



江苏东山山地枇杷果实品质与果园土壤、叶片和果实矿质元素的关系

黄霄¹,王化坤²,渠慎春¹,罗文杰¹,高志红^{1*}

(1 南京农业大学 园艺学院,南京 210095;2 江苏省太湖常绿果树推广中心,江苏苏州 215107)

摘要:以江苏省苏州吴中区山地种植的 24 个枇杷果园的‘白玉’枇杷为研究对象,采用典型相关分析法研究土壤、叶片和果实矿质元素间及其与果实品质指标的相关性,应用多元线性回归分析法筛选影响枇杷果实品质的土壤、叶片和果实的主要矿质元素和影响叶片矿质元素的主要土壤矿质养分因子,为改善枇杷果实品质的果园营养管理技术提供理论参考依据。结果表明:(1)枇杷果实品质指标在不同果园间存在较大差异。(2)枇杷果实品质主要受其叶片和果实矿质元素含量影响,其中:枇杷单果质量与叶片中 N 含量呈显著正相关,与果实中 N 含量呈显著负相关;可溶性固形物含量与叶片中 N 和 Mg 元素含量呈极显著正相关,与果实中 P、Mn 元素含量呈极显著正相关,与果实中 Ca、Mg 元素含量呈极显著负相关;可滴定酸含量与叶片中 N 和 Zn 元素含量呈显著负相关,与果实中 N、Mn 元素含量呈显著负相关,与果实中 Ca 元素含量呈显著正相关。(3)果实品质指标与土壤矿质养分含量的相关性较弱,土壤矿质养分主要通过影响叶片矿质元素含量,进而间接影响果实品质,其中土壤中 P、K、Ca、Mn、Cu 元素对叶片中矿质元素含量影响较大。研究认为,提高土壤中 P、K、Zn 含量并减少土壤 Ca 含量是东山山地枇杷果园土壤管理的关键技术途径;提高叶片中 N 含量以及果实中 N、P、Mn 含量和减少果实中 Ca、Mg 含量是改善东山山地枇杷果实品质的关键措施。

关键词:枇杷;果实品质;叶片;土壤;矿质元素

中图分类号:Q945.12; Q948.11 **文献标志码:**A

Relationship between Fruit Quality and Mineral Elements in Soil, Leaf and Fruit of Loquat Orchard in Dongshan Hillside of Jiangsu Province

HUANG Xiao¹, WANG Huakun², QU Shenchun¹, LUO Wenjie¹, GAO Zhihong^{1*}

(1 College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2 Taihu Jiangsu Evergreen Fruit Tree Extension Center, Suzhou, Jiangsu 215107, China)

Abstract: Taking the *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’ of 24 orchards planted in the hillside area of Wuzhong district, Suzhou, Jiangsu province as the research object, we carried out the correlation analysis between soil, leaves and fruits mineral elements and their fruit quality indicators by using the typical correlation analysis method. Regression analysis was used to screen the main mineral elements in soil, leaves and fruits affecting the quality of loquat fruit and the main soil mineral nutrient factors affecting leaves mineral elements, which provide a theoretical reference for orchard nutrition management techniques to improve the quality of loquat fruit. The results showed that: (1) the quality index of loquat fruit was different between different orchards. (2) The quality of loquat fruit was mainly affected by the content of mineral elements

收稿日期:2019-02-20;修改稿收到日期:2019-04-05

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(16)1014]

作者简介:黄霄(1992—),在读博士研究生,主要从事果树生理与分子生物学研究。E-mail:2018204004@njau.edu.cn

* 通信作者:高志红,教授,博士生导师,主要从事果树生理与分子生物学研究。E-mail:gaozhihong@njau.edu.cn

in leaves and fruits. Among them, the weight of per fruit was significantly positively correlated with N content in leaves and negatively correlated with N content in fruits. The content of soluble solids was significantly positively correlated with the contents of N and Mg in leaves, and significantly positively correlated with the contents of P and Mn in fruits, and negatively correlated with the contents of Ca and Mg in fruits. The titratable acid content was significantly negatively correlated with the contents of N and Zn in the leaves, and negatively correlated with the contents of N and Mn in the fruits, and positively correlated with the content of Ca in the fruits. (3) The correlation between fruit quality index and soil mineral nutrient content is weak. Soil mineral nutrient mainly affects leaf mineral content, which indirectly affects fruit quality. Among them, P, K, Ca, Mn and Cu in soil have great influence on the contents of mineral elements in leaves. According to the study, the key technical approach of soil management in hillside orchard of Dongshan is to increase the contents of P, K, Zn and reduce the content of Ca in soil. The key measure to improve the quality of loquat fruit in Dongshan by increasing the content of N in leaves and the contents of N, P, Mn in fruits, and reducing the contents of Ca, Mg in the fruits.

Key words: loquat; fruit quality; leaf; soil; mineral element

枇杷 [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.] 为蔷薇科(Rosaceae)枇杷属(*Eriobotrya* Lindl.)植物,常绿小乔木,原产于中国南方^[1],种质资源丰富^[2]。中国枇杷的栽培面积和总产量居世界首位,主要分布于长江以南各省,如福建、浙江、贵州、四川、重庆、台湾等^[3]。枇杷果实风味良好,柔软多汁、营养丰富^[4-5],而且枇杷成熟期正是鲜果淡季,深受消费者喜爱^[6],具有较强的市场竞争力^[7]。江苏省处于中国枇杷品种高度进化类型栽培区,其资源高度分化,品质优异,先后选育了一批品质优良、抗逆性好的白沙枇杷新品种,世界闻名^[8]。近年来,枇杷的生产盲目追求高产,不能合理地进行营养管理,导致树体养分含量失衡,果实品质下降。叶片是果树生理生化反应的器官,通过对叶片矿质养分含量分析,可以及时地了解和诊断树体矿质营养水平^[9]。目前,根据叶片矿质养分分析并辅以果实和土壤矿质养分分析来指导果园科学施肥已成为果树生产的重要手段^[10],因此研究土壤、叶片、果实矿质养分与枇杷果实品质的关系,探讨影响果实品质形成的主要土壤、叶片和果实矿质因子,对于制定相应的营养诊断标准,指导江苏枇杷果园科学施肥,生产优质高产的枇杷具有重要意义。

