

三峡重庆库区甜橙叶片矿质营养丰缺状况调查

周鑫斌¹, 石孝均^{1,*}, 温明霞¹, 王秀英¹, 孙彭寿¹, 李伟², 戴亨林², 淳长品³

(¹西南大学资源环境学院, 重庆 400716; ²重庆市农业技术推广总站, 重庆 400020; ³中国农业科学院柑橘研究所, 重庆 400712)

摘要: 为了解三峡重庆库区甜橙叶片矿质营养丰缺状况, 2009 年对库区 5 个甜橙主产县 200 个甜橙园 4~6 月龄营养性春梢叶片营养元素进行了分析测试。结果表明, 三峡重庆库区甜橙叶片营养明显失衡, N 和 Fe 含量很高, P、Zn 和 Mo 比较适宜, K、Ca、Mg、Cu 和 Mn 含量较低, 而 B 含量严重不足。叶片 N、P、K、Ca 和 Mg 的平均含量分别为 (27.34 ± 5.92) 、 (1.40 ± 0.21) 、 (11.00 ± 3.04) 、 (25.27 ± 8.53) 和 (3.34 ± 0.89) g·kg⁻¹, Fe、Cu、Mn、Zn、B 和 Mo 的平均含量分别为 (125.00 ± 40.55) 、 (5.38 ± 2.59) 、 (33.69 ± 6.33) 、 (34.30 ± 17.91) 、 (23.68 ± 14.24) 和 (0.79 ± 0.49) mg·kg⁻¹, 且 N 和 Fe 处于高量及以上水平的比例分别为 39.5% 和 53.0%, P、Zn 和 Mo 在适宜范围的比例分别为 75.5%、83.5% 和 70.5%, K、Mn 和 Mg 处于低量水平的比例分别为 50.3%、37.5% 和 20.0%, B、Ca、K、Cu 在低量及以下水平的比例分别为 76.5%、64.0%、57.3% 和 51.0%。库区大部分橘园叶片 B 含量严重不足, 生产上需要重视补充 B 肥; 同时生产上需根据甜橙叶片营养诊断结果, 适量补充 Ca 肥和 K 肥, 以满足柑橘营养平衡施肥。

关键词: 甜橙; 三峡库区; 叶片; 营养元素; 丰缺状况

中图分类号: S 666

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2011) 10-1847-10

Orange Leaves Nutrient Status of the Three Gorges Area in Chongqing

ZHOU Xin-bin¹, SHI Xiao-jun^{1,*}, WEN Ming-xia¹, WANG Xiu-ying¹, SUN Peng-shou¹, LI Wei², DAI Heng-lin², and CHUN Chang-pin³

(¹College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China; ²Chongqing Agricultural Technology Extension Station, Chongqing 400020, China; ³Citrus Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 400712, China)

Abstract: Knowing leaves nutrient status is a basis to formulate a suitable fertilization strategy. Orange leaf samples aged four to six months collected from 200 orange orchards in 5 main producing counties were analyzed to learn the leaves nutrient status of the Three Gorges area in Chongqing. The results showed that the tested leaves suffered sharp nutrients imbalance. N and Fe content were very high; P, Zn, and Mo content were appropriate; K, Ca, Mg, Cu and Mn content were respectively low and B content was at a serious shortage. N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn, B and Mo were respectively in the average content of (27.34 ± 5.92) , (1.40 ± 0.21) , (11.00 ± 3.04) , (25.27 ± 8.53) , (3.34 ± 0.89)

收稿日期: 2011-04-13; **修回日期:** 2011-09-07

基金项目: 公益性行业科研专项 (201103003); 国家自然科学基金项目 (31101610); 中央高校基本科研业务费专项 (XDJK2009C119, XDJK2011C012)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: shixj@swu.edu.cn; Tel: 023-68251249)

$\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, (125.00 ± 40.55) , (5.38 ± 2.59) , (33.69 ± 6.33) , (34.30 ± 17.91) , (23.68 ± 14.24) , and $(0.79 \pm 0.49) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. N and Fe content in and above high volume were at the rate of 39.5% and 53.0%; P, Zn, and Mo content in appropriate range were at the rate of 75.5%, 83.5% and 70.5%; K, Mn and Mg content in low volume were 50.3%, 37.5% and 20.0%. B, Ca, K, Cu in and below low volume were at the rate of 76.5%, 64.0%, 57.3% and 51.0%. In the view of nutrients deficiency, the orange production in this area required considerable increased B, and Ca and K fertilization is needed for the orchards with low leaf Ca and K content, to balance the orange nutrients.

Key words: orange; the Three Gorges Area; leaf; nutrient element; status

合理施肥是保证柑橘树体营养均衡供应和优质高产的基础, 果树叶片营养诊断是制定合理施肥方案的重要依据之一。目前柑橘叶片营养诊断技术较为成熟, 同一叶龄的叶片各种营养元素含量能较稳定地反映树体的营养水平(曾建华和谢良商, 2008)。在美国佛罗里达州, Alva 等(2006)利用柑橘 4~6 个月龄非结果营养性春梢叶片作为营养诊断部位, 发现柑橘产量和 4~6 个月龄营养性春梢叶片含氮和含钾量呈现倒 U 型抛物线, 最高产量下 4~6 个月龄营养性春梢叶片氮和钾最佳含量分别为 $23 \sim 28 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $14 \sim 18 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。张名福等(2000)根据上年柑橘营养诊断结果, 采用配方施肥的方式, 使其单株用肥成本与株产的比值平均提高了 64.3%。可见, 利用叶片营养诊断技术, 可因地、因树制宜地指导果树施肥, 促进柑橘果业健康发展(Mills & Benton-Jones, 1996)。

