

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.23753

牡蛎壳粉替代石灰对橘园土壤酸化改良及果实品质的影响

常健玮^{1,2}, 刘国群³, 颜雯婷³, 刘洋⁴, 徐铨³, 陈敏¹, 秦华^{1*}

(1. 浙江农林大学环境与资源学院, 浙江 杭州 311300; 2. 农业农村部环境保护科研监测所, 天津 300191; 3. 衢州市柯城区农业农村局, 浙江 衢州 324000; 4. 衢州市衢江区农业农村局, 浙江 衢州 324022)

摘要: 为改善当前橘园土壤酸化问题, 促进橘园可持续利用, 进行牡蛎壳粉替代石灰对土壤养分、柑橘果实品质、土壤细菌群落的影响研究。试验采用单因素随机区组设计, 设置 4 个试验处理: 100% 石灰、50% 高钙牡蛎壳粉+50% 石灰、100% 高钙牡蛎壳粉、对照组, 分别用 L、SL、S、CK 表示。在柑橘成熟期, 取样测定土壤养分、果实品质、土壤细菌群落。与 CK 相比, L、SL 和 S 处理均显著增加了土壤 pH 与土壤有效钙含量, 施用牡蛎壳粉处理显著提升了土壤有效镁与土壤有机质含量 ($P<0.05$)。L、SL 和 S 处理显著增加了柑橘果实的可食用率、可溶性固形物含量, 降低了可滴定酸含量; 施用牡蛎壳粉的 S 处理还显著提升了维生素 C 含量 ($P<0.05$)。在土壤微生物群落方面, 三组施钙处理 α - 变形菌纲 (Alphaproteobacteria) 与芽孢杆菌属 (*Bacillus*) 相对丰度显著高于 CK ($P<0.05$)。PCoA 结果表明, 施用石灰的 L 处理对于柑橘土壤微生物群落的多样性影响最大。施用钙素肥料能显著提升土壤 pH, 进而改善土壤酸化情况。土壤 pH 是影响微生物群落多样性的重要环境因子, 其升高后能改善土壤微生物环境, 显著提升抗病菌相对丰度。施用牡蛎壳粉能更好地提升柑橘的品质, 对其生长发育起到关键作用。

关键词: 牡蛎壳; 土壤酸化; 土壤微生物

柑橘 (*Citrus reticulata* Blanco) 作为芸香科的一员, 被誉为全球最大的水果种类以及第三大农业商品, 以其广泛的种植面积和显著的经济效益而备受瞩目。而我国柑橘年产量在全球范围内名列第一^[1-2]。近些年来, 关于柑橘园土壤的讨论日益增多, 橘园土壤酸化状况常见报道。例如在江西地区 1400 个赣南脐橙种植园中经过对土壤样本的详细分析, 研究学者们发现其 pH 普遍处于 5.0 以下, 呈现出明显的酸性和强酸性特征^[3]。在所有样本中, 酸性和强酸性土壤占据了 82.7% 的比例, 而这其中, pH 小于 4.5 的强酸性土壤占据了相当大的比例, 达到 45.7%。在广东省有高达 80.4% 的柑橘果园土壤的 pH 低于 4.5^[4]。土壤酸化会造成柑橘产量和品质的显著下降^[5], 早在 20 世纪 90 年代的研究学者就发现, 土壤中的中微量元素含量与植物生长有着密切的关系。在 pH 上升 1.00

的情况下, 柑橘的产量会显著提升 27.59%。同时, 土壤的酸化程度增加会显著增加柑橘果实可滴定酸含量和果实糖/酸值, 从而影响其品质和口感^[5]。在食品行业中, 口感是决定产品质量的关键因素之一。它不仅影响消费者对产品的评价, 还直接关系到其品牌形象和市场竞争能力。