国内外果树研究者在笃斯越橘^[11]、甜柿^[12]、苹果^[13-16]、新疆骏枣^[17]、冰糖橙^[18-19]、广西蜜柚^[20]等果树矿质营养与果实品质方面做了大量研究。其中,冰糖橙果实可溶性固形物与叶片中N、K含量呈显著负相关;果实可滴定酸与叶片中N、K含量呈显著正相关,与Mg含量呈显著负相关;果实可食率与果实中Mg含量呈显著正相关^[18-19]。苹果可溶性固形物与果实内的P、K、Fe、Zn呈正相关,与N、

Ca、Mg、Cu、Mn呈负相关^[16]。对枇杷的研究表明,施硼肥的枇杷果实可溶性固形物含量最高,锌肥可降低可滴定酸^[21];枇杷果实中N、P、K、Mg和Cu含量以及土壤中N、Mg、Fe、P含量对果实品质均有较大影响^[22]。目前对枇杷的研究主要集中在果实采后处理^[23-25]、营养保健成分^[26-28]等方面,关于枇杷果实品质与土壤、叶片、果实矿质养分的关系研究鲜见报道,本研究通过测定江苏苏州吴中区山地24个枇杷果园的土壤、叶片、果实矿质养分及果实品质,分析土壤、叶片、果实矿质养分与果实品质的关系,探究矿质元素对枇杷果实品质的影响,从而筛选出影响东山枇杷果实品质的土壤、叶片和果实矿质养分因子以及影响叶片矿质元素的土壤矿质养分因子,为枇杷生产中的营养诊断、科学施肥提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验地及品种

实验材料取自江苏省苏州市吴中区东山镇,选择管理水平基本一致的山地枇杷果园24个,主栽品种为‘白玉’,它是江苏苏州东山地区优质主栽培品种,树龄8~10年,株行距3 m×5 m,在每个果园内按照“S”形随机选取长势基本一致、具有代表性的‘白玉’枇杷6株作为采样树,于2018年5月中下旬枇杷果实成熟期时采集土壤、叶片和果实样品。

1.2 样品采集

1.2.1 土壤样品 在每株采样树的树冠滴水线下东、南、西、北4个方向上分别确定4个点,用取土器钻取距地表0~40 cm的土样,弃去植物残体及砾石等杂物,将土壤混合均匀后,用四分法取约1 000 g土壤,作为一个样品,带回实验室自然风干,粉碎研

磨,过100目尼龙筛,保存在密封袋中备用。

1.2.2 叶片样品 在每株采样树树冠中部外围选长势中庸的营养春梢,取顶端往下的第2片或第3片叶,叶片完整且无病虫害,东、南、西、北4个方向均匀采样,每株不少于8片叶,带回实验室经105℃杀青30 min,75℃烘干至恒重,粉碎研磨,过100目尼龙筛,贮于密封袋中备用^[29]。

1.2.3 果实样品 在每株土壤采样树东、南、西、北4个方向上各采集成熟度和大小相对一致的新鲜果实4~8个,每个果园共采集果实40~50个左右,标记好带回实验室,测定矿质元素的果实样品同上述叶片处理方法。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 土壤矿质元素 称取各土壤样品适量,经H₂SO₄-混合加速剂(K₂SO₄:CuSO₄:Se=100:10:1)消化之后用流动分析仪(深圳市一正科技有限公司)测定N含量^[30];称取各土壤样品适量,经HNO₃-HClO₄消化之后用Agilent 710ICP-OES电感耦合等离子体原子发射光谱仪(美国Agilent公司)测定P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn含量^[22, 31-32]。

1.3.2 叶片和果实矿质元素 称取样品适量,经H₂SO₄-H₂O₂消化之后用1.3.1方法测定N含量;取适量样品粉末,经HNO₃-HClO₄消化之后用1.3.1方法测定P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn含量^[22]。

1.3.3 果实品质 用万分之一电子分析天平称量单果质量;并用游标卡尺(精度0.05 mm)测定果实横径和纵径;将果肉、果皮和果核分离,用电子分析天平称量种子和果皮的质量;用PAL-1型便携式数显糖度计测定可溶性固形物含量,用指示剂滴定法测定可滴定酸含量^[33]。按照公式来计算果实可食率和果形指数^[22]:

$$\text{可食率} = [(单果质量 - 种子质量 - 果皮质量) / \text{单果质量}] \times 100\%;$$

$$\text{果形指数} = \text{纵径} / \text{横径}$$

以上各指标均重复测定3次,结果取平均值。

1.4 数据处理与分析

用Excel 2016软件分析数据,相关性和多元线性回归分析用SPSS 19.0软件。

2 结果与分析

2.1 东山山地枇杷果园土壤、叶片和果实中矿质元素含量分析

江苏东山山地24个枇杷果园土壤、叶片和果实中矿质元素含量测定结果(表1)显示,各果园土壤

中大量元素N、P、K、Ca、Mg含量平均值分别为4.26、1.23、7.15、3.56和2.13 g/kg,叶片中N、P、K、Ca、Mg含量平均值分别为10.48、2.27、27.90、24.82和3.44 g/kg,果实中N、P、K、Ca、Mg含量分别为4.47、2.16、26.34、2.97和1.71 g/kg;土壤中N、P、K、Ca、Mg元素含量的变异系数比叶片和果实中相对较高,说明不同果园土壤中这些矿质元素的差异较大。而各果园土壤中微量元素Fe、Mn、Cu、Zn含量平均值分别为23.07 g/kg、363.53 mg/kg、25.11 mg/kg和196.04 mg/kg,叶片中Fe、Mn、Cu、Zn含量平均值分别为351.12 mg/kg、434.49 mg/kg、7.67 mg/kg和121.16 mg/kg,果实中Fe、Mn、Cu、Zn含量平均值分别为57.88 mg/kg、43.15 mg/kg、6.18 mg/kg和44.92 mg/kg;其中土壤与果实中Cu元素和叶片中Zn元素的变异系数比其对应的其他微量元素相对较高,说明不同果园这些微量元素的差异较大。

2.2 东山山地枇杷果实品质分析

江苏东山山地24个枇杷果园果实品质测定结果(表2)显示,平均单果质量为24.31 g,平均果形指数为0.95,平均可溶性固形物含量为13.73%,平均可滴定酸含量为0.52%,平均可食率为73.64%,其中可滴定酸含量品质指标变异系数较大,其他果实品质指标变异系数比较小,说明不同果园间枇杷果实可滴定酸含量差异显著,其他果实品质指标差异比较小。

