

一株新的溶磷草生欧文氏菌的分离、鉴定及其溶磷效果的初步研究

杨慧, 范丙全*, 龚明波, 李全霞

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 从湖南、湖北、云南等地磷矿开采场的土壤样品中筛选到一株溶磷能力较强的菌株P21, 结合生理生化指标和 16S rDNA序列分析鉴定其属于草生欧文氏菌菠萝变种(*Erwinia herbicola* var. *ananas*)。该菌能溶解磷酸三钙、羟基磷灰石、磷酸铁、磷酸锌, 其中对磷酸三钙和羟基磷灰石的每升液体培养基溶磷量(P_2O_5)分别高达 1206.20mg、529.67mg。溶磷菌草生欧文氏菌菠萝变种P21对产地不同的 8 种磷矿石溶解能力不同, 对云南晋宁和昆阳、四川雅安、江苏锦屏等地磷矿石有较强的溶解能力, 每升液体培养基溶磷量分别为 96.64mg、78.46mg、67.07mg、65.24mg, 对其它产地的磷矿石溶解能力较差。实验表明, 培养液的pH下降与溶磷菌P21的溶磷量无直接关系。

关键词: 溶磷菌; 鉴定; 溶磷能力

中图分类号: Q938, Q939 文献标识码: A 文章编号: 0001-6209(2008)01-0051-06

磷是植物生长发育所必需营养元素之一, 我国有 74%的耕地土壤缺磷。土壤中 95%以上的磷为难溶形态, 植物很难吸收利用, 施入的磷肥当季植物利用率为 5%~25%。大部分磷与土壤中的 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 结合, 形成难溶磷酸盐^[1]。土壤中存在大量溶磷微生物, 能够将难溶性磷酸盐转化为植物可吸收利用的形态, 具有这种能力的微生物叫做溶磷微生物(phosphate-solubilizing microorganisms)。利用微生物溶磷提高土壤中难溶性磷的有效性和磷肥的利用率一直受到科学家的重视。由于不同种类的溶磷菌或不同菌株之间的溶磷能力有较大差异, 所以高效溶磷菌的筛选工作尤为重要。国内外关于溶磷欧文氏菌的研究已有报道^[2-4], 然而关于草生欧文氏菌菠萝变种的筛选及溶磷效果没有研究。本研究对筛选的溶磷能力较强的菌株P21进行了生理生化和 16S rDNA序列分析, 鉴定其为草生欧文氏菌菠萝变种, 并对其溶解不同难溶性磷酸盐和磷矿石的能力进行了研究, 以期溶磷微生物肥

料的生产提供优良菌株。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 土壤样品来源: 土壤取自湖南、湖北、重庆、云南、四川、贵州等地的磷矿石堆积处和农田, 置 4 冰箱保存, 备用。

1.1.2 培养基: 难溶无机磷培养基用于溶磷菌株分离: 葡萄糖 10g, $(NH_4)_2SO_4$ 0.5g, NaCl 0.3g, KCl 0.3g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.3g, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.03g, $MnSO_4 \cdot 4H_2O$ 0.03g, 磷源 5.0g, 馏水至 1000mL, pH7.0~7.5。牛肉膏斜面培养基: 牛肉膏 3g, 蛋白胨 5g, 琼脂 18g, 水 1000mL, pH 7.0~7.2。

1.1.3 磷源: 供试难溶磷酸盐为磷酸三钙($Ca_3(PO_4)_2$)、磷酸铝($AlPO_4$)、磷酸铁($FePO_4$)、磷酸锌($Zn_3(PO_4)_2$)购于北京化学试剂公司, 羟基磷灰石($Ca_5(PO_4)_3OH$)(HA)购于上海申能博彩试剂公司。磷矿石: 浏阳(Liuyang RP)、昆阳(Kunyang RP)、晋宁

基金项目: 国家自然科学基金(30270048)

