

磷细菌筛选及其对苗期玉米生长的影响

于群英¹, 陈世勇¹, 马忠友¹, 汪建飞¹, 卫林²

1. 安徽科技学院资源环境系, 安徽 凤阳 233100; 2. 南京农业大学生命科学学院, 江苏 南京 210008

摘要: 从潮土、水稻土、砂姜黑土、石灰土上植物根际土壤和根中分离了 86 株磷细菌, 通过 NBRIP 液体摇瓶培养 3 d, 培养液水溶磷质量浓度为 4.2~387.3 mg·L⁻¹, 水溶磷质量浓度与培养液 pH 呈显著负相关 ($r^2=0.6216$)。筛选出 3 株磷细菌进行玉米盆栽试验, 结果表明, 1 株磷细菌处理的玉米干物质量和吸磷量与对照 (处理 4) 相比无显著差异, 2 株磷细菌处理的玉米干物质量和吸磷量与对照相比有明显增加, 干物质量增加了 19.6%~37.5%, 吸磷量增加了 22.7%~40.2%, 其中编号为 HCW115 解磷菌株的效果相当于施用无机磷 (P) 10 mg·kg⁻¹ 处理。

关键词: 磷细菌; 土壤; 玉米

中图分类号: S144.9

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2012) 07-1257-05

磷是植物生长发育所必需的营养元素之一, 缺磷会影响植物生长、作物产量和品质。肥料与土壤是作物磷素的主要来源, 尽管我国土壤磷素含量差异较大, 但总的来看, 绝大部分土壤全磷含量较高, 但其中主要的是植物不能直接吸收利用的无效态磷, 有效态磷一般仅占土壤全磷的 1%~2%。为了满足植物生长的需要, 人们又不得不不断地向土壤中施用化学磷肥, 其结果一方面浪费了珍贵的自然资源; 另一方面由于施用方法不当, 又会产生一系列环境问题, 如水体富营养化和土壤重金属污染等, 因此土壤磷素资源的合理利用问题是现代农业生产中比较突出的问题之一。土壤磷素包括无机磷和有机磷 2 大类, 其中有机磷存在于土壤有机质中, 因为土壤有机质是维持和提高土壤质量的重要物质, 所以土壤有机磷资源应该加以保护, 而土壤中占土壤全磷总量的 70% 以上的无机磷则是可以充分利用的磷素资源^[1]。在这方面有多种设想^[2], 其中利用溶磷细菌或真菌等溶磷微生物分解土壤无效态无机磷, 使之转化为能为植物直接吸收利用的有效态磷就是最为重要的途径之一。溶磷微生物研究和应用在我国已有 60 多年历史了, 人们研究了溶磷微生物的种类、分布及其溶磷机理等^[3-10], 但是, 溶磷菌生产应用却始终没有多大进展, 筛选的溶磷菌在实验室条件下表现出良好的溶磷效果, 但用于土壤, 特别是田间条件下则完全变了样, 溶磷效果却大大降低, 甚至不表现任何效果。因此, 筛选溶磷能力强、稳定、生命力强、适应广的溶磷菌, 与有机物复合制成生物有机肥并用于生产是很有必要的, 也是非常迫切的。

1 材料与方法

1.1 磷细菌筛选

供试样品为小麦、蔬菜、杂草、树木和灌丛植物根及根际土, 采自蚌埠、怀远、凤阳的麦地、菜地、荒地、林地等, 土壤类型有潮土、砂姜黑土、石灰土、水稻土。

1.1.1 培养基

主要包括分离培养基、筛选培养基和纯化培养基。

分离培养基(改良后的 PVK 培养基): 葡萄糖 10 g, 磷酸三钙 5 g, 硫酸铵 0.5 g, 氯化钠 0.2 g, 硫酸镁 0.1 g, 氯化钾 0.2 g, 酵母浸膏 0.5 g, 硫酸锰 0.002 g, 硫酸亚铁 0.002 g, 0.4% 溴酚蓝 (pH 为 6.7) 6 mL, 琼脂 18 g, 蒸馏水 1 000 mL。