由于气候、土壤条件和管理栽培方式的差异, 各地的柑橘园树体营养问题不尽相同。如福建山地橘园叶片缺钙、镁、钾较为普遍(姚丽贤 等, 2006), 赣南产区脐橙叶片 Zn 含量处于缺乏水平及铜含量偏低(凌丽俐 等, 2010)。而三峡重庆库区橘园土壤有效 B、Zn 和 P 比较缺乏(周鑫斌 等, 2010)。不同柑橘园树体营养限制因子不同, 只有对其了解, 才能有针对性地开展营养诊断来指导科学合理施肥。然而, 关于三峡库区柑橘园树体叶片养分丰缺状况尚缺乏系统研究。作者以三峡重庆库区柑橘主产区甜橙果园叶片为研究对象, 探讨树体各元素含量状况, 从而为制定科学、合理的施肥策略提供科学依据。

1 材料与方法

2009 年选择三峡库区的主要柑橘产区, 即奉节县、万州区、忠县、永川市和江津市 5 县市为采样点, 按调查县果园总面积、树种确定点数量及分布, 按每个橘园代表面积 3 hm^2 的要求进行采样点控制, 每个县市选择 40 个橘园(共采集 200 个甜橘园)作为本研究采样点。

每个果园按“S”形随机选取 30 株树, 在每株树中部的东西南北 4 个方位采集高约 1.5~2.0 m 处的当年 4~6 月龄营养性春梢, 从春梢顶部向下第 3 叶开始采集, 每株采 5 片叶, 每个果园 150 片叶。叶样带回实验室清洗干净, 100°C 杀青后在 65°C 烘箱中烘干、粉碎、干燥、装瓶密封后保存用于分析。

N、P、K 采用常规分析方法测定(庄伊美, 1994); Fe、Mn、Zn、Cu 含量按林业行业标准 LY/T 1270-1999(国家林业局, 1999), 经硝酸—高氯酸消解后采用 AA-800 原子吸收分光光度计进行测定; B 含量按林业行业标准 LY/T1273-1999(国家林业局, 1999), 采用干灰化法, 以姜黄素比色法测定。Mo 含量用催化极谱法测定(鲍士旦, 2000)。

叶片 N、P、K、Fe、Mn、Zn、Cu、B 和 Mo 营养诊断评价指标(表 1)参照美国佛罗里达州甜橙叶分级标准(Thomas et al., 2008; 凌丽俐 等, 2010)。

表 1 美国佛罗里达州甜橙叶各营养元素分级标准

Table 1 Standards for classification of leaf nutrient elements of orange in Florida, USA

元素 Element	缺乏 Deficient	低量 Low	适量 Appropriate	高量 High	过量 Excess
N/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	< 22	22 ~ 24	25 ~ 27	28 ~ 30	> 30
P/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	< 0.9	0.9 ~ 1.1	1.2 ~ 1.6	1.7 ~ 3.0	> 3.0
K/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	< 7	7 ~ 11	12 ~ 17	18 ~ 24	> 24
Ca/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	< 15	15 ~ 29	30 ~ 49	50 ~ 70	> 70
Mg/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	< 2.0	2.0 ~ 2.9	3.0 ~ 4.9	5.0 ~ 7.0	> 7.0
Mn/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	< 18	18 ~ 24	25 ~ 100	101 ~ 300	> 300
Zn/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	< 18	18 ~ 24	25 ~ 100	101 ~ 300	> 300
Cu/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	< 3	3 ~ 4	5 ~ 16	17 ~ 20	> 20
Fe/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	< 35	35 ~ 59	60 ~ 120	121 ~ 200	> 200
B/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	< 20	20 ~ 35	36 ~ 100	101 ~ 200	> 200
Mo/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	< 0.05	0.06 ~ 0.09	0.10 ~ 2.0	2.0 ~ 5.0	> 5.0

2 结果与分析

2.1 叶片氮含量范围及分布

三峡库区甜橙叶片 N 含量在 $12.53 \sim 43.12 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均含量为 $(27.34 \pm 5.92) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 主要分布在适量和高量范围 (表 1), 其中, < 22 (缺乏)、22 ~ 24 (低)、25 ~ 27 (适量)、28 ~ 30 (高量)、> 30 (过量) 的样本数分别占总样本数的 10.5%、14.0%、36.0%、27.0% 和 12.5%。

含 N 量处于适量水平的主要是忠县、永川和奉节, 其所占比例分别为 50.0%、37.5% 和 42.5%。万州氮素水平大部分在低量、适量和高量, 所占比例分别为 27.5%、30.0% 和 25.0%。江津高量、低量和适量所占比例分别为 37.5%、22.5% 和 20.0%, 永川有 17.5% 的园区处于缺乏。奉节县 N 素过量比较突出, 高量和过量范围比例分别为 17.5% 和 20.0%。

表 2 叶片氮各丰缺等级柑橘园所占的百分比

Table 2 Percentage for classification of leaf nitrogen status in orange orchards

地区 Area	样本数 Sample number	平均值/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Average	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
奉节 Fengjie	40	27.77 ± 6.42	15.0	5.0	42.5	17.5	20.0
江津 Jiangjin	40	28.23 ± 5.29	5.0	22.5	20.0	37.5	15.0
万州 Wanzhou	40	27.71 ± 4.77	5.1	27.5	30.0	25.0	12.4
忠县 Zhongxian	40	27.09 ± 4.48	10.0	2.5	50.0	27.5	10.0
永川 Yongchuan	40	25.94 ± 5.35	17.5	12.5	37.5	27.5	5.0
合计 Total	200	27.34 ± 5.92	10.5	14.0	36.0	27.0	12.5