2.3 枇杷果实品质与其土壤、叶片和果实矿质元素含量间的关系

表3显示,枇杷果园土壤中Mg含量与果形指数达到显著负相关,叶片中N含量和果实可溶性固形物含量呈显著正相关;果实中Ca、Mg和其可溶性固形物含量呈显著负相关;不同土壤、叶片及果实矿质养分含量与果实品质指标之间相关系数差异较大,说明它们相互之间的关系复杂,果实品质指标受不同土壤、叶片及果实矿质养分之间相互作用的影响。

然而,土壤、叶片、果实矿质养分与枇杷果实品质间的关系错综复杂,仅用简单的相关性分析不能客观地反映各因子对果实品质的影响。本研究进一步分别以土壤、叶片和果实中矿质元素(氮、磷、钾、钙、镁、铁、锰、铜、锌)含量为一个总体,果实品质指标(单果质量、果形指数、可溶性固形物含量、可滴定酸含量和可食率)为另一个总体,分别建立果实品质与土壤、叶片和果实矿质元素因子的回归方程(表4),各回归方程经显著性检验均达到显著性水平,表

明建立的方程稳定性较好。从表4可以看出,枇杷单果质量与叶片中N含量呈显著正相关,与果实中N含量呈显著负相关;果形指数与土壤中Mg含量呈极显著负相关,与果实中Mn含量呈显著正相关;可溶性固形物含量与叶片中N和Mg含量呈极显著正相关,与果实中P、Mn含量呈极显著正相关,与果实中Ca、Mg含量呈极显著负相关;可滴定酸含量与土壤中P、Mn和Zn呈显著负相关,与土壤中Ca、Mg含量呈显著正相关,与叶片中N和Zn含量呈显著负相关,与果实中N、Mn含量呈显著负相关,与果实中Ca含量呈显著正相关。总体而言,枇

杷叶片和果实中矿质元素含量显著影响枇杷果实品质,而土壤矿质养分含量对果实品质的直接影响相对较弱。这可能是因为土壤矿质养分主要影响植株的其他营养器官,进而间接影响果实品质^[11]。综上,果实成熟期枇杷果实品质主要受叶片和果实中矿质元素含量协同调控。

2.4 枇杷果实、果园土壤、叶片矿质元素含量间的关系

叶片是植物进行光合作用、制造营养成分的主要组织器官,是树体生长、果实矿质营养的直接供给源^[34],而土壤矿质元素是果实生长过程中矿质营养元素的源头。因此研究枇杷土壤和叶片矿质元素

表1 枇杷果园土壤、叶片和果实中主要矿质元素含量

Table 1 The main mineral element contents in soil, leaves and fruits of loquat orchard

样品 Sample	指标 Index	大量元素 Macroelement/(g/kg)					微量元素 Microelement/(mg/kg)			
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
土壤 Soil	平均值 Mean	4.26	1.23	7.15	3.56	2.13	23.07	363.53	25.11	196.04
	最小值 Minimum	1.69	0.33	5.78	1.77	1.23	12.18	118.42	14.70	104.98
	最大值 Maximum	7.91	2.53	9.04	12.56	3.42	31.99	1146.70	53.56	1183.12
	标准差 STD	1.65	0.53	0.97	2.19	0.53	4.24	75.69	8.71	61.10
	变异系数 CV/%	38.73	43.51	13.55	61.56	24.92	18.39	20.82	34.67	31.17
叶片 Leaf	平均值 Mean	10.48	2.27	27.90	24.82	3.44	351.12	434.49	7.67	121.16
	最小值 Minimum	6.07	1.53	20.49	10.65	2.03	175.35	226.16	4.93	74.75
	最大值 Maximum	14.85	3.37	39.05	43.21	5.53	517.14	684.95	13.81	211.03
	标准差 STD	2.29	0.41	4.20	7.53	0.84	89.79	85.90	2.23	36.05
	变异系数 CV/%	21.88	18.14	15.05	30.36	24.34	25.57	19.77	29.10	29.75
果实 Fruit	平均值 Mean	4.47	2.16	26.34	2.97	1.71	57.88	43.15	6.18	44.92
	最小值 Minimum	2.36	1.51	20.54	2.14	1.32	35.84	19.04	3.24	32.25
	最大值 Maximum	7.26	2.90	31.82	4.69	2.27	85.24	70.08	17.98	56.16
	标准差 STD	1.30	0.30	2.73	0.56	0.23	13.99	12.92	2.87	7.22
	变异系数 CV/%	29.01	13.86	10.37	18.99	13.55	24.18	29.95	46.47	16.09

注:果园土壤中的微量元素 Fe 含量单位为(g/kg)

Note: The content unit of trace element Fe in orchard soil is (g/kg)

表2 江苏东山山地枇杷果园果实品质特征

Table 2 The fruit quality characteristics of loquat orchard in Dongshan hillside of Jiangsu Province

项目 Item	WF/g	FSI	SSC/%	TAC/%	ER/%
平均值 Mean	24.31	0.95	13.73	0.52	73.64
极大值 Maximum	30.50	0.99	15.20	1.11	76.65
极小值 Minimum	20.36	0.89	12.50	0.34	68.20
标准差 STD	2.43	0.03	0.72	0.18	2.14
变异系数 CV/%	10.00	2.78	5.23	35.12	2.90

注:WF. 单果质量;FSI. 果形指数;SSC. 可溶性固形物含量;TAC. 可滴定酸含量;ER. 可食率;下同

Note: WF. Weight per fruit; FSI. Fruit shape index; SSC. Soluble solid content; TAC. Titratable acid content; ER. Edible rate. The same as below

表3 枇杷果实品质与其土壤、叶片和果实矿质养分的相关系数

Table 3 Correlation coefficient between soil, leaf and fruit mineral nutrient and fruit quality of loquat orchard

