

文章编号 :1003-8701(2013)06-0041-04

# 不同吸附载体和剂型的溶磷菌剂改善土壤磷素状况的培养试验

范作伟, 金荣德, 闫海洋, 吴海燕\*

(吉林省农业科学院农业资源与环境研究所, 长春 130033)

**摘要:**为验证不同吸附载体及剂型的溶磷菌剂对土壤磷素状况的改善效果,选择了低磷和高磷两种肥力的土壤进行了室内培养试验。结果表明,对于低磷供试土壤,改善土壤速效磷含量效果较好剂型及配方为:配方4>配方3>液体剂型>配方1>配方2,在土壤培养过程中(30 d、60 d、90 d、120 d),与对照相比土壤速效磷平均含量依次增加 11.22 mg/kg、9.43 mg/kg、7.34 mg/kg、4.36 mg/kg 和 3.38 mg/kg。对于高磷供试土壤,改善高磷土壤速效磷含量效果较好剂型及配方为:配方3>配方1>配方2>配方4,在土壤培养过程中(30 d、60 d、90 d、120 d),与对照相比土壤速效磷平均含量依次增加 10.37 mg/kg、7.83 mg/kg、3.99 mg/kg 和 3.08 mg/kg,液体剂型的溶磷效果不十分明显。说明对于不同肥力的两种土壤,不同吸附载体配方及剂型的溶磷效果有一定的差异。而且土壤本身的磷素营养状况对于菌剂的溶磷效果也有一定的影响,土壤有效磷的本底值越高菌剂的溶磷效果越不好。

**关键词:**溶磷菌剂;低磷土壤;高磷土壤;磷素状况

中图分类号:S156

文献标识码:A

## Cultural Experiment of Different Adsorption Carriers and Dosage Forms of Solubilizing Phosphobacteria to Improve Phosphorus Status of Black Soil

FAN Zuo-wei, JIN Rong-de, YANG Hai-yang, WU Hai-yan\*

(*Institute of Agricultural Resources and Environment Research, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China*)

**Abstract:** In order to verify the effect of different adsorption carriers and dosage forms of solubilizing phosphobacteria on the improvement of phosphorus status, low and high phosphorus soil were selected in this indoor culture experiments. The results showed that for low phosphorus tested soil, the better dosage forms and formulations to improve the effect of soil available phosphorus content were formulation 4 > formulation 3 > liquid dosage form > formulation 1 > formulation 2. Compared with the control, the average content of soil available phosphorus increased 11.22 mg/kg, 9.43 mg/kg, 7.34 mg/kg, 4.36 mg/kg and 3.38 mg/kg in the soil cultivation process of 30 days, 60 days, 90 days, and 120 days. While for high phosphorus tested soil, the result was formulation 3 > formulation 1 > formulation 2 > formulation 4. Compared with the control, the average content of soil available phosphorus increased 10.37 mg/kg, 7.83 mg/kg, 3.99 mg/kg and 3.08 mg/kg. The effect of the liquid dosage form was not significant. For two soils of different fertility, there were some differences in the effect of dissolved phosphorus among different adsorption carrier formulations and dosage forms. And soil phosphorus nutritional status has a certain impact for the dissolved phosphorus effect of the bacterial agent. The higher soil available phosphorus background value, the worse effect

收稿日期:2013-01-17

基金项目:吉林省科技厅重点项目(20120213)

作者简介:范作伟(1981-),男,研究实习员,主要从事土壤微生物与生物肥料研究。

通讯作者:吴海燕,女,博士,研究员,E-mail: wuhaiyan1968@163.com

of the dissolved phosphorus.

**Keywords:** Solubilizing phosphobacterin; Low phosphorus soil; High phosphorus soil; Phosphorus status

磷是植物生长发育的重要物质基础,是植物体内核酸的重要组成元素<sup>[1]</sup>,植物缺磷会影响核酸、核蛋白合成,使细胞形成和增殖受到抑制,导致生长发育停滞,根系发育不良,植物矮小,各类作物分蘖减少,子粒不饱满,玉米果穗秃顶,马铃薯块茎变小等。因此,磷对农业生产非常重要<sup>[2]</sup>。

