

煅烧牡蛎壳粉对土壤酸化及玉菇甜瓜品质的改良效果

许玲玲¹, 章 骞¹, 王永明², 翁 凌¹, 陈 宏¹, 杨富诚¹, 赵 涵¹, 曹敏杰¹

(1. 集美大学食品与生物工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 厦门玛塔生态股份有限公司, 福建 厦门 361015)

[摘要] 为了探索施用煅烧牡蛎壳粉对土壤及玉菇甜瓜品质的影响, 采用田间试验, 研究不同施用量的煅烧牡蛎壳粉对土壤 pH 值, 交换性 H^+ 和 Al^{3+} 含量, 以及果实产量、品质的作用。共设置 4 个施用量: 0 kg/hm^2 (CK), $1\ 500\text{ kg/hm}^2$ (T1), $1\ 875\text{ kg/hm}^2$ (T2), $2\ 250\text{ kg/hm}^2$ (T3) 进行试验。结果表明: 随着煅烧牡蛎壳粉施用量的增加, 土壤酸化的改良效果越好, 其中, T3 组改良土壤酸化效果最显著, 与初始值相比, 土壤 pH 值提高了 0.29, 交换性 H^+ 和 Al^{3+} 含量分别降低了 62.88% 和 42.93%。同时, 随着施用量的增加, 果实单果质量、硬度和脆度、维生素 C 含量均有不同程度的提高, 糖酸比有所下降。T3 组果实的单果质量最高, 较 CK 组增加 12.66%; T2 组果实品质改善效果最佳, 果实的硬度和脆度较 CK 组分别提高了 47.53% 和 41.30%, 维生素 C 含量增加 70.88%。因此, 施用煅烧牡蛎壳粉能够显著改良土壤酸化, 提高玉菇甜瓜果实的产量和品质。

[关键词] 牡蛎壳; 土壤酸化; 玉菇甜瓜; 品质改良

[中图分类号] S 652.1

Effect of Calcined Oyster Shell Powder on Soil Acidification and Fruit Quality of Mushroom Melon

XU Lingling¹, ZHANG Qian¹, WANG Yongming², WENG Ling¹, CHEN Hong¹,
YANG Fucheng¹, ZHAO Han¹, CAO Minjie¹

(1. College of Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Xiamen Mata Ecology Co. Ltd., Xiamen 361015, China)

Abstract: In order to explore the influences of calcined oyster shell powder on soil and the quality of mushroom melon crop, field experiments were carried out to study the effects of different application amounts of powder on the soil pH value, exchangeable H^+ and Al^{3+} content, fruit yield and quality. Four application amounts of 0 kg/hm^2 (CK), $1\ 500\text{ kg/hm}^2$ (T1), $1\ 875\text{ kg/hm}^2$ (T2) and $2\ 250\text{ kg/hm}^2$ (T3) were set for testing. The results showed that with the increase of the application amounts of calcined oyster shell powder, the effect of soil acidification neutralization enhanced. Among them, the T3 group presented the most significant effect of neutralizing soil acidification. Compared with the initial value, the soil pH value of the T3 group increased by 0.29, and the exchangeable H^+ and Al^{3+} contents reduced 62.88% and 42.93% respectively. At the same time, with the increase of application amounts of calcined oyster shells, individual fruit weight, fruit hardness, crispness and vitamin C content increased to different degrees, and the sugar-acid ratio decreased as well. Fruit weight of the T3 group was the highest, which was 12.66% higher than that of the CK group. T2

[收稿日期] 2020-05-03

[基金项目] 国家贝类产业技术体系项目 (CARS-49); 福建省大学生创新创业训练计划项目 (201810390038)

[作者简介] 许玲玲 (1995—), 女, 硕士生, 从事海洋资源高值化利用研究。通信作者: 曹敏杰 (1964—), 男, 教授, 从事水产品深加工研究。E-mail: mjcao@jmu.edu.cn

group showed the best fruit quality improvement. Compared with the CK group, fruit hardness and crispness of T2 group increased 47.53% and 41.30% respectively, and the vitamin C content increased 70.88%. The results indicated that application of calcined oyster shell powder can neutralize soil acidification significantly and increase the yield and quality of mushroom melon.

