

# ‘次郎’甜柿土壤养分、叶片养分与果实品质的多元分析及优化方案

刘同祥<sup>1</sup>, 龚榜初<sup>1\*</sup>, 徐阳<sup>1</sup>, 邱有尚<sup>2</sup>, 周志斌<sup>2</sup>, 丁榆<sup>2</sup>, 周顺元<sup>3</sup>

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江省林木育种技术研究重点实验室, 浙江 杭州 311400;

2. 云南省保山市隆阳区果树蔬菜技术推广站, 云南 保山 678000; 3. 浙江省兰溪市林业科学研究所, 浙江 兰溪 321100)

**摘要:** [目的] 研究‘次郎’甜柿土壤养分、叶片养分与果实品质的关系, 探讨优质‘次郎’甜柿土壤养分、叶片养分适宜方案, 为果园优质高效栽培、改善果品品质提供科学依据和技术方案。 [方法] 运用典型相关分析、多元回归分析、线性规划等方法对云南省保山市隆阳区‘次郎’甜柿园土壤养分、叶片养分和果实品质进行综合分析。 [结果] ‘次郎’甜柿果实品质是土壤、叶片中各种矿质营养元素综合作用的结果, 其中, 对单果质量影响较大的因子为叶片全磷、全钾、全镁及土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾、有效铁, 果实硬度主要受叶片全磷、全钾、全钙、全镁、全铜的影响, 而土壤有机质对所有果实品质指标均有促进作用。总体上, 所调查‘次郎’甜柿园土壤养分含量较为充足, 叶片养分含量偏低。 [结论] 当地甜柿园土壤养分的优化方案为: 有机质  $60.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全氮  $2.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 碱解氮  $40.58 \sim 200.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效磷  $17.95 \sim 80.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $35.00 \sim 448.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 交换性钙  $2.53 \sim 11.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 交换性镁  $150.10 \sim 1\,000.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效铁  $107.56 \sim 300.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 有效锰  $100.20 \sim 450.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。叶片养分的优化方案为: 全氮  $15.00 \sim 20.22 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全磷  $1.09 \sim 2.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全钾  $15.93 \sim 30.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全钙  $10.00 \sim 40.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全镁  $2.00 \sim 9.70 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全铁  $0.05 \sim 0.20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全锰  $0.50 \sim 1.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全铜  $1.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全锌  $5.00 \sim 60.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。与理论值相比, 当地甜柿园应适时增施有机肥, 适当减少氮肥施用, 增施磷、钾肥, 注重大量肥料与各种微量肥料配合施用。

**关键词:** 甜柿; 土壤养分; 叶片养分; 果实品质; 多元分析; 优化方案

中图分类号: S665.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2017)05-0812-11

## Multivariate Analysis and Optimum Proposals of Soil Nutrient and Leaf Nutrient with Fruit Qualities in ‘Jiro’ Persimmon Orchard

LIU Tong-xiang<sup>1</sup>, GONG Bang-chu<sup>1</sup>, XU Yang<sup>1</sup>, QIU You-shang<sup>2</sup>, ZHOU Zhi-bin<sup>2</sup>,  
DING Yu<sup>2</sup>, ZHOU Shun-yuan<sup>3</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Tree Breeding of Zhejiang Province, Hangzhou 311400, Zhejiang, China; 2. Technical Extension Station of Fruit Trees and Vegetables of Longyang District, Baoshan City, Yunnan Province, Baoshan 678000, Yunnan, China; 3. Research Institute of Forestry of Lanxi City, Zhejiang Province, Lanxi 321100, Zhejiang, China)

**Abstract:** [Objective] The objective of the experiment is to provide theoretical support and obtain a technical proposal for improving the fruit quality and high-efficient cultivation, the influence of soil nutrients and leaf nutrients on fruit quality and optimum quantity of soil and leaf nutrient elements for good fruit qualities of ‘Jiro’ were studied.

收稿日期: 2017-01-05

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划课题“涩柿和甜柿高效生产关键技术研究与示范”(2013BAD14B05); 浙江省农业(果品)新品种选育重大科技专项“柿枣新品种选育”(2016C02052-10)。

作者简介: 刘同祥(1991—), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 主要从事经济林栽培与育种研究。

\* 通讯作者: 龚榜初, 男, 研究员, 主要从事经济林栽培与育种研究。E-mail: gongbc@126.com.

[**Method**] The soil nutrient contents, leaf nutrient contents and fruit qualities of ‘Jiro’ orchards in Longyang District, Baoshan City were investigated, the methods of canonical correlation analysis and linear program and multivariate linear regression were used to screen the major soil nutrient factors and leaf nutrient factors affecting fruit qualities. The alternative optimum proposals of soil nutrients and leaf nutrients for good fruit qualities were obtained.

[**Result**] The quality of ‘Jiro’ persimmon fruit is comprehensive affected by various mineral elements of soil and leaves. The total phosphorus, total potassium and total magnesium content of leaf, organic matter, total nitrogen, available phosphorus, available potassium and available iron of soil are the major factors affecting fruit weight. The hardness of fruit is mainly affected by total phosphorus, total potassium, total calcium, total magnesium and total copper in leaf. And Soil organic matters have positive effects on all fruit quality indexes. Moreover, the results indicate that there is sufficient soil nutrient content but lower leaf nutrient content in ‘Jiro’ orchards of Baoshan City.

[**Conclusion**] The optimum proposal of soil nutrient elements content for ‘Jiro’ is  $60 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  of organic matter,  $2.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  of total N,  $40.58 \sim 200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  of alkaline N, and  $17.95 \sim 80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $35 \sim 448.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $107.56 \sim 300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $100.2 \sim 450 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  of available P, K, Fe, Mn,  $2.53 \sim 11 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $150.1 \sim 1\,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  of exchangeable Ca, Mg. The optimum proposal of leaf nutrient elements content for ‘Jiro’ is  $15 \sim 20.22 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $1.09 \sim 2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $15.93 \sim 30 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $10 \sim 40 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $2 \sim 9.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $0.05 \sim 0.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $0.495 \sim 1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $5 \sim 60 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  of total N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn. Compared with the theoretical value, the local persimmon orchard should be appropriate to increase application of organic fertilizer, phosphorus and potash fertilizer, reduce application of nitrogen fertilizer, optimize the application proportion of microelement fertilizer.

