pixabay.com

Nikola Hricáková, Renáta Cinkocki, Lukáš Hleba, Lívia Galanová
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta biotechnológie a potravinárstva

Pôda predstavuje dynamický a stále sa vyvíjajúci živý systém od ktorého závisí prežitie a rozvoj všetkých suchozemských prirodzených aj umelých spoločenstiev. Už od nepamäti predstavuje základ pri pestovaní rastlín, ktoré sú v ďalších procesoch spracovávané v potravinárskom priemysle a s prídavkom ďalších živín prinášané až na náš v stôl v podobe produktov potrebných pre náš život.

S nárastom populácie na Zemi je potrebné zvyšovať aj pestovanie plodín. Z toho dôvodu je pôda veľmi cenná, ale rýchlo sa degraduje a len veľmi ťažko sa obnovuje. Taktiež platí, že nie každá pôda je na pestovanie plodín vhodná. V súčasnosti je preto dôležité navrhnúť a aplikovať mechanizmy, ktorými sa zachová jej štruktúra, zdravie a zvýši sa úrodnosť rastlín a výnos plodín.

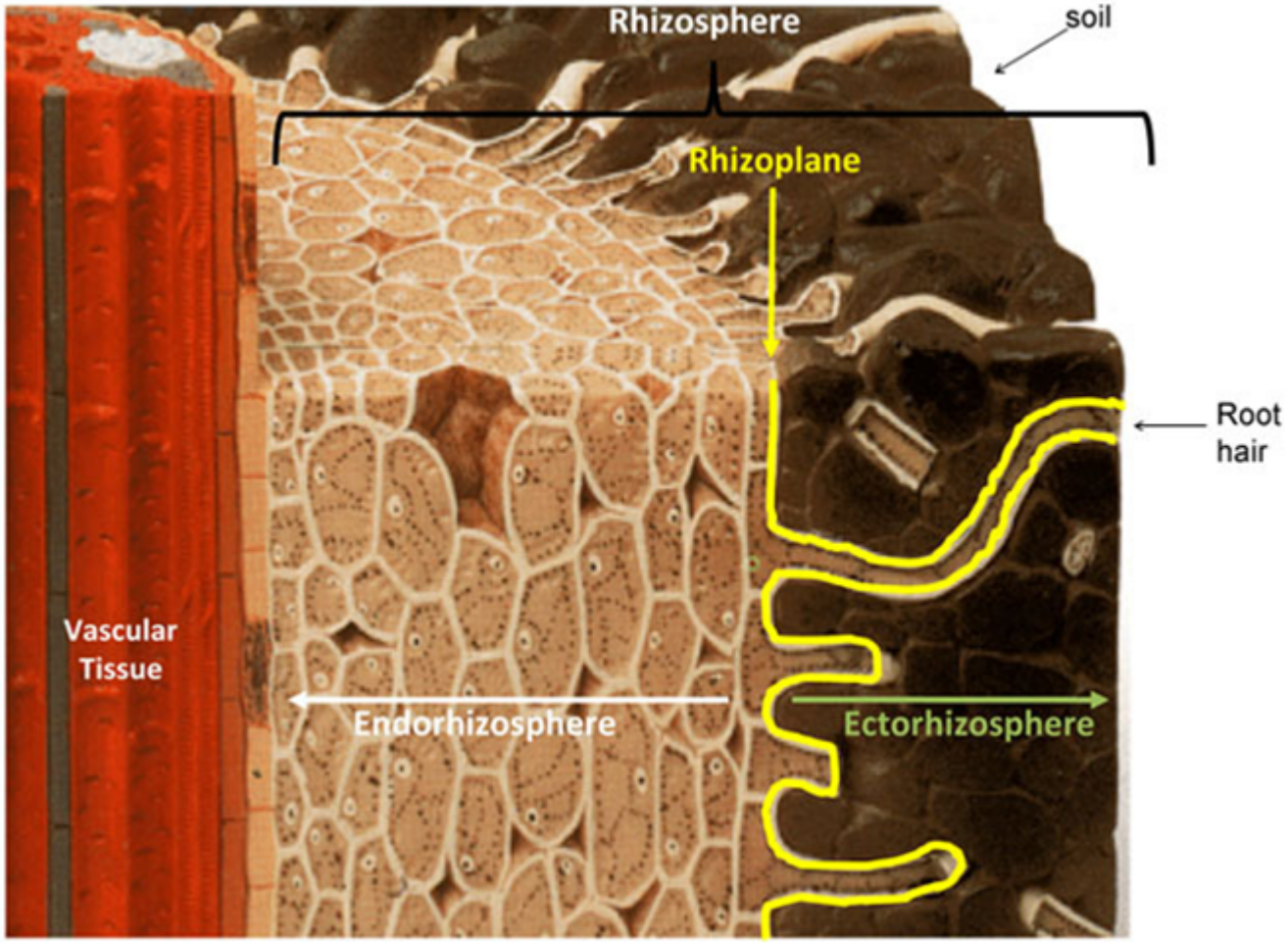
Pôdu si môžeme predstaviť ako trojrozmernú sieť pórov, ktoré sú plnené vzduchom a vodou. Neoddeliteľnou súčasťou sú aj pôdne mikroorganizmy. Podľa Colemana a Crossleyho (1996) je 80-90% pôdnych procesov sprostredkovaných práve pomocou mikroorganizmov. Mikrobiálne spoločenstvá zodpovedajú za stabilizovanie a prenos pôdnych organických látok a tým, zvyšujú aj kvalitu a úrodnosť pôdy. Najväčší počet pôdnych mikroorganizmov sa nachádza v oblasti koreňového systému rastlín. Túto oblasť definujeme ako rizosféra, tzv. „horúci bod“ pre kolonizáciu mikroorganizmov. Najpočetnejšou skupinou, ktorá kolonizuje oblasť koreňa predstavujú baktérie, ktoré môžu rast rastlín podporiť alebo ho inhibovať. V porovnaní s ostatnými vrstvami pôdy, je táto vrstva bohatá na živiny dôsledkom akumulácie rôznych organických zlúčenín uvoľňovaných koreňom. Tieto organické zlúčeniny môžu byť využité ako zdroj uhlíka a energie mikroorganizmami obývajúcimi rizosféru.

