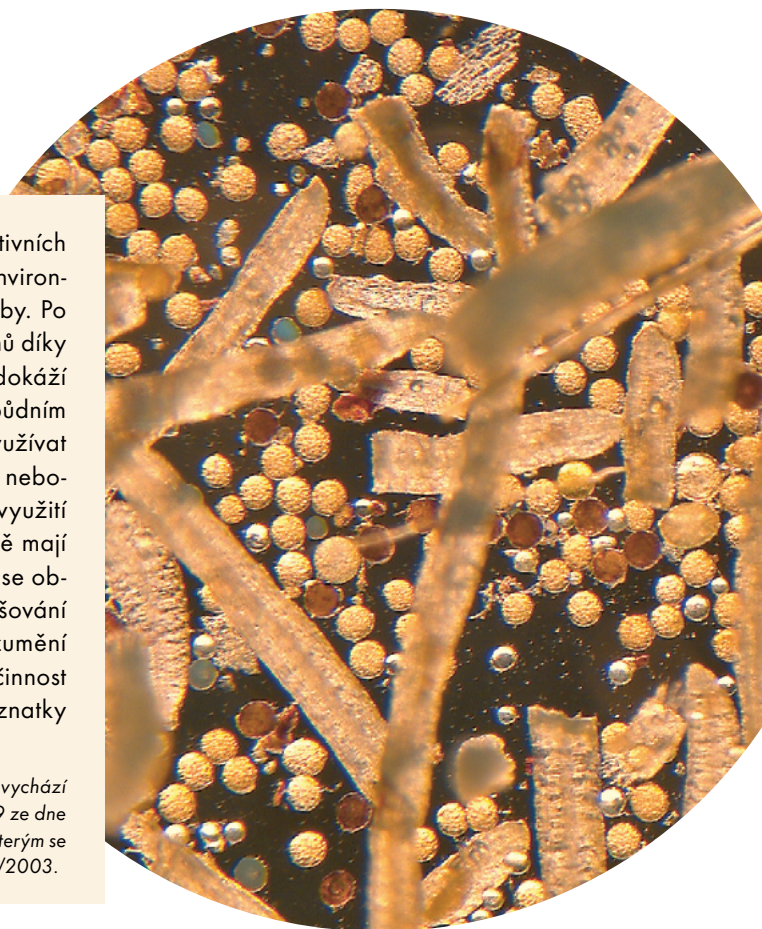


Rostlinné biostimulanty

V posledních letech se hodně diskutuje o organických doplncích, aktivních přírodních metabolitech a prospěšných mikroorganismech jako o environmentálně vstřícné strategii k dosažení více udržitelné rostlinné výroby. Po celém světě vzrůstá zájem o využití inokulantů na bázi mikroorganismů díky jejich přínosné spolupráci s rostlinami. Prospěšné mikroorganismy dokáží napomáhat růstu rostlin tím, že zvyšují jejich toleranci k nepříznivým půdním a environmentálním podmínkám, nebo zlepšují schopnost rostlin využívat zdroje živin. Vývoj specifických inokulantů na bázi mikroorganismů neboli rostlinných biostimulantů, které by byly vhodné pro zemědělské využití v různých přírodních podmínkách, je náročný úkol. V současné době mají některé na trhu dostupné rostlinné biostimulanty nízkou kvalitu nebo se obtížně aplikují, což má za následek ztrátu důvěry u zemědělců. Zlepšování kvality těchto přípravků na bázi mikroorganismů a pokrok v porozumění biologických mechanismů však průběžně pomáhají zvyšovat jejich účinnost v reálných polních podmínkách. Tento přehled shrnuje nejnovější poznatky z výzkumu.

Pozn.: Pro účely této publikace bylo použito označení rostlinné biostimulanty, které vychází z nové evropské legislativy – Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/1009 ze dne 5. června 2019, kterým se stanoví pravidla pro dodávání hnojivých výrobků EU na trh a kterým se mění nařízení (ES) č. 1069/2009 a (ES) č. 1107/2009 a zrušuje nařízení (ES) č. 2003/2003.



Zemědělství a role půdních mikroorganismů

Zelená revoluce 20. století umožnila nárůst celosvětové produkce potravin. Charakteristické přitom byly dva aspekty tohoto vývoje: chemické vstupy (např. přípravky na ochranu rostlin a chemická hnojiva) a zlepšování vlastností plodin pomocí cíleného šlechtění a genetické modifikace. Za výhody získané díky chemickým vstupům však platíme vysokou environmentální cenu. V posledních několika letech přibývá požadavků na omezení používání chemických přípravků a na rozvoj udržitelnějších zemědělsko-potravinářských systémů, a to jak z důvodu ochrany životního prostředí, tak i lidského zdraví. Slibný způsob, jak tohoto cíle dosáhnout je použití přírodních vstupů se sníženým dopadem

na životní prostředí, což znamená například využití inokulantů na mikrobiální bázi a ovlivňování struktury mikrobiálních společenstev ^[1].

Půdní mikroorganismy jsou nejhojnějšími organismy na Zemi; počet mikroorganismů v jedné kávové lžičce půdy je větší než počet lidí na Zemi. Na ploše jednoho čtverečního metru o hloubce 15 cm může podle typu ekosystému žít až půl kilogramu bakterií, půl kilogramu aktinomycet a jeden a půl kilogramu hub¹. Některé z těchto organismů jsou nepostradatelné při rozkládání organické hmoty a koloběhu živin, jiné zase tvoří vazby s kořeny rostlin a důležité živiny jim poskytují ^[2]. Poznání jejich potenciálu vedlo k jejich komercializaci. Inten-

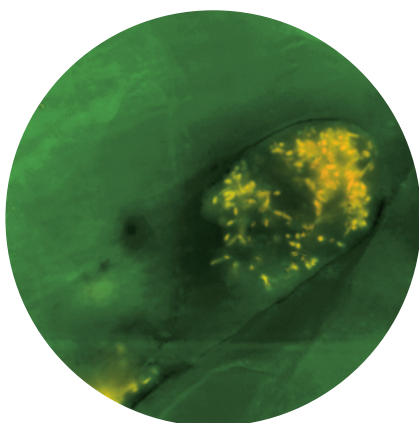
¹<https://ohioline.osu.edu/factsheet/SAG-16>

živní způsob hospodaření snižuje výskyt i aktivitu půdních mikroorganismů, avšak aplikace inokula na mikrobiální bázi může pomoci mikrobiální společnosti obnovit^[3]. Používání mikrobiálních inokulantů má velmi dlouhou historii, začíná již počátkem 20. století rhizobiálním očkováním luštěnin pro podporu fixace dusíku. V nedávné době se kvůli schopnosti zvyšovat rostlinnou produkci

zkomercializovaly kmeny *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Glomus*, *Azotobacter*, *Trichoderma* a další, a všechny byly rozsáhle zkoumány a popisovány^[1, 4]. V posledních deseti letech celosvětový trh s rostlinnými biostimulanty stále roste. V roce 2019 byl oceněn na jednu miliardu amerických dolarů a očekává se, že mezi lety 2020 a 2027 dosáhne složeného ročního růstu o 12,8 %².

Co jsou to rostlinné biostimulanty?

Mikrobiální inokulanty, někdy označované jako „půdní inokulanty“ nebo „bioinokulanty“ se řadí mezi pomocné látky používané v zemědělství, které obsahují prospěšné rhizosférické nebo endofytické mikroorganismy podporující „výkon“ rostlin. Existují různé druhy mikrobiálních inokulantů podle jejich funkce. V tomto textu se zaměřujeme výhradně na ty, které nazýváme rostlinné biostimulanty.



Kosakonia pseudosacchari, která umí vázat dusík, kolonizuje kořeny tabáku.

Rostlinné biostimulanty jsou látky, obsahující živé nebo neaktivní buňky účinných bakterií, hub nebo řas, buď samostatně, nebo v různých kombinacích. Tyto mikroorganismy dokážou kolonizovat rhizosféru či přímo ovlivňovat rostlinné tkáně. Povzbuzují růst rostlin tím, že zlepšují příjem primárních živin. Biostimulanty je možno aplikovat do půdy, na osivo i na povrch rostlin.

