

广西产区柑橘叶片大中量元素营养丰缺状况研究

易晓瞳^{1a},张超博^{1a},李有芳¹,彭良志¹,陈东奎²,邓崇岭³,付行政¹,
淳长品¹,陈香玲²,刘升球³,陈传武³,李果果²,黄其椿²,凌丽俐^{1*}

¹西南大学柑桔研究所·国家柑桔工程技术研究中心,重庆 400712;

²广西农业科学院园艺研究所,南宁 530007; ³广西特色作物研究院,广西桂林 541004)

摘要:【目的】系统研究广西产区柑橘树体大中量营养元素的丰缺情况,为广西柑橘平衡施肥提供理论依据。【方法】2018年调查分析了广西15个市区县207个柑橘园6月龄春梢营养枝叶片氮(N)、磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)和硫(S)元素的含量变化。【结果】广西柑橘叶片N、P、K、Ca、Mg和S含量分别为:(29.70±2.75)、(1.25±0.14)、(14.87±5.49)、(33.47±8.44)、(2.52±0.72)和(3.03±0.62)g·kg⁻¹。其中,N和K元素含量不足与超量并存,处于低量及以下水平的果园比例分别为13.53%和30.43%,而处于高量及以上水平的比例分别为45.41%和27.05%;P、Ca和Mg元素主要存在含量不足问题,其在适量水平的比例分别为67.63%,63.77%和51.21%,而在低量及以下水平的比例为32.37%,35.75%和48.79%;产区绝大部分地区S元素含量正常,处于适量水平的比例为92.75%。【结论】广西柑橘树体N、P、K、Ca和Mg元素营养明显失衡,生产上应合理施用N、K肥,适量补充P肥,重视补充Ca和Mg肥,确保树体正常生长,以促进广西柑橘产业的持续稳定发展。

关键词: 柑橘;广西;大量元素;中量元素;营养诊断

中图分类号: S666

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2019)02-0153-10

Characteristics analysis of macro-elements and mid-elements in Citrus leaves in Guangxi Province

YI Xiaotong^{1a}, ZHANG Chaobo^{1a}, LI Youfang¹, PENG Liangzhi¹, CHEN Dongkui², DENG Chongling³,
FU Xingzheng¹, CHUN Changpin¹, CHEN Xiangling², LIU Shengqiu³, CHEN Chuanwu³, LI Guoguo²,
HUANG Qichun², LING Lili^{1*}

¹Citrus Research Institute of Southwest University / National Citrus Engineering Research Center, Chongqing 400712, China; ²Horticultural Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, Guangxi, China; ³Guangxi Academy of Specialty Crops, Guilin 541004, Guangxi, China)

Abstract: 【Objective】In recent years, citrus industry in Guangxi Province has developed rapidly because of the continued high price of Shatangju and the introduction of high-sugar and low-acid of Orah varieties, coupled with the spread of banana yellow leaf disease and the decline in sugarcane benefit. In 2017, the planting area of citrus was 0.44 million hm², and its output also reached 6.87 million tons, which accounted for 40% of the total annual fruit production in Guangxi Province. The citrus growers in the province have overly relied on chemical fertilizers and used a large amount of N and P fertilizers for pursuing higher-yield output, while ignoring the other elemental fertilizers, which caused the occurrence of some problems such as the instability of citrus production, the deterioration of fruit quality and chlorosis symptom of deficiencies or toxicities, etc. In China, the research about balanced fertilization

收稿日期:2018-09-14 接受日期:2018-11-01

基金项目:国家重点研发计划专项“化学肥料和农药减施增效综合技术研发”课题(2017YFD0202006,2017YFD0202002);国家现代农业(柑橘)产业技术体系建设专项(CARS-26-01A);重庆市社会民生科技创新专项(cstc2016shmszx80004,cstc2017shms-xdny0352);西南大学基本科研业务费专项(XDJK2016C023)

作者简介:易晓瞳,女,在读硕士研究生,主要从事果树栽培与生理研究。a为共同第一作者。Tel:13060234487,E-mail:329615776@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:13638374336,E-mail:linglili@cric.cn

in citrus guided by leaf nutrition diagnosis standard was still in its infancy. In order to explore the nutritional status of citrus trees in Guangxi Province, leaf macro-elements and mid-elements were systematically studied, which provided a theoretical basis for balanced fertilization of citrus in this region. **【Methods】**In 2017, the collected leaf samples of citrus were from 207 orchards of 15 districts in Guangxi, China. 120 leaves were selected and collected in four directions from 30 trees per orchard. Then, macro-elements and mid-elements of six-month-old spring flush leaves from nonfruiting twigs were analyzed. The results were divided into five categories: deficient range, low range, optimum range, high range and excess range, according to the guidelines for interpreting the standards of citrus tree leaf analysis from the integrate data in USA and China. **【Results】**The contents of nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sulfur (S) elements were $(29.70 \pm 2.75) \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $(1.25 \pm 0.14) \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $(14.87 \pm 5.49) \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $(33.47 \pm 8.44) \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, $(2.52 \pm 0.72) \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $(3.03 \pm 0.62) \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. The lack of N and K contents coexisted with the excess. The orchards having leaf N and K contents with low range and below accounted for 13.53% and 30.43%, respectively, and those with high range and above for 45.41% and 27.05%, respectively. The N content of 1/3 of citrus orchards in Guangxi Province remained high range and excess range, except for Long'an County, Mashan County, Quanzhou County and Laibin County. However, there was still insufficient of N content in some districts such as Debao County, Long'an County, Mashan County and Quanzhou County. It was worth mentioning that leaf N deficiency accounting for more than 50% orchards occurred in Debao County, Long'an County and Mashan County. Leaf K content in nearly 1/3 of citrus orchards was above optimum range. Among them, the orchards having leaf K content with high level and above accounted for more than half in Fuchuan County, Laibin City, Lingchuan County, Long'an County and Zhongshan County. In particular, over 80% of the orchards in Laibin City, Long'an County and Zhongshan County were above optimum range. Nevertheless, there were K insufficient problems in the leaves in nearly 1/3 of the orchards in Guangxi. Among them, the K content of more than 48% of the orchards in Mashan County, Quanzhou County and Wuming County were at low range and deficient range. P, Ca and Mg contents were mainly at optimum and low range, and the proportions at the optimum range were 67.63%, 63.77% and 51.21%, respectively, while the proportions below the optimum range were 32.37%, 35.75% and 48.79%. Except for Fuchuan County and Zhongshan County, the problem of P insufficiency existed in all the regions. Particularly, leaf P content in over half of orchards in Lipu County, Lingchuan County, Long'an County, Mashan County and Shanglin County had a low level. Leaf Ca in 1/3 orchards was insufficient, and more than 50% of the orchards in Laibin City, Lingchuan County, Shanglin County, Xing'an County and Yangshuo County had a low Ca range. Leaf Mg content of nearly 1/2 orchards were lack, and those being below optimum range accounted for more than half of the orchards in Debao County, Laibin City, Zhangpu County, Lingchuan County, Long'an County, Shanglin County and Zhongshan County. In Lingchuan County, Long'an County, Shanglin County and Zhongshan County, leaf Mg content in more than 50% of the orchards was at deficient level. 92.75% of the orchards had a S content at optimum range. **【Conclusion】** Macro-elements and mid-elements of citrus orchards in Guangxi Province showed obvious unbalanced nutrition. It is recommended that N and K fertilizers be added for the orchards with low contents, and controlled for those with high contents. Moreover, a supplement of appropriate P fertilizer is needed. More importantly, Ca and Mg fertilizer are emphatically complemented to ensure that the citrus trees grow up healthy with balanced nutrition.