通讯作者: Tel: +86-10-68918689; E-mail: bfan@caas.ac.cn

作者简介: 杨慧(1981-), 女, 山东济宁人, 硕士研究生, 主要从事溶磷微生物资源与利用研究。E-mail: huihuiy@163.com

收稿日期: 2007-04-16; 修回日期: 2007-09-20

(Jinning RP)、开阳(Kaiyang RP)、锦屏(Jinping RP)、连云港(Lianyungang RP)、雅安(Yaan RP)、肥东(Feidong RP), 所有磷矿石粉碎过筛(<0.018mm)。用2%的柠檬酸浸提, 钒钼黄法测定磷矿石有效磷含量; 用硝酸(1:1)浸提, 钒钼黄法测定全磷含量(表1)。

表1 8种磷矿粉有效磷和全磷含量比例(P₂O₅%)
Table 1 Available and total P₂O₅ content rate in eight rock phosphates (P₂O₅%)

Rock phosphates source	Total P ₂ O ₅	Available P ₂ O ₅
Jinning RP	34.51	0.40
Kunyang RP	34.56	0.38
Yaan RP	32.90	0.27
Jinping RP	33.46	0.13
Kaiyang RP	33.64	0.37
Feidong RP	33.41	0.13
Liuyang RP	34.33	0.35
Lianyungang RP	34.62	0.18

1.2 溶磷菌的分离筛选

吸取制备好的不同稀释度(10⁻²~10⁻⁴)土壤悬液, 将采集到的土壤样品涂布于难溶无机磷培养基上, 28℃倒置培养7d, 将溶磷圈较大的菌株分离, 转接斜面保存, 备用。

1.3 菌株 P21 溶磷效果测定

1.3.1 菌悬液制备: 将牛肉膏蛋白胨上培养16h~24h的菌株P21刮入无菌水中, 于漩涡混合器中混合30s, 制备成菌悬液, 菌数约为1×10⁸cfu/mL。

1.3.2 菌株 P21 对5种难溶性磷酸盐溶解能力测定: 三角瓶中装入50mL已灭菌的无机磷培养基, 难溶磷酸盐浓度为5g/L, 分别接种1mL菌悬液, 28℃, 160r/min摇床培养7d。培养液15000r/min, 4℃离心5min, 取1~2mL上清液测定有效磷含量和pH值。设不接菌对照, 每个处理重复4次。

1.3.3 菌株 P21 对8种磷矿石溶解能力的测定: 取1mL菌液接入到50mL无机磷培养基中, 磷矿石的加入量为5g/L, 在28℃、160r/min摇床条件下培养10d。测定培养液中菌体数量、有效磷含量和pH值。设不接菌对照, 每个处理重复4次。

1.3.4 测定方法: 上清液有效磷含量用钼锑抗比色法测定, 溶磷量为扣除不接种对照的值。pH值用pH计测定; 培养液中溶磷菌P21数量用平板计数法测定; 用SAS统计软件进行数据分析(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)。

1.4 菌种鉴定

1.4.1 菌落特征观察和生理生化测定: 根据菌株P21菌落形态特征、革兰氏染色、生理生化鉴别试验, 参

照《伯杰氏细菌鉴定手册》(第九版)^[5]进行属和种的鉴别。

1.4.2 16S rDNA 鉴定: 平板划线得出菌株P21单菌落, 挑取单菌落直接进行PCR扩增。PCR引物为16S P1 (5'-GAGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3')、16S P2 (5'-GCCCGTCGAATTCCTTTGAG-3')分别对应于大肠杆菌16S rRNA保守区8~27位和910~931位。

PCR反应体系为50μL, 反应条件: 94℃ 5min; 94℃ 30s, 55℃ 50s, 72℃ 50s, 循环30次; 72℃ 10min。取2μL反应液进行1%琼脂糖电泳检测, PCR扩增产物送到北京华大生科技发展有限公司测序。将测定所获得的DNA序列, 输入GenBank, 用Blastn程序与数据库中的所有序列进行比较分析。

2 结果和分析

2.1 分离筛选

从各地土壤样品中分离到456株溶磷菌, 包括溶磷细菌、真菌、放线菌, 其中菌株P21的溶磷圈较大, 生长状况良好, 第7天时溶磷圈直径为1.20cm, 菌落直径为0.25cm, 溶磷圈直径/菌落直径为4.80, 本试验选择其作为供试菌株。