2.2 叶片磷含量范围及分布

三峡库区甜橙叶片 P 含量在 $0.92 \sim 2.22 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $(1.40 \pm 0.21) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 主要处在适量范围 (表 3), 其中, 0.9 ~ 1.1 (低)、1.2 ~ 1.6 (适量)、1.7 ~ 3.0 (高量) 的样本数分别占总样本数的 18.0%、75.5% 和 6.5%。

由表 3 可知, 所有的采样县中 P 含量都主要处于适量范围, 其中忠县、永川、万州、江津适量水平果园所占比例分别为 85%、72.5%、90% 和 70%。P 含量在低量范围表现比较明显的是永川和奉节, 所占比例分别是 22.5% 和 40.0%, 在高量范围内表现最突出的是江津, 占 25.0%。

表 3 叶片磷各丰缺等级柑橘园所占的百分比
Table 3 Percentage for classification of leaf phosphorus status in orange orchards

地区 Area	样本数 Sample number	平均值/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$ Average	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
奉节 Fengjie	40	1.25 ± 0.15	0	40.0	60.0	0	0
江津 Jiangjin	40	1.58 ± 0.21	0	5.0	70.0	25.0	0
万州 Wanzhou	40	1.44 ± 0.14	0	7.5	90.0	5.0	0
忠县 Zhongxian	40	1.35 ± 0.15	0	15.0	85.0	0	0
永川 Yongchuan	40	1.37 ± 0.22	0	22.5	72.5	5.0	0
合计 Total	200	1.40 ± 0.21	0	18.0	75.5	6.5	0

2.3 叶片钾含量范围及分布

三峡库区甜橙叶片 K 含量在 $4.99 \sim 21.69 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $(11.00 \pm 3.04) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 主要分布在适量和低量范围 (表 4), 其中, < 7 (缺乏)、 $7 \sim 11$ (低)、 $12 \sim 17$ (适量)、 $18 \sim 24$ (高量) 的样本数分别占总样本数的 7.0%、50.3%、35.5% 和 5.5%, > 24 过量水平的样本数占总样本数的 2.0%。

这 5 个采样县 (市、区) 中 K 含量主要处于低量和适量水平。其中万州、永川、江津、奉节和忠县低量水平果园所占比例分别为 62.5%、57.5%、45.0%、43.2% 和 43.2%, 在适量水平的所占比例分别为 15.0%、32.5%、52.5%、45.0% 和 31.5%。K 缺乏级别中比较严重的是万州, 所占比例 20.0%。另外永川 K 含量也稍显缺乏。忠县和奉节中 K 含量处于高量水平的所占比例分别为 15.6% 和 9.2%。

表 4 叶片钾各丰缺等级柑橘园所占的百分比
Table 4 Percentage for classification of leaf potassium status in orange orchards

地区 Area	样本数 Sample number	平均值/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$ Average	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
奉节 Fengjie	40	13.14 ± 4.57	2.5	43.2	45.0	9.2	0.1
江津 Jiangjin	40	11.94 ± 2.57	2.5	45.0	52.5	0	0
万州 Wanzhou	40	9.59 ± 2.84	20.0	62.5	15.0	2.5	0
忠县 Zhongxian	40	15.33 ± 6.70	0	43.2	31.5	15.6	9.7
永川 Yongchuan	40	10.56 ± 3.00	10.0	57.5	32.5	0	0
合计 Total	200	11.00 ± 3.04	7.0	50.3	35.5	5.5	2.0

2.4 叶片钙含量范围及分布

三峡库区甜橙叶片 Ca 含量在 $4.27 \sim 44.89 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $(25.27 \pm 8.53) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 主要分布在适量和低量范围 (表 5), 其中 < 15 (缺乏)、 $15 \sim 29$ (低)、 $30 \sim 49$ (适量) 的样本数分别占总样本数的 12.5%、51.5% 和 36.0%。

表 5 叶片钙各丰缺等级柑橘园所占的百分比
Table 5 Percentage for classification of leaf calcium status in orange orchards

地区 Area	样本数 Sample number	平均值/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$ Average	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
奉节 Fengjie	40	32.03 ± 3.43	0	20.0	80.0	0	0
江津 Jiangjin	40	25.83 ± 7.60	2.5	75.0	22.5	0	0
万州 Wanzhou	40	25.23 ± 6.57	2.5	70.0	27.5	0	0
忠县 Zhongxian	40	25.66 ± 9.79	15.0	42.5	42.5	0	0
永川 Yongchuan	40	17.62 ± 7.42	42.5	50.0	7.5	0	0
合计 Total	200	25.27 ± 8.53	12.5	51.5	36.0	0	0

Ca 含量处于适量水平较高的有奉节, 其次是忠县和万州, 所占比例分别是 80.0%、42.5%和 27.5%。忠县、永川、万州和江津柑橘叶片钙主要处于低量水平, 所占比例分别是 42.5%、50.0%、70.0%和 75.0%。由表 5 可看出 Ca 含量缺乏最为突出的是永川, 占 42.5%, 其次是忠县, 占 15.0%。

2.5 叶片镁含量范围及分布

三峡库区甜橙叶片 Mg 含量在 $0.56 \sim 4.99 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $(3.34 \pm 0.89) \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 主要分布在适量和低量范围 (表 6), 其中 < 2.0 (缺乏)、 $2.0 \sim 2.9$ (低)、 $3.0 \sim 4.9$ (适量) 的样本数分别占总样本数的 10.5%、20.0%和 69.0%。

采样点中 Mg 含量多处于适量和低量水平, 其中 Mg 含量主要处在适量水平的县 (市、区) 有忠县、永川、万州、江津和奉节, 所占比例分别是 59.0%、65%、77.0%、82%和 60.0%; 忠县、永川、万州、江津和奉节甜橙叶片 Mg 含量处于低量水平的比例分别为 23.0%、20.0%、13.0%、10.0%和 35.0%; 忠县、永川、万州、江津和奉节 Mg 缺乏的比例分别为 18.0%、13.0%、10.0%、8.0%和 5.0%。

