

研究报告

苎麻促生菌的筛选、鉴定及其促生效应

谭石勇 易永健 汪洪鹰 周晚来 谭志坚 刘潜 王朝云*

(中国农业科学院 麻类研究所 湖南 长沙 410205)

摘要:【目的】以苎麻(*Boehmeria nivea* L. Gaud)根及根围土壤为研究材料,进行苎麻促生菌的筛选,并初步探索其促生作用机制。【方法】首先,以溶磷和解钾为基本筛选标准,初筛菌株在实验室条件下测定多项促生能力进行复筛;然后通过种子萌发、盆栽试验测定菌株对苎麻的促生效应,最后,通过形态观察、生理生化特性和 16S rRNA 基因序列同源性分析,对促生菌株进行分类学鉴定。【结果】从苎麻根和根围土壤中分离得到了 13 株菌同时具备溶磷和解钾能力,其中 4 株菌(RA-2、RAM-2、RAM-5 和 RAM-6)具备产铁载体、产 IAA 和产氨能力。种子萌发和盆栽试验的测定结果显示:4 株菌株均能促进苎麻种子的萌发和植株的生长,其中菌株 RA-2 和 RAM-5 相比于对照处理能显著提高苎麻种子的萌发率、幼根长、株高和根系干重。分类鉴定结果显示菌株 RA-2 和 RAM-5 均属于伯克霍德菌属(*Burkholderia*)。【结论】从苎麻根围筛选到具有促生能力的菌株,为进一步开发研制苎麻专型促生菌剂或专型微生物有机肥提供资源。

关键词:植物促生细菌,苎麻,生长发育,伯克霍尔德氏菌

Isolation and identification of plant growth-promoting bacteria (PGPB) from ramie (*Boehmeria nivea* L. Gaud) rhizosphere and their promoting growth effects

TAN Shi-Yong YI Yong-Jian WANG Hong-Ying ZHOU Wan-Lai TAN Zhi-Jian
LIU Qian WANG Chao-Yun*

(Institute of Bast Fiber Crops, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changsha, Hunan 410205, China)

Abstract: [Objective] We used roots and rhizosphere soils of ramie (*Boehmeria nivea* L. Gaud) to isolate plant growth promoting bacteria (PGPB), and then studied the mechanism why they promote growth of ramie in preliminarily. [Methods] Preliminary screening of PGPBs under the premises of bacteria have the abilities of phosphate- and potassium-solubilizing, moreover, the bacteria strains were screened by testing their abilities of siderophore, indole acetic acid (IAA) and ammonia production *in vitro*. Then, seeds germination and pot experiments were conducted to measure the promoting-growth effects on ramie of the isolates. Finally, PGPBs were classified and identified by combining physiological and biochemical tests and 16S rRNA gene sequences analysis. [Results] Thirteen strains were isolated based on the abilities of phosphate- and potassium-solubilizing, of which four strains

基金项目: 国家麻类产业技术体系项目(No. CARS-19-08B)

*通讯作者: Tel: 86-731-88998501; 信箱: ibfcwcy@139.com

收稿日期: 2014-07-15; 接受日期: 2014-09-05; 优先数字出版日期(www.cnki.net): 2014-09-16

(RA-2, RAM-2, RAM-5, and RAM-6) also exhibited plant growth promoting properties like siderophores, IAA and ammonia production. Seeds germination and pot experiments showed that four selected strains could promote growth of ramie, moreover, strain RA-2 and RAM-5 could significantly improve the germination rates, root lengths, plant heights, and root dry weights, both of isolates RA-2 and RAM-5 were identified as *Burkholderia* sp.. **[Conclusion]** PGPBs which were isolated from ramie rhizosphere will helpful for developing the specially PGPB microbial inoculants or bio-organic fertilizers of ramie.

Keywords: Plant growth-promoting bacteria, Ramie, Growth and development, *Burkholderia* sp.

苧麻(*Boehmeria nivea* L. Gaud)属于荨麻科苧麻属的多年生宿根性草本植物, 又称“中国草”, 是我国的特色经济作物, 其种植面积和纤维产量占世界的 90%以上^[1]。苧麻是人类最早利用的纤维之一, 是麻类纤维中性能优质的纤维原料, 被公认为“天然纤维之王”。为了提高苧麻产量, 麻农在生产过程大量使用化学肥料, 但该生产措施可造成环境污染、破坏土壤结构、土壤质量下降、加重麻农负担等一系列问题。随着人们环保意识的增强, 采用环境友好型的微生物菌剂及其生物有机肥改善植物生长的方法得到重视, 合理开发和利用有益微生物菌剂及微生物有机肥为苧麻种植的可持续发展提供重要途径。

植物促生菌(Plant growth promoting bacteria, PGPB)是指一类能自由生活于土壤中并可直接或间接有益于植物生长的微生物^[2-3]。植物促生菌能够活化土壤养分, 提高土壤养分资源的利用效率, 改善土壤微生物区系, 抑制土壤中有害病原菌等^[4-5]; 在一定程度上可替代农药、化肥等应用于农业生产, 减少化学产品对环境及人类健康造成危害, 实现农业的可持续发展。植物促生菌可以通过多种作用途径促进植物生长, 其中主要的促生机制包括: (1) 溶解矿质养分^[6-7], 共生固氮^[8]; (2) 产生调节植物生长的信号物质^[2], 如吲哚乙酸、细胞分裂素、赤霉素等^[9]; (3) 拮抗病原微生物^[10]。