**Keywords:** persimmon; soil nutrient content; leaf nutrient content; fruit qualities; multivariate analysis; optimum proposal

柿 (*Diospyros kaki* Thunb.) 属柿科 (Ebenaceae) 柿属 (*Diopsiros* L.) 落叶乔木, 是著名的“木本粮食”和“铁杆庄稼”<sup>[1]</sup>, 在我国有 3 000 多年的栽培史, 我国也是柿栽培面积和产量最大的国家<sup>[2]</sup>。但我国主栽品种多为涩柿, 其果实品质与经济效益有待提高<sup>[3]</sup>。甜柿可自然脱涩, 其果实营养丰富, 富含糖类、维生素和多种微量元素, 含量超过苹果 (*Malus pumila* M.)、梨 (*Pyrus* spp.)、葡萄 (*Vitis vinifera* L.) 等水果<sup>[4]</sup>, 且风味爽口甜脆, 除鲜食外还可用于加工, 市场前景广阔。

自 20 世纪 80 年代起, 我国从日本引种甜柿成功后, 甜柿在全国 20 多个省市已有栽培, 面积达  $15 \sim 1.33 \text{ 万} \text{ hm}^2$ , 且栽培面积和规模每年不断扩大。‘次郎’ (*D. kaki* Thunb ‘Jiro’) 甜柿因其适应性强, 与‘君迁子’ (*D. lotus* L.) 等砧木亲和性好, 易管理等优点, 成为我国广为种植的重要主栽品种。如云南省保山市共有‘次郎’甜柿  $4\,500 \text{ hm}^2$ , 年产甜柿 3 万余 t, 成为当地的重要支柱产业, 是全国最大的甜柿产区。

矿质营养是甜柿生长发育、产量品质提高的物质基础<sup>[5]</sup>。土壤养分和肥力状况直接影响甜柿的产

量和品质, 而叶片是土壤矿质营养的储藏库和果实生长发育所需矿质营养的供给源<sup>[6]</sup>。前人对苹果<sup>[7]</sup>、猕猴桃 (*Actinidia chinensis* P.)<sup>[8]</sup>、烟草 (*Nicotiana tabacum* L.)<sup>[9]</sup> 等种植园土壤、叶片养分与果实品质的关系已进行大量研究, 结果表明土壤和叶片养分与果实品质间关系密切。宋少华等<sup>[10]</sup> 运用典型相关分析方法研究了陕西‘阳丰’甜柿园土壤养分与果实品质的关系, 筛选出影响‘阳丰’甜柿果实品质的主要土壤因子, 并获得土壤养分含量优化方案。Souza<sup>[11]</sup> 等研究了‘富有’甜柿叶片矿质营养与果实品质的关系。但关于‘次郎’甜柿的研究尚未开展, 且以往研究仅对土壤或叶片单一地进行分析, 缺少对土壤、叶片与果实品质的综合分析, 研究结果也不尽相同。据此, 本研究通过对云南省保山市隆阳区‘次郎’甜柿园土壤、叶片养分和果实品质的调查, 运用典型相关分析、多元回归分析、线性规划等方法, 分析影响‘次郎’甜柿品质的主要土壤、叶片矿质养分因子, 探讨优质‘次郎’甜柿土壤养分、叶片养分优化方案, 为果园优质高效栽培、改善果品品质提供科学依据和技术方案, 也为其它地区甜柿栽培提供参考。

# 1 材料与方 法

## 1.1 供试材料与处理

2015年6月至2016年10月,在云南省保山市隆阳区连续2 a 选择19个稳产甜柿园进行调查(表1),果园栽培品种‘次郎’,砧木‘君迁子’,树龄8~12 a,株行距3 m × 4 m。在每个果园中用“S”形法选取长势一致、树龄一致的健壮柿树20株,7月上旬叶片营养元素稳定时进行叶片取样,于每株树的东、南、西、北4个方向选取树冠外围中上部健壮营养枝中部的成熟、健康、完整叶片各1片(带叶柄),每株取4片,每个果园总共取80片叶,去离子水冲洗干净后,去掉叶柄,105℃下杀青20 min,然后在70~80℃下烘干至恒质量,粉碎后过筛,测定叶片养

分;每年冬季12月份且连续1个月未进行施肥时采集土壤样品,每年采集1次。于每个果园选取的20株样树中,用“S”形法每隔2株树选1个取样点,每个果园选6个样点。在树冠外围滴水线附近分别采集0~30 cm和30~60 cm两层土样,每层取土1 kg左右。分层将所有样点土样混合均匀,除去杂草、树根和石块等杂物,用四分法每层取土1 kg左右。取样时避开施肥沟、田埂、沟边、堆肥处等特殊部位。取好的土样置于阴凉干燥处风干后,过2 mm土壤筛,测定土壤养分。每年10月上旬果实成熟期,于每株树树冠外围中上部东、南、西、北4个方向各随机选取1个柿果,每个果园共取80个柿果,带回实验室测定果实品质。

表1 所调查果园基本概况

Table 1 Basic general conditions in ‘Jiro’ persimmon orchards

果园编号 Orchard number	地点 Location	面积 Area/hm <sup>2</sup>	树龄 Age/a	株行距 Planting spacing/(m × m)	树高 Height/m	地径 Ground diameter/cm	平均冠幅 Crown diameter/m
1	新街乡(Xinjie Village)	10	11	3 × 4	2.46	10.28	2.95
2	新街乡(Xinjie Village)	15	11	3 × 4	2.78	10	2.95
3	新街乡(Xinjie Village)	18	11	3 × 4	2.84	11.05	3.33
4	新街乡(Xinjie Village)	120	8	3 × 4	2.51	7.74	2.67
5	板桥镇(Banqiao Town)	30	12	3 × 4	3.71	10.79	4.13
6	板桥镇(Banqiao Town)	20	10	3 × 4	4.26	9.11	3.21
7	板桥镇(Banqiao Town)	12	9	3 × 4	3.12	8.55	3.40
8	板桥镇(Banqiao Town)	40	8	3 × 4	2.99	7.77	3.37
9	板桥镇(Banqiao Town)	50	9	3 × 4	2.85	8.63	3.33
10	石亩河(ShiMu River)	10	10	3 × 4	2.78	9.17	3.44
11	石亩河(ShiMu River)	11	10	3 × 4	3.14	10.1	3.35
12	西山脚(Xishan feet Village)	15	12	3 × 4	3.48	11.96	4.43
13	西山脚(Xishan feet Village)	15	10	3 × 4	3.16	9.71	3.49
14	西山脚(Xishan feet Village)	10	12	3 × 4	3.66	11.06	3.68
15	西山脚(Xishan feet Village)	11	10	3 × 4	2.78	9.56	2.65
16	西山脚(Xishan feet Village)	20	9	3 × 4	2.71	8.74	3.10
17	西山脚(Xishan feet Village)	12	9	3 × 4	3.47	9.6	3.33
18	西山脚(Xishan feet Village)	10	10	3 × 4	3.57	10.33	3.5
19	西山脚(Xishan feet Village)	10	12	3 × 4	3.75	11.56	3.58

## 1.2 测定项目

土壤养分测定:土壤有机质用重铬酸钾氧化-外加热法测定;全氮用半微量开氏法测定;碱解氮用碱解扩散法测定;速效磷用碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法测定;速效钾用乙酸铵提取-火焰光度法测定;交换性钙、镁用乙酸铵提取-原子吸收分光光度法测定;有效铁、有效锰用DTPA浸提-原子吸收分光光度法测定<sup>[12]</sup>;PH采用电极法测定。

叶片矿质元素测定:H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮,氮用凯氏定氮法测定;磷用钒钼黄比色法测定;钾用火焰光

度计法测定;钙、镁、铁、锰、锌、铜用原子吸收分光光度法测定<sup>[13]</sup>。

果实品质测定:单果质量用百分之一天平测定,果实纵、横径用游标卡尺测量;硬度用GY-4型数显式水果硬度计(北京恒奥德仪器仪表有限公司)测定,可溶性固形物用PAL-1型数显手持式糖度仪(日本Atago公司)测定,每个果实测定3次,取顶部一点及赤道部分对称两点测定,取平均值<sup>[14]</sup>。维生素C含量用荧光法和2,4-二硝基苯肼法测定<sup>[15]</sup>。类胡萝卜素含量测定用石油醚:丙酮(1:1,v/v)浸提法

