

不同土壤调理剂对酸性土壤的改良效果

魏岚^{1,2}, 杨少海^{1,2}, 邹献中^{1,2*}, 巫金龙^{1,2}, 宁建凤^{1,2}

(1.广东省农业科学院 土壤肥料研究所,广东 广州 510640;2. 广东省养分资源循环利用与耕地保育重点实验室,广东 广州 510640)

摘 要: 采用土壤盆栽试验,研究碱渣、菇渣、污泥、泥炭等土壤调理剂对酸性土壤的调节作用和对辣椒生长、产量、品质的影响。结果表明,各土壤调理剂均能提高土壤 pH,降低酸性土壤交换性铝含量,提高土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁含量;均能降低酸性土壤活性铝对辣椒的毒害作用,提高辣椒品质,使辣椒根系鲜重、地上部鲜重和辣椒产量增加,辣椒根系鲜重与土壤交换性铝含量呈显著负相关,其中以碱渣+菇渣处理的效果最显著,该处理辣椒叶片 SPAD 值、株高、根系鲜重、地上部鲜重、辣椒产量分别比不施土壤调理剂处理(对照)增加了 17%、32%、244%、45%、189%,辣椒 V-C、可溶性糖含量分别是对照的 1.78、2.77 倍;碱渣和菇渣在调节土壤酸性、改善土壤肥料方面表现出很好的互补性。

关 键 词: 土壤调理剂;酸性土壤;碱渣;菇渣;交换性铝;辣椒

中图分类号: S156.6 文献标志码: A 文章编号: 1007-1032(2010)01-0077-05

Effects of different modifiers on improvement of acid soils

WEI Lan^{1,2}, YANG Shao-hai^{1,2}, ZOU Xian-zhong^{1,2*}, WU Jin-long^{1,2}, NING Jian-feng^{1,2}

(1.Institute of Soil and Fertilizer, Guangdong Academy of Agricultural Science, Guangzhou 510640, China; 2. Guangdong Key Laboratory of Nutrient Cycling and Farmland Conservation, Research Platform of Agricultural Product Quality and Safety, Guangzhou 510640, China)

Abstract: Effects of different modifiers such as waste of soda manufactory, spent mushroom compost, sludge and turf on improvement of acid soil, and its effect on growth, yield and quality of pepper were researched by soil pot culture experiments. The results showed that all modifier treatments could increase pH value of the acid soil, the contents of organic carbon, available (nitrogen, phosphor, kalium)and exchangeable(Ca and Mg) in the soil. Therefore, the modifier treatments alleviated the Al toxicity to the pepper seedlings,and improved the yield and the quality of pepper to different degrees. A significant correlation was found between the content of exchangeable Al and fresh weight of pepper roots. Among all of the treatments, compost of the waste of soda manufactory with spent mushroom had the most prominent effects on alleviation of Al toxicity and improvement of growth and yield of pepper. With the soil treated with the compost, the SPAD value, the plant height, the fresh weight of roots and shoots and the yield of pepper increased by 17%, 32%, 244%, 45%, and 189%, respectively. The content of vitamin C and water-soluble sugar in pepper treated with the compost was 1.78 and 2.77 times as high as that of control. It could be concluded that the waste of soda manufactory and the spent mushroom compost have demonstrated a good complementarity in regulating the soil acidity and improving fertilizer in soil.

Key words: soils modifiers; acid soils; waste of soda manufactory; spent mushroom compost; exchangeable aluminum; pepper

土壤酸化是制约中国农业可持续发展的主要问题之一。中国各类酸化土壤面积约 2 亿 hm², 其

中广东省约占 60%^[1-2]。近年来,酸雨沉降不断增加,铵态氮肥大量使用等导致土壤酸化加剧^[3-6]。土壤酸

收稿日期: 2009-06-19

基金项目: 广东省重点科技攻关项目(2005A30402007)