目前, 国内外对植物促生菌的研究报道较多, 但绝大部分植物促生菌方面的研究主要集中于番茄、辣椒、黄瓜等蔬菜瓜果类和小麦、豆科等粮食作物^[2,11], 并已发现多个种属的土壤微生物具有促生潜能, 包括不动杆菌属(*Acinetobacter* spp.)、肠杆

菌属(*Enterobacter* spp.)、假单胞菌属(*Pseudomonas* spp.)、芽孢杆菌属(*Bacillus* spp.)、固氮菌属(*Azotobacter* spp.)、农杆菌属(*Agrobacterium* spp.)、埃文氏菌属(*Erwinia* spp.)、黄杆菌属(*Flavobacterium* spp.)、沙雷氏菌(*Serratia* spp.)等^[2,7]。然而, 植物促生菌对植物有一定的种属专一性和生境选择性。针对我国不同气候、生境中分离筛选植物促生菌株, 以生产适应不同地区和作物的生物菌剂及其生物有机肥是有必要的。另外, 对苧麻的研究主要集中于对其种质资源收集及改良、栽培技术改进、生物脱胶、麻纤维产品开发等方面, 苧麻促生菌方面的研究还较缺乏。

本研究拟通过对苧麻根围细菌筛选获得有促生效应的菌株, 并采用盆栽试验测定了其对苧麻的促生效果。以期初步了解苧麻根围功能微生物多样性, 为进一步开发苧麻促生菌剂及相关生物有机肥提供菌种资源, 并为植物-促生菌互作的深入研究打下前期基础。

1 材料与方法

1.1 植株根及其根围土壤样品、培养基

健康苧麻根及其根围土壤采集于中国农业科学院麻类研究所湖南长沙市望城区试验地, 置于冰盒, 立即带回实验室。

培养基: 牛肉膏蛋白胨培养基(NA)^[12]、King's B 培养基(KB)^[12]、NBRIP 培养基^[12]、硅酸盐培养基^[13]、CAS 培养基^[14]。

1.2 促生菌株筛选

1.2.1 促生菌株初筛: 取 10 g 苧麻根及其根围土加入到装有 90 mL 无菌水的三角瓶中(内装玻璃珠若

干), 30 °C、170 r/min 振荡培养 0.5 h, 梯度稀释后, 分别取 0.1 mL 土壤稀释液涂布于 NA、KB 平板上, 28±2 °C 培养 48 h, 挑取共 78 株形态各异的细菌, 编号保存, 供后续工作。

将获得的菌株分别点接至硅酸盐培养基、NBRIP 培养基, 通过透明圈试验, 筛选出具备解磷、解钾的菌株。复筛工作重复 2 次, 保留同时具备解磷和解钾的菌株。

1.2.2 促生特性测定: 产 IAA 能力测定: 将待测菌株在特定液体培养基中(添加 0.5 g/L L-色氨酸)生长 48 h, 取培养液 2 mL, 12 000×g 离心 10 min, 取上清, 每 1 mL 上清液中添加 2 mL Salkowski 试剂, 室温暗处静置 30 min 后, 于 530 nm 处测定密度值。以空白培养基作对照, 并以纯 IAA (Sigma)对光密度做标准曲线, 计算 IAA 产出量(mg/L)^[15]。

产铁载体(Siderophores)的能力检测: 将菌株点接至 CAS 平板上, 培养 72 h 后, 若菌落周边由青蓝色变为黄色或无色, 则表明菌株具备产铁载体的能力^[14]。

产 NH₃ 能力鉴定: 将菌株转接到蛋白胨氨化培养基中, 30 °C 培养 48 h 后。以不接种的蛋白胨氨化培养基作对照。在培养液中加入 3–5 滴纳氏试剂, 出现黄色或棕红色沉淀则表明菌株具备产 NH₃ 的能力。未接种的培养基加入纳氏试剂后无黄色或棕红色沉淀出现^[16]。

1.3 种子萌发试验

将菌株转接至 NA 无菌液体培养基中, 30 °C 条件下振荡培养 48 h, 将菌悬液稀释成浓度 10⁸ CFU/mL。种子消毒后, 置于培养皿用不同菌液湿润的滤纸上, 每皿放入 30 粒种子为一次重复, 每个处理 3 次重复, 对照用无菌水湿润滤纸, 然后将培养皿置于 26 °C 黑暗培养, 萌发过程中每 48 h 添加一次等量的无菌蒸馏水, 观察种子出芽的情况, 种子萌发以胚根伸出 1 mm 为标准, 第 7 天时统计发芽率, 每个重复中随机取 10 株幼苗测定胚

根长度。发芽率(%)=发芽的种子总数/供试的种子总数×100。

1.4 盆栽试验

供试土壤采集于中国农业科学院麻类研究所湖南长沙市望城区试验地的健康菜园土; 将菌株转接至 NA 无菌液体培养基中, 30 °C 条件下振荡培养 48 h, 4 000×g 离心 10 min 去除上清液, 无菌水重悬菌体备用。供试苎麻品种为中苎 2 号。