Keywords: oyster shell; soil acidification; mushroom melon; quality improvement

0 引言

据报道,自20世纪80年代以来,我国农田土壤的pH值平均下降了0.5,酸化土地面积已占耕地面积的40%以上^[1-2]。其中,南方土壤酸化问题更加突出,以福建省为例,酸化耕地面积已占全省耕地总面积的66.5%^[3]。土壤酸化导致土壤中营养元素流失,有毒重金属化合物溶解度增加,土壤肥力降低,土壤结构变差,影响农作物生长发育^[4]。随着未来集约化程度的提高和粮食需求的进一步增加,土壤酸化程度还会增加。为了确保粮食质量和农业可持续发展,采用有效的土壤改良剂改善土壤酸化是十分有必要的^[5-6]。

牡蛎是我国重要的海洋经济贝类,2018年全国牡蛎产量达514万t。福建省是牡蛎生产大省,牡蛎产量占全国总产量的36.8%,居全国首位^[7]。但是,在牡蛎加工利用中,占其总质量60%以上的壳通常被作为固体废弃物丢弃,已成为严重的环境污染问题^[8]。牡蛎壳中的碳酸钙含量高达95%^[9],此外,还含有镁、锌、锰、铁、镉等20多种微量元素^[10]。高温煅烧可使牡蛎壳中的部分碳酸钙转化为易溶解的氧化钙,表面微孔结构明显增加^[11-12]。因此,煅烧牡蛎壳粉具有改良土壤酸度、增加土壤透气性和保水保肥能力、补充土壤中多种金属元素的效果,是一种极有前途的环境友好型生物物质土壤改良剂。

已有研究报道,在酸性土壤中施用煅烧牡蛎壳粉对花生^[13]、蔬菜^[14]、蜜柚^[15]等农作物具有明显的缓解土壤酸化、增产或提升品质的作用。我国是甜瓜最大的生产国和消费国^[16],近年来,水果果实品质正随着国民生活水平的提高而逐渐受到关注,提高甜瓜果品质成为产业发展的重要目标^[17]。因此,本文以高温煅烧牡蛎壳粉作为试验材料应用于玉菇甜瓜,以期改善土壤酸化,为牡蛎壳的高值化利用和玉菇甜瓜品质提升提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试甜瓜品种为玉菇。土壤改良剂牡蛎壳粉经500~1 000℃高温分段煅烧,粉碎后粒径为100~200目,厦门玛塔生态股份有限公司产品。该产品的钙含量 $\geq 45\%$,pH值为8.5~10.5。

1.2 试验设计

试验于2018年12月至2019年4月在福建省泉州市惠安县的甜瓜试验田(25°3'34"N, 118°49'25"E)进行。该试验田属亚热带海洋性季风气候,光热充足,年平均气温16~21℃,大棚种植。选用临近的4块试验地,每块试验地面积约100 m²。煅烧牡蛎壳粉施用量设计4个水平,即:0, 1 500, 1 875, 2 250 kg/hm²,分别用CK、T1、T2、T3组表示,其他氮、磷、钾基肥和追肥统一用量,与农业措施管理一致。

2018年12月28日,各组在施用基肥的基础上将牡蛎壳粉撒施于地表,旋耕土壤深度为20 cm,旋耕2遍,确保改良剂在土壤中分布均匀。2019年1月10日移栽幼苗,各处理组移栽198株,株间距为33 cm,行距为150 cm。在2019年1—4月间测定土壤指标,2019年4月6日采摘果实统计产量,测定品质指标。

1.3 仪器与设备

UB-7 pH计(德国Sartorius公司);质构仪(美国TA仪器公司);DW-86W420超低温冰箱

(中国海尔公司); ME 204/02 电子天平 (美国 Mettler Toledo 公司); 恒温水浴锅 (德国 Memmert 公司); Bench mark 96 酶标仪 (美国 Bio-Rad 公司)。

1.4 实验方法

1.4.1 土壤采集及指标测定

采用 S 型取样, 去除表面浮土, 用取土器采取 0 ~ 20 cm 深的表层土壤, 每块处理取 6 个样点, 混合后放入自封袋中。土壤立即运回实验室, 经自然风干、粉碎后过 2 mm 筛用于土壤酸性指标的测定。土壤 pH 值参考 NY/T 1121.2—2006 的方法, 在水土质量比为 2.5:1 下, 振荡 8 min 并静置 3 h 后测定^[18]; 土壤交换性 H⁺、Al³⁺ 含量采用氯化钾交换 - 中和滴定法^[19]测定。

1.4.2 果实采集及指标测定

甜瓜收获时, 各处理组将所有成熟的果实一并采收, 各组采摘约 300 个, 称其总质量、计数并计算单果平均质量。

对果实品质进行测定时, 各处理组选取成熟度一致、大小均匀、无病虫害和表皮无破损的甜瓜果实, 赤道轴附近 4 ~ 5 cm 环绕一周, 削去果皮和瓜瓢, 对应的瓜肉组织作为品质指标待测区。样品分为 2 组: 一组鲜样用于测定甜瓜果实的硬度、脆度和可滴定酸含量; 另一组鲜样以铝箔纸包裹并标记, 投置于液氮中冷冻后, 保存至 -80 ℃ 超低温冰箱中, 用于后续测定可溶性糖含量、维生素 C 含量。

