

PGPR 的研究进展及其在农业上的应用

闫洪雪¹, 刘 露¹, 李 丽², 张鹏鹏¹, 梁文辉², 赵宏涛²

(1. 青岛明月海藻集团有限公司 海藻活性物质国家重点实验室, 山东 青岛 266400; 2. 青岛明月蓝海生物科技有限公司, 山东 青岛 266400)

摘要:近年来,通过植物根际促生菌来进行植物病害的防治和促生作用的研究已成为微生物的一个热点。为了解植物根际促生菌(PGPR)及 PGPR 产品的研制与生产,综述了 PGPR 的定义、种类及其在根际土壤中的作用机制,并对 PGPR 产品在农业上的应用进行了介绍,探讨了影响 PGPR 产品应用的主要因素及其发展方向和前景。

关键词:PGPR;作用机制;应用;前景

中图分类号:Q939 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-2767(2016)06-0148-04 DOI:10.11942/j.issn1002-2767.2016.06.0148

植物根际促生菌(Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR)是指生存在土壤或附于植物的根系中,可促进植物生长,促进植物对矿质营养的吸收和利用或对土壤中的病原菌具有拮抗作用的有益菌的统称。1888年,第一个固氮根瘤菌的纯菌株由荷兰人 Beijerinck 从豌豆根瘤中分离出来^[1]。而首个 PGPR 产品是美国人 Nobbe 和 Hitner 于 1895 年生产的在豆科作物上应用的根瘤菌接种剂(Nitragen)^[2]。我国的 PGPR 研究始于 1937 年张宪武对大豆根瘤菌的研究^[3],目前人们除了研究根瘤菌,还对解磷、解钾菌,拮抗菌以及其它具有促生作用的根际有益菌等进行了研究,且一些成果已经进行商业化生产,取得了不错的效果。

目前,世界各地都广泛使用化肥和农药来实现粮食的丰产,但是过量使用化肥和农药,也衍生出了如生产成本增加、农业环境污染、耕地退化等问题。因此,为实现农业的可持续发展,就要研究新型肥料来提高肥料的利用率,同时减少化肥和农药的使用。其中,PGPR 因具有安全高效、环境友好的特点而成为目前的研究热点^[4]。随着我国对食品安全和环境安全的不断重视,对环保的微生物肥料的需求也越来越大,PGPR 在安全优质农产品生产和生态环境保护中的地位将不断上升,因此,PGPR 的研发和应用将具有很大的发

展空间^[5]。

随着科技的不断进步以及人们环保意识的增强,PGPR 在农业上的研究和应用必将更加深入和广泛。本文主要总结了近年 PGPR 的研究情况及其在农业上的应用,分析其前景,并展望其未来发展形势。

1 PGPR 的种类

自 Beijerinck 首次进行 PGPR 的研究,PGPR 在促进作物生长、提高产量、改善农产品品质、改良土壤等方面的作用引起了人们的广泛关注。已鉴定出的 PGPR 菌株,包括 20 多个种属,如假单胞菌、根瘤菌、芽孢杆菌属等,目前研究较多的是芽孢杆菌属和假单胞菌属。荧光假单胞菌在许多植物的根际可达 60%~93%,是目前发现分布最为广泛的 PGPR 菌株。此外,放线菌、真菌中也有很大一部分属种具有与 PGPR 相似的功能。这些微生物除可作为肥料使用外,还具有保护植物,防病防害的多种作用。例如,大豆 DRMO 紫青霉菌会产生毒素,危害大豆的生长,海洋放线菌 MB-97 和海洋细菌 BAC-9912 均能抑制该菌的生长。MB-97 还能产生刺激大豆生长的次级代谢产物,克服大豆的连作障碍,促进重茬大豆的生长发育,提高大豆的产量和品质^[6]。

由从烟草的根际土壤中筛选出的抗生素、固氮菌、解磷菌和解钾菌制成的 PGPR 菌肥可以很大程度上提高烟叶品质,同时也减少了化肥的用量,施用后烟叶净产值可提高 30.05%^[7]。王君等研究了 4 株核桃根际促生菌对核桃苗的促生作用,发现这 4 株菌均能促进核桃苗根系的生长,且能提高根系的活力及叶片的光合作用^[8]。

