

植物根际促生菌的筛选及其对玉米的促生效应

邓振山^{1*} 党军龙¹ 张海州² 李军³ 韦革宏⁴

(1. 延安大学 生命科学学院 陕西 延安 716000)

(2. 陕西省延长油田生物工程有限公司 陕西 安塞 717400)

(3. 延安市微生物研究所 陕西 延安 716000)

(4. 西北农林科技大学 生命科学学院 陕西 杨凌 712100)

摘 要:【目的】以不同植物根及根际土壤为研究材料,进行植物根际促生菌(PGPR)的筛选,并探索其植物促生作用机制。【方法】以解磷、固氮、产氨、产 IAA 和拮抗 3 种常见病原真菌为筛选标准,测定了初筛菌株的多项促生能力,并通过对这些菌分别单独回接和多菌混接的玉米盆栽试验,测定了其对于玉米的促生效应。【结果】从渭南、咸阳、安康、商洛和榆林 5 地分离得到的 158 株菌中有 17 株菌具有上述多种植物促生作用的菌株。盆栽试验的测定结果表明:单独接种和多菌混合接种在玉米株高、根长、茎长、茎平均直径和干重方面与对照组相比较都有所增加,尤其是在多个指标上,多菌混合接种所显示出的促生效应均明显优于单菌接种。【结论】所筛选到的具有多种促生能力的菌株,可以为进一步构建植物根际促生菌(PGPR)菌群提供良好的种质资源。

关键词: 植物根际促生菌, 玉米, 促生效应, 盆栽试验

Screening of plant growth-promoting rhizobacteria and their promoting effects on maize

DENG Zhen-Shan^{1*} DANG Jun-Long¹ ZHANG Hai-Zhou² LI Jun³ WEI Ge-Hong⁴

(1. College of Life Science, Yan'an University, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

(2. Bioengineering Co., LTD. of Yanchang Oilfield, Ansai, Shaanxi 717400, China)

(3. Yan'an Institute of Microbiology, Yan'an, Shaanxi 716000, China)

(4. College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

基金项目: 陕西省科技统筹创新工程项目(No. 2012KTCG02-02)

*通讯作者: Tel: 86-911-2331619; 信箱: zhenshandeng214@yahoo.com.cn

收稿日期: 2011-11-04; 接受日期: 2012-02-27

Abstract: [Objective] We used different root and rhizosphere soils in Weinan, Xianyang, Ankang, Shangluo and Yulin, Shaanxi province of China to isolate plant growth promoting rhizobacteria (PGPR), and then studied the mechanism why they can promote the growth of plants. **[Methods]** Preliminary screening of PGPRs under the premises of PGPR may having the abilities of phosphate solubilization, N_2 -fixing, production of NH_3 and indoleacetic acid (IAA) and antagonistic activity against three common pathogenic fungi. After that, multiple plant growth promoting activities were detected, maize growth enhancement by plant inoculation studies with these isolates alone individually and the mixture of each isolates under pot experiment conditions. **[Results]** In total of 158 strains were isolated. 17 of which have mechanisms and a striking plant growth promoting activity with respect to various plant parameters. Under pot culture conditions, compared with the control, the results showed that the strain which inoculated in combination was significant increase than inoculated alone, which in shoot length, root length, stem length, average diameter of stem and plant dry weight, respectively. **[Conclusion]** Isolates with multiple PGP activities can also be rhizospheric competent, providing promising isolates for PGPRs combination to resolve the challenges in field application of PGPR.

