

利用硅酸盐细菌制备煤矸石矿物肥料

程蓉, 廖祥文, 舒荣波, 徐明, 冀成庆

(中国地质科学院矿产综合利用研究所, 中国地质调查局金属矿产资源综合利用技术研究中心, 四川 成都 610041)

摘要:针对大量堆弃煤矸石造成的严重环境问题, 研究胶质芽孢杆菌和多粘类芽孢杆菌作用于难以被植物利用的硅酸盐矿物, 将其转化为煤矸石矿物肥料, 并研究了堆肥过程中的固液比、堆肥时间、环境温度、硅酸盐细菌混合比例等因素对煤矸石矿物肥料品质的影响。研究表明, 当采用混合菌悬液 1:1, 控制固液比 1:1 (湿润), 25°C 下堆肥 15 d 时, 矿物肥料中的有效磷含量和速效钾含量较高, 是原煤矸石样品中含量的 5.12 倍和 2.01 倍。

关键词:煤矸石; 胶质芽孢杆菌; 多粘类芽孢杆菌; 矿物肥料

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.06.025

中图分类号:TD989 文献标志码:A 文章编号:1000-6532(2017)06-0115-04

煤矸石是在煤形成过程中与煤共生、伴生的岩石, 是煤炭生产和洗选加工过程中产生的固体废弃物。全国已探明原煤储量近 1.5×10^{12} t, 而煤矸石的生产量约为原煤产量的 15% 或者更多^[1]。煤矸石在综合利用方面有很多途径, 但受资源性质、技术设备及市场需求的变化影响, 目前我国矸石的综合利用率仅为 30%, 煤矸石堆存量已超过 40 亿 t^[2], 矸石的堆放却造成很多问题^[3]。因此, 开发出利用率高, 污染小的煤矸石综合利用技术, 成为一项重要课题。煤矸石中含有丰富的磷钾, 但多以难溶的硅酸盐矿物形式存在^[4], 能被植物直接吸收利用的有效磷钾含量极低。若能通过生物处理技术, 分解硅酸盐矿物, 使煤矸石中的无效磷钾变为有效磷钾, 则煤矸石可作为富磷钾肥料使用, 既可达到综合治理的目的, 又可变废为宝。

硅酸盐细菌是一类可以分解硅酸盐矿物的微生物总称。环境的贫营养性导致微生物不得利用环境中的硅酸盐矿物, 这类微生物对硅酸盐矿物分解的主要目的是获取硅酸盐矿物中的营养元素来维持微生物自身的生命活动^[5]。微生物主要通过有机酸、生物膜、胞外聚合物和氧化还原作用方式分解硅酸盐矿物, 分解过程中元素 Si、Fe、K、P、Mg、Ca 等从矿物体向生物体或环境转移。目前, 微生物肥料利

用较多的是巨大芽孢杆菌^[6-8], 但硅酸盐细菌种类较多, 菌种特性不一, 本文利用自行筛选的胶质芽孢杆菌和购买的多粘类芽孢杆菌为目的菌种, 将煤矸石中的无效磷和无效钾转化成能被植物吸收的有效磷、速效钾, 通过生产煤矸石肥料, 既降低煤矸石对环境的污染压力, 又增加土壤所需的绿色肥料。

1 材料与amp;方法

1.1 矿样

试验采用的煤矸石原料取自四川省攀西地区某矸石山(编号 P-1), 该煤矸石的主要组成含量见表 1, 由表 1 可以看出该煤矸石中磷、钾含量丰富。原料的 XRD 分析结果表明, 原料中主要矿物组分为石英、绿泥石-蛇纹石、多硅铝云母、黄铁矿等。以硅酸盐矿物为主。

表 1 P-1 的主要元素成分/%

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	S	MgO
46.045	18.085	6.913	3.19	3.157
K ₂ O	CaO	Ti	Na ₂ O	P ₂ O ₅
2.93	1.317	0.71	0.249	0.155

