

大棚栽培对枇杷果实品质和矿质元素吸收与积累的影响

黄霄¹, 王化坤^{2,3}, 薛松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;

³江苏省农业种质资源保护与利用平台, 江苏苏州 215107)

摘要:【目的】探究大棚设施栽培模式对枇杷果实品质和矿质元素含量的影响。【方法】以江苏省张家港市大棚和露地栽培的‘白玉’枇杷为研究对象, 对其叶片、花和果实在不同发育阶段矿质元素含量和果实品质进行了测定与分析。【结果】(1) 大棚栽培的‘白玉’枇杷果实的可滴定酸含量极显著低于露地栽培的果实, 而其他果实品质指标含量均极显著高于露地栽培的枇杷果实相应品质指标。(2) 在相同的管理水平和负载量, 大棚栽培的枇杷叶片中的N、Ca、Mg、Cu、Zn元素, 花中的N、P、K、Ca、Mg、Fe、Cu、Mn元素和果实中的N、P、K、Ca、Mg、Cu、Mn元素含量均高于露地栽培中相应矿质元素的含量。(3) 相关性分析结果表明, 叶片中Ca、Zn含量和果实中Mg、Mn、Cu含量与枇杷单果质量和可溶性固形物含量呈显著或极显著正相关, 与可滴定酸含量呈极显著负相关; 叶片中Fe、Mn含量和果实中Fe含量与单果质量和可溶性固形物含量呈极显著负相关, 与可滴定酸含量呈极显著正相关。【结论】大棚栽培条件能够显著提高枇杷果实品质, 建议在大棚枇杷实际生产过程中, 应该适当提高果园整体施肥量, 同时可以采用增施叶面肥通过提高叶片中Ca、Zn含量和果实中Mg、Cu、Mn含量来改善果实品质。

关键词: 枇杷; 大棚栽培; 露地栽培; 果实品质; 叶片; 矿质元素

中图分类号:S667.3

文献标志码:A

文章编号:1009-9980(2020)04-0540-13

Effects of greenhouse cultivation on fruit quality and mineral nutrition in loquat fruit

HUANG Xiao¹, WANG Huakun^{2,3}, XUE Song¹, LUO Wenjie¹, GAO Zhihong^{1*}

(¹College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China; ²Jiangsu Taihu Evergreen Fruit Tree Extension Center, Suzhou 215107, Jiangsu, China; ³The Jiangsu Provincial Platform for Conservation and Utilization of Agricultural Germplasm, Suzhou 215107, Jiangsu, China)

Abstract: 【Objective】Jiangsu province is the northern edge of loquat cultivation. Greenhouse cultivation can not only alleviate or avoid the freezing injury frequently occurring in the open-field cultivation, but also improve the quality of loquat fruit, advance loquat maturation and increase the profit. The aim of this research is to explore the effect of greenhouse cultivation condition on quality and mineral elements in loquat in order to provide reference for scientific fertilization in greenhouse. 【Methods】Mineral nutrition is the material basis of fruit tree growth and yield and quality formation. Studying the dynamic change patterns of mineral nutrients during growth and development is helpful to understand the absorption and utilization characteristics of the nutrient elements in the tree and fruit. Trees of *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’ cultivated in greenhouse and in open field in Zhangjiagang, Jiangsu province were used as the experimental materials. Leaf, flower and fruit samples were collected at flower bud dif-

收稿日期:2019-10-08 接受日期:2019-12-26

基金项目:江苏(苏州)现代农业(果树)科技综合示范基地、苏州市科技项目(SNG201632);江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(16)1014)

作者简介:黄霄,男,在读博士研究生,研究方向为果树生理与分子生物学。Tel:15850560378, E-mail:2018204004@njau.edu.cn

*通信作者:Author for correspondence. Tel:13016938014, E-mail:gaozhihong@njau.edu.cn

ferentiation period, flowering period, young fruit period, fruit expanding period and fruit maturation period, and the mineral nutrient contents in the samples and fruit quality were determined. Data were analyzed using SPSS and EXCEL. Significant differences in loquat fruit quality indexes between the two cultivation modes and its correlation to mineral elements in the leaves, flowers and fruit were analyzed.

【Results】(1) The single fruit weight, fruit shape index, pulp thickness and solid/acid ratio in trees cultivated in greenhouse were significantly higher than those cultivated in open field, but titratable acid was significantly lower, which shows that greenhouses cultivation can obtain better fruit quality. (2) The dynamics of nine mineral elements in the leaves, flowers and fruit of ‘Baiyu’ cultivated in greenhouses and in open fields were basically the same throughout the growth and development. Under at the same level of management and berry load, the average contents of N, Ca, Mg, Cu and Zn in the leaves, the N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn and Cu contents in the flowers and the N, P, K, Ca, Mg, Cu and Mn contents in the fruit were higher in the greenhouse than in the open field. Under the greenhouse cultivation conditions, from flower bud differentiation stage to flowering stage, the elements of N, Ca, Mg, Cu and Zn in the leaves showed a downward trend, while the other elements showed an upward trend; the N, K and Mn in the flowers showed an upward trend, while the other elements showed a downward trend. From young fruit stage to the fruit maturation, the contents of N, P, K, Ca, Mg, Mn, Cu and Zn in the leaves decreased with fruit development. (3) The results of correlation analysis showed that N content in the leaves was strongly negatively correlated with N content in the flowers; Ca, Mg, Fe, Mn, Cu and Zn contents in leaves were significantly positively correlated with the corresponding mineral element content in the flower. The contents of P, K, Ca, Mg and Mn in the leaves were significantly positively correlated with the corresponding mineral elements in the fruit; while the contents of Cu in the leaves were significantly negatively correlated with those in fruits. The contents of Ca and Zn in the leaves and the contents of Mg, Mn and Cu in fruit were significantly positively correlated with fruit weight and soluble solids, but negatively correlated with titratable acid content. The contents of Fe and Mn in the leaves and the content of Fe in the fruit had strong negative correlations with fruit weight and soluble solids, but were strongly positively correlated with titratable acid content.【Conclusion】In summary, compared with the open field cultivation, the greenhouse cultivation significantly improved the quality of loquat fruit, and loquat cultivated in greenhouse has a large demand for mineral elements. Ca, Fe, Mn and Zn in the leaves and Mg, Fe, Mn and Cu in fruit might have a significant impact on fruit quality. It is suggested that for loquat cultivation in greenhouse, the overall fertilization rate should be increased appropriately. At the same time, quality of loquat fruit under greenhouse cultivation could be increased by increasing the contents of Ca and Zn in the leaves and Mg, Cu and Mn in the fruit via foliar application.

Key words: Loquat; Greenhouse cultivation; Open air filed cultivation; Fruit quality; Leaf; Mineral element

枇杷 [*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.] 为蔷薇科 (Rosaceae) 枇杷属 (*Eriobotrya* Lindl.) 植物, 原产于中国^[1], 种质资源丰富^[2]。成熟的枇杷味道甜美, 营养颇丰, 有各种果糖、葡萄糖、钾、磷、铁、钙以及维生素 A、B、C 等^[3-4], 具有一定的医疗保健价值, 可以起到止咳化痰、生津止渴的作用^[5]。而且枇杷成熟期在初夏, 正是水果缺少季节, 枇杷填补了伏

缺水果的空档, 因此深受消费者喜爱^[6], 具有较强的市场竞争力, 市场前景广阔^[7]。江苏省处于中国枇杷品种高度进化类型栽培区, 一直以来非常重视枇杷产业的发展, 其枇杷栽培历史悠久, 资源高度分化, 品质优异, 而且经过多年的选育, 先后选育了一批品质优良、抗逆性好的白沙枇杷新品种, 闻名于世界^[8]。近年来, 由于枇杷价格高昂, 经济效益良