Keywords: Plant growth-promoting rhizobacteria, Maize, Promoting effects, Pot experiment

粮食生产是人类生存中至关重要的大事,而粮食危机是人类社会正面临的五大危机之一^[1]。因此,如何解决这一迫在眉睫的危机就显得尤为重要了。为了满足农作物生存、生产所需的氮、磷等营养元素,工业化肥一直被认为是实现这一目的的主要途径。然而,随着化肥使用量的不断增大,其负面影响日益明显,如成本高、对非再生能源消耗大,污染空气、土壤及水质、危害农牧业等食品安全、破坏土壤结构及微生物区系及多样性等^[2]。

植物根际促生菌(Plant growth-promoting rhizobacteria, PGPR)指生存于植物根际、根表,并能直接或间接地促进或调节植物生长的微生物^[3]。由于植物根系可分泌大量的糖类、氨基酸、激素和维生素,所以根际/根表中的细菌数总是高于土壤中缺乏根系区域的细菌数,常常要高许多倍^[4]。这就为我们利用这些根际促生菌来提高农作物产量,进而解决粮食危机提供了丰富的微生物种质资源,同时也为研究 PGPR 的促生机制提

供了大量的实验材料。过去的几十年间,报道了大量的该类菌,包括假单胞菌属(*Pseudomonas*)、固氮螺菌属(*Azospirillum*)、固氮菌属(*Azotobacter*)、克雷伯氏菌属(*Klebsiella*)、肠杆菌属(*Enterobacter*)、产碱菌属(*Alcaligenes*)、节杆菌属(*Arthobacter*)、布克霍尔德里氏菌(*Burkholderia*)和沙雷氏菌属(*Serratia*)等^[5]。由于微生物代谢的多样性,PGPR 对植物的促生作用也是通过多种机制和途径来实现的,主要包括: (1) 产生调节植物生长的信号物质,如吲哚乙酸、赤霉素、细胞分裂素和乙烯; (2) 非共生固氮; (3) 抵抗病原菌; (4) 溶解磷矿物及其他养分; (5) 产生铁载体; (6) 产生 ACC 脱氨酶^[5]。PGPR 在提高作物固氮能力、改善土壤环境、调节植物生长、促进植物抗病抗逆能力、改善作物品质提高产量等各方面有重要的意义^[6]。

然而,虽然从实验室所获得的菌株在理论上有一定的促生效果,但是一旦进行具体的盆栽试验或者田间试验,由于种种原因,结果并不一定很理想,而且关于对植物根际促生菌(PGPR)的多

种菌混合接种植物体的盆栽试验及其促生效应至今研究不多。为了探索其植物促生作用机制,本试验通过使用多种不同配方的培养基从小麦、油菜和一些大棚蔬菜幼苗的根际、根表以及其根内筛选获得有促生效应的菌株,并采用盆栽试验测定了其单菌接种和混合菌接种对玉米的促生效应的差异,为进一步构建植物根际促生菌(PGPR)菌群提供良好的种质资源。

1 材料与方 法

1.1 材 料

1.1.1 植物根、根际土壤样品来源及前期处理:植物样品为渭南、咸阳和安康所采集的小麦幼苗,商洛的油菜以及榆林的大棚番茄幼苗。植物幼苗连其根周围的土一同挖出,于4℃冰箱保存。取植物根部,用无菌 ddH₂O 冲洗后切成小段,各称取约1g根段加入100mL无菌 ddH₂O,180 r/min 混合0.5h,梯度稀释后,分别取0.5mL菌液涂布于3种筛选培养基: PDA 培养基、King's B 培养基^[7]和 NA (Nutrient agar)培养基;另取用无菌 ddH₂O 清洗过的根在上述3种培养基表面滚动以获得根表微生物;将植物根部进行表面消毒后,截成约1cm的小段,置于上述3种培养基中,并以消毒过的根段在平板上滚动后作为对照。所有平板于28℃±2℃培养72h,经划线分离纯化后挑取形态不同的菌落,分别编号,保藏,供试。

1.1.2 植物种子及指示病原菌:玉米种子为丰产1号;指示病原菌为小麦禾谷镰孢菌(*Fusarium graminearum*, 引发小麦赤霉病)、新月弯孢菌(*Curvularia lunata*, 引发玉米弯孢叶斑病)和大斑凸脐蠕孢菌(*Exserohilum turcicum*, 引发玉米大斑病)均由西北农林科技大学植物保护学院鉴定并惠赠。

