果 树 学 报 2018,35(12):1478-1486
Journal of Fruit Science

DOI:10.13925/j.cnki.gsxb.20180227

重庆柑橘园土壤微量营养元素养分状况分析

王 彤[1a],朱攀攀[1a],习建龙[1],凌丽俐[2],淳长品[2],
江才伦[2],付行政[1],曹 立[1],彭良志[1*]

([1]西南大学柑桔研究所,重庆 400712;[2]中国农业科学院柑桔研究所,重庆 400712)

摘 要:【目的】了解重庆柑橘园土壤微量营养元素养分状况。**【方法】**在重庆15个柑橘主产县(区)选取567个代表性柑橘园采集土壤样本进行测定分析。**【结果】**果园土壤pH值变幅pH 4.1~8.7,但仅有20.99%的土壤pH适宜柑橘生长(pH值5.5~6.5),53.62%的土样pH高于6.5,并有35.63%的土样pH高于7.5。土壤有机质匮乏,有机质偏低或缺乏比例达68.79%。土壤有效Fe、Mn、Zn、Cu、B的平均含量分别为40.91 mg·kg^{-1}、15.69 mg·kg^{-1}、1.39 mg·kg^{-1}、1.06 mg·kg^{-1}、0.37mg·kg^{-1},土壤有效Fe、Mn、Zn、Cu、B含量处于适宜及以上水平的比例分别占77.08%、0.18%、53.62%、73.02%、23.28%;总体上土壤有效Fe、Cu含量水平较高,有效Zn、B含量较低,有效Mn含量缺乏。**【结论】**柑橘生产上应注意调节土壤pH值,结合叶片营养诊断适量补充含Mn、B、Zn的微量元素肥料或有机肥。

关键词: 柑橘园;重庆;土壤;微量元素

中图分类号: S666 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-9980(2018)12-1478-09

A study on nutrient status of microelements in soils of citrus orchards in Chongqing

WANG Tong[1a], ZHU Panpan[1a], XI Jianlong[1], LING Lili[2], CHUN Changpin[2], JIANG Cailun[2], FU Xingzheng[1], CAO Li[1], PENG Liangzhi[1*]

(*[1]Citrus Research Institute of Southwest University, Chongqing 400712, China; [2]Citrus Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 400712, China*)

Abstract:【Objective】The study evaluated the contents of microelements in soils of citrus orchards in Chongqing.【Methods】Soil samples were collected from 567 representative citrus orchards in 15 main counties (districts) of Chongqing.【Results】The range of pH value of orchard soils was 4.1−8.7. Among them, strong acid (pH＜4.5) soils occupied 1.41%; alkaline (pH＞7.5) soils accounted for 35.63%, and alkaline soils were most widely distributed. There were 51.32% soil samples with suitable or appropriate pH values (4.5−7.0) for citrus growth, but only 20.99% soil samples had a soil pH value range (pH 5.5−6.5) suitable for citrus growth. According to the distribution frequency of soil pH in orchards of each county (district), the ratio of alkaline soil in Wushan was the highest, up to96.00 %. The ratio of soils with a suitable pH in Fuling was the highest, which was 78.26%. The soil organic matter content was low, and only 31.21% soil samples had a organic matter content over 15g· kg^{-1}, among them, only 0.35% exceeded 30g· kg^{-1}. The soil available Fe content varied greatly with a range of 0.20−253.68 mg· kg^{-1}, and its average content was 40.91 mg· kg^{-1}. 437 soil samples were rich in available Fe (suitable, high and excessive range), which accounted for 77.07% of the total samples, and 46.74% of the soil samples

收稿日期:2018-06-14 接受日期:2018-08-26

基金项目:国家重点研发计划专项“化学肥料和农药减施增效综合技术研发”课题(2017YFD0202002,2017YFD0202006);国家现代农业(柑橘)产业技术体系建设专项(CARS-26-01A);重庆市社会民生科技创新专项(cstc2016shmszx80004,cstc2017shms-xdny0352)

作者简介:王彤,女,在读硕士研究生,主要从事果树栽培与生理研究。Tel:13274040043,E-mail:wangtongfighting@163.com. a为共同第一作者。朱攀攀,女,在读硕士研究生,主要从事果树栽培与生理研究。Tel:15523843199,E-mail:1376927586@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel:023-68247009,E-mail:pengliangzih@cric.cn

had excessive available Fe. Among the counties or districts, the content of available Fe in the orchard soils from Wanzhou was the highest, with all the samples in excessive range. The content of available Fe was the lowest in the soils of Wushan, where 32% soil samples were insufficient for citrus growth and 68% of the soil samples were in excess of available Fe. The available Mn content ranged from 0.16 to 100.47 mg· kg^{-1}, and its average content was 3.36 mg· kg^{-1}. Only 0.18% soil samples were suitable for citrus growth, and 99.82% soil samples were in insufficient range. Insufficiency of Mn was common, reaching 83.33% to 100% in different counties or districts. The available Zn content ranged from 0.12 to 14.63 mg· kg^{-1}. 46.38% of the soil samples were deficient in available Zn, and 53.62% of the soil samples were rich in available Zn. Among the counties (districts), Yubei, Liangping, Banan and Jiang Jin had high levels of available Zn. The soils samples in each of these counties (districts) with rich availabe Zn accounted for more than 70%. The soil available Zn content in Dianjiang, Kaizhou, Fengjie, Fuling, Wushan and Zhongxian counties was low, and the percentage of soil samples with insufficient Zn content was higher than 50%. The available Cu content was 0.17-8.56 mg· kg^{-1}, and only 26.98% of the samples were in low range, and 73.02% of samples were in or above suitable range and 39.86 % samples were in high or excessive ranges. The counties (districts) with low soil available Cu included Banan, Fuling, Yunyang and Wushan. The available Cu content in over 40% of the soil samples was at low level in these 4 counties (districts). The counties (districts) with high soil available Cu were Yubei, Dianjiang, Kaizhou, Liangping, Fengjie and Wanzhou. More than 80% of the soil samples in these 6 counties (districts) were in rich level. The available B was low, and its average content was 1.06 mg· kg^{-1}. 76.72% of the samples had an insufficient content, and only 23.10% were in suitable range. Changshou, Banan, Fengjie, Yunyang, Wushan and Zhongxian had more than 80% of the soil samples with insufficient available B content, which was the highest in Yubei, where only 52.78% of the samples reached the suitable level.【Conclusion】The soils of the citrus orchards in Chongqing had a wide range of pH value and a low organic matter content. The available Fe and Cu contents were medium rich; the available Zn and B contents were low; and the available Mn was deficient. For citrus orchard management, attention should be paid to adjusting soil pH value and based on leaf nutrition diagnosis, appropriate amount of supplementation of Mn, Zn and B containing fertilizers or organic fertilizers should be carried out.

