

脐橙叶片镁、硼含量变化与缺素黄化的关系

张广越^{1,2}, 彭良志^{1,2,*}, 淳长品¹, 曾 明², 凌丽俐¹, 赖九江³, 王振兴²

(¹西南大学柑桔研究所, 重庆 400712; ²西南大学园艺园林学院, 重庆 400716; ³江西环境工程职业学院, 江西赣州 341000)

摘 要: 以‘纽荷尔’和‘朋娜’脐橙品种为材料, 研究了中亚热带季风区红壤果园的脐橙叶片镁和硼含量的动态变化, 叶片镁和硼含量对叶绿素含量的影响及其与叶片缺素黄化的关系。两个品种的叶片含镁量均随叶龄增长而下降, 6 月果实进入膨大期后尤其明显, 且与叶片黄化进程同步; 叶片含硼量随叶龄增长而增加或稳定; 两个品种的叶片含镁量与叶绿素含量呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 相关系数分别为 0.9082 和 0.9063, 而叶片含硼量与叶绿素含量相关不显著 ($P > 0.05$); 缺镁是导致脐橙叶片缺素黄化的原因。

关键词: 脐橙; 叶片; 黄化; 镁; 硼; 动态变化

中图分类号: S 666.4

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2010) 08-1317-08

Seasonal Changes in Leaf Magnesium and Boron Contents and Their Relationships to Leaf Yellowing of Navel Orange (*Citrus sinensis* Osbeck)

ZHANG Guang-yue^{1,2}, PENG Liang-zhi^{1,2,*}, CHUN Chang-pin¹, ZENG Ming², LING Li-li¹, LAI Jiu-jiang³, and WANG Zhen-xing²

(¹Citrus Research Institute, Southwest University, Chongqing 400712, China; ²College of Horticulture and Landscape, Southwest University, Chongqing 400716, China; ³Jiangxi Environmental Engineering Vocational College, Ganzhou, Jiangxi 341000, China)

Abstract: Seasonal changes in Mg and B contents in leaves of two navel orange varieties, Newhall and Skaggs Bonanza (*Citrus sinensis* Osbeck) on trifoliolate orange [*Poncirus trifoliata* (L.)] rootstocks, growing on red soil in the middle subtropical monsoon climate zone, were monitored to study the effects of such changes on chlorophyll contents and leaf yellowing. Mg content decreased as leaves grew older and the most pronounced decrease occurred in June when the fruit began expanding. The decrease in Mg paralleled with the progress of leaf yellowing. In contrast, leaf B content increased or stabilized as leaf age increased. A significant positive correlation ($P < 0.01$) was found between Mg contents and chlorophyll contents as showed by high correlation coefficients of 0.9082 and 0.9063 in leaves of Newhall and Skaggs Bonanza trees, respectively. No significant correlation was shown between B contents and chlorophyll contents in the leaves of the two cultivars. Therefore, Mg deficiency was the reason for yellowing of leaves on navel orange trees.

Key words: navel orange; leaf; yellowing; magnesium; boron; seasonal change

收稿日期: 2010-04-14; **修回日期:** 2010-06-28

基金项目: 国家科技支撑计划项目 (2007BAD61B03); 公益性行业 (农业) 科技专项 (NYHYZX07-023); 现代柑橘产业技术体系建设专项

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

赣南是中国最大的脐橙产区之一, 2008 年面积 10.2 万公顷, 其中 90% 以上为 ‘纽荷尔’ 脐橙, 其余为 ‘朋娜’ 和 ‘华盛顿’ 脐橙等品种, 大部分为 2000 年后栽植。近年来, 赣南众多脐橙园随结果年数的增加, 陆续出现大面积的叶片缺素黄化、叶脉肿大和爆裂, 有机肥施用少的红壤和沙质土果园尤其严重。叶片黄化特征为 7—9 月果实膨大期症状发展快, 通常是上年老叶 (2 龄叶) 最先黄化, 严重时部分当年春梢叶片黄化, 先在主脉两侧出现不规则的黄斑, 黄斑继而扩大, 最后只剩叶尖和叶基部主脉附近仍保持绿色, 受阳光直射的叶片则叶尖绿色不明显; 在部分较老的叶片上, 叶脉肿大、木栓化或破裂 (彭良志 等, 2008)。对此症状, 当地一直按缺硼 (B) 症进行矫治, 但生产上施用硼肥的实际效果并不明显 (肖家欣 等, 2008)。经初步调查, 此黄化症状至少还与缺镁 (Mg) 有关。为此, 本试验中以 ‘纽荷尔’ 和 ‘朋娜’ 脐橙为材料, 研究脐橙叶片 Mg、B 元素含量的动态变化及其与叶绿素含量的相关性, 探索脐橙叶片缺素黄化与 Mg、B 丰缺的关系, 以期赣南脐橙缺素黄化矫治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于 2008 年在江西信丰县油山果园进行, 红壤, 土壤 pH 值 4.57, 有机质 $16.77 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效 N $171.37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有效 P $58.25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有效 K $146.67 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 交换性 Ca $398.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 交换性 Mg $57.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有效硼 $0.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

