

## 琯溪蜜柚园土壤肥力和叶片营养随树龄的变化

雷 靖<sup>1, 2</sup>, 孙冠利<sup>2</sup>, 庄木来<sup>3</sup>, 朱东煌<sup>3</sup>, 李潇彬<sup>3</sup>, 谭启玲<sup>2</sup>, 胡承孝<sup>1, 2\*</sup>

(1. 园艺植物生物学教育部重点实验室, 湖北 武汉 430070;

2. 华中农业大学新型肥料湖北省工程实验室/微量元素研究中心, 湖北 武汉 430070;

3. 福建省平和县农业局, 福建 平和 363700)

**摘 要:** 对福建省平和县板仔、文峰、霞寨、小溪、五寨、国强 6 个乡镇选择有代表性的 26 个不同树龄 (4 ~ 10、10 ~ 20 和 20 年以上) 琯溪蜜柚园采集土壤及叶片样品, 分析琯溪蜜柚园土壤肥力及叶片营养随树龄的变化。结果表明, 26 个琯溪蜜柚园土壤 pH 值为 3.51 ~ 5.77, 平均为 4.26, 处于极酸性; 土壤碱解氮、速效钾、交换性钙和交换性镁含量均处于缺乏至极缺水平, 土壤有效磷、有效铁和有效铜含量处于高量至过量水平, 土壤有机质、交换性钙、交换性镁、有效锰含量随树龄增大而显著降低, 土壤有效硼含量整体处于缺乏水平且随树龄增大而显著升高。26 个柚园叶片钾、钙和镁含量适宜, 磷、锰、铜和硼含量偏高至过量, 幼龄树 (4 ~ 10 年) 叶片氮、铁含量偏高, 而低龄 (4 ~ 10)、成龄 (10 ~ 20 年) 树叶片锌含量偏低。由此说明, 琯溪蜜柚园土壤肥力随树龄变化明显, 其中土壤有机质及有效钙、镁、锰含量随树龄增加显著下降; 柚园叶片养分含量随树龄变化不明显, 其中磷、硼、锰、铜含量普遍偏高或过量而锌偏低。因此, 必须重视投产以及老果园土壤管理, 改良酸性, 增施有机质, 补充钙、镁营养, 以保障树体营养平衡和果实品质。

**关键词:** 树龄; 琯溪蜜柚; 土壤肥力; 叶片营养

琯溪蜜柚 [*Citrus grandis* (L.) Osbeck cv. 'Guanximiyou'] 属于我国优质栽培名柚, 以果大皮薄、无核质优、汁多柔软、香甜微酸、味极永隽之上乘品质而盛名远著, 是 10 种在欧盟注册成功的地理标志产品之一<sup>[1]</sup>。琯溪蜜柚原产于平和县, 已有 500 多年的栽培历史, 被称为“世界柚乡”和“中国柚都”, 是我国最大的柚类生产和出口基地<sup>[2]</sup>。2015 年平和县琯溪蜜柚年产量近 150 万 t, 年产值将近 60 亿元以上<sup>[3]</sup>, 是平和县农业收入的主要来源。

近年来琯溪蜜柚种植面积逐渐扩大, 然而真正高产稳产的果园不到一半<sup>[4-5]</sup>, 大部分山地果园都面临着土壤肥力退化、果树营养失调和果实品质下降等问题。长期偏施化肥, 忽视有机肥的使用<sup>[6]</sup>; 肥料配比上存在磷肥用量偏高, 钾肥、钙镁肥施用不足等突出问题<sup>[7]</sup>。张东等<sup>[8]</sup>认为树龄

是影响果树叶片养分含量的一个主要因素, 1993 年杨光蓉<sup>[9]</sup>曾报道不同树龄脐橙树间氮、钾、钙含量有显著差异; 赵峥等<sup>[10]</sup>报道不同种植年限对葡萄园土壤可利用氮、磷、钾、锌和硼含量有显著影响, 不同树龄也影响落叶松、枸杞园及红松土壤养分变化<sup>[11-13]</sup>。但有关树龄对琯溪蜜柚园土壤肥力、叶片营养变化的研究尚鲜见报道。因此, 本文比较分析不同树龄琯溪蜜柚园土壤肥力和叶片养分含量的变化, 为琯溪蜜柚园科学合理施肥提供理论依据和实践指导。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验设计

2014 年 10 月, 在福建省平和县板仔、文峰、霞寨、小溪、五寨、国强 6 个乡镇以酸柚砧木白肉琯溪蜜柚为试验材料, 选择不同树龄 (4 ~ 10、10 ~ 20 和 >20 年) 且具代表性的 26 个蜜柚园采集样品, 其中“4 ~ 10 年”树龄的蜜柚园 8 个, “10 ~ 20 年”10 个, 树龄 >20 年 8 个。每个果园按“S”形路线选取 10 株长势中等均匀的采样树构成 1 个混合样, 每个果园随机采集土壤及叶片样品各 5 个 (即 5 个重复)。

