

# 一株硅酸盐细菌的鉴定及其系统发育学分析\*

何琳燕 殷永娴 黄为一\*\*

(南京农业大学生命科学院微生物学系 南京 210095)

**摘 要:** 从南京地区黄棕壤中分离的一株好氧、革兰氏阴性、产芽孢的硅酸盐细菌 NBT 菌株, 能产生丰厚的荚膜, 具有鞭毛, 能水解淀粉、产生吡啶、液化明胶, 全细胞脂肪酸为硬脂酸  $C_{16:0}$ 、软脂酸  $C_{18:1(\Delta 9)}$  和 anteiso- $C_{15}$ , DNA 的 G + C mol% 为 53.7%。16S rRNA 基因测序和系统发育学分析的结果表明, 该菌株与胶质芽孢杆菌 B-7519 (*Bacillus mucilaginosus*) 土壤芽孢杆菌 B-7517 (*B. edaphicus*) 亲缘关系最近。该菌株与 *B. edaphicus* B-7517 的总 DNA 杂交率为 69%, 在形态、生理生化特征上有差异, 故可把 NBT 菌株定为 *Bacillus edaphicus* 的一个亚种。

**关键词:** 硅酸盐细菌, 鉴定, 土壤芽孢杆菌, 系统发育学分析

中图分类号: Q939.1 文献标识码: A 文章编号: 0001-6209(2003)02-0162-07

硅酸盐细菌是土壤中一类能分解硅酸盐类矿物并释放出磷、钾等元素供植物利用的细菌, 同时, 硅酸盐细菌亦有固氮功能<sup>[1]</sup>。目前的种类主要有环状芽孢杆菌(*Bacillus circulans*)<sup>[2,3]</sup>、胶质芽孢杆菌(*B. mucilaginosus*)<sup>[4]</sup>和土壤芽孢杆菌(*B. edaphicus*)<sup>[5]</sup>等, 在采矿、冶金、微生物肥料、饲料工业上具有广阔的应用前景<sup>[6]</sup>。因此, 有关硅酸盐细菌的研究日益受到重视。但我国有关硅酸盐细菌资源和分类学研究较少, 且以表型特征和肥料应用效果研究为主<sup>[2,3,7]</sup>。盛下放等发现硅酸盐细菌 NBT 菌株能合成多种有机酸、氨基酸和植物激素, 认为硅酸盐细菌促进植物生长的机理在于硅酸盐细菌既能破坏钾长石的晶格结构, 使矿物中的钾释放出来供植株利用, 又能通过合成的植物激素来促进作物生长<sup>[7,8]</sup>。

殷永娴等<sup>[9]</sup>对其形态、生理生化特征作了初步描述, 认为其属于胶冻样芽孢杆菌(*B. mucilaginosus* Krassilnikov), 但有差别。本实验主要采用生理生化性状分析、全细胞脂肪酸分析、DNA G + C mol% 含量测定、DNA-DNA 同源性比较和 16S rDNA 序列分析对硅酸盐细菌 NBT 菌株的分类地位进行了研究。

## 1 材料和方法

### 1.1 菌株及培养条件

供试菌株为硅酸盐细菌 NBT 菌株, 由南京农业大学微生物学系分离筛选; 参照菌株为 *B. mucilaginosus* VKPM B-7519、*B. edaphicus* VKPM B-7517, 由中国农业科学院土壤肥料研究所提供。菌体生长培养基为硅酸盐细菌培养基<sup>[10]</sup>。

\* 上海市科技兴农重点攻关项目资助(农科攻字 98 第 05-2 号)。

\*\* 通讯作者

作者简介: 何琳燕(1976-)女, 江苏省常州人, 博士研究生。主要从事土壤微生物分类和养分活化研究。E-mail: hlyan0974@yahoo.com.cn