作者简介: 魏岚(1981-),女,浙江湖州人,硕士,助理研究员; *通讯作者, patroonkiller@sina.com

化导致土壤中的 Ca、Mg、P 等营养元素大量淋失，土壤中的 Al 大量溶出。酸性土壤铝毒害是抑制作物生长和导致作物减产的主要原因^[7-9]。

碱渣是制碱厂的废弃物，主要成分为 CaCl₂、CaCO₃、CaSO₄ 等钙盐和 Mg(OH)₂ 等，偏碱性(pH 9~12)，富含 Ca、Mg、Si、K 等作物生长有益元素。用其替代石灰作为酸性土壤改良剂，不仅可以提高土壤 pH，而且可以补充土壤 Ca、Mg 等营养元素，达到变废为宝、综合利用资源的效果^[7, 10-11]。碱渣中有机质含量较少，速效 P 含量低，单独使用往往会造成土壤板结、作物缺 P 等问题^[11]。菇渣是蘑菇收获后的废弃物，其有机质含量丰富，N、P、K 含量较高，是一种很好的有机肥和土壤调理剂。菇渣施入土壤后可以提高土壤肥力，改良土壤结构^[12-13]，

因此，研究不同土壤调理剂对酸性土壤的调节作用和施用效果，对合理利用碱渣和菇渣等废料和改善土壤酸化具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 材料

表 1 中碱渣取自东莞市大众农业科技有限公司，污泥为广州市城市污泥，菇渣取自广州市五山镇岑村蘑菇种植场，泥炭取自广东省厦门市田野绿泥炭土厂，土壤取自广东中山小榄镇菜地。辣椒种子购自广东省农业科学院蔬菜研究所。主要仪器有便携式叶绿素测定仪 SPAD-502、TAS-986 火焰原子吸收分光光度计(AAS)和紫外-可见分光光度计。

表 1 土壤和不同土壤调理剂的基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of the soil and modifiers

项目	pH	有机质含量/%	速效氮含量/(mg·kg ⁻¹)	速效磷含量/(mg·kg ⁻¹)	速效钾含量/(mg·kg ⁻¹)	全钙含量/%	全镁含量/%
土壤	4.11	1.42	42.12	33.94	35.00	0.086	0.023
碱渣	9.07	0.01	157.08	1.07	281.25	3.743	2.501
污泥	6.21	14.22	819.04	82.66	8 518.52	1.037	0.249
菇渣	6.52	50.63	976.84	1 074.29	17 037.03	1.739	0.466
泥炭	7.14	46.65	251.19	3.84	30.00	1.013	0.024

1.2 方法

将土壤自然风干，过 4 mm 筛后装盆，每盆装土 15 kg。共设 8 个处理：以不施土壤调理剂为对照(CK)；每盆施 10 g 碱渣(处理 1)；每盆施 10 g 菇渣(处理 2)；每盆施 10 g 污泥(处理 3)；每盆施 10 g 泥炭(处理 4)；每盆施 5 g 碱渣和 5 g 菇渣(处理 5)；每盆施 5 g 碱渣和 5 g 污泥(处理 6)；每盆施 5 g 碱渣和 5 g 泥炭(处理 7)。每处理设 4 个重复。反复混匀，平衡 3 周后，移入辣椒幼苗。移苗前每盆取土壤样品作理化性质分析。

挑选均匀一致的辣椒种子，用 0.1% 的次氯酸钠消毒后，播于育苗钵中，2 周后移植，每盆 1 株。生长 40 d 左右用便携式叶绿素测定仪测定辣椒叶片 SPAD 值；辣椒接近成熟时(移苗后 60 d 左右)收获。收获时测定辣椒植株高度、植株地上部鲜重、植株根系鲜重和辣椒挂果数、单果重、产量以及辣椒 V-C 和可溶性糖含量。

1.3 指标测定

土壤基本理化性质分析参照文献[14]的方法；有机质含量的测定采用重铬酸钾容量法；速效氮含量的测定采用碱解扩散法；速效磷含量的测定采用浸提钼锑抗比色法；速效钾含量的测定采用醋酸氨浸提火焰光度法；全钙、全镁含量的测定采用原子吸收分光光度法；交换性钙、交换性镁含量的测定采用乙酸铵交换-原子吸收分光光度法；交换性铝含量用 1 mol/L KCl 浸提，中和滴定法测定^[15]。

