



余璇,文婷,马青龄,等.金沙柚果实品质与土壤、叶片、果实矿质养分的相关性分析[J].江西农业大学学报,2021,43(1):70-81.  
YU X,WEN T,MA Q L,et al.Correlation between fruit quality and mineral nutrients in soil,leaf and fruit of 'Jinsha' pomelo[J].Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis,2021,43(1):70-81.

# 金沙柚果实品质与土壤、叶片、果实 矿质养分的相关性分析

余璇,文婷,马青龄,刘德春,胡威,刘勇,杨莉\*

(江西农业大学 农学院,江西 南昌 330045)

**摘要:**【目的】为指导江西省吉安市金沙柚科学施肥提供直接理论依据。【方法】对吉安市23个果园的土壤、叶片、果实矿质养分含量及果实品质进行了测定,并用WPS和SPSS软件对所测数据进行相关性分析及线性回归方程分析,筛选出影响金沙柚果实品质的主要土壤、叶片和果实矿质养分因子。【结果】结果表明,77.27%的果园土壤中pH值低于5.5,95.45%的果园有机质含量低于15 g/kg;土壤中大量元素氮、磷、钾以缺乏为主,在叶片中三者含量以适量及高量为主,氮和钾还出现了部分果园含量过量情况,果实中三者含量平均值分别为0.80,0.16,1.48 g/kg;果园土壤和叶片中钙和镁含量均以缺乏为主,果实中二者平均值分别为83.49,51.70 mg/kg;果园土壤和叶片中铁、锰和铜含量适宜及适宜以上占比较大,果实中三者平均值分别为2.33,0.28,0.36 mg/kg;锌和硼元素在土壤和叶片中含量情况有所不同,锌元素在土壤以适宜为主而叶片中以缺乏为主,硼元素在土壤中100%缺乏而在叶片中以适宜占比最大,二者在果实中含量平均值为0.60,0.73 mg/kg;土壤和叶片钼元素在约一半果园中存在缺乏情况,果实含量平均值为56.04 μg/kg。相关性和线性回归分析结果表明,果皮厚度与叶片钼元素呈负相关,而与果实锰元素呈正相关;可食率与土壤中有效锰呈负相关,与叶片中钙、铜和钼元素呈正相关,与果实中磷元素呈正相关;出汁率与土壤中pH值呈正相关,与土壤有效锰和叶片锰元素呈负相关;可溶性固形物与叶片中铜元素呈正相关;总糖与土壤有效铁呈负相关,与果实中钙元素呈正相关;可滴定酸与果实中铁元素呈正相关,与果实磷元素呈负相关;Vc与叶片中硼呈负相关。【结论】综上所述,通过增施石灰等碱性物质,提高有机质的施入,可以有效地解决土壤酸化问题并改良土壤结构,也有利于在土壤铁、锰元素高量及过量果园中降低铁和锰元素含量,进一步解决阻碍锌元素吸收的拮抗问题。根据相关性和线性回归方程分析结果推测,土壤的改良因此有助于金沙柚增加可食率和出汁率,增糖降酸以及果皮变薄。另外还需要注意在钙、镁和钼元素缺乏的果园增施相应元素,以及通过控制树势来增大果实对磷元素的吸收能力,也可以对果实生长、可食率和总糖含量的提高以及可滴定酸含量的减少起到一定的作用,从而为金沙柚品质的提升和市场的竞争力的提高打下基础。

**关键词:**金沙柚;矿质营养元素;果实品质;相关性分析

**中图分类号:**S666.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-2286(2021)01-0070-12

## Correlation between Fruit Quality and Mineral Nutrients in Soil, Leaf and Fruit of 'Jinsha' Pomelo

YU Xuan, WEN Ting, MA Qingling, LIU Dechun,  
HU Wei, LIU Yong, YANG Li\*

(College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

**收稿日期:**2020-09-19 **修回日期:**2020-11-06

**基金项目:**国家自然科学基金项目(31660563,31860544)和江西省柑橘产业技术体系项目(JXARS-07-栽培岗位)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China (31660563,31860544)and Technical System of Jiangxi Province Citrus Industry (JXARS-07-Cultivation Position)

**作者简介:**余璇, orcid.org/0000-0002-1245-9447, 971045197@qq.com; \*通信作者:杨莉, 讲师, 博士, 主要从事果树生物技术及遗传育种研究, orcid.org/0000-0003-2569-1920, yangli526526@126.com。

**Abstract:** [Objective] In order to provide direct theoretical basis for scientific fertilization of ‘Jinsha’ pomelo in Ji’an City of Jiangxi Province. [Method] The contents of mineral nutrient of soil, leaves and fruits in addition to fruit quality of 23 orchards in Ji’an City were determined. Correlation analysis and multiple stepwise linear regression analysis were carried out by WPS and SPSS software. The main mineral nutrient factors of soil, leaf and fruit affecting the fruit quality of ‘Jinsha’ pomelo were screened out. [Result] The results showed that the soil of 77.27% of the orchards had a pH value below 5.5, and the 95.45% of orchards had organic matter content less than 15 g/kg; Nitrogen, phosphorus and potassium were mainly deficient in soil, and the contents of nitrogen and potassium in leaves were mainly moderate and high, while the contents of nitrogen and potassium in leaves of some orchards were excessive. The average contents of these three elements in fruits were 0.80 g/kg, 0.16 g/kg and 1.48 g/kg, respectively. The contents of Ca and Mg in soil and leaves of most orchards were deficient, and their average contents in fruits were 83.49 mg/kg and 51.70 mg/kg, respectively; The contents of Fe, Mn and Cu of soil and leaves were suitable or above in most orchards, and the average values of them were 2.33 mg/kg, 0.28 mg/kg and 0.36 mg/kg, respectively. The contents of Zn and B in soil and leaves were different, Zn was mainly suitable in soil and deficient in leaves. Boron was 100% deficient in soil and suitable in leaves of most orchards. Their average contents in fruits were 0.60 mg/kg and 0.73 mg/kg, respectively. The content of molybdenum of soil and leaves of nearly half of the orchards were deficient, and the average content of molybdenum in fruits was 56.04  $\mu$ g/kg. The results of correlation and linear regression analysis showed that pericarp thickness was negatively correlated with the content of molybdenum in leaves, but positively correlated with the manganese in fruit; The edible rate was negatively correlated with available manganese in soil, and positively correlated with calcium, copper and molybdenum in leaves, and positively correlated with phosphorus in fruits; Juice yield was positively correlated with pH value of soil, and negatively correlated with available manganese in and the content of manganese in leaf; Soluble solids content were positively correlated with copper in leaves; Total sugar was negatively correlated with available iron in soil and positively correlated with calcium in fruits; Titratable acids were positively correlated with iron in fruits and negatively correlated with phosphorus in fruits; Vc was negatively correlated with boron in leaves. [Conclusion] In summary, by increasing the application of alkaline substances such as lime and increasing the application of organic matter can effectively solve the problem of soil acidification and improve the soil structure. It is also beneficial to reduce the content of iron and manganese in soil of orchards with high or excessive amounts of iron and manganese, and further solve the antagonistic problem of zinc absorption hindering. According to the analysis results of correlation and linear regression equation, soil improvement can increase the edible rate and juice yield, increase sugar, reduce acid content and peel thinning of ‘Jinsha’ pomelo. In addition, it is also necessary to apply the corresponding elements in orchards lacking calcium, magnesium and molybdenum, and to increase the absorption capacity of fruits to phosphorus by controlling tree vigor, which can also play a certain role in the improvement of fruit growth, edible rate, total sugar content and reduction of titratable acid content. Thus to lay a foundation for the improvement of the fruit quality and market competitiveness of ‘Jinsha’ pomelo.