土壤酸化是一种土壤化学退化现象, 具有长期性、突发性等特点。在我国, 土壤酸化的危害不仅导致农作物生长受阻、产量降低, 而且还会影响土壤微生物的变化和植物营养元素的吸收^[6]。土壤酸化, 大量养分流失, 造成农作物减产。酸性土壤中的大部分阳离子与作物的营养元素发生交换, 从而导致养分流失。土壤酸化还会导致土壤板结、养分流失、土壤贫瘠等不良状况, 进而影响作物生长^[7]。土壤酸化后, 作物根系生长受阻, 吸收水分和养分能力降低。酸性土壤中的铝离子对根系有毒害作用, 使根系活力降低, 吸收水分和养分能力减弱, 导致作物生长不良^[8]。刘琼峰等^[9]研究表明, 施用石灰改良剂对于酸性土壤也具有较好的应用效果, 但朱经伟等^[10]发现以单一石灰改良剂为主的酸性土壤改良技术, 较难保证改良效果

收稿日期: 2023-12-08; 录用日期: 2024-03-23

基金项目: 浙江省重点研发计划项目 (2021C02035-03); 柯城区柑橘产业农业科技园区项目 (2020-45-3)。

作者简介: 常健玮 (1997-), 博士研究生, 研究方向为耕地质量培育与地力提升。E-mail: 438508621@qq.com。

通讯作者: 秦华, E-mail: qinhua@zafu.edu.cn。

的稳定持续性,长期施用还会引起土壤泛酸化,不利于改善土壤环境。

牡蛎壳是由矿物质、蛋白质和多糖等有机大分子共同组成的多重微层结构^[9]。其中的主要成分为CaTiO₃,占牡蛎壳质量分数的90%以上^[11]。2022年,我国牡蛎养殖面积为234954 hm²,产量达到619.95万t,产量较2021年增长了6.53%。研究表明,只有大约一半的牡蛎壳用于产卵,而其余部分则被视为固体废物,由贝类养殖者将其倾倒在沿海水域中。被丢弃的牡蛎壳会产生强烈的气味,并可能导致环境问题。因此,废弃牡蛎壳的回收已成为海水养殖领域迫在眉睫的问题^[12]。牡蛎壳中除了钙含量丰富外,还富含铜、铁、锌、锰等20多种微量元素^[13-14],将牡蛎壳施入土壤后可以补充钙元素,提升土壤pH,能改良土壤、提高农作物产量、具有良好的推广前景。目前对于牡蛎壳作为土壤调理剂主要集中在对作物产量的研究,而对于牡蛎壳影响土壤中微生物群落的相关研究较少。本研究通过对比石灰与牡蛎壳2种材料对柑橘土壤养分、果实品质及土壤微生物群落的影响,拟探究橘园改善土壤酸化的最适宜方案,为改善橘园土壤环境及可持续发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地点位于浙江省衢州市柯城区莫家村园中园家庭农场(118° 78' N, 28° 96' E),年平均温度16.3℃,降水量1644 mm左右。该农场长期种植柑橘,其果园地势平坦,土壤质地为砂质壤土,肥力中等,土壤基本理化性质为pH 4.2、有机质23.3 g·kg⁻¹、全氮2.2 g·kg⁻¹、碱解氮101.8 mg·kg⁻¹、有效磷86.9 mg·kg⁻¹、速效钾156.5 mg·kg⁻¹。

1.2 试验材料

供试品种为种植6年的衢州椪柑;石灰购自当地市场(含钙量75%)。高钙牡蛎壳土壤调理剂购自福建玛塔生态科技公司(含钙量35%)。

1.3 试验处理

本试验为大田试验,设定4个处理:100%石灰、50%高钙牡蛎壳粉+50%石灰、100%高钙牡蛎壳粉、空白对照组(二者皆不施用),分别用L、SL、S、CK表示。每个处理均保证施用钙元素的含量一致。每个处理3个重复,每个重复选择树势一致、无病虫害、结果正常的柑橘树3株。石灰和牡蛎壳粉于2021年6月一次施用,由于柑橘根系大

多数分布在树冠外缘滴水线的土层中,所以本试验施肥的位置设置在树冠外围滴水线的土壤内,施肥后对土壤进行翻耕。其他化肥施用、树木修剪等田间管理采取一致、正常的栽培规范进行。

