

## 优化施肥对上海产区温州蜜柑生长的影响

丰智松<sup>1</sup>, 段志平<sup>1</sup>, 李增源<sup>1</sup>, 张卫峰<sup>1\*</sup>, 陈磊<sup>2</sup>, 安琪琪<sup>3</sup>

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100083; 2. 上海市崇明区生态农业科创中心, 上海 202150;  
3. 上海市崇明区农产品质量安全中心, 上海 202150)

**摘要:** 研究不同优化施肥模式对温州蜜柑产量、品质及树体生长的影响, 为实现温州蜜柑高产优质提供技术指导。以温州蜜柑田间试验为基础, 设置 4 个处理: FM 处理 (农户习惯施肥)、OF 处理 (FM+ 有机肥)、OPT 处理 (氮、磷、钾优化+ 有机肥)、COF 处理 (OPT+ 钙、镁)。3 种优化施肥模式均可促进温州蜜柑的生长, 施用有机肥短期效果不明显, 优化氮、磷、钾并施用有机肥可以显著地促进树体后期的生长。优化氮、磷、钾并施用有机肥的基础上再补充钙、镁元素效果最佳, 相较于农户习惯施肥, 显著提高了春梢各生长指标; 叶片 SPAD 值和矿质养分含量均显著提高; 果实横径、果实纵径、单果重、挂果数和产量分别显著提高了 9.69%、8.66%、6.68%、4.74%、11.76%; 果实还原糖、维生素 C、可溶性固形物、固酸比和可食率分别显著提高了 55.67%、21.45%、8.21%、27.12%、2.48%。综合优化养分管理可以平衡树体养分, 激发树体产量潜力并提高品质。

**关键词:** 温州蜜柑; 养分管理; 产量; 品质

广大消费者青睐于柑橘的独特风味。目前柑橘已经成为我国第一大果树<sup>[1]</sup>, 其品种资源非常丰富, 包括宽皮柑橘、橙类、柚类、柠檬等。其中, 宽皮柑橘种植面积最广, 占总种植面积的 66.71%<sup>[2]</sup>。宽皮柑橘品种繁多, 主栽品种为温州蜜柑, 因其具有抗逆性好、适应性广、高产稳产等特点, 成为宽皮柑橘中在我国及世界种植面积最广的一个品种<sup>[2]</sup>。20 世纪 70 年代上海市崇明区引进温州蜜柑品种, 通过技术改良形成一定规模, 并成功突破柑橘分布北缘低温临界线, 成为崇明区经济果林的优选树种<sup>[3]</sup>。科学施肥是果树优质高产的重要技术环节。但是, 当前我国大部分果农缺乏科学的种植管理经验, 存在盲目施肥、肥料配比施用不合理、忽视中微量元素的补充、不施用有机肥等问题<sup>[4-5]</sup>, 导致肥料利用率低, 生产成本高, 果实品质不佳、部分果园存在钙、镁缺乏的现象<sup>[6-7]</sup>, 过量的养分投入也会带来环境风险<sup>[8]</sup>。多年不合理施肥导致树体营养不均衡, 抗性弱, 2021 年元旦前后的寒潮严重损伤了柑橘树势, 柑橘园受到了不同程度的冻害。

因此, 研究科学施肥技术对解决上述柑橘生产

中存在的问题, 增强树势, 进而提质增效具有重大意义。前人研究表明, 施用有机肥可提高果树的产量和品质指标<sup>[9-11]</sup>。范美蓉等<sup>[12]</sup>研究表明, 有机无机配施可以增加柑橘的产量, 改善品质并提高收益。王鲲鹏等<sup>[13]</sup>研究表明, 根据温州蜜柑养分需求优化施肥不仅可以改善果实外观品质, 还可以提高化渣性。位高生等<sup>[14]</sup>研究发现, 适当降低施肥量不会影响琯溪蜜柚的产量, 而且有提高果实品质的作用。在常规施肥的基础上, 多种中微量元素配施可以提高果实的产量和品质<sup>[15-16]</sup>。在氮、磷、钾肥料优化的基础上, 配施钙、镁会显著降低果肉瓢瓣剪切力和剪切功, 改善柑橘果肉化渣性并提高品质<sup>[17]</sup>。由此可见, 科学均衡地提供养分是保证柑橘高产、优质、低耗的重要措施。前人已针对柑橘开展了测土配方施肥、有机无机配施、常规施肥补充中微量元素等田间试验<sup>[12, 17-18]</sup>, 但是多集中在单因素养分调控方面。基于此, 本研究根据温州蜜柑的养分需求规律设计了专用套餐肥, 配施有机肥并补充钙、镁元素, 为实现温州蜜柑的高产优质提供科学施肥指导。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验地概况

试验于 2020 年 12 月 15 日至 2021 年 12 月 15 日在上海市崇明区绿华镇绿园村 (31° 37' 22.1" N, 121° 21' 38.7" E) 进行。该试验区为亚热带季风气候区,

