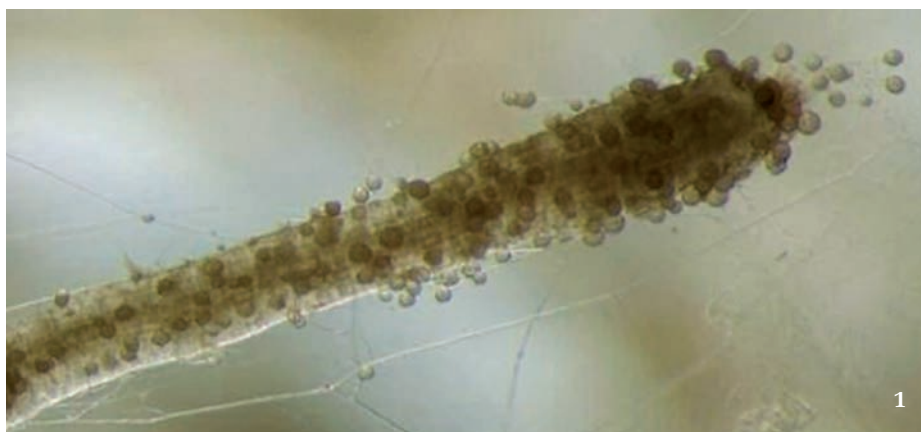


Může arbuskulární mykorhiza pomoci v zemědělské produkci?

Před několika lety vzbudil mezi vědci studujícími mykorhizu ohlas tweet podnikatele a mecenáše Billa Gatese. Pod obrázkem kořene obaleného sporama arbuskulárně mykorhizní houby vyjádřil naději, že „tato houba by mohla pomoci nakrmit hladové“. Odkazuje na článek v prestižním internetovém časopise NOVA Next s názvem Příští zelená revoluce by mohla spoléhat na mikroorganismy, který popisuje výzkum Iana Sanderse, předního experta na arbuskulární mykorhizu, působícího ve Švýcarsku. Spolu s kolumbijskou agronomkou Alií Rodriguezovou studují možnosti využití arbuskulárně mykorhizních hub pro zvýšení výnosů manioku (*Manihot esculenta*), důležité tropické plodiny.



Zmiňovaný výzkum budí pozornost, protože se zakládá na neotřelém přístupu „šlechtění“ účinných izolátů symbiotických hub. Nicméně role arbuskulární mykorhizy v zemědělství a možnosti jejího využití pro zvýšení výnosů jsou intenzivně zkoumány již minimálně od 80. let 20. stol. v mnoha zemědělských systémech od Evropy přes Indii, Afriku a Latinskou Ameriku až po Austrálii. Tento výzkum a naděje do něj vkládané stojí na dvou pilířích: Většina plodin tvoří arbuskulární mykorhizu, včetně těch nejvýznamnějších, jako jsou pšenice, rýže a kukuřice, a mykorhiza prokazatelně dokáže zlepšit růst rostlin. Proč tedy není péče o mykorhizní houby již dávno součástí agronomických postupů? Odpověď můžeme shrnout do otřepané fráze: Není to tak jednoduché.

Základy fungování arbuskulární mykorhizy

Principy spolupráce mezi rostlinami a mykorhizními houbami jsou podrobně popsány v článku na str. 233 tohoto čísla. Zde tedy jen stručně zopakujeme aspekty důležité v kontextu zemědělských systémů. Nejznámější a nejlépe objasněné přínosy mykorhizy pro rostliny spočívají ve zlepšení jejich výživy v půdě málo dostupnými minerálními prvky. Houby je přijímají sítí