土壤含有丰富的磷素,一般以无机磷为主。在土壤中绝大部分磷以矿物态形式存在,只有小部分存在于土壤溶液中或被土壤胶体吸附,有效态磷数量很少。据统计,我国有 74% 的土壤耕层全磷含量很高 (0.4 ~ 2.5 g/kg),但土壤中 95% 以上的磷为无益磷,磷肥的当季作物的利用率仅为 10% ~ 25%<sup>[3-7]</sup>。所以如何提高土壤磷素利用率一直是农业科技工作者的研究热点之一<sup>[8-9]</sup>。

溶磷微生物(Phosphate Solubilizing Microorganisms, PSM)是土壤中能够将难溶性磷转化为植物能吸收利用的可溶性磷的一类特殊微生物功能类群<sup>[10-12]</sup>。它们通过其分泌物或吸收作用把土壤中无效态磷转化为有效态磷供作物吸收利用。解磷微生物肥料具有成本低、效果好、增强植物抗病能力、不污染环境、充分利用潜在磷素资源等优点。因此,本研究利用筛选获得高效的溶磷菌株,选择不同的吸附载体研制成不同剂型的载体配方的溶磷菌剂,并选择了基础磷素含量不同的土壤进行室内培养试验,以明确土壤磷素状况对不同剂型及吸附载体溶磷效果的影响,为研制溶磷菌剂时选择不同剂型及吸附载体提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 发酵液及菌剂的制备

将能够活化和溶解土壤难溶性磷、提高磷肥利用率的解磷巨大芽孢杆菌和伯克氏菌菌种接入 LB 基础培养中,28℃ 振荡培养 24 h 制备一级种子原液,然后将微生物原液加入无机磷发酵培养,培养 72 h 后即为溶磷菌发酵液,测有效活菌数后以 4 种不同基质配方吸附,培养 3 d 后接入不同肥力土壤进行室内土壤培养。

### 1.2 培养方法

试验采取室内好氧培养方法,称取相当于烘干土样 200 g(高肥土壤和低肥土壤)装入广口玻璃培养瓶中,加入蒸馏水使之达到最大持水量的 60%,用带有通气孔的塑料薄膜封口,置于室温培养。

### 1.3 试验设置

该试验每种土壤设置 10 个处理、6 次重复(供 6 次取样),即每种土壤 60 瓶,共 120 瓶。载体基质设置 4 种不同配方,接种量按 1 g 菌剂/200 g 土(液体 1 mL 菌液/200 g 土)的比例进行,土壤设置高磷(黄)和低磷(黑)两种土壤,供试土壤基本理化性状见表 1。试验处理为 溶磷菌发酵液;载体吸附;基质对照;空白对照(不接菌)。

### 1.4 测定项目

试验从 2011 年 10 月 31 日开始培养,整个培养周期在 0 d、30 d、60 d、90 d、120 d 和 150 d 取样测定,测定项目为土壤有效活菌数(cfu/g)、土壤全磷与速效磷含量以及土壤 pH 值的变化情况。

## 2 结果与分析

表 1 供试土壤的基本理化性状

土壤类型	水解性氮(N)(mg/kg)	有效磷(P)(mg/kg)	速效钾(K)(mg/kg)	有机质(%)
低磷土壤(黑)	100.429 2	21.385 3	187.643 1	2.749 5
高磷土壤(黄)	100.464 8	95.277 7	255.005 2	2.408 7

### 2.1 不同吸附载体及剂型的溶磷菌剂对土壤全磷含量的影响

分别采集室内培养 30 d、60 d 和 90 d 的不同含磷量的供试土壤,测定不同吸附载体和剂型对土壤全磷含量的影响,结果见图 1、图 2。

从试验结果可以看出,溶磷菌剂的不同配方及剂型对土壤全磷含量均有一定的影响。无论是溶磷菌液还是固体剂型,随着培养时间的延长土壤全磷含量均有所增加,而且对于高磷土壤的溶

磷作用不如低磷土壤效果明显。从对低磷土壤(黑土)全磷含量影响分析(图 1),喷施溶磷菌液的处理在培养 30 d、60 d 和 90 d 时与空白对照相比,土壤全磷分别增加了 0.142 g/kg、0.056 g/kg 和 0.174 g/kg。以 4 种不同的固体吸附基质研制的固体剂型对土壤全磷的影响好于溶磷菌液,与空白对照相比,在土壤培养 30 d、60 d 和 90 d 时土壤全磷含量增幅在 0.023 ~ 0.277 g/kg 之间,以配方 1 和配方 3 效果为最优,其次为配方 4,配方 2 效