收稿日期:2016-04-15

基金项目:国家科技部星火计划资助项目(2010GA741050)

第一作者简介:闫洪雪(1988-),女,山东省青岛市人,硕士,工程师,从事微生物菌肥、菌剂的研发工作。E-mail:myhzyf-hx@126.com。

2 PGPR 的作用机制

PGPR 促进作物的生长是通过一种或多种作用机制来直接或间接实现的。一方面可通过其固氮、溶磷、解钾的作用转化土壤中矿物质为可吸收利用的营养元素被植物吸收利用以及产生植物生长调节剂来直接促进作物的生长,另外还可通过产生抗菌物质、营养和空间位点的竞争、诱导作物产生系统抗性、改良土壤等作用改变作物的生长环境,间接促进作物的生长^[9-10]。

2.1 直接促进作物生长

2.1.1 固氮作用 生物固氮是指固氮微生物将大气中的分子氮转换成能够被作物直接利用的氨态氮的过程。根据固氮微生物的固氮特点及其与植物的关系,可将它们分为自生固氮、共生固氮和联合固氮微生物三类。目前已经报道的固氮菌主要有芽孢杆菌、根瘤菌、假单胞菌、肠杆菌等菌属的菌株。对小麦、水稻、玉米、蔬菜等作物根际的 94 株固氮菌的优势种群进行研究后发现,其主要类群为类芽孢杆菌属和芽孢杆菌属的菌株,分别占供试菌株总数的 33.0% 和 26.6%,且这两类菌属的菌不具有寄主专一性^[11]。王秀呈等研究发现内生固氮菌除了对水稻具有促生作用以外,还具有一定的分泌铁载体的能力和溶磷特性^[12]。

2.1.2 溶磷作用 溶磷菌能够将难溶的磷酸盐转化为可溶性磷酸盐从而被植物直接吸收,一般认为它的作用机制与溶磷菌产生的有机酸有关。这些有机酸能够降低环境的 pH,同时可以与铁、铝、钙、镁等金属离子相结合使难溶性的磷酸盐转化为可溶性的磷酸盐^[13]。具有溶磷作用的微生物种类很多,已报道的解磷菌有芽孢杆菌、假单胞杆菌、土壤杆菌、青霉菌、曲霉菌、链霉菌等^[14]。

2.1.3 解钾作用 解钾菌能够分解不溶性的钾盐,促进难溶的钾转化为可溶性钾,从而增加土壤中可被植物直接吸收利用的钾元素含量。解钾菌的作用机制也与其分泌的草酸、酒石酸、乙酸、柠檬酸等有机酸有关^[15]。近年来的研究已经证实了这一点,研究还证明培养液的 pH 与培养液中速效钾含量呈负相关^[16]。

2.1.4 产生植物生长调节剂 根际促生菌能够产生诸如生长素、赤霉素、细胞分裂素、脱落酸和乙烯等对植物生长具有促进作用的植物激素^[17]。研究发现,枯草芽孢杆菌 Tu-100 对油菜、小麦、辣椒、西瓜、大豆和玉米苗期均有不同的促生效

果,反映在植物干重上,分别比对照增加 9.47%、1.37%、2.27%、19.23%、9.21% 和 6.67%。该菌作用于盆栽的水稻可使水稻的产量增加 12.82%,作用于大豆,表现在结瘤数和鲜瘤重呈现负增长^[18]。此外用枯草芽孢杆菌 B931 处理甘薯苗后,其生长素和细胞分裂素的含量都显著增加,可见该菌能够显著地促进甘薯苗生根^[19]。

2.2 间接促进作物生长

2.2.1 拮抗作用 从根际土壤中分离能够拮抗植物病原菌的有益微生物是目前研究的热点,拮抗菌能够分泌几丁质酶等破坏病原菌的细胞壁,从而抑制病原菌的生长,间接促进作物的生长。此外,拮抗菌促进作物生长的另一个作用是产生抗菌物质,在一定程度上抑制病原菌的生长。目前研究最多拮抗菌的是枯草芽孢杆菌和解淀粉芽孢杆菌^[20]。

