

钾细菌对江西酸性土壤养分活化作用的研究*

薛泉宏, 张红娟, 蔡 艳, 来航线

(西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘 要] 采用液体培养法研究了供试钾细菌对江西 4 种酸性土壤和陕南黄褐土中 K、P、Si、Fe、Mn、Zn 等 6 种元素的活化作用。结果表明: 接种钾细菌后, 4 种酸性土壤和陕南黄褐土中的速效 K、P、Si、Fe、Mn 的平均生物释放量分别为 20.4, 69.8, 100.4, 42.6, 15.9 和 40.7, 40.5, 525.9, 199.4, 81.9 mg/kg, 较不接菌对照增加 10.6%, 80.8%, 37.4%, 372.0%, 109.2% 和 22.7%, 521.6%, 172.8%, 1204.0%, 131.7%, 中性黄褐土中各元素的释放量及增率均高于酸性土壤; 钾细菌能使 40% 酸性土样中的 Zn 元素发生轻度活化, 其余酸性及中性土样中的 Zn 元素固定; 钾细菌在液体培养过程中产酸, 接菌后 4 种酸性土壤培养液的 pH 值平均降低 1.0 单位, 较对照降低 14.8%, 产酸可能是钾细菌活化养分的途径之一。

[关键词] 钾细菌; 生物钾肥; 微生物肥料

[中图分类号] S154.38⁺1

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-2782(2002)01-0038-05

钾细菌(硅酸盐细菌)是一种胶质芽孢杆菌(*Bacillus mucilaginosus*), 具有分解含钾矿物的能力, 能将长石等含钾矿物中的难溶态无效钾转化为可溶态有效钾^[1-3], 同时活化土壤中的 P、Si、Fe、Mn 等元素^[4,5]。关于钾细菌对中国北方黄土区石灰性土壤中养分的活化作用目前已有一些研究^[4,5], 但对钾细菌在我国南方酸性土壤中的养分活化作用了解很少。本研究重点探索钾细菌对江西 4 种酸性土壤及陕南黄褐土中 K、P、Si、Fe、Mn、Zn 6 种元素的活化作用, 旨在为生物钾肥在南方酸性土壤区推广应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试酸性土样和对照中性土样分别采自江西 5 县和陕西省安康。采自江西的 4 类 10 个土样属于酸性缺钾土壤, 平均 pH 为 5.36, 速效钾及缓效钾分别为 68.6 及 244.6 mg/kg, 速效钾含量与黄褐土(75.7 mg/kg)相近, 但缓效钾仅为黄褐土(551.5 mg/kg)的 1/2 左右。采样点概况及土样部分性质见表 1。

供试钾细菌 代号 K7, 分离筛选自黄土区土壤中, 具有较强的养分活化能力^[5]。

培养基 钾细菌固体培养基: 蔗糖 5.0 g,

(NH₄)₂SO₄ 2.0 g, Na₂HPO₄ 1.0 g, 铝硅酸盐 2.0 g, MgSO₄ · 7H₂O 0.5 g, 质量浓度 10 g/L FeCl₃ 0.5 mL, 琼脂 18 g, 自来水 1 L; 养分活化基础培养基: 蔗糖 10 g, (NH₄)₂SO₄ 5.0 g, MgSO₄ · 7H₂O 0.5 g, 蒸馏水 1 L。

1.2 方法

菌悬液的制备 在克氏瓶中装入 100 mL 硅酸盐细菌固体培养基, 121 °C 灭菌 30 min, 取出后平放, 待冷却接入 1 mL K7 菌悬液, 用金属刮铲涂抹均匀后 28 °C 培养 2 d。培养结束后, 向克氏瓶中加少量无菌水, 用金属刮铲将钾细菌刮下, 转入内装 200 mL 无菌水及石英砂的 500 mL 三角瓶中, 充分摇动, 使菌体分散, 再加无菌水补充至 400 mL 摇匀即可。

