

# 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

黄霄<sup>1</sup>, 姚丹<sup>1</sup>, 陆爱华<sup>2</sup>, 王化坤<sup>3</sup>, 渠慎春<sup>1</sup>, 高志红<sup>1,①</sup>

(1. 南京农业大学园艺学院, 江苏 南京 210095; 2. 江苏省农业委员会, 江苏 南京 210036;  
3. 江苏省太湖常绿果树技术推广中心, 江苏 苏州 215107)

**摘要:** 对江苏高淳、溧阳、镇江和苏州 4 个产地‘白玉’枇杷(*Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’)果实的品质指标和矿质元素含量以及土壤中矿质元素含量进行测定,并据此分析果实和土壤中矿质元素含量与果实品质的相关性。结果表明:不同产地‘白玉’枇杷果实的品质指标及果实和土壤中矿质元素含量均有不同程度差异。溧阳和苏州产果实的单果质量、横径、纵径、可滴定酸含量、含水量和果肉厚度均极显著或显著高于高淳和镇江产果实,但其可溶性固形物含量和固酸比均极显著低于后二者。果实中 N、P、K、Mg、Mn 和 Zn 含量均以苏州产果实最高,Ca 含量以镇江产果实最高,Na 含量以溧阳产果实最高,Fe 和 Cu 含量均以高淳产果实最高;土壤中 N、P、K、Ca、Cu 和 Zn 含量均以苏州产地最高,Mg 含量以镇江产地最高,Na 和 Fe 含量均以高淳产地最高,Mn 含量以镇江和苏州产地最高。相关性分析结果表明:在果实中,除 Ca 和 Fe 含量外,其他矿质元素含量与多数果实品质指标均呈极显著或显著相关性;其中,N、P、K 和 Mn 含量与单果质量、横径、种子质量和果肉厚度均呈极显著或显著正相关;N、P、K、Mg 和 Na 含量与可溶性固形物含量和固酸比均呈极显著或显著负相关,与可滴定酸含量和含水量均呈极显著或显著正相关;但 Cu 含量却与单果质量、横径、果肉厚度、可食率、可滴定酸含量和含水量呈极显著或显著负相关,与可溶性固形物含量和固酸比分别呈显著和极显著正相关。在土壤中,Ca 和 Cu 含量与果实品质指标均无显著相关性,K 和 Zn 含量与固酸比分别呈极显著的正相关和负相关,Mg 和 Fe 含量与多数果实品质指标均呈负相关,且与其中部分果实品质指标呈极显著或显著相关;此外,N 含量与单果质量、果肉厚度、可滴定酸含量和含水量,P 含量与横径、种子质量、果肉厚度和可滴定酸含量呈显著或极显著正相关。研究结果表明:溧阳和苏州产‘白玉’枇杷果实较大,但可溶性固形物含量较低;果实中 N、P、K、Mg 和 Cu 含量以及土壤中 N、Mg、Fe、P 和 Na 含量对果实品质均有较大影响。此外,依据研究结果,对实际生产中各元素的施用量提出建议。

**关键词:** ‘白玉’枇杷; 土壤; 矿质元素含量; 果实品质; 相关性分析

中图分类号: Q945; S667.3 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2018)02-0085-08

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2018.02.11

**Correlation analysis on fruit quality of *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’ from different locations in Jiangsu Province with mineral element contents in fruit and soil** HUANG Xiao<sup>1</sup>, YAO Dan<sup>1</sup>, LU Aihua<sup>2</sup>, WANG Huakun<sup>3</sup>, QU Shenchun<sup>1</sup>, GAO Zhihong<sup>1,①</sup> (1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Agriculture Committee of Jiangsu Province, Nanjing 210036, China; 3. Technical Extension Center of Evergreen Fruit Trees in Taihu of Jiangsu Province, Suzhou 215107, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2018, 27(2): 85-92

**Abstract:** Quality indexes and mineral element contents in fruit of *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’, and mineral element contents in soil from four locations of Gaochun, Liyang, Zhenjiang and Suzhou in Jiangsu Province were assayed, and based on these results, the correlation of mineral element contents in fruit

收稿日期: 2017-09-26

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—),男,安徽安庆人,硕士研究生,主要从事果树生理与生物技术研究。