测定<sup>[16]</sup>。

### 1.3 数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 18.0 软件对 2a 的土壤养分、叶片矿质养分和果实品质数据进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 ‘次郎’甜柿园土壤养分、叶片养分与果实品质概况

由表 2 可以看出,‘次郎’甜柿园土壤速效钾、交换性镁和有效铁、有效锰含量在果园间存在较大差

异。除速效钾外,‘次郎’甜柿园其它土壤养分含量均高于陕西眉县‘阳丰’甜柿园<sup>[10]</sup>。‘次郎’甜柿叶片矿质养分中(表 3),全钙和全锌在果园间含量差异较大,全磷、全铁、全锰含量差异较小;叶片全磷含量水平整体偏低,叶片全氮、全钾、全镁含量处于中等水平。由表 4‘次郎’甜柿果实品质数据可以看出,果实平均单果质量为 159.34 g,符合甜柿商品果要求<sup>[17]</sup>,果园间单果质量、维生素 C、类胡萝卜素含量差异较大,硬度、可溶性固形物含量差异较小。

表 2 ‘次郎’甜柿园土壤养分概况

Table 2 Soil nutrients in ‘Jiro’ persimmon orchards

项目 Item	有机质 Organic matter/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total N/ (g · kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 Alkaline N/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	有效磷 Available P/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	交换性钙 Exchangeable Ca/ (g · kg <sup>-1</sup> )	交换性镁 Exchangeable Mg/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	有效铁 Available Fe/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	有效锰 Available Mn/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	pH
平均值 Mean	44.27	1.58	117.06	28.38	187.89	6.06	490.00	125.35	249.98	7.96
最大值 Max	55.85	2.42	187.00	78.10	492.50	10.35	895.00	296.50	440.50	8.45
最小值 Min	35.55	1.07	43.45	4.17	37.05	2.43	159.50	51.30	105.55	7.11
标准差 STD	6.25	0.45	42.69	21.55	147.35	2.60	266.68	64.99	117.76	0.43

表 3 ‘次郎’甜柿叶片养分概况

Table 3 Mineral nutrition in ‘Jiro’ persimmon leaves

项目 Item	全氮 Total N/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total P/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全钾 Total K/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全钙 Total Ca/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全镁 Total Mg/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全铁 Total Fe/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全锰 Total Mn/ (g · kg <sup>-1</sup> )	全铜 Total Cu/ (mg · kg <sup>-1</sup> )	全锌 Total Zn/ (mg · kg <sup>-1</sup> )
平均值 Mean	22.07	1.20	17.22	26.90	5.03	0.122	0.271	3.43	17.41
最大值 Max	24.50	1.43	25.80	39.10	6.80	0.191	1.061	14.70	56.50
最小值 Min	18.50	0.97	9.55	14.80	3.04	0.086	0.030	1.38	5.71
标准差 STD	1.59	0.12	3.93	7.50	1.06	0.032	0.256	2.88	13.64

表 4 ‘次郎’甜柿果实品质概况

Table 4 Attributes of fruit quality in ‘Jiro’ persimmon

项目 Item	单果质量 Fruit weight/g	果形指数 Fruit shade index	硬度 Firmness/ (kg · cm <sup>-2</sup> )	可溶性固形物 Soluble solids/%	维生素 C Vitamin C/(mg · g <sup>-1</sup> )	类胡萝卜素 Carotenoid/(mg · kg <sup>-1</sup> )
平均值 Mean	159.34	0.653	11.64	14.77	0.83	39.70
最大值 Max	239.07	0.697	12.92	16.60	1.19	51.70
最小值 Min	114.88	0.621	9.64	13.81	0.57	26.10
标准差 STD	37.96	0.017	0.73	0.84	0.19	8.90

### 2.2 ‘次郎’甜柿园土壤养分、叶片养分与果实品质指标相关性分析

由表 5 可以看出,土壤养分间的相关性较好,有机质含量与全氮( $r=0.717$ )、碱解氮( $r=0.655$ )含量极显著正相关,与有效磷( $r=0.549$ )、速效钾( $r=0.594$ )含量显著正相关,说明土壤有机质含量的提高可以显著增加土壤中大量元素的有效含量;此外,相关系数大于 0.7 的有:有机质与全氮( $r=0.717$ )、全氮与碱解氮( $r=0.908$ )、有效磷与速效钾( $r=$

0.770),且相关性均达到极显著水平。叶片矿质元素间的相关性较土壤养分间弱(表 6),只在全氮、全磷( $r=0.840$ ),全磷、全钾( $r=0.545$ ),全钙、全镁( $r=0.596$ ),全镁、全铜( $r=0.543$ )之间检测到较强的相关性,其它元素间相关性不显著。表 7 是土壤养分、叶片矿质养分与果实品质指标间的相关性。有机质含量与单果质量、硬度、维生素 C 含量均显著或极显著正相关,说明土壤有机质不仅调节土壤养分,还可以促进果实品质的提高。单果质量与土壤有机

表5 土壤养分间的相关性

Table 5 Correlation coefficients among soil nutrients

项目 Item	有机质 Organic matter	全氮 Total N	碱解氮 Alkaline N	有效磷 Available P	速效钾 Available K	交换性钙 Exchangeable Ca	交换性镁 Exchangeable Mg	有效铁 Available Fe	有效锰 Available Mn
有机质 Organic matter	1								
全氮 Total N	0.717 **	1							
碱解氮 Alkaline N	0.655 **	0.908 **	1						
有效磷 Available P	0.549 *	0.428	0.595 *	1					
速效钾 Available K	0.594 *	0.450	0.541 *	0.770 **	1				
交换性钙 Exchangeable Ca	-0.204	-0.290	-0.366	-0.518 *	-0.128	1			
交换性镁 Exchangeable Mg	-0.354	-0.519 *	-0.433	-0.031	0.062	0.479	1		
有效铁 Available Fe	0.326	0.379	0.524 *	0.627 **	0.535 *	-0.670 **	-0.219	1	
有效锰 Available Mn	-0.123	-0.200	-0.186	-0.023	-0.009	-0.275	0.162	0.597 *	1

注: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ 。下同。

Note: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ . The same below.

表6 叶片养分间的相关性

Table 6 Correlation coefficients among leaf nutrients

项目 Item	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	全钙 Total Ca	全镁 Total Mg	全铁 Total Fe	全锰 Total Mn	全锌 Total Zn	全铜 Total Cu
全氮 Total N	1								
全磷 Total P	0.840 **	1							
全钾 Total K	0.378	0.545 *	1						
全钙 Total Ca	0.091	0.135	0.330	1					
全镁 Total Mg	-0.150	-0.304	-0.210	0.596 *	1				
全铁 Total Fe	0.209	0.228	0.188	-0.104	-0.344	1			
全锰 Total Mn	-0.017	0.165	-0.043	-0.181	-0.266	0.108	1		
全锌 Total Zn	0.222	0.351	0.096	0.162	-0.063	0.324	0.450	1	
全铜 Total Cu	-0.290	-0.316	-0.022	0.214	0.543 *	-0.241	0.114	0.129	1

表7 土壤养分、叶片养分与果实品质指标间的相关性

Table 7 Correlation coefficients between soil nutrients, leaf nutrients and fruit quality