纯化培养基: 葡萄糖 10 g, 磷酸三钙 5 g, 氯化镁 5 g, 硫酸镁 0.25 g, 氯化钾 0.2 g, 硫酸铵 0.1 g, 蒸馏水 1 000 mL, 琼脂 20 g, pH 为 7.0。

筛选培养基 (NBRIP): 葡萄糖 10 g, 磷酸三钙 5 g, 氯化镁 5 g, 硫酸镁 0.25 g, 氯化钾 0.2 g, 硫酸铵 0.1 g, 蒸馏水 1 000 mL, pH 为 7.0。

1.1.2 磷细菌筛选

分别取根际土壤和用无菌水冲洗干净后磨碎的植物根, 加入 100 mL 无菌水, 分别倒入 2 个 250 mL 无菌三角瓶中, 在 28.5 °C 条件下, 摇床振荡 30 min, 采用十倍系列稀释法将 2 种悬浮液逐级稀释至 10⁻⁸, 各取 7 个浓度的稀释液 0.1 mL 均匀涂布于平板分离培养基上, 在 28.5 °C 恒温下培养 3 d, 每个稀释度做 3 个重复, 观察平板上菌落的生长情况及溶磷圈的产生, 根据菌落的生长情况及溶磷圈确定初选菌, 将初选的各个单菌落分别在培养基平板上进行划线分离及纯化, 以获得纯菌株。挑取代表性纯菌株接种于筛选培养基培养液中, 置于 28 °C、

基金项目: 科技部星火计划项目 (2010GA710048); 蚌埠市科技局项目 (BK201005); 安徽科技学院重点学科项目 (YZD201002)

作者简介: 于群英 (1958 年生) 男, 教授, 研究方向为土壤资源利用。E-mail: yu1631@163.com

收稿日期: 2012-06-04

170 r·min⁻¹摇床培养 3 d, 钼锑钒比色法测定溶液中磷含量和 pH 值。根据磷细菌生长情况、溶磷圈大小及其比值以及溶磷量高低筛选目标磷细菌。

1.1.3 磷细菌复选

将选出的 6 株磷细菌菌株接种到 40 mL 灭菌的筛选培养基中, 振荡至米汤状, 从中取 10 mL 加入 90 mL 灭菌的筛选培养基中, 摇匀, 重复 3 次。置于 28 °C、170 r·min⁻¹往复摇床培养 7 d, 在培养的 24、48、72、96、120、168 h 取培养液测定磷细菌数量、溶液磷含量和溶液 pH。根据磷细菌溶磷量大小和动态变化, 确定 3 株磷细菌用于生物培养试验。

1.2 盆栽试验

试验采用盆栽方法, 供试土壤为潮土, 土壤有效磷质量分数为 5.8 mg·kg⁻¹, 有机质质量分数为 13.8 g·kg⁻¹。试验处理见表 1。每盆装风干土 5 kg, N、K 施用量分别为 150 mg 和 100 mg·kg⁻¹ 土, 氮肥用尿素, 钾肥用氯化钾, 基施。无机磷处理施 P10 mg·kg⁻¹ 土, 磷肥用磷酸二氢钾, 用氯化钾调整钾素, 基施。有机肥用量 0.5 g·kg⁻¹ 土, 有机肥是玉米秆、花生秆等粉碎物和牛粪腐熟物。磷细菌选用筛选出的编号为 BCW036、FSJ218 和 HCW115 的 3 株, 分别为 1 号磷细菌、2 号磷细菌和 3 号磷细菌, 磷细菌发酵液有效活菌数 1 × 10⁸ CFU·mL⁻¹, 用量为 1 mL·kg⁻¹ 土, 施入土壤之前, 先将解磷细菌发酵液与有机肥拌匀, 做成球状, 再加入土壤中, 与土壤拌匀。种玉米, 每盆播种经过挑选的玉米 6 粒, 出苗后定苗 3 棵, 生长期用重量法灌水, 试验重复 3 次。玉米拔节期取样, 玉米植株样品用纯水洗净, 于 105 °C 杀青, 65 °C 烘至恒质量, 测干物质质量和含磷量。