①通信作者 E-mail: gaozhihong@njau.edu.cn

and soil with fruit quality was analyzed. The results show that there are differences at different degrees in quality indexes of fruit of *E. japonica* 'Baiyu' and mineral element contents in fruit and soil from different locations. Weight per fruit, horizontal diameter, vertical diameter, titratable acid content, water content, and pulp thickness of fruit from Liyang and Suzhou are extremely significantly or significantly higher than those of fruit from Gaochun and Zhenjiang, while their soluble solid content and soluble solid/titratable acid ratio are extremely significantly lower than the latter two. N, P, K, Mg, Mn, and Zn contents are the highest in fruit from Suzhou, Ca content is the highest in fruit from Zhenjiang, Na content is the highest in fruit from Liyang, and Fe and Cu contents are the highest in fruit from Gaochun; N, P, K, Ca, Cu, and Zn contents are the highest in soil from Suzhou, Mg content is the highest in soil from Zhenjiang, Na and Fe contents are the highest in soil from Gaochun, and Mn content is the highest in soil from Zhenjiang and Suzhou. The correlation analysis result shows that except Ca and Fe contents, all other mineral element contents in fruit show extremely significant or significant correlations with most fruit quality indexes; in which, N, P, K, and Mn contents show extremely significantly or significantly positive correlations with weight per fruit, horizontal diameter, seed weight, and pulp thickness; N, P, K, Mg, and Na contents show extremely significantly or significantly negative correlations with soluble solid content and soluble solid/titratable acid ratio, but extremely significantly or significantly positive correlations with titratable acid content and water content; but Cu content shows extremely significantly or significantly negative correlations with weight per fruit, horizontal diameter, pulp thickness, edible rate, titratable acid content and water content, and significantly and extremely significantly positive correlations with soluble solid content and soluble solid/titratable acid ratio, respectively. In soil, Ca and Cu contents show no significant correlation with fruit quality indexes, K and Zn contents show extremely significantly positive and negative correlations with soluble solid/titratable acid ratio, respectively, and Mg and Fe contents show negative correlations with most fruit quality indexes and extremely significant or significant correlations with some fruit quality indexes; in addition, there are significantly or extremely significantly positive correlations of N content with weight per fruit, pulp thickness, titratable acid content and water content, and P content with horizontal diameter, seed weight, pulp thickness and titratable acid content. It is suggested that fruit of *E. japonica* 'Baiyu' from Liyang and Suzhou is relatively large, but their soluble solid content is relatively low; N, P, K, Mg, and Cu contents in fruit and N, Mg, Fe, P, and Na contents in soil have great influence on fruit quality. In addition, recommendations are proposed for the application amount of each element in actual production process according to the results.

**Key words:** *Eriobotrya japonica* 'Baiyu'; soil; mineral element content; fruit quality; correlation analysis

果实品质(口感、风味和营养等)直接影响果实的质量等级和商品价值。果实中适宜的养分含量与比例可明显提升果实的产量和品质。对果实品质的相关研究表明:矿质营养与果实品质关系密切<sup>[1]</sup>,果实中N含量升高则其可溶性固形物含量降低、可滴定酸含量增加<sup>[2]</sup>;果实中K含量升高则其糖含量增加、果实硬度降低<sup>[2-3]</sup>;果实中Fe含量升高则其可溶性固形物含量增加<sup>[4]</sup>。除自身遗传特性外,生态因子和种植技术等也影响果实品质。在生态因子中,土壤因子对果实品质的影响仅次于气候因子,土壤中矿质营养水平直接影响果树生长发育和果实品质<sup>[5]</sup>;土壤中N、P、K、Mn、Zn和Fe的含量与果实产量呈正相关,而其Ca含量则与果实产量呈负相关<sup>[6]</sup>;土壤中增施N、P和K肥可提高果实中可溶性糖和维生素的含量<sup>[7-8]</sup>。深入了解土壤中矿质元素

的含量水平对果实品质的影响效应,对提升果树的果实品质具有重要意义。

枇杷[*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.]隶属于蔷薇科(Rosaceae)枇杷属(*Eriobotrya* Lindl.),原产于中国亚热带地区,种质资源丰富<sup>[9]</sup>。枇杷果实色香味俱佳,具有柔软多汁、营养丰富和甜酸适度等特点<sup>[10]</sup>;其花、果、叶和根还可入药,具有清肺和胃、降气化痰的功效<sup>[9]</sup>。目前,国内外学者对枇杷果实成分的研究主要集中于酚类<sup>[11]</sup>、多糖<sup>[12]</sup>、黄酮<sup>[13-14]</sup>、有机酸<sup>[15]</sup>和胡萝卜素<sup>[16]</sup>等活性成分,对枇杷果实和土壤中矿质元素含量与果实品质的关系尚缺乏足够了解。

鉴于此,作者以'白玉'枇杷(*E. japonica* 'Baiyu')为研究对象,对江苏高淳、溧阳、镇江和苏州4个产地的枇杷果实品质以及果实和土壤中矿质

元素含量进行了测定,并分析了枇杷果实和土壤中矿质元素含量与果实品质的相关性,以期为枇杷果实品质的提高以及种植过程中合理施肥条件的确定奠定基础,也为实现枇杷果实的高糖低酸、优质高效生产提供基础实验数据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试‘白玉’枇杷果实取自江苏高淳、溧阳、镇江和苏州4个产地,选择栽培管理水平较高的成年结果园12个,在每个果园内随机选取8株长势基本一致、树冠大小中等、健康的成年个体为样株,在2017年5月中下旬果实成熟期采集果实和土壤。

### 1.2 方法

1.2.1 样品采集 在各果园样株上随机采集无病虫害、果实端正、成熟度和大小基本一致的新鲜果实20个,采样方位和冠层均一致;将果实分为2组,每组10个,分别用于果实品质指标和矿质元素含量测定。在树冠滴水线下东、南、西、北4个方向,用取土器钻取距地表0~30 cm的土壤,混合,风干,研磨后过筛(100目),用于矿质元素含量测定。

1.2.2 测定方法 取一组果实,用游标卡尺(精度0.05 mm)测量果实横径和纵径,用电子分析天平[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司,精度0.0001 g]称量单果质量;再将果肉、果皮和果核分离,统计种子数,用上述电子分析天平称量种子、果皮和果肉的质量,用游标卡尺测量果肉厚度,计算可食率;果肉打浆、榨汁、过滤,用PAL-1型便携式数显糖度计(日本Atago公司)测定果肉中可溶性固形物含量,用指示剂滴定法<sup>[17]</sup>测定果肉中可滴定酸含量。并按照公式“可食率=[(单果质量-种子质量-果皮质量)/单果质量]×100%”和固酸比=(可溶性固形物含量/可滴定酸含量)×100%”分别计算果实的可食率和固酸比。