表 6 叶片镁各丰缺等级柑橘园所占的百分比
Table 6 Percentage for classification of leaf magnesium status in orange orchards

地区 Area	样本数 Sample number	平均值/ $(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$ Average	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
奉节 Fengjie	40	3.20 ± 0.89	5.0	35.0	60.0	0	0
江津 Jiangjin	40	3.59 ± 0.96	8.0	10.0	82.0	0	0
万州 Wanzhou	40	3.48 ± 1.00	10.0	13.0	77.0	0	0
忠县 Zhongxian	40	3.14 ± 1.10	18.0	23.0	59.0	0	0
永川 Yongchuan	40	3.27 ± 1.09	13.0	20.0	65.0	2.0	0
合计 Total	200	3.34 ± 0.89	10.6	20.0	69.0	0.4	0

2.6 叶片铁含量范围及分布

三峡库区甜橙叶片 Fe 含量在 $42.6 \sim 293.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $(125.0 \pm 40.55) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 主要分布在适量和高量范围 (表 7), 其中 $< 35 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (缺乏)、 $35 \sim 59$ (低)、 $60 \sim 120$ (适量)、 $121 \sim 200$ (高)、 > 200 (过量) 的样本数分别占总样本数的 2.0%、3.5%、41.5%、49.0%和 4.0%。

在这 5 个采样县 (市、区) 中, Fe 元素含量多处在适量和高量水平, Fe 含量过量的县 (市、区) 只有永川、江津和奉节, 所占比例分别是 7.5%、2.5%和 7.5%。忠县和万州铁元素含量主要处于适量水平, 所占比例均为 70%。永川、江津和奉节铁元素含量主要处于高量水平, 所占比例分别 72.5%、72.5%和 60.0%。忠县有 17.5%的园区其铁元素含量处于低水平状态, 忠县和奉节各有 5.0%的果园有 Fe 缺乏现象。

表 7 叶片铁各丰缺等级柑橘园所占的百分比
Table 7 Percentage for classification of leaf iron status in orange orchards

地区 Area	样本数 Sample number	平均值/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$ Average	铁含量分级及比例/% Percentage for classification of iron				
			缺乏 Deficient	低量 Low	适量 Appropriate	高量 High	过量 Excess
奉节 Fengjie	40	131.99 ± 50.43	5.0	0	27.5	60.0	7.5
江津 Jiangjin	40	131.80 ± 48.26	0.0	0	25.0	72.5	2.5
万州 Wanzhou	40	110.02 ± 30.32	0	0	70.0	30.0	0
忠县 Zhongxian	40	104.72 ± 29.83	5.0	17.5	70.0	7.5	0
永川 Yongchuan	40	146.46 ± 36.44	0	0	20.0	72.5	7.5
合计 Total	200	125.00 ± 40.55	2.0	3.5	41.5	49.0	4.0

2.7 叶片铜含量范围及分布

三峡库区甜橙叶片 Cu 含量在 0 ~ 19.72 mg · kg⁻¹ 之间, 平均为 (5.38 ± 2.59) mg · kg⁻¹, 主要分布在低量和适量范围 (表 8), 其中 < 3 (缺乏)、3 ~ 4 (低)、5 ~ 16 (适量)、17 ~ 20 (高量) 的样本数分别占总样本数的 13.0%、38.0%、48.5% 和 0.5%。

由表 8 可以看出, Cu 元素缺乏级别中所占比例较大的是永川和奉节两个地区。万州和江津 Cu 元素含量基本均分在低量和适量水平。对于忠县和奉节 Cu 元素含量主要分布在适量范围, 其所占比例分别是 65.0% 和 50.0%。

表 8 叶片铜各丰缺等级柑橘园所占的百分比
Table 8 Percentage for classification of leaf copper status in orange orchards

地区 Area	样本数 Sample number	平均值/ (mg · kg ⁻¹) Average	铜含量分级及比例/% Percentage for classification of copper				
			缺乏 Deficient	低量 Low	适量 Appropriate	高量 High	过量 Excess
奉节 Fengjie	40	5.77 ± 3.67	20.0	27.5	50.0	2.5	0
江津 Jiangjin	40	5.07 ± 1.38	7.5	47.5	45.0	0	0
万州 Wanzhou	40	5.48 ± 1.56	0	47.5	52.5	0	0
忠县 Zhongxian	40	6.46 ± 2.67	10.0	25.0	65.0	0	0
永川 Yongchuan	40	4.10 ± 2.46	27.5	42.5	30.0	0	0
合计 Total	200	5.38 ± 2.59	13.0	38.0	48.5	0.5	0

2.8 叶片锰含量范围及分布

三峡库区甜橙叶片 Mn 含量在 12.4 ~ 102.1 mg · kg⁻¹ 之间, 平均为 34.30 ± 17.91 mg · kg⁻¹, 主要分布在低量和适量范围 (表 9), 其中 18 ~ 24 (低)、25 ~ 100 (适量)、101 ~ 300 (高量) 的样本数分别占总样本数的 37.5%、61.5% 和 1.0%。

总体看来, 在这 5 个采样区内 Mn 元素含量主要处于适量水平, 忠县、永川、万州、江津和奉节所占比例分别为 60.0%、55.0%、72.5%、75.0% 和 45.0%。这几个地区 Mn 含量处在低量水平范围内所占比例也较高, 比较突出的是奉节, 其所占比例为 52.5%。

表 9 叶片锰各丰缺等级柑橘园所占的百分比
Table 9 Percentage for classification of leaf manganese status in orange orchards