1.2 菌种

试验选用的胶质芽孢杆菌从重庆地区某铝土矿中分离得到, 属革兰氏阳性好氧菌。培养基编号为

收稿日期:2017-04-17; 修回日期:2017-06-08

基金项目:四川省科技支撑计划项目(2015JY0025)

作者简介:程蓉(1982-), 女, 博士, 助理研究员, 主要从事生物选冶新技术研究。

硅①,配方如下。

液体培养基(g/L):蔗糖 5,Na₂HPO₄ 2,MgSO₄ · 7H₂O 0.5,CaCO₃ 0.1,FeCl₃ 0.005,pH 值为 7.2。

固体培养基(g/L):蔗糖 5,Na₂HPO₄ 2,MgSO₄ · 7H₂O 0.5,CaCO₃ 0.1,FeCl₃ 0.005,琼脂 25,pH 值为 7.3。

试验选用的多粘类芽孢杆菌(菌株编号:1.4261)购自中国普通微生物菌种保藏管理中心。培养基编号为异②,配方如下。

液体培养基(g/L):牛肉膏 3,蛋白胨 10,NaCl 5,pH 值为 7.0。

固体培养基(g/L):牛肉膏 3,蛋白胨 10,NaCl 5,琼脂 25,pH 值为 7.0。

1.3 硅酸盐细菌的培养

4℃ 保存的斜面种子于平板中划线培养;挑取单菌落于液体培养基,摇床 160 r/min、30℃ 培养 5 d;再以 10% 接种量接种于液体培养基,同等条件培养 48 h,得到成熟菌体培养液。

1.4 菌悬液的制备

将培养 48 h 的硅酸盐细菌分别用无菌生理盐水清洗 2 次,再用无菌生理盐水稀释为细菌含量 5.0×10⁸ ~ 10×10⁸ 个/mL 的菌悬液,待用。

1.5 煤矸石肥料制备

为模拟实际煤矸石肥料制作,堆肥过程中不采取无菌操作。准确称取一定量的煤矸石于三角瓶中,加入适量菌悬液,均匀,用 1 mol/L 的稀 H₂SO₄ 溶液和 1 mol/L 的稀 HCl 溶液调节 pH 值为 7.0 ~ 7.5,然后放入恒温箱中培养一定时间,取出烘干后测定样品中有效磷和速效钾的含量。

1.6 测定方法

有效磷含量的测定采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法;速效钾采用 CH₃COONH₄ 浸提-火焰光度法测定。

2 结果与讨论

2.1 固液比对矿物肥料品质的影响

准确称取±0.154 mm 的煤矸石样品 15 g,再分别加入清水与备用的胶质芽孢杆菌菌悬液和多粘类芽孢杆菌菌悬液,控制煤矸石和菌悬液的加入固液比分别为 1:0.5(干燥)、1:1(湿润)和 1:2(淹水),调节 pH 值为 7.0~7.5,放入恒温箱中 25℃ 培养 15 d,样品中有效磷和速效钾的含量见图 1。

从图 1 中可以看出,未处理过的煤矸石样品中有效磷和速效钾的含量分别为 0.97 mg/kg 和 12.48

mg/kg,远达不到作为肥料的要求,若用清水润湿煤矸石样品,15 d 后样品中的效磷和速效钾含量均有略微增加,由此可见靠煤矸石自然条件下堆肥,效果不理想。另外,固液比 1:2 条件下,2 株硅酸盐细菌均能使煤矸石释较好的释放出有效磷和速效钾,其次为固液比 1:1 条件下,固液比 1:0.5 时释放情况较差,考虑到实际堆肥情况,建议采用 1:1 为后续试验的固液比。