Druhy biostimulantů a způsob jejich působení

Fixátoři dusíku

Některé kmeny bakterií a řas umějí vázat vzdušný dusík (N) ve formě využitelné rostlinami, jako je amoniak a dusičnany. Tento proces se nazývá biologická fixace dusíku^[5]. Díky tomuto mechanismu je možné využívat některé mikroorganismy jako biostimulanty, které tak mohou nahrazovat minerální dusíkatá hnojiva. Toto může napomáhat k udržení půdní rezervy dusíku v půdě^[6]. Organismy schopné vázat dusík se dělí na tři skupiny: žijící v půdě volně, nebo v asociacích jako *Azotobacter* a *Azospirillum*, a symbiotické bakterie, např. *Rhizobium*, *Frankia* a *Azolla*. V oblastech (sub)tropického, méně již mírného klimatu, přispívají nesymbiotické bakterie vázající N k lepšímu příjmu dusíku rostlinami.

Azotobacter je rod volně žijících a asociativních bakterií se schopností fixace dusíku. Kromě biologické fixace dusíku mají kmeny rodu *Azotobacter* řadu dalších příznivých účinků, které podporují růst rostlin a zlepšují příjem živin, což vede k lepšímu růstu, výnosům a kvalitě^[7, 8].

Azospirillum je jeden z prvních objevených a nejlépe popsanych rodů ze skupiny asociativních fixátorů dusíku. Podpůrné účinky rodu *Azospirillum* na růst rostlin se připisují několika různým mechanismům včetně odolnosti vůči chorobám a vysoké toleranci vůči suchu, ale především schopnosti biologické fixace dusíku^[9].

²<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/biofertilizers-industry>

Rod **Rhizobium** a příbuzné rody jsou symbiotické bakterie se schopností vázat dusík, které u svých symbiontů – luštěnin – podněcují vznik hlízek (viz obrázek vpravo). Taková symbióza přispívá ke značnému sdílení dusíku v biosféře ^[10]. Tato vzájemná vazba je zajímavá vzhledem k faktu, že luštěniny se celosvětově řadí mezi nejvýznamnější potravinářské a krmné plodiny.

Další organismy se schopností vázat dusík: rod *Frankia* je dobře popsán rovněž díky schopnosti vytvářet symbiózu s kořenovými hlízkami určitých druhů rostlin ^[11]. Rod *Azolla* (v angličtině se někdy nazývá komáří kapradí, vílí mech nebo vodní kapradí) je drobná vodní vzplývavá kapradina ^[12]. Biostimulant obsahující *Azollu* významně zvyšuje obsah dusíku v půdě rýžových polí. A konečně sinice (*Cyanobacteria*) mohou existovat buď volně, nebo v symbióze s lišejníky, kapradinami a cykasy. Jejich přínos celkové biologické fixace dusíku je vysoký, avšak jsou schopné vázat atmosférický dusík pouze za určitých podmínek. ^[13].

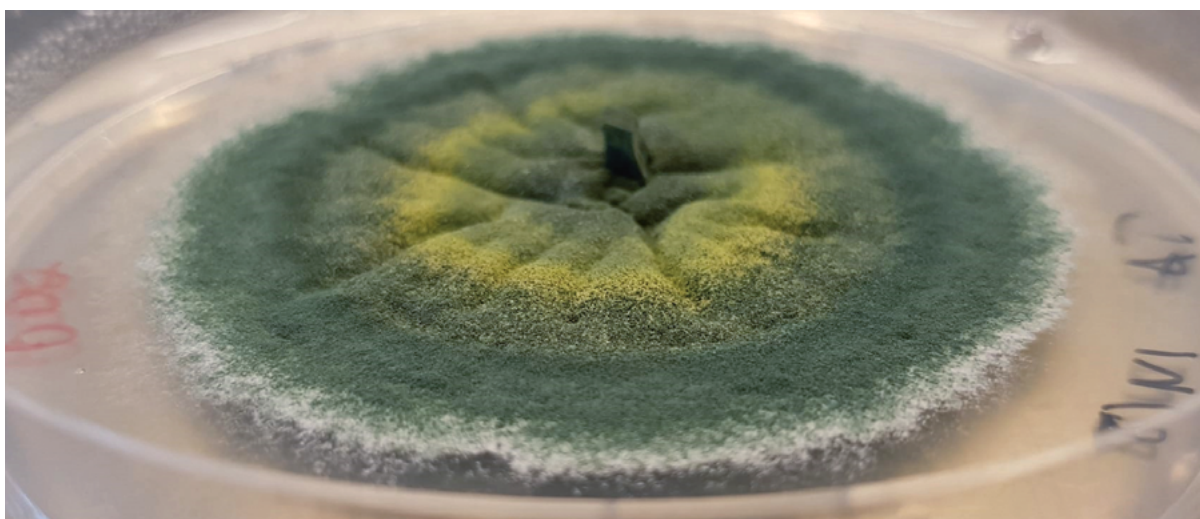
Rozpouštěče fosforu

Fosfor (P) je základní živinou obsaženou v půdě; je nezbytný pro růst a vývoj rostlin. Zapojuje se do řady významných biologických procesů, jeho dostupnost je nicméně omezená. Proto se fosforečná hnojiva stala druhou nejpoužívanější agrochemikálií na světě (za dusíkatými hnojivy) ^[14]. V půdě je rozpustnost fosforu řízena převážně fosfor rozpouštějícími bakteriemi (PSB – P solubilising bacteria) nebo fosfor rozpouštějícími houbami (PSF – P solubilising fungi) ^[15]. Odhaduje se, že 20–25 % množství fosforu potřebného pro rostliny poskytují právě bakterie a houby. Z bakterií s touto schopností



Kořeny sóji s hlízkami.

jsou dobře prostudované např. *Pseudomonas putida* a *Bacillus megaterium*, z hub jsou nejznámější druhy *Aspergillus*, *Penicillium* a *Trichoderma*. Fosfor umějí rozpouštět také některé aktinomycety, které se těší popularitě díky své schopnosti přežít v extrémních podmínkách ^[16].



Trichoderma asperelum rostoucí na misce s agarem.

Rozpouštěče draslíku a zinku

Draslík (K) je základní živinou nezbytnou pro vývoj rostlin. Půda samozřejmě obsahuje velké množství draslíku, ale pouze 1–2 % je ve formě přístupné pro rostliny [17]. Bakterie, houby a aktinomycety umějí draslík v půdě rozpouštět a činí tak pomocí různých chemických reakcí [16, 18].

Jak prokázaly studie inokulace rýže a okurek, mezi nejúčinnější rozpouštěče draslíku patří *Bacillus licheniformis*, *Pseudomonas azotoformans* a *Enterobacter hormoechei* [19, 20, 21].

Zinek rozpouštějí různé mikrobiální druhy jako je *Bacillus subtilis*, *Thiobacillus thiooxidans* a *Saccharomyces sp.* [22]. Tyto mikroorganismy je možné aplikovat jako biostimulant a dosáhnout tak zvýšené dostupnosti zinku pro rostliny.

Arbuskulární mykorhizní houby

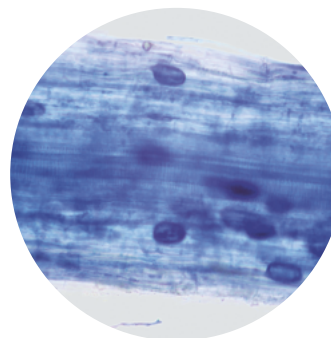
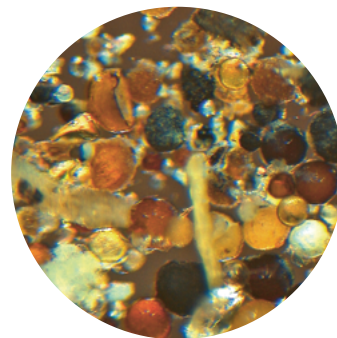
Arbuskulární mykorhizní houby – AMF (arbuscular mycorrhizal fungi) jsou obligátní symbionti z kmeny Glomeromycota, kteří tvoří symbiotické vztahy s kořeny asi 80 % všech suchozemských rostlin včetně většiny zemědělských plodin [23].