地区 Area	样本数 Sample number	平均值/ (mg · kg ⁻¹) Average	锰含量分级及比例/% Percentage for classification of manganese				
			缺乏 Deficient	低量 Low	适量 Appropriate	高量 High	过量 Excess
奉节 Fengjie	40	28.78 ± 12.17	0	52.5	45.0	2.5	0
江津 Jiangjin	40	42.87 ± 24.19	0	22.5	75.0	0	0
万州 Wanzhou	40	37.63 ± 18.12	0	27.5	72.5	0	0
忠县 Zhongxian	40	31.58 ± 14.15	0	37.5	60.0	2.5	0
永川 Yongchuan	40	31.67 ± 14.49	0	45.0	55.0	0	0
合计 Total	200	34.30 ± 17.91	0	37.5	61.5	1.0	0

2.9 叶片锌含量范围及分布

三峡库区甜橙叶片 Zn 含量在 11.51 ~ 61.89 mg · kg⁻¹ 之间, 平均为 (33.69 ± 6.33) mg · kg⁻¹, 主要分布在适量范围 (表 10), 其中, < 18 (缺乏)、18 ~ 24 (低量)、25 ~ 100 (适量) 的样本数分别占总样本数的 12.5%、4.0% 和 83.5%。

在 5 个采样区内 Zn 含量绝大部分处于适量水平, 只有极少部分处于低量或缺乏水平。忠县、永川、万州、江津和奉节 Zn 含量在适量水平所占比例分别为 60.0%、100%、59.5%、98.5% 和 99.5%。而缺 Zn 果园中忠县占 32.5%, 万州占 30.0%。

表 10 叶片锌各丰缺等级柑橘园所占的百分比
Table 10 Percentage for classification of leaf zinc status in orange orchards

地区 Area	样本数 Sample number	平均值/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Average	锌含量分级及比例/% Percentage for classification of zinc				
			缺乏 Deficient	低量 Low	适量 Appropriate	高量 High	过量 Excess
奉节 Fengjie	40	39.87 ± 6.33	0	0.5	99.5	0	0
江津 Jiangjin	40	36.42 ± 8.94	0	1.5	98.5	0	0
万州 Wanzhou	40	28.29 ± 14.63	30.0	10.5	59.5	0	0
忠县 Zhongxian	40	28.33 ± 11.59	32.5	7.5	60.0	0	0
永川 Yongchuan	40	35.52 ± 4.47	0	0	100.0	0	0
合计 Total	200	33.69 ± 6.33	12.5	4.0	83.5	0	0

2.10 叶片硼含量范围及分布

三峡库区甜橙叶片 B 含量在 $1.11 \sim 49.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $(23.68 \pm 14.24) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 主要分布在缺乏和低量范围 (表 11), 其中 < 20 (缺乏)、 $20 \sim 35$ (低量)、 $36 \sim 100$ (适量) 的样本数分别占总样本数的 43.0%、33.5% 和 23.5%。

各地区 B 元素含量基本均匀分散分布在缺乏、低量和适量 3 个水平。其中大部分地区 B 元素含量多表现为缺乏, 其次是低量, B 元素含量在适量范围内地区所占比例较少。

表 11 叶片硼各丰缺等级柑橘园所占的百分比
Table 11 Percentage for classification of leaf boron status in orange orchards

地区 Area	样本数 Sample number	平均值/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Average	硼含量分级及比例/% Percentage for classification of boron				
			缺乏 Deficient	低量 Low	适量 Appropriate	高量 High	过量 Excess
奉节 Fengjie	40	23.4	45.0	37.5	17.5	0	0
江津 Jiangjin	40	23.1	40.0	37.5	22.5	0	0
万州 Wanzhou	40	25.7	37.5	32.5	30.0	0	0
忠县 Zhongxian	40	24.0	45.0	32.5	22.5	0	0
永川 Yongchuan	40	22.2	47.5	27.5	25.0	0	0
合计 Total	200	23.7	43.0	33.5	23.5	0	0

2.11 叶片钼含量范围及分布

三峡库区甜橙叶片 Mo 含量在 $0.03 \sim 2.74 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, 平均为 $(0.79 \pm 0.49) \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 主要分布在适量范围 (表 12), 其中 $0.06 \sim 0.09$ (低量)、 $0.10 \sim 2.0$ (适量)、 $2.0 \sim 5.0$ (高量) 的样本数分别占总样本数的 8.0%、70.5% 和 6.5%。

由表 12 可知, 大部分橘园 Mo 含量处于适量水平, 但也有橘园 Mo 含量处于缺乏水平, 其中永川 Mo 缺乏最严重, 缺 Mo 橘园比例为 27.5%, 其次为万州、江津和奉节在缺 Mo 橘园中占的比例分别为 17.5%、12.5%、10.0%。

表 12 叶片钼各丰缺等级柑橘园所占的百分比
Table 12 Percentage for classification of leaf molybdenum status in orange orchards

地区 Area	样本数 Sample number	平均值/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) Average	钼含量分级及比例/% Percentage for classification of molybdenum				
			缺乏 Deficient	低量 Low	适量 Appropriate	高量 High	过量 Excess
奉节 Fengjie	40	0.60 ± 0.49	10.0	5.0	82.5	2.5	0
江津 Jiangjin	40	0.82 ± 0.54	12.5	2.5	85.0	0	0
万州 Wanzhou	40	0.87 ± 0.72	17.5	7.5	67.5	7.5	0
忠县 Zhongxian	40	0.97 ± 0.91	7.5	20.0	57.5	15.0	0
永川 Yongchuan	40	0.69 ± 0.68	27.5	5.0	60.0	7.5	0
合计 Total	200	0.79 ± 0.49	15.0	8.0	70.5	6.5	0

