

煅烧牡蛎壳粉对荔枝园土壤酸化及 果实品质的改良效果

丁希月¹, 王妍¹, 翁凌¹, 谢渊¹, 纪梦雅¹, 王永明², 曹敏杰¹

(1. 集美大学海洋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] 为了探究煅烧牡蛎壳粉对‘南岛无核’荔枝园土壤酸化和果实品质的影响, 设置CK组和T1~T3处理组, 分别施加牡蛎壳粉0, 1, 2, 3 kg/棵进行田间试验, 并对土壤的pH值、容重和有机质含量等指标进行10个月的跟踪测定, 在荔枝果实成熟后进行单果重、糖酸比、维生素C含量等品质指标的测定。结果表明, 与对照组相比, T1组的土壤pH值由5.09提升至6.13, 上升1.04, 果实单果重提升20.79%, 果实硬度升高52.14%, 糖酸比、固酸比均有显著提升; T2组的土壤pH值由5.01提升至6.33, 上升1.32, 容重由 $(1.46 \pm 0.04) \text{ g/cm}^3$ 下降至 $(1.28 \pm 0.02) \text{ g/cm}^3$, 果实硬度、糖酸比较对照组分别增加58.92%和42.32%; T3组的土壤pH值由5.08提升至6.27, 上升1.19, 土壤容重由 $(1.46 \pm 0.03) \text{ g/cm}^3$ 降至 $(1.26 \pm 0.03) \text{ g/cm}^3$, 果实单果重和维生素C含量比对照组分别增加了28.35%和31.86%。可见, 煅烧牡蛎壳粉能显著改善‘南岛无核’荔枝土壤酸化现象, 降低土壤容重, 促进植株对土壤养分的吸收利用, 进而显著提升果实品质。

[关键词] 煅烧牡蛎壳粉; 土壤酸化; ‘南岛无核’荔枝; 果实品质

[中图分类号] S 667.1

Effect of Calcined Oyster Shell Powder on Acidified Plantation Soil and Fruit Quality of Litchi

DING Xiyue¹, WANG Yan¹, WENG Ling¹, XIE Yuan¹, JI Mengya¹, WANG Yongming², CAO Minjie¹

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

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

Abstract: In order to explore the effects of calcined oyster shell powder on the improvement of plantation soil acidification and fruit quality of ‘Nandao Wuhe’ litchi, CK group and T1-T3 treatment groups were set up, and four oyster shell powder dosages 0, 1, 2, 3 kg/tree were applied for field experiments, and soil pH, bulk density and organic matter content were measured. A 10-month follow-up measurement, and the determination of fruit quality after the ‘Nandao Wuhe’ Litchi fruit matures, such as single fruit weight, sugar-to-acid ratio and vitamin C were carried out. Compared with CK, the soil pH of T1 increased from 5.09 to 6.13, an increase of 1.04, and single fruit weight and fruit hardness increased by 20.79% and 52.14%, respectively. Both the sugar-acid ratio and the solid-acid ratio have been significantly improved. For the T2 group, the soil pH increased

[收稿日期] 2022-01-02

[基金项目] 农业农村部现代农业产业技术体系项目 (CARS-49)

[作者简介] 丁希月 (1993—), 女, 硕士生, 从事食品加工与安全方向研究。通信作者: 曹敏杰 (1964—), 男, 教授, 博士, 主要从事海洋生物资源高效利用研究。E-mail: mjcao@jmu.edu.cn

from 5.01 to 6.33 with an increase of 1.32, and the bulk density decreased from $(1.47 \pm 0.04) \text{ g/cm}^3$ to $(1.28 \pm 0.02) \text{ g/cm}^3$, fruit hardness and sugar-acid ratio reached peak levels in group T2 by increments of 58.92% and 42.32%, respectively. For the T3 group, the soil pH increased from 5.08 to 6.27 with an increase of 1.19, and the soil bulk density decreased from $(1.46 \pm 0.03) \text{ g/cm}^3$ to $(1.26 \pm 0.03) \text{ g/cm}^3$, single fruit weight and vitamin C content increased 28.35% and 31.86%, respectively. In conclusion, applying calcined oyster shell powder can significantly relief soil acidification, reduce soil bulk density, promote the absorption and utilization of soil nutrients by the plants, and significantly improve fruit quality of ‘Nandao Wuhe’ litchi.