收稿日期: 2022-01-17; 录用日期: 2022-02-28

基金项目: 上海科技兴农项目 [沪农科推字 (2020) 第 2-2 号]。

作者简介: 丰智松 (1996-), 在读硕士研究生, 主要从事植物营养与高效施肥研究。E-mail: 18730279136@163.com。

通讯作者: 张卫峰, E-mail: wfzhang@cau.edu.cn。

日照充足,年平均气温在 16 ~ 17 ℃, ≥10 ℃积温 2699 ~ 2995 ℃,无霜期 236 d,雨量丰沛,年平均降水量 1129 ~ 1149 mm,降雨呈现明显的季节性,集中在梅雨季,年均日照时数 1937 ~ 2104 h。2021 年 1 月受寒潮影响,对本试验地 2021 年产量也造成了一定的影响。

试验品种为温州蜜柑,具有 25 年树龄,砧木为枳壳,行距 3 m,株距 3 m,1125 棵/hm<sup>2</sup>。试验地土壤(0 ~ 30 cm)理化性质:pH 6.8,有机质 13.50 g/kg,碱解氮 97.90 mg/kg,有效磷 122.5 mg/kg,速效钾 139.80 mg/kg,交换性钙 1196.82 mg/kg,交换性镁 78.41 mg/kg。

### 1.2 专用肥设计

张珍珍<sup>[19]</sup>通过文献调研结果表明,每生产 1 t 柑橘,需要施用氮、磷、钾分别为 10.4、5.2、8.2 kg。结合崇明当地的平均产量水平 45 t/hm<sup>2</sup>,并在此基础上以产量提升 20% 为目标,设计目标产量 54 t/hm<sup>2</sup>。同时,考虑到当地为砂壤土,则目标产量下温州蜜柑需要施用氮 540 kg/hm<sup>2</sup>、磷 280 kg/hm<sup>2</sup>、钾 450 kg/hm<sup>2</sup>。结合温州蜜柑各阶段的养分需求规律,萌芽肥(氮肥施用占全年 30% ~ 40%、磷肥占 40% ~ 50%、钾肥占 20% ~ 30%),壮果肥(氮、磷、钾肥各占 20% ~ 30%),采果肥(氮肥占 30% ~ 40%、磷肥占 20% ~ 30%,钾肥占 40% ~ 50%),据此形成春肥养分配比 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 22 : 8 : 15,壮果肥养分配比 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 15 : 5 : 20,采果肥养分配比 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 16 : 13 : 8。

### 1.3 供试肥料

商品有机肥(主要原料为奶牛粪、稻壳,有机

质 ≥60%、N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O ≥3%、有效活菌数 >2 亿个/g,购自江苏思威博生物科技有限公司)。专用肥(萌芽肥 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 22 : 8 : 15,壮果肥 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 15 : 5 : 20,采果肥 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 16 : 13 : 8,由安徽司尔特肥业股份有限公司生产)。尿素(N ≥46%,购自河南心连心化肥有限公司)。复合肥(15-15-15 和 17-17-17,购自四川美丰化工有限公司)。七水硫酸镁(MgO ≥18%,购自山东海利丰生物科技有限公司)。大丰收糖醇钙(Ca ≥150 g/L, Mg ≥25 g/L,购自深圳市五谷网络科技有限公司)。

### 1.4 试验设计

试验设 4 个处理,分别为农户习惯施肥(FM)、FM+ 有机肥(OF)、有机肥+优化氮、磷、钾(OPT)、OPT+ 中量元素(COF)(表 1)。每个处理 3 次重复,共 12 个小区,共计 534 m<sup>2</sup>,每个小区选取生长状况较为一致的 4 棵果树,小区间设置 1 棵保护树,试验小区按照随机区组排列。

(1) 农户习惯施肥(FM): 采用当地农民习惯施肥方式。

(2) FM+ 有机肥(OF): 在农户习惯施肥的基础上,施用商品有机肥。

(3) 有机肥+优化氮、磷、钾(OPT): 商品有机肥配施专用肥。

(4) OPT+ 中量元素(COF): 在商品有机肥配施专用肥的基础上补充钙、镁。土施七水硫酸镁(MgO ≥18%),并在膨果期喷施 1000 倍的糖醇钙(Ca ≥150 g/L, Mg ≥25 g/L),5 ~ 9 月期间,每 15 ~ 20 d 喷 1 次,共 8 次。