1 „Nezní to lákavě, ale tato houba by mohla pomoci nakrmit hladové“ (Bill Gates, 7. června 2014). Z kořene vyrůstají mimokořenová vlákna – hyfy arbuskulárně mykorhizní houby *Rhizophagus irregularis* – útvary na povrchu kořene jsou spory, které tento běžný druh tvoří v půdě, na povrchu i uvnitř kořenů hostitelských rostlin. Foto J. Bonvin, s laskavým svolením I. Sanderse

mimokořenového mycelia a transportují do vnitřních kořenových hyf, kde je předávají rostlině přes specializované struktury – arbuskuly. Důležitý je zejména příspěvek hub k příjmu fosforu, kterého rostlina potřebuje poměrně velké množství a přitom se v půdě vyskytuje vázaný a těžko dostupný. Zajímavá je však také interakce mykorhizních hub s dusíkem, minerálním prvkem pro rostlinu vůbec nejpotebnějším. Platí za prokázané, že arbuskulárně mykorhizní houby mohou své hostitelské rostlině dodávat i dusík. Na rozdíl od fosforu však nikdy nebyla přesvědčivě popsána situace, kdy by mykorhiza pomohla překonat limitaci růstu dusíkem – spíše naopak, může ji dokonce prohloubit. Příčiny tohoto paradoxu tkví v odlišné dynamice dusíku a fosforu v půdním prostředí a relativně vysoké potřebě dusíku u hub, které

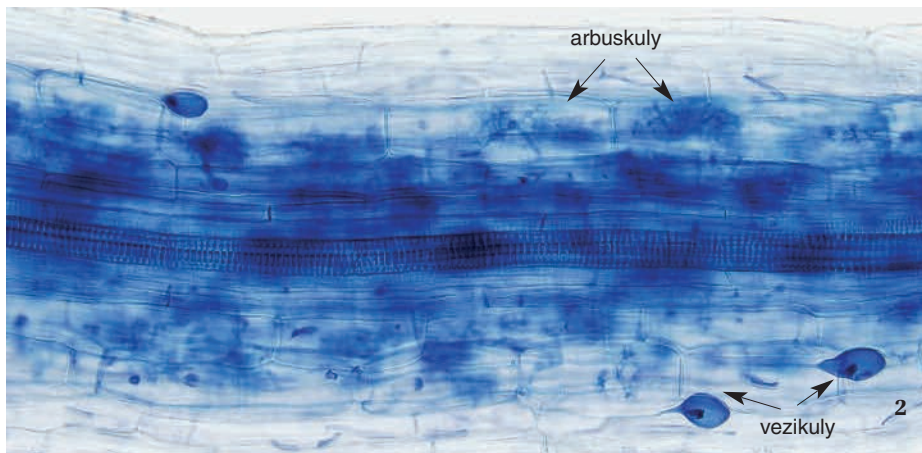
nejprve uspokojují své vlastní nároky. Důsledkem pro fungování mykorhizy je pak klíčová role poměru dostupností obou prvků v půdě (obr. 3). Z mykorhizy profitují rostliny, které mají k dispozici relativně dost dusíku a málo fosforu, naopak v podmínkách s dostatkem fosforu a nedostatkem dusíku mykorhiza růst rostlin nepodporuje.

Arbuskulární mykorhiza však rostlinám přináší prospěch nejen v oblasti minerální výživy, může mít i další, „nevýživové“ přínosy. Nepřeborné množství prací ukazuje, jak mykorhiza zvyšuje odolnost rostlin vůči řadě abiotických i biotických stresů, zejména suchu, zasolení půdy nebo patogenům. Částečně tyto přínosy zprostředkuje lepší výživa mykorhizních rostlin, zčásti jsou však na výživě nezávislé. Jako příklad lze uvést větší odolnost vůči suchu. Předpokládá se, že k ní mohou přispívat různé mechanismy – od zefektivnění příjmu fosforu ze suché půdy, přes přímý transport vody do rostliny houbovými hyfami, až po pomalejší vysychání půd kolonizovaných mimokořenovým myceliem. Ať už jsou mechanismy tohoto či dalších nevýživových přínosů jakékoli, z praktického hlediska je důležité, že mykorhiza může vyrovnávat negativní účinek některých stresů na rostliny, a to i nárazově, např. při náhlém období sucha. V této souvislosti bývá někdy přirovnávána k pojištění – za běžných okolností přínosy mít nemusí, při pohromě však výrazně pomáhá.

Pro pochopení fungování mykorhizy je pak třeba dodat ještě druhou část rovnice. Rostlina houbám za živiny i další přínosy platí uhlíkatými sloučeninami, které vytváří v procesu fotosyntézy. Bez nich se arbuskulárně mykorhizní houby jako jejich obligátní symbionti neobejdou. Růst rostlin může být také limitován dostupností uhlíkatých sloučenin, např. když se sníží účinnost fotosyntézy. V takových podmínkách mykorhiza rostlině neprospívá a mykorhizní rostliny naopak často rostou hůře než rostliny bez ní.

