

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.04.014

‘次郎’甜柿果实矿质元素与果实品质关系研究

徐 阳¹, 龚榜初^{1*}, 刘同祥¹, 吴开云¹, 丁 俞², 邱有尚², 范金根³

(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. 浙江省兰溪市苗圃, 浙江 兰溪 321100)

摘要: [目的] 分析云南保山‘次郎’甜柿果实主要矿质元素与果实品质关系, 筛选影响不同果实品质的主要矿质元素, 为南方甜柿园精准施肥提供科学依据。[方法] 利用相关分析和通径分析方法, 分析云南保山 19 个柿园‘次郎’甜柿果实 9 种矿质营养元素与 6 种果实品质指标间的相关性和通径系数。[结果] 表明: 甜柿果实单果质量与果实氮、钙、镁元素含量极显著负相关, 果实硬度与果实钙元素含量显著正相关, 可溶性固形物与果实氮、钙、铜、锌元素含量极显著负相关。通径分析结果, 氮、钙元素对单果质量的直接负作用达到显著水平, 直接通径系数为-0.420 0、-0.386 0; 钙元素对果实硬度的直接正作用最大, 直接通径系数为 0.363 0, 对果形指数的直接负作用最大, 直接通径系数为-0.405 0; 可溶性固形物受钙和氮元素的显著直接负作用影响, 直接通径系数分别为-0.667 0、-0.367 0; 维生素 C 含量受磷元素显著直接负作用影响, 直接通径系数为-0.495 0, 受果实钙、钾元素直接正作用影响, 直接通径系数分别为 0.428 0、0.394 0; 类胡萝卜素含量受果实钾元素极显著直接负作用影响, 直接通径系数为-0.777 0, 受氮、磷、锰元素显著直接正作用影响, 直接通径系数分别为 0.452 0、0.421 0、0.392 0。[结论] 甜柿果实氮、磷、钾、钙元素与果实品质关系密切, 其中磷、钾元素与果实维生素 C、类胡萝卜素含量关系密切, 而氮元素对单果质量及可溶性固形物存在直接负作用。钙元素与单果质量、果形指数、可溶性固形物、维生素 C、果实硬度均密切相关。云南保山柿园甜柿生产中, 需降低氮肥施用, 科学协调磷、钾、钙肥施用, 以实现甜柿的优质高效生产。

关键词: 甜柿; 矿质元素; 果实品质

中图分类号: S759.3

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2020)04-0108-09

矿质营养是甜柿 (*Diospyros kaki* Thunb.) 生长发育、生理代谢与果实品质形成的物质基础和重要调控因子, 与柿果实外观、内在品质均密切相关^[1-2]。果实中适宜的养分含量与比例可明显提高果实的产量与品质。近年来报道了‘富士’苹果 (*Malus domestica* Borkh. ‘Fuji’)、‘阳丰’甜柿 (*D. kaki* Thunb. ‘Youhou’) 等果实矿质元素与果实品质关系的研究^[1-5]。但果树各品种品质不同, 所需矿质元素的代谢效率不同, 果实品质形成中转录因

子、激素、甲基化等表观调控也易受光照、土壤矿质元素供应等环境因素影响^[6-7], 因此果实矿质元素与果实品质的关系, 生产中往往因品种与栽培区的不同而有别^[3-4]。如在胶东地区发现红富士苹果磷含量对单果质量、可溶性固形物和果肉硬度具有较大促进作用^[4], 但在全国 11 个省市的调查中, 未发现相似结论^[3]; 而辽宁地区种植的 22 个苹果品种的研究表明, 铜和锌元素与果实可溶性固形物显著正相关^[8]。

收稿日期: 2019-11-28 修回日期: 2020-02-03

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金面上项目“柿果顶腐病发病过程中钙相关作用机理研究”(CAFYBB2017SY015); 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)

* 通讯作者: 龚榜初. E-mail: gongbc@126.com

甜柿可自然脱涩, 风味佳, 经济价值高, 市场前景广阔, 目前在全国 20 多个省市已有栽培, 面积超过 1 万 hm^2 , 且栽培面积和规模不断扩大^[9-10]。云南保山地区气候非常适于甜柿生长, 当地‘次郎’甜柿 (*D. kaki* Thunb. ‘Jiro’) 品质风味均显著高于国内同品种柿果^[11], 年产甜柿 3 万余 t, 是全国最大的甜柿产区之一, 甜柿也已成为当地精准扶贫中的重要树种。刘同祥等对该地区 19 个‘次郎’甜柿果园土壤养分、叶片养分与果实品质关系进行了分析, 探讨了优质‘次郎’甜柿土壤养分、叶片养分优化方案, 为该地区‘次郎’甜柿的优质高效栽培提供了技术支持^[10]。本研究在上述研究的基础上, 以 19 个保山柿园‘次郎’甜柿为材料, 探析甜柿果实矿质元素与果实品质指标的关系, 筛选影响果实品质指标的主要矿质元素, 以期为南方甜柿园精准施肥等提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

2015、2016 年 10 月果实成熟季节, 在云南省保山市隆阳区连续 2 a 选择 19 个稳产甜柿园^[10]进行调查。果园栽培品种‘次郎’, 砧木‘君迁子’ (*D. lotus* L.), 树龄 8~10 a, 株行距 3 m×4 m。在每个果园中用“S”形法选取长势基本一致、树龄一致、无病虫害的健壮柿树 20 株, 作为取样树。

1.2 试验方法

2015、2016 年 10 月, 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及矿质元素含量。果实单果质量用百分之一天平测量, 果实纵径、横径用游标卡尺测量, 果实硬度用 GY-4 型数显式水果硬度计测定, 可溶性固形物