样品 Sample	果实品质 Fruit quality index	矿质营养 Mineral nutrient								
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
土壤 Soil	WF	-0.088	0.103	0.035	0.132	0.295	0.234	0.350	0.253	0.125
	FSI	-0.083	-0.225	-0.241	-0.281	-0.496*	-0.203	-0.370	-0.358	-0.093
	SSC	0.122	0.095	0.133	0.044	0.041	0.306	-0.098	0.191	0.087
	TAC	-0.182	-0.073	0.095	0.293	0.384	0.030	0.262	0.120	0.189
	ER	-0.201	-0.081	-0.218	-0.170	-0.400	-0.187	-0.145	-0.173	-0.024
叶片 Leaf	WF	-0.221	0.227	0.383	0.100	0.160	0.146	0.303	0.118	0.332
	FSI	0.037	0.027	0.009	-0.111	0.020	-0.122	0.067	-0.349	0.037
	SSC	0.468*	-0.018	0.024	0.038	0.208	0.008	-0.268	0.006	-0.235
	TAC	-0.295	-0.234	-0.325	0.009	-0.066	-0.216	-0.065	0.077	-0.312
	ER	-0.176	-0.064	-0.102	0.075	0.024	-0.187	0.168	-0.290	0.241
果实 Fruit	WF	-0.380	0.093	0.181	-0.283	0.056	-0.204	-0.218	-0.197	0.142
	FSI	0.264	0.245	0.185	0.308	0.351	0.232	0.383	0.062	0.154
	SSC	-0.101	-0.117	-0.231	-0.462*	-0.439*	0.012	0.024	-0.190	0.041
	TAC	-0.251	-0.033	0.061	0.313	-0.052	0.010	-0.222	-0.186	0.061
	ER	0.062	0.091	0.096	0.234	0.317	-0.104	0.081	-0.104	0.026

注: * 和 ** 分别表示相关性达到 0.05($P<0.05$) 和 0.01($P<0.01$) 显著水平; 下同Note: * and ** stand for 0.05 ($P<0.05$) and 0.01 ($P<0.01$) significantly levels, respectively; The same as below

表4 枇杷果实品质与其土壤、叶片和果实主要矿质养分的回归方程

Table 4 The regression equation between fruit quality and main mineral nutrient factors in soil, leaves, fruits of loquat orchard

样品 Sample	果实品质 Fruit quality	回归方程 Regression equation		方程 F 值 F value of equation
		$y_2 = 1.002 - 0.025a_5$	$y_4 = 0.697 - 0.269a_2 + 0.114a_4 + 0.136a_5 - 0.018a_6 - 0.001a_9$	
土壤 Soil	y_4	$y_1 = 18.127 + 0.222b_1$		3.778*
	y_1	$y_3 = 11.836 + 0.140b_1 + 0.123b_5$		6.183**
叶片 Leaf	y_3	$y_4 = 1.064 - 0.029b_1 - 0.002b_9$		3.074*
	y_1	$y_1 = 27.492 - 0.711c_1$		3.702*
果实 Fruit	y_2	$y_2 = 0.913 + 0.001c_7$		3.787*
	y_3	$y_3 = 16.102 + 0.661c_2 - 0.46c_4 - 1.750c_5 + 0.013c_7$		5.986**
	y_4	$y_4 = 0.480 - 0.058c_1 + 0.166c_4 - 0.004c_7$		3.330*

注: y_1 . 单果质量; y_2 . 果形指数; y_3 . 可溶性固形物含量; y_4 . 可滴定酸含量; $a_1 \sim a_9, b_1 \sim b_9, c_1 \sim c_9$ 分别表示土壤、叶片、果实 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn 含量。下同Note: y_1 . Weight per fruit; y_2 . Fruit shape index; y_3 . Soluble solid content; y_4 . Titratable acid content. $a_1 \sim a_9, b_1 \sim b_9, c_1 \sim c_9$ stand for the N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn contents in soil, leaves and fruits, respectively. The same as below

与果实矿质元素间的相关性,可以更好地了解枇杷土壤和叶片中矿质元素对果实矿质元素的影响,从而为合理施肥提供理论依据。

2.4.1 果实矿质元素与果园土壤、叶片矿质元素间相关性 表5显示,枇杷果实中P、K元素含量与对应的叶片中矿质元素含量呈极显著正相关,说明叶片P、K元素能够很好地转运到果实中供其利用生长;果实P含量与叶片K、Mg、Mn含量,果实K含量与叶片P、Mn含量,果实Mg含量与叶片Mn、Zn

含量均呈显著正相关;果实K、Fe含量与叶片N含量均呈显著负相关,果实Cu含量与叶片N含量呈极显著负相关;果实K含量与叶片Zn含量呈极显著正相关。果实N含量与土壤N含量呈极显著正相关;果实Ca含量与土壤Fe含量,果实Fe含量与土壤K含量,果实Mn含量与土壤Mg含量,果实Zn含量和土壤K含量均呈极显著负相关;果实K含量与土壤K含量,果实Ca、Fe含量与土壤Mg含量均呈显著负相关。综上,果实与叶片间矿质元素

相关性相对于果实与土壤间矿质元素相关性更强,说明在枇杷果实生长过程中,叶片矿质元素含量丰缺状况可以更好地反映果实矿质元素含量的丰缺状况,因此可以利用叶片矿质元素营养诊断技术来明确枇杷树体矿质元素水平,从而调控枇杷果实品质^[11]。

2.4.2 叶片与土壤矿质元素间的相关性 从上述分析发现,相比于土壤矿质养分含量而言,叶片矿质养分与果实矿质养分间的相关性相对更强,因此还需要进一步考察土壤与叶片矿质元素间相关性,探究土壤矿质养分是否通过调控叶片矿质养分来间接影响果实矿质养分含量。从表6来看,叶片N与土壤P、K,叶片Ca与土壤中P呈显著正相关,叶片Ca与土壤中Cu呈极显著正相关。枇杷叶片中其他矿质元素与土壤矿质养分含量间的相关性比较复杂,仅用简单的相关性分析不能客观地反映土壤和叶片间矿质元素的关系,为更好地得出土壤养分与枇杷叶片矿质元素间的相互关系,以下将借助多元统计分析方法进一步研究其相关性。

2.4.3 枇杷叶片矿质养分对土壤矿质养分的回归分析 本研究中以土壤矿质元素含量(a1~a9)为一个总体,枇杷叶片矿质元素含量(b1~b9)为另一个

总体,进行多元线性回归分析,并建立了叶片矿质元素与土壤矿质元素因子的回归方程(表7),回归方程检验均达到显著性水平,表明建立的方程稳定性好。从影响枇杷叶片矿质元素的主要土壤养分因子来看,叶片N元素含量主要受土壤P、K、Ca、Zn元素的影响,提高土壤P、K、Zn元素含量有利于叶片N元素的积累;叶片Ca元素含量主要受土壤K、Ca、Cu元素的影响;叶片Mg主要受土壤N、Mn、Cu元素的影响;叶片Mn主要受土壤中Mg、Mn元素影响;叶片Cu元素主要受土壤P、Cu元素影响;叶片中Zn元素主要受土壤中Ca、Mn元素影响。总体而言,土壤中P、K、Ca、Mn、Cu元素对叶片矿质元素含量的影响较大。