Key words: Citrus; Guangxi province; Marco-elements; Mid-elements; Nutrient diagnosis

广西壮族自治区是我国水果主产区之一,2016年其面积、产量分别位于全国第三和第五^[1]。近年来,由于砂糖橘持续较高价位以及高糖低酸沃柑新品种的引入,加之香蕉黄叶病蔓延以及甘蔗效益下降引发相关产业萎缩、土地退出,大量的工商资本涌入广西柑橘产业,导致其迅猛发展。据广西壮族自治区统计局统计,2016年全区柑橘种植面积37.04万hm²,产量达到686.66万t,占全区年度水果总产量的40%,是全区第一个产值突破100亿元的水果产业,成为广西第一大水果品种。但是由于大量种植户技术水平参差不齐和单纯追求产量,导致其过度依赖化肥,且偏重氮磷钾肥而轻视其他元素肥的施加。研究表明,广西氮、磷、钾肥过量投入,比例分别为21.58%、22.00%、26.35%,这不仅造成巨大经济损失,而且大量元素的过量施入还会严重影响植物对其他营养元素的有效吸收^[2]。加之,在广西产区生产上普遍采用经验型施肥方式,难以做到合理施肥,容易出现产量不稳定、品质下降和缺素黄化等问题^[3-4]。在农业上我国主要通过测土配方施肥方式来制定大田作物的施肥方案,但是其是否适宜在土壤学特性、植物学特性与大田作物差异大的多年生木本果树生产上应用,还存在较大的争议^[5]。就柑橘而言,由于其树体营养不仅与土壤有关,也与砧木类型、品种和树龄等因素有关^[6-8],树体营养元素与土壤有效养分之间不一定存在显著相关关系。实际上,由于叶片营养诊断能更为直接的反应柑橘树体营养状况^[9-10],美国、巴西等发达国家在柑橘生产上通常采用叶片营养诊断来制定果园施肥方案^[11-12],而在我国相关的研究尚处于起步阶段。庄伊美^[13]对福建正常生产性果园10多年叶片养分含量的追踪研究,制定了椪柑、琯溪蜜柚和柳橙等柑橘叶片营养诊断标准,并且运用叶片营养诊断技术解决了柑橘田间缺镁、缺锰、缺硼或硼中毒的营养失衡难题。杨宇等^[14]根据纽荷尔脐橙的叶片营养诊断结果制定控氮磷增钾镁的平衡施肥方案,实现了次年增产4.7%且新增收入24.3%的显著效果。目前,广西产区柑橘园叶片营养诊断的研究极少,并且现有的研究采样范围小和样本量较少^[8, 15],缺乏系统的研究。笔者以广西15个地区207个柑橘园为研究对象,以叶片营养诊断为方法研究树体大中量元素的营养状况和分布特征,以期为广西柑橘产业的平衡施肥提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试材为4~6 a(年)树龄沃柑、砂糖橘和金橘等柑橘叶片,于2017年9—10月采集于广西省15个县(市、区)207个柑橘园。其中德保县9个、富川县8个、来宾市10个、荔浦县24个、灵川县6个、隆安县9个、马山县6个、全州县21个、上林县10个、西乡塘区9个、武鸣区33个、兴安县7个、阳朔县21个、永福县27个、钟山县7个。

每个果园按“Z”字形随机选取长势较一致树30株,在每株树的东南西北四个方位、高1.5~2.0 m处,采当年生营养春梢顶部向下第3片叶子,每株4枚叶片,每个果园采集120枚叶片。叶样经清洗、杀酶、75℃烘干、粉碎、干燥、装瓶密封后保存备用^[16]。

1.2 营养元素测定

N含量按照LY/T 1270-1999方法^[17],经浓硫酸消解,用KDY-9820凯氏定氮仪(北京通润源机电技术有限公司)测定。P、K、Ca、Mg和S含量按照LY/T 1270-1999方法^[17],经硝酸-高氯酸消解,P和S含量采用TU-1901紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)分别在700 nm和440 nm波长下测定;K、Ca和Mg含量采用AA-800原子吸收分光光度计(Perkin Elmer公司)进行测定。综合美国柑橘营养分级标准和前人相关研究成果^[11, 18-19],将叶片N、P、K、Ca、Mg和S元素含量划分为缺乏、低量、适宜、高量和过量5个等级(表1)。

表1 4~6月龄柑橘非结果春梢叶片营养分级标准

Table 1 Guidelines for interpreting citrus tree leaf analysis based on four- to six-month-old spring flush leaves from nonfruiting twigs

分级 Class	w(g·kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
缺乏 Deficiency	< 25	< 1	< 7	< 16	< 2	< 1.4
低量 Low range	25~27	1~1.2	7~12	16~30	2~2.5	1.4~2
适量 Optimum range	27~30	1.2~1.6	12~17	30~55	2.5~5	2~4
高量 High range	30~32	1.6~3	17~20	55~70	5~7	4~5
过量 Excess range	> 32	> 3	> 20	> 70	> 7	> 5