可滴定酸含量采用氢氧化钠中和滴定法测定^[20]; 可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定^[20], 维生素 C 含量采用分光光度计法测定^[20], 均采用酶标仪进行读数检测。果实硬度的测定方法参考斯越秀^[21]的方法并做部分修改, 使用 TA. new plus 质构仪进行测定。选取玉菇甜瓜赤道轴对称的三点, 将样品切成 2 cm 左右的小正方形, 选用 2 mm 探头, 探头下降起始高度为 30 mm, 探头深入 10 mm, 测试前速度为 2 mm/s, 测试速度为 0.5 mm/s, 测试后速度为 1.5 mm/s, 触发力为 5 g, 循环 2 次, 数据频率为 50 点/秒。

1.5 数据处理与统计检验

每组试验重复 6 次, 数据采用 Excel 2010 进行整理, 应用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析及最小显著差异性检验 (Duncan's 新复极差法, $P < 0.05$), 采用 Origin 8.5 进行图表绘制。

2 结果

2.1 不同施用量的煅烧牡蛎壳粉对土壤酸化改良的影响

2.1.1 对土壤 pH 值的影响

适宜甜瓜根系发育的土壤 pH 值为 6.00 ~ 6.80。土壤酸化可导致某些重金属元素的活性增加, 加重作物病害的发生, 影响作物的产量和品质^[22]。施用不同量的煅烧牡蛎壳粉对土壤 pH 值的影响结果如表 1。测试前对试验点玉菇甜瓜土壤进行第一次采样, 测得其初始 pH 值为 4.12 ~ 4.76。根据我国土壤酸碱度的等级标准分类可知, 对照组土壤属于强酸性土壤, 处理组土壤为极强酸性土壤。

表 1 不同施用量的煅烧牡蛎壳粉对土壤 pH 值的影响

Tab.1 Effect of different application amounts of calcined oyster shell powder on soil pH value

取样时间 Sample time	pH 值 pH value			
	CK	T1	T2	T3
施用前 Before application	4.76 ± 0.09 ^{Aa}	4.38 ± 0.10 ^{Bb}	4.20 ± 0.09 ^{Cc}	4.12 ± 0.15 ^{Cc}
1 个月 One month	4.58 ± 0.06 ^{Bc}	4.60 ± 0.10 ^{Ac}	4.79 ± 0.05 ^{Ab}	5.77 ± 0.07 ^{Aa}
3 个月 Three months	4.09 ± 0.05 ^{Cb}	4.31 ± 0.13 ^{Ba}	4.37 ± 0.05 ^{Ba}	4.41 ± 0.04 ^{Ba}

说明: 同列右上角不同大写字母和同行右上角不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The different capitals of same column in the upper right corner and the different lowercase letters of the same line in the upper right corner indicated significant differences ($P < 0.05$).

由表 1 可知, 施用一个月后 (开花结果期), 除了对照组 CK 外, 施用煅烧牡蛎壳粉的处理组均显著提高了土壤的 pH 值。与初始值相比, 对照组 CK 的土壤 pH 值下降了 0.18 ($P < 0.05$), 处理组 T1、T2 和 T3 土壤的 pH 值分别提高了 0.22, 0.59, 1.65, 均具有显著性差异 ($P < 0.05$)。与初始值相比, 施用 3 个月后 (采收期结束), 对照组 CK 的土壤 pH 值下降了 0.67 ($P < 0.05$), T1 组的土壤 pH 值虽然仍有降低, 但降幅不显著 ($P > 0.05$)。随着施用量的增加, T2 和 T3 组的土壤 pH 值分别提高 0.17, 0.29, 且均存在显著性差异 ($P < 0.05$)。表明施用煅烧牡蛎壳粉可有效提高土壤 pH 值。

2.1.2 对土壤潜性酸的影响

土壤酸度受活性酸度 (强度因子) 和潜在酸度 (量因子) 的影响^[23]。活性酸主要由土壤溶液中的 H^+ 数量决定, 土壤 pH 值反映其强度; 潜在酸度是指土壤胶体表面吸附的交换性 H^+ 和 Al^{3+} 总量。

由表 2 可知, 施用一个月后, 与初始值相比, 对照组 CK 的土壤交换性 H^+ 含量增加了 40.35% ($P < 0.05$), 处理组 T1 增幅差异不显著 ($P > 0.05$), T2 和 T3 组分别降低了 61.67%, 91.67%, 均存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