3 讨论

营养诊断指标是衡量作物营养丰缺程度的标准, 如何正确反映作物营养水平的指标是营养诊断研究工作的核心。对于柑橘而言, 采用 4 ~ 6 个月龄营养性春梢叶片作为柑橘营养诊断推荐施肥的合理部位 (Alva & Paramasivam, 1998; Quaggio et al., 1998)。因为该部位叶片营养元素含量与作物相对产量有很好的相关性, 如 4 ~ 6 个月龄的营养性春梢叶片氮含量与柑橘相对产量二者呈倒“U”型抛物线关系, 叶片氮含量在 $25 \sim 27 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 范围内, 柑橘达到最大的相对产量。叶片氮含量高于和低于此范围, 柑橘的相对产量均下降 (Alva et al., 2006)。柑橘叶片各营养元素的丰缺对柑橘产量和品质有非常重要的影响。植株叶片营养元素的丰缺, 直接与土壤、施肥量和施肥方式等因素密切相关。

本试验结果表明, 按照甜橙叶片营养诊断标准, 重庆三峡库区的甜橙叶片大量元素含量情况不尽相同。具体来说, N 过量 and 缺乏并存, P 较为适宜, 有少部分处在过量水平; K 总体处于低量和适量水平, 有少部分果园过量和缺乏并存。主要原因是近些年重庆柑橘生产上主要施用尿素和复合肥 (15-15-15)。有资料表明, 柑橘 N、P 和 K 的需求比例为 $1:0.5 \sim 0.7:1.0 \sim 1.1$, 同时正常叶片和果实中 P 带走量仅为 K 的 $1/10 \sim 1/6$ 。而库区橘园尿素施用量较大, 柑橘园的年总体氮盈余量为 $363.9 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 但仍存在一部分柑橘园氮素施用量偏少 (周鑫斌 等, 2011a)。复合肥中 P 的比例超过柑橘营养 P 需求, 使得果园磷肥平均投入量为 $228.8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 柑橘园的每年总体磷盈余量为 $107.6 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (周鑫斌 等, 2011b)。虽然紫色土由富钾矿物分化而来, 其土壤有效钾含量高于我国土壤平均值 (唐时嘉 等, 1984)。柑橘园种植在紫色土上, 且多施用等氮磷钾的复合肥 (15-15-15), 因而部分柑橘园土壤钾素并不十分缺乏。但是, 三峡库区部分柑橘园种植在黄壤上, 土壤中 K、P、S、Cl、Fe 均较紫色土低 (唐将 等, 2005), 而且库区年降雨量较高, 坡地橘园 K 容易随水流失, 这也是部分橘园叶片 K 含量偏低的原因。因此, 今后库区甜橙生产应根据柑橘叶片营养水平诊断并兼顾橘园土壤条件有针对性地施用大量营养元素肥料。

库区甜橙叶片 Mg 含量较低, Ca 营养状况严重不足。有资料表明, 脐橙叶片含 $\text{Mg} < 1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时黄化明显 (彭良志 等, 2010), 库区柑橘园虽然没有出现大面积黄化现象, 但是潜在性缺 Mg 现象严重, 甜橙生产上需要特别引起重视 (李健 等, 2011; 申燕 等, 2011), Ca 和 Mg 的需求量仅次于 N、P 和 K。Ca 和 Mg 营养元素缺乏的主要原因: 一方面由于大量施用化肥氮肥, 库区土壤酸化严重, $\text{pH} < 6.5$ 的酸性土壤占 60.3%, 酸化加快 Ca 和 Mg 的流失 (周鑫斌 等, 2010); 另一方面, 库区橘园很少施用 Ca 和 Mg 肥。因此, 库区橘园生产中需要增施石灰和 Mg 肥, 同时适当减少 N 肥的施用量, 提高土壤 pH 值, 才能达到树体叶片营养的平衡供应, 提高产量和品质。

植株体内的矿质元素水平主要取决于土壤中这种元素的含量, 并随着该种元素含量的增高而增高, 其相关系数达极显著水平 (李继承 等, 1999)。库区现今土壤有效 B 平均含量为 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其含量与 1989 年重庆市土壤有效 B 含量持平 (刘铮 等, 1989)。这与橘农施肥习惯有关, 多年以来, 橘农只施 N、P 和 K 肥, 不注重施用微量元素肥料, 致使土壤有效 B 含量缺乏。这也就是说, 库区土壤有效 B 缺乏是导致橘树叶片该种元素缺乏的直接原因。另一方面土壤中有效硼的含量与土壤有机质含量呈正相关 (金立新 等, 2005), 而库区土壤有机质含量偏低 (周鑫斌 等, 2010)。所以库区橘园土壤需要增施硼肥来提高土壤有效硼含量, 其主要措施是施用硼肥, 同时施用有机肥。

库区部分橘园叶片缺乏 Zn 和 Cu, 可能以下几方面的原因。一是库区橘园大多属于紫色土, 而紫色土属于风化度浅的初育土, 致使紫色土 Zn 和 Cu 的有效性较低, 橘园土壤有效态营养元素含量少; 二是与元素间的相互作用有关, Mg 和 Zn 之间具有协同作用, 柑橘植株缺 Mg 会加重 Zn 的

缺乏(庄伊美, 1994)。同时, K 对 Mg 的吸收有拮抗作用, 长期施用 K 会导致植物缺 Mg 现象的产生, 一般要求果园土壤交换性 K/Mg 比值小于 0.6 (李士敏和朱富强, 1999)。这也就是说, 生产上施用 K 肥的时候, 需注重施用 Mg 肥。库区部分橘园缺 Cu, 这些果园主要出现在无溃疡病果园或采用抗生素制剂防止溃疡病的果园。对这类果园有必要适当喷施铜制剂防止果园易发的溃疡病、炭疽病和疮痂病等, 以防止缺 Cu (凌丽俐 等, 2010)。

