植物资源与环境学报，2020，**29**(1)：8-17
Journal of Plant Resources and Environment

枇杷不同器官及栽植土壤中矿质元素含量变化及其相关性分析

黄　霄[1]，王化坤[2]，薛　松[1]，罗文杰[1]，高志红[1,①]
（1. 南京农业大学园艺学院，江苏 南京 210095；2. 江苏省太湖常绿果树技术推广中心，江苏 苏州 215107）

摘要：以枇杷品种‘白玉’(*Eriobotrya japonica*‘Baiyu’)为研究对象，对不同发育期的不同器官(叶片、花和果实)和栽植土壤中矿质元素含量及其变化规律进行研究，并分析了栽植土壤与不同器官间以及不同器官间矿质元素含量的相关性。结果表明：随枇杷的生长发育，除叶片 Mg 含量逐渐下降外，栽植土壤及不同器官中 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量均波动变化，但波动幅度和规律性各异。土壤中 N、P、K、Ca、Mg 和 Fe 含量变幅较小，而 Mn、Cu 和 Zn 含量变幅较大。叶片中大量元素 N、P、K、Ca 和 Mg 含量变幅较小，而微量元素 Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量变幅较大；花期叶片中大量元素含量总体上高于果期，但微量元素含量总体上低于果期，盛花期叶片中 Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量均最低。未成熟果实中大量元素以及微量元素 Fe 和 Mn 含量总体上高于花，但在成熟果实中所有元素含量均大幅降低并在果实成熟期最低。相关性分析结果表明：土壤与叶片、花和果实中各元素含量以及叶片与花和果实中各元素含量间呈现不同程度的相关性。总体上看，土壤中 Mn 和 Zn 含量对叶片中矿质元素含量有较大影响，土壤中 P、K、Mg、Fe、Mn 和 Zn 含量对花中矿质元素含量有较大影响，土壤中 N、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量对果实中矿质元素含量有较大影响；叶片中 N、Mn、Cu 和 Zn 含量对花中矿质元素含量有较大影响，叶片中 P、Ca 和 Zn 含量对果实中矿质元素含量有较大影响。此外，叶片、花和果实中大多数矿质元素含量变化与土壤中相应元素含量变化无显著相关性；花和果实中大多数矿质元素含量变化与叶片中相应元素含量变化也无显著相关性。综合分析结果表明：随花和果实的生长发育，枇杷不同器官及栽植土壤中矿质元素含量呈现不同的变化规律，其相关性也发生了变化。依据研究结果，建议在实际生产过程中，可在花芽分化期(8 月下旬)至盛花期(12 月上旬)以及幼果期(2 月中旬)至果实成熟期(5 月中旬)合理追施速效肥和矿质肥。

关键词：枇杷；栽植土壤；器官；矿质元素；动态变化；相关性

中图分类号：Q945.1；S667.3　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1674-7895(2020)01-0008-10
DOI：10.3969/j.issn.1674-7895.2020.01.02

Changes of mineral element contents in different organs and cultivating soil of *Eriobotrya japonica* and their correlation analysis

HUANG Xiao[1], WANG Huakun[2], XUE Song[1], LUO Wenjie[1], GAO Zhihong[1,①] (1. College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Technical Extension Center of Evergreen Fruit Trees in Taihu of Jiangsu Province, Suzhou 215107, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2020, **29**(1): 8-17

Abstract: Taking *Eriobotrya japonica*‘Baiyu’as research object, mineral element contents and their variation laws in different organs (leaf, flower, and fruit) and cultivating soil at different developmental stages were studied, and the correlations of mineral element contents between cultivating soil and different organs, and among different organs were analyzed. The results show that with the growth and development of *E. japonica*, except for gradual decrease of Mg content in leaf, contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, and Zn in cultivating soil and different organs fluctuate, but their fluctuation ranges and laws

收稿日期：2019-01-31
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，博士研究生，主要从事果树生理与生物技术方面的研究。
①通信作者 E-mail：gaozhihong@ njau.edu.cn

are different. The variation ranges of contents of N, P, K, Ca, Mg, and Fe in soil are relatively small, while those of Mn, Cu, and Zn are relatively big. The variation ranges of contents of major element N, P, K, Ca, and Mg in leaf are relatively small, while those of trace element Fe, Mn, Cu, and Zn are relatively big; contents of major elements in leaf at flowering stage are generally higher than those at fruit stage, but contents of trace elements are generally lower than those at fruit stage, and contents of Fe, Mn, Cu, and Zn in leaf are all the lowest at full flowering stage. Contents of major elements and trace element Fe and Mn in immature fruit are generally higher than those in flower, but contents of all elements in mature fruit all decrease dramatically and are the lowest at fruit ripened stage. The correlation analysis results show that there are correlations at different degrees of each element content between soil and leaf, flower, and fruit, and between leaf and flower and fruit. Overall, contents of Mn and Zn in soil have a relatively big influence on mineral element contents in leaf, those of P, K, Mg, Fe, Mn, and Zn in soil do in flower, and those of N, Mg, Fe, Mn, Cu, and Zn in soil do in fruit; those of N, Mn, Cu, and Zn in leaf do in flower, and those of P, Ca, and Zn in leaf do in fruit. In addition, content variations of most mineral elements in leaf, flower, and fruit have no significant correlation with those of corresponding elements in soil; those of most mineral elements in flower and fruit have no significant correlation with those of corresponding elements in leaf. The comprehensive analysis results show that with the growth and development of flower and fruit, mineral element contents in different organs and cultivating soil of *E. japonica* show different variation laws, and their correlations have also changed. Based on the results, it is suggested that fast released fertilizer and mineral fertilizer should be applied reasonably from flower bud differentiation stage (late August) to full flowering stage (early December) and from young fruit stage (mid February) to fruit ripened stage (mid May) during the practical production process.