Funguje i v zemědělských systémech?

Z těchto základních principů vyplývá, že výživové přínosy můžeme očekávat především v zemědělských systémech, jejichž produktivitu omezuje nedostatek fosforu. Z globálního pohledu by se tedy mohlo zdát, že mykorhiza hraje v zemědělství důležitou roli a její význam bude stoupat. Nízká dostupnost fosforu limituje produktivitu zejména kyselých tropických půd a celosvětově zásoby fosforu v obdělávaných půdách klesají. Skutečnost je však složitější, jak dokládají analýzy obsahů živin nebo přímo rozvoje mykorhizy v různých zemědělských půdách po celém světě (např. Plenchette a kol. 2005, Bowman a kol. 2017). Intenzivní zemědělství je založeno na dodávání hlavních živin v takovém množství, aby nebyly pro růst rostlin limitující. Nabízí tedy pro příjem živin prostřednictvím symbiotických hub jen malý prostor – to se týká jak našich zeměpisných šířek, tak pěstování vývozních plodin v tropických zemích, např. banánovníkových plantáží. Na rozdíl od dusíku, který se musí do obdělávaných půd průběžně dodávat, protože působením půdních bakterií rychle uniká, je navíc fosfor



strojem kolonizace kořenů než izolované propagule – spory, fragmenty kolonizovaných kořenů a mycelia. Některé druhy arbuskulárně mykorhizních hub jsou na narušení myceliální sítě velmi citlivé a v disturbovaných půdách nepřežívají. Dalším důležitým faktorem je pěstování plodin, které mykorhizu netvoří. Ač jde o malý počet druhů, v našich podmínkách k nim patří např. řepka olejka, pěstovaná dnes na 15 % orné půdy. V půdách postupně odumírají propagule hub, které nenalézají vhodnou hostitelskou rostlinu. I kdyby v takové půdě panovaly živinové podmínky pro mykorhizu příznivé, rozvoj mykorhizy u následně vysazené plodiny, jež mykorhizu tvoří, bude přinejmenším výrazně zpomalený. Podobný vliv má ponechání půdy ladem, byť na starších úhořech naopak dochází k obnově společenstev arbuskulárně mykorhizních hub na hostitelských rostlinách, které je kolonizují v procesu sekundární sukcese. Dalšími faktory, jež početnost hub v půdě snižují až na extrémně nízké hodnoty, jsou aplikace fungicidů a degradace půdy včetně extrémního vyčerpání živin, úbytku organické hmoty a eroze.

Houby lze do půdy dodat, ale...

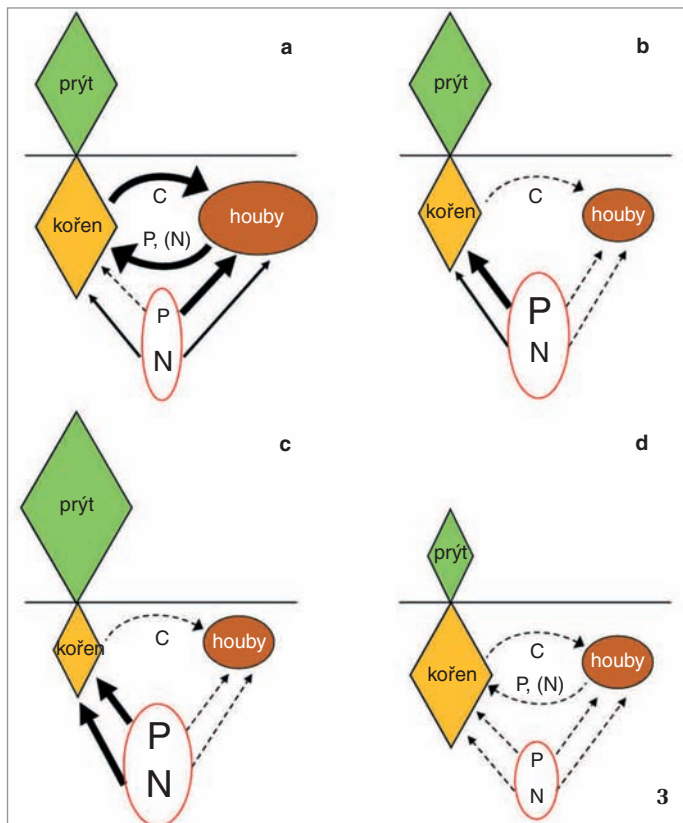
Přínosy mykorhizy tedy v některých zemědělsky využívaných půdách mohou být nižší, než by odpovídalo živinovým poměrům, protože je hub v půdě málo. Tím nejjednodušším způsobem, jak jejich množství v půdě zvýšit, je dodání zvenčí, tedy inokulace. Inokulační pokusy proto tvoří základní linku výzkumu zaměřeného na využití arbuskulárně mykorhizních hub v zemědělství. Pokud jsou přínosy mykorhizy pro polní plodinu omezené nedostatkem propagulí, měla by inokulace zvýšit úroveň kolonizace kořenů a zároveň prospět plodině. Takové výsledky byly skutečně zaznamenány, a to dokonce