Key words：*Citrus* orchard; Chongqing; Soil; Microelements

我国是全球最大的柑橘生产国，2016年全国柑橘面积255.7万hm^2、产量3 617万t[1]，重庆市是我国柑橘优势区域之一，2016年重庆柑橘面积15.6万hm^2、产量225万t[2]。但我国仅是柑橘生产大国，而非强国，柑橘平均单产14.1 t· m^{-2}，重庆市为14.4 t· hm^{-2}，约为美国、巴西、西班牙等柑橘生产发达国家的1/3[3]。我国柑橘单产低的主要原因之一是施肥技术水平低，长期大量盲目施用氮磷钾化肥，忽视微量营养元素的施用，导致树体营养元素丰缺失衡，肥料利用率低。例如，我国每吨柑橘鲜果的纯氮施用量15~20 kg，高的超过25 kg，远远高于美国等发达国家的4~6 kg[4-6]。长期以来，我国较重视大田土壤的调查、分析和研究，对柑橘园土壤调查分析少，重庆柑橘产区仅在少数县做过部分调查，不利于柑橘科学施肥技术方案的制定和实施。

微量营养元素在柑橘生长结果过程中发挥着重要作用，过量和缺乏都会影响树体的正常生理代谢，导致果实产量和品质锐减，并且严重影响氮磷钾等肥料的肥效[7-8]。土壤中的微量营养元素是柑橘树体需求的主要来源，弄清其含量和分布特征是柑橘科学高效施肥的基础[9-11]。近年来有关柑橘土壤微量元素方面的研究已经取得了一定成果，但大多集中在单个微量元素指标的分析及地区间变异，涉及微量元素的分布特征和微量元素综合评价方面的研究

甚少[12-14]。笔者以重庆15个柑橘主产县(区)的567个代表性果园土壤为对象,研究微量元素含量状况和分布特征,为柑橘化肥减施增效和高产优质生产提供理论依据和指导。

1 材料和方法

1.1 供试材料

2013—2017年,在重庆15个柑橘主产县(区)选择567个具有代表性的果园,采集土样。每个果园采用"S"形布点选取采样树10~15株,在采样树的树冠滴水线(避开施肥穴、施肥沟)四周选4个采样点,在每个采样点采集距地表5~35 cm深土层的土壤约200 g,除去植物根、石块等杂质,10~15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尼龙筛,置于干燥、避光容器中保存,待测定分析用。

1.2 样品测定

土壤pH测定采用电位法[15];土壤有机质测定采用油浴加热重铬酸钾氧化-容量法;土壤有Fe、Mn、Zn、Cu采用0.1 mol·L^{-1}盐酸浸提剂浸提-原子吸收分光光度计测定;土壤有效B采用沸水浸提-姜黄素比色法[16]。

1.3 重庆柑橘园土壤微量元素分级标准

根据重庆市地方标准《柑橘营养诊断配方施肥技术规程(DB50/T487-2012)》制定的土壤分析标准(表1),对测定结果进行分级[17]。

表1 土壤微量元素分级标准

Table 1 Criteria for availability classification of soil trace elements

养分水平 Nutrient level	w/(mg·kg^{-1})				
	有效Fe Available iron	有效Mn Available manganese	有效Zn Available zinc	有效Cu Available copper	有效B Available boron
缺乏 Deficient	<2.5	<50	<0.5	<0.1	<0.25
低量 Low	2.5~4.5	50~100	0.5~1	0.1~0.5	0.25~0.5
适宜 Suitable	4.5~10	100~200	1~2	0.5~1	0.5~1
高量 High	10~20	200~300	2~5	1~1.8	1~2
过量 Excess	>20	>300	>5	>1.8	>2

1.4 数据处理

使用Excel2010进行统计、制表;SPSS19.0进行范围值、平均值分析。

2 结果与分析

2.1 土壤pH和有机质分析状况

柑橘园土壤pH值和有机质含量测定分析结果显示(表2),果园土壤pH值变幅较大,范围为pH 4.1~8.7。其中,强酸性(pH<4.5)土壤占1.41%,碱性(pH>7.5)土壤占35.63%,碱性土壤分布最广。根据柑橘对土壤pH值的要求,有51.32%的土壤样品pH适宜或基本适宜(pH值4.5~7.0)柑橘生长,但土壤pH值处于适宜范围(pH值5.5~6.5)的果园仅占

表2 重庆柑橘园土壤pH和有机质分布状况

Table 2 Distribution of soil pH value and organic matter content in citrus orchards in Chongqing

