

DOI: 10.11830/ISSN.1000-5013.202203050



# 微生物肥对永春芦柑品质及土壤养分的影响

唐易<sup>1</sup>, 王明元<sup>1</sup>, 周钰皓<sup>1</sup>, 方向阳<sup>1</sup>, 王晓雅<sup>1</sup>,  
赵爱玉<sup>2</sup>, 张秋菊<sup>2</sup>, 潘建东<sup>2</sup>

(1. 华侨大学园艺科学与工程研究所, 福建 厦门 361021;  
2. 永春县兴茂茶果蔬专业合作社, 福建 泉州 362608)

**摘要:** 为研究微生物肥取代传统复合肥对永春芦柑品质及土壤养分的影响,选择 2015 年种植、树体长势一致、立地条件接近的果树,处理组施用微生物液体肥料,对照组施用等量氮、磷、钾复合肥料,于芦柑成熟期采集果实和土壤样品进行检测分析。试验结果表明:施加微生物肥有助于促进芦柑果实着色,综合色泽指数降低 15.0%~52.7%;与对照组相比,处理组下部、内堂果实产量增加,单果质量提高 3.3%~4.4%;果形指数略微降低,果实更扁圆;芦柑耐贮藏能力提高,果实硬度和果皮厚度分别增加 1.3%~3.8%和 0.2%~17.2%;果实可滴定酸质量分数降低 17.3%~33.2%,固酸比提高 21.7%~42.2%;上部果实维生素 C 质量比提升 23.2%,其余部位差异不明显;土壤养分水平有明显提升,速效钾和有机质质量比分别提高 13.4%~19.4%和 2.0%~47.0%,除土层深度 0~20 cm 的土壤外,其余深度土壤的有效磷质量比提升 42.4%~187.9%。

**关键词:** 芦柑; 微生物肥; 果实品质; 土壤养分

中图分类号: S 666.062; S144 文献标志码: A 文章编号: 1000-5013(2022)05-0643-07

## Effects of Microbial Fertilizer on Quality of Yongchun Ponkan and Soil Nutrients

TANG Yi<sup>1</sup>, WANG Mingyuan<sup>1</sup>, ZHOU Yuhao<sup>1</sup>, FANG Xiangyang<sup>1</sup>,  
WANG Xiaoya<sup>1</sup>, ZHAO Aiyu<sup>2</sup>, ZHANG Qiuju<sup>2</sup>, PAN Jiandong<sup>2</sup>

(1. Institute of Horticulture Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China;  
2. Yongchun Xingmao Tea, Fruit and Vegetable Professional Cooperative, Quanzhou 362608, China)

**Abstract:** In order to study the effect of microbial fertilizer replacing traditional compound fertilizer on the quality and soil nutrients of Yongchun Ponkan, the fruit trees planted in 2015 with consistent tree growth and similar site conditions were selected. The treatment group was applied with microbial liquid fertilizer, and the control group was applied with equal amounts of nitrogen, phosphorus and potassium compound fertilizer. Fruits and soil samples were collected at maturity stage of Ponkan for detection and analysis. The test results showed that the application of microbial fertilizer could promote the coloration of Ponkan fruits, and the comprehensive color index decreased by 15.0%-52.7%. Compared with the control group, the fruit yield of lower

收稿日期: 2022-03-21

通信作者: 王明元(1980-),男,副教授,博士,主要从事香蕉资源挖掘、枯萎病生防、抗病提质微生物肥料的研究。E-mail: w\_mingyuan@163.com.

基金项目: 农业部“948”重点项目子课题(2011-G16(4));福建省科技厅星火项目(2021S0049);福建省泉州市科技计划项目(2021N047)

and inner part in the treatment group increased, and the single fruit mass increased by 3.3%-4.4%. The shape index of fruits was slightly lower, and the fruits were more oblate. The storage tolerance of Ponkan improved, and fruit hardness and peel thickness increased by 1.3%-3.8% and 0.2%-17.2%, respectively. The titratable acid mass fraction of fruits decreased by 17.3%-33.2%, and the solid acid ratio increased by 21.7%-42.2%. The vitamin C quality ratio of upper fruit increased by 23.2%, but the difference of other parts was not obvious. The soil nutrient level improved significantly, the mass ratio of available potassium and organic matter increased by 13.4%-19.4% and 2.0%-47.0%, respectively. Except for the soil with the depth of 0-20 cm, the mass ratio of available phosphorus in other depths increased by 42.4%-187.9%.