收稿日期: 2002-07-25, 修回日期: 2002-11-28

## 1.2 形态结构观察及生理生化试验

参照文献<sup>[11]</sup>在硅酸盐细菌培养基上观察菌落形态,采用 Gram 染色法光学显微镜下观察菌体形态,并进行电镜观察鞭毛结构。以硅酸盐细菌培养基为基础,参照文献<sup>[11]</sup>对菌株 NBT、B-7519、B-7517 进行生理生化实验,如糖发酵、淀粉水解、吲哚试验、VP 反应、甲基红试验等。

## 1.3 DNA G + C mol% 含量及 DNA-DNA 杂交

根据 Marmur<sup>[12]</sup>和林万明<sup>[13]</sup>等方法,提取和纯化总 DNA。采用热变性温度法来测定 DNA G + C mol%,以 *E. coli* K12 作对照;采用液相复性速率法来测定 DNA-DNA 同源性<sup>[14]</sup>,重复 3 次,所用仪器为 Lamda Bio 20 型紫外分光光度计(PERKIN ELMER 公司)。

## 1.4 16S rRNA 基因的 PCR 扩增及全序列分析

两个 PCR 引物分别为 P1:5'-CGggatccAGAGTTTGATCCTGGCTCAGAACGAACGCT-3' 和 P6:5'-CGggatccTACGGCTACCTTGTTCAGACTCACCCC-3',其中小写字母为 *Bam*H I 酶切位点,其下游序列对应于 *E. coli* 16S rRNA 基因的第 8~37 个碱基位置和第 1479~1506 个碱基位置。PCR 产物的回收纯化采用北京博大科技公司的 DNA 快速纯化回收试剂盒。PCR 产物直接测序,以 P1、P6 和 P2(5'-TTAAACCACATACTCCACTGC-3')为测序引物,用 ABI 377 DNA 自动测序仪测序。

## 1.5 序列数据分析

所测序列进入 GenBank 数据库进行相似性分析,并与 GenBank 中的相近序列在 ClustalX(1.8)程序包中进行多重序列匹配排列(Multiple Alignments)分析,最后形成一个多重序列匹配排列阵,其中形成的缺口用横杠“-”填补,用 MEGA(2.1)程序包中的 Neighbor-Joining 法构建系统进化树。

## 1.6 全细胞脂肪酸分析

菌体培养用 SPD 培养基:2.5 g 葡萄糖,4 g 淀粉,1 g (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,2 g K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>,0.5 g MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O,0.2 g NaCl,0.005 g FeCl<sub>3</sub>,用去离子水定容至 1L,pH 7.0~7.5。离心(8 000r/min×15min)收集处于对数生长期的菌体,冻干。根据刘杰华等方法<sup>[15]</sup>,抽提全细胞脂肪酸甲酯,进行气相色谱检测分析。

# 2 结果和分析

## 2.1 形态学特征

NBT 菌株在硅酸盐细菌培养基上生长良好,单个菌落呈半玻璃珠状,边缘整齐,表面湿润光滑,有光泽,无色透明(图 1-A)。菌苔浓稠富有弹性,接种针挑动时可牵拉出较长丝。菌体为杆状(1.0~1.5μm×3.0~5.0μm),两端钝圆,幼龄时周生鞭毛(图 1-B),革兰氏反应阴性。在硅酸盐细菌培养基上易形成芽孢,芽孢位于孢囊中部,孢囊不膨大。菌体外有肥厚的荚膜。

## 2.2 生理生化特征

实验结果见表 1。菌株 NBT 能很好利用葡萄糖、蔗糖、乳糖、甘露醇等为碳源,在肉汤蛋白胨培养基上生长微弱,但能利用多数氨基酸中的氮。初始生长 pH 为 5.5~9.0,最适生长 pH 为 7.0~7.5,最适培养温度为 28℃~30℃,NaCl 浓度高于 1.0% 时生长受抑制。

