

# 牡蛎壳土壤调理剂对春桃番茄产量与品质的改善效果

许玲玲<sup>1</sup>, 翁 凌<sup>1</sup>, 章 骞<sup>1</sup>, 丁希月<sup>1</sup>, 谢 渊<sup>1</sup>, 王永明<sup>2</sup>, 曹敏杰<sup>1</sup>

(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]** 以牡蛎壳土壤调理剂作为实验材料, 研究不同施用量的牡蛎壳土壤调理剂对春桃番茄土壤养分及作物产量、品质的影响。实验设置 0 kg/hm<sup>2</sup> (对照组 CK)、1 500 kg/hm<sup>2</sup> (T1 组)、2 250 kg/hm<sup>2</sup> (T2 组)、3 000 kg/hm<sup>2</sup> (T3 组) 4 个施用量水平。田间实验表明: 在春桃番茄的整个生长周期, 随着牡蛎壳土壤调理剂施用量的增加, 土壤 pH 值、交换性钙和有机质含量呈上升趋势; 对成熟果实进行分析, T3 组的单果重及出汁率最高, 较 CK 组分别增加了 8.39% 和 11.61%; 与 CK 组相比, T1 组的单位面积总产量及维生素 C 含量最高, 产量提高 26.66%, 维生素 C 含量增加 24.75%。因此, 施用牡蛎壳土壤调理剂能够改良酸性土壤, 增加土壤的酸碱缓冲能力, 有利于提高果实单果重、产量、维生素 C 含量以及出汁率。

**[关键词]** 春桃番茄; 牡蛎壳; 土壤调理剂; 酸化土壤; 果实品质

**[中图分类号]** S 652.1

## Effect of Oyster Shell Soil Conditioner on the Production and Quality of ‘Chuntao’ Tomato

XU Lingling<sup>1</sup>, WENG Ling<sup>1</sup>, ZHANG Qian<sup>1</sup>, DING Xiyue<sup>1</sup>, XIE Yuan<sup>1</sup>, WANG Yongming<sup>2</sup>, CAO Minjie<sup>1</sup>

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

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

**Abstract:** Field experiments were carried out to study the effects of different application amounts of oyster shell soil conditioner on soil and crop yield and the quality of ‘Chuntao’ tomato. Four application rates were set including 0 kg/hm<sup>2</sup> (control CK), 1 500 kg/hm<sup>2</sup> (T1), 2 250 kg/hm<sup>2</sup> (T2) and 3 000 kg/hm<sup>2</sup> (T3). During the whole growth period of ‘Chuntao’ tomato, with the increasing addition of oyster shell soil conditioner, increment of soil pH value, soil exchangeable calcium and organic matter content were detected. At the same time, with the increasing of the application amounts of oyster shell soil conditioner, the individual fruit weight, total output per unit area, the content of vitamin C, juice yield of the fruit were on the rise. Through the analysis of ripe fruit, with the increasing of the application amounts of oyster shell soil conditioner, the individual fruit weight, total output per unit area, the content of vitamin C and juice yield of the fruit were on the rise. Analyzing of ripe fruit, T3 group revealed the highest single fruit weight and juice yield, which increased by 8.39% and 11.61%, respectively as compared with the CK group. T1 group had the highest total output per unit area and vitamin C content as its yield increased by 26.66%, and the vitamin C content increased by 24.75%. Therefore, application of oyster shell soil conditioner can neutralize acidic soil, increase the acid-base buffering capacity of

**[收稿日期]** 2021-02-24

**[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, 博士, 从事水产品深加工研究。E-mail: mjcao@jmu.edu.cn。

the soil, and improve the individual weight, production, vitamin C content and juice yield of ‘Chuntao’ tomato.

**Keywords:** ‘Chuntao’ tomato; oyster shell; soil conditioner; acidified soil; fruit quality

## 0 引言

土壤资源是农业可持续发展的基础。相关数据显示,我国酸化土壤面积已占耕地总面积的 40% 以上,南方土壤酸化问题更加明显<sup>[1]</sup>。随着全球化的发展以及不当的农业措施,特别是氮肥的过量施用,土壤酸化进程大大加速。即便是在北方地区,土壤酸化问题也应引起关注,如山东省近 30 年的耕地土壤 pH 值平均降低了约 0.4<sup>[2-3]</sup>。土壤酸化会导致土壤养分流失,有毒金属(特别是铝)的活性增强,从而降低作物的品质和产量<sup>[4]</sup>。为了确保粮食安全以及农业可持续发展,采用高效、低廉、应用广泛的环境友好型土壤调理剂是十分有必要的<sup>[5]</sup>。

