

丰智松, 李增源, 张卫峰, 等. 上海温州蜜柑叶片营养诊断及优化施肥策略[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(5): 1357-1365.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.05.023

上海温州蜜柑叶片营养诊断及优化施肥策略

丰智松¹, 李增源¹, 张卫峰¹, 陈磊², 安琪琪³

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100083; 2. 上海市崇明区生态农业科创中心, 上海 崇明 202150; 3. 上海市崇明区农产品质量安全中心, 上海 崇明 202150)

摘要: 以上海市崇明区 70 个代表性温州蜜柑果园为研究对象, 根据叶片 DRIS、M-DRIS、DOP 诊断法和边界线方法, 对果园进行叶片矿质养分含量的测定及营养平衡诊断, 为温州蜜柑丰产优质科学施肥提供依据。结果显示: (1) 高产园和低产园间叶片中大多矿质养分含量差异不显著, 低产园叶片矿质养分含量变异范围高于高产园; (2) 应用边界线方法确定温州蜜柑叶片矿质养分的适宜范围为 N 2.80%~3.10%、 P_2O_5 0.17%~0.23%、 K_2O 0.71%~1.50%、Ca 3.40~4.80 g/kg、Mg 0.30~0.50 g/kg、Fe 89.00~129.00 mg/kg、Mn 21.00~63.00 mg/kg、Cu 5.00~12.00 mg/kg、Zn 11.00~20.00 mg/kg、B 33.00~101.00 mg/kg; (3) DRIS、M-DRIS 和 DOP 方法建立的养分平衡值(NBI_m)与产量呈显著负相关, 说明养分之间的平衡性是产量的主要限制因素。不同诊断方法推荐的养分平衡调节优先序基本一致, 其中 DRIS 法和 M-DRIS 法建立的养分平衡调节优先序均为: Mn>K>Zn; 可见, DOP 法建立的养分平衡优先序为: Mn>K>N。可见, 上海市温州蜜柑果园树体内各矿质元素间比例平衡关系对产量的影响更为显著, 应采用叶片营养平衡诊断方法, 制定更精准的施肥方案。

关键词: 温州蜜柑; 叶片; 矿质养分; 营养诊断; 施肥

中图分类号: S666.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)05-1357-09

Leaf nutrition diagnosis and fertilization optimization strategy of Shanghai Satsuma

FENG Zhi-song¹, LI Zeng-yuan¹, ZHANG Wei-feng¹, CHEN Lei², AN Qi-qi³

(1. College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2. Shanghai Chongming District Ecological Agriculture Innovation Center, Shanghai 202150, China; 3. Shanghai Chongming District Agricultural Product Quality and Safety Center, Shanghai 202150, China)

Abstract: The content of mineral elements in leaves of Satsuma mandarin in Chongming, Shanghai, was determined, so as to provide the basis for scientific fertilization. The nutritional status of leaves in 70 representative citrus orchards in Chongming District was diagnosed by DRIS, M-DRIS, DOP and boundary line methods. Results showed that there was no significant difference in the content of most mineral elements in leaves between high-yield and low-yield orchards, and the variation range of leaf mineral nutrients in low-yield orchard was higher than that in high-yield

收稿日期: 2022-01-12

基金项目: 上海市科技兴农项目[沪农科推字(2020)第 2-2 号]

作者简介: 丰智松(1996-), 男, 河北邢台人, 硕士研究生, 主要从事植物营养与高效施肥研究。(E-mail) 18730279136@163.com

通讯作者: 张卫峰, (E-mail) wfzhang@cau.edu.cn

orchard. The suitable range of mineral nutrients in leaves of Satsuma mandarin was determined by boundary line method as N 2.80%~3.10%, P_2O_5 0.17%~0.23%, K_2O 0.71%~1.50%, Ca 3.40~4.80 g/kg, Mg 0.30~0.50 g/kg, Fe 89.00~129.00 mg/kg, Mn 21.00~63.00 mg/kg, Cu 5.00~12.00 mg/kg, Zn

11.00–20.00 mg/kg, B 33.00–101.00 mg/kg. Nutrient balance values (NBI_m) established by DRIS, M-DRIS and DOP methods were significantly negatively correlated with yield, indicating that the balance between nutrients was the main limiting factor of yield. The priorities of nutrient balance regulation recommended by different diagnostic methods were basically the same. The priorities of nutrient balance regulation established by DRIS method and M-DRIS method were $Mn > K > Zn$. The priority order of nutrient balance established by DOP method was $Mn > K > N$. It can be seen that the proportion balance of mineral elements in the trees of Satsuma mandarin orchard in Shanghai has a more significant effect on the yield, so the diagnosis method of leaf nutrient balance should be adopted to formulate a more accurate fertilization plan.

Key words: Satsuma mandarin; leaf; mineral nutrient; nutrition diagnosis; fertilization

广大消费者青睐于柑橘的独特风味^[1]。目前柑橘已经成为中国第一大果树^[2],其品种类别繁多,包括宽皮柑橘、柠檬、橙、柚等。其中以宽皮柑橘为主,种植面积比例高达 66.71%^[3]。宽皮柑橘品种很多,主栽品种为温州蜜柑,因其具有较好适应性、抗逆性和高产稳产等特点,成为宽皮柑橘中在中国及世界种植面积最广的一个品种^[3]。上世纪 70 年代上海市崇明区引进温州蜜柑品种,通过技术改良形成一定规模,并成功突破柑橘分布北缘低温临界线,成为崇明区经济果林的优选树种^[4]。但农户生产管理粗放、种植技术落后,特别是施肥管理方面,缺乏科学技术,凭经验施肥,造成树体养分不均衡,从而导致了柑橘品质较差、产量较低、树体衰退等问题^[5]。因而,亟需建立养分诊断体系以实现提质增效。