含量用爱宕 PAL-1 型糖度仪测定^[12], 取平均值。将每个果园各采样树的 4 个果实, 均于赤道处各取 20 g 果肉, 充分均匀混合后, 为 1 个生物学重复, 进行维生素 C、类胡萝卜素及矿质元素含量测定, 每个果园取 20 个采样树的平均值。其中用荧光法和 2, 4-二硝基苯肼法测定维生素 C 含量^[12], 用石油醚: 丙酮 (1:1, v/v) 浸提法测定类胡萝卜素含量^[13]。矿质元素测定: 经 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮后, 全氮用凯氏定氮法测定; 钒钼黄比色法测定磷; 火焰光度计法测定钾; 采用原子吸收分光光度法测定钙、镁、铁、锰、锌、铜^[14]。

1.3 数据处理

运用 Excel 2010 和 SPSS 18.0 软件对果实矿质元素和果实品质 2 a 的均值数据进行相关性及通径分析。

2 结果与分析

2.1 ‘次郎’甜柿果实品质与果实矿质元素

19 个‘次郎’甜柿果园 2 a 的果实品质指标均值表明 (表 1), 甜柿果实品质指标在柿园间存在差异, 果形指数、可溶性固形物含量、果实硬度的变异程度较小, 其中果形指数变异程度最小, 变异系数为 2.60%, 而单果质量、果实维生素 C、类胡萝卜素含量的变异程度较大, 均在 20.00% 以上, 其中单果质量变异系数最大, 为 23.82%。

19 个柿园 2 a 的果实矿质元素含量均值表明 (表 2), 甜柿果实矿质元素含量存在一定差异。大量元素中, 果实钾元素含量最高, 平均值达 $75.22 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 其次为果实氮、磷、钙、镁元素; 微量元素中, 果实锌元素含量最高, 铜元素含量最低。大量元素变异程度相当, 变异系数在 12.44%~23.48% 之间, 整体上低于微量元素, 钾元素变异

表 1 ‘次郎’甜柿果实品质特征

Table 1 Attributes of fruit quality in ‘Jiro’ persimmon

项目 Item	单果质量 Fruit weight/g	果形指数 Fruit shade index	果实硬度 Fruit firmness/($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$)	可溶性固形物 Soluble solids/%	维生素C Vitamin C/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	类胡萝卜素 Carotenoid/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
平均值 Mean	159.34	0.653	11.64	14.77	8.31	39.70
最大值 sMax	239.07	0.697	12.92	16.60	11.92	51.70
最小值 Min	114.88	0.621	9.64	13.81	5.74	26.10
标准差 STD	37.96	0.017	0.73	0.84	1.88	8.90
变异系数 CV/%	23.82	2.600	6.27	5.69	22.59	22.42

注: 平均值等数据引自文献^[11]。

Note: Data are quoted from literature^[11].

表2 ‘次郎’甜柿果实矿质元素含量

Table 2 Mineral nutrition of fruit in ‘Jiro’ persimmon

项目 Item	氮 N/(mg·kg ⁻¹)	磷 P/(mg·kg ⁻¹)	钾 K/(mg·kg ⁻¹)	钙 Ca/(mg·kg ⁻¹)	镁 Mg/(mg·kg ⁻¹)	铁 Fe/(mg·kg ⁻¹)	锰 Mn/(mg·kg ⁻¹)	铜 Cu/(mg·kg ⁻¹)	锌 Zn/(mg·kg ⁻¹)
平均值 Mean	43.12	10.82	75.22	8.15	4.83	0.17	0.080	1.43	6.39
最大值 Max	60.50	16.10	106.01	11.47	6.83	0.504	0.481	3.22	9.20
最小值 Min	31.81	7.29	62.66	4.92	2.99	0.05	0.013	0.19	3.93
标准差 STD	6.85	1.87	9.36	1.91	0.96	0.08	0.074	0.75	1.38
变异系数CV/%	15.87	17.24	12.44	23.48	19.88	50.30	92.50	52.45	21.60

系数最小, 为 12.44%。微量元素中, 锰元素变异系数最高, 达 92.50%, 铁、铜元素变异系数在 50.00% 左右, 锌元素变异系数为 21.60%, 与大量元素中钙、镁元素相当。

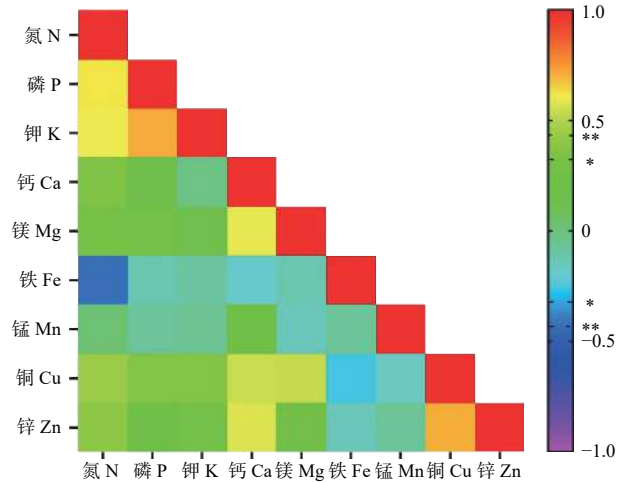
2.2 ‘次郎’甜柿果实矿质元素与果实品质的相关性

‘次郎’甜柿果实矿质元素间相关性分析表明(图1), 氮、磷、钾元素三者之间极显著正相关($p < 0.01$)。果实氮元素含量与果实磷、钾、钙、铜、锌元素含量显著或极显著正相关, 与果实铁元素含量极显著负相关。果实氮、磷、钾、钙、镁 5 种大量元素含量均与果实铜元素含量显著或极显著正相关。果实钙元素含量与氮、镁、铜、锌元素含量极显著正相关。果实铜元素含量与果实所有大量元素含量以及果实锌元素含量的相关性均达到显著或极显著水平。

由图2可知, 果实矿质元素对单果质量、果实硬度、可溶性固形物含量的综合影响较大, 单果质量与果实氮(-0.554)、钙(-0.652)、镁(-0.431)元素含量均极显著负相关, 与锌元素含量(-0.398)显著负相关。果实硬度与果实钙元素含量显著正相关, 相关系数为 0.372, 与其它元素相关性较弱。可溶性固形物与果实氮、钙、镁、铜、锌元素含量相关性均达到显著或极显著水平, 且均为负相关关系。而果实矿质元素对果形指数、维生素 C、类胡萝卜素含量的综合影响较小, 果形指数、维生素 C 及类胡萝卜素与各果实矿质元素间的相关性均未达到显著水平。

2.3 ‘次郎’甜柿果实矿质元素与果实品质指标的通径分析

简单相关分析表示各矿质元素对果实品质指标的综合作用大小, 而不能直接显示某一元素对果实品质的直接作用和间接作用。为了揭示每种甜柿果实矿质元素对各果实品质的直接作用和间接作用大



注: *代表 $p < 0.05$, **代表 $p < 0.01$, 下同。

Note: * Represents $p < 0.05$, ** represents $p < 0.01$, the same below.

