

# 硅酸盐细菌在不同生境土壤中的分布

盛下放

(南京农业大学生命科学学院 南京 210095)

**摘要** 以水洗钾长石粉为惟一 K 源的硅酸盐细菌选择性培养基,对我国部分省市土壤中的硅酸盐细菌的分布状态进行了初步调查。采集了 0 ~ 10cm 土层下土壤样品 48 个,测定了土壤 pH 和养分,从中分离出硅酸盐细菌 148 株,并对其进行了初步鉴定。研究了硅酸盐细菌在不同生态环境中的分布规律及对含 K 矿物(钾长石、霞石和伊利石)的分解能力,从中筛选出 4 株高效菌株,对研究硅酸盐细菌在我国不同土壤生态系中资源的保护、开发和利用,具有重要意义。

**关键词** 硅酸盐细菌;生态分布;钾矿物

**中图分类号** S154.34

硅酸盐细菌能分解硅酸盐和铝硅酸盐组成的含 K 矿物,具有溶 P、释 K 和固 N 功能<sup>[1~4]</sup>。硅酸盐细菌作为微生物肥料中的一种重要功能菌,表现出了提高土壤中速效 K、P 含量,提高作物产量和品质等多种效应<sup>[5~7]</sup>。但亦有研究指出其应用效果的不稳定性<sup>[8,9]</sup>。

我国地域辽阔,土壤类型众多,地貌复杂,作物品种多,所有这些都为硅酸盐细菌生物多样性的存在提供了广阔的空间<sup>[10]</sup>。但硅酸盐细菌资源调查及其多样性的研究工作却少见报道。某些细菌能够分解铝硅酸盐矿物,同时释放出其中一部分 K,这些微生物在加有不溶性硅铝酸盐的缺 K 培养基中生长,通常在细菌中有芽胞杆菌属和假单胞菌属的某些种,真菌中的曲霉、毛霉和青霉属一些种;但许多其它细菌,真菌和放线菌类群在培养中也以这种方式释放出 K 素<sup>[11]</sup>。深入研究我国不同生态环境的土壤硅酸盐细菌生态分布和资源开发利用,有着特殊意义。为此,1999 ~ 2002 年作者对我国 10 个省市不同生态环境土壤样品中芽胞杆菌及其中能够分解铝硅酸盐矿物的硅酸盐细菌的分布规律进行了初步研究。现将结果报道如下:

## 1 材料与方法

### 1.1 样品来源

样品采集地见表 1。采集 0 ~ 10cm 土层下土壤样品 48 个,样品保存于无菌纸袋中带回实验室分离、筛选。

### 1.2 芽胞杆菌和硅酸盐细菌分离、纯化

芽胞杆菌的分离方法见文献<sup>[12]</sup>;采用硅酸盐细菌培养基<sup>[13]</sup>分离硅酸盐细菌,其中的土壤矿物用等量的水洗、阴干钾长石粉代替,待分离样品制成菌悬液,80 °C 处理 15 min,以杀死非芽胞杆菌,经平板涂布 28 °C 恒温培养 3 天后挑取典型菌落在阿须贝培养基上划线分离、纯化,挑取单菌落转接到斜面培养,4 °C 保存。

### 1.3 硅酸盐细菌初步鉴定

菌种鉴定采用形态及生理生化特性方法进行<sup>[12]</sup>。

### 1.4 硅酸盐细菌释 K 作用

硅酸盐细菌释 K 作用采用缺 K 培养基,供试矿物为钾长石、霞石和伊利石,其元素组成见表 2。具体方法见文献<sup>[7]</sup>。

### 1.5 土壤 pH 和养分测定

用 pH S-3 型酸度计(上海第二分析仪器厂)测定土壤悬浮液的 pH 值。土壤养分测定参考文献<sup>[14]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同生境土壤中芽胞杆菌的数量分布

我国 10 个省市不同土壤中芽胞杆菌的总数量(个/g 干土)见表 1。由表 1 可以看出:

