seed germination and seedling growth in *Cajanus cajan* L. *Phykos.* **33**. 47-51. In: Sen, A., Srivastava, V.K., Singh, R.K., Singh A.P., Raha, P., Ghosh, A.K., De, N., Rakshit, A., Meena, R.N., Kumar, A., Prakash, O., Ghosh, M.K., Manea, M., Upadhyay, P.K. 2015. Soil and plant responses to the application of *Ascophyllum nodosum* extract to no-till wheat (*Triticum aestivum* L.). *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **46**(1): 123-136.
- Mooney, P., Van Staden, A.J. 1986. Algae and cytokinins. *Journal of Plant Physiology.* **123**. 1-2. In: Tandon, S., & Dubey, A. 2015. Effects of Biozyme (*Ascophyllum nodosum*) biostimulant on growth and development of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **46**(7): 845-858.

- Muslim, A., Horinouchi, H., Hyakumachi, M., 2003. Control of fusarium crown and root rot of tomato with hypovirulent binucleate *Rhizoctonia* in soil and rock wool systems. *Plant Dis.* **87**: 739-747.
- Mutua, G.K., Karanja, N.K., Ayuke, F.O., Ndukhu, H., Kimenju, J.W., 2001. The potential of *Bacillus subtilis* and *Rhizobium leguminosarum* in controlling plant parasitic nematodes in farmers field. African Crop Science Conference proceedings African Crop Science Society, Cape Town, South Africa, vol. 10., pp. 207-213. In: Lagerlöf, J., Ayuke, F., Bejai, S., Jorge, G., Lagerqvist, E., Meijer, J., Muturi, J.J., Söderlund, S. 2015. Potential side effects of biocontrol and plant-growth promoting *Bacillus amyloliquefaciens* bacteria on earthworms. *Appl. Soil Ecol.* **96**: 159-164.
- Nabati, D.A. 1991. Response of two grass species to plant growth regulators, fertilizer N, chelated Fe, salinity and water stress. Ph.D. dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg. In: Rayirath, P., Benkel, B., Hodges, D.M., Allan-Wojtas, P., MacKinnon, S., Critchley, A.T., Prithiviraj, B. 2009. Lipophilic components of the brown seaweed, *Ascophyllum nodosum*, enhance freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Planta.* **230**: 135-147.
- Nelson, M.L. 2004. Plant-growth-promoting-rhizobacteria (PGPR): Prospects for new inoculants. *Crop Management* 3. In: Kumar, G.P., Desai, S., Reddy, G., Amalraj, E.L.D., Rasul, A., Ahmed, S.K.M.H. 2015. Seed Bacterization with Fluorescent *Pseudomonas* spp. Enhances Nutrient Uptake and Growth of *Cajanus cajan* L. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **46**(5): 652-665.
- Netalgae. 2014. Seaweed industry in Europe. Pp. 1-12. In: Kadam, S.U., Tiwari, B.K., O'Donnell, C.P. 2015a. Extraction, structure and biofunctional activities of laminarin from brown algae. *Int. J. Food Sci. Tech.* **50**: 24-31.
- Neumann, G. 2012. EU-funded research collaboration on use of bio-effectors in agriculture launched. Press Release. Germany: University of Hohenheim. Available at <http://www.biofactor.info/about-biofactor.html> (accessed on Jan 29, 2020).
- Niazi, A., Manzoor, S., Asari, S., Bejai, S., Meijer, J., Bongcam-Rudloff, E. 2014. Genome analysis of *Bacillus amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* UCMB5113: a rhizobacterium that improves plant growth and stress management. *PLoS One.* 9 (8). e104651.
- Nord, I., Kenne, I. 1999. Separation and structural analysis of saponins in bark extract from *Quillaja saponaria* Molina. *Carbohydrate Research.* 320. 70-81. In: Schlotterbeck, T., Castillo-Ruiz, M., Canon-Jones, H., San Martín, R. 2015. The use of leaves from young trees of *Quillaja saponaria* (Molina) plantations as a new source of saponins. *Economic Botany.* **69**(3): 262-272.
- Oberson, A., Pypers, P., Bünemann, E., Frossard, E. 2011. Management impacts in biological phosphorus cycling in cropped soils. In: Christiansen, N.H., Sørensen, P., Labouriau, R., Christensen, B.T., Rubæk, G.H. 2020. Characterizing phosphorus availability in waste products by chemical extractions and plant uptake. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 000. 1-13.