AMF představují základní spojovací články mezi rostlinou a půdními minerálními živinami, neboť se prokázalo, že zvyšují příjem především P a Zn, ale rovněž přispívají k lepšímu příjmu N, K, hořčíku, vápníku a síry [24, 25]. Kromě toho jsou AMF pro rostliny prospěšné i dalšími způsoby, například zlepšují jejich toleranci vůči suchu, salinitě a také jejich odolnost vůči chorobám [24]. Proto v posledních letech vzrůstá zájem o jejich využití jako biostimulantů v zemědělství, v zahradnictví, při zalesňování, a také při zúrodnění půdy [25].

Další druhy mykorhizy

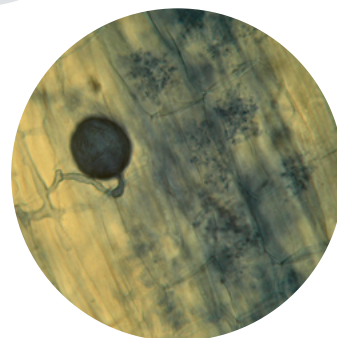
Obecně řečeno, mykorhiza je symbiotické soužití hub s kořeny rostlin. Mnohé druhy stromů v lesích po celém světě jsou závislé na ektomykorhize (ECM). Houby, které ektomykorhizní vazby vytvářejí, se taxonomicky řadí k houbám stopkovýtrusným (basidiomycetám) a v menším rozsahu také k vřeckovýtrusným (askomycetám) [26]. Tyto houby zlepšují výživu stromů tím, že zpřístupňují živiny z organických sloučenin. Současně příznivě ovlivňují zásoby uhlíku v půdě a jsou tedy zodpovědné za koloběh uhlíku v lesních ekosystémech [26]. Erikooidní mykorhiza je vztahem mezi půdními houbami a rostlinami z řádu vřesovcotvarých (*Ericales*) [27]; orchideooidní mykorhiza pak vzniká mezi půdními houbami a rostlinami z čeledi vstavačovitých (*Orchidaceae*) [28]. Orchideooidní mykorhiza hraje zásadní roli při klíčení, protože zásobuje klíčící rostliny uhlíkem. [29].

Spory různých druhů AMF extrahované ze zemědělské půdy.



AMF kolonizující kořeny čiroku.

AMF kolonizující kořeny kukuřice pomocí hyf, arbuskul a vezikul.



Mikrobiální společenstva

Spojení kmenů jako např. rhizobakterie s houbami představuje vhodnou strategii ve vývoji biostimulantů pro využití v rámci udržitelného zemědělství [30]. Kromě jejich potenciální multifunkčnosti, která plyne z jejich vzájemně se doplňujících vlastností, se má také za to, že biostimulanty obsahující více druhů mikroorganismů by v porovnání s biostimulanty s obsahem pouze jednoho kmene mohly v nejrůznějších prostředích lépe přežívat. To je dáno vzájemnou stimulací prostřednictvím komunikace a diferenciací [31]. Bylo také pozorováno, že účinně podporují růst a vývoj rostlin v podmínkách abiotického stresu (extrémní teploty, pH, zasolení půdy, sucho, kontaminace půdy těžkými kovy či pesticidy.) [30, 32].

Z této kategorie jsou známy především efektivní mikroorganismy (EM), které již zaujímají značnou část trhu. Některé studie ovšem odhalují, že pozorované účinky (podpora růstu rostlin) nepocházejí přímo od samotných efektivních mikroorganismů, nýbrž od živin v substrátu, v němž jsou mikroorganismy obsaženy [33, 34, 35].



Pórek rostoucí v půdě chudé na fosfor: bez dávky (varianta označená jako kontrola), s nízkou dávkou a s vysokou dávkou mikrobiálního společenstva.

Oblasti použití

Použití v zahradnictví

Biostimulanty se široce využívají v zahradnictví [36, 37, 38]. Důvody jsou následující:

- produkce vysoce hodnotných plodin s vysokým výnosem
- používání pěstebních substrátů bez přítomnosti přirozených mikroorganismů
- řízené podmínky prostředí pro pěstování (na rozdíl od polních podmínek)
- zjednodušený způsob aplikace pomocí zavlažování [36]
- vysoká specializace plodin a intenzivní pěstování, jejichž výsledkem je ztráta úrodnosti půdy

V tomto kontextu mohou biostimulanty přispívat k růstu plodin a doplňovat populace mikroorganismů v půdě [36]. Biostimulanty se používají buď samostatně, nebo v kombinacích s jinými vstupy ve všech oblastech zahradnictví včetně zelinářství, pěstování květin, v okrasných i ovocných školkách i v zahrádkářství [37, 38].

Aplikace biostimulantu obsahující bakterie rodu *Azotobacter* nebo *Azotobacter* společně s kmeny rodu *Glomus* zlepšila růst rostlin i kvalitu plodů při pěstování jablek a banánů [38, 39]. FiBL ve spolupráci s partnery prokázal příznivé účinky původních a komerčních (uměle dodaných) AMF na růst datlových palm a lilku quitského, když byly rostliny naočkovány v podmínkách ovocnářské školky [40, 41, 42]. Rovněž při pěstování květin kombinovaná aplikace biostimulantů a přírodních nebo chemických vstupů zvýšila výnos a kvalitu produkce [43]. Kombinovaná aplikace statkových hnojiv a fosfor rozpouštějících bakterií významně zlepšila výnosy a výživu listů aksamitníku [44], inokulace tulipánů bakteriemi *Azotobacter* zase posílila růst rostlin [45].

Použití v polním hospodářství

Rostlinné biostimulanty se neuplatňují pouze v zahradnictví, jejich využití je čím dál významnější

i v polním hospodářství. Používání rhizobiálních inokulantů má již dlouhou tradici při pěstování luštěnin. *Rhizobia* jsou poměrně specificky zaměřená na určité druhy plodin a určitý typ prostředí a proto z nich připravené inokulanty hrají důležitou roli při pěstování nepůvodních luštěnin jako je sója, nebo na půdách trpících nedostatkem účinných rhizobiálních populací [46]. Obrázek na straně 6 ukazuje úspěšnou aplikaci rhizobiálních přípravků v rámci polního pokusu s lupinou, který provedl FiBL ve spolupráci s partnery. Jiné pokusy FiBLu ukázaly, že nezbytným předpokladem pro stabilní výnosy a obsah bílkovin v pěstovaných sójových bobech je správný výběr účinných komerčních inokulantů [47]. Význam rostlinných biostimulantů vzrůstá i u jiných polních plodin. Například inokulace *Azospirillum* v kombinaci s dalšími kmeny mikroorganismů vykazala pozitivní výsledky u různých plodin: s bakteriemi rodu *Pseudomonas* zvýšila výnosy kukuřice na zrno a bavlny [48]; s *Azotobacterem* výnosy perličkového prosa, čiroku, pšenice a rýže [49]; s *Arthrobacterem* a fosfor rozpouštějícími bakteriemi pak zase výnos zrn ječmene [50]. Studie prováděné v rámci projektu ISCB, na němž se podílel FiBL a partneři ve Švýcarsku a Indii, přinesly zjištění, že inokulace pomocí AMF a rhizobakterií má následující vliv:

- pomáhá snížit potřebu minerálních hnojiv při pěstování holubího hrášku (kajan indický) a koraikanu (kalužnice křivoklasá) o 50 % při zachování stejného výnosu jako při minerálním hnojení [51],
- zvyšuje výnos, a efektivitu využití minerálních živin a fosforu; zároveň zlepšuje kvalitu půdy [52],
- je účinnější na lokalitách s přirozeně málo úrodnou půdou, a také tehdy, když se aplikuje společně s mykorrhizními houbami a kmeny rhizobakterií.

Použití pro obnovu

Další oblastí, která profituje z aplikace rostlinných biostimulantů, především AMF, je obnova ekosystémů [53]. Činnost člověka jako je kácení a těžba, ale i přírodní faktory jako požáry nebo geomorfologické



Lupina inokulovaná přípravkem HiStick (vlevo) a neinokulovaná lupina (vpravo).

procesy mohou negativně ovlivňovat stabilitu přirozených ekosystémů. To může vést k degradaci půdy a silnému omezení přirozené obnovy vegetace. Úspěšnost aplikace AMF byla prokázána v mnoha studiích, například v případě obnovy vegetace ve středomořských oblastech postižených desertifikací^[54] nebo v případě obnovy půd v místech poškozených těžbou^[55].