**Keywords:** Ponkan; microbial fertilizer; fruit quality; soil nutrients

芦柑(*Citrus reticulata* Blanco cv. Ponkan),别名真柑、乳柑、柑果等,是芸香目芸香科柑橘属植物<sup>[1]</sup>,永春芦柑是福建省永春县一带的名优特产,具有果形硕大、色泽橙黄、果肉多汁等特点,芦柑除作为常见的鲜食水果外,还能加工成果脯、果醋和果酒等产品<sup>[2-4]</sup>.凭借着技术、品质和品牌的优势,永春芦柑连续5次卫冕全国、全省芦柑评比冠军,产品远销缅甸、马来西亚、印度尼西亚等28个国家和地区,占据东盟国家50%以上的市场份额,逐渐成为国内外知名品牌<sup>[5-6]</sup>.在永春芦柑产业蓬勃发展的同时,果园栽培管理不当的问题日益显现.课题组前期调研了永春县湖洋镇、岵山镇等大型芦柑园,发现果园土壤酸化严重,土壤pH值普遍低于4.5,最低检出值为3.9,明显低于芦柑的最适生长pH值范围5.5~6.5,严重破坏植物根际微生物群落的平衡,抑制果树对土壤矿物质元素的吸收,从而影响芦柑的产量.此外,果园土壤中有有效磷、速效钾含量偏低,有机质含量普遍在0.6%左右,处于全国土壤养分含量分级标准最低级(第6级),属于极缺乏水平<sup>[7]</sup>.诸多土壤问题使芦柑果实品质下降,暴露出永春县芦柑园管理相对粗放,忽视土壤肥力培养和微生态环境平衡的问题.因此,优化果园栽培管理模式,提高土壤养分,改善果实品质,已成为永春芦柑种植户的迫切需求.

微生物肥是一种通过微生物活动与代谢产生特定肥效的活体微生物制品,已被广泛应用于葡萄、柑橘、水蜜桃等农作物的生产,大量研究表明,施用微生物肥对果实增产提质,果园土壤改良具有重要的价值<sup>[8-11]</sup>.谢蜀豫等<sup>[12]</sup>发现,施加微生物肥可以明显提高阳光玫瑰葡萄果实的硬度和可溶性固形物、香气物质的含量,降低果实中可滴定酸含量,使果实色泽均匀、果粒饱满.刘文欢等<sup>[13]</sup>研究表明,微生物肥通过加强植株对环境中有有效钾、有效磷的吸收和土壤中营养物质的释放,改善果实出汁率,促进果实膨大,单果质量增加.褚长彬等<sup>[10]</sup>指出,混施微生物肥和有机肥能在一定程度上提高柑橘园土壤的微生物数量,增加土壤中有有效磷、有效钾、速效氮和有机质含量.乌音嘎等<sup>[14]</sup>认为,施用微生物肥能够显著提升土壤养分水平,降低土壤电导率值和pH值,改善土壤的生物学性状.

目前,福建省泉州市永春县芦柑果园生产以无机复合肥为主,其成本高昂且长期使用容易使果园土壤肥力下降.本文基于永春县芦柑园土壤现状,采用微生物肥代替传统无机复合肥,以促进芦柑提质增效.

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验在福建省泉州市永春县兴茂茶果蔬专业合作社进行.芦柑为2015年定植,土壤平均pH值为4.10,有机质质量比为 $6.78\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,有效磷质量比为 $10.81\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,水解性氮质量比为 $98.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .2021年3月,选择180棵树体长势一致、立地条件接近的芦柑果树.试验设处理组和对照组,所有试验组保持总氮(N)、磷(P)、钾(K)质量分数一致.其中,处理组施加豆粕为生物质来源,并添加课题组研制的微生物菌剂,经完全发酵后获得的液体微生物肥料,使用时每1L发酵液兑水至30L,每次每棵树滴水线内浇施30L稀释液;对照组先施用N,P,K质量分数均为15%的混合肥料2次,再施用N,P,K质量分数均为17%的混合肥料1次,每次每棵树滴水线内撒施0.5kg混合肥料.2个试验组各设置3个小区重复,每个小区处理30棵树(共180棵树).除肥料外,果园正常管理.

### 1.2 样品采集

2021年于芦柑成熟期(11月中旬)采集果实和土壤样品,2个试验组各3个小区,每个小区随机选取5棵芦柑果树(共30棵).在树体外侧的上部(U)、中部(Z)、下部(X)及树体内堂(I)4个部位各随机采集6个芦柑果实作为样品,将相同小区的样品混合,并迅速转移至实验室,冷藏保存.同时,在采样果树的滴水线附近,使用土壤取样器分别采集土层深度(H)为0~20,20~40,40~60,60~80 cm的土壤,将相同小区的土壤样品混匀,并迅速带回实验室,自然风干后,磨细备用.

