

植物促生细菌的研究及其在药用植物上的应用

田磊¹, 张冠军¹, 李桐², 姜云¹, 陈长卿², 顾寒雪¹

(1. 吉林农业大学 生命科学学院, 吉林 长春 130118; 2. 吉林农业大学 农学院, 吉林 长春 130118)

摘要:植物促生细菌的研究与应用是近年来微生物学关注的一个热点, 将植物促生细菌开发成为微生物肥料并应用于农作物生产是研究的最终目标。中药材是我国中医药的物质基础, 但近些年伴随中药材需求量的增加, 在其种植过程中出现化学肥料和农药的过度使用, 严重影响了中药材的品质。现结合植物促生细菌的研究以及中药材种植过程中的问题, 初步探讨了植物促生细菌应用于中药材种植中的益处, 以期为相关研究提供参考。

关键词:植物促生细菌; 药用植物; 研究进展; 应用探讨

中图分类号:Q 949.95 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-000(2014)12-0172-05

细菌是自然界中种类较多, 繁殖较快的一大类微生物群体。能够和植物等宿主一起生长繁衍, 并与周围环境

构成一个生态系统。植物体生长的环境中存在大量细菌, 这些细菌对植物体一般无害或者有益, 其中与植物体生长联系较为密切的是植物根际和内生细菌。在这些细菌中存在着一定数量的促生细菌, 植物促生细菌是指能够直接、间接促进或者调节植物体生长的细菌, 分为植物根际促生细菌(Plant Growth Promoting Rhizobacteria, PGPR)和植物内生促生细菌(Plant Growth Promoting Endophytes, PGPE)两大类^[1], PGPR和PGPE统称为植物促生细菌(Plant Growth Promoting Bacteria, PGPB)。

自20世纪80年代, Kloepper等^[2]提出植物根际促生菌的概念以来, 对于植物促生细菌的分离及相关研究

第一作者简介:田磊(1989-), 男, 山东临沂人, 硕士研究生, 现主要从事农业微生物开发与利用等研究工作。E-mail: tl616789@163.com.

责任作者:姜云(1978-), 男, 黑龙江鹤岗人, 博士, 硕士生导师, 现主要从事微生物资源利用等研究工作。E-mail: jyjccq@163.com.

基金项目:吉林省科技厅重点科技攻关资助项目(20140204055NY); 国家大学生创新创业训练计划资助项目(201310193001); 吉林农业大学大学生创新计划资助项目。

收稿日期:2014-03-11

[39] 陈小强, 王春国, 李秀兰, 等. 大花蕙兰 MADS-box 基因 *ChMADS1* 的克隆及表达分析[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2009, 41(6): 1-7.

[40] 李冬梅, 吕复兵, 朱根发, 等. 兜兰 *DEFICIENS(DEF)*-和 *GLOBOSA(GLO)*-like 基因的克隆及表达分析[J]. 西北植物学报, 2012, 32(2): 215-224.

[41] 崔波, 蒋素华, 刘佳, 等. 萼脊兰 *AP1-like* 基因的克隆与表达分析[J]. 西北植物学报, 2013, 33(9): 1739-1744.

[42] 张俊芳, 李志英, 徐立. 海南钻喙兰 B 类 MADS-box 基因的克隆与表达分析[J]. 分子植物育种, 2013, 11(4): 570-574.

Research Progress on Flower Development Genes of Orchid

TIAN Yun-fang¹, JIANG Su-hua², YUAN Xiu-yun², MA Jie², CUI Bo²

(1. College of Life Science, Zhengzhou Normal University, Zhengzhou, Henan 450000; 2. Institute of Biotechnology, Zhengzhou Normal University, Zhengzhou, Henan 450000)

Abstract: The orchid flower is highly evolved, and it is the ideal material for molecular mechanism studies of floral development in monocots. In this review, the research progress on the genes that were involved in flowering transition and floral organ development of orchid were summarized. The deep research on molecular biology of the flower development would be helpful to improve the flower quality and flowering time regulation by genetic engineering and promote the process of molecular breeding.

