

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.03.010

李有芳, 张超博, 易晓瞳, 等. 云南玉溪柑橘园土壤养分状况与分布特征. 土壤, 2020, 52(3): 487–493.

云南玉溪柑橘园土壤养分状况与分布特征^①

李有芳¹, 张超博¹, 易晓瞳¹, 凌丽俐¹, 黄梓洋¹, 施云庭², 胡军华¹, 张 蓉², 李永奇², 资丽玲², 彭良志^{1*}

(1 西南大学柑桔研究所, 重庆 400712; 2 云南省玉溪市柑桔研究所, 云南华宁 652801)

摘 要: 在云南省玉溪市华宁南盘江低热河谷区、华宁山地丘陵区、元江干热河谷区和新平山地丘陵区 4 个柑橘生态区, 选取一个月未施肥的 101 个代表性柑橘园采集土壤进行分析。结果表明: 玉溪柑橘园土壤 pH 变幅在 3.98~8.07, 52.48% 的土壤 pH 基本适宜柑橘生长, 14.85% 的土壤 pH 适宜柑橘生长; 土壤有机质匮乏, 59.40% 的土壤低于 15 g/kg。土壤碱解氮、有效磷、钾、钙、镁、铁、锰、锌、铜、硼的平均含量分别为 78.64、53.95、273.15、3 240.37、233.39、23.21、43.82、5.67、2.89、0.50 mg/kg。总体上, 土壤碱解氮和有效硼含量不足(低量和缺乏), 比例分别为 78.22% 和 66.34%; 有效钾、钙、锰和铜含量以超标(高量和过量)居多, 比例分别为 64.36%、51.48%、56.44% 和 83.17%; 有效磷、铁、锌含量以丰富(适宜、高量和过量)为主, 比例分别为 67.31%、75.24% 和 88.12%; 有效镁不足、适宜和超标的果园各占约 1/3。在土壤养分状况的区域特征方面, 华宁优于新平, 新平优于元江。土壤 pH 与有效钙、镁含量的正相关性极显著, 与有效锰、铜含量的负相关性极显著, 土壤有机质与大部分养分含量正相关且达到显著水平。因此, 云南玉溪柑橘园生产上应注意调节土壤 pH, 增施有机肥和氮、硼肥, 适度少施钾、磷肥, 注意钙、锰和铜肥的控制。

关键词: 玉溪市; 柑橘园; 土壤; 营养元素

中图分类号: S158 **文献标志码:** A

Characteristics of Soil Nutrients and Frequency Distribution of Yuxi Citrus Orchards in Yunnan

LI Youfang¹, ZHANG Chaobo¹, YI Xiaotong¹, LING Lili¹, HUANG Ziyang¹, SHI Yunting², HU Junhua¹, ZHANG Rong², LI Yongqi², ZI Liling², PENG Liangzhi^{1*}

(1 *Citrus Research Institute, Southwest University, Chongqing 400712, China*; 2 *Citrus Research Institute of Yuxi City, Yunnan Province, Huaning, Yunnan 652801, China*)

Abstract: Soil samples were collected from 101 typical citrus orchards in 4 main citrus-planting areas of Yuxi City in Yunnan Province, and nutrient contents were measured. The 4 main citrus-planting areas are Nanpanjiang low-heat valley, Huaning hill and mountainous area, Yuanjiang dry-hot valley area and Xinping hill and mountainous area. The results showed that soil pH ranged from 3.98 to 8.07, 52.48% soil samples with sub-suitable pH for citrus growth and only 14.85% soil samples with pH suitable for citrus growth. Soil organic matter (SOM) was deficient and 59.40% soil samples were insufficient in SOM content. The average contents of available N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu and B were 78.64, 53.95, 273.15, 3 240.37, 233.39, 23.21, 43.82, 5.67, 2.89 and 0.50 mg/kg, respectively. In general, the insufficient proportions (deficiency and low grades) of available N and B were 78.22% and 66.34%, respectively. The exceeding proportions (high and excessive grades) of available K, Ca, Mn and Cu were 64.36%, 51.48%, 56.44% and 83.17%, respectively. Meanwhile, 67.31%, 75.24% and 88.12% of samples were abundant (suitable, high and excessive grades) in available P, Fe and Zn contents, respectively. The insufficient, suitable and exceeding proportions of available Mg were all about 1/3. As to the regional differences of soil nutrient status, Huaning was best, followed by Xinping and Yuanjiang, Nanpanjiang was worst. There were extremely significant positive correlation between soil pH with available Ca and Mg, and significant negative correlation between soil pH with available Mn and Cu. SOM was significantly

①基金项目: 国家重点研发计划课题(2017YFD0202006)和国家现代农业(柑桔)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: 李有芳(1992—), 女, 云南楚雄人, 硕士研究生, 主要从事果树栽培与生理研究。E-mail:2479188983@qq.com

positively correlated with most other soil nutrients. In conclusion, for fertilization management of citrus orchard, attention should be paid to adjust soil pH, increase the application of N, B and organic fertilizer, moderately reduce the application of K and P fertilizers, while reasonably control the application of Ca, Mn and Cu fertilizers.