Barea a kolektív v roku 2005 vo svojom článku rozlišujú uvedené časti rizosféry na (obr.1):

1. Endorizosféra obsahujúca koreňové pletivo, vrátane endodermy a povrchových vrstiev s endodermou.

2. Rizoplan, ktorý obsahuje koreňový povrch s čiastočkami pôdy a mikroorganizmami a pozostáva z epidermy, povrchových vrstiev s epidermou a vrstvou slizovitých polysacharidov.

3. Ektorizosféra, ktorá zahŕňa pôdu susediacu s koreňom.



Obrázok 1 Časti rizosféry (Barea et al., 2005)

Baktérie podporujúce rast rastlín (PGPR)

Kloepper a Schroth (1978) prvý krát použili termín Plant growth promoting rhizobacteria – PGPR (baktérie podporujúce rast rastlín) v 70. rokoch minulého storočia, kedy obsiahlym štúdiom dokázali, že špecifické baktérie z podskupiny rizosféry môžu stimulovať rast rastlín. Skúšali ich aplikovať na poľnohospodárske plodiny ako sú zemiaky a cukrová repa, ale zistili, že v skleníkoch tieto plodiny nemajú vhodné podmienky na rast a vývin. Preto zvolili aplikáciu PGPR na reďkovky, pretože táto plodina je ideálnou pre štúdium PGPR, kvôli rýchlemu rastu a vývoja v poľných pokusoch aj v skleníkoch. Už po prvom pokuse, po aplikácii PGPR na reďkovky zistili, že 21 % izolátov PGPR stimulovalo rast reďkoviek v skleníku a 17 % v poľnom pokuse. Od tej doby sa stále častejšie objavuje tento termín v publikáciách z celého sveta.

Medzi baktérie podporujúce rast rastlín (PGPR) patria druhy rodov *Acinetobacter,*

Alcaligenes, Arthrobacter, Azospirillum, Azotobacter, Bacillus, Caulobacter, Chromobacterium, Enterobacter, Erwinia, Flavobacterium, Hyphomycrobium, Klebsiella, Micrococcus, Pseudomonas, Rhizobium a Serratia, zatiaľ čo druhy rodov *Agrobacterium, Bacillus, Burkholderia, Pseudomonas a Streptomyces* sú najznámejšie biokontrolné PGPR.