Účinnost biostimulantů

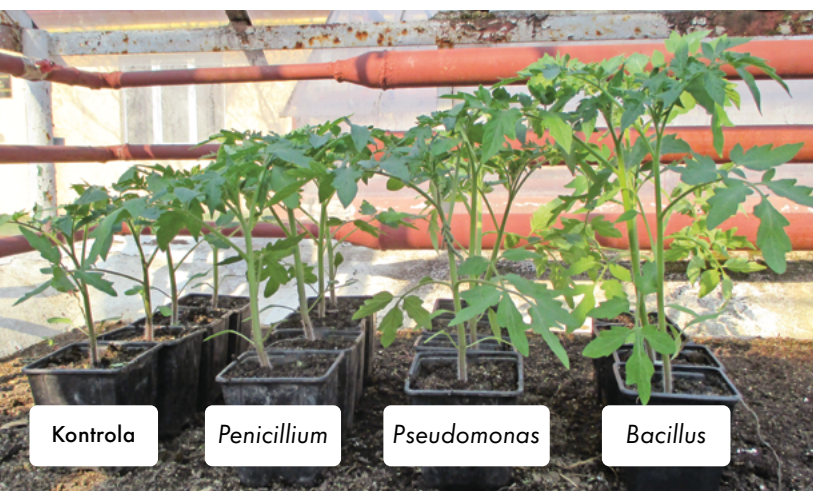
Vědecké týmy po celém světě intenzivně studují účinky rostlinných biostimulantů na mnoha různých druzích plodin v mnoha typech ekosystémů. Výsledkem je velké množství publikací shrnujících prospěšnost různých typů biostimulantů, jako na-

příklad AMF, organismy rozpouštějící fosfor nebo ty, které vážou dusík. Na druhou stranu se ovšem při jejich používání v zemědělské praxi výsledek často nedostaví. Příčin toho, že nedochází ke zlepšení, je mnoho, většinou se jedná o důsledek nevhodné kombinace environmentálních faktorů, půdních podmínek, typu biostimulantu a druhu / genotypu plodiny^[56]. Zatím je však těžké formulovat specifická doporučení k používání konkrétních produktů; s výjimkou týkající se použití produktů obsahujících rhizobia při pěstování nepůvodních luštěnin.

Nedávná globální analýza nicméně odhalila určité obecné vzorce, podle nichž lze predikovat účinnost toho kterého typu biostimulantu vzhledem k půdním a klimatickým podmínkám a druhu plodiny^[56]. Studie poukázala na to, že účinnost biostimulantů závisí do velké míry na půdních podmínkách a že podmínky umožňující nejlepší účinek se různí podle typu aplikovaného biostimulantu:

- AMF se nejlépe projeví při nízkých hodnotách organického uhlíku a nízké hladině rostlinám přístupného půdního fosforu (10–25 kg P/ha).
- Rozpouštěče fosforu jsou také účinnější při nízkých hodnotách organického uhlíku, ale při mírně vyšší hladině rostlinám přístupného půdního fosforu (25–35 kg P/ha).
- Hnojiva se schopností vázat dusík působí nejlépe při zvyšujícím se obsahu organického uhlíku a hodnotách rostlinám přístupného půdního fosforu vyšších než 45 kg P/ha.

Kromě půdních podmínek ovlivňuje efektivitu rostlinných biostimulantů také druh plodiny. Luštěniny a zelenina jsou na inokulaci citlivější než okopaniny a obiloviny, což může být způsobeno jejich zvýšenou potřebou živin.



Rajčata rostoucí za přispění biostimulantů obsahujících kmeny rodu *Penicillium*, *Pseudomonas* nebo *Bacillus*, zcela vlevo nehnojená varianta (kontrola).

Dalším faktorem ovlivňujícím efektivitu rostlinných biostimulantů jsou klimatické podmínky. Ukázalo se, že biostimulanty jsou účinnější v suchých oblastech, za nimiž následují tropické a kontinentální klimatické regiony. Hlavní příčinou je méně úrodná půda s nízkým obsahem organické hmoty, dusíku a fosforu, která je pro suché oblasti typická. Slabá úrodnost půdy zároveň znamená nižší zastoupení i aktivitu půdních mikroorganismů, což následně činí aplikaci mikrobiálních inokulantů účinnější. Navíc jsou plodiny suchého klimatu více vystaveny stresu způsobeným horkem, suchem a zasolením. Mikroorganismy mohou produkovat řadu molekul, jako jsou rostlinné hormony, enzymy a druhotné sloučeniny, které stres u rostlin zmírňují a tím stabilizují výnosy.

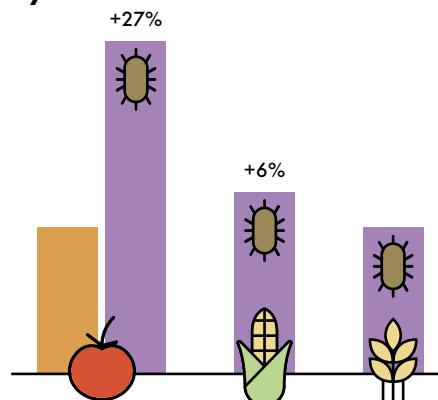
Účinnost v mírném klimatu

FiBL ve spolupráci s dvaceti evropskými partnery nedávno dokončil projekt FP7 BIOFECTOR³, který měl za cíl snížit vstupy minerálních hnojiv do evropského zemědělství pomocí na trhu dostupných a nově vyvinutých rostlinných biostimulantů. Bylo provedeno asi 150 pokusů s více než 1100 pokusnými variantami, aby se objasnilo, které biostimulanty se nejlépe hodí pro lepší pěstování kukuřice, pšenice a rajčat, a které faktory rozhodují o tom, jak úspěšná bude jejich aplikace.

Srovnávací studie, v níž se analyzovaly všechny nádobové i polní pokusy odhalila, že hlavními faktory, jež podmiňují účinnost biostimulantu, je způsob pěstování dané plodiny a typ hnojiva. Ukázalo se, že na inokulaci nejlépe reagovala rajčata pěstovaná ve skleníku nebo v polních podmínkách po předpěstování ve skleníku, a sice o 27 % lepším růstem, zatímco kukuřice rostla o 6 % lépe a u pšenice se růst nezměnil (graf 1).

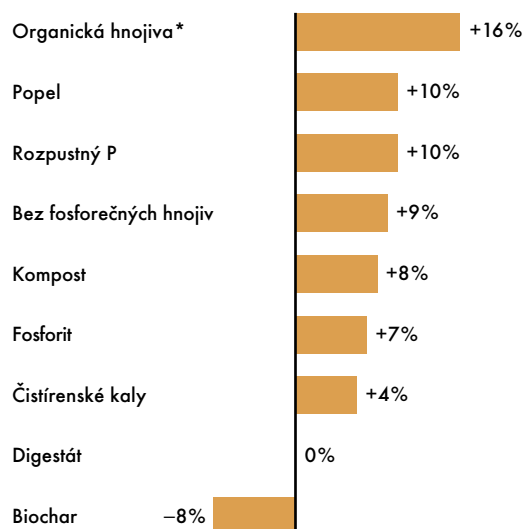
Dále bylo zjištěno, že rostlinné biostimulanty zlepšily růst především v půdách s nízkým obsahem organické hmoty a fosforu, což je také v souladu s dříve získanými výsledky. Navíc se projevilo, že fosforečná hnojiva mají dopad na účinnost biostimulantů (graf 2). Biostimulanty v kombinaci se statkovými hnojivy se v podpoře růstu plodin projevily jako neúčinnější, následoval popel, vodou rozpustný fosfor, kompost a fosforit. FiBL provedl pět nádobových pokusů s použitím hlíny ze dvou lokalit a šest polních pokusů na dvou lokalitách ve Švýcarsku. Testovací plodinou byla kukuřice. Žádný z testovaných biostimulantů nedokázal růst kukuřice významně zlepšit. Především v polním

Graf 1: Účinky biostimulantu na různé plodiny



Rajčata pěstovaná ve skleníku a/nebo v polních podmínkách reagovala na inokulaci nejlépe, a sice o 27 % lepším růstem, zatímco kukuřice rostla o 6 % lépe; u pšenice se růst nezměnil.