Key words: *Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.; cultivating soil; organ; mineral element; dynamic change; correlation

枇杷〔*Eriobotrya japonica* (Thunb.) Lindl.〕为常绿果树，原产于中国南方[1]，目前在日本、巴西、西班牙和印度等国已广泛栽培[2-3]。江苏省枇杷栽培历史悠久，但其经济栽培主要集中于低山丘陵地区[4]。近年来，枇杷的生产种植盲目追求高产，存在施肥和营养管理不合理的现象，导致树体养分含量失衡，使枇杷优果率降低。

在果树生长过程中矿质元素具有重要作用[5-6]，充足的矿质元素能够提高果树产量、增强果实品质，对果树的适应性和抗性也有影响[7-8]。叶片是果树生理生化反应的器官，通过对叶片中矿质元素含量的分析，可以及时了解和诊断树体矿质元素水平，同时又能体现果树林地土壤的供肥能力，因而，叶片的矿质元素分析常作为果园施肥的依据[9-10]，目前，依据叶片中矿质元素含量并辅以果实和土壤中矿质元素含量指导果园科学施肥已成为果树生产的重要手段[11]。针对其他果树叶片、果实以及土壤中矿质元素的动态变化和相关性分析已有较多的研究报道[12-17]；也有研究者对枇杷叶片、花和果实以及土壤中的矿质元素进行了研究[18-21]，但均局限于单一生长期或单一器官，缺乏对枇杷全生育期以及多器官的矿质营养水平的系统分析，不利于枇杷植株的科学营养管理。

作者以苏州栽培的枇杷品种‘白玉’(*Eriobotrya japonica*‘Baiyu’)为研究对象，对不同发育期的叶片、花和果实以及栽植土壤中矿质元素含量进行了测定，并分析了枇杷叶片、花和果实及栽植土壤中矿质元素含量的变化规律及其相关性，为枇杷的营养诊断及科学施肥提供理论依据。

1　研究地概况和研究方法

1.1　研究地概况

研究地位于江苏省苏州市吴中区东山镇山地种植枇杷果园试验基地(东经 120°22′、北纬 31°03′)，海拔约 100 m，坡度 30°；2017 年至 2018 年的平均气温 17.57 ℃、平均空气相对湿度 74.31%；土壤为砂质壤土，pH 5.2 至 pH 6.3，通透性和保水性差。实验期间采用常规水肥管理。

1.2　研究方法

1.2.1　样株设置和样品采集　于 2017 年 6 月，选取株龄 10 a、生长良好且长势基本一致的样株 15 株，分

成3个小区(视为3次重复),每小区5株。在花芽分化期(2017年8月下旬)、盛花期(2017年12月上旬)、幼果期(2018年2月中旬)、果实膨大期(2018年4月上旬)和果实成熟期(2018年5月中旬)分别采集叶片和土壤,在花芽分化期和盛花期分别采集花芽和花,在幼果期、果实膨大期和果实成熟期采集果实。

在样株树冠滴水线下东、南、西、北4个方向挖取0~30 cm土层的土壤2 kg,去除植物残体及砾石等杂物,将同一小区的土壤样品混合均匀,用四分法称取土壤样品约1 kg;自然风干,研磨后过100目筛,用密封袋保存、备用。

选取样株树冠中部外围长势基本一致且健康无病虫害的枝条为标准枝,从样株东、南、西、北4个方向的标准枝上分别随机采集20枚叶片、12朵花和16个果实,将同一小区的叶片、果实和花分别混合均匀。采集的叶片、果实和花样品先用质量体积分数0.1%洗衣粉溶液洗涤30 s,再用自来水冲洗干净,最后用去离子水冲洗3次,置于尼龙网袋中悬挂于通风处阴干;将阴干的各样品于105 ℃烘干30 min,之后于75 ℃烘干至恒质量[22];冷却后研磨,过100目筛,用密封袋保存、备用。

1.2.2 *矿质元素含量测定* 采用万分之一电子天平称取土壤样品0.200 g,经H_2SO_4-混合催化剂〔$m(K_2SO_4)$∶$m(CuSO_4)$=10∶1〕消煮,采用AA3连续流动分析仪(深圳市一正科技有限公司)测定土壤中N含量[23]。称取土壤样品1.000 g,经HNO_3-$HClO_4$消煮,采用Agilent 710 ICP-OES电感耦合等离子体原子发射光谱仪(美国Agilent公司)测定土壤中P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn含量[24-26]。各指标均重复测定3次,结果取平均值。

称取上述各类植物样品0.100 g,经H_2SO_4-H_2O_2消煮,采用AA3连续流动分析仪测定各植物器官中N含量。称取上述各类植物样品0.500 g,经HNO_3-$HClO_4$消煮,采用Agilent 710 ICP-OES电感耦合等离子体原子发射光谱仪测定各植物器官中P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn含量[26]。各指标均重复测定3次,结果取平均值。