养分活化 试验设对照(接入灭活钾细菌菌悬液)与接种钾细菌(接入钾细菌菌悬液)2 个处理, 每处理重复 3 次。具体方法如下: 称 2.500 g 风干土于 500 mL 三角瓶中, 向每瓶准确加入养分活化基础培养基 50 mL, 121 °C 灭菌 40 min。无菌操作向接菌处理中每瓶加供试菌悬液 5 mL, 将剩余菌悬液 121 °C 灭菌 30 min。无菌操作按每瓶 5 mL 用量向对照处理中加灭活菌悬液。29 °C 静置培养 7 d, 培养期间每天摇瓶 1 次。待测液制备方法参见文献[4]。

* [收稿日期] 2001-01-01

[作者简介] 薛泉宏(1957-), 男, 陕西白水人, 教授, 主要从事放线菌资源及微生物肥料与饲料等研究。

表 1 供试土壤的基本性质

Table 1 Fundmental properties of soils tested

土样 编号 Soil No.	采样深度/ cm Sampling depth	pH	有机质/ (g · kg ⁻¹) Organic matter	速效 K/ (mg · kg ⁻¹) A available K	缓效 K/ (mg · kg ⁻¹) Slow-release K	土壤类型 Soil type	采样地点 Sampling site	作物 Crop
1	0~ 20	5.28	32.4	54.0	307.2	红壤 Red earth	南昌县向塘镇 Xiangtang town, Nanchang county	水稻 Rice
2	0~ 20	5.89	39.6	45.9	134.5	红壤 Red earth	南昌县塔城镇 Tacheng town, Nanchang county	水稻 Rice
3	0~ 15	5.15	23.5	83.8	139.0	红壤 Red earth	永丰县舍陂村 Shepi village, Yongfeng county	辣椒 Hot pepper
4	0~ 30	4.50	21.4	59.4	135.8	红壤 Red earth	信丰县同益乡 Tongyi townshp, Xinfeng county	脐橙 Orange
5	0~ 15	5.40	98.8	67.5	325.7	红壤 Red earth	广丰县桐畈乡 Tongfan townshp, Guangfeng county	烟叶 Tobacco leaf
6	0~ 20	5.36	25.8	78.3	378.9	水稻土 Paddy soil	南昌县将巷乡 Jiangxiang townshp, Nanchang county	水稻 Rice
7	0~ 15	5.28	83.9	78.4	272.4	水稻土 Paddy soil	广丰县沙田乡 Shatian townshp, Guangfeng county	烟叶 Tobacco leaf
8	0~ 15	5.88	22.8	59.4	185.0	紫色土 Purple soil	永丰县罗铺村 Luopu village, Yongfeng county	辣椒 Hot pepper
9	0~ 30	5.76	43.2	81.1	178.1	紫色土 Purple soil	信丰县安西镇 Anxi town Xinfeng county	脐橙 Orange
10	0~ 20	5.14	26.0	78.3	389.3	水稻土 Paddy soil	新建县联圩乡 Lianwei townshp, Xinjian county	水稻 Rice
$\bar{X} \pm S$		5.36±0.42	41.7±27.4	68.6±13.2	244.6±101.8			
C.V %		7.84	65.7	19.2	41.6			
11	0~ 20	7.40	39.8	75.7	551.5	黄褐土 Yellow cinnaron soil	陕西安康 Ankang prefecture, Shaanxi Province	水稻 Rice

化学测定 pH 用pHS-3B 精密 pH 计测定^[6]; 土壤速效钾、缓效钾分别用中性醋酸铵法和 1 mol 热硝酸法提取, 火焰光度法测定^[6]; 有机质用重铬酸钾外加热容量法^[5]; P 用钼锑抗比色法^[6]; Si 用硅钼黄比色法^[6]; Fe、Mn、Zn 用原子分光光度法^[6]。