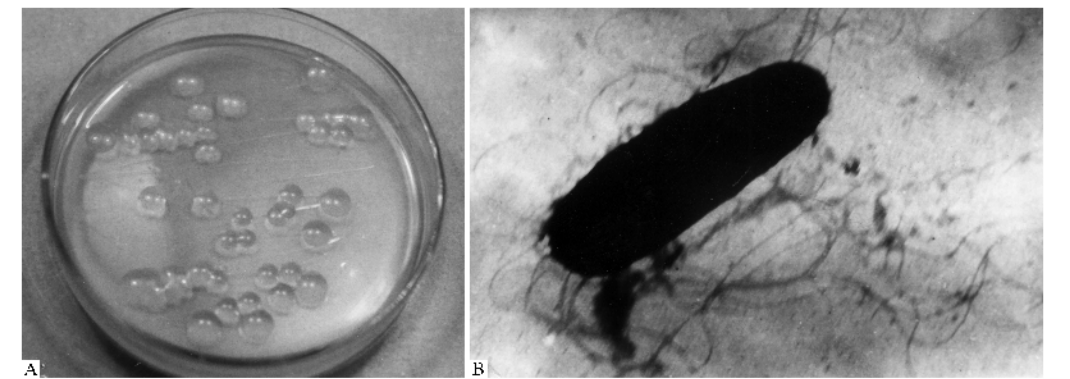


图 1 菌株 NBT 在硅酸盐细菌培养基上的菌落形态和电镜照片

Fig.1 The colony of strain NBT grown on nutrient agar and electron micrograph

A. Colony of NBT at 28℃ for 3 d ; B. The electron micrograph of strain NBT ( 14 000 × ).

表 1 菌株 NBT 与 *B. mucilagenosus*、*B. edaphicus* 的生理生化特征比较

Table 1 Characteristics comparison of isolate NBT、*B. mucilagenosus* and *B. edaphicus*

Strains	NBT	<i>B. mucilagenosus</i>	<i>B. edaphicus</i>
Catalase activity	+	+	+
Gram stain *	-	+ ,changeable	+ ,changeable
Sugar ferment experiment			
IX + )sucrose	+ -	+ -	+ -
IX + )glucose	+ -	+ -	+ -
IX + )levulose	+ -	+ -	+ -
IX + )arabia suger	+ -	+ -	+ -
IX + )mannitol	+ -	+ -	+ -
Amylolysis	+	+	+
Dihydroxyacetone produced by glycerol	-	-	-
Lecithin hydrolysis	-	-	-
Indole test	+	-	-
M. R	+	+	+
V. F( pH )	-( 6.0 )	-	-
Gelatin liquefaction test	+	-	-
Tyrosine hydrolyze	-	-	-
Growth in 1% NaCl	-	-	-
Broth culture medium growth	-	-	-

\* . At logarithmic phase ;+ . Positive ;- . Negative ;+ - . Acids produced but no gas formed.

2.3 NBT 菌株和参照菌株 DNA 中 G + C mol% 及 DNA-DNA 杂交

NBT 菌株 DNA 的 G + C mol% 为 53.7% ,与 *R. edanbicus* 的 DNA 杂交率为 69% .因此

可以认为 NBT 与 *B. edaphicus* 是同一种群。NBT 菌株与 *B. mucilaginosus* 的 DNA 杂交率为 25% 据此可把二者区分为不同的种。*B. edaphicus* 与 *B. mucilaginosus* 的 DNA 杂交率为 44% 二者不是同一个种。

2.4 全细胞脂肪酸分析

3 个菌株的主要脂肪酸成分见表 3 ,NBT 菌株脂肪酸种类为硬脂酸  $C_{16:0}$ 、软脂酸  $C_{18:1(\Delta 9)}$  和 anteiso- $C_{15}$  ,且  $C_{16:0} > C_{18:1(\Delta 9)} > \text{anteiso-}C_{15}$  ,而  $C_{18:2(\Delta 9, \Delta 11)}$  的含量也可达 14.0% ,高于 *B. edaphicus* 和 *B. mucilaginosus* 的  $C_{18:2(\Delta 9, \Delta 11)}$  的量。*B. edaphicus* 的脂肪酸含量为  $C_{16:0} > C_{18:1(\Delta 9)} > \text{anteiso-}C_{15}$  ,*B. mucilaginosus* 的脂肪酸含量为  $\text{anteiso-}C_{15} > C_{16:0} > C_{18:1(\Delta 9)}$  ,而且  $\text{anteiso-}C_{15}$  的量可达 34.6% , $C_{18:1(\Delta 9)}$  的量很小 ,与文献 5 报道的结果一致。

表 3 菌株 NBT、B-7519 和 B-7517 的细胞脂肪酸的主要成分和含量  
Table 3 Cellular FA composition of strain NBT ,*B. edaphicus* and *B. mucilaginosus* .