### 1.3 指标测定

1.3.1 果实外观品质 采用YS6010型台式分光测色仪测定芦柑果实表面色差参数亮度( $L^*$ )、红绿色差( $a^*$ )和黄蓝色差( $b^*$ ),计算芦柑果实的综合色泽指数(CCI), $CCI=1\ 000 \times a^*/(L^* \times b^*)$ ,综合色泽指数值越小,表明果实外观着色度越高<sup>[13]</sup>;采用电子天平测定芦柑果实单果质量( $m$ );采用游标卡尺测定果实纵径( $L$ )、横径( $D$ )及果皮厚度( $\delta$ ),计算果形指数( $L/D$ );采用硬度计沿果实赤道面穿刺,测量果实硬度( $P$ )<sup>[15]</sup>.

1.3.2 果实内在品质 采用手持测糖仪检测芦柑果实的可溶性固形物质量分数(TSS);采用NaOH滴定法测定果实的可滴定酸的质量分数(TA),并计算固酸比(TSS/TA);通过2,6-二氯苯酚吲哚酚钠滴定法测量芦柑果实维生素C的质量比( $\omega(Vc)$ );根据蒽酮法,采用分光光度计绘制标准曲线,测定芦柑果实的可溶性糖质量分数(SS);将芦柑果实去皮、榨汁、过筛后,得到果渣,用电子天平分别测定果实、果皮和果渣的质量,并计算其出汁率( $\eta$ ),计算式<sup>[16]</sup>为

$$\text{出汁率} = \frac{\text{果实质量} - \text{果皮质量} - \text{果渣质量}}{\text{果实质量}} \times 100\%.$$

1.3.3 土壤养分 将土壤样品风干后,过20目标准分样筛,然后分别采用扩散法、氟化铵-盐酸浸提法、乙酸铵浸提-火焰光度法测定、重铬酸钾-硫酸氧化容量法<sup>[16]</sup>测定土壤中的水解性氮、有效磷、速效钾、有机质的质量比( $\omega$ (水解性氮), $\omega$ (有效磷), $\omega$ (速效钾), $\omega$ (有机质)).

### 1.4 数据处理及分析

采用Excel 2016对试验数据进行初步整理,使用SPSS 26软件进行统计分析和差异显著性分析,通过Origin 2021分析软件进行作图.

## 2 实验结果与分析

### 2.1 微生物肥对芦柑果实外观品质的影响

果实表面色差是影响芦柑外观品质的重要指标.微生物肥对芦柑果实表面色差的影响,如表1所示.表1中:同组数据后的不同小写字母表示差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ).由表1可知:施用微生物肥后,处理组内堂(I)果实的表面色差参数亮度( $L^*$ )、红绿色差( $a^*$ )及黄蓝色差( $b^*$ )相较对照组分别下降4.1%,57.9%和7.0%,其余处理组内和组间的差异不具有统计学意义;综合色泽指数(CCI)较对照组显著降低了15.0%~52.7%,表明微生物肥处理能促进芦柑果实着色.

表1 微生物肥对芦柑果实表面色差的影响

Tab.1 Effect of microbial fertilizer on surface color difference of Ponkan fruits

试验组	果实位置	$L^*$	$a^*$	$b^*$	CCI
对照组	U	57.13±4.59b	17.87±0.98a	52.13±3.95ab	5.99±0.61a
	Z	57.36±4.36b	16.51±0.80ab	52.46±3.46ab	5.41±0.82ab
	X	58.57±4.18ab	13.53±0.91bc	52.72±3.38ab	4.38±0.43cd
	I	59.61±3.74a	13.65±0.61bc	54.38±2.82a	4.21±0.39d
处理组	U	57.74±4.35b	15.77±0.58ab	53.31±3.36ab	5.09±0.62bc
	Z	57.23±4.25b	12.26±0.63cd	51.57±3.08ab	4.15±0.49d
	X	57.14±4.19b	10.46±0.74d	50.43±3.32b	3.62±0.46d
	I	57.18±4.86b	5.74±0.49e	50.55±3.81b	1.99±0.23e

微生物肥对芦柑果实外观品质的影响,如图1所示.由图1可知:微生物肥处理对果实单果质量和果皮厚度的影响较大,而果形指数和果实硬度较对照组变化不明显.