1.1.3 盆栽试验土壤来源及处理:盆栽试验的土壤采自延安大学晨曦园,采用五点采样法将土采

集后用孔径为5mm的筛子筛选。处理后的土壤与细沙按照土:沙(W/W)=2:1的比例混合均匀后装入直径为12cm的塑料盆中备用,每盆约装土1.5kg。

1.1.4 主要培养基:(1) King's B 培养基见参考文献[7];(2) 产 IAA 培养基见参考文献[8];(3) Pikovskaya's 培养基见参考文献[9];(4) 改良 PKO 培养基是在 Pikovskaya's 培养基的其它成分不变的基础上每升加溴甲酚紫 0.1g 和琼脂粉 15~20g;(5) Ashby 培养基见参考文献[10]。

1.2 方 法

1.2.1 表面消毒的方法及步骤:(1) 植物样品的表面消毒。截取植物样品的根段清洗干净后用吸水纸吸干,先用75%的乙醇浸泡2~3min,无菌 ddH₂O 冲洗3次后,再浸入0.1%的 HgCl₂ 溶液中3~7min,立即用无菌 ddH₂O 冲洗10次以上^[11],晾干后截成约1cm小段,置于 PDA、King's B 和 NA (Nutrient agar) 3种培养基中,以晾干后的根段在平板上滚动为对照。

(2) 玉米种子的表面消毒。玉米种子用无菌 ddH₂O 反复清洗后晾干,浸泡于0.1%的 HgCl₂ 溶液中10min^[11],立即用无菌 ddH₂O 冲洗10次以上晾干,并检查消毒是否彻底。

1.2.2 PGPR 菌株植物促生能力的测定:(1) 解磷能力测定。将待测菌株点接到改良 PKO 固体培养基上,28℃±2℃培养72h,根据溶磷圈直径与菌落直径的比值(HD/CD)大小初步确定该菌溶磷能力的强弱^[9]。另将待测菌株活化后,4200 r/min 离心15min,弃去上清液,菌体悬浮于无菌生理盐水(NSS)中,混匀,接入 Pikovskaya's 培养基中,以不接菌的为空白对照,28℃±2℃、180 r/min 振荡培养,每24h取其上清液,用磷钼蓝比色法测定培养液中可溶性磷的含量,连续测7d,并测定对应的pH值^[12-13]。

(2) 固氮能力和 NH₃ 产生能力测定。将待测

菌株接入 Ashby 液体培养基中培养 72 h, 620 nm 处测其 OD 值。比较 OD 值的大小, 初步确定各菌株固氮能力的大小。另将待测菌株接入盛有蛋白胨水(10 g/L)培养液的试管中, 28 °C±2 °C 静置培养 72 h, 每个试管中加入 0.5 mL Nessler's 试剂, 出现黄褐色沉淀的为产 NH₃ 阳性反应^[14]。

(3) IAA 产生能力测定。将待测菌株划线到 King's B 培养基上, 28 °C±2 °C 培养 72 h 后, 每个平板滴加 1 mL 的 Salkowski 试剂(每升 10.8 mol/L H₂SO₄ 含 4.5 g 的 FeCl₃), 室温暗处显色 1 h 后, 根据显色的深浅初步判断产 IAA 含量的多少。另将各菌株在 IAA 培养基中培养 5 d, 取 2 mL 培养液, 10 000 r/min 离心 15 min, 每 1 mL 上清液加 0.5 mL Salkowski 试剂, 室温暗处显色 1 h 后^[15], 于 530 nm 处测 OD 值。以空白培养基作对照, 并以标品 IAA (上海蓝季科技发展有限公司)对应的光密度做标准曲线, 计算 IAA 的产量(mg/L)。

(4) 抑菌能力测定。将小麦禾谷镰孢菌、新月弯孢菌和大斑凸脐蠕孢分别接种于 PDA 培养基中央, 挑取活化的待测菌在 PDA 平板两侧沿一直线对称划线接种, 与相应病原菌相距约 3.0 cm, 每个处理 3 个重复^[11]。以只接病原菌为对照, 28 °C±2 °C 培养。待对照组菌落铺满整个平板后, 分别测量对照组和处理组的菌落直径, 并计算抑制率。