2.2 菌株 P21 在液体培养基中的溶磷能力

在液体摇瓶中菌株P21溶解5种难溶性磷酸盐能力(由大到小)依次为: 磷酸三钙 > 羟基磷灰石 > 磷酸锌 > 磷酸铁 > 磷酸铝。溶磷菌P21可强烈的溶解磷酸三钙和羟基磷灰石, 溶磷量分别高达1206.20mg/L、529.67mg/L, 溶解率分别为52.72%、37.49%。菌株P21也能较好的溶解磷酸锌, 但对磷酸铁和磷酸铝的溶解能力较弱(表2)。

表2 菌株 P21 对5种难溶磷酸盐的溶解效果
Table 2 Solubilization effects of P21 strain on 5 different insoluble phosphates in liquid medium

Phosphates source	P ₂ O ₅ dissolved / (mg/L)	Phosphate used / %	pH
Ca ₃ (PO ₄) ₂	1206.20 a	52.72	3.88 bc
HA	529.67 b	37.49	4.52 b
Zn ₃ (PO ₄) ₂	151.18 c	8.22	5.95 a
FePO ₄	53.13 d	2.26	3.75 c
AlPO ₄	41.40 d	1.42	4.04 bc
Signif(P=)	0.01		0.01

接种溶磷菌P21培养7d后, 磷酸锌培养液pH值(5.95)与对照pH值(6.34)相比无太大变化, 而磷酸三钙、羟基磷灰石、磷酸铁和磷酸铝培养液的pH值(3.88、4.52、3.75、4.04)与对照pH值(6.88、5.76、

5.99、5.61)相比均有较大幅度下降。以磷酸锌为磷源的培养液中有效磷的增加量(151.18mg/L)显著的高于以磷酸铁、磷酸铝为磷源的培养液中有效磷的增量(53.13mg/L、41.40mg/L),但其培养液的pH值(5.95)显著的高于磷酸铁、磷酸铝培养液中的pH值(3.75、4.04)(表2)。

2.3 菌株 P21 对磷矿石溶磷能力

液体培养条件下,溶磷菌 P21 对不同来源的磷矿石,都表现一定的溶磷能力(表3)。其对8种磷矿石的溶解能力(由大到小)依次为晋宁>昆阳>雅安>锦屏>开阳>肥东>浏阳>连云港。溶磷菌 P21 对晋宁、昆阳、雅安、锦屏等地的磷矿石有能较强溶解能力,培养10d后溶磷量分别为96.64mg/L、78.46mg/L、67.07mg/L、65.24mg/L,显著的高于开阳、肥东、浏阳、连云港等地磷矿石的溶磷量(6.40mg/L、3.35mg/L、2.13mg/L、1.22mg/L)。以晋宁、昆阳、雅安三地磷矿石为唯一磷源的培养液pH值均低于4.0,而锦屏、开阳、肥东、浏阳、连云港等地磷矿石培养液中pH值均在4.0以上。总体

分析表明培养液中有效磷含量随pH值的降低而增加,当培养液的pH值降到3.45左右时,溶磷菌P21从晋宁、昆阳、雅安等地磷矿石中溶解出大量的有效磷(96.64mg/L、78.46mg/L、67.07mg/L)。

磷矿石培养液中溶磷菌P21的菌数有较大的变化,除开阳、浏阳、连云港等地磷矿石培养液中菌数(5.65×10^5 cfu/mL、 1.45×10^5 cfu/mL、 1.90×10^5 cfu/mL)均低于最初接种量(1×10^6 cfu/mL),其余各地磷矿石培养液中菌体数量级均高于 10^6 。晋宁、昆阳、雅安、锦屏等地磷矿石培养液中的菌数及有效磷含量均显著的高于开阳、浏阳、连云港等地磷矿石培养液中的菌数和有效磷含量。以雅安和肥东为唯一磷源的培养液中溶磷菌P21菌体数量级都在 10^7 ,但是菌株P21对从两种磷矿石中释放出的有效磷含量却有很大的差别(67.07mg/L、3.35mg/L)。说明培养液中溶磷菌P21的菌数对其溶解8种磷矿石的能力有一定影响,但培养液中菌体的数量的多少不是决定菌株溶磷的主要原因。