收稿日期: 2018-05-08; 录用日期: 2018-06-02

基金项目: 柑橘化肥农药减施技术集成研究与示范项目 (2017 YFD0202000); 国家现代农业 (柑橘) 产业技术体系 (CARS-26) 养分管理与化肥减施增效岗位专项资金。

作者简介: 雷靖 (1993-), 女, 畬族, 浙江衢州人, 硕士研究生, 研究方向为柑橘果实品质与营养。E-mail: 1269780611@qq.com。

通讯作者: 胡承孝, E-mail: hucox@mail.hzau.edu.cn。

## 1.2 样品采集与制备

### 1.2.1 土壤样品的采集与制备

采集：在选定的蜜柚树冠滴水线附近，每株对角采2点（避开施肥穴），沿S形路线布置采样点。采集深度为0~30 cm，用取土铲先铲出一个土层断面，再平行于断面取土。每个采样点的取土深度及采样量保持一致，土样上层与下层比例相同。所有样品均采用不锈钢取土器，每个样品由20个样点混合而成，平均每个采样单元（3~4 hm<sup>2</sup>）采集1个混合样，采集的土样经充分混匀后按照“四分法”取1 kg左右备用。

制备：土壤样品及时置于干净的室内通风处自然风干，并注意防止酸碱及灰尘的污染。风干过程中经常翻动并将大土块捏碎以加速干燥。将风干后的样品用木棍碾压，并将植物残体、石块等侵入体和新生体剔除干净。经0.833 mm孔筛反复多次过筛，直至全部通过，供pH值、交换性能及有效养分等项目的测定。将通过0.833 mm孔筛的土样用“四分法”取出一部分继续碾磨，使之全部通过0.147 mm孔筛，供有机质项目的测定。

### 1.2.2 叶片样品的采集和制备

采集：柑橘是常绿果树，在10月（即在当年生营养春梢抽出后6个月）采集叶片样品，在树冠中部外侧东南西北4个方位采集生长中等的当年生春梢营养枝顶部向下第3片叶（完整无病虫），每株采4片叶，10株蜜柚树共40片叶混成1个样品。采样时间一般以8:00~10:00为宜。

制备：先将中性洗涤剂配成0.1%的水溶液，再将叶片置于其中洗涤30 s，取出后尽快清水冲洗，再用0.2% HCl（去离子水）溶液洗涤约30 s，然后用去离子水洗净。整个操作要求2 min内完成，避免养分的损失。将洗净的叶片用滤纸吸干，先置于105℃鼓风干燥箱中杀酶30 min，然后保持在75~80℃条件

下恒温烘干。烘干的样品从烘箱取出冷却后轻轻搓碎，然后在不锈钢粉碎机中磨细，装袋，备用。

## 1.3 测定项目和方法

### 1.3.1 土壤肥力测定

参照鲍士旦<sup>[14]</sup>、胡霭堂<sup>[15]</sup>的方法，土壤pH值采用土水比为1:2.5的水浸提-电位法；土壤有机质采用重铬酸钾容量法-外加热法；土壤碱解氮采用碱解-扩散法；土壤有效磷采用NaHCO<sub>3</sub>浸提-钼锑抗比色法；土壤速效钾采用中性NH<sub>4</sub>OAc浸提-火焰光度法；土壤交换性钙镁采用乙酸铵浸提-原子吸收分光光度法；土壤有效性铁、锰、铜、锌采用DTPA浸提-原子吸收分光光度法；土壤有效硼采用沸水浸提-姜黄素比色法。

### 1.3.2 叶片营养元素测定

参照鲍士旦<sup>[14]</sup>、胡霭堂<sup>[15]</sup>的方法，叶片样品经H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消化之后，制得N、P、K待测液，叶片N采用KDY-9830凯氏定氮仪测定；叶片P采用钼锑抗比色法-紫外可见分光光度计700 nm波长下测定；叶片K采用火焰光度计测定；叶片Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn经HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>消化，制得待测液，采用原子吸收分光光度计测定；叶片B采用HCl浸提-姜黄素比色法测定。

## 1.4 柑橘园土壤肥力与叶片营养元素含量分级

综合庄伊美<sup>[16]</sup>、鲁剑巍<sup>[17]</sup>及第二次全国土壤调查养分划分和福建省园地土壤养分分级标准（试行）<sup>[18]</sup>提出：