县(区) County (district)	样本数 Number of samples	pH分布频率 pH distribution frequency/%					有机质分布频率 Organic matter distribution frequency/%				
		<4.5	4.5~5.5	5.5~6.5	6.5~7.5	>7.5	<5	5~10	10~15	15~30	>30
渝北 Yubei	36	0.00	38.89	27.78	30.56	2.78	2.78	19.44	58.33	19.44	0.00
垫江 Dianjiang	18	0.00	66.67	5.56	0.00	27.78	0.00	27.78	38.89	33.33	0.00
长寿 Changshou	24	0.00	50.00	25.00	12.50	12.50	0.00	20.83	41.67	37.50	0.00
开州 Kaizhou	97	0.00	20.62	21.65	27.84	29.90	0.00	20.62	53.61	25.77	0.00
梁平 Liangping	22	0.00	13.64	22.73	45.45	18.18	4.55	50.00	45.45	0.00	0.00
巴南 Banan	22	0.00	13.64	13.64	22.73	50.00	22.73	63.64	13.64	0.00	0.00
江津 Jiangjin	17	0.00	41.18	23.53	17.65	17.65	5.88	17.65	76.47	0.00	0.00
奉节 Fengjie	56	0.00	17.86	25.00	7.14	50.00	5.36	14.29	23.21	53.57	3.57
万州 Wanzhou	15	6.67	60.00	33.33	0.00	0.00	0.00	0.00	33.33	66.67	0.00
涪陵 Fuling	23	4.35	17.39	78.26	0.00	0.00	0.00	30.43	30.43	39.13	0.00
永川 Yongchuan	13	0.00	30.77	15.38	0.00	53.85	0.00	23.08	46.15	30.77	0.00
云阳 Yunyang	67	2.99	28.36	26.87	23.88	17.91	0.00	35.82	22.39	41.79	0.00
巫山 Wushan	25	0.00	0.00	4.00	0.00	96.00	0.00	8.00	56.00	36.00	0.00
丰都 Fengdu	41	2.44	7.32	12.20	26.83	51.22	0.00	21.95	39.02	39.02	0.00
忠县 Zhongxian	91	3.30	17.58	6.59	13.19	59.34	0.00	35.16	40.66	24.18	0.00
总计 Total	567	1.41	23.99	20.99	17.99	35.63	1.94	26.46	40.39	30.86	0.35

20.99%。从各县（区）果园土壤pH的分布频率来看，巫山县碱性土比率最高，达96.00%；涪陵区pH适宜土壤比率最高，为78.26%。柑橘园土壤有机质含量低，只有31.21%的土壤有机质含量（*w*，后同）超过了15 g·kg^{-1}，其中超过30 g·kg^{-1}的仅占0.35%，有机质偏低或缺乏比例达68.79%。

2.2　重庆柑橘园土壤微量元素含量及分布

总的来看，重庆柑橘园土壤有效Fe含量变动幅度较大，土壤有效Fe含量为0.20~253.68 mg·kg^{-1}，全市平均值40.91 mg·kg^{-1}（表3）。Fe含量丰富（适宜、高量和过量，下同）的样本数量最多，有437个，占总样本数的77.08%，不足（缺乏和低量，下同）占22.92%，其中46.74%的土壤样本有效Fe含量处于过量水平。从各县（区）看，万州柑橘园土壤样品有效Fe含量最高，全部为过量级；巫山最低，不足比例为32%，含量丰富的比例为68%。

表3　重庆柑橘园土壤有效Fe含量及分布

Table 3　Contents and distribution of available iron in soil of citrus orchards in Chongqing

县（区） County(district)	样点量 Number of samples	范围值 Range/(mg·kg^{-1})	平均值 Average/(mg·kg^{-1})	土壤有效Fe分布频率 Soil available iron distribution frequency/%				
				缺乏 Deficient	低量 Low	适宜 Suitable	高量 High	过量 Excess
渝北 Yubei	36	2.70~180.70	60.36	0.00	2.78	8.33	8.33	80.56
垫江 Dianjiang	18	1.90~90.90	40.20	11.11	0.00	16.67	5.56	66.67
长寿 Changshou	24	3.10~132.80	52.69	0.00	8.33	8.33	4.17	79.17
开州 Kaizhou	97	1.20~132.90	34.76	6.19	8.25	23.71	16.49	45.36
梁平 Liangping	22	1.13~127.93	31.49	9.09	4.55	22.73	22.73	40.91
巴南 Banan	22	1.00~92.05	20.55	31.82	13.64	13.64	4.55	36.36
江津 Jiangjin	17	1.30~189.00	56.43	5.88	5.88	11.76	11.76	64.71
奉节 Fengjie	56	1.48~238.41	70.05	7.14	5.36	23.21	7.14	57.14
万州 Wanzhou	15	72.29~253.68	156.27	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
涪陵 Fuling	23	0.77~26.44	3.59	73.91	8.70	4.35	8.70	4.35
永川 Yongchuan	13	1.00~95.02	19.25	7.69	15.38	30.77	15.38	30.77
云阳 Yunyang	67	1.00~168.90	39.94	17.91	8.96	10.45	10.45	52.24
巫山 Wushan	25	1.00~12.30	5.84	4.00	28.00	56.00	12.00	0.00
丰都 Fengdu	41	0.20~213.40	18.25	48.78	9.76	17.07	0.00	24.39
忠县 Zhongxian	91	2.68~197.76	37.21	0.00	18.68	28.57	13.19	39.56
总计 Total	567	0.20~253.68	40.91	12.87	10.05	19.93	10.41	46.74

重庆柑橘园土壤有效Mn含量变化幅度在0.16~100.47 mg·kg^{-1}（表4），但大部分土壤有效Mn含量不足，不足比例高达99.82%，仅0.18%土壤样品有效Mn含量适宜。从各县（区）情况看，各地的缺

表4　重庆柑橘园土壤有效Mn含量及分布

Table 4　Contents and distribution of available manganese in soils of citrus orchards in Chongqing