在果实成熟期(2021年12月24日)进行土样及果实采集,每个小区用土钻在柑橘滴水线以内随机采集0~20 cm土层土壤;在柑橘树的东、南、西、北4个方位各摘取3个大小、色泽相近的能够代表该树果实情况的果实样品。土壤样品带回实验室过2 mm筛,一部分土壤冻干储存于-80℃,用于提取土壤总DNA并进行高通量测序;另一部分土壤在阴凉处风干用于测定土壤理化性质。柑橘样品带回后放入4℃冰箱进行保鲜并尽快进行品质的测定分析。

1.4 土壤理化性质

土壤含水率用烘干法(烘箱恒温105℃烘干8 h)进行测定;pH(土水质量比1:2.5)用pH计进行测定;有机碳含量采用重铬酸钾-浓硫酸氧化-硫酸亚铁滴定法测定;交换性钙镁含量采用乙酸铵交换-EDTA络合滴定法测定^[15]。

1.5 果实品质测定

柑橘还原性维生素C含量测定采用2,6-二氯酚测定法;柑橘可溶性固形物含量(取果实两端1.5 cm处果肉)用PAL-1型便携式手持式测糖仪测定(以质量分数%表示);可滴定酸含量采用氢氧化钠中和滴定法测定^[15]。

1.6 土壤总DNA提取

采用MoBio PowerSoil[®] DNA Isolation Kit试剂盒(MoBio Laboratories, USA),称取0.5 g冷冻干燥土壤样品,按照试剂盒说明提取总DNA。提取后的DNA片段大小采用琼脂糖凝胶电泳检测,并用微量分光光度计(NanoDrop ND-1000, Thermo Scientific, USA)进行浓度测定,保存于-40℃冰箱用于后续分析。

1.7 土壤细菌高通量测序

采用带barcode的细菌特异性引物[338F(5'-ACTCCTACGGGAGCGAGC-3')]和[806R(5'-GGACTACHVGGGTWTCTAAT-3')]对细菌16S rDNA的V3~V4区域测序,利用Illumina Miseq平台进行高通量测序,测序服务委托深圳微科盟科技集团有限公司完成。测序过程结束后,对原始数据采用FASTQ做前期处理,筛选出含有barcode标签的完整序列,然后采用Vsearch 2.8.1对原始文件进行分析。

合并并丢弃重叠长度小于200 bp且错配超过50个的序列。在对引物和barcode进行修整后,删

除预期错误率高的合并序列。使用 Usearch 11.0 (www.drive5.com/usearch/) 基于 RDP 数据库去除嵌合序列后获得有效序列数据。在 97% 相似水平上并以 0.6 作为置信阈值对操作分类单元 (OTUs) 进行聚类, 根据 OTUs 聚类结果, 对每个 OTUs 的代表序列做物种注释, 得到对应的物种信息和基于物种的相对丰度分布。利用 R 4.3.0 计算 Chao1 指数、Shannon 指数, 来评价样品菌群的 α 多样性。

1.8 数据分析

采用 SPSS 26.0 进行统计分析, 采用单因素方差分析和邓肯法检验不同处理之间的差异显著性 ($P < 0.05$); 采用皮尔森法进行相关性分析。根据 OTU 表计算 α 多样性指数。利用 Origin 2022 绘图。

2 结果与分析

2.1 土壤养分含量

柑橘的最适生长 pH 为 4.5 ~ 6.5^[16]。CK 的 pH 不利于柑橘生长, 需要进行土壤改良。由表 1 可知, 与 CK 相比, L、SL 和 S 处理均显著增加了土壤 pH 与土壤有效钙含量, 施用牡蛎粉处理显著提升了土壤有效镁与土壤有机质含量 ($P < 0.05$)。