另一方面,作为水产大国,我国有着丰富的贝类资源,特别是随着牡蛎育种和养殖技术的快速发展,我国牡蛎产量呈现逐年递增的趋势。2019 年,全国牡蛎产量达 523 万 t,而福建省就高达 201 万 t,居全国首位<sup>[6]</sup>。然而,目前牡蛎加工过程中产生的占其总重量 65% 以上的牡蛎壳并没有得到高效利用。牡蛎壳中  $\text{CaCO}_3$  含量高达 90% 以上,还含有 Mn、Se、Fe、Zn、Cu 等 20 多种微量元素<sup>[7-8]</sup>。牡蛎壳经高温焙烧后, $\text{CaCO}_3$  转化为  $\text{CaO}$ ,形成复杂的多孔结构,比表面积增加,从而具有较强的吸附和交换能力<sup>[9]</sup>,可以将其制备成一种新型具有调酸补钙蓄肥功效的新型土壤调理剂。

番茄是一种经济价值和营养价值都较高的蔬菜,含有丰富的番茄红素、胡萝卜素、酚类物质等营养物质和多种矿质元素,具有保护心血管、抗氧化、提高机体免疫力等功能<sup>[10]</sup>。我国也是全球最大的番茄生产国和消费国<sup>[11]</sup>。本文将经高温焙烧牡蛎壳制备的土壤调理剂应用于春桃番茄的田间生产,对春桃番茄的产量、品质及土壤养分等指标进行测定,综合评价了牡蛎壳土壤调理剂对春桃番茄品质的改良效果。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试品种为春桃番茄。牡蛎壳土壤调理剂经 500 ~ 1 000 °C 高温焙烧 30 min,粉碎后粒径为 100 ~ 200 目,由厦门玛塔生态股份有限公司提供。

### 1.2 实验设计

实验于 2019 年 9 月至 2020 年 4 月在福建省龙海市紫泥镇(24°28′38″N, 117°50′7″E)进行。该实验田属于亚热带海洋性季风气候,年热充足,年平均气温 21.5 °C,终年无霜。供试土地面积为 2 000 m<sup>2</sup>。试验划分 4 个小区,每小区长 35 m,宽 14 m,面积约为 500 m<sup>2</sup>。牡蛎壳土壤调理剂的施用量设置 0, 1 500, 2 250, 3 000 kg/hm<sup>2</sup> 4 个水平,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。

2019 年 9 月 2 日播种育苗,9 月 12 日耕地晒垅,9 月 23 日,各组在施用基肥的基础上将牡蛎壳土壤改良剂撒施于表层。9 月 27 日移栽幼苗,各处理组移栽约 900 株。12 月 5 日开始分批采收,2020 年 4 月 5 日最后一批果实采收完成。

### 1.3 实验方法

1.3.1 牡蛎壳高温焙烧前后扫描电镜分析 取经高温焙烧和未焙烧的牡蛎壳,进行扫描电镜分析,方法参考文献 [12]。

1.3.2 牡蛎壳土壤调理剂的基本成分分析 pH 值按照 NY/T 1973—2010 进行测定;钙含量(以  $\text{CaO}$  计,干基)、镁含量(以  $\text{MgO}$  计,干基)按照 GB/T 3286.1—2012 进行测定;水分含量按照 GB/T 8576—2010 进行测定;微量元素 Cu、Fe、Mn、Zn、Mo 含量按照 NY/T 1974—2010 进行测定;元素 Se 含量按照 NY/T 1972—2010 进行测定;游离氨基酸含量按照 NY/T 1975—2010 进行测定;重金属

元素 Hg、As、Cd、Pb、Cr 含量按照 NY/T 1978—2010 进行测定。

1.3.3 春桃番茄单果重及产量统计 每个处理组均设产量待产区, 面积为 45 m<sup>2</sup>。收获期间共采摘 3 次, 将产量待产区的所有成熟果实一并采收, 进行称重、计数并计算单果平均重量。最后根据 2019 年 12 月至 2020 年 4 月整个收获期间番茄试验田的总产量, 再结合各个处理组间 3 次采摘得到的产量比例, 核算出各处理组单位面积的实际产量, 并进行比较。

1.3.4 土壤采集及指标测定 分别于 2019 年 9 月 14 日 (试验前)、12 月 1 日 (采收前)、2020 年 4 月 7 日 (采收后) 对试验田进行土壤样品采集, 用于测定土壤的 pH 值、交换性钙含量和土壤有机质含量。土壤 pH 值参考 NY/T 1121.2—2006 的方法, 交换性钙含量参考 NY/T1121.13—2006 的方法, 有机质含量参考重铬酸钾氧化-硫酸亚铁滴定法<sup>[13]</sup>进行测定。

1.3.5 果实采集及指标测定 番茄盛果期时, 采摘各个处理组同一高度、无病虫害、大小相仿、颜色和成熟度基本一致的番茄成熟果实, 进行维生素 C 含量及出汁率的测定。果实出汁率采用原汁机进行测定, 维生素 C 含量采用分光光度计法<sup>[14]</sup>进行测定。