Key words: Yuxi City; Citrus orchard; Soil; Nutrient elements

云南省是我国重要的特色高效益柑橘产区,柑橘生产主要分布在玉溪市、宾川县和瑞丽市等地。2017年玉溪柑橘产量 28 万 t, 约占云南全省的 50%, 主要分布在华宁、新平、元江、易门 4 个县, 主栽品种为特早熟温州蜜柑、冰糖橙和沃柑, 种植区主要分为华宁南盘江低热河谷区、华宁山地丘陵区、新平山地丘陵区、元江干热河谷区 4 种不同的生态区域^[1-2]。虽然玉溪市柑橘发展得益于日照时间长、昼夜温差大等良好气候条件, 但是, 由于地形复杂, 土壤肥力参差不齐以及栽培管理水平较低等原因^[3-6], 柑橘产量和质量与美国等柑橘生产发达国家还有较大差距^[2,7-9], 其中土壤条件和施肥技术水平较差是重要原因。美国等发达国家的柑橘施肥是以土壤分析为基础, 结合柑橘生理时期对养分的需求, 适时适量平衡供给给树体养分, 实现养分利用和柑橘效益最大化, 每生产 1 t 鲜果的纯氮施用量仅 4 ~ 6 kg^[10], 远低于我国的 15 ~ 20 kg^[11]。因此, 土壤分析在柑橘研究和栽培管理中占有重要地位, 是指导柑橘科学合理施肥的前提。我国近年来开始重视橘园土壤养分研究, 摸清了部分产区橘园土壤养分状况, 如重庆橘园土壤主要缺硼、锰和锌^[12], 赣南脐橙园土壤缺磷、镁和锌^[13-15], 湖北和湖南橘园土壤缺氮、硼和锌^[16], 福建平和县柚园土壤缺钙、镁、锌和硼^[17], 浙江衢州橘园土壤缺钙、镁和硼^[18], 广西富川县脐橙园土壤缺硼和锰^[19], 贵州橘园土壤氮和钾缺乏严重^[20]。然而, 长期以来, 对云南玉溪橘园土壤养分缺乏研究, 制约了该地区施肥技术水平的提高。为此, 本研究以玉溪市柑橘主产区代表性果园为对象, 研究土壤养分含量状况和分布特征, 以期为玉溪柑橘高产优质和化肥减施增效技术方案的制定提供依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集和前处理

2017年10月在云南省玉溪市选择1个月内没有土壤施肥的代表性柑橘园101个进行采样分析。其中, 华宁县南盘江低热河谷区48个特早熟温州蜜柑和冰糖橙园、华宁山地丘陵区11个特早熟温州蜜柑园、新平山地丘陵区30个冰糖橙园、元江干热河谷区12个沃柑园。每个果园采用GPS定位经纬度和海

拔高度, 按“Z”字形选择采样树10~15株, 在每株树冠滴水线(避开施肥沟、施肥穴)周围东、西、南、北4个方位采集距地表0~40cm深土层的土壤200g左右, 除去石块、根系等杂质, 10~15个采样点的土壤等量均匀混合, 用4分法取约1000g土样装袋编号后带回实验室, 阴干, 粉碎, 过2mm尼龙网筛, 置于干净的塑料袋内干燥、避光保存备用。

1.2 样品测定

土壤pH用电位法测定^[21]; 土壤有机质用油浴加热重铬酸钾氧化法测定; 土壤碱解氮用碱解扩散法测定; 土壤有效磷用钼锑抗比色法测定; 土壤有效钾用火焰光度法测定; 土壤有效钙、镁用NH₄Ac交换-原子吸收分光光度计测定; 土壤有效铁、锰、锌、铜用HCl浸提-原子吸收分光光度计测定; 土壤有效硼用沸水浸提-姜黄素比色法测定^[22]。