Graf 2: Účinky biostimulantu v závislosti na fosforečném hnojivu



Rostlinné biostimulanty kombinované s * organickými hnojivy jako je chlévská mrva / hnůj nebo masokostní a péřová moučka napomohla růstu plodin nejvíce; následoval popel, rozpustný P, kompost a fosforit.

pokusu nebyly pozorovány žádné stabilní výsledky. Všechny pokusy byly prováděny na ekologicky obhospodařované půdě bohaté na organickou hmotu, což mohlo způsobit neprůkazné zvýšení růstu.

³<https://www.biofactor.info/index.html>

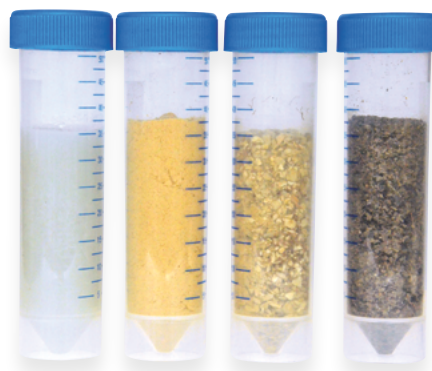
Složení biostimulantů

Laboratorní izolace a prověřování (screening) schopnosti nových mikrobiálních kmenů podporovat růst rostlin jsou prvními a základními kroky při vývoji nového mikrobiálního inokulantu ^[1]. Po těchto fázích následují na řadě plodin pokusy in vitro, skleníkové a/nebo polní, aby bylo možno vyhodnotit účinnost a stálost mikroorganismů v půdních podmínkách ^[57]. To je nezbytné, neboť i v případech, kdy jsou získány uspokojivé laboratorní výsledky, neznamená to vždy stejnou podporu růstu i v polních podmínkách.

Mikroorganismy je také nutno namnožit a zpracovat do přípravku, který splňuje různé požadavky: má vysokou koncentraci živých mikrobiálních buněk a délku využitelnosti bez snížené účinnosti alespoň šest měsíců. Proto je nanejvýš důležitý výběr vhodného složení, při němž se nejlépe uchová vitalita mikroorganismů od výroby až po použití ^[1].

Pevná forma přípravku

Nosiče používané v přípravcích pevného skupenství mohou být vyrobeny z organických, anorganických nebo z cenově výhodných syntetických materiálů, jejichž výroba je nenáročná a je možné je sterilizovat. Mikroorganismům v půdě / substrátu by měli poskytovat krátkodobou ochranu, a to buď fyzicky nebo dodávkou živin ^[58, 59]. Existují dva druhy pevného složení nosného média, rašelinné a granulované. **Rašelina** je nehomogenní a komplexní materiál, který různě ovlivňuje mikrobiální buněčný růst a schopnost přežití při množení ^[60]. Navíc se z ní během sterilizace mohou uvolňovat toxické sloučeniny, což může mít negativní dopad na mikrobiální buněčný růst a schopnost přežití mikroorganismů.



Různé formy biostimulantů:
tekuté, mrazem sušený prášek a pevná forma.

Účinnost přípravku tak může být snížena ^[58, 61]. **Granulované formy** přípravků sestávají z mikrogranulí rašeliny nebo zrněk vápence, vermikulitu či křemene, potažených nebo napuštěných zvolenými mikrobiálními kmeny ^[1]. Aplikace pevných biostimulantů je snadno zvládnutelná, v podstatě je pouze třeba umístit přípravek do blízkosti osiva, aby mohlo dojít k mikrobiální interakci s rhizosférou ^[58]. Jejich použití však má určité obecné nevýhody. Například jsou objemné, což zvyšuje náklady na jejich přepravu a skladování. Koncentrace mikrobiální složky v pevné formě přípravku také rychle klesají kvůli absenci živin či ochrany pro živé buňky; následkem toho je třeba aplikovat přípravek ve zvýšené dávce, pokud má přinést požadovaný výsledek ^[1]. Speciální a stabilnější typ pevné formy biostimulantu je **mrazem sušený (lyofilizovaný) prášek**, který se získává přímým mrazovým sušením cílových buněk společně s látkou, která buňky chrání proti poškození mrazem, tedy např. s čistou glukózou nebo sušeným mlékem ^[62].

Tabulka 1: Výhody a nevýhody různých forem biostimulantů

		Výhody	Nevýhody
Pevné biostimulanty	Biostimulanty na bázi nosičů	• levné • snadná výroba • nižší investice	• krátká doba použitelnosti • citlivost na teplotu • náchylnost ke kontaminaci • malé množství buněk
	Mrazem sušený prášek	• delší doba použitelnosti • velké množství buněk • bez kontaminace (100 % sterilní)	• velmi drahé • vyšší investice na výrobní jednotku
Tekuté biostimulanty		• delší doba použitelnosti tolerance k teplotě • velké množství buněk • účinnější • bez kontaminace (100 % sterilní)	• vysoká cena • vyšší investice na výrobní jednotku

Tekutá forma

Tekuté biostimulanty mohou kromě mikrobiálních buněk obsahovat živiny, speciální prostředky pro ochranu buněk nebo chemické látky, které podporují tvorbu neaktivních spor nebo cyst, čímž podporují schopnosti mikroorganismů přežít (zvýšení trvanlivosti přípravku) a přispívají k lepší stresové toleranci mikroorganismů [63]. Tekuté formy jsou řešením mnoha problémů, které se pojí k pevným formám biostimulantů. Mívají delší dobu přežití a to až dva roky (kdežto u pevných forem je to jen půl roku) a jsou tolerantnější k vysokým teplotám – až do 55 °C (tabulka 1). Tekuté formy mají také vyšší hustotu osídlení mikroorganismy – až 10^9 KTJ.ml⁻¹ (kolonii tvořících jednotek na jeden mililitr), oproti pouze 10^8 KTJ.g⁻¹ v případě pevného skupenství. Navíc se dají jednodušeji aplikovat pomocí závlahových systémů.

Rizika a omezení výroby a použití rostlinných biostimulantů

Předcházející odstavce popisovaly omezení účinnosti rostlinných biostimulantů, která závisí na faktorech prostředí a antagonismu/konkurenci půdních mikroorganismů. Rovněž nevhodná manipulace, transport a skladování mohou zapříčinit

Tabulka 2: Problémy spojené s výrobou a používáním biostimulantů a jejich potenciální řešení

Problém	Řešení
Zavlečení invazivních druhů mikroorganismů [64]	Výběr vhodných a konkurenceschopných kmenů pro specifické klimatické oblasti, plodiny a půdy [22]
Neúčinné přípravky [22]	
Nízká kvalita přípravků (nedostatek živých buněk) [64]	Zajištění vysoké kvality a dalšího výzkumu výrobcem
Mutace mikrobiálních buněk během množení ve fermentorech [22]	
Vysoké investiční náklady [65]	Výzkum v oblasti alternativních růstových médií jako např. vedlejší průmyslové produkty [66]
Málo poznatků o významu mikroorganismů pro povrchové půdní procesy	Zvyšování povědomí zemědělců o přínosu biostimulantů cestou intenzivnější publikace ve specializovaných časopisech

nižší účinnost biostimulantů. Další problémy související s výrobou a používáním biostimulantů a jejich potenciální řešení jsou shrnuty v tabulce č. 2.

Alternativy: management původních půdních mikroorganismů

Účinnou a dlouhodobou alternativou k používání biostimulantů je podpora původních v půdě žijících mikrobiálních populací tak, aby došlo ke zlepšení půdních procesů a tím následně i růstu rostlin a jejich výnosnosti. V rámci studií provedených ve FiBL bylo zjištěno, že uplatňování řady praktik typických pro ekologické zemědělství podporuje původní půdní mikroorganismy. Mezi tyto metody patří střídání plodin, omezení orby, začlenění luštěnin a meziplodin do osevních postupů a aplikace organického materiálu jako např. kompost. Některé z těchto praktik se dají snadno zařadit do jakéhokoli systému hospodaření, což pozitivně ovlivní množení a aktivitu mikrobiálních společenstev [66]. Výsledky několika studií provedených ve FiBLu poukazují na to, že příčinou pozitivních účinků kompostu na zdravotní stav a úrodnost půdy jsou mimo jiné mikroorganismy, jimiž je kompost osídlen [67, 68]. O jiných populárních praktikách, jako je například používání kompostového výluhu, existuje zatím jen málo vědeckých důkazů o jejich účinku na rostliny a půdu.