由图1(a)可知:处理组的单果质量相较于对照组均有所提高,其中,下部和内堂果实的单果质量较

对照组提高 3.3%~4.4%，表明微生物肥处理有助于提升芦柑产量；而处理组内上部、中部果实单果质量与下部、内堂果实单果质量有较大差异( $m_U > m_Z > m_I > m_X$ )，可能是不同部位所受的光照不同导致。

由图 1(b)可知：除上部果实外，其余处理组的果形指数均低于对照组 0.1%~1.2%，说明微生物肥处理的果实较对照组更加扁圆，但二者差异不具有统计学意义；同种试验组各部位果实的果形指数表现为  $(L/D)_X > (L/D)_I > (L/D)_Z > (L/D)_U$ ，说明下部果实较其他部位更趋向扁圆形。

由图 1(c)可知：除内堂果实的果实硬度有所下降外，处理组其余果实位置的果实硬度较对照组均增加 1.3%~3.8%，果实硬度的提高有利于改善芦柑的耐贮藏性，减少果实采摘和运输过程的损失；同一试验组各果实位置的果实硬度表现为  $P_X > P_Z > P_U > P_I$ ，表明下部果实较其他部位更耐贮藏。

由图 1(d)可知：除上部果实外，其余处理组的果皮厚度较对照组增加 0.2%~17.2%，果皮厚度的提高有助于降低果实在流通环节的损失；同一试验组各果实位置的果皮厚度表现为  $\delta_U > \delta_Z > \delta_X > \delta_I$ ，说明上部果实更适合长距离销售和运输。