3 讨论

3.1 矿质元素含量对枇杷果实品质的影响

果实品质直接影响果实的质量等级和商品价值,充足的矿质营养是果树正常生长发育的重要因素,是保证果树高产、优质的基础,同时也对果树的适应性与抗性产生影响^[35~36]。在本实验中,应用简单相关分析判断的矿质养分因子(表3)与应用多元

表5 枇杷果园土壤和叶片矿质元素含量与果实矿质元素含量的相关性

Table 5 Correlation between soil mineral elements and fruit mineral elements, leaf mineral elements and fruit mineral elements of loquat orchard

矿质元素 Mineral element	果实 Fruit									
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	
叶片 Leaf	N	0.378	-0.233	-0.450*	-0.262	-0.372	-0.443*	-0.151	-0.531**	-0.379
	P	-0.164	0.595**	0.473*	-0.302	0.308	-0.028	-0.106	0.047	0.232
	K	-0.246	0.501*	0.517**	-0.381	0.15	-0.009	-0.039	-0.026	0.32
	Ca	0.198	0.112	0.019	0.245	-0.055	-0.289	-0.29	-0.158	-0.158
	Mg	-0.271	0.465*	0.381	-0.172	0.15	-0.174	-0.283	-0.284	0.204
	Fe	0.099	0.307	0.176	-0.054	0.039	-0.007	-0.021	0.081	-0.004
	Mn	0.062	0.509*	0.474*	0.362	0.517*	0.113	0.175	0.071	0.107
	Cu	-0.178	0.211	0.039	-0.19	0.07	0.041	-0.028	0.398	0.182
	Zn	0.008	0.38	0.588**	-0.007	0.420*	-0.021	0.023	0.197	0.132
土壤 Soil	N	0.542**	-0.058	-0.231	-0.061	-0.103	-0.174	-0.316	0.076	-0.061
	P	0.058	-0.301	-0.357	-0.012	-0.256	-0.401	-0.191	-0.003	-0.323
	K	0.362	-0.393	-0.426*	-0.344	-0.076	-0.650**	-0.131	-0.053	-0.613**
	Ca	0.242	-0.294	-0.251	-0.134	-0.226	-0.318	-0.147	0.043	-0.405
	Mg	-0.094	-0.227	-0.072	-0.438*	-0.249	-0.507*	-0.529**	-0.134	-0.367
	Fe	-0.405	0.015	0.022	-0.531**	-0.056	-0.044	-0.065	0.118	0.191
	Mn	0.013	-0.19	-0.022	-0.098	-0.075	-0.29	-0.035	0.083	-0.407
	Cu	0.33	-0.222	-0.187	-0.136	-0.224	-0.405	-0.166	-0.073	-0.387
	Zn	0.217	-0.225	-0.153	-0.154	-0.129	-0.222	-0.073	-0.116	-0.335

表 6 枇杷果园土壤与叶片矿质元素含量间的相关性

Table 6 Correlation between soil mineral elements and leaf mineral elements of loquat orchard

土壤 Soil	叶片 Leaf								
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
N	0.366	-0.036	-0.057	0.059	-0.155	-0.014	-0.081	-0.110	-0.069
P	0.407*	-0.180	-0.194	0.449*	-0.196	0.083	0.264	-0.260	-0.010
K	0.437*	0.022	-0.097	0.112	-0.036	-0.105	-0.163	0.052	-0.203
Ca	0.055	-0.144	-0.189	0.265	-0.097	0.165	0.226	0.018	-0.218
Mg	0.200	0.169	0.182	0.112	0.157	0.038	-0.209	0.109	-0.157
Fe	-0.069	0.194	0.182	-0.087	0.166	-0.201	-0.328	0.182	-0.094
Mn	-0.048	-0.150	-0.061	0.255	-0.137	0.190	0.400	-0.076	0.068
Cu	0.258	-0.070	-0.065	0.593**	0.105	0.230	0.306	0.014	0.004
Zn	0.070	-0.136	-0.149	0.250	0.028	0.246	0.308	-0.034	-0.186

表 7 枇杷叶片矿质养分对果园土壤矿质养分因子的回归方程

Table 7 The regression equation of loquat leaf mineral nutrient to soil mineral nutrient factors in orchard

叶片矿质元素 Mineral element in leaf	回归方程 Regression equation	方程 F 值 F value of equation
b1	$b1=0.356+3.072a2+1.456a3-1.597a4+8.308a9$	5.533**
b4	$b4=23.477-2.640a3-1.736a4+105.484a8$	8.071**
b5	$b5=3.488-0.243a1-2.686a7+78.264a8$	2.799*
b7	$b7=0.583-0.124a5+0.319a7$	6.189**
b8	$b8=0.007-0.004a2+0.180a8$	3.083*
b9	$b9=0.131-0.013a4+0.097a7$	2.908*

线性回归的方法筛选出的影响果实品质的主要土壤、叶片、果实矿质养分因子(表 4)存在较大差异,说明不同矿质养分因子间存在相互作用,这与张涓涓^[37]、马亚平^[38]等的研究结果一致。矿质元素在果树生长、果实形成和果实品质调控等方面有着十分重要的影响^[39-42]。很多学者在冰糖橙^[19]、苹果^[43-45]和柑橘^[29]等果树上的研究结果表明,果实品质指标主要受不同矿质元素的协同调控。本研究结果也表明,枇杷叶片和果实中矿质元素含量显著影响果实品质指标,尤其果实中 Mn 元素和叶片中 N 元素对果实品质的影响较大,这与以前的研究结果^[22]基本一致,果实中 Mn 元素显著影响枇杷果实品质。植物体内的 Mn 元素不仅直接参与光合作用,促进氮素代谢,调节植物体内氧化还原状况,而且 Mn 还是很多酶的活化剂,促进氨基酸和蛋白质的合成^[46]。当氮含量充足时,能够提高叶片的光合速率,增加叶面积,还能促进花芽分化,提高坐果率,增加单果重,从而提高产量^[47-48],因此在枇杷生长过程中,可以通过叶片和土壤矿质元素诊断分析技术相结合来科学合理调控植株 Mn 和 N 元素含量,进而来提高枇杷果实品质。此外,果实 N、P、Ca、