试材为 13 年生枳 [*Poncirus trifoliata* (L.)] 砧 ‘纽荷尔’ 脐橙 (*Citrus sinensis* Osbeck ‘Newhall’) 和 13 年生枳砧 ‘朋娜’ 脐橙 (*Citrus sinensis* Osbeck ‘Skaggs Bonanza’), 病虫害少。两个品种分别选取田间缺素黄化树和无缺素症树 (对照) 各 30 株作试验树, 每株挂牌标记, 10 株一小区, 设 3 个重复。黄化树和对照树之间至少相隔 2 株树。黄化树采用常规栽培管理; 对照树分别在 2008 年 2 月 20 日在树冠滴水线附近挖深 7 ~ 10 cm 环形浅沟株施氧化镁 300 g + 硼砂 50 g, 4 月 12 日树冠喷布 1.2% 的六水合硝酸镁 + 0.1% 硼砂, 5 月 17 日在树冠滴水线附近每株撒施六水合硝酸镁 750 g, 其他栽培管理与黄化树完全相同。试验果园在常规管理过程中, 每株树在春季萌芽后撒施了硼砂 15 g 左右, 且已连续撒施 3 年。

1.2 样品采集和处理

1.2.1 树体总体营养水平分析的叶片样品采集

为了解试验树的总体营养水平, 2008 年 8 月, 在每株试验树树冠的不同方位、1.5 ~ 2.0 m 高度, 采生长中等的当年生春梢营养枝顶部第 3 叶, 每株采 12 片叶, 每小区 10 株树, 共 120 片叶为 1 份样品。

1.2.2 不同时期各类枝梢叶片样品的采集与前处理

采样日期分别为 2008 年 3 月 16 日、6 月 24 日、8 月 26 日和 11 月 13 日, 每次分别采 2 龄 (2007 年生) 春梢叶、2 龄秋梢叶、1 龄 (2008 年生) 春梢叶和 1 龄秋梢叶, 在采样日该类叶片已脱落或尚未成熟则不取样。每种叶片在每株不同方位、高度 1.5 ~ 2.0 m 处采 12 片叶, 每小区 10 株采 120 片叶为 1 份样品。由于果园采用了抹夏芽控梢, 故无夏梢叶片样品。

采集的叶片样品装入有孔的干净塑料袋, 置于有冰块的泡沫保温箱中, 8 h 内带回实验室处理, 先用自来水加 0.1% 中性洗涤剂清洗, 清水冲洗 2 次, 纯净水清洗 2 次, 最后用蒸馏水清洗 1 次, 稍滴干, 置 105 °C 烘箱杀酶 30 min 后, 75 °C 烘干, 粉碎、密封, 置干燥器中保存待测。

1.3 分析与测定方法

Mg 含量按 LY/T 1270—1999 方法,硝酸—高氯酸消解,用 AA-800 原子吸收分光光度计(Perkin-Elmer 公司)测定。B 含量按 LY/T 1273—1999 方法,干灰化法,用 TU-9101 紫外可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)在 430 nm 波长下测定。P、K、Ca、S、Fe、Mn、Zn 和 Cu 含量按 LY/T 1270—1999 方法,硝酸—高氯酸消解。P 和 S 含量用 TU-9101 紫外可见分光光度计测定。K、Ca、Fe、Mn、Zn 和 Cu 含量用 AA-800 原子吸收分光光度计测定。N 按 LY/T 1269—1999 方法,浓硫酸消解, KDY-9820 凯氏定氮仪(北京通润源机电技术有限公司)测定。