表 1 试验具体方案

| 时期      | 月份 | FM                            |               | OF                            |               | OPT                           |               | COF                           |               |
|---------|----|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
|         |    | 肥料种类                          | 施肥量<br>(kg/棵) | 肥料种类                          | 施肥量<br>(kg/棵) | 肥料种类                          | 施肥量<br>(kg/棵) | 肥料种类                          | 施肥量<br>(kg/棵) |
| 萌芽肥     | 3  | 尿素                            | 0.5           | 商品有机肥                         | 30            | 商品有机肥                         | 30            | 商品有机肥                         | 30            |
|         |    | 复合肥 17-17-17                  | 0.7           | 尿素                            | 0.5           | 专用肥 22-8-15                   | 1             | 专用肥 22-8-15                   | 1             |
| 稳果肥     | 5  | 尿素                            | 0.7           | 复合肥 17-17-17                  | 0.7           | 专用肥 15-5-20                   | 0.5           | 七水硫酸镁                         | 0.25          |
|         |    | 复合肥 17-17-17                  | 0.7           | 尿素                            | 0.7           | 专用肥 15-5-20                   | 0.5           | 专用肥 15-5-20                   | 0.5           |
| 壮果肥     | 7  | 复合肥 17-17-17                  | 0.7           | 复合肥 17-17-17                  | 0.7           | 专用肥 15-5-20                   | 0.5           | 专用肥 15-5-20                   | 0.5           |
|         |    |                               |               |                               |               |                               |               | 七水硫酸镁                         | 0.25          |
| 采果肥     | 11 | 复合肥 15-15-15                  | 0.7           | 复合肥 15-15-15                  | 0.7           | 专用肥 16-13-8                   | 1             | 专用肥 16-13-8                   | 1             |
| 总计(养分量) |    | N                             | 1.0           | N                             | 1.0           | N                             | 0.53          | N                             | 0.53          |
|         |    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.46          | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.46          | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.26          | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.26          |
|         |    | K <sub>2</sub> O              | 0.46          | K <sub>2</sub> O              | 0.46          | K <sub>2</sub> O              | 0.43          | K <sub>2</sub> O              | 0.43          |
|         |    |                               |               |                               |               |                               |               | MgO                           | 0.1           |

注:养分量以化肥施用量折算。各处理施肥方式均为穴施。COF 处理每棵树喷施 7 mL 糖醇钙稳果肥和壮果肥。

## 1.5 样品采集与测定

### 1.5.1 样品采集

春梢调查：在当年春梢长停时，8月10日对各小区每棵树进行调查，选取1/4树冠调查春梢抽发数量；每棵树从东、西、南、北4个方向随机各选取2根枝条测量春梢长度，并用卷尺测定；在春梢基部1 cm处用游标卡尺测量其粗度。

叶片采集：在2021年5月15日、7月15日、9月15日、11月15日进行采集，在每棵取样树树冠的外围东、西、南、北4个方位采当年生春梢营养枝顶部第3叶片，每株采16片叶，每个小区4棵树所采叶片形成1个混合样。叶片带回实验室，分别于中性洗涤剂洗涤30 s、清水洗涤、0.2% HCl洗涤30 s、去离子水洗净后，105℃杀青30 min，75℃烘干至恒重，研钵中研磨后，过0.5 mm筛子，混匀装袋备用。

果实样品采集：在2021年11月中下旬进行果实样品采集，在每棵树树冠外围东、西、南、北4个方位各采果实1个，每个小区4棵树的果实样混合为1个样品。果实带回实验室用于各项品质指标测定。

### 1.5.2 测定指标与方法

产量与品质的测定：挂果量：实测每棵树挂果量；单果重：电子天平；产量：单果重与挂果量乘积；果实纵横径：游标卡尺测定；果形指数：纵横径比值；可食率：果肉占单果重的百分比；可滴定酸：NaOH中和滴定法；可溶性固形物：手持数显糖量计测定；固酸比：可溶性固形物与可滴定酸的比值；维生素C含量：2,6-二氯酚酚滴定法；还原糖：高锰酸钾滴定法<sup>[20]</sup>。

叶片养分及SPAD值测定： $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮后，氮采用凯氏定氮法测定；磷采用钒钼黄比色法测定；钾采用火焰光度法测定；钙、镁采用原子吸收分光光度法测定。叶片SPAD值采用手持SPAD仪测定<sup>[20]</sup>。

### 1.6 数据分析

试验数据采用Excel 2019和SPSS 18.0进行分析，采用单因素方差分析和LSD差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对温州蜜柑春梢生长的影响

于2021年8月测定柑橘春梢，柑橘枝梢的生长可以帮助树体形成树冠、增大叶面积，贮藏营养

物质，是开花结果的基础。尤其是春梢的长势影响着当年的产量。如表2所示，施用有机肥即OF处理，春梢抽发数量为204.66枝，较FM处理提高了7.72%，同时也有提高梢长、梢粗的趋势，但差异不显著。而在此基础上优化氮、磷、钾即OPT处理，梢长为11.00 cm，较FM处理提高了32.05%；梢数为199.33枝，显著提高了4.91%。在此基础上进一步补充钙、镁元素即COF处理，可以提高春梢的梢粗、梢长、梢数，分别较FM处理提高了11.50%、56.06%、15.61%。综上所述，OF处理可以增加春梢的枝数，OPT处理可以增加春梢长度和枝数，而综合优化COF处理促进了春梢长度、粗度和枝数。