Key words: orchid; flowering transition; floral organ development; gene

也越来越受到研究者的重视。这些细菌能够显著地促进植物体的生长,改善土壤环境及防治植物病害,一些细菌对矿区重金属植物修复也具有一定作用^[3-4]。我国药用植物对中医药生产是不可缺少的。我国地域广阔,具有大量的药用植物资源,药用植物资源道地性是保证中医药质量的关键^[5]。但由于地方土地资源有限,药用植物的种植及发展受到很大抑制,以致化学肥料和化学农药的大量使用,进而影响了药用植物的品质,同时也破坏了当地的生态环境,严重影响了中药材产业的健康可持续发展。植物促生菌作为能够有效促进植物生长的资源微生物,在微生物菌肥的开发及应用上越来越受到人们的认可。该文对植物促生菌的研究及在药用植物上的应用进行论述,以期能够给药用植物促生菌的筛选及田间应用提供参考。

1 植物促生菌的研究进展

1.1 直接促进植物生长

植物促生菌可直接促进植物生长,主要表现在能够固定大气中的氮元素供植物体生长,溶解土壤中未溶解且含有磷和钾的化学物质,产生植物生长调节激素等。

1.1.1 固氮作用 氮元素对植物体生长至关重要,是构成体内蛋白质及核酸的主要物质基础。空气中 80% 的氮气不能够被植物体直接利用。具有固氮能力的微生物将氮气转化成氨的过程叫做固氮作用^[6]。其中与豆科植物共生的根瘤菌具有较高固氮能力,固定的氮源是豆科植物生长过程中所需氮素的直接来源;而非豆科植物根际及植物体内部具有大量的联合固氮菌株^[7],这些菌株的固氮作用能够为植物体的生长提供一定的氮元素,已报道的联合固氮菌主要有 *Azotobacter*、*Bacillus*、*Pseudomonas*、*Enterobacter*、*Klebsiella* 等属细菌^[8-10]。谭志远等^[10]从普通野生水稻中分离出 37 株具有高效固氮能力的菌株,其中肠杆菌(*Enterobacter*)和克雷伯氏菌(*Klebsiella*)为优势菌株;Madhaiyan 等^[8]从落花生中分离出 1 株具有高效固氮能力的菌株 *Enterobacter arachidis*;胡春锦等^[9]从广西甘蔗根际土壤中分离出 5 株高效固氮菌株,分别属于 *Pseudomonas* sp.、*Klebsiella* sp.、*Bacillus* sp.、*Pantoea* sp. 和 *Burkholderia* sp.。

1.1.2 解磷作用 磷元素是植物生长发育所必需的三大营养元素之一,磷元素的缺乏直接影响到植物的生长和作物产量^[11]。土壤中的磷元素多以难溶性的如 Al-P 和 Fe-P 存在,很难被植物体直接利用^[12]。具有溶磷能力的微生物将土壤中的难溶性磷酸盐中的磷酸根释放出来,可以供应植物体对磷元素的需求。溶磷微生物的作用机理普遍被认为是微生物代谢过程中产生的有机酸将土壤中难溶性的 Al-P 和 Fe-P 状态化合物中的金属元素螯合出,从而释放出 HPO_4^{2-} 或 H_2PO_4^- ^[13]。植物根际细菌及植物内生细菌具有解磷能力的细菌已有相关

的报道,这些细菌主要有 *Bacillus*、*Pseudomonas*、*Enterobacter* 等属^[11,14-15]。其中,由前苏联学者分离的 1 株具有高解磷能力的巨大芽孢杆菌(*Bacillus megatherium*)已经研制成为微生物菌肥,并且在欧洲农业生产中广泛使用^[16]。

1.1.3 解钾作用 钾元素也是植物生长的必需元素之一。土壤中亦含有大量的难溶性钾存在,绝大多数是以硅酸盐矿物的形式存在于土壤中而不能被植物所吸收利用^[17]。解钾细菌亦称硅酸盐细菌,能够将土壤中难溶性的钾溶解出来供植物体利用^[18]。具有解钾能力的细菌对植物体的生长具有显著的影响^[19]。已报道的具有高效解钾能力的菌株主要为 *Bacillus* 属的菌株^[18,20]。刘晓璐等^[18]从烟草根际土壤中分离出 1 株具有高效解钾能力的菌株 GJ07,经鉴定为巨大芽孢杆菌(*Bacillus megatherium*);麻瑞阳等^[20]从土壤中分离出 1 株具有高效解磷解钾能力的菌株,经生理生化和 16S rDNA 序列分析鉴定为枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)。