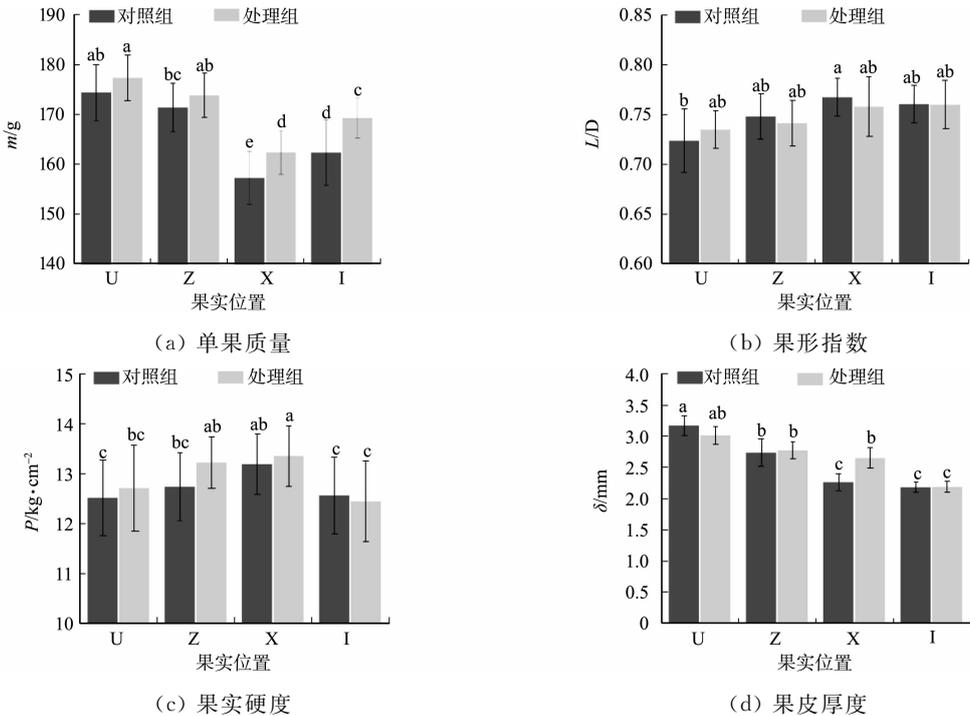


图 1 微生物肥对芦柑果实外观品质的影响

Fig. 1 Effect of microbial fertilizer on appearance quality of Ponkan friuts

## 2.2 微生物肥对芦柑果实内在品质的影响

微生物肥对芦柑果实内在品质的影响，如图 2 所示。由图 2 可知：可溶性固形物的质量分数保持在 11.3%~12.3%，较对照组差异不具有统计学意义；相较对照组，处理组下部和内堂果实的可滴定酸质量分数下降 17.3%~33.2%，而上部和中部果实的变化不明显；因此，除上部和中部果实固酸比(TSS/TA)差异较小外，下部和内堂果实较对照组显著提高 21.7%~42.2%；处理组上部果实的维生素 C 质量比较对照组提高 23.2%，其余位置果实的差异不具有统计学意义；果实可溶性糖质量分数较对照组下降 2.9%~3.1%；与对照组相比，各处理组出汁率的差异不具有统计学意义，同一试验组中，上部果实出汁率较低，内堂果实较高，可能是受果皮厚度差异的影响。上述结果表明，微生物肥处理能够减少果实可溶性酸的质量分数，提高固酸比和维生素 C 质量比，进一步改善芦柑的口感与风味，促进芦柑果实内在品质的提升。

## 2.3 微生物肥对芦柑园土壤养分的影响

微生物肥对芦柑园土壤养分的影响，如图 3 所示。由图 3 可知：施用微生物肥对芦柑园土壤养分有较大的影响，随着土层深度增加，除 60~80 cm 土壤水解性氮和 0~20 cm 土壤有效磷外，各试验组水解性氮、有效磷、速效钾及有机质的质量比均呈下降趋势；处理组土壤中速效钾与有机质的质量比均高于对照组，分别提升 13.4%~19.4%，2.0%~47.0%；0~20，60~80 cm 土壤中，处理组水解性氮质量比

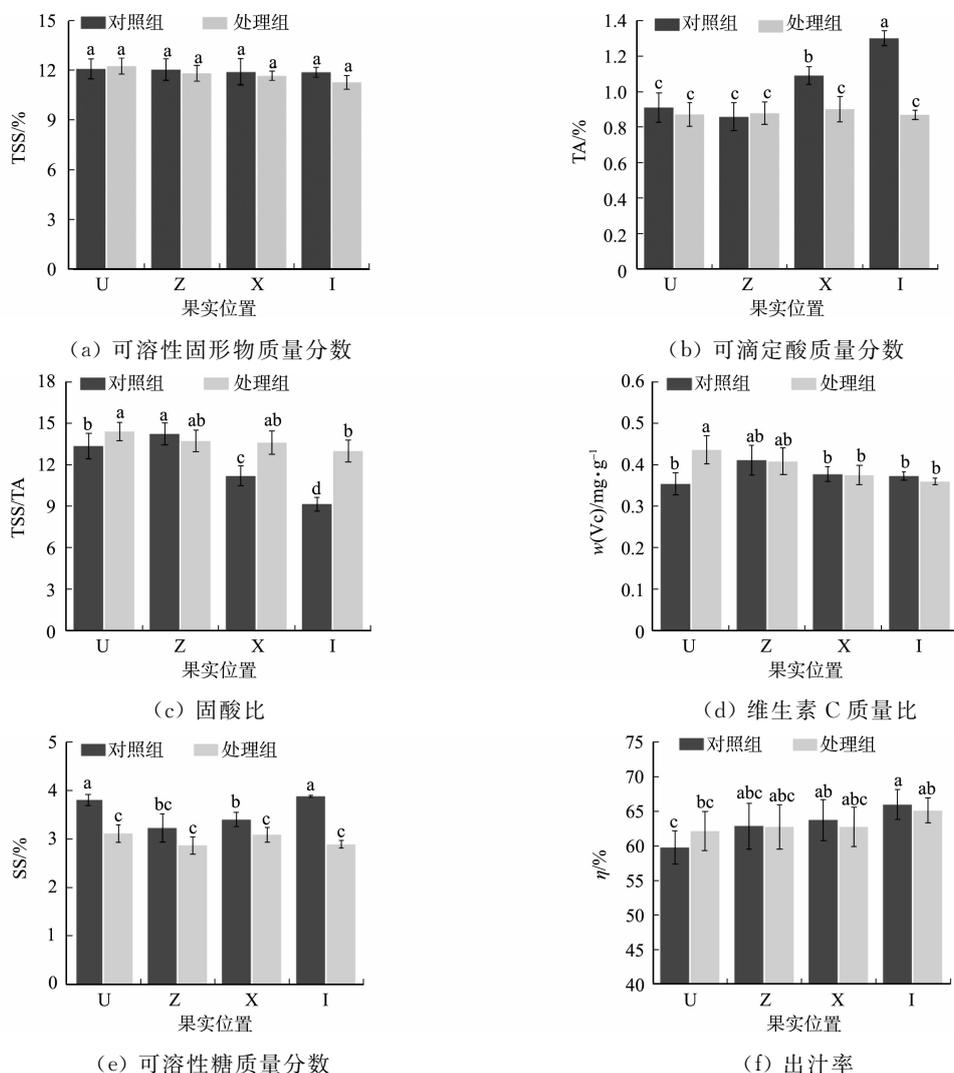
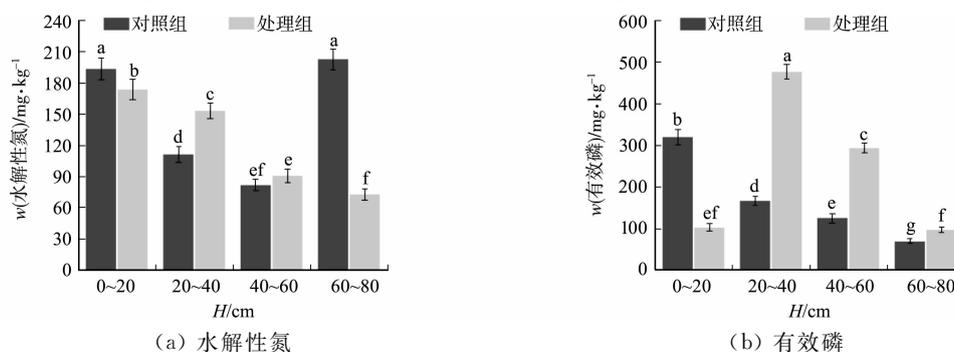