抑制率(%)=(对照组菌落直径-处理组菌落直径)/对照组菌落直径×100%

1.2.3 盆栽试验: 玉米种子表面消毒后, 45 °C 恒温水浴 4 h。将处理后的种子包裹在无菌纱布中, 每天喷洒 3 次无菌水, 室温条件下催芽 3 d。已发芽的种子浸泡到各待测菌的菌悬液中 24 h, 浸泡后的玉米种子移栽入花盆中, 每盆约 10 粒, 深度约 1.5 cm, 以在清水中浸泡过的为对照, 各花盆均放置于室温中并且在自然光照下培养。每天用

ddH₂O 喷洒 2 次, 分别在第 3 片和第 5 片真叶长出后以相应的菌悬液浇灌(每盆约 50 mL)。

处理 33 d 后测量各试验组和对照组玉米植株的各种形态学参数, 包括株高、茎长、根长、茎平均直径、鲜重, 100 °C 烘干 5 h 后称其干重^[16-20], 并做统计学分析。

1.3 数据处理

实验数据采用 Excel 2007 进行统计学分析。

2 结果与分析

2.1 PGPR 菌株的筛选结果

用 3 种不同配方的培养基, 分别从 5 个样地的不同根际土壤及植物样品中经分离、纯化共获得 158 株菌, 从中筛选出 17 株各种促生能力较强的菌, 这些菌株的编号及相关信息如表 1 所示。

2.2 PGPR 对 3 种病原真菌的体外拮抗作用

通过筛选获得了 3 株具有广谱性抑制病原真菌能力的菌株, 分别是 SLJ-17、AKJ-1 和 AKJ-3, 采用平板对峙培养方法测得各促生菌体外抑菌率如表 2 所示。由表 2 可知, 这 3 株菌对 3 种病原菌均具有拮抗作用, 表现出了广谱抑菌现象, 其中菌株 SLJ-17 对 3 种常见病原真菌的抑制率最为明显, 最高可达 67.60±0.52 (拮抗小麦禾谷镰孢菌)。

2.3 PGPR 促生能力的测定结果

试验分别测定了 17 株各种促生能力较强的菌的促生指标, 表 3 显示了各 PGPR 菌株的促生效应, 其中可产氨的 4 株, 可产 IAA 的 8 株, 可溶磷的 6 株; 菌株 SLJ-17 具有产氨、产 IAA 和溶磷 3 种促生效应。不同菌株的促生效应也不尽相同。其中, 菌株 AKJ-2 的产氨能力最强, 这暗示着可能该菌株的固氮能力也最强; 菌株 XYN-2 的 IAA 产量最大, 达到了 36.61 mg/L, 并且比较稳定。

表 1 17 株促生菌的来源及相关信息
Table 1 Sources and relevant information of the 17 PGPR strains

菌株编号 Strain code	特性 Characteristics	菌株来源地 Source of the strains	宿主植物及部位 Location of host plant	培养基种类 Medium
AKJ-1	产氨和抑制病原菌	安康	油菜根际	NA
AKJ-2	产氨	安康	油菜根际	NA
AKJ-3	抑制病原菌	安康	油菜根际	PDA
HZB-6	产 IAA	汉中	小麦根表	King's B
SLJ-4	产 IAA	商洛	小麦根际	NA
SLJ-15	产 IAA	商洛	小麦根际	NA
SLJ-17	产氨、产 IAA、溶磷和抑制病原菌	商洛	小麦根际	NA
WNJ-8	溶磷	渭南	小麦根际	King's B
WNN-2	溶磷	渭南	小麦根内	King's B
XYB-4	产 IAA	咸阳	小麦根表	King's B
XYJ-3	产 IAA	咸阳	小麦根际	NA
XYJ-6	产 IAA	咸阳	小麦根际	NA
XYJ-9	溶磷	咸阳	小麦根际	NA
XYJ-12	溶磷	咸阳	小麦根际	NA
XYN-2	产 IAA	咸阳	小麦根内	NA
YLJ-6	产氨	榆林	大棚番茄根际	NA
YLJ-7	溶磷	榆林	大棚番茄根际	PDA