另一组果实先用电子分析天平称量单果鲜质量,再于105℃杀青30 min,然后于75℃烘干至恒质量,称量单果干质量,并按照公式“含水量=[(单果鲜质量-单果干质量)/单果鲜质量]×100%”计算果实含水量。将烘干至恒质量的果实研磨并过筛(100目)。取适量样品粉末,经H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮后用流动分析仪(深圳市一正科技有限公司)测定N含量<sup>[18]</sup>;取适

量样品粉末,经HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>消煮后用Agilent 710 ICP-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、Na、Fe、Mn、Cu和Zn含量<sup>[19-20]</sup>。

取各土壤样品适量,经H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-混合加速剂消煮后按上述方法测定N含量;取各土壤样品适量,经HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub>消煮后按上述方法测定P、K、Ca、Mg、Na、Fe、Mn、Cu和Zn含量。

各指标均以单果汁,重复测定3次,结果取平均值。

### 1.3 数据处理和分析

采用EXCEL 2016和SPSS 19.0统计分析软件进行数据处理和统计分析;采用Duncan's新复极差法对数据进行多重比较;并对果实中矿质元素含量和土壤中矿质元素含量与果实品质进行Pearson相关性分析。

## 2 结果和分析

### 2.1 果实品质及其矿质元素含量的比较

江苏高淳、溧阳、镇江和苏州4个产地‘白玉’枇杷的果实品质和果实中矿质元素含量的比较结果分别见表1和表2。

2.1.1 果实品质的比较 由表1可见:溧阳和苏州产果实的单果质量、横径、纵径、可滴定酸含量和含水量均极显著( $P<0.01$ )高于高淳和镇江产果实,以溧阳产果实的单果质量、横径、纵径、可滴定酸含量和含水量均最高,分别为33.58 g、36.23 mm、38.71 mm、0.52%和87.88%;溧阳和苏州产果实的果肉厚度显著( $P<0.05$ )高于高淳和镇江产果实,分别为6.71和6.89 mm。高淳产果实的种子数最多,但各产地间种子数无显著差异。溧阳产果实的种子质量最高,为6.32 g,且极显著高于高淳和镇江产果实。高淳产果实的可食率最低,仅为65.74%,且极显著低于溧阳和苏州产果实。高淳和镇江产果实的可溶性固形物含量和固酸比均极显著高于溧阳和苏州产果实,分别为17.38%和17.99%、83.39和76.65,其中,溧阳产果实的可溶性固形物含量和固酸比均最低,分别仅为13.52%和27.77。

2.1.2 果实中矿质元素含量的比较 由表2可见:苏州产果实中N、P、K和Mg含量分别为7.14、1.17、13.21和0.98 g·kg<sup>-1</sup>,均极显著高于其他3个产地;

表 1 江苏 4 个产地‘白玉’枇杷果实品质指标的比较 ( $\bar{X}\pm SE$ )<sup>1)</sup>Table 1 Comparison on quality indexes of fruit of *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’ from four locations in Jiangsu Province ( $\bar{X}\pm SE$ )<sup>1)</sup>

产地 Location	单果质量/g Weight per fruit	横径/mm Horizontal diameter	纵径/mm Vertical diameter	种子数 Seed number	种子质量/g Seed weight	果肉厚度/mm Pulp thickness
高淳 Gaochun	22.05±2.17Bb	29.36±1.31Bc	34.51±1.63Bb	3.1±0.7Aa	5.32±0.94Bb	6.32±0.58Ab
溧阳 Liyang	33.58±2.49Aa	36.23±1.02Aa	38.71±1.69Aa	2.7±0.8Aa	6.32±2.16Aa	6.71±0.75Aa
镇江 Zhenjiang	21.53±1.14Bb	28.49±1.84Bc	34.29±0.75Bb	2.4±0.5Aa	4.72±0.41Cc	6.48±0.50Ab
苏州 Suzhou	31.74±3.77Aa	33.04±3.22Ab	37.78±2.33Aa	2.5±0.5Aa	5.87±0.94ABab	6.89±0.87Aa

  

产地 Location	可食率/% Edible rate	可溶性固形物含量/% Soluble solid content	可滴定酸含量/% Titratable acid content	固酸比 Soluble solid/titratable acid ratio	含水量/% Water content
高淳 Gaochun	65.74±1.84Bb	17.38±1.39Aa	0.21±0.00Bb	83.39±2.72Aa	83.25±1.95Bb
溧阳 Liyang	70.35±2.41Aa	13.52±1.03Bb	0.52±0.08Aa	27.77±2.17Bb	87.88±0.91Aa
镇江 Zhenjiang	68.18±2.47ABab	17.99±1.10Aa	0.23±0.05Bb	76.65±5.16Aa	83.94±1.87Bb
苏州 Suzhou	70.20±3.40Aa	15.03±1.18Bb	0.43±0.05Aa	34.81±0.97Bb	86.58±0.84Aa

<sup>1)</sup> 同列中不同的大写和小写字母分别表示差异极显著 ( $P<0.01$ ) 和显著 ( $P<0.05$ )。Different capitals and lowercases in the same column indicate the extremely significant ( $P<0.01$ ) and significant ( $P<0.05$ ) differences, respectively.