图 2 微生物肥对芦柑果实内在品质的影响

Fig. 2 Effect of microbial fertilizer on internal quality of Ponkan fruits



低于对照组, 其余土层深度处理组水解性氮质量比较对照组都有一定程度的提高, 其中, 处理组 20~40 cm 土壤的水解性氮质量比较对照组明显提升 37.8%; 与对照组相比, 处理组 0~20 cm 土壤中有效磷的质量比降低 68.3%, 处理组其余深度土壤中有效磷的质量比均显著增加, 提升幅度高达 42.4%~187.9%。结果表明, 微生物肥处理能有效提高土壤中有有效磷、速效钾和有机质的质量比。

### 3 结论

土壤养分是决定农作物品质的基础, 土壤中营养物质的循环转化依赖微生物的生长代谢, 微生物的活性是提高土壤养分的关键, 也是决定农作物品质的核心<sup>[9]</sup>。有益微生物能够改善耕地的微生态环境, 抑制病原菌的数量, 而良好的微生态环境又能促进有益菌群的增长<sup>[17]</sup>。长期滥用化学肥料会破坏土壤

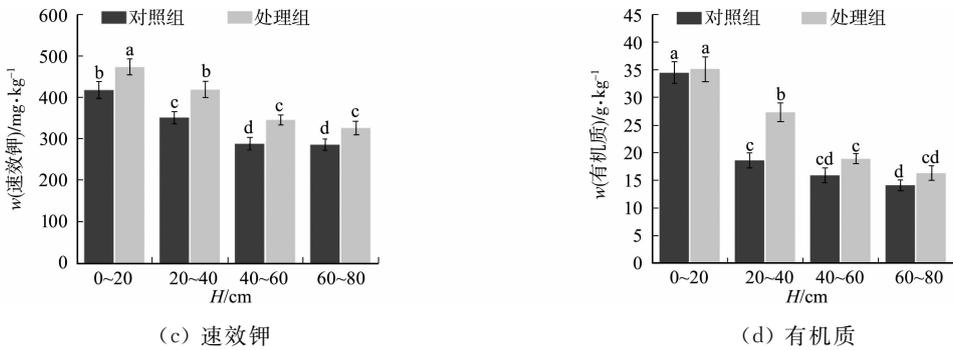


图3 微生物肥对芦柑园土壤养分的影响

Fig. 3 Effects of microbial fertilizer on soil nutrients in Ponkan orchard

的微生物平衡,导致耕地质量下降,从而影响农作物的品质<sup>[18]</sup>.微生物肥作为一种含有活性微生物的肥料,凭借其低成本、低污染的特点,逐渐代替化肥在农业生产中的重要作用<sup>[19]</sup>.大量研究表明,合理使用微生物肥能够改善土壤的生态环境,促进农作物的生长与增产,降低病害的发生和损失<sup>[20-22]</sup>.