项目 Item	单果质量 Fruit weight	果形指数 Fruit shade index	硬度 Firmness	可溶性固形物 Soluble solids	维生素 C Vitamin C	类胡萝卜素 Carotenoid
有机质 Organic matter	0.628 **	0.206	0.561 *	0.155	0.566 *	0.289
全氮 Total N	0.645 **	0.423	0.311	0.318	0.435	0.183
碱解氮 Alkaline N	0.539 *	0.458	0.377	0.462	0.384	0.331
有效磷 Available P	0.428	0.039	0.351	0.542 *	0.572 *	0.553 *
速效钾 Available K	0.209	-0.102	0.286	0.351	0.466	0.562 *
交换性钙 Exchangeable Ca	-0.200	-0.069	0.163	-0.782 **	-0.561 *	-0.415
交换性镁 Exchangeable Mg	-0.357	-0.447	0.202	-0.501 *	-0.460	0.044
有效铁 Available Fe	-0.074	-0.153	0.262	0.613 *	0.433	0.652 **
有效锰 Available Mn	-0.451	-0.466	0.209	0.055	0.167	0.501 *
叶片全氮 Total N of Leaf	0.284	0.411	0.069	0.152	-0.084	-0.265
叶片全磷 Total P of Leaf	0.454	0.472	0.071	0.332	0.027	-0.132
叶片全钾 Total K of Leaf	0.559 *	0.288	-0.162	0.235	-0.050	-0.416
叶片全钙 Total Ca of Leaf	0.369	0.460	-0.213	0.007	-0.190	-0.279
叶片全镁 Total Mg of Leaf	-0.213	0.065	-0.040	-0.382	-0.379	-0.231
叶片全铁 Total Fe of Leaf	0.365	-0.021	0.061	0.470	0.446	0.241
叶片全锰 Total Mn of Leaf	-0.138	-0.238	0.006	0.518 *	0.254	0.656 **
叶片全锌 Total Zn of Leaf	0.312	0.156	0.051	0.724 **	0.595 *	0.625 **
叶片全铜 Total Cu of Leaf	-0.263	-0.268	0.197	-0.243	-0.345	0.084

质、全氮含量极显著正相关,与碱解氮显著正相关,与叶片全钾显著正相关;硬度与有机质相关性显著;可溶性固形物与有效磷、有效铁显著正相关,与交换性钙、镁分别呈极显著和显著负相关关系,与叶片全锰、全锌相关性显著;维生素C与有机质、有效磷显著正相关,与交换性钙显著负相关,与叶片全锌显著正相关;类胡萝卜素与有效磷、速效钾、有效锰显著正相关,与有效铁极显著正相关,与叶片全锰、全锌极显著正相关。果实品质是土壤养分、叶片养分综合作用的结果,简单相关分析不能完全解释其复杂关系,需应用多元统计分析方法进行分析。

### 2.3 影响果实品质的土壤养分、叶片养分因子筛选及回归方程的建立

土壤养分、果实品质和叶片养分、果实品质分别属于2对不同的正态总体,若某一正态总体中,相关系数大于0.7说明存在多重共线性<sup>[18]</sup>。本研究中土壤养分间相关系数大于0.7的有3项,叶片矿质养分间有1项,运用典型相关分析可以消除方程建立过程中的多重共线性问题<sup>[18]</sup>。以土壤有机质( $X_1$ )、全氮( $X_2$ )、碱解氮( $X_3$ )、有效磷( $X_4$ )、速效钾( $X_5$ )、交换性钙( $X_6$ )、交换性镁( $X_7$ )、有效铁( $X_8$ )、有效锰( $X_9$ )、单果质量( $Y_1$ )、硬度( $Y_2$ )、可溶性固形物( $Y_3$ )、果形指数( $Y_4$ )、维生素C( $Y_5$ )、类胡萝卜素( $Y_6$ )为1对正态总体,以叶片全氮( $Z_1$ )、叶片全磷( $Z_2$ )、叶片全钾( $Z_3$ )、叶片全钙( $Z_4$ )、叶片全镁

( $Z_5$ )、叶片全铁( $Z_6$ )、叶片全锰( $Z_7$ )、叶片全铜( $Z_8$ )、叶片全锌( $Z_9$ )、单果质量( $W_1$ )、硬度( $W_2$ )、可溶性固形物( $W_3$ )、果形指数( $W_4$ )、维生素C( $W_5$ )、类胡萝卜素( $W_6$ )为另1对正态总体,进行典型相关分析。依据典型相关系数和统计分析特点,筛选出了影响‘次郎’甜柿果实品质的土壤养分因子和叶片养分因子,并建立了回归方程(表8、表9),且方程显著性检验均达到显著差异水平,表明方程稳定可靠。

由表8可以看出,在土壤养分( $X$ )与果实品质( $Y$ )正态总体中,单果质量主要受有机质、全氮、有效磷、速效钾、有效铁影响;硬度主要受有机质、速效钾、交换性钙、有效铁影响;可溶性固形物主要受有机质、有效磷、速效钾、有效铁影响;维生素C主要受有机质、碱解氮、速效钾、有效铁、有效锰影响;类胡萝卜素主要受有机质、速效钾、交换性镁、有效铁影响。

由表9可以看出,在叶片矿质养分( $Z$ )与果实品质( $W$ )正态总体中,单果质量的影响因子为叶片全磷、全钾、全镁、全锰、全铜;硬度的影响因子为叶片全磷、全钾、全钙、全镁、全铜;可溶性固形物的影响因子为叶片全磷、全钾、全镁、全锰、全铜;维生素C的影响因子为叶片全钾、全钙、全镁、全铁、全锌;类胡萝卜素的影响因子为叶片全氮、全钾、全镁、全铜、全锌。土壤养分与叶片养分对果形指数影响均不明显。

表8 影响果实品质的主要土壤养分因子的筛选及回归方程

Table 8 Selection of soil nutrient factors and regression equations affecting fruit quality

果实品质 Fruit quality	回归方程 Regression equations	F 值 F Value
单果质量( $Y_1$ ) Fruit mass	$Y_1 = 2.198 X_1 + 38.677 X_2 + 1.251 X_4 - 0.167 X_5 - 0.215 X_8 + 19.316$	4.240 *
果实硬度( $Y_2$ ) Firmness	$Y_2 = 0.084 X_1 - 0.006 X_5 + 0.202 X_6 + 0.013 X_8 + 7.511$	18.076 **
可溶性固形物( $Y_3$ ) Soluble solids	$Y_3 = 0.021 X_1 + 0.008 X_4 + 0.001 X_5 + 0.001 X_8 + 12.964$	7.385 **
维生素C( $Y_5$ ) Vitamin C	$Y_5 = 2.327 X_1 + 0.222 X_3 + 0.030 X_5 - 0.179 X_8 + 0.056 X_9 - 50.055$	8.923 **
类胡萝卜素( $Y_6$ ) Carotenoid	$Y_6 = 0.650 X_1 + 0.010 X_5 + 0.002 X_7 + 0.069 X_8 - 2.903$	9.635 **

表9 影响果实品质的主要叶片养分因子的筛选及回归方程

Table 9 Selection of leaf nutrient factors and regression equations affecting fruit quality

