

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.06.013

张超博, 邱洁雅, 王敏, 等. 桂北柑橘园土壤化学性状研究. 土壤, 2020, 52(6): 1187–1195.

桂北柑橘园土壤化学性状研究^①

张超博^{1,3}, 邱洁雅¹, 王敏¹, 李有芳¹, 朱攀攀¹, 王彤¹, 邓崇岭², 付行政¹, 凌丽俐¹, 刘升球², 陈传武², 彭良志^{1*}

(1 西南大学柑桔研究所, 重庆 400712; 2 广西特色作物研究院, 广西桂林 541004; 3 四川省内江市农业农村局, 四川内江 641000)

摘要: 为了解桂北柑橘园土壤化学状况, 2017年在桂北7个柑橘主产区(市)选取102个代表性柑橘园采集土壤样本, 对pH、有机质和10种养分进行定量分析。结果表明: 土壤pH变幅3.95~8.02。其中, pH处于强酸性(pH<4.5)、酸性(pH 4.5~5.5)和碱性(pH>7.3)范围的果园分别占总样本数的24.51%、48.04%和9.80%, 大部分果园土壤pH为强酸性和酸性, 有64.70%的果园土壤pH适宜或基本适宜(pH 4.5~7.0)柑橘生长, 但仅有14.71%的果园土壤pH适宜柑橘生长(pH 5.5~6.5)。土壤有机质含量丰富, 适量及以上水平的比例达86.27%。果园土壤营养元素丰缺并存, 失衡比较明显, 其中, 有效磷和有效钾含量不足(低量或缺乏)的比例分别为33.33%和30.39%, 超标(高量或过量)比例分别为21.57%和23.53%; 碱解氮和有效钙含量主要在适量范围, 不足比例分别为36.27%和31.37%; 有效铁和有效锰含量丰富, 超标比例分别为64.71%和55.89%; 有效镁、锌、铜和硼含量不足比例较高, 分别为59.80%、92.16%、56.86%和50.98%。桂北柑橘产区土壤养分限制因子主要为土壤酸化, 有效镁、锌、铜和硼含量不足, 生产上应注重调节土壤酸碱度, 适度增施镁、锌、铜和硼肥。

关键词: 桂北; 柑橘园; 土壤; 养分

中图分类号: S158 **文献标志码:** A

Study on Soil Chemical Properties of Citrus Orchards in Northern Guangxi

ZHANG Chaobo^{1,3}, QIU Jieya¹, WANG Min¹, LI Youfang¹, ZHU Panpan¹, WANG Tong¹, DENG Chongling², FU Xingzheng¹, LING Lili¹, LIU Shengqiu², CHEN Chuanwu², PENG Liangzhi^{1*}

(1 Citrus Research Institute, Southwest University, Chongqing 400712, China; 2 Guangxi Academy of Specialty Crops, Guilin, Guangxi 541004, China; 3 Neijiang Municipal Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Neijiang, Sichuan 641000, China)

Abstract: In order to evaluate soil chemical properties of citrus orchards in northern Guangxi, 102 typical citrus orchards in 7 major citrus production counties in northern Guangxi were selected, soil samples were collected in 2017, and soil pH, organic matter and 10 nutrient contents were quantitatively analyzed and studied. The results showed that the range of soil pH was 3.95–8.02, among them, strong acid (pH<4.5), acid (pH 4.5–5.5) and alkaline (pH>7.3) soil samples were accounted for 24.51%, 48.04% and 9.80% of the total samples, respectively, and most orchard soils were strongly acid and acid. 64.70% of soil samples was suitable or basically suitable for citrus growth in pH (4.5–7.0), among of them, only 14.71% of soil samples was suitable for citrus growth in pH (5.5–6.5). Soil organic matter was rich, the proportion of suitable and above the suitable levels reached 86.27% in total. Most of the citrus orchards were rich and deficient coexistence in soil nutrients, which indicated poor balance of soil nutrients. 33.33% and 30.39% of soil samples were below the optimal ranges for citrus growth in available P and K, respectively, while 21.57% and 23.53% of soil samples were above optimal ranges, respectively. Soil available N and Ca were mainly within the suitable levels for citrus growth, however 36.27% and 31.37% of soil samples were in the insufficient levels, respectively. Soil available Fe and Mn were rich, and 64.71% and 55.89% of soil samples exceeded suitable levels, respectively. 59.80%, 92.16%, 56.86% and 50.98% of soil samples were deficient for citrus growth in available Mg, Zn, Cu and B, respectively. Soil acidification and deficiencies in available Mg, Zn, Cu and B are the limiting factors for citrus growth in northern Guangxi, thus, attentions should be paid to adjust soil pH and applying more Mg, Zn, Cu and B fertilizers.