1.1.4 产生植物生长调节激素 植物生长调节激素主要有生长素(吲哚-3-乙酸, IAA)、赤霉素、细胞分裂素、脱落酸等。一些细菌具有产生部分植物激素,并且借以调节植物体内激素的水平影响植物体的生长,其中以细菌产生 IAA 能力的研究较多。具有产生 IAA 能力的菌株主要有 *Enterobacter*、*Bacillus*、*Rhizobium* 等属^[21-22]。其中, Jinichiro 等^[23]从黄瓜根际土壤中分离出 1 株具有高产吲哚乙酸能力的菌株为阴沟肠杆菌(*Enterobacter cloacae*),徐幼平等^[22]用此阴沟肠杆菌的发酵产物喷施玉米和番茄幼苗,结果处理组与对照组相比,显著促进了植株的幼苗株高的生长和根部发育。

1.2 间接促进植物生长

植物促生菌间接促进植物的生长,主要表现在拮抗宿主植物病原微生物、产 ACC 脱氨酶、产生铁载体和诱导植物系统抗性方面。

1.2.1 对植物病原菌的拮抗 从植物根际细菌和内生细菌中分离出具有拮抗植物病原菌的菌株是绿色农药开发的一个很有前景的方向。植物病原菌中以病原真菌居多,几丁质、 β -1,3-葡聚糖是真菌细胞壁的主要成分,抑制病原真菌生长的细菌往往能够产生相应的几丁质酶、 β -1,3-葡聚糖酶蛋白质酶类,破坏真菌细胞壁结构,从而抑制真菌的生长或杀死真菌^[24]。枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)和解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)是文献报道中较为常见的具有拮抗植物病原真菌能力的 2 种细菌^[24-25]。另外,一些细菌还能够向环境中分泌抗生素类物质,在一定程度上抑制了病原真菌的生长^[26],如有吩嗪(phenazines)、2,4-二乙酰藤黄酚(2,4-diacetylphloroglucinol)、藤黄绿脓菌素(pyoluteorin)、硝吡咯菌素(pyrolnitrin)。

1.2.2 产 ACC 脱氨酶 1-氨基环丙烷-1-羧酸脱氨酶(1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase, 简称 ACC 脱氨酶)是一种能提高植物在逆境胁迫下的适应能力的胞内聚合酶^[27]。乙烯是高等植物的内源激素,低浓度的乙烯在植物生长过程中具有一定的促进作用。但是,当植物体在面临逆境条件如洪涝、干旱、盐碱、机械损伤、病虫害等,植物体产生的大量乙烯会抑制植物体的生长,甚至导致植物体的死亡^[28]。ACC 脱氨酶能够将乙烯形成的化学前体物质 ACC 分解成为 α -丁酮酸和氨,减少乙烯合成,从而降低植物对逆境的敏感性,提高植物抗逆能力。因此,具有 ACC 脱氨酶活性的细菌通过降低植物体内乙烯的大量合成来间接地促进了植物体的生长。1978 年, Honma 等^[29]从土壤中分离出 1 株细菌,经鉴定属于假单胞菌属(*Pseudomonas* sp.)是最早分离出的具有 ACC 脱氨酶活性的菌株。近 30 年来,对 ACC 脱氨酶作用机制的研究也有了一定的进展。

1.2.3 产生铁载体 铁载体(Siderophore)是微生物产生的一种对 Fe^{3+} 具有强螯合能力的一类低分子化合物,其功能是从环境中摄取铁元素供微生物细胞生长所需。具有高产铁载体能力的细菌在土壤环境中能够有效地与病原真菌竞争有限的 Fe^{3+} ,而病原真菌产生的铁载体螯合土壤中 Fe^{3+} 较弱,不具有竞争优势^[30]。从而有效的限制了病原真菌的生长繁殖。假单胞菌属(*Pseudomonas* sp.)是报道较多的具有高产铁载体能力的细菌^[31-32]。

1.2.4 诱导系统抗性 诱导系统抗性(Induced Systemic Resistance, ISR)是指一些植物促生菌能够诱导植物体对病原菌的系统抗性,而这些促生菌不引起植物病害,与传统的病原菌诱导植物获得系统抗性(Acquired Systemic Resistance, ASR)有本质的区别^[33]。ISR 之所以能诱导植物系统抗性,是通过一系列分子机制,诱导体内相关抗病蛋白的表达量增加,这些抗病相关蛋白主要包括超氧化物歧化酶(Superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(Peroxidase, POD)、多酚氧化酶(Polyphenol oxidase, PPO)、苯丙氨酸解氨酶(Phenylalanine ammonia-lyase, PAL)和过氧化氢酶(Catalase, CAT)、几丁质酶、 β -1,3-葡聚糖酶等,这些植物系统防御酶系能够起到保护植物体细胞免受外来病原菌及各种理化因子的危害^[34]。目前研究的较多的具有 ISR 功能的菌属为假单胞菌和芽孢杆菌^[34-35]。