1.4 数据处理

每组样品的实验重复 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 牡蛎壳土壤调理剂的孔隙结构和基本成分分析

2.1.1 牡蛎壳高温焙烧前后形态的扫描电镜分析 牡蛎壳的主要成分是 CaCO<sub>3</sub>。高温焙烧不仅可使 CaCO<sub>3</sub> 转化为 CaO, 还会引起牡蛎壳表面性状的变化。这种表面性状的变化, 可利用扫描电子显微镜 (scanning electron microscope, SEM) 进行表征。由图 1 可知, 未焙烧的牡蛎壳内壳 (图 1a) 的表面几乎是均匀的, 只保持交错堆存的叶状结构, 没有孔隙结构, 外壳 (图 1c) 表面也仅有少量的孔隙结构。经过高温焙烧后的牡蛎壳内壳 (图 1b) 形成了多孔结构, 比表面积大大增加。同样, 经过高温焙烧后的牡蛎外壳 (图 1d) 微孔结构增多, 形成孔径大小为 2 ~ 10 μm 的蜂窝状多孔结构。牡蛎壳经高温焙烧后, 其比表面积可得到极大的增加, 将其粉碎后, 比表面积的增加量更大。将其作为土壤

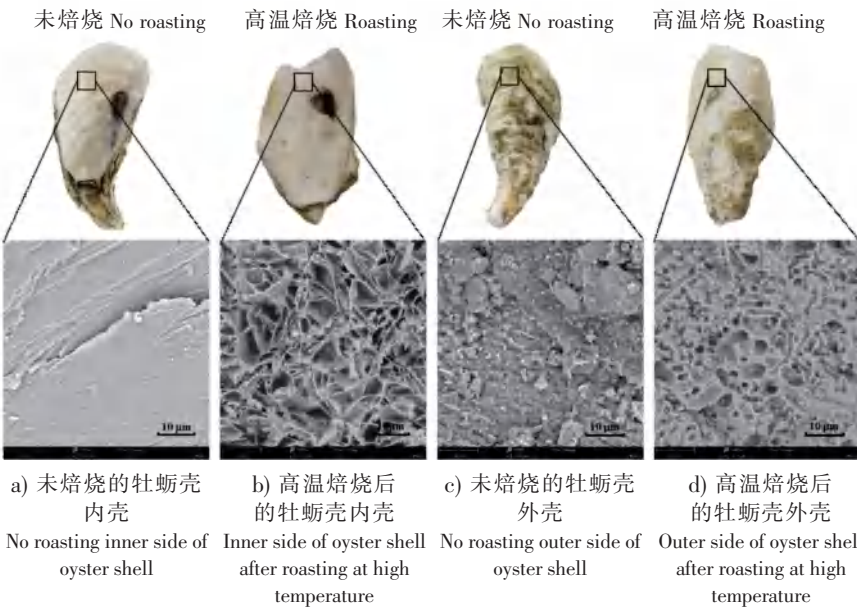


图 1 高温焙烧前后牡蛎壳内壳、外壳的 SEM 图

Fig.1 SEM image of inner side and outer side of oyster shell before and after roasting at high temperature

改良剂，可提高其交换和吸附性能，有利于促进土壤团粒结构的形成，改善土壤的通气性，同时增加保水保肥能力。

2.1.2 牡蛎壳土壤调理剂的基本组成成分 牡蛎壳经高温焙烧后  $\text{CaCO}_3$  部分转化成  $\text{CaO}$ ，理化指标结果见表 1。由表 1 可知，牡蛎壳土壤调理剂的  $\text{CaO}$  的质量分数为 48%，有利于提高土壤中离子态钙的含量。同时，还含有  $\text{Mg}$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Zn}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{Se}$  等微量元素，各种微量元素的含量关系为： $\text{Mg} = \text{Mn} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Se}$ 。牡蛎壳土壤调理剂水溶液的  $\text{pH} = 9.5$ ，调酸较为温和。

2.1.3 重金属安全性评估 结合农业农村部颁布的肥料标准 NY 1110—2010《水溶肥料 汞、砷、镉、铅、铬的限量要求》和土壤调理剂相关标准<sup>[15]</sup>，对牡蛎壳土壤调理剂中  $\text{Hg}$ 、 $\text{As}$ 、 $\text{Cd}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Pb}$  等 5 种重金属元素进行综合判定，结果见表 2。由表 2 可见，高温焙烧后的牡蛎壳土壤调理剂的重金属含量远低于限量值，符合要求。

2.2 牡蛎壳土壤调理剂对春桃番茄土壤理化性质的影响

2.2.1 对土壤 pH 值的影响 番茄植株适宜生长的土壤 pH 值为 5.5 ~ 6.5<sup>[16]</sup>。2019 年 9 月，在植株移栽前对试验土壤进行采样，测得其初始土壤 pH 值为  $6.09 \pm 0.03$ ，属于微酸性土壤，适宜番茄生长。