结果计算 生物释 K 量 (mg/kg) = 处理释 K 量 (生物释 K 量 + 化学溶 K 量) - 对照释 K 量 (化学溶 K 量); 释 K 增率 (%) = (生物释 K 量 / 对照释 K 量) × 100%。其他元素和 pH 的计算方法与此相同。生物释放的 K、P、Si、Fe、Mn、Zn 均为速效养分。

2 结果与讨论

2.1 K、Si 释放量

黄土母质土壤富含长石类含钾矿物, 接入钾细菌后有效钾及有效硅含量大幅度增加^[4, 5]。南方酸性土壤中长石类原生矿物较少, 接入钾细菌后有效态 K、Si 元素含量仍有较大幅度提高, 但与黄褐土 (发育于黄土状母质上) 相比, K、Si 的绝对释放量较少。

从表 2 可以看出, 10 种酸性土壤的生物释 K 量及释 K 增率为 2.0~40.1 mg/kg 及 1.2%~20.5%, 均值为 20.4 mg/kg 及 10.6%, 黄褐土的生物释 K 量及释 K 增率分别为 40.7 mg/kg 及 22.7%。由此可知, 酸性土壤的生物释 K 量及释 K 增率仅为黄土性土壤的 1/2 左右。与 K 元素的释放类似, 10 种酸性土壤的生物释 Si 量及释 Si 增率分别为 31.4~163.4 mg/kg 及 7.3%~75.3%, 其均值为 100.4 mg/kg 及 37.4%; 黄褐土的生物释 Si 量及释 Si 增率分别为 525.9 mg/kg 及 172.8%, 即酸性土壤的生物释 Si 量及释 Si 增率约为黄土性土壤的 20% 及 22%。该结果与南方酸性土壤风化程度高, 脱硅富铁铝作用强烈, 土壤中原生含钾矿物少的特性一致。由表 2 还可看出, 生物释 K 量及生物释 Si 量的变异系数 C.V 分别为 50.5% 及 37.6%, 表明不同酸性土壤的生物释 K 量及生物释硅量差异较大。由于南方酸性土壤速效钾含量更低, 缺钾程度较北方黄土区土壤更为严重, 钾细菌接入所释放的钾量 (20.4

m g/kg, 表 2)对缓解土壤缺钾意义更大。钾细菌释 田硅素营养水平 also 具有重要意义。
放的大量有效硅(100 4 m g/kg, 表 2)对提高南方稻

表 2 钾细菌在供试土壤中的 K、Si 释放量

Table 2 Amounts of K, Si released by silicate bacteria in soils tested

土样 编号 Soil No.	K				Si			
	对照 /(m g/kg) Noninoculating	处理/(m g/kg) Inoculating	生物释放量/ (m g/kg) Released amount of the silicate bacteria	增率/% Percentage increased	对照 /(m g/kg) Noninoculating	处理/(m g/kg) Inoculating	生物释放量/ (m g/kg) Released amount of the silicate bacteria	增率/% Percentage increased
1	170 1	196 5	26 4	15 5	281 9	445 3	163 4	57 9
2	169 0	188 9	19 9	11 8	344 6	467 7	123 1	35 7
3	219 8	241 7	21 9	10 0	313 3	431 9	118 6	37 8
4	160 7	178 4	17 7	11 0	163 4	286 4	123 0	75 3
5	210 1	222 7	12 6	6 0	427 4	458 8	31 4	7 3
6	217 9	234 5	16 6	7 6	337 9	427 3	89 4	26 5
7	208 1	225 4	17 3	8 3	353 6	456 5	102 9	29 1
8	170 1	172 1	2 0	1 2	324 5	378 2	53 7	16 5
9	215 1	244 8	29 7	13 8	179 7	293 2	113 5	63 2
10	195 8	235 9	40 1	20 5	346 9	431 9	85	24 5
$\bar{X} \pm S$	193 7±23 6	214 1±27 4	20 4±10 2	10 6±5 4	307 3±80 6	407 7±66 9	100 4±37 7	37 4±21 6
C. V %	12 2	12 8	50 0	50 9	26 2	16 4	37 6	57 8
11	179 7	220 4	40 7	22 7	304 4	830 2	525 9	172 8