好,导致枇杷的生产盲目追求高产,不能合理地进行营养管理,树体养分含量失衡,果实品质也逐渐下降。

矿质营养是果树生长发育、产量和品质形成的物质基础^[9-10]。研究生长发育期间矿质营养元素含量的动态变化,有助于了解树体及果实对矿质营养元素的吸收及利用特性,对制定合理的施肥方案具有重要的指导作用^[11]。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的施肥已成为果树生产的重要手段^[12],有关土壤、叶片和果实内矿质元素的动态变化及相关关系分析在其他果树上已有广泛的研究报道^[13-18],而前人在枇杷上也有对其土壤^[19]、叶片^[19-20]、花^[21]和果实^[19,22]的矿质元素进行测定与分析。近年来苏南等枇杷栽培北缘地区发展大棚设施栽培,以应对低温危害和提高品质,但有关大棚栽培对枇杷果园叶片、花和果实器官不同发育阶段的矿质养分吸收和积累的影响,国内尚未见报道。本研究以‘白玉’枇杷为试材进行大棚栽培,以露地栽培为对照,分析大棚内外果实品质差异和叶片、花和果实矿质元素间及其与果实品质指标的相关性,以期为指导大棚枇杷合理施肥提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验在江苏省张家港市锦丰镇花盛农场枇杷庄园进行,试验材料为8~10 a(年)‘白玉’枇杷,管理良好,树势健壮。试验设施采用的是钢架薄膜混合式连栋大棚,试验地土壤pH值为8.2,有机质含量为2.12%,土壤全N、P、K、Ca、Mg含量分别为0.74、0.86、4.65、31.78、11.21 g·kg⁻¹。

1.2 试验材料与样品的采集及处理

选取大棚内外生长良好、树势基本一致的‘白玉’枇杷(*E. japonica* ‘Baiyu’)15株,5株为一个实验小区,3次重复。在采样树树冠中部外围以长势相近且健康无病虫害的枝条为标准枝,在每个试验样株东、南、西、北4个不同方向的标准枝上采集叶片(20枚)、花(12朵)和果实(16个)等样品,以此来代表整个树冠层的叶片、花和果实,一个实验小区的样品混合作为一个样品。样品采集后,用0.1%洗涤剂溶液洗涤30 s,然后用自来水冲洗干净,再用去离子水冲洗3次,放于尼龙网袋中悬挂通风处阴

干。将初步干燥的样品置于烘箱中,在105 °C条件下烘干30 min,再降至75 °C烘干至恒重,研磨,过100目的尼龙筛,贮于密封袋中备用^[23]。采样时期分别为花芽分化期(8月下旬)、盛花期(12月上旬)、幼果期(2月中旬)、果实膨大期(4月上旬)和果实成熟期(5月中旬),在每个时期采集叶片,叶片样品的采集主要是在每株采样树树冠中部外围选长势中庸的营养春梢;另外在花芽分化期采集花芽、花期采集花(花托和花瓣),在幼果期、果实膨大期和果实成熟期采集果实。

1.3 指标测定

果实品质测定:用游标卡尺(精度0.05 mm)测定果实横径和纵径;用电子分析天平(精确度0.0001 g)称量单果质量,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;并用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^[24]。按照公式来计算果实可食率和果形指数^[25]:可食率/%=[(单果质量-种子质量-果皮质量)/单果质量]×100;果形指数=纵径/横径。

矿质元素含量的测定:称取各叶片、花和果实样品适量,经H₂SO₄-H₂O₂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^[26];称取各叶片、花和果实样品适量,经HNO₃-HClO₄消化之后用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、Fe、Mn、Cu和Zn含量^[27-28]。

1.4 数据处理

应用Excel 2016和SPSS 19.0软件对果园果实品质和矿质元素试验数据进行统计分析,采用Duncan's新复极差法对果实品质数据进行多重比较,对不同发育阶段枇杷器官矿质元素含量间及其与果实品质含量进行Pearson相关性分析。

2 结果与分析

2.1 果实品质

不同栽培条件的‘白玉’枇杷果实品质如表1所示,不同栽培条件的枇杷果实品质指标存在一定的显著性差异。大棚栽培的‘白玉’枇杷单果质量、果形指数、果肉厚度、固酸比等果实品质指标含量都是显著或极显著高于露地栽培的枇杷果实相应的品质指标,露地栽培的可滴定酸含量极显著高于大棚栽培的。其中大棚栽培的枇杷单果质量比露

表1 不同栽培条件‘白玉’枇杷果实品质比较
Table 1 Comparison of fruit quality of ‘Baiyu’ loquat under different cultivation conditions

栽培条件 Cultivation condition	单果质量 Fruit mass/g	果形指数 Fruit shape index	果肉厚度 Pulp thickness/mm	w(可溶性固形物) Soluble solids content/%	w(可滴定酸) Titratable acid content/%	固酸比 Solid acid ratio	可食率 Edible rate/%
大棚 Greenhouse cultivation	27.93±0.49 Aa	1.02±0.02 Aa	8.03±0.41 Aa	15.96±0.21 Aa	0.51±0.02 Bb	31.80±1.40 Aa	71.59±0.39 Aa
露地 Open-field-cultivation	25.74±0.38 Bb	0.92±0.01 Bb	6.81±0.19 Ab	15.42±0.21 Aa	0.74±0.02 Aa	20.93±0.88 Bb	72.44±0.56 Aa

注: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($p < 0.05$)。下同。

Note: Different capitals and lowercases in the same column indicate the extremely significant ($p < 0.01$) and significant ($p < 0.05$) differences, respectively. The same below.

地栽培的高 2.19 g, 果形指数比露地栽培的高 0.10, 果肉厚度比露地栽培的高 1.22 mm, 可滴定酸含量比露地栽培的低 0.23%, 固酸比比露地栽培的高 10.87。大棚栽培的‘白玉’枇杷可溶性固形物含量和可食率品质指标与露地栽培的枇杷果实相应的品质指标没有显著性差异,但是均高于露地栽培,其中可溶性固形物含量比露地栽培的高 0.54%,可食率比露地栽培的高 0.85%,以上结果说明大棚栽培条件能够显著提高‘白玉’枇杷的果实品质。

2.2 叶片中矿质元素含量的变化

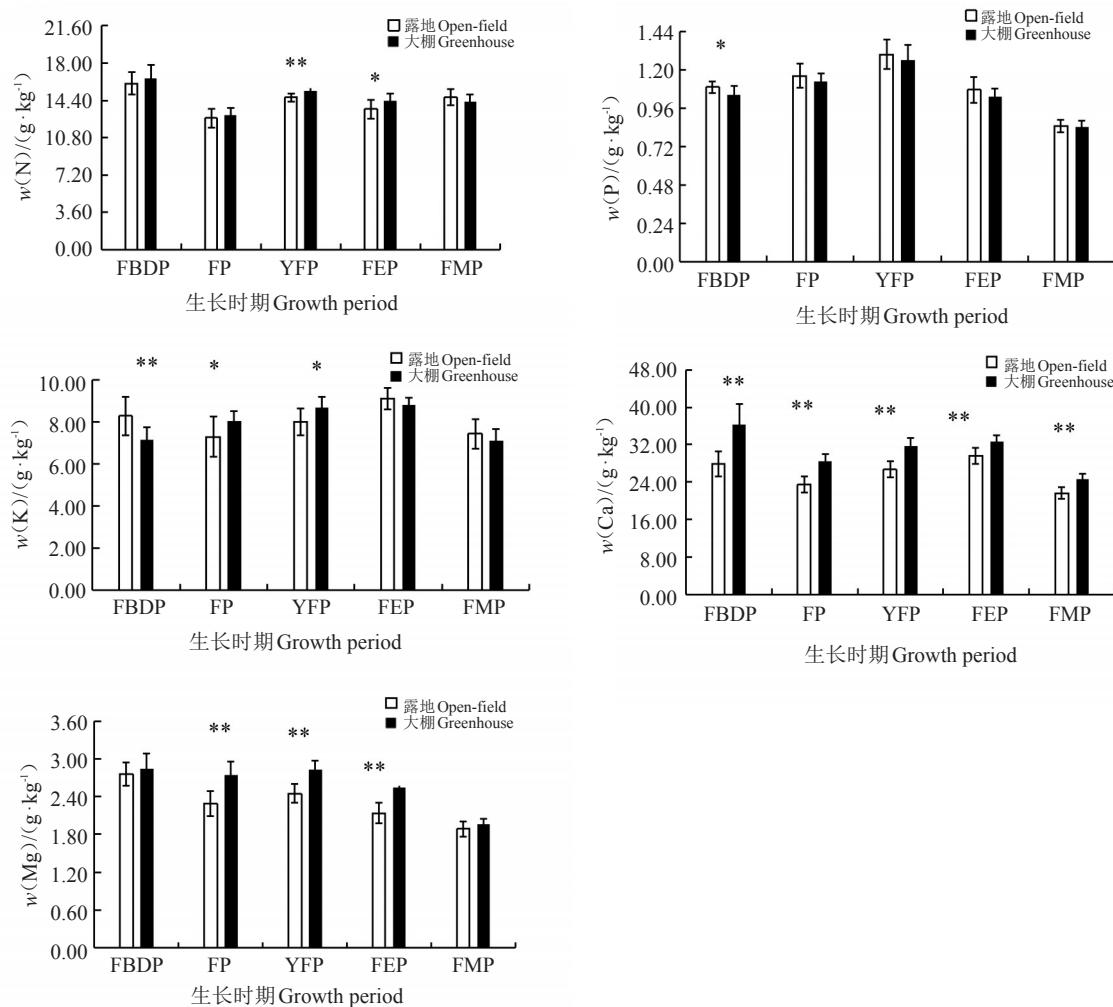
2.2.1 大量元素含量的变化 枇杷叶片中 N、P、K、Ca、Mg 矿质元素的变化如图 1 所示,大棚栽培的枇杷叶片中 N、Ca、Mg 元素含量从花芽分化期到花期呈下降趋势,从花期到幼果期呈现上升趋势;P、K 元素含量从花芽分化期到幼果期都呈现上升趋势。在果实发育阶段,即从幼果期到果实成熟期,叶片中 N、P、K、Ca、Mg 5 种矿质元素含量都呈现下降趋势,其中 P、K、Ca、Mg 4 种元素含量(w ,后同)在果实成熟期均达到最低值,分别为 0.84、7.08、24.59、1.97 g·kg⁻¹。而露地栽培枇杷叶片中 N、K、Ca、Mg 元素含量从花芽分化期到花期呈下降趋势,从花期到幼果期均呈上升趋势;从幼果期到果实膨大期 N、Mg 元素含量呈下降趋势,而 K、Ca 元素含量呈上升趋势,从果实膨大期到果实成熟期 N、K、Ca、Mg 元素含量均呈下降趋势,其中 Ca、Mg 元素在果实成熟期达到最低值,分别为 21.60、1.89 g·kg⁻¹;P 元素含量从花芽分化期到幼果期呈现上升趋势,之后一直在下降,且在果实成熟期达到最低值(0.85 g·kg⁻¹)。