图1 果实矿质元素间的相关系数矩阵

Fig. 1 Matrix diagram for correlation coefficients among fruit nutrients

小, 以果实矿质元素氮(X_1)、磷(X_2)、钾(X_3)、钙(X_4)、镁(X_5)、铁(X_6)、锰(X_7)、铜(X_8)、锌(X_9)为一个正态总体, 以果实品质指标为另一正态总体进行通径分析。对各果实品质指标进行正态性检验(表3), 对所有果实品质指标进行夏皮罗-威尔克检验(Shapiro-Wilk), 显著水平均大于 0.05, 表明所有果实品质指标均服从正态分布, 可以进行通径分析。

通径系数的绝对值大小与某一矿质元素对果实品质的影响成正比, 其中直接通径系数反映了该矿质元素的直接作用大小。表4显示, 果实矿质元素对果实单果质量均有不同程度影响, 其直接通径系数的顺序为: 氮(-0.420 0) > 钙(-0.386 0) > 铜(0.332 0) > 锌(-0.216 0) > 镁(-0.213 0) > 锰(-0.190 0) > 钾(0.125 0) > 磷(-0.111 0) > 铁(0.001 0), 铜、钾、铁元素的直接作用与单果质量正相关外, 其它矿质元素对单果质量的直接作用

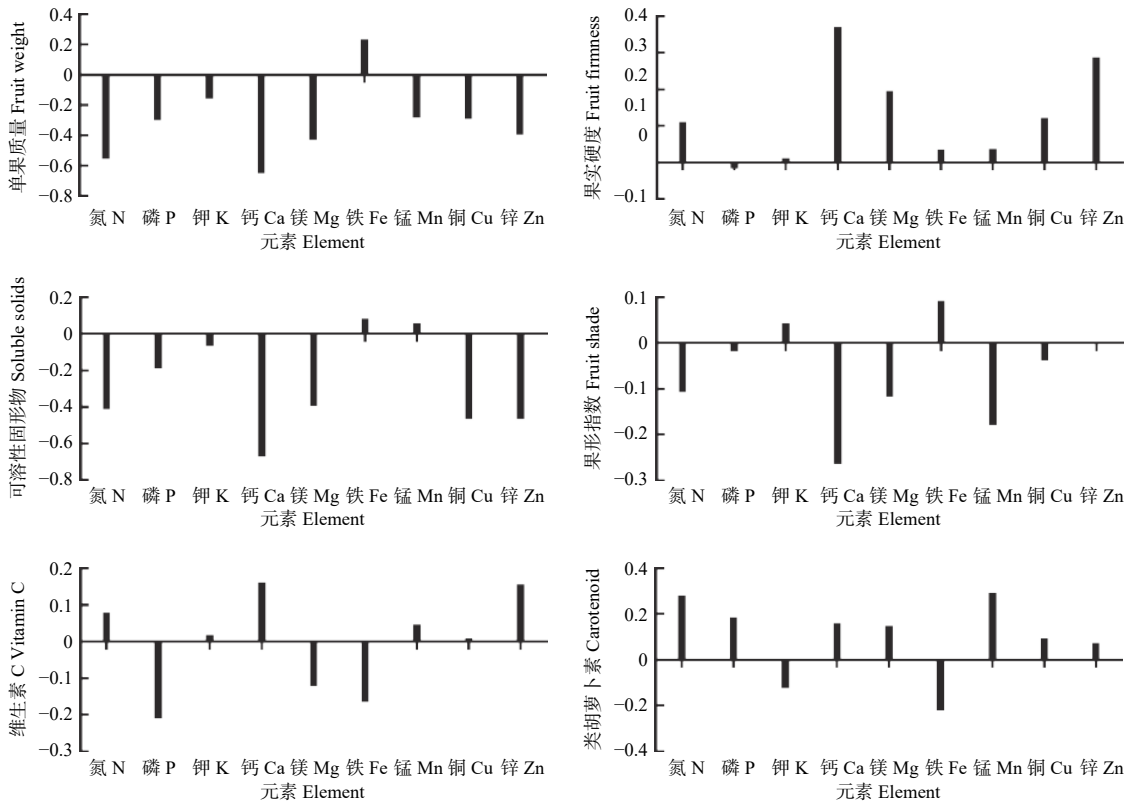


图2 果实矿质元素与果实品质指标间的相关性

Fig. 2 Correlation coefficients between fruit nutrients and fruit quality

表3 各果实品质指标正态性检验

Table 3 Normality test of the fruit quality indicators

项目 Item	单果质量 Fruit weight	果实硬度 Fruit firmness	可溶性固形物 Soluble solids	果形指数 Fruit shade index	维生素C Vitamin C	类胡萝卜素 Carotenoid
夏皮罗-威尔克检验 Shapiro-Wilk test	0.812	0.483	0.621	0.514	0.688	0.544
统计量 Statistics	0.983	0.801	0.948	0.898	0.98	0.976