蜜柚园土壤酸碱性分级：pH值<4.5，极酸；4.5~5.5，酸；5.5~6.5，微酸；6.5~7.5，微酸至微碱；7.5~8.5，碱；>8.5，强碱。

蜜柚园土壤有机质含量分级：<10 g/kg，缺乏；10~20 g/kg，适宜；>20 g/kg，丰富。

蜜柚园土壤速效养分含量分级标准见表1。

琯溪蜜柚叶片养分含量分级标准见表2。

表1 蜜柚园土壤速效养分含量分级标准

(mg/kg)

| 养分  | 极缺   | 缺乏          | 适量            | 高量            | 过量     |
|-----|------|-------------|---------------|---------------|--------|
| 碱解氮 | <50  | 50 ~ 100    | 100 ~ 200     | >200          | —      |
| 有效磷 | <5   | 5 ~ 15      | 15 ~ 80       | >80           | —      |
| 速效钾 | <50  | 50 ~ 100    | 100 ~ 200     | >200          | —      |
| 有效钙 | <200 | 200 ~ 1 000 | 1 000 ~ 2 000 | 2 000 ~ 3 000 | >3 000 |
| 有效镁 | <80  | 80 ~ 150    | 150 ~ 300     | 300 ~ 500     | >500   |
| 有效铁 | <5   | 5 ~ 10      | 10 ~ 20       | 20 ~ 50       | >50    |
| 有效锰 | <2   | 2 ~ 5       | 5 ~ 20        | 20 ~ 50       | >50    |
| 有效铜 | <0.3 | 0.3 ~ 0.5   | 0.5 ~ 1.0     | 1.0 ~ 2.0     | >2.0   |
| 有效锌 | <0.5 | 0.5 ~ 1.0   | 1.0 ~ 5.0     | 5.0 ~ 10.0    | >10.0  |
| 有效硼 | —    | <0.5        | 0.5 ~ 1.0     | —             | —      |

表 2 琯溪蜜柚叶片养分含量分级标准

| 营养元素         | 缺乏    | 偏低          | 适量          | 偏高          | 过量     |
|--------------|-------|-------------|-------------|-------------|--------|
| N ( % )      | <2.2  | 2.2 ~ 2.5   | 2.5 ~ 2.8   | 2.8 ~ 3.0   | >3.0   |
| P ( % )      | <0.09 | 0.09 ~ 0.12 | 0.12 ~ 0.16 | 0.16 ~ 0.30 | >0.30  |
| K ( % )      | <0.7  | 0.7 ~ 1.2   | 1.2 ~ 1.8   | 1.8 ~ 2.4   | >2.4   |
| Ca ( % )     | <1.5  | 1.5 ~ 3.0   | 3.0 ~ 4.5   | 4.5 ~ 7.0   | >7.0   |
| Mg ( % )     | <0.2  | 0.2 ~ 0.3   | 0.3 ~ 0.5   | 0.5 ~ 0.7   | >0.7   |
| Fe ( mg/kg ) | <35   | 35 ~ 50     | 50 ~ 130    | 130 ~ 250   | >250   |
| Mn ( mg/kg ) | <18   | 18 ~ 25     | 25 ~ 50     | 50 ~ 1 000  | >1 000 |
| Cu ( mg/kg ) | <3.6  | 3.6 ~ 5.0   | 5 ~ 13      | 13 ~ 20     | >20    |
| Zn ( mg/kg ) | <18   | 18 ~ 25     | 25 ~ 50     | 50 ~ 200    | >200   |
| B ( mg/kg )  | <20   | 20 ~ 36     | 36 ~ 100    | 100 ~ 200   | >200   |

1.5 数据分析

试验数据采用 Excel 2007 进行处理；不同树龄琯溪蜜柚园之间的显著性差异比较采用 SPSS 20.0 统计分析软件，多重比较采用 LSD 法，不同小写字母表示不同处理间差异显著（ $P<0.05$ ）。

2 结果与分析

2.1 琯溪蜜柚园土壤肥力随树龄的变化

2.1.1 土壤 pH 值和有机质含量

26 个琯溪蜜柚园土壤 pH 值范围为 3.51 ~ 5.77，平均值为 4.26，总体处于极酸水平（ $pH<4.5$ ），随树龄增大有愈加酸化的趋势（表 3）。说明平和县琯溪蜜柚园土壤酸化现象普遍存在且严重。

表 3 不同树龄琯溪蜜柚园土壤 pH 值及有机质含量

| 树龄        | pH 值         |    | 有机质 ( g/kg )   |    |
|-----------|--------------|----|----------------|----|
|           | 平均值          | 级别 | 平均含量           | 级别 |
| 4 ~ 10 年  | 4.48 ± 0.24a | 极酸 | 24.63 ± 4.05a  | 适宜 |
| 10 ~ 20 年 | 4.04 ± 0.17a | 极酸 | 21.59 ± 2.80ab | 适宜 |
| >20 年     | 4.31 ± 0.50a | 极酸 | 15.10 ± 0.93b  | 缺乏 |
| 平均值       | 4.26         |    | 20.53          |    |
| 最低值       | 3.51         |    | 12.53          |    |
| 最高值       | 5.77         |    | 32.28          |    |