由图 2 可知，在实验初始时（2019 年 9 月），对照组（CK 组）和 3 个处理组（T1、T2、T3）的土壤 pH 值几乎相同。但在两个时间点（2019 年 12 月和 2020 年 4 月），3 个处理组（T1、T2、T3）的土壤 pH 值均比 CK 组要高，且 4 个处理组的土壤 pH 值均呈现持续下降的趋势。分析原因：一方面是因为作物生长需要从土壤中消耗大量的养分如  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^{+}$ 、 $\text{Na}^{+}$  等碱基离子；另一方面，在整个生长过程中，农户为了提高番茄产量，多次施用氮肥如尿素、硝态氮等。2019 年 12 月（采收前），与 CK 组相比，T1 组土壤 pH 值仅提高 0.12（ $P > 0.05$ ），T2 和 T3 组土壤 pH 值分别提高 0.30 和 0.36。2020 年 4 月（采收后），处理组 T1、T2 和 T3 的土壤 pH 值基本稳定在 5.57，与 CK 组相比，pH 值约提高了 0.06，增幅较小，且处理组（T1、T2、T3）之间差异不显著。推测，出现此类现象是因为最后一批取土时间为清明节期间，连续强降雨导致了土壤中碱基离子淋失以及过多施用酸性化肥所致。从整个生长期来看，牡蛎壳土壤调理剂的施用有利于提高土壤的 pH 值。

2.2.2 对土壤交换性钙的影响 交换性钙是可被植物吸收利用的有效钙（离子态钙），占全钙量的

表 1 牡蛎壳土壤调理剂的理化指标

理化指标 Physicochemical indexes	检测值 Detection value
$w(\text{CaO})/\%$	48.0
pH 值(250 倍水稀释) pH value (250 times water dilution)	9.5
$w(\text{水分 Water})/\%$	2.5
$w(\text{MgO})/\%$	0.81
$w(\text{Mn})/\%$	0.81
$w(\text{Fe})/\%$	0.14
$w(\text{Mo})/\%$	<0.000 1
$\rho(\text{Zn})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	22.0
$\rho(\text{Cu})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	4.9
$\rho(\text{Se})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	0.51
游离氨基酸 Free amino acid	未检出 No detection

表 2 牡蛎壳土壤调理剂的重金属含量

重金属 Heavy metal ion	$\rho$ (标准 Standard) $/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	$\rho$ (样品 Sample) $/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$	单项判定 Single judgement
Hg	$\leq 5$	$0.02 \pm 0.01$	合格 Qualified
As	$\leq 10$	$1.48 \pm 0.41$	合格 Qualified
Cd	$\leq 10$	$0.16 \pm 0.12$	合格 Qualified
Pb	$\leq 50$	$4.20 \pm 1.70$	合格 Qualified
Cr	$\leq 50$	$2.09 \pm 0.23$	合格 Qualified

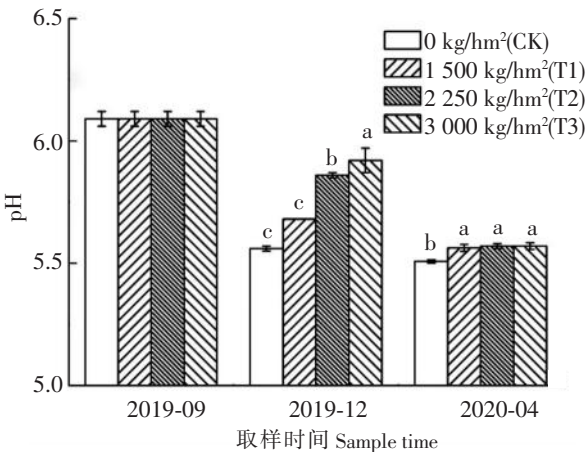


图 2 施用不同量的牡蛎壳土壤调理剂对土壤 pH 值的影响

Fig.2 Effect of different dosages of oyster shell soil conditioner on soil pH value



20% ~ 30%, 其含量的多少可以用来评价土壤供应钙量能力的高低<sup>[17]</sup>。如图 3 所示, 在两个时间点 (2019 年 12 月和 2020 年 4 月), 3 个处理组 (T1、T2、T3) 的土壤交换性钙均比 CK 组要高, 且 4 组的土壤交换性钙含量均呈现持续上升的趋势, 对照组 CK 的土壤交换性钙含量也有所提高。这是由于在果实生长膨大期农户浇施过磷酸钙肥所致。2019 年 12 月 (采收前), 与对照组 CK 的交换性钙含量相比, 处理组 T1、T2 和 T3 分别增加 13.56%、15.14% 和 19.98%, 这为春桃番茄果实坐果期的养分吸收提供了钙源。2020 年 4 月 (采收后), 与 CK 组交换性钙含量相比, T1、T2 和 T3 组分别增加 7.59%、9.58% 和 10.45%, 同样均存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。综合整个生长期情况, 施用不同量的牡蛎壳土壤调理剂均可提高土壤交换性钙含量。