**Keywords:** ‘Jinsha’ pomelo; mineral nutrient elements; fruit quality; correlation analysis

【研究意义】金沙柚 [*Citrus maxima* (Burm.) Merr.] 是金兰柚与沙田柚杂交的后代, 具有结果早、丰产性好、抗逆性和适应性强等特点, 果形端正、风味浓甜、营养丰富, 是江西省吉安市井冈蜜柚特色发展主栽品种<sup>[1]</sup>。果树的长势及果实品质与果树生长环境的矿质营养密切相关, 通过对果园土壤理化性状、树体营养状况、果实品质的检测和它们之间的相关性分析, 可以找出果园土壤和树体管理中存在的问题<sup>[2]</sup>。基于合理的土壤和树体营养诊断, 保持一定浓度和比例的矿质元素含量有利于果树的生长及结果<sup>[3]</sup>。【前人研究进展】目前, 在柚类矿质营养对果实品质的影响研究已有不少。如张涓涓等<sup>[4]</sup>通过分析马家柚土壤、叶片和果实矿质元素与果实品质之间的关系发现解决土壤酸化问题、适当增施有机肥和锌肥、钙肥,

对提高马家柚的果实品质有重要作用;郭雁君等<sup>[5]</sup>分析汶朗蜜柚果实品质与矿质养分之间的关系,发现果实品质的形成受树体对矿质元素的吸收和利用能力的影响大于土壤中矿质元素含量的影响;涂常青等<sup>[6]</sup>探索土壤养分状况与沙田柚果实品质的关系,发现沙田柚果实品质主要受土壤氮、磷、钾元素含量的影响。【本研究切入点】金沙柚作为江西本地特色品种,目前进行了分析采收成熟度对金沙柚长期贮藏品质的影响<sup>[7]</sup>、干旱胁迫对金沙柚生理特征的影响<sup>[8]</sup>等相关研究,而对于土壤、叶片、果实矿质养分对金沙柚果实品质的影响还尚未有研究。【拟解决的关键问题】本研究拟对江西省吉安市23个金沙柚果园进行土壤、叶片、果实矿质养分和果实品质检测,并对土壤、叶片、果实矿质养分和金沙柚品质之间的关系进行相关性和多元分析,了解吉安市金沙柚果园中矿质养分的盈亏状况,筛选影响果实品质形成的主要土壤、叶片和果实矿质因子,为金沙柚科学施肥提供直接依据,对生产品质优良的金沙柚具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品果园选取

本试验所采集金沙柚来自吉安市的23个果园,果园土壤类型为红壤土,树龄6~8年,树势均衡,当地对于树体的管理方式基本相同,果园气候类型基本一致。

### 1.2 土壤样品采集及处理

2018年11月中上旬果实采收后,按照“S”形在果园中选取长势基本一致的7~10株树,在每株采样树滴水线外20~30 cm处确定一个取样点,用土钻采集0~40 cm深处的土壤,采集后混合所有取样点土壤样品,用四分法取约1 kg土壤,作为一个检测样品。将检测样品带回实验室烘干并研碎,过100目筛,装入具塞的磨口玻璃瓶中,阴凉干燥处保存备用。

### 1.3 叶片样品采集及处理

在每株采样树的树冠中外围选取长势一致的春梢,采集枝条顶端往下第2、3片叶,每株树采约10片叶,每个果园采集70~100片叶作为一个检测样品。将样品带回实验室洗净后,放入105℃烘箱中杀青20 min,75℃烘干,研磨后过60目尼龙筛,装入具塞的磨口玻璃瓶中,阴凉干燥处保存备用。

### 1.4 果实样品采集

果实成熟时,在土壤取样点的金沙柚树的树冠中部外围东、南、西、北不同方位各取果实一个,标记好后带回实验室。

### 1.5 测定方法

土壤测定方法:土壤样品采用玻璃电极法测定pH值,重铬酸钾容量法—稀释热法测定土壤有机质含量,采用碱解扩散法测定碱解氮含量,碳酸氢钠浸提钼锑抗比色法测定速效磷含量,乙酸铵浸提火焰光度计法测定速效钾含量,乙酸铵提取,ICP-AES法测定有效钙镁含量,0.1 mol/L盐酸浸提后ICP-AES法测定有效铁、有效锰、有效铜和有效锌含量,沸水浸提后ICP-AES法测定土壤有效硼含量。有效铝含量采用以草酸-草酸铵溶液为浸提剂的催化极谱法测定。

叶片测定方法:叶片样品采用硫酸-双氧水消解后,微量凯氏定氮法测定氮含量,钼锑抗比色法测定磷含量,火焰光度计法测定钾含量。利用硝酸-双氧水消解,ICP-AES法测定钙、镁、铁、锰、铜、锌、硼的含量。铝含量采用干灰化-极谱法测定。

果实品质测定方法:分别用电子天平和游标卡尺测定单果质量和果皮厚度。取果汁测定果实内含物含量:可溶性固形物含量用手持折光仪测定;可滴定酸含量用酸碱滴定法测定;Vc采用2,6-二氯靛酚氧化滴定法测定,总糖采用蒽酮比色法。

### 1.6 数据处理与分析

采用WPS软件绘制图表,SPSS 22.0软件对所测定的数据进行相关性分析以及线性回归方程的建立。

## 2 结果与分析

### 2.1 金沙柚果园土壤、叶片、果实矿质营养及果实品质概况

2.1.1 土壤矿质营养结果分析 土壤养分参照鲁剑巍等<sup>[9]</sup>、庄伊美<sup>[10]</sup>和何天富<sup>[11]</sup>文中的分级标准。金沙

柚果园测得土壤 pH 平均值为 5.29, 分布范围为 4.45~7.76, 有机质平均值为 10.72 g/kg, 分布范围为 4.60~16.17 g/kg, 根据土壤养分分级标准以及土壤 pH 值的测试结果, 77.27% 的果园土壤 pH 值低于 5.5, 95.45% 的果园有机质含量低于 15 g/kg。

