

解磷细菌对难溶性磷的有效化作用

郑少玲¹, 陈琼贤², 谭炽强¹, 马磊¹, 梅凤娴¹

(¹ 华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642; ² 广东省农业科学院 蔬菜研究所, 广东 广州 510640)

摘要:通过施用等养分(含 $w = 20\%$ 磷矿粉)的生物有机肥和加入解磷细菌的生物有机肥进行盆栽试验, 研究生物有机肥中解磷细菌对难溶性磷肥(磷矿粉)的有效化作用. 试验结果显示, 在肥力较低的惠州菜园土上, 施用含解磷细菌的生物有机肥能促进菜心的生长, 与施用等养分含量的磷矿粉及不含解磷细菌的生物有机肥比较, 提高其地上部生物量 7.0 和 4.2 倍, 单季菜心对氮的吸收利用效率提高了 32.5% 和 28.8%, 对磷的吸收利用效率提高了 8.6% 和 7.9%, 对钾的吸收利用效率提高了 54.4% 和 48.8%. 施用含解磷细菌的生物有机肥还可以提高蔬菜植后速效磷的含量, 比磷矿粉处理及不含磷细菌生物有机肥处理分别提高 19.5 及 11.4 mg/kg.

关键词:菜心; 生物有机肥; 解磷细菌; 难溶性磷; 有效化作用

中图分类号: S144

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2007)04-0038-04

Availability Effect of Phosphate-Dissolving Bacteria on Sparingly Soluble Phosphates

ZHENG Shao-ling¹, CHEN Qiong-xian², TAN Chi-qiang¹, MA Lei¹, MEI Feng-xian¹

(¹ College of Resources and Environment, South China Agric. Univ, Guangzhou 510642, China;

² Vegetable Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

Abstract: A pot experiment was performed in low fertility vegetable garden soils taken from Huizhou of Guangdong Province to study the availability effect on sparingly soluble phosphates fertilizer (phosphorus rock) by using equality nutrient phosphorus rock, $w = 20\%$ phosphorus rock plus bio-organic fertilizer without phosphate-dissolving bacteria (PDB), and $w = 20\%$ phosphorus rock plus bio-organic fertilizer with PDB. The experiment results showed that bio-organic fertilizer with PDB can significantly increase the growth of canliflower, which correspondingly increased 7.0 and 4.2 times of shoot biomass, the N uptake and utilization efficiency of single seasonal canliflower to 32.5% and 28.8%, P uptake and utilization efficiency to 8.6% and 7.9%, K uptake and utilization efficiency to 54.4% and 48.8% than that of the equality nutrient phosphorus rock and bio-organic fertilizer without PDB. Furthermore, the bio-organic fertilizer with PDB can also improve the soluble phosphate contents to 19.5 and 11.4mg/kg after vegetable harvests as compared to the treatments of phosphate rock powder and bio-organic fertilizer without PDB.

Key words: canliflower; bio-organic fertilizer; phosphate-dissolving bacteria; sparingly soluble phosphates; validity

磷是世界农业生产中限制作物产量的主要因素之一. 据统计, 全世界有 43% 的耕地土壤属于缺磷土壤^[1]; 我国也有 1/3 的农田严重缺磷^[2]. 施用磷肥是提高作物产量的有效途径之一. 但是, 由于 Ca、

收稿日期: 2007-03-01

作者简介: 郑少玲(1962—), 女, 高级实验师; 通讯作者: 陈琼贤(1960—), 女, 研究员, E-mail: cqx0118@sina.com

基金项目: 广东省农业攻关项目(2002C20504, 2004B20201020); 广州市科技攻关项目(2005Z2-E0251); 广州市番禺区科技项目(2004-z-07-1)

Fe、Al 化合物及土壤粘粒对磷的吸附、固定、沉淀等作用,导致施入土壤的磷肥利用率很低。而且,磷矿是一种不可再生的资源,如以每年耗磷矿 9.4×10^7 t 计算,世界磷矿的储量只能使用 100 年^[3]。磷肥的制造及过多使用也会造成土壤重金属含量的增加,给人和动植物带来一定的危害^[4-6]。如何增加土壤磷的有效性、提高磷肥的利用效率,对于提高农作物产量、减少磷素资源的浪费及保护生态环境将起重要的作用。有研究表明,把解磷细菌(phosphate-dissolving bacteria)制成菌剂施入土壤,不仅可以增加作物产量及改善作物的品质,而且可以减少磷肥的施用量,提高磷的利用效率^[7-9]。把解磷细菌和其他有益微生物与有机肥加工结合成为生物有机肥,兼顾了传统有机肥与添加生物菌剂(制剂)的优势,越来越