i v obdělávaných půdách účinně zadržován a postupně zpřístupňován. Jeho dostupnost v orné půdě tak může být vysoká, především v poměru k dostupnosti dusíku. Tato situace se často objevuje ve vyspělých zemích včetně České republiky, kde byl fosfor v druhé polovině 20. stol. do zemědělských půd dodáván vsuktu masivně. Navíc vzniká i v rozvíjejících se zemích jako v Indii a Číně, kde v rámci intenzifikace zemědělství dnes aplikují vysoké dávky hnojiv a v zemědělských půdách roste zásoba fosforu, nikoli však dusíku. Na opačném pólu se nachází část zemědělských půd v chudých zemích, zejména obdělávaných drobnými zemědělci v tropech. Nadměrné využívání půd tam vedlo k tak drastickému snížení dostupných živin, že ani mykorhiza nemůže růst rostlin významně podpořit – zvýší sice efektivitu využívání dosud přítomných látek, ale nedokáže chybějící živiny do půdy dodat. Nevýživové přínosy mykorhizy, tedy zvýšená odolnost vůči stresu, pak představují určitou nadstavbu. Částečně je zprostředkovává lepší výživa díky mykorhize, ale hlavně, mohou se pro-

jevit jen tehdy, pokud živinové poměry v půdě vůbec rozvoj mykorhizy umožní.

Když mykorhizní houby v půdě chybějí

Tím se dostáváme k otázce množství arbuskulárně mykorhizních hub v zemědělsky využívaných půdách a jejich infektivitě, tedy schopnosti kolonizovat kořeny rostlin. Oba pojmy spolu úzce souvisejí, ale neznačují úplně totéž. Zvýšená dostupnost živin v půdě, především fosforu, brání rozvoji mykorhizy, i když je propagulí hub (tedy jednotek schopných zahájit kolonizaci, viz dále) v půdě dost. K takové situaci může dojít např. po pohnojení systému chudého živinami. Vzhledem k obligátní závislosti arbuskulárně mykorhizních hub na uhlíkatých sloučeninách od hostitelských rostlin vede omezený rozvoj hub v kořenech postupně ke snižování množství propagulí hub v půdě. Množství hub i jejich infektivita však v zemědělsky využívaných půdách bývají nízké i z dalších důvodů. Jedním z nich je orba – mechanická disturbance půdy. Dochází k narušení sítě mimokořenového mycelia, která je výrazně rychlejší a účinnější ná-





2 Kořen pórku (*Allium porrum*) intenzivně kolonizovaný arbuskulárně mykorhizní houbou. Houbové struktury obarveny trypanovou modří. Arbuskuly, které tomuto typu mykorhizní symbiomy daly jméno, slouží výměně látek mezi houbou a rostlinou. Vezikuly jsou zásobní útvary. Foto J. Machač

3 Zjednodušené schéma funkční mykorhizy (a) a omezené fungující mykorhizy v podmínkách zemědělských systémů (b, c, d):

a – funkční mykorhiza je založena na příjmu části fosforu rostlinou prostřednictvím symbiotických hub a toku uhlikatých sloučenin od rostliny k houbě;
b – v podmínkách vysoké dostupnosti fosforu a limitace růstu rostlin dusíkem přijímá rostlina fosfor téměř výlučně kořeny, tok uhlíku do hub a rozvoj hub je omezený;

c – stejný důsledek má vysoká dostupnost fosforu i dusíku;

d – při extrémně nízké dostupnosti živin je obousměrný tok látek mezi rostlinou a houbou také omezený.