表4 果实矿质元素与单果质量的通径分析

Table 4 Path analysis between fruit mineral nutrients and fruit weight

作用因子 Factor	直接通径系数 Directpath coefficient	通过 X_1 By X_1	通过 X_2 By X_2	通过 X_3 By X_3	通过 X_4 By X_4	通过 X_5 By X_5	通过 X_6 By X_6	通过 X_7 By X_7	通过 X_8 By X_8	通过 X_9 By X_9	间接通径系数 Indirect coefficient
$N(X_1)$	-0.420 0*		-0.068 7	0.075 5	-0.133 2	-0.063 3	-0.000 4	-0.004 6	0.145 7	-0.085 1	-0.134 0
$P(X_2)$	-0.111 0	-0.260 0		0.089 1	-0.047 9	-0.057 3	-0.000 1	0.012 7	0.117 5	-0.043 4	-0.189 3
$K(X_3)$	0.125 0	-0.253 7	-0.079 1		0.005 8	-0.024 5	-0.000 1	0.009 1	0.118 2	-0.058 1	-0.282 4
$Ca(X_4)$	-0.386 0*	-0.144 9	-0.013 8	-0.001 9		-0.125 9	-0.000 2	-0.035 7	0.180 6	-0.124 2	-0.265 9
$Mg(X_5)$	-0.213 0	-0.124 7	-0.029 9	0.014 4	-0.228 1		-0.000 1	0.026 6	0.177 0	-0.053 1	-0.218 1
$Fe(X_6)$	0.001 0	0.182 3	0.013 7	-0.010 8	0.069 5	0.025 6		0.012 2	-0.086 7	0.030 2	0.236 0
$Mn(X_7)$	-0.190 0	-0.010 1	0.007 4	-0.006 0	-0.072 6	0.029 8	-0.000 1		0.053 1	0.013 2	0.014 8
$Cu(X_8)$	0.332 0	-0.184 4	-0.039 3	0.044 5	-0.210 0	-0.113 5	-0.000 3	-0.030 4		-0.152 7	-0.686 1
$Zn(X_9)$	-0.216 0	-0.165 5	-0.022 3	0.033 6	-0.222 0	-0.052 4	-0.000 1	0.017 2	-0.152 7		-0.564 2

均为负相关。其中氮、钙元素对单果质量的直接负作用影响达到显著水平 ($p < 0.05$)。果实矿质元素

除通过自身直接作用影响果实品质外, 还通过其它矿质元素间接影响果实品质, 这一影响可通过间接

途径系数来衡量。

果实硬度与矿质元素途径分析发现(表5),对果实硬度直接作用较大的矿质元素为钙(0.363 0)、铜(-0.315 0)、锌(0.266 0),其次为磷(-0.137 0)和钾(0.130 0),而其它矿质元素对果实硬度的影响较小。而果实钙、锌元素与果实硬度的间接途径系数较小,表明钙、锌元素与果实硬度间的作用主要体现为直接作用。而铜元素对果实硬度的间接影响最大,间接途径系数为0.421 8,铜元素与钙、锌元素的途径系数分别为0.197 5与0.188 1,表明铜元素主要是通过正向作用钙元素与锌元素,而对果实硬度起到间接正作用。

各矿质元素对果实可溶性固形物含量直接作用的大小顺序为:钙(-0.667 0)>氮(-0.367 0)>锰(0.194 0)>铁(-0.178 0)>镁(0.156 0)>钾(0.153 0)>铜(-0.145 0)>锌(0.074 0)>磷

(-0.001 0)(表6)。钙和氮元素对可溶性固形物含量的直接途径系数较大,均为负向作用,且显著性检验均达到显著水平($p<0.05$);而磷和锌元素的直接途径系数甚小。

表7表明,各矿质元素中,钙元素与果形指数的直接途径系数最大(-0.405 0),其次为锌元素(0.256 0),且锌元素与果形指数的间接途径系数在矿质元素间最大,为-0.252 4,表明锌元素主要是通过负作用于钙元素(-0.232 9),而对果形指数起到间接负作用。其余矿质元素的直接途径系数与间接途径系数均较小,说明果形指数的大小对果实内矿质元素含量变化不敏感。

与简单相关分析相比,途径分析可更灵敏地检测到矿质元素与果实维生素C及类胡萝卜素含量间的关系。表8表明,对果实维生素C含量起密切作用的矿质元素主要是磷、钙和钾。其中,磷元

表5 果实矿质元素与果实硬度的途径分析

Table 5 Path analysis between fruit mineral nutrients and fruit firmness

作用因子 Factor	直接途径系数 Directpath coefficient	通过 X_1 By X_1	通过 X_2 By X_2	通过 X_3 By X_3	通过 X_4 By X_4	通过 X_5 By X_5	通过 X_6 By X_6	通过 X_7 By X_7	通过 X_8 By X_8	通过 X_9 By X_9	间接途径系数 Indirect coefficient
N(X_1)	0.030 0		-0.084 8	0.078 5	0.125 2	0.029 1	-0.031 7	-0.001 2	-0.138 3	0.104 8	0.081 7
P(X_2)	-0.137 0	0.018 6		0.092 7	0.045 0	0.026 4	-0.009 0	0.003 3	-0.111 5	0.053 5	0.118 9
K(X_3)	0.130 0	0.018 1	-0.097 7		-0.005 4	0.011 3	-0.006 3	0.002 4	-0.112 1	0.071 6	-0.118 2
Ca(X_4)	0.363 0	0.010 4	-0.017 0	-0.002 0		0.057 9	-0.013 1	-0.009 2	-0.171 4	0.153 0	0.008 6
Mg(X_5)	0.098 0	0.008 9	-0.036 9	0.015 0	0.214 5		-0.008 8	0.006 9	-0.167 9	0.065 4	0.097 2
Fe(X_6)	0.073 0	-0.013 0	0.016 9	-0.011 2	-0.065 3	-0.011 8		0.003 1	0.082 2	-0.037 2	-0.036 3
Mn(X_7)	-0.049 0	0.000 7	0.009 2	-0.006 2	0.068 2	-0.013 7	-0.004 7		-0.050 4	-0.016 2	-0.013 1
Cu(X_8)	-0.315 0	0.013 2	-0.048 5	0.046 3	0.197 5	0.052 2	-0.019 1	-0.007 8		0.188 1	0.421 8
Zn(X_9)	0.266 0	0.011 8	-0.027 5	0.035 0	0.208 7	0.024 1	-0.010 2	0.003 0	-0.222 7		0.022 2