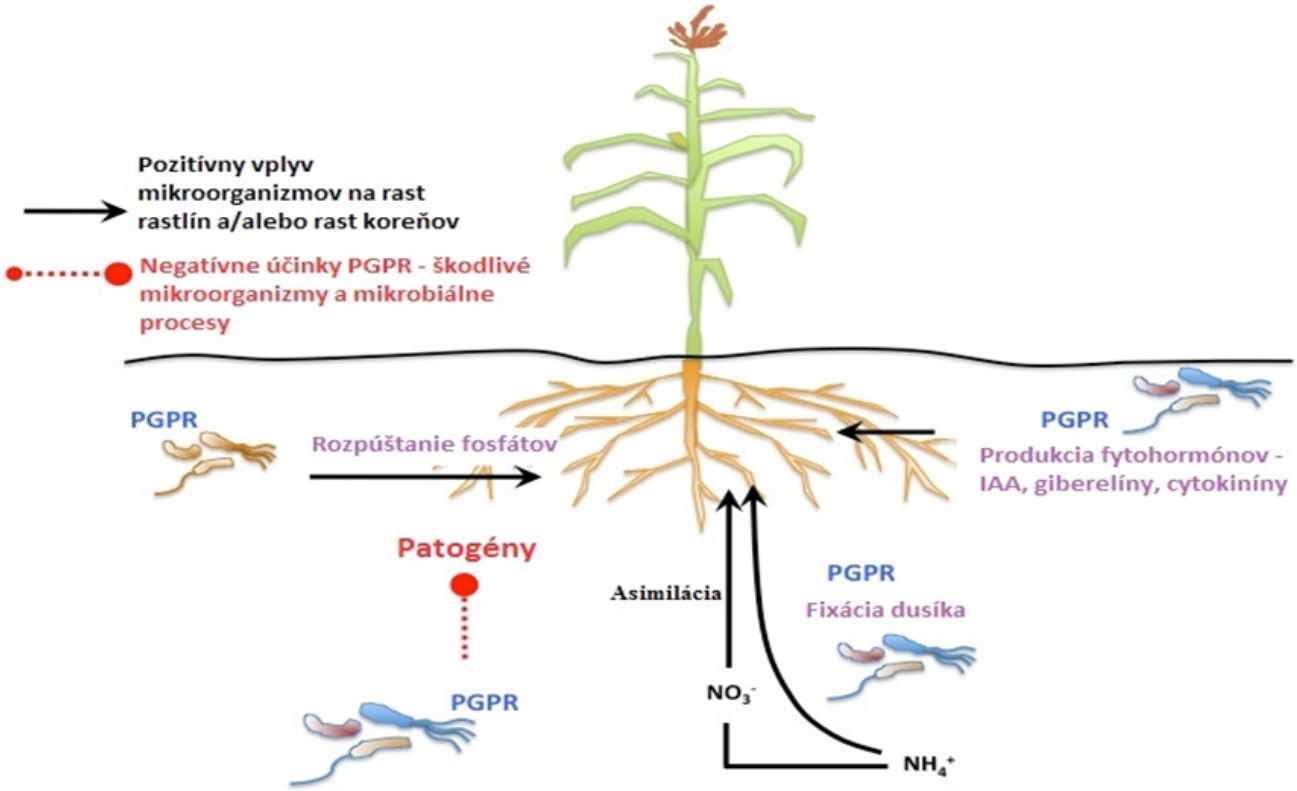
Na základe účinku môžeme PGPR klasifikovať do troch základných foriem:

- Biohnojivá – látky obsahujúce živé organizmy; po ich aplikácii odchádza k podpore rastu rastliny v dôsledku zvýšenia dávky prioritných živín
- Biopesticídy – mikroorganizmy, ktoré podporujú rast rastlín znížením až inhibíciou fytopatogénnych mikroorganizmov
- Fytohormóny – mikroorganizmy, ktoré produkujú fytohormóny ako giberelíny, cytokiníny a etylén.

