

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

马小川^{1,2}, 卢晓鹏^{1,2}, 张子木^{1,2}, 熊江^{1,2}, 潘斌^{1,2},
刘恋^{1,2}, 李泽航^{1,2}, 唐超兰^{1,2}, 谢深喜^{1,2*}

(¹湖南农业大学园艺园林学院, 长沙 410128; ²国家柑橘改良中心长沙分中心, 长沙 410128)

摘要:【目的】探究湖南省不同纬度的温州蜜柑园土壤养分含量、叶片营养及果实营养与品质状况,为果园土壤科学管理提供理论依据。【方法】2011—2016年,连续6 a(年)对湖南省3个地区147个温州蜜柑园的土壤养分含量、叶片营养和果实营养与品质进行测定,运用相关性分析的方法,探索土壤养分、叶片养分与果实品质三者之间的关系,指出不同纬度的温州蜜柑园土壤养分存在的问题。【结果】湘北、湘中、湘南3个地区的供试果园土壤pH适宜比例仅为8.3%~19.0%;3个地区有机质含量总体适宜,多数果园土壤有效铁、锰、铜、锌、钙、钼、镁含量适宜或过量,碱解氮、速效磷、速效钾含量偏低,土壤有效硼含量严重缺乏。湖南省不同纬度温州蜜柑园叶片磷、硼略微缺乏,氮、钾、锌不足,钙、镁、钼严重缺乏,铁、锰过量。3个地区的温州蜜柑果实钾含量与纬度的回归方程为 $y=-0.024x+1.231$,纬度与其他果实品质则无明显差异。纬度对土壤、叶片营养和果实品质有一定的影响,其中土壤速效钾、速效锰含量从北到南依次递减;叶片铁、镁含量从北向南逐渐降低,而钾、锰、硼、钼含量由北向南逐渐升高;果实中钾含量与可溶性固形物含量由北往南依次增加。运用相关分析发现,影响果实品质的主要土壤因素为有机质、速效锌、有效钙、有效镁、有效硼。【结论】改善各地区土壤pH,增加土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、有效硼含量是湖南温州蜜柑果园今后土壤管理的重点。

关键词: 温州蜜柑; 纬度; 土壤养分; 叶片营养; 果实品质; 湖南省

中图分类号: S666.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2018)04-0423-10

Analyses of the soil and tree nutrition and fruit quality of Satsuma mandarin in orchards at different latitudes in Hunan province

MA Xiaochuan^{1,2}, LU Xiaopeng^{1,2}, ZHANG Zimu^{1,2}, XIONG Jiang^{1,2}, PAN Bin^{1,2}, LIU Lian^{1,2}, LI Zehang^{1,2}, TANG Chaolan^{1,2}, XIE Shenxi^{1,2*}

(¹College of Horticulture and Landscape, Hunan Agriculture University, Changsha 410128, Hunan, China; ²Changsha Subcenter, National Center of Citrus Improvement, Changsha 410128, Hunan, China)

Abstract: 【Objective】The soil nutrition, leaf and fruit nutrition and fruit quality of Satsuma mandarin in orchards at different latitudes in Hunan province were analyzed in order to provide reference for soil management in orchards. 【Methods】Soil nutrients in 147 Satsuma mandarin orchards in north, central and south Hunan, and leaves nutrition and fruit quality in these orchards were analyzed for 6 consecutive years, from 2011 to 2016. When fruit matured, soil samples were collected from 15–20 sampling points arranged in an S shape in each orchard and leaf and fruit samples were taken at the same time from positions evenly distributed in the tree canopy. Leaf blades at the 2nd or 3rd node from the top of the current season spring shoots were sampled. Soil samples at depths of 20–40 cm were taken 10 cm inward from the drip line at two opposite sides of the tree. The relationships among the soil nutrient, leaf nutrition and fruit quality were analyzed in order to find problems of soil nutrition in orchards at differ-

收稿日期: 2017-10-26 接受日期: 2017-12-21

基金项目: 现代农业(柑橘)产业技术体系专项基金(CARS-27)

作者简介: 马小川,男,在读硕士研究生,研究方向为果树生理生态与栽培研究。Tel: 18229825821, E-mail: 745266447@qq.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 13875913408, E-mail: shenxixie@126.com

ent latitudes. 【Results】All the soil pH values in the orchards in north, central and south Hunan were lower than the appropriate range (5.5–5.6). The percentage of orchards with appropriate soil pH in the three regions was only 8.3%–19.0%. The organic matter content was generally suitable in these orchards. Available Fe, Mn, Cu, Zn, Ca, Mo and Mg in the soils in most of the orchards were appropriate or excessive, while the contents of alkaline N, available P and K were low in north, central and south Hunan, with a percentage of N deficient orchards of 51.7%, 80.6% and 83.0%, respectively. 72.7%–100% of the orchard had a soil effective B below the appropriate value. P and B in the leaves were in slight shortage and N, K and Zn were insufficient. The percentage of the orchards with Ca and Mg deficiency was 85.0%–88.7% and 81.3%–96.2%, respectively. 100% of the orchards showed deficiency of Mo. The average content of Fe was 135–178 mg·kg⁻¹ and the average content of Mn 68–90 mg·kg⁻¹, both being excessive. Soil pH, available N, K, Fe, Cu, Zn and Mg were the highest in northern Hunan, and the organic matter, available P, Mn, Ca, B and Mo were the highest in the south Hunan. No orchards in central Hunan had soils with suitable proportion of nutrients. The regression equation of fruit K content vs latitude was $y=-0.024x+1.231$. There was no significant difference in other fruit quality attributes. No significant correlation was found between mineral element contents in the soil and in the fruit. Latitude had some influence on soil and leaf nutrition and fruit quality. The contents of available K and Mn decreased from north to south; those of Fe and Mg in leaves decreased gradually from north to south while those of K, Mn, B and Mo increased. The contents of K and TSS in the fruit increased from north to south. The analysis on the soil and fruit quality indicated that the soil nutrient factors obtained from multiple linear stepwise regressions were significantly different from those obtained from simple correlation analysis screening. The main soil elements influencing fruit quality were organic matter, available Zn, Ca, Mg, and B. 【Conclusion】Improving soil pH is needed for Satsuma mandarin orchards at different latitudes in Hunan province. N and B fertilizers should be supplemented in soil fertilization throughout the province. P and K fertilizer should be supplemented regionally. For foliar fertilization, N, K, Zn, Ca, Mg and Mo elements should be added. Improving soil environment improves root vigor and promotes the absorption of nutrients by the trees. Fruit quality attributes in different latitudes were similar. The correlations among most mineral nutrients in soil, leaf and fruit were not significant. Therefore, soil and foliar fertilization should be differentiated in different regions. The key points of soil management for the Satsuma mandarin orchards in Hunan include improvement of the soil pH value and increases in organic matter, alkaline N and available P, K and B.