表3 菌株 P21 对 8 种磷矿石的溶解效果

Table 3 Solubilization of eight rock phosphates by P21 strain

Rock phosphorous source	Poluble P ₂ O ₅ / (mg/L)	CK	Insoluble P ₂ O ₅ dissolved/(mg/L)	Phosphate used /%	pH	Strain concentration / (Cfu/mL)
Jinning RP	117.42 a	20.78 a	96.64 a	5.60	3.44 b	1.55×10^6 c
Kuyang RP	97.67 ba	19.21 a	78.46 ab	4.54	3.45 b	9.85×10^9 a
Yaan RP	82.68 b	15.61 abc	67.07 ab	4.08	3.45 b	6.45×10^7 b
Jinping RP	72.56 b	7.32 c	65.24 b	3.90	5.14 a	5.45×10^6 c
Kaiyang RP	26.01c	19.61 a	6.40 c	0.38	4.81 a	5.65×10^5 c
Feidong RP	10.67 c	7.32 c	3.35 c	0.20	4.92 a	7.30×10^7 b
Liuyang RP	20.30 c	18.17 ba	2.13 c	0.12	5.31 a	1.45×10^5 c
Lianyuangang RP	11.29 c	10.07 bc	1.22 c	0.07	5.45 a	1.90×10^5 c
Signif(P=)	0.01	0.02	0.01		0.01	0.01

2.4 菌种鉴定

2.4.1 形态观察与生理生化鉴定: 菌株P21在牛肉膏培养基上菌落为圆形,表面光滑,颜色为黄色,菌落边缘整齐,中心隆起。革兰氏染色为阴性,细胞呈杆状,端圆,周生鞭毛,运动性。生理生化反应结果显示,菌株P21不能利用丙二酸,可以利用柠檬酸,发酵葡萄糖不产气;利用阿拉伯糖、甘露醇、肌醇、半乳糖、鼠李糖、山梨醇产酸,不能利用卫矛醇;明胶液化、吡啶、H₂S产生试验为阳性反应;脲酶、苯丙氨酸脱氨酶、硝酸盐还原试验为阴性反应。结合形态观察和葡萄糖氧化发酵、糖醇类发酵、明

胶液化等生理生化实验结果,检索《伯杰氏鉴定手册》可确定菌株P21属于草生欧文氏菌菠萝变种(*Erwinia herbicola* var.*anas*)(表4)。

2.4.2 16S rDNA 鉴定: 利用细菌16S rDNA特异引物(P1、P2)进行扩增,得到长约1462bp的PCR扩增产物。用BLAST程序对菌株P21的16S rDNA序列与数据库中的所有序列进行核苷酸同源性对比,根据16S rDNA序列相似性构建系统发育树。菌株P21与欧文氏菌属形成一个族群(图1)。结合生理生化鉴定结果,故将菌株P21分类为草生欧文氏菌菠萝变种,命名为*Erwinia herbicola* var.*anas* P21。

表 4 菌株 P21 菌株的生理生化特征
Table 4 Physiological and biochemical characteristics of P21 strain

Characteristics		Characteristics	
Gram stain	G-	Glucose oxidation	+
Motility	+	Glucose fermentation	-
Celation Liuefaction	+	Arabinose	+
Indole producing	+	Mannitol	+
Christensen's	-	Galactitol	-
H ₂ S Production	+	Inositol	+
Propionate utilizing	-	Galactose	+
Citrate utilizing	+	Rhamnoee	+
Nitrate reducing	-	Sorbitose	+
Phenylalanine deaminase	-		

