

红壤甜橙园土壤和叶片营养元素相关性分析

唐玉琴¹, 彭良志^{1,2,*}, 淳长品^{1,2}, 凌丽俐¹, 方贻文³, 严翔³

(¹西南大学柑桔研究所, 重庆 400712; ²国家柑桔工程技术研究中心, 重庆 400712; ³江西省脐橙研究所, 江西赣州 341000)

摘要: 于2010年和2011年在江西省安远县和寻乌县这两大赣南甜橙生产县, 共采集181个红壤枳砧甜橙园的土壤样品和叶片样品, 进行营养元素含量测定, 并对土壤和叶片相应营养元素含量进行相关性分析, 为评价测土配方施肥是否适宜红壤甜橙园提供依据。结果表明: 土壤碱解氮、交换性钙、交换性镁、有效铁和有效锌的丰缺状况在甜橙叶片对应营养元素丰缺水平上能得到一定程度的反映; 土壤有效钾、有效磷、有效铜和有效硼的状况则难以在甜橙叶片对应营养元素丰缺水平上得到反映。相关性分析结果显示, 只有2010年安远县甜橙园土壤有效Zn含量与叶片Zn含量呈显著正相关 ($P < 0.05$), 其余土壤有效营养元素含量与叶片对应营养元素含量之间均无显著相关性。表明测土配方施肥不适宜红壤甜橙园, 建议实行以叶片营养诊断为主、土壤诊断为辅的配方施肥策略。

关键词: 甜橙; 果园; 土壤营养元素; 叶片营养元素; 相关性

中图分类号: S 666

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2013) 04-0623-10

Correlation Analysis on Nutrient Element Contents in Orchard Soils and Sweet Orange Leaves in Southern Jiangxi Province of China

TANG Yu-qin¹, PENG Liang-zhi^{1,2,*}, CHUN Chang-pin^{1,2}, LING Li-li¹, FANG Yi-wen³, and YAN Xiang³

(¹Citrus Research Institute, Southwest University, Chongqing 400712, China; ²National Citrus Engineering Research Center, Chongqing 400712, China; ³Navel Orange Research Institute, Ganzhou, Jiangxi 341000, China)

Abstract: Both soil and leaf samples were collected from 181 red soil orchards of sweet orange grafted on trifoliate orange [*Poncirus trifoliata* (L.)] rootstocks in Anyuan and Xunwu, the two biggest citrus production counties in southern Jiangxi Province of China, and then analyzed for their nutrient element contents in 2010 and 2011. The aim was to realize relationship between soil and leaf nutrient elements and to provide the possibilities of formulated fertilization based on soil testing in sweet orange orchards in red soil areas. The results showed that the contents of available soil nutrient elements such as nitrogen (N), calcium (Ca), iron (Fe), magnesium (Mg) and zinc (Zn) in orchard soils could reflect, to some extent, the contents of corresponding nutrients in citrus leaves. A significant positive correlation ($P < 0.05$) was found between the contents of available Zn in soils and Zn contents in leaves in Anyuan county in 2010. However, the contents of soil available potassium (K), phosphorus (P), copper (Cu) and boron (B) correlated nonsignificantly with the contents of the corresponding nutrients in leaves.

收稿日期: 2012-12-11; **修回日期:** 2013-03-21

基金项目: 现代农业(柑橘)产业技术体系建设专项; 国家自然科学基金项目(31201587); 国家公益性行业(农业)科研专项(200903023); 重庆市科技攻关计划项目(cstc2012gg-yyjsB80007)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: penglz809@163.com; Tel: 023-68247009)

Therefore, formulated fertilization by soil testing is not suitable for sweet orange orchards in red soil areas. It is suggested that formulated fertilization should be mainly based on leaf diagnosis and supplemented by soil testing.

Key words: sweet orange; orchard; soil nutrient element; leaf nutrient element; correlation

测土配方施肥已在中国大面积推广应用多年, 其依据是土壤养分水平与作物的营养元素含量或作物产量之间存在显著相关性 (Meerts, 1997; 黄德明, 2003; 李娟 等, 2010)。通常, 大田作物的这种相关性较强, 这与大田土壤养分相对较均匀和大田作物根浅密集、养分吸收迅速有关 (姜存仓, 2011)。测土配方施肥是否适宜在土壤特性和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, 还存在较大争议。前人在柑橘、苹果、梨和猕猴桃等果树上做过这方面的探索, 不同研究者所得结果差异很大: 有些研究表明果园大多数土壤有效养分含量与树体相应营养元素含量水平有显著相关性 (路超 等, 2011; 宋晓晖 等, 2011), 另一些研究结果则显示大多数营养元素无相关性 (陈显成 等, 2000; 贾兵 等, 2011; 徐爱春 等, 2011)。就柑橘而言, 程湘东等 (1992)、程昌凤等 (2004)、杨生权 (2008) 报道橘园土壤与树体之间的大多数营养元素含量存在显著相关性, 而 Srivastava 等 (2001)、余红兵等 (2007) 则发现二者之间的大多数营养元素含量无显著相关性。由此可见, 土壤有效养分含量和叶片相应营养元素含量之间的关系颇为复杂。值得一提的是, 上述大部分有关果树的研究结论都是基于几十个果园甚至一两个果园的研究结果, 试验果园的数量和代表性存在明显不足, 结论的说服力不强。

从生产实践上看, 江西赣南是中国最大的甜橙产区 (刘桂东 等, 2010), 全赣南柑橘面积 1.4 余万 hm^2 , 脐橙、哈姆林、夏橙等甜橙面积达 1.2 万 hm^2 , 土壤类型主要为红壤 (王瑞东 等, 2011)。安远县和寻乌县是赣南的两个最大甜橙生产县, 两县开展柑橘测土配方施肥已多年, 但柑橘树体营养元素失衡问题突出, 缺镁、缺锌等缺素黄化果园比例高, 同时又存在树体氮钾过量等问题 (淳长品 等, 2010)。因此, 有必要采用大样本方法, 进一步探索红壤甜橙园土壤与树体之间营养元素含量的相关性, 为测土配方施肥对柑橘的适应性评价提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