Mg 元素含量显著影响枇杷单果质量、可溶性固形物含量和可滴定酸含量,而果实 N 元素与土壤 N 元素、果实 P 与叶片 P 元素、果实 Mg 元素与叶片 Mn、Zn 元素呈显著或极显著正相关,果实中 Ca 元素与土壤 Mg、Fe 元素呈显著或极显著负相关,推测科学合理地调控植株 N、P、Ca、Mg 元素含量可能改变枇杷单果质量、可溶性固形物含量和可滴定酸含量。

3.2 土壤和叶片矿质养分对枇杷果实矿质元素含量的影响

通过果实矿质元素含量评价果实品质、叶片矿质营养分析调控果树矿质营养水平以及土壤矿质元素分析了解土壤供肥能力已成为果树矿质营养分析研究的一种基本手段^[49]。本研究结果表明,土壤 K、Mg 元素与果实中矿质元素有显著或极显著相关性,其他矿质元素与果实中矿质元素相关性较弱,而叶片 N、P、K、Mn、Zn 元素与果实中矿质元素都有显著或极显著相关性,说明枇杷叶片与果实矿质元素间的相关性相对较强,主要原因可能是植株叶片矿质元素为果实矿质元素的直接来源,叶片的生长状况能够显著影响果实品质。而枇杷土壤与果实矿质元素间的相关性相对较弱,可能是因为枇杷土壤

中的营养元素在被根系吸收后运输到地上部分(包括枝条、叶片、果实等),从而使枇杷果实矿质元素含量随土壤矿质养分含量的变化相对较小^[50]。

3.3 土壤矿质养分对枇杷叶片矿质元素含量的影响

土壤是果树吸收养分和水分的载体与媒介^[51],是果树生长的基础,果农在果园营养管理中为了追求产量盲目地施用肥料,这不仅造成肥料浪费,果实品质下降,还会对果树产生毒害^[52]。任何一种或几种矿质元素缺少或过量都会导致果树营养元素的失调,都会引起特有的生理病害^[53]。本研究结果表明,枇杷叶片中矿质元素含量主要受土壤中P、K、Ca、Mn、Cu元素的影响,其中叶片N元素与土壤中P、K、Zn元素呈极显著正相关,与土壤中Ca元素呈极显著负相关,而与单果质量和可滴定酸含量呈显著正相关;叶片中Mg元素与土壤中N、Mn元素呈显著负相关,与土壤中Cu元素呈显著正相关,叶片N和Mg元素与可溶性固体物含量呈极显著正相

关。因此,推测可以通过土壤中P、K、Ca、Mn、Cu元素含量来调控叶片中N、Mg元素含量,从而对东山枇杷果实品质的改善具有积极重要的作用。

4 结 论

江苏东山山地种植枇杷不同果园间果实品质存在较大差异,土壤P、K、Ca、Mn、Cu元素主要影响枇杷叶片矿质元素的积累,而土壤矿质元素对果实品质的直接影响较小,果实品质主要受叶片和果实矿质养分的协同控制,其中果实中N、P、Ca、Mg、Mn元素和叶片中N元素含量显著影响枇杷果实单果质量、可溶性固体物含量和可滴定酸含量。因此,在枇杷生长过程中,提高土壤中P、K、Zn含量和减少土壤Ca含量是东山山地种植枇杷果园土壤管理的关键之处;提高叶片中N含量以及果实中N、P、Mn含量和减少果实中Ca、Mg含量有利于提高东山枇杷果实品质。

参 考 文 献:

- [1] BLASCO M, NAVAL M D M, ZURIAGA E, et al. Genetic variation and diversity among loquat accessions [J]. *Tree Genetics & Genomes*, 2014, **10**(5): 1 387-1 398.
- [2] 付 燕, 杨 芬, 王永清, 等. 5个日本枇杷品种植物学性状调查及果实品质比较[J]. 中国南方果树, 2011, **40**(1): 13-15.
FU Y, YANG Q, WANG Y Q, et al. Botany character investigation and fruit quality comparison between cultivars of *Eriobotrya japonica* Lindl. from Japan [J]. *South China Fruits*, 2011, **40**(1): 13-15.
- [3] 林顺权, 杨向晖, 刘成明, 等. 中国枇杷属植物的自然地理分布[J]. 园艺学报, 2004, **34**(5): 569-573.
LIN S Q, YANG X H, LIU C M, et al. Natural geographical distribution of genus *Eriobotrya* plants in China [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2004, **34**(5): 569-573.
- [4] 李用奇, 黄思元, 于学萍, 等. 白玉枇杷枝梢生长特性的观察[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2012, **37**(8): 66-70.
LI Y Q, HUANG S Y, YU X P, et al. On investigation of growth characteristics of Baiyu loquat shoots [J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition)*, 2012, **37**(8): 66-70.
- [5] 芦 艳. 枇杷花茶的加工工艺及营养分析[D]. 陕西杨陵: 西北农林科技大学, 2014: 12-13.
- [6] 林建城, 林河通, 黄志明, 等. 福建省5个主栽品种枇杷果实品质比较及其与果实耐贮运的关系[J]. 食品科学, 2008, **29**(6): 433- 437.
LIN J C, LIN H T, HUANG Z M, et al. Comparison of fruit qualities of five major loquat cultivars in Fujian Province and relationship between fruit quality and storability [J]. *Food Science*, 2008, **29**(6): 433- 437.
- [7] 黄永忠. 功能枇杷片生产工艺优化[J]. 农业工程, 2015, **5**(1): 30-34.
HUANG Y Z. Production process optimization of function loquat tablets [J]. *Agricultural Engineering*, 2015, **5**(1): 30-34.
- [8] 王化坤, 陆爱华, 高志红, 等. 江苏枇杷产业发展现状及展望[J]. 中国果树, 2018, **60**(2): 94-98.
WANG H K, LU A H, GAO Z H, et al. Present situation and prospect of loquat industry in Jiangsu Province [J]. *China Fruits*, 2018, **60**(2): 94-98.
- [9] 王磊彬, 陈兴望, 李天宇, 等. 江苏丰县地区丰县“富士”苹果生产园叶片矿质营养元素适宜值的研究[J]. 江西农业大学学报, 2018, **40**(1): 56-65.
WANG L B, CHEN X W, LI T Y, et al. Appropriate content of leaf mineral element in ‘Fuji’ apple orchards of Fengxian, Jiangsu Province [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2018, **40**(1): 56-65.
- [10] 林敏娟, 王振磊, 徐继忠. 华山梨生长期矿质元素含量的变化[J]. 塔里木大学学报, 2009, **21**(1): 15-18.
LIN M J, WANG Z L, XU J Z. Changes of mineral nutrient elements in growing period of Whasan pear [J]. *Journal of Tarim University*, 2009, **21**(1): 15-18.
- [11] 白永超, 卫旭芳, 陈 露, 等. 笛斯越橘果实、叶片矿质元素和土壤肥力因子与果实品质的多元分析[J]. 中国农业科学, 2018, **51**(1): 170-181.
BAI Y C, WEI X F, CHEN L, et al. Multivariate analysis of fruit leaf mineral elements, soil fertility factors and fruit quality of *Vaccinium uliginosum* L [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, **51**(1): 170-181.
- [12] 宋少华. 矿质元素变化及对甜柿果实品质的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2015: 56-86.