果稍差一些。从对高磷土壤(黄土)全磷含量分析(图 2), 喷施溶磷菌液的处理在培养 30 d、60 d 和 90 d 时与空白对照相比, 土壤全磷分别增加了 0.134 g/kg、0.022 g/kg 和 0.076 g/kg。4 种不同的固体吸附基质在土壤培养 30 d、60 d 和 90 d 时与

空白对照相比, 土壤全磷含量增幅在 0.014 ~ 0.174 g/kg 之间, 以配方 1 和配方 4 效果最好。不同配方处理的土壤全磷含量与基质对照相比都表现出了优势, 说明了溶磷菌在土壤中能够定殖, 并且对于溶化土壤难溶性磷起到积极的作用。

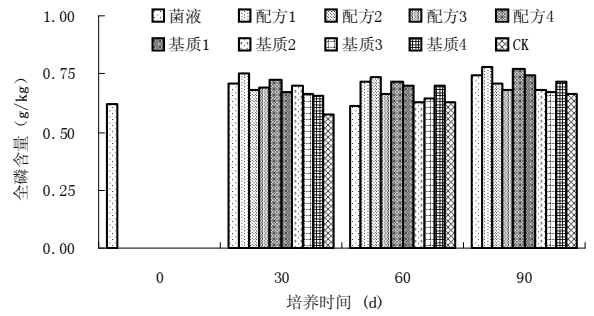
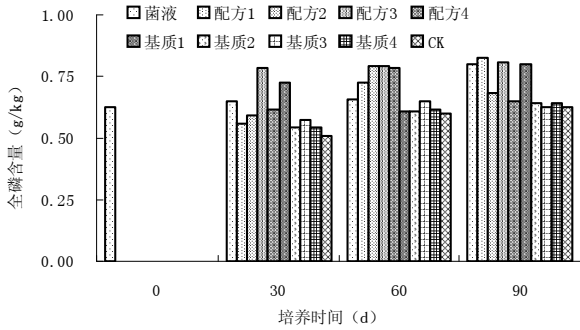


图 1 不同配方溶磷菌剂对低磷土壤全磷含量的影响(黑土)

图 2 不同配方溶磷菌剂对高磷土壤全磷含量的影响(黄土)

### 2.2 不同吸附载体及剂型的溶磷菌剂对土壤速效磷含量的影响

分别采集室内培养 30 d、60 d、90 d 和 120 d 的不同含磷量的供试土壤, 测定不同吸附载体和剂型对土壤速效磷含量的影响, 结果见图 3、图 4。

试验结果表明, 溶磷菌剂的不同配方及剂型对土壤速效磷含量有一定的影响。从对低磷土壤(黑土)速效磷含量影响分析(图 3), 溶磷菌液和固体基质吸附的处理随着培养时间的延长, 土壤速效磷含量明显高于基质对照和空白对照。在土壤

培养 30 d、60 d 和 90 d 时与空白对照相比, 溶磷菌液土壤速效磷含量分别增加 6.52 mg/kg、10.52 mg/kg 和 10.94 mg/kg; 配方 1 和配方 2 增加幅度较小, 在 2.48 ~ 5.38 mg/kg 之间; 配方 3 和配方 4 土壤速效磷含量增幅在 11.40 ~ 15.46 mg/kg 之间。所以, 溶磷菌剂在低磷土壤上的施用效果以配方 3、配方 4 > 液体剂型 > 配方 1、配方 2。而无论是液体剂型还是固体剂型, 当土壤培养到 120 d 时土壤速效磷含量降低比较明显, 而此时土壤溶磷微生物数量也明显减少。