2.2.3 对土壤有机质的影响 土壤有机质含量与土壤肥力水平有着密切的关系, 是判断土壤肥沃与否的重要指标<sup>[18]</sup>。由图 4 可知, 土壤有机质含量在整个春桃番茄生长期呈下降趋势, 主要是在作物生长发育全过程中需要消耗大量的土壤养分。2019 年 12 月 (采收前), T2 组有机质含量最高为 17.40 g/kg, 比 CK 组高 5.58%, 其次是 T1 和 T3 组, 分别增加 3.28% 和 2.67%。2020 年 4 月 (采收后), 土壤有机质含量随牡蛎壳土壤调理剂施用量的增加呈上升趋势, 但差异均不显著。

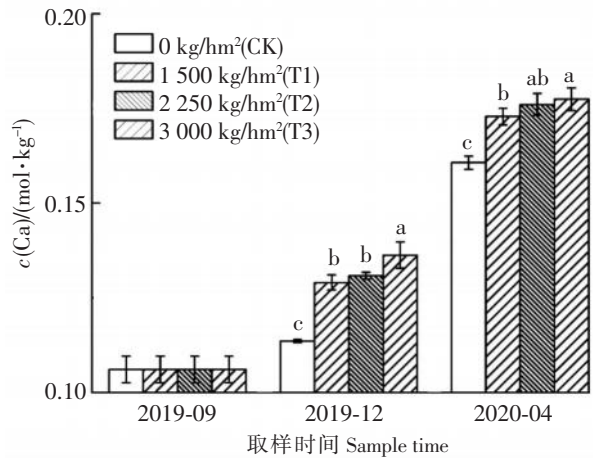


图 3 施用不同量的牡蛎壳土壤调理剂对土壤交换性钙的影响

Fig.3 Effect of different dosages of oyster shell soil conditioner on soil exchangeable calcium

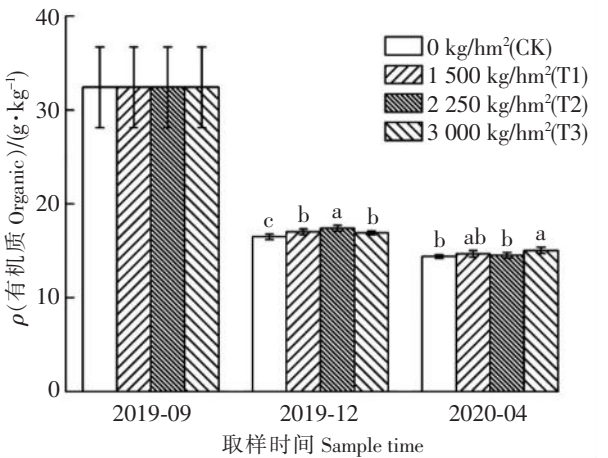


图 4 施用不同量的牡蛎壳土壤调理剂对土壤有机质含量的影响

Fig.4 Effect of different dosages of oyster shell soil conditioner on soil organic content

2.3 不同施用量的牡蛎壳土壤调理剂对春桃番茄果实品质的影响

2.3.1 对春桃番茄果实单果重和产量的影响 由表 3 可知, 随着牡蛎壳土壤调理剂施用量的增加, 果实单果重呈现上升的趋势。与对照组 CK 相比, T1、T2 组春桃番茄果实单果重分别增加了 1.72% 和 0.57%, T3 组单果重由 17.40 g 增加到 18.86 g, 增加了 8.39% ( $P > 0.05$ )。说明牡蛎壳土壤调理剂在土壤条件较适宜作物生长的状态施用, 能在一定程度上提高果实的单果重。

春桃番茄产量随着牡蛎壳土壤调理剂施用量的增加呈现先上升后下降的趋势, 不同施用量处理间的春桃番茄产量大小依次为: T1 > T2 > T3 > CK。其中施用量为 1 500 kg/hm<sup>2</sup> (T1) 时, 产量最高, 与对照组 CK 相比, 每平方米平均增产 1.412 kg, 增产率为 26.66%。当用量超过 1 500 kg/hm<sup>2</sup> (T1) 时, 番

表 3 施用不同量的牡蛎壳土壤调理剂对春桃番茄果实单果重、产量的影响

Tab.3 Effect of different dosages of oyster shell soil conditioner on the individual weight and yield of ‘Chuntao’ tomato