根据李比希的最小养分定律, 限制果树产量和品质的只是其相对含量最小的营养元素, 产量和品质在一定限度内随着这个养分的增加而得到改善。从本研究结果来看, 三峡库区完全不缺素的甜橙园很少, 这应该是导致该区域甜橙产量普遍不高的重要原因之一。因此, 今后柑橘生产上应大力推广以叶片营养诊断为基础的平衡施肥, 大量元素以目标产量为基础, 微量元素以“因缺补缺”为原则, 同时土壤 pH 值和有机质含量是影响三峡库区橘园有效营养状况的主要因素, 两者都影响到土壤有效营养元素的丰缺, 所以, 提高土壤有机质含量和改善土壤 pH 值状况对柑橘营养改善也具有非常重要的意义。三峡库区土壤有机质含量普遍偏低, 因此, 在实际生产中, 应切实补充有机肥, 培育土壤肥力, 采用养分资源综合管理技术, 这样不仅可以有效地提高果实产量和品质, 还能有效减少肥料流失而对环境产生的面源污染, 保护库区生态环境。

References

- Alva A K, Paramasivam S. 1998. Nitrogen management for high yield and quality of citrus in sand soils. *Soil Science Society of America Journal*, 62: 1335 - 1342.
- Alva A K, Paramasivam S, Obreza T A, Schumann A W. 2006. Nitrogen best management practice for citrus trees I . Fruit yield, quality, and leaf nutritional status. *Scientia Horticulturae*, 107: 233 - 244.
- Bao Shi-dan. 2000. Soil and agricultural chemistry analysis. 3rd. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 鲍士旦. 2000. 土壤农化分析. 3 版. 北京: 中国农业出版社.
- Jin Li-xin, Tang Jin-rong, Liu Ai-hua, Tang Qi-feng, Yang Zhong-fang, Chen De-you, Liu Ying-ping, Li Zhong-hui. 2005. Study of boron contents in soil and nutrient management suggestions from the Chengdu area, China. *Quaternary Sciences*, 25 (3): 363 - 368. (in Chinese)
- 金立新, 唐金荣, 刘爱华, 汤奇峰, 杨忠芳, 陈德友, 刘应平, 李忠惠. 2005. 成都地区土壤硼元素含量及其养分管理建议. 第四纪研究, 25 (3): 363 - 368.
- Li Ji-cheng, Li Xian-xin, Peng Jun-cai, Zhang Guo-qiang. 1999. Effect of five mineral elements on nutritional state of Naval orange tree. *Journal of Hunan Agricultural University*, 25 (1): 36 - 39. (in Chinese)
- 李继承, 李先信, 彭俊彩, 张国强. 1999. 五种矿质元素对脐橙树体营养状况的影响. 湖南农业大学学报, 25 (1): 36 - 39.
- Li Jian, Xie Zhong-chen, Xie Wen-long, Wu Xing-ming, Shi Qing. 2011. Relationship between leaf vein splitting and mineral nutrition of citrus. *Acta Horticulturae Sinica*, 38 (3): 425 - 433. (in Chinese)
- 李 健, 谢钟琛, 谢文龙, 吴兴明, 施 清. 2011. 柑橘叶脉开裂症与矿质营养的关系. 园艺学报, 38 (3): 425 - 433.
- Li Shi-min, Zhu Fu-qiang. 1999. Quantity of available magnesium of dry cultivated land and effects of applying Mg fertilizer on the crops in yellow earth areas of Guizhou. *Guizhou Agricultural Science*, 27 (2): 31 - 33. (in Chinese)
- 李士敏, 朱富强. 1999. 贵州黄壤旱地有效镁的含量与镁肥盆栽效果分析. 贵州农业科学, 27 (2): 31 - 33.
- Ling Li-li, Peng Liang-zhi, Chun Chang-pin, Cao Li, Jiang Cai-lun. 2010. Characteristics analysis of microelement contents in Newhall Navel orange leaves in southern Jiangxi Province. *Acta Horticulturae Sinica*, 37 (9): 1388 - 1394. (in Chinese)
- 凌丽俐, 彭良志, 淳长品, 曹 立, 江才伦. 2010. 赣南纽荷兰脐橙叶片微量元素含量状况. 园艺学报, 37 (9): 1388 - 1394.
- Liu Zheng, Zhu Qi-qing, Tang Li-hua. 1989. Regularities of content and distribution of boron in soils. *Acta Pedologica Sinica*, 25 (1): 353 - 361. (in Chinese)
- 刘 铮, 朱其清, 唐丽华. 1989. 土壤中硼的含量和分布的规律性. 土壤学报, 26 (4): 353 - 361.
- Mills H A, Benton-Jones Jr J. 1996. Plant analysis handbook II. Athens GA: Micro Macro Publishing Inc: 422.
- Peng Liang-zhi, Zhang Guang-yue, Chun Chang-pin, Wang Zhen-xing, Guo Chun-gui, Ling Li-li, Lai Jiu-jiang, Jiang Cai-lun. 2010. Study on