Key words: Satsuma mandarin; Latitudes; Soil nutrient; Leaf nutrition; Fruit quality; Hunan province

温州蜜柑 (*Citrus unshiu*) 是湖南省主栽宽皮柑橘种类, 目前湖南省温州蜜柑的生产多是农户生产经营模式, 不同果农的果园管理, 特别是土壤管理水平差异较大, 导致温州蜜柑果实品质下降, 降低了其经济效益, 制约着湖南省柑橘产业的可持续发展。增加高品质、高效益温州蜜柑园的比例是湖南省温州蜜柑生产力提升的关键。

土壤营养状况与柑橘树体及果实品质皆有密切关系^[1-4], 刘运武^[5]在温州蜜柑上的研究表明, 施氮对产量有明显影响, 每株施纯氮 1.75 kg 能改善温州蜜柑果实品质。磷素可显著提高温州蜜柑果实维生素

C 含量, 并起到增糖减酸的作用。镁、硼元素会增加果实酸度, 降低品质, 但是这 2 种元素与产量密切相关^[6]。Peng 等^[7]研究镁元素在柑橘根系中的作用时发现, 缺镁会降低光合作用相关蛋白含量, 从而降低光合作用。Organ 等^[8]在‘哈姆林脐橙’上的研究发现, 果皮中钾元素含量降低会增加脐橙果皮开裂的概率。温州蜜柑作为湖南省主栽种类, 不同纬度温州蜜柑园土壤养分与果实品质是否存在差异尚无报道。因此, 笔者选取 N25°24′–N29°35′ 的 3 个温州蜜柑代表性地区, 全面分析不同纬度温州蜜柑园土壤、叶片营养及果实品质状况, 探索不同纬度的土壤与

树体营养对温州蜜柑果实品质的影响,以期为温州蜜柑园合理施肥和优质生产提供理论依据及生产指导。

1 材料和方法

1.1 试验设计

以温州蜜柑园为研究对象,主栽品种为‘宫川温州蜜柑’(*Citrus unshiu* Marc ‘Miyagawa Wase’),砧木为枳[*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.],树龄20~30 a生,根据纬度变化设定为3个地区,从北向南排列依次为湖南常德市和张家界市(湘北,N 29°35′,58个果园)、湖南邵阳市与怀化市(湘中,N 27°14′36″,36个果园)、湖南永州市和郴州市(湘南,N 25°24′,53个果园),共147个果园。2011—2016年进行取样分析,在各个品种果实成熟期于各果园取样(以S形布15~20个取样点),同时取土壤、叶片和果实样品。每取样点在树冠四周均匀采集果实和叶片样品,叶片采当年生营养春梢顶部向下第2~3片叶;在树冠滴水线内侧10 cm、深20~40 cm取土样,每株对角采2点。同一果园各取样点的土壤、叶片和果实样品分别混合后以4分法取足量样品用于矿质营养和果实品质分析^[9]。

1.2 土壤营养的测定

矿质元素测定样品参照鲍士旦^[10]的方法,土壤pH采用pH仪电位法测定,有机质采用重铬酸钾-硫酸氧化法测定。土壤碱解氮采用扩散法测定;土壤有效磷采用碳酸氢钠-盐酸浸提-钼锑抗比色法测定;土壤有效钾采用乙酸铵浸提,有效铁、锰、铜、锌采用DTPA浸提,交换性钙、镁采用乙酸铵交换浸提,有效硼采用沸水浸提,有效钼采用醋酸铵浸提,均采用ICP法测定。

1.3 叶片和果实养分的测定

叶片样品用去离子水洗净,24 h内带回实验室,叶片和果实样品于105 °C杀青15 min后,65 °C烘干至恒质量,将烘干的叶片和果实研磨成粉后制成待测样品。全氮采用硫酸-过氧化氢消煮-蒸馏法测定,全磷采用硫酸-过氧化氢消煮-钒钼黄比色法测定,全钾采用硫酸-过氧化氢消煮-火焰光度法测定。钙、镁、铁、锰、锌、铜、硼、钼采用干灰化法制备样品,ICP法测定^[11]。

1.4 果实品质的测定

利用4分法于果实样品中取5个果实,用游标卡

尺测定果实纵横径;用TZ-62手持折光仪测定可溶性固形物(TSS)含量;氢氧化钠滴定法测定可滴定酸(TA)含量;斐林氏容量法测定总糖含量;碘量法测定维生素C含量。具体操作参照李玲^[12]的果实品质分析方法。

1.5 数据处理

利用Excel 2013和SPSS 10.0统计分析软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同纬度柑橘园的土壤有效养分含量