2.2 不同钙素施用对柑橘品质的影响

与 CK 相比, L、SL 和 S 处理增加了柑橘果实的可食用率、可溶性固形物含量, 降低可滴定酸含量; 施用牡蛎壳粉的 S 处理还显著提升了维生素 C 的含量 ($P < 0.05$)。(表 2)。

表 1 各处理之间土壤理化性质的差异

处理	pH	有机质 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效镁 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有效钙 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
CK	4.26 ± 0.07c	23.82 ± 1.46b	64.32 ± 6.05c	230.50 ± 7.05b
L	5.45 ± 0.24a	25.09 ± 1.91ab	66.19 ± 3.12c	405.85 ± 9.08a
S	4.83 ± 0.14b	30.68 ± 1.51a	84.33 ± 9.62a	389.80 ± 10.46a
SL	4.82 ± 0.05b	27.07 ± 1.14ab	73.75 ± 5.77b	388.10 ± 15.33a

注: 数据后小写字母不同表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

表 2 柑橘品质之间的差异

处理	可溶性固形物 (%)	可食用率 (%)	可滴定酸 (%)	维生素 C ($\text{mg} \cdot 100 \text{g}^{-1}$)
CK	10.30 ± 0.31b	68.62 ± 0.58c	0.26 ± 0.05a	25.34 ± 0.14b
L	10.87 ± 0.22ab	68.98 ± 0.74c	0.23 ± 0.01b	25.67 ± 0.22b
S	11.63 ± 0.12a	74.12 ± 0.13a	0.20 ± 0.04c	26.96 ± 0.41a
SL	11.27 ± 0.08a	70.38 ± 0.38bc	0.22 ± 0.13b	25.86 ± 0.44b

2.3 不同钙素施用对土壤微生物群落的影响

试验结果表明, 处理间的细菌群落 Chao1 指数出现显著性差异 ($P < 0.05$)。在 L 处理中的土壤中 Chao1 指数最高, 其菌群丰富度也最高 (图 1)。

由图 2 可知, 从柑橘土壤整体来看, 土壤细菌的优势菌纲为 γ -变形菌纲 (Gammaproteobacteria)、放线菌纲 (Actinobacteria)、 α -变形菌纲 (Alphaproteobacteria)、嗜热油菌纲 (Thermoleophilia) 和酸微菌纲 (Acidimicrobiia)。与 CK 相比, 三组施钙处理 α -变形菌纲相对丰度显著高于 CK ($P < 0.05$)。

选取在属水平相对丰度前 5 的细菌进行统计分析 (图 3) 结果表明, 土壤中的优势细菌分别为分支杆菌属 (*Mycobacterium*)、*Kaistobacter*、*Dyella*、链霉菌属 (*Streptomyces*)、芽孢杆菌属 (*Bacillus*)。与 CK 相比, 施用钙素的 3 种处理均显

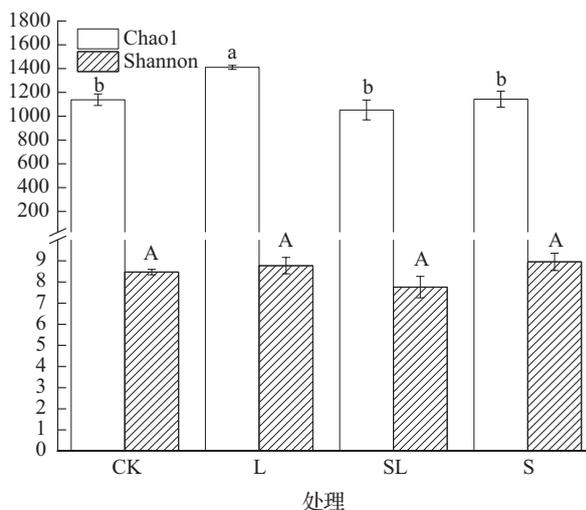


图 1 柑橘土壤细菌群落 α 多样性

注: 柱上小写、大写字母不同分别表示 Chao1 指数、Shannon 指数在各处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