1.3 数据处理和分析

采用EXCEL 2016软件进行数据统计;采用SPSS 19.0软件进行多重比较(Duncan's新复极差法)和Pearson相关性分析。

2 结果和分析

2.1 枇杷发育过程中栽植土壤中矿质元素含量的变化

枇杷品种'白玉'不同发育期栽植土壤中矿质元素含量的比较见表1。由表1可见:从花芽分化期至果实成熟期,土壤N含量在花芽分化期最高、在幼果期最低,且幼果期土壤N含量极显著低于其他发育期;土壤P含量在幼果期最高,但各发育期土壤P含量总体上无显著差异;土壤K含量在盛花期最高、在花芽分化期最低,且果实成熟期土壤K含量也较低;

表1 枇杷品种'白玉'不同发育期栽植土壤中矿质元素含量的比较($\bar{X}\pm SE$)[1)]
Table 1 Comparison on mineral element contents in cultivating soil of *Eriobotrya japonica* 'Baiyu' at different developmental stages ($\bar{X}\pm SE$)[1)]

发育期 Developmental stage	N含量/(g·kg^{-1}) N content	P含量/(g·kg^{-1}) P content	K含量/(g·kg^{-1}) K content	Ca含量/(g·kg^{-1}) Ca content	Mg含量/(g·kg^{-1}) Mg content
花芽分化期 Flower bud differentiation stage	1.41±0.18Aa	1.70±0.08Ab	4.03±0.30Bc	5.61±0.52BCbc	2.33±0.22Cc
盛花期 Full flowering stage	1.32±0.16Aa	1.84±0.10Aab	4.95±0.36Aa	5.47±0.31Cc	2.72±0.18Bb
幼果期 Young fruit stage	0.93±0.12Bb	1.96±0.14Aa	4.85±0.36Aa	6.48±0.32ABab	2.56±0.20BCb
果实膨大期 Fruit expansion stage	1.33±0.13Aa	1.82±0.18Aab	4.76±0.40Aab	6.88±0.48Aa	2.96±0.18Aa
果实成熟期 Fruit ripened stage	1.26±0.15Aa	1.90±0.28Aab	4.14±0.43ABbc	5.61±0.39BCbc	2.36±0.22Cc

发育期 Developmental stage	Fe含量/(g·kg^{-1}) Fe content	Mn含量/(mg·kg^{-1}) Mn content	Cu含量/(mg·kg^{-1}) Cu content	Zn含量/(mg·kg^{-1}) Zn content
花芽分化期 Flower bud differentiation stage	22.05±1.05Bb	750.18±37.65Bbc	19.16±2.27Bb	226.03±13.96Cc
盛花期 Full flowering stage	24.63±1.16Aa	592.45±27.60Cc	17.59±2.61Bb	542.27±22.69Bb
幼果期 Young fruit stage	23.05±1.09Bb	751.89±31.90Bbc	25.93±2.40Aa	165.25±11.48Cc
果实膨大期 Fruit expansion stage	24.87±1.36Aa	913.47±26.87Aa	19.70±1.37Bb	704.55±28.11Bb
果实成熟期 Fruit ripened stage	21.84±1.71Bb	697.28±21.27Bc	19.90±1.59Bb	883.76±33.36Aa

1) 同列中不同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 uppercases and lowercases in the same column indicate the extremely significant ($P<0.01$) and significant ($P<0.05$) differences, respectively.

土壤 Ca 含量在果实膨大期最高、在盛花期最低，且幼果期土壤 Ca 含量也较高；土壤 Mg 含量在果实膨大期最高，且极显著高于其他发育期，而在花芽分化期最低。

由表 1 还可见：土壤 Fe 含量在盛花期和果实膨大期极显著高于其他发育期。土壤 Mn 含量在盛花期最低，且极显著低于其他发育期；但在果实膨大期最高，且极显著高于其他发育期。土壤 Cu 含量在幼果期最高，且极显著高于其他发育期。土壤 Zn 含量在果实成熟期最高，且极显著高于其他发育期。

总体上看，从枇杷品种‘白玉’的花芽分化期至果实成熟期，其栽植土壤中 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量均呈波动的变化趋势，其中，N、P、K、Ca、Mg 和 Fe 含量变幅较小，而 Mn、Cu 和 Zn 含量变幅较大，且 Zn 含量变幅最大。

2.2　枇杷发育过程中叶片、花和果实中矿质元素含量的变化

2.2.1　*叶片中矿质元素含量的变化*　枇杷品种‘白玉’不同发育期叶片中矿质元素含量的比较见表 2。由表 2 可见：从花芽分化期至果实成熟期，叶片中 N、P、K、Ca、Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量均呈波动的变化趋势，Mg 含量呈逐渐降低的趋势；其中，大量元素 N、P、K、Ca 和 Mg 含量变幅较小，而微量元素 Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量变幅较大，且以 Cu 含量变幅最大。

表 2　枇杷品种‘白玉’不同发育期叶片中矿质元素含量的比较($\bar{X}\pm SE$)[1)]
Table 2　Comparison on mineral element contents in leaf of *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’ at different developmental stages ($\bar{X}\pm SE$)[1)]