由表1可知,多数果园土壤pH值偏酸,pH值偏酸果园比例占总调查果园的74.0%~80.6%,适宜果园比例仅为8.3%~19%。湘北、湘中、湘南果园土壤有机质含量(ω ,后同)平均值分别为22.50、18.21、19.51 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,均处于适宜范围内(适宜值为15~30 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$),有机质含量高于15 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的果园分别占84.5%、72.2%、84.9%。3个地区多数果园土壤速效铁、速效锰、有效钙、有效镁平均含量表现为过量;土壤速效磷、速效钾、速效铜、速效锌、有效钼平均含量表现为适宜,但速效磷、速效钾、速效铜含量适宜的果园比例偏低;土壤碱解氮含量偏低,湘北、湘中、湘南土壤碱解氮缺乏果园分别占各地区调查果园总数的51.7%、80.6%、83.0%。所有地区有效硼皆严重缺乏,72.7%~100%的果园土壤有效硼含量低于适宜值。在3个地区中,湘北地区pH值、碱解氮、速效钾、速效铁、速效铜、速效锌、有效镁含量适宜的果园比例最高,湘南地区有机质、速效磷、速效锰、有效钙、有效硼、有效钼含量适宜的果园比例最高,湘中无土壤养分适宜比例占优。在所测土壤矿质元素中,速效钾、速效锰含量从北到南依次递减。总体而言,不同纬度的温州蜜柑园土壤pH值普遍低于适宜值,土壤碱解氮、有效硼含量偏低,速效磷、速效钾、速效铜含量两极分化严重,说明不同温州蜜柑园之间土壤养分管理水平存在较大差异,湖南省温州蜜柑园需加强土壤改良,提高土壤pH值、氮和硼含量,平衡土壤养分含量。

2.2 不同纬度温州蜜柑园的叶片养分含量

由表2可知,所有地区温州蜜柑叶片的氮、钾含量均低于适宜值,湘中地区尤为突出,湘中地区叶片氮含量缺乏果园占85%,含量适宜的果园仅占10%;叶片钾含量缺乏果园达95%,含量适宜果园仅占

表1 不同纬度温州蜜柑园土壤养分含量
Table 1 Soil nutrients content in Satsuma mandarins orchards at different latitudes

地区 Area	项目 Item	pH	ω (有机质) Organic matter content/ (g·kg ⁻¹)		ω (速效磷) Avail P content/ (mg·kg ⁻¹)		ω (速效钾) Avail K content/ (mg·kg ⁻¹)		ω (有效钙) Avail Ca content/ (mg·kg ⁻¹)		ω (有效镁) Avail Mg content/ (mg·kg ⁻¹)		ω (速效铁) Avail Fe content/ (mg·kg ⁻¹)		ω (速效锰) Avail Mn content/ (mg·kg ⁻¹)		ω (速效铜) Avail Cu content/ (mg·kg ⁻¹)		ω (速效锌) Avail Zn content/ (mg·kg ⁻¹)		ω (有效硼) Avail B content/ (mg·kg ⁻¹)		ω (有效钼) Avail Mo content/ (mg·kg ⁻¹)			
			范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差
湘北(n=58) Northern Hunan	范围	3.82~	9.51~	37.89~	0.26~	15.33~	122.20~	44.45~	1.35~	1.10~	0.08~2.83	0.12~6.67	0~1.17	0~0.37												
	Range	7.11	40.44	202.59	306.11	551.33	26 562.79	2 667.98	247.72	100.05																
	平均值±标准差	5.08±	22.50±	98.43±	45.86±	151.97±	5 811.50±	1 107.53±	59.66±	33.86±	0.83±0.50	1.92±1.36	0.27±0.25	0.14±0.08												
	Mean±SD	0.78	6.69	31.55	59.22	98.67	6 401.81	1 012.67	47.94	19.45																
	缺乏 Deficiency	74.0%	15.5%	51.7%	44.8%	31.0%	32.8%	29.3%	5.2%	1.7%	24.1%	25.9%	82.8%	10.3%												
	适宜	19.0%	74.0%	46.6%	39.7%	48.3%	8.6%	19.0%	13.8%	22.4%	44.8%	70.7%	13.8%	72.4%												
湘中(n=36) Central Hunan	范围	7.0%	10.4%	1.7%	15.5%	20.7%	58.6%	51.7%	81.0%	75.9%	31.1%	3.4%	17.3%													
	Range	4.09~	3.98~	29.30~	0.43~	31.58~	301.36~	36.78~	5.25~	0.34~	0.10~12.51	0.03~11.72	0.02~0.49	0.00~0.54												
	平均值±标准差	7.16	34.03	145.12	117.43	328.30	20 943.28	2 539.27	167.26	95.31																
	Mean±SD	5.17±	18.21±	70.79±	27.46±	116.92±	7 053.00±	1 253.89±	59.73±	28.91±	2.19±2.76	3.94±3.48	0.11±0.12	0.12±0.10												
	缺乏 Deficiency	80.6%	27.7%	80.6%	52.8%	52.7%	16.7%	22.2%	2.8%	8.3%	22.2%	19.4%	100.0%	16.7%												
	适宜	8.3%	66.7%	19.4%	38.9%	30.6%	2.7%	2.8%	8.3%	30.6%	16.7%	47.2%	0.0%	75.0%												
湘南(n=53) Southern Hunan	范围	11.1%	5.6%	0.0%	8.3%	16.7%	80.6%	75.0%	88.9%	61.1%	61.1%	33.4%	8.3%													
	Range	3.52~	11.55~	36.75~	0.48~	22~	52.77~	8.48~	1.04~	0.35~	0.07~9.39	0.13~16.4	0.02~1.25	0.01~0.34												
	平均值±标准差	7.58	29.70	121.50	635.45	319	18 308.89	2 650.83	297.44	115.18																
	Mean±SD	5.00±	19.51±	77.18±	39.22±	115.37±	3 999.45±	799.16±	43.08±	19.66±	1.43±1.59	2.03±2.57	0.30±0.35	0.13±0.07												
	缺乏 Deficiency	79.2%	15.1%	83.0%	49.1%	51.0%	39.6%	49.1%	1.9%	11.3%	34.0%	35.8%	73.6%	9.4%												
	适宜	13.2%	84.9%	17.0%	41.5%	37.7%	9.4%	1.9%	11.3%	58.5%	22.6%	58.5%	18.9%	75.5%												
适宜范围 Suitable range	范围	7.6%	0.0%	0.0%	9.4%	11.3%	51.0%	49.0%	58.5%	43.4%	5.7%	7.5%	15.1%													
	Range	5.5~	15.0~30.0	100.0~	15.0~	100.0~	1 000.0~	150.0~	10.0~	5.0~	0.5~1.0	1.0~5.0	0.5~1.0	0.05~0.20												
	Suitable range	6.5	200.0	200.0	80.0	200.0	2 000.0	300.0	20.0	20.0	0.5~1.0	1.0~5.0	0.5~1.0	0.05~0.20												

注:适宜值引自文献[13];“n”表示调查果园数量。

Note: The appropriate value is quoted [13]; “n” indicates the number of investigating orchards.