叶片营养诊断是指导科学施肥的有效方法,是判断树体养分需求的重要依据。目前叶片营养诊断常用的方法有很多,中国学者已提出了椪柑、锦橙、脐橙等叶片矿质养分标准值^[6-9],而该方法受品种、地域等因素限制,具有一定局限性。1973 年 Beaufils 首先以养分均衡为理论基础提出了诊断综合施肥法 (DRIS)^[10],随后 Walworth 等把干物质 (DM) 引入 DRIS 平衡方程,该法称作 M-DRIS 法^[11]。DRIS 和 M-DRIS 方法在实际生产诊断中原理相同,其诊断结果受地域、品种影响较小^[12],在明确矿质养分丰缺状况的同时还给出了树体养分需求顺序^[13]。Montanes 等于 1993 年提出标准适宜含量偏差百分数法 (DOP),计算简单、易推广,可以明确树体需肥顺序,更适宜诊断生产水平较低的果园^[14]。目前这些方法已经在一些发达国家的柑橘、苹果、菠萝、葡萄、梨、芒果^[15-20]等果树上开始应用。

当前,柑橘叶片营养诊断研究主要集中在橙

类^[21]、柚类^[16]、柠檬^[22]等品种,而种植面积最大的宽皮柑橘却鲜有报道,导致在实际生产中仍然采用适宜范围值对比的传统方法指导施肥,不能精准地提供施肥指导。因此,我们以宽皮柑橘的典型代表品种温州蜜柑为例,探索叶片营养诊断方法在推荐施肥上的应用,以期科学施肥管理提供依据,为进一步提高宽皮柑橘的产量和品质提供支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在上海市崇明区(北纬 $31^{\circ}27' \sim 31^{\circ}51'$,东经 $121^{\circ}09' \sim 121^{\circ}54'$)进行,温州蜜柑种植面积达 3 100 hm^2 以上,温州蜜柑主要种植区土壤类型为潮土和盐渍土。该区域为亚热带季风气候区,日照充足,年平均气温在 $16 \sim 17^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温约 2 699~2 995 $^{\circ}\text{C}$,无霜期 236 d,雨量丰沛,年平均降雨量 1 129~1 149 mm,降雨呈现明显的季节性,集中在梅雨季,年均日照时数 1 937~2 104 h。

1.2 样品采集与测定

1.2.1 采样时间、地点及材料 于 2020 年 9 月开展试验,地点在上海市崇明区长兴岛、横沙岛、三星镇、庙镇、绿华镇,依据各镇种植面积按比例随机选择代表性柑橘高产园(产量 $>60.00 \text{ t}/\text{hm}^2$)和低产园(产量 $<60.00 \text{ t}/\text{hm}^2$)共 70 个,柑橘品种为温州蜜柑,砧木为枳壳,果园树龄统一为 20~25 年的果园,株行距为 3 m \times 3 m。

1.2.2 采样方法 每个采样果园用“Z”字法选择长势基本一致的取样树 8~10 株。在每株取样树树冠外围四个方位采集当年生春梢营养枝顶部第 3 叶片,每株采 30 片叶,10 株树所采叶片形成一个混合样。叶片分别于中性洗涤剂中洗涤 30 s,清水洗涤,0.2% HCl 洗涤 30 s,去离子水洗净后,

105 ℃杀青 30 min, 75 ℃烘干至恒质量, 研钵中研磨后, 过 0.5 mm 筛子, 混匀装袋备用。

1.3 测定项目^[23]

将经过前处理的叶片样品经 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮后, 进行各营养元素的测定, 凯氏定氮法测定氮含量, 钒钼黄比色法测定磷含量, 火焰光度计法测定钾含量, 钙、镁、铁、锰、铜、锌元素含量测定采用原子吸收分光光度法, 硼含量测定采用硼-姜黄素比色法。

1.4 营养指数分析方法

1.4.1 营养诊断总体思路 采用 DRIS、M-DRIS 和 DOP 方法进行叶片营养诊断。DRIS 与 M-DRIS 诊断步骤为: (1) 高、低产业园各养分比例表示形式为 Y/X ; (2) 计算高、低产业园各种形式方差比 (V_H/V_L), 对方差比进行显著性检验, 确定诊断参数; (3) 代入 DRIS 或 M-DRIS 公式得出元素诊断指数; (4) 各元素诊断指数排序得出施肥顺序。DOP 诊断步骤为: (1) 确定标准值 (高产园各矿质元素平均值); (2) 标准值代入 DOP 公式得 DOP 诊断公式; (3) 各元素代入 DOP 诊断公式得出诊断指数; (4) 各元素诊断指数排序得出施肥顺序。

1.4.2 DRIS 指数 DRIS 指数是反映柑橘对某一养分需求程度的指标, 以实测值偏离高产组最适值的程度来表示, Y/X 表示 2 个养分含量之比, y/x 表示高产组 2 个养分比值的平均值, 则 Y/X 偏离 y/x 的程度函数 $f(Y/X)$ 计算公式^[10]如下:

$$\begin{cases} Y/X > y/x \text{ 时}, f(Y/X) = [(Y/X)/(y/x) - 1] \times 1000/CV \\ Y/X < y/x \text{ 时}, f(Y/X) = [1 - (y/x)/(Y/X)] \times 1000/CV \\ Y/X = y/x \text{ 时}, f(Y/X) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中, CV 为 y/x 的变异系数。若考察的元素为 Y/X 中 Y 时, 取 $f(Y/X)$; 若考察的元素为 Y/X 中 X 时, 取 $-f(Y/X)$ 。 I_X 指数表达公式为:

$$I_X = [f(X/A) + \dots - f(B/X) - f(C/X)] / (n-1) \quad (2)$$

DRIS 平均营养不平衡指数以 NBI_m 值表示, 其计算公式如下: $NBI = \sum |I_X|$, $NBI_m = NBI/n$, 式中 n 为被诊断元素的数量。