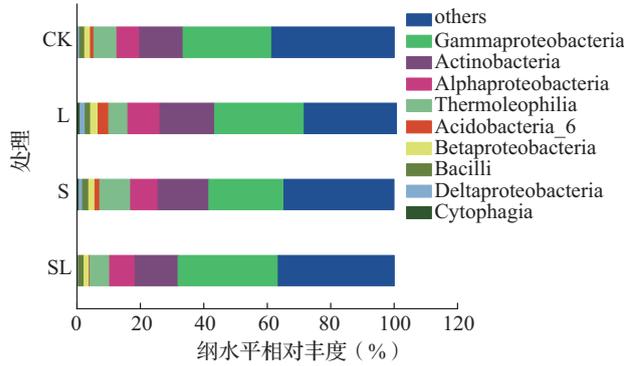


图2 柑橘纲水平优势菌

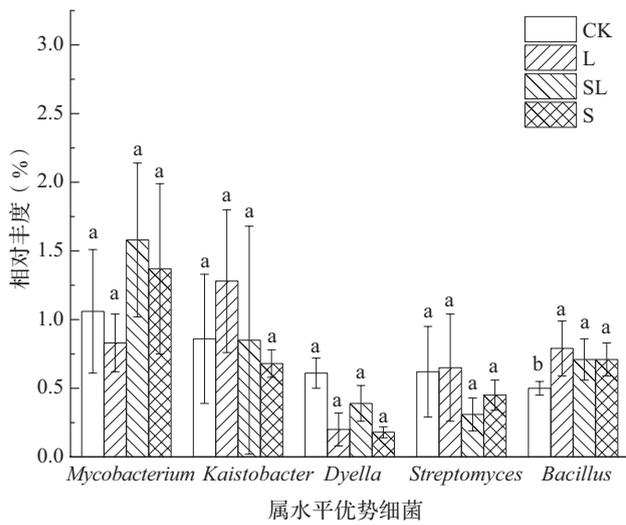


图3 属水平优势细菌

著提升了土壤中芽孢杆菌属的相对丰度 ($P < 0.05$)。

为进一步明确不同钙素施用处理对柑橘细菌群落结构的影响,采用PCoA进行各处理之间的纲水平微生物群落差异分析。由图4可知,第一排序

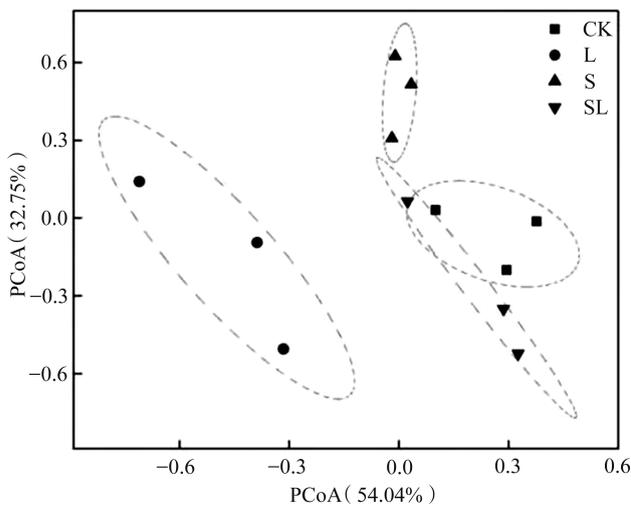


图4 柑橘细菌群落 PCoA 分析

轴可以解释 54.04% 的变异,第二排序轴可以解释 32.75% 的变异,累积达到 86.79% 的解释度。各处理之间分布较为分散,说明施用钙素肥料会对微生物群落结构产生影响。L 处理与其他处理间显著分离,说明施用石灰处理对于柑橘土壤微生物群落与其他处理之间的差异性较大。