发育期 Developmental stage	N 含量/(g·kg^{-1}) N content	P 含量/(g·kg^{-1}) P content	K 含量/(g·kg^{-1}) K content	Ca 含量/(g·kg^{-1}) Ca content	Mg 含量/(g·kg^{-1}) Mg content
花芽分化期 Flower bud differentiation stage	16.81±1.23Aa	1.27±0.11ABab	10.75±1.38ABab	18.23±1.31ABab	2.30±0.50Aa
盛花期 Full flowering stage	15.36±1.61BCbc	1.38±0.13Aa	11.31±1.33Aa	16.71±1.17BCb	1.88±0.36Bb
幼果期 Young fruit stage	16.65±1.10ABa	1.37±0.13Aa	10.28±0.67ABCbc	17.18±1.48ABb	1.71±0.15BCbc
果实膨大期 Fruit expansion stage	15.08±1.05Cc	1.19±0.09Bb	9.55±0.82BCcd	19.60±1.26Aa	1.65±0.26BCcd
果实成熟期 Fruit ripened stage	16.21±1.66ABCab	1.10±0.10Bb	9.47±0.40Cd	13.34±0.80Cc	1.35±0.08Cd

发育期 Developmental stage	Fe 含量/(mg·kg^{-1}) Fe content	Mn 含量/(mg·kg^{-1}) Mn content	Cu 含量/(mg·kg^{-1}) Cu content	Zn 含量/(mg·kg^{-1}) Zn content
花芽分化期 Flower bud differentiation stage	191.39±13.13ABb	223.43±10.05ABab	8.63±0.30Aa	151.05±5.54Bb
盛花期 Full flowering stage	168.15±4.01Bb	165.94±4.77Bc	1.97±0.15Cc	70.30±7.50Cd
幼果期 Young fruit stage	248.44±5.43ABb	200.82±8.83ABbc	3.78±0.52BCbc	228.78±6.08Aa
果实膨大期 Fruit expansion stage	375.92±11.41Aa	212.76±9.41ABbc	3.29±0.28BCbc	115.05±4.95BCbc
果实成熟期 Fruit ripened stage	250.97±5.90ABb	279.06±6.78Aa	5.68±0.41Bb	88.14±4.45Ccd

[1)] 同列中不同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 uppercases and lowercases in the same column indicate the extremely significant ($P<0.01$) and significant ($P<0.05$) differences, respectively.

由表 2 还可见：在大量元素中，叶片 N 含量在花芽分化期最高、在果实膨大期最低，且差异极显著；叶片 P 含量在盛花期最高，其次为幼果期，二者无显著差异，但在果实膨大期和成熟期极显著降低；叶片 K 含量在盛花期最高，但在果实膨大期和果实成熟期极显著降低；叶片 Ca 含量在果实膨大期最高、在果实成熟期最低，且差异极显著；叶片 Mg 含量在花芽分化期极显著高于其他发育期，在果实成熟期最低。

由表 2 还可见：在微量元素中，叶片 Fe 含量在果实膨大期显著高于其他发育期，在盛花期最低；叶片 Mn 含量在果实成熟期最高、在盛花期最低，且差异极显著；叶片 Cu 含量在花芽分化期极显著高于其他发育期，在盛花期最低；叶片 Zn 含量在幼果期极显著高于其他发育期，在盛花期最低。

综合分析结果显示：叶片中大量元素 N、P、K、Ca 和 Mg 的平均含量在花期(即花芽分化期和盛花期)分别为 16.09、1.33、11.03、17.47 和 2.09 g·kg^{-1}，在果期(即幼果期、果实膨大期和果实成熟期)分别为 15.98、1.22、9.77、16.71 和 1.57 g·kg^{-1}，表明果期叶片中大量元素的含量低于花期，特别是在果实成熟期，叶片中大量元素的含量最低(N 含量除外)。叶片中微量元素 Fe、Mn、Cu 和 Zn 的平均含量在花期分别为 179.77、194.69、5.30 和 110.68 mg·kg^{-1}，在果期分别为 291.78、230.88、4.25 和 143.99 mg·kg^{-1}，表明花期叶片中微量元素的含量总体上低于果期，特别是在盛花期，叶片中 Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量均最低。

2.2.2　*花和果实中矿质元素含量的变化*　枇杷品种‘白玉’不同发育期花和果实中矿质元素含量的比较

见表3。由表3可见:从花芽分化期至果实成熟期,花和果实中N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn含量均呈波动的变化趋势,并在果实成熟期降至最低,其中,N、Ca、Fe、Mn、Cu和Zn含量降幅较大。

由表3还可见:从花芽分化期至盛花期,花中P、Ca、Mg、Mn、Cu和Zn含量均降低,而N、K和Fe含量则升高。多重比较结果显示:在花芽分化期,花中P、Ca、Mg、Mn、Cu和Zn含量均显著或极显著高于盛花期,但花中N和K含量均极显著低于盛花期,而Fe含量虽然也低于盛花期,但无显著差异。

由表3还可见:从幼果期至果实成熟期,果实N含量呈"低—高—低"的变化趋势,但P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn含量均呈逐渐降低的趋势,除N含量在果实膨大期最高外,果实中其他元素含量均在幼果期最高,果实中各元素含量均在果实成熟期降至最低。多重比较结果显示:从幼果期至果实成熟期,果实中各元素含量存在显著或极显著差异。

综合分析结果显示:花中大量元素N、P、K、Ca和Mg的平均含量分别为12.31、2.08、15.38、10.88和2.78 g·kg^{-1},微量元素Fe、Mn、Cu和Zn的平均含量分别为86.70、89.57、4.24和186.63 mg·kg^{-1};未成熟果实(幼果期和果实膨大期)中大量元素N、P、K、Ca和Mg的平均含量分别为17.59、2.59、16.45、11.10和2.71 g·kg^{-1},微量元素Fe、Mn、Cu和Zn的平均含量分别为95.39、121.37、2.67和163.85 mg·kg^{-1}。表明未成熟果实中大量元素含量总体上高于花,且微量元素Fe和Mn含量也高于花,但在成熟果实中,各大量元素和微量元素的含量均大幅降至最低。