辣椒叶片 SPAD 值的测定采用 SPAD-502 叶绿素仪测定，每片叶测 6 个点，结果取平均值。辣椒果实 V-C 含量的测定采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法，可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法^[16]。

2 结果与讨论

2.1 各土壤调理剂对土壤理化性质的影响

由表 2 可见，对照土壤 pH 为 4.09，属于强酸

表 2 各处理土壤的理化性质

Table 2 Basic physical and chemical properties of soils in different treatments

处理	pH	有机质含量/ %	速效氮含量/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷含量/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾含量/ (mg·kg ⁻¹)	交换性钙含量/ (mg·kg ⁻¹)	交换性镁含量/ (mg·kg ⁻¹)	交换性铝含量/ (mg·kg ⁻¹)
CK	4.09e	1.42c	35.6c	38.3c	31.1b	216e	89.8b	311a
处理 1	5.81a	1.40c	33.6c	37.3c	28.1bc	460bc	121.7a	195c
处理 2	4.40d	1.71a	64.1a	61.0a	47.2a	394cd	100.3b	187c
处理 3	4.16e	1.65b	57.9ab	41.1bc	46.2a	349d	98.6b	298ab
处理 4	4.41d	1.69b	56.8ab	40.0bc	31.7c	360cd	98.4b	206bc
处理 5	5.14c	1.65b	54.1ab	57.7ab	45.3a	576a	130.8a	143d
处理 6	4.86c	1.64b	48.4b	39.5c	42.0ab	397cd	104.2b	213bc
处理 7	5.38b	1.56b	47.3bc	38.3c	36.5bc	546ab	103.2b	153d

性土壤。酸性土壤中 Fe、Al、Mn 等元素具有较高的活度，当土壤 pH 小于 5 时，这些元素迅速溶解并毒害某些农作物生长，同时，土壤中 NH⁴⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 等阳离子大量淋失，造成土壤贫瘠，从而使作物生长受害^[8, 17]。各土壤调理剂的施用(除污泥外)都可以显著提高土壤的 pH，而单独施用污泥对土壤 pH 影响不显著。这主要是由于各土壤调节剂自身理化性质不同引起的。污泥自身 pH 较低，因此单独施用污泥对土壤 pH 调节能力不大。处理 1、处理 5、处理 7 均可以将土壤 pH 提高到 5.0 以上。施用各土壤调节剂均可以有效降低土壤交换性铝含量，其中以处理 5 效果最佳。每盆施加 5 g 碱渣+5 g 菇渣后，可以使交换性铝含量由 311 mg/kg 下降到 143 mg/kg，二者差异显著。土壤交换性铝含量与土壤 pH 的变化呈负相关 ($y = -4.99x + 521.55$, $R^2 = 0.410$)，但其相关性不显著。这与吕焕哲等^[18]的报道不一致。这主要是因为土壤交换性铝含量除了受土壤 pH 影响外，还受土壤中水溶性有机质和有机小分子化合物含量的影响^[17, 19-20]。菇渣有机质含量(50.6%)丰富，施入土壤中可以显著提高土壤有机质含量，从而促进铝有机复合物的形成，降低交换性铝含量，因此，处理 5 土壤中交换性铝含量最低，为对照土壤的 46%。

由表 2 可见，施用各土壤调理剂后，土壤中速效氮、速效磷、速效钾含量和交换性钙及交换性镁含量均不同程度提高，其中以处理 5 土壤中交换性钙、交换性镁含量最高，分别是对照土壤的 2.67、1.46 倍。单独施入菇渣(处理 2)，土壤中速效氮、速效磷、速效钾含量最高，分别是对照土壤的 1.80、