表6 果实矿质元素与果实可溶性固形物含量的途径分析

Table 6 Path analysis between fruit mineral nutrients and fruit soluble solids

作用因子 Factor	直接途径系数 Directpath coefficient	通过 X_1 By X_1	通过 X_2 By X_2	通过 X_3 By X_3	通过 X_4 By X_4	通过 X_5 By X_5	通过 X_6 By X_6	通过 X_7 By X_7	通过 X_8 By X_8	通过 X_9 By X_9	间接途径系数 Indirect coefficient
N(X_1)	-0.367 0*		-0.000 6	0.092 4	-0.230 1	0.046 3	0.077 3	0.004 7	-0.063 7	0.029 2	-0.044 6
P(X_2)	-0.001 0	-0.227 2		0.109 1	-0.082 7	0.042 0	0.021 9	-0.013 0	-0.051 3	0.029 2	-0.172 1
K(X_3)	0.153 0	-0.221 7	-0.000 7		0.010 0	0.017 9	0.015 3	-0.009 3	-0.051 6	0.019 9	-0.220 2
Ca(X_4)	-0.667 0*	-0.126 6	-0.000 1	-0.002 3		0.092 2	0.032 0	0.036 5	-0.078 9	0.042 6	-0.004 7
Mg(X_5)	0.156 0	-0.109 0	-0.000 3	0.017 6	-0.394 2		0.021 4	-0.027 2	-0.077 3	0.018 2	-0.550 8
Fe(X_6)	-0.178 0	0.159 3	0.000 1	-0.013 2	0.120 1	-0.018 7		-0.012 4	0.037 8	-0.010 4	0.262 7
Mn(X_7)	0.194 0	-0.008 8	0.000 1	-0.007 3	-0.125 4	-0.021 8	0.011 4		-0.023 2	-0.004 5	-0.179 6
Cu(X_8)	-0.145 0	-0.161 1	-0.000 4	0.054 5	-0.362 8	0.083 1	0.046 5	0.031 0		0.052 3	-0.256 9
Zn(X_9)	0.074 0	-0.144 6	-0.000 2	0.041 2	-0.383 5	0.038 4	0.024 9	-0.011 8	-0.102 5		-0.464 2

素与维生素 C 含量存在显著的直接作用,直接通径系数为-0.495 0,钙、钾元素与果实维生素 C 含量间均表现为直接正作用,直接通径系数分别为

0.428 0、0.394 0。

表 9 表明,果实类胡萝卜素含量与多种矿质元素密切相关,各矿质元素直接通径系数排序为:钾

表 7 果实矿质元素与果形指数的通径分析

Table 7 Path analysis between fruit mineral nutrients and fruit shade index

作用因子 Factor	直接通径系数 Directpath coefficient	通过 X_1 By X_1	通过 X_2 By X_2	通过 X_3 By X_3	通过 X_4 By X_4	通过 X_5 By X_5	通过 X_6 By X_6	通过 X_7 By X_7	通过 X_8 By X_8	通过 X_9 By X_9	间接通径系数 Indirect coefficient
$N(X_1)$	-0.085 0		0.005 0	0.006 6	-0.139 7	0.024 7	-0.008 7	-0.001 8	-0.007 9	0.100 9	-0.021 0
$P(X_2)$	0.008 0	-0.052 6		0.007 8	-0.050 2	0.022 3	-0.002 5	0.005 0	-0.006 4	0.051 5	-0.025 1
$K(X_3)$	0.011 0	-0.051 3	0.005 7		0.006 1	0.009 5	-0.001 7	0.003 6	-0.006 4	0.068 9	0.034 3
$Ca(X_4)$	-0.405 0	-0.029 3	0.001 0	-0.000 2		0.049 1	-0.003 6	-0.013 9	-0.009 8	0.147 2	0.140 5
$Mg(X_5)$	0.083 0	-0.025 2	0.002 2	0.001 3	-0.239 4		-0.002 4	0.010 4	-0.009 6	0.063 0	-0.199 8
$Fe(X_6)$	0.020 0	0.036 9	-0.001 0	-0.000 9	0.072 9	-0.010 0		0.004 7	0.004 7	-0.035 8	0.071 5
$Mn(X_7)$	-0.074 0	-0.002 0	-0.000 5	-0.000 5	-0.076 1	-0.011 6	-0.001 3		-0.002 9	-0.015 6	-0.110 6
$Cu(X_8)$	-0.018 0	-0.037 3	0.002 8	0.003 9	-0.220 3	0.044 2	-0.005 2	-0.011 8		0.181 0	-0.042 7
$Zn(X_9)$	0.256 0	-0.033 5	0.001 6	0.003 0	-0.232 9	0.020 4	-0.002 8	0.004 5	-0.012 7		-0.252 4