县（区） County (district)	样点量 Number of samples	范围值 Range/ (mg·kg^{-1})	平均值 Average/ (mg·kg^{-1})	土壤有效Mn分布频率 Soil available manganese distribution frequency/%				
				缺乏 Deficient	低量 Low	适宜 Suitable	高量 High	过量 Excess
渝北 Yubei	36	3.40~52.29	22.25	97.22	2.78	0.00	0.00	0.00
垫江 Dianjiang	18	0.73~67.55	24.32	83.33	16.67	0.00	0.00	0.00
长寿 Changshou	24	5.50~88.80	32.23	83.33	16.67	0.00	0.00	0.00
开州 Kaizhou	97	0.54~90.43	15.01	94.85	5.15	0.00	0.00	0.00
梁平 Liangping	22	1.53~53.07	14.81	95.45	4.55	0.00	0.00	0.00
巴南 Banan	22	0.52~24.92	6.36	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
江津 Jiangjin	17	1.82~50.20	18.37	94.12	5.88	0.00	0.00	0.00
奉节 Fengjie	56	2.22~84.78	17.92	89.29	10.71	0.00	0.00	0.00
万州 Wanzhou	15	1.82~59.47	16.05	93.33	6.67	0.00	0.00	0.00
涪陵 Fuling	23	0.36~17.57	2.37	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
永川 Yongchuan	13	0.94~49.25	11.96	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
云阳 Yunyang	67	0.59~87.87	17.25	89.55	10.45	0.00	0.00	0.00
巫山 Wushan	25	0.93~20.05	7.41	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
丰都 Fengdu	41	0.16~27.00	3.36	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00
忠县 Zhongxian	91	1.16~100.47	18.86	89.01	9.89	1.10	0.00	0.00
总计 Total	567	0.16~100.47	15.69	93.12	6.70	0.18	0.00	0.00

乏比例都很高，达到83.33%～100%。

由表5可知，柑橘园土壤样品的有效Zn含量为0.12~14.63 mg· kg^{-1}，其中，土壤Zn含量不足的比例为46.38%，含量丰富的比例为53.62%，总体上约各占一半。从各县（区）情况看，渝北、梁平、巴南和江津的土壤有效Zn含量较高，Zn含量丰富的样本比例均超过70%；垫江、开州、奉节、涪陵、巫山和忠县的土壤有效Zn含量较低，Zn含量不足的样本比例均超过50%。

表5 重庆柑橘园土壤有效Zn含量及分布

Table 5 Contents and distribution of available zinc in soils of citrus orchards in Chongqing

县（区）County (district)	样点量 Number of samples	范围值 Range/(mg·kg^{-1})	平均值 Average/(mg·kg^{-1})	土壤有效Zn分布频率 Soil available zinc distribution frequency/%				
				缺乏 Deficient	低量 Low	适宜 Suitable	高量 High	过量 Excess
渝北 Yubei	36.00	0.20~10.40	2.64	5.56	2.78	41.67	38.89	11.11
垫江 Dianjiang	18.00	0.30~3.50	1.11	27.78	44.44	5.56	22.22	0.00
长寿 Changshou	24.00	0.40~4.10	1.23	4.17	41.67	50.00	4.17	0.00
开州 Kaizhou	97.00	0.20~9.00	1.04	14.43	49.48	28.87	6.19	1.03
梁平 Liangping	22.00	0.49~3.80	1.92	4.55	9.09	45.45	40.91	0.00
巴南 Banan	22.00	0.64~3.13	1.54	0.00	18.18	63.64	18.18	0.00
江津 Jiangjin	17.00	0.70~6.30	2.38	0.00	11.76	35.29	47.06	5.88
奉节 Fengjie	56.00	0.12~3.38	1.12	37.50	16.07	26.79	19.64	0.00
万州 Wanzhou	15.00	0.46~2.81	1.71	6.67	26.67	26.67	40.00	0.00
涪陵 Fuling	23.00	0.23~2.05	0.87	21.74	47.83	26.09	4.35	0.00
永川 Yongchuan	13.00	0.81~14.63	2.64	0.00	30.77	46.15	15.38	7.69
云阳 Yunyang	67.00	0.30~6.40	1.50	5.97	25.37	47.76	19.40	1.49
巫山 Wushan	25.00	0.30~2.30	0.73	48.00	32.00	16.00	4.00	0.00
丰都 Fengdu	41.00	0.40~5.80	1.73	2.44	31.71	43.90	19.51	2.44
忠县 Zhongxian	91.00	0.25~5.62	1.03	13.19	47.25	34.07	4.40	1.10
总计 Total	567.00	0.12~14.63	1.39	13.93	32.45	35.63	16.23	1.76

表6的结果显示，重庆柑橘园土壤有效Cu含量为0.17 mg· kg^{-1}~8.56 mg· kg^{-1}，只有26.98%的土壤样品Cu含量为低量，没有缺乏的样品，73.02%的样品含量丰富，其中39.86%的样品为高量或过量。土壤有效Cu含量较低的县（区）有巴南、涪陵、云阳和巫山，这4县（区）均有40%以上的土壤样品有效Cu含量处于低量水平；土壤有效Cu含量高的县（区）有渝北、垫江、开州、梁平、奉节和万州，这6县（区）均有80%以上的土壤样品有效Cu含量处于丰富水平。

研究结果表明（表7），重庆柑橘园土壤有效B含量低，含量不足的土壤样品比例高达76.72%，仅有23.10%的土壤样品有效B含量处于适宜水平，另有0.18%为高量。长寿、巴南、奉节、云阳、巫山、忠县

表6 重庆柑橘园土壤有效Cu含量及分布

Table 6 Contents and distribution of available copper in soils of citrus orchards in Chongqing