2010 年和 2011 年 9—10 月, 在江西省安远县和寻乌县选择 1 个月内未施肥且具代表性的甜橙园作为采样果园, 2010 年在安远采样 99 个果园, 2011 年 49 个, 品种均为枳 [*Poncirus trifoliata* (L.)] 砧哈姆林甜橙 (*Citrus sinensis* Osbeck), 4 ~ 5 年生; 2011 年在寻乌采样 33 个果园, 品种均为枳 [*Poncirus trifoliata* (L.)] 砧‘纽荷尔’脐橙 (*Citrus sinensis* Osbeck), 8 ~ 12 年生。土壤类型全部为丘陵山地红壤。

土壤样品采集: 在每个果园按“S”型选采样树 15 ~ 20 株, 在树冠滴水线下挖一个深 40 cm 左右的土壤剖面, 在剖面上均匀采集深度 5 ~ 35 cm 土壤约 200 g, 去除根系及砾石等杂物, 将 15 ~ 20 个采样点所采土壤混匀后, 用四分法取约 500 g, 带回实验室风干、研碎、过筛后保存备用。

叶片样品采集: 在采集土样的同时采集该植株的叶片样品, 在每株树冠的外围东南西北 4 个方位, 1.5 ~ 2.0 m 高度, 采当年春梢营养枝顶部第 3 片叶, 每株采 8 片叶, 15 ~ 20 株树 120 ~ 160 片叶作为 1 个样品; 为减小呼吸消耗, 保证测定结果的准确性, 所有叶片样品装入有孔的干净塑料袋, 留出透气孔, 置于有冰块的泡沫保温箱中, 24 h 内带回实验室, 按庄伊美 (1997) 的方法进行清洗

和烘干等处理。

1.2 元素的测定

1.2.1 土壤营养元素测定

采用国际农化服务中心的土壤养分状况系统研法(ASI)(加拿大钾肥研究所北京办事处, 1992); 有效 P、K、Cu、Fe、Mn、Zn 采用 ASI 浸提剂浸提; 交换性 Ca、Mg 采用 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸铵浸提。有效 P 采用紫外可见分光光度法测定(杨俐苹等, 2002; 柳听海等, 2008); 有效 K、Cu、Fe、Mn、Zn 以及交换性 Ca、Mg 采用原子吸收分光光度计测定; 碱解氮采用扩散法测定; 有效 B 采用沸水浸提—ICP—AES 法测定(薛珺等, 2010)。

1.2.2 叶片营养元素测定

N 按照林业行业标准 LY/T 1269-1999, 采用 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 消解法, KDY-9820 凯氏定氮仪(北京通润源机电技术有限责任公司)测定。P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 按照林业行业标准 LY/T 1270-1999 规定, 采用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ 消解法, P 采用钼锑抗比色法, 用 TU-9101 双光速紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)在 700 nm 波长下测定; K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 用 AA-800 原子吸收分光光度计(Perkin Elmer 公司)法测定。

1.3 营养元素含量分级

1.3.1 甜橙园土壤有效营养元素含量分级指标

土壤有机质及各营养元素养分分级以 ASI 法分析土壤速效养分的评价指标为主体(金继运等, 2006), 结合庄伊美(1997)、何天富(1999)和鲁剑巍等(2002)的分级标准而定(表 1)。

表 1 甜橙园土壤养分分级标准(ASI 标准)
Table 1 Standards for classification of the soil nutrient status of sweet orange orchard / ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

养分 Available nutrient	缺乏 Deficiency range	低量 Low range	适量 Optimum range	高量 High range	过量 Excess range
碱解氮 Alkaline hydrolytic N	< 20	20 ~ 50	50 ~ 100	100 ~ 300	> 300
有效磷 Available P	< 6	6 ~ 12	12 ~ 24	24 ~ 60	> 60
有效钾 Available K	< 40	40 ~ 80	80 ~ 120	120 ~ 160	> 160
交换性钙 Exchangeable Ca	< 200	200 ~ 400	400 ~ 1200	1200 ~ 4800	> 4800
交换性镁 Exchangeable Mg	< 80	80 ~ 120	120 ~ 300	300 ~ 1460	> 1460
有效铁 Available Fe	< 5	5 ~ 10	10 ~ 30	30 ~ 300	> 300
有效锰 Available Mn	< 2	2 ~ 5	5 ~ 15	15 ~ 150	> 150
有效锌 Available Zn	< 1	1 ~ 2	2 ~ 3	3 ~ 6	> 6
有效铜 Available Cu	< 0.3	0.3 ~ 1	1 ~ 2	2 ~ 3	> 3
有效硼 Available B	< 0.1	0.1 ~ 0.2	0.2 ~ 0.6	0.6 ~ 8	> 8

注: 低量: \leq 元素含量 <; 适量: \leq 元素含量 \leq ; 高量: < 元素含量 \leq 。下同。

Note: Low range: \leq element content <; Optimum range: \leq element content \leq ; High range: < element content \leq . The same below.