注：表中同一列不同小写字母表示不同树龄间差异显著（ $P<0.05$ ），下同。

琯溪蜜柚园土壤有机质含量在 12.53 ~ 32.28 g/kg 之间，平均值为 20.53 g/kg，随树龄增加而显著下降（表 3），4 ~ 10 年柚园土壤有机质含量显著高于 20 年以上的柚园，树龄小于 20 年柚园土壤有机质含量适宜，树龄大于 20 年柚园土壤有机质含量缺乏。可能原因是琯溪蜜柚园长期不重视施用有机肥。

2.1.2 土壤碱解氮、有效磷、速效钾及交换性钙、镁含量

琯溪蜜柚园土壤碱解氮、速效钾含量分别在 56.21 ~ 128.47 mg/kg、18.03 ~ 68.00 mg/kg 之间，平均值分别为 86.23、35.16 mg/kg，均严重缺乏且随树龄变化不显著（表 4），尤其是土壤速效钾含量缺乏更为严重。琯溪蜜柚园土壤有效磷在 116.19 ~ 326.56 mg/kg 之间，平均为 209.53 mg/kg，处于高量至过量水平，其中幼龄（4 ~ 10 年）柚园土壤有效磷平均高达 267.76 mg/kg，柚园土壤有效磷含量有随着树龄增加而降低的趋势，但整体土壤磷富集明显。因此，琯溪蜜柚园土壤碱解氮、速效钾含量普遍缺乏而有效磷含量普遍达高量水平。

表 4 不同树龄琯溪蜜柚园土壤大量及中量元素含量 ( mg/kg )

| 树龄        | 碱解氮            |    | 有效磷             |    | 速效钾            |    | 交换性钙            |    | 交换性镁            |    |
|-----------|----------------|----|-----------------|----|----------------|----|-----------------|----|-----------------|----|
|           | 平均含量           | 级别 | 平均含量            | 级别 | 平均含量           | 级别 | 平均含量            | 级别 | 平均含量            | 级别 |
| 4 ~ 10 年  | 84.81 ± 15.26a | 缺乏 | 267.76 ± 34.88a | 高量 | 38.37 ± 6.82a  | 极缺 | 534.26 ± 87.21a | 缺乏 | 109.64 ± 22.06a | 缺乏 |
| 10 ~ 20 年 | 88.35 ± 13.31a | 缺乏 | 184.37 ± 28.09a | 高量 | 30.57 ± 6.28a  | 极缺 | 296.29 ± 48.02b | 缺乏 | 60.72 ± 9.49b   | 极缺 |
| >20 年     | 85.01 ± 8.46a  | 缺乏 | 182.76 ± 30.69a | 高量 | 37.67 ± 11.52a | 极缺 | 153.56 ± 19.23b | 极缺 | 41.23 ± 3.00b   | 极缺 |
| 平均值       | 86.23          |    | 209.53          |    | 35.16          |    | 339.93          |    | 72.15           |    |
| 最低值       | 56.21          |    | 116.19          |    | 18.03          |    | 120.14          |    | 34.19           |    |
| 最高值       | 128.47         |    | 326.56          |    | 68.00          |    | 624.57          |    | 166.94          |    |

琯溪蜜柚园土壤交换性钙和镁含量随着种植年限增加而显著下降,幼龄果园(4~10年)土壤交换性钙、镁含量显著高于成年(10~20年)及老龄果园(20年以上);琯溪蜜柚园土壤交换性钙、镁含量在120.14~624.57 mg/kg、34.19~166.94 mg/kg之间,均值分别为339.93、72.15 mg/kg,均处于缺乏或极缺水平,尤其是树龄20年以上的琯溪蜜柚园。因此,琯溪蜜柚园土壤有效钙、镁含量随树龄下降且普遍缺乏。

### 2.1.3 土壤有效微量元素含量

琯溪蜜柚园土壤有效铁和有效硼含量分别在48.24~178.61 mg/kg、0.17~0.82 mg/kg之间,均值

分别为85.59、0.42 mg/kg,分别为过量和缺乏水平,均随树龄增加而含量上升(表5)。土壤有效锰、锌含量分别在1.26~23.77 mg/kg、1.47~12.96 mg/kg,均值分别为10.71、5.04 mg/kg,处于适量,均随树龄增加而显著降低,即幼龄果园(4~10年)处于适量或高量水平而老龄果园(20年以上)处于适量或缺乏。不同树龄果园间土壤有效铜含量差异不显著,在1.00~12.85 mg/kg之间,均值为4.60 mg/kg,处于过量水平。因此,随树龄增加,琯溪蜜柚园土壤有效铁、硼含量升高而有效锰、锌含量显著下降;总体看,土壤有效铁、铜含量普遍过高而有效硼含量普遍缺乏,土壤有效锰、锌含量较为适宜。