2.2.2 微量元素含量的变化 枇杷叶片中 Fe、Mn、

Cu、Zn 矿质元素的变化如图 2 所示,在枇杷整个生长发育阶段,大棚栽培枇杷叶片中 Fe 元素含量从花芽分化期到果实成熟期呈现上升趋势,而露地栽培枇杷叶片中 Fe 含量在果实膨大期出现下降趋势;大棚栽培枇杷叶片中 Mn 元素含量从花芽分化期到幼果期呈现上升趋势,从幼果期到果实成熟期呈现下降趋势,而露地栽培枇杷叶片中 Mn 含量从幼果期到果实膨大期呈现上升趋势;大棚栽培枇杷叶片中 Cu 元素含量从花芽分化期到花期呈现下降趋势,之后一直呈现上升趋势,而露地栽培枇杷叶片中 Cu 元素含量从幼果期到果实膨大期呈现下降趋势;大棚栽培枇杷叶片中 Zn 元素含量从花芽分化期到花期呈现上升趋势,从花期到幼果期呈现下降趋势,从幼果期到果实膨大期呈现上升趋势,从果实膨大期到果实成熟期呈现下降趋势,而露地栽培枇杷叶片中 Zn 元素含量从花期到幼果期呈现上升趋势。

2.3 花和果实中矿质元素含量的变化

2.3.1 大量元素含量的变化 枇杷花和果实中 N、P、K、Ca、Mg 矿质元素的变化如图 3 所示,大棚栽培的枇杷花中 N、K 元素含量从花芽分化期到花期呈上升趋势,而 P、Ca、Mg 元素含量从花芽分化期到花期呈下降趋势;大棚栽培的枇杷果实中 N、K、Ca、Mg 元素含量从幼果期到果实成熟期均呈下降趋势,且在果实成熟期均达到最低值,分别为 4.74、12.22、3.94、0.85 g·kg⁻¹;而果实中 P 元素含量从幼果期到果实膨大期呈上升趋势,之后呈现下降趋势,且在果实成熟期达到最低值,为 1.06 g·kg⁻¹。露地栽培的枇杷花中 N、P 元素含量从花芽分化期到花期呈现上升趋势,K、Ca、Mg 元素含量从花芽分化期到花期呈现下降趋势;露地栽培的枇杷果实中 N、P、K、Ca、Mg 元素含量从幼果期到果实膨大期均呈



*和**分别表示两种栽培模式的矿质元素含量同一时期在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。FBDP. 花芽分化期; FP. 花期; YFP. 幼果期; FEP. 果实膨大期; FMP. 果实成熟期。下同。

* and ** indicate that the mineral element content of the two cultivation modes is significantly correlated at the 0.05 and 0.01 levels during the same period. FBDP. Flower bud differentiation period; FP. Flowering period; YFP. Young fruit period; FEP. fruit expanding period; FMP. Fruit maturation period. The same below.

图1 叶片中氮、磷、钾、钙、镁矿质元素含量的变化

Fig. 1 Changes in N, P, K, Ca and Mg in the leaves

现上升趋势,从果实膨大期到果实成熟期均呈下降趋势,且在果实成熟期达到最低值,分别为 4.83、0.94、10.86、3.71、0.70 g·kg⁻¹。

2.3.2 微量元素含量的变化 枇杷花和果实中 Fe、Mn、Cu、Zn 矿质元素的变化如图 4 所示,大棚栽培的枇杷花中 Fe、Mn 元素含量从花芽分化期到花期呈上升趋势,Cu、Zn 元素含量从花芽分化期到花期呈下降趋势;大棚栽培的枇杷果实中 Fe、Cu 元素含量从幼果期到果实膨大期呈上升趋势,从果实膨大期到果实成熟期呈现下降趋势,而 Mn、Zn 元素含量从幼果期到果实成熟期均呈下降趋势,且 Fe、Mn、Cu、Zn 4 种元素在果实成熟期均达到最低值,

分别为 38.16、3.73、3.10、35.46 mg·kg⁻¹。露地栽培的枇杷花中 Fe、Mn 元素含量从花芽分化期到花期呈现上升趋势,Cu、Zn 元素含量呈下降趋势;露地栽培的枇杷果实中 Fe、Mn、Cu 元素含量从幼果期到果实成熟期均呈现下降趋势,且在果实成熟期均达到最低值,分别为 51.23、2.89、2.01 mg·kg⁻¹;而 Zn 元素含量从幼果期到果实膨大期呈上升趋势,从果实膨大期到果实成熟期呈现下降趋势。