表 2 3 株 PGPR 对病原真菌的抑菌率
Table 2 Antifungal activity of the 3 PGPR strains (%)

菌株编号 Strain code	小麦禾谷镰孢菌 <i>Fusarium graminearum</i>	新月弯孢菌 <i>Curvularia lunata</i>	大斑凸脐蠕孢 <i>Exserohilum turcicum</i>
SLJ-17	67.60±0.52a	60.10±0.98a	66.86±1.12a
AKJ-1	58.54±0.25b	55.43±2.24b	50.21±1.57b
AKJ-3	44.07±2.01c	35.31±1.15c	34.07±2.01c

注: 表中数值表示平均抑菌率±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: Table values represents mean rate of fungistasis (%) ± standard error. Different letters represent significant differences (Duncan-test, $P<0.05$).

表 3 中的 6 株溶磷菌中, 除 YLJ-7 为真菌外, 其余均为细菌。其中 WNN-2 溶磷能力最强, 达到了 151.67 mg/L, 相应地, 该菌的培养介质 pH 也在这些测试菌株中是最低的。从结果中可以看出, 凡是上清液中最高含磷量高于 100 mg/L 的菌株, 其培养液最终的 pH 都低于 7, 这也说明了本

研究中所得的溶磷能力较好的菌株其溶磷机制是由于产酸所致。康贻军等^[5]所得的溶磷菌中, 最高含磷量为 106.75 mg/L。
对溶磷菌溶磷能力的测定, 国内外大部分人都是将待测菌株培养 6–8 d 后直接用钼锑抗比色法或者磷钼蓝比色法测可溶性磷的含量, 而康贻

表 3 各菌株体外促生能力
Table 3 Plant growth promoting (PGP) activities of each strains *in vitro*

菌株编号 Strain code	产氨 NH ₃ production ^{I II}	IAA 产量 IAA production (mg/L) ^{III V}	溶磷量 Soluble phosphate (mg/L) ^{III IV V}
SLJ-17	++	15.95±5.83c	132.33±0.33(3.38±0.11)ab
HZB-6	ND	20.49±7.04c	ND
SLJ-4	ND	26.41±1.21b	ND
XYJ-3	ND	12.06±5.20d	ND
SLJ-15	ND	32.99±5.41a	ND
XYB-4	ND	27.69±3.80b	ND
XYN-2	ND	36.61±1.57a	ND
XYJ-6	ND	24.07±1.01b	ND
XYJ-9	ND	ND	30.68±0.29(7.43±0.12)d
WNJ-8	ND	ND	49.47±0.28(7.46±0.16)c
YLJ-7	ND	ND	121.01±0.32(5.60±0.85)b
XYJ-12	ND	ND	45.88±0.05(7.51±0.10)c
WNN-2	ND	ND	151.67±0.53(3.24±0.15)a
AKJ-1	+	ND	ND
AKJ-2	+++	ND	ND
AKJ-3	-	ND	ND
YLJ-6	++	ND	ND

注: ^I: 从“+++”到“-”表示根据不同颜色所得的不同产氨量; ^{II}: 没有观测到该项指标; ^{III}: 数值表示平均值±标准偏差; ^{IV}: 括号中的数据表示培养液的平均 pH±标准偏差, 对照的 pH 为 7.06±0.03; ^V: 不同的字母代表不同的显著性差异(Duncan-test, $P<0.05$).

Note: ^I: “+++” to “-” represent the different amount of production according to the color differences; ^{II}: Not detected (ND); ^{III}: Values are means ± standard error (SE); ^{IV}: Values in parenthesis represent pH±SE of culture solution, pH of control is 7.06±0.03; ^V: Different letters represent significant differences (Duncan-test, $P<0.05$).