- Oehl, F., Oberson, A., Tagmann, H.U., Besson, J.M., Dubois, D., Mäder, P., Roth, H.R., Frossard, E. 2002. Phosphorus budget and phosphorus availability in soils under organic and conventional farming. *Nurt. Cycl. Agroecosys.* **62**: 25-35.
- Okon, Y., Labandera-Gonzalez, C.A. 1994. Agronomic applications of *Azospirillum*. In: Kumar, G.P., Desai, S., Reddy, G., Amalraj, E.L.D., Rasul, A., Ahmed, S.K.M.H. 2015. Seed Bacterization with Fluorescent *Pseudomonas* spp. Enhances Nutrient Uptake and Growth of *Cajanus cajan* L. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **46**(5): 652-665.
- Ortas, I., Ortakçi, D., Kaya, Z. 2002. Various mycorrhizal fungi propagated on different hosts have different effect on citrus growth and nutrient uptake. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **33**(1-2): 259-272.
- Paradiković, N., Vinković, T., Vinković Vrček, I., Žuntar, I., Bojić, M., Medić-Šarić, M. 2011. Effect of natural biostimulants on yield and nutritional quality: An example of sweet yellow pepper (*Capsicum annuum* L.) plants. *J. Sci. Food Agric.* **91**: 2146-2152.
- Percival, G.C. 2010. Effect of systemic inducing resistance and biostimulant materials on apple scab using a detached leaf bioassay. *Arboriculture and Urban Forestry.* **36**(1): 41-46.
- Petersen, S.O., Petersen, J., Rubaek, G.H. 2003. Dynamics and plant uptake of nitrogen and phosphorus in soil amended with sewage sludge. *Appl. Soil Ecol.* **24**: 187-195.
- Petersson, S.V., Johansson, A.I., Kowalczyk, M., Makoveychuk, A., Wang, J.Y., Moritz, T., Grebe, M., Benfey, P.N., Sandberg, G., Ljung, K. 2009. An auxin gradient and maximum in the Arabidopsis root apex shown by high-resolution cell-specific analysis of IAA distribution and synthesis. *Plant Cell.* **21**: 1659-1668.
- Pettersson, A., Amand, L.E., Steenari, B.M., 2008. Leaching of ashes from combustion of sewage sludge and wood – Part I: recovery of phosphorus. *Biomass Bioenergy.* **32**: 224-235.
- Portillo, M., Collina, A., Brunelli, A. 2007. Activity of biostimulants towards *Phytophthora infestans* on tomato. In Proceedings of the Tenth Workshop of a European Network for Development of an Integrated Control Strategy of Potato Late Blight, ELYSTAD, Applied Plant Research-AGV Research Unit, 2007, pp. 331-335. In: Tandon, S., & Dubey, A. 2015. Effects of Biozyme (*Ascophyllum nodosum*) biostimulant on growth and development of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **46**(7): 845-858.
- Poveda, J., Hermosa, R., Monte, E., Carlos, N. 2019. *Trichoderma harzianum* favours the access of arbuscular mycorrhizal fungi to non-host Brassicaceae roots and increases plant productivity. *Sci. Rep.* **9**: 1-11.
- Powelson, D.S., Jenkinson, D.S., Pruden, G., Johnson, A.E. 1985. The effect of straw incorporation on the uptake of nitrogen by winter wheat. *J. Sci. Food Agric.* **36**: 26-30.
- Prakash, O. 2009. Effect of biovita, a seaweed extract from *Ascophyllum nodosum* on wheat (*Triticum aestivum* L.) under zero-tillage system. M. Sc. Thesis, Department of Agronomy and Agricultural Science, B.H.U. In: Sen, A., Srivastava, V.K., Singh, R.K., Singh A.P., Raha, P., Ghosh, A.K., De, N., Rakshit, A., Meena, R.N., Kumar, A., Prakash, O., Ghosh,

- M.K., Manea, M., Upadhyay, P.K. 2015. Soil and plant responses to the application of *Ascophyllum nodosum* extract to no-till wheat (*Triticum aestivum* L.). *Communications in soil science and plant analysis*. **46**(1): 123-136.
- Preston, C.L., Ruiz Diaz, D.A., Mengel, D.B. 2019. Corn response to long-term phosphorus fertilizer application rate and placement with strip-tillage. *Agron. J.* In: Hopkins, B.G., Hansen, N.C. 2019. Phosphorus management in high-yield systems. *J. Environ. Qual.* **48**: 1265-1280.