2.4 矿质元素与果实品质相关性分析

2.4.1 叶片与枇杷花和果实中矿质元素含量相关性 枇杷叶片和花中矿质元素含量的相关性如表 2,叶片中 N 含量与花中 N、Fe、Mn 含量呈极显著负

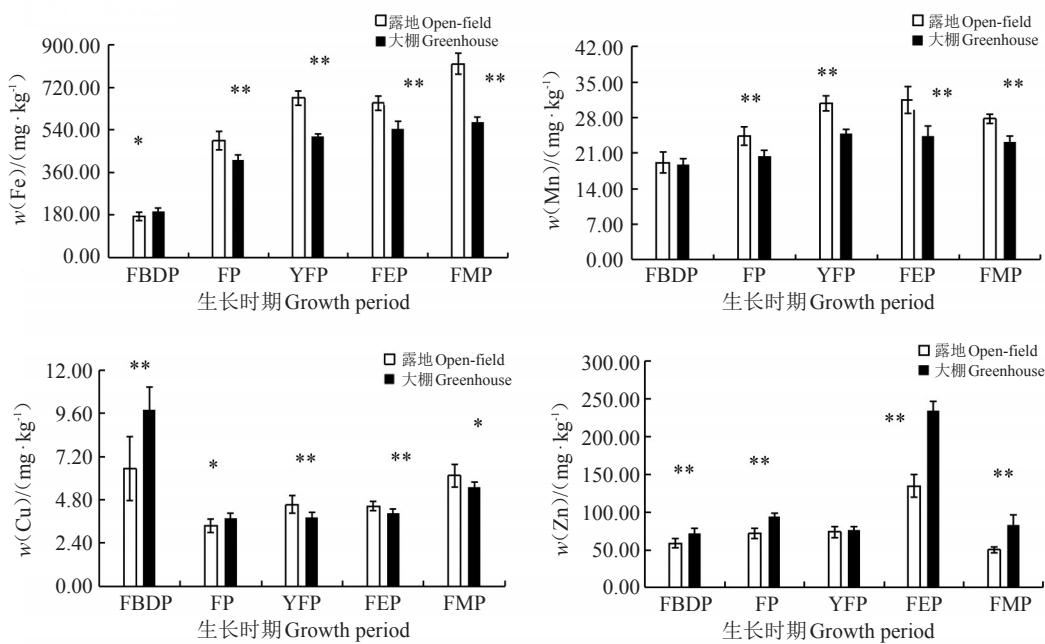


图2 叶片中铁、锰、铜、锌矿质元素含量的变化

Fig. 2 Changes in Fe, Mn, Cu and Zn in the leaves

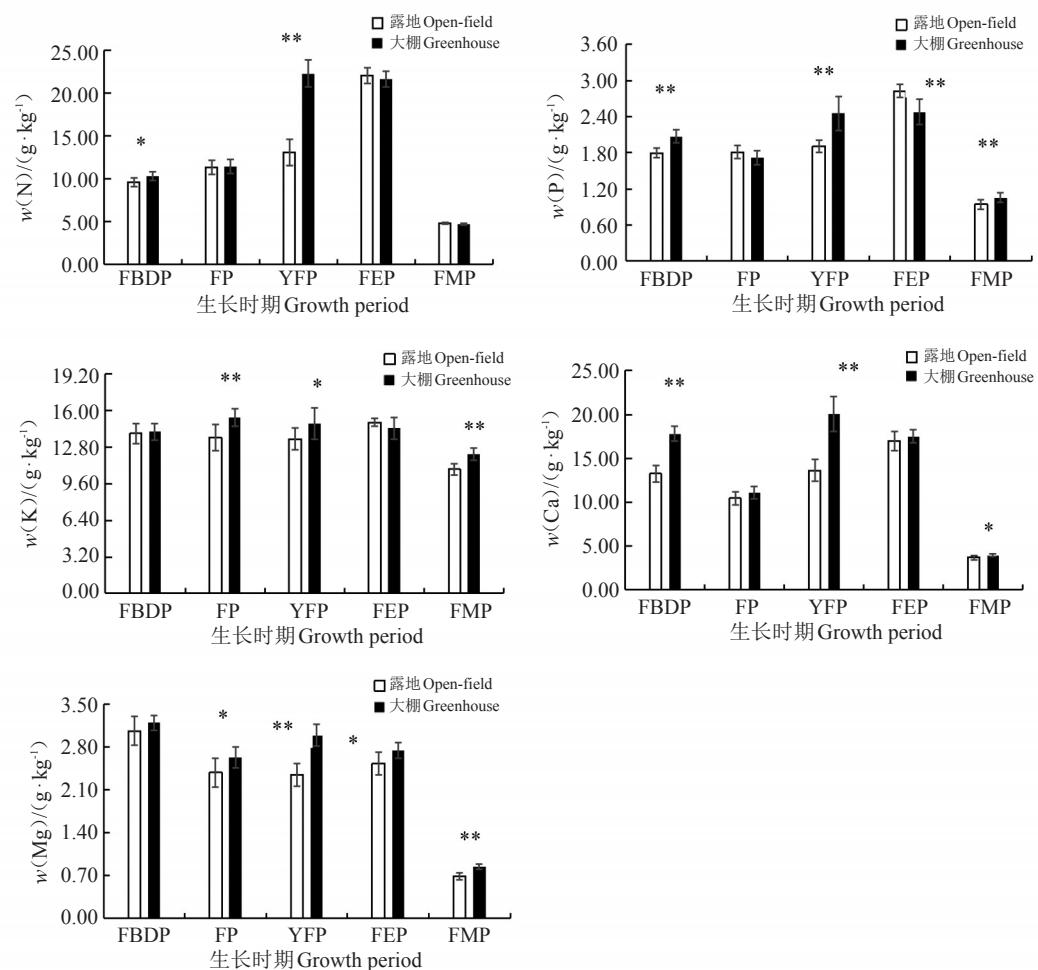


图3 花和果实中氮、磷、钾、钙、镁矿质元素含量的变化

Fig. 3 Changes in N, P, K, Ca and Mg in the flower and fruit

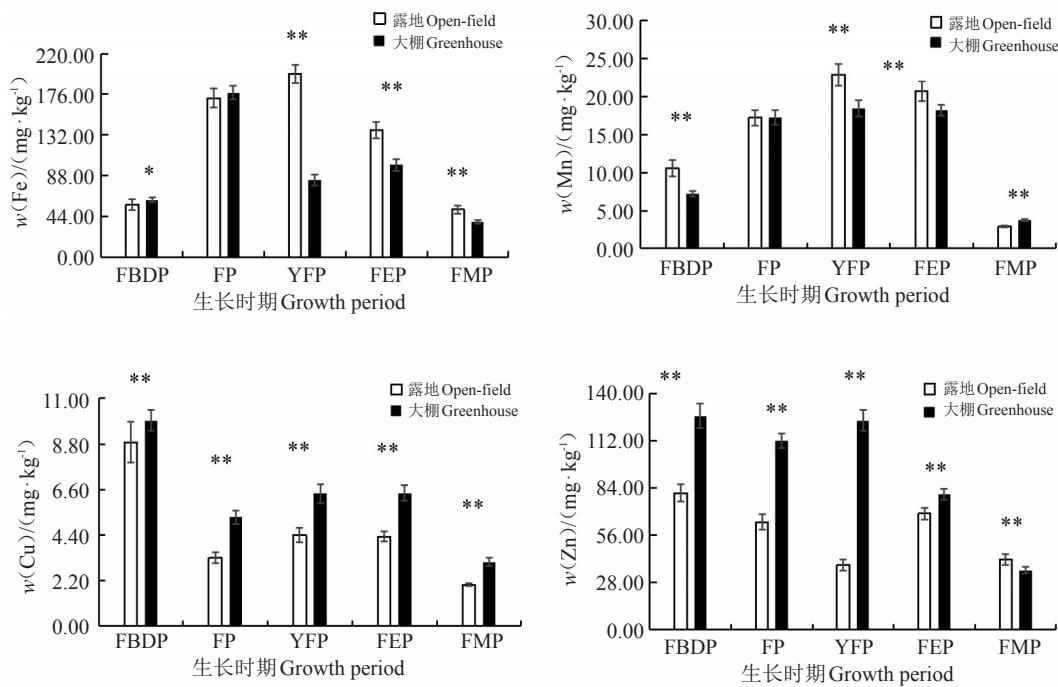


图4 花和果实中铁、锰、铜、锌矿质元素含量的变化

Fig. 4 Changes in Fe, Mn, Cu and Zn in the flower and fruit

表2 枇杷叶片和花中矿质元素含量的相关性

Table 2 Correlations among mineral elements in the leaves and the flowers of loquat

	叶片 Leaf									
	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	
花 Flower	N	-0.474**	0.398*	-0.074	-0.235	-0.336	0.664**	0.419*	-0.387*	0.489**
	P	0.457**	-0.325	-0.269	0.603**	0.222	-0.411*	-0.243	0.665**	-0.160
	K	-0.130	0.053	0.255	0.100	0.311	0.081	-0.091	-0.097	0.421*
	Ca	0.691**	-0.598**	-0.242	0.815**	0.489**	-0.751**	-0.582**	0.879**	-0.281
	Mg	0.755**	-0.445*	0.042	0.593**	0.560**	-0.829**	-0.621**	0.786**	-0.337
	Fe	-0.842**	0.521**	-0.013	-0.541**	-0.440*	0.956**	0.595**	-0.791**	0.657**
	Mn	-0.850**	0.542**	0.157	-0.642**	-0.503**	0.895**	0.560**	-0.859**	0.528**
	Cu	0.835**	-0.582**	-0.022	0.673**	0.624**	-0.944**	-0.735**	0.824**	-0.411*
	Zn	0.333	-0.402*	-0.043	0.780**	0.566**	-0.395*	-0.588**	0.556**	0.396*

注: *和**分别表示在 0.05 和 0.01 水平上显著相关。下同。

Note: * and ** mean significant difference at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same as below.