1.59、1.52 倍，但处理 2 与处理 5 土壤中速效氮、速效磷、速效钾含量无显著差异。菇渣和碱渣在调节土壤肥力上表现出一定的互补性，这一方面可能与各调理剂自身理化性质有关，碱渣中含有丰富的钙、镁，而菇渣中有机质和速效氮、速效磷、速效钾含量较高(表 1)，另一方面可能是碱渣和菇渣配合施用后提高了土壤 pH，增加了土壤微生物活性，促进了土壤及菇渣中养分的分解释放^[7]。

2.2 各土壤调理剂对辣椒植株生长的影响

由表 3 可以看出，不同土壤调理剂均可不同程度地促进辣椒植株生长，与对照相比，处理 2、处理 4、处理 5、处理 6、处理 7 均可显著提高辣椒叶片 SPAD 值，提高辣椒的光合作用；除单独污泥处理外，各土壤调理剂处理均可显著提高辣椒植株的株高；处理 2、处理 5、处理 7 可以显著增加辣椒根系鲜重；处理 2、处理 4、处理 5、处理 7 可以显著提高辣椒地上部鲜重，其中以处理 5 对辣椒植株叶片 SPAD 值、株高、根系鲜重、地上部鲜重增加效果最明显，分别是对照的 1.17、1.32、3.44、1.45 倍。

表 3 各处理辣椒的生长情况

Table 3 Growth of pepper on different treatment

处理	SPAD 值	株高/cm	根系鲜重/g	地上部鲜重/g	根冠比
CK	49.9cd	49.2d	16.5d	130c	0.127
处理 1	53.93bc	58.0bc	25.3d	138bc	0.183
处理 2	57.0ab	55.2c	36.3bc	155b	0.234
处理 3	47.0d	48.4d	19.3d	125c	0.154
处理 4	57.0ab	61.2ab	33.8cd	158b	0.156
处理 5	58.4a	64.8a	56.8a	188a	0.302
处理 6	56.5ab	55.0c	31.3cd	140bc	0.224
处理 7	57.5ab	61.4ab	48.0ab	170a	0.283

酸性土壤铝溶出后，会对植物根系产生毒害，抑制根系的生长^[8]。本试验中辣椒根系鲜重与土壤交换性铝含量呈显著负相关($y = -0.201x + 76.27$, $R^2 = 0.8048$)。这说明各土壤调理剂可以有效降低酸性土壤铝活性，从而缓解铝对辣椒根系生长的毒害作用。同时，辣椒根系生长也与土壤中有效磷含量相关，酸性土壤铝毒害往往是由于缺磷造成的^[20]。在本试验中，各土壤调理剂均可不同程度提高土壤有效磷含量，因此施用不同土壤调理剂可以缓解辣椒根系铝毒害。处理5土壤中交换性铝含量最低，速效磷含量仅低于单独施用菇渣处理(无显著差异, $P > 0.05$)，因此，处理5辣椒根系鲜重最高，是对照的3.44倍。随着根系鲜重的增加，根冠比增加。处理5辣椒根冠比最高，是对照的2.38倍。植物较高的根冠比有利于吸收营养元素，并将营养元素向地上部运输，有利于提高其产量和品质^[21]。

2.3 各土壤调理剂对辣椒产量的影响

由表4可知，施用各土壤调理剂均可不同程度地增加辣椒产量，与对照相比，处理2、处理4、处理5、处理6、处理7的增产效果显著，其产量增幅分别达74.1%、159.2%、188.7%、88.8%、183.7%。施用各土壤调理剂后辣椒的增产主要表现在辣椒的挂果数显著增加 ($P < 0.05$)，而单果重增加不显著 ($P > 0.05$)。这可能与改良后的酸性土壤可以提高辣椒的分枝能力有关^[10]。