①基金项目: 国家重点研发计划专项课题(2017YFD0202006)和国家现代农业(柑橘)产业技术体系建设专项(CARS-26-01A)资助。

* 通讯作者(pengliangzhi@cric.cn)

作者简介: 张超博(1992—), 男, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要从事果树栽培与生理研究。E-mail: 1535508384@qq.com

Key words: Northern Guanxi; Citrus orchard; Soil; Nutrient elements

广西壮族自治区是我国柑橘主产区, 2016 年广西柑橘面积 37.04 万 hm^2 , 全国第二; 产量 578.2 万 t, 全国第一^[1]。桂北柑橘产区是广西柑橘的重点产区, 也是赣南-湘南-桂北柑橘优势产业带的重要组成部分。近年来, 由于广东砂糖橘遭受黄龙病重创以及砂糖橘持续较高价位^[2], 与之近邻的桂北柑橘产业快速发展, 尤其是砂糖橘发展迅猛, 2010 年桂林砂糖橘种植面积仅 0.8 万 hm^2 , 2017 年即达到 8 万 hm^2 , 主要分布在阳朔、荔浦、永福、临桂和灵川^[3]; 其中, 以荔浦为中心的柑橘产区已经发展成为目前我国最大的砂糖橘产区。虽然桂北柑橘产业发展快, 但是单产不高、品质参差不齐, 主要原因是果园立地条件和管理水平差别大。土壤是柑橘生长结果的基础条件, 国内外大量研究表明, 橘园土壤性状对柑橘产量和品质有重要影响^[4-5]。但长期以来, 对桂北柑橘园土壤养分的研究极少, 系统性的研究尚未见报道。本文以桂北 7 个柑橘主产县(市)的 102 个代表性柑橘园为对象, 研究土壤性状, 为桂北柑橘园的土壤改良和化肥减施增效提供依据。

1 材料与方法

1.1 土壤样品的采集和前处理

2017 年 8—10 月, 在桂北柑橘园 7 个柑橘主产县(市)选择 102 个代表性果园, 进行土样采集。橘园主要品种为砂糖橘和金柑, 少量纽荷尔脐橙, 砂糖橘树龄 5~7 a, 金柑树龄 7~10 a, 纽荷尔脐橙树龄 5~8 a。其中全州县代表性果园 21 个、永福县 20 个、

荔浦市 22 个、阳朔县 18 个、灵川县 6 个、富川县 8 个和兴安县 7 个。

每个采样橘园按“Z”型选取 15 株树, 在每株采样树的树冠滴水线(避开施肥穴、施肥沟)外侧 30~40 cm 选 1~2 个采样点, 每个采样点采集距地表 0~40 cm 深土层的土壤约 200 g, 除去植物根、石块等杂质, 15 株树的采样点采集的土壤混合均匀后, 采用四分法取土样约 500 g, 编号登记后带回实验室, 风干, 磨细, 过 2 mm 和 0.149 mm 尼龙筛, 置于干燥、避光容器中保存, 待测定分析用。

1.2 土壤样品的分析与测定

土壤有效养分分析采用国际农化服务中心的土壤养分状况系统研究法(ASI)^[6]。有效磷、钾、铁、锰、锌、铜采用 ASI 浸提剂浸提, 有效钙、镁采用 1 mol/L 乙酸铵浸提, 其中有效磷采用紫外可见分光光度法测定^[7], 有效钾、钙、镁、铁、锰、锌、铜采用原子吸收分光光度法测定; 碱解氮采用扩散法测定; 有效硼采用沸水浸提-姜黄素比色法测定^[8]; 土壤 pH 采用 pH 仪电位法测定^[9]; 有机质采用油浴加热重铬酸钾氧化-容量法测定^[8]。

1.3 土壤 pH 和营养元素的分级标准

土壤 pH、有机质和各营养元素养分分级指标以 ASI 法分析土壤速效养分的评价指标为主体^[10], 结合《江西省柑橘园测土技术规程》^[11]和前人^[12-15]的相关研究制定。土壤 pH 的分级标准: <4.5 为强酸性, 4.5~5.5 为酸性, 5.5~6.5 为微酸, 6.5~7.3 为中性, >7.3 为碱性。土壤有机质和其他营养元素分级指标见表 1。

表 1 柑橘园土壤养分分级标准
Table 1 Soil nutrient classification of citrus orchard

指标	缺乏	低量	适量	高量	过量
有机质(g/kg)	< 5	5 ~ 15	15 ~ 30	30 ~ 60	> 60
碱解氮(mg/kg)	< 50	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 300	> 300
有效磷(mg/kg)	< 3	3 ~ 15	15 ~ 80	80 ~ 200	> 200
有效钾(mg/kg)	< 50	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 360	> 360
有效钙(mg/kg)	< 100	100 ~ 500	500 ~ 2 000	2 000 ~ 3 000	> 3 000
有效镁(mg/kg)	< 50	50 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 300	> 300
有效铁(mg/kg)	< 5	5 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 300	> 300
有效锰(mg/kg)	< 2	2 ~ 5	5 ~ 20	20 ~ 150	> 150
有效锌(mg/kg)	< 2	2 ~ 5	5 ~ 10	> 10	-
有效铜(mg/kg)	< 0.2	0.2 ~ 2	2 ~ 8	> 8	-
有效硼(mg/kg)	< 0.1	0.1 ~ 0.5	0.5 ~ 1	> 1	-

1.4 数据处理

试验数据均由 Excel 2010 和 SPSS19.0 软件进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 土壤 pH 和有机质分布状况

桂北柑橘园土壤 pH 的测定结果显示(表 2), 土壤 pH 平均值为 5.26, 变幅较大, 范围为 3.95 ~ 8.02。其中, pH 处于强酸性(pH<4.5)、酸性(pH 4.5 ~ 5.5)、微酸(pH 5.5 ~ 6.5)、中性(pH 6.5 ~ 7.3)和碱性(pH>7.3)范围的果园分别占总样本数的 24.51%、48.04%、14.71%、2.94% 和 9.80%, 表明橘园土壤

pH 总体为酸性。根据柑橘对土壤 pH 的要求, 有 64.70% 的土壤样品 pH 适宜或基本适宜(pH 4.5 ~ 7.0)柑橘生长。从各县(市)果园土壤 pH 的分布频率来看, 荔浦市柑橘园强酸性土壤比率最高, 达 50.00%, 灵川县柑橘园土壤碱性比率最高, 达 50.00%。