2 结果与分析

2.1 叶片N含量范围及分布

由表2可知,广西柑橘叶片N含量(w,后同)分布在22.38~40.14 g·kg⁻¹,平均为(29.7±2.75)g·kg⁻¹。其中,低量及以下水平、适量水平以及高量及以上水

表 2 广西柑橘园叶片氮含量

Table 2 Leaf nitrogen content in citrus orchards in Guangxi

地区 Area	w(平均氮) Average N/ (g·kg ⁻¹)	氮含量分级及比例 Percentage for classification of nitrogen/%				
		缺乏 Deficient	低量 Low	适量 Appropriate	高量 High	过量 Excess
武鸣区 Wuming	30.68±2.17 c	0.00	3.03	30.30	36.36	30.30
西乡塘区 Xixiangtang	30.29±2.26 ab	0.00	11.11	33.33	44.44	11.11
上林县 Shanglin	31.29±3.21 abc	0.00	0.00	30.00	40.00	30.00
隆安县 Long'an	27.89±2.35 a	0.00	55.56	33.33	0.00	11.11
马山县 Mashan	26.50±3.06 a	33.33	16.67	33.33	16.67	0.00
永福县 Yongfu	30.56±3.44 bc	0.00	14.81	33.33	14.81	37.04
灵川县 Lingchuan	31.13±1.79 c	0.00	0.00	16.67	66.67	16.67
兴安县 Xing'an	29.99±1.62 c	0.00	0.00	57.14	28.57	14.29
荔浦县 Lipu	30.79±2.57 a	0.00	0.00	50.00	16.67	33.33
全州县 Quanzhou	27.26±2.05 ab	19.05	14.29	57.14	9.52	0.00
阳朔县 Yangshuo	29.61±2.28 a	4.76	0.00	57.14	23.81	14.29
钟山县 Zhongshan	30.66±1.29 ab	0.00	0.00	28.57	42.86	28.57
富川县 Fuchuan	29.71±1.11 ab	0.00	0.00	50.00	50.00	0.00
德保县 Debao	27.22±2.44 a	22.22	33.33	11.11	33.33	0.00
来宾市 Laibin	28.80±1.67 a	0.00	10.00	70.00	20.00	0.00
合计 Total	29.70±2.75	4.35	9.18	41.06	26.09	19.32

注: 不同字母表示有显著差异。下同。

Note: The different letters means significant difference at 5% level. The same below.

平分别占总样本数 13.5%、41.1%和 45.4%，表明广西产区柑橘园 N 含量总体处于适量和高量及以上水平。

由表 2 还可知，N 含量主要处于适量水平的县(市、区)为来宾市、全州县、兴安县和阳朔县，所占比例分别为 70%、57.1%、57.1%和 57.1%；主要处于高量及以上水平的县(市、区)为灵川县、上林县、西乡塘区、武鸣区、永福县和钟山县，所占比例分别为

83.4%、70%、55.5%、66.7%、51.8%和 71.5%；主要处于低量及以下水平的有德保县、隆安县和马山县，所占比例分别为 55.5%、55.6%和 50%；而荔浦县和富川县适量和高量以上水平各占 50%。

2.2 叶片 P 含量范围及分布

由表 3 可知，广西产区柑橘叶片 P 含量分布在 0.84~1.59 g·kg⁻¹，平均为(1.25±0.14)g·kg⁻¹。其中，

表 3 广西柑橘园叶片磷含量

Table 3 Leaf phosphorus content in citrus orchards in Guangxi

地区 Area	w(平均磷) Average P/(g·kg ⁻¹)	磷含量分级及比例 Percentage for classification of phosphorus/%				
		缺乏 Deficient	低量 Low	适量 Appropriate	高量 High	过量 Excess
武鸣区 Wuming	1.28±0.11 bc	3.03	15.15	81.82	0.00	0.00
西乡塘区 Xixiangtang	1.17±0.14 a	11.11	22.22	66.67	0.00	0.00
上林县 Shanglin	1.25±0.17 cd	0.00	50.00	50.00	0.00	0.00
隆安县 Long'an	1.16±0.10 cd	0.00	55.56	44.44	0.00	0.00
马山县 Mashan	1.10±0.13 cd	16.67	66.67	16.67	0.00	0.00
永福县 Yongfu	1.26±0.09 cd	0.00	18.52	81.48	0.00	0.00
灵川县 Lingchuan	1.21±0.08 d	0.00	50.00	50.00	0.00	0.00
兴安县 Xing'an	1.20±0.09 ab	0.00	42.86	57.14	0.00	0.00
荔浦县 Lipu	1.21±0.09 cd	0.00	50.00	50.00	0.00	0.00
全州县 Quanzhou	1.34±0.12 cd	0.00	19.05	80.95	0.00	0.00
阳朔县 Yangshuo	1.23±0.15 bc	4.76	38.10	57.14	0.00	0.00
钟山县 Zhongshan	1.43±0.07 cd	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
富川县 Fuchuan	1.42±0.11 bc	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
德保县 Debao	1.24±0.13 bc	0.00	33.33	66.67	0.00	0.00
来宾市 Laibin	1.19±0.19 a	3.03	15.15	81.82	0.00	0.00
合计 Total	1.25±0.14	2.90	29.47	67.63	0.00	0.00

低量及以下水平和适量水平分别占总样本数32.4%和67.6%,表明广西产区柑橘园P含量总体处于适量和低量及以下水平。

由表3还可知,P含量主要处于适量水平的县(市、区)为德保县、富川县、来宾市、全州县、西乡塘区、武鸣区、兴安县、阳朔县、永福县和钟山县,所占比例分别为66.7%、100%、60%、81%、66.7%、81.8%、57.1%、57.1%、81.5%和100%;主要处于低量及以下

水平的有隆安县和马山县,所占比例分别为55.6%和83.4%;而荔浦县、灵川县和上林县适量和低量水平各占50%。

2.3 叶片K含量范围及分布

由表4可知,广西产区柑橘叶片K含量分布在3.97~35.81 g·kg⁻¹,平均为(14.87±5.49)g·kg⁻¹。其中,低量及以下水平、适量水平以及高量及以上水平分别占总样本数30.4%、42.5%和27.1%,表明广