表4 各处理辣椒的产量性状
Table 4 Yield characters of pepper in different treatments

处理	挂果数/个	单果重/g	总果重/g	产量增幅/%
CK	15.5c	13.8a	213.9d	0
处理1	19.8b	12.2a	241.6c	12.9
处理2	29.8b	12.5a	372.5b	74.1
处理3	20.3b	11.3a	229.4d	7.2
处理4	40.0a	14.2a	554.4a	159.2
处理5	49.5a	12.6a	617.5a	188.7
处理6	39.5a	10.6a	403.8b	88.8
处理7	43.3a	14.3a	606.8a	183.7

2.4 各土壤调理剂对辣椒果实品质的影响

V-C 是衡量蔬菜品质的重要指标^[22]。辣椒是V-C含量较高的蔬菜之一。由图1可见，对照辣椒果实的V-C含量达158 mg/(100 g)。施用各种土壤

调理剂均不同程度提高辣椒果实V-C含量，其中处理2、处理4、处理5、处理7辣椒果实V-C含量显著高于对照($P < 0.05$)，分别是对照的1.45、1.40、1.78、1.59倍；处理5辣椒果实V-C含量最高，达282 mg/(100 g)。

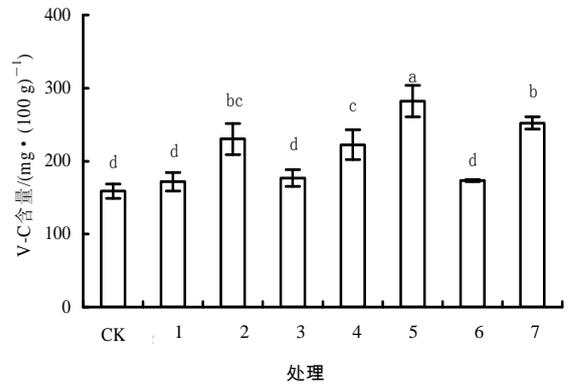


图1 各处理辣椒果实的V-C含量
Fig.1 V-C content in fruit of pepper on different treatment

可溶性糖含量是衡量蔬菜品质的主要指标之一^[22]。由图2可见，施用各土壤调理剂均可显著增加辣椒果实可溶性糖含量($P < 0.05$)。处理1、处理2、处理3、处理4、处理5、处理6、处理7辣椒果实可溶性糖含量分别比对照增加了38.4%、47.2%、29.6%、111.3%、177.1%、60.6%、121.4%，其中以处理5辣椒果实可溶性糖含量最高，达3.68%。

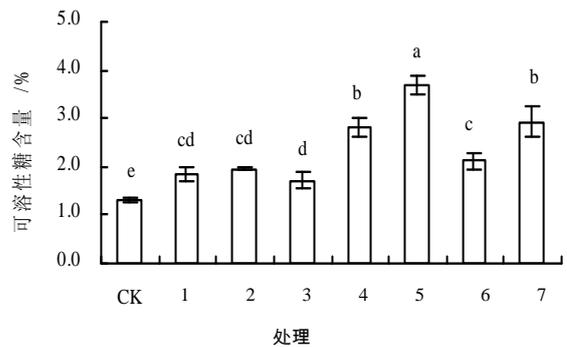


图2 各处理辣椒果实的可溶性糖含量
Fig.2 Water-soluble sugar contents in fruit of pepper on different treatment

3 结论与讨论

试验结果表明，碱渣、菇渣、污泥、泥炭等土壤调理剂均能提高土壤pH，降低酸性土壤交换性铝含量，提高土壤有机质、速效氮、速效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁含量；均能降低酸性土壤

活性铝对辣椒的毒害作用,提高辣椒品质,使辣椒根系鲜重、地上部鲜重和辣椒产量增加,辣椒根系鲜重与土壤交换性铝含量呈显著负相关,其中以碱渣+菇渣处理的效果最显著,该处理辣椒叶片 SPAD 值、株高、根系鲜重、地上部鲜重、辣椒产量分别比不施土壤调理剂处理(对照)增加了 17%、32%、244%、45%、189%,辣椒 V-C、可溶性糖含量分别是对照的 1.78、2.77 倍;碱渣和菇渣在调节土壤酸性、改善土壤肥料方面表现出很好的互补性。