柑橘园土壤有机质含量 7.60 ~ 72.58 g/kg, 平均 24.96 g/kg。其中, 有机质处于缺乏、低量、适量、高量和过量水平的果园比例分别为 0.00%、13.73%、57.84%、25.49% 和 2.94%, 表明土壤有机质总体丰富。灵川县、荔浦市和富川县的土壤有机质处于高量或过量水平的比率较高(表 2)。

表 2 柑橘园土壤 pH 和有机质的分布状况
Table 2 Soil pH and organic matter content in citrus orchards in northern Guangxi

指标	研究区	范围	平均值	分布频率(%)				
				强酸性	酸性	微酸性	中性	碱性
pH	全州县	4.61 ~ 8.02	5.67	0.00	57.14	28.58	4.76	9.52
	灵川县	4.40 ~ 7.98	6.28	16.67	33.33	0.00	0.00	50.00
	兴安县	4.51 ~ 5.83	4.94	0.00	85.71	14.29	0.00	0.00
	永福县	4.01 ~ 5.39	4.78	30.00	70.00	0.00	0.00	0.00
	荔浦市	3.95 ~ 7.62	5.29	50.00	13.64	13.64	4.54	18.18
	阳朔县	4.10 ~ 7.46	4.93	38.89	38.89	11.11	5.56	5.55
	富川县	5.20 ~ 6.05	5.54	0.00	62.50	37.50	0.00	0.00
	桂北	3.95 ~ 8.02	5.26	24.51	48.04	14.71	2.94	9.80
	县(市)	范围	平均值	分布频率(%)				
				缺乏	低量	适宜	高量	过量
有机质 (g/kg)	全州县	12.21 ~ 34.91	22.39	0.00	14.29	71.43	14.28	0.00
	灵川县	16.84 ~ 35.72	27.72	0.00	0.00	33.33	66.67	0.00
	兴安县	14.26 ~ 32.08	23.72	0.00	14.29	57.14	28.57	0.00
	永福县	10.04 ~ 28.90	18.11	0.00	30.00	70.00	0.00	0.00
	荔浦市	8.76 ~ 72.58	31.87	0.00	9.09	40.91	36.36	13.64
	阳朔县	7.60 ~ 34.46	23.80	0.00	11.11	66.67	22.22	0.00
	富川县	26.75 ~ 38.31	31.44	0.00	0.00	37.50	62.50	0.00
	桂北	7.60 ~ 72.58	24.96	0.00	13.73	57.84	25.49	2.94

2.2 土壤大量营养元素丰缺状况

桂北柑橘园土壤碱解氮含量 49.11 ~ 290.43 mg/kg, 平均 115.81 mg/kg, 不足(包括缺乏和低量, 下同)、适量、超标(包括高量和过量, 下同)的果园比例分别为 36.27%、58.83% 和 4.90%, 表明土壤碱解氮含量总体上较充足。从区域分布看, 荔浦橘园土壤碱解氮含量丰富, 仅 1 个果园缺乏; 全州、兴安和永福土壤碱解氮含量不足的比率较高, 分别为 52.38%、57.14% 和 45.00%(表 3)。

土壤有效磷含量 1.18 ~ 261.46 mg/kg, 平均 53.98 mg/kg, 不足、适量和超标的果园比例分别为 33.33%、45.10% 和 21.57%。灵川土壤有效磷含量不足比例最高, 达 83.33%; 兴安、永福、荔浦和阳朔土壤有效磷含量适量比例较高, 分别为 42.86%、60.00%、59.09% 和 44.44%; 富川土壤有效磷含量主要处于超标水平, 所占比例为 62.50%(表 3)。

土壤有效钾含量 15.04 ~ 556.54 mg/kg, 平均 152.80 mg/kg, 不足、适量和超标果园比例分别为

30.39%、46.08% 和 23.53%。富川土壤有效钾含量全部为适量或超标, 超标比例 87.50%; 灵川和兴安土壤有效钾含量无超标果园(表 3)。

2.3 土壤中量营养元素丰缺状况

桂北柑橘园土壤有效钙含量 36.67 ~ 29 689.34 mg/kg, 平均 2 407.01 mg/kg, 不足、适量和超标果园比例分别为 31.37 %、53.93% 和 14.70%, 总体上有效钙含量较丰富。全州、永福、阳朔和富川土壤有效钙含量主要处于适量水平, 适量占比 60% 以上; 灵川土壤有效钙含量两极分化, 不足和超标各

占一半; 兴安土壤有效钙含量不足比例最高, 不足比例 71.43%(表 4)。

土壤有效镁含量 11.92 ~ 373.08 mg/kg, 平均 103.89 mg/kg, 不足、适量和超标的果园比例分别为 59.80%、31.38% 和 8.82%, 总体上有效镁含量不足。区域分布方面, 灵川、兴安、永福、荔浦和阳朔土壤有效镁含量主要处于不足范围, 所占比例分别为 83.33%、71.43%、70.00%、63.64% 和 72.22%; 富川土壤有效镁含量丰富, 全部处于适量或超标范围(表 4)。