1.3 柑橘园土壤pH和有效养分分级标准

柑橘园土壤pH分级标准: <4.5强酸性, 4.5~5.5酸性, 5.5~6.5弱酸性, 6.5~7.5弱酸至弱碱性, >7.5为碱性。pH4.5~5.5和6.5~7.5基本适宜柑橘生长, pH5.5~6.5适宜柑橘生长。有机质分级标准: 有机质含量<5g/kg为极缺, 5~10g/kg为缺乏, 10~15g/kg为偏低, 15~30g/kg适宜, >30g/kg丰富^[22-26]。

参考国内外柑橘土壤营养指标, 将玉溪柑橘土壤营养元素丰缺划分为极缺、缺乏、适量、高量、过量5个等级, 各等级的划分指标见表1。

1.4 数据分析

试验数据采用Excel 2010和SPSS 19.0统计软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 土壤pH和有机质丰缺状况与分布

玉溪柑橘园土壤pH平均值为6.42, 变幅3.98~8.07(表2)。52.48%的土壤pH基本适宜柑橘生长(pH4.5~5.5和pH6.5~7.5), 14.85%的土壤pH适宜柑橘生长; pH<4.5的强酸性土壤占4.95%, pH>7.5的碱性土壤占27.72%。各生态区果园土壤pH的分布状况存在较大差异, 华宁山地丘陵区碱性土比率最高, 达81.82%; 新平山地丘陵区酸性土壤比率较高, 达63.34%。

土壤有机质含量总体偏低, 范围 1.02 ~ 38.31 g/kg, 均值 14.62 g/kg。有机质低于适宜值的土壤比例达 59.40%, 而有机质含量丰富的比例仅占 4.95%(表 3)。

表 1 柑橘园土壤有效养分丰缺标准
Table 1 Nutrient grading standard of citrus orchard soil

有效养分	缺乏(mg/kg)	低量(mg/kg)	适量(mg/kg)	高量(mg/kg)	过量(mg/kg)
碱解氮	<50	50 ~ 100	100 ~ 200	>200	-
有效磷	<5	5 ~ 15	15 ~ 80	>80	-
有效钾	<50	50 ~ 100	100 ~ 200	>200	-
有效钙	<200	200 ~ 1 000	1 000 ~ 2 000	2 000 ~ 3 000	>3 000
有效镁	<80	80 ~ 150	150 ~ 300	300 ~ 500	>500
有效铁	<5	5 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 50	>50
有效锰	<2	2 ~ 5	5 ~ 20	20 ~ 50	>50
有效锌	<0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 5.0	5.0 ~ 10.0	>10
有效铜	<0.3	0.3 ~ 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	>2.0
有效硼	<0.25	0.25 ~ 0.50	0.50 ~ 1.00	1.00 ~ 2.00	>2.0

表 2 玉溪柑橘园土壤 pH 分布状况
Table 2 Frequency distribution of soil pH of citrus orchard soil in Yuxi

生态区	均值	分布频率(%)				
		<4.5	4.5 ~ 5.5	5.5 ~ 6.5	6.5 ~ 7.5	>7.5
华宁南盘江低热河谷区	6.97	2.08	8.34	14.58	37.50	37.50
华宁山地丘陵区	7.53	0.00	0.00	9.09	9.09	81.82
元江干热河谷区	6.04	0.00	33.33	33.33	25.00	8.34
新平山地丘陵区	5.30	13.33	63.34	10.00	13.33	0.00
合计	6.42	4.95	26.73	14.85	25.75	27.72

表 3 玉溪柑橘园土壤有机质分布状况
Table 3 Frequency distribution of organic matter content of citrus orchard soil in Yuxi

生态区	均值 (g/kg)	分布频率(%)				
		<5 g/kg	5 ~ 10 g/kg	10 ~ 15 g/kg	15 ~ 30 g/kg	>30 g/kg
华宁南盘江低热河谷区	15.15	10.42	20.82	22.92	41.67	4.17
华宁山地丘陵区	19.59	0.00	9.09	27.28	45.45	18.18
元江干热河谷区	11.61	0.00	33.33	50.00	16.67	0.00
新平山地丘陵区	13.15	0.00	30.00	36.67	30.00	3.33
合计	14.62	4.95	23.76	30.69	35.65	4.95