Ve studii provedené v Německu bylo pozorováno, že kompostový výluh zlepšil odolnost kukuřice proti stresu ze sucha [69]. K potvrzení takovýchto prospěšných účinků bude nicméně zapotřebí dalších studií.



Aplikace kompostu je dobrou alternativou podporující původní půdní mikroorganismy.



Použití v ekologickém zemědělství (EZ)

Mikroorganismy se v EZ používají tradičně a vůči jejich aplikaci nejsou žádné námitky. Pro evropské EZ je použití mikroorganismů schváleno v článku 3, odst. 4 Nařízení Komise (ES) č. 889/2008, není však výslovně uvedeno v příloze 1 tohoto nařízení. V době psaní této brožury se připravuje nová legislativa, ale autoři neočekávají v pravidlech pro používání rostlinných biostimulantů žádné změny. Je třeba splňovat tato kritéria:

- Mikroorganismy nesmějí být geneticky modifikované.
- Výrobky musí splňovat pravidla biologické bezpečnosti, tzn., že aplikace mikroorganismů se musí řídit doporučeními daného produktu, a nesmí být škodlivá pro člověka, životní prostředí, plodiny ani zvířata.
- Zvláštní pozornost je třeba věnovat kmenům importovaným ze zahraničí. Pro splnění těchto požadavků musí být známa identita (druh a kmen) mikroorganismů obsažených v produktu.

Ekologičtí zemědělci musí zvážit tyto aspekty před aplikací biostimulantu. V případě pochybností by měli věc konzultovat se svou kontrolní organizací. V zemích, které mají sestavený národní seznam povolených vstupů pro EZ je právě tento seznam vodítkem k tomu, které konkrétní biostimulanty jsou k použití přípustné.

Program Společné zemědělské politiky v EU propaguje používání rostlinných biostimulantů společně s EZ. Použití biostimulantů v podmínkách ekologického zemědělství je vnímáno jako udržitelný způsob hospodaření a na „zelené platby“ zemědělcům splňujícím podmínky jde až 30 % z celkového rozpočtu zemědělských dotací. Díky takto příznivým dotačním scénářům, které fungují např. v Severní Americe a v Evropě, se dá předpokládat, že trh s biostimulanty v příštích letech dál poroste. V každém případě musí být volba přípravku v souladu s evropskou i národní legislativou o EZ, stejně jako s pravidly týkajícími se hnojiv a biologickou bezpečností.

Co můžeme čekat do budoucna?

Potenciál rostlinných biostimulantů pro zvyšování výnosů a kvality různých plodin ukazuje řada studií. Používání biostimulantů u plodin s nízkou tržní hodnotou se často ukazuje jako nerentabilní. Účinnost biostimulantů ovlivňuje jak typ zvolené plodiny, tak i konkrétní přírodní podmínky, ve kterých se pěstují, a proto by se měly produkty volit pečlivě a aplikace by se měla provádět přesně podle návodu výrobce. Biostimulanty představují účinný nástroj udržitelného zemědělství v suchých oblastech, kde se plodiny potýkají s abiotickým stresem a nízkou úrodností půdy. Vzhledem k tomu, že v budoucnosti bude zřejmě suchých oblastí celosvětově přibývat, význam biostimulantů dál poroste. Navíc je možné jimi (částečně) nahradit chemická hnojiva a tím snižovat rizika spojená s kontaminací půdy

a zdravím lidí. Obecně se doporučuje provádět před velkoplošnou aplikací předběžné testy na menších pozemcích, aby se poznaly účinky produktu a neplýtvalo se finančními prostředky.

Tzv. „rhizosférický inženýrství“ v zemědělství nabývá na významu s rostoucím poznáním důležité role mikrobů pro systémy hospodaření. Tento přístup spočívá ve spojení účinných mikrobiálních inokulantů, vybraných zemědělských postupů a určitých druhů plodin, které efektivně stimulují funkční a prospěšné skupiny mikrobů v rhizosféře a tak mají pozitivní vliv na úrodnost půdy^[32, 14]. Výzkum se v současnosti zaměřuje – a bude i nadále – na tyto aspekty a získávání dalších poznatků, jež budou napomáhat volbě těch nejúčinnějších zemědělských postupů.