表5 不同树龄琯溪蜜柚园土壤微量元素含量

(mg/kg)

| 树龄     | 有效铁          |    | 有效锰         |    | 有效铜        |    | 有效锌         |    | 有效硼         |    |
|--------|--------------|----|-------------|----|------------|----|-------------|----|-------------|----|
|        | 平均含量         | 级别 | 平均含量        | 级别 | 平均含量       | 级别 | 平均含量        | 级别 | 平均含量        | 级别 |
| 4~10年  | 54.74±4.28b  | 过量 | 17.82±2.46a | 适量 | 3.58±1.70a | 过量 | 8.18±2.84a  | 高量 | 0.25±0.04b  | 缺乏 |
| 10~20年 | 98.80±14.03a | 过量 | 10.08±0.62b | 适量 | 5.86±1.80a | 过量 | 4.39±2.21ab | 适量 | 0.37±0.12ab | 缺乏 |
| >20年   | 99.94±27.25a | 过量 | 4.39±1.30c  | 缺乏 | 4.05±1.30a | 过量 | 2.71±0.87b  | 适量 | 0.65±0.08a  | 适量 |
| 平均值    | 85.59        |    | 10.71       |    | 4.60       |    | 5.04        |    | 0.42        |    |
| 最低值    | 48.24        |    | 1.26        |    | 1.00       |    | 1.47        |    | 0.17        |    |
| 最高值    | 178.61       |    | 23.77       |    | 12.85      |    | 12.96       |    | 0.82        |    |

## 2.2 琯溪蜜柚叶片养分含量随树龄的变化

### 2.2.1 叶片氮、磷、钾及钙、镁含量

琯溪蜜柚叶片氮、钾含量分别在2.44%~3.01%、1.19%~1.86%之间,均值分别为2.68%、1.46%,处于适量水平,均有随树龄增加而含量下降的趋势,如幼龄树(4~10年)叶片氮含量偏高;叶片磷、钙含量分别在0.17%~0.24%、2.46%~5.10%之间,均值分别为0.20%、3.94%,分别处于偏高和适量,但不同树龄柚树叶片间差异不显著;叶片镁含

量在0.26%~0.46%之间,均值为0.35%,处于适量,且随树龄增加而提高,尤其是老龄树(>20年)叶片镁含量显著高于幼龄(4~10年)和成年树(10~20年)叶片镁含量(表6)。综上所述,总体上,琯溪蜜柚叶片氮、钾、钙、镁含量适宜而磷含量偏高;随树龄增加叶片氮、钾含量有下降趋势而叶片镁含量显著提高,即幼龄树叶片氮、钾含量较高而老龄树叶片镁含量较高,叶片磷、钙含量不因树龄而明显变化。

表6 不同树龄琯溪蜜柚叶片大量及中量元素含量

(%)

| 树龄     | 氮          |    | 磷          |    | 钾           |    | 钙          |    | 镁          |    |
|--------|------------|----|------------|----|-------------|----|------------|----|------------|----|
|        | 平均含量       | 级别 | 平均含量       | 级别 | 平均含量        | 级别 | 平均含量       | 级别 | 平均含量       | 级别 |
| 4~10年  | 2.80±0.12a | 偏高 | 0.20±0.01a | 偏高 | 1.60±0.10a  | 适量 | 4.18±0.33a | 适量 | 0.34±0.01b | 适量 |
| 10~20年 | 2.59±0.07a | 适量 | 0.19±0.01a | 偏高 | 1.46±0.05ab | 适量 | 3.68±0.33a | 适量 | 0.32±0.02b | 适量 |
| >20年   | 2.69±0.06a | 适量 | 0.22±0.02a | 偏高 | 1.30±0.07b  | 适量 | 4.03±0.26a | 适量 | 0.41±0.03a | 适量 |
| 平均值    | 2.68       |    | 0.20       |    | 1.46        |    | 3.94       |    | 0.35       |    |
| 最低值    | 2.44       |    | 0.17       |    | 1.19        |    | 2.46       |    | 0.26       |    |
| 最高值    | 3.01       |    | 0.24       |    | 1.86        |    | 5.10       |    | 0.46       |    |

2.2.2 叶片微量元素含量

琯溪蜜柚叶片锰、铜、硼含量依次为 22.03 ~ 190.13 mg/kg、12.98 ~ 48.00 mg/kg、99.43 ~ 246.25 mg/kg，均值依次为 87.30、29.85、150.12 mg/kg，处于偏高或过量水平，不同树龄间叶片含量没有显著差异；叶片铁、锌含量分别为 71.43 ~ 154.40 mg/kg、17.41 ~ 38.99 mg/kg，均值

分别为 110.05、24.94 mg/kg，分别处于适量和偏低水平，随树龄增加叶片铁含量显著下降而锌含量显著升高，即幼龄树（4 ~ 10 年）叶片铁含量和老龄树（>20 年）叶片锌含量较高（表 7）。因此，琯溪蜜柚叶片锰、铜、硼含量偏高或过量，叶片锌含量随树龄升高但普遍缺乏，叶片铁含量随树龄下降且多处于适宜水平。