相关,与花中 P、Ca、Mg、Cu 含量呈极显著正相关;叶片中 P 含量与花中 N 含量呈显著正相关,与花中 Ca、Cu 含量呈极显著负相关,与花中 Mg、Zn 含量呈显著负相关,与花中 Fe、Mn 含量呈极显著正相关;叶片中 Ca 含量与花中 P、Ca、Mg、Cu、Zn 含量呈极显著正相关,与花中 Fe、Mn 含量呈极显著负相关;叶片中 Mg 含量与花中 Ca、Mg、Cu、Zn 含量呈极显著正相关,与花中 Fe 含量呈显著负相关,与花中 Mn 含量呈极显著负相关;叶片中 Fe 含量与花中 N、Fe、Mn 含量呈极显著正相关,与花中 P、Zn 含量

呈显著负相关,与花中 Ca、Mg、Cu 含量呈极显著负相关;叶片中 Mn 含量与花中 N 含量呈显著正相关,与花中 Ca、Mg、Cu、Zn 含量呈极显著负相关,与花中 Fe、Mn 含量呈极显著正相关;叶片中 Cu 含量与花中 N 含量呈显著负相关,与花中 P、Ca、Mg、Cu、Zn 含量呈极显著正相关,与花中 Fe、Mn 含量呈极显著负相关;叶片中 Zn 含量与花中 N、Fe、Mn 含量呈极显著正相关,与花中 K、Zn 含量呈显著正相关,与花中 Cu 含量呈显著负相关。

枇杷叶片和果实中矿质元素含量的相关性如

表3, 叶片中P含量与果实中所有矿质元素含量均呈极显著正相关; 叶片中K含量与果实中Fe含量呈显著正相关, 与果实中其他矿质元素含量均呈极显著正相关; 叶片中Ca、Mg含量除了与果实中Fe含量没有达到显著性相关, 与果实中其他矿质元素含量均呈极显著正相关; 叶片中Fe含量与果实中N、P、K、Ca、Mg、Cu、Zn含量均呈极显著负相关, 与

果实中Mn含量呈显著负相关; 叶片中Mn与果实中Fe含量呈极显著正相关, 与果实中Mn含量呈显著正相关; 叶片中Cu含量与果实中Fe含量呈显著负相关, 与果实中其他矿质元素含量均呈极显著负相关; 叶片中Zn含量与果实中N、P、K、Ca、Mg、Cu含量均呈极显著正相关, 与果实中Mn含量呈显著正相关。

表3 枇杷叶片和果实中矿质元素含量的相关性

Table 3 Correlations among mineral elements in the leaves and the fruit of loquat

		叶片 Leaf								
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
果实 Fruit	N	-0.043	0.611**	0.786**	0.871**	0.676**	-0.534**	0.146	-0.825**	0.582**
	P	-0.120	0.607**	0.778**	0.807**	0.594**	-0.463**	0.243	-0.818**	0.565**
	K	-0.068	0.603**	0.681**	0.749**	0.584**	-0.546**	0.108	-0.762**	0.468**
	Ca	0.043	0.722**	0.725**	0.862**	0.772**	-0.548**	0.150	-0.855**	0.478**
	Mg	0.072	0.765**	0.706**	0.852**	0.787**	-0.556**	0.158	-0.876**	0.487**
	Fe	-0.086	0.711**	0.368*	0.281	0.343	0.048	0.656**	-0.446*	0.125
	Mn	-0.035	0.817**	0.652**	0.694**	0.636**	-0.350*	0.444*	-0.776**	0.378*
	Cu	0.176	0.592**	0.587**	0.895**	0.844**	-0.743**	-0.197	-0.848**	0.590**
	Zn	0.220	0.453**	0.554**	0.736**	0.717**	-0.601**	-0.228	-0.672**	0.268

2.4.2 叶片和果实中矿质元素含量与果实品质相关性 成熟期枇杷叶片中矿质元素含量与果实品质的相关性如表4所示, 单果质量与叶片中Ca含量呈极显著正相关, 与叶片中Fe、Mn含量呈极显著负相关, 与叶片中Cu含量呈显著负相关, 与叶片中Zn含量呈显著正相关; 果形指数与叶片中Fe、Mn含量呈极显著负相关, 与叶片中Zn含量呈极显著正相关; 果肉厚度与叶片中Ca含量呈极显著正相关, 与

叶片中Fe、Mn含量呈显著负相关; 可溶性固形物含量与叶片中Ca、Zn含量呈极显著正相关, 与叶片中Fe、Mn、Cu含量呈极显著负相关; 可滴定酸含量与叶片中Ca、Zn含量呈极显著负相关, 与叶片中Fe、Mn、Cu含量呈极显著正相关; 固酸比与叶片中Ca、Zn含量呈极显著正相关, 与叶片中Fe、Mn、Cu含量呈极显著负相关。总体看来, 叶片中Ca、Fe、Mn、Cu、Zn含量对果实品质指标的影响较大。

表4 成熟期枇杷叶片中矿质元素含量和果实品质的相关性

Table 4 Correlations of mineral elements in leaves to fruit quality indexes of ripe loquat

	单果质量 Fruit mass	果形指数 Fruit shape index	果肉厚度 Pulp thickness	可溶性固形物含量 Soluble solids content	可滴定酸含量 Titratable acid content	固酸比 Solid acid ratio	可食率 Edible rate
N	-0.392	-0.303	-0.062	-0.338	0.332	-0.362	-0.203
P	-0.209	-0.382	-0.076	0.063	-0.078	0.068	-0.104
K	-0.226	-0.400	0.096	-0.275	0.232	-0.240	-0.115
Ca	0.759**	0.436	0.619**	0.696**	-0.637**	0.629**	0.026
Mg	0.413	0.332	0.075	0.434	-0.397	0.400	0.427
Fe	-0.564**	-0.744**	-0.492*	-0.860**	0.912**	-0.901**	0.311
Mn	-0.593**	-0.688**	-0.451*	-0.743**	0.731**	-0.754**	0.191
Cu	-0.490*	-0.399	-0.214	-0.648**	0.586**	-0.580**	-0.167
Zn	0.480*	0.629**	0.320	0.746**	-0.752**	0.752**	-0.192

成熟期枇杷果实中矿质元素含量与果实品质的相关性如表5所示, 单果质量与果实中Mg、Mn、Cu含量呈极显著正相关, 与果实中Fe含量呈极显著负相关, 与果实中Zn含量呈显著负相关; 果形指数与果实中P、K含量呈显著正相关, 与果实中Mg、

Mn、Cu含量呈极显著正相关, 与果实中Fe、Zn含量呈极显著负相关; 果肉厚度与果实中Mg含量呈显著正相关, 与果实中Fe含量呈显著负相关, 与果实中Cu含量呈极显著正相关; 可溶性固形物含量与果实中P含量呈显著正相关, 与果实中K、Mg、Mn、

表5 成熟期枇杷果实中矿质元素含量和果实品质的相关性

Table 5 Correlations of mineral elements in fruits to fruit quality indexes of ripe loquat

	单果质量 Fruit mass	果形指数 Fruit shape index	果肉厚度 Pulp thickness	可溶性固形物含量 Soluble solids content	可滴定酸含量 Titratable acid content	固酸比 Solid acid ratio	可食率 Edible rate
N	-0.120	-0.122	-0.286	-0.164	0.212	-0.199	-0.217
P	0.308	0.450*	0.269	0.519*	-0.495*	0.498*	-0.478*
K	0.362	0.517*	0.353	0.694**	-0.692**	0.692**	-0.394
Ca	0.091	0.302	0.210	0.439	-0.348	0.431	-0.360
Mg	0.627**	0.676**	0.459*	0.826**	-0.819**	0.810**	-0.135
Fe	-0.615**	-0.629**	-0.521*	-0.769**	0.743**	-0.776**	0.260
Mn	0.575**	0.783**	0.422	0.778**	-0.783**	0.804**	-0.339
Cu	0.607**	0.631**	0.587**	0.819**	-0.793**	0.792**	-0.301
Zn	-0.526*	-0.587**	-0.301	-0.770**	0.659**	-0.692**	0.211