军等^[13]指出不同的菌株其上清液最大含磷量出现的时间并不统一, 因而他们建议做出溶磷能力的动态变化图从而准确判断最高含磷量。本研究采用了他们的建议, 做出了 6 株溶磷菌的有效磷含量的动态变化图, 如图 1 所示。由图 1 可知, 随着培养时间的变化, 6 株溶磷菌的含磷量不断发生变化, SLJ-17、XYJ-9、WNJ-8、XYJ-12 和 WNN-2 均是在第 5 天含磷量最大, 而 YLJ-7 则是在第 4 天最大。此外, 从图 1 还可以看出, 凡是溶磷能力较强的菌株, 其含磷量的变化都比较缓

和; 而不像溶磷能力较差的菌株, 它们的含磷量会突然升高然后又突然降低, 表现出不稳定性。

2.4 盆栽试验的结果

玉米在培养 33 d 后, 测量各试验组和对照组玉米植株的各种形态学参数(结果见表 4)。由表 4 可知, 多种促生菌混合接种对玉米的促生效应均明显优于单菌接种的效果。多菌混合接种对玉米的促生效果在株高、根长、茎长、茎平均直径和干重方面与对照组相比较分别增加了 30.14%、81.10%、24.32%、67.69%和 33.33%。但是, 单菌

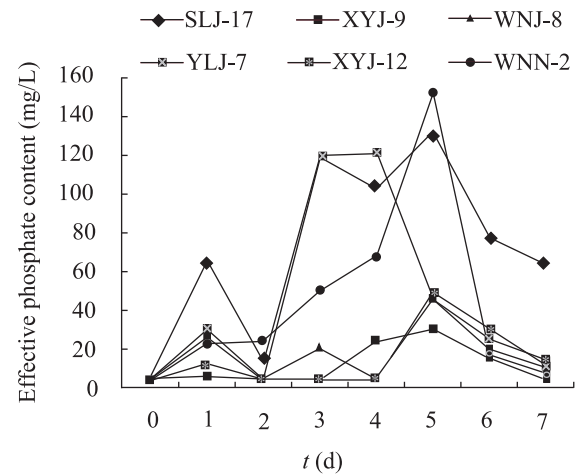


图 1 6 株溶磷菌有效含磷量随时间变化趋势
Fig. 1 The effective phosphate content of the 6 strains with the change of time

接种在有些方面却优于多菌混合接种，例如菌株 YLJ-7 对玉米茎长的促生与对照组相比较增加了 50.08%，而多菌混合接种相应地只增加了 24.32%。

3 讨论

在植物根际促生菌促生效应的研究中，促生菌株的实际应用效果究竟如何非常重要，现有的文献在这方面已有报道，如段秀梅等^[12]的测定结果在株高和干重方面分别增加了 35.5%和 28.9%，Khaled A^[19]等的结果在根长和茎长分别增加了 62%和 54%，Hamdy EI Zemrany 等^[17]的结果在鲜