果实品质 Fruit quality	回归方程 Regression equations	F 值 F Value
单果质量( $W_1$ ) Fruit mass	$W_1 = 61.572 Z_2 + 3.992 Z_3 + 4.723 Z_5 + 0.196 Z_7 - 3.563 Z_8 + 4.453$	5.725 *
果实硬度( $W_2$ ) Firmness	$W_2 = -1.238 Z_2 + 0.082 Z_3 + 0.148 Z_4 - 0.517 Z_5 + 0.063 Z_8 + 10.168$	7.949 **
可溶性固形物( $W_3$ ) Soluble solids	$W_3 = 0.814 Z_2 + 0.010 Z_3 - 0.133 Z_5 + 0.162 Z_7 - 0.051 Z_8 + 14.015$	8.654 **
维生素C( $W_5$ ) Vitamin C	$W_5 = 0.215 Z_3 - 0.122 Z_4 - 3.308 Z_5 + 118.122 Z_6 + 0.796 Z_9 + 71.016$	13.546 **
类胡萝卜素( $W_6$ ) Carotenoid	$W_6 = -1.072 Z_1 - 0.816 Z_3 - 2.519 Z_5 + 0.435 Z_8 + 0.385 Z_9 + 81.940$	7.769 **

### 2.4 优质‘次郎’甜柿园土壤养分和叶片养分含量优化方案

为了探明果实品质最佳时土壤养分和叶片养分

含量的适宜范围,在土壤养分( $X$ )与果实品质( $Y$ )正态总体中,以果实单果质量最大值( $Y_{\max}$ )为目标函数(A),以硬度( $Y_2$ )、可溶性固形物( $Y_3$ )、维生素C

( $Y_5$ )、类胡萝卜素( $Y_6$ )和土壤有机质( $X_1$ )、全氮( $X_2$ )、碱解氮( $X_3$ )、有效磷( $X_4$ )、速效钾( $X_5$ )、交换性钙( $X_6$ )、交换性镁( $X_7$ )、有效铁( $X_8$ )、有效锰( $X_9$ )为约束条件(B);在叶片养分( $Z$ )与果实品质( $W$ )正态总体中,以果实单果质量最大值( $W_{\max 1}$ )为目标函数(U),以硬度( $W_2$ )、可溶性固形物( $W_3$ )、维生素C( $W_5$ )、类胡萝卜素( $W_6$ )和叶片全氮( $Z_1$ )、叶片

全磷( $Z_2$ )、叶片全钾( $Z_3$ )、叶片全钙( $Z_4$ )、叶片全镁( $Z_5$ )、叶片全铁( $Z_6$ )、叶片全锰( $Z_7$ )、叶片全铜( $Z_8$ )、叶片全锌( $Z_9$ )为约束条件(V),分别建立求解果实单果质量最大的线性规划方程组。果实品质因子约束条件依据调查数据资料及相关文献<sup>[1,19]</sup>和柿子产品质量等级<sup>[17]</sup>等确定,土壤养分的约束条件根据云南省保山市隆阳区‘次郎’甜柿园调查资料确定。

$$Y_{\max 1} = 2.198X_1 + 38.677X_2 + 1.251X_4 - 0.167X_5 - 0.215X_8 + 19.316 \quad (\text{A})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 200 \leq 2.198X_1 + 38.677X_2 + 1.251X_4 - 0.167X_5 - 0.215X_8 + 19.316 \leq 400 \\ 12 \leq 0.084X_1 - 0.006X_5 + 0.202X_6 + 0.013X_8 + 7.511 \leq 20 \\ 13 \leq 0.021X_1 + 0.008X_4 + 0.001X_5 + 0.001X_8 + 12.964 \leq 20 \\ 50 \leq 2.327X_1 + 0.222X_3 + 0.030X_5 - 0.179X_8 + 0.056X_9 - 50.055 \leq 200 \\ 30 \leq 0.650X_1 + 0.010X_5 + 0.002X_7 + 0.069X_8 - 2.903 \leq 100 \\ 35 \leq X_1 \leq 60 \\ 1 \leq X_2 \leq 2.5 \\ 40 \leq X_3 \leq 200 \\ 4 \leq X_4 \leq 80 \\ 35 \leq X_5 \leq 500 \\ 2 \leq X_6 \leq 11 \\ 150 \leq X_7 \leq 1000 \\ 50 \leq X_8 \leq 300 \\ 100 \leq X_9 \leq 450 \end{array} \right. \quad (\text{B})$$

$$W_{\max 1} = 61.572Z_2 + 3.992Z_3 + 4.723Z_5 + 0.196Z_7 - 3.563Z_8 + 4.453 \quad (\text{U})$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 200 \leq 61.572Z_2 + 3.992Z_3 + 4.723Z_5 + 0.196Z_7 - 3.563Z_8 + 4.453 \leq 400 \\ 12 \leq -1.238Z_2 + 0.082Z_3 + 0.148Z_4 - 0.517Z_5 + 0.063Z_8 + 10.168 \leq 20 \\ 15 \leq 0.814Z_2 + 0.010Z_3 - 0.133Z_5 + 0.162Z_7 - 0.051Z_8 + 14.015 \leq 20 \\ 50 \leq 0.215Z_3 - 0.122Z_4 - 3.308Z_5 + 118.122Z_6 + 0.796Z_9 + 71.016 \leq 200 \\ 30 \leq -1.072Z_1 - 0.816Z_3 - 2.519Z_5 + 0.435Z_8 + 0.385Z_9 + 81.94 \leq 100 \\ 15 \leq Z_1 \leq 25 \\ 0.5 \leq Z_2 \leq 2 \\ 5 \leq Z_3 \leq 30 \\ 10 \leq Z_4 \leq 40 \\ 2 \leq Z_5 \leq 10 \\ 0.05 \leq Z_6 \leq 0.2 \\ 0.1 \leq Z_7 \leq 15 \\ 1 \leq Z_8 \leq 20 \\ 5 \leq Z_9 \leq 60 \end{array} \right. \quad (\text{V})$$

应用相同方法,可建立求解2对正态总体中其它果实品质指标的线性规划方程。通过求解,得到

了果实品质优质时土壤养分和叶片养分的适宜范围(表10、表11)。由土壤养分和叶片养分求得的‘次

郎’甜柿理论最佳品质分别为:单果质量 331.42 g、 $g^{-1}$ 、1.41  $mg \cdot g^{-1}$ ,类胡萝卜素 66.70  $mg \cdot kg^{-1}$ 、328.63 g,硬度 18.46  $kg \cdot cm^{-2}$ 、17.12  $kg \cdot cm^{-2}$ ,可 71.36  $mg \cdot kg^{-1}$ 。溶性固形物 18.66%、18.06%,维生素 C 1.65  $mg \cdot$

表 10 果实品质最佳的土壤养分适宜范围

Table 10 Optimum values and range of soil nutrients for highest fruit quality

项目 Item	有机质 Organic matter/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全氮 Total N/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	碱解氮 Alkaline N/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	有效磷 Available P/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	速效钾 Available K/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	交换性钙 Exchangeable Ca/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	交换性镁 Exchangeable Mg/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	有效铁 Available Fe/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	有效锰 Available Mn/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )
单果质量 Fruit mass	60.00	2.50	40.58	80.00	35.00	2.53	150.10	167.43	100.20
硬度 Firmness	60.00	2.50	40.58	17.95	35.00	11.00	150.10	300.00	100.20
可溶性固形物 Soluble solids	60.00	2.50	40.58	80.00	448.17	2.53	150.10	107.56	100.20
维生素 C Vitamin C	60.00	2.50	200.00	37.06	448.17	8.91	150.10	107.56	450.00
类胡萝卜素 Carotenoid	60.00	2.50	40.58	80.00	200.41	2.53	1 000.00	300.00	100.20
适宜范围 Range	60.00	2.50	40.58 ~ 200.00	17.95 ~ 80.00	35.00 ~ 448.17	2.53 ~ 11.00	150.10 ~ 1 000.00	107.56 ~ 300.00	100.20 ~ 450.00