表 3 柑橘园土壤大量营养元素的丰缺状况(mg/kg)
Table 3 Soil available N, P and K contents in citrus orchards in northern Guangxi

指标	研究区	范围	平均值	分布频率(%)				
				缺乏	低量	适量	高量	过量
碱解氮	全州县	71.05 ~ 166.29	104.49	0.00	52.38	47.62	0.00	0.00
	灵川县	88.82 ~ 148.39	122.48	0.00	16.67	83.33	0.00	0.00
	兴安县	67.88 ~ 110.43	91.16	0.00	57.14	42.86	0.00	0.00
	永福县	51.54 ~ 240.91	111.74	0.00	45.00	50.00	5.00	0.00
	荔浦市	49.11 ~ 290.43	141.57	4.55	27.27	50.00	18.18	0.00
	阳朔县	53.30 ~ 130.80	105.06	0.00	27.78	72.22	0.00	0.00
	富川县	108.61 ~ 154.65	125.66	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
	桂北	49.11 ~ 290.43	115.81	0.98	35.29	58.83	4.90	0.00
有效磷	全州县	3.32 ~ 243.37	63.92	0.00	38.10	28.57	28.57	4.76
	灵川县	4.28 ~ 61.20	17.38	0.00	83.33	16.67	0.00	0.00
	兴安县	1.95 ~ 193.82	70.90	28.57	0.00	42.86	28.57	0.00
	永福县	4.80 ~ 126.78	48.38	0.00	20.00	60.00	20.00	0.00
	荔浦市	3.37 ~ 74.25	26.53	0.00	40.91	59.09	0.00	0.00
	阳朔县	1.18 ~ 168.55	53.90	16.67	16.67	44.44	22.22	0.00
	富川县	37.25 ~ 261.46	130.24	0.00	0.00	37.50	37.50	25.00
	桂北	1.18 ~ 261.46	53.98	4.90	28.43	45.10	18.63	2.94
有效钾	全州县	37.96 ~ 285.69	158.49	4.76	28.57	28.57	38.10	0.00
	灵川县	15.04 ~ 151.59	80.76	33.33	16.67	50.00	0.00	0.00
	兴安县	79.36 ~ 152.65	103.67	0.00	71.43	28.57	0.00	0.00
	永福县	40.41 ~ 401.50	163.03	5.00	20.00	50.00	15.00	10.00
	荔浦市	42.57 ~ 556.54	157.05	4.55	13.64	72.73	4.54	4.54
	阳朔县	45.00 ~ 224.08	122.16	5.56	33.33	50.00	11.11	0.00
	富川县	109.34 ~ 376.46	266.56	0.00	0.00	12.50	75.00	12.50
	桂北	15.04 ~ 556.54	152.80	5.88	24.51	46.08	19.61	3.92

表4 柑橘园土壤中量营养元素的丰缺状况(mg/kg)
Table 4 Soil available Ca and Mg contents in citrus orchards in northern Guangxi

指标	研究区	范围	平均值	分布频率(%)				
				缺乏	低量	适量	高量	过量
有效钙	全州县	100.61 ~ 18 473.33	2 540.56	0.00	23.82	61.90	4.76	9.52
	灵川县	103.10 ~ 29 689.34	11 546.14	0.00	50.00	0.00	0.00	50.00
	兴安县	36.67 ~ 755.26	266.85	28.57	42.86	28.57	0.00	0.00
	永福县	100.85 ~ 1 389.43	582.93	0.00	35.00	65.00	0.00	0.00
	荔浦市	339.50 ~ 15 856.59	3 452.84	0.00	36.36	31.82	4.55	27.27
	阳朔县	291.69 ~ 9 890.68	1 346.26	0.00	22.22	66.67	5.56	5.55
	富川县	739.82 ~ 1 961.73	1 145.66	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00
	桂北	36.67 ~ 29 689.34	2 407.01	1.96	29.41	53.93	2.94	11.76
有效镁	全州县	26.53 ~ 185.39	110.08	9.52	38.10	52.38	0.00	0.00
	灵川县	11.92 ~ 115.32	56.07	50.00	33.33	16.67	0.00	0.00
	兴安县	72.36 ~ 204.26	106.76	0.00	71.43	14.28	14.29	0.00
	永福县	26.35 ~ 146.36	78.95	25.00	45.00	30.00	0.00	0.00
	荔浦市	27.72 ~ 297.79	95.83	31.82	31.82	31.82	4.54	0.00
	阳朔县	24.82 ~ 164.45	73.90	33.33	38.89	27.78	0.00	0.00
	富川县	194.25 ~ 373.08	272.97	0.00	0.00	12.50	75.00	12.50
	桂北	11.92 ~ 373.08	103.89	22.55	37.25	31.38	7.84	0.98

2.4 土壤微量营养元素丰缺状况

桂北柑橘园土壤有效铁含量丰富, 范围在 1.55 ~ 222.02 mg/kg, 平均 43.83 mg/kg, 不足、适量和超标果园比例分别为 15.68%、19.61% 和 64.71%。其中, 灵川、永福、荔浦和阳朔土壤有效铁含量主要处于超标范围, 超标比例分别为 83.33%、95.00%、86.36% 和 66.66%; 富川土壤有效铁含量主要处于不足水平(表 5)。