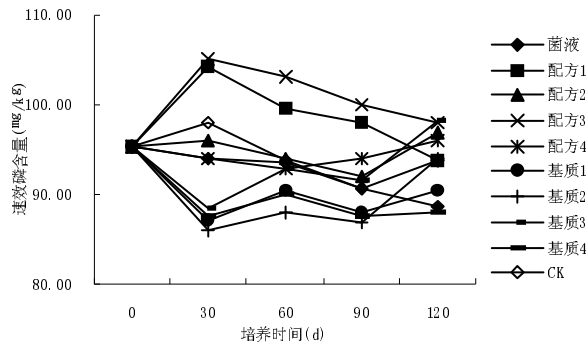
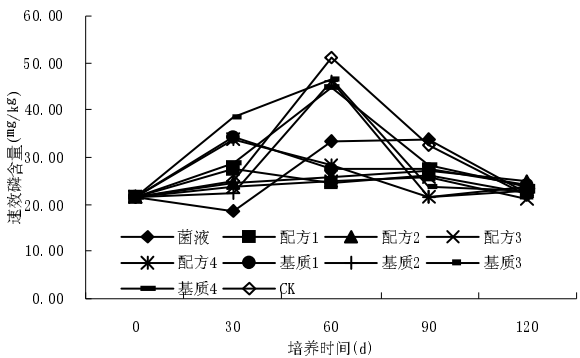


图 3 不同配方溶磷菌剂对低磷土壤速效磷含量的影响(黑土)

图 4 不同配方溶磷菌剂对高磷土壤速效磷含量的影响(黄土)

从对高磷(黄土)速效磷含量影响分析(图 4), 不同剂型及配方的溶磷效果有所差异。配方 1、配方 3 在土壤培养 30 d、60 d 和 90 d 时与空白对照相比, 土壤速效磷含量增幅在 8.50 ~ 16.08 mg/kg 之间, 配方 2、配方 4 土壤速效磷增幅较小, 在 1.34 ~ 7.66 mg/kg 之间, 液体剂型的溶磷效果不十分明显, 在培养 90 d 以后土壤速效磷含量已经低于空白对照。所以, 溶磷菌剂在高磷土壤上的施用效果以配方 1、配方 3 > 配方

2 > 配方 4 > 液体剂型。而且与培养前相比, 只有配方 1 和配方 3 速效磷含量有所增加, 其余处理均有所降低; 而低磷土壤施用溶磷菌剂后速效磷含量都高于培养前的土壤样品。也就是说土壤本身的磷素营养状况对于菌剂的溶磷效果有一定的影响, 土壤有效磷的本底值越高菌剂的溶磷效果越不好。

### 2.3 不同吸附载体及剂型的溶磷菌剂对土壤溶磷菌数的影响

分别采集室内培养 30 d、60 d、90 d、120 d 和 150 d 的不同含磷量的供试土壤，测定不同吸附载体和剂型对土壤溶磷菌数的影响，结果见图 5、图 6。

不同吸附载体及剂型对于低磷土壤（黑土）溶磷菌数影响的测定结果表明(图 5)，在整个培养过程中土壤溶磷菌数的变化呈双峰曲线。即随着土壤培养时间的延长各个处理溶磷菌数逐渐上升，当培养至 60 d 土壤溶磷菌数达到最大值，不同处理的差别为配方 2> 配方 4> 配方 3> 配方 1> 溶磷菌液 > 基质对照 > 空白对照。当培养到 90 d 时土壤溶磷菌数开始下降，但含量仍是菌剂(菌液)处理 > 基质对照 > 空白对照。当培养至 120 d 时各个处理的溶磷菌数略有上升，但幅度不十分明显。培养至 150 d 处理间略有下降且含量水平基本一致。在整个过程中不接菌的空白对照溶磷菌数基本没有变化，说明基质的加入对于土壤微生物群落变化也有一定的影响。

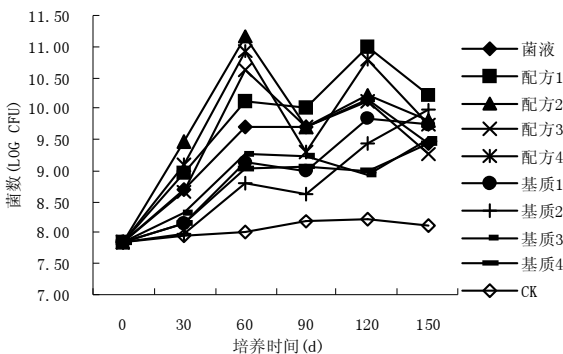


图 5 不同配方溶磷菌剂对低磷土壤溶磷菌数的影响(黑土)