Reference

- [1] R. Backer et al. «Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture». *Frontiers in Plant Science*, vol. 9, p. 1473, 2018, doi: doi.org/10.3389/fpls.2018.01473.
- [2] G. J. Desbrosses and J. Stougaard. «Root Nodulation: A Paradigm for How Plant-Microbe Symbiosis Influences Host Developmental Pathways». *Cell Host Microbe*, vol. 10, no. 4, pp. 348–358, 2011, doi: 10.1016/j.chom.2011.09.005.
- [3] E. T. Alori and O. O. Babalola. «Microbial Inoculants for Improving Crop Quality and Human Health in Africa». *Front. Microbiol.*, vol. 9, p. 2213, 2018, doi: 10.3389/fmicb.2018.02213.
- [4] D. Trabelsi and R. Mhamdi. «Microbial Inoculants and Their Impact on Soil Microbial Communities: A Review». *Biomed Res. Int.*, vol. 2013, p. 863240, 2013, doi: 10.1155/2013/863240.
- [5] Peoples M.B., Herridge D.F. and Ladha J.K. «Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production?» *Plant Soil* 174: 3–28, 1995.
- [6] M. B. Peoples and E. T. Craswell. «Biological nitrogen fixation: Investments, expectations and actual contributions to agriculture». *Plant Soil*, vol. 141, no. 1, pp. 13–39, 1992, doi: 10.1007/BF00011308.
- [7] A. D. Jnawali, R. B. Ojha, and S. Marahatta. «Role of Azotobacter in soil fertility and sustainability – A Review». *Adv. Plants Agric. Res.*, vol. 2, no. 6, pp. 1–5, 2015.
- [8] S. Viscardi et al. «Assessment of plant growth promoting activities and abiotic stress tolerance of Azotobacter chroococcum strains for a potential use in sustainable agriculture». *J. soil Sci. plant Nutr.*, vol. 16, no. 3, pp. 848–863, 2016.
- [9] A. Van Dommelen and J. Vanderleyden. «Chapter 12 - Associative Nitrogen Fixation». H. Bothe, S. J. Ferguson, and W. E. B. T.B. of the N. C. Newton, Eds. Amsterdam: Elsevier, 2007, pp. 179–192.
- [10] P. Poole, V. Ramachandran, and J. Terpolilli. «Rhizobia: from saprophytes to endosymbionts». *Nat. Rev. Microbiol.*, vol. 16, no. 5, pp. 291–303, 2018, doi: 10.1038/nrmicro.2017.171.
- [11] E. E. Chaia, L. G. Wall, and K. Huss-Danell. «Life in soil by the actinorhizal root nodule endophyte Frankia. A review». *Symbiosis*, vol. 51, no. 3, pp. 201–226, 2010.
- [12] D. C. Roy, M. C. Pakhira, and S. Bera. «A review on biology, cultivation and utilization of Azolla». *Adv. Life Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 11–15, 2016.
- [13] B. D. Kaushik. «Developments in cyanobacterial biofertilizer». In *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 2014, vol. 80, no. 2, pp. 379–388, doi: 10.16943/piinsa/2014/v80i2/55115.
- [14] Smil V. «Phosphorous in the environment: natural Flows and Human Interferences». *Annu Rev Energy Env.* 2000;25(1):53–88.
- [15] Khan MS, Zaidi A, Wani PA, et al. «Role of phosphate solubilizing microorganisms in sustainable agriculture». In *Sustainable Agriculture*. Edited by: Lictfouse E. springer; 2009:552. DOI: 10.1007/978-90-481-2666-8_34
- [16] S. M. Kumar, G. C. Reddy, M. Phogat, and S. Korav. «Role of bio-fertilizers towards sustainable agricultural development: a review». *J. Pharmacogn. Phytochem.*, vol. 7, no. 6, pp. 1915–1921, 2018.
- [17] Zörb, C., Senbayram, M., Peiter, E., 2014. «Potassium in agriculture – status and perspectives». *J. Plant Physiol.* 171, 656–669
- [18] Sattar, A., Naveed, M., Ali, M., Zahir, Z. A., Nadeem, S. M., Yaseen, M., ... Meena, H. N. (2018). «Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: A review». *Applied Soil Ecology*. doi:10.1016/j.apsoil.2018.09.012
- [19] V. S. Meena et al. «Potassium solubilizing rhizobacteria (KSR): Isolation, identification, and K-release dynamics from waste mica». *Ecol. Eng.*, vol. 81, pp. 340–347, 2015, doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.04.065.
- [20] M. Saha, B. R. Maurya, V. S. Meena, I. Bahadur, and A. Kumar. «Identification and characterization of potassium solubilizing bacteria (KSB) from Indo-Gangetic Plains of India». *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, vol. 7, pp. 202–209, 2016, doi: 10.1016/j.bcab.2016.06.007.
- [21] K. Prajapati and H. A. Modi. «Growth promoting effect of potassium solubilizing Enterobacter hormaechei (KSB-8) on cucumber (Cucumis sativus) under hydroponic conditions». *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci.*, vol. 3, no. 5, pp. 168–173, 2016.
- [22] S. Sheraz Mahdi et al. «Bio-fertilizers in Organic Agriculture». *J. Phytol.*, vol. 2, no. 10, Dec. 2010.
- [23] Parniske, M. «Arbuscular mycorrhiza: the mother of plant root endosymbioses». *Nat. Rev. Microbiol.* 6, 763–775, 2008. doi: 10.1038/nrmicro1987
- [24] A. Berruti, E. Lumini, R. Balestrini, and V. Bianciotto. «Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Natural Biofertilizers: Let's Benefit from Past Successes». *Frontiers in Microbiology*, vol. 6, p. 1559, 2016, doi: 10.3389/fmicb.2015.01559.
- [25] N. S. Bolan. «A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants». *Plant Soil*, vol. 134, no. 2, pp. 189–207, 1991, doi: 10.1007/BF00012037.
- [26] I. C. Anderson and J. W. G. Cairney. «Ectomycorrhizal fungi: exploring the mycelial frontier». *FEMS Microbiol. Rev.*, vol. 31, no. 4, pp. 388–406, Jul. 2007, doi: 10.1111/j.1574-6976.2007.00073.x.
- [27] S. Perotto, M. Girlanda, and E. Martino. «Ericoid mycorrhizal fungi: some new perspectives on old acquaintances». *Plant Soil*, vol. 244, no. 1, pp. 41–53, 2002, doi: 10.1023/A:1020289401610.
- [28] K. Sathiyadash, T. Muthukumar, E. Uma, and R. R. Pandey. «Mycorrhizal association and morphology in orchids». *J. Plant Interact.*, vol. 7, no. 3, pp. 238–247, Sep. 2012, doi: 10.1080/17429145.2012.699105.
- [29] M. K. McCormick, D. Lee Taylor, K. Juhaszova, R. K. Burnett JR, D. F. Whigham, and J. P. O'Neill. «Limitations on orchid recruitment: not a simple picture». *Mol. Ecol.*, vol. 21, no. 6, pp. 1511–1523, Mar. 2012, doi: 10.1111/j.1365-294X.2012.05468.x.
- [30] S. L. Woo and O. Pepe. «Microbial Consortia: Promising Probiotics as Plant Biostimulants for Sustainable Agriculture». *Frontiers in Plant Science*, vol. 9, p. 1801, 2018.
- [31] K. Brenner, L. You, and F. H. Arnold. «Engineering microbial consortia: a new frontier in synthetic biology». *Trends Biotechnol.*, vol. 26, no. 9, pp. 483–489, Sep. 2008, doi: 10.1016/j.tibtech.2008.05.004.
- [32] K. Bradáčová, A. S. Florea, A. Bar-Tal, D. Minz, U. Yermiyahu, R. Shawahna, K. Dietel. «Microbial consortia versus single-strain inoculants: an advantage in PGPM-assisted tomato production?» *Agronomy*, 9(2), 105, 2019.
- [33] M. Schenck zu Schweinsberg-Mickan, and T. Müller. «Impact of effective microorganisms and other biofertilizers on soil microbial characteristics, organic-matter decomposition, and plant growth.» *Z. Pflanzenernähr. Boden.*, 172: 704-712, 2009, doi:10.1002/jpln.200800021
- [34] J. Mayer, S. Scheid, F. Widmer, A. Fließbach, H.-R. Oberholzer «How effective are 'Effective microorganisms' (EM)?». Results from a field study in temperate climate. *Applied Soil Ecology*, 46 (2): 230–239, 2010, https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.08.007.
- [35] A. F. C. Golec, P. González Pérez, and L. Chinmay «Effective microorganisms: myth or reality?» *Revista Peruana de Biología* 14.2 315–319, 2007.
- [36] G. Colla and Y. Rouphael. «Preface». in *Biostimolanti per un'agricoltura sostenibile. Cosa sono, come agiscono e modalità di utilizzo*, 2019.
- [37] I. Ortas. «Field trials on mycorrhizal inoculation in the eastern mediterranean horticultural region». In *Mycorrhiza works: Proceedings of the International Symposium Mycorrhiza for Plant Vitality and the Joint Meeting for Working Groups 1–4 of COST Action 870*, Hannover, Germany, 3-5 October, 2007, 2008, pp. 56–77.
- [38] D. V. Pathak, M. Kumar, and K. Rani. «Biofertilizer Application in Horticultural Crops». In *BT – Microorganisms for Green Revolution: Volume 1: Microbes for Sustainable Crop Production*, D. G. Panpatte, Y. K. Jhala, R. V. Vyas, and H. N. Shelat, Eds. Singapore: Springer Singapore, 2017, pp. 215–227.
- [39] S. D. Sharma, P. Kumar, S. K. Bhardwaj, and S. K. Yadav. «Screening and selecting novel AM fungi and Azotobacter strain for inoculating apple under soil solarization and chemical disinfection with mulch practices for sustainable nursery management». *Sci. Hortic. (Amsterdam)*, vol. 130, no. 1, pp. 164–174, 2011, doi: 10.1016/j.scienta.2011.06.032
- [40] S. Symanczik, M. Gisler, C. Thonar, K. Schlaeppi, M. Van der Heijden, A. Kahmen, P. Mäder. Application of Mycorrhiza and Soil from a Permaculture System Improved Phosphorus Acquisition in Naranjilla. *Frontiers in Plant Science*, 8(1263), 2017, doi:10.3389/fpls.2017.01263
- [41] S. El Kinany, E. Achbani, M. Faggrou, L. Ouahmane, R. El Hilali, A. Haggoud, & R. Bouamri. Effect of organic fertilizer and commercial arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of micro-propagated date palm cv. Feggouss. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 411–417, 2019.
- [42] M. Anli, S. Symanczik, A. El Abbassi, M. Ait-El-Mokhtar, A. Boutasknit, R. Ben-Laouane, A. Meddich, A.. «Use of arbuscular mycorrhizal fungus Rhizoglossum irregulare and compost