1.4.3 M-DRIS 指数 M-DRIS 指数与 DRIS 指数计算公式相同, M-DRIS 在诊断中引入了干物质。

1.4.4 DOP 指数 DOP 指数以各元素实测值相对

于最适宜值百分比偏差表示, 计算公式^[15]如下:

$$\text{DOP 指数} = [(C \times 100) / Cr] - 100 \quad (3)$$

式中, C 为被诊断样品某元素的含量, Cr 为该元素的叶标准值 (本研究采用高产园叶片矿质元素平均值)。DOP 平均营养不平衡指数与 DRIS、M-DRIS 指数的意义相同, 同样以 NBI_m 表示。

1.4.5 边界线方程构建 参考 Amir 等提出的直线式边界线方程建立标准^[24]。首先把因变量 (柑橘产量) 和自变量 (叶片各矿质养分含量) 一一对应, 并对因变量进行升序排列, 同时对自变量进行降序排列, 编制散点图。然后在散点图的上边缘选择数据点用于函数拟合, 这可以通过肉眼观察完成或者用统计方法完成。最后将函数拟合到边界点上建立模型。

1.5 数据分析

试验数据采用 Excel 2019 和 SPSS18.0 统计软件进行分析, 采用 LSD 单因素方差分析和差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 温州蜜柑叶片养分含量与产量的关系

2.1.1 上海市崇明区温州蜜柑产量分布 70 个供试温州蜜柑柑橘园产量平均值为 56.66 t/hm^2 。根据产量差异, 将 70 个代表性柑橘园划分为 2 个亚组 (图 1): 高产园 (产量 $> 60.00 \text{ t/hm}^2$, $n=30$) 和低产业园 (产量 $< 60.00 \text{ t/hm}^2$, $n=40$)。高产园和低产业园产量平均值分别为 66.22 t/hm^2 和 38.97 t/hm^2 。

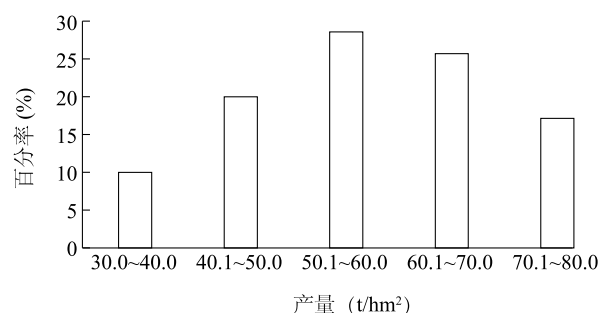


图 1 崇明区温州蜜柑果园产量现状

Fig.1 Yield status of Satsuma mandarin orchards in Chongming District

2.1.2 崇明区温州蜜柑果园间叶片矿质养分含量差异 崇明区温州蜜柑果园叶片矿质养分整体状况分析结果 (表 1) 表明, 高产园叶片矿质养分 N 、 K_2O 、

Ca、Mg、Fe、Zn 含量的均值与低产业园相比差异均不显著。高产园叶片仅 Mn 含量显著高于低产业园,而低产业园叶片 P_2O_5 、Cu、B 含量显著高于高产园。从变异情况来看,高产园间叶片养分含量变异程度小于低产业园,高产园的变异范围为 4.61%~59.97%,低

产业园间变异范围为 5.17%~75.07%。低产业园除 P_2O_5 、Fe、B 外,叶片矿质养分含量变异系数均高于高产园。所有果园微量元素的变异系数均高于大、中量元素,这说明微量元素养分含量不稳定。

表 1 崇明区温州蜜柑叶片矿质养分含量

Table 1 Mineral nutrient contents in leaves of Satsuma mandarin in Chongming District

矿质养分	高产园		低产业园		全园	
	平均值±标准差 ($M\pm SD$)	变异系数 (CV)	平均值±标准差 ($M\pm SD$)	变异系数 (CV)	平均值±标准差 ($M\pm SD$)	变异系数 (CV)
N (%)	3.13±0.14a	4.61	3.06±0.16a	5.17	3.10±0.15	4.9
P_2O_5 (%)	0.19±0.03b	15.07	0.20±0.03a	12.52	0.19±0.03	14.47
K_2O (%)	0.98±0.23a	23.32	0.92±0.29a	31.26	0.96±0.25	26.27
Ca (g/kg)	3.66±0.66a	18.01	3.85±0.84a	21.69	3.73±0.73	19.56
Mg (g/kg)	3.38±0.67a	19.69	3.64±0.95a	26.20	3.47±0.79	22.69
Fe (mg/kg)	102.10±49.97a	48.94	104.23±34.70a	33.30	102.89±44.65	43.39
Mn (mg/kg)	46.28±20.47a	44.22	42.86±24.87b	58.03	45.01±22.09	49.08
Cu (mg/kg)	7.98±4.78b	59.97	11.69±8.78a	75.07	9.36±6.74	72.04
Zn (mg/kg)	13.03±3.75a	28.80	14.96±8.42a	56.30	13.74±5.95	43.26
B (mg/kg)	65.86±23.85b	36.21	84.87±27.65a	32.59	72.92±26.78	36.72