3 讨论

3.1 不同钙素施用对柑橘土壤养分与品质的影响

柑橘树具有喜酸性,适宜在 pH 4.5 ~ 6.5 的土壤环境中生长^[13],但有研究表明,当土壤 pH 小于 4.5 时,作物根尖会萎缩,进而造成养分吸收困难,影响作物生产发育^[17]。本研究中单施石灰处理对于提升土壤 pH 的效果高于施用牡蛎壳粉和二者配施处理,造成此结果的原因可能是由于石灰本身的 pH 高于牡蛎壳粉,施入土壤后能迅速改良土壤酸性环境,此结果与罗婷等^[18]的研究结果一致。本研究发现施用牡蛎壳粉处理对于提升土壤有效钙镁及土壤有机质含量效果最佳,推测其原因有以下三点:牡蛎壳粉中含有一定的中微量元素,施入土壤后导致土壤中的中微量元素含量上升;施用牡蛎壳后改变了土壤的理化性质,同时良好的根区土壤理化和微生物特性促进了钙镁等中微量元素的有效性,从而导致其土壤中有效镁含量的提高^[19];牡蛎壳粉的添加使得土壤疏松,维持了适合优势菌群生长的土壤生态环境,促进了有机物分解转化为有机质,从而导致施用牡蛎壳粉的处理中有机质含量上升^[20]。

本研究还发现施用牡蛎壳粉处理显著提升了柑橘品质,这是由于牡蛎壳粉中含有丰富的氧化钙,可补充土壤钙元素,有利于作物果实的生长发育和提高作物产量,有利于果实营养物质的合成和改善作物品质^[17]。有研究表明,土壤中充足的钙镁等中微量元素被植物吸收后,能促进植物生长,增强植物体内物质的合成转运,提高果实坐果率、品质和产量^[21-23]。钙元素能提高半乳糖内酯脱氢酶的活性,促进维生素 C 的合成,使果实中维生素 C 含量显著增加^[24-25]。本研究中施用牡蛎壳粉处理更有利于改良土壤酸度,储存土壤有效养分,进而促进果实的生长成熟和提高果实的品质。

3.2 不同钙素施用对柑橘土壤微生物群落的影响

土壤 pH 是影响微生物代谢活性和群落多样性的因素之一,土壤 pH 越高,土壤微生物代谢活性

和群落多样性越高^[26]。本研究中发现单施石灰处理能显著提升柑橘园土壤 α 多样性,这是由于施用石灰对于土壤pH的提升效果最好,进而导致土壤细菌的 α 多样性显著增加。研究表明土壤pH与土壤 α 多样性指数呈正相关,且相关性均达极显著水平^[26],与本研究结果一致。PCoA结果表明,施用石灰处理中的细菌与其他处理显著分离,推测在高pH环境中,土壤微生物更活跃,进一步验证了土壤pH是影响土壤细菌微生物群落的重要因素。本研究结果表明,施用钙素的3种处理均显著提升了土壤中芽孢杆菌属的相对丰度。芽孢杆菌属是一类革兰氏阴性细菌,属假单胞菌科(Pseudomonadaceae),是一种重要的益生菌,被认为是继细菌、放线菌之后的第三大类生防菌,在植物根际土壤中具有很强的固氮、解磷、解钾及促进植物生长等作用^[27]。芽孢杆菌属在生长过程中能够产生多种抗菌素,因而可以抑制和杀死有害病原菌的同时还可以抑制病原微生物在土壤中的繁殖^[28]。芽孢杆菌不仅可在一定程度上调节宿主的免疫系统,而且还能产生抗菌物质或抗生素^[29-30]。研究表明,芽孢杆菌能与宿主形成互利共生的关系,其代谢产物中的某些物质能促进宿主健康生长^[31-32]。同时芽孢杆菌还能通过减轻其对植物的有害影响来促进重金属污染土壤中的植物生长,对改善土壤健康具有重要贡献^[33]。由此可以推测,钙素肥料的施用能够在补充土壤养分的同时还能提升作物抗病害能力,保障柑橘树在生长发育中具有更好土壤环境,进而提升其品质。

4 结论

(1) 施用钙素肥料能显著提升土壤pH,进而改善土壤酸化情况。

(2) 土壤pH是影响微生物群落多样性的重要环境因子,其升高后能改善土壤微生物环境,显著提升土壤中抗病菌相对丰度。

(3) 施用牡蛎壳粉能更好地提升柑橘品质,对其生长发育起关键作用。

参考文献:

- [1] 连旭东,张璐,刘思汝,等.作物产量对土壤pH的响应差异及其影响因素[J].植物营养与肥料学报,2023,29(9):1618-1629.
- [2] 邓秀新.世界柑橘品种改良的进展[J].园艺学报,2005,32(6):1140-1146.
- [3] 梁梅青,薛珺,范玉兰,等.赣南脐橙园土壤酸化特征研究[J].中国南方果树,2010,39(4):6-8.
- [4] 蒋惠,郭雁君,吉前华,等.广东省西江流域桔园土壤酸化状况调查[J].中国南方果树,2015,44(5):45-47.
- [5] 李致博.土壤酸化对养分淋失、微生物多样性及柑橘生长的影响[D].福州:福建农林大学,2021.
- [6] 张丽芳,胡海林.土壤酸碱性对植物生长影响的研究进展[J].贵州农业科学,2020,48(8):40-43.
- [7] 孙浩燕,杨学文,王凌霞,等.高山蔬菜土壤酸化治理效果初探[J].南方园艺,2021,32(2):23-25.
- [8] 刘莉,杨丽军,白颖艳,等.土壤酸化的研究进展[J].贵州农业科学,2017,45(10):83-87.
- [9] 刘琼峰,蒋平,李志明,等.湖南省水稻主产区酸性土壤施用石灰的改良效果[J].湖南农业科学,2014(13):29-32.
- [10] 朱经伟,张云贵,刘青丽,等.石灰与腐植酸钾配施对新平整土地烤烟产量和品质的影响[J].西南农业学报,2016,29(2):346-351.
- [11] 王胜慧,侯衍安,李刚,等.基于固废资源化利用的CuO/Al₂O₃催化剂的制备及加氢性能研究[J].德州学院学报,2022,38(2):24-27.
- [12] Lee H H, Kim S Y, Owens V N, et al. How does oyster shell immobilize cadmium? [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2018, 74: 114-120.
- [13] 何风,徐淳,屈超,等.改性牡蛎壳粉/高密度聚乙烯纳米复合材料的制备及其性能研究[J].山东化工,2023,52(14):20-22,25.
- [14] Hwu H H, Chen J G. Surface chemistry of transition metal carbides [J]. Chemistry Reviews, 2005, 105(1): 185-212.
- [15] 常健玮,刘国群,刘洋,等.叶面硼肥喷施对柑橘品质及土壤细菌群落的影响[J].中国土壤与肥料,2023(8):97-103.
- [16] Liu B, Gumpertz M L, Hu S, et al. Long-term effects of organic and synthetic soil fertility amendments on soil microbial communities and the development of southern blight [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(9): 2302-2316.
- [17] 谢会雅,陈舜尧,张阳,等.中国南方土壤酸化原因及土壤酸性改良技术研究进展[J].湖南农业科学,2021(2):104-107.
- [18] 罗婷,喻华,秦鱼生,等.石灰及配合施用镁和硅对土壤pH和镉有效性的影响[J].西南农业学报,2017,30(8):1826-1832.
- [19] 宋佳泽,黄湘通,杨守业,等.南黄海牡蛎壳元素组成的原位微区分析及环境指示[J].海洋地质与第四纪地质,2020,40(2):70-79.
- [20] 丁希月,王妍,翁凌,等.煅烧牡蛎壳粉对荔枝园土壤酸化及果实品质的改良效果[J].集美大学学报(自然科学版),2022,27(5):408-416.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 陆静. 三种钙肥对贡柑裂果、果皮钙含量和品质的影响研究[J]. 广西农学报, 2021, 36 (2): 28-32.
- [24] 谭迪, 李金雷, 王三红. 喷施不同钙肥对桃生长发育和果实品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2021, 49 (7): 160-166.
- [25] 陈桂芬, 黄玉溢, 熊柳梅, 等. 钙肥对春甜桔产量和品质的影响[J]. 南方农业学报, 2013, 44 (1): 92-95.
- [26] 沈桂花, 刘晓姣, 张淑婷, 等. 牡蛎壳粉对烟草根际土壤微生物代谢多样性及青枯病发生的影响[J]. 烟草科技, 2017, 50 (12): 22-28.
- [27] 庄伊美. 柑橘营养与施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [28] Adeniji A A, Loots D T, Babalola O O. *Bacillus velezensis*: phylogeny, useful applications, and avenues for exploitation [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2019, 103 (9): 3669-3682.
- [29] 张德锋, 高艳侠, 王亚军, 等. 贝莱斯芽孢杆菌的分类、拮抗功能及其应用研究进展[J]. 微生物学通报, 2020, 47 (11): 3634-3649.
- [30] 田照辉, 徐绍刚, 董颖, 等. 6 株芽孢杆菌的分离鉴定和生物学特性[J]. 江苏农业科学, 2021, 49 (13): 157-161.
- [31] 贺丹, 李鹏, 赵坤, 等. 微生物在发展生态农业中的作用[J]. 安徽农业科学, 2021, 49 (6): 15-18, 22.
- [32] 王磊, 张庆华. 土壤芽孢杆菌的分类及其生态环境意义[J]. 微生物学杂志, 2008, 41 (3): 94-96.
- [33] Amjad A, Yiman Li, Parimala G S A J, et al. *Streptomyces pactum* and *Bacillus* consortium influenced the bioavailability of toxic metals, soil health, and growth attributes of *Symphytum officinale* in smelter/mining polluted soil [J]. Environmental Pollution, 2021, 291: 118237.