Strain	FA composition /%							
	14:0	Anteiso-15:0	Iso-16:0	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2
NBT	1.50	16.55	1.46	40.09	0	5.65	20.37	14.38
<i>B. edaphicus</i>	1.04	21.33	2.91	35.58	3.12	6.93	22.75	6.34
<i>B. mucilaginosus</i>	1.49	53.39	3.89	26.56	2.77	3.68	6.29	2.02

2.5 系统发育学分析

用引物 P1 和 P6 扩增菌株 NBT 的 16S rRNA 基因 ,共 1450 个碱基 ,其序列见图 2。将该序列与 GenBank 中相关数据进行相似性分析。结果表明 ,菌株 NBT 与类芽孢杆菌属 (*Paenibacillus*<sup>[16]</sup>) 芽孢杆菌属 (*Bacillus*) 的部分菌株序列同源性较高 ,从 88.0% 到 96.9%。从 N-J 法建立的系统发育树(图 3)上可以看出 NBT 菌株与 *B. edaphicus*、*B. mucilaginosus* 聚成一群 ,相似性分别为 96.0%、96.9%。此发育分支与其它几种芽孢杆菌聚成一大分支 ,其中 NBT 菌株与 *B. ehimensis*、*B. viscosus*、*B. chitinolyticus* 的相似性分别为 96.8%、96.6%、95.4% ,系统发育关系较近。该发育分支与类芽孢杆菌又形成两个分支。NBT 菌株与芽孢杆菌属中常见菌种 *B. circulans*、*B. megaterium*、*B. coagulans*、*B. lentus* 的相似性分别 89.0%、88.9%、89.6%、88.1%。据此推测 ,硅酸盐细菌 NBT 菌株、*B. edaphicus* 和 *B. mucilaginosus* 介于 *Bacillus* 和 *Paenibacillus* 之间 ,与 *Paenibacillus* 也是近源 ,但芽孢成熟后不形成梭形。

3 讨 论

目前硅酸盐细菌菌株主要有 3 个种 :即 *B. circulans* ,*B. edaphicus* 和 *B. mucilaginosus*。Zahra<sup>[3]</sup>、李凤汀<sup>[2]</sup>等报道的硅酸盐细菌为 *B. circulans* ,而 *B. edaphicus* 和 *B. mucilaginosus* 的命名长久以来未得到国际承认。1997 年 ,Shelobolina<sup>[5]</sup>等通过表型性状、G + C mol%、DNA-DNA 杂交、16S rRNA 基因全序列分析等方法对能分解硅酸盐矿物的菌株 1480D、*B. mucilaginosus* subsp. *siliceus* 和新分离产粘液的 11 株菌株进行了研究 ,发现 1480D 与 *B. mucilaginosus* subsp. *siliceus*、新分离产粘液的 11 株菌株的同源性只有 36% ~ 54% .