表 8 果实矿质元素与维生素 C 含量的通径分析

Table 8 Path analysis between fruit mineral nutrients and vitamin C content

作用因子 Factor	直接通径系数 Directpath coefficient	通过 X_1 By X_1	通过 X_2 By X_2	通过 X_3 By X_3	通过 X_4 By X_4	通过 X_5 By X_5	通过 X_6 By X_6	通过 X_7 By X_7	通过 X_8 By X_8	通过 X_9 By X_9	间接通径系数 Indirect coefficient
$N(X_1)$	0.073 0		-0.306 4	0.238 0	0.147 7	-0.079 6	0.069 4	-0.002 9	-0.066 3	0.007 1	0.007 0
$P(X_2)$	-0.495 0*	0.045 2		0.280 9	0.053 1	-0.072 1	0.019 7	0.008 0	-0.053 5	0.003 6	0.285 0
$K(X_3)$	0.394 0	0.044 1	-0.352 9		-0.006 4	-0.030 8	0.013 8	0.005 8	-0.053 8	0.004 8	-0.375 5
$Ca(X_4)$	0.428 0	0.025 2	-0.061 4	-0.005 9		-0.158 4	0.028 8	-0.022 6	-0.082 1	0.010 4	-0.266 0
$Mg(X_5)$	-0.268 0	0.021 7	-0.133 2	0.045 3	0.252 9		0.019 2	0.016 8	-0.080 5	0.004 4	0.146 7
$Fe(X_6)$	-0.160 0	-0.031 7	0.060 9	-0.033 9	-0.077 0	0.032 2		0.007 7	0.039 4	-0.002 5	-0.005 0
$Mn(X_7)$	-0.120 0	0.001 8	0.033 2	-0.018 9	0.080 5	0.037 5	0.010 2		-0.024 2	-0.001 1	0.119 0
$Cu(X_8)$	-0.151 0	0.032 0	-0.175 2	0.140 3	0.232 8	-0.142 8	0.041 8	-0.019 2		0.012 7	0.122 4
$Zn(X_9)$	0.018 0	0.028 8	-0.099 5	0.106 0	0.246 1	-0.065 9	0.022 4	0.007 3	0.012 7		0.257 9

表 9 果实矿质元素与类胡萝卜素含量的通径分析

Table 9 Path analysis between fruit mineral nutrients and carotenoid content

作用因子 Factor	直接通径系数 Directpath coefficient	通过 X_1 By X_1	通过 X_2 By X_2	通过 X_3 By X_3	通过 X_4 By X_4	通过 X_5 By X_5	通过 X_6 By X_6	通过 X_7 By X_7	通过 X_8 By X_8	通过 X_9 By X_9	间接通径系数 Indirect coefficient
$N(X_1)$	0.452 0*		0.260 6	-0.469 3	-0.132 5	0.057 3	0.008 7	0.009 4	0.031 6	0.065 4	-0.168 8
$P(X_2)$	0.421 0*	0.279 8		-0.554 0	-0.047 6	0.051 9	0.002 5	-0.026 3	0.025 5	0.033 4	-0.234 9
$K(X_3)$	-0.777 0**	0.273 0	0.300 2		0.005 8	0.022 2	0.001 7	-0.018 8	0.025 6	0.044 7	0.654 3
$Ca(X_4)$	-0.384 0	0.155 9	0.052 2	0.011 7		0.114 1	0.003 6	0.073 7	0.039 2	0.095 5	0.545 8
$Mg(X_5)$	0.193 0	0.134 2	0.113 2	-0.089 4	-0.226 9		0.002 4	-0.054 9	0.038 4	0.040 8	-0.042 1
$Fe(X_6)$	-0.020 0	-0.196 2	-0.051 8	0.066 8	0.069 1	-0.023 2		-0.025 1	-0.018 8	-0.023 2	-0.202 3
$Mn(X_7)$	0.392 0*	0.010 8	-0.028 2	0.037 3	-0.072 2	-0.027 0	0.001 3		0.011 5	-0.010 1	-0.076 6
$Cu(X_8)$	0.072 0	0.198 4	0.084 6	-0.276 6	-0.208 9	0.102 9	0.005 2	0.062 7		0.117 4	0.085 7
$Zn(X_9)$	0.166 0	0.178 1	0.084 6	-0.209 0	-0.220 8	0.047 5	0.002 8	-0.023 9	0.117 4		-0.023 4

(-0.777 0) > 氮 (0.452 0) > 磷 (0.421 0) > 锰 (0.392 0) > 钙 (-0.384 0) > 镁 (0.193 0) > 锌 (0.166 0) > 铜 (0.072 0) > 铁 (-0.020 0), 钾、氮、磷、锰、钙元素直接通径系数较大, 其中钾和钙元素的直接通径系数为负值, 氮、磷、锰元素的直接通径系数为正值, 其余元素对类胡萝卜素的直接通径系数较小。

3 讨论

揭示柿果品质与柿果矿质元素间关系, 具有重要的现实意义, 但果实矿质元素与果实品质的具体关系, 生产中往往依品种与栽培区的不同而有别^[3-4, 8]。本研究数据清晰表明, 因品种特性及生境不同, 云南保山‘次郎’甜柿果实单果质量、果形指数、果实硬度均与陕西眉县‘阳丰’甜柿存在显著差异^[1], 果实氮、磷元素含量及变异程度也均异于‘阳丰’甜柿。其它地区其它品种以往的矿质元素与果实品质间关系的结论^[1], 对保山等西南地区‘次郎’甜柿生产仅能提供部分参考。本研究对保山‘次郎’甜柿果实矿质元素与果实品质间关系进行分析, 进一步验证和丰富甜柿果实矿质元素和果实品质间关系研究, 为保山等西南及南方主产区甜柿园精准施肥提供参考。

本研究数据显示, 云南保山地区‘次郎’甜柿单果质量、可溶性固形物含量与氮和钙元素均直接负相关。氮元素在柿树生长发育及有机物积累中以硝酸氮的形式被大量消耗, 但氮供应过多时, 果树营养生长旺盛, 加剧果树营养生长与果实生长养分竞争, 不利于果实可溶性固形物等干物质积累与果实增大^[15]。与本研究 19 个柿园树体与土壤氮元素均处于较高浓度水平^[1]相似, 我国多数土壤氮含量均较高, 甜柿^[1]与苹果^[3-5]研究也均发现果实氮元素含量与果实单果质量、可溶性固形物含量呈负相关关系。另外, 保山地区光照充足、气候温暖, 甜柿成熟期早^[11], 柿果生长后期, 柿叶片等营养生长仍很旺盛, 其营养生长与生殖生长在高氮环境下养分竞争现象相对其它地区更突出。