表4 广西柑橘园叶片钾含量
Table 4 Leaf potassium content in citrus orchards in Guangxi

地区 Area	w(平均钾) Average K/(g·kg ⁻¹)	钾含量分级及比例 Percentage for classification of potassium/%				
		缺乏 Deficient	低量 Low	适量 Appropriate	高量 High	过量 Excess
武鸣区 Wuming	12.71±3.04 ef	0.00	48.48	42.42	6.06	3.03
西乡塘区 Xixiangtang	15.55±4.45 abcde	0.00	11.11	55.56	11.11	22.22
上林县 Shanglin	13.42±2.50 ab	0.00	20.00	70.00	10.00	0.00
隆安县 Long'an	20.98±3.87 de	0.00	0.00	0.00	55.56	44.44
马山县 Mashan	13.29±3.76 bcde	0.00	50.00	33.33	16.67	0.00
永福县 Yongfu	19.25±8.19 a	0.00	14.81	48.15	3.70	33.33
灵川县 Lingchuan	16.19±3.26 de	0.00	0.00	50.00	50.00	0.00
兴安县 Xing'an	17.60±7.19 f	0.00	0.00	71.43	14.29	14.29
荔浦县 Lipu	13.83±2.97 de	0.00	25.00	58.33	16.67	0.00
全州县 Quanzhou	8.97±2.060 cde	19.05	76.19	4.76	0.00	0.00
阳朔县 Yangshuo	12.52±3.14 ef	4.76	33.33	57.14	4.76	0.00
钟山县 Zhongshan	20.09±3.33 abcd	0.00	0.00	14.29	42.86	42.86
富川县 Fuchuan	16.93±1.42 ef	0.00	0.00	50.00	50.00	0.00
德保县 Debao	13.06±4.98 abc	0.00	33.33	55.56	0.00	11.11
来宾市 Laibin	19.97±3.83 ab	0.00	48.48	42.42	6.06	3.03
合计 Total	14.87±5.49	2.42	28.02	42.51	14.98	12.08

西产区柑橘园K含量总体处于适量及以下水平。

由表4还可知,K含量主要处于适量水平的县(市、区)为德保县、荔浦县、上林县、西乡塘区、兴安县、阳朔县和永福县,所占比例分别为55.6%、58.3%、70%、55.6%、71.4%、57.1%和48.1%;主要处于高量及以上水平的县(市、区)为来宾市、隆安县和钟山县,所占比例分别为80%、100%和85.8%;主要处于低量及以下水平的有马山县、全州县和武鸣区,其所占比例分别为50%、95.2%和48.5%;而富川县和灵川县适量和高量水平各占50%。

2.4 叶片Ca含量范围及分布

由表5可知,广西产区柑橘叶片Ca含量分布在13.88~55.97 g·kg⁻¹,平均为(33.47±8.44)g·kg⁻¹。其中,低量及以下水平、适量水平以及高量及以上水平分别占总样本数35.7%、63.8%和0.5%,表明广西产区柑橘园Ca含量总体处于适量及以下水平。

由表5还可知,Ca含量主要处于适量水平的县(市、区)为德保县、富川县、荔浦县、隆安县、马山县、全州县、西乡塘区、武鸣区、永福县和钟山县,所占比例分别为77.8%、100%、54.2%、55.6%、66.7%、66.7%、88.9%、87.9%、51.9%和85.7%;主要处于低量及以下水平的有来宾市、兴安县和阳朔县,其所占比例分别为60%、71.4%和52.4%;而灵川县和上林县适量和低量水平各占50%。

2.5 叶片Mg含量范围及分布

由表6可知,广西产区柑橘叶片Mg含量分布在0.8~4.66 g·kg⁻¹,平均为(2.52±0.72)g·kg⁻¹。其中,低量及以下水平和适量水平分别占总样本数48.8%和51.2%,表明广西产区柑橘园Mg含量总体处于适量及以下水平。

由表6还可知,Mg含量主要处于适量水平的县(市、区)为富川县、马山县、全州县、西乡塘区、武鸣

表 5 广西柑橘园叶片钙含量
Table 5 Leaf calcium content in citrus orchards in Guangxi

地区 Area	w(平均钙) Average Ca/(g·kg ⁻¹)	钙含量分级及比例 Percentage for classification of calcium/%				
		缺乏 Deficient	低量 Low	适量 Appropriate	高量 High	过量 Excess
武鸣区 Wuming	38.30±7.30 a	0.00	12.12	87.88	0.00	0.00
西乡塘区 Xixiangtang	38.06±7.04 bc	0.00	11.11	88.89	0.00	0.00
上林县 Shanglin	30.14±5.91 bc	0.00	50.00	50.00	0.00	0.00
隆安县 Long'an	31.29±3.26 bc	0.00	44.44	55.56	0.00	0.00
马山县 Mashan	35.16±6.58 bc	0.00	33.33	66.67	0.00	0.00
永福县 Yongfu	29.29±6.76 bc	3.70	44.44	51.85	0.00	0.00
灵川县 Lingchuan	33.54±11.74 bc	0.00	50.00	50.00	0.00	0.00
兴安县 Xing'an	27.44±5.740 bc	0.00	71.43	28.57	0.00	0.00
荔浦县 Lipu	32.46±10.02 bc	4.17	41.67	54.17	0.00	0.00
全州县 Quanzhou	32.51±5.18 ab	0.00	33.33	66.67	0.00	0.00
阳朔县 Yangshuo	31.55±9.71 ab	0.00	52.38	47.62	0.00	0.00
钟山县 Zhongshan	34.46±5.17 c	0.00	14.29	85.71	0.00	0.00
富川县 Fuchuan	33.13±2.55 bc	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
德保县 Debao	44.64±10.52 c	0.00	11.11	77.78	11.11	0.00
来宾市 Laibin	31.23±10.06 bc	0.00	12.12	87.88	0.00	0.00
合计 Total	33.47±8.44	0.97	34.78	63.77	0.48	0.00