- Raghu, K., MacRae, I.C., 1966. Occurrence of phosphate-dissolving microorganisms in the rhizosphere of rice plants and in submerged soils. *J Appl Bacteriol.* **29**: 582-586.
- Rahman, S.S., Rahman, M., Begum, S.A., Khan, M.M.R., Bhuiyan, M.H. 2007. Investigation of *Sapindus mukorossi* extracts for repellency, insecticidal activity and plant growth regulatory effect. *J. Appl. Sci. Res.* **3**: 95-101.
- Rai, M.K. 2006. *Handbook of microbial biofertilizers*. Philadelphia, PA: Haworth Press. In: Kumar, G.P., Desai, S., Reddy, G., Amalraj, E.L.D., Rasul, A., Ahmed, S.K.M.H. 2015. Seed Bacterization with Fluorescent *Pseudomonas* spp. Enhances Nutrient Uptake and Growth of *Cajanus cajan* L. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **46**(5): 652-665.
- Rajkumar, I., Subramanian, S.K. 1999. Effect of fresh extracts and seaweed liquid fertilizers on some cereals and millets. *Seaweed research and utilization*. **21**: 91-94.
- Rao, K.R. 1991. Effect of seaweed extract on *Zyziphus mauritiana* Lamk. *Journal of the Indian Botanical Society*. 71. 19-21. In: Tandon, S., & Dubey, A. 2015. Effects of Biozyme (*Ascophyllum nodosum*) biostimulant on growth and development of soybean [*Glycine max* (L.) Merill]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. **46**(7): 845-858.
- Rathore, S.S., Chaudhary, D.R., Boricha, G.N., Ghosh, A., Batta, B.P., Zodape, S.T., Pasolia, J.S. 2009. Effect of seaweed extract on the growth, yield and nutrient uptake of soybean (*Glycime max*) under rainfed conditions. *S. Afr. J. Bot.* **75**(2). 351-355.
- Reddy, V., Torati, R.S., Oh, S., Kim, C. 2013. Biosynthesis of gold nanoparticles assisted by *Sapindus mukorossi* Gaerten. fruit pericarp and their catalytic application for the reduction of p-nitroaniline. *Ind. Eng. Chem. Res.* 52. 556-564. In: Li, R., Wu, Z.L., Wang, Y.J., Li, L.L. 2013. Separation of total saponins from the pericarp of *Sapindus mukorossi* Gaerten. by foam fractionation. *Industrial Crops and Products*. **51**: 163-170.
- Rodriguez, H., Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnol. Adv.* **17**: 319-339.
- Roig, N., Sierra, J., Marti, E., Nadal, M., Schuhmacher, M., Domingo, J.L., 2012. Longterm amendment of Spanish soil with sewage sludge: effects on soil functioning. *Agric. Ecosyst. Environ.* **158**: 41-48.
- Samolski, I., Rincón, A.M., Pinzón, L.M., Viterbo, A., Monte, E. 2012. The quid74 gene from *Trichoderma harzianum* has a role in root architecture and plant biofertilization. *Microbiology*. **158**: 129-138.



- Sanchez, P., Buresh, R., Leakey, R. 1997. Trees, soils, and food security. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 352. 949-961. In Bucher, M., Rausch, Ch., Daram, P. 2001. Molecular and biochemical mechanism of phosphorus uptake into plants. J. Plant Nutr. Soil Sci. **164**: 209-217.
- San Martín, R. 2000. Sustainable production of *Quillaja saponaria* Mol. saponins. In: Schlotterbeck, T., Castillo-Ruiz, M., Canon-Jones, H., San Martín, R. 2015. The use of leaves from young trees of *Quillaja saponaria* (Molina) plantations as a new source of saponins. Economic Botany. **69**(3): 262-272.
- Sekiya, N., Yano, K. 2010. Seed P-enrichment as an effective P supply to wheat. Plant Soil. **327**:347-354.
- Sen, A., Srivastava, V.K., Singh, R.K., Singh A.P., Raha, P., Ghosh, A.K., De, N., Rakshit, A., Meena, R.N., Kumar, A., Prakash, O., Ghosh, M.K., Manea, M., Upadhyay, P.K. 2015. Soil and plant responses to the application of *Ascophyllum nodosum* extract to no-till wheat (*Triticum aestivum* L.). Comm. Soil Sci. Plant Anal. **46**(1):123-136.