Mechanizmus pôsobenia PGPR

PGPR vplývajú na rastliny priamym a nepriamym mechanizmom. Tieto typy mechanizmov navzájom splývajú a často sa nedajú odlíšiť. Prostredníctvom priamych a nepriamych mechanizmov PGPR urýchľujú klíčenie, stimulujú rast koreňov, chránia proti chorobám a abiotickému stresu. Okrem toho, že tieto baktérie majú priamy vplyv na rast rastlín, zohrávajú významnú úlohu aj pri transformácii organickej hmoty v pôde, ako aj pri agregácii pôdy, čo nepriamo ovplyvňuje dostupnosť živín.

Medzi najdôležitejšie mechanizmy účinku PGPR patria biologická fixácia dusíka, rozpúšťanie fosfátov, príjem makroelementov a mikroelementov, produkcia fytohormónov (regulátory rastu) a ďalšie.



Obrázok 2 Mechanizmy pôsobenia mikroorganizmov na rast rastlín

Biologická fixácia dusíka

Dusík (N) je najdôležitejšiou živinou pre rast a produktivitu rastlín. V atmosfére sa nachádza 78 % vzdušného dusíka. Viazanie atmosférického dusíka je veľmi dôležitým procesom pre všetky voľne rastúce rastliny a pestované plodiny. Činnosťou mikroorganizmov sa atmosférický dusík pretransformuje do formy, ktorá je prístupná rastlinám. Biologická fixácia dusíka prebieha pri miernych teplotách. V roku 1888 bol objavený a popísaný prvý azotfixátor (fixátor vzdušného dusíka) a od tohto obdobia študovalo biologickú fixáciu N_2 množstvo vedcov.

Účinnosť fixácie dusíka závisí od rastliny, mikroorganizmov, prospešnosti symbiózy a asociácie, ako aj dostupnosti minerálnych látok, optimálnej teploty, pH a vlhkosti v rizosfére. Symbióza a asociácia medzi azotfixátorom a rastlinou je typickým príkladom fungovania PGPR.

Existuje niekoľko typov biologickej fixácie dusíka:

- Symbiotické viazanie dusíka v leguminóznych (bôbovitých) rastlinách (symbióza rastlín čeľade *Fabaceae* (bôbovité) a bakterií rodu *Rhizobium, Bradyrhizobium, Azorhizobium, Synorhizobium, Mellorhizobum a Allorhizobium*).
- Symbiotické viazanie dusíka v neleguminóznych rastlinách (symbióza rôznych druhov rastlín so sinicami a baktériami napr. rodu *Frankia*).
- Aeróbne asymbiotické viazanie dusíka (aeróbnu fixáciu dusíka vykonávajú baktérie z rodov *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Derxia*, *Beijerinckia,* cyanobaktérie z rodov *Nostoc*, *Anabaena*, *Scytonema* i *Gleocapsa*).
- Anaeróbne asymbiotické viazanie dusíka (anaeróbna fixácia dusíka baktériami rodu *Clostridium*).

Na základe aktuálnych výskumov nie je možné zabudnúť na špecifickú formu interakcie, kedy nie je jednoznačné o aký vzťah medzi organizmami ide. Jedná sa o výskum zameraný na *Klebsiella pneumoniae*, púštnu rastlinu *Salsola inermis* a chrobáka z nadčeľade *Curculionoidea*. Na základe pozorovaní Segoli et al. (2015) sa predpokladá, že mnoho druhov hmyzu využíva na doplňovanie dusíka práve interakciu s niektorou dusík-pútajúcou baktériou.

Rozpúšťanie fosfátov

Esenciálny prvok fosfor (P) je pre rast rastlín druhou najdôležitejšou živinou v pôde a nachádza sa v organickej a anorganickej forme. Napriek veľkej zásobe fosforu v pôde je množstvo dostupných foriem pre rastliny nízke, lebo väčšina pôd obsahuje fosfor, ktorý je v nerozpustnej forme. Zatiaľ čo ho rastliny môžu absorbovať iba v dvoch rozpustných formách: $H_2PO_4^-$ a HPO_4^{2-}. Baktérie rozpúšťajúce fosfáty (PSB) majú schopnosť rozpúšťať anorganický fosfor z nerozpustných zlúčenín. Schopnosť rizosférnych baktérií rozpúšťať fosfáty je považovaná za jednu z najdôležitejších vlastností spojených s výživou rastlín. Patria medzi ne baktérie z rodu *Pseudomonas, Bacillus* a *Rhizobium.*