方盆长×宽×高为 67 cm×51 cm×37 cm, 选择长势基本一致的健康苎麻苗为供试苗, 每盆种植 8 株为一个重复, 每处理 3 个重复。待扦插苗生长 5 d 后, 采用灌根法进行接种促生菌, 无菌水灌根为对照(CK)。盆栽试验于中国农业科学院麻类研究所温室(温度为 20–32 °C, 相对湿度 58%–85%)进行。盆栽试验结束时, 测定株高、茎粗、皮厚、地上部干重、并将根挖出洗净烘干, 称量其干重。

1.5 菌株鉴定

根据菌落形态特征、生理生化特征和 16S rRNA 基因系列分析结果对菌株进行鉴定。菌体基因组 DNA 的提取按照常规方法进行。采用细菌 16S rRNA 基因通用引物 B27F (5'-AGAGTTTGATCC TGGCTCAG-3')和 U1492R (5'-GGTTACCTTGTTA CGACTT-3')扩增筛选菌株的 16S rRNA 基因片段。PCR 反应体系为: DNA 模板 1 μL, dNTPs mixture (2.5 mmol/L) 4 μL, 引物(1 mmol/L)各 1 μL, 10×Buffer 5 μL, MgCl₂ (25 mmol/L) 5 μL, Taq 酶 (5 U/μL) 0.5 μL, 补足超纯水(ddH₂O)至 50 μL。PCR 反应条件: 94 °C 4 min; 94 °C 30 s, 52 °C 30 s, 72 °C 1 min, 共 30 个循环; 72 °C 10 min。PCR 产物经试剂盒纯化后测序。将测序所得基因序列提交 GenBank 数据库, 用 BLAST 进行序列对比分析, 选取同源性高的相关序列采用 MEGA 4.1 软件进行比对分析, 用邻接法构建进化树^[17]。

1.6 数据处理

采用 Microsoft excel 2010 和 SPSS 17.0 统计软

件进行数据处理, 邓肯法进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 促生菌株的筛选

通过初筛获得 13 株具备溶磷和解钾能力的菌株, 通过进一步复筛, 其中 4 个菌株又具备产 IAA、铁载体、产氨的能力, 分别为 RA-2、RAM-2、RAM-5 和 RAM-6 (图 1-3)。因此, 该 4 株菌被选为供试菌株。

2.2 种子萌发试验

苎麻种子于 26 °C 暗处恒温培养 5 d 后测定其发芽率及根长, 研究结果显示 RA-2 和 RAM-5 能显著提高种子发芽率, 分别达到了 80.6%和 84.7%, 相比对照(CK)分别提高了 16.6%和 22.5%。接种菌株 RAM-2 和 RAM-6 同样能够促进苎麻种子萌发, 萌发率分别为 73.1%和 71.1%, 但相比 CK 处理没有达到显著差异($P < 0.05$, 图 4)。

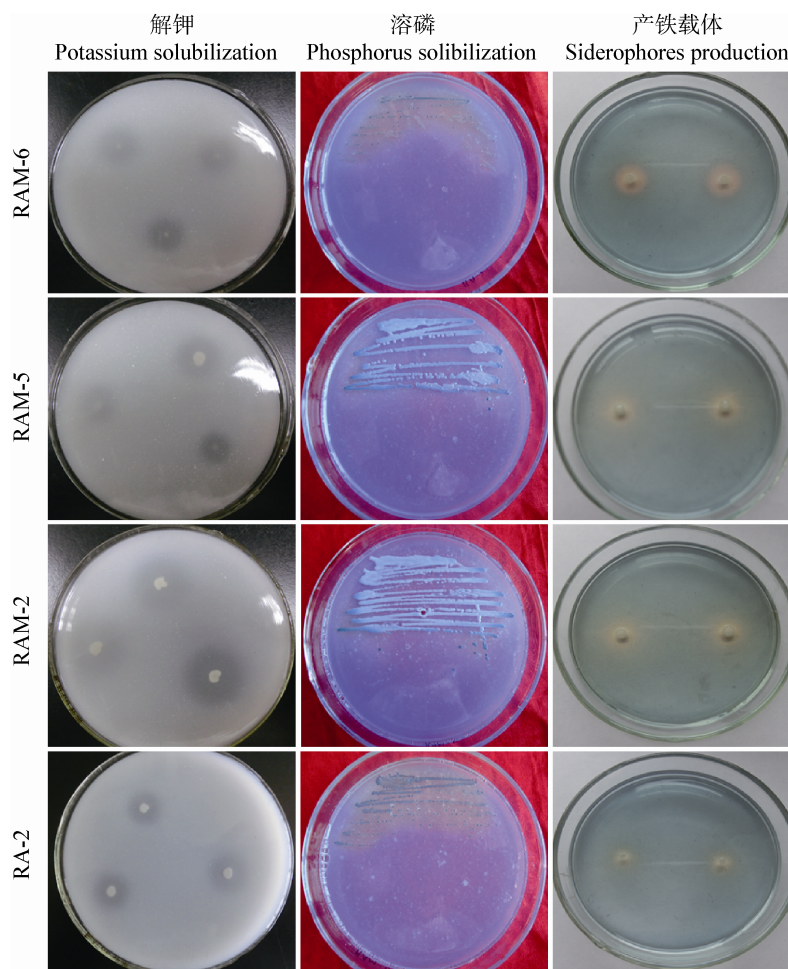


图 1 室内检测 4 株菌的促生特性

Figure 1 Tested promoting related characters of four selected strains *in vitro*

注: 菌株在硅酸盐培养基、NBRIP 培养基或 CAS 培养基上产生无色或黄色的透明圈则表示菌株具备解钾、溶磷或产铁载体的能力。

Note: Clear zones (colorless or yellow) around the strains which growth on the Silicates, NBRIP and CAS plates indicate the strains have the abilities of potassium solubilization, phosphorus solubilization or siderophores production.