同行不同小写字母表示高、低产业园间差异显著 ($P<0.05$)。

2.1.3 温州蜜柑叶片单一矿质养分绝对含量适宜范围 将温州蜜柑叶片各矿质养分含量与产量进行拟合分析,运用边界点建立边界线方程。经过检验,所有方程均达到显著水平。由图 2 可知,温州蜜柑产量随叶片各矿质养分含量的增加均呈现增加-稳定-下降的趋势。边界线方法将产量达到最高时的叶片养分含量定义为适宜范围。当温州蜜柑产量稳定在最高产时,叶片各矿质养分的范围为: N 2.80%~3.30%、 P_2O_5 0.17%~0.23%、 K_2O 0.70%~1.50%、Ca 3.40~4.80 g/kg、Mg 0.30~0.50 g/kg、Fe 89.00~129.00 mg/kg、Mn 21.00~63.00 mg/kg、Cu 5.00~12.00 mg/kg、Zn 11.00~20.00 mg/kg、B 33.00~101.00 mg/kg。

将边界线方法建立的温州蜜柑叶片养分含量适宜范围,与鲁健巍^[25]总结的国内外温州蜜柑叶片养分适宜范围进行对比,发现 2 种方法的适宜范围差异较大,仅矿质养分 Mg 和 B 的适宜范围重合(表 2)。同样,用 2 种方法统计分析 70 个果园养分丰缺

状况,发现结果差异较大(表 3)。尤其是 N、 P_2O_5 、 K_2O 、Zn 几种养分差异最大,例如边界线方法统计的 N、 P_2O_5 、 K_2O 、Zn 处于适宜范围的果园分别为 90.00%、72.86%、85.71%、70.00%。而按鲁健巍的标准统计的 N、 P_2O_5 、 K_2O 、Zn 处于适宜范围的果园分别为 22.86%、11.43%、35.71%、2.86%, K_2O 缺乏的果园为 62.86%,Zn 缺乏的果园为 95.71%。2 种方法在中量元素 Ca、微量元素 Fe、Mn、Cu 诊断中也有一定差异。因此用单一矿质养分的绝对值评判果园养分丰缺状况存在较大的不确定性。

2.1.4 温州蜜柑叶片各矿质养分绝对含量与产量的相关性 崇明区温州蜜柑叶片中大多数各矿质养分含量与产量之间无显著相关性(表 4),高产园中仅叶片 P_2O_5 和 Ca 含量与产量呈极显著正相关关系,叶片 B 含量与产量呈显著正相关关系,其他元素含量与产量均无相关性。低产业园中仅叶片 P_2O_5 含量与产量呈显著正相关关系。这表明单一矿质养分含量与产量关系并不密切。