表 6 广西柑橘园叶片镁含量
Table 6 Leaf magnesium content in citrus orchards in Guangxi

地区 Area	w(平均镁) Average Mg/(g·kg ⁻¹)	镁含量分级及比例 Percentage for classification of magnesium/%				
		缺乏 Deficient	低量 Low	适量 Appropriate	高量 High	过量 Excess
武鸣区 Wuming	2.79±0.62 bcd	9.09	27.27	63.64	0.00	0.00
西乡塘区 Xixiangtang	2.61±0.68 abc	11.11	33.33	55.56	0.00	0.00
上林县 Shanglin	2.23±0.84 abc	50.00	0.00	50.00	0.00	0.00
隆安县 Long'an	1.91±0.96 abc	66.67	0.00	33.33	0.00	0.00
马山县 Mashan	2.61±0.33 bcd	0.00	33.33	66.67	0.00	0.00
永福县 Yongfu	2.87±0.82 cd	14.81	22.22	62.96	0.00	0.00
灵川县 Lingchuan	2.05±0.73 ab	50.00	33.33	16.67	0.00	0.00
兴安县 Xing'an	2.77±0.69 ab	14.29	28.57	57.14	0.00	0.00
荔浦县 Lipu	2.40±0.70 abcd	29.17	33.33	37.50	0.00	0.00
全州县 Quanzhou	2.66±0.62 ab	19.05	14.29	66.67	0.00	0.00
阳朔县 Yangshuo	2.51±0.62 a	23.81	19.05	57.14	0.00	0.00
钟山县 Zhongshan	1.69±0.42 a	71.43	28.57	0.00	0.00	0.00
富川县 Fuchuan	2.58±0.30 abc	0.00	37.50	62.50	0.00	0.00
德保县 Debao	2.05±0.68 a	44.44	33.33	22.22	0.00	0.00
来宾市 Laibin	2.45±0.39 d	9.09	27.27	63.64	0.00	0.00
合计 Total	2.52±0.72	24.15	24.64	51.21	0.00	0.00

区、兴安县、阳朔县和永福县，所占比例分别为 62.5%、66.7%、66.7%、55.6%、63.6%、57.1%、57.1% 和 63%；主要处于低量及以下水平的有德保县、来宾市、荔浦县、灵川县、隆安县和钟山县，其所占比例分别为 77.7%、60%、62.5%、83.3%、66.7% 和 100%；而上林县适量和缺乏水平各占 50%。

2.6 叶片 S 含量范围及分布

由表 7 可知，广西产区柑橘叶片 S 含量分布在

1.91~7.01 g·kg⁻¹，平均为(3.03±0.62)g·kg⁻¹。其中，低量及以下水平、适量水平以及高量及以上水平分别占总样本数 1.4%、92.8% 和 5.8%，表明广西产区柑橘园 S 含量总体处于适量水平。

由表 7 还可知，14 个采样县(市、区)柑橘叶片 S 含量主要处于适量水平，仅有西乡塘区、上林县和隆安县极少的果园存有硫低量；而武鸣县、灵川县和阳朔县部分果园的硫含量处于高量及以上水平。

表7 广西柑橘园叶片硫含量
Table 7 Leaf sulfur content in citrus orchards in Guangxi

地区 Area	w (平均硫) Average S/(g·kg ⁻¹)	硫含量分级及比例 Percentage for classification of sulfur/%				
		缺乏 Deficient	低量 Low	适量 Appropriate	高量 High	过量 Excess
武鸣区 Wuming	3.74±0.83 bc	0.00	0.00	72.73	21.21	6.06
西乡塘区 Xixiangtang	2.99±0.68 cd	0.00	11.11	88.89	0.00	0.00
上林县 Shanglin	2.72±0.43 cd	0.00	10.00	90.00	0.00	0.00
隆安县 Long'an	2.67±0.43 cd	0.00	11.11	88.89	0.00	0.00
马山县 Mashan	2.31±0.21 ab	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
永福县 Yongfu	2.70±0.37 de	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
灵川县 Lingchuan	3.60±0.58 e	0.00	0.00	83.33	16.67	0.00
兴安县 Xing'an	2.75±0.54 cd	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
荔浦县 Lipu	3.12±0.29 de	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
全州县 Quanzhou	2.87±0.42 cd	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
阳朔县 Yangshuo	2.96±0.41 a	0.00	0.00	95.24	4.76	0.00
钟山县 Zhongshan	2.70±0.28 cde	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
富川县 Fuchuan	2.84±0.11 cd	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
德保县 Debao	3.26±0.40 de	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
来宾市 Laibin	2.97±0.57 de	0.00	0.00	72.73	21.21	6.06
合计 Total	3.03±0.62	0.00	1.45	92.75	4.83	0.97

3 讨 论

3.1 广西产区柑橘叶片大量元素的营养丰缺状况

首先,氮是柑橘必需的大量元素之一,氮不足会减缓植物的生长、降低干物质的积累、产量以及叶绿素和淀粉的含量;而氮超量会影响树体正常生理代谢,导致果实品质下降^[20]。在美国、以色列和西班牙等柑橘产业发达国家柑橘氮肥的适宜用量为150~250 kg·hm⁻²;而调查发现我国江西、重庆和广西产区的柑橘氮肥施用量分别为387.98、548.87、597.27 kg·hm⁻²^[2],显著高于发达国家的氮肥用量,存在过量施加问题。研究发现,赣南76.23%以上的脐橙叶片氮含量处于高量以上水平^[19],重庆三峡库区39.5%以上的甜橙叶片氮含量处于高量以上水平^[21]。而本文研究发现广西45.4%的叶片氮含量处于高量以上水平,除来宾县外其余县(市、区)1/3以上果园的氮含量处于高量以上水平。这不仅会造成经济损失、增大环境污染负荷,而且会造成植株氮含量过高、引起毒害^[22],甚至影响植株对磷和钾的吸收^[23]。此外,本文研究发现广西德保县、隆安县、马山县和全州县等个别地区还存在氮含量不足现象,特别是德保县、隆安县和马山县50%以上的果园存在氮含量不足现象,这可能与这些地区建园立地条件较差、多为砂石土壤、保肥能力差有关;并且由于化肥施用较多,肥效易流失、挥发,加之农户习惯一次性施加,从而易