表2 不同纬度温州蜜柑园叶片营养元素情况

Table 2 Leaf nutrient content of Satsuma mandarins trees in orchards at different latitudes

地区 Area	项目 Item	$\omega(\text{氮})$ N content/ %	$\omega(\text{磷})$ P content/ %	$\omega(\text{钾})$ K content/ %	$\omega(\text{钙})$ Ca content/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{镁})$ Mg content/ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{铁})$ Fe content/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{锰})$ Mn content/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{铜})$ Cu content/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{锌})$ Zn content/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{硼})$ B content/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{钼})$ Mo content/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
湘北($n=58$) Northern Hunan ($n=58$)	范围 Range	1.18~ 3.67	0.10~ 0.28	0.26~ 1.86	8.31~ 38.77	0.72~ 5.47	58.24~ 993.69	12.96~ 157.08	1.32~ 41.26	0.59~ 88.55	15.46~ 92.38	0.04~0.56
	平均值±标准差 Mean±SD	2.13± 0.53	0.17± 0.04	0.73± 0.28	16.81± 7.34	2.23± 1.12	177.22± 129.23	68.62± 33.76	8.76±8.73	16.61± 11.40	36.56± 19.84	0.19±0.14
	缺乏 Deficiency	67.8%	25.4%	86.4%	86.4%	81.3%	13.6%	1.7%	22.0%	84.7%	53.3%	100.0%
	适宜 Optimum range	27.1%	49.2%	11.9%	13.6%	11.9%	18.6%	27.1%	57.6%	13.6%	46.7%	0.0%
	过量 Excess range	5.1%	25.4%	1.7%	0.0%	6.8%	67.8%	71.2%	20.4%	1.7%	0.0%	0.0%
湘中($n=36$) Central Hunan ($n=36$)	范围 Range	1.59~ 3.05	0.10~ 0.20	0.40~ 1.17	12.06~ 33.71	1.15~ 3.16	55.45~ 268.20	21.20~ 178.10	3.24~ 36.83	15.60~ 38.71	12.05~ 90.88	0.06~0.38
	平均值±标准差 Mean±SD	2.11± 0.43	0.15± 0.03	0.74± 0.19	17.77± 7.26	1.96± 0.46	143.45± 64.04	88.51± 45.14	17.94± 13.89	21.95± 5.53	38.66± 21.35	0.20±0.08
	缺乏 Deficiency	85.0%	40.0%	95.0%	85.0%	95.0%	10.0%	0.0%	15.0%	45.0%	44.4%	100.0%
	适宜 Optimum range	10.0%	55.0%	5.0%	15.0%	5.0%	35.0%	30.0%	25.0%	50.0%	55.6%	0.0%
	过量 Excess range	5.0%	5.0%	0.0%	0.0%	0.0%	55.0%	70.0%	60.0%	5.0%	0.0%	0.0%
湘南($n=53$) Southern Hunan ($n=53$)	范围 Range	1.49~ 3.11	0.06~ 0.25	0.30~ 1.82	9.99~ 40.43	0.84~ 3.59	42.68~ 412.91	18.61~ 423.15	1.37~ 41.70	2.35~ 49.73	13.27~ 167.90	0.04~ 0.73
	平均值±标准差 Mean±SD	2.18± 0.48	0.16± 0.04	0.82± 0.42	15.53± 7.00	1.75± 0.52	135.55± 67.34	89.45± 77.58	11.77± 11.51	17.96± 9.04	54.53± 33.61	0.31± 0.16
	缺乏 Deficiency	66.0%	34.0%	64.1%	88.7%	96.2%	15.1%	3.8%	41.5%	58.5%	12.0%	100.0%
	适宜 Optimum range	30.2%	41.5%	30.2%	11.3%	3.8%	30.2%	32.1%	17.0%	37.7%	80.0%	0.0%
	过量 Excess range	3.8%	24.5%	5.7%	0.0%	0.0%	56.7%	64.1%	41.5%	5.8%	8.0%	0.0%
	适宜值 Suitable range	2.5~ 3.0	0.15~ 0.18	1.0~ 1.6	25~ 50	3~ 5	75~ 120	20~ 50	4~ 10	20~ 30	30~ 100	0.75~ 1.25

注:适宜值引自文献[13];“ n ”表示调查果园数量。

Note: The appropriate value is quoted [13]; “ n ” means the number of investigating orchards.

5%。3个地区温州蜜柑叶片磷含量的平均值均高于适宜值,但仍有25.4%~40.0%的果园低于适宜值。

3个地区多数温州蜜柑叶片的铁、锰含量平均值高于适宜值,表现为过量,其中湘北叶片铁含量最高,达 $177.22\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,湘南叶片锰含量最高,达 $89.45\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。3个地区温州蜜柑叶片平均硼含量适宜,但湘北、湘中地区仍有44.4%~53.3%的果园叶片缺硼。湘北、湘南地区的温州蜜柑叶片锌含量缺乏,湘中地区叶片锌含量平均值为 $21.95\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,略高于适宜值,但仍有45.0%的果园缺锌。所有地区叶片钙、镁、钼含量皆远低于适宜值,其中钙、镁元素缺乏果园比例分别为85.0%~88.7%和81.3%~96.2%,钼元素缺乏果园比例高达100%,表现为严重缺乏。其中,温州蜜

柑叶片铁、镁含量表现为由北向南逐渐降低的趋势,而钾、锰、硼、钼含量呈现由北向南逐渐升高的趋势。由以上分析可知,湖南不同纬度温州蜜柑园叶片磷、硼略微缺乏,氮、钾、锌不足,钙、镁、钼严重缺乏,需根据不同缺乏程度补充叶片养分。