县（区）County (district)	样点量 Number of samples	范围值 Range/(mg·kg^{-1})	平均值 Average/(mg·kg^{-1})	土壤有效Cu分布频率 Soil available copper distribution frequency/%				
				缺乏 Deficient	低量 Low	适宜 Suitable	高量 High	过量 Excess
渝北 Yubei	36	0.19~3.76	1.35	0.00	11.11	33.33	30.56	25.00
垫江 Dianjiang	18	0.48~2.44	1.19	0.00	11.11	38.89	27.78	22.22
长寿 Changshou	24	0.19~2.11	1.11	0.00	20.83	29.17	29.17	20.83
开州 Kaizhou	97	0.22~2.45	1.02	0.00	18.56	35.05	39.18	7.22
梁平 Liangping	22	0.60~2.77	1.07	0.00	0.00	59.09	31.82	9.09
巴南 Banan	22	0.23~1.24	0.61	0.00	40.91	50.00	9.09	0.00
江津 Jiangjin	17	0.32~2.06	1.09	0.00	23.53	17.65	47.06	11.76
奉节 Fengjie	56	0.18~8.56	1.86	0.00	12.50	26.79	17.86	42.86
万州 Wanzhou	15	1.15~4.04	1.96	0.00	0.00	0.00	46.67	53.33
涪陵 Fuling	23	0.22~1.90	0.49	0.00	69.57	17.39	8.70	4.35
永川 Yongchuan	13	0.28~1.40	0.65	0.00	38.46	46.15	15.38	0.00
云阳 Yunyang	67	0.17~2.10	0.84	0.00	40.30	25.37	28.36	5.97
巫山 Wushan	25	0.29~3.68	0.80	0.00	56.00	28.00	4.00	12.00
丰都 Fengdu	41	0.19~4.76	0.85	0.00	31.71	46.34	17.07	4.88
忠县 Zhongxian	91	0.21~3.70	0.91	0.00	31.87	36.26	20.88	10.99
总计 Total	567	0.17~8.56	1.06	0.00	26.98	33.16	25.57	14.29

表7　重庆柑橘园土壤有效B含量及分布

Table 7　Contents and distribution of available boron in soils of citrus orchards in Chongqing

县（区）County (district)	样点量 Number of samples	范围值 Range/（mg·kg^{-1}）	平均值 Average/（mg·kg^{-1}）	土壤有效B分布频率 Soil available boron distribution frequency/%				
				缺乏 Deficient	低量 Low	适宜 Suitable	高量 High	过量 Excess
渝北 Yubei	36	0.17~0.90	0.52	16.67	30.56	52.78	0.00	0.00
垫江 Dianjiang	18	0.09~0.88	0.37	50.00	16.67	33.33	0.00	0.00
长寿 Changshou	24	0.09~0.88	0.28	66.67	20.83	12.50	0.00	0.00
开州 Kaizhou	97	0.03~0.89	0.46	25.77	31.96	42.27	0.00	0.00
梁平 Liangping	22	0.17~0.87	0.41	27.27	40.91	31.82	0.00	0.00
巴南 Banan	22	0.11~0.64	0.30	50.00	36.36	13.64	0.00	0.00
江津 Jiangjin	17	0.03~0.78	0.37	23.53	52.94	23.53	0.00	0.00
奉节 Fengjie	56	0.06~1.41	0.23	83.93	10.71	3.57	1.79	0.00
万州 Wanzhou	15	0.05~0.72	0.39	33.33	40.00	26.67	0.00	0.00
涪陵 Fuling	23	0.17~0.65	0.38	26.09	47.83	26.09	0.00	0.00
永川 Yongchuan	13	0.18~0.70	0.42	7.69	69.23	23.08	0.00	0.00
云阳 Yunyang	67	0.06~0.87	0.35	31.34	50.75	17.91	0.00	0.00
巫山 Wushan	25	0.12~0.51	0.29	40.00	56.00	4.00	0.00	0.00
丰都 Fengdu	41	0.17~0.84	0.45	14.63	48.78	36.59	0.00	0.00
忠县 Zhongxian	91	0.08~0.70	0.32	27.47	67.03	5.49	0.00	0.00
总计 Total	567	0.03~1.41	0.37	34.92	41.80	23.10	0.18	0.00

均有80%以上的土壤样品有效B含量不足，渝北土壤有效B含量状况最好，但也仅有52.78%的样品达到适宜水平。

3　讨　论

微量营养元素在柑橘生长发育中起重要作用，Fe是叶绿体蛋白合成的必需元素；Mn是植物体内重要氧化还原剂，控制着体内的氧化还原系统；Zn促进叶绿素合成，提高果实品质和质量[18]；Cu减少裂果、防止水果木栓化[19]；B减少落花落果，防止果实畸形和胶囊化[20]。微量元素的缺乏不仅会直接影响果实产量和品质，而且还会影响柑橘对N、P、K、Ca、Mg等大、中量元素的吸收和利用，影响肥效，从而进一步影响树体生长和果实的品质与产量[21-22]。在目前橘园有机肥施用越来越少的大背景下，柑橘所需的微量元素主要从土壤中获得，叶面施肥作为补充[23]。由此可见，土壤微量营养元素的养分状况对柑橘十分重要。

影响橘园土壤微量营养元素含量的因素有很多，成土母质、地貌的发育历史及发育过程、土壤pH、有机质含量等都会影响其含量和有效性[24-26]。

本研究结果表明，重庆柑橘园土壤缺Mn严重，高达99.82%土壤样品有效Mn含量不足；但是有效Fe含量不足的土壤样品却不多，只有22.92%。一般土壤缺Fe和缺Mn常并存，本研究结果不太符合这一规律，可能是重庆市柑橘园土壤分级标准欠合理，如果采用江西省柑橘园测土技术规程[27]或者庄伊美[28]标准，以土壤有效Fe10~20 mg·kg^{-1}为适宜，有效Mn 50~200 mg·kg^{-1}为适宜，则本研究结果为42.85%的土壤样品有效Fe含量不足、93.2%土壤样品有效Mn含量不足，这与重庆紫色土多较易缺Fe[29-31]，以及田间观察到重庆柑橘缺Mn普遍、缺Fe较普遍的结果较为一致。由此可见，重庆市柑橘营养诊断配方施肥技术规程的土壤有效Fe、Mn元素分级标准（Fe 4.5~5 mg·kg^{-1}适宜，Mn 100~200 mg·kg^{-1}适宜）值得商榷。