2.2.2 营养和空间位点的竞争 竞争作用是 PGPR 发挥重要作用的重要机制之一,主要包括营养竞争和位点竞争。它是指存在于同一微小环境中的微生物争夺这一环境内的氧气、营养、空间等。目前的研究发现,营养竞争只在少数菌株中存在^[21-22]。位点竞争指微生物在植物根际土壤中定殖,以位点竞争占优势,从而有效地阻止和干扰病原菌对植物的侵染及定殖,从而达到防病促生的作用^[23]。

2.2.3 诱导系统抗性 诱导植物产生抗病性是根际促生菌的另一重要作用,主要通过诱导植株自身产生抗病能力来使植株抵抗疾病的能力得到提高。其中,枯草芽孢杆菌 B3 能使小麦过氧化物酶的活性增强,并诱导其产生一些新的过氧化物酶^[24];枯草芽孢杆菌 FZB24 可产生一种信号蛋白,该蛋白与诱导植物合成抗性蛋白相关,从而增加作物的抗性,还可通过分泌丝氨酸专性肽链内切酶等相关蛋白直接诱导植物抗性^[25];研究还表明接种枯草芽孢杆菌 B916 后,水稻叶鞘细胞中的苯丙氨酸解氨酶、过氧化物酶、多酚氧化酶和超氧化物歧化酶的活性显著增强,有效减少了水稻纹枯病的发生^[26]。

2.2.4 改良土壤 PGPR 的代谢活动能够加强土壤中有机的分解,促进植物营养元素的矿化,改良土壤结构和营养成分,增加作物可吸收的营养,能够培肥地力^[27]。最新的研究表明 PGPR 还具有降解污染物的作用,亦有人称之为“生物治

疗”^[28]。目前发现的降解污染物的 PGPR,主要是对三氯乙烯、芳香族化合物及除草剂的降解^[29]。因此 PGPR 将在降解土壤污染物、培肥地力、改善土壤生态平衡过程中发挥重要作用。

3 PGPR 产品在农业上的应用

PGPR 制剂在农作物上具有防病作用、促生作用、活化土壤等,因此其研究和产业化前景十分广阔。目前常见的 PGPR 制剂主要有 PGPR 活体制剂和 PGPR 代谢产物制剂^[30]。

PGPR 制剂是利用其中的活菌通过其作用机制,进行植物病害的防治,同时其还具有促进植物生长、改善土壤和植物体微生态的作用^[31]。大豆根瘤菌剂是目前增产机理最明确、效果最稳定的 PGPR 制剂之一。根瘤菌在豆科植物根际结瘤共生,能够提供 50%~100% 的生长所需氮^[32]。此外根瘤菌对作物还具有刺激生长、减少病虫害发生的作用^[33]。

PGPR 的代谢产物制剂主要是利用菌在发酵过程中产生的代谢产物来抑制或灭杀病原菌,从而达到病害防治和促进作物生长的作用^[34-35]。近年来,应用较多的代谢产物包括寡糖类、寡聚糖类、多肽类、糖蛋白类、抗生素类等^[36]。芽孢杆菌产生的代谢产物中表面活性素主要抑制细菌、病毒、支原体的生长,伊枯草菌素主要抑制真菌的生长,丰原素对丝状真菌具有强烈的抑制作用,杆菌肽对革兰氏阳性菌有较强的抑制作用^[37]。GBO3 菌株产生的抗真菌化合物和分泌的挥发性物质可以直接促进植物的生长。该菌的孢子已商品化,可直接施用于土壤,不仅可以防治多种作物的根部病害,还可以抑制花卉和观赏植物种子的真菌病害,且对人体和环境安全^[38-39]。

4 展望

使用效果不稳定是 PGPR 制剂应用存在的最突出问题,由于温度、湿度、土壤肥力、土壤物理性状、栽培措施、不同作物以及根系分泌物等因素的影响,PGPR 菌株定殖能力弱,遗传稳定性差,繁殖几代后功效减弱或丧失^[30,33]。因此,选育优良性能的菌株是 PGPR 制剂研制的核心。采用现代基因工程技术,结合高通量和常规菌种筛选技术,筛选培育具有营养促生、防病抑菌、降解污染物、修复土壤等功能的优良菌株,是研制具有改良土壤和提高作物品质等高效多功能 PGPR 制