2.2 土壤大量营养元素丰缺状况与分布

由表 4 可知, 玉溪柑橘园土壤氮磷钾有效养分含量丰缺并存, 且地域差异明显。土壤碱解氮含量变化幅度较大, 变幅 23.75 ~ 377.52 mg/kg, 平均 78.64 mg/kg。0.99% 的果园碱解氮含量处于高量水平, 78.22% 的果园碱解氮含量不足(低量和缺乏, 下同)。从各生态区看, 土壤样品碱解氮含量不足的果园元江干热河谷区占 91.67%, 其余 3 个生态区不足比例均在 60% 以上。

土壤有效磷含量变异大, 变幅 0.52 ~ 530.46 mg/kg, 极值差距超过千倍, 平均 53.95 mg/kg, 其中 31.69% 的果园有效磷含量不足, 18.81% 的果园有效磷高量。不同生态区果园土壤有效磷含量差异大, 华宁山

地丘陵区橘园缺磷严重, 100% 的土壤有效磷含量不足, 其余 3 个生态区有近 50% 的果园土壤有效磷含量达到适宜值。

土壤有效钾含量充足, 大部分果园为适宜或高量, 变幅 77.28 ~ 774.95 mg/kg, 平均 273.15 mg/kg。除元江干热河谷区外, 其余 3 个生态区橘园土壤有效钾含量均超过 65%。

2.3 土壤有效钙和有效镁丰缺状况与分布

玉溪柑橘园土壤有效钙、镁含量丰富, 变化幅度较大(表 5)。土壤有效钙含量 322.70 ~ 18 577.98 mg/kg, 平均 3 240.37 mg/kg, 其中 22.77% 的果园有效钙含量不足, 77.23% 的果园有效钙含量丰富(适量、高量

和过量,下同),51.48%的果园有效钙含量超标(高量和过量,下同)。有效钙含量不足的果园主要分布在新平山地丘陵区,占63.34%。

土壤有效镁含量 21.38 ~ 702.13 mg/kg, 均值 233.39 mg/kg。总体上,土壤有效镁含量不足、适宜

和超标的样本各占 1/3 左右,比例分别为 35.64%、30.69% 和 33.67%。但土壤有效镁含量在不同生态区差异很大,新平山地丘陵区有效镁含量不足比例高达 83.33%,而华宁南盘江低热河谷区则有 58.33% 的果园土壤有效 Mg 含量超标。

表 4 玉溪柑橘园土壤大量元素含量及丰缺等级比例
Table 4 Available macroelement contents and their frequency distribution of citrus orchard soil in Yuxi

养分	生态区	变幅(mg/kg)	含量(mg/kg)	丰缺等级比例(%)			
				缺乏	低量	适量	高量
碱解氮	华宁南盘江低热河谷区	33.23 ~ 377.52	85.22	12.50	64.58	20.84	2.08
	华宁山地丘陵区	50.93 ~ 158.85	84.71	0.00	63.64	36.36	0.00
	元江干热河谷区	23.75 ~ 104.62	53.03	50.00	41.67	8.33	0.00
	新平山地丘陵区	37.94 ~ 126.45	76.14	13.33	66.67	20.00	0.00
	均值	23.75 ~ 377.52	78.64	15.84	62.38	20.79	0.99
有效磷	华宁南盘江低热河谷区	2.45 ~ 530.46	72.09	2.08	18.75	54.17	25.00
	华宁山地丘陵区	0.52 ~ 12.46	8.20	18.18	81.82	0.00	0.00
	元江干热河谷区	5.50 ~ 126.73	30.07	0.00	33.34	58.33	8.33
	新平山地丘陵区	4.63 ~ 167.44	51.26	3.33	20.00	56.67	20.00
	均值	0.52 ~ 530.46	53.95	3.97	27.72	49.50	18.81
有效钾	华宁南盘江低热河谷区	78.37 ~ 742.64	305.94	0.00	6.25	25.00	68.75
	华宁山地丘陵区	133.98 ~ 774.95	289.45	0.00	0.00	18.18	81.82
	元江干热河谷区	77.28 ~ 418.29	183.13	0.00	16.67	58.33	25.00
	新平山地丘陵区	97.61 ~ 474.72	250.74	0.00	3.33	30.00	66.67
	均值	77.28 ~ 774.95	273.15	0.00	5.94	29.70	64.36

表 5 玉溪柑橘园土壤钙和镁有效养分含量及丰缺等级比例
Table 5 Available calcium and magnesium contents and their frequency distribution of citrus orchard soil in Yuxi