Cu 含量呈极显著正相关,与果实中 Fe、Zn 含量呈极显著负相关;可滴定酸含量与果实中 P 含量呈显著负相关,与果实中 K、Mg、Mn、Cu 含量呈极显著负相关,与果实中 Fe、Zn 含量呈极显著正相关;固酸比与果实中 P 含量呈显著正相关,与果实中 K、Mg、Mn、Cu 含量呈极显著正相关,与果实中 Fe、Zn 含量呈极显著负相关;可食率与果实中 P 含量呈显著负相关。总体上看,果实中 P、K、Mg 和微量元素对果实品质的影响较大,相比于叶片矿质元素,果实中矿质元素对果实品质的影响更加显著。

3 讨 论

3.1 不同栽培模式下的果实品质差异

果实品质受很多内在和外在因子的影响,不同的环境气候因子(如光照、温度、湿度等)、栽植条件和肥水管理水平等均影响果实品质^[29],而温度是影响枇杷生命活动最基本的生态因子^[30]。枇杷原产于中国亚热带地区,在生长发育过程中对较高的温度有一定的要求。本研究结果显示:大棚栽培的‘白玉’枇杷单果质量、果形指数、果肉厚度、固酸比等果实品质指标含量都是极显著高于露地栽培的枇杷果实相应的品质指标,露地栽培的可滴定酸含量极显著高于大棚栽培的。这是因为大棚栽培造成的特殊环境条件,提高了大棚内的温度,使其维持在一个比较适合植物生长的温度环境。在设施栽培中,适宜的高温环境可提高枇杷果实的含糖量,降低含酸量,同时,适宜的温差可以显著提高枇杷果实品质^[31-32]。一方面可能是大棚栽培条件下幼果提前挂果,果实发育期比露地栽培的要长,而且大

棚内白天温度高,夜间温度低,昼夜温差相比露地栽培的大,这就有利于积累更多的碳水化合物;另一方面可能是由于大棚环境避免了雨水对果实糖分的稀释效应^[33]。果实品质受多因素影响,一般情况下,果实细胞分裂对果实质量的影响比与细胞膨大更明显,所有影响细胞分裂的因子均会影响果实的大小^[34-35]。果实的细胞分裂多发生在发育早期,因此,果实早期的发育状态对果实最后的大小有很大的影响^[36]。在果实生长前期,大棚果实比露地果实细胞分裂更早,所以导致大棚栽培的枇杷果实大小比露地栽培的更大,而且大棚环境下温度较高,对枇杷果实纵横径生长发育具有重要促进作用,这可能是大棚栽培的枇杷果实成熟时比露地栽培的果实更大的另一个方面的重要原因^[37]。

3.2 不同栽培模式下的矿质元素差异

在大棚栽培条件下,‘白玉’枇杷叶片、花和果实中 9 种矿质元素养吸收在不同生长发育阶段表现出各自的吸收特点。开花期阶段(即花芽分化期到花期),叶片中 N、Ca、Mg、Cu、Zn 元素呈现下降趋势,而其他元素呈现上升趋势;花中 N、K、Mn 呈现上升趋势,而其他元素呈现下降趋势。开花期阶段是果树生长发育过程中最为活跃的关键时期之一,一方面矿质营养元素吸收与积累主要作用于花期的授粉和授精过程。另外,这一阶段也是枇杷叶片新梢的生长阶段,矿质营养竞争与重新分配的结果使叶片和花中不同矿质营养元素表现出不同的吸收特点^[38]。果实发育阶段(即幼果期到果实成熟期),叶片中的 N、P、K、Ca、Mg 元素含量和果实中的 N、P、K、Ca、Mg、Mn、Cu、Zn 元素含量均随果实

发育呈下降趋势,这与前人在其他品种枇杷^[20,39]上的研究结果基本保持一致。果实中大多数矿质元素在幼果期时处于较高水平,即果实在细胞分裂开始时需要有较高水平的矿质元素积累,是矿质元素被大量吸收利用的关键时期,而后随着果实的快速增大和内容物的增加,这些矿质元素含量逐渐下降,尤其是从果实膨大期到果实成熟期矿质元素含量呈现急剧下降,果实中矿质元素含量下降的原因不是因为果实中的这些矿质元素含量减少了,而是因为进入果实中的矿质元素的含量不能同步赶上干物质的增长量,从而产生“稀释效应”,最终导致果实中矿质元素的浓度下降^[40]。在相同的负载量下,大棚栽培叶片中的N、Ca、Mg、Cu、Zn元素、花中的N、P、K、Ca、Mg、Fe、Cu、Mn元素和果实中的N、P、K、Ca、Mg、Cu、Mn元素的平均含量均高于露地栽培中相应的矿质元素的含量,加上大棚栽培生育期长、枝梢生长量大、树体生长势旺盛^[41],对矿质营养的需求量比较大,由此可以推断‘白玉’枇杷在大棚栽培中的需肥量要高于露地栽培。因此在大棚枇杷生产中要特别注意肥水管理,以满足其生长和结果的需要。

3.3 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,而矿质营养在果树生长、果实形成和果实品质调控方面有着十分重要的作用^[42-43],前人在苹果^[23,44]、猕猴桃^[45]、脐橙^[46]等果树上研究结果表明,果实品质主要受不同矿质元素的协同调控。本研究结果显示,枇杷的叶片和果实中矿质元素含量显著影响果实品质相关指标,其中叶片中矿质元素含量对单果质量的影响顺序为Ca>Mn>Fe>Cu>Zn;对可溶性固形物含量的影响顺序为Fe>Zn>Mn>Ca>Cu;对可滴定酸含量的影响顺序为Fe>Zn>Mn>Ca>Cu;对固酸比的影响顺序为Fe>Mn>Zn>Ca>Cu。而果实中矿质元素含量对单果质量的影响顺序为Mg>Fe>Cu>Mn>Zn;对可溶性固形物含量的影响顺序为Mg>Cu>Mn>Zn>Fe;对可滴定酸含量的影响顺序为Mg>Cu>Mn>Fe>K;对固酸比的影响顺序为Mg>Mn>Cu>Fe>K。由此可知叶片中的Ca、Fe、Mn、Zn元素和果实中Mg、Fe、Mn、Cu元素对果实品质的影响相对比较大,这与以前的研究^[25,47]稍有差异,可能是因为不同区域的气象因子(降雨量、温湿度等)、不同的栽培模式、不同的管理水平等方面对果实品

质指标有一定的影响。而叶片与果实中矿质元素的相关性结果表明,果实中的Mg、Mn、Cu含量与叶片中P、K、Ca、Mg、Zn含量均呈显著或极显著正相关,与叶片中Fe、Cu含量均呈显著或极显著负相关,果实中的Fe含量与叶片中P、K、Mn含量均呈显著或极显著正相关,与叶片中Cu含量呈显著负相关。因此在枇杷实际生产过程中,我们可以通过直接调控叶片中Ca、Fe、Mn、Zn元素和果实中Mg、Fe、Mn、Cu元素含量,来改善枇杷果实品质;也可以通过调控叶片中P、K、Ca、Mg、Fe、Cu、Zn元素含量来影响果实中Mg、Fe、Mn、Cu元素含量,从而间接提高枇杷果实品质。

4 结 论

综上所述,大棚栽培的‘白玉’枇杷果实品质要显著优于露地栽培的枇杷果实品质,且在大棚栽培中枇杷对矿质元素的需求量大,同时叶片中的Ca、Fe、Mn、Zn元素和果实中Mg、Fe、Mn、Cu元素对枇杷果实品质有极显著影响。建议在大棚枇杷实际生产过程中,应该适当提高果园整体施肥量,同时可以通过增施叶面肥来提高叶片中Ca、Zn含量以及果实中Mg、Cu、Mn含量,以改善大棚栽培的枇杷果实品质,实现枇杷高糖低酸、优质高产。