表 1 盆栽试验方案

Table 1 The treatments of pot experiment

处理编号	处理
1	CK
2	有机肥
3	有机肥+P 10 mg·kg ⁻¹
4	有机肥+磷细菌灭活液
5	有机肥+1 号磷细菌发酵液
6	有机肥+2 号磷细菌发酵液
7	有机肥+3 号磷细菌发酵液

2 结果和分析

2.1 磷细菌溶磷量及其与 pH 关系

磷细菌在生长过程中分泌一些物质, 并向周围扩散, 使菌落周围培养基中磷酸盐溶解而呈现透明状, 通过平板测定菌落和溶磷圈直径可定性了解磷细菌的溶磷能力。本试验通过观察菌株的溶磷圈情况, 首先筛选出 86 株磷细菌并进行纯化, 在以磷

酸三钙为唯一磷源的液体培养基中接种初筛菌株培养 3 d, 培养液中可溶磷质量浓度为 4.2~387.3 mg·L⁻¹, 磷细菌溶磷能力差别很大, 部分菌株利用难溶性磷酸钙的能力较强, 另一些菌株则较弱。溶液 pH 4.05~6.78, 变化也较大, 从图 1 可以看出, 溶磷菌的溶磷能力与溶液 pH 有良好的相关性 ($r^2=0.6216$, $n=86$), 溶磷能力高的溶磷菌培养液 pH 较低, 溶磷能力低的溶磷菌培养液 pH 较高, 只有个别菌株表现出特殊性 (图 1)。在液体培养条件下, 由于磷酸三钙的溶解度主要受 pH 影响, 溶液 pH 越低, 磷酸三钙溶解度越高, 所以溶磷量与 pH

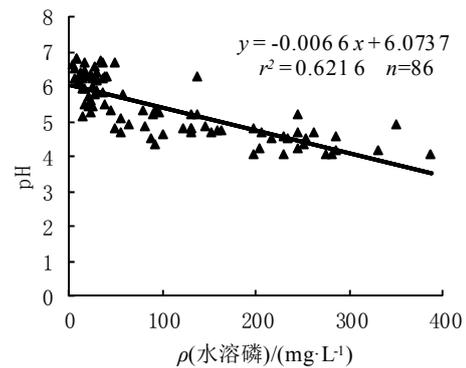


图 1 培养液 pH 与水溶磷关系

Fig. 1 Relationship between pH and the soluble P in the culture

关系是明显的。很多研究表明, 溶磷微生物在其代谢过程中分泌各种低分子量有机酸, 如林启美等的试验证明溶磷细菌能够分泌苹果酸、丙酸、乳酸、乙酸和柠檬酸等^[6]。虞伟斌等报道了从石灰性土壤植物根筛选的一株假单胞菌 K3 的溶磷效果, 磷细菌 K3 在液体摇瓶中培养 7 d 后, 培养液中水溶性磷质量浓度从 6.54 μg·mL⁻¹ 增加至 655.23 μg·mL⁻¹, pH 从 7.00 降至 3.99, 菌液中的主要代谢产物为苹果酸、乳酸和草酸, 其浓度分别为 47.39、25.67 和 1.89 mmol·L⁻¹ [14]。这些有机酸既能够降低环境 pH 值, 通过溶解作用使难溶性钙磷部分溶解, 同时有机酸阴离子能与铁、铝、钙、镁等金属阳离子络合, 使难溶性磷酸盐中的磷释放出来, 不过, 微生物溶磷受环境条件影响很大, 在有些条件下主要是质子起作用, 有些条件下主要是有机酸起作用, 而有些条件下则两种机制都存在。一般来说, 在液体培养条件下, 酸溶和有机酸络合作用是磷细菌溶解难溶性磷酸盐的共同机制, 而在土壤条件下, 磷细菌代谢产生的有机酸络合作用可能是主要的, 有机酸通过络合作用使土壤难溶性铁、铝、钙磷酸盐释放并能防止土壤水溶性磷被 Ca、Fe、Al 固定。

2.2 解磷细菌菌落特征

筛选得到的 6 株磷细菌菌株的来源、宿主植物、分离部位和菌落特征列于表 2, 它们来自 4 种土壤

表 2 溶磷菌株的菌落特征
Table 2 Colonial characteristics of phosphorus solubilizing bacteria