养分	生态区	变幅(mg/kg)	含量(mg/kg)	丰缺等级比例(%)				
				缺乏	低量	适量	高量	过量
有效钙	华宁南盘江低热河谷区	1 310.07 ~ 17 431.90	3 633.35	0.00	0.00	29.17	37.50	33.33
	华宁山地丘陵区	3 495.26 ~ 185 77.98	9 445.06	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
	元江干热河谷区	828.77 ~ 3 623.93	1 522.77	0.00	33.33	41.67	16.67	8.33
	新平山地丘陵区	322.70 ~ 3 095.72	1 023.60	0.00	63.34	23.33	10.00	3.33
	均值	322.70 ~ 18 577.98	3 240.37	0.00	22.77	25.75	22.77	28.71
有效镁	华宁南盘江低热河谷区	98.47 ~ 635.14	325.81	0.00	4.17	37.50	50.00	8.33
	华宁山地丘陵区	65.61 ~ 351.87	185.49	9.09	18.18	63.64	9.09	0.00
	元江干热河谷区	41.71 ~ 702.13	265.92	25.00	25.00	8.33	25.00	16.67
	新平山地丘陵区	21.38 ~ 172.06	90.08	43.33	40.00	16.67	0.00	0.00
	均值	21.38 ~ 702.13	233.39	16.83	18.81	30.69	27.73	5.94

2.4 土壤微量营养元素丰缺状况与分布

总体上,玉溪柑橘园土壤有效铁、锰、锌、铜含量丰富,有效硼含量不足(表 6)。土壤有效铁含量变幅较大,含量在 2.37 ~ 179.60 mg/kg,均值 23.21 mg/kg。土壤有效铁含量不足的果园占 24.76%,丰富的果园占 75.24%,超标的果园占 44.55%。从各生态区看,元江干热河谷区土壤有效铁含量最低,平均 8.05 mg/kg,

不足比例为 75.00%。

土壤有效锰含量丰富,变幅 3.95 ~ 155.08 mg/kg,平均 43.82 mg/kg,仅有 1.98% 的土壤样本含量不足,而 56.44% 的土壤样本含量超标。有效锰含量超标果园土壤主要分布在元江干热河谷区和新平山地丘陵区土壤 pH<6.5 的果园,超标比例分别为 83.33% 和 76.67%。

土壤有效锌含量 0.28 ~ 50.00 mg/kg, 平均 5.67 mg/kg。总体上土壤有效锌含量丰富, 丰富比例高达 88.12%, 不足比例仅占 11.88%。有效锌不足的果园主要分布在元江干热河谷区, 不足比例达 58.33%。

土壤有效铜含量 0.39 ~ 10.16 mg/kg, 平均 2.89 mg/kg, 总体上含量超标, 超标比例高达 83.17%,

不足比例仅占 2.97%, 丰富比例为 97.03%。

土壤有效硼含量 0.11 ~ 3.09 mg/kg, 平均 0.50 mg/kg, 总体上含量偏低。有效硼含量不足的土壤样本比例高达 66.34%, 仅 27.72% 的土壤样本处于适量水平, 另有 5.94% 的土壤样本含量超标。元江干热河谷区和新平山地丘陵区土壤有效硼含量严重不足, 不足比例高达 100% 和 96.67%。

表 6 玉溪柑橘园土壤微量元素有效养分含量及丰缺等级比例
Table 6 Micronutrient contents and their frequency distribution of citrus orchard soil in Yuxi