处理组 Group	单果重 Individual weight/g	产量 Production/(kg·m <sup>-2</sup> )
CK	17.40 ± 5.43 <sup>a</sup>	5.298
T1	17.70 ± 4.20 <sup>a</sup>	6.711
T2	17.50 ± 3.55 <sup>a</sup>	6.079
T3	18.86 ± 4.79 <sup>a</sup>	5.901

同行右上角不同小写字母表示处理组间差异显著 ( $P < 0.05$ )

Different lowercase letters in the upper right corner of the same row indicated significant differences between treatment groups ( $P < 0.05$ )

茄产量出现了下降的趋势，施用量为 2 250 kg/hm<sup>2</sup>（T2）和 3 000 kg/hm<sup>2</sup>（T3）时，与对照组 CK 相比，每平方米分别增产 0.781 kg 和 0.603 kg，增产率分别为 14.74% 和 11.38%。表明，牡蛎壳土壤调理剂的施用可以实现春桃番茄果实的增产。

2.3.2 对春桃番茄果实维生素 C 含量的影响 由图 5 可知，随着调理剂施用量的增加，春桃番茄果实中的维生素 C 含量呈现先上升后下降的趋势，处理组与对照组 CK 相比均有显著性差异（ $P < 0.05$ ），其中 T1 组果实的维生素含量最高，与 CK 组维生素 C 含量相比，增加了 24.75%。其次是 T2、T3 组，比 CK 组分别增加 22.63%、18.44%。结果表明，牡蛎壳土壤调理剂的施用可以显著提高春桃番茄果实中的维生素 C 含量。

2.3.3 对春桃番茄果实出汁率的影响 果实的出汁率是风味品质的重要指标之一。由图 6 可知，随着牡蛎壳土壤调理剂施用量的增加，春桃番茄果实的出汁率呈现上升的趋势。与对照组 CK 相比，处理组 T1 春桃番茄果实的出汁率增加 3.92%（ $P > 0.05$ ），T2 和 T3 组分别显著增加 10.88% 和 11.61%。结果表明，牡蛎壳土壤调理剂的施用有利于提高春桃番茄果实的出汁率。

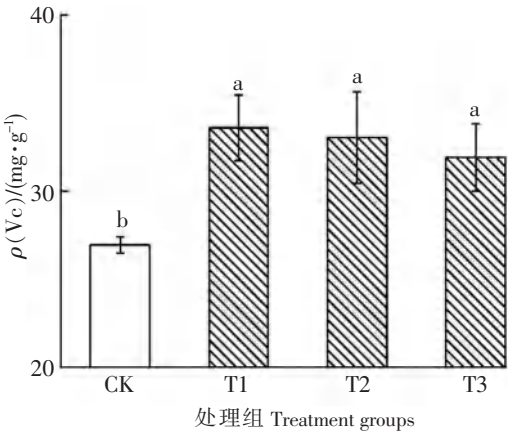


图 5 不同施用量煅烧牡蛎壳粉对春桃番茄维生素 C 含量的影响

Fig.5 Effect of different dosages of oyster shell soil conditioner on Vitamin C content of ‘Chuntao’ tomato

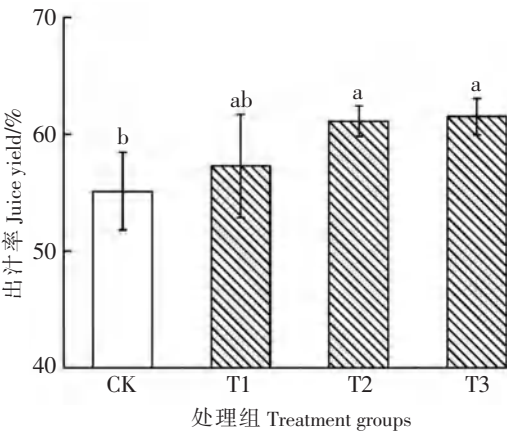


图 6 不同施用量煅烧牡蛎壳粉对春桃番茄果实出汁率的影响

Fig.6 Effect of different dosages of oyster shell soil conditioner on juice yield of ‘Chuntao’ tomato

3 讨论

近 40 年来，由于氮、磷、钾肥的不当施用以及酸雨等因素的影响，我国农田耕层土壤的 pH 值平均下降了 0.5，有些地区甚至下降了 1 以上，严重影响了农业生产<sup>[3]</sup>。因此，土壤治理刻不容缓。以牡蛎壳为原材料，经过 500 ~ 1 000 ℃ 高温焙烧制备的土壤调理剂，氧化钙质量分数 ≥ 45%，水溶液的 pH 值为 9.5 左右。与生石灰相比，该产品调酸效果温和，同时提供作物生长发育所需要的 Mg、Mn、Fe、Zn、Cu、Se 等多种微量元素。另外，重金属元素 Hg、As、Cd、Pb、Cr 含量均远低于我国肥料和土壤调理剂已登记标准 NY 1110—2010 的限量值。经过高温焙烧后，牡蛎壳内壳形成致密的多孔结构，外壳表面的微孔结构增多，形成蜂窝状的多孔结构，增加了比表面积，提高其交换和吸附性能。研究表明<sup>[19-20]</sup>，将高温活化的牡蛎壳粉与肥料相结合，可以缓、控释肥料，减少流失，达到与作物养分吸收需求相同步的效果，从而提高肥料的利用率。