表 4 盆栽试验中各试验组及对对照组玉米的形态学参数 Table 4 Morphological parameters of maize from plants inoculated each strains or not inoculated (control) in pot experiment						
实验组别 Treatments ¹	株高 Plant height (cm)	根长 Root length (cm)	茎长 Stem length (cm)	茎平均直径 Average diameter of stem (mm)	鲜重 Plant fresh weight (g)	干重 Plant dry weight (g)
Control	35.96±7.95a	14.18±9.54a	9.54±2.64a	1.95±0.95a	0.83±0.55a	0.18±1.15a
Combination	46.68±3.99f	25.68±5.74b	11.86±0.65c	3.27±0.73b	0.81±0.15a	0.24±0.11b
SLJ-17	43.71±4.64d	11.31±1.08a	11.23±3.79c	1.48±0.76a	0.40±0.97a	0.11±1.01a
HZB-6	37.16±4.46a	10.90±1.89a	10.83±2.70b	1.67±0.41a	0.25±0.84a	0.12±0.99a
SLJ-4	43.65±4.69d	12.74±1.08a	9.31±1.41a	1.65±0.44a	0.20±1.15a	0.12±1.10a
XYJ-3	39.95±4.53b	11.80±1.57a	14.37±4.89d	2.00±0.67a	0.33±0.77a	0.13±0.55a
SLJ-15	41.90±4.95c	11.06±1.04a	14.54±2.31d	1.91±0.83a	0.18±0.67a	0.12±0.45a
XYB-4	39.97±4.17b	11.47±1.84a	11.23±2.16c	1.90±0.39a	0.26±0.58a	0.12±0.95a
XYN-2	38.81±4.54a	10.34±1.86a	7.60±2.59a	1.83±0.61a	0.24±0.99a	0.11±0.50a
XYJ-6	39.22±3.97b	10.16±1.01a	10.68±2.26b	2.27±0.57a	0.48±1.00a	0.16±0.41a
XYJ-9	38.67±7.57a	9.78±1.44a	9.83±0.82a	1.72±0.51a	0.37±0.89a	0.16±0.53a
WNJ-8	43.15±3.53d	11.40±0.88a	9.60±0.80a	2.33±0.50a	0.45±0.95a	0.17±0.49a
YLJ-7	39.57±5.23b	10.50±1.03a	14.70±2.38d	1.98±0.90a	0.39±1.12a	0.13±0.55a
XYJ-12	44.88±4.74e	10.70±1.36a	11.60±3.50c	1.72±0.78a	0.51±0.88a	0.17±0.42a
WNN-2	42.85±3.31d	11.90±1.56a	11.98±1.54c	1.85±0.80a	0.34±0.78a	0.14±0.51a
AKJ-1	40.09±5.51b	11.24±1.65a	14.00±3.42d	2.73±0.58a	0.42±0.51a	0.25±0.53b
AKJ-2	41.97±4.21c	11.75±1.33a	10.14±2.17b	1.95±0.42a	0.57±0.44a	0.18±0.57a
AKJ-3	41.50±4.29c	11.28±0.33a	10.40±1.79b	1.94±0.26a	0.26±0.38a	0.13±0.43a
YLJ-6	43.75±2.63d	11.13±0.85a	6.80±1.79a	0.95±0.05a	0.18±0.52a	0.10±0.51a

注: ¹: 植株在 33 d 测量, 表中数据表示平均值±标准偏差, 不同字母表示不同的显著性差异(Duncan-test, P<0.05).
Note: ¹: Plants were harvested after 33 days. Values are means ± standard error. Different letters represent significant differences (Duncan-test, P<0.05).

重上增加了 34%。本试验采用盆栽试验对筛选获得的 17 个菌株进行了促生效应的检验, 结果显示多菌混接对玉米的促生效果在株高、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%, 这 17 个菌株分别进行单独接种的促生效应明显不如多菌混合接种。此结果与段秀梅等^[12]、Hamdy El Zemrany 等^[17]、Fabricio Cassán 等^[18]和 Khaled A 等^[19]的一致。本试验中, 多菌混接对玉米幼苗根长和茎平均直径方面增加得比较显著, 这一方面的意义不可忽略, 植物在幼苗期主要是大量吸收营养物质合成于自身体内, 为后期的生长做好保障; 茎平均直径的增加可保证植物顺利运输营养物质和水分, 也有助于防止植物倒伏。

单菌接种的整体效果明显不如多菌混合接种, 但其在有些方面的促生作用甚至会强于多菌混合接种的效应, 如 XYJ-3、SLJ-15、YLJ-7 和 AKJ-1 在茎长方面的促生效应就高于多菌混合接种。造成这一现象的主要原因可能是多种菌出现相互拮抗作用而不能共存, 从而消弱了整个群体的促生效应; 或者有可能是这些菌在生长代谢过程中除产生对植物有益的代谢产物外还会有一些其他的代谢产物反而抑制植物的生长, 例如溶磷真菌 YLJ-7 在培养基中培养到第 3 天时会释放一种淡黄色的物质, 这些物质对植物幼苗的生长是否有不利影响还不清楚, 因此, 有必要进一步做深入的探索。

由于单菌接种的促生效应明显不如多菌混合接种, 因而关于这些促生菌株在应用过程中应如何科学地合理组合才能在田间试验中发挥出其最佳效应, 尚需进一步研究证实。

参 考 文 献

[1] 周德庆. 微生物学教程[M]. 第2版. 北京: 高等

教育出版社, 2002: 369.