2 2 Fe、M n、Zn 释放量

Fe、M n、Zn 是植物生长必需的微量元素。已有研究^[4,5]表明,钾细菌能将黄土性土壤中的 Fe、M n 活化,但对 Zn 元素有一定固定作用。在供试酸性土壤中,也存在类似现象。从表 3 看出,接入钾细菌后,10 种酸性土壤的 Fe、M n 生物释放量及增率分别为 8 9~ 98 2, 9 9~ 29 1 m g/kg 及 59 3%~

617 6%, 86 8%~ 105 8%, 均值为 42 6, 15 9 m g/kg及 372 0%, 109 6%, 远低于黄褐土中 Fe(199 4 m g/kg)和 M n(81 9 m g/kg)的生物释放量。表 3 中酸性土壤的 Fe、M n 生物释放量的变异系数 C. V 分别为 57 3%和 47 8%,也表明不同酸性土壤间 Fe、M n 生物释放量差异较大。

表 3 钾细菌在供试土壤中的 Fe、M n 释放量

Table 3 Amount of Fe, M n released by the silicate bacteria in the soils tested

土样 编号 Soil No.	Fe				M n			
	对照/ (m g · kg ⁻¹) Noninoculating	处理/ (m g · kg ⁻¹) Inoculating	生物释放量/ (m g · kg ⁻¹) Released amount of the silicate bacteria	增率/% Percentage increased	对照/ (m g · kg ⁻¹) Noninoculating	处理/ (m g · kg ⁻¹) Inoculating	生物释放量/ (m g · kg ⁻¹) Released amount of the silicate bacteria	增率/% Percentage increased
1	16 6	75 9	59 3	357 2	21 5	49 7	28 2	131 2
2	13 0	63 1	50 1	385 4	27 5	56 6	29 1	105 8
3	6 9	38 3	31 4	455 1	12 4	23 7	11 3	91 1
4	15 9	114 1	98 2	617 6	4 5	15 5	11 0	244 4
5	8 7	31 6	22 9	263 2	19 8	30 4	10 6	53 5
6	9 6	53 9	44 3	461 5	19 5	34 7	15 2	77 9
7	8 1	54 4	46 3	571 6	20 9	32	11 1	53 1
8	12 5	38 9	26 4	211 2	7 5	18 1	10 6	141 3
9	15 0	23 9	8 9	59 3	19 7	41 6	21 9	111 2
10	11 2	49	37 8	337 5	11 4	21 3	9 9	86 8
$\bar{X} \pm S$	10 8±3 16	50 6±14 5	42 6±24 4	372 0±167 4	16 5±7 2	32 3±13 6	15 9±7 6	109 6±55 6
C. V %	29 26	28 66	57 3	45 0	43 64	42 11	47 80	50 7
11	16 6	216	199 4	1201 2	62 2	144 1	81 9	131 7

从表 4 可以看出,向供试酸性土壤中接入钾细菌后,Zn 含量变化无明显规律。在 10 个酸性土样中,60%的土样出现 Zn 固定,40%的土样有轻度活化,生物释 Zn 量在 0 1~ 14 1 m g/kg;黄褐土中 Zn