Keywords: calcined oyster shell powder; soil acidification; ‘Nandao Wuhe’ litchi; fruit quality

0 引言

当前, 持续增强的人类活动对农业资源造成过度开发利用, 土壤酸化、土传病害、重金属污染等一系列土壤生态问题时有报道^[1]。近 40 a 来, 我国的耕地土壤 pH 值平均下降了 0.5, 尤其是在我国南方的红、黄壤地区更为严重, 土壤酸化面积已占全国耕地总面积的 40% 以上。江西、福建、浙江、广东、海南等省大部分地区的土壤 pH 值都低于 5.5, 有的甚至低于 4.5^[2]。值得关注的是, 我国北方地区如山东、河南和吉林等地, 也逐渐出现了土壤酸化现象^[3-5]。土壤酸化会导致土壤中有效元素的流失, 土壤质量降低, 土壤肥力减弱, 影响作物的正常生长, 降低作物产量和品质^[6]。目前, 农户缓解土壤酸化采取的主要措施是施用石灰, 但石灰的不合理施用会导致作物烧苗、土壤板结、肥力下降、微生物生长环境被破坏等副作用^[7]。因此, 开发作物普适性强、安全性高、成本低的土壤调理剂, 对于缓解我国的土壤酸化趋势具有重要的现实意义。

牡蛎是我国产量最高的海洋经济贝类。据统计, 2020 年, 我国牡蛎总产量达 542.5 万 t, 福建省产量为 206.9 万 t, 位居全国首位^[8]。随着牡蛎产量的逐年增加, 加工过程中产生的牡蛎壳废弃量也随之增加。大量废弃的牡蛎壳造成资源浪费, 同时还带来环境污染^[9]。研究发现, 高温煅烧后的牡蛎壳可产生独特的蜂窝状结构, 不仅具有较强的吸附和交换功能, 还有“保肥、净水、缓释”等作用。在前期工作中笔者发现, 在种植蜜柚、甜瓜、西红柿等作物的土壤中施用牡蛎壳土壤调理剂, 可有效缓解土壤酸化, 改善土壤质量, 提高作物产量, 提升作物品质^[10]。

‘南岛无核’荔枝是我国特有的珍稀荔枝品种, 果实结实, 无核, 个体大, 果肉质软滑多汁, 色泽乳白半透明, 可食率高。福建省厦门市集美区第二农场从海南引进该品种, 已种植多年, 成为当地的特色水果, 深受消费者青睐, 但产量较低, 品质也不稳定。因此, 本研究以高温煅烧的牡蛎壳粉作为实验材料, 施用于种植有‘南岛无核’荔枝的土壤中, 对土壤的 pH 值、容重、有效养分、果实单果重、硬度和糖酸比等指标进行测定, 以期改善土壤酸化, 提升作物品质提供一种有效的手段。

1 材料与方法

1.1 供试材料

荔枝品种为‘南岛无核’荔枝, 供试植株树龄为 6 a, 冠幅半径约为 1.5 m。供试土壤为‘南岛无核’荔枝根际土壤。

将牡蛎壳经 800 ℃ 高温煅烧 30 min, 粉碎过筛后制成土壤调理剂, 来自厦门玛塔生态股份有限公司。

1.2 实验地概况

田间实验地位于福建省厦门市集美区后溪镇二农社区 (24°39′7″N, 118°1′17″E), 平均海拔为 48 m, 年平均气温为 22.3 ℃, 年平均降雨量为 1 167 mm, 年日照时长为 1 922 h, 光热充足, 属南亚热带海洋性气候。实验开始前测得土壤初始数据: pH 值为 5.07, 容重为 1.46 g/cm³, 有效磷、速效

钾、碱解氮质量比分别为 12.32, 89.12, 76.42 mg/kg, 有机质质量比为 18.99 g/kg, 土壤交换性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量为 6.68, 1.20 cmol/kg。根据全国第 2 次土壤普查中各项土壤肥力指标分级可知, 实验地土壤呈强酸性, 土壤肥力较弱, 易出现土壤板结现象。

1.3 实验设计

实验于 2020 年 10 月开始, 施用煅烧牡蛎壳粉调节土壤酸度。按照煅烧牡蛎壳粉的不同施用量, 实验设计为 CK 和 T1 ~ T3 4 个处理组, 分别施加煅烧牡蛎壳粉 0, 1, 2, 3 kg/棵, 每组 10 棵树, 共 40 棵树。施肥方式均为撒施, 施用面积是以树干到滴水线半径为 1.5 m 的圆面积, 每个处理以相同方式施加等量的氮、磷、钾肥、有机肥和水, 田间管理按常规管理。

1.4 实验方法

1.4.1 土壤采集及指标测定

1) 土壤样品采集。2020 年 10 月进行第 1 次采集, 测定土壤初始条件后, 施用煅烧牡蛎壳粉。分别在 2021 年 1 月、4 月、7 月进行土壤采集, 共计 4 次。用 100 cm³ 环刀取 5 ~ 10 cm 深的根际土壤, 每棵树取 2 个点, 将 2 个点位的土壤分别密封装袋, 及时运回实验室, 测定土壤容重。用 200 cm³ 环刀取 6 ~ 15 cm 深的根际土壤, 每棵树取 4 个点, 混合后装袋, 及时运回实验室, 置于阴凉处, 自然风干。风干后的土壤过筛, 测定土壤基本理化指标。

2) 土壤理化指标的测定。土壤 pH 值的测定参考 NY/T 1121.2—2006; 土壤容重值的测定参考 NY/T 1121.4—2006; 土壤有机质的测定参考重铬酸钾容量法-稀释热法^[11]; 土壤碱解氮的测定参考 LY/T 1228—2015; 土壤有效磷、速效钾的测定参考 NY/T 1849—2010; 土壤交换性 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 含量测定参考 NY/T 1121.13—2006。