- [13] 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): 1 388-1 395.
ZHANG Q, LI X L, LI M J, et al. Correlation analysis between quality characteristics and fruit mineral element contents in ‘Fuji’ apples [J]. *Journal of Fruit Science*, 2016, 33(11): 1 388-1 395.
- [14] 张强, 李民吉, 周贝贝, 等. 环渤海湾和黄土高原‘富士’苹果园土壤养分与果实矿质元素关系的多变量分析[J]. 园艺学报, 2017, 44(8): 1 439-1 449.
ZHANG Q, LI M J, ZHOU B B, et al. Multivariate analysis of relationship between soil nutrient and fruit mineral elements of ‘Fuji’ apple orchards in circum-Bohai and loess plateau producing regions of China [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2017, 44(8): 1 439-1 449.
- [15] NEILSON D. Effects of mineral nutrition on fruit quality and nutritional disorders in apples [J]. *Acta Horticulturae*, 2010, 868(868): 49-60.
- [16] 朴哲虎, 石岩, 程金良, 等. 苹果梨果实矿质元素含量与品质的相关性分析[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(20): 159-161.
PIAO Z H, SHI Y, CHENG J L, et al. Correlation analysis of mineral element content and quality of apple pear fruit [J]. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 2018, 46(20): 159-161.
- [17] 吴东峰, 何伟忠, 王成. 新疆骏枣矿质元素含量与其品质相关性初探[J]. 经济林研究, 2018, 36(2): 80-87.
WU D F, HE W Z, WANG C. Preliminary study on the correlation between mineral elements content and quality of Xinjiang date jujube [J]. *Norwood Forest Research*, 2018, 36(2): 80-87.
- [18] 周先艳, 朱春华, 李进学, 等. 云南冰糖橙果实矿质营养与品质及产量的关系[J]. 湖南农业大学学报, 2018, 44(4): 382-387.
ZHOU X Y, ZHU C H, LI J X, et al. The relationship between fruit mineral nutrients and fruit quality and yield of Bingtang sweet orange in Yunnan Province [J]. *Journal of Hunan Agricultural University*, 2018, 44(4): 382-387.
- [19] 周先艳, 朱春华, 高俊燕, 等. 云南冰糖橙叶片矿质元素含量与果实品质关联性分析[J]. 江西农业学报, 2018, 30(6): 12-16.
ZHOU X Y, ZHU C H, GAO J Y, et al. Analysis of correlation between leaf mineral element content and fruit quality of sweet orange in Yunnan Province [J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2018, 30(6): 12-16.
- [20] LI Y, HAN M Q, LIN F, et al. 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(3): 263-269.
- [21] 于馨森, 李斌奇, 陈发兴. 矿质营养元素对枇杷果实品质的影响[J]. 东南园艺, 2018, 6(2): 16-19.
YU X M, LI B Q, CHEN F X. Effects of mineral nutrition on fruit quality of loquat [J]. *Southeast Horticulture*, 2018, 6(2): 16-19.
- [22] 黄霄, 姚丹, 陆爱华, 等. 江苏不同产地‘白玉’枇杷果实品质与果实和土壤中矿质元素含量的相关性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(2): 85-92.
HUANG X, YAO D, LU A H, et al. Correlation analysis on fruit quality of *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’ from different locations in Jiangsu Province with mineral element contents in fruit and soil [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2018, 27(2): 85-92.
- [23] 马佳佳, 隋思瑶, 丁青青, 等. 低O₂高CO₂对常温贮藏白玉枇杷品质及活性氧代谢的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(5): 1 089-1 096.
MA J J, SUI S Y, DING Q Q, et al. Effect of lower O₂ higher CO₂ gas component on qualities and active oxygen metabolism of Baiyu loquat stored at room temperature [J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2018, 9(5): 1 089-1 096.
- [24] 刘丽丹, 王帅, 金臻岚. 壳寡糖处理对冷藏期间大五星枇杷贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(2): 39-43, 49.
LIU L D, WANG S, JIN Z L. Effects of chito-oligosaccharide treatment on storage quality of big five-pointed star loquat fruit during storage at low temperature [J]. *Storage and Process*, 2018, 18(2): 39-43, 49.
- [25] 刘恒蔚, 颜婕, 袁卫明, 等. 白沙枇杷采后果皮与果肉活性氧代谢差异研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(1): 151-153.
LIU H W, YAN J, YUAN W M, et al. Study on the metabolism of reactive oxygen species in postharvest peel and flesh of Baisha loquat [J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2018, 46(1): 151-153.
- [26] 徐向波, 尤香玲, 田俊才. 枇杷的营养保健作用及其烘焙产品开发[J]. 农产品加工, 2018, (14): 13-15.
XU X B, YOU X L, TIAN J C. Nutrition and health function of loquat and its baking product development [J]. *Farm Products Processing*, 2018, (14): 13-15.
- [27] 杨小芳, 王文建, 刘建福, 等. 枇杷花茶氨基酸组分分析及营养价值评价[J]. 安徽农业大学学报, 2018, 45(2): 225-228.
YANG X F, WANG W J, LIU J F, et al. Analysis of amino acid composition and evaluation of the nutritional value in loquat flower tea [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2018, 45(2): 225-228.
- [28] 尹小娟, 冯光富, 温慧敏, 等. 枇杷叶总三萜酸提取分离工艺研究[J]. 现代中药研究与实践, 2018, 32(1): 42-44.
YIN X J, FENG G F, WEN H M, et al. Study on extraction and separation of total triterpenic acid from loquat leaves [J]. *Research and Practice on Chinese Medicines*, 2018, 32(1): 42-44.
- [29] 徐海燕, 熊伟, 杨灿芳, 等. 开县柑橘叶片营养状况与果实品质的相关性研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2012, 34(4): 27-32.
XU H Y, XIONG W, YANG C F, et al. Correlation analysis of mineral nutrients in citrus leaf and fruit quality in Kaixian County [J]. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 2012, 34(4): 27-32.
- [30] 张英利, 许安民, 尚浩博, 等. AA3型连续流动分析仪测定土壤和植物全氮的方法研究[J]. 西北农林科技大学学报, 2006, 34(10): 128-132.
ZHANG Y L, XU A M, SHANG H B, et al. Determination study of total nitrogen in soil and plant by continuous flow analytical system [J]. *Journal of Northwest Sci-Tech Uni-*