表2 不同处理对温州蜜柑春梢生长的影响

| 处理  | 梢粗 (mm)       | 梢长 (cm)        | 梢数 (枝)         |
|-----|---------------|----------------|----------------|
| FM  | 2.87 ± 0.11b  | 8.33 ± 1.15c   | 190.00 ± 5.00c |
| OF  | 2.96 ± 0.06ab | 9.33 ± 0.58bc  | 204.66 ± 3.46b |
| OPT | 2.91 ± 0.12ab | 11.00 ± 1.73ab | 199.33 ± 3.05b |
| COF | 3.20 ± 0.26a  | 13.00 ± 1.00a  | 219.66 ± 4.51a |

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P < 0.05$ )。下同。

### 2.2 不同处理对温州蜜柑春梢SPAD值的影响

叶绿素在作物进行光合作用过程中起核心作用，树体的营养和生长状况影响叶绿素的合成，进而表现在叶色上，而SPAD值可以在一定程度上反映叶绿素的相对含量，如图1所示，温州蜜柑春梢SPAD值在5~9月呈上升趋势，6月上升速度最快，在9月趋于稳定。施用有机肥即OF处理在各个时期均不能提高SPAD值；在此基础上优化氮、磷、钾即OPT处理，SPAD值后期逐渐显效，尤其在7月较FM处理提高了9.61%；进一步补充钙、镁元素即COF处理，发现在5、7、9、11月SPAD值较FM处理分别提高了24.46%、9.96%、16.75%、6.08%。

### 2.3 不同处理对温州蜜柑春梢叶片矿质养分含量的影响

如图2所示，温州蜜柑春梢叶片氮含量在5~7月呈下降趋势，7~9月缓慢上升，9~11月趋于稳定。OF处理在各时期较FM处理均未显著增加叶片氮含量；在此基础上优化氮、磷、钾即OPT处理，9、11月叶片氮含量分别为3.31%、3.30%，较FM处理而言，分别显著提高了3.11%、2.48%；进一步补充钙、镁元素即COF处理，9、11月叶片氮含量



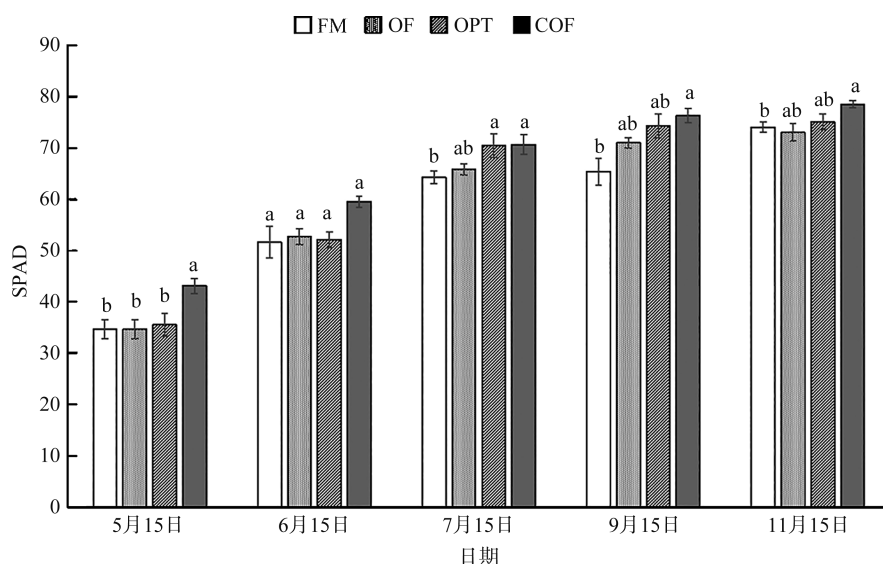


图1 不同处理对叶片 SPAD 的影响

注：图柱上不同小写字母表示同一日期处理间差异显著 ( $P<0.05$ )。下同。

较 FM 处理而言，分别显著提高了 3.12%、4.97%。

叶片磷含量在 5 ~ 7 月呈下降趋势，7 ~ 9 月缓慢上升，9 ~ 11 月略有下降，并逐渐稳定。OF 处理在各时期较 FM 处理均未显著增加叶片磷含量；在此基础上优化氮、磷、钾即 OPT 处理，有增加叶片磷含量的趋势，但各时期差异均不显著；进一步补充钙、镁元素即 COF 处理，5、7、9 月叶片磷含量较 FM 处理分别显著增加了 17.65%、20.39%、4.76%。

叶片钾含量在 5 ~ 11 月呈逐渐下降的趋势，5 ~ 7 月叶片钾含量下降速率高于 7 ~ 11 月。OF 处理在各时期较 FM 处理均未显著增加叶片钾含量；在此基础上优化氮、磷、钾即 OPT 处理，较 FM 处理而言，9、11 月叶片钾含量分别显著提高 15.06%、24.35%；进一步补充钙、镁元素即 COF 处理，较 OPT 处理而言，叶片钾含量有下降的趋势，9 月叶片钾含量显著下降 6.10%，但仍显著高于 FM 处理。