表 11 果实品质最佳的叶片养分适宜范围

Table 11 Optimum values and range of leaf nutrients for highest fruit quality

项目 Item	全氮 Total N/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全磷 Total P/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全钾 Total K/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全钙 Total Ca/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全镁 Total Mg/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全铁 Total Fe/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全锰 Total Mn/ ( $g \cdot kg^{-1}$ )	全铜 Total Cu/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )	全锌 Total Zn/ ( $mg \cdot kg^{-1}$ )
单果质量 Fruit mass	20.22	2.00	30.00	40.00	9.70	0.05	1.50	1.00	60.00
硬度 Firmness	15.00	1.09	30.00	40.00	2.00	0.05	1.50	1.00	5.00
可溶性固形物 Soluble solids	15.00	2.00	30.00	13.09	2.00	0.05	1.50	1.00	5.00
维生素 C Vitamin C	15.00	1.12	30.00	10.00	2.00	0.20	0.50	1.00	60.00
类胡萝卜素 Carotenoid	15.00	2.00	15.93	20.89	2.00	0.05	1.50	1.00	60.00
适宜范围 Range	15.00 ~ 20.22	1.09 ~ 2.00	15.93 ~ 30.00	10.00 ~ 40.00	2.00 ~ 9.70	0.05 ~ 0.20	0.50 ~ 1.50	1.00	5.00 ~ 60.00

## 2.5 所调查果园的土壤养分含量分析比较

为了更好地掌握‘次郎’甜柿园土壤养分和树体营养状况,指导果园科学高效管理,将各果园土壤养分和叶片养分的实测值与理论值进行对比分析。

如表 12 所示,100%的果园土壤有机质含量小于理论适宜值,47.37%的果园土壤有效磷、有效铁含量较低,碱解氮、速效钾、交换性钙、镁、有效锰含量较为适宜。如表 13 所示,有 84.21%的果园叶片全氮

表 12 ‘次郎’甜柿园土壤养分适宜值与实测值对比

Table 12 The comparison of soil nutrients suitable value and measured value

土壤养分因子 Soil nutrient factors	含量范围 Range	果园比例 Rate of orchard/%	土壤养分因子 Soil nutrient factors	含量范围 Range	果园比例 Rate of orchard/%
有机质 Organic matter ( $X_1$ )/( $g \cdot kg^{-1}$ )	<60.00 $\geq 60.00$	100.00 0.00	交换性钙 Exchangeable Ca ( $X_6$ )/( $g \cdot kg^{-1}$ )	<2.53 2.53 ~ 11.00 >11.00	15.79 84.21 0.00
全氮 Total N ( $X_2$ )/( $g \cdot kg^{-1}$ )	<2.50 $\geq 2.50$	100.00 0.00	交换性镁 Exchangeable Mg ( $X_7$ )/( $mg \cdot kg^{-1}$ )	<150.10 150.10 ~ 1 000.00 >1 000.00	0.00 94.74 5.26
碱解氮 Alkaline N ( $X_3$ )/( $mg \cdot kg^{-1}$ )	<40.58 40.58 ~ 200.00 >200.00	0.00 100.00 0	有效铁 Available Fe ( $X_8$ )/( $mg \cdot kg^{-1}$ )	<107.56 107.56 ~ 300.00 >300.00	47.37 42.63 0.00
有效磷 Available P ( $X_4$ )/( $mg \cdot kg^{-1}$ )	<17.95 17.95 ~ 80.00 >80.00	47.37 42.63 0.00	有效锰 Available Mn ( $X_9$ )/( $mg \cdot kg^{-1}$ )	<100.20 100.20 ~ 450.00 >450.00	10.53 78.94 10.53
速效钾 Available K ( $X_5$ )/( $mg \cdot kg^{-1}$ )	<35.00 35.00 ~ 448.17 >448.17	0.00 89.47 10.53			



表 13 ‘次郎’甜柿叶片养分适宜值与实测值对比

Table 13 The comparison of leaf nutrients suitable value and measured value

叶片养分因子 Leaf nutrient factors	含量范围 Range	果园比例/% Rate of orchard	叶片养分因子 Leaf nutrient factors	含量范围 Range	果园比例/% Rate of orchard
全氮 Total N( $Z_1$ )/(g · kg <sup>-1</sup> )	<15.00 15.00 ~ 20.22 >20.22	0.00 15.79 84.21	全铁 Total Fe( $Z_6$ )/(g · kg <sup>-1</sup> )	<0.05 0.05 ~ 0.20 >0.20	0.00 100.00 0.00
全磷 Total P( $Z_2$ )/(g · kg <sup>-1</sup> )	<1.09 1.09 ~ 2.00 >2.00	15.79 84.21 0.00	全锰 Total Mn( $Z_7$ )/(g · kg <sup>-1</sup> )	<0.50 0.50 ~ 1.50 >1.50	84.21 15.79 0.00
全钾 Total K( $Z_3$ )/(g · kg <sup>-1</sup> )	<15.93 15.93 ~ 30 >30.00	26.32 73.68 0.00	全铜 Total Cu( $Z_8$ )/(mg · kg <sup>-1</sup> )	<1.00 ≥1.00 <5.00	0.00 100.00 0.00
全钙 Total Ca( $Z_4$ )/(g · kg <sup>-1</sup> )	<10.00 10.00 ~ 40.00 >40.00	0.00 100.00 0.00	全锌 Total Zn( $Z_9$ )/(mg · kg <sup>-1</sup> )	5.00 ~ 60.00 >60.00	100.00 0.00
全镁 Total Mg( $Z_5$ )/(g · kg <sup>-1</sup> )	<2.00 2.00 ~ 9.70 >9.70	0.00 100.00 0.00			

含量偏高,分别有 15.79%、26.32% 和 84.21% 的果园叶片全磷、叶片全钾、叶片全锰含量偏低,叶片全钙、全镁、全铜、全锌含量适宜。表 10、表 11 对比可以看出,部分土壤养分与叶片养分在对比过程中结果不一致,如土壤碱解氮含量适宜,而叶片全氮含量却偏高;47.37% 的果园土壤有效铁含量偏低,而叶片全铁含量多在适宜范围内;土壤锰含量适宜,而 84.21% 的果园叶片全锰含量低于适宜值。原因之一可能是由于土壤自身理化性质影响树体对锰、铁等微量元素的吸收,如土壤 pH、含水量、微生物、土壤质地、通透性等因素;还可能是由于某些人为因素,如果农盲目施肥,导致土壤养分比例失衡,加剧了土壤养分间的协同或拮抗作用,进而影响树体对土壤养分的吸收和转运利用。