本研究结果表明，将牡蛎壳土壤调理剂施用在微酸性的土壤中，有利于提高土壤的酸碱缓冲能力，维持土壤 pH 值的稳定。另外，在春桃番茄的整个生长期中，随着土壤调理剂施用量的增加，土壤交换性钙含量呈上升的趋势，当施用量为 3 000 kg/hm<sup>2</sup>（T3）时，与对照组 CK 相比，交换性钙含量显著增加了 10.45%。这主要是因为牡蛎壳经高温焙烧后，CaCO<sub>3</sub> 部分转化成 CaO，与水反应可游离出 Ca<sup>2+</sup>，在调酸的同时可以补充土壤中的钙含量，有利于作物生长。另外，与对照组 CK 相比，增

施牡蛎壳土壤调理剂的处理组(T1、T2、T3)中的土壤有机质含量提高了0.90%~4.45%。分析原因,可能是施用牡蛎壳类土壤调理剂可以显著降低土壤容重,改善土壤通透性,从而有益于土壤微生物活动和土壤水、热、肥、气等状况的调节,有利于土壤肥力提高<sup>[21-22]</sup>。另外,有研究表明<sup>[23-24]</sup>,在缺钙酸性土壤中,增施钙肥(CaO)可以提高土壤有机质含量。这可能是因为Ca可以促进土壤矿物质对有机分子(如腐植酸)吸附量的增加并使两者之间产生更强的缔合作用,从而促进土壤中有机质含量增加。我国化肥在当季利用率中仅达10%~50%,推测其原因是淋溶损失造成肥料利用率低下,而牡蛎壳经高温焙烧后,蜂窝状的孔隙结构与肥料结合形成缓、控释肥料,减少肥料流失,并且能够缓慢释放肥源,有利于提高土壤肥力<sup>[25]</sup>。

牡蛎壳土壤调理剂对酸性土壤理化性质的改善以及含有丰富的可促进植物细胞生长发育的关键调节因子钙等矿物质成分,同样有利于春桃番茄果实营养物质的合成及积累,达到改善品质、提高产量的效果<sup>[26]</sup>。本研究结果表明,番茄的单果重均随牡蛎壳土壤调理剂施用量的增加呈上升的趋势,T3组的单果重较CK组增加了8.39%。春桃番茄产量随牡蛎壳土壤调理剂施用量的增加呈现先上升后下降的趋势,其中,施用量为1 500 kg/hm<sup>2</sup>(T1)时,单位面积产量最高,与CK组相比增产26.66%。这可能是因为,番茄产量在一定的范围内随着钙营养的增加而增加,钙营养若继续增加,产量反而降低<sup>[27]</sup>。但即便是施用量最高的T3组,其产量较CK组也增加了11.38%。此外,随着牡蛎壳土壤调理剂施用量的增加,春桃番茄果实中的维生素C含量同样呈现先升后降的趋势,当施用量为1 500 kg/hm<sup>2</sup>(T1)时,果实的维生素C含量最高,与CK组相比增幅为24.75%。推测主要是因为牡蛎壳土壤调理剂富含钙离子,钙离子可以促进半乳糖内酯脱氢酶的活性,促进维生素C的合成和积累<sup>[28]</sup>。同时,抗坏血酸氧化酶活性又会在一定的钙离子浓度条件下被抑制<sup>[29]</sup>。一方面是维生素C生成积累路径的促进,另一方面是氧化代谢路径的抑制。所以,施用牡蛎壳土壤调理剂后,果实的维生素C含量增加。另外,春桃番茄果实的出汁率随牡蛎壳土壤调理剂施用量的增加呈现上升的趋势,当施用量为3 000 kg/hm<sup>2</sup>(T3)时,果实的出汁率最高,与CK组相比增幅为11.61%。有文献报道,琯溪蜜柚果实的出汁率随施钙量的增加而显著增加<sup>[30]</sup>,同时出汁率还与土壤pH值呈正相关关系<sup>[31]</sup>,但具体原因还需要进一步研究。

## 4 结论

对春桃番茄施用不同量的牡蛎壳土壤调理剂均能显著提高土壤pH值、交换性钙和有机质含量,同时有利于提高果实单果重、产量、维生素C含量以及出汁率。当施用量为1 500 kg/hm<sup>2</sup>时,单位面积产量最高;当施用量为3 000 kg/hm<sup>2</sup>时,单果重最高。综合考虑经济性和果实品质的改良效果,推荐施用量为1 500 kg/hm<sup>2</sup>。