表3 枇杷品种'白玉'不同发育期花和果实中矿质元素含量的比较($\bar{X}\pm SE$)[1)]
Table 3 Comparison on mineral element contents in flower and fruit of *Eriobotrya japonica* 'Baiyu' at different developmental stages ($\bar{X}\pm SE$)[1)]

发育期 Developmental stage	器官 Organ	N含量/(g·kg^{-1}) N content	P含量/(g·kg^{-1}) P content	K含量/(g·kg^{-1}) K content	Ca含量/(g·kg^{-1}) Ca content	Mg含量/(g·kg^{-1}) Mg content
花芽分化期 Flower bud differentiation stage	花 Flower	11.51±1.11Bb	2.23±0.28Aa	14.37±0.86Bb	14.33±1.51Aa	3.04±0.29Aa
盛花期 Full flowering stage	花 Flower	13.10±0.98Aa	1.92±0.16Bb	16.38±1.41Aa	7.43±0.49Bb	2.51±0.30Bb
幼果期 Young fruit stage	果实 Fruit	15.26±1.34Bb	2.64±0.28Aa	17.86±1.16Aa	11.94±0.82Aa	3.03±0.18Aa
果实膨大期 Fruit expansion stage	果实 Fruit	19.92±1.13Aa	2.53±0.22Aa	15.03±0.84Bb	10.26±1.71Bb	2.39±0.20Bb
果实成熟期 Fruit ripened stage	果实 Fruit	5.59±0.50Cc	1.26±0.18Bb	12.12±1.05Cc	1.84±0.30Cc	0.73±0.12Cc

发育期 Developmental stage	器官 Organ	Fe含量/(mg·kg^{-1}) Fe content	Mn含量/(mg·kg^{-1}) Mn content	Cu含量/(mg·kg^{-1}) Cu content	Zn含量/(mg·kg^{-1}) Zn content
花芽分化期 Flower bud differentiation stage	花 Flower	74.03±2.86Aa	101.64±7.55Aa	6.72±0.46Aa	277.42±17.90Aa
盛花期 Full flowering stage	花 Flower	99.37±2.25Aa	77.50±6.89Ab	1.75±0.57Bb	95.84±5.09Bb
幼果期 Young fruit stage	果实 Fruit	114.70±1.70Aa	123.55±5.98Aa	3.34±0.31Aa	165.98±11.35Aa
果实膨大期 Fruit expansion stage	果实 Fruit	76.07±1.57Bb	119.19±6.47Aa	1.99±0.23Bb	161.71±13.11Aa
果实成熟期 Fruit ripened stage	果实 Fruit	47.82±1.65Cc	19.76±2.49Bb	1.25±0.36Cc	45.98±4.40Bb

[1)] 同列中不同的大写和小写字母分别表示同一器官不同发育期间差异极显著($P<0.01$)和显著($P<0.05$) Different uppercases and lowercases in the same column indicate the extremely significant ($P<0.01$) and significant ($P<0.05$) differences among different developmental stages in the the same organ, respectively.

2.3 枇杷叶片、花和果实与栽植土壤中矿质元素含量的相关性

2.3.1 叶片与栽植土壤中矿质元素含量的相关性

枇杷品种'白玉'叶片与栽植土壤中矿质元素含量的相关系数见表4。

由不同指标间的相关系数及其检验结果可见:叶片中N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn含量与土壤P含量均无显著相关性,且叶片中大多数元素含量与土壤中N、K、Ca、Mg、Fe和Cu含量也无显著相关性。总体上看,土壤中Mn和Zn含量对叶片中矿质元素含量有较大影响。

由叶片与土壤中相应元素含量的相关系数可见:仅叶片Ca含量与土壤Ca含量极显著正相关,叶片Zn含量与土壤Zn含量极显著负相关,表明叶片Zn含量随土壤Zn含量的升高显著降低,叶片Ca含量随土壤Ca含量的升高显著升高。总体上看,叶片中大多数矿质元素含量的变化与土壤中相应元素含量的变化无显著相关性。

表 4　枇杷品种‘白玉’叶片与栽植土壤中矿质元素含量的相关系数[1)]
Table 4　Correlation coefficient of mineral element contents between leaf and cultivating soil of *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’[1)]

指标 Index	不同指标间的相关系数　Correlation coefficient among different indexes								
	S_N	S_P	S_K	S_{Ca}	S_{Mg}	S_{Fe}	S_{Mn}	S_{Cu}	S_{Zn}
L_N	−0.268	−0.192	−0.236	−0.043	−0.447**	−0.478**	−0.158	0.172	−0.325*
L_P	−0.257	0.022	0.369*	0.067	0.074	0.173	−0.344*	0.247	−0.482**
L_K	0.099	−0.097	0.052	−0.298	−0.177	−0.014	−0.324*	−0.154	−0.346*
L_{Ca}	0.192	−0.156	0.236	0.471**	0.292	0.310*	0.432**	0.016	−0.388*
L_{Mg}	0.301*	−0.278	−0.222	−0.182	−0.132	−0.065	−0.027	−0.212	−0.557**
L_{Fe}	0.093	−0.038	−0.007	0.337*	0.278	0.071	0.457**	0.054	0.208
L_{Mn}	0.210	0.267	−0.457**	−0.066	−0.250	−0.236	0.088	0.044	0.329*
L_{Cu}	0.194	−0.185	−0.519**	−0.293	−0.502**	−0.464**	0.072	−0.120	−0.184
L_{Zn}	−0.549**	0.121	0.079	0.366*	−0.078	−0.126	−0.118	0.692**	−0.695**