用 SPAD-502 叶绿素测定仪(日本 Konica 公司)对每次采集的叶片样品测定相对叶绿素含量,每次测定前用标准色板校正仪器基准数值,从每个叶样中随机抽取 12 片叶,在每片叶主脉两侧中部从叶尖到叶基均等测 4 个点,取其平均值。测定时避开叶脉。

试验数据采用 EXCEL 和 SPSS 软件处理分析。

2 结果与分析

2.1 脐橙试验树叶片黄化情况与叶片总体营养水平

在试验期间,朋娜对照树一直无叶片黄化,纽荷尔对照树的 2 龄春梢叶从 2008 年 6 月下旬开始有部分出现轻微黄化。两个品种的黄化树 2 龄春梢叶在 2008 年 3 月即有部分黄化,进入 6 月后,所有 2 龄叶片都开始黄化,并随时间的推移而加重,间或伴有不同程度的叶脉肿胀和爆裂,其中以纽荷尔更为明显。

叶片营养水平测定结果见表 1。根据甜橙类叶片营养诊断标准(庄伊美,1994),所有试验树的叶 N 含量均处于适量或高量水平,P 适量,K 高量或过量,S、Fe 和 Mn 适量,Cu 和 Ca 偏低至适量,Zn 适量或略偏低,9 种营养元素并不缺乏。

表 1 纽荷尔和朋娜脐橙对照树与缺素黄化树的叶片营养水平(2008—8)

Table 1 Mineral element contents in leaves of spring shoots Newhall and Skaggs Bonanza navel orange trees with (yellowing) or without (control) nutrient deficiency symptoms (August, 2008)

品种	类型	氮/%	磷/%	钾/%	钙/%	硫/%	铁/ (mg·kg ⁻¹)	锰/ (mg·kg ⁻¹)	锌/ (mg·kg ⁻¹)	铜/ (mg·kg ⁻¹)	镁/ (g·kg ⁻¹)	硼/ (mg·kg ⁻¹)
Variety	Tree type	N	P	K	Ca	S	Fe	Mn	Zn	Cu	Mg	B
纽荷尔 Newhall	对照树 Control trees	3.25±0.16	0.15±0.02	2.51±0.16	2.53±0.20	0.26±0.08	117.7±0.2	38.2±0.2	25.0±0.4	4.4±0.1	-	-
	黄化树 Yellowing trees	2.75±0.11	0.13±0.03	2.37±0.17	2.54±0.14	0.28±0.03	109.3±0.4	47.1±0.4	21.6±0.1	9.7±0.2	-	-
朋娜 Skaggs Bonanza	对照树 Control trees	2.99±0.17	0.14±0.01	1.66±0.09	3.01±0.17	0.23±0.10	103.7±1.5	78.4±0.4	22.9±0.4	11.4±0.3	-	-
	黄化树 Yellowing trees	3.25±0.11	0.15±0.03	2.04±0.22	2.96±0.23	0.24±0.04	102.2±1.0	75.8±0.2	22.2±0.3	8.3±0.2	-	-
诊断标准 Diagnosis standards	缺乏 Deficient	< 2.2	< 0.09	< 0.7	< 1.5	< 0.14	< 35	< 15	< 15	< 4	< 2.0	< 20
	低量 Low	2.2~2.4	0.09~0.11	0.7~1.1	1.5~2.9	0.14~0.19	36~59	15~24	15~24	4~5	2.0~2.9	20~35
	适量 Optimum	2.5~2.7	0.12~0.16	1.2~1.7	3.0~4.5	0.20~0.39	60~120	25~100	25~100	5.1~15.0	3.0~4.9	36~100
	高量 High	2.8~3.0	0.17~0.29	1.8~2.3	4.6~6.0	0.40~0.60	121~200	101~200	101~200	15.1~20.0	5.0~7.0	101~200

2.2 脐橙叶片 Mg 含量的动态变化

表 2 结果表明，纽荷尔和朋娜脐橙对照树 2 龄春梢叶和 2 龄秋梢叶 Mg 含量从 3 月到 6 月基本稳定或有所增加，这可能是 2—5 月施用的镁肥被吸收，可以满足春梢和幼果生长的需要，无需从 2 龄叶中转移出 Mg，但 6 月份果实进入膨大期后各类枝梢叶 Mg 含量随叶龄增长而下降的趋势明显。就对照树而言，在各个采样时期，朋娜的各类枝梢叶 Mg 含量大多数都高于纽荷尔的同类叶，尤其在 2 龄叶上更加明显，这可能是由于品种本身特性导致树体对 Mg 吸收的差异。