不同吸附载体及剂型对于高磷土壤（黄土）溶磷菌数影响的测定结果表明(图 6)，在整个培养过程中土壤溶磷菌数的变化与低磷土壤呈现相同的趋势，即随着土壤培养时间的延长各个处理溶磷菌数逐渐升高，尔后缓慢下降。当培养至 60 d 土壤溶磷菌数达到最大值，不同处理的差别为配方 1> 配方 4> 配方 3> 配方 2> 溶磷菌液 > 基质对照 > 空白对照。当培养到 90 d 时土壤溶磷菌数开始下降，但含量仍是菌剂(菌液)处理 > 基质对照 > 空白对照。当培养至 120 d 以后各个处理的变化与低磷土壤呈现相同的趋势。在整个过程中不接菌的空白对照与培养前土壤样品相比，溶磷菌数也呈缓慢上升的趋势，说明土著菌在培养过程中也能够进行生长繁殖。而基质的加入对于土壤微生物群落变化也有一定的积极作用。

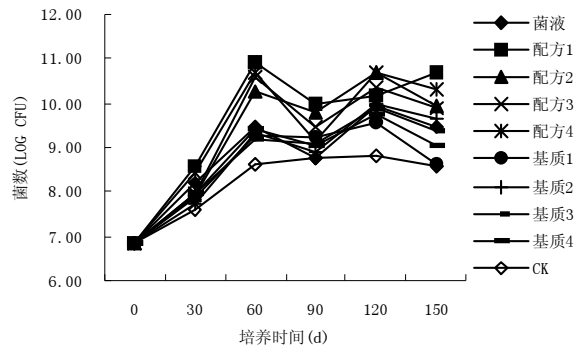


图 6 不同配方溶磷菌剂对高磷土壤速效磷含量的影响(黄土)

### 3 小结与讨论

不同吸附载体配方及剂型改善土壤磷素状况的室内培养试验结果表明，4 种配方的溶磷菌剂和 1 种液体剂型对于土壤全磷、速效磷以及溶磷菌数都有一定的促进作用。但土壤基础肥力不同，溶磷菌剂(液)的作用效果也有所差异，对于速效磷含量较低的供试土壤(黑土)，溶磷菌剂(液)改善土壤磷素状况的效果好于高磷的供试土壤。而不同配方的吸附载体溶磷效果也有较大的差别。

对于低磷供试土壤，改善全磷状况效果较好的菌剂(液)次序为：配方 3> 配方 1> 液体剂型 > 配方 2> 配方 4，在整个土壤培养过程中(30 d、60 d 和 90 d 测定)溶磷菌剂(液)与空白对照相比，土壤全磷平均含量依次增加 0.219 g/kg、0.181 g/kg、0.124 g/kg、0.113 g/kg 和 0.105 g/kg。改善低磷土壤速效磷含量效果较好菌剂(液)为：配方 4> 配方 3> 液体剂型 > 配方 1> 配方 2，在整个土壤培养过程中(30 d、60 d、90 d、120 d 测定)溶磷菌剂(液)与空白对照相比，土壤速效磷平均含量依次增加 11.22 mg/kg、9.431 mg/kg、7.34 mg/kg、4.36 mg/kg 和 3.38 mg/kg。

对于高磷供试土壤，改善全磷状况效果较好的菌剂(液)次序为：配方 1> 配方 4> 配方 2> 液体剂型 > 配方 3，在整个土壤培养过程中(30 d、60 d 和 90 d 测定)溶磷菌剂(液)与空白对照相比，土壤全磷平均含量依次增加 0.130 g/kg、0.120 g/kg、0.098 g/kg、0.077 g/kg 和 0.063 g/kg。改善高磷土壤速效磷含量效果较好菌剂(液)为：配方 3> 配方 1> 配方 2> 配方 4，在整个土壤培养过程中(30 d、60 d、90 d、120 d 测定)溶磷菌剂与空白对照相比，土壤速效磷平均含量依次增加 10.37 mg/kg、7.83 mg/kg、3.99 mg/kg 和 3.08 mg/kg，(下转第 47 页)

以看出 A、B 处理总碱度随培养时间的延长呈下降趋势。第 1 周到第 3 周下降的幅度最大, A 处理从 0.181 1 (me/g) 下降到 0.059 (me/g), B 处理从 0.170 2(me/g)下降到 0.006 3(me/g), 与原土总碱度 0.258 0(me/g)相比均有下降。