多地被人们所认可并在生产上广泛应用^[10-12]。本试验通过土壤盆栽,比较系统地研究了生物有机肥中加入解磷细菌等有益微生物后,对菜心的生长发育、植株体内养分的吸收累积量和氮、磷、钾养分利用率的影响,以及种植菜心后,土壤中有效氮磷钾含量的变化情况,揭示了生物有机肥中的解磷细菌对肥料和土壤中难溶性磷的活化作用。

1 材料与方法

1.1 材料

采用 2 种不同肥力的土壤进行盆栽试验。供试土壤来自广东省惠州和东莞,其基本理化性质见表 1。供试蔬菜为夏青一号菜心,由广东省农业科学院蔬菜研究所提供。供试肥料为生物有机肥,以厨余、牛

表 1 供试土壤基本理化性质
Tab. 1 The properties of used soils

土壤来源 source of soils	质地 texture	pH	w(有机质 organic matter)/ ($g \cdot kg^{-1}$)	w(全 N total N)/ ($g \cdot kg^{-1}$)	w(全 P total P)/ ($g \cdot kg^{-1}$)	w(全 K total K)/ ($g \cdot kg^{-1}$)	w(碱解 N active N)/ ($mg \cdot kg^{-1}$)	w(速效 P active P)/ ($mg \cdot kg^{-1}$)	w(速效 K active K)/ ($mg \cdot kg^{-1}$)
惠州 Huizhou	砂壤土	5.09	15.1	0.99	0.26	3.70	71.3	24.6	37.7
东莞 Dongguan	中壤土	4.80	19.7	1.22	0.90	20.2	77.0	57.4	317.9

粪和鸡粪(质量比为 1:2:1)为主要材料,加入质量分数为 20% 的磷矿粉及有益微生物。生物有机肥的有效氮、磷、钾质量分数分别为:0.078% N、1.24% P_2O_5 、0.53% K_2O ;加入的有益微生物及数量为:固氮菌(棕色固氮菌 *Azotobacter vinelandii*) $4.5 \times 10^6 g^{-1}$ 、解磷细菌 1(弯曲假单胞菌 *Pseudomonas geniculata*) $3.5 \times 10^7 g^{-1}$ 、解磷细菌 2(巨大芽孢杆菌 *Bacillus megaterium*) $2.5 \times 10^6 g^{-1}$ 、钾细菌(硅酸盐胶质芽孢杆菌 *B. mucilaginosussilicas*) $2 \times 10^8 g^{-1}$ 、放线菌(链霉菌 *Streptomyces* sp.) $1.5 \times 10^3 g^{-1}$ 、高温放线菌(*Thermoactinomyces* sp.) $1.5 \times 10^3 g^{-1}$ 。氮肥:尿素, $w(N) = 46\%$;磷肥:磷矿粉, $w(\text{有效 } P_2O_5) = 6.2\%$, $w(\text{全 } P_2O_5) = 31.4\%$;钾肥:氯化钾, $w(K_2O) = 60\%$ 。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 每盆的土壤用量为 500 g,设计了 4 个处理,处理 1:不施肥(CK);处理 2:磷矿粉 2.42 g + 尿素 0.22 g + 氯化钾 0.17 g;处理 3:含解磷细菌的生物有机肥(生物有机肥中拌入放线菌、固氮菌、解磷细菌及钾细菌等有益微生物)12.1 g + 尿素 0.21 g + 氯化钾 0.06 g;处理 4:不含解磷细菌的生物有机肥(生物有机肥拌入除解磷细菌外的其他有益微生物)12.1 g + 尿素 0.21 g + 氯化钾 0.06 g。其中处理 2、3、4 为等养分含量处理,即每 500 g 土含 N