表 2 江苏 4 个产地‘白玉’枇杷果实中矿质元素含量的比较 ( $\bar{X}\pm SE$ )<sup>1)</sup>Table 2 Comparison on mineral element contents in fruit of *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’ from four locations in Jiangsu Province ( $\bar{X}\pm SE$ )<sup>1)</sup>

产地 Location	N 含量/g · kg <sup>-1</sup> N content	P 含量/g · kg <sup>-1</sup> P content	K 含量/g · kg <sup>-1</sup> K content	Ca 含量/g · kg <sup>-1</sup> Ca content	Mg 含量/g · kg <sup>-1</sup> Mg content
高淳 Gaochun	5.43±0.15Cc	0.79±0.01Cc	10.74±0.03Cc	2.00±0.02Dd	0.69±0.01Cc
溧阳 Liyang	6.32±0.09Bb	1.07±0.01Bb	12.22±0.08Bb	2.59±0.03Bb	0.90±0.01Bb
镇江 Zhenjiang	5.34±0.01Cc	0.76±0.01Cd	10.71±0.13Cc	3.19±0.10Aa	0.92±0.01Bb
苏州 Suzhou	7.14±0.03Aa	1.17±0.02Aa	13.21±0.09Aa	2.38±0.03Cc	0.98±0.01Aa

  

产地 Location	Na 含量/mg · kg <sup>-1</sup> Na content	Fe 含量/mg · kg <sup>-1</sup> Fe content	Mn 含量/mg · kg <sup>-1</sup> Mn content	Cu 含量/mg · kg <sup>-1</sup> Cu content	Zn 含量/mg · kg <sup>-1</sup> Zn content
高淳 Gaochun	17.84±1.15Bc	168.56±3.74Aa	43.56±2.41Aa	5.69±0.46Aa	17.68±0.47Ab
溧阳 Liyang	29.72±1.25Aa	124.63±2.25ABab	41.19±2.12Aa	3.87±0.32Ab	23.86±1.97Aab
镇江 Zhenjiang	25.18±0.74Aab	81.25±3.42Bb	18.57±1.31Bb	5.22±0.47Aab	19.79±1.06Aab
苏州 Suzhou	23.39±2.42ABb	79.44±1.11Bb	45.84±1.32Aa	4.37±0.43Aab	24.38±1.37Aa

<sup>1)</sup> 同列中不同的大写和小写字母分别表示差异极显著 ( $P<0.01$ ) 和显著 ( $P<0.05$ )。Different capitals and lowercases in the same column indicate the extremely significant ( $P<0.01$ ) and significant ( $P<0.05$ ) differences, respectively.

其中,高淳和镇江产果实中 N、P 和 K 含量无显著差异,但均显著低于溧阳产果实;而溧阳和镇江产果实中 Mg 含量无显著差异,但均显著高于高淳产果实。镇江产果实中 Ca 含量最高,为  $3.19 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,且各产地间果实中 Ca 含量均有极显著差异。溧阳、镇江和苏州产果实中 Na 含量分别为 29.72、25.18 和 23.39  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,无显著差异,但均显著高于高淳产果实。高淳产果实中 Fe 含量最高,为  $168.56 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,极显著高于镇江和苏州产果实。高淳、溧阳和苏州产果实中 Mn 含量分别为 43.56、41.19 和 45.84  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,无显著差异,但均极显著高于镇江产果实。高淳产果实中 Cu 含量最高,为  $5.69 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,显著高于溧阳产果实。苏州产果实中 Zn 含量最高,为  $24.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,显著高于高淳产果实。

## 2.2 土壤中矿质元素含量的比较

江苏高淳、溧阳、镇江和苏州 4 个‘白玉’枇杷产地土壤中矿质元素含量的比较结果见表 3。由表 3 可见,苏州产地土壤中 N 含量最高,为  $0.70 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,显著高于镇江产地;苏州产地土壤中 P、K、Ca、Cu 和 Zn 含量总体上极显著高于其他 3 个产地,分别为  $1.37 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $2.43 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $2.55 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $21.32 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  和  $68.84 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。镇江产地土壤中 Mg 含量最高,为  $2.51 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,极显著高于其他 3 个产地。高淳产地土壤中 Fe 含量最高,为  $24.31 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,显著高于其他 3 个产地。此外,溧阳产地土壤中 K、Ca、Mg、Na、Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量均最低,分别为  $0.69 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.45 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $11.91 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $14.50 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.09 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $3.87 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$

表3 江苏‘白玉’枇杷4个产地土壤中矿质元素含量的比较( $\bar{X}\pm SE$ )<sup>1)</sup>Table 3 Comparison on mineral element contents in soil from four locations of *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’ in Jiangsu Province ( $\bar{X}\pm SE$ )<sup>1)</sup>

产地 Location	N 含量/g · kg <sup>-1</sup> N content	P 含量/g · kg <sup>-1</sup> P content	K 含量/g · kg <sup>-1</sup> K content	Ca 含量/g · kg <sup>-1</sup> Ca content	Mg 含量/g · kg <sup>-1</sup> Mg content
高淳 Gaochun	0.50±0.15Aab	0.18±0.02Bb	1.69±0.13Bb	1.17±0.13BCb	1.78±0.07Bb
溧阳 Liyang	0.67±0.04Aab	0.35±0.04Bb	0.69±0.04Cc	0.25±0.03Cc	0.45±0.06Cc
镇江 Zhenjiang	0.38±0.06Ab	0.18±0.01Bb	1.75±0.09Bb	1.59±0.03ABb	2.51±0.13Aa
苏州 Suzhou	0.70±0.08Aa	1.37±0.13Aa	2.43±0.19Aa	2.55±0.24Aa	1.55±0.11Bb