造成利用率不高。因此,广西产区柑橘种植应高度重视氮营养元素存在的问题,一方面多施用腐熟有机肥,减少土壤氮素的流失;另一方面无机氮肥施加宜采用雨前撒施或滴灌方式,做到少量多次,减少氮肥的流失,以提高氮肥利用率。

其次,磷是植物体内许多重要有机化合物的组分,缺磷会影响光合作用影响碳水化合物的合成,从而显著降低柑橘果实品质^[24-25]。一方面广西果园以红壤为主,土壤酸化严重,磷易被活性铁固定,导致有效磷缺乏^[26];另一方面广西柑橘种类主要为砂糖橘、沃柑和茂谷柑等宽皮柑橘,其产量显著高于国内平均水平,对磷的需求量更大;加之,广西柑橘果园普遍存在氮肥施用过多或镁肥不足,显著影响根系对磷的吸收利用。因此,广西柑橘果园易出现磷缺失问题。本文的研究也表明,除富川县和钟山县外广西其余县(市、区)果园均存在一定程度的磷不足问题,尤其是荔浦县、灵川县、隆安县、马山县、上林县等5个地区1/2以上果园的叶片磷含量处于低量及以下水平。由于在红壤柑橘园撒施磷肥,其有效磷主要累积在0~10 cm土层内,而柑橘的大部分吸收根系分布在20~40 cm土层,导致磷极易被土壤固定而难以被柑橘根系吸收,因此在广西不宜采用撒施方式,必须通过沟施方式将磷肥施至根系密布处,最好与有机肥混合堆沤后深施。

第三,钾有品质元素和抗逆元素之称,钾过量会

严重影响其他元素的吸收,而缺钾会影响果实品质和抗逆性^[25]。柑橘产业发达国家钾肥的适宜用量为 150~200 kg·hm⁻²,而广西柑橘园钾肥施用量为 563.06 kg·hm⁻²^[2],显著高于发达国家的施肥水平,极易使植株钾营养过量,不仅使植株对其他元素的吸收受到影响,而且还会使果皮粗糙果实酸度增加影响果实品质。本文的研究表明广西近 1/3 果园的叶片钾含量存在超量问题,其中,富川县、来宾市、灵川县、隆安县和钟山县等 5 个地区 50% 以上的果园存在钾超量现象,尤其是来宾市、隆安县和钟山县等 3 个地区 80% 以上的果园叶片钾含量处于高量及以上水平。此外,也有近 1/3 果园的叶片钾含量存在不足问题,其中马山县、全州县和武鸣县等 3 个县有 48% 以上的果园叶片钾含量处于低量及以下水平。这主要是由于一方面广西果园以红壤为主,土壤酸化严重,有效钾含量不足^[27-28];另一方面田间施肥多采用撒施的方式,有效钾在土壤中向下移动较慢,不易被柑橘根系吸收^[29];加之,大量施用氮肥,氮钾拮抗使柑橘对钾的吸收减少。因此,在农业上针对这些地区宜采用沟施方式,加强富钾化肥与有机肥的配合施用,以改良土壤、提高土壤钾含量及交换能力。

3.2 广西产区柑橘叶片中量元素的营养丰缺状况

柑橘生长发育对 Ca、Mg、S 的需求量仅次于 N、P 和 K,其是影响柑橘生长结果的重要因素之一。其中,缺钙会引发柑橘裂果、浮皮等症状^[30];而缺镁会诱导柑橘叶片失绿黄化^[31],严重缺镁时柑橘叶脉会出现类似缺硼的肿大和木栓化^[32]。本文的研究表明,广西柑橘存在 Ca 和 Mg 含量不足问题,而绝大部分柑橘园 S 含量正常。1/3 果园 Ca 含量不足,其中来宾市、灵川县、上林县、兴安县、阳朔县等 5 个地区 50% 以上的果园 Ca 含量处于低量水平;近 1/2 果园的 Mg 含量不足,其中德保县、来宾市、荔浦县、灵川县、隆安县、上林县和钟山县等 7 个地区 50% 以上的果园镁含量处于低量及以下水平,特别是灵川县、隆安县、上林县和钟山县 50% 以上的果园镁含量处于严重缺失水平,田间叶片黄化较普遍。可能主要与以下三方面的原因有关:一是广西酸性土壤中 H⁺和 Al³⁺抑制柑橘根系对钙、镁的吸收,加上 Mg 元素容易流失,导致土壤中可被根吸收的钙和镁离子较少^[33];二是近年来有机肥施用减少,生产上以高成分氮磷钾肥为主,中量元素来源相对减少,不仅因为元素间的拮抗作用而影响根系对 Ca 和 Mg 的吸收,而

且氮磷钾肥的过量施用会进一步加重土壤酸化,导致根系对 Ca 和 Mg 离子吸收量的减少^[34-35];三是普遍种植高产品种导致中量元素需求量显著增大。因此,广西柑橘产区在氮磷钾肥施用基础上应重视增施钙肥和镁肥,提高土壤 pH 值,平衡各营养元素的供应,以提高果实产量和品质。

4 结 论

综上所述,广西柑橘树体 N、P、K、Ca 和 Mg 元素营养明显失衡。其中,N 和 K 元素含量不足与超量并存,处于低量及以下水平的果园比例分别为 13.53% 和 30.43%,而处于高量及以上水平的比例分别为 45.41% 和 27.05%;P、Ca 和 Mg 元素主要存在含量不足问题,其在适量水平的比例分别为 67.63%, 63.77% 和 51.21%,而在低量及以下水平的比例为 32.37%, 35.75% 和 48.79%;产区绝大部分地区 S 元素含量正常,处于适量水平的比例为 92.75%。生产上应合理施用 N、K 肥,适量补充 P 肥,重视补充 Ca 和 Mg 肥,确保树体正常生长。

参考文献 References:

- [1] 张云兰,谈晓花,邓美鸣. 广西水果产业竞争力分析[J]. 北方园艺,2017(6):181-185.
ZHANG Yunlan, TAN Xiaohua, DENG Meiming. Analysis on competitiveness of fruit industry in Guangxi[J]. Northern Horticulture, 2017(6):181-185.
- [2] 梁珊珊. 我国柑橘主产区氮磷钾肥施用现状及减施潜力研究[D]. 武汉:华中农业大学,2017.
LIANG Shanshan. Studies on NPK fertilization status and the potential of reducing application rate in major citrus planting regions of China[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017.
- [3] 范七君,牛英,陈传武,闫勇,刘萍,刘冰浩,娄兵海,区善汉,邱志明. 叶片黄化金柑植株的叶片及土壤矿质营养含量分析[J]. 南方农业学报,2017,48(3): 470-474.
FAN Qijun, NIU Ying, CHEN Chuanwu, YAN Yong, LIU Ping, LIU Binghao, LOU Binghai, OU Shanhan, QIU Zhiming. Mineral nutrients analysis in leaves and soils of Fortunella crassifolia Swingle with leaf etiolation[J]. Journal of Southern Agriculture, 2017, 48(3): 470-474.
- [4] 李丁. 广西柑橘生产与科技现状分析及其对策研究[D]. 南宁:广西大学,2014.
LI Ding. Research and analysis on the production and technology of citrus in Guangxi Zhuang Autonomous Regions[D]. Nanning: Guangxi University, 2014.
- [5] 唐玉琴,彭良志,淳长品,凌雨刚,方贻文,严翔. 红壤甜橙园

- 土壤和叶片营养元素相关性分析[J]. 园艺学报, 2013, 40(4): 623-632.
- TANG Yuqin, PENG Liangzhi, CHUN Changpin, LING Lili, FANG Yiwen, YAN Xiang. Correlation analysis on nutrient element contents in orchard soils and sweet orange leaves in southern Jiangxi Province of China[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2013, 40(4): 623-632.
- [6] 庄伊美, 王仁凯, 谢志南, 陈丽璇, 许文宝. 砧木对碰柑生长结果及叶片矿质成分的影响[J]. 园艺学报, 1993, 20(3): 209-215.
- ZHUANG Yimei, WANG Renkai, XIE Zhinan, CHEN Lixuan, XU Wenbao. Effects of rootstock on the growth, fruiting and leaf mineral content of Ponkan Mandarin[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 1993, 20(3): 209-215.
- [7] 郑永强, 邓烈, 何绍兰, 周志钦, 易时来, 毛莎莎, 赵旭阳. 几种砧木对哈姆林甜橙植株生长、产量及果实品质的影响[J]. 园艺学报, 2010, 37(4): 532-538.
- ZHENG Yongqiang, DENG Lie, HE Shaolan, ZHOU Zhiqin, YI Shilai, MAO Shasha, ZHAO Xuyang. Effects of seven rootstocks on tree growth, yield and fruit quality of 'Hamlin' sweet orange in South China[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2010, 37(4): 532-538.
- [8] 马小川, 卢晓鹏, 张子木, 熊江, 潘斌, 刘恋, 李泽航, 唐超兰, 谢深喜. 湖南省不同纬度温州蜜柑园土壤和叶片营养及果实品质分析[J]. 果树学报, 2018, 35(4): 423-432.
- MA Xiaochuan, LU Xiaopeng, ZHANG Zimu, XIONG Jiang, PAN Bin, LIU Lian, LI Zechang, TANG Chaolan, XIE Shenxi. Analyses of the soil and tree nutrition and fruit quality of Satsuma mandarin in orchards at different latitudes in Hunan province [J]. *Journal of Fruit Science*, 2018, 35(4): 423-432.
- [9] 余红兵, 王仁才, 肖润林, 杨知建. 桂西北环境移民示范区柑橘园土壤和叶片营养状况[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2007, 33(3): 341-344.
- YU Hongbing, WANG Rencai, XIAO Runlin, YANG Zhijian. Soil and leaf nutrient condition of plants from citrus orchards in demonstration area of environmental immigrants, northwest Guangxi Province[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2007, 33(3): 341-344.
- [10] 杨生权. 土壤和叶片养分状况对柑橘产量和品质的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2008.
- YANG Shengquan. Studies on the influence of soil and leaf nutrient on citrus fruit's output and quality[D]. Chongqing: Southwest University, 2008.
- [11] QUAGGIO J A, CANTARELLA H, R BVAN R. Phosphorus and potassium soil test and nitrogen leaf analysis as a base for citrus fertilization[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1998, 52(1): 67-74.
- [12] CHAPMAN H, FULLMER F. Leaf analysis of citrus: Tests in eight counties indicate the Potassium and Phosphorus status of California citrus orchards[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 1951(25): 6.
- [13] 庄伊美. 柑桔营养诊断指导施肥的实践[J]. 浙江柑橘, 1996, 13(2): 8-11.
- ZHUANG Yimei. Citrus nutrition diagnosis guides the practice of fertilization[J]. *Zhejiang Ganju*, 1996, 13(2): 8-11.
- [14] 杨宇, 邓正春, 彭永胜, 孙元学, 廖林凤, 吴平安. 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 Yu, DENG Zhengchun, PENG Yongsheng, SUN Yuanxue, LIAO Linfeng, WU Ping'an. Study on nutritional diagnosis and fertilization technology of citrus leaves[J]. *Hunan Agricultural Sciences*, 2013, (15): 183-184.
- [15] 黄玉溢, 王影, 陈桂芳, 刘斌. 低产柑橘园植株叶片及土壤营养状况分析及评价[J]. 土壤通报, 2009, 40(1): 118-121.
- HUANG Yuyi, WANG Ying, CHEN Guifang, LIU Bin. Studies and evaluation on contents of nutrient elements of soil and citrus leaves in low-yield citrus orchard[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, 40(1): 118-121.
- [16] 庄伊美. 柑桔营养与施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 112-119.
- ZHUANG Yimei. Citrus nutrition and fertilization[M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1994: 112-119.
- [17] 国家林业局. 森林土壤分析方法: LY/T 1210—1275[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- State Forestry Administration of P. R. China. The analysis methods of forest soil: LY/T 1210—1275[S]. Beijing: Standard Press of China, 1999.
- [18] OBREZA T A, MORGAN K T. Nutrition of Florida citrus trees, [M]. 2nd ed. Gainesville: Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 2008: 24-32.
- [19] 淳长品, 彭良志, 凌丽俐, 赖九江, 曹立, 江才伦. 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.
- CHUN Changpin, PENG Liangzhi, LING Lili, LAI Jiujiang, CAO Li, JIANG Cailun. Study on the contents of macronutrients and medium nutrients in Newhall Navel Orange leaves in southern Jiangxi Province of China[J]. *Journal of Fruit Science*, 2010, 27(5): 678-682.
- [20] ALVA A K, PARAMASIVAM S, HOSTLER K H, EASTERWOOD G W, SOUTHWELL J E. Effects of nitrogen rates on dry matter and nitrogen accumulation in citrus fruits and fruit yield[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2001, 24(3): 561-572.
- [21] 周鑫斌, 石孝均, 温明霞, 王秀英, 孙彭寿, 李伟, 戴亨林, 淳长品. 三峡重庆库区甜橙叶片矿质营养丰缺状况调查[J]. 园艺学报, 2011, 38(10): 1847-1856.
- ZHOU Xinbin, SHI Xiaojun, WEN Mingxia, WANG Xiuying, SUN Pengshou, LI Wei, DAI Henglin, CHUN Changpin. Orange leaves nutrient status of the Three Gorges Area in Chongqing[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2011, 38(10): 1847-1856.
- [22] 卢晓鹏, 李静, 黄成能, 肖玉明, 谢深喜. 氮素胁迫对积生长发