金沙柚果园土壤矿质养分基本情况如表 1 所示, 根据矿质元素的适宜范围<sup>[9-11]</sup>, 吉安市大部分金沙柚果园土壤中碱解氮、速效磷、速效钾、交换性钙、交换性镁、有效硼供应不足, 缺乏和极度缺乏的果园比例分别达到 86.95%、60.87%、65.22%、82.61%、82.61% 和 100%。其中碱解氮、速效磷、速效钾、交换性钙和交换性镁还存在 30.43%、26.09%、17.39%、4.35% 和 65.22% 极度缺乏的果园比例。不过速效磷和交换性钙变异范围和变异系数较大, 速效磷存在 13.04% 的果园含量为高量的情况, 而交换性钙还存在 8.7% 的果园含量为过量的情况。土壤有效铁、有效锰和有效铜含量分布情况比较相似, 三者适宜及适宜以上比例分别达到 78.26%、65.22% 和 56.52%, 并且达到过量的果园比例分别为 8.70%、4.35% 和 13.04%。不过三者的变异范围和变异系数较大, 特别是有效锰和有效铜还分别有 4.35% 和 13.04% 的果园含量极度缺乏。另外, 土壤有效锌和有效钼分别有 69.57% 和 52.18% 的果园供应充足, 但不存在过量情况, 不过值得注意的是还存在 17.39% 的极度缺乏有效锌比例的果园。

表 1 金沙柚果园土壤有效养分含量情况及分布频率

Tab.1 Content and distribution frequency of available nutrients in 'Jinsha' pomelo orchard soil

指标 Index	范围/ (mg·kg <sup>-1</sup> ) Range	平均值/ (mg·kg <sup>-1</sup> ) Mean	变异系 数/% CV	分布频率/% Frequency distribution				
				极缺 Deficiency	缺乏 Low	适量 Optimum	高量 High	过量 Excess
碱解氮 Avail.N	19.59~169.83	68.69	53	30.43	56.52	13.04	0	0
速效磷 Avail.P	1.01~251.80	37.73	164	26.09	34.78	26.09	13.04	0
速效钾 Avail.K	13.37~189.26	91.55	52	17.39	47.83	34.78	0	0
交换性钙 Avail.Ca	148.29~4 589.49	791.56	136	4.35	78.26	8.70	0	8.70
交换性镁 Avail.Mg	14.51~277.35	87.72	79	65.22	17.39	17.39	0	0
有效铁 Avail.Fe	5.61~56.18	22.13	66	0	21.74	30.43	39.13	8.70
有效锰 Avail.Mn	1.51~72.12	14.43	109	4.35	30.43	43.48	17.39	4.35
有效铜 Avail.Cu	0.18~2.79	0.89	85	13.04	30.43	26.09	17.39	13.04
有效锌 Avail.Zn	0.35~5.05	1.64	80	17.39	13.04	65.22	4.35	0
有效硼 Avail.B	0.04~0.26	0.13	46	0	100	0	0	0
有效钼 Avail.Mo	0.02~0.21	0.07	71	0	47.83	47.83	4.35	0

2.1.2 叶片矿质营养分析 叶片养分分级综合参照杨宇等<sup>[12]</sup>、Thomas 等<sup>[13]</sup>的分级标准。叶片矿质养分基本情况如表 2 所示, 根据柑橘叶片营养诊断指标, 叶片氮、磷、钾元素以适宜及适宜以上为主, 分别达 91.30%、100%、100%, 其中氮、钾元素过量果园均达到 21.74%, 不过还存在 4.34% 氮元素极度缺乏的果园。叶片钙、镁元素含量以缺乏及极缺为主, 分别达 91.31%、69.57%, 其中极度缺乏果园也达到了 8.7% 和 21.74%。叶片铁含量高量及高量以上果园比例为 100%。叶片锰、铜和硼元素含量以适宜及适宜以上为主, 比例分别为 95.65%、86.96% 和 95.65%, 并且铜和硼元素还分别存在 34.78% 和 13.04% 含量为过量的果园。叶片锌和钼元素含量以适宜及适宜以下为主, 锌元素的适宜、缺乏和极度缺乏果园比例分别为 34.78%、34.78%、30.43%, 而钼元素适宜和缺乏果园比例分别为 47.83%、52.17%。

2.1.3 果实矿质营养分析 金沙柚果实矿质养分含量见表 3。大量元素氮、磷、钾的平均值分别为 0.80, 0.16, 1.48 g/kg; 中量元素钙、镁的平均值分别为 82.49, 51.70 mg/kg; 微量元素铁、硼的平均值分别为 2.33, 0.73 mg/kg, 微量元素锰、铜、锌、钼含量的平均值为 281.18, 362.69, 603.42, 56.04 μg/kg。此元素含量结果与庄伊美<sup>[14]</sup>对琯溪蜜柚鲜果果肉营养元素平均含量的分析的高低顺序一致。且微量元素中都以铁含量为最高, 其余元素含量较低, 这表明不同柚类品种的果实矿质元素含量之间存在共性。果实中不同矿质元素变异系数差异较大, 最高为钼元素的变异系数, 最低为镁元素。

表 2 金沙柚果园叶片有效养分含量情况及分布频率

Tab.2 Content and distribution frequency of available nutrients in leaves of 'Jinsha' pomelo orchard

指标 Index	范围 Range	平均值 Mean	变异系数/% CV	分布频率/% Frequency distribution				
				极缺 Deficiency	缺乏 Low	适量 Optimum	高量 High	过量 Excess
氮/% N	2.19~3.16	2.75	9	4.34	4.34	52.17	17.39	21.74
磷/% P	0.13~0.21	0.17	14	0	0	39.13	60.87	0
钾/% K	1.02~2.41	1.67	19	0	0	26.09	52.17	21.74
钙/% Ca	1.58~3.22	2.24	21	8.70	82.61	8.70	0	0
镁/% Mg	0.09~0.51	0.27	36	21.74	47.83	26.09	4.35	0
铁/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Fe	148.29~486.92	240.63	37	0	0	0	47.83	52.17
锰/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Mn	24.09~160.42	70.79	51	0	4.35	82.61	13.04	0
铜/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Cu	3.32~92.75	19.92	97	4.35	8.70	47.83	4.35	34.78
锌/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Zn	12.06~42.78	24.02	36	30.43	34.78	34.78	0	0
硼/(mg·kg <sup>-1</sup> ) B	28.98~499.64	129.57	81	0	4.35	43.48	39.13	13.04
钼/(μg·kg <sup>-1</sup> ) Mo	0.05~0.23	0.11	36	0	52.17	47.83	0	0

表 3 金沙柚果实矿质营养含量

Tab.3 Mineral nutrition content of 'Jinsha' pomelo fruit

项目 Item	平均值 Mean	最小值 Minimum	最大值 Maximum	变异系数/% CV
氮/(g·kg <sup>-1</sup> ) N	0.80	0.55	1.16	22
磷/(g·kg <sup>-1</sup> ) P	0.16	0.09	0.21	18
钾/(g·kg <sup>-1</sup> ) K	1.48	1.19	1.9	41
钙/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Ca	82.49	44.97	182.61	13
镁/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Mg	51.70	43.92	62.82	9
铁/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Fe	2.33	1.44	3.07	24
锰/(μg·kg <sup>-1</sup> ) Mn	281.18	178.94	955.09	58
铜/(μg·kg <sup>-1</sup> ) Cu	362.69	181.93	664.3	18
锌/(μg·kg <sup>-1</sup> ) Zn	603.42	375.55	839.31	26
硼/(mg·kg <sup>-1</sup> ) B	0.73	0.31	1.14	20
钼/(μg·kg <sup>-1</sup> ) Mo	56.04	7.13	206.15	110