  

产地 Location	Na 含量/mg · kg <sup>-1</sup> Na content	Fe 含量/g · kg <sup>-1</sup> Fe content	Mn 含量/g · kg <sup>-1</sup> Mn content	Cu 含量/mg · kg <sup>-1</sup> Cu content	Zn 含量/mg · kg <sup>-1</sup> Zn content
高淳 Gaochun	46.98±1.79Aa	24.31±0.37Aa	0.46±0.06Aa	12.76±0.78Bb	41.26±2.49Bbc
溧阳 Liyang	11.91±1.66Bb	14.50±1.03Cc	0.09±0.01Bb	3.87±0.29Cc	34.81±4.31Bc
镇江 Zhenjiang	36.79±2.62Aa	20.77±1.26ABb	0.62±0.07Aa	13.69±0.63Bb	54.71±2.25ABab
苏州 Suzhou	42.27±2.75Aa	20.06±0.52Bb	0.62±0.03Aa	21.32±1.54Aa	68.84±2.32Aa

<sup>1)</sup> 同列中不同的大写和小写字母分别表示差异极显著( $P<0.01$ )和显著( $P<0.05$ ) Different capitals and lowercases in the same column indicate the extremely significant ( $P<0.01$ ) and significant ( $P<0.05$ ) differences, respectively.

和 34.81 mg · kg<sup>-1</sup>,均极显著低于其他3个产地。

### 2.3 果实和土壤中矿质元素含量与果实品质的相关性分析

江苏高淳、溧阳、镇江和苏州4个产地‘白玉’枇杷的果实和土壤中矿质元素含量与果实品质指标的相关性分析结果分别见表4和表5。

2.3.1 果实中矿质元素含量与果实品质的相关性分析 由表4可见:在果实的大量元素中,N、P和K含量与单果质量、横径、种子质量、果肉厚度和可滴定酸含量均呈极显著( $P=0.01$ )正相关,与含水量总体上呈显著( $P=0.05$ )正相关,与可溶性固形物含量和固酸比均呈极显著负相关。总体上看,在果实的大量元素中,P含量对果实品质影响最大,其次为K和N

含量。

在果实的常量元素中,Ca含量与种子质量呈极显著负相关,与其他果实品质指标无显著相关性;Mg和Na含量与可溶性固形物含量和固酸比均呈显著负相关,与可滴定酸含量和含水量均呈显著正相关;Mg含量与果肉厚度呈显著正相关,与可食率呈极显著正相关;Na含量与单果质量和纵径呈显著正相关。

在果实的微量元素中,Fe含量与种子数呈显著正相关,与可食率呈显著负相关;Mn和Zn含量与单果质量和果肉厚度均呈显著正相关,与可溶性固形物含量均呈显著负相关;Mn含量还与横径和种子质量呈极显著正相关;Zn含量还与横径呈显著正相关,与固酸比呈显著负相关;Cu含量与单果质量、纵径、可滴

表4 江苏产‘白玉’枇杷果实中矿质元素含量与果实品质指标的相关性分析结果

Table 4 Results of correlation analysis on mineral element contents with quality indexes of fruit of *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’ from Jiangsu Province

矿质元素含量 Mineral element content	与果实品质指标的相关系数 <sup>1)</sup> Correlation coefficient with quality indexes of fruit <sup>1)</sup>										
	WF	HD	VD	SN	SW	PT	ER	SSC	TAC	SS/TA	WC
N	0.755**	0.752**	0.321	0.050	0.772**	0.878**	0.382	-0.745**	0.754**	-0.805**	0.468
P	0.860**	0.829**	0.473	-0.028	0.812**	0.882**	0.472	-0.855**	0.825**	-0.874**	0.583*
K	0.785**	0.783**	0.364	-0.025	0.778**	0.870**	0.423	-0.810**	0.777**	-0.839**	0.513*
Ca	-0.181	-0.401	0.102	-0.279	-0.753**	-0.226	0.386	0.152	-0.041	0.057	0.125
Mg	0.441	0.244	0.293	-0.250	-0.002	0.542*	0.634**	-0.485*	0.561*	-0.608*	0.479*
Na	0.560*	0.285	0.625*	-0.019	-0.047	0.271	0.440	-0.609*	0.621*	-0.589*	0.660**
Fe	-0.078	0.112	-0.079	0.537*	0.189	-0.214	-0.479*	0.100	-0.172	0.223	-0.249
Mn	0.507*	0.668**	0.147	0.230	0.893**	0.497*	-0.047	-0.498*	0.381	-0.411	0.147
Cu	-0.732**	-0.556*	-0.643**	0.074	0.407	-0.571*	-0.524*	0.585*	-0.686**	0.676**	-0.658**
Zn	0.481*	0.626*	0.418	0.368	0.397	0.504*	0.311	-0.560*	0.416	-0.562*	0.296

<sup>1)</sup> WF: 单果质量 Weight per fruit; HD: 横径 Horizontal diameter; VD: 纵径 Vertical diameter; SN: 种子数 Seed number; SW: 种子质量 Seed weight; PT: 果肉厚度 Pulp thickness; ER: 可食率 Edible rate; SSC: 可溶性固形物含量 Soluble solid content; TAC: 可滴定酸含量 Titratable acid content; SS/TA: 固酸比 Soluble solid/titratable acid ratio; WC: 含水量 Water content. \*:  $P=0.05$ ; \*\*:  $P=0.01$ .