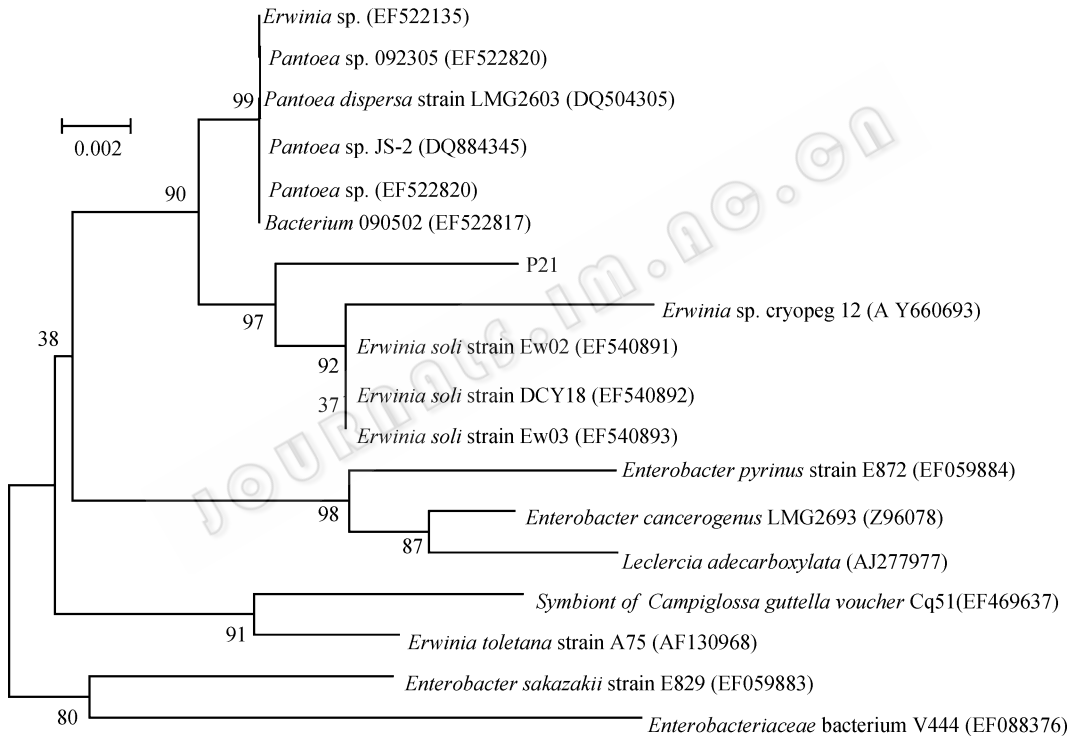


图 1 基于 16S rDNA 序列同源性构建的系统发育树

Fig. 1 Phylogenetic tree based on 16S rDNA sequences homology. Evolutionary distances showed in the figure were calculated by MEGA 3.0; Bootstrap=1000.Bar, 0.002 substitution per nucleotide.

3 讨论

培养液酸碱度的变化与溶磷能力之间存在显著相关性^[6], 溶磷量随pH下降而增加。pH值降低的原因有很多种:微生物分泌有机酸^[7]; 通过呼吸作用产生碳酸^[8]; 释放H₂S^[9]; NH₄⁺/ H⁺交换机制^[10]。溶磷微生物的溶磷机制一般认为是由于微生物分泌有机酸, 这些酸既能降低pH值, 又可与铁、铝、钙等离子螯合, 从而使难溶磷转化为有效磷^[11]。也有研究证明, 一些溶磷菌导致培养介质酸度的降低与产

生的有机酸无关, 不产有机酸的微生物也具有溶磷作用^[12]。赵小蓉研究却发现介质pH值的下降, 并不是溶磷的必要条件^[13]。研究表明草生欧文氏菌菠萝变种P21 对不同难溶磷源的溶磷量与培养液pH下降无直接关系, 可能在培养过程中溶磷菌P21 除有机酸外还分泌一些非有机酸物质。

同一株菌对不同的磷酸盐的溶解能力不同^[14], 由于不同形态的磷酸盐, 其结构和成分差异很大, 导致微生物对其溶解能力的差异。Seshadri等研究发现溶磷真菌Aspergillus niger对不同难溶性磷酸盐的溶解能

力不同, 磷酸二钙、磷酸三钙>磷酸铁、磷酸铝>石灰石^[6]。Narsian 和Patel也发现*A. aculeatus* 对不同来源的磷矿粉的溶解能力差异^[15]。本试验研究了草生欧文氏菌菠萝变种P21 对不同难溶磷源的溶解能力, 发现其对不同的磷酸盐和磷矿石溶解能力同样也存在特异性, 对不同难溶磷源的溶解能力依次为: 磷酸三钙>羟基磷灰石>磷酸锌>晋宁磷矿石>昆阳磷矿石>四川磷矿石>锦屏磷矿石>磷酸铁>磷酸铝>其它种磷矿石。

