

化学及生物活化钾长石的释钾效果比较

鄢海印, 刘可星, 廖宗文, 毛敬麟, 何慧中

(华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642)

摘要:通过摇瓶培养和盆栽试验,对化学、生物及化学-生物联合作用的活化钾长石的释钾效果进行比较.结果表明,化学、生物处理对钾长石均有活化效果,可增加钾释放量;化学、生物活化钾长石对玉米生长有促进作用,而且化学活化效果更优;化学-生物联合活化具有协同作用,活化效果更显著.

关键词:活化; 胶质芽孢杆菌; 化学-生物联用; 钾长石

中图分类号:S14-33

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2013)02-0149-04

The Effects of Chemical, Biological Activation on Potassium Release from K-Feldspar

YAN Haiyin, LIU Kexing, LIAO Zongwen, MAO Jinglin, HE Huizhong

(College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The comparison on chemical, biological activation and combination of chemical-biological activation on potassium release from K-feldspar were performed by shake flask culture and pot experiment. The results showed that the effects of chemical and biological activation on potassium released from K-feldspar were obvious and the amount of released potassium increased. The activated potassium released from K-feldspar with chemical, biological activation could promote the growth of maize. Between the two treatments, chemical activation was better. The effects of combination of chemical and biological activation were better than that of the single activation, which showed that the synergistic effect on combination of chemical and biological activation.

Key words: activation; *Bacillus mucilaginosus*; combination of chemical-biological activation; K-feldspar

钾是作物生长需要的主要元素之一,也是土壤中影响作物产量的一个重要元素.目前一般是从可溶性钾矿石中提取钾或直接以钾盐矿物为原料制造钾肥.我国可溶性钾矿资源储量少,难溶性钾资源却很多,尤其是钾长石矿储量极其丰富,探明的难溶性钾资源储量超过100亿t,且遍布于全国各地^[1].钾长石中的钾必须通过加工才能作为钾肥使用.因此,如何综合有效开发我国不溶性钾资源对农业生产有重要的现实意义.

微生物分解钾长石因具有能耗低、污染小等特

点而备受重视,该研究主要集中在胶质芽孢杆菌 *Bacillus mucilaginosus*.有研究发现,胶质芽孢杆菌接种到以钾长石为唯一钾源的培养液中,通过破坏钾长石的晶格结构使矿物中的钾释放出来,使培养液的游离钾比对照增加了37.3%~162.4%,另外,菌剂可以促进土壤中的钾转化为有效钾,供作物吸收利用^[2].在有氮条件下,胶质芽孢杆菌对含钾矿物的释钾率高于在无氮条件下的释钾率^[3].高温煅烧是制约钾长石利用的主要因素,近年来降低煅烧温度的研究取得了重要进展.陈定盛等^[4]系统研究了钾长

收稿日期:2012-04-05 网络出版时间:2013-01-22

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20130122.1711.010.html>

作者简介:鄢海印(1986—),男,硕士研究生;通信作者:刘可星(1970—),男,副教授,博士,E-mail:kxliu@scau.edu.cn

基金项目:农业部公益性行业科研专项(20120301303)

石-硫酸钙-碳酸钙体系提钾反应的物料配比、焙烧温度、反应时间和 Na_2SO_4 添加量对热分解的影响,发现助剂 Na_2SO_4 能有效降低焙烧温度,钾溶出率可达 92%~94%。韩效钊等^[5-6]探索低温利用钾长石的新途径也取得重要成果,成功开发专利技术“钾长石-磷矿-无机酸体系”。华南农业大学新肥料资源研究中心在磷和镁促释活化成功的基础上,开发促释材料活化钾长石及微生物解钾取得了重要进展^[7-9],对钾长石进行生物活化和化学活化两方面的研究进展均有报道,而两者结合进行活化是否有更好的效果,鲜见文献报道。

本文通过摇瓶培养试验,对化学作用、微生物作用及化学-生物联合作用的活化钾长石进行比较研究,以探索两者叠加的协同作用,并通过盆栽试验验证生物、化学活化钾长石的肥效,为钾长石高效利用提供新的技术途径和科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