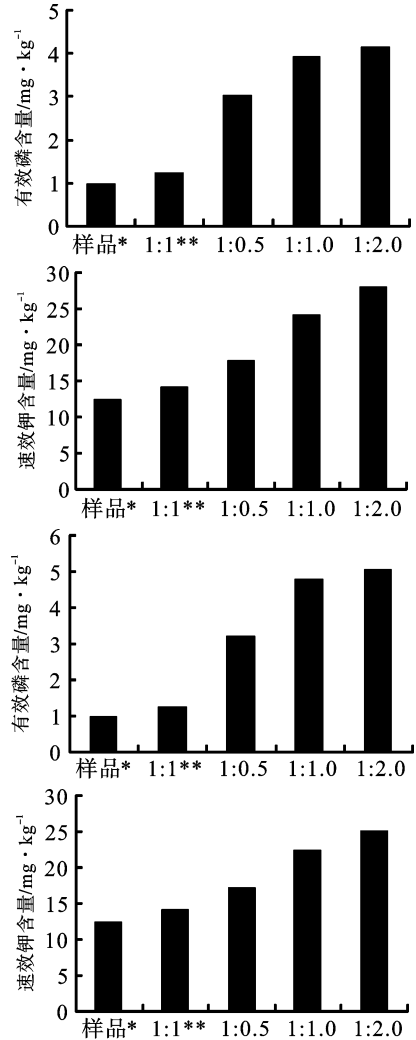


图 1 固液比对肥料品质的影响 (* ±0.154 mm 的煤矸石样品; ** 用蒸馏水代替菌悬液)

Fig. 1 The effect of different solid-to-liquid ratio on the fertilizer quality

2.2 堆肥时间对矿物肥料品质的影响

准确称取±0.154 mm 的煤矸石样品 15 g,再分别加入备用的胶质芽孢杆菌菌悬液和多粘类芽孢杆菌菌悬液,控制煤矸石和菌悬液的加入固液比 1:1

(湿润),调节 pH 为 7.0 ~ 7.5,放入恒温箱中 25°C 培养 10 ~ 30 d,样品中有效磷和速效钾的含量见图 2。

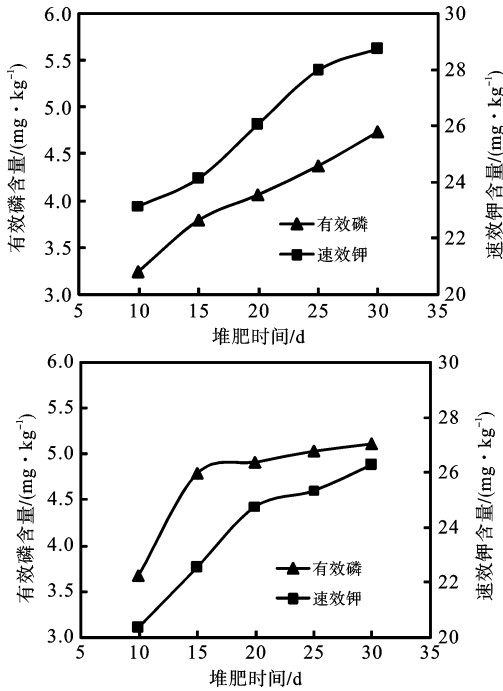


图 2 堆肥时间对肥料品质的影响

Fig. 2 The effect of different composting time on the fertilizer quality

从图 2 可以看出,对该 2 株硅酸盐细菌而言,随着堆肥时间的逐渐增加,矿物肥料中的有效磷和速效钾均呈逐渐上升趋势。可见,硅酸盐细菌对煤矸石中硅酸盐矿物的分解作用需要一定时间才能完成,这也是细菌作用的正常现象,在实际堆肥过程中控制时间越长越好。

2.3 环境温度对矿物肥料品质的影响

准确称取±0.154 mm 的煤矸石样品 15 g,再分别加入备用的胶质芽孢杆菌菌悬液和多粘类芽孢杆菌菌悬液,控制煤矸石和菌悬液的加入固液比 1 : 1 (湿润),调节 pH 值为 7.0 ~ 7.5,放入恒温箱中,分别控制温度为 15 ~ 35°C,培养 15 d,样品中有效磷和速效钾的含量见图 3。