叶片钙含量在 5 ~ 11 月呈逐渐上升的趋势，7 ~ 9 月叶片钙含量上升速率较快。OF 处理有增加叶片钙含量的趋势，尤其在 9 月，OF 处理叶片钙含量较 FM 处理显著提高 16.22%；在此基础上优化氮、磷、钾即 OPT 处理，9 月叶片钙含量较 FM 处理显著提高 20.27%；再进一步补充钙、镁即 COF 处理，7、9、11 月叶片钙含量分别较 FM 处理提高了 42.55%、20.17%、15.41%。

叶片镁含量在 5 ~ 7 月呈上升趋势，然后 7 ~ 9 月逐渐下降，9 ~ 11 月缓慢上升趋于稳定。

OF 处理有增加叶片镁含量的趋势，尤其在 9 月，OF 处理叶片镁含量为 0.27%，较 FM 处理显著提高 8.00%；在此基础上优化氮、磷、钾即 OPT 处理，仍较 FM 处理显著提高 8.00%；再进一步补充钙、镁即 COF 处理，9、11 月叶片镁含量分别较 FM 处理提高了 16.00%、29.63%。

#### 2.4 不同处理对温州蜜柑产量构成的影响

果实纵横径可以间接衡量单果重，且果实横径及果形指数是果实进入市场进行商品分级的重要指标之一，也会影响到消费者的购买欲望。单果重和挂果量是影响产量的重要指标之一。如表 3 所示，OF 处理柑橘横径为 69.42 mm，纵径为 59.07 mm，较 FM 处理分别提高了 6.28%、7.46%，其他各指标差异不显著。在此基础上优化氮、磷、钾即 OPT 处理，柑橘横径为 71.37 mm，纵径为 58.55 mm，较 FM 处理分别提高了 9.26%、6.51%，其他各指标差异不显著。再进一步补充钙、镁即 COF 处理，柑橘横径为 71.65 mm，纵径为 59.73 mm，较 FM 处理分别提高了 9.69%、8.66%，单果重、挂果数、产量分别为 153.71 g、309.33 个/棵、53.49 t/hm<sup>2</sup>，较 FM 处理分别显著提高了 6.68%、4.74%、11.76%。综上所述，各优化处理可以提高果实的横径、纵径，从而提高单个果实体积，而对果形指数影响不大。综合优化的 COF 处理可以提高单果重、挂果量和产量，这可能是因为该处理优化了树体营养平衡所需要的养分，调整了各时期氮、磷、钾肥的合理用量，并补充了钙、镁养分元素，激发了树体的产量潜力。