发生固定, 与黄土性土壤中的研究结果一致^[4, 5]。

表 4 钾细菌在供试土壤中的 P、Zn 释放量

Table 4 Amount of P, Zn released by the silicate bacteria in the soils tested

土样 编号 Soil No.	P				Zn			
	对照/ (mg · kg ⁻¹) Noninoculating	处理/ (mg · kg ⁻¹) Inoculating	生物释放量/ (mg · kg ⁻¹) Released amount of the silicate bacteria	增率/% Percentage increased	对照/ (mg · kg ⁻¹) Noninoculating	处理/ (mg · kg ⁻¹) Inoculating	生物释放量/ (mg · kg ⁻¹) Released amount of the silicate bacteria	增率/% Percentage increased
1	105.6	162.8	57.2	54.2	78.3	78.4	0.1	0.14
2	182.6	288.2	105.6	57.8	79.0	81.0	2.0	2.5
3	154	259.6	105.6	68.6	104.5	60.6	-43.8	-42.0
4	13	35.2	22.2	170.8	62.9	54.4	-8.5	-13.5
5	224.4	257.4	33.0	14.7	100.9	77.9	-23	-22.8
6	136.4	204.6	68.2	50.0	79	71.2	-7.8	-9.9
7	158.4	233.2	74.8	47.2	98.9	73.4	-25.5	-25.8
8	198	323.4	125.4	63.3	88.0	74.7	-13.3	-15.1
9	30.8	114.4	83.6	271.4	106.5	120.6	14.1	13.2
10	226.6	248.6	22.0	9.7	83.9	88.6	4.7	5.6
$\bar{X} \pm S$	143.0 ± 74.2	212.7 ± 86.6	69.8 ± 36.3	80.8 ± 80.0	-	-	-	-
C.V.%	51.9	40.7	52.1	99.0	-	-	-	-
11	8.1	50.6	40.5	521.6	79.0	54.6	-24.4	-30.9

2.3 P 释放量

从表 4 看出, 向供试土壤接入钾细菌后有效磷含量增加, 生物释 P 量及释 P 增率为 22.0~125.4 mg/kg 及 9.7%~271.4%, 其均值分别为 69.8 mg/kg 和 80.8%。黄褐土的生物释 P 量及其增率为 40.5 mg/kg 及 521.6%, 生物释 P 量小于酸性土壤, 但释 P 增率高于酸性土壤。

2.4 钾细菌活化土壤养分机理

钾细菌对黄土母质上发育的石灰性土壤和南方强风化淋溶形成的酸性铁铝土中的 K、P、Si、Fe、Mn 5 种元素有明显的活化作用, 其机理目前仍不清楚。初步认为, 钾细菌通过 3 种途径活化养分: 破坏硅铝酸盐矿物晶格结构; 产酸; 还原。Zn 的固定是由于磷活化导致磷酸锌化学沉淀形成所致。已有研究认为, 钾细菌形成的分泌物能破坏硅酸盐的晶格结构, 释放出结构钾^[4, 5]。从本研究可知, 黄土性土壤和酸性土壤经钾细菌作用后 K、Si 发生同步活化, 该结果支持含钾硅铝酸盐晶体结构崩溃的观点, 但对该过程的详细机制了解很少。在黄土性土壤的液体、固体培养试验中发现, 钾细菌在培养过程中产酸^[4, 5], 在酸性土壤的液体培养中也发现产酸现象, 土壤 pH 降低约 1.0 个单位, 平均降低幅度达 14.8% (表 5)。产酸可能是 K、P、Fe、Mn 活化的另一个重要原因。钾细菌在液体培养中产酸引起 pH 降低, 同时必然导致氧化还原电位 Eh 下降, 发生 $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ 及 $Mn^{4+} \rightarrow Mn^{2+}$ 的转化, 进而引起有效

态 Fe、Mn 大量增加。Zn 无价态变化, 不存在还原活化途径, 且 P 的活化也会引起 Zn 发生化学固定, 导致接入钾细菌后有效 Zn 含量减少。关于钾细菌释放土壤中 5 种元素的机制尚待进一步研究证实。