化学活化钾长石:钾长石 [$w(\text{K}_2\text{O}) = 15.48\%$] 和 QN 活化剂(华南农业大学新肥料资源研究中心研制,无机材料)按质量比 95:5 混合,加水混匀研磨 5 min, 60 °C 风干,制得活化钾长石;胶质芽孢杆菌 *Bacillus mucilaginosus* 由华南农业大学新肥料资源研究中心提供;供试土壤:取自华南农业大学树木园赤红壤,速效钾 93.80 mg/kg,全钾 7.37 g/kg,有机质 3.92 g/kg, pH7.08;供试作物:华农糯玉米 2008;试验菌剂:挑取 1 环胶质芽孢杆菌加入液体培养基(蔗糖 5.0 g, Na_2HPO_4 2.0 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g, CaCO_3 0.1 g, $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 5 mg, 水 1.0 L, pH7.5~8.5), 150 r/min、28 °C 条件下发酵 72 h,菌体含量为 3.6×10^8 cfu/mL;解钾发酵液培养基:蔗糖 10.0 g、 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.2 g、NaCl 0.1 g、 CaCO_3 0.1 g、钾矿物 10.0 g、蒸馏水 1.0 L、121 °C 灭菌 20 min。其中钾矿物分别为钾长石和活化钾长石。

1.2 方法

1.2.1 活化钾长石水溶性钾释放测定 称取 0.50 g 风干样品(钾长石、活化钾长石)放入 100 mL 离心管中,加入蒸馏水 50 mL,摇匀,180 r/min 振荡 15 min, 5 000 r/min 离心 10 min,过滤,滤液采用火焰光度计测定水溶性钾含量。

1.2.2 盆栽试验 玉米盆栽试验为 4 个处理,具体处理内容如下:施硫酸钾(CK1)、施钾长石(CK2)、施活化钾长石(T1)、施钾长石 + 5 mL 胶质芽孢杆菌

混匀(T2),每个处理 4 个重复。每盆装土 4 kg,各处理氮肥、磷肥施入一致,即 N 150 mg/kg [尿素, $w(\text{N})$ 46%]、 P_2O_5 100 mg/kg [过磷酸钙, $w(\text{有效磷})$ 12%]。处理 CK1 和 CK2 的钾肥等全钾含量,按 $w(\text{K}_2\text{O})$ 120 mg/kg 施入,其余处理钾肥用量与 CK2 相同。氮肥、磷肥、硫酸钾采用混匀方式施入,而其他 3 个钾长石处理采用穴施方式施肥。

玉米于 2011 年 4 月 8 日移栽,每盆 2 株玉米,生长期为 52 d。收获时取玉米地上部分烘干测定干质量、钾含量。植株钾含量采用 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 法,火焰光度计测定^[10]。

1.2.3 摇瓶培养解钾试验 摇瓶培养试验共设 4 个处理:发酵液中为钾长石(CK1)、发酵液中为活化钾长石(CK2)、发酵液中为钾长石 + 2 环胶质芽孢杆菌(T1)、发酵液中为活化钾长石 + 2 环胶质芽孢杆菌(T2),每个处理 3 个重复。250 mL 三角瓶装有 100 mL 解钾发酵液,按试验设计对应接入菌剂,在 28 °C、150 r/min 条件下培养 7 d。发酵结束测定发酵液 pH,然后全部发酵液转入蒸发皿中,在水浴锅中浓缩至 10 mL 左右,加 2.0 mL 浓度为 20% 的 H_2O_2 溶液,继续蒸发,并不断搅动,反复加浓度为 20% 的 H_2O_2 溶液至粘性物质完全消化,转移定容至 100 mL, 5 000 r/min 离心 10 min,过滤,采用火焰光度计测定滤液钾浓度,进行浸提量计算。

1.3 数据分析

采用 Excel2003 和 SAS 9.0 软件进行数据分析,采用邓肯氏新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 化学、生物活化钾长石养分释放

由图 1 可知,钾长石水溶性钾含量很低,是由于钾长石钾主要以矿物态钾存在,结构稳定,不易释放;而钾长石经过活化后,其水溶性钾含量明显高于对照的钾长石浸提量,增加幅度为 300.40%。 t 检验结果显示差异显著($P = 0.014$)。因此,钾长石经过活化后,矿物态钾被释放出来,使水溶性钾含量大幅度提高。