2.1.4 果实品质概况 金沙柚果实品质概况见表 4,其中单果质量范围为 634.33~1 198.67 g,果型指数平均值为 1.13,果皮厚度范围为 8.58~15.95 mm,囊瓣数和种子数的平均值分别为 13.71 和 80.09,可食率和出汁率的平均值分别为 54.24% 和 32.01%,可滴定酸的范围为 0.29%~1.25%,V<sub>c</sub> 的平均值为 63.42 mg/100 g,可溶性固形物的平均值为 10.33%,总糖含量的平均值为 8.26%。其中各果园差异最大的为种子数和可滴定酸,差异最小的是果形指数和囊瓣数。

## 2.2 果实品质影响因子的相关性分析

2.2.1 土壤矿质养分与果实品质的相关性分析 表 5 所示为金沙柚土壤矿质养分与果实品质的相关性分析,其中呈显著性负相关的有果形指数与速效磷(-0.428)、可食率与有效锰(-0.415)、出汁率与有效锰(-0.505),可溶性固形物与有效铁(-0.470)和有效铜(-0.414)。而总糖与有效铁之间呈极显著负相关(-0.549)。另外,出汁率与 pH 值之间呈显著性正相关(0.506)。

2.2.2 叶片矿质养分与果实品质的相关性分析 金沙柚叶片矿质养分与果实品质的相关性结果见表 6,其中果皮厚度与钼元素(-0.455)、种子数与磷元素(-0.428)、V<sub>c</sub> 与硼元素(-0.441)之间呈显著负相关,而

表 4 金沙柚果实品质概况  
Tab.4 Fruit quality profile of 'Jinsha' pomelo

项目 Item	单果 质量/g Fruit mass	果形 指数 Shape index	果皮 厚度/mm Pericarp thickness	囊瓣数 Number of cysts	种子数 Seeds	可食率/% Edible rate	出汁率/% Juice yield	可滴 定酸/% Titratable acid	Vc/ (mg·100 g <sup>-1</sup> )	可溶性 固形物/% Soluble solids content	总糖/% Total sugar
平均值 Mean	859.06	1.13	12.19	13.71	80.09	54.24	32.01	0.55	63.42	10.33	8.26
最小值 Minimum	634.33	1.02	8.58	12.33	4.00	40.22	23.88	0.29	44.14	8.90	5.95
最大值 Maximum	1 198.67	1.23	15.95	15.33	126.67	69.10	42.72	1.25	87.86	12.07	11.67
变异系数/% CV	17	6	16	5	43	11	16	38	21	9	19

表 5 土壤养分与果实品质的相关性  
Tab.5 Correlation between soil nutrients and fruit quality

项目 Item	pH	有机质 O.M	碱解氮 Avail.N	速效磷 Avail.P	速效钾 Avail.K	交换性钙 Avail.Ca	交换性镁 Avail.Mg	有效铁 Avail.Fe	有效锰 Avail.Mn	有效铜 Avail.Cu	有效锌 Avail.Zn	有效硼 Avail.B	有效钼 Avail.Mo
单果质量 Fruit mass	-0.327	0.045	0.367	0.011	0.132	0.226	0.053	0.053	0.051	0.317	0.194	0.350	-0.132
果形指数 Shape index	-0.370	-0.151	-0.039	-0.428*	0.321	-0.064	0.122	-0.357	-0.188	-0.073	-0.105	0.051	0.263
果皮厚度 Pericarp thickness	-0.385	-0.216	-0.068	0.265	0.064	0.059	-0.014	0.217	0.351	0.055	0.097	-0.082	0.037
囊瓣数 Number of cysts	-0.005	-0.067	-0.177	-0.110	0.152	-0.030	-0.088	-0.171	0.104	0.021	0.203	-0.273	0.085
种子数 Seeds	-0.381	-0.072	0.320	0.268	0.235	-0.058	-0.192	0.192	0.227	0.124	0.226	0.228	-0.275
可食率 Edible rate	0.017	0.072	0.096	-0.190	0.056	0.262	0.211	0.005	-0.415*	0.228	0.302	0.390	-0.073
出汁率 Juice yield	0.506*	0.187	-0.225	-0.327	0.216	-0.145	0.177	-0.346	-0.505*	-0.064	-0.003	0.000	-0.116
可滴定酸 Titratable acid	-0.083	-0.024	-0.187	-0.032	0.027	-0.185	-0.076	-0.233	-0.046	-0.143	0.118	-0.204	0.148
Vc	-0.135	-0.184	0.110	0.078	-0.106	-0.291	-0.263	-0.284	0.039	-0.061	0.061	-0.200	-0.221
可溶性固形物 Soluble solids content	0.005	-0.104	0.147	-0.109	-0.105	-0.337	-0.303	-0.470*	-0.384	-0.414*	-0.013	0.065	-0.275
总糖 Total sugar	0.234	0.003	0.159	-0.101	0.051	-0.258	-0.255	-0.549**	-0.083	-0.290	-0.125	-0.122	-0.294

\*为0.05显著性水平差异,\*\*为0.01显著性水平差异

\* stands for  $P<0.05$ ,\*\*stands for  $P<0.01$ , respectively

出汁率与锰元素之间呈极显著负相关(-0.556)。可溶性固形物与铜元素(0.423)、可食率与钙元素(0.449)之间呈显著正相关,而可食率与铜元素(0.654)及钼元素(0.543)之间呈极显著正相关。

2.2.3 果实矿质养分与果实品质的相关性分析 表7所示为果实矿质养分与果实品质的相关性,不同矿质养分与金沙柚果实品质间存在较强的相关性,其中呈显著正相关( $P<0.05$ )的有单果质量与钙元素

表6 叶片矿质养分与果实品质的相关性  
Tab.6 Correlation between leaf mineral nutrients and fruit quality

项目 Item	氮 N	磷 P	钾 K	钙 Ca	镁 Mg	铁 Fe	锰 Mn	铜 Cu	锌 Zn	硼 B	钼 Mo
单果质量 Fruit mass	0.005	-0.333	0.159	0.214	0.040	0.218	0.078	0.085	-0.003	-0.144	0.170
果形指数 Shape index	-0.069	-0.251	0.219	-0.145	-0.243	-0.137	-0.266	-0.345	0.001	0.185	-0.231
果皮厚度 Pericarp thickness	0.255	-0.212	0.092	-0.062	0.017	0.164	0.412	-0.300	0.062	0.076	-0.455*
囊瓣数 Number of cysts	0.113	-0.334	0.197	-0.160	-0.255	0.318	0.029	0.033	-0.014	-0.211	0.042
种子数 Seeds	0.076	-0.428*	0.091	0.043	-0.106	0.366	0.271	0.261	0.152	0.101	0.019
可食率 Edible rate	-0.015	0.078	-0.023	0.449*	0.078	0.247	-0.405	0.654**	0.230	0.198	0.543**
出汁率 Juice yield	-0.100	0.313	0.031	0.208	0.241	-0.065	-0.556**	0.270	0.055	0.064	0.259
可滴定酸 Titratable acid	0.064	-0.302	0.139	-0.320	-0.177	-0.074	0.115	-0.032	-0.027	-0.098	-0.062
Vc	-0.103	-0.290	-0.042	-0.233	-0.212	0.183	-0.103	-0.026	-0.357	-0.441*	0.214
可溶性固形物 Soluble solids content	-0.054	-0.308	-0.039	-0.187	-0.196	0.106	-0.343	0.423*	-0.140	-0.055	0.324
总糖 Total sugar	0.003	-0.249	0.039	-0.176	-0.062	-0.226	-0.185	-0.065	-0.299	-0.379	0.164