1.4.2 果实采集及指标测定

1) 果实样品采集及前处理。2021 年 7 月进行果实采样, 每组 10 棵树, 每棵树随机采摘果实样品 45 个, 每组总计 450 个, 保证采样高度、方位全覆盖。每组果实分为 2 份, 一份鲜果样品用于测定荔枝果实的可溶性固形物、可滴定酸、果实硬度等鲜果指标; 另一份鲜果去皮后, 四分法破开, 液氮速冻, 再冻藏于 -80 ℃, 用于后续测定维生素 C 含量和可溶性糖含量等品质指标。

2) 果实品质指标测定。可溶性糖含量测定采用蒽酮比色法^[12]; 果实维生素 C 含量的测定采用分光光度法^[13]。果实硬度的测定参考吕强^[14]的方法, 使用质构仪 (TA. new plus, 英国) 进行测试。

1.5 数据处理

所有实验数据均采用 Excel 进行整理分析, SPSS 26.0 进行统计分析, LSD 法比较各组之间的显著性差异 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), 图表均采用 GraphPad Prism 8 进行制作。

2 实验结果与分析

2.1 不同施用量的煅烧牡蛎壳粉对荔枝土壤的改良效果

2.1.1 对土壤 pH 值的影响

荔枝的最适生长 pH 值区间为 5.50 ~ 6.50^[15]。2020 年 10 月第 1 次土壤取样, 测得初始 pH 值为 5.07 ± 0.19 。根据我国土壤酸碱度的等级标准, 属强酸性土壤, 不利于荔枝生长, 需要进行土壤改良。

施用煅烧牡蛎壳粉后, 在 3 个时间点 (2021 年 1 月、4 月、7 月) 的测定结果发现, T1、T2、T3 组的土壤 pH 值均比 CK 组的高, 并呈现先增加后逐渐稳定的趋势 (见图 1)。2021 年 1 月, T1 组的 pH 值从 5.09 上升到 6.11, 增加了 1.02; T2、T3 组的 pH 值分别从 5.00、5.08 上升到 6.45、6.64, 分别提高了 1.45 和 1.56。2021 年 4 月, 与 CK 组相比, T1、T2、T3 组的 pH 值分别提高了 1.21、1.36 和 1.14。2021 年 7 月, 与 CK 组相比, T1、T2、T3 组的 pH 值分别上升至 6.13、6.33、6.27, 分别提高了 1.13、1.33 和 1.2。由上述结果可知, 施用煅烧牡蛎壳粉可提高荔枝土壤的 pH 值, 有效改善土壤酸化问题。

2.1.2 对土壤容重的影响

荔枝园土壤容重初始值为 1.46 g/cm³，远高于一般耕作层土壤容重指标 1.00 ~ 1.30 g/cm³，说明该实验田的土壤紧实，存在板结现象。施用煅烧牡蛎壳粉后，实验组的土壤容重值均比对照组的低（见图 2）。2021 年 1 月，与 CK 组相比，T1、T2、T3 组的土壤容重值分别下降至 1.29，1.24，1.30 g/cm³，分别降低了 8.51%，12.06%，7.80%。2021 年 4 月，T1、T2、T3 组的容重值比 CK 组分别减少了 11.85%，11.11%，12.59%。2021 年 7 月，与 CK 组相比，T1、T2 组的容重值均下降至 1.28 g/cm³，均减少了 11.11%；T3 组的容重值降低至 1.26 g/cm³，减少了 12.5%。经过为期 10 个月的实验后，与各自初始的土壤容重相比，CK 组容重值从 1.46 g/cm³ 下降至 1.44 g/cm³，下降幅度不明显；而 T1、T2 组从初始的 1.46 g/cm³ 下降至 1.28 g/cm³，下降 12.33%；T3 组的容重值从初始的 1.46 g/cm³ 下降至 1.26 g/cm³，下降 13.70%。结果表明，施用煅烧牡蛎壳粉可以有效降低荔枝土壤的容重值，提高土壤疏松度。

2.1.3 对土壤有机质含量的影响

2021 年 1 月，与各自组的初始值相比，CK、T1、T2 和 T3 组的有机质含量均得到较大提升，3 个处理组的有机质含量与对照组均不存在显著性差异。2021 年 4 月，与 CK 组相比，T1、T2、T3 组的有机质含量分别提高了 30.88%，48.26%，39.47%。2021 年 7 月，与 CK 组相比，T1、T2、T3 组的有机质含量分别降低了 21.34%，24.40%，38.87%（见图 3）。综上可知，在荔枝生长前期，施用煅烧牡蛎壳粉能提高土壤中有机质的含量，提高土壤肥力；在成熟期，可能因为煅烧牡蛎壳粉促进了植物对有机质的吸收，所以有机质含量逐步下降。