[1)] L_N, L_P, L_K, L_{Ca}, L_{Mg}, L_{Fe}, L_{Mn}, L_{Cu}, L_{Zn}：分别表示叶片中 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量 Representing contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, and Zn in leaf, respectively; S_N, S_P, S_K, S_{Ca}, S_{Mg}, S_{Fe}, S_{Mn}, S_{Cu}, S_{Zn}：分别表示土壤中 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量 Representing contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, and Zn in soil, respectively. *：$P=0.05$；**：$P=0.01$.

2.3.2　花与栽植土壤中矿质元素含量的相关性　枇杷品种‘白玉’花与栽植土壤中矿质元素含量的相关系数见表 5。

由不同指标间的相关系数及其检验结果可见：花中 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量与土壤 N 含量均无显著相关性，且花中大多数元素含量与土壤中 Ca 和 Cu 含量也无显著相关性。总体上看，土壤中 P、K、Mg、Fe、Mn 和 Zn 含量对花中矿质元素含量有较大影响。

由花与土壤中相应元素含量的相关系数可见：花中 P、Mn、Cu 和 Zn 含量与土壤中相应元素含量极显著或显著负相关，花 K 含量与土壤 K 含量显著正相关，表明花中 P、Mn、Cu 和 Zn 含量随土壤中相应元素含量的升高显著降低，花 K 含量随土壤 K 含量的升高显著升高。总体上看，花中 N、Ca、Mg 和 Fe 含量的变化与土壤中相应元素含量的变化无显著相关性。

表 5　枇杷品种‘白玉’花与栽植土壤中矿质元素含量的相关系数[1)]
Table 5　Correlation coefficient of mineral element contents between flower and cultivating soil of *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’[1)]

指标 Index	不同指标间的相关系数　Correlation coefficient among different indexes								
	S_N	S_P	S_K	S_{Ca}	S_{Mg}	S_{Fe}	S_{Mn}	S_{Cu}	S_{Zn}
FL_N	−0.286	0.267	0.339	−0.002	0.329	0.330	0.728**	0.435	0.595**
FL_P	−0.126	−0.714**	−0.229	0.620**	−0.545*	−0.571**	0.157	0.140	−0.632**
FL_K	−0.248	0.512*	0.447*	−0.096	0.647**	0.631**	0.277	0.240	0.718**
FL_{Ca}	0.164	−0.584**	−0.721**	0.324	−0.725**	−0.679**	−0.425	−0.333	−0.938**
FL_{Mg}	0.048	−0.347	−0.557*	0.105	−0.436	−0.372	−0.505*	−0.534*	−0.667**
FL_{Fe}	−0.180	0.097	0.300	0.250	0.250	−0.028	0.478*	0.313	0.280
FL_{Mn}	0.107	0.149	−0.597**	−0.078	−0.112	−0.053	−0.710**	−0.583**	−0.410
FL_{Cu}	0.151	−0.446*	−0.784**	0.203	−0.630**	−0.651**	−0.598**	−0.488*	−0.921**
FL_{Zn}	0.111	−0.591**	−0.670**	0.503*	−0.736**	−0.737**	−0.343	−0.230	−0.939**

[1)] FL_N, FL_P, FL_K, FL_{Ca}, FL_{Mg}, FL_{Fe}, FL_{Mn}, FL_{Cu}, FL_{Zn}：分别表示花中 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量 Representing contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, and Zn in flower, respectively; S_N, S_P, S_K, S_{Ca}, S_{Mg}, S_{Fe}, S_{Mn}, S_{Cu}, S_{Zn}：分别表示土壤中 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量 Representing contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, and Zn in soil, respectively. *：$P=0.05$；**：$P=0.01$.

2.3.3　果实与栽植土壤中矿质元素含量的相关性　枇杷品种‘白玉’果实与栽植土壤中矿质元素含量的相关系数见表 6。

由不同指标间的相关系数及其检验结果可见：果实中各元素含量与土壤 P 含量均无显著相关性，且果实中大多数元素含量与土壤中 K 和 Ca 含量也无显著相关性。总体上看，土壤中 N、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量对果实中矿质元素含量有较大影响。

由果实与土壤中相应元素含量的相关系数可见：仅果实中 Mg、Mn 和 Cu 含量与土壤中相应元素含量

表6 枇杷品种'白玉'果实与栽植土壤中矿质元素含量的相关系数[1)]
Table 6 Correlation coefficient of mineral element contents between fruit and cultivating soil of *Eriobotrya japonica* 'Baiyu'[1)]