施用 3 个月后, 与初始值相比, 对照组 CK 土壤交换性 H^+ 含量增加了 97.37%, 施用量较少的 T1 组增加了 71.09%, 随着施用量的增加, T2 和 T3 组分别降低了 28.33%, 62.88%, 交换性 H^+ 含量已低于初始值, 且均存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

表 2 不同施用量的煅烧牡蛎壳粉对土壤交换性 H^+ 含量的影响

取样时间 Sample time	交换性 H^+ 含量 Exchangeable H^+ content / (mmol · kg ⁻¹)			
	CK	T1	T2	T3
施用前 Before application	1.14 ± 0.03 ^{Cc}	1.28 ± 0.32 ^{Bb}	1.80 ± 0.17 ^{Aa}	1.32 ± 0.06 ^{Ab}
1 个月 One month	1.60 ± 0.12 ^{Ba}	1.32 ± 0.00 ^{Bb}	0.69 ± 0.08 ^{Cc}	0.11 ± 0.01 ^{Cd}
3 个月 Three months	2.25 ± 0.08 ^{Aa}	2.19 ± 0.22 ^{Aa}	1.29 ± 0.11 ^{Bb}	0.49 ± 0.18 ^{Bc}

说明: 同列右上角不同大写字母和同行右上角不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
Note: The different capitals of same column in the upper right corner and the different lowercase letters of the same line in the upper right corner indicated significant differences ($P < 0.05$).

土壤交换性 Al^{3+} 含量的变化结果见表 3。施用牡蛎壳土壤改良剂一个月后, 与初始值相比, 对照组 CK 的土壤交换性 Al^{3+} 含量增加了 253.73%, 处理组 T1 增加了 26.76% ($P < 0.05$), T2 和 T3 组分别降低了 15.85%, 99.02%, 均存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

施用 3 个月后, 与初始值相比, CK 组土壤交换性 Al^{3+} 含量增加了 443.28%, 施用量较少的 T1 组增加 70.42%, T2 和 T3 组则分别降低 15.85% 和 42.93%, 交换性 Al^{3+} 含量同样低于初始值, 且存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

综上, 煅烧牡蛎壳粉的施用可以有效抑制土壤交换性 H^+ 和 Al^{3+} 含量的增加, 且当施用量为 1 500 ~ 2 250 kg/hm² 时, 随着用量的增加, 改良效果越显著。

表 3 不同施用量的煅烧牡蛎壳粉对土壤交换性 Al^{3+} 含量的影响

取样时间 Sample time	交换性 Al^{3+} 含量 Exchangeable Al^{3+} content / (mmol · kg ⁻¹)			
	CK	T1	T2	T3
施用前 Before application	0.67 ± 0.03 ^{Cd}	1.42 ± 0.20 ^{Cc}	1.83 ± 0.01 ^{Ab}	2.05 ± 0.15 ^{Aa}
1 个月 One month	2.37 ± 0.13 ^{Ba}	1.80 ± 0.01 ^{Bb}	1.54 ± 0.03 ^{Bc}	0.02 ± 0.00 ^{Cd}
3 个月 Three months	3.64 ± 0.24 ^{Aa}	2.42 ± 0.47 ^{Ab}	1.54 ± 0.12 ^{Bc}	1.17 ± 0.06 ^{Bc}

说明: 同列右上角不同大写字母和同行右上角不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
Note: The different capitals of same column in the upper right corner and the different lowercase letters of the same line in the upper right corner indicated significant differences ($P < 0.05$).

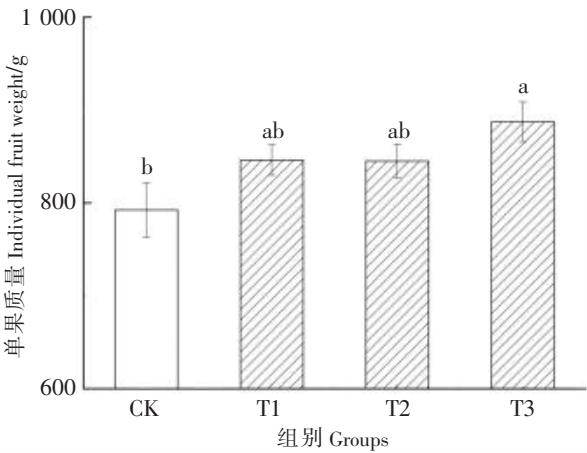
2.2 不同施用量煅烧牡蛎壳粉对玉菇甜瓜果实品质指标的影响

2.2.1 对玉菇甜瓜果实单果质量的影响

果实的大小是果实品质的重要指标之一。由图 1 可见，随着煅烧牡蛎壳粉施用量的增加，玉菇甜瓜单果质量呈现上升的趋势，与 CK 组相比，T1、T2 组单果质量分别增加 7.59% 和 6.33%，差异不显著 ($P > 0.05$)。与 CK 组相比，T3 组单果质量由 790 g 增加到 890 g，增加了 12.66% ($P < 0.05$)。说明施用煅烧牡蛎壳粉可以增加玉菇甜瓜的果实单果质量。