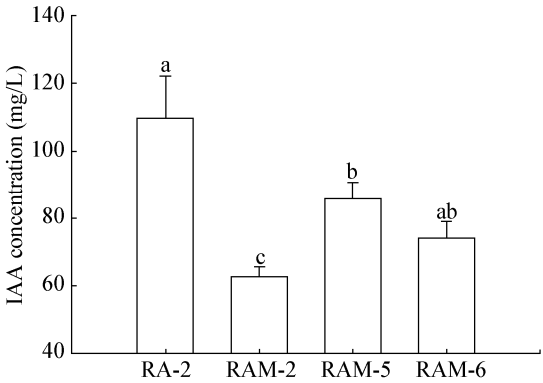


图 2 4 株菌的 IAA 产生量

Figure 2 IAA production of four selected strains

注: 图中数值表示平均 IAA 产生量±标准偏差, 不同的字母代表不同的显著性差异(Duncan-test, $P<0.05$).

Note: The IAA production data of four strains are the means of three replicates in each treatment and are expressed as the mean ± standard deviation. Values with a different letter are significantly different ($P<0.05$) according to Duncan's test.

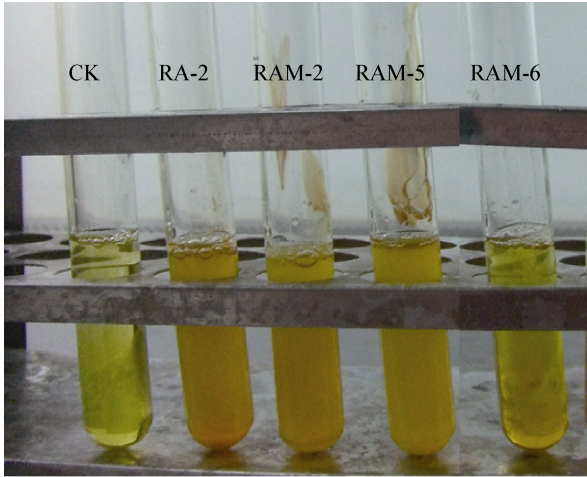


图 3 4 株菌的产氨能力检测

Figure 3 NH_3 produced by four selected strains

注: 培养液中加入纳氏试剂, 出现黄色或棕红色沉淀则表明菌株具备产 NH_3 的能力。

Note: Yellow or brown-red precipitated appeared in the culture indicated that the selected strains able to produce NH_3 with adding Nessler reagent.

分别接种了 4 株促生菌的苎麻种子其幼根长相比 CK 处理都要长, 其中 RA-2 和 RAM-5 处理的苎麻幼根长分别为 1.9 cm 和 2.1 cm, 相比 CK 处理分别提高了 36.2%和 44.8% (图 4)。

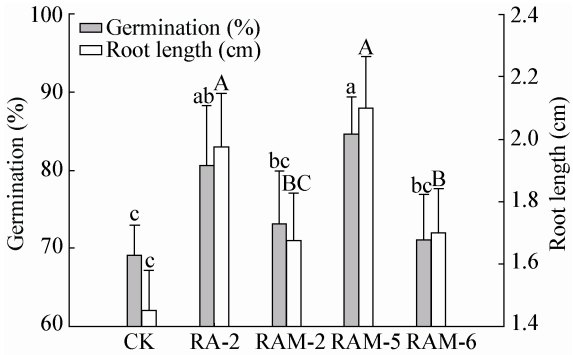


图 4 4 株菌对苎麻种子的萌发率及根长的影响

Figure 4 Effects of four strains on the germination and root elongation of ramie seeds

注: 图中数值表示平均萌发率(根长)±标准偏差, 不同的字母代表不同的显著性差异(Duncan-test, $P<0.05$).

Note: The data of germination or root length of ramie seeds are the means of three replicates in each treatment and are expressed as the mean ± standard deviation. Values with a different letter are significantly different ($P<0.05$) according to Duncan's test.

2.3 盆栽试验

通过盆栽试验验证 4 株促生菌对苎麻的促生作用, 研究结果显示所选的 4 株促生菌均能促进苎麻生长(表 1)。其中 RA-2、RAM-5、RAM-6 能显著提高苎麻株高, 分别达到了 91.50、104.28 和 90.78 cm, 相比 CK 处理分别提高了 21.1%、32.6%和 15.5%; 另外, RA-2 还显著提高苎麻茎粗与皮厚。菌株 RA-2 处理后的苎麻苗相比对照处理能显著提高苎麻地上部与根部干重, RAM-5 也能显著提高苎麻根部干重(表 1)。

2.4 菌株鉴定

盆栽试验结果表明菌株 RA-2 和 RAM-5 对苎麻有较好的促生效果, 被选为后续工作研究菌株。菌株 RA-2 在 NA 培养基上培养 48 h 后, 菌落呈圆形, 淡黄色, 表面湿润, 边缘整齐, 不透明, 不产生荧光。革兰氏染色阴性, 不产芽孢, 氧化酶阳性, 淀粉水解阴性, V. P.反应阴性, 甲基红试验阴性, 可发酵麦芽糖、鼠李糖、木糖、阿拉伯糖, 发酵葡萄糖产酸, 明胶水解阳性, 可利用柠檬酸盐和丙二酸, 不产 H_2S 。