1 CCGCGGCGTG CCTAATACAT GCAAGTCGAG CGGAGCACTT CGGTGCTTAA GCGGCGGACG  
61 GGTGAGTAAC ACGTAGGCAA CCTGCCTGTA AGATCGGGAT AACTACCGGA AACGGTAGCA  
121 AGACCGGATA GCTGGTTTCG GTGCATGCCG GAATCATGAA ACACGGGGCA ACCTGTGGCT  
181 TACGGATGGG CCTGCGGCGC ATTAGCTAGT TGGCGGGGTA ACGGCCACC AAGGCGACGA  
241 TGCGTAGCCG ACCTGAGAGG GTGATCGGCC AACTGGGAC TGAGACACGG CCCAGACTCC  
301 TACGGGAGGC AGCAGTAGGG AATCTTGCGC AATGGGCGCA AGCCTGACGG AGCAACGCCG  
361 CGTGAGTGAT GAAGGTTTTT GGATCGTAAA GCCTGTTGCC AGGGAAGAAC GTCGTGGAGA  
421 GTAAGTGCTC TGCGAATGAC GGTACCTGAG AAGAAAGCCC CGGCTAACTA CGTGCCAGCA  
481 CCGCGGTAAT ACGTAGGGGG CAAGCGTTGT CCGGAATTAT TGGGCGTAAA GCGCGCCAGC  
541 GGTCTTTTAA GTCTGGTGTT TAAGCCCGGG GCTCAACCCG GTTCGCACCG GAAACTGGAA  
601 GACTTGAGTG CAGGAGAGGA AAGCGGAATT CCACGTTTAG CGGTGAAATG CGTTAAATG  
661 TGGAGGAACA CCAATGGCGA AGGCGGCTTT CTGGACTGTA ACTGACGCTG AGGCGCGAAA  
721 GCGTGGGGAG CAAACAGGAT TAGATACCCT GGTAGTCCAC GCCGTAAACG ATGAGTGCTA  
781 GGTGTTAGGG GTTTCGATAC CCTTGGTGCC GAAGTAAACA CAATAAGCAC TCCGCCTGGG  
841 GAGTACGCTC GCAAGAGTAA ACGCAAAGGA ATTGACGGGG ACCCGCACAA GCAGTGAGGT  
901 ATGTGGTTTA ATTCGAAGCA ACGCGAAGAA CCTTACCAGT CTTGACATCC CTCTGAAAGC  
961 CCTAGAGATA GGGTCCTCCT TCGGGACAGA GGTGACAGGT GGTGCATGGT TGTCGTCTGC  
1021 TCATGTCGTG AGATGTTGGG TTAAGTCCCG CAACGAGCGC AACCTTGAC TTTAGTTGCC  
1081 AGCATTGAGT TGGGCACTCT AGAGTGACTG CCGGTGACAA ACCGGAGGAA GGTGGGGATG  
1141 ACGTCAAATC ATCATGCCCC TTATGACCTG GGCTACACAC GTACTACAAT GGCCGGTACA  
1201 ACGGGAAGCG AAGTCGCGAG ATGGAGCGAA TCCTTAGAAG CCGGTCTCAG TTCGGATTGC  
1261 AGGCTGCAAC TCGCCTGCAT GAAGTCGGAA TTGCTAGTAA TCGCGGATCA GCATGCCCCG  
1321 AGAAATCGTT CCCGGGTCTT GTACACACCG CCCGTCACAC CACGAGATT ACAACACCCG  
1381 AAGCCGGTGG GGTAACCCGC AAGGGGGCCA GCCGTCGAAG GTGGGTAGAT TATTTNNNTT  
1441 NAAGGGNATA

图 2 菌株 NBT 的 16S rRNA 基因序列

Fig.2 The 16S rRNA gene sequences of strain NBT

*B. mucilaginosus* subsp. *siliceus* 和新菌株 T7 的同源性为 81% ,从而将 1480D 列为 *B. mucilaginosus*( 胶质芽孢杆菌 ) 的模式菌株 ,将 T7 命名为 *B. edaphicus*( 土壤芽孢杆菌 ) ,原 *B. mucilaginosus* subsp. *siliceus* 归入其种内。至此 *B. edaphicus* 和 *B. mucilaginosus* 的命名得到国际承认。