2.2.2 对玉菇甜瓜果实硬度、脆度的影响

果肉的质构特性影响消费者对果实的整体感官，也是衡量果实质量和商品性的重要指标^[24]。其中，硬度和脆性是评价甜瓜果实质构的主要指标^[25]。较高的硬度可有效减少采摘、包装、运输过程中对果品的损坏。由表 4 可知，随着煅烧牡蛎壳粉施用量的增加，玉菇甜瓜果实的硬度和脆度呈现先显著增加后趋于稳定的趋势。与 CK 组的果实硬度相比，T1 组提高了 24.41%，T2 和 T3 组分别提高了 47.53% 和 46.10%；与 CK 组果实脆度相比，T1、T2 和 T3 组分别提高了 31.91%，41.30%，39.93%。综上，煅烧牡蛎壳粉的施用可以显著提高玉菇甜瓜果实的硬度和脆度，提高其商品性和贮藏性。



说明：不同小写字母表示处理组间差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The different lowercase letters indicated significant differences for the treated groups ($P < 0.05$).

图 1 不同施用量的煅烧牡蛎壳粉对玉菇甜瓜果实单果质量的影响

Fig.1 Effect of different application amounts of calcined oyster shell powder on individual fruit weight of Mushroom melon

表 4 不同施用量的煅烧牡蛎壳粉对玉菇甜瓜果实硬度和脆度的影响

Tab.4 Effect of different application amounts of calcined oyster shell powder on hardness and brittleness of Mushroom melon

单位 Unit: N

指标 Index	CK	T1	T2	T3
硬度 Hardness	0.817 5 ± 0.055 1 ^c	1.017 0 ± 0.066 3 ^b	1.206 0 ± 0.052 3 ^a	1.194 4 ± 0.067 9 ^a
脆度 Brittleness	0.057 5 ± 0.004 9 ^b	0.075 8 ± 0.010 3 ^a	0.081 2 ± 0.007 9 ^a	0.080 4 ± 0.005 7 ^a

说明：同行右上角不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: The different lowercase letters of the same line in the upper right corner indicated significant differences ($P < 0.05$).

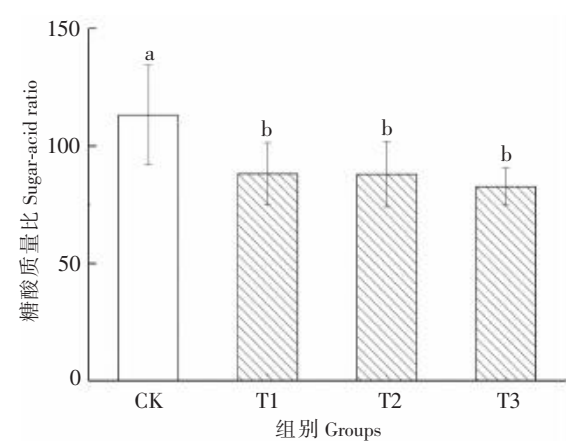
2.2.3 对玉菇甜瓜果实糖酸比的影响

糖酸比是可溶性糖含量与可滴定酸含量之间的比值。甜瓜的甜味与糖度密切相关，当糖度为 8%~10% 时，食用有快适感，超过 15% 时有不易消散的甜感，糖酸比在 40:1~50:1 左右口感比较适宜。由图 2 可以看出，玉菇甜瓜的糖酸比在 83:1~113:1，口感偏甜腻。但随着煅烧牡蛎壳粉施用量的增加，糖酸比呈现下降的趋势。与对照组 CK 相比，T1、T2 和 T3 分别降低了 22.16%，22.29%，27.00%，均存在显著性差异 ($P < 0.05$)，口感得到了明显改善。