据不完全统计, 目前全世界共筛选出 30 属 89 种溶磷微生物, 其中真菌 27 个种, 细菌 58 个种, 放线菌 4 个种^[16-20]。研究较多的如芽孢杆菌(*Bacillus*)、假单胞杆菌(*Pseudomonas*)、

欧文氏菌(*Erwinia*)、肠细菌(*Enterbacter*)、埃希氏菌(*Escherichia*)等。研究鉴定溶磷菌P21 为草生欧文氏菌菠萝变种(*Erwinia herbicola* var.*ananas*)该菌对不同的难溶磷源有不同程度的溶解能力, 具有较广的“溶磷谱”, 尤其对磷酸三钙、羟基磷灰石有较强的溶解能力。而土壤难溶磷矿物 50%以上以磷酸钙的形态存在, 其次为磷酸铁、磷酸铝^[21], 因而草生欧文氏菌菠萝变种P21 能够在活化土壤难溶磷酸三钙、磷酸八钙及磷酸十钙中发挥重要作用。

参 考 文 献

[1] 黄伟, 黄欠如, 胡锋, 等. 红壤溶磷菌的筛选及溶磷能力的比较. 生态与农村环境学报(*Journal of Ecology and Rural Environment*), 2006, 22(3): 37-40.

[2] Anderson S. Production of 2-keto-L-gulonate, an intermediate in L-ascorbate synthesis, by a genetically modified *Erwinia herbicola*. *Science*, 1985, 230: 144-149.

[3] Goldstein AH, Liu ST. Molecular cloning and regulation of a mineral phosphate solubilizing gene from *Erwinia herbicola*. *Journal of Biotechnology*, 1987, 5: 72-74.

[4] Rodriguez H, Gonzalez T, Selman G. Expression of a mineral phosphate solubilizing gene from *Erwinia herbicola* in two rhizobacterial strains. *Journal of Biotechnology*, 2000, 84(2): 155-161.

[5] 中国科学院微生物研究所. 伯杰氏细菌鉴定手册. 第九版. 北京: 科学出版社, 1994.

[6] Seshadri S, Ignacimuthu S, Lakshminarasimhan C. Effect of nitrogen and carbon sources on the inorganic phosphate solubilizing by different *Aspergillus niger* strains. *Chemical Engineering Communications*, 2004, 191(8): 1043-1052.

[7] Rodriguez H, Fraga R, Gonzalez T, et al. Genetics of phos-

phate solubilization and its potential applications for improving plant growth promoting bacteria. *Plant Soil*, 2006, 287: 15-21.

[8] Illmer P, Schinner F. Solubilization of inorganic phosphates by microorganisms isolated from forest soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 1992, 24: 389-395.

[9] Sperher JI. Solution of mineral phosphate by soil bacteria. *Nature*, 180: 994-995.

[10] Asea PEA, Kucey RMN, Stewart JWB. Inorganic phosphate solubilization by two *Penicillium* species in solution culture and soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 1988, 20(4): 459-464.

[11] 冯月红, 姚拓, 龙瑞军. 土壤解磷菌研究进展. 草原与草坪(*Grassland and Turf*), 2003, (1): 3-7.

[12] Pandey A, Trivedi P, Kumar B, et al. Characterization of a phosphate solubilizing and antagonistic strain of *Pseudomonas putida* (B0) isolated from a sub-alpine location in the Indian Central Himalaya. *Current Microbiology*, 2006, 53: 102-107.

[13] 赵小蓉, 林启美. 细菌解磷能力测定方法的研究. 微生物学通报(*Microbiology*), 2001, 28(1): 1-4.

[14] 钟传青, 黄为一. 解磷菌 7 对不同来源磷矿粉的溶磷作用及机制. 土壤通报(*Chinese Journal of Soil Science*), 2004, 41(6): 931-937.

[15] Narsian V, Patel HH. *Aspergillus aculeatus* as a rock phosphate solubilizer. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32: 559-565.