1.3.2 甜橙叶片营养元素含量分级指标

国内尚无甜橙叶片营养诊断国家标准, 综合庄伊美(1997)和美国甜橙营养分级标准(Thomas et al., 2008), 以赣南脐橙叶片营养诊断标准(DB36/T625-2011)为依据, 将其分为缺乏、低量、适宜、高量和过量 5 个等级(表 2)。

1.4 数据分析

试验数据均由 Excel 和 SPSS17.0 软件进行处理和分析。

表 2 甜橙叶片营养诊断分级标准
Table 2 Leaf nutrient element diagnosis analysis standards for sweet orange

营养元素 Nutrient element	缺乏 Deficiency range	低量 Low range	适量 Optimum range	高量 High range	过量 Excess range
N/%	< 2.50	2.50 ~ 2.70	2.70 ~ 3.00	3.00 ~ 3.20	> 3.20
P/%	< 0.10	0.10 ~ 0.12	0.12 ~ 0.16	0.16 ~ 0.30	> 0.30
K/%	< 0.70	0.70 ~ 1.20	1.20 ~ 1.70	1.70 ~ 2.00	> 2.00
Ca/%	< 1.60	1.60 ~ 3.00	3.00 ~ 5.50	5.50 ~ 7.00	> 7.00
Mg/%	< 0.20	0.20 ~ 0.25	0.25 ~ 0.50	0.50 ~ 0.70	> 0.70
S/%	< 0.14	0.14 ~ 0.20	0.20 ~ 0.40	0.40 ~ 0.50	> 0.50
Fe/(mg · kg ⁻¹)	< 35	35 ~ 60	60 ~ 120	120 ~ 200	> 200
Mn/(mg · kg ⁻¹)	< 16	16 ~ 25	25 ~ 100	100 ~ 300	> 300
Zn/(mg · kg ⁻¹)	< 16	16 ~ 20	20 ~ 100	100 ~ 200	> 200
Cu/(mg · kg ⁻¹)	< 3	3 ~ 5	5 ~ 15	15 ~ 20	> 20
B/(mg · kg ⁻¹)	< 20	20 ~ 35	35 ~ 100	100 ~ 200	> 200

2 结果与分析

2.1 土壤有效营养元素含量

安远县哈姆林甜橙园土壤碱解氮、有效铁和有效硼含量较丰富。由表 3 可知, 2010 年和 2011 年果园碱解氮含量达到或超过适宜值的果园比例分别达到 53.54% 和 93.88%; 2011 年全部果园土壤

表 3 安远县和寻乌县甜橙园土壤有效营养元素含量状况
Table 3 The contents of soil available nutrients in sweet orange orchards in Anyuan and Xunwu counties, Jiangxi Province of China

地区 Area	年份 Year	有效营养元素 Available element	平均值 ± 标准差 / (mg · kg ⁻¹) M ± SD	比例 / % Percentage				
				缺乏 Deficient range	低量 Low range	适量 Optimum range	高量 High range	过量 Excess range
安远 Anyuan	2010	碱解氮 Alkaline hydrolytic N	73.64 ± 67.06	1.01	45.45	40.4	10.1	3.03
		有效磷 Available P	3.15 ± 6.81	90.91	2.02	3.03	4.04	0
		有效钾 Available K	59.74 ± 51.05	42.42	39.39	10.1	2.02	6.06
		交换性钙 Exchangeable Ca	150.18 ± 193.53	86.87	7.07	5.05	1.01	0
		交换性镁 Exchangeable Mg	26.33 ± 36.06	91.92	5.05	3.03	0	0
		有效锌 Available Zn	0.65 ± 0.42	83.84	15.15	1.01	0	0
	2011	碱解氮 Alkaline hydrolytic N	111.48 ± 57.78	0	6.12	48.98	44.90	0
		有效磷 Available P	5.99 ± 18.20	89.80	2.04	0	4.08	4.08
		有效钾 Available K	77.49 ± 59.05	28.57	42.86	14.29	8.16	6.12
		交换性钙 Exchangeable Ca	203.77 ± 193.81	69.39	20.41	10.2	0	0
		交换性镁 Exchangeable Mg	36.46 ± 55.49	93.88	4.08	0	2.04	0
		有效铁 Available Fe	27.29 ± 10.83	0	0	63.27	36.73	0
		有效铜 Available Cu	0.49 ± 0.26	22.45	71.43	6.12	0	0
		有效锌 Available Zn	0.88 ± 0.43	67.35	30.61	2.04	0	0
寻乌 Xunwu	2011	有效硼 Available B	0.64 ± 0.80	0	2.04	67.35	30.61	0
		碱解氮 Alkaline hydrolytic N	90.44 ± 33.10	0	6.06	60.61	33.33	0
		有效磷 Available P	29.44 ± 44.32	42.42	12.12	6.06	30.30	9.09
		有效钾 Available K	106.84 ± 50.63	12.12	18.18	33.33	21.21	15.15
		交换性钙 Exchangeable Ca	411.36 ± 290.73	21.21	39.39	33.33	6.06	0
		交换性镁 Exchangeable Mg	77.77 ± 38.94	63.64	24.24	12.12	0	0
		有效铁 Available Fe	20.50 ± 17.69	3.03	18.18	66.67	12.12	0
		有效铜 Available Cu	3.28 ± 3.42	0	15.15	36.36	9.09	39.39
		有效锌 Available Zn	2.79 ± 2.50	18.18	33.33	18.18	18.18	12.12
		有效硼 Available B	0.25 ± 0.14	12.12	30.30	57.58	0	0

不缺有效铁, 仅有 1 个果园土壤有效硼含量不足, 这可能与果园红壤特性 (何天富, 1999) 和当地重视硼肥施用 (凌丽俐 等, 2010; 张广越 等, 2010) 有关。土壤有效钾、有效磷、交换性钙、交换性镁、有效锌和有效铜含量不足 (含低量或缺乏, 下同) 的果园比例高, 达到 71.43% (有效钾) ~ 98.99% (有效锌); 特别是土壤有效磷、交换性镁和有效锌的缺乏状况更突出, 土壤缺乏这些营养元素的果园比例一般达到 80% 以上。