2.2.4 对玉菇甜瓜果实维生素 C 含量的影响

维生素 C 是人类营养中不可或缺且自身无法合成的维生素之一，也是评价水果营养品质的重要参数。

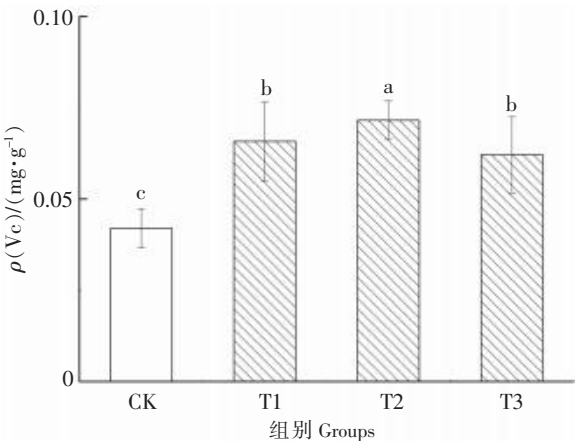
由图 3 可知，随着煅烧牡蛎壳粉施用量的增加，玉菇甜瓜果实中维生素 C 含量呈现先增加后下降的趋势。处理组与对照组 CK 相比均存在显著性差异 ($P < 0.05$)，其中 T2 组果实的维生素 C 含量最高，与 CK 组维生素 C 含量相比增加了 70.88%。其次是 T1 组，比 CK 组增加了 57.04%，T3 组比



说明:不同小写字母表示处理组间差异显著($P<0.05$)。
Note:The different lowercase letters indicated significant differences for the treated groups($P<0.05$).

图 2 不同施用量煅烧牡蛎壳粉对玉菇甜瓜果实糖酸比的影响

Fig.2 Effect of different application amounts of calcined oyster shell powder on sugar-acid ratio of Mushroom melon



说明:不同小写字母表示处理组间差异显著($P<0.05$)。
Note:The different lowercase letters indicated significant differences for the treated groups($P<0.05$).

图 3 不同施用量煅烧牡蛎壳粉对玉菇甜瓜果实维生素 C 含量的影响

Fig.3 Effect of different application aountsm of calcined oyster shell powder on vitamin C content of Mushroom melon

CK 组增加了 47.97%。结果表明,施用煅烧牡蛎壳粉可以有效提高玉菇甜瓜果实中的维生素 C 含量,其中,以施用量为 1 875 kg/hm²时效果最佳。

3 讨论

由于常年酸性化肥的施用以及酸雨等因素的影响,我国土壤酸化问题日益严重,有必要采取有效措施加以改善。牡蛎壳的主要成分为无机物 CaCO₃^[26]。Ok 等^[11]报道,天然牡蛎壳在 900 ℃ 条件下煅烧 4 h 后, CaCO₃ 含量减少,而易溶解的 CaO 含量可增加 93.60%。CaO 溶于水能够产生大量的游离 OH⁻ 和 Ca²⁺,在阻止酸化的同时补充土壤中的 Ca²⁺。本试验中,随着时间的推移,对照组 CK 的土壤 pH 值持续下降,交换性 H⁺ 和 Al³⁺ 含量持续增加,酸度提高。这主要是因为甜瓜属于需肥量大的瓜果类作物,由于大棚集约栽培,肥料投入量大,且不受雨水淋洗,再加上设施内温度、湿度高,通气状况差,从而使得一些未被作物利用的养分及肥料的副成分大量残留于土壤中,耕层土壤酸根离子积累严重,导致土壤酸化^[27]。此外,在甜瓜开花结果期间,农户为了提高产量施用氮肥(铵态氮、硝态氮)加速了土壤酸化^[28]。施用煅烧牡蛎壳粉一个月后,作用十分显著,处理组(T1、T2、T3)的土壤酸度均得到显著降低,这为甜瓜开花坐果期果实的养分吸收提供了较好的土壤环境。

本研究结果表明,土壤的活性酸度(pH 值)和潜在酸度(交换性 H⁺、Al³⁺ 总量)均随煅烧牡蛎壳粉施用量的增加呈现不断改善的趋势,施用量越大,土壤酸化改良效果越好。土壤酸化是在外界因素作用下土壤中 H⁺ 增加,破坏了土壤本身的化学平衡, H⁺ 会与土壤胶体表面的盐基离子(K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 等)发生反应,使盐基离子被置换而随雨水流失。H⁺ 被土壤胶体吸附,致使土壤胶体上交换性 H⁺ 和 Al³⁺ 不断增加^[29]。煅烧牡蛎壳粉遇水可产生 Ca(OH)₂, 游离的 OH⁻ 可中和土壤中的 H⁺, 提高土壤 pH 值,并抑制交换性 H⁺ 和 Al³⁺ 的增加。同时 Ca²⁺ 可与交换性 H⁺ 和 Al³⁺ 进行交换,降低其浓度,提高土壤盐基饱和度,从而改善土壤 pH 值。Lawrence 等^[30] 研究显示,酸沉降导致的土壤铝活化是北美森林土壤缺钙的主要原因,因为土壤有效态钙含量与土壤交换性铝含量呈显著的负相关关系。Niwa 等^[31] 报道,添加含钙化合物(CaCO₃、Ca(OH)₂)可在一定程度上提高土壤 pH 值,缓解土壤酸化趋势。