与理论值相比,当地‘次郎’甜柿园应适时增施有机肥,适当减少氮肥施用,增施磷、钾肥,同时注重大量肥料与各种微量肥料配合施用,配方施肥、比例施肥。调节土壤养分比例,改善养分失衡状态,平衡树体营养是今后该地区甜柿土壤和树体养分管理的关键。

### 3 讨论

果园土壤养分及叶片养分间存在错综复杂的协同、拮抗作用,相互作用的同时又共同影响甜柿品质。张东等<sup>[20]</sup>和张强等<sup>[7]</sup>分别利用典型相关分析方法研究了苹果园叶片养分和土壤养分与果实品质的关系;宋少华等<sup>[10]</sup>研究了‘阳丰’甜柿园土壤养分与果实品质的关系,并给出了土壤养分含量的优化

方案。但国内外鲜见关于‘次郎’甜柿土壤养分、叶片养分与果实品质的多元分析及优化方案的报道。本研究对云南省保山市隆阳区 19 个‘次郎’甜柿园土壤养分、叶片养分和果实品质展开系统调查,与宋少华等<sup>[10,21]</sup>的调查数据相比,结果表明该地区‘次郎’甜柿园土壤养分含量丰富,但叶片养分含量偏低。土壤养分中除速效钾含量较低外,其它土壤养分均明显高于陕西眉县‘阳丰’甜柿园,其中有机质含量比陕西眉县‘阳丰’甜柿园高 180%,碱解氮高 51%,有效磷高 88%,微量元素含量均比‘阳丰’甜柿园高 10 倍以上;除叶片氮、钾含量略高外,其它叶片矿质元素尤其是微量元素含量明显偏低。这可能是由于施肥的盲目性或配方不合理,导致土壤养分比例失衡,加剧了土壤养分间的协同和拮抗作用,进而影响树体对土壤养分的吸收和转运利用;也可能是由于品种间遗传特性的差异使得‘次郎’和‘阳丰’甜柿对各矿质营养元素的需求存在差异。据此,作者运用典型相关分析筛选出影响‘次郎’甜柿果实品质的主要土壤养分、叶片养分因子,并运用多元线性回归和线性规划求解出土壤养分和叶片养分因子的优化方案。

作者对‘次郎’甜柿园 9 种土壤养分、9 种叶片养分和 5 个果实品质因子进行综合分析,结果表明单果质量主要受土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾、有效铁的影响,这与苹果<sup>[7,22]</sup>、‘阳丰’甜柿<sup>[10]</sup>的研究结果基本一致。来源等<sup>[23]</sup>认为施用有机肥能够提高猕猴桃果实硬度和可溶性固形物含量,赖文龙等认为钾肥用量增加会抑制甜柿对氮素的吸收,而

增加果实可溶性固形物含量<sup>[24]</sup>, Weibel 等<sup>[25]</sup> 研究认为土壤铁和速效钾对苹果果糖、总糖等可溶性固形物含量影响最大;对杏<sup>[26]</sup> 的研究也表明,钾肥可提高杏果实中可溶性固形物含量,改善果皮颜色;本研究也得到相同的结论,认为可溶性固形物受土壤有机质、有效磷、钾、铁的影响。适量施钾也能提高猕猴桃维生素 C 含量<sup>[27]</sup>, 锰能促进维生素 C 形成<sup>[28]</sup>。果实类胡萝卜素含量受土壤有机质、速效钾、交换性镁、有效铁影响。不难发现,土壤有机质对所有果实品质指标均有促进作用,这充分说明有机质是其它土壤养分的物质基础,不仅直接调节土壤矿质元素的有效含量,而且间接促进果实品质的提高。Weibel 等指出苹果果实硬度与土壤全磷呈负相关<sup>[25]</sup>,张强等<sup>[29]</sup> 也认为环渤海地区‘富士’苹果园土壤有效磷与果实硬度呈负相关;但本研究却没有检测到土壤有效磷与硬度相关性。前人对土壤养分与果实品质关系的研究结果也常有出入,说明单一土壤分析尚不能全面解释矿质营养与果实品质的关系。而叶片是树体对矿质元素反应最敏感的器官,其矿质元素含量可以代表树体对土壤养分的吸收和利用状况。因此,在研究果实品质与土壤关系的基础上,有必要系统研究叶片养分与果实品质间关系。

本研究中,叶片养分与果实品质间关系的研究结果表明,对‘次郎’甜柿单果质量影响较大的是叶片全磷、全钾、全镁含量,这与对苹果<sup>[30]</sup> 的研究结果类似。果实硬度受叶片全磷、全钾、全钙、全镁、全铜的影响,张东等<sup>[20]</sup> 指出影响‘富士’苹果果实硬度的叶片养分因子为叶片全镁、全钾、全磷、全钙、全铁,与本研究的结果类似;Fallahi 等<sup>[31]</sup> 也认为‘新红星’苹果果实硬度与叶片全钙呈正相关。张立新等<sup>[32]</sup> 认为,充足的钾可增加苹果含糖量,并能显著提高果面着色度、果实风味和耐藏性,而铜正好相反<sup>[33]</sup>,本研究也得到相同结论。本研究发现,果形指数受土壤养分和叶片养分的影响均不明显,与前人研究结果一致。上述结果表明,同一果实品质指标受多个土壤养分和叶片养分因子的共同影响,不同果实品质指标受土壤养分和叶片养分因子的影响程度各异,应将土壤养分和叶片养分结合起来综合分析。而对于本研究中土壤、叶片锰、铁含量不一致的问题,可能是由于土壤理化性质,如土壤 pH、含水量、微生物、土壤质地、通透性等因素影响树体对锰、铁等微量元素的吸收;有研究表明,土壤 pH 是影响土壤中锰的化学行为及可给性的重要因素<sup>[34]</sup>,土壤中

锰的有效性随 pH 升高而下降,缺锰土壤的 pH 常大于 6.5<sup>[35]</sup>。本研究调查的所有果园中,土壤 pH 均超过 6.5,很可能是土壤 pH 过高抑制了树体对锰的吸收。而土壤 pH 也是影响根际铁有效性的重要因素,pH 过高使  $Fe^{2+}$  转化为  $Fe^{3+}$ ,溶解度减小,有效态铁的含量减少<sup>[36]</sup>,这也解释了 47.37% 的果园土壤有效铁含量偏低的原因;至于多数果园叶片铁含量处于正常值,或是由于甜柿品种自身对铁的需求并不高,也可能是由于在土壤有效铁缺乏的条件下,树体加强了对铁的吸收,其原因还有待于进一步研究。

在前文典型相关分析及多元线性回归分析的基础上,本研究通过线性规划法获得云南省保山市隆阳区‘次郎’甜柿园土壤养分和叶片养分的优化方案,最终确定当地甜柿园土壤养分的优化方案为:有机质  $60.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全氮  $2.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,碱解氮  $40.58 \sim 200.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有效磷  $17.95 \sim 80.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效钾  $35.00 \sim 448.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,交换性钙  $2.53 \sim 11.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,交换性镁  $150.10 \sim 1\,000.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有效铁  $107.56 \sim 300.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有效锰  $100.20 \sim 450.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。叶片养分的优化方案为:全氮  $15.00 \sim 20.22 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全磷  $1.09 \sim 2.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全钾  $15.93 \sim 30.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全钙  $10.00 \sim 40.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全镁  $2.00 \sim 9.70 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全铁  $0.05 \sim 0.20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全锰  $0.50 \sim 1.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全铜  $1.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全锌  $5.00 \sim 60.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。与理论值相比,当地甜柿园应适时增施有机肥,适当减少氮肥施用,增施磷、钾肥,同时注重大量肥料与各种微量肥料配合施用。调节土壤养分比例,改善养分失衡状态,平衡树体营养是今后该地区甜柿土壤和树体养分管理的关键。该优化方案只是理论值,如苹果园<sup>[7,20,28,33]</sup> 研究发现,不同品种、地域、气候条件的其养分优化方案也不尽相同,需要根据各个果园的实际情况进行调整。