寻乌县脐橙园土壤碱解氮、有效钾、有效铁和有效铜含量较丰富 (表 3)。碱解氮含量达到或超过适宜值的果园比例为 93.94%, 有效钾为 69.70%, 有效铁为 78.79%, 有效铜为 84.85%。土壤有效磷、交换性钙、交换性镁和有效锌含量不足的果园比例较高, 达到 51.51% (有效锌) ~ 87.88% (交换性镁); 但土壤有效磷、交换性镁和有效锌缺乏的果园比例远小于安远, 为 18.18% (有效锌) ~ 63.64% (交换性镁)。寻乌县土壤有效硼含量不足的果园达 42.42%, 远高于安远; 但土壤有效铜不足的果园只有 15.15%, 远低于安远县, 这可能与寻乌县果园树龄较大、溃疡病较多和生产上使用含铜杀菌剂有关。

2.2 叶片营养元素含量

柑橘树体的营养状况通常以 4 ~ 7 月龄的春梢营养枝叶片的营养状况作为判断标准 (庄伊美, 1997)。果园叶片营养状况的调查结果 (表 4) 表明, 甜橙叶片中营养元素含量状况要好于土壤, 叶片的大部分营养元素含量达到或超过适量范围, 无叶片缺铁、缺铜或缺硼果园, 但叶片钙和锌含量不足 (含低量或缺乏, 下同) 的果园比例较高。总体上看, 叶片氮、磷、钾三大营养元素含量充足, 仅 1 个果园缺氮, 没有缺磷和缺钾果园; 叶片氮、磷、钾低量的果园也很少, 仅安远有 3 ~ 4 个低氮或低磷果园, 比例 3.03% ~ 6.25%; 而叶片氮、磷、钾含量超标 (含高量或过量, 下同) 的果园比例较高, 安远 2010 年为 13.13% (磷) ~ 97.98% (钾), 2011 年为 48.98% (磷) ~ 85.71% (钾), 寻乌为 84.85% (钾) ~ 96.97% (氮、钾)。叶片钙含量不足主要表现为低钙, 安远叶片低钙果园达 91% 以上, 寻乌为 66.67%。叶片锌含量不足主要表现为缺乏, 安远叶片缺锌果园达 95% 以上。叶片镁含量不足主要在寻乌, 镁低量和缺乏果园比例分别为 33.33% 和 42.42%。

表 4 安远县和寻乌县甜橙园叶片营养元素含量状况

Table 4 The contents of nutrient elements in leaves of sweet orange in Anyuan and Xunwu counties, Jiangxi Province of China

地区 Area	年份 Year	营养元素 Element	平均值 \pm 标准差 $M \pm SD$	比例/% Percentage				
				缺乏 Deficient range	低量 Low range	适量 Optimum range	高量 High range	过量 Excess range
安远 Anyuan	2010	N/%	3.10 \pm 0.27	0	4.04	34.34	26.26	35.35
		P/%	0.15 \pm 0.02	0	3.03	83.84	13.13	0
		K/%	2.20 \pm 0.30	0	0	2.02	19.19	78.79
		Ca/%	2.24 \pm 0.41	4.04	91.92	4.04	0	0
		Mg/%	0.37 \pm 0.06	0	0	98.99	1.01	0
		S/%	0.26 \pm 0.04	0	1.01	98.99	0	0
		Fe/(mg \cdot kg ⁻¹)	103.79 \pm 37.00	0	10.10	66.67	21.21	2.02
		Mn/(mg \cdot kg ⁻¹)	100.24 \pm 71.34	0	0	64.65	33.33	2.02
		Zn/(mg \cdot kg ⁻¹)	12.82 \pm 2.64	100.00	0	0	0	0
		Cu/(mg \cdot kg ⁻¹)	6.71 \pm 2.63	0	0	84.85	14.14	1.01
		B/(mg \cdot kg ⁻¹)	101.90 \pm 47.91	0	1.01	53.54	42.42	3.03
	2011	N/%	3.13 \pm 0.35	2.08	6.25	31.25	10.42	50.00
		P/%	0.15 \pm 0.02	0	0	51.02	48.98	0
		K/%	2.06 \pm 0.37	0	0	14.29	28.57	57.14
		Ca/%	2.23 \pm 0.36	2.04	95.92	2.04	0	0
寻乌 Xunwu	2011	Mg/%	0.30 \pm 0.06	0	20.41	79.59	0	0

续表 4

地区 Area	年份 Year	营养元素 Element	平均值 \pm 标准差 $M \pm SD$	比例/% Percentage				
				缺乏 Deficient range	低量 Low range	适量 Optimum range	高量 High range	过量 Excess range
寻乌 Xunwu	2011	Fe/(mg · kg ⁻¹)	121.95 \pm 29.53	0	2.04	46.94	48.98	2.04
		Mn/(mg · kg ⁻¹)	73.45 \pm 68.71	0	0	87.76	10.20	2.04
		Zn/(mg · kg ⁻¹)	13.43 \pm 2.70	95.92	0	4.08	0	0
		Cu/(mg · kg ⁻¹)	7.90 \pm 4.20	0	0	77.55	18.37	4.08
		B/(mg · kg ⁻¹)	68.70 \pm 30.16	0	10.20	79.59	10.20	0
		N/%	3.38 \pm 0.20	0	0	3.03	21.21	75.76
		P/%	0.18 \pm 0.02	0	0	3.03	96.97	0
		K/%	2.29 \pm 0.51	0	0	15.15	9.09	75.76
		Ca/%	2.86 \pm 0.61	0	66.67	33.33	0	0
		Mg/%	0.21 \pm 0.07	42.42	33.33	24.24	0	0
		Fe/(mg · kg ⁻¹)	136.53 \pm 49.20	0	0	39.39	51.52	9.09
		Mn/(mg · kg ⁻¹)	85.50 \pm 56.92	0	3.03	66.67	30.30	0
		Zn/(mg · kg ⁻¹)	21.12 \pm 6.95	12.12	42.42	45.45	0	0
		Cu/(mg · kg ⁻¹)	15.00 \pm 15.74	0	3.03	81.82	6.06	9.09
		B/(mg · kg ⁻¹)	85.69 \pm 33.89	0	9.09	48.48	42.42	0