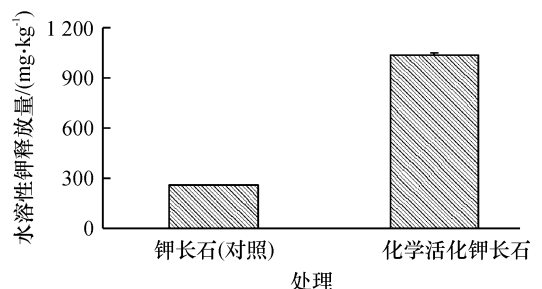


图 1 化学活化钾长石钾释放效果

Fig. 1 The release effect of chemical activation of potash feldspar potassium

在摇瓶条件下,硅酸盐细菌表现出较强分解硅酸盐矿物的能力^[11-12].本试验的胶质芽孢杆菌摇瓶试验结果(表1)显示,加入胶质芽孢杆菌的处理钾浸提量显著增加,增幅为8.35%,而且发酵液中pH显著下降,呈现酸性.有研究表明^[13],胶质芽孢杆菌发酵过程分泌有机酸、氨基酸等小分子物质,是胶质芽孢杆菌解钾的重要机制.大量研究表明,高效胶质芽孢杆菌菌株解钾效果一般只有100%左右,鲜见高效菌株解钾效果达300%报道.本研究发现,化学活化钾效果可以增加300.40%(图1),生物活化钾效果只有8.35%,化学活化钾长石的效果远高于生物活化.

表1 生物活化钾长石钾释放量和pH变化¹⁾

Tab.1 The release amount of K and pH of biologically activated K-feldspar

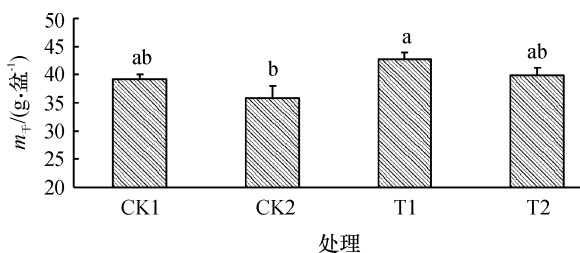
处理	钾释放量/(mg·kg ⁻¹)	pH
钾长石(CK2)	1 464.80 ± 22.31	7.92 ± 0.01
钾长石+菌(T2)	1 587.08 ± 40.66	5.16 ± 0.30

1)表中数据为平均值±标准误.

2.2 化学、生物活化钾长石盆栽肥效

从图2可以看出,活化钾长石处理(T1)的玉米干质量最大,而钾长石处理(CK2)玉米干质量最小.T1与CK2相比,差异显著,干质量增加了19.09%;钾长石+菌(T2)与CK2相比,干质量增加了11.06%,但差异不显著,处理T1、T2与硫酸钾处理(CK1)生物量无显著性差异,说明化学、生物处理钾长石对玉米肥效可以达到硫酸钾水平,而且化学活化钾长石效果好于生物作用.

从表2可以看出,CK1玉米钾含量最高,而其他处理钾含量无显著性差异;对吸钾量进行分析,依次为CK1>T1>T2>CK2,T1、T2钾吸收量显著高于CK2,T1钾吸收量高于T2,但差异不显著.表明钾长石经过化学、生物活化后,促进玉米生长,而且可以显著增加玉米对钾吸收量,提高钾肥利用率;硫酸钾处理也可以提高作物全钾含量和钾肥利用率,但硫酸钾易流失,成本高,产量不变,经济效益低.



图中凡标有一个相同小写字母者,表示差异不显著(P>0.05, Duncan's法).

图2 不同活化钾长石处理的盆栽玉米生物量

Fig.2 The biomass of potted corn in different treatments of activated K-feldspar

表2 不同活化钾长石处理的玉米钾含量及吸钾量¹⁾

Tab.2 Potassium content and uptake of corn in different treatments of activated K-feldspar