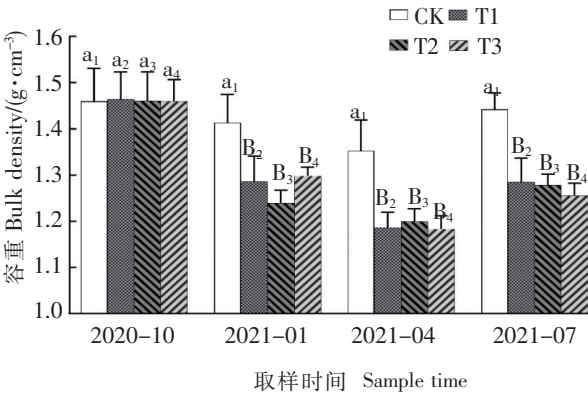


图 2 煅烧牡蛎壳粉对土壤容重的影响

Fig.2 Effect of calcined oyster shell powder on soil bulk density

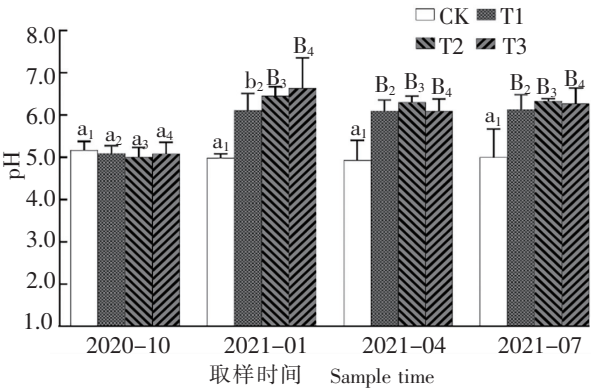


图 1 煅烧牡蛎壳粉对土壤 pH 值的影响

Fig.1 Effect of calcined oyster shell powder on soil pH value

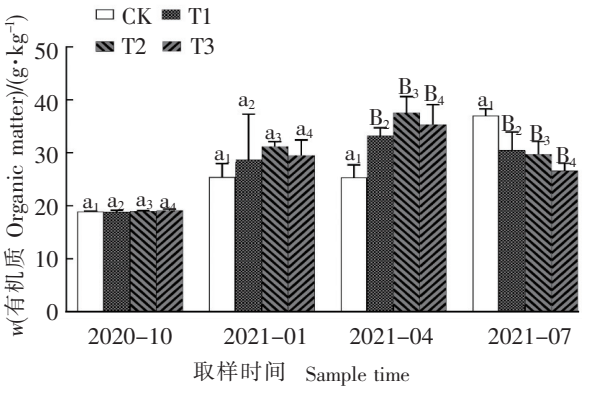


图 3 煅烧牡蛎壳粉对土壤有机质含量的影响

Fig.3 Effect of calcined oyster shell powder on soil organic content

2.1.4 对土壤有效养分含量的影响

2020 年 10 月，测得实验田土壤初始有效养分，碱解氮、有效磷、速效钾质量比分别为 (76.42 ± 2.23)，(12.32 ± 0.27)，(89.12 ± 2.75) mg/kg，交换性 Ca²⁺、交换性 Mg²⁺ 含量分别为 (6.68 ±

0.53), (1.20 ± 0.21) cmol/kg 。

从整个荔枝植株生长期来看,土壤有效成分呈现先上升后下降的趋势(见图4)。2021年1月,与CK组相比,T1、T2、T3组的碱解氮含量分别增加14.14%,53.35%,15.17%,有效磷含量分别增加17.45%,12.27%,10.57%,速效钾含量分别增加28.98%,60.81%,68.51%,交换性 Ca^{2+} 含量分别增加10.72%,44.89%,74.66%,交换性 Mg^{2+} 含量分别增加25.00%,70.73%,54.88%。2021年4月,与CK组相比,T1、T2、T3组的碱解氮含量分别增加57.66%,69.19%,120.52%,有效磷含量分别增加13.27%,17.43%,11.19%,速效钾含量分别增加17.01%,24.40%,19.20%,交换性 Ca^{2+} 分别增加11.55%,31.78%,38.99%,交换性 Mg^{2+} 含量分别增加43.62%,58.39%,100%。2021年7月,4个组的土壤有效养分含量均呈现降低的趋势,推测是在果实生长成熟期会吸收大量土壤有效养分,造成有效养分水平的下降。因此,煅烧牡蛎壳粉的施用有利于土壤有