养分	生态区	变幅(mg/kg)	含量(mg/kg)	丰缺等级比例(%)				
				缺乏	低量	适量	高量	过量
有效铁	华宁南盘江低热河谷区	2.69 ~ 83.78	26.01	2.08	8.33	33.34	47.92	8.33
	华宁山地丘陵区	6.72 ~ 30.03	20.00	0.00	9.09	36.36	54.55	0.00
	元江干热河谷区	2.37 ~ 32.10	8.05	33.33	41.67	16.67	8.33	0.00
	新平山地丘陵区	2.66 ~ 179.60	25.98	6.67	26.67	30.00	23.33	13.33
	均值	2.37 ~ 179.60	23.21	6.94	17.82	30.69	36.63	7.92
有效锰	华宁南盘江低热河谷区	6.07 ~ 133.35	41.23	0.00	0.00	52.08	16.67	31.25
	华宁山地丘陵区	3.95 ~ 65.83	15.98	0.00	18.18	72.73	0.00	9.09
	元江干热河谷区	7.19 ~ 71.10	46.11	0.00	0.00	16.67	33.33	50.00
	新平山地丘陵区	6.83 ~ 155.08	57.27	0.00	0.00	23.33	23.33	53.34
	均值	3.95 ~ 155.08	43.82	0.00	1.98	41.58	18.81	37.63
有效锌	华宁南盘江低热河谷区	0.96 ~ 50.00	9.55	0.00	4.17	39.58	22.92	33.33
	华宁山地丘陵区	0.46 ~ 8.82	3.89	9.09	0.00	63.64	27.27	0.00
	元江干热河谷区	0.28 ~ 3.14	1.08	16.66	41.67	41.67	0.00	0.00
	新平山地丘陵区	0.87 ~ 6.89	1.97	0.00	6.67	90.00	3.33	0.00
	均值	0.28 ~ 50.00	5.67	2.97	8.91	57.43	14.85	15.84
有效铜	华宁南盘江低热河谷区	0.39 ~ 10.16	2.55	0.00	4.17	14.58	31.25	50.00
	华宁山地丘陵区	0.64 ~ 1.76	1.24	0.00	0.00	27.27	72.73	0.00
	元江干热河谷区	0.41 ~ 6.18	4.52	0.00	8.33	8.33	0.00	83.34
	新平山地丘陵区	0.73 ~ 5.24	3.38	0.00	0.00	10.00	6.67	83.33
	均值	0.39 ~ 10.16	2.89	0.00	2.97	13.86	24.75	58.42
有效硼	华宁南盘江低热河谷区	0.27 ~ 3.09	0.68	0.00	45.83	41.67	10.42	2.08
	华宁山地丘陵区	0.28 ~ 0.77	0.53	0.00	36.36	63.64	0.00	0.00
	元江干热河谷区	0.18 ~ 0.30	0.24	66.67	33.33	0.00	0.00	0.00
	新平山地丘陵区	0.11 ~ 0.64	0.31	33.33	63.34	3.33	0.00	0.00
	均值	0.11 ~ 3.09	0.50	17.82	48.52	27.72	4.95	0.99

2.5 土壤 pH、有机质和有效养分含量间的相关性

土壤 pH 与土壤有效钙、有效镁含量呈极显著正相关, 与有效锰、有效铜含量呈极显著负相关; 土壤有机质与土壤大部分养分呈正相关关系且达到显著或极显著水平; 而土壤矿质营养元素之间的相关性无明显规律(表 7)。

3 讨论

土壤是果树生长发育的基础, 是水分和矿质养

分供给的源泉, 植物所需矿质营养元素主要来自土壤^[27-28], 柑橘园土壤有效养分状况是制定土壤养分管理及合理施肥方案的主要依据^[23]。因此, 测土配方施肥在农业生产中被广泛采用^[23,29]。从本研究结果看, 玉溪柑橘园土壤总体有机质含量低, 主要原因是玉溪柑橘园大多在山地丘陵, 河谷区也多数为浅丘坡地, 有机肥施用少, 加上当地仍采用清耕栽培为主, 土壤有机质不能得到及时补充。在大量元素方面, 玉溪柑橘生产上重视氮磷钾复合肥的施用且用量大。然

表 7 柑橘园土壤 pH、有机质及有效养分间的相关系数
Table 7 Correlation coefficients between pH, organic matter content and available nutrient contents of citrus orchard soil

	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											
有机质	0.364**	1										
碱解氮	-0.050	0.494**	1									
有效磷	-0.116	0.242*	0.228*	1								
有效钾	0.233*	0.361**	0.258**	0.070	1							
有效钙	0.588**	0.521**	0.117	-0.092	0.220*	1						
有效镁	0.598**	0.235*	0.100	0.000	0.358**	0.294**	1					
有效铁	0.181	0.220*	0.134	-0.019	-0.041	0.034	0.080	1				
有效锰	-0.493**	-0.178	0.041	0.239*	0.054	-0.377**	-0.180	-0.210*	1			
有效锌	0.369**	0.303**	0.254*	0.393**	0.360**	0.322**	0.404**	0.098	-0.137	1		
有效铜	-0.389**	-0.063	-0.017	0.094	-0.298**	-0.361**	-0.205*	0.008	0.335**	-0.091	1	
有效硼	0.395**	0.386**	0.205*	0.032	0.492**	0.413**	0.525**	0.095	-0.270**	0.481**	-0.280**	1