定酸含量和含水量呈极显著负相关,与横径、果肉厚度和可食率呈显著负相关,与可溶性固形物含量呈显著正相关,与固酸比呈极显著正相关。总体上看,在果实的微量元素中,Cu 含量对果实品质影响最大,其次为 Mn、Fe 和 Zn 含量。

2.3.2 土壤中矿质元素含量与果实品质的相关性分析 由表 5 可见:在土壤的大量元素中,N 含量与单果质量、果肉厚度、可滴定酸含量和含水量呈显著正相关,与种子质量呈极显著正相关,与可溶性固形物含量呈极显著负相关;P 含量与单果质量和可溶性固形物含量呈显著负相关,与横径、种子质量和可滴定酸含量呈显著正相关,与果肉厚度呈极显著正相关;K 含量与固酸比呈极显著正相关,与其他果实品质指标均无显著相关性。总体上看,在土壤的大量元素中,N 和 P 含量对果实品质有较大影响。

在土壤的常量元素中,Ca 含量与各项果实品质指标均无显著相关性;Mg 和 Na 含量与可溶性固形物

含量和固酸比均呈正相关,与其他果实品质指标均呈负相关,其中,Mg 含量与单果质量、横径、纵径、种子质量、可滴定酸含量和含水量呈极显著负相关,与果肉厚度呈显著负相关,与可溶性固形物含量和固酸比呈极显著正相关;Na 含量与纵径和含水量呈极显著负相关,与可溶性固形物含量呈显著正相关,与可滴定酸含量呈显著负相关。总体上看,在土壤的常量元素中,Mg 和 Na 含量对果实品质有较大影响。

在土壤的微量元素中,Fe 含量与单果质量、纵径、可滴定酸含量和含水量呈极显著负相关,与横径呈显著负相关,与可食率呈显著正相关,与可溶性固形物含量呈极显著正相关;Mn 含量与纵径呈显著负相关,与可溶性固形物含量呈显著正相关,与固酸比和含水量呈极显著负相关;Cu 含量与果实品质指标均无显著相关性;Zn 含量与固酸比呈极显著负相关,与其他果实品质指标均无显著相关性。总体上看,在土壤的微量元素中,Fe 含量对果实品质有较大影响。

表 5 江苏‘白玉’枇杷产地土壤中矿质元素含量与果实品质指标的相关性分析结果

Table 5 Results of correlation analysis on mineral element contents in soil with quality indexes of fruit of *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’ from Jiangsu Province

矿质元素含量 Mineral element content	与果实品质指标的相关系数 <sup>1)</sup> Correlation coefficient with quality indexes of fruit <sup>1)</sup>										
	WF	HD	VD	SN	SW	PT	ER	SSC	TAC	SS/TA	WC
N	0.592*	0.368	0.234	0.067	0.748**	0.585*	0.113	-0.669**	0.575*	-0.076	0.573*
P	-0.583*	0.456*	0.182	-0.285	0.567*	0.763**	0.317	-0.510*	0.550*	-0.051	0.202
K	-0.050	-0.151	-0.408	-0.245	0.058	0.297	-0.034	0.142	-0.105	0.686**	-0.355
Ca	0.130	-0.063	-0.169	-0.426	0.045	0.264	0.119	0.121	0.020	0.025	-0.240
Mg	-0.707**	-0.743**	-0.715**	-0.052	-0.720**	-0.474*	-0.299	0.760**	-0.690**	0.718**	-0.620**
Na	-0.414	-0.361	-0.603**	-0.120	-0.144	-0.047	-0.378	0.474*	-0.454*	0.378	-0.679**
Fe	-0.610**	-0.533*	-0.754**	0.121	-0.231	-0.315	0.462*	0.695**	-0.689**	0.437	-0.731**
Mn	-0.343	-0.441	-0.506*	-0.323	-0.339	0.094	-0.149	0.479*	-0.410	-0.648**	-0.611**
Cu	0.020	-0.080	-0.361	-0.272	0.095	0.379	-0.085	0.078	-0.013	-0.174	-0.314
Zn	0.205	-0.105	-0.019	-0.421	0.001	0.416	0.088	0.021	0.195	-0.679**	-0.078

<sup>1)</sup> WF: 单果质量 Weight per fruit; HD: 横径 Horizontal diameter; VD: 纵径 Vertical diameter; SN: 种子数 Seed number; SW: 种子质量 Seed weight; PT: 果肉厚度 Pulp thickness; ER: 可食率 Edible rate; SSC: 可溶性固形物含量 Soluble solid content; TAC: 可滴定酸含量 Titratable acid content; SS/TA: 固酸比 Soluble solid/titratable acid ratio; WC: 含水量 Water content. \*:  $P=0.05$ ; \*\*:  $P=0.01$ .