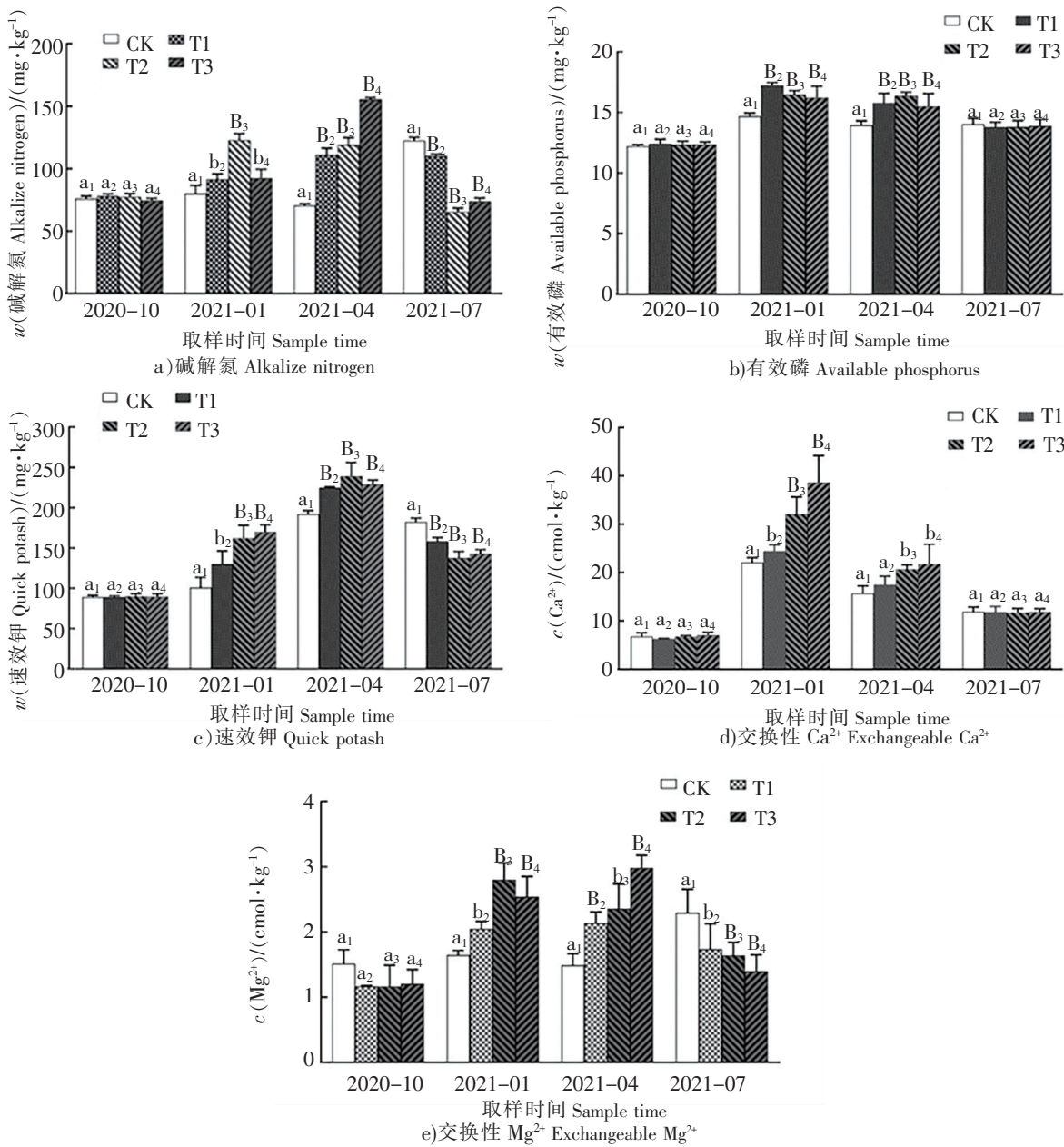


图 4 煅烧牡蛎壳粉对土壤有效养分的影响

Fig.4 Effect of calcined oyster shell powder on soil available nutrients

效养分的增加, 在春抽期、开花期可以储存土壤有效养分, 增强土壤的缓冲能力; 在果实挂果期间提供充足的有效养分, 促进果实的生长成熟。

2.2 不同施用量的煅烧牡蛎壳粉对荔枝果实品质的影响

2.2.1 对果实单果重、总产量和可食率的影响

由图 5a 可知, 随着施用量的增加, 荔枝果实单果重呈现上升的趋势, 并在施用量为 3 kg/棵时最佳, 平均单果重为 29.70 g。与 CK 组相比, T1、T2、T3 处理组的单果重分别提升了 20.79%, 24.55%, 28.35%。由此可知, 施用煅烧牡蛎壳粉可以明显提升荔枝的果实单果重。据统计, 2021 年, 在施用牡蛎壳土壤调理剂后, 实验基地 (面积为 2 000 m²) 的果实总产量约为 3 000 kg, 比 2020 年 (未施用牡蛎壳土壤调理剂) 增长近 30%。

由图 5b 可知, 与 CK 组相比, T1、T2、T3 组的可食率分别上升至 86.20%, 87.06%, 87.55%。说明, 煅烧牡蛎壳粉的施用能有效提升果肉质量, 提高果实可食用部分的比例。