0.1g、磷矿粉 2.42 g(含有效 P_2O_5 0.15 g,全 P_2O_5 0.76 g)、 K_2O 0.1 g。每处理重复 4 次。

1.2.2 试验方法 将肥料与 500 g 土混匀后装进底部连有一香烟滤嘴的塑料杯中,然后把塑料杯放在盛有自来水的塑料箱上的 PVC 板上,让塑料杯底部的滤嘴穿过 PVC 板上的小孔,与塑料箱中的自来水接触,水通过滤嘴的毛细管作用缓缓上升,源源不断地供应给塑料杯中的土壤,使土壤保持湿润状态。试验于 2004 年 5 月 11 日开始,在每个塑料杯中播种 10 粒菜心种子,5 月 18 日间苗,每杯剩下 1 棵苗,2004 年 6 月 5 日收获,即生育期为 25 d。收获时,数菜心的叶片数并称量菜心的地上部和根部质量。

1.2.3 植株与土壤的分析及数据统计分析方法 把收获的菜心植株烘干粉碎,测定植株中的 N、P、K 含量。把种植蔬菜后的土壤风干后过筛,测定 pH 以及有机质、碱解 N、速效 P、速效 K 的含量^[13]。养分利用率的计算:养分利用率 = (施肥处理的养分吸收量 - 不施肥处理的养分吸收量) / 施肥量。应用 SAS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 解磷细菌对菜心生长的影响

表 2 显示,在广东惠州菜园土上,不同处理对菜心生物量的影响很大,含解磷细菌生物有机肥处理

(处理3)的地上部生物量、根部生物量及叶片数均显著高于不施肥处理(处理1)、磷矿粉处理(处理2)及不含解磷细菌生物有机肥处理(处理4);含解磷细菌生物有机肥处理的地上部生物量是不含解磷细菌生物有机肥处理的4.2倍、根部生物量是不含解磷细菌生物有机肥处理的4.6倍。在广东东莞菜园土上的菜心试验上,虽然也有与惠州菜园土上同样的趋势,但差异不是那么显著,出现含解磷细菌生物有机肥处理与不含解磷细菌生物有机肥处理的地上部生物量及叶片数差异不显著的情况。甚至4个处

理的根部生物量都无显著差别。可能原因是:含解磷细菌生物有机肥加入了解磷细菌,而不含解磷细菌生物有机肥没有添加解磷细菌,解磷细菌的作用则是促进缓效磷转化为有效磷,故含解磷细菌生物有机肥中较多的缓效磷可转化为有效磷。广东惠州菜园土较为瘦瘠(表1),施用含解磷细菌生物有机肥使土壤有效磷的含量提高较多,对其养分状况的改良作用较大,而广东东莞菜园土较为肥沃(表1),有效磷本底的含量也较高,施用含解磷细菌生物有机肥对其作用较小。

表2 不同处理对菜心生长的影响¹⁾

Tab. 2 Influence on canliflower grow in different treatment

处理 treatment	惠州菜园土 vegetable garden soil in Huizhou			东莞菜园土 vegetable garden soil in Dongguan		
	地上部生物量	根部生物量	叶片数	地上部生物量	根部生物量	叶片数
	shoot biomass/g	root biomass/g	leaves	shoot biomass/g	root biomass/g	leaves
1	0.76 ± 0.08b	0.24 ± 0.09b	7.3 ± 0.3c	10.05 ± 0.45c	0.87 ± 0.06a	9.3 ± 0.3c
2	1.90 ± 0.32b	0.28 ± 0.03b	7.0 ± 0.6c	17.78 ± 2.92b	0.81 ± 0.11a	11.3 ± 0.3b
3	13.26 ± 1.71a	2.66 ± 0.89a	11.3 ± 0.3a	26.79 ± 1.82a	1.52 ± 0.19a	12.7 ± 0.3a
4	3.18 ± 0.91b	0.58 ± 0.09b	9.0 ± 0.6b	25.31 ± 2.22a	1.61 ± 0.41a	12.7 ± 0.3a

1)表中数据为4次重复的平均值±标准误,同列数据末尾具相同字母的表示差异不显著(DMRT法, $P=0.05$)

2.2 解磷细菌对菜心 N、P、K 养分累积量的影响

表3显示,在广东惠州菜园土上,不同处理对N、P、K累积量的影响有较大的差异。含解磷细菌生物有机肥处理的菜心N、P、K累积量明显高于不施肥处理、磷矿粉处理和不含解磷细菌生物有机肥的N、P、K累积量。这是由于施用含解磷细菌生物有机肥改善了惠州菜园土的养分状况,使该处理的生物量