芽胞杆菌在所测试土壤中分布广泛,数量变化范围为  $3.65 \times 10^6 \sim 3.45 \times 10^7$  个/g 干土。芽胞杆菌数量分布的变化与土壤类型及其生境密切相关。同一类型的水稻土,由于其母质发育及植被类型不同,芽胞杆菌的数量变化范围为  $4.86 \times 10^6 \sim 3.10 \times 10^7$  个/g 干土。酸性土壤比偏中性土壤菌数明显偏低,如四川成都黄壤、广西都安水稻土和安徽庐江的黄

表 1 不同土壤中芽胞杆菌数量与其生态环境的关系

Table 1 Relations between population of Bacillus and habitat in soil

土壤类型	采集地	生境	芽胞杆菌总数 (个/g 干土)
黄棕壤	江苏南京	小麦地	$1.21 \times 10^7$
潮土	江苏宜兴	油菜地	$1.52 \times 10^7$
水稻土	广西都安	玉米地	$4.02 \times 10^6$
黄壤	四川成都	苗圃	$3.65 \times 10^6$
黄棕壤	安徽庐江	水稻田	$4.86 \times 10^6$
水稻土	上海徐汇	花园	$8.68 \times 10^6$
棕壤	陕西西安	果园	$3.15 \times 10^7$
水稻土	江西新余	菜地	$3.10 \times 10^7$
棕壤	辽宁抚顺	菜地	$2.86 \times 10^7$
潮土	湖南岳阳	草地	$3.45 \times 10^7$

表 2 矿物元素分析结果 (g/kg)

Table 2 Contents of elements in minerals tested

矿物	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
钾长石	136.0	627.3	2.5	159.8
霞石	80.6	411.3	159.1	341.0
伊利石	41.0	656.5	6.8	203.1

棕壤, 由于酸性土壤为主导因子, 因而菌数最低; 土壤养分组成及土壤类型的不同与芽胞杆菌数量分布之间均表现出明显的相关性(表 1, 表 3)。总之, 芽胞杆菌的数量在不同土壤中的变化规律与其生命活动所处地区的生态因子, 如 pH、土壤养分组成、生物群落、所处地理位置等综合生态因子密切相关。

表 3 供试土壤的主要理化性状

Table 3 Basic properties of soils used in experiment

土壤	采集地	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	pH	速效 K (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	碱解 N (mg/kg)
黄棕壤	南京	20.35	1.60	6.85	90.5	3.52	94.5
潮土	宜兴	14.27	1.16	6.30	92.8	2.70	86.4
水稻土	都安	18.16	1.86	6.10	64.5	8.00	81.2
黄壤	成都	23.40	1.27	5.95	121.0	5.45	113.0
黄棕壤	庐江	12.65	0.79	6.20	86.8	2.68	89.2
水稻土	徐汇	28.15	1.64	7.05	88.4	4.52	102.5
棕壤	西安	32.10	1.85	6.85	98.8	8.64	90.5
水稻土	新余	19.50	1.15	6.65	94.4	4.50	95.0
棕壤	抚顺	14.80	0.90	6.60	110.5	4.20	65.8
潮土	岳阳	11.56	1.05	7.15	98.5	7.25	76.4

## 2.2 硅酸盐细菌的出土率和分离率

硅酸盐细菌的出土率和分离率均以同一类型土壤为单位, 按下列公式计算:

出土率 (%) = (含有硅酸盐细菌的土样数/试验样品总数量) × 100 %

分离率 (%) = (分出硅酸盐细菌数量/观察芽胞杆菌的总数量) × 100 %

由表 4 可以看出, 在供试的土壤中硅酸盐细菌的出土率和分离率与芽胞杆菌数量分布表现出类似的规律。分离率变化的幅度从安徽庐江黄棕壤到辽宁抚顺棕壤为 1.9 % ~ 11.5 %, 平均分离率为 5.4 %。说明硅酸盐细菌生态分布规律与不同土壤的各生态因子密切相关。上海徐汇水稻土, 陕西西安棕壤和辽宁抚顺棕壤, 硅酸盐细菌出土率最高, 达 100 %; 湖南岳阳潮土、四川成都黄壤和广西都安水稻土硅酸盐细菌出土率次之, 为 75 % ~ 80 %; 安徽庐江黄棕壤硅酸盐细菌出土率最低, 为 33.3 %; 硅酸盐细菌的分离率辽宁抚顺棕壤最高, 达 11.5 %, 其次是

表 4 不同生境土壤中硅酸盐细菌的分布

Table 4 Distribution of silicate-dissolving bacteria in different soils tested

土壤	采集地	出土率		分离率	
		比例	百分率 (%)	比例	百分率 (%)
潮土	宜兴	2/3	66.7	7/350	2.0
水稻土	新余	2/3	66.7	11/310	3.5
黄棕壤	庐江	1/3	33.3	8/402	1.9
水稻土	徐汇	3/3	100.0	7/86	8.1
棕壤	西安	4/4	100.0	34/315	10.8
水稻土	都安	3/4	75.0	25/486	5.1
黄壤	成都	3/4	75.0	17/365	4.6
潮土	岳阳	4/5	80.0	6/152	3.9
棕壤	抚顺	5/5	100.0	33/286	11.5
总计		8/34	82.4	148/2752	5.4

陕西西安棕壤, 达 10.8 %, 而安徽庐江的黄棕壤最低, 仅为 1.9 %。另外, 结合表 3 可以看出, 硅酸盐细菌的数量分布与土壤中的 pH 及速效 K 的含量密切相关。在速效 K 含量较高且 pH 接近中性的土壤

中硅酸盐细菌的数量较多。不仅说明硅酸盐细菌生态分布规律与不同土壤的各生态因子密切相关,而且说明硅酸盐细菌有较广泛的分布。

### 2.3 硅酸盐细菌种的分布

目前,一般认为硅酸盐细菌主要有 3 种<sup>[6,15,16]</sup>,即环状芽胞杆菌(*Bacillus. circulans*)、胶质芽胞杆菌(*Bacillus mucilaginosus*)和土壤芽胞杆菌(*Bacillus edaphicus*)。对分离到的有一定解 K 作用的硅酸盐细菌形态特征,生理生化特性进行了所属种的初步鉴

定,结果见表 5。由表 5 可以看出,胶质芽胞杆菌在所测土壤中均有分布,其数量占总分离数量的 56.1%。其次是环状芽胞杆菌,其数量占总分离数量的 28.4%,另外,在部分地区的土壤中初步鉴定出了有一定解 K 作用的多粘芽胞杆菌(*Bacillus polymyxa*),其数量占总分离数量的 5.4%,未定名的特殊典型菌株,除庐江黄棕壤、宜兴和岳阳潮土外,其余各地区土壤中均有发现,是否新种或亚种有待进一步研究。

表 5 硅酸盐细菌各种在不同生境土壤中的分布

Table 5 Distribution of silicate-dissolving bacteria in soils of different regions

硅酸盐细菌 菌种名称	不同土壤硅酸盐细菌各种数量(株)									总数(株)
	水稻土			黄棕壤	棕壤		潮土		黄壤	
	都安	新余	徐汇	庐江	西安	抚顺	宜兴	岳阳	成都	
环状芽胞杆菌	5	4	1	7	8	7	1	5	4	42 (28.4*)
胶质芽胞杆菌	16	5	3	1	19	25	5	1	8	83 (56.1)
多粘芽胞杆菌	2	0	1	0	4	0	1	0	0	8 (5.4)
未定名种	2	2	2	0	3	1	0	0	5	5 (10.1)