土壤有效锰含量充足, 范围在 1.68 ~ 230.74 mg/kg, 平均 31.80 mg/kg, 不足、适量和超标样品比例分别为 6.86%、37.25% 和 55.89%。从区域分布看, 全州、永福、荔浦、阳朔和富川土壤有效锰超标较严重。

土壤有效锌含量缺乏严重, 范围在 0.21 ~ 24.28 mg/kg, 平均 2.09 mg/kg, 不足、适量和超标的样品比例分别为 92.16%、5.88% 和 1.96%。其中, 灵川、永福和荔浦土壤有效锌含量全部为不足, 其他县不足比例也达 75% 以上。

土壤有效铜含量普遍不足, 含量范围 0.43 ~ 9.99 mg/kg, 平均 2.58 mg/kg, 不足、适量和超标果园比例分别为 56.86%、39.22% 和 3.92%。灵川、兴安、荔浦和阳朔土壤有效铜含量主要以不足为主, 不足比例分别为 83.33%、100.00%、59.09% 和 83.33%;

全州、永福和富川土壤有效铜适量水平较高。

土壤有效硼含量 0.15 ~ 1.78 mg/kg, 平均 0.56 mg/kg, 不足、适量、超标果园比例分别为 50.98%、44.12% 和 4.90%。全州、灵川和兴安土壤有效硼含量主要处于不足范围, 所占比例分别为 95.24%、66.67% 和 85.71%; 永福、荔浦、阳朔和富川土壤有效硼含量主要处于适量范围, 所占比例均达 55% 以上。

2.5 土壤 pH、有机质和有效营养元素间的相关性

土壤母质、成土过程、土地类型、pH、有机质、施肥等因素影响土壤营养元素的含量。土壤 pH、有机质、有效营养元素含量的相关分析表明, 土壤 pH 与有机质、碱解氮、有效钙和有效镁含量呈极显著正相关($P < 0.01$); 有机质与碱解氮、有效钾、有效钙、有效镁含量呈极显著正相关($P < 0.01$), 与有效硼含量呈显著正相关($P < 0.05$); 土壤多数矿质养分含量之间也存在显著或极显著正相关或负相关关系(表 6)。

3 讨论

土壤是岩石矿物等经过成土过程的产物, 是供给植物赖以生长的养分和水分的基础^[16-17]。长期以来, 我国在柑橘科研和生产上比较关注施肥与柑橘产量、

表 5 桂北柑橘园土壤微量营养元素的丰缺状况(mg/kg)
Table 5 Soil microelement contents in citrus orchards in northern Guangxi

指标	研究区	范围	平均值	分布频率(%)				
				缺乏	低量	适量	高量	过量
有效铁	全州县	7.35 ~ 47.84	21.76	0.00	14.29	42.86	42.85	0.00
	灵川县	11.29 ~ 40.65	31.76	0.00	0.00	16.67	83.33	0.00
	兴安县	8.43 ~ 28.55	15.88	0.00	28.57	42.86	28.57	0.00
	永福县	9.84 ~ 193.38	78.74	0.00	5.00	0.00	95.00	0.00
	荔浦市	11.32 ~ 222.02	69.82	0.00	0.00	13.64	86.36	0.00
	阳朔县	2.20 ~ 70.29	30.39	11.11	5.56	16.67	66.66	0.00
	富川县	1.55 ~ 12.62	6.74	37.50	50.00	12.50	0.00	0.00
	桂北	1.55 ~ 222.02	43.83	4.90	10.78	19.61	64.71	0.00
有效锰	全州县	4.58 ~ 52.08	23.79	0.00	4.76	47.62	47.62	0.00
	灵川县	5.88 ~ 26.96	13.48	0.00	0.00	83.33	16.67	0.00
	兴安县	2.20 ~ 20.00	7.73	0.00	28.57	57.14	14.29	0.00
	永福县	6.64 ~ 230.74	62.60	0.00	0.00	15.00	75.00	10.00
	荔浦市	1.68 ~ 107.75	30.56	9.09	4.55	27.27	59.09	0.00
	阳朔县	4.45 ~ 63.17	21.89	0.00	5.56	44.44	50.00	0.00
	富川县	17.29 ~ 59.41	36.37	0.00	0.00	25.00	75.00	0.00
	总计	1.68 ~ 230.74	31.80	1.96	4.90	37.25	53.93	1.96
有效锌	全州县	0.23 ~ 6.63	2.26	57.14	28.57	14.29	0.00	-
	灵川县	0.24 ~ 1.27	0.80	100.00	0.00	0.00	0.00	-
	兴安县	0.21 ~ 6.21	1.96	71.43	14.29	14.28	0.00	-
	永福县	0.50 ~ 3.85	1.62	75.00	25.00	0.00	0.00	-
	荔浦市	0.25 ~ 4.65	1.45	77.27	22.73	0.00	0.00	-
	阳朔县	0.34 ~ 24.28	2.76	72.22	16.67	5.56	5.55	-
	富川县	1.42 ~ 13.63	4.12	25.00	50.00	12.50	12.50	-
	桂北	0.21 ~ 24.28	2.09	68.63	23.53	5.88	1.96	-
有效铜	全州县	0.43 ~ 6.07	2.68	0.00	42.86	57.14	0.00	-
	灵川县	0.62 ~ 2.16	1.26	0.00	83.33	16.67	0.00	-
	兴安县	0.46 ~ 1.46	0.80	0.00	100.00	0.00	0.00	-
	永福县	0.62 ~ 5.98	2.44	0.00	45.00	55.00	0.00	-
	荔浦市	0.87 ~ 9.25	2.57	0.00	59.09	36.36	4.55	-
	阳朔县	0.75 ~ 4.64	1.73	0.00	83.33	16.67	0.00	-
	富川县	3.09 ~ 9.99	7.11	0.00	0.00	62.50	37.50	-
	桂北	0.43 ~ 9.99	2.58	0.00	56.86	39.22	3.92	-
有效硼	全州县	0.27 ~ 0.69	0.39	0.00	95.24	4.76	0.00	-
	灵川县	0.32 ~ 0.52	0.43	0.00	66.67	33.33	0.00	-
	兴安县	0.15 ~ 1.07	0.39	0.00	85.71	0.00	14.29	-
	永福县	0.18 ~ 1.10	0.62	0.00	40.00	55.00	5.00	-
	荔浦市	0.32 ~ 1.78	0.63	0.00	31.82	63.64	4.54	-
	阳朔县	0.20 ~ 0.97	0.59	0.00	33.33	66.67	0.00	-
	富川县	0.48 ~ 1.50	0.87	0.00	12.50	62.50	25.00	-
	桂北	0.15 ~ 1.78	0.56	0.00	50.98	44.12	4.90	-