显著提高,对N、P、K的累积量也相应提高。在广东东莞菜园土上,菜心对N、P、K的累积量都是不含解磷细菌生物有机肥处理>含解磷细菌生物有机肥处理>磷矿粉处理>不施肥处理。不含解磷细菌生物有机肥处理与含解磷细菌生物有机肥处理的差异不显著。磷矿粉处理与不施肥处理差异不显著。

表3 不同处理对菜心 N、P、K 养分吸收累积量的影响¹⁾

Tab. 3 Influence on N, P, K accumulate amount of canliflower in different treatment

mg·株⁻¹

处理 treatment	惠州菜园土 vegetable garden soil in Huizhou			东莞菜园土 vegetable garden soil in Dongguan		
	N	P	K	N	P	K
1	3.6 ± 0.5b	0.24 ± 0.04b	3.5 ± 0.4b	27.9 ± 1.5b	3.6 ± 0.2b	45.0 ± 2.5b
2	9.6 ± 1.9b	0.65 ± 0.12b	10.7 ± 2.2b	52.5 ± 11.8ab	6.2 ± 1.4b	87.0 ± 19.6ab
3	42.2 ± 5.7a	6.30 ± 0.85a	56.0 ± 7.3a	66.6 ± 5.3a	9.4 ± 0.8a	114.4 ± 8.8a
4	13.4 ± 3.0b	1.15 ± 0.25b	15.4 ± 3.6b	73.5 ± 8.9a	10.1 ± 1.2a	122.5 ± 14.7a

1)表中数据为4次重复的平均值±标准误,同列数据末尾具相同字母的表示差异不显著(DMRT法, $P=0.05$)

2.3 单季菜心对肥料 N、P、K 养分的利用率

施用含解磷细菌生物有机肥明显地提高了单季蔬菜对N、P、K养分的利用率,在惠州菜园土上,含解磷细菌生物有机肥处理的N、P、K利用率分别比磷矿粉处理的高32.52%、8.62%、54.39%;分别比不含解磷细菌处理的高28.79%、7.87%、48.79%(表4)。而在广东东莞菜园土上,施用含解磷细菌生物有机肥和不含解磷细菌生物有机肥都明显地提高了N、P、K的利用率,含解磷细菌生物有机肥处理的

N、P、K利用率分别比磷矿粉处理的高23.40%、6.68%、51.27%;与不含解磷细菌处理的没有差异。

2.4 解磷细菌对种植菜心后土壤速效氮、磷、钾含量的影响

从表5可以看出,2种土壤在种植菜心后,磷矿粉处理、含解磷细菌生物有机肥处理及不含解磷细菌生物有机肥处理的碱解氮含量均略大于对照。磷矿粉处理的速效钾含量高于其他处理,这是因为磷矿粉处理的菜心生物量低,土壤中速效钾被作物吸

表4 不同处理肥料中N、P、K养分的利用率¹⁾
Tab. 4 N,P,K utilization ratio in fertilizer in different treatment

处理 treatment	惠州菜园土 vegetable garden soil in Huizhou			东莞菜园土 vegetable garden soil in Dongguan		
	N	P	K	N	P	K
2	6.08 ± 1.87b	0.63 ± 0.18b	8.64 ± 2.59b	15.31 ± 5.69b	2.22 ± 1.02b	31.93 ± 11.49b
3	38.60 ± 5.67a	9.25 ± 1.29a	63.03 ± 8.72a	38.71 ± 5.32a	8.90 ± 1.17a	83.20 ± 10.59a
4	9.81 ± 3.04b	1.38 ± 0.38b	14.24 ± 4.29b	38.86 ± 5.74a	8.48 ± 1.19a	79.66 ± 11.70a

1)表中数据为4次重复的平均值±标准误,同列数据末尾具相同字母的表示差异不显著(DMRT法, $P=0.05$)

表5 对土壤速效N、P、K的质量分数的影响
Tab. 5 Influence on content of active N,P,K in soils in different treatment