表 2 纽荷尔和朋娜脐橙对照树与缺素黄化树各类枝梢叶片 Mg 含量的动态变化（2008 年）
Table 2 Seasonal changes of magnesium contents in leaves of different shoots of Newhall and Skaggs Bonanza navel orange trees with (yellowing) or without (control) nutrient deficiency symptoms (2008)

试验树 Variety	类型 Tree type	叶片类型 Type of leaves	Mg / (g · kg ⁻¹)			
			03 - 16	06 - 24	08 - 26	11 - 13
纽荷尔 Newhall	对照树 Control trees	2 龄春梢 Two year spring flush leaves	1.46±0.08 c	1.68±0.11 c	0.95±0.27 c	-
		2 龄秋梢 Two year autumn flush leaves	2.30±0.02 a	2.71±0.09 b	1.73±0.04 b	1.85±0.13 c
		1 龄春梢 One year spring flush leaves	-	3.65±0.21 a	2.47±0.16 a	2.36±0.12 b
		1 龄秋梢 One year autumn flush leaves	-	-	-	3.13±0.14 a
		2 龄春梢 Two year spring flush leaves	0.73±0.01 d	0.47±0.03 e	0.64±0.10 d	-
		2 龄秋梢 Two year autumn flush leaves	1.65±0.02 b	1.28±0.20 d	1.02±0.09 c	0.60±0.07 f
	黄化树 Yellowing trees	1 龄春梢 One year spring flush leaves	-	2.72±0.18 b	2.34±0.34 a	1.11±0.18 e
		1 龄秋梢 One year autumn flush leaves	-	-	-	1.51±0.17 d
		2 龄春梢 Two year spring flush leaves	2.50±0.03 b	2.39±0.10 c	2.30±0.13 b	-
		2 龄秋梢 Two year autumn flush leaves	2.70±0.08 a	2.59±0.06 b	2.36±0.14 b	2.16±0.09 c
		1 龄春梢 One year spring flush leaves	-	3.60±0.14 a	3.49±0.18 a	2.68±0.12 b
		1 龄秋梢 One year autumn flush leaves	-	-	-	3.16±0.12 a
朋娜脐橙 Skaggs Bonanza	对照树 Control trees	2 龄春梢 Two year spring flush leaves	1.72±0.01 c	0.68±0.08 e	0.61±0.11 e	-
		2 龄秋梢 Two year autumn flush leaves	2.51±0.02 b	1.53±0.21 d	1.21±0.12 d	1.17±0.09 e
		1 龄春梢 One year spring flush leaves	-	2.36±0.13 c	1.85±0.08 c	1.68±0.19 d
		1 龄秋梢 One year autumn flush leaves	-	-	-	2.29±0.17 c
		2 龄春梢 Two year spring flush leaves	-	-	-	-
		2 龄秋梢 Two year autumn flush leaves	-	-	-	-
	黄化树 Yellowing trees	1 龄春梢 One year spring flush leaves	-	-	-	-
		1 龄秋梢 One year autumn flush leaves	-	-	-	-
		2 龄春梢 Two year spring flush leaves	-	-	-	-
		2 龄秋梢 Two year autumn flush leaves	-	-	-	-
		1 龄春梢 One year spring flush leaves	-	-	-	-
		1 龄秋梢 One year autumn flush leaves	-	-	-	-

注：相同品种在同一列的平均数后的不同小写字母表示达到 5% 差异显著水平。下同。
Note: Column means within each variety followed by different small letters differed significantly at 5% level. The same below.

在任一采样日期，无论是对照树还是黄化树，两个品种的叶 Mg 含量均为短叶龄叶高于长叶龄叶，且多数情况下有显著差异，在 3 月为 2 龄秋梢叶 > 2 龄春梢叶，6 月和 8 月均为 1 龄春梢叶 > 2 龄秋梢叶 > 2 龄春梢叶，在 11 月为 1 龄秋梢叶 > 1 龄春梢叶 > 2 龄秋梢叶。

就黄化树而言，两个品种的各类叶片 Mg 含量在各采样日期都显著低于各自的对照树同类叶；黄化树除纽荷尔 1 龄春梢叶在 6 月份的 Mg 含量接近适宜值外，其余各类叶 Mg 含量在各采样日期