Upraveno podle: N. C. Johnson a kol. (2010), orig. M. Janoušková

4 Přínosy arbuskulárně mykorhizy v modelových skleníkových podmínkách v živinově chudém substrátu. Jetel plazivý (*Trifolium repens*) tvoří s mykorhizními houbami (v pozadí) mnohem více biomasy než bez nich (v popředí). Foto D. Püschel



5 až 7 Příklady zemědělských systémů, kde byla testována inokulace arbuskulárně mykorhizními houbami. Při skleníkovém pěstování okurek v Číně (obr. 5) pokusná inokulace nevyšla kolonizaci kořenů arbuskulárně mykorhizními houbami, pravděpodobně kvůli aplikaci fungicidů a vysoké hladině živin v systému. Na čajovníkových plantážích v Keni (6) byl zjištěn silně nerovnoměrný rozvoj mykorhizy mezi jednotlivými rostlinami, a proto byla pokusně testována inokulace sazenic.

Vzhledem k dlouhověkosti rostlin zatím není jasná ekonomická návratnost inokulací. Při skleníkovém pěstování růží v Keni (7) inokulace arbuskulárně mykorhizními houbami umožnila snížit dávky hnojiv a prodloužila životnost rostlin, zřejmě z důvodu potlačení rozvoje patogenních hub v půdě. Snímky M. Vosátky, není-li uvedeno jinak



prostor pro mykorhizní přínosy, degradované půdy však přitom obsahují jen málo propagulí hub. Ale inokulace mohou prospět i umělým systémům, např. při skleníkovém pěstování zeleniny nebo okrasných rostlin (řadu příkladů udává publikace editorů F. Feldmanna a kol. 2005). Důležitá se jeví rychlost rozvoje mykorhizy, která je prospěšná zejména mladým rostlinám. Pozitivní účinek rychlejší kolonizace kořenů pak může přetrvat až do sklizně. Případy, kdy inokulace v produkčních podmínkách prokazatelně zvyšuje růst a vitalitu rostlin, však často nedostojí nárokům na ekonomickou návratnost. Zvýšené výnosy nemusejí vyvážit náklady spojené s inokulací, zahrnující nákup inokula od specializovaných firem nebo jeho výrobu a aplikaci ke kořenům. Z tohoto hlediska se jeví využití inokulace mykorhizními

houbami nejnadějnější u užitkových rostlin s vysokou přidanou hodnotou (např. okrasných), dlouhodobých kultur (vinná réva, olivovník) a u předpěstovaných sazenic, kdy je jednodušší a méně nákladná.

Na druhou stranu však musíme zdůraznit, že mnoho pokusů v produkčních podmínkách žádné přínosy inokulace mykorhizními houbami nezaznamenalo – a ještě větší počet takových pokusů pravděpodobně vůbec nebyl zveřejněn. Inokulace tedy často nefunguje nejen ekonomicky, ale ani biologicky. Důvodů existuje pravděpodobně celá řada a některým z nich zatím moc nerozumíme. Do té druhé skupiny patří mimo jiné složení inokula, tedy identita vnášených hub, a jejich interakce s houbami již přítomnými v půdě. Dostáváme se tak k funkční ekologii společenstev arbuskulárně mykorhizních hub – tématu dosud jen málo probádanému, které by ale přesto (nebo právě proto) vystačilo na samostatný článek. Stručně řečeno, kořeny rostlin jsou zpravidla, a to i v orných půdách, kolonizovány mnoha druhy arbuskulárně mykorhizních hub zároveň. Druhy, ale i různé genotypy v rámci druhů, se mezi sebou liší funkčně významnými vlastnostmi, jako rychlostí růstu, schopností dodávat rostlině živiny, náročností na přísun uhlikatých sloučenin od rostliny nebo požadavky na abiotické podmínky. Geneticky a funkčně bohatší společenstva arbuskulárně mykorhizních hub mají větší potenciál rostlině prospívat než společenstva chudší. Přesto se však pro inokulaci většinou používá jen jeden či několik málo rychle rostoucích a nenáročných druhů, které se daří v dostatečném množství napěstovat v běžných kulturních podmínkách. Tyto konkrétní genotypy nemusejí být kompatibilní s podmínkami místa, kde jsou pak k inokulaci použity, a v půdě se neuchytí. Ale hlavně: I když se rozrostou, nemusejí inokulovaným plodinám přinést větší prospěch než houby, které už jsou v půdě. Jde také převážně o rychle rostoucí druhy odolné vůči stresu a mechanickému narušení. Nebo dokonce nastane opačný efekt – pokud máme v půdě přirozeně přítomné funkčně rozrůzněné společenstvo hub, mohou jej inokulované houby nahradit a funkční diverzitu houbových symbiontů snížit.