本试验中 ,菌株 NBT 的形态特征、生理生化特征与 *B. mucilaginosus*、*B. edaphicus* 很相似 ,细胞杆状 ,内生芽孢 ,在硅酸盐细菌培养基上产生丰厚的荚膜。在目前的细菌分类鉴定中 ,表型特征往往不能反映菌株的确切分类地位。根据国际细菌学分类委员会的建议 ,DNA 同源性  $\geq 70\%$  为种的界线<sup>[17]</sup>。NBT 菌株、*B. edaphicus*、*B. mucilaginosus* 的 G + C mol% 分别为 53.7%、53.6%、55.9% ,三者之间差异均小于 2%。但 NBT 菌株与 *B. mucilaginosus* 的 DNA 杂交同源性为 25% ,因此可以认为这两个菌是不同的种。NBT 菌株与 *B. edaphicus* 的 DNA 杂交同源性为 69% ,可以认为是一个种。

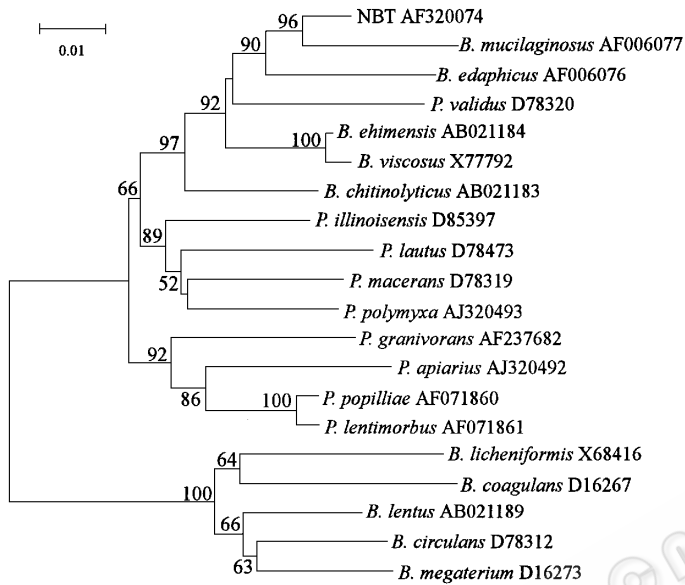


图 3 菌株 NBT 的系统发育学地位

Fig.3 The phylogenetic position of strain NBT

NBT 菌株又与 *B. mucilaginosus*、*B. edaphicus* 这两个种有差别：菌体具有鞭毛，能水解淀粉，产生吡啶，液化明胶，使牛奶酪化，使石蕊褪色。NBT 菌株的全细胞脂肪酸种类为硬脂酸  $C_{16:0}$ 、软脂酸  $C_{18:1(\Delta 9)}$  和 anteiso- $C_{15}$ ，且  $C_{16:0} > C_{18:1(\Delta 9)} > \text{anteiso-}C_{15}$ ，与 *B. edaphicus* 的脂肪酸含量相似，而  $C_{18:2(\Delta 9, \Delta 11)}$  的含量也可达 14.0%，高于 *B. edaphicus* 和 *B. mucilaginosus* 的  $C_{18:2(\Delta 9, \Delta 11)}$  的量。NBT 菌株分离自中国南京地区黄棕壤，而 *B. edaphicus* 分离自俄罗斯粘土土壤。

综上所述，可以认为 NBT 菌株是 *B. edaphicus* 的一个亚种。

致谢 本文承蒙中国农业大学陈文新院士指导和审阅，谨致谢意。

参 考 文 献

[ 1 ] 李元芳. 硅酸盐细菌肥料的特性和作用. 土壤肥料, 1994, 2: 48 ~ 49.

[ 2 ] 李凤汀, 郝正然, 杨则媛, 等. 硅酸盐细菌 HM841 菌株解钾作用的研究. 微生物学报, 1997, 1: 79 ~ 81.

[ 3 ] Zahra M K, Monib M, Abdel-Al S I, et al. Significance of soil inoculation with silicate bacteria. Zentralblatt fur Mikrobiologie, 1984, 139(5): 349 ~ 357.

[ 4 ] Avankyan Z A, Pivovarova T A, Karavaiko G I. Properties of a new species, *Bacillus mucilaginosus*. Mikrobiologiya, 1986, 55: 477 ~ 482.