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($P < 0.05$)。

而,本研究显示,其橘园土壤碱解氮含量低,有效钾、有效磷含量高。土壤碱解氮含量低主要原因可能与化学氮肥在土壤中容易淋洗和挥发损失^[30-32],也较容易被柑橘吸收利用有关;土壤有机质含量低,缺乏有机氮也是碱解氮低的重要原因;而施用的磷肥和钾肥容易被土壤吸附和固定,流失少,加之玉溪土壤的成土母质磷钾含量较高^[33-34],致使土壤中有效磷钾含量高。由于玉溪柑橘生产上很少施用钙肥和镁肥,土壤中的钙和镁主要与当地成土母质和土壤类型有关^[35],因不同区域的土壤类型不同,从而土壤有效钙、镁含量差异明显。华宁南盘江低热河谷区和华宁山地丘陵区土壤成土母质主要为石灰岩、砂岩和页岩等^[33,36-37],土壤有效钙含量高,土壤 pH 也较高^[23];新平山地丘陵柑橘园主要为红壤,红壤有效钙含量低^[36];元江干热河谷柑橘园主要分布在赤红壤上^[36],也有较大比例的果园土壤低钙。由于镁和钙通常为伴生元素,玉溪柑橘园土壤有效镁含量和分布特征与有效钙基本相同^[38]。

玉溪柑橘生产上几乎不施用铁肥和锰肥,有机肥施用少,柑橘园土壤中有效铁、锰含量高低主要与土壤 pH 有关,总体上酸性土壤的有效铁、锰含量高,碱性土壤含量低^[39]。虽然玉溪柑橘生产上也不施用铜肥,但在柑橘溃疡病区,铜制剂是使用最普遍的杀菌剂,且施用次数多,以致于玉溪柑橘园土壤有效铜含量与溃疡病有密切关系。华宁山地丘陵区柑橘无溃疡病,土壤铜含量以适量和高量为主;其余 3 个生态区均有溃疡病且常年使用含铜杀菌剂,土壤铜含量以过量为主。我国柑橘园土壤缺锌和缺硼的比例高^[12-19],但玉溪柑橘生产上普遍施用叶面锌肥,柑橘园土壤有效

锌不足的比例低,仅 11.90%,缺锌土壤主要分布在新种植区的元江干热河谷区,其余 3 个生态区的土壤锌含量充足,且有较大比例的锌高量和过量果园。与我国其他柑橘产区一样,玉溪柑橘园土壤有效硼含量不足比例也较高,特别是在元江干热河谷区和新平山地丘陵区,几乎全部土壤样品有效硼含量为低量或缺乏,主要原因是土壤有效硼含量低、生产上施用硼肥少^[23,40]。

从总体上看,玉溪柑橘园土壤养分状况华宁优于新平,新平优于元江。柑橘园土壤养分状况与果园年龄有较直接关系,玉溪柑橘的规模化种植,华宁河谷区始于 1980 年代,华宁山地丘陵区是近几年发展的,新平始于 1990 年代,而元江是最近几年才开始^[1-2],说明柑橘的种植在一定程度上改良了土壤养分状况。

土壤养分之间的相关关系复杂,受到土壤类型、施肥、植物和微生物等多种因素影响^[23,41-42]。不过,从本研究结果看,pH 与土壤有效钙、镁的正相关性,与有效锰、铜的负相关性,土壤有机质与土壤大部分养分的正相关性,符合土壤养分基本规律^[23,43]。

4 结论

玉溪 67.33% 的柑橘园土壤 pH 适宜或基本适宜柑橘生长,土壤有机质匮乏,土壤碱解氮和有效硼含量以不足占多数,有效钾、钙、锰和铜含量以超标为主,有效磷、铁、锌含量以丰富为主,有效镁不足、适宜和超标果园则各占约 1/3。柑橘园土壤养分状况的区域特征方面,华宁优于新平,新平优于元江。玉溪柑橘生产上应注意调节土壤 pH,增施有机肥和氮、硼肥,适度少施钾、磷肥,注意控制钙、锰和铜肥的施用。