都处于低量或缺乏范围，其中，2 龄叶 Mg 含量大多处于缺乏范围；叶 Mg 含量随叶龄的增长而下降的规律十分明显，尤以 6 月果实进入膨大期后下降幅度最大，多数叶 Mg 含量的下降幅度大于同期各自的对照树同类叶。说明黄化树果实膨大时不能从环境中吸收足够的 Mg，只有从叶片等器官中转移而来。由于 2 龄叶中的 Mg 含量本来就显著低于 1 龄叶，被大量转出后而降至缺乏水平。

2.3 脐橙叶片 B 含量的动态变化

表 3 显示，无论是对照树还是黄化树，在各采样日期，纽荷尔和朋娜的所有类型的叶片 B 含量都处于适宜 ($31 \sim 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 或高量 ($101 \sim 200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 范围内。因此，所有试验树都不缺 B。

表 3 纽荷尔和朋娜脐橙对照树与缺素黄化树各类枝梢叶片 B 含量的动态变化 (2008)
Table 3 Seasonal changes of boron contents in leaves of different shoots of Newhall and Skaggs Bonanza navel orange trees with (yellowing) or without (control) nutrient deficiency symptoms (2008)

试验树 trees	类型 Tree type	叶片类型 Type of leaves	B / ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)			
			03-16	06-24	08-26	11-13
纽荷尔 Newhall	对照树 Control trees	2 龄春梢 Two year spring flush leaves	75.4±1.4 a	117.5±7.4 a	128.2±13.7 b	-
		2 龄秋梢 Two year autumn flush leaves	58.7±0.4 b	97.0±9.7 b	127.0±8.5 b	134.1±12.2 b
		1 龄春梢 One year spring flush leaves	-	118.5±7.8 a	166.9±10.4 a	165.9±6.5 a
		1 龄秋梢 One year autumn flush leaves	-	-	-	127.8±8.0 b
		黄化树 Yellowing trees	77.5±4.4 a	72.2±6.9 d	95.6±13.8 c	-
	黄化树 Yellowing trees	2 龄春梢 Two year spring flush leaves	74.1±9.2 a	81.9±13.4 c	76.2±8.1 d	73.7±9.9 d
		2 龄秋梢 Two year autumn flush leaves	-	73.8±6.8 d	94.4±15.9 c	85.3±8.3 c
		1 龄春梢 One year spring flush leaves	-	-	-	85.7±8.0 c
		1 龄秋梢 One year autumn flush leaves	-	-	-	-
		朋娜 Skaggs	77.5±1.6 a	80.2±5.2 a	93.5±4.0 a	-
朋娜 Bonanza	对照树 Control trees	2 龄春梢 Two year spring flush leaves	61.1±4.2 b	82.2±8.9 a	70.1±11.8 d	79.6±8.8 a
		2 龄秋梢 Two year autumn flush leaves	-	61.0±4.9 c	77.6±4.8 c	78.8±8.2 a
		1 龄春梢 One year autumn flush leaves	-	-	-	72.7±6.2 b
		1 龄秋梢 One year autumn flush leaves	-	-	-	-
		黄化树 Yellowing trees	53.3±1.56 c	56.9±5.2 c	82.4±4.0 b	-
	黄化树 Yellowing trees	2 龄春梢 Two year spring flush leaves	51.1±2.12 c	61.2±15.5 c	61.8±8.1 e	73.0±16.1 b
		2 龄秋梢 Two year autumn flush leaves	-	75.5±6.8 b	83.0±14.4 b	70.8±9.4 b
		1 龄春梢 One year autumn flush leaves	-	-	-	72.0±6.2 b
		1 龄秋梢 One year autumn flush leaves	-	-	-	-
		One year autumn flush leaves	-	-	-	-

两个品种对照树的各类叶片 B 含量随叶龄增长而增加的趋势明显，增加的主要时期发生在 3—8 月，应与 2—4 月对照树施用的硼肥有关；但就叶片 B 含量的增幅而言，纽荷尔要高于朋娜，是品种差异还是其它因素的影响尚不清楚。

两个品种黄化树的各类叶片 B 含量在各采样日期大多数显著低于对照树的同类叶，但黄化树的各类叶片 B 含量随叶龄的增长而增加或稳定；6—8 月是黄化树 2 龄叶片黄化和叶脉肿大爆裂的主要