剂的基础和关键。在此基础上开发适用于不同作物、不同地区的专用型 PGPR 制剂,是 PGPR 制剂研究和开发的方向和目标,也是其产业发展的核心环节和推动力。

PGPR 制剂是发展绿色可持续发展农业、建立绿色食品安全体系的基础。近年的研究实践证明,PGPR 制剂可提高作物对肥料的吸收利用率,减少化肥和农药的使用率,减轻化肥和农药对土壤和环境造成的严重污染。尤其在人类面临能源危机、资源紧缺、环境污染等压力的条件下,研究和应用 PGPR 制剂是为实现我国农业的绿色可持续发展的一条必由之路。

参考文献:

- [1] 陈文新,汪恩涛.中国根瘤菌[M].北京:科学出版社,2011.
- [2] 刘健.微生物肥料作用机理初步研究[D].北京:中国农业科学院,2006.
- [3] 周法永,卢布,顾金刚,等.我国微生物肥料的发展阶段及第三代产品特征探讨[J].中国土壤和肥料,2015(1):12-17.
- [4] 鞠瑞成,王鹏,公春燕,等.1株枯草芽孢杆菌的分离鉴定及其发酵条件优化[J].中国农学通报,2014,30(28):295-300.
- [5] 刘雪,穆常青,蒋细良,等.枯草芽孢杆菌代谢物质的研究进展及其在植病生防中的应用[J].中国生物防治,2006(22):179-184.
- [6] 胡江春,薛德林,王书锦,等.大豆连作障碍研究Ⅲ.海洋放线菌 MB-97 促进连作大豆增产机理[J].应用生态学报,2002,13(9):1095-1098.
- [7] 王豹祥,李富欣,张朝辉,等.应用 PGPR 菌肥减少烤烟生产化肥的施用量[J].土壤学报,2011,48(4):812-822.
- [8] 王君,马海林,丁延芹,等.4株根际促生菌对核桃生长及生理特性的影响[J].山东农业科学,2014(4):77-79.
- [9] Kloepper J W, Ryu C M, Zhang S. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* species[J]. Phytopathology, 2004, 94: 1259-1266.
- [10] Yang J, Kloepper J W, Ryu C M. Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress[J]. Trends in Plant Science, 2009, 14: 1-4.
- [11] 孙建光,胡海燕,刘君,等.农田环境中固氮菌的促生潜能与分布特点[J].中国农业科学,2012(8):1532-1544.
- [12] 王秀呈,曹艳花,唐雪,等.水稻内生固氮菌 *Herbaspirillum seropedicae* DX35 的筛选及其促生特性[J].微生物学报,2014(3):292-298.
- [13] 王召娜,于雪云,杨合同,等.微生物解磷机理的研究进展[J].山东农业科学,2008(2):88-91.
- [14] 王光华,赵英,周德瑞,等.解磷菌的研究现状与展望[J].生态环境,2003,12(1):96-101.
- [15] 党雯,郝春花,张强,等.解钾菌的研究进展及其在农业生产中的应用[J].山西农业科学,2014(8):921-924.
- [16] 席琳乔,宋爱民,龚明福,等.棉花根际硅酸盐细菌解钾机