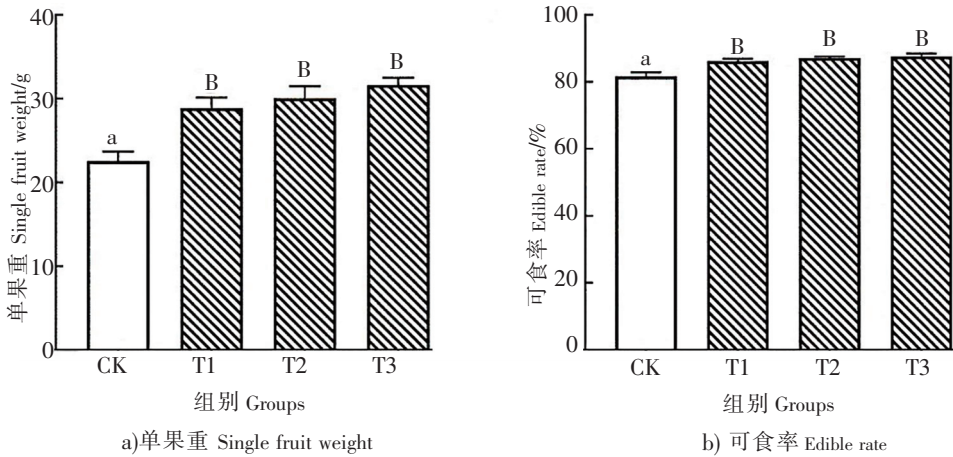


图 5 煅烧牡蛎壳粉对‘南岛无核’荔枝单果重、可食率的影响

Fig.5 Effect of calcined oyster shell powder on single fruit weight and edible rate of ‘Nandao Wuhe’ litchi

2.2.2 对荔枝果实硬度的影响

煅烧牡蛎壳粉的施用可以有效提升荔枝果肉的硬度。由图 6 可见, 与 CK 组相比, T1、T2、T3 组果实硬度为 0.160, 0.168, 0.166 N, 分别升高了 52.14%, 58.92%, 57.34%。

2.2.3 对荔枝果实维生素 C 含量的影响

由图 7 可知, 煅烧牡蛎壳粉的施用能有效提高荔枝果实中维生素 C 的含量, 且两者间成正比关系。与 CK 组相比, T1、T2、T3 组的维生素 C 含量分别增加了 8.40%, 26.59%, 31.86%。

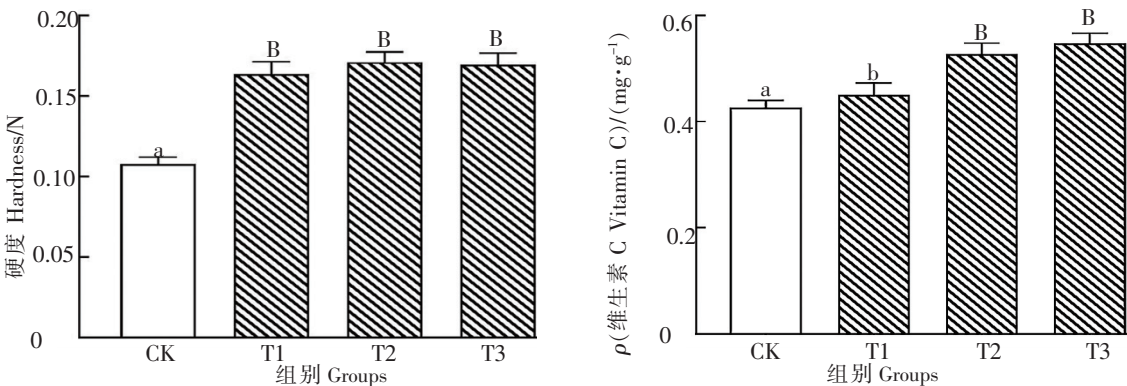


图 6 煅烧牡蛎壳粉对荔枝果实硬度的影响

图 7 煅烧牡蛎壳粉对荔枝果实维生素 C 含量的影响

Fig.6 Effect of calcined oyster shell powder on the hardness of litchi Fig.7 Effect of calcined oyster shell powder on the content of vitamin C in litchi

2.2.4 对果实糖酸比、固酸比的影响

在可溶性糖含量方面，与 CK 组相比，T1 组不存在显著性差异，T2、T3 组的可溶性糖含量上升了 1.78% 和 1.61%（见表 1）。在可溶性固形物含量方面，与 CK 组相比，T1、T2、T3 组分别上升 15.22%，15.70%，15.66%。与 CK 组相比，T1、T2 和 T3 组的糖酸比分别增加了 30.06%，42.32%，38.31%，固酸比分别增加了 25.22%，31.23%，28.86%。综上，施用煅烧牡蛎壳粉可以显著提升荔枝的糖酸比和固酸比。

表 1 煅烧牡蛎壳粉对荔枝果实糖酸比、固酸比的影响
Tab. 1 Effect of calcined oyster shell powder on sugar-acid ratio and solid-acid ratio of litchi

指标 Indexes	处理组 Treatment groups			
	CK	T1	T2	T3
w(可溶性糖 Soluble sugar)/%	10.73 ± 0.00 ^a	11.60 ± 0.49 ^a	12.51 ± 0.62 ^B	12.34 ± 0.61 ^B
w(可溶性固形物 Soluble solids)/%	14.62 ± 0.61 ^a	15.22 ± 0.53 ^b	15.70 ± 0.33 ^B	15.66 ± 0.10 ^B
w(可滴定酸 Titratable acid)/%	0.77 ± 0.05 ^a	0.64 ± 0.03 ^B	0.63 ± 0.03 ^B	0.64 ± 0.03 ^B
糖酸比 Sugar-acid ratio	13.94	18.13	19.84	19.28
固酸比 Solid-acid ratio	18.99	23.78	24.92	24.47