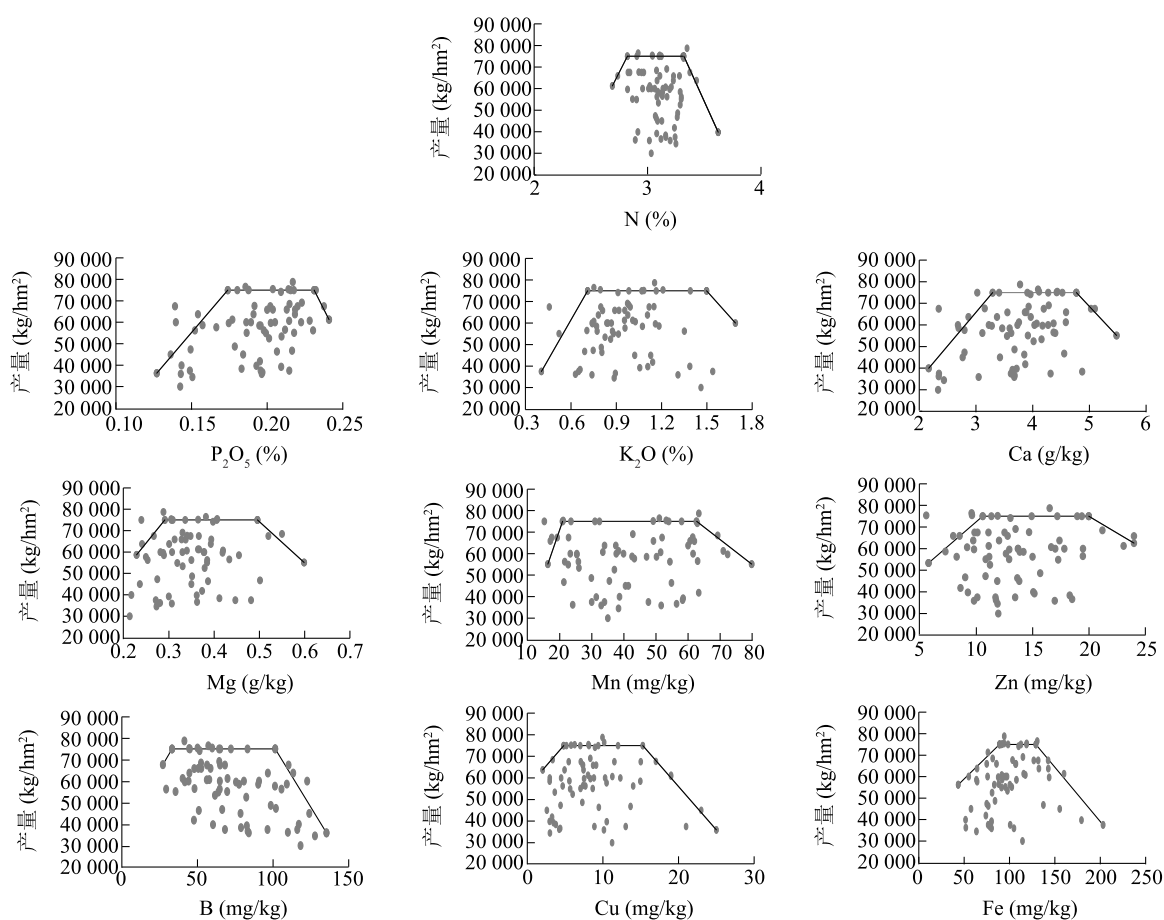


图2 叶片各矿质养分含量对温州蜜柑产量的影响

Fig.2 Effects of leaf mineral nutrient contents on yield of Satsuma mandarin

表2 温州蜜柑叶片矿质养分分级标准

Table 2 Grading standard of mineral nutrients in leaves of Satsuma mandarin

矿质养分	文献标准 ^[25]			边界线标准		
	缺乏	适量	过量	缺乏	适量	过量
N(%)	<2.50	2.50~3.00	>3.00	<2.80	2.80~3.10	>3.10
P ₂ O ₅ (%)	<0.15	0.15~0.18	>0.18	<0.17	0.17~0.23	>0.23
K ₂ O(%)	<1.00	1.00~1.60	>1.60	<0.71	0.71~1.50	>1.50
Ca(g/kg)	<2.50	2.50~5.00	>5.00	<3.40	3.40~4.80	>4.80
Mg(g/kg)	<0.30	0.30~0.50	>0.50	<0.30	0.30~0.50	>0.50
Fe(mg/kg)	<75.00	75.00~120.00	>120.00	<89.00	89.00~129.00	>129.00
Mn(mg/kg)	<20.00	20.00~50.00	>50.00	<21.00	21.00~63.00	>63.00
Cu(mg/kg)	<4.00	4.00~10.00	>10.00	<5.00	5.00~12.00	>12.00
Zn(mg/kg)	<20.00	20.00~30.00	>30.00	<11.00	11.00~20.00	>20.00
B(mg/kg)	<30.00	30.00~100.00	>100.00	<33.00	33.00~101.00	>101.00

表 3 崇明区温州蜜柑叶片矿质养分含量丰缺状况

Table 3 Abundance and deficiency of mineral nutrient content in leaves of Satsuma mandarin in Chongming

标准	各等级占比	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
边界线标准	缺乏(%)	1.43	20.00	11.43	27.14	25.71	38.57	7.14	24.29	25.71	2.86
	适宜(%)	90.00	72.86	85.71	64.29	70.00	44.29	75.71	57.14	70.00	78.57
	高量(%)	8.57	7.14	2.86	7.14	4.29	17.14	17.14	18.57	4.29	18.57
鲁健巍标准 ^[25]	缺乏(%)	0.00	12.86	62.86	8.57	27.14	17.14	7.14	15.71	95.71	2.86
	适宜(%)	22.86	11.43	35.71	87.14	68.57	64.29	55.71	52.86	2.86	77.14
	高量(%)	77.14	75.71	1.43	4.29	4.29	18.57	37.14	31.43	1.43	20.00

表 4 崇明区温州蜜柑叶片矿质养分含量与产量的相关系数

Table 4 Correlation coefficient between leaf mineral nutrient content and yield of Satsuma mandarin in Chongming

果园类型	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
高产园	-0.11	0.41**	0.07	0.36**	0.12	0.14	0.18	0.03	0.00	0.32*
低产园	-0.17	0.42*	0.11	0.36	0.05	0.15	0.10	-0.09	0.18	0.37

*、** 分别表示相关性达到显著($P < 0.05$)和极显著($P < 0.01$)水平。

2.2 崇明区温州蜜柑果园叶片营养元素平衡性诊断

2.2.1 DRIS、M-DRIS、DOP 诊断参数的确定 将崇明区温州蜜柑高产园与低产园叶片 N、P₂O₅、K₂O、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn、B 含量用不同表示形式(N/P_2O_5 、 P_2O_5/K_2O 、 K_2O/N 等 72 种形式表示)进行统计。计算高产园和低产园各种形式方差比,对方差比进行显著性检验,经 F 检验达到显著水平的表示形式被确定为 DRIS 和 M-DRIS 的诊断参数(每对形式如 N/K_2O 和 K_2O/N ,只选择差异最显著的一个作为参数)。最终筛选出达到显著水平的参数为 Ca/N 、 Mg/N 、 Fe/N 、 Cu/N 、 Zn/N 、 P_2O_5/K_2O 、 P_2O_5/Ca 、 Fe/P_2O_5 、 Mn/P_2O_5 、 Cu/P_2O_5 、 Zn/P_2O_5 、 K_2O/Ca 、 K_2O/Mg 、 Mn/K_2O 、 Cu/K_2O 、 Zn/K_2O 、 B/K_2O 、 Mn/Ca 、 Ca/Cu 、 Zn/Ca 、 Mn/Mg 、 Cu/Mg 、 Zn/Mg 、 Zn/Fe 、 Cu/Mn 、 Mn/B 、 Cu/Zn 、 Cu/B 、 DM/N 、 DM/P_2O_5 、 K_2O/DM 、 Ca/DM 、 Mg/DM 、 Fe/DM 、 Mn/DM 、 DM/Cu 、 Zn/DM 、 DM/B 。将这些参数作为 DRIS 或 M-DRIS 诊断参数,代入公式(1)和(2),通过对各元素诊断指数的大小排序得出养分平衡调节优先序。将表 1 中高产园叶片矿质养分 N、P₂O₅、K₂O、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn、B 含量平均值作为标准值,带入公式(3)得到各元素 DOP 诊断公式。将每个柑橘园的叶片矿质养分值代入 DOP 诊断公式,即得到 DOP 指数,进而得出养分平衡调节优先序。