Effect of replacing lime with oyster shell powder on soil acidification improvement and fruit quality in orange orchard

CHANG Jian-wei^{1, 2}, LIU Guo-qun³, YAN Wen-ting³, LIU Yang⁴, XU Cheng³, CHEN Min¹, QIN Hua^{1*} (1. College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Hangzhou Zhejiang 311300; 2. Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191; 3. Bureau of Agriculture and Rural Affairs in Kecheng District of Quzhou City, Quzhou Zhejiang 324000; 4. Bureau of Agriculture and Rural Affairs in Qujiang District of Quzhou City, Quzhou Zhejiang 324022)

Abstract: In order to improve the soil acidification of orange orchard and promote the sustainable development of orange orchard, the effects of shell powder of oyster on replacing lime on soil nutrients, citrus fruit quality and soil bacterial community were studied. The experiment adopted a single factor randomized block design, with four experimental treatments: 100% lime, 50% high calcium oyster shell powder + 50% lime, 100% high calcium oyster shell powder, control group, represented by L, SL, S, CK, respectively. During the citrus ripening period, soil nutrients, fruit quality, and soil bacterial communities were sampled. Compared with CK, the treatments of L, SL and S significantly increased soil pH and soil available calcium content, and oyster powder treatment significantly increased soil available magnesium and soil organic matter content ($P < 0.05$); L, SL and S treatments significantly increased the edible rate, soluble solid content of citrus fruit and reduced the titratable acid content; S treatment with oyster shell powder also significantly increased the vitamin C content ($P < 0.05$). In terms of soil microbial community, the relative abundance of Alphaproteobacteria and *Bacillus* was significantly higher than that of CK ($P < 0.05$). PCoA showed that L treatment with lime had the greatest effect on the diversity of microbial communities in citrus soil. The application of calcin fertilizer significantly improved the soil pH, and then improved the soil acidity situation. Soil pH was an important environmental factor affecting the diversity of microbial communities, which significantly improved the relative abundance of *Bacillus* in the soil, and thus improved the soil microbial environment. After its increase can improve the soil microbial environment and significantly enhance the relative abundance of anti-bacteria. The application of oyster shell powder can better improve the quality of citrus and play a key role in its growth and development.

Key words: oyster shell; soil acidification; soil microorganism