2.3 土壤和叶片相应营养元素的相关性分析

从上述甜橙园土壤和叶片相应营养元素含量状况的分析可以发现, 土壤营养元素的丰缺状况并不一定与叶片相应元素的丰缺状况相一致。总体而言, 土壤碱解氮、交换性钙、有效铁、交换性镁和有效锌的丰缺状况在甜橙叶片的对应营养元素丰缺水平上能得到一定程度的反映: 即土壤碱解氮含量不足的果园比例较低, 叶片氮含量不足的果园比例也低; 土壤交换性钙、交换性镁和有效锌含量不足的果园比例高, 叶片钙、镁和锌含量不足的果园比例也高; 土壤有效铁含量不足的果园极少, 叶片铁含量不足的果园也极少。然而, 果园土壤有效钾、有效磷、有效铜和有效硼的丰缺状况则难以在甜橙叶片的对应营养元素丰缺水平上得到反映; 比较突出的是土壤有效钾和有效磷含量, 安远果园土壤有效钾和有效磷含量不足的比例很高 (71.43% ~ 92.93%), 寻乌果园土壤有效磷含量不足的比例较高 (54.54%), 但这些果园的叶片钾和磷含量不足的比例几乎为 0, 反而有很高比例的叶片钾和磷超标果园; 2011 年安远果园土壤有效铜含量不足的果园比例为 93.88%, 而相应的叶片铜含量不足的果园比例为 0; 寻乌果园土壤有效硼含量不足的果园比例为 42.42%, 而相应的叶片硼含量不足的果园比例仅为 9.09%。可见, 红壤甜橙园土壤营养元素丰缺状况并不一定能反映树体相应营养元素的丰缺状况。

把甜橙园土壤有效营养元素含量与叶片相应的营养元素含量作相关性分析, 结果 (表 5) 显示, 只有 2010 年安远甜橙园土壤有效锌含量和叶片锌含量呈显著正相关 ($P < 0.05$), 其余的果园土壤有效营养元素含量和叶片相应的营养元素含量之间都没有显著相关性。虽然从果园比例看, 土壤交换性钙和交换性镁含量不足的状况能基本反映在叶片上, 多数甜橙园的叶片钙和镁含量也不足, 但就某个具体果园而言, 土壤交换性钙和交换性镁含量的高低通常不能直接反映在本果园树体叶片上, 说明果园土壤样品的大部分有效营养元素含量与植株叶片相应元素的含量相关性差。

从表 5 中还可以看出, 就同一种营养元素来说, 不同年份和不同县呈现出的正负相关性也不一致, 在相关性方面没有明显规律可循, 说明土壤有效营养元素含量高低和叶片相应的营养元素含量高低之间并非简单的对应关系。

表 5 安远县和寻乌县甜橙园的土壤有效营养元素含量与叶片相应营养元素含量的相关系数

Table 5 Correlation analysis between the contents of soil available elements and leaf elements for sweet orange orchards in Anyuan and Xunwu counties, Jiangxi Province of China

地区 Area	年份 Year	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	B
安远 Anyuan	2010	-0.114	0.167	-0.033	0.060	-0.078	-	0.207 [*]	-	-
	2011	0.235	0.162	-0.057	-0.190	-0.083	0.052	0.257	0.236	-0.266
寻乌 Xunwu	2011	0.133	0.223	0.087	0.064	-0.188	-0.244	-0.051	-0.027	0.244

* 表示在 0.05 水平上显著相关。

* Correlation is significant at the 0.05 level.

3 讨论

本试验 181 个甜橙园中多数果园土壤样品的有效铁含量丰富，有效磷、交换性钙、交换性镁和有效锌含量不足，基本体现了红壤本底的营养元素含量特点。交换性钙、交换性镁和有效锌含量不足主要是当地生产上很少施用这类肥料；有效磷不足除土壤本底含量低外，另一个重要原因是红壤对磷的固定作用强（何天富，1999），施用的磷肥大多数被固定。碱解氮含量在两县的多数果园都较丰富，这与生产上重视氮肥有关（赖晓桦 等，2009）。但有效钾、有效硼和有效铜含量则在两县果园呈现不同特点，安远取样果园树龄小、耕作时间短，但重视硼肥施用（凌丽俐 等，2010；张广越 等，2010），有效钾和有效铜不足，而有效硼丰富；寻乌取样果园树龄较大、耕作时间较长且长期喷布含铜农药，有效钾和有效铜丰富。因此，甜橙园土壤有效营养元素含量高低与土壤类型、园龄、施肥，甚至农药使用有关。从总体趋势看，土壤测定能基本反映出果园的土壤肥力状况。

从土壤养分理论观点看，一般土壤有效营养元素含量和作物体内相应营养元素含量状况应表现为对应关系，并且与作物产量高低的相关性比较强（Meerts, 1997；黄德明，2003；李娟 等，2010），这在水稻、花生、小麦等一、二年生大田作物上已得到较为一致的结果（孙义祥 等，2009；李红莉 等，2010），测土配方施肥成为大田作物生产的一项重要技术。大田作物的营养元素含量、产量与土壤营养元素含量的相关性，与大田土壤特性和大田作物的生物学特性有关，因为大田土壤每年翻耕一至多次，土壤养分分布相对均匀，采集的土样具有较好的代表性（黄立梅，2010）；并且大田作物根浅密集，对土壤养分吸收快，使得土壤养分的丰缺状况能较好地反映在作物的生长和结实上。