表 6 柑橘园土壤 pH、有机质和有效营养元素间的相关性
Table 6 Correlations among soil pH, organic matter and available nutrients of citrus orchards

	pH	有机质	碱解氮	有效磷	有效钾	有效钙	有效镁	有效铁	有效锰	有效锌	有效铜	有效硼
pH	1.000	0.388**	0.302**	0.083	0.044	0.802**	0.483**	0.022	-0.081	0.165	0.151	0.067
有机质		1.000	0.857**	0.175	0.278**	0.521**	0.424**	-0.017	-0.139	-0.013	0.046	0.217*
碱解氮			1.000	0.154	0.364**	0.482**	0.336**	0.126	0.093	-0.033	0.011	0.222**
有效磷				1.000	0.514**	-0.077	0.568**	-0.032	0.150	0.429**	0.519**	0.278**
有效钾					1.000	-0.092	0.492**	-0.035	0.294**	0.246*	0.402**	0.239*
有效钙						1.000	0.197*	0.102	-0.130	-0.029	-0.099	0.073
有效镁							1.000	-0.072	0.142	0.414**	0.639**	0.418**
有效铁								1.000	0.275**	0.044	0.208*	0.171
有效锰									1.000	0.119	0.275**	0.272**
有效锌										1.000	0.464**	0.309**
有效铜											1.000	0.358**
有效硼												1.000

注：**表示相关性达极显著水平($P<0.01$)；*表示相关性达显著水平($P<0.05$)。

品质的关系，对橘园土壤的研究不够。柑橘生长与土壤环境关系密切，在一定条件下甚至是决定性因素，研究土壤性状对持续发展柑橘生产具有重要意义^[18]。果园土壤性状受气候、土壤类型和栽培管理方式等因素的影响^[19]，不同地区果园土壤养分水平相差较大。印度柑橘产区土壤养分限制因子为氮、钾、硼和锌^[20]，巴西加工甜橙产区土壤养分限制因子为氮、磷、镁、锌和钙^[21-22]，重庆三峡库区柑橘土壤养分限制因子为锌和硼^[23]。橘园土壤养分分析能明确土壤养分丰缺状况，并查明影响柑橘生长结果的土壤限制因子，是柑橘树体营养诊断的重要辅助手段。

从本研究结果看，桂北柑橘产区土壤酸性较强，一方面是因为当地红壤占绝大多数，另一方面是因为生产上长期重施化肥导致的结果^[24]。过量施用化肥引起土壤盐基元素的淋失，导致土壤酸化^[24]。前人研究表明，即使是施用尿素也会导致土壤酸化^[25]。因此，对于土壤 pH<5.5 的橘园酸化土壤，有必要定期施用石灰、钙镁磷肥等提高土壤 pH。桂北柑橘园土壤有机质含量丰富，普遍好于赣南、重庆三峡库区和湖北等柑橘产区^[15,23,26]，主要原因是桂北柑橘产区主要是在肥沃的农耕地上种植，有别于其他柑橘产区主要在荒山荒坡的贫瘠土地上种植；另外，桂北主产砂糖橘、金柑和脐橙，近年这些品种效益较好，种植者比较重视有机肥施用^[27]。一般情况下，施肥量，特别是有机肥施用量与柑橘价格变化基本一致，价格高、效益好，施肥量大^[27]，反之则少。