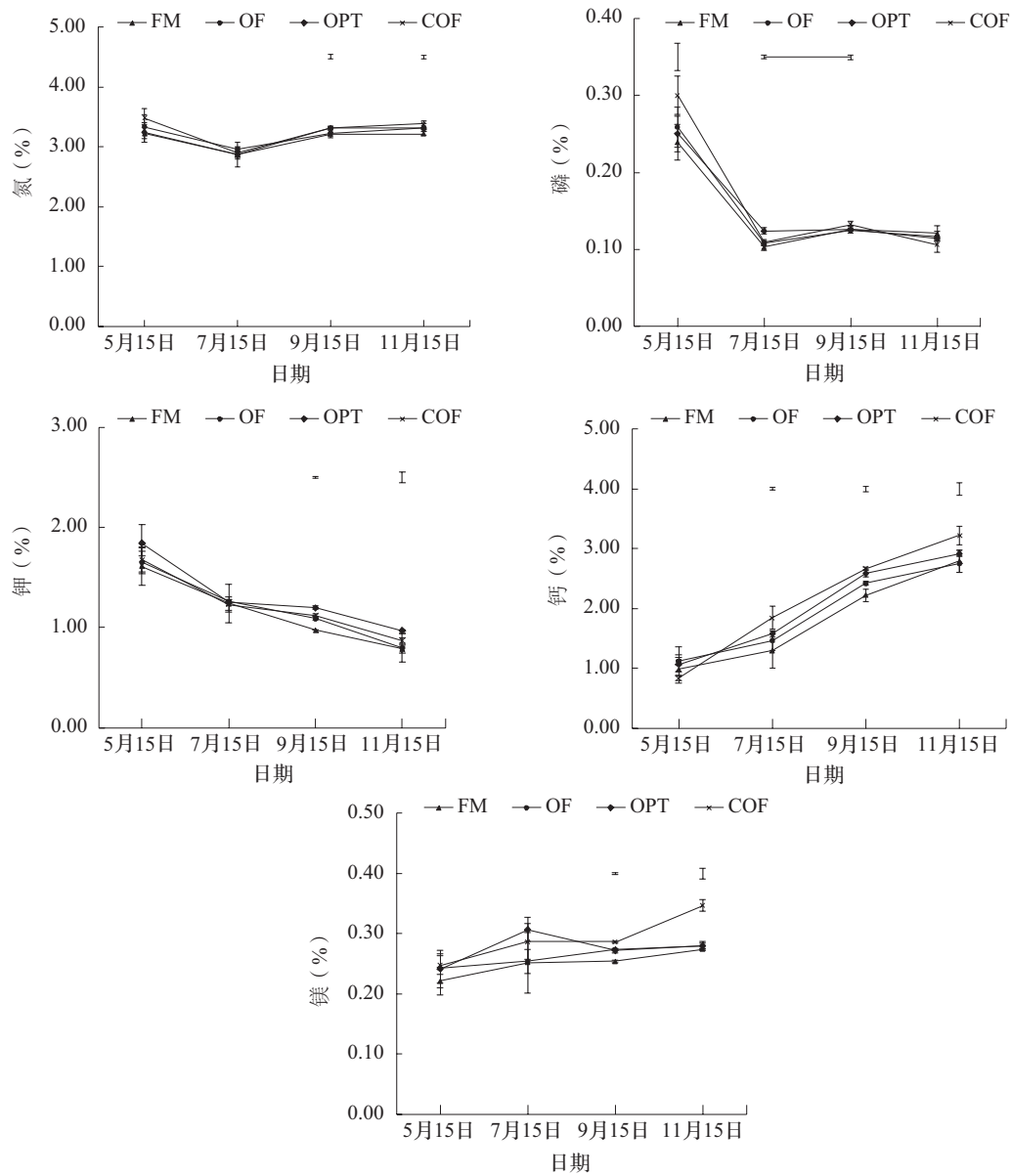


图 2 不同处理对叶片矿质养分含量的影响

表 3 不同处理对温州蜜柑产量构成的影响

| 处理  | 横径 (mm)       | 纵径 (mm)       | 果形指数         | 单果重 (g)          | 挂果量 (个/棵)       | 产量 (t/hm <sup>2</sup> ) |
|-----|---------------|---------------|--------------|------------------|-----------------|-------------------------|
| FM  | 65.32 ± 0.59b | 54.97 ± 1.16b | 0.84 ± 0.02a | 144.08 ± 3.62b   | 295.33 ± 6.51b  | 47.86 ± 1.19b           |
| OF  | 69.42 ± 0.85a | 59.07 ± 0.73a | 0.85 ± 0.02a | 140.87 ± 15.34ab | 304.00 ± 6.56ab | 48.14 ± 4.87b           |
| OPT | 71.37 ± 1.73a | 58.55 ± 1.38a | 0.82 ± 0.01a | 151.07 ± 7.85ab  | 305.33 ± 9.29ab | 51.85 ± 1.75ab          |
| COF | 71.65 ± 1.29a | 59.73 ± 2.81a | 0.83 ± 0.04a | 153.71 ± 1.29a   | 309.33 ± 4.01a  | 53.49 ± 2.07a           |

2.5 不同处理对温州蜜柑品质的影响

柑橘的品质可以体现其风味和营养价值。如表 4 所示, OF 处理有提高各品质指标的趋势, 维生素 C、可溶性固形物、固酸比、可食率较 FM 处理分别增加了 5.23%、1.00%、6.33%、1.37%, 但

差异均不显著。在此基础上优化氮、磷、钾即 OPT 处理有提高品质指标的趋势, 但较 FM 处理各品质指标差异仍不显著。再进一步补充钙、镁即 COF 处理, 还原糖、维生素 C、可溶性固形物、固酸比、可食率分别为 7.83%、36.47 mg/100 g、11.47%、

18.56%、83.57%，较 FM 处理分别显著提高 55.67%、21.45%、8.21%、27.12%，2.48%。综上所述，综合

优化的 COF 处理改善温州蜜柑品质的效果最佳，其他优化处理也有改善温州蜜柑品质的趋势。

表 4 不同处理对温州蜜柑品质的影响

| 处理  | 还原糖 (%)      | 维生素 C (mg/100 g) | 可溶性固形物 (%)     | 可滴定酸 (%)     | 固酸比            | 可食率 (%)        |
|-----|--------------|------------------|----------------|--------------|----------------|----------------|
| FM  | 5.03 ± 0.21b | 30.03 ± 1.00b    | 10.60 ± 0.35b  | 0.73 ± 0.02a | 14.60 ± 0.88b  | 81.55 ± 0.83b  |
| OF  | 4.40 ± 1.37b | 31.60 ± 0.53ab   | 10.97 ± 0.68ab | 0.62 ± 0.07a | 17.79 ± 1.91ab | 82.67 ± 0.43ab |
| OPT | 4.33 ± 0.15b | 31.07 ± 5.88ab   | 11.33 ± 0.23ab | 0.69 ± 0.10a | 16.73 ± 2.31ab | 82.95 ± 1.33ab |
| COF | 7.83 ± 2.59a | 36.47 ± 2.20a    | 11.47 ± 0.12a  | 0.62 ± 0.05a | 18.56 ± 1.38a  | 83.57 ± 1.06a  |