3 讨论

通常情况下，自然因素导致的土壤酸化进程十分缓慢，而人为因素导致的土壤酸化速率是自然因素的近千倍^[16]。土壤酸化速率加快，土壤的 pH 值就越低，越容易引起 Cu、Cd、Al 等金属对作物的污染毒害，根系也会出现短粗、衰老等迹象，植物生长受阻，发育迟缓，果实易发生生理病害，从而导致作物品质下降^[17]。此外，土壤 pH 值下降，土壤缓冲能力也会下降，养分无法被土壤释放；肥料中的 N、P、K、Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 等元素的有效性锐减，严重时烂根死苗，作物减产^[18]。

煅烧牡蛎壳粉溶于水后的 pH 值为 9.5 左右，在酸性土壤中施用煅烧牡蛎壳粉有利于土壤 pH 值的提升，增加有机质、土壤养分含量，降低土壤容重，并促进植株对土壤养分进行吸收和利用。一方面，高温煅烧牡蛎壳粉生成的 CaO 与水反应生成的 Ca(OH)₂ 可以提高土壤中的 OH⁻ 含量，中和 H⁺；另一方面，牡蛎壳中大量的 Ca²⁺ 和土壤中 H⁺、Al³⁺ 进行离子交换反应，降低土壤胶体中的 H⁺、Al³⁺ 含量，提升土壤 pH 值，改善土壤酸化现象^[19]。

本文研究发现，对荔枝土壤经过为期 10 个月的实验，T1、T2、T3 组的 pH 值分别从 5.09，5.00，5.08 上升到 6.13，6.33，6.27，分别提高了 1.04、1.33 和 1.19，有效改良了土壤酸度。但是，CK 组的 pH 值由 5.17 降低至 5.00，降低了 0.17。分析其原因，一方面是作物生长过程中吸收消耗了部分土壤碱基离子，另一方面是在整个生长过程中，农户多次施用复合肥（硫酸钾、磷酸二氢铵）等酸性肥料，共同作用导致 pH 值下降。

本实验田的有机质初始值为（18.99 ± 0.22）g/kg，参照全国第 2 次土壤普查土壤肥力指标分级，该土壤所含有有机质较为缺乏，需要补充。煅烧牡蛎壳粉中的 Ca²⁺ 和土壤中的腐殖酸等有机质之间有较强的缔合作用，可以促进土壤团粒的形成和有机质含量的增加^[20]。此外，高温煅烧的牡蛎壳有大量直径为 2 ~ 10 μm 的微小蜂窝状孔隙结构，能显著提升土壤透气性和持水性，降低土壤容重^[21]。将其与肥料复配使用时，能有效减少肥料流失，增加利用率，提升土壤肥力，促进作物对营养元素的吸收和利用^[22]。

施用煅烧牡蛎壳粉后，在 2021 年 4 月，测得 T1、T2、T3 组的有机质含量比 CK 组分别提高了 30.88%，48.26%，39.47%。推测其原因，主要是由于 1 月和 4 月是荔枝的春抽期和开花期，农户

为保证作物果实品质,对荔枝进行疏枝和疏花操作,土壤中腐殖质增加导致了所有组别的有机质的增加。而实验组的有机质含量始终高于CK组,可能是因为煅烧牡蛎壳粉的添加使得土壤疏松,保水能力提升,维持了适合优势菌群生长的土壤生态环境,促进有机物分解转化为有机质。

牡蛎壳经高温煅烧后,不仅生成蜂窝状孔隙结构,还有丰富的CaO,可补充土壤钙元素^[23],有利于作物果实的生长发育,提高产量;有利于果实营养物质的合成、改善作物品质。有研究表明,土壤中充足的N、P、K、Ca、Mg等元素被植物吸收后,能促进植物生长,增强植物体内物质的合成转运,增加干物质含量,提高果实坐果率、品质和产量^[24-26]。金属元素中,Ca尤为重要,它能维持细胞的功能和结构,有效增强果肉质地和果皮硬度,减少生长期裂果、储藏期腐烂的现象,延长果实货架期^[27]。同时,丰富的Ca也能促进半乳糖内酯脱氢酶的活性,促进维生素C的合成^[28]。同时,抗坏血酸氧化酶活性又会在一定的Ca²⁺浓度条件下被抑制,Ca²⁺一边促进维生素C的合成通路,一边抑制氧化代谢路径,使果实中维生素C含量显著增加。综合整个荔枝植株的生长期,煅烧牡蛎壳粉的施用有利于改良土壤酸化,在春抽期、开花期可以储存土壤有效养分,增强土壤的缓冲能力;在果实挂果期提供充足的有效养分,促进果实的生长成熟,提高果实的品质。