2 药用植物 PGPB 的研究进展

植物促生菌在蔬菜、粮食作物上的研究开展的较早,而在药用植物的研究上起步较晚^[2]。但近年来,随着药用植物在种植过程中遇到的问题以及植物促生菌研究的深入,药用植物促生菌的研究也越来越受到国内外学者的重视,关于药用植物促生菌分离和鉴定的文献

报道也呈逐年递增趋势。汪敏等^[36]研究了凤眼莲(*Eichhornia crassipes*)与其根际细菌相互作用,发现接种根际细菌的凤眼莲植株体内的多酚氧化酶和过氧化物酶的活性同时得到诱导。Mishra 等^[37]从天竺葵(*Pelargonium graveolens*)植株体内分离出 2 株植物促生菌(*Bacillus subtilis* 和 *Pseudomonas fluorescens*),田间试验结果显示菌株能显著提高天竺葵的产量。任嘉红等^[38]从南方红豆杉(*Taxus chinensis* var. *mairei*)根际土壤中分离出 4 株具有溶解无机磷能力的菌株,并对红豆杉幼苗进行室内盆栽试验,结果表明 4 株高效溶磷菌能显著促进红豆杉幼苗的生长。姜云等^[39]从人参(*Panax ginseng*)植株体内分离出 1 株具有广谱拮抗人参主要病原真菌的甲基营养型芽孢杆菌菌株 NJ13(*Bacillus methylotrophicus*)。Jasim 等^[40]从生姜(*Zingiber officinale*)中分离出 1 株荧光假单胞菌菌株(*Pseudomonas fluorescence*),具有解磷、产 ACC 脱氨酶、产 IAA 能力。

3 我国药用植物资源种植面临的困境

中医药产业近年来的快速发展,使中药材的需求量逐年增加。为保证中药材的质量,其中地道药材更被人们所认可。然而中药材的道地性种植以及国家森林保护措施的实行使可种植中药材的土地面积受到限制,并且大多数中药材具有连作障碍严重等客观原因^[41]。中药材种植的连作障碍主要是指土壤肥力下降、病原微生物增多、土壤化感物质的增多等方面^[42]。例如人参种植一茬(5~6 年)后,发病严重,往往多年不能再重茬^[43]。三七在种植 1 周期后,会使土壤病原微生物增多,土壤肥力下降及盐渍化,严重的影响了三七的产量^[44]。因此,如何在有限的种植面积内解决作物的连作障碍是中药材种植中面临的重大难题。为解决这一难题,种植者们为保持和提高中药材产量,在其种植过程中使用了大量化学肥料和化学农药,造成了中药材农药残留超标和有效成分下降等质量问题,严重影响了中药材的品质和质量安全,甚至危害了人体健康,某些中药材出口也受到了限制。例如,我国人参每年都有因农药检测残留超标而使人参出口受阻、退货、甚至被销毁现象的发生,严重影响了企业的出口创汇及经济效益^[45]。此外化学肥料和药剂广泛使用还污染了生态环境,严重影响了中药材产业的健康可持续发展。

4 PGPB 在药用植物上研究及其应用前景

具有固氮、解磷、解钾等能力的菌株,可以开发作为微生物肥料,为植物体提供氮、磷、钾等植物体生长必需的化学元素,促进植株健康生长。对病原菌具有拮抗功能的菌株可以开发成微生物农药,保护植物免受病原菌的损害。微生物制剂持效期长,并对生态环境没有影响。然而,PGPB 菌株的获得是开展植物促生菌剂研究