煅烧牡蛎壳粉对酸性土壤环境的改良,再加上牡蛎壳自身含钙等天然矿物质成分,有利于促进玉菇甜瓜果实的生长发育,利于营养物质的合成或积累,达到改善果实品质的效果。玉菇甜瓜单果质量

随煅烧牡蛎壳粉施用量的增加呈上升的趋势,当施用量为 $2\ 250\ \text{kg}/\text{hm}^2$ (T_3) 时,与 CK 组相比,单果质量增加了 12.66%。有研究表明,提高作物栽培营养液中钙离子、镁离子浓度,可以促进植物细胞的生长发育,植株叶片更大、茎秆更粗,使植物积累更多的干物质,更加有利于植物增加果实的单果质量^[32]。利用外源钙处理果实可以维持细胞膜和细胞壁的结构与功能,同时降低果实的呼吸速率和乙烯释放量,以保持果实较高的硬度,延缓果实的成熟软化^[33]。本研究发现,果实的硬度和脆度随煅烧牡蛎壳粉施用量的增加呈现出先显著增加后稳定的趋势,其中施用量 $1\ 875\ \text{kg}/\text{hm}^2$ (T_2) 时,果实的硬度和脆度值最高,与 CK 组相比分别增加 47.53%, 41.30%。此外还发现,玉菇甜瓜的糖酸比随着煅烧牡蛎壳粉施用量的增加呈现下降的趋势,与对照组 CK 相比,处理组 (T_1 、 T_2 、 T_3) 减少 22.16% ~ 27.00%。有文献报道,黄金梨的糖酸比与土壤 pH 值呈极显著负相关性,并随 pH 值的升高而降低^[34],但具体原因还需要进一步研究。同时,果实维生素 C 含量随煅烧牡蛎壳粉施用量的增加呈现先上升后下降的趋势,当施用量为 $1\ 875\ \text{kg}/\text{hm}^2$ (T_2) 时,果实维生素 C 含量最高,与 CK 组相比增加 70.88%。该结果与赵晓美等^[35]报道的随着钙浓度升高西瓜果实中维生素 C 含量先增后减的情况相似,这可能是因为钙能促进西瓜果实中维生素 C 的合成,降低果实细胞的氧化胁迫,促进果实的发育^[36]。

4 结论

对玉菇甜瓜的研究发现,施用不同量的煅烧牡蛎壳粉均能提高土壤 pH 值,显著抑制交换性 H^+ 、 Al^{3+} 含量的增加,同时提高果实单果质量,显著增加果实硬度、脆性和维生素 C 含量,降低糖酸比。综合考虑经济性和果实品质的改良效果,推荐施用量为 $1\ 875\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。本研究为牡蛎壳的有效利用和玉菇甜瓜提升品质、提高产量提供了参考。

[参 考 文 献]

- [1] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands [J]. Science, 2010, 327(5968): 1008-1010. DOI:10.1126/science.1182570.
- [2] 廖伟, 吴忠东, 沈新磊. 土壤酸化治理研究进展 [J]. 河南农业, 2019(25): 23.
- [3] 徐福祥. 基于 GIS 技术的福建省耕地土壤酸化研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2015.
- [4] 矫威. 不同改良剂对作物生长发育及酸性土壤理化性状的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [5] DAI Z, ZHANG X, TANG C, et al. Potential role of biochars in decreasing soil acidification: a critical review [J]. Science of the Total Environment, 2017, 581-582: 601-611. DOI:10.1016/j.scitotenv.2016.12.169.
- [6] 张福锁. 我国农田土壤酸化现状及影响 [J]. 民主与科学, 2016(6): 26-27.
- [7] 中国渔业统计年鉴委员会. 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- [8] 邹秋月, 杨萍, 王燕, 等. 牡蛎壳煅烧物对刚果红的吸附研究 [J]. 化工技术与开发, 2010, 39(6): 48-50.
- [9] HELLEN T, MESQUITA-GUIMARÃES J, HENRIQUES B, et al. The potential use of oyster shell waste in new value-added by-product [J]. Resources, 2019, 8(1): 1-15. DOI:10.3390/resources8010013.
- [10] KWON H, LEE C, JUN B, et al. Recycling waste oyster shells for eutrophication control [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2004, 41(1): 75-82. DOI:10.1016/j.resconrec.2003.08.005.
- [11] OK Y S, OH S E, AHMAD M, et al. Effects of natural and calcined oyster shells on Cd and Pb immobilization in contaminated soils [J]. Environmental Earth Sciences, 2010, 61(6): 1301-1308. DOI:10.1007/s12665-010-0674-4.
- [12] ALIDOUST D, KAWAHIGASHI M, YOSHIZAWA S, et al. Mechanism of cadmium biosorption from aqueous solutions using calcined oyster shells [J]. Journal of Environmental Management, 2015, 150: 103-110.
- [13] 柳开楼, 熊华荣, 胡惠文, 等. 特贝钙土壤调理剂对红壤旱地花生产量和阻控土壤酸化的影响 [J]. 广东农业科学, 2017, 44(5): 93-98.
- [14] 陈勇红. 特贝钙土壤调理剂在南方红壤区蔬菜上的应用效果 [J]. 东南园艺, 2019, 7(4): 1-5.
- [15] 李雁乔. 牡蛎壳土壤改良剂对琯溪蜜柚品质影响的研究 [D]. 厦门: 集美大学, 2019.