但多年生果树栽培则明显不同于大田作物耕作，本研究在红壤甜橙园上发现土壤样品的多数有效营养元素含量的高低与甜橙叶片对应营养元素含量的高低并无显著相关性，且不同年份和不同产地之间也无明显规律可循。余红兵等（2007）研究发现桂西北椪柑园叶片和土壤仅 N、Fe 元素有显著相关性，其它营养元素无显著相关性；Kohli 等（1998）在印度黑粘土上研究椪柑园、Shah 等（2012）在巴基斯坦碱性土上研究甜橙园和 Khokhar 等（2012）在印度盐碱土上研究金诺橘园，均发现叶片和土壤的大多数相应营养元素含量之间无显著相关性；在其它果树上，徐爱春等（2011）对湖北宜昌低丘微酸至微碱性土壤猕猴桃、贾兵等（2011）对安徽沙壤土砀山酥梨园等的研究也得出类似的结果。导致这一结果的主要原因可能与果园土壤的养分分布特点和果树的生物学特性有关，就本研究结果而言，一是甜橙建园时一般采用深 80 ~ 100 cm 的壕沟或大穴改土，分层压埋有机肥和矿物磷肥等改土材料，建园后果园土壤几乎不再翻动，且果园施肥普遍采用穴施或沟施（姜存仓，2011），养分在土壤中的分布极不均匀，致使果园土壤样品的采集往往很难具有代表性（余红兵 等，2007）；采集到施肥点时土壤样品过于肥沃，采集到非施肥点时土壤样品则过于贫瘠，因为大多数柑橘园都是建在土壤贫瘠的丘陵山地上。二是果树根深而广，根系吸收养分范围大，不仅可以非施肥位置吸收天然养分，也能从施肥位置吸收人为施用的养分；大量的生产实践经验表明，正常情况下果树

根系从局部土壤吸收养分和水分也能满足全株的需求,达到丰产稳产,柑橘等果树的滴灌施肥即利用了根系的这一特点。因此,从本试验结果看,单靠测土配方难于达到甜橙的平衡高效施肥,在红壤甜橙产区推广测土配方施肥的做法值得商榷。

但对于新建果园来说,进行背景土壤测定,可以了解土壤肥力状况,特别是尚未开垦的土地,土壤取样的代表性好,测土能较准确反映土壤的肥力状况,为果园的土壤改良和今后的施肥提供依据。对于已建成的果园来说,虽然土壤取样的代表性较差,但仍能反映土壤肥力的基本状况,为果园施肥方案的制定提供有益的帮助,但不能仅靠测土来确定施肥方案。美国、澳大利亚等发达国家柑橘生产上通常采用叶片营养诊断为主、土壤测定为辅的方法制定果园施肥方案 (Du, 1977; Jorgensen & Price, 1978; 庄伊美, 1997), 这种方法值得学习借鉴。

References

- Beijing Office of Potassium and Phosphate Institute of Canada. 1992. Systematical and comprehensive evaluation approaches of soil nutrients. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. (in Chinese)
- 加拿大钾肥研究所北京办事处. 1992. 土壤养分状况系统研究法. 北京: 中国农业科学技术出版社.
- Chen Xian-cheng, Yang Feng, Liu Qing-wen, Peng Xin-hui. 2000. Seasonal variation of the contents of major nutrient elements in litchi foliage and in orchard soil. *Soil and Environmental Sciences*, 9 (1): 45 - 48. (in Chinese)
- 陈显成, 杨 风, 刘庆文, 彭新辉. 2000. 荔枝叶片与土壤常量元素质量分数年周期变化研究. *土壤与环境*, 9 (1): 45 - 48.
- Cheng Chang-feng, Liao Cong-xue, Wu Chun-qing, Wei Zhao-xin, Hong Lin, Zhang Yi-gang, Gan Lin. 2004. Correlation analysis on the mineral nutrient element content of soil, leaves and juice in citrus orchard. *China Youth Agricultural Science Academic Annual Report*: 194 - 197. (in Chinese)
- 程昌凤, 廖聪学, 吴纯清, 魏召新, 洪 林, 张义刚, 甘 霖. 2004. 柑橘果园土壤、叶片和果汁矿质营养元素含量相关性研究. *中国青年农业科学学术年报*: 194 - 197.
- Cheng Xiang-dong, Huang Qiu-lin, Cheng Ying-bo, Yang Yu-zhen, Zheng Zhao-yao, Mei Jin-bin. 1992. Correlation of leaf, soil and juice analyses used for *Citrus* nutrition diagnosis. *China Citrus*, 21 (4): 3 - 6. (in Chinese)
- 程湘东, 黄秋林, 成映波, 杨玉珍, 郑朝耀, 梅金斌. 1992. 叶分析、土壤分析和果汁分析用于柑桔营养诊断的相关性研究. *中国柑桔*, 21 (4): 3 - 6.
- Chun Chang-pin, Peng Liang-zhi, Ling Li-li, Lai Jiu-jiang, Cao Li, Jiang Cai-lun. 2010. Study on the contents of macronutrients and medium nutrients in Newhall Navel Orange leaves in southern Jiangxi Province of China. *Journal of Fruit Science*, 27 (5): 678 - 682. (in Chinese)
- 淳长品, 彭良志, 凌丽俐, 赖九江, 曹 立, 江才伦. 2010. 赣南产区脐橙叶片大量和中量元素营养状况研究. *果树学报*, 27 (5): 678 - 682.
- Du Plessis S F. 1977. Soil analysis as a necessary complement to leaf analysis for fertilizer advisory purposes. *Proc Int Soc Citriculture*, (1): 15 - 19.
- He Tian-fu. 1999. *Citrus science*. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 何天富. 1999. 柑橘学. 北京: 中国农业出版社.
- Huang De-ming. 2003. Soil testing and fertilizer recommendations in China during the past decade. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 9 (4): 495 - 499. (in Chinese)
- 黄德明. 2003. 十年来我国测土施肥的进展. *植物营养与肥料学报*, 9 (4): 495 - 499.
- Huang Li-mei. 2010. Study on spatial variability and site-specific management of soil nutrients within fields [M. D. Dissertation]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. (in Chinese)
- 黄立梅. 2010. 农田养分空间变异特征及精准/分区管理技术研究 [硕士论文]. 北京: 中国农业科学院.
- Jia Bing, Heng Wei, Liu Li, Ye Zhen-feng, Zhu Li-wu. 2011. Annual changes of mineral elements in the leaves of pear (*Pyrus bretschneideri* cv. 'Dangshansuli') and their correlation analysis. *Journal of Anhui Agricultural University*, 38 (2): 212 - 217. (in Chinese)
- 贾 兵, 衡 伟, 刘 莉, 叶振风, 朱立武. 2011. 砀山酥梨叶片矿质元素含量年变化及其相关性分析. *安徽农业大学学报*, 38 (2): 212 - 217.