钙是果实发育过程中许多关键酶的活化剂, 如钙可促进山梨醇脱氢酶活性, 果实中较高浓度钙的存在, 强吸水性的山梨糖醇被山梨醇脱氢酶高效转化为果糖等小分子糖^[16], 从而表现出可溶性内含物指标降低。此外, Marschner 提出“钙过剩假

说”, 高浓度钙阻碍同化物进入生长迅速的贮藏器官, 从而阻碍了果实的发育^[17], 或许也可在一定程度上解释保山地区‘次郎’甜柿钙含量与单果质量及果实可溶性固形物负相关的现象。

与甜柿^[1]、苹果^[3-4]等研究相似, 钙元素同样对‘次郎’甜柿果实硬度、果形指数呈显著正向直接作用, 这一结论也与钙元素的生物活性十分吻合。一般认为, 果实硬度与果肉细胞壁结构关系密切, 而钙与果胶酸形成果胶酸钙, 保护细胞壁中胶层结构, 在维持植物细胞壁稳定性起重要作用^[18-21], 柿果中充足的钙元素对保持果肉细胞壁稳定, 提高果实硬度具有显著的积极作用。此外, 钙元素还参与细胞壁合成、降解有关酶活性的调节, 在果实细胞增长中起到重要作用^[22]。前期研究表明‘次郎’甜柿后期纵向生长高于横向生长^[23], 而果实中充足的钙正可保障果实后期的纵向生长, 进而提高了‘次郎’甜柿果形指数。

磷是维生素 C 合成过程中 GDP-甘露糖焦磷酸化酶、GDP-甘露糖-3,5-表异构酶等关键酶的重要组分, 与维生素 C 合成关系密切^[24-25]。生产中也常发现增施磷肥可显著提高柑橘 (*Citrus reticulata* Blanco.) 果实维生素 C 含量^[26], 但在福建高磷地区, 减少磷肥用量却可极显著提高柑橘维生素 C 含量^[27], 本研究显示柿果维生素 C 含量和果实磷含量负相关, 与福建高磷地区柑橘一致, 这或许也与保山地区土壤磷元素充足^[10]有关。钾是果实品质形成的关键元素, 可促进光合产物 D-葡萄糖转化为维生素 C 的前体 D-葡萄糖醛酸, 从而提高维生素 C 含量^[28]。钙元素可提高植物维生素 C 生物合成途径关键酶 L-半乳糖-1, 4-内酯脱氢酶 (GalLDH) 活性^[29], 生产中, 补充外源钙与钾常有利于成熟果实中维生素 C 积累^[28-29], 本研究数据也显示, 柿果维生素 C 含量与钾、钙含量正相关。

类胡萝卜素含量与柿果颜色关系密切, 是柿果品质的重要指标。本研究结果表明, ‘次郎’甜柿果实胡萝卜素含量与钾、氮、磷等多种元素密切相关, 其中钾元素对类胡萝卜素含量影响较大, 存在极显著直接负作用, 这说明钾可推迟柿果着色, 有利于柿果脆食采收期的延长。番茄 (*Solanum lycopersicum* Mill.) 等蔬果生产中, 也常发现类胡萝卜素与钾元素含量存在密切相关, 但因温度、光照环境和栽培介质肥力等条件的不同, 其相关性呈

开口向上的抛物线型变化^[30],正相关^[31]、负相关^[32]的结论在生产中均有报道。氮与磷元素对果实类胡萝卜素含量的影响研究较少^[33],本研究数据表明‘次郎’甜柿果实氮、磷含量与果实类胡萝卜素含量存在显著的正向直接作用,可为保山当地柿园施肥管理提供参考依据。

4 结论

本研究以云南保山19个柿园‘次郎’甜柿为材料,展开甜柿果实9种矿质营养元素与6种果实品质指标间相关关系研究,结果表明:甜柿果实氮、磷、钾、钙元素与果实品质关系密切,其中磷、钾元素与果实维生素C、类胡萝卜素含量关系密切,而氮元素对单果质量及可溶性固形物存在直接负作用。钙元素在柿果发育中起重要作用,钙元素与果实形状(单果质量、果形指数)、果实口味(可溶性固形物、维生素C)及果实质地(果实硬度)均密切相关。云南保山柿园甜柿生产中,需降低氮肥施用,科学协调磷、钾、钙肥施用,以实现甜柿的优质高效生产。

参考文献:

- [1] 宋少华,刘勤,李曼,等.甜柿果实矿质元素与品质指标的相关性及通径分析[J].果树学报,2016,33(2):202-209.
- [2] 刘勇,刘善军,霍光华,等.甜柿果实发育期间矿质元素和营养成分变化[J].江西农业大学学报,2000,22(2):265-270.
- [3] 张强,李兴亮,李民吉,等.‘富士’苹果品质与果实矿质元素含量的关联性分析[J].果树学报,2016,33(11):1388-1395.
- [4] 徐慧,陈欣欣,王永章,等.‘富士’苹果果实矿质元素与品质指标的相关性与通径分析[J].中国农学通报,2014,30(25):116-121.
- [5] Esmail F, Brenda R. Simons, *et al.* Interrelations among leaf and fruit mineral nutrients and fruit quality in ‘Delicious’ apples[J]. *Journal of Tree Fruit Production*, 1996, 1(1): 15-25.
- [6] Duan N, Bai Y, Sun H, *et al.* Genome re-sequencing reveals the history of apple and supports a two-stage model for fruit enlargement[J]. *Nature Communications*, 2017, 8(1): 1-11.
- [7] Daccord N, Celton J M, Linsmith G, *et al.* High-quality de novo assembly of the apple genome and methylome dynamics of early fruit development[J]. *Nature Genetics*, 2017, 49(7): 1099-1106.
- [8] 李宝江,林桂荣,刘凤君.矿质元素含量与苹果风味品质及耐贮性的关系[J].果树学报,1995(3):141-145.
- [9] 徐阳,龚榜初,吴开云,等.甜柿幼胚抢救体系优化研究[J].生物学杂志,2017,34(4):110-115.
- [10] 刘同祥,龚榜初,徐阳,等.‘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[J].林业科学研究,2017,30(5):

812-822.