- Sen, A., Kumar, S. 1996. Effect of biozyme and NPK on rice yield. International Rice Research Newsletter. 21. 2-3. In: Sen, A., Srivastava, V.K., Singh, R.K., Singh A.P., Raha, P., Ghosh, A.K., De, N., Rakshit, A., Meena, R.N., Kumar, A., Prakash, O., Ghosh, M.K., Manea, M., Upadhyay, P.K. 2015. Soil and plant responses to the application of *Ascophyllum nodosum* extract to no-till wheat (*Triticum aestivum* L.). Comm. Soil Sci. Plant Anal. **46**(1): 123-136.
- Sen, A., Santosh, K. 1996. Effect of biozyme and NPK in rice yield. International Rice Research Notes. 21(2-3). 68-69. In: Tandon, S., & Dubey, A. 2015. Effects of Biozyme (*Ascophyllum nodosum*) biostimulant on growth and development of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. Comm. Soil Sci. Plant Anal. **46**(7): 845-858.
- Senn, T.I. 1987. Seaweed and plant growth. 181. Clemson, SC: Clemson University. In: Tandon, S., & Dubey, A. 2015. Effects of Biozyme (*Ascophyllum nodosum*) biostimulant on growth and development of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. Comm. Soil Sci. Plant Anal. **46**(7): 845-858.
- Sharma, R., Singh, G., Ganeshan, K.P., Kaur, G., Raheja, R.K. 1990. Yield improvement in soybean by foliar application of some commercial growth regulators. Indian Agriculture. 44. 79-82. In: Tandon, S., & Dubey, A. 2015. Effects of Biozyme (*Ascophyllum nodosum*) biostimulant on growth and development of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. Comm. Soil Sci. Plant Anal. **46**(7): 845-858.
- Shivanna, M.B., Meera, M.S., Hyakumachi, M. 1996. Role of root colonization ability of plant growth promoting fungi in the suppression of take-all and common root rot of wheat. Crop Prot. **15**: 497-504.
- Shoresh, M., Harman, G.E. 2010. Differential expression of maize chitinases in the presence or absence of *Trichoderma harzianum* strain T22 and indications of a novel exo-endo-heterodimeric chitinase activity. BMC Plant Biol. **10**(136): 1-11.

- Schlotterbeck, T., Castillo-Ruiz, M., Canon-Jones, H., San Martín, R. 2015. The use of leaves from young trees of *Quillaja saponaria* (Molina) plantations as a new source of saponins. *Economic Botany*. **69**(3): 262-272.
- Simanungkalit, R. 2001. Application biofertilizer and chemical fertilizer. *Bul. Agro. Bio.* **42**: 56-61. In: Altuhaish, A., Hamim, T.A. 2014. Biofertilizer effects in combination with different drying system and storage period on growth and production of tomato plant under field conditions. *Emirates J. Food Agric.* **26**: 716-722.
- Sinaj, S., Traore, O., Frossard, E. 2002. Effect of compost and soil properties on the availability of compost phosphate for white clover (*Trifolium repens* L.). *Nutr. Cycl. Agroecosys.* **62**: 89-102.
- Smith, J.H., Allison, F.E., Soulides, D.A. 1962. Phosphobacteria as a soil inoculant. *Tech US Dept Agricult Bul.* **1**: 63-70. In: Rodriguez, H., Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances.* **17**: 319-339.
- Smith, S.E., Read, D., 2008. *Mycorrhizal Symbionts*. 1 – The symbionts forming arbuscular mycorrhizas. Elsevier Ltd. 13-41.
- Smith, S.E., Read, D.J. 1997. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, San Diego, CA. In: Bucher, M., Rausch, Ch., Daram, P. 2001. Molecular and biochemical mechanism of phosphorus uptake into plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **164**: 209-217.
- Smitte, D. 1991. Seaweeds comes ashore. *Fine Gardening.* **22**: 31-33. In: Tandon, S., & Dubey, A. 2015. Effects of Biozyme (*Ascophyllum nodosum*) biostimulant on growth and development of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* **46**(7): 845-858.
- Stephenson, W.A. 1968. Seaweed in agriculture and horticulture. London: Faber & Faber. In: Sen, A., Srivastava, V.K., Singh, R.K., Singh A.P., Raha, P., Ghosh, A.K., De, N., Rakshit, A., Meena, R.N., Kumar, A., Prakash, O., Ghosh, M.K., Manea, M., Upadhyay, P.K. 2015. Soil and plant responses to the application of *Ascophyllum nodosum* extract to no-till wheat (*Triticum aestivum* L.). *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **46**(1):123-136.