表 7 不同树龄琯溪蜜柚叶片微量元素含量 (mg/kg)

| 树龄        | 铁               |    | 锰              |    | 铜             |    | 锌              |    | 硼               |    |
|-----------|-----------------|----|----------------|----|---------------|----|----------------|----|-----------------|----|
|           | 平均含量            | 级别 | 平均含量           | 级别 | 平均含量          | 级别 | 平均含量           | 级别 | 平均含量            | 级别 |
| 4 ~ 10 年  | 132.09 ± 10.78a | 偏高 | 98.96 ± 17.01a | 偏高 | 22.14 ± 6.50a | 过量 | 20.68 ± 1.11b  | 偏低 | 162.45 ± 31.58a | 偏高 |
| 10 ~ 20 年 | 109.23 ± 3.70ab | 适量 | 77.62 ± 9.00a  | 偏高 | 33.97 ± 5.45a | 过量 | 24.18 ± 2.23ab | 偏低 | 128.74 ± 24.95a | 偏高 |
| >20 年     | 89.03 ± 9.87b   | 适量 | 87.74 ± 37.86a | 偏高 | 32.41 ± 3.08a | 过量 | 30.14 ± 4.21a  | 适量 | 164.50 ± 15.87a | 偏高 |
| 平均值       | 110.05          |    | 87.30          |    | 29.85         |    | 24.94          |    | 150.12          |    |
| 最低值       | 71.43           |    | 22.03          |    | 12.98         |    | 17.41          |    | 99.43           |    |
| 最高值       | 154.40          |    | 190.17         |    | 48.00         |    | 38.99          |    | 246.25          |    |

3 讨论

本试验采集的 6 个乡镇 26 个不同树龄（4 ~ 10、10 ~ 20 和 >20 年）琯溪蜜柚园土壤有机质、交换性钙、交换性镁、有效锰随树龄增大而显著降低，有效硼含量则显著升高。土壤有机质含量随树龄增大呈现显著降低趋势，树龄大于 20 年柚园呈现匮乏，这与王永利<sup>[19]</sup>在早实核桃园的研究结论相似。然而与蔡金良<sup>[13]</sup>对红松土壤的研究结果不一致。不同研究者观点不一致，可能与树体品种、土壤条件、施肥习惯等差异有关。钱笑杰等<sup>[20]</sup>研究表明土壤有机质将直接影响土壤氮素及钾素含量，平和县应积极倡导有机肥部分替代化肥，广辟肥源等措施<sup>[7]</sup>。柚园土壤交换性钙、镁缺乏严重，随着树龄增加含量显著降低。可能原因：一是南方酸性红壤钙、镁自身含量低；二是受高温多雨等影响，雨水的淋溶作用带走了大部分钙、镁元素<sup>[21]</sup>；三是成年柚园投产时间久，长期偏施氮、磷、钾肥<sup>[7]</sup>，加之果实不断携出<sup>[22-23]</sup>而施用量和次数都不足。据李清华等<sup>[7]</sup>对平和县钙、镁肥用量的调查结果显示，平均用量分别仅占参考用量的 26.36% ~ 29.00% 和 22.50% ~ 45.00%。土壤交换性钙、镁缺乏已成为南方柑橘主产区果实品质提升

的主要制约因素<sup>[24-25]</sup>。土壤有效锰随树龄增大而显著降低，20 年以上柚园呈现缺乏；有效硼随树龄增大而显著增加，4 ~ 10 年及 10 ~ 20 年柚园含量缺乏，这与锰对硼吸收不利相符。

不同树龄柚叶钾、镁、铁和锌含量差异显著，钾、镁及铁含量随树龄增大而显著下降，锌元素显著升高。不同树龄柚园土壤及叶片镁素均差异显著，但随树龄变化趋势不一致，可能与钾、钙之间的拮抗作用有关<sup>[8, 26]</sup>。土壤交换性镁含量极缺，而参考叶片养分含量分级标准，柚叶片镁含量适宜。这与调查中柚树老叶脉间失绿、叶片黄化的普遍缺镁症状不符。柑橘对镁的敏感性强弱一般为柚>甜橙>宽皮柑橘，由此判断依据脐橙养分需求制定的分级标准<sup>[16-17]</sup>对柚类的适用性有待考究。土壤有效磷和有效铜过量直接导致柚叶相应元素含量过高。柚园土壤有效硼缺乏，而叶片硼偏高可能与当地农户习惯叶面喷施硼肥的施肥方式有关。对柚叶矿质元素含量与土壤肥力进行相关性分析，结果表明柚叶片钾、铁和锌元素与部分土壤肥力指标有显著相关性，其余叶片矿质元素与土壤肥力指标相关性未达显著水平。其中柚叶片钾与土壤有机质（ $r=0.705^{**}$ ）、交换性钙（ $r=0.877^{**}$ ）、交换性镁（ $r=0.908^{**}$ ）及有效