表 1 4 株菌对苧麻的促生效果
Table 1 Effects of four strains inoculation on ramie growth

处理	株高	茎粗	皮厚	地上部干重	根重
Treatments	Stem length (cm)	Stem diameter (mm)	Bark thickness (mm)	Dry weight of shoot (g)	Dry weight of root (g)
CK	78.58±9.21 c	4.68±1.09 b	0.20±0.09 b	1.44±0.30 c	6.47±0.40 b
RA-2	91.50±8.14 b	6.52±0.90 a	0.36±0.07 a	2.35±0.32 a	8.12±1.19 a
RAM-2	87.37±9.53 bc	5.91±0.95 ab	0.30±0.07 ab	2.25±0.29 ab	7.22±0.31 b
RAM-5	104.28±5.94 a	5.99±1.76 ab	0.29±0.11 ab	2.12±0.27 ab	8.22±0.76 a
RAM-6	90.78±7.33 b	5.45±0.66 ab	0.27±0.07 ab	1.85±0.60 bc	6.85±0.75 b

注：表中数值表示苧麻生物量的平均值±标准偏差，同列中不同的字母代表不同的显著性差异(Duncan-test, $P<0.05$).
Note: The biomass data of the ramie plants are the means of three replicates in each treatment and are expressed as the mean ± standard deviation. Values with a different letter within the same column are significantly different ($P<0.05$) according to Duncan's test.

菌株 RAM-5 在 NA 培养基上培养 48 h 后。菌落呈圆形，淡黄色，表面湿润，边缘整齐，不透明，不产荧光。革兰氏染色阴性，不产芽孢，氧化酶阴性，淀粉水解阴性，V. P.反应阴性，甲基红试验阴性，可发酵鼠李糖、木糖、阿拉伯糖，发酵葡萄糖产酸，明胶水解阳性，可利用柠檬酸盐和丙二酸，产 H₂S。

为进一步确定菌株的分类学地位，以 RA-2 和 RAM-5 基因组 DNA 为模板，利用细菌 16S rRNA 基因通用引物进行 PCR 扩增，成果扩增出长约 1.4 kb 的 DNA 片段，扩增片段经测序后提交 GenBank 注册，获得登录号分别为 KJ438356 和 KJ438358。16S rRNA 基因序列分析表明菌株 RA-2、RAM-5 均与伯克霍德菌属(*Burkholderia*)菌株的一

致性在 99%以上，其中 RA-2 与 *Burkholderia metallica* JN73 一致性为 100%；RAM-5 则与 *Burkholderia diffusa* SPP-15 一致性为 100% (图 5)。因此初步鉴定 RA-2、RAM-5 均为伯克霍尔德氏菌。

3 讨论

本研究初次从健康苧麻根围中，采用稀释涂布法，并结合溶磷、解钾平板试验，筛选出 13 株具备溶磷和解钾能力的菌株。磷、钾是促进作物生长和提高农业产量不可缺少的营养元素，具备溶磷、解钾功能的微生物可以将土壤中的固定态磷、钾素释放供植物吸收，促进作物生长和提高产量。如方华舟等^[18]从稻田土壤中筛选获得 6 株解钾菌株，并验证了菌株对水稻的促生能力；研究结果显示接种了解钾菌能促进水稻生长，并提高了土壤中可溶性

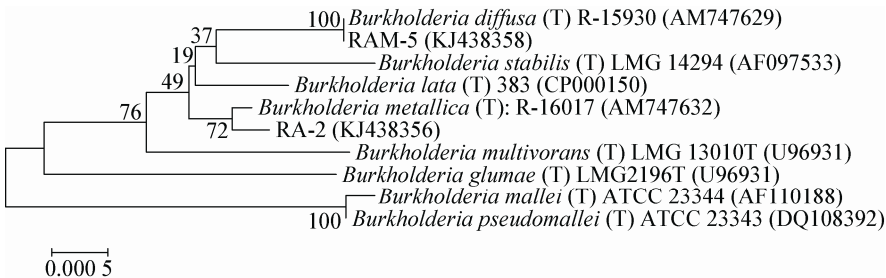


图 5 基于 16S rRNA 基因序列构建的菌株 RA-2 和 RAM-5 系统发育树
Figure 5 Phylogenetic trees based on 16S rRNA gene sequences of strains RA-2 and RAM-5