## 4 结论

本文通过对云南省保山市隆阳区 19 个‘次郎’甜柿园 9 种土壤养分、9 种叶片养分和 5 个果实品质因子进行综合分析,最终确定当地甜柿园土壤养分的优化方案为:有机质  $60.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全氮  $2.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,碱解氮  $40.58 \sim 200.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有效磷  $17.95 \sim 80.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效钾  $35.00 \sim 448.17 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,交换性钙  $2.53 \sim 11.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,交换性

镁  $150.10 \sim 1\,000.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有效铁  $107.56 \sim 300.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,有效锰  $100.20 \sim 450.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。叶片养分的优化方案为:全氮  $15.00 \sim 20.22 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全磷  $1.09 \sim 2.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全钾  $15.93 \sim 30.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全钙  $10.00 \sim 40.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全镁  $2.00 \sim 9.70 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全铁  $0.05 \sim 0.20 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全锰  $0.50 \sim 1.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全铜  $1.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,全锌  $5.00 \sim 60.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。与理论值相比,当地甜柿园应适时增施有机肥,适当减少氮肥施用,增施磷、钾肥,注重大量肥料与各种微量肥料配合施用。该研究结果也可为其它地区甜柿栽培提供参考。

### 参考文献:

- [1] 王仁梓. 甜柿品种与栽培[M]. 北京:中国农业科技出版社,1993.
- [2] 赵献民,龚榜初,吴开云,等. 柿育种研究的现状与进展[J]. 湖南农业科学,2011(20):21-24.
- [3] 王劲风,方正明. 甜柿引种栽培[M]. 北京:中国农业出版社,1995.
- [4] 周坚,万楚筠,沈汪洋,等. 甜柿的营养及功能特性[J]. 武汉工业学院学报,2004,23(4):14-18.
- [5] 陈志强,李絮花,赵庚星,等. 山东栖霞市红富士苹果花样营养诊断研究[J]. 华北农学报,2010,25(5):220-224.
- [6] Velemis D, Almalitis D, et al. Leaf nutrient levels of apple orchards in relation to crop yield[J]. Advances in Horticultural Science, 1999,13(4):147-150.
- [7] 张强,魏钦平,刘慧平,等. 苹果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案[J]. 中国农业科学,2011,44(8):1654-1661.
- [8] 刘科鹏,黄春辉,冷建化,等. 猕猴桃园土壤养分与果实品质的多元分析[J]. 果树学报,2012,29(6):1047-1051.
- [9] 沈晗,周冀衡,赵百东,等. 云南保山市植烟土壤养分状况与烤烟化学成分相关分析[J]. 中国土壤与肥料,2012(4):22-26.
- [10] 宋少华,刘勤,陈卫平,等. 甜柿土壤养分与果实品质关系多元分析及优化方案[J]. 南京农业大学学报,2015,38(6):915-922.
- [11] Souza E L, Argenta L C, Rombald C V, et al. Diagnosis of fruit quality and mineral contents of 'Fuyu' persimmon produced in southern Brazil[J]. Acta Horticulturae. 2012,93(8):775-781.
- [12] 鲁坤如. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999:146-578.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2005.
- [14] 胡青素,龚榜初,谭晓凤,等. 不同套袋处理对甜柿果实品质的影响[J]. 林业科学研究,2010,23(2):209-214.
- [15] 中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所,中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009.86-2003 蔬菜、水果及其制品中总抗坏血酸的测定(荧光法和2,4-二硝基苯腭法)[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
- [16] 高慧颖,王琦,陈源,等. 茂谷橘橙中类胡萝卜素含量的研究[J]. 福建农业学报,2010,25(2):197-200.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 20453-2006 柿子产品质量等级[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [18] 陈希孺,王松桂. 近代回归分析[M]. 合肥:安徽教育出版社,1987.
- [19] 尹春英. 甜柿在中亚热带地区栽培的果实品质形成研究[D]. 成都:四川大学,2002.
- [20] 张东,赵娟,韩明玉,等. 黄土高原富士苹果叶片矿质养分与果实品质相关性分析[J]. 园艺学报,2014,41(11):2179-2187.
- [21] 宋少华,陈雪林,刘勤,等. 优质'阳丰'甜柿叶片矿质元素含量适宜值研究[J]. 果树学报,2016,33(3):324-331.
- [22] 丁平海,郗荣庭,张玉星,等. 河北省主要苹果营养状况及施肥设计[J]. 河北农业大学学报,1994,17(3):5-10.
- [23] 来源,同延安,陈黎岭,等. 施肥对猕猴桃产量和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2011,39(10):171-176.
- [24] 赖文龙,黄裕铭. 甜柿肥培管理技术[C]//张致胜,张林仁. 甜柿栽培技术与经营管理研讨会专集. 行政院农业委员会台中区:台中区农业改良场,2005:154-155.
- [25] Weibel F P. Enhancing calcium uptake in organic apple growing[J]. Acta Hortie, 1997, 448: 337-343
- [26] Hassan H S, Mostafa E A, Ahmed D M. Improving Canino apricot trees productivity by foliar spray with boron, GA3 and active dry yeast[J]. Arab Universities Journal of Agricultural Sciences,2005, 13(2):471-480.
- [27] 王仁才,夏利红,熊兴耀,等. 钾对猕猴桃果实品质与贮藏的影响[J]. 果树学报,2006,23(2):200-204.
- [28] 王留好. 陕西省渭北苹果主产区苹果园土壤养分现状评价[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [29] 张强,李民吉,周贝贝,等. 两大优势产区'富士'苹果园土壤养分与果实品质关系的多变量分析[J]. 应用生态学报,2017, 28(1):105-114
- [30] 耿增超,张立新,赵二龙,等. 陕西红富士苹果矿质营养 DRIS 标准研究[J]. 西北植物学报,2003,23(8):1422-1428.
- [31] Fallahi E, Brenda S. Interrelations among leaf and fruit mineral nutrients and fruit quality in 'delicios' apples[J]. Journal of Tree Fruit Production,1996,1(1):15-25.
- [32] 张立新,张林森,李丙智,等. 旱地苹果矿质营养及其在生长发育中的作用[J]. 西北林学院学报,1997,22(3):111-115.
- [33] 李宝江,林桂荣,刘凤君. 矿质元素与苹果风味品质及耐贮性的关系[J]. 果树科学,1995,12(3):141-145.
- [34] Mandal A K. Transformation of iron and manganese in waterlogged rice soil[J]. Soil Sci,1981,2(2):97-121.
- [35] 吴名宇,李顺义,张杨珠. 土壤锰研究进展与展望[J]. 作物研究,2005,19(2):137-142.
- [36] 袁程,王月,韩晓日,等. 长期定位施肥对土壤铁、锰形态及剖面分布的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(1):115-122.