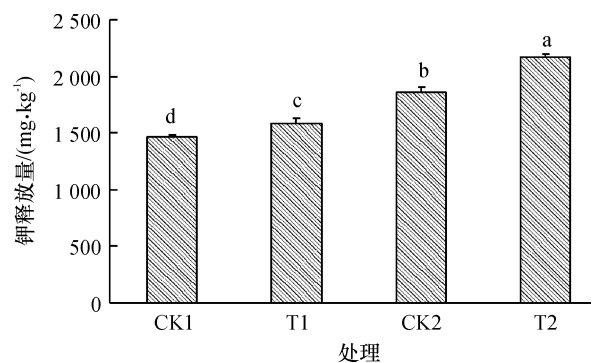
处理	w(钾)/(g·kg ⁻¹)	吸钾量/g
硫酸钾(CK1)	11.863 ± 0.106a	0.466 ± 0.006a
钾长石(CK2)	6.685 ± 0.219b	0.239 ± 0.008c
活化钾长石(T1)	6.318 ± 0.065b	0.270 ± 0.006b
钾长石+菌(T2)	6.546 ± 0.155b	0.260 ± 0.003b

1)表中数据为平均值±标准误,同列数据后凡是有一个相同小写字母者,表示差异不显著(P>0.05, Duncan's法).

2.3 化学-生物联合活化钾长石效果

化学-生物联用是钾长石综合利用的新思路,其效果与单独化学、生物作用有何不同,是否存在协同作用成为本文探讨重点.图3的试验结果表明,加入活化钾长石(CK2)发酵液中钾浸提量显著高于加钾长石发酵液处理(CK1),主要是钾长石经过活化后,水溶性钾增加(图1);发酵液中加入胶质芽孢杆菌的处理(T1和T2)钾浸提量都显著增加,而且胶质芽孢杆菌加入活化钾长石发酵液(T2)中的钾浸提量最高,与CK2相比,增幅达到17.23%,而胶质芽孢杆菌加入钾长石发酵液(T1)中的钾浸提量与CK1相比,增幅仅为8.35%,表明胶质芽孢杆菌更易分解经过化学活化处理的钾长石,这与活化后的钾长石内部结构变化有关.

与CK1相比,T1的钾浸提量增加122.3 mg/kg,即单独生物作用的钾浸提量增加8.35%,CK2的钾浸提量增加389.6 mg/kg,即单独化学作用的钾浸提量增加26.60%,T2的化学-生物联合作用的钾浸提量增加709.2 mg/kg,即化学-生物联合作用的钾浸提量增加48.42%,说明化学-生物联合作用效果大于化学、生物单独作用效果之和,即化学、生物作用存在协同作用,且化学作用效果好于生物作用效果.



图中凡标有一个相同小写字母者,表示差异不显著(P>0.05, Duncan's法).

图3 化学、生物和化学-生物联用活化钾长石的释钾量
Fig.3 Potassium release from K-feldspar activated by chemical, biological activation and combination of chemical-biological activation

3 讨论与结论

钾长石是最普通的一种造岩矿物,在地壳中储量大,分布广,是许多含钾硅酸盐岩石的主要组分.钾长石传统提钾工艺主要有高温化学反应体系、氢氟分解体系、微生物分解体系等.高温化学反应体系和氢氟分解体系存在能耗高、水耗高、三废排放严重、工艺流程复杂、设备要求高等弊端,很难进行工业化生产^[2],而微生物分解由于其工艺流程短、能耗低、污染小等而备受关注,但由于菌种培养周期太长、分解速度慢、生存能力较弱、钾溶出率低等不利因素的存在,使得该方法应用于大规模工业化生产尚不成熟^[13-15].

针对利用钾长石提钾所存在的问题,本研究中化学活化钾长石是在低温、常压下进行,操作简单,克服了高温化学反应体系的缺点,对于钾长石开发利用是一条新的途径.本文研究结果表明,化学活化剂可以促进钾长石矿物钾的释放,增加其水溶性钾含量;化学活化钾长石效果优于胶质芽孢杆菌作用效果.