邢飞等[32]报道重庆三峡库区74.66%柑橘叶片样片Zn含量缺乏，本研究在土壤上的结果则显示重庆橘园46.38%土壤样品有效Zn含量不足，与马俊英等[29]报道的重庆70.7%土壤样品缺Zn有较大差异，主要原因可能有以下2个方面：一是马俊英等采集的土壤样品是各种农耕土壤，而不仅仅是橘园土壤；二是采样地点差异，马俊英等[29]仅含糊指出是区域和土壤代表性取样，且样品量较少，只有104个。因此，本研究在15个县（区）采集的567个土壤样品研究得出的46.38%橘园土壤有效Zn含量不足的结果应该较为真实反映了重庆柑橘园土壤有效Zn的水平。不过，结合马俊英等[29]的报道，大体可以看出快30 a过去了，重庆土壤的有效Zn含量并无根本性改善。

与湖北、浙江柑橘园土壤有效Cu不足的比例仅5.09%~16.8%不同[6, 33]，本研究发现重庆橘园土壤有效Cu不足的比例较高，达到26.98%，究其原因，除了土壤类型不同外，另外一个影响较大的因素可能

是重庆柑橘产区基本没有溃疡病，生产上极少使用含Cu杀菌剂，湖北、浙江等柑橘溃疡病区经常施用含铜杀菌剂，增加了土壤有效Cu含量。

前人的研究表明，广东柑橘园土壤缺B比例51.4%[34]，湖北柑橘园77.4%土壤缺B[6]，赣南橘园背景土壤有92.4%缺B[35]、农化土壤有85.7%缺B[36]，广西南丰蜜橘果园土壤100%缺B[37]，浙江衢州橘园土壤有效B含量不足比例80.95%[33]。本研究发现重庆柑橘园土壤有效B不足的比例也很高，达到76.72%，说明我国柑橘园土壤缺B比较普遍，这主要与我国橘园土壤成土母质有关，另外也与长期以来我国柑橘生产上不太重视B肥的施用有关[38]。国内最近几年才开始重视柑橘B肥的施用，主要是叶面喷施1~2次0.05%~0.1%的硼砂或硼酸溶液，虽对矫治树体缺B有效，但因叶面浓度低且用量不大，对提高土壤含B量的作用十分有限。

4 结 论

重庆柑橘园土壤pH变幅4.1~8.7，碱性土壤比例较高；土壤有机质匮乏。土壤有效Fe含量较为丰富有效Mn缺乏，与土壤缺Fe和缺Mn常并存这条规律不符，这可能是因为重庆柑橘园土壤分级标准欠合理。重庆土壤有效Cu含量较丰富但是与其他地区相比不足比例偏高，除土壤差别外，与生产管理有很大关系。土壤有效Zn含量偏低，有效B含量较缺乏。柑橘生产上应重视调节土壤pH值，结合叶片营养诊断适量补充含Mn、B、Zn的微量元素肥料或有机肥。

致谢：本研究的部分土壤样品采集得到重庆市渝北、垫江、长寿、开州、梁平、巴南、江津、奉节、万州、涪陵、永川、云阳、巫山、丰都、忠县等15县（区）农业局、果业局，以及部分相关柑橘种植者的协助，在此一并致谢。

参考文献 References：

[1] 沈兆敏 . 我国柑橘产销现状、发展趋势及对策建议[J]. 果农之友，2017(9)：1.
SHEN Zhaomin. Current situation，development trend and Countermeasures of Citrus production and marketing in China[J]. Fruit Growers' Friend，2017(9): 1.

[2] 孔文斌，曾卓华，熊伟，吴正亮，夏仁斌 . 2015/2016产季重庆柑橘产销形势分析及对策建议[J]. 中国果业信息，2016，33(2)：13-16.
KONG Wenbin，ZENG Zhuohua，XIONG Wei，WU Zhengliang，XIA Renbin. Analysis of the production and marketing situation of Citrus in Chongqing during the 2015/2016 production season and Countermeasures[J]. China Fruit News，2016，33(2): 13-16.

[3] 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.
XIE Jinfeng. Study on the strategy of Citrus Industrial Structure adjustment in China[D]. Chongqing: Southwest Agricultural University，2003.

[4] MORGAN K T，OBREZA TOM A，ADAIR W T. The basis for mature citrus nitrogen fertilization recommendation [M]. Florida: Florida Satate Horticultural Soc，2006.

[5] 淳长品，彭良志，凌丽俐，赖九江，曹立，江才伦 . 赣南产区脐橙叶片大量和中量元素营养状况研究[J]. 果树学报，2010，27(5)：678-682.
CHUN Changpin，PENG Liangzhi，LING Lili，LAI Jiujiang，CAO Li，JIANG Cailun. Study on the contents of macronutrient and medium nutrient in Newhall navel orange leaves in southern Jiangxi provience of China[J]. Journal of Fruit Science，2010，27(5): 678-682.

[6] 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.
LU Jianwei. Study on soil and plant nutrition status and balanced fertilization techniques of the Citrus orchards in Hubei [D]. Huazhong Agricultural University，2003.

[7] 王鹏，王明琼，王乾璋，周富忠 . Yara微量元素肥料在柑橘上的应用效果研究[J]. 现代农业科技，2016(9)：77-79.
WANG Peng，WANG Mingqiong，WANG Qianzhang，ZHOU Fuzhong. Study on the application effect of Yara microelement fertilizer on Citrus[J].Modern Agricultural Science and Technology，2016(9): 77-79.