及其应用的核心和基础,PGPB 菌株的筛选是结合室内促生特征实验和田间试验有序的展开的。室内解磷、解钾、固氮、产 IAA、拮抗病原菌等特征是菌株筛选的前提^[26]。结合菌株的田间试验,能更好地验证菌株是否能较好的促进植株的生长并改善土壤环境。菌株往往也是在长期的进化过程中同药用植物根际或植物体内形成相互作用关系^[46],因此 PGPB 在药用植物上的应用前提就是从道地药材土壤或内生细菌中分离出具有促生实验特征的菌株。姜喜同等^[47]将“绿宝一号”微生物菌肥应用于老参地种植的人参,经过 3 a 的种植,结果发现其能够减少人参常见病害的发生,人参苗叶部、根部、茎部长势都显著优于对照。曹志强等^[48]从应用复合微生物菌剂改良老参地的结果得出,在经过复合微生物菌剂改良老参地上种植的人参和西洋参品质显著高于没有经过改良的土壤上种植的,主要表现在人参产量、人参病原菌的减少和人参总皂苷含量的提高等方面。Rajasekar 等^[49]用几株具有不同促生特征且能联合培养的植物根际促生细菌(PGPR)对南非醉茄(*Withania somnifera*)幼苗进行田间试验,结果得出这些联合培养的植物促生菌不仅明显地提高了南非醉茄的根长及株高的数值,而且还增加了植物体内有效成分植物碱的含量。Ghorbanpour 等^[50]研究了天仙子(*Hyoscyamus niger*)在水分胁迫下加入植物促生菌恶臭假单胞菌(*Pseudomonas putida*)和荧光假单胞菌(*Pseudomonas fluorescens*)对植物体内抗氧化酶和植物生长量及生物碱含量进行了研究,结果用 2 株促生菌处理的天仙子植物生长量、生物碱的含量及抗氧化酶活性明显高于未用菌株处理的对照组。

植物促生细菌作为科学命题的研究只有 30 年的历史,但是作为一种新型的绿色环保资源,将会在农业生产中起到越来越重要的作用。针对植物促生菌的研究进展及我国药用植物资源种植面临的困境,PGPB 作为绿色环保的重要微生物资源,如果能够更好更深入的研究,研制成微生物菌肥并应用于中药材的种植,将会是解决中药材栽培过程中遇到的连作障碍、品质下降等问题的一个有效途径。