- versity of Agriculture and Forest, 2006, **34**(10): 128-132.
- [31] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第2版. 北京:中国农业出版社,2000: 25-114, 152-177.
- [32] 鲁如坤. 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.
- [33] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京:中国轻工业出版社, 2007: 54-125.
- [34] VELEMIS D, ALMALIOTIS D, BLADENOPOULOU S, KARAPETSAS N. Leaf nutrient levels of apple orchards (cv. starkrimson) in relation to crop yield [J]. *Advances in Horticultural Science*, 1999, **13**(4): 147-150.
- [35] GOCLCHIN A. Influence of foliar and ground fertilization on yield, fruit quality, and soil, leaf, and fruit mineral nutrients in apple [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2008, **31**(3): 515-525.
- [36] 郭全恩, 郭天文, 王益权, 等. 甘肃省干旱地区苹果叶片营养和土壤养分相关性研究[J]. 土壤通报, 2009, **40**(1): 114-117.
GUO Q E, GUO T W, et al. Correlation analysis on apple leaves nutrition and soil nutrient in arid area in Gansu Province [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, **40**(1): 114-117.
- [37] 张涓涓, 杨莉, 刘德春, 等. 马家柚果实品质与土壤、叶片、果实矿质养分的相关性分析[J]. 江西农业大学学报, 2015, **37**(5): 811-818.
ZHANG J J, YANG L, LIU D C, et al. Correlation analysis between fruit quality of Majia pumelo and soil nutrients, leaf and fruit mineral nutrients [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2015, **37**(5): 811-818.
- [38] 马亚平, 曹兵, 王艳. 灵武长枣土壤养分与果实品质间的相关性分析[J]. 经济林研究, 2017, **35**(4): 105-111.
MA Y P, CAO B, WANG Y. Correlation analysis between soil nutrients and fruit quality in *Ziziphus jujuba* Lingwuchangzao [J]. *Nonwood Forest Research*, 2017, **35**(4): 105-111.
- [39] NESTBY R, LIETEN F, PIVOT D, et al. Influence of mineral nutrients on strawberry fruit quality and their accumulation in plant organs [J]. *International Journal of Fruit Science*, 2005, **5**(1): 139-156.
- [40] 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.
SONG S H, LIU Q, et al. Correlation and path analysis between mineral elements and quality parameters in non-astringent persimmon [J]. *Journal of Fruit Science*, 2016, **33**(2): 202-209.
- [41] IGLESIAS D J, CERCOS M, et al. Physiology of citrus fruiting [J]. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 2007, **19**(4): 333-362.
- [42] AULAR J, CÁSARES M, NATALE W. Factors affecting citrus fruit quality: emphasis on mineral nutrition [J]. *Científica*, 2017, **45**(1): 64-72.
- [43] BENAVIDES A. Relationships between leaf and fruit nutrients and fruit quality attributes in golden smoothie apples using multivariate regression techniques [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2005, **27**(2): 313-324.
- [44] 张东, 赵娟, 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): 2 179-2 187.
ZHANG D, ZHAO J, et al. Correlation analysis of leaf mineral nutrients with fruit quality in 'Fuji' apple in the loess plateau [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2014, **41**(11): 2 179-2 187.
- [45] 徐慧, 陈欣欣, 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.
XU H, CHEN X X, et al. Correlation and path analysis between mineral element and quality indicators of 'Fuji' apple fruits [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, **30**(25): 116-121.
- [46] 陆景陵. 植物营养学[M]. 第2版. 北京:中国农业大学出版社, 2003: 87-91.
- [47] SAENZ J L, DEJIONG T M, WEINBAUM S A. Nitrogen stimulated increases in peach yields are associated with extended fruit development period and increased fruit sink capacity [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1997, **122**(6): 772-777.
- [48] 郑重禄. 桃树氮素营养研究进展(4)——氮素对桃树产量与品质的影响[J]. 浙江柑橘, 2017, **34**(2): 12-16.
ZHENG Z L. Advances in nitrogen nutrition of peach trees (4)- effects of nitrogen on yield and quality of peach trees [J]. *Zhejiang Citrus*, 2017, **34**(2): 12-16.
- [49] MARCELLE R D. Predicting storage quality from preharvest fruit mineral analyses [J]. *Acta Horticulturae*, 1990, **274**: 305-314.
- [50] 徐爱春, 陈庆红, 顾霞. 猕猴桃不同果园土壤和叶片营养状况分析[J]. 中国土壤与肥料, 2011, **48**(5): 53-56.
XU A C, CHEN Q H, GU X. Nutrient diagnosis of leaves and soil at kiwifruit orchards with different yields [J]. *Soil and Fertilizer in China*, 2011, **48**(5): 53-56.
- [51] 高洪娜. 土壤环境因素对水果果实品质的影响[J]. 中国林副特产, 2015, **30**(5): 95-97.
GAO H N. The influence of soil environmental factors on the fruit quality [J]. *Forest By-Product and Speciality in China*, 2015, **30**(5): 95-97.
- [52] 张强, 魏钦平, 刘惠平, 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): 1 654-1 661.
ZHANG Q, WEI Q P, LIU H P, et al. Multivariate analysis and optimum proposals of the relationship between soil nutrients and fruit qualities in apple orchard [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, **44**(8): 1 654-1 661.
- [53] 黄丽萍, 张倩茹, 尹蓉, 等. 矿质营养元素与果树生长发育的关系[J]. 湖北农业科学, 2017, **56**(4): 601-602, 607.
HUANG L P, ZHANG Q R, YIN R, et al. Progressing on the relation between mineral nutrients and fruit tree growth and development [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2017, **56**(4): 601-602, 607.