Byť se těmto možným ekologickým komplikacím ve většině inokulačních pokusů nevěnuje pozornost, vědci si jsou vědomi, že výběr účinných izolátů může zvýšit úspěšnost inokulací. Zaměřuje se na něj i v úvodu zmiňovaný Ian Sanders. Jeho „šlechtění“ účinných hub je založeno na promíchávání genetického materiálu jednotlivých izolátů, k němuž dochází při společném pěstování. U arbuskulárně mykorhizních hub sice není známo pohlavní rozmnožování, nepřehrádkovaná mycelia blízce příbuzných druhů se však propojují (fúzí) a umožňují promíchávání svých jader (Croll a kol. 2009). Linie hub napěstované z jednotlivých spor takových „kříženců“ se liší ve schopnosti podporovat růst rostlin, a ty schopnější mohou být použity v dalším fúzování. Výběr účinných izolátů má však za cíl i běžně prováděné testování hub izolovaných z různých podmínek. Lze tak pro inokulaci vybrat izoláty kompatibilní s prostředím, do kterého budou vnášeny,

a tak zajistit, že jejich přítomnost skutečně zvýší infektivitu hub v půdě. Také se dají jako nevhodné vyloučit izoláty, jež mají ve standardních testovacích podmínkách tendenci kolonizovat kořeny, ale nepodporovat růst rostliny – byť nikdy není jisté, že se určitý izolát bude v reálné situaci chovat stejně jako v pokusu. Je však sporné, zda tento přístup umožní zvýšit funkční diverzitu společenstev hub – genotypy, které by houbové společenstvo v orné půdě funkčně obohatily, možná vůbec nejsme schopni napěstovat. Jejich životní strategie (např. pomalejší růst, potřeba zachování neporušené sítě mimokořenového mycelia) pak nemusejí být kompatibilní s podmínkami orných půd.

Mykorrhiza není v souladu s intenzivním zemědělstvím

A jsme u klíčového důvodu, proč je inokulace rostlin arbuskulárně mykorrhizními houbami často neúčinná – je jím právě nekompatibilita intenzivního zemědělství s fungováním mykorrhizy. Kromě již zmíněné dostupnosti živin, která hraje hlavní roli, je důležitá také schopnost určitých druhů nebo odrůd plodin vůbec z mykorrhizy profitovat. Jak bylo řečeno, většina plodin mykorrhizu tvoří, závislost na příjmu živin prostřednictvím mykorrhizních hub se však liší mezi druhy plodin a v rámci druhu i mezi odrůdami. Kukuřice je např. na mykorrhize obecně závislejší než pšenice, to znamená, že mykorrhizu při příjmu živin využije i při větší dostupnosti fosforu v půdě, kdy se pšenice už bez mykorrhizy obejde. I mezi odrůdami pšenice však na-

jdeme významné rozdíly s trendem k nižší závislosti u moderních odrůd. Tento trend je vcelku logický – moderní odrůdy byly vyšlechtěny pro vysoké výnosy v podmínkách intenzivního zemědělství, které s mykorrhizou nepočítá a jejich schopnost spolupracovat s houbou tak může být potlačena.