菌株编号	材料来源	宿主植物	分离部位	菌落特征
BCW036	蚌埠潮土	杂草	根	凸面、溶磷圈明显、四周乳白色、类似圆形、表面有光泽
FCW029	凤阳潮土	油菜	根际土	凸面、圆形、中间位淡黄色、边缘乳白色、边缘锯齿状、表面无光泽
FSJ218	凤阳石灰土	酸枣树	根	菌落淡蓝色、圆形、较大、表面有光泽、隆起、溶磷圈明显
BCW038	蚌埠水稻土	小麦	根际土	整体呈乳状透明、中凹隆起、有光泽、溶磷圈中等、淡黄色
HCW115	怀远潮土	杂草	根际土	菌落隆起、乳白色、圆形、边缘呈锯齿状、表面无光泽、溶磷圈大而明显
GSW082	固镇砂姜黑土	小麦	根际土	淡黄色、菌落较大、形状无规则、无光泽、凸面、溶磷圈较明显

类型，宿主植物有作物、杂草和树木，有从植物根际土壤中筛选的土壤磷细菌，也有从植物根部分离的植物内生菌，菌落大都呈圆形或类似圆形，多为乳白色或淡黄色，表面有凸起，质地松软，溶磷圈明显有的有光泽，有的无光泽，但溶磷圈都较大。有的菌株生长较快，平板培养 1 d 就可观察到磷细菌生长，有的生长较慢，需要 2~3 d 才能观察到磷细菌生长。其中编号为 BCW036FSJ218 和 HCW115 菌株溶磷圈大而且明显，其 D/d 比值分别为 2.8、3.4 和 3.9，而且菌株生长快，平板培养 1 d 后就观察到细菌生长，是 3 株较理想的磷细菌菌株。

2.3 磷细菌溶磷动态变化

表 3 为摇床 7 d 培养时水溶性磷含量变化，从表 3 可以看出，不同磷细菌培养液的水溶性磷含量变化趋势不同，有的磷细菌培养 72 h 溶液中可溶磷达到较高含量，之后水溶磷含量增加变缓，如编号为 BCW036、HCW115、BCW038 的磷细菌溶磷变化曲线均是如此。有的磷细菌需要培养 120 h 溶液中可溶磷方可达到最大值，之后水溶磷含量下降，如 GSW082 磷细菌 120 h 测定水溶磷质量浓度为 $178.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，之后下降。有的磷细菌在整个培养期间没最大值，如编号为 FCW029、HCW115 磷细菌，培养到第 7 天，水溶磷含量仍在上升。有的磷细菌在整个培养期间曲线呈阶段性变化，如 FSJ218 磷细菌，先是到第 48 h，水溶磷达到较高含量，其后降低，到第 7 天时，水溶磷又有较大增加。磷细菌的溶磷动态变化是多种多样的，一般情况下，磷细菌在液体培养基里生长，在一定的时间内，培养基

表 3 培养时间与培养液中可溶磷的关系
Table 3 Relationship between the soluble P and functional time of PSB in liquid culture $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

菌株编号	培养 t/h					
	24	48	72	96	120	168
BCW036	46.3	167.7	318.5	363.2	301.8	273.6
FCW029	14.5	26.2	51.9	102.4	182.1	315.6
FSJ218	62.7	338.6	312.1	267.6	306.4	364.2
BCW038	27.6	65.4	129.6	175.3	192.6	155.9
HCW115	74.6	268.3	373.7	384.2	402.5	488.4
GSW082	12.5	38.8	84.3	135.7	178.6	147.4

里面的营养能满足菌液里磷细菌的生理需要，磷细菌大量繁殖，解磷能力加强，培养液的含磷量随时间延长而增加，随着时间的继续延长，培养基里面的营养逐渐被细菌消耗，一定时间后培养液中的含磷量反而会降低，磷细菌菌体死亡后，溶液中水溶磷含量又增加。试验中我们还发现，有的磷细菌同一菌株，初选时具有较高解磷能力，纯化后解磷能力明显下降了，如编号为 FCW029 的磷细菌，在初选培养 3 d 培养液水溶磷质量浓度为 $164.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，而经过几次纯化，再进行液体培养 3 d 的水溶磷质量浓度仅为 $51.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ，降低了 3 倍多，所以，筛选磷细菌用于实际生产时，要综合考虑才能筛选到溶磷量高、稳定、生命力强、适应广的溶磷菌。根据这 6 株磷细菌溶磷动态，结合菌落特征，选择 BCW036、FSJ218 和 HCW115 磷细菌用于盆栽试验。