- 理的初步研究[J]. 西北农业学报, 2009, 18(3): 309-314.
- [17] 刘淑琮, 冯妍, 于洁. 植物根际促生菌的研究进展及其环境作用[J]. 湖北农业科学, 2009(11): 2882-2887.
- [18] 胡小加, 江木兰, 张银波, 等. 枯草芽孢杆菌 Tu-100 对几种作物的促生效果[J]. 中国油料作物学报, 2005(4): 92-94.
- [19] 张霞, 唐文华, 张力群. 枯草芽孢杆菌 B931 防治植物病害和促进植物生长的作用[J]. 作物学报, 2007(2): 236-241.
- [20] Bhattacharyya P N, Jha D K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture[J]. World Journal of Microbiology & Biotechnology, 2012, 28(4): 1327-1350.
- [21] 曹君, 高智谋, 潘月敏, 等. 枯草芽孢杆菌 BS 菌株和哈茨木霉 TH-1 菌株对棉花枯黄萎病菌的拮抗作用[J]. 植物病理学报, 2005, 35(6): 170-172.
- [22] 程洪斌, 刘晓桥, 陈红漫. 枯草芽孢杆菌防治植物真菌病害研究进展[J]. 上海农业学报, 2006(1): 109-112.
- [23] 赵新林, 赵思峰. 枯草芽孢杆菌对植物病害生物防治的作用机理[J]. 湖北农业科学, 2011(15): 3025-3028.
- [24] 唐文华. 小麦条锈病病叶的 RAPD 分析初探[J]. 植物保护学报, 1996(4): 369-370.
- [25] 张彦杰, 罗俊彩, 武燕萍, 等. 生防枯草芽孢杆菌研究进展[J]. 生命科学仪器, 2009(4): 19-23.
- [26] 李德全, 陈志谊, 聂亚锋. 生防菌 Bs-916 及高效突变菌株抗菌物质及其对水稻抗性诱导作用的研究[J]. 植物病理学报, 2008, 38(2): 192-198.
- [27] 陈佛保, 柏珺, 林庆祺, 等. 植物根际促生菌(PGPR)对缓解水稻受土壤锌胁迫的作用[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(1): 67-74.
- [28] 杨海君, 谭周进, 肖启明, 等. 假单胞菌的生物防治作用研究[J]. 中国生态农业学报, 2004(3): 158-161.
- [29] 马吉平. 氯噻磺隆降解菌的降解特性和应用研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [30] 戴梅, 宫象辉, 丛蕾, 等. PGPR 制剂研发现状与发展趋势[C]//2006 年山东农业微生物技术学术研讨会, 2006: 45-48.
- [31] 杨英华. PGPR 活菌制剂防治大棚黄瓜连作障碍的研究[J]. 长江蔬菜, 2009(4): 66-68.
- [32] 张欣. 大豆根瘤菌及生物固氮的研究与应用[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.
- [33] 关大伟, 李俊, 曹凤明, 等. 我国大豆根瘤菌菌剂的应用及存在的问题与对策[C]//第十一届全国土壤微生物学术讨论会暨第六次全国土壤生物与生物化学学术研讨会第四届全国微生物肥料生产技术研究论文(摘要)集, 2010.
- [34] 王书锦, 胡江春, 薛德林. 植物根际新型缓释放微胶囊颗粒生物的药肥的研制与应用[C]//新世纪(首届)全国绿色环保农药技术论坛暨产品展示会论文集, 2002.
- [35] 李海宗, 潘梅. 土壤中植物根际促生菌研究进展[J]. 广州化工, 2014(10): 52-54.
- [36] 徐海燕, 曹斌, 张志焱, 等. 芽孢杆菌发酵代谢产物的研究[J]. 饲料广角, 2006(9): 22-23.
- [37] 郑凌凌. 加强芽孢杆菌抗菌代谢产物的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2007.
- [38] Jensen C E D, Percich J A, Graham P H. Integrated management strategies of bean root rot with *Bacillus subtilis* and *Rhizobium* in Minnesota[J]. Field Crops Research, 2002, 74(2): 107-115.
- [39] Umesha S. Plant health improvement by *Bacillus subtilis* strain GBO3 in tomato against bacterial spot disease[J]. Indian Phytopathology, 2011, 63(2): 127-130.

Research Progress on Agriculture of Plant Growth Promoting Rhizobacteria

YAN Hong-xue¹, LIU Lu¹, LI Li², ZHANG Peng-peng¹, LIANG Wen-hui², ZHAO Hong-tao²

(1. State Key Laboratory of Bioactive Seaweed Substances, Qingdao Brightmoon Seaweed Group Limited Co mpany, Qingdao, Shangdong 266400; 2. Qingdao Mingyue Blue Ocean Biotechnology Limited Co mpany, Qingdao, Shandong 266400)

Abstract: The research of the prevention of plant diseases and growth-promoting effects of plant through plant growth promoting rhizobacteria (PGPR), has become a hot topic on microbiology in recent years. In order to understand PGPR and its research and production, the concept, species and function mechanism of PGPR were discussed, and the application of PGPR products in agriculture was introduced. Moreover, the main factors influencing the application of PGPR products were analyzed and its development direction and prospect were forecasted.

Keywords: plant growth promoting rhizobacteria; function mechanism; application; prospect