向酸性土壤中施加碱渣、菇渣、污泥、泥炭等土壤调理剂,既可将碱渣、菇渣等废弃物农用,变废为宝,又可改良酸性土壤,降低酸性土壤的 Al 毒害,从而提高农产品的产量和品质,对合理利用碱渣和菇渣等废料以及改善土壤酸化具有重要意义。

参考文献:

- [1] 易杰祥,吕亮雪,刘国道.土壤酸化和酸性土壤改良研究[J].华南热带农业大学学报,2006,12(1):23-27.
- [2] 章家恩,骆世明,王建武.酸性硫酸盐土研究现状与发展趋向[J].热带亚热带土壤科学,1998,7(4):309-313.
- [3] 梁骏,郑有飞,李璐,等.酸雨对土壤酸化和油菜中后期生长发育的影响[J].农业环境科学学报,2008,27(3):1043-1050.
- [4] Stevens C J, Dise N B, Gowing D J. Regional trends in soil acidification and exchangeable metal concentrations in relation to acid deposition rates[J]. Environmental Pollution, 2009, 157: 313-319.
- [5] 廖柏寒,蒋青.模拟酸沉降条件下南方森林土壤铝的释放与活化研究[J].湖南农业大学学报:自然科学版,2000,26(5):347-351.
- [6] Lesturgez G, Poss R, Noble A, et al. Soil acidification without pH drop under intensive cropping systems in Northeast Thailand[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2006, 114: 239-248.
- [7] 王宁,李九玉,徐仁扣.土壤酸化及酸性土壤的改良和管理[J].安徽农学通报,2007,13(23):48-51.
- [8] 何龙飞,王爱勤,刘友良,等.植物耐铝性机制的研究进展[J].广西农业生物科学,2003,22(1):58-62.
- [9] Ma J F, Ryan P R, Delhaize E. Aluminum tolerance in plants and the complexing role of organic acids[J]. Trends in Plant Science, 2001, 6: 273-278.
- [10] 黄庆,林小明,柯玉诗,等.多元酸性土壤调理剂在辣椒上的施用效果研究[J].广东农业科学,2007(1):42-44.
- [11] 王艳彦,梁英华,芮玉兰.碱渣的综合利用发展状况研究[J].工业安全与环保,2005,31(2):29-31.
- [12] 张云舒,张殿宇,徐万里,等.蘑菇渣复合基质特性及对番茄幼苗生长的影响[J].西北农业学报,2008,17(3):242-245.
- [13] 陈广银,王德汉,项钱彬.蘑菇渣与落叶联合堆肥过程中养分变化的研究[J].农业环境科学学报,2006,25(5):1347-1353.
- [14] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999.
- [15] 邵宗臣,何群,王维君.红壤中铝的形态[J].土壤学报,1998,35(1):38-48.
- [16] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [17] Poschenrieder C, Gunsé B, Corrales I, et al. A glance into aluminum toxicity and resistance in plants [J]. Science of the Total Environment, 2008, 400: 356-368.
- [18] 吕焕哲,王凯荣,谢小立,等.有机物料对酸性红壤铝毒的缓解效应[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):637-641.
- [19] Shen Q R, Shen Z G. Effects of pig manure and wheat straw on growth of mung bean seedlings grown in aluminum toxicity soil[J]. Bioresource Technology, 2001, 76: 235-240.
- [20] Jemo M, Abaidoo R C, Nolte C, et al. Aluminum resistance of cowpea as affected by phosphorus-deficiency stress[J]. Journal of Plant Physiology, 2007, 164: 442-451.
- [21] 孙艳,王益权,冯嘉,等.土壤紧实胁迫对黄瓜生长、产量及养分吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(4):559-564.
- [22] 朱洪霞,狄彩霞,王正银,等.钙对酸性土壤不同品种莴笋产量和品质的效应[J].西南农业大学学报:自然科学版,2005,27(4):456-463.

责任编辑:王赛群

英文编辑:罗文翠