### 3 讨论和结论

果实品质受很多内在和外因子的影响,其中,不同产地的果实品质有较大差异<sup>[21-24]</sup>。本研究结果显示:江苏不同产地‘白玉’枇杷果实品质存在明显差异,溧阳和苏州产果实的单果质量、横径、纵径、可滴定酸含量和含水量均极显著高于高淳和镇江产果实,但可溶性固形物含量和固酸比却极显著低于高淳

和镇江产果实。不同区域的气象因子(如海拔和年降水量等)、栽植条件和肥水管理水平等均影响果实品质<sup>[25]</sup>,导致江苏不同产地‘白玉’枇杷果实品质存在差异。

果实中矿质元素含量不仅与栽培土壤的营养状况、肥力水平和吸收利用效率有关,而且对果树的生长发育、果实的形成和产量以及果实品质调控等方面也有重要作用<sup>[26-27]</sup>。徐慧等<sup>[28]</sup>认为,果实的生长发育和品质受各种矿质元素协同调控,其中,果实中 P

含量与单果质量和果肉厚度呈显著正相关,而 N 含量与可溶性固形物含量和果肉厚度呈负相关;王富林等<sup>[29]</sup>认为,果实中 Ca 含量与可溶性固形物含量呈正相关。本研究结果显示:‘白玉’枇杷果实中部分矿质元素含量与果实的某些品质指标呈显著或极显著相关性,说明果实中这些矿质元素含量对‘白玉’枇杷果实品质具有重要的影响,其中,果实中 N、P 和 K 含量与可溶性固形物含量均呈极显著负相关,与果实大小的相关指标呈极显著正相关,这是因为在植物 C 和 N 代谢中有 3 种至关重要的酶,包括硝酸还原酶(NR)、丙酮酸羧化酶(PEPC)和蔗糖磷酸合成酶(SPS),其活性受 N 素营养信号调节,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>浓度升高,促进氨基酸合成,限制蔗糖合成<sup>[30]</sup>。而且,果实中 P 含量与单果质量、横径、果肉厚度、可滴定酸含量和含水量的正相关性最大,与可溶性固形物含量和固酸比的负相关性最大,可能因为 P 是植物细胞核和各种质膜的重要组成成分,具有促进细胞分裂、提高果树抗逆性和适应性、增加果实产量的作用;但若果实中 P 含量过高,则呼吸作用增强,碳水化合物和能量大量消耗,对果实发育有不良影响<sup>[31]43-48</sup>。

本研究结果还显示:‘白玉’枇杷果实中 Mg 含量与可食率的正相关性最大;果实中 Cu 含量与单果质量、横径、纵径、果肉厚度、可食率、可滴定酸含量和含水量的负相关性最大,与可溶性固形物含量和固酸比的正相关性最大。这些研究结果与其他研究者的结果<sup>[32-33]</sup>略有差异,可能与果树种类、品种、土壤质地、水肥一体化和栽培管理技术等因子的差异密切相关。总之,‘白玉’枇杷果实中 N、P、K、Mg 和 Cu 含量对其果实品质有较大影响。

土壤是生态系统中物质和能量交换的重要场所,土壤营养的丰缺程度与果树的生长发育、果实的产量和品质有密切关系<sup>[34]</sup>。良好的土壤矿质营养水平可以促进果树健壮生长,对果实品质有至关重要的作用<sup>[25]</sup>。例如:土壤中 P 含量与果实中 V<sub>C</sub> 含量呈显著正相关<sup>[35]</sup>;提高土壤中 Ca 浓度能够提升果实硬度<sup>[36-37]</sup>;土壤中全 N 含量与果实中可溶性固形物含量呈负相关,与固酸比呈正相关<sup>[38]</sup>。本研究结果表明:土壤中 N 含量与‘白玉’枇杷果实的单果质量、纵径、种子质量、可滴定酸含量和含水量的正相关性最大,这是因为当土壤中 N 充足时,可促进果树花芽分化,并通过延长果实生长期和提高果实生长速率增加单果质量,从而使果实产量提高<sup>[39]</sup>。土壤中 Mg 含量

与‘白玉’枇杷果实的单果质量、横径、种子质量、果肉厚度和可滴定酸含量的负相关性最大,与可溶性固形物含量和固酸比的正相关性最大,这是因为植物从土壤中吸收的 Mg 能够活化二磷酸核酮糖羧化酶,促进 CO<sub>2</sub> 同化,从而有利于果实中糖类和淀粉的合成和积累<sup>[31]67</sup>。此外,土壤中 Fe 含量与‘白玉’枇杷果实纵径和含水量的负相关性最大,与可食率的正相关性最大;土壤中 P 含量与‘白玉’枇杷果实横径和果肉厚度的正相关性最大;土壤中 Na 含量与‘白玉’枇杷果实可食率的负相关性最大。总之,江苏不同产地土壤中 N、Mg、Fe、P 和 Na 含量对‘白玉’枇杷的果实品质有较大影响。

综上所述,江苏 4 个产地‘白玉’枇杷果实品质存在差异,其中,溧阳和苏州产的果实较大,但可溶性固形物含量较低;‘白玉’枇杷果实中 N、P、K、Mg 和 Cu 含量对其果实品质影响较大,而各产地土壤中 N、Mg、Fe、P 和 Na 含量对其果实品质影响较大。在实际生产中,应根据各产地土壤中矿质元素的水平,协调各矿质元素的施肥比例,适当增施 N、P、K、Fe 和 Mg 肥,控制或减施 Cu 和 Na 肥,以提高枇杷果实品质,实现枇杷的高糖低酸、优质高效生产。