- Jiang Cun-cang. 2011. Technology of formula fertilization by soil testing in orchards. Beijing: Chemical Industry Press. (in Chinese)
- 姜存仓. 2011. 果园测土配方施肥技术. 北京: 化学工业出版社.
- Jin Ji-yun, Bai You-lu, Yang Li-ping. 2006. Efficient soil testing technology and equipment. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 金继运, 白由路, 杨俐苹. 2006. 高效土壤养分测试技术与设备. 北京: 中国农业出版社.
- Jorgensen K R, Price G H. 1978. The citrus leaf and soil analysis system in Queensland. *Proc Int Soc Citriculture*, 1: 297 - 299.
- Khokhar Y, Rattanpal H S, Dhillon W S, Singh G, Gill P S. 2012. Soil fertility and nutritional status of Kinnow orchards grown in aridisol of Punjab, India. *African Journal of Agricultural Research*, 7 (33): 4692 - 4697.
- Kohli R R, Sricastava A K, Huchche A D, Dass H C, Lallan R, Shyam S. 1998. Diagnosis of leaf nutrient levels for optimum productivity of *Citrus reticulata* Blanco grown in black clay soils under a sub-humid tropical climate. *Tropical Agricultural Research and Extension*, 1 (2): 81 - 86.
- Lai Xiao-hua, Huang Chuan-long, Xie Shang-hai, Chen Jie, Deng Su-ping, Yang Bin-hua. 2009. Investigation on the situation of fertilization of Navel Orange orchards in Southern Jiangxi. *South China Fruits*, 38 (4): 30 - 32. (in Chinese)
- 赖晓桦, 黄传龙, 谢上海, 陈杰, 邓苏平, 杨斌华. 2009. 赣南脐橙施肥情况调查研究. *中国南方果树*, 38 (4): 30 - 32.
- Li Hong-li, Zhang Wei-feng, Zhang Fu-suo, Du Fen, Li Liang-ke. 2010. Chemical fertilizer use and efficiency change of main grain crops in China. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 16 (5): 1136 - 1143. (in Chinese)
- 李红莉, 张卫峰, 张福锁, 杜芬, 李亮科. 2010. 中国主要粮食作物化肥施用量与效率变化分析. *植物营养与肥料学报*, 16 (5): 1136 - 1143.
- Li Juan, Zhang Ming-qing, Kong Qing-bo, Yao Bao-quan, Yan Ming-juan, Lin Qiong. 2010. Soil testing and formula fertilization index for early rice Fujian Province. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 16 (4): 938 - 946. (in Chinese)
- 李娟, 章明清, 孔庆波, 姚宝全, 颜明娟, 林琼. 2010. 福建早稻田测土配方施肥指标体系研究. *植物营养与肥料学报*, 16 (4): 938 - 946.
- 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)
- 凌俐俐, 彭良志, 淳长品, 曹立, 江才伦. 2010. 赣南纽荷尔脐橙叶片微量元素含量状况. *园艺学报*, 37 (9): 1388 - 1394.
- Liu Gui-dong, Jiang Cun-cang, Wang Yun-hua, Peng Shu-ang, Chen Guo-biao, Zhong Ba-lian, Zeng Qing-luan. 2010. Analysis and evaluation on basic nutrient contents in the soil of Navel Orange orchards in Southern Jiangxi. *South China Fruits*, 39 (1): 1 - 3, 8. (in Chinese)
- 刘桂东, 姜存仓, 王运华, 彭抒昂, 陈国标, 钟八莲, 曾庆奎. 2010. 赣南脐橙园土壤基本养分含量分析与评价. *中国南方果树*, 39 (1): 1 - 3, 8.
- Liu Ting-hai, Wei Xia, Zhu Xiu-feng, Sun Lan-xiang, Yang Ji-hong. 2008. Determination method of soil available sulfur and precautions. *Anhui Agri Sci Bull*, 14 (16): 58, 64. (in Chinese)
- 柳听海, 魏侠, 朱修峰, 孙兰香, 杨继红. 2008. 土壤有效硫测定方法和注意事项. *安徽农学通报*, 14 (16): 58, 64.
- Lu Chao, Xue Xiao-min, Wang Cui-ling, An Guo-ning, Wang Jin-zheng. 2011. Correlation analysis on fruit quality and leaves nutrition and soil nutrient in apple orchard of Shandong Province. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 27 (25): 168 - 172. (in Chinese)
- 路超, 薛晓敏, 王翠玲, 安国宁, 王金政. 2011. 山东省苹果园果实品质指标、叶片营养与土壤营养元素的相关性分析. *中国农学通报*, 27 (25): 168 - 172.
- Lu Jian-wei, Chen Fang, Wang Fu-hua, Liu Dong-bi, Wan Yun-fan, Yu Chang-bing, Hu Fang-lin, Wang Ming-rui, Wang Yun-hua. 2002. Study of classification of the soil nutrient status of citrus orchard in Hubei Province. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 8 (4): 390 - 394. (in Chinese)
- 鲁剑巍, 陈防, 王富华, 刘冬碧, 万运帆, 余常兵, 胡芳林, 王明锐, 王运华. 2002. 湖北省柑橘园土壤养分分级研究. *植物营养与肥料学报*, 8 (4): 390 - 394.
- Meerts P. 1997. Foliar macronutrient concentrations of forest understorey species in relation to Ellenberg's indices and potential relative growth rate. *Plant and Soil*, 189 (2): 257 - 265.
- Shah Z, Shah M Z, Tariq M, Rahman H, Bakht J, Amanullah, Shafi M. 2012. Survey of citrus orchards for micronutrients deficiency in Swat valley of north western Pakistan. *Pak J Bot*, 44 (2): 705 - 710.
- Song Xiao-hui, Xie Kai, Zhao Hua-bing, Li Yan-li, Xu Yang-chun, Dong Cai-xia. 2011. Investigation of the mineral nutrients status of pear leaves