发生和加剧时期,但此期 2 龄叶 B 含量表现为明显增加或稳定,说明在此期间 2 龄叶中的 B 并没有被转移出去,也说明并非叶片 B 的减少导致了黄化。

2.4 脐橙叶片 Mg 和 B 含量对叶绿素含量的影响及其与叶片黄化的关系

2.4.1 叶片 Mg 含量与相对叶绿素含量的关系

相关性分析表明,纽荷尔叶片 Mg 含量与相对叶绿素含量呈极显著对数相关 ($P < 0.01$),对数方程 $y = 18.991 \ln(x) + 58.4$, 相关系数 $r = 0.9082$ (图 1)。

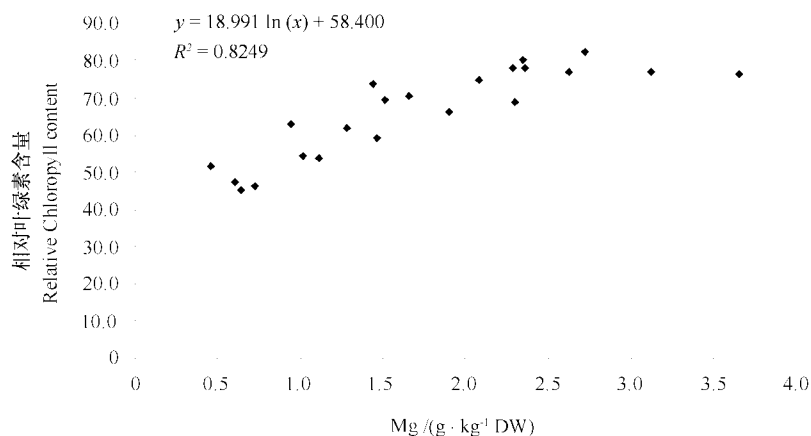


图 1 纽荷尔叶片镁含量与相对叶绿素含量的相关性

Fig. 1 The correlation between the contents of magnesium and relative chlorophyll in leaves of Newhall navel orange

朋娜叶片 Mg 含量与相对叶绿素含量也呈极显著对数相关 ($P < 0.01$), 对数方程 $y = 19.807 \ln(x) + 57.721$, 相关系数 $r = 0.9063$ (图 2)。

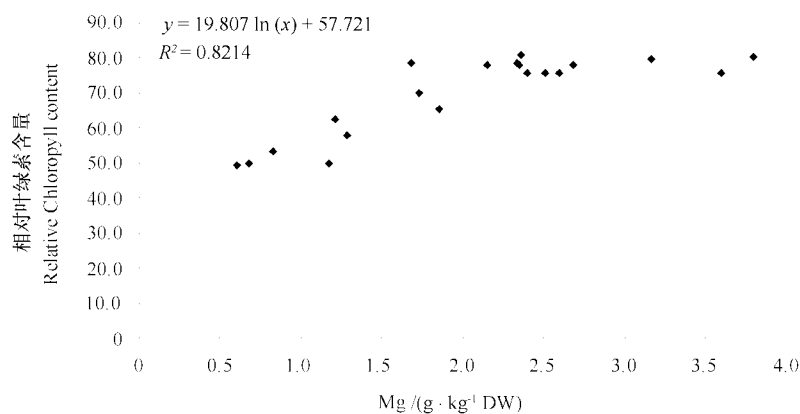


图 2 朋娜叶片镁含量与相对叶绿素含量的相关性

Fig. 2 The correlation between the contents of magnesium and relative chlorophyll in leaves of Skaggs Bonanza navel orange

2.4.2 叶片 B 含量与相对叶绿素含量的关系

纽荷尔叶 B 含量与相对叶绿素含量无显著相关性 ($P > 0.05$), 对数方程 $y = 18.01 \ln(x) - 16.002$, 相关系数 $r = 0.4409$ 。朋娜叶 B 含量与相对叶绿素含量也无显著相关性 ($P > 0.05$), 对数方程 $y = 0.258$