锰 ( $r=0.725^{**}$ ) 呈极显著正相关, 与有效铁 ( $r=-0.629^{*}$ ) 及有效硼 ( $r=-0.603^{*}$ ) 呈显著负相关。由此可知, 不同树龄柚园土壤有机质、交换性钙、交换性镁及有效锰含量随种植年限的增加而显著下降, 间接导致柚树叶片钾含量降低<sup>[20]</sup>。叶片铁与土壤有效磷呈极显著正相关 ( $r=0.759^{**}$ ), 与有效锰呈显著正相关 ( $r=0.628^{*}$ ), 与有效铁呈显著负相关 ( $r=-0.556^{*}$ )。叶片锌与土壤有效铁呈显著正相关 ( $r=0.558^{*}$ ), 与有效磷呈显著负相关 ( $r=-0.683^{*}$ )。

综上可知, 调查范围内琯溪蜜柚生长的立地条件较差, 养分失衡严重。针对平和地区琯溪蜜柚园土壤极酸, 交换性钙、镁严重缺乏的现状, 可通过年施用 1.0 ~ 1.5 kg/株 钙肥<sup>[27]</sup> 和 0.2 ~ 0.4 kg/株 镁肥<sup>[7]</sup> 等碱性肥料缓解<sup>[28]</sup>。针对有机质和速效钾严重缺乏的现状, 推荐年施用有机肥 15 ~ 20 kg/株, 钾肥 0.9 ~ 1.0 kg/株<sup>[7]</sup>。磷素在土壤中过度富集<sup>[25]</sup>, 柚园应适量减施磷肥, 参照李清华等<sup>[7]</sup> 琯溪蜜柚年施用磷肥以 0.5 ~ 0.6 kg/株 为宜, 位高生等<sup>[29]</sup> 的研究表明, 老龄树 (>20 年) 施用 0.85 kg/株 磷肥果实产量及品质最佳。建议规模化柚园在生产实践中依据当前土壤和叶片的养分状况, 结合不同树龄间养分需求差异<sup>[27]</sup>, 成年树宜增施, 幼龄树宜减施。制定出适宜的施肥方案, 保证树体营养均衡。

#### 4 结论

本研究初步结果表明, 平和县琯溪蜜柚园土壤和叶片养分含量随树龄变化显著: 土壤有机质、交换性钙、交换性镁、有效锰含量随树龄增大而显著降低, 土壤有效硼含量整体缺乏且随树龄增大而显著升高; 柚叶片钾、镁及铁含量随树龄增大而显著下降, 锌显著升高。综上所述, 随着柚园种植年限的上升, 该地区应注重改良土壤酸性, 适量增施有机肥、钾、钙、镁肥, 减少磷肥的施用和含铜农药的喷施。

#### 参考文献:

[1] 王晓郡. 10 种农产品在欧盟获地理标志保护 [J]. 农产品加工, 2012, (12): 45.  
[2] 李发林, 曾瑞琴, 危天进, 等. 福建省平和县琯溪蜜柚果园土壤磷环境风险评价研究 [J]. 中国生态农业学报, 2015, 23 (8): 1001-1009.

[3] 金冰华. 平和县琯溪蜜柚发展前景分析 [J]. 绿色科技, 2016, (3): 99-100.  
[4] 曾春华, 吴炳清. 平和县琯溪蜜柚施肥技术初探 [J]. 福建农业, 2014, (6): 74-75.  
[5] 曾思毅. 琯溪蜜柚与因土施肥 [J]. 福建农业, 2006, (1): 11.  
[6] 朱友添. 平和县蜜柚产业施肥现状、存在问题及建议 [J]. 东南园艺, 2014, 2 (5): 51-53.  
[7] 李清华, 王飞, 何春梅, 等. 平和琯溪蜜柚施肥现状调查分析 [J]. 南方农业学报, 2016, 47 (12): 2059-2064.  
[8] 张东, 赵娟, 韩明玉, 等. 黄土高原富士苹果叶片矿质养分与果实品质相关性分析 [J]. 园艺学报, 2014, 41 (11): 2179-2187.  
[9] 杨光蓉. 不同树龄脐橙次生果黄化与树体矿质营养关系初探 [J]. 四川农业大学学报, 1993, (2): 242-245.  
[10] 赵峥, 褚长彬, 周德平, 等. 上海郊区不同树龄葡萄园土壤养分特征研究 [J]. 果树学报, 2017, 34 (11): 1435-1442.  
[11] 董锐. 不同树龄的落叶松林对林下土壤酶活性的影响 [J]. 防护林科技, 2016, (4): 48-49, 79.  
[12] 张建华, 李锋, 梁爱银. 中宁不同树龄枸杞园土壤有效钾分布研究 [J]. 宁夏农林科技, 2016, 57 (1): 23-25, 2.  
[13] 蔡金良. 不同树龄的红松对土壤养分含量的影响 [J]. 安徽农学通报, 2017, 23 (11): 126, 147.  
[14] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.  
[15] 胡霭堂. 植物营养学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.  
[16] 庄伊美. 柑桔营养与施肥 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.  
[17] 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.  
[18] 吴飞龙, 耿耿, 廖海霞, 等. 福建闽侯果园土壤养分状况分析 [J]. 中国南方果树, 2015, 44 (2): 74-76, 80.  
[19] 王永利. 不同树龄早实核桃园土壤主要矿质元素及有机质含量的变化 [D]. 保定: 河北农业大学, 2009.  
[20] 钱笑杰, 林晓兰, 肖靖, 等. 福建果园土壤 pH 值、养分关系与土壤肥力质量评价研究—以福建省漳州市平和县琯溪蜜柚园地为例 [J]. 福建热作科技, 2017, 42 (1): 9-15.  
[21] 徐茜, 陈爱国, 戴培刚, 等. 镁肥合理施用对烤烟生长及产质量的影响 [J]. 中国烟草科学, 2011, 32 (2): 33-37.  
[22] 淳长品, 彭良志, 凌丽俐, 等. 赣南产区脐橙叶片大量和中量元素营养状况研究 [J]. 果树学报, 2010, 27 (5): 678-682.  
[23] 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 (Citrus reticulata Blanco cv. Kinokuni) [J]. Scientia Horticulturae, 2015, 191: 121-126.  
[24] 陶梦铭, 应虹, 孙强, 等. 湖北与湖南柑橘园土壤及树体养分状况 [J]. 湖北农业科学, 2016, (13): 3289-3292.  
[25] 黄绿林. 平和县山地琯溪蜜柚果园土壤养分评价 [J]. 中国