培养前 3 周, B 处理的总碱度明显低于 A 处理, 说明  $\text{CO}_3^{2-}$  和  $\text{HCO}_3^-$  在该阶段主要向分解方向转变。

### 3 小 结

豆渣对苏打盐碱土具有明显的改良作用, 干燥豆渣培养和发酵培养相比, 发酵培养效果较好。添加豆渣培养后盐碱土的 pH 值显著下降, 总碱度降低, 特别是短时间培养还可以增加  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  含量, 且最优时间段为培养 3 周。

(上接第 44 页)液体剂型的溶磷效果不十分明显。

不同吸附载体及剂型对于低磷和高磷供试土壤溶磷菌数的影响呈现相同的变化趋势, 即随着土壤培养时间的延长各个处理溶磷菌数逐渐上升, 当培养至 60 d 土壤溶磷菌数达到最大值, 当培养到 90 d 时土壤溶磷菌数开始下降, 120 d 时各个处理的溶磷菌数略有上升, 但幅度不十分明显。不同处理的差别为吸附载体 > 溶磷菌液 > 基质对照 > 空白对照。在整个过程中基质的加入对于土壤全磷、速效磷含量、土壤微生物群落变化也有一定的影响。

综合评价溶磷菌剂(液)对土壤磷素的影响, 高磷土壤效果没有低磷土壤效果好。也就是说土壤本身的磷素营养状况对于菌剂的溶磷效果有一定的影响, 土壤有效磷的本底值越高菌剂的溶磷效果越不好。

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: 456-459.
- [2] Richardson AE, Double B E, Gupta V, et al. Eds. Soil Biota Management in Sustainable Farming System [A]. Soil microorganism and phosphorus availability [C]. CSIRO: Melbourne, 1994: 50-62.

参考文献:

- [1] 王丽贤, 张小云, 吴 森. 盐碱土改良措施综述[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(17): 99-102.
- [2] 秦嘉海, 吕 彪, 南永惠, 等. 糠醛渣的改土增产效应[J]. 土壤通报, 1994, 25(5): 237-238.
- [3] 李 茜, 孙兆军, 秦 萍, 等. 燃煤烟气脱煤废弃物和糠醛渣对盐碱土的改良效应 [J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(4): 70-73.
- [4] 张金龙, 王振宇, 张 清. 开发利用发酵残渣改良盐碱土的研究[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(增刊): 184-187.
- [5] 王 宇, 韩 兴, 赵兰坡. 硫酸铝对苏打盐碱土的改良作用研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 50-53.
- [6] 张延伸. 关于豆渣的综合开发利用 [J]. 天津农业科学, 1994 (4): 23-25.
- [7] 肖少香. 豆渣发酵技术的研究 [J]. 食品科技, 2007(7): 72-75.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 268-282.

- [3] 沈善敏. 中国土壤肥力 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 220-227.
- [4] 宋 春, 韩晓增. 不同土地利用下黑土磷素肥力特征的研究 [J]. 土壤通报, 2007, 38(5): 928-933.
- [5] 张宝贵, 李贵桐. 土壤生物在土壤磷有效化中的作用[J]. 土壤学报, 1998, 36(1): 102-111.
- [6] 徐俊兵. 扬州市土壤有机质和速效磷钾的分布研究 [J]. 土壤, 2004, 36(1): 99-103.
- [7] 金荣德, 范作伟, 高星爱, 等. 高效溶磷微生物菌株的筛选、鉴定及其对磷素效率的影响 [J]. 吉林农业科学, 2011, 36(1): 13-16.
- [8] 梁绍芳. 解磷微生物肥料的作用和应用[J]. 土壤肥料, 1994 (2): 45-48.
- [9] Illmer P, Schinner F. Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soils [J]. Soil Biology & Bio-chemistry, 1992, 24(2): 389-395.
- [10] Gaind S, Gaur A C. Thermo tolerant phosphate Solubilization - microorganism and their inter-action with mung bean [J]. Plant and Soil, 1991(133): 141-149.
- [11] Chabot R, Antoun H, Cescas M P. Growth promotion of maize and lettuce by phosphate-solubilizing Rhizobium legumi - nosarum biovar phaseoli [J]. Plant and Soil, 1996(184): 311-321.
- [12] 赵小蓉, 林启美. 微生物解磷的研究进展 [J]. 土壤肥料, 2001, 5(3): 7-11.