钾的含量。研究同样证明施用含解磷青霉菌的壮秧剂能显著提高水稻秧苗的生物量,并提高了地上部磷含量和磷吸收量^[19]。以往报道表明,细菌可以通过直接或间接的方式促进植物生长如产氨、铁载体、生长素、抗生素等^[2-3]。如吲哚乙酸(IAA)已经被研究证明能够促进植物的生长并提高植物的抗逆能力^[20-21]。Cattelan 等^[22]研究发现接种产 IAA 的促生菌可以促进大豆地上部及根系的生长。Goswami 等^[23]从盐渍地中筛选得到一株新的产 IAA 的菌株 *Kocuria turfanensis* 2M4,室内试验检测其 IAA 产量为 38 mg/L;盆栽试验表明该菌株能显著促进花生生长。另外,铁载体也是促进植物生长的一个因素,研究证明 PGPB 产生的铁载体可通过与土壤病原微生物竞争有限的铁素营养,抑制病原微生物的生长,间接促进植物生长^[24];同时植物可利用微生物螯合的铁素,改善植物的铁营养^[25]。氨作为重要的提供氮素的原料,其被证实是微生物产氨能够促进植物生长的重要因子之一^[26]。本研究中,我们在获得具备溶磷和解钾双重功能菌株的基础上,进一步通过多重促生特性相关试验,筛选出 4 株具备产 IAA、产铁载体和产氨能力的菌株,分别为菌株 RA-2、RAM-2、RAM-5、RAM-6。这与其他人的研究结果相一致,如康贻军等^[27]通过体外抑菌、产氨、产 IAA、产 HCN、产铁载体、解磷、解钾等促生能力的检测,从江苏扬州、盐城等地土壤样品中筛选出 14 株植物促生菌。张越己等^[28]则通过 1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)脱氨酶为主要促生指标从麻疯树根围土壤中分离得到促生菌,并检测了菌株产 IAA、固氮、解磷及铁载体等促生指标的能力。

植物促生菌促生效应的研究中,促生菌株的实际应用效果是检验其能否发挥促生作用的重要指标。如邓振山等^[29]研究发现接种了促生菌株能促进玉米的生长,在株高、根长、茎长、茎平均直径和干重方面分别增加了 30.14%、81.10%、24.32%、67.69%和 33.33%。Paungfoo-Lonhienne 等^[30]的测定

结果在甘蔗根和茎生物量方面分别增加了 406%和 140%。本研究采用种子萌发和盆栽试验对筛选获得的 4 个菌株进行促生效应的检验,结果显示 4 个菌株均能促进苎麻的生长,其中菌株 RA-2 和 RAM-5 能显著提高苎麻的发芽率、根长、茎高、皮厚、地下部干重。

经常规生理生化及 16S rRNA 基因分子鉴定,初步鉴定 RA-2 和 RAM-5 均为伯克霍尔德氏菌。从 20 世纪 80 年代起,伯克霍尔德氏菌的一些菌株作为人体条件致病菌被广泛报道,该类菌可以引起多种人体病害,也是医院感染的重要病原菌之一^[31-32]。但与此同时,研究者又发现有些菌株可降解农药、除草剂、防控植物病虫害和促进植物生长,可在农业生产中扮演重要角色^[2,33-34]。如牟志美等^[35]从健康桑树叶片中分离到一株内生拮抗细菌 *Burkholderia cepacia* Lu10-1,该菌对多种植物病原菌具有拮抗作用,抑菌谱较广,另外该菌能定殖于桑树植株内部,可为其发挥抗病作用提供保证。汪茜等^[36]则首次从柑橘根围土壤中筛选一株细菌 *Burkholderia vietnamiensis* T32,该菌对柑橘炭疽病具有较好的防控效果。Jiang 等^[37]从重金属污染的土壤中筛选获得一株能促进作物生长且促进作物对重金属铅和镉的富集的伯克霍尔德氏菌 *Burkholderia* sp. J62,该菌株具备溶磷、产铁载体和 IAA 等促生特性。另外,菌株 *Burkholderia* sp. PsJN 被证明能定殖于葡萄植株内不同部位,显著促进葡萄生长,并提高葡萄的耐寒能力^[38-39]。由此可见,不同的伯克霍尔德氏菌对多种植物都具有一定的促生效果,并增强植物抗逆能力。虽然伯克霍尔德氏菌已被报道能促进多种植物生长,但还未见有报道其对苎麻具有促生作用,本研究初次从苎麻根围筛选得到伯克霍尔德氏菌株 RA-2 和 RAM-5 能显著促进苎麻的生长。但本研究仅仅对从苎麻根围筛选得到的促生菌株的基本促生效应进行了初步探讨,至于菌株 RA-2 和 RAM-5 对苎麻的内在促生机制还有待进一步深入研究探讨。

综上所述,本研究针对苧麻根围土壤中的微生物资源进行初步探索,并初次从苧麻根围土壤中筛选获得了4株促生菌,这为开发苧麻专型促生菌剂或微生物有机肥提供资源,也为进一步开发苧麻根围有益微生物菌群资源提供依据。