## [参考文献]

- [1] 喻延. 土壤pH值及不同调控措施对烟草青枯病发生情况的影响[D]. 重庆:西南大学,2016.
- [2] LI Q Q, LI S, XIAO Y, et al. Soil acidification and its influencing factors in the purple hilly area of southwest China from 1981 to 2012 [J]. Catena, 2019, 175: 278-285. DOI:10.1016/j.catena.2018.12.025.
- [3] 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.
- [4] JORIS H A W, CAIRES E F, BINI A R, et al. Effects of soil acidity and water stress on corn and soybean performance under a no-till system [J]. Plant and Soil, 2013, 365(1/2): 409-424. DOI:10.1007/s11104-012-1413-2.
- [5] 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.
- [6] 张显良. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2020.
- [7] THAMYRES H S, 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.

- [8] LU J S, CONG X Q, LI Y D, et al. Scalable recycling of oyster shells into high purity calcite powders by the mechano-chemical and hydrothermal treatments [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 172: 1978-1985. DOI:10.1016/j.jclepro.2017.11.228.
- [9] CARILLO P, KYRIACOU M C, EL-NNAKHEL C, et al. Sensory and functional quality characterization of protected designation of origin ‘Piennolo del Vesuviocherry’ tomato landraces from Campania-Italy [J]. Food Chemistry, 2019, 292: 166-175. DOI:10.1016/j.foodchem.2019.04.056.
- [10] 赵玉英, 王颖莉. 热解温度对牡蛎壳物理化学特性的影响 [J]. 化工进展, 2014, 33(5): 1247-1251.
- [11] 霍建勇. 中国番茄产业现状及安全防范 [J]. 蔬菜, 2016(6): 1-4.
- [12] 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.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [14] 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.
- [15] 孙蓓锋, 王旭, 刘红芳, 等. 我国土壤调理剂中重金属元素及其相关原料农业资源化利用现状 [J]. 中国土壤与肥料, 2017, 6: 149-154.
- [16] ISLAM A K M S, EDWARDS D G, ASHER C J. pH optima for crop growth [J]. Plant and Soil, 1980, 54(3): 339-357. DOI:10.1007/BF02181830.
- [17] 李鹏. 渭北苹果园土壤钙素演化趋势及其对苹果品质的影响研究 [D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2017.
- [18] JANKASKAS B, JANKAUSKIEN G, FULLEN M A. Relationships between soil organic matter content and soil erosion severity in albeluvisols of the Žemaičiai uplands [J]. Ekologija, 2007, 3(1): 21-28.
- [19] 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, 2019, 54(11): 2050-2055.
- [20] KWON Y T, LEE C W, YUN J H. Development of vermicast from sludge and powdered oyster shell [J]. Journal of Cleaner Production, 2009, 17(7): 708-711.
- [21] 王爱英, 赵啸林, 孙玲丽, 等. 沼渣土壤调理剂对胶东地区酸性土壤改良效果研究 [J]. 中国沼气, 2019, 37(4): 98-102.
- [22] 周红梅, 孙蓓锋, 段成鼎. 5 种土壤调理剂对大蒜田土壤理化性质和大蒜产量的影响 [J]. 中国园艺文摘, 2016, 32(1): 227-227.
- [23] 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.
- [24] BARRETO M S C, ELZINGA E J, RAMLOGAN M, et al. Calcium enhances adsorption and thermal stability of organic compounds on soil minerals [J]. Chemical Geology, 2021, 559: 1-9. DOI:10.1016/j.chemgeo.2020.119804.
- [25] 苗艳丽, 洪鹏志, 宋文东. 利用牡蛎壳粉制备缓释氮肥的初步研究 [J]. 广东海洋大学学报, 2007, 27(6): 86-88.
- [26] HEPLER P K. Calcium: a central regulator of plant growth and development [J]. Plant Cell, 2005, 17(8): 2142-2155. DOI:10.1105/tpc.105.032508.
- [27] EKNC M, ESRNGÜ A, DURSUN A, et al. Growth, yield, and calcium and boron uptake of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.) as affected by calcium and boron humate application in greenhouse conditions [J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2015, 39: 613-632.
- [28] 张雪, 杨曼, 安华明. 外源  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^{2+}$  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.
- [29] 林志清, 李金雨, 黄维南. 钙处理对金针菇采后 4 种氧化酶活性变化的影响 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 2001, 40(2): 138-143.
- [30] 雷靖. 不同钙镁配比对柚果实产量、品质及钙镁吸收的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- [31] 张涓涓, 杨莉, 刘德春, 等. 马家柚果实品质与土壤、叶片、果实矿质养分的相关性分析 [J]. 江西农业大学学报, 2015, 37(5): 811-818.

(责任编辑 马建华 英文审校 刘静雯)