Produkcia fytohormónov

Fytohormóny sú prirodzené metabolity rastlín, ktoré sa podieľajú na širokej škále fyziologických procesov a sú nevyhnutné pre správny rast a vývoj rastlín. Sú účinné už pri veľmi nízkych koncentráciách. Majú signálnu úlohu pre rastlinu. Poznáme endogénne rastlinné hormóny, ktoré produkuje rastlina a exogénne rastlinné hormóny produkované baktériami podporujúcimi rast rastlín. Produkcia fytohormónov baktériami PGPR je považovaná za jeden z najdôležitejších mechanizmov, ktorými baktérie podporujú rast rastlín. Fytohormóny majú za úlohu zabrániť vplyvu abiotických faktorov na rastlinu alebo prežiť v stresujúcich podmienkach. PGPR majú schopnosť produkovať fytohormóny, ktorými

stimulujú rast rastlín, delenie buniek a prispôsobenie sa rastlín okolitému prostrediu.

Došen (2015) realizovala rozsiahlu štúdiu týkajúcu sa používania mikrobiálneho prípravku Bacillomix specijal, ktorý obsahuje baktérie z rodu *Bacillus* sp. Prípravok otestovala na fixáciu dusíka, rozpúšťanie fosfátov a produkciu fytohormónov a aplikovala ho na semená jačmeňa, kukurice, cukrovej repy a kapusty. Zistila, že aplikáciou tohto prípravku sa zvýšila klíčivosť semien kukurice o 6 %, ďalej dĺžka koreňa pšenice a jačmeňa o 43,51 % a dĺžka stonky o 15,27 %. Pri aplikácii prípravku na cukrovú repu dosiahla zvýšenie odolnosti rastlín na sucho, ďalej rastliny mali zdravšiu zelenú farbu hmoty a predĺžil sa ich koreň. V prípade, že cukrová repa bola pred aplikáciou tohto prípravku napadnutá hubami *Cercospora beticola* a *Ramularia* nastalo zastavenie choroby spôsobenej uvedenými mikroorganizmami. Sadenice kapusty zakoreňovali o 15 až 20 % lepšie, zväčšil sa objem koreňového systému, stoniek a listov a kapusta začala hlávkovať o 7 až 10 dní skôr.

PGPR ako biohnojivá

Praktická aplikácia baktérií podporujúcich rast rastlín (PGPR) je v poľnohospodárstve možná v podobe biohnojív. Biohnojivá sú prípravky obsahujúce vybrané kultúry mikroorganizmov. Používajú sa na naočkovanie osív a sadeníc alebo sa aplikujú priamo do pôdy a pozitívne ovplyvňujú mikrobiologické procesy, ktorými sa zvyšuje obsah živín prístupných pre rastliny. Medzi biohnojivá zaraďujeme hnojivá, ktoré podporujú fixáciu dusíka a hnojivá na zlepšenie zásobovania rastlín fosforom (*Bacillus, Pseudomonas, Aspergillus, Penicillium*), draslíkom, železom, sírou. Inokuláciou plodín s niektorými kmeňmi PGPR v skorom štádiu vývoja sa zvyšuje produkcia biomasy, ktorá má priamy účinok na koreň a stonku rastliny. Inokulácia okrasných rastlín, lesných stromov a poľnohospodárskych plodín s PGPR môže mať za následok skorý sezónny rast rastlín. PGPR okrem toho, že majú pozitívny vplyv na rast, úrodu a príjem živín, napomáhajú pri zvyšovaní fixácie dusíka v strukovinách, produkcii rastlinných hormónov. Ďalej zvyšujú účinnosť iných prospešných baktérií, húb, znižujú účinnosť hmyzu a škodcov.

Allorhizobium, Azorhizobium, Bradyrhizobium, Mesorhizobium, Rhizobium a *Sinorhizobium* patria medzi kmene PGPR, ktoré majú vysokú schopnosť pôsobiť ako biohnojivá.