### 3 讨论

施用有机肥 OF 处理的春梢数量显著高于 FM 处理，实现了攻梢的作用，这说明有机肥的施用可能活化了土壤矿质养分，促进了根系的生长，从而提高了树体的养分供应水平<sup>[21]</sup>。OF 处理增加了柑橘的横径和纵径，且显著高于 FM 处理，这说明施用有机肥在一定程度上可以使柑橘的果实体积增大，进而有提高果实产量的潜力<sup>[22]</sup>。但本研究中 OF、FM 处理在叶片各矿质养分含量、单果重、产量和品质方面差异不显著，已有相关研究表明施用有机肥可以提高叶片中矿质养分的含量，尤其是中微量元素<sup>[23]</sup>，还可以提高产量和优果率<sup>[24]</sup>，并在一定程度上改善品质提高风味<sup>[25]</sup>。而施用有机肥的益处并未在本研究中表现出来，这可能是因为有机肥所释放的养分缓慢且持续，只有长期施用才能体现出较好的效果<sup>[26]</sup>。

合理优化施肥是提高柑橘产量和品质的有效途径，叶荣生<sup>[27]</sup>的研究结果表明，有机无机配施不仅可以培肥土壤，还能改善柑橘品质。崔恒<sup>[28]</sup>研究发现，柑橘专用肥可以在降低施肥量的前提下提升品质。本研究中在施用有机肥的基础上优化氮、磷、钾即 OPT 处理显著提高了春梢抽发数量，并在后期显著提高了叶片 SPAD 值和矿质养分含量，这可能是因为有机肥养分的缓慢释放并配合专用肥，优化了氮、磷、钾的配比，养分供应更有针对性，满足了后期树体对养分的需求。处理 OPT 虽然可以在一定程度上提高产量和品质，但效果不太明显，这与郭志刚等<sup>[29]</sup>的研究结果相似，温州蜜柑经过 1 年的均衡施肥，其产量并未提高。而王鲲鹏等<sup>[13]</sup>则发现，多年优化施肥还可以显著改善温州蜜柑的色泽品质，同时提高其化渣性。这说明只有长期施用专用肥料才可以实现在肥料减量的前提下提高产量并改善品质。

综合优化的 COF 处理对春梢生长状况的影响显著高于 FM 处理。这说明补充钙、镁可以促进春梢的抽发，这与钙、镁参与植物体光合产物的运输，加快营养物质的输送有关<sup>[30]</sup>。COF 处理叶片 SPAD 值在各时期均显著高于 FM 处理，这可能是补充钙、镁元素的原因，郑武林<sup>[31]</sup>的研究结果表明，补镁可以提高叶片 SPAD 值，从而有利于提高光合效率，增强光合作用的产物，为产量和品质的提升提供有利条件。王媛媛<sup>[32]</sup>的研究表明，施钙可以提高叶片中叶绿素含量和光合速率。COF 处理产量显著高于 FM 处理，这可能是因为补充钙、镁后树体养分可能会相对平衡，从而进一步激发了产量潜力，已有研究表明树体内养分平衡与产量关系密切，当树体内养分相对平衡时可以获得较高的产量<sup>[33]</sup>。并且养分元素镁、钙和柑橘产量有密切的联系，鲁剑巍<sup>[34]</sup>的研究表明，柑橘树补镁和钙时，产量可以分别提升 15.1%、23.3%。COF 处理各品质指标较 FM 处理均有显著的改善，而其他处理间差异不显著。这与郑苍松<sup>[17]</sup>的研究结果一致，优化氮、磷、钾并配施钙、镁可改善柑橘品质和营养成分。综上所述，在当前我国柑橘园氮、磷、钾养分投入过量的情况下，树体和土壤大量元素处于盈余状态<sup>[4]</sup>，仅通过单一养分调控措施，要实现在短期的养分管理下提高产量或品质仍有困难，而应该通过科学的营养诊断方法，结合果树各时期的营养需求并配施中微量元素，最终达到提质增效的目的。