2.4 磷细菌对玉米干物质量和吸磷量的影响

各处理的玉米干物质量和吸磷量见表 4，可以看出，有的解磷细菌对增加苗期玉米干物质量和吸磷量的作用是明显的，有的则无明显效果。编号为 FSJ218 和 HCW115 的 2 株磷细菌处理的苗期玉米干物质量与对照（处理 4）相比增加了 19.6%~37.5%，吸磷量增加了 22.7%~40.2%，都存在显著差异，显然，处理间苗期玉米生长的差异主要是由于磷细菌增加了土壤磷素释放而改善了玉米磷素营养而造成的。

从表 4 还可以看出，HCW115 磷细菌处理的玉米干物质量和吸磷量分别为每盆 24.112 g 和 90.369

表 4 磷细菌对玉米干物重和吸磷量的影响
Table 4 Effect of PSB on the growth and phosphorus uptake of corn seeding

处理编号	干物质量		吸磷量	
	$\text{g} \cdot \text{盆}^{-1}$	标准差	$\text{P}, \text{mg} \cdot \text{盆}^{-1}$	标准差
1	14.287 e	0.646	53.376 e	0.773
2	17.135 d	0.268	63.698 d	1.024
3	25.077 a	0.746	92.120 a	1.295
4	17.533 cd	0.575	64.425 cd	0.689
5	18.636 c	0.554	66.758 c	1.165
6	20.968 b	1.061	79.088 b	1.695
7	24.112 a	1.221	90.369 a	0.736

mg, 与施用无机磷(P) $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理的玉米干物质量和吸磷量无显著差异, 说明磷细菌在促进土壤难溶性磷酸盐释放方面具有一定作用。编号为 FSJ218 磷细菌处理玉米干物质量和吸磷量与对照相比也有增加, 有明显差异, 但效果不如 HCW115 磷细菌, 而且二者有明显差异。编号为 BCW036 磷细菌处理的玉米干物质量和吸磷量与对照相比无明显差异, 对玉米生长和吸磷量没有明显作用, 说明磷细菌在土壤中的溶磷效果存在较大差异。1 号磷细菌培养基试验的四日溶磷量为 $363.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 溶磷量甚至超过 2 号磷细菌, 而盆栽试验没有表现出明显溶磷作用, 可见, 磷细菌液体培养和盆栽试验效果并不是一致的。总的来看, 磷细菌对促进土壤难溶性磷酸盐释放作用是有限的, 本研究条件下, 效果最好的磷细菌, 土壤磷素释放量仅为 $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 而在多数情况下, 施用 P $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 是不能满足植物生长发育需要的。当然, 土壤磷素转化是非常复杂的, 土壤中既有各种形态无机磷间转化, 也有无机磷和有机磷间转化, 释放-固定-释放-迁移, 有多种途径, 而且, 磷细菌的作用在不同土壤条件下也会有很大不同。

3 小结与讨论

(1) 磷细菌广泛分布于土壤、岩石、水体和植物体内, 溶磷量高的磷细菌可能从无机磷含量高而有效磷含量低的土壤、岩石等环境中生长良好的植物根际土壤或植物体内获得。本试验从具备这些条件的潮土、水稻土、砂姜黑土、石灰(岩)土上长势较好的植物根际土壤、土体土壤和根中分离了 86 株磷细菌, 液体培养溶磷效果差异很大, 大部分磷细菌溶磷量较低。通过平板观察、液体培养和土壤培养试验从其中筛选了 3 株磷细菌进行盆栽试验, 其中 2 株磷细菌具有一定的释放土壤无机磷的作用, 1 株无作用。所以, 筛选溶磷量高、生命力强、适应广的溶磷菌是磷细菌应用的核心工作。