- in main orchards around the Bohai bay region. *Acta Horticulturae Sinica*, 38 (11): 2049 - 2058. (in Chinese)
- 宋晓晖, 谢 凯, 赵化兵, 李艳丽, 徐阳春, 董彩霞. 2011. 环渤海湾地区主要梨园树体矿质营养元素状况研究. *园艺学报*, 38 (11): 2049 - 2058.
- Srivastava A K, Singh S, Huchche A D, Ram L. 2001. Yield-based leaf and soil-test interpretations for Nagpur mandarin in central India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32: 3 - 4.
- Sun Yi-xiang, Guo Yue-sheng, Yu Shun-zhang, Jiang Qing-gong, Cheng Lin-lin, Cui Zhen-ling, Chen Xin-ping, Jiang Rong-feng, Zhang Fu-suo. 2009. Establishing phosphorus and potassium fertilization recommendation index based on the "3414" field experiments. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 15 (1): 197 - 203. (in Chinese)
- 孙义祥, 郭跃升, 于舜章, 蒋庆功, 程琳琳, 崔振岭, 陈新平, 江荣风, 张福锁. 2009. 应用"3414"试验建立冬小麦测土配方施肥指标体系. *植物营养与肥料学报*, 15 (1): 197 - 203.
- 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 edition. Florida: Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida: 27.
- Wang Rui-dong, Jiang Cun-cang, Liu Gui-dong, Wang Yun-hua, Peng Shu-ang, Zhong Ba-lian, Zeng Qing-luan. 2011. Survey and analysis of environment and varietal structure of the Navel Orange orchards in Southern Jiangxi. *South China Fruits*, 40 (1): 1 - 3. (in Chinese)
- 王瑞东, 姜存仓, 刘桂东, 王运华, 彭抒昂, 钟八莲, 曾庆奎. 2011. 赣南脐橙园立地条件及种植现状调查分析. *中国南方果树*, 40 (1): 1 - 3.
- Xu Ai-chun, Chen Qing-hong, Gu Xia. 2011. Nutrient diagnosis of leaves and soil at kiwifruit orchards with different yields. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, (5): 53 - 56. (in Chinese)
- 徐爱春, 陈庆红, 顾 霞. 2011. 猕猴桃不同果园土壤和叶片营养状况分析. *中国土壤与肥料*, (5): 53 - 56.
- Xue Jun, Zhong Lin-sheng, Gong Sheng-fang, Fan Yu-lan, Li Xun. 2010. Determination of available boron in soil of Gannan Navel Orange orchards by ICP-AES with boiling water extraction. *Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory*, 27 (5): 2080 - 2082. (in Chinese)
- 薛 珺, 钟林生, 龚胜芳, 范玉兰, 李 勋. 2010. 沸水浸提—ICP—AES 快速测定赣南脐橙园土壤中的有效硼. *光谱实验室*, 27 (5): 2080 - 2082.
- Yang Li-ping, Jin Ji-yun, Liang Ming-zao, Cheng Ming-fang, Huang Shao-wen. 2002. Correlation analysis on ASI method measuring soil available P, K, Zn, Cu, Mn and conventional chemical methods in China. *Chinese Journal of Soil Science*, 31 (6): 277 - 279. (in Chinese)
- 杨俐苹, 金继运, 梁鸣早, 程明芳, 黄绍文. 2002. ASI 法测定土壤有效 P、K、Zn、Cu、Mn 与我国常规化学方法的相关性研究. *土壤通报*, 31 (6): 277 - 279.
- Yang Sheng-quan. 2008. Studies on the influence of soil and leaf nutrient on citrus fruits output and quality[M. D. Dissertation]. Chongqing: Southwest University. (in Chinese)
- 杨生权. 2008. 土壤和叶片养分状况对柑橘产量和品质的影响[硕士论文]. 重庆: 西南大学.
- Yu Hong-bing, Wang Ren-cai, Xiao Run-lin, Yang Zhi-jian. 2007. Soil and leaf nutrient condition of plants from citrus orchards in demonstration area of environmental immigrants, Northwest Guangxi Province. *Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences*, 33 (3): 341 - 344, 357. (in Chinese)
- 余红兵, 王仁才, 肖润林, 杨知建. 2007. 桂西北环境移民示范区柑橘园土壤和叶片营养状况. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 33 (3): 341 - 344, 357.
- Zhang Guang-yue, Peng Liang-zhi, Chun Chang-pin, Zeng Ming, Ling Li-li, Lai Jiu-jiang, Wang Zhen-xing. 2010. Seasonal changes in leaf magnesium and boron contents and their relationships to leaf yellowing of navel oranges (*Citrus sinensis* Osbeck). *Acta Horticulturae Sinica*, 37 (8): 1317 - 1324. (in Chinese)
- 张广越, 彭良志, 淳长品, 曾 明, 凌丽俐, 赖九江, 王振兴. 2010. 脐橙叶片镁、硼含量变化与缺素黄化的关系. *园艺学报*, 37 (8): 1317 - 1324.
- Zhuang Yi-mei. 1997. *Citrus nutrition and fertilization*. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 庄伊美. 1997. 柑桔营养与施肥. 北京: 中国农业出版社.