- the relationship between leaf yellowing with vein swelling or cracking and Mg, B element concentrations in newhall navel orange leaves. *South China Fruits*, 39 (4): 1 - 5. (in Chinese)
- 彭良志, 张广越, 淳长品, 王振兴, 郭春贵, 凌丽俐, 赖九江, 江才伦. 2010. 纽荷兰脐橙叶片黄化和叶脉肿胀与镁硼丰缺关系研究. *中国南方果树*, 39 (4): 1 - 5.
- Quaggio J A, Cantarella, Rajj B V. 1998. Phosphorus and potassium sil test and nitrogen leaf analysis as a base for citrus fertilization. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52: 67 - 74.
- Shen Yan, Xiao Jia-xin, Yang Hui, Zhang Shao-ling. 2011. Effects of magnesium stress on growth, distribution of several mineral elements and leaf ultrastructure of 'Harumi' tangor. *Acta Horticulturae Sinica*, 38 (5): 849 - 858. (in Chinese)
- 申 燕, 肖家欣, 杨 慧, 张绍铃. 2011. 镁胁迫对 '春见' 橘橙生长和矿质元素分布及叶片超微结构的影响. *园艺学报*, 38 (5): 849 - 858.
- State Forestry Administration of P. R. China. 1999. Forestry industry standard in The Peopublic of China LY/T 1210-1275-1999 (Forest soil analysis methods). Beijing: Standard Press of China: 279 - 294, 301 - 304. (in Chinese)
- 国家林业局. 1999. 中华人民共和国林业行业标准 LY/T 1210-1275-1999 (森林土壤分析方法). 北京: 中国标准出版社: 279 - 294, 301 - 304.
- Tang Jiang, Li Yong, Deng Fu-yin, Fu Shao-hong. 2005. Distribution characteristics of nutrition elements in the Three Gorges Reservoir District. *Acta Pedologica Sinica*, 42 (3): 473 - 478. (in Chinese)
- 唐 将, 李 勇, 邓富银, 付绍红. 2005. 三峡库区土壤营养元素分布特征研究. *土壤学报*, 42 (3): 473 - 478.
- Tang Shi-jia, Sun De-jiang, Luo You-fang, Zhou Da-hai, He Rong, Mao Jian-hua, Luo Ying. 1984. The fertility of purple soil in relation to the characteristics of parent material in Sichuan Basin. *Acta Pedologica Sinica*, 21 (2): 123 - 126. (in Chinese)
- 唐时嘉, 孙德江, 罗有芳, 周大海, 何 熔, 毛建华, 罗 英. 1984. 四川盆地紫色土肥力与母质特性的关系. *土壤学报*, 21 (2): 123 - 126.
- Thomas A O, Mongi Z, Edward A H. 2008. Soil and leaf tissue testing// Thomas A O, Kelly T M. Nutrition of Florida citrus trees. 2nd. Florida: Florida Copperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida: 27.
- Yao Li-xian, Zhou Xiu-chong, Peng Zhi-ping, Li Guo-liang. 2006. Soil nutrient fertilizer in citrus orchards of Guangdong Province. *Chinese Journal of Soil Science*, 37 (1): 41 - 44. (in Chinese)
- 姚丽贤, 周修冲, 彭智平, 李国良. 2006. 广东省柑橘园土壤养分肥力研究. *土壤通报*, 37 (1): 41 - 44.
- Zhang Ming-fu, Li Jian, Lü Jia-min, Zhao Mu-song, Li Zhong. 2000. The relationship of citrus the second nutrient diagnose fertilizer and yeild. *Fujian Fruit*, (1): 7 - 10. (in Chinese)
- 张名福, 李 健, 吕佳敏, 赵木松, 黎 忠. 2000. 柑橘二次营养诊断配方施肥与产量的关系. *福建果树*, (1): 7 - 10.
- Zheng Jian-hua, Xie Liang-shang. 2008. Application status and prospects of plants nutrition diagnosis in tropical crop. *Anhui Agri Sci Bull*, 14 (9): 69 - 71. (in Chinese)
- 曾建华, 谢良商. 2008. 植物营养诊断在热带作物上的应用现状与前景. *安徽农学通报*, 14 (9): 69 - 71.
- Zhou Xin-bin, Shi Xiao-jun, Sun Peng-shou, Li Wei, Dai Heng-lin, Peng Liang-zhi, Chun Chang-pin. 2010. Analysis of the status of soil fertility in citrus orchards of Chongqing Sanxia Reservoir Area. *Plant Nutr and Fert Sci*, 16 (4): 817 - 823. (in Chinese)
- 周鑫斌, 石孝均, 孙彭寿, 李 伟, 戴亨林, 彭良志, 淳长品. 2010. 三峡重庆库区柑橘园土壤养分丰缺状况研究. *植物营养与肥料学报*, 16 (4): 817 - 823.
- Zhou Xin-bin, Wen Ming-xia, Wang Xiu-ying, Fan Xiao-cui, Sun Peng-shou, Shi Xiao-jun, Li Wei, Dai Heng-lin. 2011a. Soil nitrogen balance in citrus orchards of the Three Gorges Area in Chongqing. *Plant Nutr Fert Sci*, 17 (1): 88 - 94. (in Chinese)
- 周鑫斌, 温明霞, 王秀英, 樊晓翠, 孙彭寿, 石孝均, 李 伟, 戴亨林. 2011a. 三峡重庆库区柑橘园氮素平衡状况研究. *植物营养与肥料学报*, 17 (1): 88 - 94.
- Zhou Xin-bin, Wen Ming-xia, Wang Xiu-ying, Fan Xiao-cui, Sun Peng-shou, Shi Xiao-jun, Li Wei, Dai Heng-lin. 2011b. Soil phosphorus balance in citrus orchards of the Three Gorges Area in Chongqing. *Plant Nutr Fert Sci*, 17 (3): 616 - 622. (in Chinese)
- 周鑫斌, 温明霞, 王秀英, 樊晓翠, 孙彭寿, 石孝均, 李 伟, 戴亨林. 2011b. 三峡重庆库区柑橘园磷素平衡状况研究. *植物营养与肥料学报*, 17 (3): 616 - 622.
- Zhuang Yi-mei. 1994. Citrus nutrition and fertilization. Beijing: China Agriculture Press: 27 - 30, 307 - 354. (in Chinese)
- 庄伊美. 1994. 柑桔营养与施肥. 北京: 中国农业出版社: 27 - 30, 307 - 354.