- 南方果树, 2015, (2): 63-65.
- [26] 温明霞, 吴韶辉, 王鹏, 等. 温州蜜柑叶片黄化果园土壤及叶片的养分含量特征 [J]. 水土保持学报, 2012, 26 (4): 123-126, 132.
- [27] 黄日升. 福建平和琯溪蜜柚因土施肥技术 [J]. 果树实用技术与信息, 2015, (3): 26-27.
- [28] 曾瑞琴. 平和县琯溪蜜柚果园土壤养分状况及其施肥建议 [J]. 福建农业科技, 2012, (10): 67-69.
- [29] 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.

### The changes of soil fertility and leaf nutrition of Guanxi pomelo orchards with tree-age

LEI Jing<sup>1, 2</sup>, SUN Guan-li<sup>2</sup>, ZHUANG Mu-lai<sup>3</sup>, ZHU Dong-huang<sup>3</sup>, LI Xiao-bin<sup>3</sup>, TAN Qi-ling<sup>2</sup>, HU Cheng-xiao<sup>1, 2\*</sup>

(1. Key Laboratory of Horticultural Plant Biology, Ministry of Education, Wuhan Hubei 430070; 2. Hubei Provincial Engineering Laboratory for New-Type Fertilizer/Microelement Research Center of Huazhong Agricultural University, Wuhan Hubei 430070; 3. Pinghe Agriculture Bureau, Fujian Province, Pinghe Fujian 363700)

**Abstract:** Soil and leaf samples were collected from 26 Guanxi pomelo orchards of different tree-age (4 ~ 10, 10 ~ 20, >20 years) in the six towns of Pinghe County, Fujian Province, i.e., Banzai, Wenfeng, Xiazhai, Xiaoxi, Wuzhai and Guoqiang and soil and leaf nutrients were analyzed. The results showed that soil pH value of 26 orchards ranged from 3.51 to 5.77, with an average of 4.26 which was extremely acidic. The contents of alkaline N, available K, exchangeable Ca and Mg were all at shortage or extreme shortage levels. The soil available P, Fe and Cu contents ranged from high to excessive levels. The contents of soil OM, exchangeable Ca and Mg, effective Mn decreased significantly with tree-age. The content of soil available B was at a deficient level and increased drastically with planting ages. The contents of K, Ca and Mg of leaves of 26 orchards were suitable, the contents of P, Mn, Cu and B were high even excessive. The contents of N and Fe of leaves of young trees (4 ~ 10 years) were high and Zn contents for young and elder trees (4 ~ 10, 10 ~ 20 years) were a bit low. Therefore, the soil fertility of the Guanxi pomelo orchards changed remarkably with tree-age, the contents of soil OM, available Ca, Mg and Mn decreased significantly with the age of trees. The nutrient contents of the Guanxi pomelo leaves didn't show significantly changes with tree-age. Meanwhile, the contents of P, B, Mn, Cu of leaves were high or excessive, while Zn was a bit low. Therefore, for the sake of the balance of trees' nutritional and fruit quality, we should ameliorate acidity and increase OM, Ca and Mg nutrients in the management of old orchards.

**Key words:** tree-age; Guanxi pomelo; soil fertility; leaf mineral nutrient