参考文献 References:

- [1] BLASCO M, NAVAL M D M, ZURIAGA E, BADENES M L. Genetic variation and diversity among loquat accessions [J]. Tree Genetics & Genomes, 2014, 10(5): 1387-1398.
- [2] 付燕,杨芩,王永清,罗楠,陶练,赖琪.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 Yan, YANG Qin, WANG Yongqing, LUO Nan, TAO Lian, LAI Qi. 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] 李用奇,黄思元,于学萍,董巍,陈松,王萍.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 Yongqi, HUANG Siyuan, YU Xueping, DONG Wei, CHEN Song, WANG Ping. On investigation of growth characteristics of baiyu loquat shoots [J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2012, 37(8): 66-70.
- [4] 芦艳.枇杷花茶的加工工艺及营养分析[D].杨陵:西北农林科技大学,2014.
LU Yan. Processing of *Eriobotrya japonica* flower tea and nutri-

- tional components [D]. Yangling: Northwest Agriculture & Forestry University, 2014.
- [5] 曾天津. 枇杷无公害优质高产栽培技术[J]. 科学种养, 2018(9): 25-26.
ZENG Tianjin. Pollution-free, high quality and high yield cultivation technique of loquat[J]. Scientific Farming, 2018(9): 25-26.
- [6] 林建城, 林河通, 黄志明, 陈国强, 郑云忠. 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 Jiancheng, LIN Hetong, HUANG Zhiming, CHEN Guoqiang, ZHENG Yunzhong. 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 Yongzhong. 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, 袁卫明, 常有宏. 江苏枇杷产业发展现状及展望[J]. 中国果树, 2018, 60(2): 94-98.
WANG Huakun, LU Aihua, GAO Zhihong, YUAN Weiming, CHANG Youhong. Present situation and prospect of loquat industry in Jiangsu province [J]. China Fruits, 2018, 60(2): 94-98.
- [9] 黄丽萍, 张倩茹, 尹蓉, 张静, 杨萍. 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.
HUANG Liping, ZHANG Qianru, YIN Rong, ZHANG Jing, YANG Ping. Progressing on the relation between mineral nutrients and fruit tree growth and development [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2017, 56(4): 601-602.
- [10] 沈超, 袁紫倩, 杨先裕, 李健, 孙志超, 黄瑞敏, 王正加. 薄壳山核桃马汉品种不同器官微量元素含量的动态变化[J]. 核农学报, 2017, 31(3): 566-573.
SHEN Chao, YUAN Ziqian, YANG Xianyu, LI Jian, SUN Zhichao, HUANG Ruimin, WANG Zhengjia. Kinetic changes of micronutrients in different organs of pecan mahan[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2017, 31(3): 566-573.
- [11] 王涛, 冯先桔, 林媚, 黄雪燕, 陈丹霞, 温明霞. 大棚栽培对翠冠梨叶片和果实矿质元素吸收与积累的影响[J]. 浙江农业学报, 2008(3): 190-194.
WANG Tao, FENG Xianji, LIN Mei, HUANG Xueyan, CHEN Danxia, WEN Mingxia. Effects of greenhouse cultivation on absorption and accumulation of mineral elements in leaves and fruits of Cuiguan pears[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2008(3): 190-194.
- [12] 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 Minjuan, WANG Zhenlei, XU Jizhong. Changes of mineral nutrient elements in growing period of Whasan pear [J]. Journal of Tarim University, 2009, 21(1): 15-18.
- [13] 刘丽雅. 菠萝蜜叶片营养元素含量的动态变化研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2018.
LIU Liya. Dynamic changes of mineral nutrient elements in jackfruit leaves[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2018.
- [14] 张晓玲, 高正辉, 刘春燕, 伊兴凯, 秦改花, 陈争锋, 徐义流. 砀山酥梨果实发育期间树体矿质元素含量的变化及其相关性分析[J]. 安徽农业大学学报, 2018, 45(1): 181-186.
ZHANG Xiaoling, GAO Zhenghui, LIU Chunyan, YIN Xingkai, QIN Gaihua, CHEN Zhengfeng, XU Yiliu. Changes and correlations of mineral contents in 'Dangshansu' pear during fruit development[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2018, 45(1): 181-186.
- [15] 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.
SONG Shaohua. Mineral elements changes and its impact on quality of persimmon fruit[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015.
- [16] 张玉良, 宗宇, 宋建坤, 李鼎立, 王新慧, 王然. 4种梨砧木实生苗生长及其叶片、新梢和根中的矿质元素含量的变化[J]. 果树学报, 2017, 34(12): 1545-1555.
ZHANG Yuliang, ZONG Yu, SONG Jiankun, LI Dingli, WANG Xinhuai, WANG Ran. Seedling growth of four pear rootstocks and changes in mineral elements in their leaves, shoots and roots during growing season[J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(12): 1545-1555.
- [17] 黄丽萍, 师芳, 张正, 张倩茹, 尹蓉, 杨萍. 梨枣叶片内矿质元素年动态变化研究[J]. 山西农业科学, 2017, 45(2): 194-196.
HUANG Liping, SHUAI Fang, ZHANG Zheng, ZHANG Qianru, YIN Rong, YANG Ping. Study on annual dynamic change of mineral elements in the leaf of pear-jujube[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2017, 45(2): 194-196.
- [18] 高启明, 罗淑萍, 郑春霞, 李疆. 扁桃幼果发育期果实和叶片中矿质元素含量的变化[J]. 果树学报, 2007, 24(2): 222-225.
GAO Qiming, LUO Shuping, ZHENG Chunxia, LI Jiang. Studies on the variation of mineral element content in almond fruits and leaves during its development[J]. Journal of Fruit Science, 2007, 24(2): 222-225.
- [19] 陈伟建. 土壤-枇杷系统中8种微量元素的吸收、分配和富集[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(7): 105-110.
CHEN Weijian. Absorption, distribution and enrichment of eight trace elements in the soil-loquat system[J]. Journal of Northwest Agricultural and Forestry University (Natural Science Edition), 2008, 36(7): 105-110.
- [20] 陆修闻, 郑少泉, 蒋际谋, 张泽煌, 刘友接. '早钟6号'枇杷主要营养元素含量的年周期变化[J]. 园艺学报, 2000, 27(4): 240-244.
LU Xiumin, ZHENG Shaoquan, JIANG Jimou, ZHANG Ze-