\*为0.05显著性水平差异,\*\*为0.01显著性水平差异

\* stands for  $P < 0.05$ , \*\*stands for  $P < 0.01$ , respectively

(0.520)、果形指数与铁元素(0.477)、果皮厚度与锰元素(0.500)、可滴定酸与铁元素(0.515)。呈极显著正相关的有果形指数与铜元素(0.526)、可食率与磷元素(0.657)、Vc与钙元素(0.772)。呈显著负相关的有可食率与锰元素(-0.512)、可滴定酸与磷元素(-0.513)、Vc与硼元素(-0.421)。

### 2.3 影响果实品质的矿质因子筛选及回归方程的建立

金沙柚土壤、叶片、果实矿质营养与果实品质之间的关系通过相关性分析得出的相关系数差异较大,表明矿质养分与果实品质之间的关系复杂,仅通过相关性分析不能客观反映各个矿质元素因子对果实品质的影响。本研究将果实单果质量( $y_1$ )、果型指数( $y_2$ )、果皮厚度( $y_3$ )、囊瓣数( $y_4$ )、种子数( $y_5$ )、可食率( $y_6$ )、出汁率( $y_7$ )、可滴定酸( $y_8$ )、Vc( $y_9$ )、可溶性固形物( $y_{10}$ )、总糖( $y_{11}$ )与pH值( $x_1$ )、有机质( $x_2$ )、碱解氮( $x_3$ )、速效磷( $x_4$ )、速效钾( $x_5$ )、交换性钙( $x_6$ )、交换性镁( $x_7$ )、有效铁( $x_8$ )、有效锰( $x_9$ )、有效铜( $x_{10}$ )、有效锌( $x_{11}$ )、有效硼( $x_{12}$ )、有效钼( $x_{13}$ )进行线性回归分析,并建立线性回归方程。表8所示是影响果实品质的主要土壤养分因子及回归方程,结果表明可食率受有效锰的影响,且与之呈负相关;出汁率主要受pH值和有效锰的影响,且与pH值呈正相关,与有效锰呈负相关;总糖主要与有效铁有关,与之呈负相关。影响果实品质的土壤养分因子主要是pH值以及铁、锰、铜等微量元素,适当调节可有利于果实品质提高。

以相同的方法建立果实品质与叶片主要养分因子之间的线性回归方程。如表9所示,叶片铜元素对果实可食率和可溶性固形物都有影响,并且都呈现正相关,另外钙元素也与果实可食率呈正向相关的情况。相反的是,果皮厚度与叶片钼元素,出汁率与锰元素以及Vc与硼元素之间都呈负相关。

表 7 果实矿质营养与果实品质的相关性  
Tab.7 Correlation between fruit mineral nutrition and fruit quality

项目 Item	氮 N	磷 P	钾 K	钙 Ca	镁 Mg	铁 Fe	锰 Mn	铜 Cu	锌 Zn	硼 B	钼 Mo
单果质量 Fruit mass	-0.068	0.003	-0.342	0.520*	-0.322	-0.075	0.058	0.258	0.292	0.017	-0.117
果形指数 Shape index	0.174	-0.346	0.051	-0.059	0.071	0.477*	0.194	0.526**	0.386	0.377	0.352
果皮厚度 Pericarp thickness	0.255	-0.389	-0.165	0.188	0.140	0.064	0.500*	0.139	0.213	0.006	0.181
囊瓣数 Number of cysts	-0.120	-0.165	0.071	0.318	-0.003	0.306	0.254	0.050	-0.141	-0.290	0.068
种子数 Seeds	0.017	-0.088	-0.309	0.309	-0.213	-0.158	0.072	0.164	-0.031	0.139	-0.197
可食率 Edible rate	-0.251	0.657**	-0.093	-0.235	-0.388	-0.044	-0.512*	-0.026	0.181	0.257	-0.299
出汁率 Juice yield	-0.064	0.309	0.114	-0.224	0.118	0.087	-0.391	0.098	0.011	0.260	0.038
可滴定酸 Titratable acid	0.054	-0.513*	-0.150	0.122	0.329	0.515*	0.284	0.393	0.125	-0.073	0.070
Vc	-0.118	-0.319	-0.156	0.772**	-0.010	-0.074	0.280	0.038	-0.375	-0.421*	0.209
可溶性固形物 Soluble solids content	0.112	-0.299	-0.245	0.282	0.209	0.549**	0.126	0.364	-0.077	-0.022	-0.049
总糖 Total sugar	0.183	-0.282	0.014	0.707**	0.320	0.245	0.123	0.245	-0.218	-0.166	0.078

\*为0.05显著性水平差异,\*\*为0.01显著性水平差异  
\* stands for  $P<0.05$ ,\*\*stands for  $P<0.01$ , respectively

表 8 影响果实品质的主要土壤养分因子及回归方程  
Tab.8 Main soil nutrient factors and regression equations affecting fruit quality

果实品质 Fruit qualities	影响果实品质的土壤养分因子(x)	回归方程 Regression equations	方程 F 值 F value of equation
可食率 $y_1$ Edible rate	有效锰( $x_9$ )	$y_1=0.565-0.002x_9$	4.363*
出汁率 $y_2$ Juice yield	PH( $x_1$ )、有效锰( $x_9$ )	$y_2=0.316+0.004x_1-0.001x_9$	7.906**
总糖 $y_4$ Total sugar	有效铁( $x_8$ )	$y_4=9.558-0.059x_8$	9.079**

\*为0.05显著性水平差异,\*\*为0.01显著性水平差异  
\* stands for  $P<0.05$ ,\*\*stands for  $P<0.01$ , respectively

表 9 影响果实品质的主要叶片养分因子及回归方程  
Tab.9 Main nutrient factors and regression equations affecting fruit quality