[8] 张强，魏钦平，蒋瑞山，刘旭东，刘惠平，王小伟 . 北京苹果主要产区果园土壤理化形状和果实品质评价分析[J]. 园艺学报，2011，38(11)：2180-2186.
ZHANG Qiang，WEI Qinping，JIANG Ruishan，LIU Xudong，LIU Huiping，WANG Xiaowei. Evalution and analysis of soil physicochemical characteristics and fruit quality in main apple production regions of Beijing[J]. Acta Horticulturae Sinica，2011，38(11): 2180-2186.

[9] 李文涛，杨江波，余倩倩，田旺海，普金安，陈磊，邓烈，何绍兰，易时来 . 柑橘施肥养分推荐方法研究进展[J]. 安徽农业科学，2017，45(28)：7-10.
LI Wentao，YANG Jiangbo，YU Qianqian，TIAN Wanghai，PU Jin'an，CHEN Lei，DENG Lie，HE Shaolan，YI Shilai. Research progress on methods of nutrient recommendation for fertilization in Citrus[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences，2017，45(28): 7-10.

[10] KLOCK C，JANSSEN R. Influence of ageing on zinc bioavailability in soils[J]. Environmental Pollution，2003，126(3): 371-374.

[11] SILVINO GUIMARÃES MOREIRA，LUÍSIGNÁCIO PROCHNOW，JORGE DE CASTRO KIEHL，VOLNEI PAULETTI，LADISLAU MARTIN-NETO. Chemical forms in soil and availability of manganese and zinc to soybean in soil under different tillage systems[J]. Soil & Tillage Research，2016(163): 41-53.

[12] 程琛，张世琪，林伟杰，陈欢欢，林锋，朱东煌，陈立松，李延，郭九信 . 福建省平和县蜜柚园土壤铜素(Cu)状况及其影响因素研究[J]. 果树学报，2018，35(3)：301-310.
CHENG Chen，ZHANG Shiqi，LIN Weijie，CHEN Huanhuan，LIN Feng，ZHU Donghuang，CHEN Lisong，LI Yan，GUO Jiuxin. Soil copper(Cu)nutrient status and its influencing factors in pomelo orchards in Penghe country，Fujian provience[J]. Journal of Fruit Science，2018，35(3): 301-310.

[13] 范玉兰，卢映琼，李峰，薛珺，李勋，钟八莲，彭良志 . 赣南脐橙园土壤有效铜含量分布特征研究[J]. 果树学报，2015，32(1)：69-73.
FAN Yulan，LU Yingqiong，LI Feng，XUE Jun，LI Xun，ZHONG Balian，PENG Liangzhi. Study on the distribution of available copper content in soil of navel Orange Orchard in southern Jiangxi Province[J]. Journal of Fruit Science，2015，32(1): 69-73.

[14] 马小川，卢晓鹏，张子木，熊江，潘斌，刘恋，李泽航，唐超兰，谢深喜 . 湖南省不同纬度温州蜜柑园土壤和叶片营养及果实品质分析[J]. 果树学报，2018，35(4)：423-432.
MA Xiaochuan，LU Xiaopeng，ZHANG Zimu，XIONG Jiang，PAN Bin，LIU Lian，LI Zehang，TANG Chaolan，XIE Shenxi. Analyses of the soil and tree nutrition and fruit qualituy of Sayusma mandarin in orchards at different lantitudies in Hunan provience[J]. Journal of Fruit Science，2018，35(4): 423-432.

[15] 田有国，辛景树，任意，龙怀玉，朱恩，郑磊 . 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.
TIAN Youguo，XIN Jingshu，REN Yi，LONG Huaiyu，ZHU En，ZHENG Lei. NY/T 1121.2-2006 soil detection-part 2: determination of soil pH[M]. Beijing: China Agricultural Publishing House，2006.

[16] 鲍士旦 . 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京：中国农业出版社，2000.
BAO Shidan. Analysis of soil Agrochemistry (third Edition)[M]. Beijing: China Agricultural Publishing House，2000.

[17] 熊伟，彭良志，夏仁斌，淳长品，冯洋，焦必宁，王成秋，凌丽俐，杨灿芳，吴正亮，孔文斌 . 柑橘营养诊断配方施肥技术规程(DB50/T487-2012)[S]. 重庆市质量技术监督局，2012.
XIONG Wei，PENG Liangzhi，XIA Renbin，CHUN Changpin，FENG Yang，JIAO Bining，WANG Chengqiu，LING Lili，YANG Canfang，WU Zhengliang，KONG Wenbin. The citrus leaf nutrition diagnosis formulated fertilization technology regulations (DB50/T487- 2012) [S]. Chongqing Bureau of Quality and technology Supervision ，2012.

[18] SRIVASTAVA A K，SINGH S. Zinc Nutrition，a Global Concern for Sustainable Citrus Production[J]. Journal of Sustainable Agriculture，2005，25(3): 5-42.

[19] KOPITTKE P M，ASHER C J，BLAMEY F P C，MENZIES N W. Toxic effects of Cu^{2+} on growth，nutrition，root morphology，and distribution of Cu in roots of Sabi grass[J]. Science of the Total Environment，2009，407(16): 4616-4621.

[20] SHENG O，SONG S W，CHEN Y J，SHU A. PENG，XIU X. DENG. Effects of exogenous B supply on growth，B accumulation and distribution of two navel orange cultivars[J]. Trees，2009，23(1): 59-68.

[21] 王艳语，许秀成 . 柑橘类水果品质与施肥[J]. 磷肥与复肥，2017，32(9)：39-42.
WANG Yanyu，XU Xiucheng. Quality of citrus fruit and its fertilization[J]. Phosphate＆Compound Fertilizer，2017，32(9): 39-42 .