### 4 结论

温州蜜柑果园养分投入应考虑其各时期大量元素养分需求，施用有机肥并补充钙、镁元素，这样可以进一步激发树体养分平衡，短期实现增加产量并改善品质的目的。

## 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2020 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [2] 何苇竹. 我国柑橘叶片矿质养分含量标准的建立及营养诊断 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.
- [3] 任节红. 崇明柑橘产业现状和发展思路 [J]. 上海农业科技, 2017 (5): 13-15.
- [4] 雷靖, 梁珊珊, 赵小虎, 等. 我国柑橘氮磷钾肥用量及减施潜力 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25 (9): 1504-1513.
- [5] 易晓瞳. 桂南柑橘园土壤与树体养分状况及对沃柑品质的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2019.
- [6] 彭良志, 张广越, 淳长品, 等. 纽荷尔脐橙叶片黄化和叶脉肿胀与镁硼丰缺关系研究 [J]. 中国南方果树, 2010 (4): 1-5.
- [7] 温明霞, 聂振朋, 林媚, 等. 钙硼营养对柑桔果实生长的影响 [J]. 南方园艺, 2010 (4): 59-61.
- [8] Ramos C, Agut A, Lidon A. Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain) [J]. Environment Pollution, 2002, 118: 215-223.
- [9] 赵昌杰, 张强, 刘松忠, 等. 有机肥施用对葡萄园土壤特性及里扎马特葡萄产量品质的影响 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41 (1): 101-103.
- [10] 王宝申, 刘秀春, 孙立群, 等. 生物有机肥在果树上的施用效果试验 [J]. 广东农业科学, 2007 (9): 49-58.
- [11] 陈大超, 张跃强, 邓胜兴, 等. 有机肥施用量及深度对柑橘产量和品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2018 (4): 143-147.
- [12] 范美蓉, 汤海涛, 廖育林, 等. 有机无机复混肥对柑橘产量和品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2009 (4): 71-73.
- [13] 王鲲鹏, 韩旭, 张志成, 等. 推荐施肥对‘温州蜜柑’和‘南丰蜜橘’品质与化渣性的影响 [J]. 果树学报, 2018, 35 (10): 1190-1196.
- [14] 位高生, 胡承孝, 谭启玲, 等. 氮磷减量施肥对琯溪蜜柚果实产量和品质的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24 (2): 471-478.
- [15] 王锐, 王竞, 齐雁冰, 等. 配施中微量元素对宁夏酿酒葡萄产量及品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2019 (6): 166-171.
- [16] Zheng C S, Lan X, Tan Q L, et al. Soil application of calcium and magnesium fertilizer influences the fruit pulp mastication characteristics of Nanfeng tangerine [J]. Scientia Horticulturae, 2015, 191: 121-126.
- [17] 郑苍松. 南丰蜜橘果实品质与土壤-树体营养的关系及其调控 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- [18] 向静, 周玉枝, 宋文化, 等. 秭归县柑桔测土配方施肥应用效果浅析 [J]. 现代园艺, 2013 (21): 8-9.
- [19] 张珍珍. 中国柑橘园节肥增效潜力分析及实证研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [21] 王允圃, 刘成梅, 万益琴, 等. 有机肥改良农产品品质的科学探索 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (9): 51-56.
- [22] 冯焕德, 党志国, 陈业渊, 等. 羊粪发酵肥替代化肥对芒果园土壤性状、叶片营养及果实品质的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2019 (6): 190-195.
- [23] 褚长彬, 吴淑杭, 张学英, 等. 有机肥施用方式对柑橘园土壤肥力和柑橘养分、品质的影响 [J]. 上海农业学报, 2012, 28 (1): 65-68.
- [24] 林斌. 沼渣有机肥对脐橙产量和品质的影响 [J]. 福建农业学报, 2006, 21 (3): 293-295.
- [25] 何春保. 红桔施用沼肥效果分析 [J]. 耕作与栽培, 2008 (1): 58-59.
- [26] 何应对, 林妃, 王必尊, 等. 增施有机肥及套袋对福橙外观品质、产量的影响 [J]. 安徽农学通报, 2019, 25 (7): 50-52.
- [27] 叶荣生. 有机肥对柑橘营养及生长的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- [28] 崔恒. 湖北省伦晚脐橙和温州蜜柑化肥减施技术研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- [29] 郭志刚, 李冬莲, 高鹏钊. 均衡营养肥对柑橘果实品质的影响研究 [J]. 浙江柑橘, 2019, 36 (2): 17-22.
- [30] 周卫, 汪洪. 植物钙吸收、转运及代谢的生理和分子机制 [J]. 植物学报, 2007, 24 (6): 762-778.
- [31] 郑武林. 施用镁肥对柑橘产量和品质的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.
- [32] 王媛媛. 钙、硫肥不同用量及配比对花生生理特性、产量和品质的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2013.
- [33] Li W, Yang M, Wang J, et al. Agronomic responses of major fruit crops to fertilization in China: a meta-analysis [J]. Agronomy, 2020, 10 (1): 15.
- [34] 鲁剑巍. 湖北省柑橘园土壤-植物养分状况与柑橘平衡施肥技术研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2003.

## Effects of optimized fertilization on growth of satsuma orange in Shanghai

FENG Zhi-song<sup>1</sup>, DUAN Zhi-ping<sup>1</sup>, LI Zeng-yuan<sup>1</sup>, ZHANG Wei-feng<sup>1\*</sup>, CHEN Lei<sup>2</sup>, AN Qi-qi<sup>3</sup> (1. College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100193; 2. Shanghai Chongming District Ecological Agriculture Innovation Center, Shanghai 202150; 3. Shanghai Chongming District Agricultural Product Quality and Safety Center, Shanghai 202150)

**Abstract:** The effects of different optimal fertilization modes on yield, quality and tree growth of satsuma orange were studied to provide technical guidance for achieving high yield and quality of satsuma orange. A field experiment was conducted with satsuma

[下转第 233 页]