#### 参考文献:

- [1] 王国义. 主产区苹果园矿质营养及其与果实品质关系的研究[D]. 北京: 中国农业大学园艺学院, 2014: 32-43.
- [2] NEILSEN D, NEILSEN G. Nutritional effects on fruit quality for apple trees[J]. *Fruit Quarterly*, 2009, 17(3): 21-24.
- [3] 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*, 2007, 22(3): 111-115.
- [4] 张 强, 魏钦平, 蒋瑞山, 等. 富士苹果矿质营养含量与几个主要品质指标的相关性分析[J]. *园艺学报*, 2011, 38(10): 1963-1968.
- [5] 鲍江峰, 夏仁学, 彭抒昂, 等. 湖北省纽荷兰脐橙园土壤营养状况及其对果实品质的影响[J]. *土壤*, 2006, 38(1): 75-80.
- [6] MAMGAIN S, VERMA H S, KUMAR J. Relationship between fruit yield, and foliar and soil nutrient status in apple[J]. *Indian Journal of Horticulture*, 1998, 55(3): 226-231.
- [7] 高义民, 同延安. 氮磷钾肥对陕西关中猕猴桃品质、产量和经济效益的影响[J]. *西北农业学报*, 2010, 19(2): 138-140, 145.
- [8] 代志国, 曲柏宏, 王 颖, 等. 钾肥对苹果梨树生长和果实产量与品质的影响[J]. *北方园艺*, 2002(6): 60-61.
- [9] 付 燕, 杨 琴, 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.
- [10] 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.
- [11] DING C K, CHACHIN K, UEDA Y, et al. Metabolism of phenolic

- compounds during loquat fruit development [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(6): 2883-2888.
- [12] 陈秀萍, 邓朝军, 许奇志, 等. 4个枇杷品种果实糖组分含量及其分布研究[J]. *福建农业学报*, 2015, 30(2): 141-145.
- [13] JIANG J, ZHENG S Q, GAO H Y, et al. Polysaccharides and flavones in loquat cultivars [J]. *Acta Horticulturae*, 2007, 750(750): 321-323.
- [14] 林素英, 何松涛, 谢文燕, 等. 枇杷果实总酚和总黄酮的提取及抗氧化性研究[J]. *宜春学院学报*, 2016, 38(6): 90-94.
- [15] SHAW P E, WILSON C W. Determination of organic acids and sugars in loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) by high-pressure liquid chromatography [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2010, 32(12): 1242-1246.
- [16] 陈宇, 林素英, 徐立影, 等. 贮藏温度对采后枇杷果实类胡萝卜素含量的影响[J]. *热带作物学报*, 2014, 35(7): 1325-1330.
- [17] 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.
- [18] 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(自然科学版)*, 2006, 34(10): 128-132.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25-114.
- [20] 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, 2000: 146-578.
- [21] 方治军, 徐小彪, 辜青青, 等. 江西不同产地南丰蜜桔果实品质分析[J]. *中国南方果树*, 2009, 38(3): 22-23.
- [22] 位杰, 马建江, 陈久红, 等. 不同产地库尔勒香梨果实品质差异及综合评价[J]. *食品科学*, 2017, 38(19): 87-91.
- [23] 李文云, 王壮, 袁启凤, 等. 不同产地牛肉红朱橘果实的品质和类胡萝卜素含量[J]. *西南农业学报*, 2013, 26(2): 686-690.
- [24] 马国飞, 张磊, 王静, 等. 不同产地‘澳洲青苹’果实形态及品质特征的比较分析[J]. *经济林研究*, 2016, 34(4): 117-122.
- [25] 景淑娟, 郭学军, 李娟绒, 等. 影响红富士苹果质量的因素及改善措施[J]. *山西果树*, 2010(1): 31-32.
- [26] 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.
- [27] IGLESIAS D J, CERCÓS M, COLMENERO-FLORES J M, et al. Physiology of citrus fruiting [J]. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 2007, 19(4): 333-362.
- [28] 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.
- [29] 王富林, 丁宁, 李洪娜, 等. 喷施不同钙肥对富士苹果果实品质和矿质元素含量的影响[J]. *安徽农业科学*, 2013, 41(6): 2403-2406.
- [30] CHAMPIGNY M L, FOYER C. Nitrate activation of cytosolic protein kinases diverts photosynthetic carbon from sucrose to amino acid biosynthesis: basis for a new concept [J]. *Plant Physiology*, 1992, 100(1): 7-12.
- [31] 陆景陵. 植物营养学(上册)[M]. 2版. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
- [32] MIQUELOTO A, DO AMARANTE C V T, STEFFENS C A, et al. Relationship between xylem functionality, calcium content and the incidence of bitter pit in apple fruit [J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 165(3): 319-323.
- [33] JAN I, RAB A, SAJID M. Influence of calcium chloride on physical characteristics and soft rot incidence on fruit of apple cultivars [J]. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 2013, 23(5): 1353-1359.
- [34] 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(5): 95-97.
- [35] 宋锋惠, 哈地尔·依沙克, 史彦江, 等. 新疆塔里木盆地骏枣果实营养与土壤养分相关性分析[J]. *果树学报*, 2010, 27(4): 626-630.
- [36] 刘科鹏, 黄春辉, 冷建华, 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.
- [37] RATO A E, AGULHEIRO A C, BARROSO J M, et al. Soil and rootstock influence on fruit quality of plums (*Prunus domestica* L.) [J]. *Scientia Horticulturae*, 2008, 118(3): 218-222.
- [38] 张涓涓, 杨莉, 刘德春, 等. 土壤养分状况与马家柚果实品质相关性的多元分析[J]. *经济林研究*, 2015, 33(4): 25-31.
- [39] SAENZ J L, DEJONG 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.

(责任编辑: 郭严冬)