指标 Index	不同指标间的相关系数 Correlation coefficient among different indexes								
	S_N	S_P	S_K	S_{Ca}	S_{Mg}	S_{Fe}	S_{Mn}	S_{Cu}	S_{Zn}
FR_N	−0.007	−0.020	0.327	0.433	0.705**	0.654**	0.504*	0.129	−0.390
FR_P	−0.445*	−0.038	0.347	0.284	0.546**	0.511*	0.507*	0.428	−0.681**
FR_K	−0.670**	0.170	0.388	0.192	0.267	0.255	0.196	0.677**	−0.762**
FR_{Ca}	−0.424	0.089	0.381	0.347	0.524**	0.512*	0.370	0.495*	−0.691**
FR_{Mg}	−0.528**	0.074	0.396	0.291	0.452*	0.437	0.338	0.582**	−0.771**
FR_{Fe}	−0.558**	0.286	0.376	0.236	0.236	0.289	−0.102	0.701**	−0.738**
FR_{Mn}	−0.420*	0.047	0.460*	0.398	0.629**	0.572**	0.551*	0.421	−0.607**
FR_{Cu}	−0.630**	0.217	0.435	0.254	0.199	0.228	0.096	0.701**	−0.788**
FR_{Zn}	−0.093	0.143	0.329	0.492*	0.758**	0.713**	0.462*	0.203	−0.310

1) FR_N, FR_P, FR_K, FR_{Ca}, FR_{Mg}, FR_{Fe}, FR_{Mn}, FR_{Cu}, FR_{Zn}: 分别表示果实中N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn含量 Representing contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, and Zn in fruit, respectively; S_N, S_P, S_K, S_{Ca}, S_{Mg}, S_{Fe}, S_{Mn}, S_{Cu}, S_{Zn}: 分别表示土壤中N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn含量 Representing contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, and Zn in soil, respectively. *: $P=0.05$; **: $P=0.01$.

极显著或显著正相关,表明果实中Mg、Mn和Cu含量随土壤中相应元素含量的升高显著升高。总体上看,果实中N、P、K、Ca、Fe和Zn含量的变化与土壤中相应元素含量的变化无显著相关性。

2.4 枇杷花和果实与叶片中矿质元素含量的相关性

2.4.1 *花与叶片中矿质元素含量的相关性* 枇杷品种'白玉'花与叶片中矿质元素含量的相关系数见表7。

由不同指标间的相关系数及其检验结果可见:花中N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn含量与叶片中P和Fe含量均无显著相关性,且花中大多数元素含量与叶片中K、Ca和Mg含量也无显著相关性。总体上看,叶片中N、Mn、Cu和Zn含量对花中矿质元素含量有较大影响。

由花与叶片中相应元素含量的相关系数可见:仅花中Mn、Cu和Zn含量与叶片中相应元素含量极显著正相关,表明花中Mn、Cu和Zn含量随叶片中相应元素含量的升高显著升高。总体上看,花中N、P、K、Ca、Mg和Fe含量的变化与叶片中相应元素含量的变化无显著相关性。

表7 枇杷品种'白玉'花与叶片中矿质元素含量的相关系数[1)]
Table 7 Correlation coefficient of mineral element contents between flower and leaf of *Eriobotrya japonica* 'Baiyu'[1)]

指标 Index	不同指标间的相关系数 Correlation coefficient among different indexes								
	L_N	L_P	L_K	L_{Ca}	L_{Mg}	L_{Fe}	L_{Mn}	L_{Cu}	L_{Zn}
FL_N	−0.371	0.052	−0.341	0.148	−0.365	−0.124	−0.660**	−0.718**	−0.634**
FL_P	0.512*	0.125	0.187	−0.149	−0.151	−0.089	−0.146	0.233	0.189
FL_K	−0.261	−0.272	0.035	0.256	−0.273	−0.123	−0.332	−0.680**	−0.674**
FL_{Ca}	0.788**	−0.012	0.451*	−0.289	0.244	0.147	0.457*	0.803**	0.725**
FL_{Mg}	0.777**	−0.094	0.405	−0.487*	0.205	0.199	0.450*	0.624**	0.493*
FL_{Fe}	−0.235	0.142	−0.394	0.359	0.001	−0.205	−0.438	−0.552*	−0.194
FL_{Mn}	0.588**	−0.345	0.566**	−0.214	0.448*	0.267	0.595**	0.630**	0.548**
FL_{Cu}	0.763**	−0.061	0.449*	−0.294	0.406	0.233	0.558*	0.857**	0.847**
FL_{Zn}	0.787**	0.012	0.439	−0.139	0.283	0.125	0.419	0.754**	0.727**

1) FL_N, FL_P, FL_K, FL_{Ca}, FL_{Mg}, FL_{Fe}, FL_{Mn}, FL_{Cu}, FL_{Zn}: 分别表示花中N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn含量 Representing contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, and Zn in flower, respectively; L_N, L_P, L_K, L_{Ca}, L_{Mg}, L_{Fe}, L_{Mn}, L_{Cu}, L_{Zn}: 分别表示叶片中N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn含量 Representing contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, and Zn in leaf, respectively. *: $P=0.05$; **: $P=0.01$.