桂北橘园土壤碱解氮主要在适量范围，但仍有

36.27% 的橘园存在不足水平。而梁珊珊^[28]调查发现，我国广西产区的柑橘氮肥施用量为 597.27 kg/hm²，远高于柑橘发达国家的氮肥用量。高氮肥施用量却出现土壤碱解氮不足，原因除了无机态氮容易被柑橘等植物吸收利用外，也与其在土壤中容易挥发、淋洗等损失^[29]有关。桂北柑橘生产上施用的化肥大多数是等比例的复合肥，但土壤有效磷和有效钾含量超标比例明显大于碱解氮，主要是柑橘对磷的需求量通常只有氮需求量的 1/3~1/4，过量施用磷肥是土壤有效磷超标的主要原因，如果不是桂北橘园土壤酸性强，磷易被 Al³⁺固定^[30]，有效磷超标的比例会更高。桂北土壤有效钾含量超标比例较高，主要是复合肥施用量大，钾在土壤中易被吸附固定，较难淋洗损失。桂北橘园近 1/3 的土壤有效钙含量不足，近六成果园土壤有效镁含量不足，这与黄玉溢等^[31]测定广西柑橘主产区 56 份土壤样品有效钙镁含量缺乏的结果基本吻合。主要原因是桂北橘园土壤酸性，高温多雨淋溶作用强烈，导致土壤钙、镁流失严重^[31-32]，且当地柑橘生产上石灰施用少，也基本没有镁肥施用的概念。因此，桂北柑橘生产上应改变目前普遍施用氮磷钾三元素等比例复合肥的做法，针对橘园目前土壤状况，生产和施用氮磷钾镁四元素复合肥或复混肥，建议氮：磷：钾：镁比例为 1：(0.3~0.4)：(0.8~1.0)：(0.2~0.3)；改肥料撒施为主为开沟或灌溉施肥为主，提高氮肥利用率；对于土壤严重缺镁的橘园，应施用镁石灰、氢氧化镁、白云石粉和菱镁石粉等碱性镁肥，尽量不选硫酸镁等酸性镁肥。

桂北橘园土壤有效铁和有效锰含量丰富,超标比例较高,土壤酸性强是有效铁和有效锰含量高的主要原因,这与曾林芳等^[33]测定富川县 60 个果园土壤样品、王男麒等^[34]测定赣南 223 个红壤果园土壤样品的结果大体相同。和全国其他柑橘产区一样^[35-36],桂北橘园土壤有效锌普遍缺乏或低量(适宜范围为 5 ~ 10 mg/kg)。但有前人^[31,33,37]调查广西部分地区柑橘园土壤有效锌含量大部分处于适量或者高量范围(适宜范围为 1 ~ 5 mg/kg),出现这种结果的主要原因是土壤有效锌的分级标准不同。但从目前柑橘叶片营养诊断研究结果看,所有的报道均为广西柑橘园叶片锌含量缺乏严重^[33,38-41],说明橘园土壤有效锌适宜标准采用 5 ~ 10 mg/kg 更切合柑橘实际情况。桂北橘园土壤有效铜含量主要处于不足和适量水平,主要原因是桂北柑橘产区主栽品种是抗溃疡病的砂糖橘、金柑等品种,生产上含铜杀菌剂应用少,红壤本身的含铜量又低。前人调查广西部分地区柑橘园土壤有效硼含量不足比例为 96.3% ~ 100%^[31,33, 37,39,42],但本研究发现桂北橘园土壤有效硼含量不足的比例为 50.98%,明显低于前人报道,这与近年来我国柑橘生产上大力推广硼肥施用有关,目前桂北柑橘生产上已普遍施用硼肥。因此,桂北橘园在微量肥料的施用上,首先应防止土壤酸化,减轻土壤铁、锰的毒害;叶面喷施锌、铜和硼肥为主,并适度土壤补充。有溃疡病的橘园,也可喷施含铜杀菌剂改善柑橘树体铜营养。

土壤是个复杂的系统,土壤 pH 及各种营养元素之间会相互影响。桂北柑橘园土壤偏酸,又偏重肥料的施用,营养元素间的相关性更复杂。不过,土壤 pH、有机质与各种营养元素有效含量之间的关系总体上符合土壤学的基本规律^[43]。

4 结论

桂北柑橘产区土壤酸化严重,有机质含量较丰富,营养元素丰缺并存,养分失衡比较明显。其中,土壤碱解氮和有效钙含量主要在适量范围,但约 1/3 的橘园在不足水平;有效磷和有效钾含量不足与超标并存;有效铁和锰含量较丰富,超标比例较高;而土壤有效镁、锌、铜和硼含量不足比例较高。桂北柑橘产区土壤养分限制因子主要为土壤酸化及有效镁、锌、铜和硼含量不足,生产上应适量施用石灰、镁石灰、钙镁磷肥、氢氧化镁等来降低土壤酸度,增加土壤镁含量,提高土壤磷有效性;锌、铜和硼肥应以叶面补充为主,适度配合土壤施用。