参考文献：

- [1] 赵文军. 新平县柑橘产业发展探析[J]. 南方农业, 2017, 11(9): 75-76.
- [2] 赵美琼, 代龙彪, 沈涛, 等. 华宁县柑桔产业现状与发展对策建议[J]. 中国果业信息, 2017(8): 9-11, 13.
- [3] 陈桂芬, 王有生, 唐劲梅. 玉溪市柑桔产业可持续发展对策探讨[J]. 中国果业信息, 2007(7): 21-22.
- [4] 杨云光, 王有生, 朱联书, 等. 玉溪市早熟柑橘产业发展存在的问题及建议[J]. 现代农业科技, 2013(13): 336-337, 339.
- [5] 张广帅, 俞伟, 邓浩俊, 等. 干热河谷泥石流流域不同分区土壤养分特征[J]. 西南林业大学学报, 2014, 34(1): 8-13.
- [6] 金亚波, 李桂湘, 韦建玉, 等. 云南玉溪植烟区气候——土壤因子聚类分析[J]. 土壤通报, 2010, 41(2): 275-281.
- [7] 谢金峰. 我国柑桔产业结构调整战略研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2003.
- [8] 陈正坤. 我国柑橘出口比较优势及其可持续性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- [9] 周开隆, 叶荫民. 中国果树志-柑橘卷[M]. 北京: 中国林业出版社, 2010.
- [10] Anoop K S. Advances in citrus nutrition [M]. Dordrecht/Heidelberg/New York/London: Springer, 2012.
- [11] 淳长品, 彭良志, 江才伦, 等. 赣南脐橙园氮素投入特点及氮素平衡研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(11): 36-42.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 陶梦铭, 应虹, 孙强, 等. 湖北与湖南柑橘园土壤及树体养分状况[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(13): 3289-3292, 3297.
- [17] 曾瑞琴. 平和县琯溪蜜柚果园土壤养分状况及其施肥建议[J]. 福建农业科技, 2012(10): 67-69.
- [18] 刘国群, 李玲玲, 毛正荣, 等. 衢州市柯城区桔园土壤养分丰缺状况研究[J]. 中国南方果树, 2015, 44(6): 29-30, 33.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 田有国, 辛景树, 任意, 等. NY/T 1121.2—2006 土壤检测 2 部分: 土壤 pH 的测定[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [23] 庄伊美. 柑橘营养与施肥[J]. 东南园艺, 1992(4): 32-37.
- [24] 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.
- [25] Obreza T A, Editors K T M. Nutrition of florida citrus trees, 2nd edition [J]. Soil & Water Science, 2008(SL253): 7-90
- [26] 刘铮, 邹邦基, 朱其清, 等. 微量元素的农业化学[M]. 北京: 农业出版社, 1991.
- [27] 邓秀新, 彭抒昂. 柑橘学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- [28] 陈军. 果树生长与土壤条件的关系探析[J]. 现代农业科技, 2010(9): 155-156.
- [29] 宋志伟, 杨净云. 果树测土配方施肥技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2011.
- [30] 张果. 我国可持续发展与水土流失治理[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 1997, 20(4): 140-144.
- [31] 唐昆. 化学氮肥的污染与防治[J]. 湖南农业, 1998(10): 6.
- [32] 巨晓棠, 谷保静. 氮素管理的指标[J]. 土壤学报, 2017, 54(2): 281-296.
- [33] 虞光复, 陈永森. 论云南土壤的地理分布规律[J]. 云南大学学报(自然科学版), 1998, 20(1): 55-58, 63.
- [34] 周墨, 李娟, 唐庆, 等. 成土母质对土壤元素地球化学特征的控制作用[C]//中国矿物岩石地球化学学会第 14 届学术年会论文集. 南京, 2013: 486.
- [35] 屠梦照. 云南西南部某些土壤的发生学特征[J]. 土壤学报, 1963(4): 370-381.
- [36] 吴龙江. 玉溪地区红壤资源的开发、利用和改良[J]. 玉溪师范学院学报, 1997, 13(1): 78-81.
- [37] 邹国础, 赵其国. 云贵南部地区土壤区划[J]. 土壤专报, 1964(36).
- [38] 邓丽, 贺茂勇. 不同种植年限苹果园土壤磷、钙、硅、镁常量元素垂直分布特征[J]. 地球环境学报, 2017, 8(1): 72-77.
- [39] 席冬梅, 邓卫东, 高宏光, 等. 云南省主要地质背景区土壤理化性质及矿物质元素丰度分析[J]. 土壤, 2008, 40(1): 114-120.
- [40] 杨绍聪, 吕艳玲, 杨庆华, 等. 玉溪市耕作土壤有效态微量元素含量状况[J]. 土壤, 2001, 33(2): 102-105.
- [41] 赖晶晶, 张世熔, 刘艳婷, 等. 基于多元分析的岷江下游土壤有机碳密度空间分布及影响因素研究[J]. 土壤, 2016, 48(1): 159-166.
- [42] 李振轮, 谢德体. 柑橘生长与生态因子的关系研究进展[J]. 中国农学通报, 2003, 19(6): 181-184, 189.
- [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.