\* 括号内的数字为占总数的百分数(%)。

### 2.4 硅酸盐细菌释 K 能力的比较

从全国 10 个省市 48 个土样中共分离到硅酸盐细菌 148 株,在摇瓶培养条件下,以钾长石为供试矿物,测定供试菌株的释 K 效能,结果表明,其中 68 株硅酸盐细菌有一定的解 K 作用,在 68 株有解 K 作用的硅酸盐细菌中筛选出 4 株生长较快且解 K 效能较高的菌株(100 ml 缺 K 培养基中加入 1g 钾长石粉,接菌,28℃ 摇瓶培养 7 天,能从钾长石中释放出的 K > 35mg/L 的硅酸盐细菌为解 K 效能较高的硅酸盐细菌),经初步鉴定,分别为胶质芽胞杆菌(NBT)、环状芽胞杆菌(N1)、多粘芽胞杆菌(N2)和未定种(N3)。将获得的 4 株菌株分别以钾长石、霞石和伊利石为含 K 矿物在摇瓶培养条件下进行释 K 效能试验,结果见图 1。由图 1 可以看出,不同的含 K 矿物,由于其组成和结构不同,抗生物风化的能力就不同。钾长石是一种原生矿物,比较难以分解,而霞石和伊利石为次生矿物,容易被分解,在摇瓶培养 10 天后,NBT 菌株对 3 种供试矿物的分解能力比接灭活菌对照分别增加 85.8%(钾长石)、96.5%(霞石)和 115.2%(伊利石);N3 菌株对 3 种供试矿物的分解能力最弱,接菌处理溶液中的 K 比接灭活菌对照分别增加 41.2%(钾长石)、60.4%(霞石)和 71.5%(伊利石)。本研究是针对芽胞杆菌中有解 K 功能的细菌的生态分布、解 K 效能等方面进

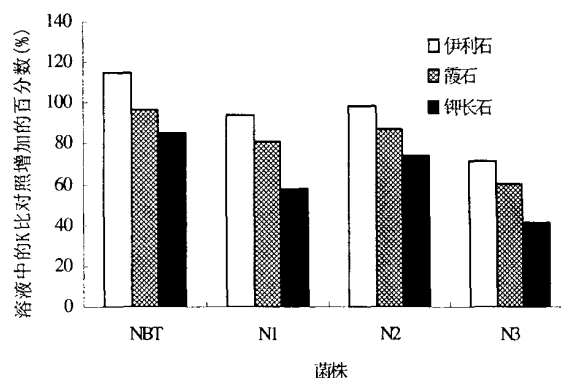


图 1 硅酸盐细菌对不同 K 矿物的分解作用

Fig. 1 K-bearing mineral decomposition rate of different silicate-dissolving bacteria

行的,能够分解铝硅酸盐矿物释放出其中的 K 的微生物除了芽胞杆菌中的某些种外,其它属细菌以及放线菌,真菌等中的某些菌株也具有分解硅酸盐矿物,释放出其中的 K 元素的作用<sup>[11]</sup>。因此,加强对分解含 K 矿物微生物资源调查和生物多样性研究,不仅能丰富微生物资源库、基因库;亦可为定向筛选高效稳定释 K 的优良菌株提供充足的菌源,以期为我国农业可持续发展做出贡献。

## 3 结论

(1) 通过对不同生境土壤 48 个样品中芽胞杆菌

和硅酸盐细菌的研究表明,它们在供试土壤中有广泛的分布,其数量分布规律与不同生境土壤中的水、热条件,土壤 pH、养分组成,所处地理位置及植被等综合生态因子密切相关。

(2) 硅酸盐细菌在我国 10 个省市土壤中的出土率和分离率分别为 82.4 % 和 5.4 %,优势种为环状芽胞杆菌和胶质芽胞杆菌,分别占总分离数量的 28.4 % 和 56.1 %,未定名的特殊类型菌株也占一定的比例,是否为新种或亚种,有待进一步研究。