研究表明,施加微生物肥后,芦柑果实的外观品质和内在品质均有所提升.相较于对照组,施用微生物肥有助于芦柑果实着色,其综合色泽指数CCI明显减少,外观品质更佳;果形指数有所降低,芦柑果实外形更加均匀、扁圆;单果质量较常规施肥有明显提升,芦柑增产明显;部分处理组的果实硬度和果皮厚度有一定程度的增加,有助于提高芦柑的耐贮藏能力,这与陈国品等<sup>[23]</sup>、Liu等<sup>[24]</sup>的研究结果相符.已有研究发现,果实单果质量和果皮厚度的增加得益于植株钾含量的提升,这可能与微生物肥对土壤速效营养元素的提高有关<sup>[13]</sup>.在内在品质方面,施加微生物肥能降低果实的可滴定酸质量分数,从而提高固酸比,使芦柑风味更佳,有研究指出,果实可滴定酸含量与农作物叶片磷水平相关,植株磷水平提高对果实降酸效果明显<sup>[13]</sup>;施用微生物肥后,芦柑果实的维生素C质量比明显增加,微生物肥通过增强农作物相关酶活性促进果实维生素C合成,这与于嘉欣等<sup>[25]</sup>、靳亚忠等<sup>[26]</sup>的观点相同.

土壤中有有效磷、速效钾及有机质等物质含量是评估耕地土壤质量的重要指标<sup>[27]</sup>.研究发现,微生物肥处理有利于耕地有机质含量提高,促进有效磷、速效钾等营养物质的释放,而土壤中水解性氮含量变化不明显,这与彭言劫等<sup>[28]</sup>的研究结果一致.微生物肥含有大量的有益微生物,通过自身代谢分解土壤中的有机质,产生更多能被植株利用的矿质营养元素和CO<sub>2</sub>,改善土壤结构和生态环境,从而促进农作物生长发育<sup>[28]</sup>.农作物磷水平的提高有助于改善果实风味,降低果实可滴定酸含量,提高固酸比;钾可以参与并增强植物光合作用,调节植株吸收、利用水分的效率,促进单果质量增加和果实着色<sup>[23-27]</sup>.

综上所述,施用微生物肥可以改善永春芦柑的品质,促进果园土壤养分的释放,增加肥料的有效利用率,减少传统化肥的使用,达到降低生产成本和田间污染的目的.文中探讨利用微生物肥代替传统化肥的可行性,为合理使用微生物肥、科学生产芦柑提供理论依据.但微生物肥的最佳使用方案、效用时间及对芦柑抗病害能力的影响等问题还需进一步深入研究.

## 参考文献:

- CAO Jinping, WANG Chengyang, XU Shuting, *et al.* The effects of transportation temperature on the decay rate and quality of postharvest Ponkan (*Citrus reticulata* Blanco) fruit in different storage periods[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 247: 42-48. DOI:10.1016/j.scienta.2018.12.009.
- 王玉霞, 李兵, 朱谦丽, 等. 添加不同水果的柑橘果酒酿造与品质分析[J]. *食品工业科技*, 2019, 40(2): 124-130. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2019.02.022.
- 杨宇驰, 杨馨悦, 周秀娟, 等. 两种发酵方式柑橘果醋品质特性的比较[J]. *中国酿造*, 2020, 39(9): 152-156. DOI:10.11882/j.issn.0254-5071.2020.09.029.
- 陈建福, 彭敏. 芦柑叶总黄酮的提取工艺优化及其抗氧化活性研究[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(4): 117-122. DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2021.04.020.
- 陈世平. 福建·永春芦柑走俏东盟[J]. *中国果业信息*, 2014, 31(11): 65.
- 陈世平. 福建·永春芦柑出口呈现三大亮点[J]. *中国果业信息*, 2014, 31(6): 63.
- 吴科生, 车宗贤, 包兴国, 等. 甘肃省武山县土壤养分特征及综合肥力评价[J]. *中国土壤与肥料*, 2021(3): 347-353.