[ 5 ] Shelobolina E S, Avakyan Z A, Bulygina E S, et al. Description of a new species of mucilaginosus bacteria, *Bacillus edaphicus* sp. nov. and confirmation the taxonomic status of *Bacillus mucilaginosus*. Mikrobiologiya, 1997, 66: 813 ~ 822.

[ 6 ] 吴小琴. 硅酸盐细菌的应用概况. 江西科学, 1997, 15(1): 60 ~ 66.

[ 7 ] 盛下放, 黄为一, 殷永娴. 硅酸盐菌剂的应用效果与解钾作用初步研究. 南京农业大学学报, 2000, 23(1): 43 ~ 46.

© 中国科学院微生物研究所期刊联合编辑部 http://journals.im.ac.cn

- [ 8 ] 盛下放,黄为一. 硅酸盐细菌 NBT 菌株生理特性的研究. 土壤学报, 2001, 38( 4 ) 569 ~ 574.
- [ 9 ] 殷永娟,李冬梅. 一株硅酸盐细菌性状与功能的研究. 南京农业大学学报, 1995, 18( 增刊 ) 62 ~ 67.
- [ 10 ] 中国科学院南京土壤研究所微生物室编著. 土壤微生物研究法. 北京: 科学出版社, 1985.
- [ 11 ] 中国科学院微生物研究室细菌分类组. 一般细菌常用鉴定方法. 北京: 科学出版社, 1978.
- [ 12 ] Marmur J, Doty P. Determination of the base composition of DNA from its thermal denaturation temperature. *J Mol Biol*, 1962, 5: 109 ~ 118.
- [ 13 ] 林万明. 细菌分子遗传学分类鉴定法. 上海: 上海科学技术出版社, 1990.
- [ 14 ] De Ley J. Reexamination of the association between melting point, buoyant density, and chemical base composition of deoxyribonucleic acid. *J Bacteriol*, 1970, 101: 738 ~ 754.
- [ 15 ] 刘杰华,袁生,戴传超,等. 二十碳五烯酸等多不饱和脂肪酸高产菌的筛选. 菌物系统, 2000, 19( 3 ) 407 ~ 409.
- [ 16 ] Ash C, Priest F G, Collins M D. Molecular identification of rRNA group 3 bacilli ( Ash, Farrow, Wallbanks and Collins ) using a PCR probe test. *Antonie Leeuwenhoek*, 1993, 64: 253 ~ 260.
- [ 17 ] Stackebrandt E, Goebel B M. Taxonomic note: A place for DNA-DNA reassociation and 16S rRNA sequence analysis in the present species definition in bacteriology. *Int J Syst Bacteriol*, 1994, 44: 846 ~ 849.

## Characterization and Phylogenetic Analysis of a Strain of Silicate Bacterium

He Linyan Yin Yongxian Huang Weiyi\*

( Department of Microbiology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China )

**Abstract** : An aerobic gram-negative sporulating silicate bacterium is described. Strain NBT was isolated from soil in Nanjing, and has the following characteristics: It fermented a range of sugars and produced acid. Starch hydrolysis, indole formation are positive. The G + C content of DNA was  $54.0 \pm 0.3\%$  and 16:0 was the major fatty acid. A phylogenetic tree constructed on the 16S rRNA gene sequences clearly indicated that strain NBT formed the same lineage with *Bacillus mucilaginosus* and *B. edaphicus*. High level of DNA relatedness ( 69% ) demonstrated the genetic homology between strain NBT and *B. edaphicus*. Based on the several different phenotypic characteristics, we propose strain NBT as the subspecies of *B. edaphicus*.

**Key words** Silicate bacteria, Characterization, *Bacillus edaphicus*, 16S rDNA

\* Corresponding author

## 重 要 声 明

为适应我国信息化建设需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”,如作者不同意将文章编入该数据库,请在来稿时声明,本刊将做适当处理。另外,从2002年开始,凡被本刊录用的文章均统一纳入“万方数据——数字化期刊群”,有不同意见者,请事先声明。本刊所付稿酬包含刊物内容上网服务报酬,不再另付。

《微生物学报》编辑部