(3) 本研究表明,分离到的硅酸盐细菌菌株中有 62.9 % 的菌株有一定释 K 能力,但仅有 31.5 % 左右的菌株具有较强的释 K 能力。另外,同一菌株对不同的含 K 矿物或不同菌株对同一含 K 矿物的分解能力不同。因此,筛选出高效、稳定分解含 K 矿物的菌株或菌株群,对丰富的含 K 矿物的农业利用,保护生态环境有重要的意义。

#### 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 陈廷伟, 陈华癸. 钾细菌的形态生理及其对磷钾矿物的分解能力. 微生物, 1960, 2: 104 ~ 112
- 3 盛下放, 黄为一, 殷永娴. 硅酸盐细菌的解钾作用及对棉花的增产效果. 土壤, 2001, 33(3): 163 ~ 165
- 4 Monib M, Zahra MK, Abdel el-Al SI, et al. Role of Silicate Bacteria in Releasing K and Si from Biotite and Orthoclase. Soil Biology and Conservation of the Biosphere, 1984, 2: 733 ~ 743
- 5 盛下放, 黄为一. 硅酸盐细菌 NBT 菌株释钾条件的研究. 中国农业科学, 2002, 35(6): 673 ~ 677
- 6 Zahra MK, Monib M, Abdel-Al SI, et al. Significance of Soil Inoculation with Silicate Bacteria. Zentralblatt fur Mikrobiologie, 1984, 139(5): 349 ~ 357
- 7 盛下放, 黄为一, 殷永娴. 硅酸盐菌剂的应用效果及其解钾作用的初步研究. 南京农业大学学报, 2000, 23(1): 43 ~ 46
- 8 连宾, 张永玲, 刘昌梅等. 硅酸盐细菌的初步研究与应用. 1995 年全国微生物肥料专业会议论文集, 166 ~ 168
- 9 黄昭贤, 蒋先军, 彭盛德等. 硅酸盐细菌的研究现状及其展望. 世界农业, 1998, 5: 28 ~ 31
- 10 贺积强, 李登煜, 张小平等. 硅酸盐细菌的研究进展. 西南农业学报, 1999, 12: 102 ~ 108
- 11 亚历山大 M 著. (广西农学院农业微生物学教研组译). 土壤微生物学导论. 北京: 科学出版社, 1983, 236 ~ 237
- 12 宋大新, 范长胜, 徐德强等编著. 微生物学实验技术教程. 上海: 复旦大学出版社, 1993, 209 ~ 260
- 13 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, 4, 51
- 14 劳家桢主编. 土壤农化分析手册. 北京: 农业出版社, 1988, 203 ~ 297
- 15 Avankyan ZA, Pivovarova TA, Karavaiko GI. Properties of a new Species, *Bacillus mucilanginosus*. Mikrobiologiya, 1986, 55: 477 ~ 482
- 16 Shelobolina ES, Avakyan ZA, Bulygina ES, et al. Description of a new species of mucilanginosus bacteria, *Bacillus edaphicus* sp. nov. and confirmation the taxonomic status of *Bacillus mucilanginosus*. Mikrobiologiya, 1997, 66: 813 ~ 822

## DISTRIBUTION OF SILICATE-DISSOLVING BACTERIA IN SOILS OF CHINA

SHENG Xia-fang

( College of Life Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095 )

**Abstract** Distribution of silicate-dissolving bacteria in some areas of China was investigated with the culture in which feldspar powder was the sole potassium source for bacteria isolation. A total of 48 soils samples collected from surface soil layers, 0 ~ 10cm in depth, of different parts in China were examined for distribution of the bacteria. Then 148 strains of silicate-dissolving bacteria were isolated from the soil samples. Soil pH and soil nutrient contents were determined as well. Rules of the ecological distribution of the bacteria in different habitats and their capabilities to decompose K-bearing minerals were analyzed. Some efficient strains were screened out. The research findings are of great significance in protecting, exploiting and utilizing the ecological resources in China.

**Key words** Silicate-dissolving bacteria, Ecological distribution, K-bearing minerals.