表 5 供试土壤不同处理培养液 pH

Table 5 The pH of cultural solution in different treatment of the soils tested

土样编号 Soil No.	对照 pH Noninocu- lating pH	接种培养 pH Inocu- lating pH	ΔpH	增率/% Percentage increased
1	6.86	5.72	-1.14	-16.5
2	6.74	5.82	-0.92	-13.6
3	6.86	5.78	-1.08	-15.7
4	6.6	5.9	-0.70	-10.6
5	6.78	5.73	-1.05	-15.5
6	6.75	5.68	-1.07	-15.8
7	6.78	5.83	-0.95	-14.0
8	6.87	5.74	-1.13	-16.4
9	6.78	5.77	-1.01	-14.9
10	6.82	5.82	-1.00	-14.7
$\bar{X} \pm S$	6.75 ± 0.08	5.78 ± 0.06	-1.0 ± 0.12	-14.8 ± 1.8
C.V.%	1.18	1.04	12.0	12.2
11	6.83	5.76	-1.07	-15.7
t 检验			t = 31.25**	

3 结 论

- 1) 供试钾细菌对江西 4 类酸性土壤中的 K、P、Si、Fe、Mn 元素有显著的活化作用, 但活化效应略低于黄土母质发育的土壤。
- 2) 钾细菌能导致部分酸性土壤发生 Zn 元素固定。

- 3) 产酸可能是钾细菌活化土壤养分的机制之一。
4) 在南方酸性土壤上施用钾细菌接种剂在理论上是可行的。

[参考文献]

- [1] 鲁宾契克 细菌肥料的制备与应用[M]. 凌 魁, 凌涓清, 译. 北京: 农业出版社, 1963 73- 80
- [2] 萨茂依洛夫 微生物在植物营养中的作用[M]. 吴继林, 周 启, 王芳久, 译. 北京: 财政经济出版社, 1957. 115- 124
- [3] 李风汀, 郝正然, 杨则瑗, 等. 硅酸盐细菌HM 8841 菌株解钾作用的研究[J]. 微生物学报, 1997, 37(1): 79- 81.
- [4] 薛泉宏, 李素俭, 张俊宏, 等. 液培条件下钾细菌对土壤养分的活化作用研究[J]. 西北农业大学学报, 1999, 27(2): 33- 37.
- [5] 薛泉宏, 沈建伟, 张俊宏. 钾细菌对壤土养分活化作用的研究[J]. 西北农业学报, 2000, 9(3): 67- 71.
- [6] 南京农业大学 土壤农化分析[M]. 第 2 版. 北京: 农业出版社, 1996
- [7] 李元芳. 硅酸盐细菌肥料的特性和作用[J]. 土壤肥料, 1994, (2): 48- 49
- [8] 冷惠兰. 施用生物钾肥的增产效果[J]. 云南农业, 1994, (10): 26- 27.

Dissolving effect of the silicate bacteria on soil nutrients in the acid soil of Jiangxi province

XUE Quan-hong, ZHANG Hong-juan, CAI Y an, LA I Hang-x ian

(College of Resources and Environment, Northw est Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The dissolving effect of the silicate bacteria on K, P, Si, Fe, Mn and Zn elements in the mineral of four acid soil types from Jiangxi province and loess brown soil from the south of Shaanxi province had been studied by liquid culture. The results indicated that: The quantities of average biological releasing (mg/kg) of the available K, P, Si, Fe and Mn in the acid soil and the neutral loess brown soil to which silicate bacteria were added were 20.4, 69.8, 100.4, 42.6, 15.9 and 40.7, 40.5, 525.9, 199.4, 81.9 mg/kg, which increased by 10.6%, 80.8%, 37.4%, 372.0%, 109.2% and 22.7%, 521.6%, 172.8%, 1204.0%, 131.7% compared with the check experiment, respectively. In the neutral loess brown soil, the quantity released was larger and the increasing rate was higher than that in the acid soil. The silicate bacteria could make zinc element dissolve slightly in 40% of the acid soil samples. Zinc element in the other acid and neutral soil samples had been fixed. The silicate bacteria could produce acid during liquid culture. After adding the silicate bacteria to the five acid soil types, the pH of the cultural liquid decreased by 1.0 pH unit or 14.8% compared with the check experiment. Producing acid might be one of the ways the silicate bacteria dissolving soil nutrients.

Key words: silicate bacteria; biological potassium fertilizer; microbial fertilizer