本研究发现,对于冠幅半径约为1.5 m的荔枝树,在煅烧牡蛎壳粉施用量为2 kg/棵(T2)时,果实的硬度、糖酸比、固酸比达到最佳效果。

4 结论

将煅烧牡蛎壳粉施用在种植‘南岛无核’荔枝的土壤中,可以有效提升土壤的pH值,降低土壤容重,改善土壤理化性质,增加土壤中有效成分的含量,并促进荔枝植株对土壤中有效养分(有效磷、速效钾、碱解氮、交换性Ca²⁺和Mg²⁺)的吸收和利用。同时,煅烧牡蛎壳粉使荔枝果实的单果重、糖酸比、维生素C含量显著增加,显著提升果实的品质。综合考虑,在本实验条件下,推荐煅烧牡蛎壳粉的施用量为2 kg/棵。

[参考文献]

- [1] 张江周,李奕赞,李颖,等. 土壤健康指标体系与评价方法研究进展[J]. 土壤学报,2021,58(6):1-17.
- [2] 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.
- [3] 孙笑梅,闫军营,程道全,等. 河南省耕地土壤酸碱度状况与酸化土壤治理途径[J]. 中国农学通报,2017,33(24):91-94.
- [4] 王寅,张馨月,高强,等. 吉林省农田耕层土壤pH的时空变化特征[J]. 土壤通报,2017,48(2):387-391.
- [5] 李涛,于蕾,万广华,等. 近30年山东省耕地土壤pH时空变化特征及影响因素[J]. 土壤学报,2021,58(1):180-190.
- [6] 郑梅迎,林伟,徐茜,等. 基于CNKI数据库的土壤酸化文献计量分析[J]. 土壤,2020,52(4):811-818.
- [7] DAI Z M, ZHANG X J, TANG C, et al. Potential role of biochars in decreasing soil acidification: a critical review[J]. Science of the Total Environment, 2017, 581: 601-611.
- [8] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会,等. 2021中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2021:23-28.
- [9] KIM T, KIM D, JEON J, et al. Improvement of desalinization performance in reclaimed land through recycling of bottom ash and oyster shells[J]. Paddy and Water Environment, 2021, 19(8): 529-538.
- [10] 曹敏杰,丁希月,许玲玲,等. 牡蛎壳资源利用研究进展[J]. 集美大学学报(自然科学版),2021,26(5):390-397.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:30-38.
- [12] 位杰,吴翠云,蒋媛,等. 蒽酮法测定红枣可溶性糖含量条件的优化[J]. 食品科学,2014,35(24):136-140.
- [13] 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,2007:39-41.
- [14] 吕强. 荔枝果肉酚类物质分离纯化、鉴定及降糖活性研究[D]. 杭州:浙江大学,2015.

- [15] 谢志南, 庄伊美, 王仁玟, 等. 福建亚热带果园土壤 pH 值与有效态养分含量的相关性 [J]. 园艺学报, 1997(3): 4-9.
- [16] SARAH J K, DAVID W, KEITH W T G, et al. pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2005, 38(5): 898-911.
- [17] 郭朝晖, 黄昌勇, 廖柏寒. 模拟酸雨对污染土壤中 Cd、Cu 和 Zn 释放及其形态转化的影响 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(9): 1547-1550.
- [18] 杨晶, 易镇邪, 屠乃美. 酸化土壤改良技术研究进展 [J]. 作物研究, 2016, 30(2): 226-231.
- [19] 许玲玲, 章骞, 王永明, 等. 煅烧牡蛎壳粉对土壤酸化及玉菇甜瓜品质的改良效果 [J]. 集美大学学报 (自然科学版), 2020, 25(5): 336-343.
- [20] 张博文, 穆青, 刘登望, 等. 施钙对瘠薄红壤旱地花生土壤理化性质的影响 [J]. 中国油料作物学报, 2020, 42(5): 896-902.
- [21] 朱林, 韩文节, 於忠祥, 等. 缓释型保水剂对土壤物理性状作用及油菜增产效果的研究 [J]. 土壤通报, 2006, 37(4): 644-647.
- [22] XIA C H, CHEN J H. Effect of oyster shell supplementation to the culture medium on anthocyanin content in the spathe of *Anthurium andraeanum* Lind [J]. HortScience: A Publication of the American Society for Horticultural Science, 2019, 54(11): 2050-2055.
- [23] BONNARD M, BOURY B, PARROT I. Key insights, tools, and future prospects on oyster shell end-of-life: a critical analysis of sustainable solutions [J]. Environmental Science & Technology, 2020, 54(1): 26-38.
- [24] 许灿. 高氮复合肥对荔枝叶片碳代谢及矿质营养含量的影响 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2020.
- [25] 刘峰, 聂荣邦. 作物钾营养研究进展 [J]. 作物研究, 2004(增刊1): 358-361.
- [26] 李田, 刘海河, 张彦萍, 等. 叶面喷施磷酸二氢钾对厚皮甜瓜坐果节位叶片早衰机理调控的研究 [J]. 河北农业大学学报, 2018, 41(3): 61-66.
- [27] 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.
- [28] 张雪, 杨曼, 安华明, 等. 外源 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cu^{2+} 和吡啶黄素对刺梨果实维生素 C 合成的影响 [J]. 中国农业科学, 2012, 45(6): 1144-1149.

(责任编辑 马建华 英文审校 刘静雯)