[22] 马芳骥 . 大田生产要重视中微量元素[J]. 农家参谋，2015(8)：37.
MA Fangji. The field production should attach importance to the medium and trace elements[J]. The Farmers Consultant，2015(8): 37.

[23] 陈异青，杨忠富，何箕全，范显洋 . 果树叶面施肥技术措施[J]. 现代园艺，2016(19)：49-50.
CHEN Yiqing，YANG Zhongfu，HE Qiquan，FAN Xianyang. Technical measures of fertilization on leaves of Fruit trees[J]. Xiandai Horticulture，2016(19): 49-50.

[24] GARCÍA-MARCO S，GÓMEZ-REY M X，GONZÁLEZ-PRIETO S J. Availability and uptake of trace elements in a forage rotation under conservation and plough tillage[J]. Soil & Tillage Research，2014，137(3): 33-42.

[25] WANG H，LIU Y M，QI Z M，WANG S Y，LIU S X，LI X，WANG H J，WANG X L，XIA X C，ZHU X Q. The Estimation of Soil Trace Elements Distribution and Soil-Plant-Animal Continuum in Relation to Trace Elements Status of Sheep in Huangcheng Area of Qilian Mountain Grassland，China[J]. Journal of Integrative Agriculture，2014，13(1): 140-147.

[26] YANQUN ZU，LAURENT BOCK，CHRISTIAN SCHVARTZ，GILLES COLIENTS，YUAN LI. Factors affecting trace element content in peri- urban market garden subsoil in Yunnan Province，China[J]. Journal of Environmental Sciences，2011，23(3): 488-496.

[27] 彭良志，李勋，钟八莲，淳长品，曹立，赖九江 . 江西省柑橘园测土技术规程(DB36/T 626-2011)[S]. 江西省质量技术监督局，2011.
PENG Liangzhi，LI Xun，ZHONG Balian，CHUN Changpin，CAO Li，LAI Jiujiang. Technical regulation of Jiangxi Province for citrus orchard soil testing(DB 36/ T 626-2011)[S]. Jiangxi Bureau of Quality and Technical Supervision，2011.

[28] 庄伊美. 柑橘营养与施肥[M]. 北京：中国农业出版社，1994.
ZHUANG Yimei. Citrus nutrition and fertilization[M]. Beijing: China Agricultural Press，1994.

[29] 马俊英，青长乐，张学良，李伟，付绍清 . 重庆土壤有效态微量元素的含量与分布[J]. 西南大学学报（自然科学版），1989（3）：221-228.
MA Junying，QING Changle，ZHANG Xueliang，LI Wei，FU Shaoqing. Content and distribution of available trace elements in soils of Chongqing[J]. Journal of Southwest University（Natural Science Edition），1989（3）: 221-228.

[30] 吉前华，李玉堂，王永清 . 石灰性土壤上柑桔缺铁黄化研究进展[J]. 四川农业大学学报，1998，16（3）：365-369.
JI Qianhua，LI Yutang，WANG Yongqing. Research progress of lime-induced chlorosis in citrus trees[J]. Journal of Sichuan Agricultural University，1989，16（3）: 365-369.

[31] MOHSEN BEYGI，MOHSEN JALSLI. Background levels of some trace elements in calcareous soils of the Hamedan Province，Iran[J]. Catena，2017: 162.

[32] 邢飞，付行政，彭良志，淳长品，凌丽俐，王男麒，周薇，黄翼 . 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.
XING Fei，FU Xingzheng，PENG Liangzhi，CHUN Changpin，LING Lili，WANG Nanqi，ZHOU Wei，HUANG Yi. Citrus leaf zinc nutrient level and its impact factors in the Three Gorges area of Chongqing[J]. Journal of Fruit Science. 2014，31（4）: 602-609.

[33] 刘国群，李玲玲，毛正荣，胡燕芳，颜雯婷，徐霄 . 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）：29-33.
LIU Guoqun，LI Lingling，MAO Zhengrong，HU Yanfang，YAN Wenting，XU Xiao. Soil nutrient status of citrus orchards in Kecheng district of Quzhou in Zhejiang province[J]. South China Fruits. 2015，44（6）: 29-32.

[34] 姚丽贤，周修冲，彭智平，李国良 . 广东省柑桔园土壤养分肥力研究[J]. 土壤通报，2006，37（1）：41-44.
YAO Lixian，ZHOU Xiuchong，PENG Zhiping，LI Guoliang. Soil nutrient fertility in citrus orchards of Guangdong province [J]. Chinese Journal of Soil Science，2006，37（1）: 41-44.

[35] 王男麒，彭良志，淳长品，李国良 . 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.
WANG Nanqi，PENG Liangzhi，CHUN Changpin，LI Guoliang. Study on virgin soil nutrient status of citrus orchards in southern Jiangxi Province[J]. South China Fruits，2012，41（5）: 1-4.

[36] 卢映琼 . 赣南脐橙果园土壤微量元素含量分布特征[D]. 赣南：赣南师范学院，2015.
LU Yingqiong. Study on distribution of available microelements in soils from Gannan Navel Orange Orchards[D]. Ganan: Ganan Normal University，2015.

[37] 曾林芳，陈爱华，王成秋，陈香玲，邓崇岭，焦必宁 . 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.
ZENG Linfang，CHEN Aihua，WANG Chengqiu，CHEN Xiangling，DENG Chongling，JIAO Bining. Soil nutrient status and its effect on fruit quality in Nanfeng tangerine orchards of Guangxi [J]. South China Fruits，2015，44（3）: 49-52.

[38] 冯洋，李伟，武伟 . 重庆市新建柑橘园土壤养分现状研究[J]. 现代农业科技，2010（24）：292-293+296.
FENG Yang，LI Wei，WU Wei. Study on soil nutrient status of newly built Citrus Orchard in Chongqing[J]. Modern Agricultural Science and Technology，2010（24）: 292-293+296.