2.3 不同纬度温州蜜柑园果实的养分含量与品质状况

不同纬度间温州蜜柑果实氮、磷、钾含量有一定的区别(表3),各地区果实磷含量均较低,基本分布在0.10%~0.12%,但湘北地区果实氮含量显著高于湘中地区,两地果实磷含量则趋于相反,湘中地区显著高于湘北地区;果实钾含量表现为从北往南依次升高的趋势,在湘南地区达到最高值(0.62%)。不同纬

表3 不同纬度温州蜜柑果实品质对比

Table 3 The comparison of fruit quality of Satsuma mandarins from orchards in different latitudes

项目 Item	湘北 Northern Hunan	湘中 Central Hunan	湘南 Southern Hunan
ω (氮)N content/%	0.86±0.18 a	0.72±0.27 b	0.77±0.17 ab
ω (磷)P content/%	0.10±0.03 b	0.12±0.03 a	0.11±0.03 ab
ω (钾)K content/%	0.52±0.20 a	0.58±0.28 a	0.62±0.20 a
ω (可溶性固形物) TSS content/%	10.19±0.84 a	10.38±1.95 a	10.87±1.36 a
ρ (可滴定酸) TA content/ (g·100 mL ⁻¹)	0.82±0.21 a	0.73±0.17 a	0.79±0.25 a
ρ (维生素)C Vitamin C content/ (mg·100 mL ⁻¹)	123.98±76.89 a	101.46±79.58 a	137.76±81.29 a
ρ (总糖) Total sugar content/ (g·100 mL ⁻¹)	9.96±1.42 a	10.23±1.82 a	10.15±1.50 a
固酸比 TSS/TA	12.86±3.50 a	14.96±4.19 a	14.07±3.96 a

注:同行数字后的不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

Note: The different small letters followed the data in each line represent statistical significance at 0.05 level.

度温州蜜柑果实可溶性固形物含量表现出明显的由北往南逐渐升高的趋势,但未出现显著差异。在可滴定酸含量(ρ ,后同)上,湘北地区最高,为0.82 g·100 mL⁻¹,湘中地区最低,为0.73 g·100 mL⁻¹,湘南介于二者之

间。不同地区果实的维生素C含量(ρ ,后同)差异较小,湘南地区最高,为137.76 mg·100 mL⁻¹,湘中地区最低,为101.46 mg·100 mL⁻¹。温州蜜柑果实总糖含量(ρ ,后同)为9.96~10.23 g·100 mL⁻¹,不同纬度温州蜜柑果实总糖含量无显著差异。湘中地区的果实固酸比最高,达到了14.96;湘北地区固酸比最低,为12.86。

将果实各项品质指标与各产地纬度值进行回归分析,结果表明,纬度(x)与果实钾含量(y)的线性回归方程为: $y=-0.024x+1.231$ ($P > F=0.03$),与其他果实品质指标未表现出明显的相关关系。

2.4 果园土壤养分、叶片营养和果实品质的相关性分析

2.4.1 不同纬度温州蜜柑园土壤、叶片和果实营养元素含量的相关性 如表4所示,除锌、镁、钙和钼元素外,土壤与叶片其他养分含量的相关性不强。湘北地区土壤锌含量与叶片锌含量呈极显著正相关,湘北地区与湘中地区的土壤钙、钼含量与叶片钙、钼含量分别呈极显著负相关和显著负相关;湘南地区仅土壤镁含量与叶片镁含量呈显著正相关。3个地区叶片钾含量皆与果实中钾含量呈显著或极显著正相关,湘中和湘南地区叶片氮含量与果实中氮含量分别呈极显著正相关和显著正相关。土壤中矿质元素含量与果实中矿质元素含量无明显相关关系。

表4 不同纬度温州蜜柑园土壤、叶片和果实营养元素含量的相关性

Table 4 Correlation coefficient among soil nutrients, leaf nutrients and fruit nutrients of Satsuma mandarins orchards in different latitudes

地点 Area	项目 Item	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
湘北 Northern Hunan	土壤中含量与叶片中含量 Contents in soil and in leaves	0.235	-0.151	0.018	-0.369**	0.220	0.097	0.233	-0.201	0.462**	0.089	-0.294*
	叶片中含量与果实中含量 Contents in leaves and in fruit	-0.172	-0.013	0.762**	-	-	-	-	-	-	-	-
	土壤中含量与果实中含量 Contents in soil and in fruit	-0.261	0.237	-0.031	-	-	-	-	-	-	-	-
湘中 Central Hunan	土壤中含量与叶片中含量 Contents in soil and in leaves	0.331	-0.013	0.306	-0.492**	-0.274	0.291	0.162	0.036	0.287	-0.043	-0.462*
	叶片中含量与果实中含量 Contents in leaves and in fruit	0.541**	0.194	0.456*	-	-	-	-	-	-	-	-
	土壤中含量与果实中含量 Contents in soil and in fruit	0.075	-0.297	0.027	-	-	-	-	-	-	-	-
湘南 Southern Hunan	土壤中含量与叶片中含量 Contents in soil and in leaves	-0.267	-0.156	0.025	-0.308	0.347*	-0.158	-0.102	-0.081	0.259	0.156	0.079
	叶片中含量与果实中含量 Contents in leaves and in fruit	0.361*	0.185	0.755**	-	-	-	-	-	-	-	-
	土壤中含量与果实中含量 Contents in soil and in fruit	-0.039	-0.130	0.051	-	-	-	-	-	-	-	-

注:*和**分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 显著相关。下同。

Note: * and ** indicate significant correlation at $P < 0.05$ and $P < 0.01$, respectively. The same below.