参考文献

- [1] Ouyang XR, Tang SW. Review of technique of high-yield and efficient cultivation and multipurpose utilization of ramie[J]. Plant Fiber Sciences in China, 2008, 2: 84-88 (in Chinese)
欧阳西荣, 唐守伟. 苧麻高产高效栽培与综合利用技术综述[J]. 中国麻业科学, 2008, 2: 84-88
- [2] Hayat R, Ali S, Amara U, et al. Soil beneficial bacteria and their role in plant growth promotion: a review[J]. Annals of Microbiology, 2010, 60(4): 579-598
- [3] Compant S, Clément C, Sessitsch A. Plant growth-promoting bacteria in the rhizo- and endosphere of plants: their role, colonization, mechanisms involved and prospects for utilization[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2010, 42(5): 669-678
- [4] Kang YJ, Cheng J, Mei LJ, et al. Action mechanisms of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): a review[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 1(1): 232-238 (in Chinese)
康貽军, 程洁, 梅丽娟, 等. 植物根际促生菌作用机制研究进展[J]. 应用生态学报, 2010, 1(1): 232-238
- [5] Tan SY, Jiang Y, Song S, et al. Two *Bacillus amyloliquefaciens* strains isolated using the competitive tomato root enrichment method and their effects on suppressing *Ralstonia solanacearum* and promoting tomato plant growth[J]. Crop Protection, 2013, 43: 134-140
- [6] Parmar P, Sindhu SS. Potassium solubilization by rhizosphere bacteria: influence of nutritional and environmental conditions[J]. Journal of Microbiology Research, 2013, 3(1): 25-31
- [7] Lugtenberg B, Kamilova F. Plant-growth-promoting rhizobacteria[J]. Annual Review of Microbiology, 2009, 63: 541-556
- [8] James EK, Baldani JJ. The role of biological nitrogen fixation by non-legumes in the sustainable production of food and biofuels[J]. Plant and Soil, 2012, 356(1/2): 1-3
- [9] Kang S, Khan A, You Y, et al. Gibberellin production by newly isolated strain of *Leifsonia soli* SE134 and its potential for plant growth promotion[J]. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2014, 24(1): 106-112
- [10] Avis TJ, Gravel V, Antoun H, et al. Multifaceted beneficial effects of rhizosphere microorganisms on plant health and productivity[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40(7): 1733-1740
- [11] Bhattacharyya PN, Jha DK. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture[J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2012, 28(4): 1327-1350
- [12] Nautiyal CS. An efficient microbiological growth medium for screening phosphate solubilizing microorganisms[J]. FEMS Microbiology Letters, 1999, 170(1): 265-270
- [13] Yi LB, Peng QZ, He QZ, et al. Isolation and identification of potash feldspar-solubilizing bacteria and their potassium releasing activities[J]. Chinese Journal of Microecology, 2012, 24(9): 773-776, 785 (in Chinese)
易浪波, 彭清忠, 何齐庄, 等. 高效钾长石分解菌株的筛选、鉴定及解钾活性研究[J]. 中国微生态学杂志, 2012, 24(9): 773-776, 785
- [14] Schwyn B, Neilands JB. Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores[J]. Analytical Biochemistry, 1987, 160(1): 47-56
- [15] Glickmann E, Dessaux Y. A critical examination of the specificity of the salkowski reagent for indolic compounds produced by phytopathogenic bacteria[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1995, 61(2): 793-796
- [16] Cappuccino JC, Sherman N. Microbiology: A Laboratory Manual[M]. 3rd Edition. New York: Benjamin/cummings Pub. Co., 1992: 125-179
- [17] Saitou N, Nei M. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees[J]. Molecular Biology and Evolution, 1987, 4(4): 406-425
- [18] Fang HZ, Zou XZ. Isolation and application of N-fixing, P-releasing and K-releasing bacteria from rice paddy[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2014(2): 82-87 (in Chinese)
方华舟, 左雪枝. 稻田固氮解磷解钾菌筛选及其复合菌剂对土壤培肥作用[J]. 中国土壤与肥料, 2014(2): 82-87
- [19] Zhang YL, Wang WP, Yan Y, et al. Using sturdy-seedling agent which inoculates fungi of dissolving phosphorus to the influence of rice seedling growth characteristic and phosphorus absorption[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2008, 1: 69-72 (in Chinese)
张彦丽, 王伟鹏, 闫琰, 等. 施用接种解磷真菌的壮秧剂对水稻秧苗生长特性及磷素吸收的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008, 1: 69-72
- [20] Ali B, Sabri AN, Ljung K, et al. Auxin production by plant associated bacteria: impact on endogenous IAA content and growth of *Triticum aestivum* L.[J]. Letters in Applied Microbiology, 2009, 48(5): 542-547
- [21] Ryu RJ, Patten CL. Aromatic amino acid-dependent expression of indole-3-pyruvate decarboxylase is regulated by TyrR in *Enterobacter cloacae* UW5[J]. Journal of Bacteriology, 2008, 190(21): 7200-7208
- [22] Cattelan A, Hartel P, Fuhrmann J. Screening for plant growth-promoting rhizobacteria to promote early soybean growth[J]. Soil Science Society of America Journal, 1999, 63(6): 1670-1680
- [23] Goswami D, Pithwa S, Dhandhukia P, et al. Delineating *Kocuria turfanensis* 2M4 as a credible PGPR: a novel IAA producing bacteria isolated from saline desert[J]. Journal of Plant Interactions, 2014, 9(1): 566-576
- [24] Kloepper JW, Leong J, Teintze M, et al. Enhanced plant growth by siderophores produced by plant growth-promoting rhizobacteria[J]. Nature, 1998, 286: 885-886
- [25] Siebner-Freibach H, Hadar Y, Chen Y. Siderophores sorbed on Ca-montmorillonite as an iron source for plants[J]. Plant and Soil, 2003, 251(1): 115-124
- [26] Kumar V, Singh KP. Enriching vermicompost by nitrogen fixing and phosphate solubilizing bacteria[J]. Bioresource Technology, 2001, 76(2): 173-175
- [27] Kang YJ, Cheng J, Mei LJ, et al. Screening and identification of plant growth-promoting rhizobacteria[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2010, 50(7): 853-861 (in Chinese)
康貽军, 程洁, 梅丽娟, 等. 植物根际促生菌的筛选及鉴定[J]. 微生物学报, 2010, 50(7): 853-861
- [28] Zhang YJ, Qin S, Yi GK, et al. Isolation, screening and phylogenetic analysis of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) containing ACC deaminase from *Jatropha curcas* L.[J]. Microbiology China, 2012, 7(39): 901-911 (in Chinese)