$\ln(x) + 50.447$ ，相关系数 $r = 0.2319$ 。

3 讨论

纽荷尔和朋娜脐橙叶片 Mg 含量随叶龄增长而降低，在黄化树上尤其明显，并且叶片黄化及黄化加重与叶 Mg 含量降低在时间上同步；但是，随叶龄增长叶 B 含量明显增加或稳定；叶片相对叶绿素含量与 Mg 含量极显著相关而与 B 含量无显著相关。从叶片 Mg、B 含量范围看，纽荷尔和朋娜脐橙黄化树的 2 龄叶 Mg 含量均处于缺乏范围，而对照树的 2 龄叶 Mg 含量大多处于低量范围，所有试验树的全部叶 B 含量处于或高于适量范围。由于所有试验树的叶片 N、P、K、Ca、S、Fe、Mn、Zn 和 Cu 并不缺乏，而叶片黄化主要出现在黄化树的 2 龄叶上。另外，从叶片黄化和叶脉肿大爆裂的田间症状看，出现症状的为老叶片（2 龄叶），幼叶、新叶（1 龄叶）和果实无症状，符合缺镁在老叶表现症状的特征。因此，黄化树的叶片黄化应是缺 Mg 所致，而非缺 B。从本试验结果看，脐橙叶片含 $\text{Mg} < 1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时黄化明显。由此可见，当田间脐橙叶片出现明显黄化时，缺 Mg 已较严重。

柑橘缺 B 时叶片也会黄化，但由于 B 在植物体内难移动（Brown & Shelp, 1997），缺 B 时老叶、新梢和果实都会表现症状（庄伊美，1994）；而 Mg 在植物体内易移动，通常只有老叶或较老叶出现缺 Mg 症状（Walter, 1968），尤其是结果多的树或枝组，其上的老叶更容易出现缺 Mg 黄化。赣南脐橙缺素黄化之所以易被认为是缺 B，一是果园可能同时存在缺镁又缺硼，特别是在还未推广施用硼肥之前；二是很多果园在叶片黄化的同时叶脉肿大或爆裂，而叶脉肿大和爆裂是缺 B 的典型特征（Walter, 1968；庄伊美，1994；何天富，1999）。然而，有些甜橙缺 Mg 时，老叶的叶脉也会肿大和爆裂（Walter, 1968）。赣南是典型的丘陵红壤区，红壤 Mg 和 B 含量均低，脐橙有可能缺 Mg 又缺 B，但近几年来，赣南脐橙广施 B 肥，缺 B 应不再是叶片缺素黄化的主要原因。本试验果园的脐橙缺素黄化、土壤类型和栽培管理模式在赣南具有代表性。因此，如果连续多年施用硼肥对矫治叶片黄化和叶脉肿大爆裂无明显效果，特别是结果多的树老叶黄化和叶脉肿大爆裂而新叶正常，可以基本判定为缺镁。

植物对 Mg 的吸收不仅受到土壤中有效 Mg 含量的影响，也受到土壤中 Al^{3+} 、 K^{+} 、 Ca^{2+} 、 Mn^{2+} 和 NH_4^{+} 等的抑制（Walter, 1968；Heenan & Campbell, 1981；Koo, 1986；Rengel, 1990；庄伊美，1994；Tan & Keltjens, 1995）。由于目前柑橘园以施化肥为主，土壤酸化比较严重，据江泽普等（2003）对广西 151 份果园土壤的调查，红壤柑橘园土壤平均 pH 值仅 4.9。由于酸化红壤中的矿物态铝和锰能以活性铝、锰离子溶出，使土壤 Al^{3+} 和 Mn^{2+} 浓度升高，加之红壤中的交换性 Mg 低，而脐橙的需 Mg 量比柠檬和宽皮柑橘高近一倍（Walter, 1968），使红壤区脐橙比温州蜜柑等品种更容易出现缺 Mg 症状。生产上矫治红壤脐橙园缺镁应增施镁肥和有机肥，并适度施用石灰提高土壤 pH 值，同时注意不要过量使用氮肥和钾肥，才能取得良好效果。值得注意的是，从本试验看，即使在 2—5 月施用较多镁肥，也不能使 2 龄叶 Mg 含量明显增加，但可有效减少其 Mg 含量的减少，防止黄化加重，这可能是生产上当年施用镁肥后黄化叶片难于转绿的原因，如何在红壤脐橙园高效施用镁肥还有待研究。

References

- Brown P H, Shelp B J. 1997. Boron mobility in plants. *Plant and Soil*, 193: 85–101.
- He Tian-fu. 1999. The citrology. Beijing: China Agriculture Press: 293–315. (in Chinese)
- 何天富. 1999. 柑橘学. 北京: 中国农业出版社: 293–315.