2.4.2 不同纬度温州蜜柑园土壤养分与果实品质的相关性 从表5得知,在湘北地区,其中呈显著正相关的有可溶性固形物含量与碱解氮含量、可溶性固形物含量与速效磷含量、维生素C含量与有效钼含量、可滴定酸含量与碱解氮含量、可滴定酸含量与速效铜含量、固酸比与速效磷含量,呈显著负相关的有固酸比与速效磷含量,呈极显著负相关的有固酸比与有效镁含量。湘中地区的速效磷、有效镁含量分别与可溶性固形物含量呈极显著正相关和显著负相关;有效镁、有效硼含量与总糖含量呈显著负相关和显著正相关;速效铜含量与可滴定酸含量呈显著负相关。湘南地区主要集中在速效钾、锰、锌含量3者

上,速效钾含量与可滴定酸含量呈显著正相关;速效锰含量与可溶性固形物含量和维生素C含量分别呈极显著负相关和极显著正相关;速效锌含量与维生素C含量和总糖含量分别呈极显著正相关和显著负相关。

从表5可以看出,不同纬度果园土壤矿质元素含量与果实品质指标存在着不同的相关系数,说明土壤营养与果实品质间的关系较为复杂,用简单的相关分析无法反映它们之间的实际关系,需要借助多元统计分析方法进一步探讨其相关性。笔者应用多元线性逐步回归分析方法^[14],以土壤有机质(x_1)、碱解氮(x_2)、速效磷(x_3)、速效钾(x_4)、速效铁(x_5)、速

表5 不同纬度温州蜜柑园土壤养分含量与果实品质指标间的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between soil nutrient contents and fruit quality indexes of Satsuma mandarins from orchards in different latitudes

地区 Area	项目 Item	有机质 Organic matter	碱解氮 Alkaline N	速效磷 Avail P	速效钾 Avail K	有效钙 Avail Ca	有效镁 Avail Mg	速效铁 Avail Fe	速效锰 Avail Mn	速效铜 Avail Cu	速效锌 Avail Zn	有效硼 Avail B	有效钼 Avail Mo
湘北 Northern Hunan	可溶性固形物含量 TSS content		0.476*	0.447*									
	维生素C含量 Vitamin C content												0.375*
	总糖含量 Total sugar content												
	可滴定酸含量 TA content		0.464*							0.409*			
	固酸比 TSS/TA			0.443*			-0.441*				-0.490**		
湘中 Central Hunan	可溶性固形物含量 TSS content			0.869**			-0.772*						
	维生素C含量 Vitamin C content												
	总糖含量 Total sugar content						-0.742*					0.770*	
	可滴定酸含量 TA content									-0.707*			
	固酸比 TSS/TA												
湘南 Southern Hunan	可溶性固形物含量 TSS content								-0.597**				
	维生素C含量 Vitamin C content								0.623**		0.519**		
	总糖含量 Total sugar content												-0.488*
	可滴定酸含量 TA content												0.449*
	固酸比 TSS/TA												

效锰(x_6)、速效铜(x_7)、速效锌(x_8)、有效钙(x_9)、有效镁(x_{10})、有效硼(x_{11})、有效钼(x_{12})为一个总体,果实可溶性固形物(y_1)、可滴定酸(y_2)、维生素C(y_3)、总糖(y_4)、固酸比(y_5)为另一总体,依据多元线性逐步回归系数的大小,结合专业知识和统计分析特点筛选出影响温州蜜柑果实品质的土壤养分因子,并建立相应的线性回归方程(表6)。从表6可以看出,应

用多元线性逐步回归筛选出的影响温州蜜柑果实品质因子的土壤营养因子与单因素相关分析筛选出来的营养因子存在较大差异,表明在土壤营养与果实品质关系研究中仅用简单相关分析是不够全面的。

由表6可知,在湘北地区,温州蜜柑果实的可溶性固形物含量与土壤速效锰、有效硼含量呈正相关,湘中地区可溶性固形物含量与土壤有机质、碱解氮

表 6 多元线性逐步回归分析

Table 6 Multiple linear stepwise regression analysis

地区 Area	线性回归方程 Linear regressive equation	F 值 F value	Pr>f 显著性 Pr>f significance	相关系数平方, R ² Correlation coefficient square, R ²
湘北 Northern Hunan	$y_1=8.786+0.018x_6+3.015x_{11}$	8.710	0.002	0.466
	$y_2=0.653+0.118x_8$	8.806	0.006	0.253
	$y_3=1.266x_3-24.626x_8+0.081x_{10}$	60.755	0.000	0.871
	$y_4=0.145x_1+0.002x_{10}+10.454x_{11}+8.894x_{12}$	118.223	0.000	0.952
	$y_5=16.054-0.002x_{10}$	8.590	0.009	0.311
湘中 Central Hunan	$y_1=7.729+0.026x_1+0.022x_2$	16.961	0.010	0.772
	$y_2=0.63+0.000\ 051x_8$	12.831	0.006	0.588
	$y_3=45.231+0.101x_9$	200.245	0.000	0.943
	$y_4=0.103x_1+0.003x_9$	84.983	0.000	0.950
	$y_5=16.705-0.004x_9$	13.738	0.005	0.560
湘南 Southern Hunan	$y_1=11.411-0.023x_5$	10.448	0.003	0.240
	$y_2=0.653+0.000\ 020\ 2x_8$	8.061	0.008	0.218
	$y_3=143.768-111.399x_{10}$	8.505	0.006	0.210
	$y_4=0.196x_1$	6.634	0.015	0.181
	$y_5=17.268-0.002x_9$	7.481	0.011	0.205

含量呈正相关, 湘北地区则与速效铁含量呈负相关。3个地区的果实可滴定酸含量皆与土壤速效锌含量呈正相关。在果实维生素C含量上3个地区差异较大, 湘北地区主要受土壤速效磷、速效锌、有效镁含量影响, 湘中地区表现为与土壤有效钙含量相关, 湘南地区主要受有效镁含量影响。在湘北地区, 果实总糖含量与土壤有机质、有效镁、有效硼、有效钼含量呈正相关, 湘中地区与土壤有机质、有效钙含量呈正相关, 湘南地区受土壤有机质含量影响较大。湘中和湘南地区的果实固酸比皆与土壤有效钙含量呈负相关, 湘北地区则与土壤有效镁含量呈负相关。综上可知, 湖南不同纬度温州蜜柑果实品质主要受土壤有机质、速效锌、有效钙、有效镁、有效硼等矿质营养含量的综合影响。