- Suslov, T.V. Role of root-colonizing bacteria in plant growth. In: Mount, M.S., Lacy, G.H., editors. *Phytopathogenic Prokariotes*. London: Academic Press, 1982. pp. 187-223. In: Rodriguez, H., Fraga, R. 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnol. Adv.* **17**: 319-339.
- Suthar, S., 2010. Pilot-scale vermireactors for sewage sludge stabilization and metal remediation proces: comparison with small-scale vermireactors. *Ecol. Eng.* **36**: 703-712.
- Sýkorová, Z., Ineichen, K., Wiemken, A., Redecker, D., 2007. The cultivation bias: different communities of arbuscular mycorrhizal fungi detected in roots from the field, from bait plants transplanted to the field, and from a greenhouse trap experiment. *Mycorrhiza.* **18**: 1-14.
- Tandon, S., Dubey, A. 2015. Effects of Biozyme (*Ascophyllum nodosum*) biostimulant on growth and development of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* **46**(7): 845-858.

- Tarantino, A., Lops, F., Disciglio, G., Lopriore, G. 2018. Effects of plant biostimulants on fruit set, growth, yield and fruit quality attributes of 'Orange Rubis' (*Prunus armeniaca* L.) cultivar in two consecutive years. *Sci. Hortic.* **239**: 26-34.
- Tarbell, T.J., Koske, R.E. 2007. Evaluation of commercial arbuscular mycorrhizal inocula in a sand/peat medium. *Mycorrhiza*. 18. 51-56. In: Martínez-Medina, A., Pascual, J.A., Lloret, E., Roldán, A. 2009. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum* and their effects on *Fusarium* wilt in melon plants grown in seedling nurseries. *J. Sci. Food Agric.* **89**: 1843-1850.
- Tejada, M., Rodríguez-Morgado, B., Paneque, P., Parrado, J. 2018. Effects of foliar fertilization of a biostimulant obtained from chicken feathers on maize yield. *Eur. J. Agron.* **96**: 54-59.
- Temple, W.D., Bomke, A.A. 1989. Effects of Kelp (*Macrocystis integrifolia* and *Eklonia maxima*) foliar applications on bean crop growth. *Plant Soil.* **117**: 85-92.
- Troeh, F.R., Thompson, L.M. 2005. *Soils and Soil Fertility*. 6<sup>th</sup> Edition. Blackwell Publishing Professional, Iowa, 489 p.
- Turan, M., Köse, C. 2004. Seaweed extracts improve copper uptake of grapevine. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B: Soil and Plant Science.* **54**: 213-220.
- Upadhyay, A., Singh, D.K. 2012. Pharmacological effects of *Sapindus mukorossi*. *Rev. Inst. Med. Trop. Sao Paulo.* **54**(5): 273-280.
- Vaněk, V., Balík J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera J. 2012. Výživa zahradních rostlin. Academia. Praha. 570 s.
- Verkleij, F.N. 1992. Seaweed extracts in agriculture and horticulture: A review. *Biological Agriculture and Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems.* 8. 309-324. In: Tandon, S., & Dubey, A. 2015. Effects of Biozyme (*Ascophyllum nodosum*) biostimulant on growth and development of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **46**(7): 845-858.
- Verma, N., Amresh, G., Sahu, P.K., Mishra, N., Singh, A.P., Rao, C.V., 2013. Antihyperglycemic activity, antihyperlipidemic activity, haematological effects and histopathological analysis of *Sapindus mukorossi* Gaerten. fruits in streptozotocin induced diabetic rats. *Asian Pac. J. Trop. Med.* 5. 518-522. In: Li, R., Wu, Z.L., Wang, Y.J., Li, L.L. 2013. Separation of total saponins from the pericarp of *Sapindus mukorossi* Gaerten. by foam fractionation. *Industrial Crops and Products.* **51**: 163-170.
- Vessey, J. K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. *Plant Soil.* **255**: 571-586.
- Vessey, K.J., Heisinger, K.G. 2001. Effect of *Penicillium bilaii* inoculation and phosphorus fertilisation on root and shoot parameters of field-grown pea. *Can. J. Plant Sci. The Agricultural Institute of Canada.* **81**(3): 361-366.