2.2.2 温州蜜柑叶片营养诊断方法的 NBI_m 值与产量的相关性 根据 DRIS、M-DRIS、DOP 诊断参数分别得出其平均营养不平衡指数(NBI_m)。 NBI_m 是各营养元素相互作用量化的指标,能够系统反映树体的营养状况, NBI_m 越大表明树体内矿质营养越不平衡, NBI_m 越小越接近平衡。分析 3 种方法 NBI_m 值与产量的相关性发现,在所有调研果园和高产园中,DRIS 方法和 M-DRIS 方法建立的 NBI_m 值均与产量呈极显著负相关,在所有果园中 DOP 方法建立的 NBI_m 值与产量呈显著负相关(表 5)。这表明树体内不同矿质养分的比例关系与产量有密切的联系,树体矿质养分越趋于平衡,产量越高。3 种方法分析结果均表明低产园的 NBI_m 值高于高产园,这可能是由于低产园树体养分比例失衡进而导致了低产。

2.2.3 崇明区温州蜜柑果园养分平衡调节优先序

根据 DRIS、MDRIS、DOP 3 种方法对各元素间平衡指数的大小进行排序,得出不同矿质养分平衡调节优先序,结果见表(6)。DRIS 和 M-DRIS 方法得出的结果基本一致,仅个别元素顺序有差别。整体而言,崇明区温州蜜柑树体急需调节平衡的前 3 种养分为 $Mn > K > Zn$ 。而高产园树体急需调节平衡的前 3 种养分为 $Cu > Mn > Zn$,低产园急需调节平衡的前 3 种养分为 $Mn > K > N$ 。根据 DOP 诊断结果(表 6),整体而言,崇明区温州蜜柑树体急需调节平衡的前 3 种养分 $Mn > K > N$ 。低产园树体急需调节平衡

的前3种养分也为Mn>K>N。该诊断结果中急需调节平衡的前2种矿质养分与DRIS和M-DRIS方法得出的结果相同。总体而言,综合3种方法的结果,

崇明区温州蜜柑养分平衡调节优先考虑Mn、K、N、Zn。

表5 DRIS、M-DRIS、DOP方法的 NBI_m 值与温州蜜柑产量的相关性

Table 5 Correlation analysis between NBI_m values established by DRIS, M-DRIS and DOP methods and yield of Satsuma mandarin

果园类型	DRIS		M-DRIS		DOP	
	NBI_m	与产量相关性	NBI_m	与产量相关性	NBI_m	与产量相关性
全园	2.02	-0.39 **	2.00	-0.40 **	10.60	-0.28 *
高产园	1.81	-0.53 **	1.57	-0.46 **	-	-
低产园	5.38	-0.23	5.14	-0.18	12.23	0.06

*, ** 分别表示相关性达到显著($P<0.05$)和极显著($P<0.01$)水平。DOP法无法诊断高产园。

表6 温州蜜柑叶片DRIS、M-DRIS和DOP诊断指数及养分平衡调节顺序

Table 6 Diagnostic indices and nutrient balance regulation order of Satsuma mandarin based on DRIS, M-DRIS and DOP methods

果园类型	方法	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	DM	养分平衡调节优先序
高产园	DRIS	2.80	2.07	1.94	0.52	2.58	0.24	-2.23	-4.00	-1.69	-0.06		Cu>Mn>Zn>B>Fe>Ca>K>P>Mg>N
	M-DRIS	2.28	1.84	1.33	0.19	1.81	-0.36	-2.41	-2.80	-1.78	2.14	0.32	Cu>Mn>Zn>Fe>Ca>K>Mg>P>B>N
	DOP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
低产园	DRIS	-4.71	2.50	-6.20	-0.55	5.28	-0.63	-12.36	6.62	1.25	13.73		Mn>K>N>Fe>Ca>Zn>P>Mg>Cu>B
	M-DRIS	-4.71	3.05	-6.05	-0.21	4.89	-0.56	-11.52	7.91	1.63	13.17	-2.86	Mn>K>N>Fe>Ca>Zn>P>Mg>Cu>B
	DOP	-2.17	7.70	-5.28	5.28	7.78	2.18	-7.39	40.87	15.07	28.59		Mn>K>N>Fe>Ca>P>Mg>Zn>B>Cu
全园	DRIS	0.01	2.23	-1.08	0.12	3.59	-0.08	-5.99	-0.06	-0.60	6.39		Mn>K>Zn>Fe>Cu>N>Ca>P>Mg>B
	M-DRIS	-0.31	2.29	-1.41	0.04	2.96	-0.43	-5.79	1.18	-0.51	66.24	-0.86	Mn>K>Zn>Fe>N>Ca>Cu>P>Mg>B
	DOP	-2.17	7.70	-5.28	5.28	7.78	2.18	-7.39	40.87	15.07	28.59		Mn>K>N>P>Mg>Zn>Cu>Ca>B>Fe