(该文作者还有赵月,单位同第一作者)。

参考文献

- [1] Ma Y, Prasad M N, Rajkumar M, et al. Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils [J]. *Biotechnology Advances*, 2011, 29(2): 248-258.
- [2] Kloepper J W, Schroth M N. Plant growth-promoting rhizobacteria on radishes. In: *Proceedings of the 4th international conference on plant pathogenic bacteria* [C]. Tours: Gilbert-Clarey, 1978: 879-882.
- [3] Ma Y, Rajkumar M, Freitas H. Inoculation of plant growth promoting bacterium *Achromobacter xylosoxidans* strain Ax10 for the improvement of copper phytoextraction by *Brassica juncea* [J]. *J Environ Manage*, 2009, 90(2): 831-837.
- [4] 姜云,尹望,陈长卿,等. 人参内生菌的分离及拮抗菌株的筛选[J]. *吉林农业大学学报*, 2012, 34(5): 517-521.
- [5] 徐荣,陈君,陈士林. 实现药用植物资源的合理开发和可持续利用[J]. *中国药业*, 2009(6): 1-2.
- [6] 孙建光,张燕春,徐晶,等. 玉米根际高效固氮菌 *Sphingomonas* sp. GD542 的分离鉴定及接种效果初步研究[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(1): 89-93.
- [7] 姚拓,张德望,胡自治. 高寒地区燕麦根际联合固氮菌研究 I 固氮菌分离及鉴定[J]. *草业学报*, 2004(2): 106-111.
- [8] Madhaiyan M, Poonguzhali S, Lee J S, et al. *Enterobacter arachidis* sp. nov., a plant-growth-promoting diazotrophic bacterium isolated from rhizosphere soil of groundnut [J]. *Int J Syst Evol Microbiol*, 2010, 60(7): 1559-1564.
- [9] 胡春锦,林摇丽,史国英,等. 广西甘蔗根际高效联合固氮菌的筛选及鉴定[J]. *生态学报*, 2012, 32(15): 4745-4752.
- [10] 谭志远,彭桂香,徐培智,等. 普通野生稻(*Oryza rufipogon*)内生固氮菌多样性及高固氮酶活性[J]. *科学通报*, 2009, 54(13): 2839-2848.
- [11] 黄静,盛下放,何琳燕. 具溶磷能力的植物内生促生细菌的分离筛选及其生物多样性[J]. *微生物学报*, 2010, 50(6): 710-716.
- [12] 刘文干,何园球,张坤,等. 一株红壤溶磷菌的分离、鉴定及溶磷特性[J]. *微生物学报*, 2012, 53(2): 326-333.
- [13] Kpombrekou K, Tabatabai M. Effect of organic acids on release of phosphorus from phosphate rocks[J]. *Soil Science*, 1994, 158(6): 442-453.
- [14] Sandeep C, Raman V, Radhika M, et al. Effect of inoculation of *Bacillus megaterium* isolates on growth, biomass and nutrient content of *Peppermint* [J]. *Journal of Phytology*, 2011, 3(11): 19-24.
- [15] Sundararao W V B SMK. Phosphate dissolving microorganisms in the rhizosphere and soil[J]. *India J Agric Sci*, 1963, 33(4): 272-278.
- [16] 赵小蓉,林启美. 微生物解磷的研究进展[J]. *土壤肥料*, 2001(3): 7-11.
- [17] 赵晨曦,刘前刚,张志元. 磷钾细菌解磷解钾能力的研究[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2004, 30(6): 519-521.
- [18] 刘晓璐,刘永智,郭涛,等. 解钾细菌的筛选、鉴定以及高效培养[J]. *北京科技大学学报*, 2013, 35(4): 551-557.
- [19] Han H S, Supanjani, Lee K D. Effect of co-inoculation with phosphate and potassium solubilizing bacteria on mineral uptake and growth of pepper and cucumber[J]. *Plant Soil Environment*, 2006, 52(3): 130-136.
- [20] 麻瑞阳,张爱民,惠小双,等. 高效解磷解钾菌 NX-11 菌株的分离筛选、鉴定及最佳培养条件的确定[J]. *华北农学报*, 2013, 28(2): 202-208.
- [21] 李振东,陈秀蓉,李鹏,等. 珠芽蓼内生菌 Z5 产 IAA 和抑菌能力测定及其鉴定[J]. *草业学报*, 2010(2): 61-68.
- [22] 徐幼平,臧荣春,陈卫良,等. 阴沟肠杆菌 B8 发酵液对植物的促生作用 and IAA 分析[J]. *浙江大学学报*, 2001, 27(3): 282-284.
- [23] Jinichiro K, Takashi A, Hidemasa H. IAA biosynthetic pathway from Tryptophan via indole-3-pyruvic acid in *Enterobacter cloacae* [J]. *Agricultural and Biological Chemistry*, 1991, 53(3): 701-706.
- [24] 奚家勤,宋纪真,周汉平,等. 产几丁质酶菌的分离、筛选及其对烟草病原真菌的抑制作用[J]. *烟草科技*, 2006(3): 55-58.
- [25] 朱晓飞,张晓霞,牛永春,等. 一株抗水稻及枯病菌的解淀粉芽孢杆菌分离与鉴定[J]. *微生物学报*, 2011, 51(8): 1128-1133.
- [26] Bhattacharyya P N, Jha D K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)-emergence in agriculture[J]. *World Journal of Microbiol Biotechnol*, 2012, 28: 1327-1350.
- [27] Glick B R. Modulation of plant ethylene levels by the bacterial enzyme