从图 3 可以看出,随着堆肥温度的逐渐增加,矿物肥料中的有效磷和速效钾呈先继续增加后缓慢增加的趋势,这可能与该 2 株硅酸盐细菌的最适生长温度在 25 ~ 32°C 有关,当温度过低时,细菌生长缓慢,活性不强,而当温度过高时,菌体内的酶活受到抑制。由此可见,堆肥温度控制在 20 ~ 30°C 为宜。

另外,从前三组试验可以看出,采用该株胶质芽

孢杆菌作为堆肥细菌时,矿物肥料中有效磷含量低于该株多粘类芽孢杆菌,速效钾含量高于该株多粘类芽孢杆菌。可知,该株胶质芽孢杆菌对速效钾的释放更有效,该株多粘类芽孢杆菌对有效磷的释放更有效,为取得更好的堆肥效果,考虑进一步混合该 2 株硅酸盐细菌,进行堆肥试验。

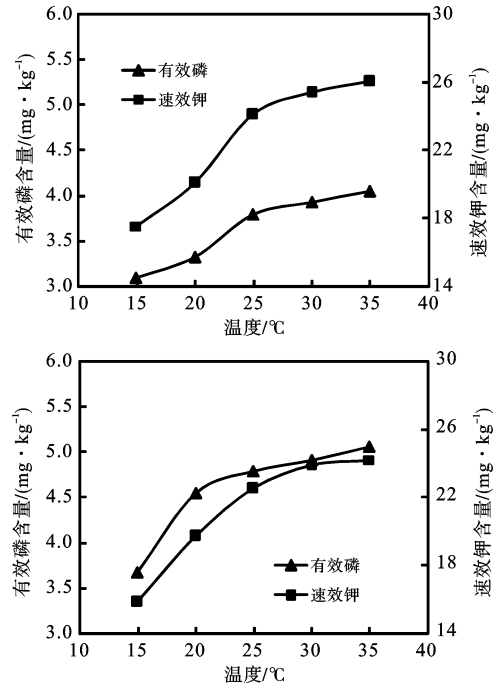
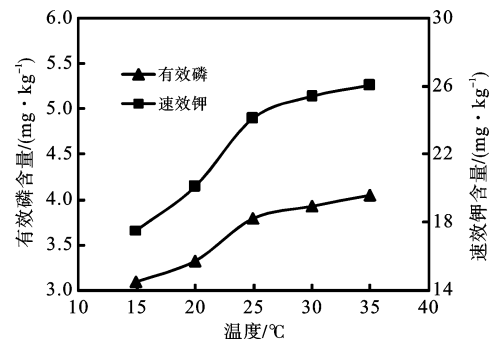


图 3 堆肥温度对肥料品质的影响

Fig. 35 The effect of different composting temperature on the fertilizer quality

2.4 混合菌种用于制作肥料

准确称取±0.154 mm 的煤矸石样品 15 g,再分别加入备用的胶质芽孢杆菌菌悬液和多粘类芽孢杆菌菌悬液,控制煤矸石和总菌悬液的加入固液比 1 : 1 (湿润),菌悬液中胶质芽孢杆菌和多粘类芽孢杆菌的加入比例分别为 1 : 0、2 : 1、1 : 1、1 : 2 和 0 : 1,调节 pH 值为 7.0 ~ 7.5,放入恒温箱中 25°C 培养 15 d,样品中有效磷和速效钾的含量见图 4。



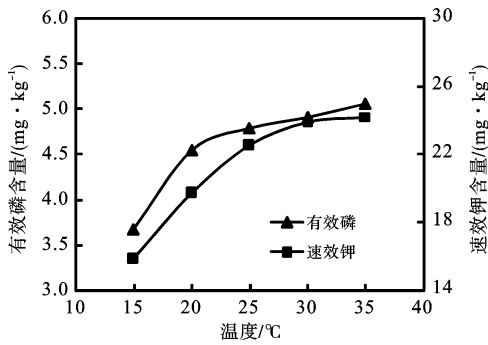


图4 混合菌种对肥料品质的影响

Fig. 4 The effect of mixed strains on the fertilizer quality

从图4可以看出,胶质芽孢杆菌和多粘类芽孢杆菌在三种混合比例下加入,产生的矿物肥料品质均高于单独加入某一种菌悬液,尤其是对于混合菌悬液1:1加入时,肥料中的有效磷含量和速效钾含量较高,分别达到4.97 mg/kg和25.14 mg/kg,是原煤矸石样品中含量的5.12倍和2.01倍,建议在实际堆肥过程中,以混合硅酸盐细菌为主。