处理 treatment	惠州菜园土 vegetable garden soil in Huizhou			东莞菜园土 vegetable garden soil in Dongguan		
	碱解 N active N	速效 P active P	速效 K active K	碱解 N active N	速效 P active P	速效 K active K
1	79.9 ± 1.9b	14.81 ± 0.83c	33.40 ± 2.20c	80.1 ± 0.24b	50.89 ± 1.97c	305.3 ± 8.07c
2	88.5 ± 5.7ab	20.22 ± 1.46c	247.3 ± 5.28a	92.4 ± 4.0a	95.75 ± 2.13b	439.5 ± 10.6a
3	89.5 ± 0.9ab	39.75 ± 2.77a	185.2 ± 4.27b	91.9 ± 1.3a	114.2 ± 6.51a	363.2 ± 8.07b
4	99.3 ± 8.0a	28.39 ± 1.80b	190.7 ± 1.22b	99.5 ± 5.2a	111.3 ± 5.39a	349.8 ± 16.5b

1)表中数据为4次重复的平均值±标准误,同列数据末尾具相同字母的表示差异不显著(DMRT法, $P=0.05$)

收得少,因而在土壤中残留多.速效磷含量依次为含解磷细菌生物有机肥处理 > 不含解磷细菌生物有机肥处理 > 磷矿粉处理 > 不施肥处理.这可能是因为含解磷细菌生物有机肥处理中有较多的难溶性磷在解磷细菌的作用下转化为作物较易利用的速效磷,而不含解磷细菌生物有机肥处理中虽然没有解磷细菌,但有机肥分解过程产生的有机酸可以把一部分难溶性磷转化为速效磷.含解磷细菌生物有机肥处理的植物在当季吸收累积了较多的磷素,该处理给收获植物后的土壤留下了较多的有效磷,可见解磷细菌对于土壤及肥料中难溶性磷的有效化作用很大.

3 结论

施用含解磷细菌生物有机肥能提高菜心的生物量和叶片数.在土壤较瘦瘠的广东惠州菜园土上,含解磷细菌生物有机肥处理菜心的生物量、叶片数等显著高于不施肥处理、磷矿粉处理及不含解磷细菌生物有机肥处理;在土壤较肥沃的广东东莞菜园土上,虽然也有与惠州菜园土上同样的趋势,但差异不显著,出现含解磷细菌生物有机肥处理与不含解磷细菌生物有机肥处理的生物量、叶片数等差异不显著的情况.施用含解磷细菌生物有机肥可增加菜心体内N、P、K的累积量及提高菜心对肥料N、P、K养分的利用率,同样在较瘦瘠的土壤上效果更加显著.可见,含解磷细菌生物有机肥在瘦瘠的土壤上施用效果更好.施用含解磷细菌生物有机肥处理的蔬菜除了体内的磷累积量较高外,蔬菜植后还残留有较

高的有效磷含量,可见,解磷细菌对肥料及土壤中难溶性磷的有效化有很好的促进作用.

参考文献:

- [1] 刘建中.利用植物自身潜力提高土壤中磷的有效性[J].生态农业研究,1994,2(1):16-23.
- [2] 沈善敏.论我国磷肥的生产与应用[J].土壤通报,1985(3):97-103.
- [3] 赵其国.现在土壤学与农业持续发展[J].土壤学报,1996,33(1):1-11.
- [4] 任顺荣,邵玉翠,高宝岩,等.长期定位施肥对土壤重金属含量的影响[J].水土保持学报,2005,4(19):96-99.
- [5] 刘华.过量施用化肥对环境的污染及其防治措施探讨[J].甘肃农业,2005(11):35.
- [6] 肖军,秦志伟,赵景波.农田土壤化肥污染及对策[J].环境保护科学,2005,31(11):32-34.
- [7] 郝晶,洪坚平,刘冰,等.不同解磷菌群对豌豆生长和产量影响的研究[J].作物杂志,2006(1):73-76.
- [8] 周鑫斌,洪坚平,谢英荷.溶磷细菌对石灰性土壤磷素转化的影响[J].水土保持学报,2005,19(1):70-73.
- [9] 郜春花,张强,卢朝东,等.选用解磷菌剂改善缺磷土壤磷素的有效性[J].农业工程学报,2005,21(5):56-59.
- [10] 赵云涛,严才德,张丽娟,等.棉花专用有机生物肥施用效果的研究[J].中国棉花,2001,28(8):22-23.
- [11] 李远明,申庆龙,张凤泉,等.生物有机肥在优质大豆生产中应用效果的研究[J].大豆通报,2002(3):7.
- [12] 柯文武.生物有机肥料在辣椒等蔬菜上的肥效试验[J].安徽农学通报,2002,8(2):59-60.
- [13] 中国土壤学会.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业出版社,2000.

【责任编辑 周志红】