DOP法无法诊断高产园。

3 讨论

叶片不仅是植物器官,还是树体养分“库”,其养分的积累直接影响着作物的产量和品质^[26-27]。研究发现,叶片大量元素空间变异程度最小,尤其是N,微量元素空间变异程度较大,这与郑永强等的研究结果一致^[28]。与高产园相比,低产园叶片矿质元素变异程度较大,相关研究结果表明这可能是制约产量的因素^[16]。本研究将高产园和低产园叶片矿质养分含量进行显著性分析,发现叶片大多数矿质养分含量差异不显著,高产园叶片仅Mn含量显著高于低产园,而低产园叶片P₂O₅、Cu、B含量显著高于高产园,与吴良泉等研究结果相似^[29],而这与我们通常认为的叶片矿质养分含量越高树势越好,从而会表现较高产量的观点不一致。通过建立叶片单一矿质养分与产量的关系发现,叶片P₂O₅和Ca含量与产量呈极显著正相关,B含量与产量呈显著正

相关,大多数矿质元素含量与产量均无较好的相关性,这与前人的研究结果类似,无论是土壤还是叶片,其单一矿质养分与产量的关系均不密切^[30]。所以,并不是叶片单一矿质养分含量越高其产量越高,在叶片矿质养分含量达到一定水平后,单一矿质养分含量并不是影响产量的关键因素。依据DRIS、M-DRIS和DOP3种营养诊断方法,以树体内各矿质养分的最适比例关系为参数与产量建立关系,发现在所有调研果园和高产园中,DRIS和M-DRIS方法的 NBI_m 值均与产量呈极显著负相关,DOP方法的 NBI_m 值与产量呈显著负相关。前人在苹果上的研究结果也显示 NBI_m 值与产量呈负相关关系^[31]。这表明只有当树体内各种矿质养分的比例关系处于一种相对平衡的状态时,才会激发作物产量和品质的潜力^[32]。

根据单一矿质养分的绝对值评判果园养分丰缺状况存在较大的不确定性。以叶片钾含量为例,根

据边界线划分的叶片最适养分含量范围,所有样本中叶片钾含量缺乏的果园仅占 11.43%。根据前人划分标准,所有样本中叶片钾含量缺乏的果园占比 62.86%。这是因为前人总结的温州蜜柑叶片标准值大多参考国外的研究结果,存在地域差异^[25]。而本研究依据崇明区本地温州蜜柑叶片矿质养分含量适宜范围诊断更加精确,并且目前国内柑橘叶片矿质养分含量标准多参考脐橙、椪柑^[6-9],这对补充国内温州蜜柑叶片养分含量空白具有一定的意义,但也会存在一定年际差异。由此可见,标准值法往往受地域、立地条件、品种等因素限制,具有较大不确定性,而叶片养分平衡诊断法不受这些因素的限制。

本研究综合 3 种叶片养分平衡诊断方法,明确了崇明区温州蜜柑急需养分平衡调节的元素为 Mn、K、N、Zn。这可能与砧木、土壤类型、养分转运、施肥方式等因素有关^[33-34]。调研发现当地农户施肥不科学,不施或少施微量元素和有机肥,这可能是造成树体缺乏元素 Mn 和 Zn 的原因。同时崇明当地柑橘园土壤类型多为潮土、盐渍土,碱性土壤中有效 Zn 和 Mn 元素容易被固定,难以被树体吸收利用^[35]。崇明岛是中国最大的冲击岛,也是最大的沙岛,土壤泥沙较多、结构松散,当地降雨强度大,土壤中 Mn、K、Zn、N 等元素容易淋失。当地温州蜜柑的砧木为枳壳,已有研究结果表明枳壳对土壤锌胁迫最为敏感,不耐缺锌^[36]。

因此,为平衡崇明区温州蜜柑树体养分,应采取标本兼治的方法,在柑橘春梢抽发和膨果期,适量土施硫酸锰和硫酸锌,叶面喷施 0.3% 的硫酸锰和 0.3% 的硫酸锌。已有研究结果表明,柑橘喷施锌肥和锰肥有利于提高坐果率、产量和品质^[37-38]。坚持有机肥无机肥配施,施用有机肥可以改良土壤理化形状,增加土壤保水保肥能力,减少养分淋失。调节土壤 pH,活化土壤矿质养分,提高养分有效性^[39]。Abu-Zahra 等研究结果表明,施用有机肥可以提高土壤 Mn、Zn 等微量元素含量^[40]。并且用有机肥代替部分化肥,可以减少过量施用化肥而导致的农业面源污染,符合崇明生态岛绿色发展理念。

4 结 论

叶片单一矿质养分含量并不是产量限制的因子,而叶片矿质养分之间的均衡性是影响产量的关键。据此发现目前上海市温州蜜柑种植区最急需调

节平衡的矿质养分是 Mn、K、N、Zn。今后应注重微量元素和有机肥的施用,平衡树体养分,发挥果园增产潜力。

参考文献:

- [1] 赵晓春. 加强产业化建设做强中国果业[J]. 中国果业信息, 2017, 34(1): 7.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2020.
- [3] 何苇竹. 我国柑橘叶片矿质养分含量标准的建立及营养诊断[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.
- [4] 任节红. 崇明柑橘产业现状和发展思路[J]. 上海农业科技, 2017(5): 13-15.
- [5] 骆 军, 张学英, 陆 颖, 等. 上海崇明柑橘生产若干问题调查及提高柑橘效益措施[J]. 上海农业科技, 2014(2): 69-71.
- [6] 周学伍, 惠龙明. 锦橙叶片矿质营养元素含量指标的研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 1991, 13(1): 15-20.
- [7] 庄伊美, 李来荣, 王仁玘, 等. 福建椪柑丰产园营养状况的初步研究[J]. 福建农学院学报, 1985, 14(1): 23-29.
- [8] 庄伊美, 王仁玘, 周阵龙, 等. 琯溪蜜柚叶片营养元素适宜含量的研究[J]. 福建农业学报, 1991, 6(2): 52-58.
- [9] 曹 立, 彭良志, 江才伦, 等. 赣南不同土壤类型脐橙园叶片营养状况研究[J]. 中国南方果树, 2012(2): 5-9.
- [10] BEAUFILS E R. Diagnosis and recommendation integrate system (DRIS) [J]. Soil Science Bulletin (University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa), 1973, 1: 1-132.
- [11] WALWORTH J L. Preliminary DRIS norms for alfalfa in the southeastern United States and a comparison with midwestern norms [J]. Agronomy Journal, 1986, 78(6): 1046-1052.
- [12] MAURÃO F F A A. DRIS: concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops [J]. Sci Agric, 2004, 61(5): 550-560.
- [13] BANGROO S A, BHAT M I, ALI T, et al. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)-A review [J]. International Journal of Current Research, 2010, 10: 84-97.
- [14] MONTANES L, HERAS L, ABADIA J, et al. Plant analysis interpretation based on a new index: Deviation from optimum percentage (DOP) [J]. Journal of Plant Nutrition, 1993, 16(7): 1289-1308.
- [15] TORRES P L, AULAR J, RENGEL M. Nutritional diagnosis of orange orchards in Yaracuy State by using the modified DRIS [J]. Bioagro, 2010, 22(2): 127-134.
- [16] 冯大兰, 魏立本, 黄小辉, 等. 梁平柚果实膨大期叶片矿质营养诊断研究[J]. 南京林业大学学报, 2020, 44(2): 111-116.
- [17] NACHTIGALL G R, DECHEN A R. DRIS use on apple orchard nutritional evaluation in response to potassium fertilization [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2007, 38(17/18): 2557-2566.
- [18] GOUDDARZI K A. Evaluation of nutritional balance for grape orchards of sisakht region in kohgiluyeh-va-boyerahmad province by

- deviation from optimum percentage method[J]. Iranian Journal of Soil and Waters Sciences, 2005, 19(1): 26-34.
- [19] WADT P G S, SILVA D J, MAIA C E, et al. Modelling of functions in calculating DRIS indices [J]. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2007, 42(1): 57-64.
- [20] AGBANGBA E C, SOSSA E L, DAGBENONBAKIN G D, et al. DRIS model parameterization to access pineapple variety 'Smooth Cayenne' nutrient status in Benin[J]. Journal of Asian Scientific Research, 2011, 1(5): 254-264.
- [21] PINHO P J, CARVALHO J G, RODRIGUES M G, et al. Nivel desuficiencia de zinco para bananeira 'Prata Ana' por meio do DRIS[J]. Acta Scientiarum Agronomy, 2007, 29(1): 69-74.
- [22] CERDÁ A, NIEVES M, MARTÍNEZ V. An evaluation of mineral analysis of 'Verna' lemons by DRIS[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1995, 26(11/12): 1697-1707.
- [23] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [24] AMIR H, AFSHIN S, EBRAHIM Z, et al. Using boundary line analysis to assess the on-farm crop yield gap of wheat [J]. Field Crops Research, 2018, 225: 64-73.
- [25] 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.
- [26] 王莉, 叶小梅, 杜静, 等. 江苏省苏翠1号梨叶养分标准值初探[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(5): 1278-1284.
- [27] VELEMIS D, ALMALITIS D, BLADENOPOULOU S, et al. Leaf nutrient levels of apple orchards in relation to crop yield[J]. Advances in Horticultural Science, 1999, 13(4): 147-150.
- [28] 郑永强, 王娅, 易时来, 等. 重庆三峡库区鲍威尔脐橙花期叶片矿质营养诊断[J]. 中国农业科学, 2018, 51(12): 2378-2390.
- [29] 吴良泉, 张世昌, 朱东煌, 等. 琯溪蜜柚品质综合评价及优质高产的营养诊断[J]. 热带作物学报, 2019, 40(9): 1693-1699.
- [30] 朱攀攀, 李有芳, 彭良志, 等. 云南玉溪柑橘园土壤养分水平和叶片营养状况相关性分析[J]. 果树学报, 2019, 36(12): 1658-1666.
- [31] 马海洋, 张金水, 林文, 等. 渭北旱塬红富士苹果不同时期叶片营养诊断[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(6): 752-756.
- [32] 黄鸿. 湖北省秭归地区三个品种脐橙矫正施肥及其效应研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
- [33] 周开兵, 郭文武, 夏仁学, 等. 不同砧木对柑橘幼树生长和叶片糖含量的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2005, 13(1): 17-20.
- [34] SHAH Z, SHAH M Z, TARIQ M, et al. Survey of citrus orchards for micronutrients deficiency in Swat valley of north western Pakistan[J]. Pak J Bot, 2012, 44(2): 705-710.
- [35] 杜新民. 锌锰配施对小白菜产量品质及生理指标影响的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2008.
- [36] 宋潇. 锌胁迫对枳和枳橙砧木的生理特性和锌分配的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [37] 梁国现. 施用锌肥对脐橙生长结果的影响[J]. 南方园艺, 2018, 29(4): 14-16.
- [38] 董燕, 王正银. 矿质营养对柑橘品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2004(6): 37-40.
- [39] 宁川川, 王建武, 蔡昆争. 有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展[J]. 生态环境学报, 2016, 25(1): 175-181.
- [40] ABU-ZAHRA T R, ABUBAKER S M, TAHBOUB A B, et al. Effect of organic matter sources on micronutrients and heavy metals accumulation in soil [J]. Journal of Food Agriculture & Environment, 2010, 8(3/4): 1199-1202.

(责任编辑: 张震林)