[16] Peix A, Rivas R, Santa RI, et al. A novel phosphate-solubilizing bacterium isolated from the rhizosphere of grasses. *International journal of systematic and evolutionary Microbiology*, 2004, 54(3): 847-850.

[17] Rivas R, Trujillo ME, Sanchez MS, et al. *Microbacterium ulmi* sp nov, a xylanolytic phosphate-solubilizing bacterium isolated from sawdust of *Ulmus nigra*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 2004, 54(2): 513-517.

[18] Rivas R, Peix A, Mateos PF, et al. Biodiversity of populations of phosphate solubilizing rhizobia that nodulates chickpea in different Spanish soils. *Plant and soil*, 2006, 287(1-2): 23-33.

[19] Son HJ, Park GT, Cha MS, et al. Solubilization of insoluble inorganic phosphates by a novel salt- and pH-tolerant *Pantoea agglomerans* R-42 isolated from soybean rhizosphere. *Loresource Technology*, 2006, 97(2): 204-210.

[20] 范丙全. 北方石灰性土壤中青霉菌 P8(*Penicillium oxalicum*) 活化难溶解的作用和机理研究. 中国农业科学院农业资源与农业区域规划研究所, 博士论文, 2001, pp27.

[21] 袁可能. 植物营养元素的土壤化学. 北京: 科学出版社, 1983.

Isolation and identification of a novel phosphate-dissolving strain P21

Hui Yang, Bingquan Fan^{*}, Mingbo Gong, Quanzia Li

(Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Phosphate-dissolving microorganisms can be applied for better use of insoluble phosphorus as fertilizer. A phosphate-dissolving strain P21 was isolated from soil samples in China. The isolate was identified as *Erwinia herbicola* var. *ananas*, based on its 16Sr DNA sequence and physiological characteristics. Its activity was measured in solid media as well as liquid media using different phosphate sources including tricalcium phosphate, hydroxyapatite, ferric phosphate, aluminium phosphate, zinc phosphate, and rock phosphates. *E. herbicola* could strongly dissolve 1206.20mg tricalcium phosphate and 529.67mg hydroxyapatite in per liter liquid media. The strain showed high phosphate-dissolving ability for rock phosphates from Jinning and Kunyang in Yunnan province, Yaan in Sichuan province and Jinping in Jiangsu province with the capacity of 6.64 mg, 78.46 mg, 67.07 mg and 65.24 mg soluble phosphate respectively per liter medium, whereas the phosphate-dissolving ability to the rest of the eight rock phosphates was weak. According to the experiments, the phosphate-dissolving ability of *E. herbicola* was specific to different rock phosphates, and phosphate-dissolving ability of *E. herbicola* was not directly related to pH reduction of liquid media.

Keywords: phosphate-dissolving microorganism; identify; phosphate solubilization

Supported by the National Natural Scientific Fund of China(30270048)

^{*}Corresponding author. Tel: +86-10-68918689; E-mail: bfan@caas.ac.cn

Received : 16 April 2007/Revised: 22 September 2007

欢迎订阅《微生物学报》

2008年《微生物学报》改为月刊(每月4日出版),每期页码为144面,单价为55.00元,全年定价660元。读者可以通过以下3种方式订阅本刊。刊号为:ISSN 0001-6209;CN11-1995/Q。

1. 邮发:全国各大邮局均可订阅。

国内邮发代号:2-504;国外发行代号:BM67

2. 邮购:欢迎广大读者直接与本刊编辑部联系购买,可通过邮局汇款,我们将按期免费邮寄。

汇款地址:(100101)北京朝阳区大屯路中国科学院微生物研究所内

收款人:《微生物学报》编辑部;电话:(010)64807327;E-mail:actamicro@im.ac.cn

另外,本刊编辑部现存有少量过期期刊,如有需要者可与编辑部联系,款到即免费寄上。(注:请事先与编辑部电话或e-mail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)

3. 科学出版社期刊出版中心发行部:直接与科学出版社联系。

地址:(100717)北京东黄城根北街16号;电话:(010)64034563;E-mail:journal@mail.sciencep.com