果实品质 Fruit qualities	影响果实品质的叶片养分因子( $\alpha$ )	回归方程 Regression equations	方程 F 值 F value of equation
果皮厚度 $y_1$ Pericarp thickness	钼( $\alpha_{13}$ )	$y_1=14.563-0.021\alpha_{13}$	5.495*
可食率 $y_3$ Edible rate	铜( $\alpha_{10}$ )、钙( $\alpha_6$ )	$y_3=0.415+0.002\alpha_{10}+0.002\alpha_6$	8.270**
出汁率 $y_4$ Juice yield	锰( $\alpha_9$ )	$y_4=0.375-0.001\alpha_9$	9.412**
Vc $y_5$	硼( $\alpha_{12}$ )	$y_5=70.786-0.057\alpha_{12}$	5.070*
可溶性固形物 $y_6$ Soluble solids	铜( $\alpha_{10}$ )	$y_6=9.933+0.020\alpha_{10}$	4.587*

\*为0.05显著性水平差异,\*\*为0.01显著性水平差异  
\* stands for  $P<0.05$ ,\*\*stands for  $P<0.01$ , respectively

影响果实品质的主要果实矿质养分因子及回归方程如表 10 所示,其中果形指数与铁元素呈正相关,果皮厚度与锰呈元素正相关,可食率与磷元素呈正相关。可滴定酸主要受磷和铁的影响,且可滴定酸与磷呈负相关,但与铁呈正相关;影响果实品质的主要果实矿质养分因子主要为铁、锰、磷等。

表 10 影响果实品质的主要果实矿质养分因子及回归方程  
Tab.10 Mineral nutrient factors and regression equations affecting fruit quality

果实品质 Fruit qualities	影响果实品质的果实养分因子( $\beta$ ) Soil nutrients factors affecting fruit qualities	回归方程 Regression equations	方程 $F$ 值 $F$ value of equation
果形指数 $y_2$ shape index	铁( $\beta_8$ )	$y_2=0.954+0.077\beta_8$	8.021**
果皮厚度 $y_3$ Pericarp thickness	锰( $\beta_9$ )	$y_3=10.457+0.006\beta_9$	6.990*
可食率 $y_4$ Edible rate	磷( $\beta_4$ )	$y_4=0.331+1.310\beta_4$	15.945***
可滴定酸 $y_5$ Titratable acid	磷( $\beta_4$ )、铁( $\beta_8$ )	$y_5=0.715-3.145\beta_4+0.146\beta_8$	5.421*

\*为0.05显著性水平差异,\*\*为0.01显著性水平差异,\*\*\*为0.001显著性水平差异  
\* stands for  $P<0.05$ ,\*\*stands for  $P<0.01$ ,\*\*\*stands for  $P<0.001$ , respectively

### 3 结论与讨论

江西省吉安市属中亚热带季风湿润气候,以红壤为主,水资源十分丰富,非常适宜蜜柚栽培,柚类产业发展迅速<sup>[15]</sup>。吉安市建立的“井冈蜜柚”,以选育的金沙柚、金兰柚和桃溪蜜柚作为主导品种,已成功注册地理标志证明商标。截至2019年底,吉安市井冈蜜柚种植总面积为2.68万  $\text{hm}^2$ ,投产面积1万  $\text{hm}^2$ ,总产量15万 t,位居江西省蜜柚栽培面积第一。但目前井冈蜜柚所存在的果品质量参差不齐问题,成为其发展的一大障碍。通过土壤和树体营养诊断,并了解其对果实品质的影响,进一步提出有效的解决方案,可以对“井冈蜜柚”品牌的建立起到一定的作用。本文以吉安市种植面积最大的井冈蜜柚品种金沙柚作为材料进行了相关的研究。

土壤 pH 值及有机质作为土壤重要属性之一,对土壤中养分的有效性 & 保肥能力有着重要作用<sup>[16]</sup>。在 23 个金沙柚果园中,77.27% 的果园土壤 pH 值低于 5.5,同时 95.45% 果园的土壤有机质的含量低于 15 g/kg。通过调查发现,除了土壤类型影响之外,盲目施肥也是造成土壤酸化、有机质不足的主要原因<sup>[17]</sup>。线性回归分析结果显示,土壤 pH 值还与出汁率密切相关,适当提高 pH 值可以改善果实口感。因此在生产中应通过增施石灰或白云石等解决土壤酸化的问题,并加大有机质肥的投入。

氮、磷、钾元素对果实品质和产量起着关键作用<sup>[18-19]</sup>,金沙柚果园土壤中大量元素氮、磷、钾含量大部分以缺乏为主,此调查结果与刘秀红等<sup>[20]</sup>和孙永明等<sup>[21]</sup>对江西柑橘果园调查结果一致。通过比较发现,金沙柚果实中氮和磷元素含量平均值远低于琯溪蜜柚,除了品种差异外,可能也存在一定的缺乏情况。但在叶片中氮、磷、钾元素含量情况与之相反,以适宜及适宜以上比例为主,分别达到 91.30%、100% 和 100%,其中氮和钾元素还出现了 21.74% 果园含量过量情况。金沙柚叶片养分状况与土壤中元素含量丰缺情况不一致,可能与土壤养分分布不均、土壤养分的转化具有时效性、采用叶面施肥方式以及元素之间的相互作用等有关<sup>[22-25]</sup>。金沙柚叶片与果实养分状况不一致,可能与植物不同器官在吸收矿质养分的竞争能力有关<sup>[26]</sup>。通过线性回归分析发现,金沙柚果实磷含量与可食率呈正相关,可能与磷有利于果肉细胞分裂的原因有关<sup>[17]</sup>,而果实磷与可滴定酸呈负相关,这与 Ladanyia 等<sup>[27]</sup>报道的在柑橘果实中由于缺磷导致果实中酸含量升高结果相同,因此果实中磷元素含量的提高有利于可食用部分的增加以及口感的提升。在实际生产中,一方面通过土壤理化性质的改善提高树体对土壤有效磷的吸收效率,另一方面还需要注意通过树势的控制增加果实相对于叶片对磷元素吸收的竞争能力。金沙柚果园土壤和叶片中钙和镁含量均以缺乏为主,土壤中缺乏及极缺所占比例均达到 82.61%。而叶片中钙和镁元素缺乏及极缺果园的比例也分别占 91.31%、69.57%。南方雨水较多导致钙和镁离子容易流失,土壤风化和淋溶作用也使得土壤对钙和镁离子的吸附量下降<sup>[28]</sup>。另外,钙镁肥施入不足,也是导致果园土壤和叶片中含量不足的原因之一<sup>[29]</sup>。线性回归方程结果显示叶片钙元素含量与可食率呈正相关,同时相关性分析还表明果实钙元素含量与单果质量、总糖以及 Vc 均呈显著或极显著正相关,此结果与前人研究结果一

致<sup>[29-30]</sup>,表明钙元素施入和吸收不足已成为金沙柚栽培的一个突出问题。因此在实际生产中,应该注重钙镁肥的施用,如施用镁质石灰等,为了增加钙镁肥的有效利用,可以采用叶片喷施的方法。