3 结 论

(1)堆肥过程中,固液比条件对矿物肥料品质影响很大,水份含量越高,堆肥效果越高,在实际操作可允许条件下,尽量加大液固比;

(2)硅酸盐细菌通过获取硅酸盐矿物中的营养元素来维持微生物自身的生命活动,但过程中作用

缓慢,这也是细菌作用于矿物的普遍特性,建议在实际堆肥过程中控制时间越长越好。

(3)温度过低或过高均不利于矿物肥料的品质提高,实际堆肥过程中建议尽量以细菌的最适生产温度为控制标准。

(4)混合2株硅酸盐细菌的堆肥效果明显优于单种菌种的效果,硅酸盐细菌种类较多,在下一步试验中考虑研究各种硅酸盐细菌的混合使用对煤矸石堆肥品质的影响。

参考文献:

- [1]毕银丽,胡瑜,苏高华,等.微生物对煤矿固体废弃物的脱硫效应.环境工程学报[J].2008,2(1):92-96.
- [2]李挺.废弃煤矸石的危害及利用途径探讨.科技情报开发与经济[J].2010,20(31):159-161.
- [3]柳凯,马延栋,侯小可.我国煤矸石的环境危害及综合利用现状.煤[J].2013,22(5):59-61.
- [4]金会心,吴复忠,朱明燕,等.贵州六盘水煤矸石的矿物特征.过程工程学报[J].2014,14(1):151-156.
- [5]吴涛,陈骏,连宾.微生物对硅酸盐矿物风化作用研究进展.矿物岩石地球化学通报[J].2007,26(3):263-268.
- [6]袁向芬,程帆,杨艳梅,等.两种细菌处理高硫煤矸石制备肥料的研究.硅酸盐通报[J].2014,33(2):302-307.
- [7]钟艳,杨艳梅,谢承卫.利用巨大芽孢杆菌处理高硫和低硫煤矸石制备肥料的研究.贵州师范学院学报[J].2015,31(12):18-25.
- [8]袁向芬,谢承卫.利用巨大芽孢杆菌制备高硫煤矸石肥料.环境工程学报[J].2015,9(2):946-950.

Study on the Preparation of Gangue Mineral Fertilizers by Silicate-dissolving Bacterial Strains

Cheng Rong, Liao Xiangwen, Shu Rongbo, Xu Ming, Ji Chengqing

(Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, C. A. G. S., Research Center of Multipurpose Utilization of Metal Mineral Resources of China Geological Survey, Chengdu, Sichuan, China)

Abstract: As the serious environmental pollution problem caused by the abundant dumped coal gangue, the research studied the production of mineral fertilizer by using *Bacillus mucilaginosus* and *Paenibacillus polymyxa* to decompose silicate minerals, that cannot be utilized by plant. The factors which influenced the preparation of mineral fertilizer including the solid-to-liquid ratio, composting time, composting temperature and the mixing ratio of bacterial suspension were considered. The experiment showed that when the mixing ratio of *Bacillus mucilaginosus* and *Paenibacillus polymyxa* is 1:1, the solid-to-liquid ratio is 1:1, composting temperature was 25°C for 15, the effective phosphorus and available potassium contents of coal gangue fertilizers were 5.12 times and 2.01 times relative to the original coal gangue.

Keywords: Coal gangue; *Bacillus mucilaginosus*; *Paenibacillus polymyxa*; Mineral fertilizer