- DOI:10.11838/sfsc.1673-6257.20147.
- [8] 张瑞福,颜春荣,张楠,等.微生物肥料研究及其在耕地质量提升中的应用前景[J].中国农业科技导报,2013,15(5):8-16. DOI:10.3969/j.issn.1008-0864.2013.05.02.
- [9] 雷金繁,曹京阳,刘艳玲,等.碳基复合微生物肥对“夏黑”葡萄生长的影响[J].北方园艺,2020(8):7-14. DOI:10.11937/bfy.20193365.
- [10] 褚长彬,吴淑杭,张学英,等.有机肥与微生物肥配施对柑橘土壤肥力及叶片养分的影响[J].中国农学通报,2012,28(22):201-205. DOI:10.11924/j.issn.1000-6850.2012-0228.
- [11] 刘涛,张涛,谢乐添,等.生物炭和微生物肥对水蜜桃产量和品质的影响[J].浙江农业科学,2021,62(2):284-289. DOI:10.16178/j.issn.0528-9017.20210215.
- [12] 谢蜀豫,曹慕明,黄秋凤,等.有机肥、微生物肥与化肥配施对阳光玫瑰葡萄果实品质及香气物质的影响[J].西南农业学报,2022,35(1):153-161. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2022.1.020.
- [13] 刘文欢,邱芳颖,王娅,等.枯草芽孢杆菌液态肥对柑橘养分吸收和果实品质的影响[J].园艺学报,2022,49(3):509-518. DOI:10.16420/j.issn.0513-353x.2021-0053.
- [14] 乌音嘎,乌恩,吴澜,等.复合微生物肥对碱土生物学性状与土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2021(1):197-203. DOI:10.11838/sfsc.1673-6257.19585.
- [15] 李有芳.云南玉溪柑橘土壤养分和树体营养状况研究[D].重庆:西南大学,2019.
- [16] 周上铃.柠檬园土壤养分、叶片营养与果实品质的相关性研究[D].重庆:西南大学,2021.
- [17] 张绪美,曹亚茹,沈文忠,等.微生物肥对设施土壤次生盐渍化和番茄生产的影响[J].中国土壤与肥料,2019(5):119-126. DOI:10.11838/sfsc.1673-6257.18392.
- [18] ZHU Hongji, SUN Lifan, ZHANG Yanfei, *et al.* Conversion of spent mushroom substrate to biofertilizer using a stress-tolerant phosphate-solubilizing *Pichia farinose* FL7[J]. Bioresource Technology, 2012, 111: 410-416. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.02.042.
- [19] CHAKRABORTY P, SARKER R K, ROY R, *et al.* Bioaugmentation of soil with *Enterobacter cloacae* AKS7 enhances soil nitrogen content and boosts soil microbial functional-diversity[J]. 3 Biotech, 2019, 9: 253. DOI: 10.1007/s13205-019-1791-8.
- [20] QIU Meihua, ZHANG Ruifu, XUE Chao, *et al.* Application of bio-organic fertilizer can control *Fusarium* wilt of cucumber plants by regulating microbial community of rhizosphere soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2012, 48: 807-816. DOI:10.1007/s00374-012-0675-4.
- [21] YANG Wenling, GONG Tao, WANG Jiwen, *et al.* Effects of compound microbial fertilizer on soil characteristics and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 2020, 20(4): 2740-2748. DOI:10.1007/s42729-020-00340-9.
- [22] WAN Lianjie, TIAN Yang, HE Man, *et al.* Effects of chemical fertilizer combined with organic fertilizer application on soil properties, citrus growth physiology, and yield[J]. Agriculture, 2021, 11(12): 1-15. DOI:10.3390/agriculture1121207.
- [23] 陈国品,李玮,谢蜀豫,等.2种类型微生物肥对夏黑葡萄生长发育及果实品质的影响[J].西南农业学报,2021,34(1):106-112. DOI:10.16213/j.cnki.scjas.2021.1.016.
- [24] LIU Yang, XU Ximin, FU Haiyan, *et al.* Effects of microbial fertilizer on apple fruit quality[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 446: 032102(1-6). DOI:10.1088/1755-1315/446/3/032102.
- [25] 于嘉欣,龙文聪,肖析蒙,等.竹纤维高分子菌肥对软籽石榴产量及品质的影响[J].中国土壤与肥料,2021(3):143-147. DOI:10.11838/sfsc.1673-6257.20713.
- [26] 靳亚忠,熊亚男,孙雪,等.化肥减施与木霉菌有机肥配施对辣椒产量、品质及根际土壤酶活性的影响[J].四川农业大学学报,2021,39(2):198-204. DOI:10.16036/j.issn.1000-2650.2021.02.009.
- [27] 刘娟,张乃明,邓洪.勐海县茶园土壤养分状况及肥力质量评价[J].农业资源与环境学报,2021,38(1):79-86. DOI:10.13254/j.jare.2020.0063.
- [28] 彭言劼,宋春草,康颖,等.竹纤维微生物肥对“巨峰”葡萄发育和土壤养分的影响[J].中外葡萄与葡萄酒,2021(4):45-49. DOI:10.13414/j.cnki.zwpp.2021.04.009.

(责任编辑:黄晓楠 英文审校:刘源岗)