(2) 溶磷微生物在代谢过程中分泌各种有机酸, 通过质子化、络合溶解等作用使难溶性磷酸盐溶解。不同条件下, 磷细菌溶磷的主要作用方式不同, 有些条件下微生物溶磷主要是质子起作用, 有些条件下主要是有机酸络合作用, 而有些条件下则两种机制都存在。磷细菌在液体培养时水溶磷含量与培养液 pH 呈显著负相关, 质子与有机酸共同起作用, 但在土壤条件下, 由于土壤的巨大缓冲作用, 酸溶作用可能不是主要的, 可能是磷细菌分泌的低分子量有机酸如苹果酸、乳酸、柠檬酸等起主要作用, 这些有机酸一方面促进 Ca、Mg、Fe、Al 结合态磷的释放, 也通过土壤溶液中 Ca、Mg、Fe、Al 等元素螯合而减少可固定磷酸根的阳离子, 增加

了土壤磷酸根离子的活性。不同种类磷细菌利用 Ca、Mg、Fe、Al 磷酸盐能力不同^[11-13], 有的分解钙磷能力较强, 有的分解铁铝磷能力较强, 而土壤中钙磷、磷酸铁铝磷、闭蓄态磷等差异很大, 所以, 有针对性地应用磷细菌才能获得理想效果。

(3) 在筛选高效磷细菌时, 根据平板观察磷细菌生长和菌落特征以及液体培养磷细菌溶磷量筛选高效磷细菌是不够的, 这是因为磷细菌液体培养溶磷量特别是水溶磷呈动态变化, 不同磷细菌其变化规律不同。其次, 磷细菌应用效果取决于若干因素, 如磷细菌在土壤中定植能力、土壤拮抗微生物、土壤难溶性磷酸盐类型甚至植物类型等都会影响磷细菌溶磷作用的发挥, 只有通过大田试验才能真正鉴别磷细菌的效果。

参考文献:

- [1] 鲁如坤. 土壤-植物营养学原理和施肥[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998: 152-157.
LU Rukun. Principle and Apply Fertilizer of Soil-Plant Nutrition[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1998: 152-157.
- [2] 王庆仁, 李继云, 李振声. 高效利用土壤磷素的植物营养学研究[J]. 生态学报, 1999, 19(3):417-421.
WANG Qingren, LI Jiyun, LI Zhensheng. Studies on plant nutrition of efficient utility for soil phosphorus [J]. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(3): 417-421.
- [3] KOBUS J. The distribution of microorganisms mobilizing phosphorus in different soils [J]. Acta Microbiologia Plolonica, 1962, 11:255-264.
- [4] 陆文静, 何振立, 许建平, 等. 石灰性土壤难溶态磷的微生物转化和利用[J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5(1): 7-11.
LU Wenjing, HE Zhenli, XU Jianping, et al. The microbial transformation and utilization of sparingly-soluble phosphate in calcareous soils[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1999, 5(1): 7-11.
- [5] 林启美, 赵小蓉, 孙焱鑫. 4 种不同生态环境中解磷细菌的数量及种群分布[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 34-37.
LIN Qimei, ZHAO Xiaorong, SUN Yanxin. Community Characters of soil Phosphobacteria in Four Ecosystems[J]. Soil and Environmental Sciences, 2009, 9(1): 34-37.
- [6] 林启美, 王华, 赵小蓉. 一些细菌和真菌的解磷能力及其机理初探[J]. 微生物学通报, 2001, 28(2): 26-29.
LIN Qimei, WANG Hua, ZHAO Xiaorong. Capacity of some bacteria and fungi in dissolving phosphate rock[J]. Microbiology China, 2001, 28(2): 26-29.
- [7] 郝晶, 洪坚平, 刘冰, 等. 石灰性土壤中高效解磷细菌菌株的分离、筛选及组合[J]. 应用与环境生物学报, 2006, 12(3):404-408.
HAO Jing, HONG Jianping, LIU Bing, et al. Isolation, Screening and Combination of Highly effective Phosphorus Solubilizing Bacterial Strains in Calcareous Soil[J]. Chin J Appl Environ Bio, 2006, 12(3): 404-408.
- [8] 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.
YU XianMei, WANG Yi, SHEN QiBin, et al. The Screening of Phosphorus Solubilizing Bacteria PSB3 and the Study of Its Antagonism[J]. Microbiology China, 2008, 35(9): 1398-1403.