- [11] 杨志明,曾林,万雪.新次郎甜柿在保山市隆阳区的栽培示范[J].现代园艺,2012,(8):189-190.
- [12] 胡青素,龚榜初,谭晓风,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.
- [13] 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.
- [14] 鲁坤如.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业出版社,1999:146-578.
- [15] 李文庆,张民,束怀瑞.氮素在果树上的生理作用[J].山东农业大学学报:自然科学版,2002,33(1):96-100.
- [16] 董瑞文,朱斌,张新忠,等.叶施钙、硼对苹果果实糖含量及叶片矿质元素的影响[J].中国农业大学学报,2016,21(9):57-67.
- [17] Marschner H. Calcium nutrition in higher plant[J]. *Neth J Agric Sci*, 1974, 22: 275-282.
- [18] 谢玉明,易干军,张秋明.钙在果树生理代谢中的作用[J].果树学报,2003,20(5):369-373.
- [19] 徐阳,邓全恩,龚榜初,等.柿果顶腐病与柿果矿质元素关系分析[J].植物保护,2018,44(2):61-68.
- [20] 徐阳,邓全恩,吴开云,等.矿质元素与“恭城水柿”顶腐病发生研究[J].四川农业大学学报,2018,36(3):365-371.
- [21] 周卫,汪洪.植物钙吸收、转运及代谢的生理和分子机制[J].植物学报,2007,24(6):762-778.
- [22] 周卫,林葆.植物钙素营养机理研究进展[J].土壤学进展,1995,23(2):12-17.
- [23] 邓全恩,龚榜初,吴开云,等.柿果生理性病害顶腐病发病规律调查研究[J].林业科学研究,2014,27(5):689-696.
- [24] 安华明,刘卫,杨曼,等.高等植物维生素C合成途径主要参与基因研究进展[J].山地农业生物学报,2015,34(6):9-14.
- [25] 余春梅,李斌,李世民,等.拟南芥和作物中维生素C生物合成与代谢研究进展[J].植物学报,2009,44(6):643-655.
- [26] 林咸永,章永松,蔡妙珍,等.磷、钾营养对柑桔果实产量、品质和贮藏性的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(1):82-88.
- [27] 位高生,胡承孝,谭启玲,等.氮磷钾量肥对瓯蜜柚果实产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(2):471-478.
- [28] Wheeler G L, Jones M A, Smirnoff N. The biosynthetic pathway of vitamin C in higher plants[J]. *Nature*, 1998, 393(6683):365-369.
- [29] 刘永立,胡海涛,兰大伟.维生素C的生物合成及其基因调控研究进展[J].果树学报,2006,23(3):431-436.
- [30] 牛晓丽,周振江,李瑞,等.水肥供应对番茄中番茄红素含量的影响[J].园艺学报,2011,38(11):2111-2120.
- [31] 任彦,丁淑丽,朱凤仙,等.钾对番茄果实番茄红素合成的影响[J].北方园艺,2006,(6):7-9.
- [32] 朱兰英,邹志荣,杜天浩,等.钾肥对番茄果实养分吸收及类胡萝卜素含量的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2016,44(5):147-156.
- [33] Ti-Da G E, Song S W, Chi M H, *et al.* Effects of nitrogen forms on carbon and nitrogen accumulation in tomato seedling[J]. *Agricultural Sciences in China*, 2008, 7(11):1308-1317.

Study on the Relationship Between Mineral Elements and Fruit Quality of ‘Jiro’ Persimmon Fruit

XU Yang¹, GONG Bang-chu¹, LIU Tong-xiang¹, WU Kai-yun¹, DING Yu², QIU You-shang², FAN Jin-gen³

(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 and Vegetables of Longyang District, Baoshan City, Yunnan Province, Baoshan 678000, Yunnan, China; 3. Plant Nursery of Lanxi City in Zhejiang Province, Lanxi 321100, Zhejiang, China)

Abstract: [Objective] To investigate the relationship between mineral elements contents and fruit quality of *Diospyros kaki* Thunb. ‘Jiro’ fruit. [Method] The correlation and path coefficient of nine mineral elements and six fruit quality indexes were analyzed on nineteen *D. kaki* Thunb. ‘Jiro’ orchards in Baoshan City, Yunnan Province. [Result] The fruit weight was extremely significant and positively correlated with the N, Ca and Mg contents. The fruit firmness was significantly and positively correlated with the Ca content, the soluble solids was significantly and negatively correlated with the N, Ca, Cu and Zn contents. Path analysis further demonstrated that the N and Ca contents had the significantly direct-negative effect on fruit weight (path coefficient $-0.420\ 0$ and $-0.386\ 0$). The Ca content had the greatest direct-positive effect on the firmness ($0.363\ 0$), and the greatest direct-negative effect on fruit shade index ($-0.405\ 0$). The soluble solid content was significantly and direct-negatively affected by the Ca and N contents ($-0.667\ 0$ and $-0.367\ 0$). Vitamin C content was significantly and direct-negatively affected by the P content ($-0.495\ 0$), direct-positively affected by the Ca and K contents ($0.428\ 0$ and $0.394\ 0$). The carotenoid content was extremely significant and direct-negatively affected by the K content ($-0.777\ 0$), significantly and direct-positively affected by the N, P and Mn contents ($0.452\ 0$, $0.421\ 0$ and $0.392\ 0$). [Conclusion] The N, P, K and Ca contents of persimmon fruits are closely related to fruit quality. The P and K are significantly related to Vitamin C and Carotenoid contents. The N had direct-negative effect on the fruit weight and soluble solid content. Calcium is significantly related to fruit weight, fruit shape index, Vitamin C content, soluble solid content and fruit firmness. Reducing N application and rationalizing the proportion of P, K, Ca nutrient elements will benefit the high quality *D. kaki* Thunb. ‘Jiro’ production in Baoshan City, Yunnan Province.

Keywords: persimmon; mineral elements; fruit quality

(责任编辑: 金立新)