致谢:在土壤样品采集过程中,得到 7 个采样县

(市)行业主管部门、果园主等相关人员的支持和协助,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 段云博. 柑橘和芒果主产区橘小实蝇的发生及转移为害规律研究[D]. 南宁: 广西大学, 2018.
- [2] 郭丽英, 郭雁君, 麦丽瑶, 等. 肇庆、云浮地区砂糖橘黄龙病 PCR 快速检测技术的建立[J]. 广东农业科学, 2014, 41(6): 96-98.
- [3] 刘美任, 甘雨, 程雅婷, 等. 助力广西乡村振兴的砂糖橘产业发展及建议[J]. 现代经济信息, 2018(15): 472-474.
- [4] Zhang Y, Hu C X, Tan Q L, et al. Soil application of boron and zinc influence fruit yield and quality of satsuma mandarin in acidic soils[J]. Agronomy Journal, 2015, 107(1): 1-8.
- [5] Shiregure P S, Srivastava A K, Huchche A D, et al. Interactive effect of irrigation schedules and fertigation levels on fruit yield, quality and plant nutrition of Nagpur mandarin (*Citrus reticulata*)[EB/OL]. 2016
- [6] 加拿大钾磷研究所北京办事处. 土壤养分状况系统研究法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1992.
- [7] 杨俐苹, 金继运, 梁鸣早, 等. 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[J]. 土壤通报, 2000, 31(6): 277-279.
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [9] 田有国, 辛景树, 任意, 等. 土壤检测 第 2 部分: 土壤 pH 的测定: NY/T 1121.2—2006 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2006 [S].
- [10] 金继运, 自由路, 杨俐苹. 高效土壤养分测试技术与设备[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [11] 江西省质量技术监督局. 江西省柑橘园测土技术规程: DB36/T 626—2011[S]. 北京: 中国农业出版社, 2011
- [12] 何天富. 柑橘学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- [13] 庄伊美. 柑橘营养与施肥[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994.
- [14] 唐玉琴, 彭良志, 淳长品, 等. 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.
- [15] 鲁剑巍, 陈防, 王富华, 等. 湖北省柑橘园土壤养分分级研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 390-394.
- [16] 尹杰. 贵州柑橘园土壤与树体养分状况及其评价[D]. 贵阳: 贵州大学, 2007.
- [17] 梁斌, 齐实. 北京山区土壤养分空间变化特征研究[J]. 土壤, 2018, 50(4): 769-777.
- [18] 刘秀红. 南丰和衢州柑橘园土壤与树体营养状况的分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [19] 苏婷婷, 周鑫斌, 徐墨赤, 等. 重庆市柑橘园土壤养分现状研究[J]. 土壤, 2017, 49(5): 897-902.
- [20] Srivastava A K, Singh S, Huchche A D, et al. Yield-based leaf and soil-test interpretations for Nagpur mandarin in central India[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2001, 32(3/4): 585-599.

- [21] Quaggio J A, Mattos D, Cantarella H. Fruit yield and quality of sweet oranges affected by nitrogen, phosphorus and potassium fertilization in tropical soils[J]. *Fruits*, 2006, 61(5): 293–302.
- [22] Lopes A S, Cox F R. A survey of the fertility status of surface soils under “cerrado” vegetation in Brazil[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1977, 41(4): 742–747.
- [23] 习建龙, 彭良志, 淳长品, 等. 重庆三峡库区加工甜橙园土壤养分状况分析[J]. *中国南方果树*, 2015, 44(1): 1–7.
- [24] 张忠启, 茆彭, 于东升, 等. 近 25 年来典型红壤区土壤 pH 变化特征——以江西省余江县为例[J]. *土壤学报*, 2018, 55(6): 1545–1553.
- [25] 彭良志, 刘生, 淳长品, 等. 滴灌柑桔园肥料撒施对土壤 pH 值的影响[J]. *中国南方果树*, 2005, 34(4): 1–5.
- [26] 范玉兰, 薛璐, 梁梅青, 等. 赣南脐橙果园土壤有机质变化特征研究[J]. *中国南方果树*, 2012, 41(4): 18–20.
- [27] 陈小香. 富川县柑橘生产现状及发展对策研究[D]. 南宁: 广西大学, 2014.
- [28] 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.
- [29] 张敏, 赵森, 田玉华, 等. 太湖地区高产高效措施下水稻氮淋溶和径流损失的研究[J]. *土壤*, 2018, 50(1): 35–42.
- [30] 江泽普, 韦广泼, 蒙炎成, 等. 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.
- [31] 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.
- [32] 刁莉华, 彭良志, 淳长品, 等. 赣南脐橙园土壤有效镁含量状况研究[J]. *果树学报*, 2013, 30(2): 241–247.
- [33] 曾林芳, 陈爱华, 王成秋, 等. 广西富川纽荷尔脐橙园土壤和叶片营养状况研究与评价[J]. *中国南方果树*, 2012, 41(5): 8–12.
- [34] 王男麒, 彭良志, 淳长品, 等. 赣南柑桔园背景土壤营养状况分析[J]. *中国南方果树*, 2012, 41(5): 1–4.
- [35] 邢飞, 付行政, 彭良志, 等. 赣南脐橙园土壤有效锌含量状况研究[J]. *果树学报*, 2013, 30(4): 597–601.
- [36] 邢飞, 付行政, 彭良志, 等. 重庆三峡库区柑橘叶片锌营养状况及其影响因子分析[J]. *果树学报*, 2014, 31(4): 602–609.
- [37] 曾林芳, 陈爱华, 王成秋, 等. 广西南丰蜜桔园土壤养分状况及其对果实品质的影响[J]. *中国南方果树*, 2015, 44(3): 49–52, 58.
- [38] 余红兵, 王仁才, 肖润林, 等. 桂西北环境移民示范区柑桔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, 357.
- [39] 黄玉溢, 王影, 陈桂芬, 等. 低产柑桔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.
- [40] 陈桂芬, 黄玉溢, 刘斌, 等. 广西柑桔叶片铜、锌、铁、钙含量测定与营养分析[J]. *广西农业科学*, 2006, 37(2): 163–165.
- [41] 余红兵, 谭全元, 王仁才, 等. 桂西北环境移民示范区柑桔园叶片营养状况研究[J]. *广西农业科学*, 2007, 38(6): 648–652.
- [42] 陈桂芬. 广西土壤硼的状况及施肥效应[J]. *广西农业科学*, 2002, 33(5): 245–246.
- [43] 王磊, 应蓉蓉, 石佳奇, 等. 土壤矿物对有机质的吸附与固定机制研究进展[J]. *土壤学报*, 2017, 54(4): 805–818.