Je tedy zřejmé, že v mnoha (možná většinou) intenzivních zemědělských systémech lze prospěch plodin z mykorrhizy zvýšit pouze změnou agronomických postupů tak, aby se v systému zlepšily podmínky pro její rozvoj a fungování. Konkrétní opatření vyplývají z výše popsaných faktorů – snížení dávek hnojiv, zejména fosforu, vynechání plodin, které mykorrhizu netvoří, z osetých postupů, přechod na minimalizační technologie zpracování půdy (povrchové kypření místo orby a přímé setí do nezpracované půdy), použití vhodných mezplodin a odrůd. Takové změny by prospěly i v systémech, kde přínosy mykorrhizy limituje nedostatek arbuskulárně mykorrhizních hub v půdě, umožnily by jejich přirozené namnožení včetně ustanovení funkčně bohatších společenstev bez nutnosti dodávat houby do půdy inokulací.

Hlavním cílem konvenčního, tedy intenzivního zemědělství však není funkční mykorrhiza, nýbrž vysoké výnosy. Změny agronomických postupů ve prospěch funkční mykorrhizy proto musejí mít jinou motivaci. Funkční mykorrhiza se musí vyplatit buď krátkodobě, protože bezprostředně nahradí část vstupů, nebo dlouhodobě, protože přispěje k udržitelnosti systému, především půdy jako v podstatě neobnovitelného zdroje. Možnost, že by se mykorrhiza v in-

tenzivním zemědělství vyplatila krátkodobě, je spíše nereálná. Zůstává faktem, že hnojení, pesticidy a závlahy představují silný a poměrně spolehlivý nástroj pro dosažení vysokých výnosů, zatímco funkčnost mykorrhizy jakožto biologického systému závisí na mnoha faktorech a jejich interakcích. Její hlavní potenciál tkví v dlouhodobých přínosech a ne náhodou vedou výše jmenovaná opatření, která by mohla zvýšit přínosy mykorrhizy pro plodiny, směrem k větší udržitelnosti zemědělských systémů obecně. Vyplývá z toho, že mykorrhiza může přispět ke zvýšení produktivity zemědělských systémů především v kontextu s jejich proměnou tímto směrem. V našich evropských podmínkách, ale také v intenzivních zemědělských systémech v jiných částech světa k tomu motivuje snaha snížit znečištění životního prostředí, obnovit funkčnost krajiny, zvýšit kvalitu půdy a potravin. V podmínkách málo produktivních, ale také dlouhodobě neudržitelných zemědělských systémů v rozvojových zemích pak může být mykorrhiza jedním z nástrojů při jejich rozvoji směrem k souběžnému zvyšování produktivity i k udržitelnosti. Vrátime-li se k naději vyjádřené úvodem tohoto článku – arbuskulárně mykorrhizní houby mohou pomoci nakrmit hladové, ale spíše v dlouhodobém horizontu a rozhodně ne v rámci dnes praktikovaného intenzivního zemědělství.

Použitá literatura uvedena na webu Živý.

Výzkum podpořilo Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy (projekt č. LH14285).

Akademie věd České republiky vás zve na Týden vědy a techniky AV ČR

T | Ý | D | E | N | V | I | T

TÝDEN VĚDY A TECHNIKY AKADEMIE VĚD ČESKÉ REPUBLIKY

6-12/11/2017

17

WWW.TYDENVEDY.CZ

NEJVĚTŠÍ
VĚDECKÝ FESTIVAL
V ČESKÉ REPUBLICE

/ dny otevřených dveří / přednášky / výstavy /
/ vědecké kavárny / science show / workshopy /

POŘÁDÁ

GENERÁLNÍ PARTNER

HLAVNÍ PARTNER

HLAVNÍ MEDIÁLNÍ PARTNER

PARTNĚŘI

MEDIÁLNÍ PARTNĚŘI

ZA PODPORU

Již 17. ročník festivalu se zaměří mimo jiné na potraviny pro budoucnost, superlasery, medicínu, nanotechnologie a umělou inteligenci. Tradičně se účastní všechna pracoviště Akademie věd ČR – mnohá z nich uspořádají Den otevřených dveří a nechají nahlédnout do své vědecké práce. Plánováno je více než 500 akcí, kompletní program najdete na internetových stránkách www.tydenvedy.cz.