3 讨 论

不同纬度温州蜜柑园的矿质营养和果实品质各异, 通过对各纬度温州蜜柑园土壤矿质营养、叶片营养状况、果实品质的调查和分析, 可以找出各纬度果园土壤管理中存在的问题。柑橘适宜生长土壤pH值为5.5~6.5^[15], 本研究中3个地区超过70%的温州蜜柑园土壤呈酸性或强酸性, 这可能与柑橘栽培过程中长期施用化肥有关^[16-17], 土壤酸化导致土壤中氮、硼含量严重缺乏, 这与前人报导的土壤中氮、硼含量与pH呈显著正相关的结论一致^[18]。酸性土壤果园要通过施用石灰、增施有机肥、减少化肥等手段

来提高土壤pH。土壤有机质是土壤肥力的重要体现^[19], 本研究中湘北、湘中、湘南多数橘园的土壤有机质含量充足。研究表明, 橘园土壤有机质含量与土壤速效氮、磷、铁、锰、铜、锌含量呈显著正相关^[20], 本研究中不同纬度的3个地区橘园土壤有效钙、镁、铁元素过量, 锌、钼元素含量适宜, 而碱解氮、有效硼缺乏; 磷、钾元素平均含量适宜, 缺乏果园比例为31%~53%。锰在湘南地区含量适宜, 在湘北和湘中地区过量; 铜元素在湘北地区缺乏, 在湘中和湘南地区过量。这可能是由果实成熟期树体、果实吸收了土壤中大量氮、磷、钾元素后而未及时得到补充所导致的。

叶片营养直接来自于土壤, 锌、钙、镁、钼在土壤中表现适宜或过量而在叶片中表现缺乏, 与吴倩等^[21]在湖南‘麻阳冰糖橙’上的报道一致, 初步推测可能与较差的土壤理化性质阻碍根系吸收养分有关。锌、钙等元素在植株体内移动性差, 主要贮存在根系和茎干部位, 叶片中含量较低。可以通过增施有机肥、改善土壤pH和通气状况等提高植株根系活力, 以促进树体对养分的吸收。湘北、湘中地区半数温州蜜柑园叶片硼缺乏, 土壤硼也缺乏, 表明湘北、湘中地区各果园土壤中有效硼严重缺乏, 不能供树体正常生长所需。土壤中速效钾、速效锰含量从北到南依次递减, 而在叶片中表现为由北向南依次增加, 推测是南部较强的蒸腾作用加速了土壤溶液中溶质向根的运输, 再者较高的气温影响酶的活性, 加速树

体对矿质元素的吸收^[22],故叶片中钾、锰元素表现为南部最高;树体吸收较多,土壤中钾、锰元素含量相对减少,故土壤中钾、锰元素表现为北部最高。在3个地区中,温州蜜柑果实可溶性固形物含量、维生素C含量、可滴定酸含量、总糖含量、固酸比皆无显著性差异,且皆达到并超过我国现行的绿色食品-柑橘类水果的质量标准^[23],但可溶性固形物含量表现为从北向南依次递增的趋势,表明湖南低纬度地区温州蜜柑品质强于高纬度地区。

不同的矿质营养对柑橘果实品质的影响各异,笔者发现,应用多元线性逐步回归分析(表6)与单因子相关分析(表5)筛选出来的土壤因子有所差异。因此,在土壤营养与果实品质关系的研究中仅用简单的相关分析不够全面,需要采用多元分析方法。在本研究中,影响不同纬度温州蜜柑果实可滴定酸含量和固酸比的土壤矿质营养因子大多相同,影响不同纬度温州蜜柑果实可溶性固形物含量、维生素C含量和总糖含量的土壤矿质营养因子存在较大差异。在所有土壤矿质元素中,土壤有机质、速效锌、有效钙、有效镁、有效硼含量对果实综合品质影响较大,这与Li等^[3]、刘松忠等^[24]、车玉红等^[25]的结论一致。

4 结 论

湖南省不同纬度温州蜜柑园土壤pH较低,需改善各地区土壤pH。在土壤施肥方面需补充氮、硼肥,局部地区补充磷、钾肥;在叶面肥方面需补充较多元素,如氮、钾、锌、钙、镁、钼元素,同时应改良土壤环境,提高根系活力,促进树体对养分的吸收。对湖南省不同纬度温州蜜柑果实品质分析发现,湖南省不同纬度温州蜜柑果实品质差异较小。对土壤、叶片和果实营养元素的分析发现,多数矿质营养在土壤、叶片、果实3者间的相关性不明显,因此在土壤和叶片施肥上应区分补充。果实品质受不同矿质营养共同影响,土壤有机质、速效锌、有效钙、有效镁、有效硼含量对果实品质影响较大,可在栽培管理环节通过增施有机肥、及时补充微量元素、改善土壤理化性质等措施提高果实品质。

参考文献 References:

- [1] 张强,魏钦平,蒋瑞山,刘旭东,刘惠平,王小伟.北京苹果主产区果园土壤理化性状和果实品质评价分析[J].园艺学报,2011,38(11):2180-2186.
- [2] ZHANG Qiang, WEI Qinqing, JIANG Ruishan, LIU Xudong, LIU Huiping, WANG Xiaowei. Evaluation 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.
- [3] NEILSEN D, NEILSEN G. Nutritional effects on fruit quality for apple trees [J]. New York Fruit Quarterly, 2009, 17: 21-24.
- [4] LI Y, HAN M Q, LIN F, Y TEN, J LIN. Soil chemical properties, 'Guanximiyou' pummelo leaf mineral nutrient status and fruit quality in the southern region of Fujian province, China [J]. Journal of Soil Science & Plant Nutrition, 2015, 15(ahead): 263-269.
- [5] TARIQ M, SHARIF M, SHAH Z, KHAN R. Effect of foliar application of micronutrients on the yield and quality of sweet orange (*Citrus sinensis* L.) [J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2007, 10(11): 1823-1828.
- [6] 刘运武.施用氮肥对温州蜜柑产量和品质的影响[J].土壤学报,1998,35(1):124-128.
LIU Yunwu. Effects of nitrogen fertilizer on yield and quality of citrus[J]. Acta Pedologica Sinica, 1998, 35(1): 124-128.
- [7] 张林,石学根,凡改恩,林媚.土壤和叶片养分与温州蜜柑果实品质的关系[J].浙江农业科学,2010,1(5):961-963.
ZHANG Lin, SHI Xuegen, FAN Gai'en, LIN Mei. Relationship between soil and leaf nutrient quality and fruit quality of Satsuma mandarins[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2010, 1(5): 961-963.
- [8] PENG H Y, QI Y P, LEE J, YANG L T, GUO P, JIANG H X. Proteomic analysis of *Citrus sinensis* roots and leaves in response to long-term magnesium-deficiency [J]. BMC Genomics, 2015, 16(1): 253.
- [9] ORGAN E T M, OBERT R, OUSE E R, OUSE E R, RITZ F, OKA M R, TEPHEN S. Leaf and fruit mineral content and peel thickness of 'Hamlin' orange[J]. 2005, 118: 19-21.
- [10] 卢晓鹏,李静,曹雄军,熊江,彭际森,谢深喜.湘西椴柑园土壤pH值和树龄与土壤养分及果实品质的关系[J].中国南方果树,2015,44(1):21-25.
LU Xiaopeng, LI Jing, CAO Xiongjun, XIONG Jiang, PENG Jimiao, XIE Shenxi. Relationship between soil pH and age and soil nutrient and fruit quality in ponkan soil of Xiangxi[J]. South China Fruits, 2015, 44(1): 21-25.
- [11] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
BAO Shidan. Analysis of soil aggregation[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [12] 马宗琪,衣宁,杨发斌,李文杰,李文佳,邱念伟,王凤德.植物中氮磷钾元素含量的快速测定方法[J].现代农业科技,2014(1):140-142.
MA Zongqi, YI Ning, YANG Fabin, LI Wenjie, LI Wenjia, QIU Nianwei, WANG Fengde. Rapid determination of nitrogen, phosphorus and potassium content in plants[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2014(1): 140-142.

- [12] 李玲. 植物生理学模块试验指导[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
LI Ling. Plant physiology module test guidance[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [13] 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]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2003.
- [14] 陈希孺, 王松桂. 近代回归分析[M]. 合肥: 安徽教育出版社, 1987.
CHEN Xiru, WANG Songgui. Modern regression analysis[M]. Hefei: Anhui Education Press, 1987.
- [15] 陈杰忠. 果树栽培学各论·南方本[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
CHEN Jiezhong. The theory of fruit trees·southern edition [M]. 2nd ed. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [16] 蔡泽江, 孙楠, 王伯仁, 徐明岗, 黄晶, 张会民. 长期施肥对红壤 pH、作物产量及氮、磷、钾养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 71-78.
CAI Zejiang, SUN Nan, WANG Boren, XU Minggang, HUANG Jing, ZHANG Huimin. Effects of long-term fertilization on pH of red soil, crop yields and uptakes of nitrogen, phosphorous and potassium[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(1): 71-78.
- [17] MALHI S S, NYBORG M, HARAPIAK J T. Effects of long-term N fertilizer-induced acidification and liming on micronutrients in soil and in bromegrass hay [J]. Soil & Tillage Research, 1998, 48(1/2): 91-101.
- [18] 黄春辉, 曲雪艳, 刘科鹏, 冷建华, 涂贵庆, 李帮明, 徐小彪. ‘金魁’猕猴桃园土壤理化性状、叶片营养与果实品质状况分析[J]. 果树学报, 2014, 31(6): 1091-1099.
HUANG Chunhui, QU Xueyan, LIU Kepeng, LENG Jianhua, TU Guiqing, LI Bangming, XU Xiaobiao. Analysis of soil physicochemical properties, leaf nutrients and fruit qualities in the orchards of ‘Jinkui’ kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) [J]. Journal of Fruit Science, 2014, 31(6): 1091-1099.
- [19] 范富, 于显双. 土壤肥科学[M]. 赤峰: 内蒙古科学技术出版社, 2003.
FAN Fu, YU Xianshuang. Soil and fertilizer science Inner[M]. Chifeng: Inner Mongolia Science and Technology Press, 2003.
- [20] 王秀英. 重庆地区柑橘园土壤养分现状与优化施肥研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011.
WANG Xiuying. Study on soil nutrient status of citrus orchards and optimization fertilization in Chongqing area[D]. Chongqing: Southwest University, 2011.
- [21] 吴倩, 付威宾, 胡成, 谢深喜, 熊江, 张子木, 马小川, 卢晓鹏. 麻阳冰糖橙果园营养状况与果实品质状况分析[J]. 中国农学通报, 2017, 33(6): 97-103.
WU Qian, FU Weibin, HU Cheng, XIE Shenxi, XIONG Jiang, ZHANG Zimu, MA Xiaochuan, LU Xiaopeng. The relationship between orchard nutrient status and quality of Bingtang sweet orange in Mayang county[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2017, 33(6): 97-103.
- [22] 肖浪涛, 王三根. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
XIAO Langtao, WANG Sangen. Plant physiology[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2008.
- [23] 中华人民共和国农业部. 绿色食品-柑橘类水果: NY/T 426—2012 [S]. 北京: 中国农业出版社, 2012.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Green food-Citrus fruits: NY/T 426—2012 [S]. Beijing: China Agriculture Press, 2012.
- [24] 刘松忠, 张强, 赵昌杰, 毕宁宁, 王小伟. 果园土壤有机质对土壤特性与果实品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(36): 21104-21106.
LIU Songzhong, ZHANG Qiang, ZHAO Changjie, BI Ningning, WANG Xiaowei. Effect of soil organic matter on soil characteristics and fruit quality in orchard[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(36): 21104-21106.
- [25] 车玉红, 李丙智, 王应刚, 张林森, 冯存良. 钙肥对富士苹果品质及 Ca^{2+} -ATPase 活性影响的研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(4): 803-805.
CHE Yuhong, LI Bingzhi, WANG Yinggang, ZHANG Linsen, FENG Cunliang. Effects of different calcium fertilizers on fruit quality and Ca^{2+} -ATPase activity of Red Fuji apple [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2005, 25(4): 803-805.