- [9] 王岳坤, 于飞, 唐朝荣. 海南生态区植物根际解磷细菌的筛选及分子鉴定[J]. 微生物学报, 2009, 49 (1): 64-71.
WANG Yuekun, YU Fei, TANG Chaorong. Screening and molecular identification of phosphate-solubilizing bacteria in rhizosphere soils in Hainan ecosystem[J]. Acta Microbiologica Sinica, 2009,49(1):64-71.
- [10] 朱培森, 杨兴明, 徐阳春, 等. 高效解磷细菌的筛选及其对玉米苗期生长的促进作用[J]. 应用生态学报, 2007, 18 (1): 107-112.
ZHU Peimiao, YANG Xingming, XU Yangchun, et al. High effective phosphate-solubilizing bacteria: Their isolation and promoting effect on corn seedling growth[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18 (1): 107-112.
- [11] 边武英, 何振立, 黄昌勇. 高效磷细菌对矿物专性吸附磷的转化及生物有效性的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2000, 26(4): 461-464.
BIAN Wuying, HE Zhenli, HUANG Changyong. Increasing transformation and bioavailability of specifically sorbed P by P-efficient microorganisms[J]. Journal of Zhejiang University: Agric & Life Sci, 2000, 26(4):461-464.
- [12] 钟传青, 黄为一. 不同种类解磷微生物的溶磷效果及其磷酸酶活性的变化[J]. 土壤学报, 2005,42(2):286-294.
ZHONG Chuanqing, HUANG Weiyi. Comparison in P-solubilizing effects between different P-solubilizing microbes and variation of activities of their phosphatases[J]. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(2): 286-294.
- [13] 吕学斌, 孙亚凯, 张毅民. 几株高效溶磷菌株对不同磷源溶磷活力的比较[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 194-197.
LÜ Xuebin, SUN Yakai, ZHANG Yimin. Comparative research on the influences of several high efficient phosphate-solubilizing strains on phosphate solubilizing activity[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(5): 194-197.
- [14] 虞伟斌, 杨兴明, 沈其荣, 等. K3 解磷菌的解磷机理及其对缓冲容量的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 354-361.
YU Weibin, YANG Xingming, SHEN Qirong, et al. Mechanism on phosphate solubilization of pseudomonas sp. K3 and its phosphate solubilization ability under buffering condition[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(2): 354-361.

Isolation and screening of phosphorus solubilizing bacteria and its effects on seedling growth of corn

YU Qunying¹, CHEN Shiyong¹, MA Zhongyou¹, WANG Jianfei¹, WEI Lin²

1. Department of Resources and Environmental Sciences, Anhui Science and Technology University, Fengyang, Anhui 233100, China;

2. College of Resources and Life Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

Abstract: Eighty-six strains of phosphate-solubilizing bacteria (PSB) were isolated from rhizosphere soil and plant root in paddy soil, meadow soil, black clay soil and limestone soil. After 3-day incubation in a liquid medium NBRIP, soluble phosphorus (P) in the cultures of strains was 4.2-387.3 mg·L⁻¹, and there was significantly negative correlation ($r^2=0.6216$) between pH and the soluble P in the cultures of strains. The effects of three strains of PSB (HCW036 PSB, FSJ218 PSB and HCW115 PSB) were tested in a pot experiment. The results showed that the dry weight and P uptake of corn seedling in BCW036 PSB treatment was not significantly different from the control (CK). The dry weight of corn in HCW115 and FSJ218 PSB treatments were increased by 19.6% and 37.5% compared with CK; while the P uptake were 22.7%-40.2% higher than that of CK. All the differences were statistically significant ($P<0.05$). The effect of HCW115 PSB treatment on corn was almost equal to that of 10 mg P kg⁻¹ treatment.

Key words: phosphate-solubilizing bacteria; soil; corn seedling