金沙柚果园土壤中微量元素铁、锰和铜元素适宜及适宜以上水平比例分别达到78.26%、65.22%和56.52%,而叶片中铁、锰和铜元素适宜及适宜以上水平比例分别达到了100%、95.65%和86.95%。土壤中富含铁、锰元素可能是由于酸性土壤下易发生土壤铁、锰的溶出,导致铁、锰含量过量<sup>[31]</sup>,锰含量过高也可能与代森锰锌药剂的使用有关。另外,应介官等<sup>[32]</sup>发现大部分所调查的柑橘果园中均存在土壤和叶片中铜过量的现象,认为与我国柑橘园常年喷施含铜农药有关。线性回归分析结果显示,土壤有效铁含量与总糖呈负相关,果实中铁元素含量与可滴定酸呈正相关,说明降低土壤和树体中铁含量有利于增糖降酸,提高果实品质。土壤有效锰含量与可食率和出汁率呈负相关,叶片锰元素也与出汁率呈负相关,而果实中锰含量与果皮厚度呈正相关,因此推测降低锰含量有利于减少果皮厚度并提高果汁含量。胡敏<sup>[33]</sup>等通过生石灰的施用发现可以显著降低土壤有效铁和锰的含量。因此增施有机肥提高土壤缓冲性,增施石灰、白云石等物质解决土壤酸化问题是解决金沙柚果园铁和锰元素含量过高的主要方法。叶片铜元素含量显示与可食率和可溶性固形物呈正相关,因此在铜元素缺乏的果园也仍然要注意其含量的提高。

金沙柚果园土壤中锌元素含量以适宜为主,但叶片锌元素含量不足的果园占比达65.21%,土壤与叶片锌亏缺程度不同的现象在江西的马家柚<sup>[4]</sup>和新余蜜桔<sup>[34]</sup>上也有报道。前人研究表明铁和铜元素含量过高会影响锌的吸收<sup>[35]</sup>,所以金沙柚叶片锌元素含量缺乏可能与之有关。金沙柚果园土壤中硼元素含量缺乏的比例为100%,但叶片中95.65%的果园含量达到适宜及适宜以上水平,表明果农叶面喷硼的方式起到了较好的作用。但施用硼肥之后对叶片锌的吸收也会存在明显的抑制作用<sup>[36]</sup>,所以叶片锌元素含量缺乏也可能与之有关。叶片硼元素与Vc呈负相关,表明在叶面喷硼的过程中应注意适量施用。土壤和叶片钼元素含量情况一致,有大约一半的果园存在缺乏情况,回归方程分析结果表明补充钼元素可以有利于果皮厚度的减少,除此之外相关性显示叶片钼元素与可食率呈极显著正相关。

本文通过土壤、叶片及果实营养的综合诊断发现,通过增施石灰等碱性物质,提高有机质的施入,可以有效地解决土壤酸化问题并改良土壤结构,也有利于在土壤铁、锰元素高量及过量果园中降低铁和锰元素含量,也有助于解决锌元素的拮抗问题。根据相关性和线性回归方程分析结果推测,土壤的改良有助于金沙柚增加可食率和出汁率,增糖降酸以及果皮变薄。另外还需要注意在钙、镁和钼元素缺乏的果园增施相应元素,以及通过控制树势来增大果实对磷元素的吸收能力,这可以对果实生长、可食率和总糖含量的提高以及可滴定酸含量的减少起到一定的作用,从而为金沙柚品质的提升和市场竞争力的提高打下基础。

## 参考文献 References:

- [1] 赵晓东,戴祥生,黄小英,等.加快吉安市井冈蜜柚产业发展的思考与建议[J].中国果业信息,2017,34(2):14-15.  
ZHAO X D, DAI X S, HUANG X Y, et al. Thoughts and suggestions on accelerating the development of Jinggang pomelo industry in Ji'an City[J]. China fruit news, 2017, 34(2): 14-15.
- [2] 黄春辉,曲雪艳,刘科鹏,等.‘金魁’猕猴桃园土壤理化性状、叶片营养与果实品质状况分析[J].果树学报,2014,31(6):1091-1099.  
HUANG C H, QU X Y, LIU K P, et al. Analysis of soil physicochemical properties, leaf nutrients and fruit qualities in the orchards of ‘Jinkui’ kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) [J]. Journal of fruit science, 2014, 31(6): 1091-1099.
- [3] 孟利峰.果树的营养诊断方法[J].中国果菜,2019,39(8):77-79.  
MENG L F. Nutritional diagnosis methods of fruit trees [J]. China fruit & vegetable, 2019, 39(8): 77-79.
- [4] 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.  
ZHANG J J, YANG L, LIU D C, et al. Correlation analysis between fruit quality of majia pomelo and soil nutrients, leaf and fruit mineral nutrients [J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2015, 37(5): 811-818.
- [5] 郭雁君,吉前华,蒋惠,等.肇庆特色柑橘品种汶朗蜜柚品质评价及其相关性分析[J].安徽农业科学,2014,42(13):4065-4068.