- 张越己, 秦盛, 卞光凯, 等. 具有 ACC 脱氨酶活性的麻疯树根际促生菌(PGPR)的分离筛选及系统发育分析[J]. 微生物学通报, 2012, 7(39): 901-911
- [29] Deng ZS, Dang JL, Zhang HZ, et al. Screening of plant growth-promoting rhizobacteria and their promoting effects on maize[J]. Microbiology China, 2012, 7(39): 980-988 (in Chinese)
- 邓振山, 党军龙, 张海州, 等. 植物根际促生菌的筛选及其对玉米的促生效应[J]. 微生物学通报, 2012, 7(39): 980-988
- [30] Paungfoo-Lonhienne C, Lonhienne TG, Yeoh YK, et al. A new species of *Burkholderia* isolated from sugarcane roots promotes plant growth[J]. Microbial Biotechnology, 2014, 7(2): 142-154
- [31] Govan J, Hughes JE, Vandamme P. *Burkholderia cepacia*: medical, taxonomic and ecological issues[J]. Journal of Medical Microbiology, 1996, 45(6): 395-407
- [32] Holmes A, Govan J, Goldstein R. Agricultural use of *Burkholderia* (*Pseudomonas*) *cepacia*: a threat to human health?[J]. Emerging Infectious Diseases, 1998, 4(2): 221-227
- [33] Chiarini L, Bevivino A, Dalmastrì C, et al. *Burkholderia cepacia* complex species: health hazards and biotechnological potential[J]. Trends in Microbiology, 2006, 14(6): 277-286
- [34] Mahenthiralingam E, Urban TA, Goldberg JB. The multifarious, multireplicon *Burkholderia cepacia* complex[J]. Nature Reviews Microbiology, 2005, 3(2): 144-156
- [35] Mou ZM, Lu GB, Yi XL, et al. Identification and colonization of an antagonistic endophytic *Burkholderia cepacia* Lu10-1 isolated from mulberry[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2008, 7(39): 623-630 (in Chinese)
- 牟志美, 路国兵, 冀宪领, 等. 桑树内生拮抗细菌 *Burkholderia cepacia* Lu10-1的分离鉴定及其内生定殖[J]. 微生物学报, 2008, 7(39): 623-630
- [36] Wang X, Hu CJ, Ke FG, et al. Identification of bio-control strain T132 and its effect on controlling postharvest citrus anthracnose[J]. Microbiology China, 2012, 39(9): 1260-1271 (in Chinese)
- 汪茜, 胡春锦, 柯仿钢, 等. 生防细菌 T132的鉴定及其对采后柑橘炭疽病的抑制效果[J]. 微生物学通报, 2012, 39(9): 1260-1271
- [37] Jiang CY, Sheng XF, Qian M, et al. Isolation and characterization of a heavy metal-resistant *Burkholderia* sp. from heavy metal-contaminated paddy field soil and its potential in promoting plant growth and heavy metal accumulation in metal-polluted soil[J]. Chemosphere, 2008, 72(2): 157-164
- [38] Barka EA, Nowak J, Clément C. Enhancement of chilling resistance of inoculated grapevine plantlets with a plant growth-promoting rhizobacterium, *Burkholderia phytofirmans* strain PsJN[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2006, 72(11): 7246-7252
- [39] Compant S, Reiter B, Sessitsch A, et al. Endophytic colonization of *Vitis vinifera* L. by plant growth-promoting bacterium *Burkholderia* sp. strain PsJN[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2005, 71(4): 1685-1693

征订启事

欢迎订阅《微生物学通报》

《微生物学通报》创刊于1974年,是中国科学院微生物研究所和中国微生物学会主办,国内外公开发行,以微生物学应用基础研究及技术创新与应用为主的综合性学术期刊。刊登内容包括:基础微生物学研究,农业微生物学研究,工业微生物学研究,医学微生物学研究,食品微生物学研究,环境微生物学研究,微生物功能基因组研究,微生物蛋白组学研究,微生物模式菌株研究,微生物工程与药物研究,微生物技术成果产业化及微生物教学研究改革等。

本刊为中国自然科学核心期刊。曾获国家优秀科技期刊三等奖,中国科学院优秀科技期刊三等奖,北京优秀科技期刊奖,被选入新闻出版总署设立的“中国期刊方阵”并被列为“双效”期刊。

自2008年本刊已经全新改版,由双月刊改为月刊,发表周期缩短,内容更加丰富详实。欢迎广大读者到邮局订阅或直接与本刊编辑部联系购买,2015年每册定价58元,全年696元,我们将免邮费寄刊。

邮购地址:(100101)北京朝阳区北辰西路1号院3号中国科学院微生物研究所《微生物学通报》编辑部

Tel: 010-64807511; E-mail: bjb@im.ac.cn, tongbao@im.ac.cn

网址: <http://journals.im.ac.cn/wswxtbcn>

国内邮发代号: 2-817; 国外发行代号: M413