- to improve growth and physiological responses of *Phoenix dactylifera* 'Boutgouss'. *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 2020, 1–9. doi: 10.1080/11263504.2020.1779848
- [43] M. A. Wani, I. T. Nazki, A. Din, S. A. Iqbal, S. A. Wani, and F. U. Khan. «Floriculture sustainability initiative: The dawn of new era». In *Sustainable Agriculture Reviews* 27, Springer, 2018, pp. 91–127.
- [44] K. Mukesh, S. K. Sharma, S. Sultan, D. S. Dahiya, S. Mohammed, and V. P. Singh. «Effect of farm yard manure and different biofertilizers on yield and nutrients content of marigold cv. Pusa Narangi». *Haryana J. Hortic. Sci.*, vol. 35, no. 3/4, pp. 256–257, 2006.
- [45] F. U. Khan, M. A. A. Siddique, F. A. Khan, and I. T. Nazki. «Effect of biofertilizers on growth, flower quality and bulb yield in tulip (*Tulipa gesneriana*)». *Indian J. Agric. Sci.*, vol. 79, no. 4, pp. 248–251, 2009.
- [46] I. Weissenhorn and C. R. Külling. «Real case applications of commercial mycorrhiza products in the Netherlands: Prove us that mycorrhiza works and we will use it». In *Mycorrhiza works: Proceedings of the International Symposium Mycorrhiza for Plant Vitality and the Joint Meeting for Working Groups 1–4 of COST Action 870*, Hannover, Germany, 3–5 October, 2007, 2008, p. 17.
- [47] S. Zimmer, M. Messmer, T. Haase, H.-P. Piepho, A. Mindermann, H. Schulz, J. Heß. «Effects of soybean variety and Bradyrhizobium strains on yield, protein content and biological nitrogen fixation under cool growing conditions in Germany». *European Journal of Agronomy*, 72, 38–46, 2016.
- [48] K. Mohammadi and Y. Sohrabi. «Bacterial biofertilizers for sustainable crop production: a review». *Asian Res. Publ. Netw.*, vol. 7, no. 5, pp. 307–316, 2012.
- [49] S. P. Wani. «Inoculation with associative nitrogen-fixing bacteria: Role in cereal grain production improvement». *Indian J. Microbiol.*, vol. 30, no. 4, pp. 363–393, 1990.
- [50] A. A. Belimov, A. P. Kojemiakov, and C. nV Chuvarliyeva. «Interaction between barley and mixed cultures of nitrogen fixing and phosphate-solubilizing bacteria». *Plant Soil*, vol. 173, no. 1, pp. 29–37, 1995.
- [51] N. Mathimaran, J. Sekar, T.M.Nanjundegowda, P. V. Ramalingam, Y. Perisamy, K.Raju, K., . . . S. Ayappa. «Intercropping transplanted pigeon pea with finger millet: Arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria boost yield while reducing fertilizer input». *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 88, 2020.
- [52] P. Mäder, F. Kaiser, A. Adholey, R. Singh, H.S. Uppal, A. K. Sharma, . . . P. M. Fried. «Inoculation of root microorganisms for sustainable wheat–rice and wheat–black gram rotations in India.» *Soil Biology and Biochemistry*, 43(3), 609–619, 2011, doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.11.031
- [53] K. Turnau, & K. Haselwandter. «Arbuscular mycorrhizal fungi, an essential component of soil microflora in ecosystem restoration.» *Mycorrhizal technology in agriculture* (pp. 137–149): Springer, 2002.
- [54] P. Jeffries, A., Craven-Griffiths, J.M., Barea, Y. Levy, & J.C. Dodd. «Application of arbuscular mycorrhizal fungi in the revegetation of desertified Mediterranean ecosystems.» *Mycorrhizal technology in agriculture* (pp. 151–174): Springer, 2002
- [55] F. Wang. «Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in mining-impacted sites and their contribution to ecological restoration: Mechanisms and applications.» *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 47(20), 1901–1957, 2017.
- [56] L. Schütz et al.. «Improving Crop Yield and Nutrient Use Efficiency via Biofertilization – A Global Meta-analysis». *Frontiers in Plant Science*, vol. 8. p. 2204, 2018, doi: doi.org/10.3389/fpls.2017.02204.
- [57] I. Romano, V. Ventorino, and O. Pepe. «Effectiveness of Plant Beneficial Microbes: Overview of the Methodological Approaches for the Assessment of Root Colonization and Persistence». *Frontiers in Plant Science*, vol. 11. p. 6, 2020, doi: 10.3389/fpls.2020.00006.
- [58] Y. Bashan, L. E. de-Bashan, S. R. Prabhu, and J.-P. Hernandez. «Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: formulations and practical perspectives (1998–2013)». *Plant Soil*, vol. 378, no. 1, pp. 1–33, 2014, doi: 10.1007/s11104-013-1956-x.
- [59] N. K. Arora, E. Khare, and D. K. Maheshwari. «Plant Growth Promoting Rhizobacteria: Constraints in Bioformulation, Commercialization, and Future Strategies». In *Plant Growth and Health Promoting Bacteria*, D. K. Maheshwari, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, pp. 97–116.
- [60] E. Malusá, L. Sas-Paszt, and J. Ciesielska. «Technologies for Beneficial Microorganisms Inocula Used as Biofertilizers». *Sci. World J.*, vol. 2012, p. 491206, 2012, doi: 10.1100/2012/491206.
- [61] T. Mahanty et al.. «Biofertilizers: a potential approach for sustainable agriculture development». *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 24, pp. 3315–3335, 2017, doi: 10.1007/s11356-016-8104-0.
- [62] C. A. Morgan, N. Herman, P. A. White, and G. Vesey. «Preservation of micro-organisms by drying: A review». *J. Microbiol. Methods*, vol. 66, no. 2, pp. 183–193, 2006, doi: 10.1016/j.mimet.2006.02.017.
- [63] Hegde, S.V. «Liquid bio-fertilizers in Indian agriculture». *Bio-fertilizer news letter*, pp.17–22, 2008.
- [64] L. Corkidi et al.. «Assessing the infectivity of commercial mycorrhizal inoculants in plant nursery conditions». *J. Environ. Hortic.*, vol. 22, no. 3, pp. 149–154, Sep. 2004, doi: 10.24266/0738-2898-22.3.149.
- [65] L. Xu and G. Danny. «Developing biostimulants from agro-food and industrial by-products.» *Front. Plant Sci.*, vol. 9, p. 1567, 2018, doi: 10.3389/fpls.2018.01567.
- [66] M. Lori, S. Symnaczik, P. Mäder, G. De Deyn, and A. Gättinger. «Organic farming enhances soil microbial abundance and activity – A meta-analysis and meta-regression». *PLoS One*, vol. 12, no. 7, e0180442, Jul. 2017.
- [67] J.G. Fuchs. «Composting process management and compost benefits for soil fertility and plants.» *Acta Horticulturae*. 1164., 195–202, 2017.
- [68] T. Oberhaensli, V. Hofer, L. Tamm, J.G Fuchs, M. Koller, J. Herforth-Rahmé, M. Maurhofer, B. Thuerig. «Aeromonas media in compost amendments contributes to suppression of *Pythium ultimum* in cress.» *Acta Horticulturae*. 1164., 353–360, 2017.
- [69] N. Moradtalab, F. Freytag, S. Wanke, G. Neumann. *Proceedings of the 18th International Plant Nutrition Colloquium 2017, Copenhagen, Denmark*. 175–176, 2017.

Tíráz

Podle anglického originálu Biofertilisers vydaného v roce 2021 Výzkumným ústavem pro ekologické zemědělství FiBL CH-5070 Frick, Švýcarsko
Tel. +41 62 8657-272, info.suisse@fibl.org, www.fibl.org

Vydal: Bioinstitut

Bioinstitut, o.p.s., Ondřejova 489/13, 779 00 Olomouc
Tel. (+420) 581 115 181, info@bioinstitut.cz

Autoři: Sarah Symnaczik (FiBL), Paul Mäder (FiBL),
Ida Romano (FiBL, University Neapel Federico II)

Odborné korektury: Bernhard Speiser (FiBL),
Günther Neumann (Universität Hohenheim)

Překlad: Jim a Ina Leckie

Odborné korektury českého vydání: Josef Svoboda (ÚKZÚZ)

Redakce anglického vydání: Vanessa Gabel (FiBL)

Redakce českého vydání: Pavlína Samsonová (Bioinstitut)

Grafická úprava a sazba:

Brigitta Maurer (FiBL), Milan Matoušek (Bioinstitut)

Fotografie: Sarah Symnaczik (FiBL) p.3(3), 4(1,2), 5(1,2) Monika
Messmer (FiBL) p.3 (1,2), Jacques Fuchs (FiBL) p.9, Günter Neumann
(Universität Hohenheim) p.7, Christine Arken (FiBL) p.6, Andreas
Basler (FiBL) p.5., Ida Romano (FiBL, University Neapel Federico II)
p.2, Dominika Kundel (FiBL) p.10

Originál informačního listu zdarma ke stažení [ZDE](https://www.fibl.org) a na shop.fibl.org

Text neprošel jazykovou úpravou.

© FiBL, Bioinstitut, 2021

ISBN PDF: 978-80-87371-38-1

Publikace byla vydána za finanční podpory
Ministerstva zemědělství prostřednictvím dotace na činnost
České technologické platformy pro ekologické zemědělství