- ACC deaminase[J]. FEMS Microbiol Lett, 2005, 251(1): 1-7.
- [28] 陈倩, 胡海燕, 高森, 等. 一株具有 ACC 脱氨酶活性固氮菌的筛选与鉴定[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1515-1521.
- [29] Honma M, Shimomura T. Metabolism of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid [J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1978, 42 (10): 1825-1831.
- [30] Hontzeas N, Zoidakis J, Glick B R, et al. Expression and characterization of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase from the rhizobacterium *Pseudomonas putida* UW4; a key enzyme in bacterial plant growth promotion [J]. Biochim Biophys Acta, 2004, 1703(1): 11-19.
- [31] 王平, 董飏. 小麦根圈细菌铁载体的检测[J]. 微生物学通报, 1994, 21(6): 323-324.
- [32] 于素芳, 姚良同, 杜志兵, 等. 一株花生根际铁载体产生菌的分离鉴定及耐药性分析[J]. 生物技术通讯, 2008(19): 68-70.
- [33] 吴跃开. 植物促生根圈细菌诱导植物系统抗性的研究进展[J]. 中国森林病虫, 2006, 25(2): 24-29.
- [34] Sundaramoorthy S, Raguchander T, Ragupathi N, et al. Combinatorial effect of endophytic and plant growth promoting rhizobacteria against wilt disease of *Capsicum annuum* L. caused by *Fusarium solani* [J]. Biological Control, 2011; 60: 59-67.
- [35] Veerubommu S, Nandina K. Biological management of vascular wilt of tomato caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* by plant growth-promoting rhizobacterial mixture[J]. Biological Control, 2011, 57(2): 85-93.
- [36] 汪敏, 郑师章. 凤眼莲与其根际细菌相互作用的研究[J]. 应用生态学报, 1994, 5(3): 309-313.
- [37] Mishra R K, Prakash O, Alam M, et al. Influence of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on the productivity of *Pelargonium graveolens* L. herit[J]. Recent Research in Science and Technology, 2010, 2(5): 53-57.
- [38] 任嘉红, 刘辉, 吴晓慧, 等. 南方红豆杉根际溶无机磷细菌的筛选、鉴定及其促生效果[J]. 微生物学报, 2012, 53(3): 295-303.
- [39] 姜云, 尹望, 陈长卿, 等. 人参内生拮抗细菌 NJ13 的鉴定及发酵条件[J]. 农药, 2013, 52(2): 97-101.
- [40] Jasim B, Joseph A A, John C J, et al. Isolation and characterization of plant growth promoting endophytic bacteria from the rhizome of *Zingiber officinale* [J]. Biotech, 2013: 1-8.
- [41] 高微微, 赵杨景, 王玉萍, 等. 我国药用植物栽培地的可持续利用研究[J]. 中国中药杂志, 2006, 31(20): 1665-1669.
- [42] 陈长宝, 刘继永, 王艳艳, 等. 人参根际化感作用及其对种子萌发的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2006, 28(5): 534-541.
- [43] 赵洪颜, 傅民杰, 邹吉祥, 等. 老参地土壤改良的研究进展[J]. 中国农学通报, 2012, 28(21): 12-15.
- [44] 刘莉, 刘大会, 金航, 等. 三七连作障碍的研究进展[J]. 山地农业生物学报, 2011, 30(1): 70-75.
- [45] 郑殿家, 李学芝, 李江波, 等. 降低人参农药残留的措施与建议[J]. 人参研究, 2010(1): 40-42.
- [46] Vendan R T, Yu Y J, Lee S H, et al. Diversity of endophytic bacteria in ginseng and their potential for plant growth promotion[J]. J Microbiol, 2010, 48(5): 559-565.
- [47] 姜喜同, 任跃英, 李向高, 等. “绿保一号”高效生物菌肥改造参地的效果观察[J]. 现代中药研究与实践, 2003(5): 17-19.
- [48] 曹志强, 金慧, 许永华, 等. 微生物菌剂用于连续移栽人参实验研究[J]. 微生物学杂志, 2005(3): 105-107.
- [49] Rajasekar S, Elango R. Effect of microbial consortium on plant growth and improvement of alkaloid content in *Withania somnifera* (Ashwagandha) [J]. Current Botany, 2011, 2(8): 27-30.
- [50] Ghorbanpour M, Hatami M. Role of plant growth promoting rhizobacteria on antioxidant enzyme activities and tropane alkaloids production of *Hyoscyamus niger* under water deficit stress[J]. Turkish Journal of Biology, 2013, 37: 350-360.

Study on Plant Growth Promoting Bacteria and Its Applications on Medicine Plants

TIAN Lei¹, ZHANG Guan-jun¹, LI Tong², JIANG Yun¹, CHEN Chang-qing², GU Han-xue¹, ZHAO Yue¹

(1. College of Life Science, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118; 2. College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118)

Abstract: The research and application of plant growth promoting bacteria (PGPB) was a hot topic on microbiology in recent years. The ultimate goal of the study was to develop PGPB as microbial fertilizer and use in crop production. Chinese medicinal herb was the basic of traditional Chinese medicine. However, with the increase of market demand, the cultivation of Chinese medicinal herb had emerged in excessively using of chemical fertilizer and pesticides which seriously influenced the qualities of herbals. This article combined the research of PGPB and the problem in the cultivation of Chinese medicinal herb, and preliminarily discussed the benefits of using PGPB in the cultivation. These were also expected to provide reference to relative study.

Key words: plant growth promoting bacteria; medical plant; research progresses; discussion of application