Konkrétne typy biohnojív na Slovensku

Phylazonit patrí medzi preparáty mikrobiálneho pôvodu najčastejšie využívajúce sa na Slovensku. Obsahuje baktérie *Azotobacter chroococcum,* ktorý viaže vzdušný dusík a obohacuje pôdu dusíkom prístupným pre rastliny a baktérie *Bacillus megaterium,* ktoré napomáhajú rastlinám prijímať fosfor, draslík, makroelementy a mikroelementy v dostupnej

forme. Ďalej obsahuje giberelíny, fytohormóny ktoré podporujú rast rastlín, podporujú klíčenie semien, napomáhajú kvitnutiu a rastu plodov. Auxín pozitívne vplýva na vývoj koreňového systému a stimuluje rast plodov. Vitamíny skupiny B zvyšujú odolnosť rastlín voči chorobám. Tento prípravok okrem toho, že zvyšuje úrodu plodín, vylepšuje aj zloženie pôdy, rozkladá zvyšky rastlín, znižuje počet škodcov v pôde, znižuje absorpciu toxických látok a nemá žiadne škodlivé účinky na rastliny a pôdu.

Tabuľka 1: Preparáty mikrobiálneho pôvodu používaných na Slovensku (Maková, 2015).

Názov	**Hlavné zložky**
PHYLAZONIT	*Azotobacter chroococum, Bacillus megaterium*
AZOTER	*Azotobacter chroococcum, Bacillus megaterium, Azospirillum brasilience*
BACTOFIL A Pôdny kondicionér (pre jednoklíčne rastliny)	*Azospirillum brasilience, Azobacter vinelandii, Bacillus megaterium, Bacillus polymyxa, Pseudomonas fluorescens, Streptomyces albus*
BACTOFIL B Pôdny kondicionér (pre dvojklíčne rastliny)	*Azospirillum lipoferum, Azotobacter vinelandii, Bacillus megaterium, Bacillus circulans, Bacillussubtilis, Pseudomonas fluorescens, Micrococcus roseus*
EM prepráty (efektívne mikroorganizmy)	Viaczložková mikrobiálna zmes baktérií mliečnéhokvasenia, fotosyntetických baktérií, kvasiniek a fermentačne činných húb
RIZOBIN	*Rhizobium leguminosarum*

Využitie baktérií podporujúcich rast rastlín v poľnohospodárstve vyvolalo veľký záujem u mikrobiológov, ekológov, výrobcov hnojív a pesticídov a poľnohospodárov, pretože ponúkajú ekonomicky atraktívnu a ekologickú cestu rozširovania zásob živín a ochranu proti patogénom a taktiež sú kľúčovými v snahe o zachovanie úrodnosti pôdy. Avšak ešte stále je táto problematika vo fáze štúdia a výskumov.

Zoznam použitej literatúry

- AHEMAD, M. – KIBERT, M. 2014. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: Current perspective. In *Journal of King Saud University –Science* [online], vol. 26, no. 1, pp. 1 – 20
- BAREA, J. M. – POZO, M. J. – AGULIAR, C. A. 2005. Microbial co – operation in the rhizosphere. In *Journal of Experemintal Botany*, vol. 55, no. 417, pp. 1761 – 1778. ISSN 1460-2431.