- GUO Y J, JI Q H, JIANG H, et al. Study on fruit quality and correlation analysis of a Zhaoqing local citrus cultivar (*Citrus grandis* (L.) osbeck 'wenlangmiyou') [J]. Journal of Anhui agricultural sciences, 2014, 42(13): 4065-4068.
- [6] 涂常青, 王开峰, 温欣荣, 等. 沙田柚主产区土壤养分状况与果实品质关系初探[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(6): 1128-1131.
- TU C Q, WANG K F, WEN X R, et al. Relationship between soil nutrient and Shatianyou fruit quality in its main production areas [J]. Chinese journal of eco-agriculture, 2009, 17(6): 1128-1131.
- [7] 李宏祥, 马巧利, 林雄, 等. PCA 综合分析采收成熟度对金沙柚贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2019, 40(18): 255-262.
- LI H X, MA Q L, LIN X, et al. Comprehensively analyzing the effect of harvest maturity on storage quality of Jinsha Pomelo based on PCA [J]. Science and technology of food industry, 2019, 40(18): 255-262.
- [8] 张源生. 干旱胁迫对金沙柚生理特征的影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2015.
- ZHANG Y S. Effects of drought stress on physiological and characteristics of Jinsha Pomelo [D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2015.
- [9] 鲁剑巍, 陈防, 王富华, 等. 湖北省柑橘园土壤养分分级研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2002(4): 390-394.
- LU J W, CHEN F, WANG F H, et al. Study of classification of the soil nutrient status of citrus orchard in Hubei Province [J]. Journal of plant nutrition and fertilizers, 2002(4): 390-394.
- [10] 庄伊美. 柑桔营养与施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- ZHUANG Y M. Nutrition and fertilization of *Citrus* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1997.
- [11] 何天富. 中国柚类栽培[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- HE T F. Pomelo cultivation in China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999.
- [12] 杨宇, 邓正春, 彭永胜, 等. 柑橘叶片营养诊断施肥技术研究[J]. 湖南农业科学, 2013(15): 183-184.
- YANG Y, DENG Z C, PENG Y S, et al. Study on fertilization technology of *Citrus* leaf nutrition diagnosis [J]. Hunan agricultural sciences, 2013(15): 183-184.
- [13] OBREZA T A, ZEKRI M, HANLON E A, et al. Soil and leaf tissue testing for commercial *Citrus* production [J]. Soil & water science, 2015, 253(4): 1-10.
- [14] 庄伊美. 论柚树营养与施肥 ( I ) [J]. 江西果树, 1998(2): 36-38.
- ZHUANG Y M. On the nutrition and fertilization of pomelo ( I ) [J]. Jiangxi fruits, 1998(2): 36-38.
- [15] 曾友平. 吉安市井冈蜜柚生产现状与发展对策[J]. 现代园艺, 2011(6): 25-27.
- ZENG Y P. Production status and development countermeasures of Jinggang Honey Pomelo in Ji'an City [J]. Xiandai horticulture, 2011(6): 25-27.
- [16] TRINCERA A, TORRISI B, ALLEGRA M, et al. Effects of organic fertilization on soil organic matter and root morphology and density of orange trees [J]. Acta Horticulturae, 2015(1065): 1807-1813.
- [17] 王男麒, 彭良志, 淳长品, 等. 赣南柑桔园背景土壤营养状况分析[J]. 中国南方果树, 2012, 41(5): 1-4.
- WANG N Q, PENG L Z, CHUN Z P, et al. Study on virgin soil nutrient status of citrus orchards in southern Jiangxi Province [J]. South China fruits, 2012, 41(5): 1-4.
- [18] ALVA A K, PARAMASIVAM S, OBREZA T A, et al. Nitrogen best management practice for *Citrus* trees: I. Fruit yield, quality, and leaf nutritional status [J]. Scientia horticulturae, 2006, 109(3): 223-233.
- [19] DE C B A C, DE C C Q A, DE C S A, et al. Nitrogen, phosphorus and potassium fertilization interactions on the photosynthesis of containerized *Citrus* nursery trees [J]. Journal of plant nutrition, 2015, 38(12): 1902-1912.
- [20] 刘秀红. 南丰和衢州柑橘园土壤与树体营养状况的分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- LIU X H. Analysis on soil and leaf nutrient element contents in *Citrus* orchards in Nanfeng and Quzhou [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014.
- [21] 孙永明, 黄欠如, 叶川, 等. 江西寻乌脐橙果园土壤养分变化特征研究[J]. 中国南方果树, 2014, 43(4): 60-64.
- SUN Y M, HUANG Q R, YE C, et al. Study on the variation characteristics of soil nutrient in Xunwu navel orange orchard in Jiangxi [J]. South China fruits, 2014, 43(4): 60-64.
- [22] 周鑫斌, 石孝均, 孙彭寿, 等. 三峡重庆库区柑橘园土壤养分丰缺状况研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(4): 817-823.
- ZHOU X B, SHI X J, SUN P S, et al. Status of soil fertility in *Citrus* orchards of Chongqing Sanxia Reservoir Area [J]. Journal of plant nutrition and fertilizers, 2010, 16(4): 817-823.

- [23] 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.  
LI Y F. Study on soil and plant nutrition status of *Citrus* in Yuxi City of Yunnan Province[D]. Chongqing: Southwest University, 2019.
- [24] 庄伊美. 柑桔营养与施肥[J]. 福建果树, 1992(4): 32-37.  
ZHUANG Y M. Nutrition and fertilization of *Citrus*[J]. Fujina fruits, 1992(4): 32-37.
- [25] 庄伊美, 王仁玕, 谢志南, 等. 福建南部丰产柑桔园土壤的微量元素含量[J]. 福建农学院学报, 1993, 22(1): 34-40.  
ZHUANG Y M, WANG R J, XIE Z N, et al. The contents of trace elements in the soil of productive *Citrus* in South Fujian[J]. Journal of Fujian agriculture and forestry university (natural science edition) 1993, 22(1): 34-40.
- [26] 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.  
LU J W. Study on soil and plant nutrition status and balanced fertilization techniques of the *Citrus* orchards in Hubei[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2003.
- [27] LADANYIA, M. *Citrus* fruit: biology, technology and evaluation.[J] San Diego: Academic Press, 2008: 13-65
- [28] 曹胜, 欧阳梦云, 周卫军, 等. 湖南省柑橘园土壤 pH 和主要养分特征及其相互关系[J]. 中国土壤与肥料, 2020(1): 31-38.  
CAO S, OUYANG M Y, ZHOU W J, et al. Soil pH and main nutrient characteristics of citrus orchards and their correlation in Hunan province[J]. Soil and fertilizer sciences in China, 2020(1): 31-38.
- [29] 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.  
ZHENG C S. Relationships between fruit quality and soil-plant nutrients of Nanfeng tangerine and regulation by fertilization application[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015.
- [30] 谢永红, 欧毅, 曹照春, 等. 采前喷钙和 IAA 对锦橙果实品质的影响[J]. 西南农业大学学报, 1992, 14(6): 543-545.  
XIE Y H, OU Y, CAO Z C, et al. Effects of preharvest application of calcium and IAA on the quality of "Jinchen" (*Citrus sinensis*) [J]. Journal of southwest university (natural science edition), 1992, 14(6): 543-545.
- [31] 卢映琼. 赣南脐橙果园土壤微量元素含量分布特征[D]. 赣州: 赣南师范学院, 2015.  
LU Y Q. Study on distribution of available microelements in soils from Gannan navel orange orchards[D]. Ganzhou: Gannan Normal University, 2015.
- [32] 应介官, 刘秀红, 李江波, 等. 江西南丰和浙江衢州柑桔园土壤及叶片铜、锰营养状况调查[J]. 中国南方果树, 2016, 45(6): 15-18.  
YING J G, LIU X H, LI H B, et al. Analysis of Cu and Mn contents in the soil and leaves of *Citrus* orchards in Nanfeng and Quzhou[J]. South China fruits, 2016, 45(6): 15-18.
- [33] 胡敏, 向永生, 鲁剑巍. 石灰用量对酸性土壤 pH 值及有效养分含量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2017(4): 72-77.  
HU M, XIANG Y S, LU J W. Effects of lime application rates on soil pH and available nutrient content in acidic soils[J]. Soil and fertilizer sciences in China, 2017(4): 72-77.
- [34] 魏清江, 杨莉, 刘德春, 等. 江西新余蜜桔园土壤和叶片养分现状分析[J]. 中国南方果树, 2020, 49(1): 10-13.  
WEI Q J, YANG L, LIU D C, et al. Analysis of nutrient status of soil and Leaf in *Citrus* orchards in Xinyu of Jiangxi Province [J]. South China fruits, 2020, 49(1): 10-13.
- [35] 刘茂桥. 贵州核桃主产区核桃园土壤与叶片养分状况及其评价[D]. 贵阳: 贵州大学, 2016.  
LIU M Q. Soil and leaf nutrient status and its evaluation of walnut orchards in the major producing areas of Guizhou[D]. Guiyang: Guizhou University, 2016.
- [36] 邱超, 胡承孝, 谭启玲, 等. 钙、硼对常山胡柚叶片养分、果实产量及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2): 459-467.  
QIU C, HU C X, TAN Q L, et al. Effects of calcium and boron on leaf nutrition, fruit yield and quality of Changshanhuoyou (*Citrus changshanensis*) [J]. Journal of plant nutrition and fertilizers, 2016, 22(2): 459-467.