- [2] 姚拓. 促进植物生长菌的研究进展[J]. 草原与草坪, 2002, 99(4): 3-5.
- [3] Ahmad F, Ahmad I, Khan MS. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities[J]. Microbiological Research, 2008, 163(2): 173-181.
- [4] Brock TD, Madigan MT, Martinko JM, et al. 李明春, 杨文博主译. Brock Biology of Microorganisms[M]. 11th ed. 北京: 科学出版社, 2009: 969.
- [5] 康贻军, 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.
- [6] 卢秉林, 李娟, 郭天文. 甘肃微生物肥料研发应用现状及其发展对策[J]. 甘肃农业科技, 2007(8): 36-38.
- [7] King EO, Ward MK, Raney DE. Two simple media for the demonstration of pyocyanin and fluorescein[J]. The Journal of Laboratory and Clinical Medicine, 1954, 44(2): 301-307.
- [8] Glickmann E, Dessaux Y. A critical examination of the specificity of the salkowski reagent for indolic compounds produced by phytopathogenic bacteria[J]. Applied and Environment Microbiology, 1995, 61(2): 793-796.
- [9] 余贤美, 王义, 沈奇宾, 等. 解磷细菌 PSB3 的筛选及拮抗作用的研究[J]. 微生物学通报, 2008, 35(9): 1398-1403.
- [10] 席琳乔, 李德峰, 王静芳, 等. 棉花根际促生菌固氮和分泌生长激素能力的测定[J]. 干旱区研究, 2008, 25(5): 690-694.
- [11] 陈博, 朱军, 孙前光, 等. 一株抗香蕉枯萎病内生细菌的分离鉴定及其抗病促生作用[J]. 微生物学通报, 2011, 38(2): 199-205.
- [12] 段秀梅, 高晓蓉, 吕军, 等. 两株土壤分离菌的解磷能力及对玉米的促生作用[J]. 中国土壤与肥料, 2010(2): 79-85.
- [13] 康贻军, 胡健, 单君, 等. 两株解磷真菌的解磷能力及其解磷机理的初步研究[J]. 微生物学通报,

- 2006, 33(5): 22–27.
- [14] 王刚, 张莉, 刘凤英, 等. 对西瓜幼苗具有促生作用根际细菌的筛选[J]. 河南农业科学, 2009(2): 90–93.
- [15] Senthilkumar M, Madhaiyan M, Sundaram SP, et al. Intercellular colonization and growth promoting effects of *Methylobacterium* sp. with plant-growth regulators on rice (*Oryza sativa* L. Cv CO-43)[J]. Microbiological Research, 2009, 164(1): 92–104.
- [16] Jha P, Kumar A. Characterization of novel plant growth promoting endophytic bacterium *Achromobacter xylosoxidans* from wheat plant[J]. Microbial Ecology, 2009, 58(1): 179–188.
- [17] Zembrany HE, Czarnes S, Hallett PD, et al. Early changes in root characteristics of maize (*Zea mays*) following seed inoculation with the PGPR *Azospirillum lipoferum* CRT1[J]. Plant and Soil, 2007, 291(1/2): 109–118.
- [18] Cassán F, Perrig D, Sgroi V, et al. *Azospirillum brasilense* Az39 and *Bradyrhizobium japonicum* E109, inoculated singly or in combination, promote seed germination and early seedling growth in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L.)[J]. European Journal of Soil Biology, 2009, 45(1): 28–35.
- [19] El-Tarabily KA. Promotion of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plant growth by rhizosphere competent 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid deaminase-producing streptomycete actinomycetes[J]. Plant and Soil, 2008, 308(1/2): 161–174.
- [20] 刘秀花, 梁峰. 小麦根际促生菌的筛选与促生作用研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(20): 5300–5301.

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。

本刊为中国生物科学类核心期刊。曾获国家级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, 2012年每册定价58元, 全年696元, 我们将免邮费寄刊。

另, 本编辑部现存有少量过刊, 如有需要者可直接与编辑部联系。(请事先与编辑部联系, 获悉每册售价。敬请在汇款单上注明所购刊物的年代、卷、期和数量)

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: BM413