- [16] 杨念,王蔚宇,曹春意,等.我国甜瓜产业发展现状及趋势分析[J].中国瓜菜,2019,32(8):50-54.
- [17] 汤谧.‘风味甜瓜’系列果实高糖高酸品质形成的机理研究[D].武汉:华中农业大学,2010.
- [18] 中华人民共和国农业部.土壤pH的测定:NY/T 1377—2007[S].北京:中国标准出版社,2007.
- [19] 中华人民共和国林业局.森林土壤交换性酸度的测定:LY/T 1240—1999[S].北京:中国标准出版社,1999.
- [20] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
- [21] 斯越秀,胡妙君,汪财生,等.贮藏温度对哈密瓜“黄皮9818”采后营养品质的影响[J].江苏农业科学,2012,40(2):210-212.
- [22] 周娟,袁珍贵,郭莉莉,等.土壤酸化对作物生长发育的影响及改良措施[J].作物研究,2013,27(1):96-102.
- [23] HAMILTON A J C, TAKASHI M, FERNANDO L A. Relationship between acidity and chemical properties of brazilian soils [J]. Scientia Agricola, 2003, 60(2): 337-343.
- [24] FARCUH M, COPEB B, LE-NAVENEC G, et al. Texture diversity in melon (*Cucumis melo* L.): sensory and physical assessments [J]. Postharvest Biology and Technology, 2020, 159: 1-9. DOI:10.1016/j.postharvbio.2019.111024.
- [25] 潘好斌,刘东,邵青旭,等.不同品种薄皮甜瓜成熟期果实质地品质分析及综合评价[J].食品科学,2019,40(21):35-42.
- [26] HE K, YANG S, LI H, et al. Effects of calcium carbonate on the survival of *Ralstonia solanacearum* in soil and control of tobacco bacterial wilt [J]. European Journal of Plant Pathology, 2014, 140(4): 665-675. DOI:10.1007/s10658-014-0496-4.
- [27] LI W Q, ZHANG M, VAN DER ZEE S. Salt contents in soils under plastic greenhouse gardening in China [J]. Pedosphere, 2001(4): 359-367.
- [28] 金修宽.农田水氮碳调控土壤酸化及其作用效应研究[D].保定:河北农业大学,2018.
- [29] 陈平平.酸化土壤对水稻产量与氮利用效率的影响途径研究[D].长沙:湖南农业大学,2015.
- [30] LAWRENCE G B, SHORTLE W C, DAVID M B. A new mechanism for calcium loss in forest-floor soils [J]. Nature, 1995, 378(6553): 162-165.
- [31] NIWA R, KUMEI T, NOMURA Y, et al. Increase in soil pH due to Ca-rich organic matter application causes suppression of the clubroot disease of crucifers [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(3): 778-785. DOI:10.1016/j.soilbio.2006.09.027.
- [32] 吕明轩.钙、硅、镁和营养液浓度对无土栽培西甜瓜裂果、生长发育和品质的影响[D].海口:海南大学,2018.
- [33] WANG K K, XU F, CAO S F, et al. Effects of exogenous calcium chloride (CaCl_2) and ascorbic acid (AsA) on the γ -aminobutyric acid (GABA) metabolism in shredded carrots [J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 152: 111-117. DOI:10.1016/j.postharvbio.2019.03.005.
- [34] 赵静.土壤酸化对土壤有效养分、酶活性及黄金梨品质的影响[D].泰安:山东农业大学,2011.
- [35] 赵晓美.钙、硅对西瓜生长发育及品质的影响[D].南宁:广西大学,2012.
- [36] 张振兴,孙锦,郭世荣,等.钙对盐胁迫下西瓜光合特性和果实品质的影响[J].园艺学报,2011,38(10):1929-1938.

(责任编辑 马建华 英文审校 刘静雯)