- Vinale, F. et al. 2008. *Trichoderma*-plant pathogen interactions. *Soil. Biol. Biochem.* **10**: 1-10.

- Voets L., De Boulois H.D., Renard L., Strullu D.G., Declerk S., 2005. Development of an autotrophic culture system for the in vitro mycorrhization of potato plantlets. *FEMS Microbiol. Lett.* **248**: 111-118.
- Vujanovic, V., Mavragani, D., Hamel, C. 2012. Fungal communities associated with durum wheat production system: a characterization by growth stage, plant organ and preceding crop. *Crop Prot.* **37**: 26-34.
- Watanabe, K., Murayama, T., Niino, T., Nitta, T., Nanzyo, M. 2005. Reduction of phosphatic and potash fertilizer in sweet corn production by pre-transplanting application of potassium phosphate to plug seedlings. *Plant Prod. Sci.* **8**: 608-616.
- Werner, A., Kraan, S. 2004. Review of the potential mechanisation of kelp harvesting in Ireland. Galway: National University of Ireland. In: Kadam, S.U., Pankaj, S.K., Tiwari, B.K., Cullen, P.J., O'Donnell, C.P. 2015b. Development of biopolymer-based gelatin and casein films incorporating brown seaweed *Ascophyllum nodosum* extract. *Food Packaging and Shelf Life.* **6**: 68-74.
- Withers, P.J., Sylvester-Bradley, R., Jones, D.L., Healey, J.R., Talboys, P.J. 2014. Feed the crop not the soil: rethinking phosphorus management in the food chain. *Environ. Sci. Technol.* **48** (12): 6523-6530.
- Wu, S.C., Cao, Z.H., Li, Z.G., Cheung, K.C., Wong, M.H. 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma. J.* **16**: 155-166.
- Yadav, K.S., Singh, N., Suneja, S., Malik, Y.S., Nehra, B.K., Narula. 2003. Nitrogen economy through the use of *Azotobacter* biofertilizer in potato. *Potato J.* 30. 1-2. In: Altuhaish, A., Hamim, T.A. 2014. Biofertilizer effects in combination with different drying system and storage period on growth and production of tomato plant under field conditions. *Emirates J. Food Agric.* **26**: 716-722.
- Yan, J. 1993. Influence of plant growth regulators on turfgrass polar lipid composition, tolerance to drought and salinity stresses, and nutrient efficiency. Ph.D. dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg. In: Rayirath, P., Benkel, B., Hodges, D.M., Allan-Wojtas, P., MacKinnon, S., Critchley, A.T., Prithiviraj, B. 2009. Lipophilic components of the brown seaweed, *Ascophyllum nodosum*, enhance freezing tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Planta.* **230**: 135-147.
- Yang, C.H., Huang, Y.C., Chen, Y.F., Chang, M.H. 2010. Foam properties, detergent abilities and long-term preservative efficacy of the saponins from *Sapindus mukorossi*. *J. Food Drug Anal.* 18. 155-160. In: Li, R., Wu, Z.L., Wang, Y.J., Li, L.L. 2013. Separation of total saponins from the pericarp of *Sapindus mukorossi* Gaerten. by foam fractionation. *Industrial Crops and Products.* **51**: 163-170.
- Yedidia, I., Benhamou, N., Chet, I. 1999. Induction of defense responses in cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) by the biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. *Appl. Environ. Microbiol.* **65**: 1061-1070.

- Yuan, Z., Pratt, S., Batstone, D.J., 2012. Phosphorus recovery from wastewater through microbial processes. *Curr. Opin. Biotechnol.* 23. 878-883. In: Cieřlik, B., Konieczka, P., 2017. A review of phosphorus recovery methods at various steps of wastewater treatment and sewage sludge management. The concept of „no solid waste generation“ and analytical methods. *J. Clean. Prod.* **142**: 1728-1740.
- Zhang, X., Ervin, E.H., Schmidt, R.E. 2003. Plant growth regulators can enhance the recovery of Kentucky bluegrass sod from heat injury. *Crop Science.* **43**: 952-956.
- Zhang, X., Schmidt, R.E. 2000. Hormone-containing products impact on antioxidant status of tall fescue and creeping bentgrass subjected to drought. *Crop Science.* 40. 1344-1349. In: Tandon, S., & Dubey, A. 2015. Effects of Biozyme (*Ascophyllum nodosum*) biostimulant on growth and development of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **46**(7): 845-858.