本研究还针对微生物解钾钾溶出率低的问题,进行了化学活化与生物活化联用的探讨,以期提高钾的活化效果.不同胶质芽孢杆菌解钾能力有较大差异^[16-17],有的菌种解钾效果可以达到100%以上,有的只有10%左右,而且很多胶质芽孢杆菌没有解钾作用^[2,18],解钾作用显著的菌株仅占15%~29%^[14].另外不同的硅酸盐矿物组成成分、结构不同,也会导致胶质芽孢杆菌解钾效果的差异,风化程度高的矿物易被胶质芽孢杆菌分解^[12],而且矿物粉粒径也会影响胶质芽孢杆菌解钾的效果,解钾量随矿粉粒径的减小而增加^[19];因此,生物分解钾长石重要途径之一是筛选高效解钾菌,另一途径是对钾长石进行预处理,破坏其结构,再进行生物解钾.本文使用的化学-生物联用就是使用后一种途径,其解钾效果显著.化学-生物联合作用效果显著可能原因是钾长石经过活化后,钾长石的原有晶体结构遭到破坏,为微生物分解提供有利条件,这类似于风化钾矿物易于分解^[12].化学-生物联合作用既有利于进一步提高化学活化的效果,也有利于改进微生物单独作用钾溶出率低问题,为钾长石开发利用提供了通过技术叠加以提高其活化效果的新思路.

本研究结果表明,化学活化与生物活化存在协同作用,两者联合作用的效果显著优于各自单一作用.经化学、生物活化处理的钾长石均可促进玉米生长,提高玉米的生物量,而且化学活化的效果更优.

参考文献:

- [1] 黄理承,陈太平,韩效钊,等.用低碳经济理念发展钾长石提钾技术[J].安徽化工,2010(增刊):76-78.
- [2] 盛下放,黄为一,殷永娟.硅酸盐菌剂的应用效果及其解钾作用的初步研究[J].南京农业大学学报,2000,23(1):43-46.
- [3] 杜叶,周雪莹,连宾.胶质芽孢杆菌的胞外分泌物与细菌的解钾作用[J].地学前缘,2008,15(6):107-110.
- [4] 陈定盛,石林,汪碧容,等.焙烧钾长石制硫酸钾的实验研究[J].化肥工业,2006,33(6):20-23.
- [5] 韩效钊,阎勇,胡波,等.钾长石与磷矿磷酸反应机理研究[J].磷肥与复肥,2007,22(5):19-22.
- [6] 韩效钊,刘荃,王忠兵,等.钾长石与磷矿共酸浸制NPK复合肥研究[J].化肥工业,2009,36(1):30-33.
- [7] 孙克君,赵冰,卢其明,等.活化磷肥的磷素释放特性、肥效及活化机理研究[J].中国农业科学,2007,40(8):1722-1729.
- [8] 张俊涛,赵冰,刘可星,等.促释型轻烧氧化镁的养分释放特性及其对番茄生长的影响[J].中国农业科学,2008,41(11):3905-3912.
- [9] 廖宗文,毛小云,刘可星.养分有效性概念的思考与促释新技术的开拓[J].中国农业科学,2011,44(18):3918.
- [10] 鲁如坤.土壤农化分析[M].北京:中国农业科技出版社,2000:1-336.
- [11] MONIB M, ZAHRA M K, ABDEL A L, et al. Role of silicate bacteria in releasing K and orthoclase[J]. Soil Bio Conserv Bio, 1980(2):733-743.
- [12] 林启美,饶正华,孙焱鑫,等.一株胶质芽孢杆菌RG-Bel3的解磷解钾作用[J].华北农学报,2000,15(4):116-119.
- [13] 盛下放,黄为一.硅酸盐细菌NBT菌株生理特性的研究[J].土壤学报,2001,38(4):569-574.
- [14] 盛下放,黄为一.硅酸盐细菌NBT菌株释钾条件的研究[J].中国农业科学,2002,35(6):673-677.
- [15] 连宾,傅平秋,莫德明,等.硅酸盐细菌解钾作用机理的综合效应[J].矿物学报,2002,22(2):179-183.
- [16] 钮旭光,华秀英,何随成.硅酸盐细菌解钾活性的研究[J].土壤通报,2005,36(3):950-953.
- [17] 赵艳,张晓波,郭伟.不同土壤胶质芽孢杆菌生理生化特征及其解钾特性[J].生态环境,2009,18(6):2283-2286.
- [18] 徐大勇,李峰,贺雪丽.硅酸盐细菌的分离及其解钾活性的初步比较[J].淮北煤炭师范学院学报,2006,27(4):42-44.
- [19] 罗微,谢德体,黄昭贤,等.硅酸盐细菌对矿粉和土壤的解钾作用研究[J].西南农业大学学报,1998,20(1):5-8.