- 育及其氨基酸含量的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2013, 39(6): 615-620.
- LU Xiaopeng, LI Jing, HUANG Chengneng, XIAO Yuming, XIE Shenxi. Effects of nitrogen stress on the development and amino acid content of trifoliolate orange [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences), 2013, 39(6): 615-620.
- [23] 孙永健, 孙园园, 李旭毅, 张荣萍, 郭翔, 马均. 水氮互作对水稻氮磷钾吸收、转运及分配的影响[J]. 作物学报, 2010, 36(4): 655-664.
- SUN Yongjian, SUN Yuanyuan, LI Xuyi, ZHANG Rongping, GUO Xiang, MA Jun. Effects of water-nitrogen interaction on absorption, translocation and distribution of nitrogen, phosphorus, and potassium in rice [J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(4): 655-664.
- [24] XU H X, WENG X Y, YANG Y. Effect of phosphorus deficiency on the photosynthetic characteristics of rice plants [J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2007, 54(6): 741-748.
- [25] 刘桂东, 姜存仓, 王运华, 彭书昂, 鲁剑巍. 柑橘对不同矿质营养元素效应的研究进展[J]. 土壤通报, 2010, 41(6): 1518-1523.
- LIU Guidong, JIANG Cuncang, WANG Yunhua, PENG Shuang, LU Jianwei. A review on effects of mineral nutrients on citrus [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2010, 41(6): 1518-1523.
- [26] 江泽普, 韦广波, 蒙炎成, 黄玉溢. 广西红壤果园土壤酸化与调控研究[J]. 西南农业学报, 2003, 16(4): 90-94.
- JIANG Zepu, WEI Guangpo, MENG Yancheng, HUANG Yuyi. Studies on acidification and control of orchard soil in red earth region of Guangxi [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2003, 16(4): 90-94.
- [27] 周鑫斌, 石孝均, 孙彭寿, 李伟, 戴亨林, 彭良志, 淳长品. 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 Xinbin, DAN Xiaojun, SUN Pengshou, LI Wei, DAI Henglin, PENG Liangzhi, CHUN Changpin. Status of soil fertility in citrus orchards of Chongqing Sanxia Reservoir Area [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2010, 16(4): 817-823.
- [28] 黄玉溢, 刘斌, 陈桂芬. 广西柑桔园土壤有效养分含量研究[J]. 西南农业学报, 2006, 19(5): 863-866.
- HUANG Yuyi, LIU Bin, CHEN Guifen. Study on contents of soil available nutrients in citrus orchards in Guangxi [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2006, 19(5): 863-866.
- [29] 淳长品, 彭良志, 凌丽俐, 江才伦, 曹立, 雷霆. 撒施复合肥柑橘园土层剖面中氮磷钾分布特征[J]. 果树学报, 2013, 30(3): 416-420.
- CHUN Changpin, PENG Liangzhi, LING Lili, JIANG Cailun, CAO Li, LEI Ting. Distribution of nitrogen, phosphorus and potassium in citrus orchard soil profile after long-term application of compound fertilizer [J]. Journal of Fruit Science, 2013, 30(3): 416-420.
- [30] 李湘麒, 熊月明, 陆修闽, 张丽梅. 柑橘钙素营养研究综述[J]. 福建果树, 2001(1): 13-19.
- LI Xiangqi, XIONG Yueming, LU Xiumin, ZHANG Limei. A review of citrus calcium nutrition research [J]. Fujian Fruits, 2001(1): 13-19.
- [31] PENG H Y, QI Y P, LEE J W, YANG L T, GUO P, JIANG H X, CHEN L S. Proteomic analysis of citrus sinensis roots and leaves in response to long-term magnesium-deficiency [J]. BMC Genomics, 2015, 16(1): 253.
- [32] JIA X X, XIANG Y, SHU A P, YI W F. Seasonal changes of mineral nutrients in fruit and leaves of 'Newhall' and 'Skagg's Bonanza' navel oranges [J]. Journal of Plant Nutrition, 2007, 30(5): 671-690.
- [33] 黄翼, 彭良志, 凌丽俐, 曹立, 王男麒, 周薇, 邢飞. 重庆三峡库区柑橘镁营养水平及其影响因子研究[J]. 果树学报, 2013, 30(6): 962-967.
- HUANG Yi, PENG Liangzhi, LING Lili, CAO Li, WANG Nanqi, ZHOU Wei, XING Fei. Citrus magnesium nutrient level and its impact factors in the Three Gorges Area of Chongqing [J]. Journal of Fruit Science, 2013, 30(6): 962-967.
- [34] MORTON A R, TROLOVE S N, KERCKHOFFS L. Magnesium deficiency in citrus grown in the Gisborne district of New Zealand [J]. New Zealand Journal of Experimental Agriculture, 2008, 36(3): 199-213.
- [35] RAMYA M F, MASUMI M, KAZUHIRA Y. Effects of low pH and Al on absorption and translocation of some essential nutrients in excised barley roots [J]. Soil Science & Plant Nutrition, 1995, 41(2): 253-262.