- huang, LIU Youjie. Seasonal changes of the major nutrient element contents in ‘Zaozhong No. 6’ loquat[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2000, 27(4): 240-244.
- [21] 杨海涛. 枇杷花中的微量元素分析[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(22): 5575-5576.
- YANG Haitao. Analysis of micro-elements in the flower of *Eriobotrya japonica*[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2013, 52(22): 5575-5576.
- [22] 张晓玲, 徐义流, 齐永杰, 束冰, 张金云, 高正辉, 伊兴凯, 秦改花, 陆卫明. 10年生枇杷植株大量矿质元素累积与分布特性[J]. 安徽农业大学学报, 2014, 41(5): 866-870.
- ZHANG Xiaoling, XU Yiliu, QI Yongjie, SHU Bing, ZHANG Jinyun, GAO Zhenghui, YI Xingkai, QIN Gaihua, LU Weiming. Accumulation and distribution of macro-mineral elements in the 10-year-old loquat tree[J]. *Journal of Anhui Agricultural University*, 2014, 41(5): 866-870.
- [23] 王磊彬, 陈兴望, 李天宇, 施洋, 王三红, 高志红, 渠慎春. 江苏丰县地区富士苹果果实矿质元素与品质的相关性及通径分析[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(7): 146-151.
- WANG Leibin, CHEN Xingwang, LI Tianyu, SHI Yang, WANG Sanhong, GAO Zhihong, QU Shenchun. Correlation and path analysis of mineral elements and quality of Fuji apple fruits in Fengxian county, Jiangsu province[J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2019, 47(7): 146-151.
- [24] 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.
- CAO Jiankang, JIANG Weibo, ZHAO Yumei. Physiological and biochemical experiment guidance for fruits and vegetables after harvest[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [25] 黄霄, 姚丹, 陆爱华, 王化坤, 渠慎春, 高志红. 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 Xiao, YAO Dan, LU Aihua, WANG Huakun, QU Shenchun, GAO Zhihong. Correlation analysis on fruit quality of *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’ from different locations in Jiangsu province with mineral element content in fruit and soil[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2018, 27(2): 85-92.
- [26] 张英利, 许安民, 尚浩博, 马爱生. 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 Yingli, XU Anming, SHANG Haobo, MA Aisheng. Determination study of total nitrogen in soil and plant by continuous flow analytical system[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forest(Natural Science Edition)*, 2006, 34(10): 128-132.
- [27] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- BAO Shidan. Analysis of soil aggregation[M]. 3rd ed. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [28] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 1999.
- LU Rukun. Agricultural chemical analysis of soil[M]. Beijing: China Agricultural Science Press, 1999.
- [29] 景淑娟, 郭学军, 李娟绒, 赵政阳. 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.
- JING Shujuan, GUO Xuejun, LI Juanrong, ZHAO Zhengyang. Factors affecting the quality of red Fuji apple and improvement measures[J]. *Shanxi Fruits*, 2010(1): 31-32.
- [30] 范双喜, 谷建田, 韩莹琰. 园艺植物高温逆境生理研究进展[J]. 北京农学院学报, 2003(2): 147-151.
- FAN Shuangxi, GU Jiantian, HAN Yingyan. Progress in researches of high temperature stress physiology of horticultural plants[J]. *Journal of Beijing Agricultural College*, 2003(2): 147-151.
- [31] 李靖, 孙淑霞, 陈栋, 谢红江, 江国良, 何俊涛, 涂美艳. 不同栽培条件对枇杷果实生长发育及品质的影响[J]. 北方园艺, 2010(23): 59-61.
- LI Jing, SUN Shuxia, CHEN Dong, XIE Hongjiang, JIANG Guoliang, HE Juntao, TU Meiyuan. Effect of different cultivation models on development and quality of loquat fruit of ‘Dawuxing’[J]. *Northern Horticulture*, 2010(23): 59-61.
- [32] 张望舒, 郑金土, 朱长青, 胡余楚, 张雷凡, 叶建国. 大棚栽培对‘宁海白’白沙枇杷果实生长发育和品质特性的影响[J]. 中国南方果树, 2010, 39(3): 29-32.
- ZHANG Wangshu, ZHENG Jintu, ZHU Changqing, HU Yuchu, ZHANG Leifan, YE Jianguo. Effect of plastic greenhouse cultivation on fruit development and quality of Ninghaibai white loquat[J]. *South China Fruits*, 2010, 39(3): 29-32.
- [33] 颜丽菊, 蒋芯, 赵晨柠, 孙崇德, 王宝党. 大棚栽培对“密斯蒂”蓝莓成熟期和果实品质的影响[J]. 中国南方果树, 2018, 47(6): 69-73.
- YAN Liju, JIANG Xin, ZHAO Chenning, SUN Chongde, WANG Baodang. Effects of greenhouse cultivation on ripeness and fruit quality of Mysti blueberry[J]. *South China Fruits*, 2018, 47(6): 69-73.
- [34] MARGUERY P, SANGWAN B S. Sources of variation between apple fruits within a season, and between seasons[J]. *Journal of Horticultural Science*, 1993, 68(2): 309-315.
- [35] 李建国, 黄旭明, 黄辉白, 周碧燕. 大果型和小果型荔枝品种果实发育细胞学和生理学比较[J]. 果树学报, 2002, 19(3): 158-162.
- LI Jianguo, HUANG Xuming, HUANG Huibai, ZHOU Biyan. A cytological and physiological study of large-and small-sized litchi cultivars fruit[J]. *Journal of Fruit Science*, 2002, 19(3): 158-162.
- [36] HARADA T, KURAHASHI W, YANAI M, WAKASA Y, SATOH T. Involvement of cell proliferation and cell enlargement in increasing the fruit size of *Malus* species[J]. *Scientia Horticulturae*, 2005, 105(4): 447-456.
- [37] 涂美艳, 江国良, 杜晋城, 谢红江, 陈栋, 李靖, 孙淑霞. 大棚内

- 外温湿度对枇杷春梢和果实生长发育的影响[J]. 西南农业学报, 2011, 24(6): 2336-2341.
- TU Meiyun, JIANG Guoliang, DU Jincheng, XIE Hongjiang, CHEN Dong, LI Jing, SUN Shuxia. Effects of air temperature and relative humidity on growth and development of spring shoot and fruit of loquat[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2011, 24(6): 2336-2341.
- [38] 马建军,边卫东,于凤鸣,邹德文. 日光温室甜樱桃叶片中矿质营养元素含量的动态变化[J]. 河北科技师范学院学报, 2006, 20(1): 13-16.
- MA Jianjun, BIAN Weidong, YU Fengming, ZOU Dewen. Variation of mineral nutrient elements in sweet cherry leaf during growth in solar green-house[J]. Journal of Hebei Normal University of Science and Technology, 2006, 20(1):13-16.
- [39] 张小红,赵依杰,林强,林航,陈贻钊. 2个枇杷品种叶片养分吸收特性比较[J]. 农学学报, 2012, 2(10): 51-54.
- ZHANG Xiaohong, ZHAO Yijie, LIN Qiang, LIN Hang, CHEN Yizhao. Comparison of characteristics of nutrient absorption on leaves of two loquat cultivars[J]. Journal of Agriculture, 2012, 2 (10): 51-54.
- [40] 车玉红,杨波,郭春苗,木巴热克·阿尤普.‘纸皮’扁桃果实中矿质元素浓度动态变化[J]. 中国农学通报, 2018, 34(11): 29-33.
- CHE Yuhong, YANG Bo, GUO Chunmiao, Mubareke · Ayopu. Dynamic change of mineral elements concentration in ‘Zhipi’ almond fruit[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34 (11):29-33.
- [41] 陈栋. 大五星枇杷大棚栽培的生态特点及生理反应研究[C]// 中国园艺学会枇杷分会. 第六届全国枇杷学术研讨会论文(摘要)集. 中国园艺学会枇杷分会:中国园艺学会, 2013(11): 231-241.
- CHEN Dong. Study on ecological characteristics and physiological response of loquat in greenhouse cultivation[C]// Chinese Horticultural Society Loquat Branch. The Sixth National Loquat Symposium paper (abstract) set. Loquat Branch of Chinese Horticultural Society: Chinese Horticultural Society, 2013(11): 231-241.
- [42] NESTBY R, LIETEN F, PIVOT D, LACROIX, C RAYNAL, TAGLIAVINI, M. 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.
- [43] AULAR J, CÁSARES M, NATALE W. Factors affecting citrus fruit quality: Emphasis on mineral nutrition[J]. Científica, 2017, 45(1): 64-72.
- [44] 周江涛,李燕青,闫帅,赵德英,程存刚. 果园地面覆盖对苹果果实品质和矿质营养的影响[J]. 中国果树, 2019(4): 16-20.
- ZHOU Jiangtao, LI Yanqing, YAN Shuai, ZHAO Deying, CHENG Cungang. Effects of different patterns surface mulching on fruit quality and mineral elements in apple orchard [J]. China Fruits, 2019(4): 16-20.
- [45] 魏丽红,翟秋喜. 软枣猕猴桃叶片矿质元素变化与果实品质的关系[J]. 北方园艺, 2019(2): 60-64.
- WEI Lihong, ZHAI Qiuxi. Relationships between leaf mineral elements changes and fruit quality of *Actinidia arguta*[J]. Northern Horticulture, 2019(2): 60-64.
- [46] 王世明. 赣南脐橙果实品质受矿质营养元素协同影响[J]. 中国果业信息, 2019, 36(5): 65.
- WANG Shiming. The fruit quality of navel orange in southern jiangxi was influenced by mineral and nutrient elements[J]. China Fruit News, 2019, 36(5): 65.
- [47] 黄霄,王化坤,渠慎春,罗文杰,高志红. 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[J]. 西北植物学报, 2019, 39(4):692-701.
- HUANG Xiao, WANG Huakun, QU Shenchun, LUO Wenjie, GAO Zhihong. Relationship between fruit quality and mineral elements in soil, leaf and fruit of loquat in Dongshan, Jiangsu province[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica , 2019, 39(4): 692-701.