- Heenan D P , Campbell L C. 1981. Influence of potassium and manganese on growth and uptake of magnesium by soybeans [*Glycine max* (L.) Merr. cv. Bragg] . Plant Soil , 61 : 447 – 456.
- Jiang Ze-pu , Wei Guang-bo , Meng Yan-cheng , Huang Yu-yi. 2003. Studies on acidification and control of orchard soil in red earth region of Guangxi. Southwest China Journal of Agricultural Sciences , 16 (4) : 90 – 94. (in Chinese)
- 江泽普 , 韦广波 , 蒙炎成 , 黄玉溢. 2003. 广西红壤果园土壤酸化与调控研究. 西南农业学报 , 16 (4) : 90 – 94.
- Koo R C J. 1986. Controlled – release sources of nitrogen for bearing citrus. Proceedings of the Florida State Horticultural Society , 99 : 46 – 48.
- Peng Liang-zhi , Lai Jiu-jiang , Chun Chang-pin , Cao Li , Zhong Li-hua , Jiang Cai-lun , Ling Li-li. 2008. Role of compound magnesium fertilizer in correcting leaf yellowing caused by nutrient element deficiency on navel orange in Gannan. South China Fruits , 37 (3) : 10 – 12. (in Chinese)
- 彭良志 , 赖九江 , 淳长品 , 曹 立 , 钟莉华 , 江才伦 , 凌丽俐. 2008. 复合镁肥对赣南脐橙缺素黄化的矫治作用. 中国南方果树 , 37 (3) : 10 – 12.
- Rengel Z. 1990. Competitive Al^{3+} inhibition of Mg^{2+} uptake by intact *Lolium multiflorum* roots. Plant Physiology , 93 : 1261 – 1267.
- Tan K , Keltjens W G. 1995. Analysis of acid-soil stress in sorghum genotypes with emphasis on aluminium and magnesium interactions. Plant and Soil , 171 (1) : 147 – 150.
- Walter Reuther. 1968. The citrus industry , Vol.II. California : Division of Agricultural Sciences , University of California : 101 – 107 , 138 – 148 , 172 – 178.
- Xiao Jia-xin , Yan Xiang , Peng Shu-ang , Fang Yi-wen. 2008. Dynamics of several mineral nutrients concentrations during fruit development of Washington navel orange in southern Jiangxi Province. Chinese Journal of Eco-Agriculture , 16 (1) : 134 – 138. (in Chinese)
- 肖家欣 , 严 翔 , 彭抒昂 , 方贻文. 2008. 赣南华盛顿脐橙果实发育中几种矿质营养含量动态的研究. 中国生态农业学报 , 16 (1) : 134 – 138.
- Zhuang Yi-mei. 1994. The citrus nutrient elements and fertilization. Beijing : China Agriculture Press. (in Chinese)
- 庄伊美. 1994. 柑桔营养与施肥. 北京 : 中国农业出版社.

欢迎订阅《西北园艺·果树专刊》 《西北园艺·蔬菜专刊》

《西北园艺·果树专刊》：全国优秀农业期刊，全国“农家书屋工程”推荐期刊。扎根苹果、梨、葡萄、猕猴桃、冬枣等水果最佳优生区和果树设施栽培基地，深入追踪果业品种更新、技术创新、产业发展和营销动向，突出先进生产技术和实用经营方略，专心服务专业果农和果业一线人士。2011年继续改版，文章更多，信息量更大，实用性更强。每期定价5.00元，全年6期30.00元。邮发代号52-224。特向2011年度订户赠送本刊精编《2011年果树历书》，订1份赠1册，寄邮局订单复印件或电子邮件告知即赠。索要样刊信附1.20元邮资即寄。

《西北园艺·蔬菜专刊》：全国优秀农业期刊，全国“农家书屋工程”推荐期刊。立足西北独特的生态和区位优势，扎根反季节菜、设施菜和外销菜基地，深入追踪菜业品种更新、技术创新、产业发展和市场动向，突出先进生产技术和实用经营方略，专心服务专业菜农和菜业一线人士。2011年继续改版，文章更多，信息量更大，实用性更强。每期定价5.00元，全年6期30.00元。邮发代号52-223。特向2011年度订户赠送本刊精编《2011蔬菜历书》，订1份赠1册，寄邮局订单复印件或电子邮件告知即赠。索要样刊信附1.20元邮资即寄。

地址：西安市习武园27号。邮编：710003。

电话：029-87322643。传真：029-87345539。E-mail：xbyy@vip.163.com。