- BHATACHARYYA, P. N. – JHA, K. D. 2012. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. In *World Journal Microbiology and Biotechnology*, vol. 28, pp. 1327 – 1350.
- COLEMAN, D. C.; CROSSLEY, D. A. Soil ecology. 1996.
- CHEN, Y. P – REKHA, P. D. – ARUN, A. B. – SHEN, F. T. – LAI, W. A. – YOUNG, C. C. 2006. Phosphate solubilizing bacteria from subtropical soil and their tricalcium phosphate solubilizing abilities. In *Applied Soil Ecology,* vol. 34, no. 1, pp. 33 – 41.
- DOŠEN, Nataša. 2014. Proizvodnja i primena mikrobiološkog preparata „Bacillomix specijal“ : master rad. Novi Sad : Pojoprivredni fakultet. 63 s.
- FLASIŃSKI, M. – BARTOSIK, M. – KOWAL, S. – BRONIATOWSKI, M. – WYDRO, P. 2015. Characteristics of the influence of auxins on physicochemical properties of membrane phospholipids in monolayers at the air/aqueous solution interface. In *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces,* vol. 136, pp. 1113 – 1138.
- HARTMANN, A. – ROTHBALLER, M. – SCHMID, M. 2008. Lorenz Hiltner, a pioneer in rhizo – sphere microbial ecology and soil bacteriology research. In *Plant and Soil*, vol. 312, no. 1, pp. 7 – 14.
- JARAK, M – ČOLO J. 2007. *Mikrobiologija zemljišta*. Novi Sad : Univerzitet u Novom Sadu Poljoprivredni fakultet. 215 s. ISBN 978-86-75201-13-7.
- KHAN, M. S. – ZAIDI, A. – WANI, P. A. 2007. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture. In *Agronomy for Sustainable Development,* vol. 27, no. 1, pp. 29 – 43.
- KIPROVSKI, B. 2011. Biohemijske i agronomske karakteristike biljaka soje, kukuruza i šećerne repe inokulisanih korisnim i štetnim mikroorganizmima : doktorska disertacija. Novi Sad : Poljoprivredni fakultet. 355 s.
- KLOEPPER, J.W. – SCHROTH, M.N. 1978. Plant growth – promoting rhizobacteria in radish. In *Proceedings of the 4th International Conference on Plant Pathogenic Bacteria.* France : Station de pathologic Vegetal et Phytobacteriology, vol. 2, pp. 879 – 882.
- KUMAR, A. – PRAKASH, A. – JOHRI N. B. 2011. *Bacteria in Agrobiology: Crop Ecosystems.* Berlin : Springer Berlin Heidelberg. 70 s. ISBN 978-3-642-18357-7.
- MAKOVÁ, J. 2015. *Vplyv hnojenia na vybrané biologické indikátory kvality a zdravia pôdy.* Nitra : SPU. 120 s. ISBN 978-80-552-1414-6.
- MRKOVAČKI, N. – MEZEI, S. – ČAČIĆ, N. 2003. Dinamika brojnosti *Azotobacter chroococcum* u rizosferi šećerne repe u zavisnosti od mineralne ishrane. In *Zbornik Matice srpske za prirodnenauke.* Novi sad: Naučni institut za ratarstvo i povrtarstvo, pp. 91 – 97. ISBN 978-8918859-0-8.
- RUZZI, M. – AROCA, R. 2015. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. In *Scientia Horticulturae,* vol. 196, pp. 124 – 134.

- SAHARAN, B. S. – NEHRA V. 2011. Plant growth promoting rhizobacteria: a critical review. In *Life Sciences and Medicine Research*, vol. 21, pp. 1 – 30.
- SAYYED, Z. R. – REDDY, S. M. – KUMAR, V. K. – YELLAREDDYGARI, R. K. S. – DESHMUKH, M. A. – PATEL, R. P. – GANGURDE, S. N. 2012. Potential of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria for Sustainable Agriculture. In *Potential of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria for Sustainable Agriculture* [online], pp. 287 – 314. [cit. 2016-03-20]. Dostupné na internete : DOI: 10.1007/978-3-642-27515-9_16
- SEGOLI, Moran, et al. Managing cattle grazing intensity: effects on soil organic matter and soil nitrogen. *Soil Research*, 2015, 53.6: 677-682.
- USMAN, Adel Rabie A., et al. Conocarpus biochar induces changes in soil nutrient availability and tomato growth under saline irrigation. *Pedosphere*, 2016, 26.1: 27-38.
- VURUKONDA, P. K. S. S. – VARDHARAJULA, S. – SHRIVASTAVA M. 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. In *Microbiological Research* [online], vol. 184, pp. 13 – 24 [cit. 2016-03-01]. Dostupné na internete : doi:10.1016/j.micres.2015.12.003.
- ZAIDI, A. – AHMAD, E. – KHAN, M. S. – SAIF, S. – RIZVI, A. 2015. Role of plant growth promoting rhizobacteria in sustainable production of vegetables: Current perspective. In *Scientia Horticulturae* [online], vol. 193, pp. 231 – 239 [cit. 2016-01-07]. Dostupné na internete : doi:10.1016/j.scienta.2015.07.020.