2.4.2 *果实与叶片中矿质元素含量的相关性* 枇杷品种'白玉'果实与叶片中矿质元素含量的相关系数见表8。

由不同指标间的相关系数及其检验结果可见:果实中N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn含量与叶片Ca含量极显著或显著正相关,与叶片P含量极显著或

显著负相关，但与叶片中 N、Mg、Mn 和 Cu 含量无显著相关性，且大多数元素含量与叶片中 K 和 Fe 含量也无显著相关性；除 N 和 Zn 含量外，果实中其他7 个元素含量与叶片 Zn 含量均极显著或显著正相关。总体上看，叶片中 P、Ca 和 Zn 含量对果实中矿质元素含量有较大影响。

由果实与叶片中相应元素含量的相关系数可见：果实中 K 和 Ca 含量与叶片中相应元素含量分别显著和极显著正相关，果实 P 含量与叶片 P 含量极显著负相关，表明果实 P 含量随叶片 P 含量的升高显著降低，而果实中 K 和 Ca 含量随叶片中 K 和 Ca 含量的升高显著升高。总体上看，果实中 N、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量的变化与叶片中相应元素含量的变化无显著相关性。

表 8　枇杷品种‘白玉’果实与叶片中矿质元素含量指标间的相关系数[1)]
Table 8　Correlation coefficient of mineral element contents between fruit and leaf of *Eriobotrya japonica* ‘Baiyu’[1)]

指标 Index	不同指标间的相关系数　Correlation coefficient among different indexes								
	L_N	L_P	L_K	L_{Ca}	L_{Mg}	L_{Fe}	L_{Mn}	L_{Cu}	L_{Zn}
FR_N	−0.127	−0.776**	0.046	0.813**	0.125	0.475*	−0.147	−0.059	0.420
FR_P	0.267	−0.633**	0.229	0.753**	−0.031	0.277	−0.354	−0.010	0.706**
FR_K	0.407	−0.536**	0.449*	0.552**	0.039	0.089	−0.136	−0.017	0.731**
FR_{Ca}	0.204	−0.676**	0.304	0.768**	0.112	0.313	−0.122	−0.082	0.653**
FR_{Mg}	0.296	−0.630**	0.381	0.736**	0.033	0.233	−0.164	−0.015	0.725**
FR_{Fe}	0.356	−0.442*	0.521**	0.451*	−0.094	−0.133	−0.024	0.044	0.479*
FR_{Mn}	0.134	−0.718**	0.182	0.769**	0.082	0.359	−0.243	−0.123	0.786**
FR_{Cu}	0.361	−0.560**	0.576**	0.630**	0.108	0.181	0.108	−0.020	0.737**
FR_{Zn}	−0.022	−0.655**	0.007	0.534**	−0.111	0.121	−0.397	−0.085	0.402

1) FR_N, FR_P, FR_K, FR_{Ca}, FR_{Mg}, FR_{Fe}, FR_{Mn}, FR_{Cu}, FR_{Zn}：分别表示果实中 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量 Representing contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, and Zn in fruit, respectively; L_N, L_P, L_K, L_{Ca}, L_{Mg}, L_{Fe}, L_{Mn}, L_{Cu}, L_{Zn}：分别表示叶片中 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 含量 Representing contents of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, and Zn in leaf, respectively. *：$P=0.05$；**：$P=0.01$.

3　讨论和结论

矿质元素是果树生长发育、产量形成和品质提高的营养基础[27]，土壤是物质和能量交换的重要场所，通过根部吸收获得植物生命活动所需的绝大部分营养物质和水分[28]。叶片是植物进行光合作用、制造营养成分的主要组织器官，为果实的生长发育提供了营养基础，是树体积累和贮藏养分的重要“源”器官[29]，对果实品质的形成至关重要。将土壤诊断、叶片分析与果实矿质元素诊断技术相结合，能够更全面地掌握树体营养状况[30]。

本研究结果显示：在枇杷花和果实的整个生长发育阶段，土壤中 N、P、K、Ca、Mg 和 Fe 含量整体波动不大，但从果实膨大期至果实成熟期 N、K、Ca、Mg、Fe 和 Mn 含量均降低，矿质元素对果实成熟影响较大，因此，从果实膨大期至果实成熟期，N、K、Ca、Mg、Fe 和 Mn 的矿质元素供应对产量形成至关重要。而从花芽分化期至幼果期，土壤 N 含量一直下降，这是因为枇杷开花和坐果需要消耗大量 N[31]18。从盛花期至幼果期，土壤中 K、Mg、Fe 和 Zn 含量均下降，这个时期是枇杷春梢生长的重要时期，Mg 是叶绿素合成的必需元素，与光合作用直接有关；而 K、Fe 和 Zn 能够促进叶绿素的合成，促进光合作用[31]10-13，因而，这个时期土壤矿质营养水平对枇杷树体的营养积累有主导作用。从幼果期至果实膨大期，土壤中 P 和 Cu 含量下降，且 Cu 含量极显著下降，枇杷果实迅速膨大需要消耗大量的 P，适量的 P 能促进果实发育和提高果实品质[32]；而 Cu 可以催化果实内部蛋白质和碳水化合物的形成[33]91-92，因而，这一时期土壤中 P 和 Cu 水平的变化直接影响枇杷果实的发育。相关性分析结果显示：土壤与枇杷叶片、花和果实中矿质元素间存在不同的相关性，土壤与树体矿质元素水平间的关系较为复杂，仅用简单的相关性分析难以揭示他们之间的作用机制，需要借助多元统计分析方法以及综合分析方法进一步分析探讨。

枇杷叶片中大多数矿质元素含量从花芽分化期至盛花期以及幼果期至果实成熟期均降低，这可能是花果发育期树体对矿质元素需求量较大，导致叶片中矿质元素转移而降低[34-35]，因此，在枇杷花果发育期

追施速效肥,能够有效促进枇杷花和果实的生长发育。本研究结果表明:从花芽分化期至盛花期,枇杷叶片中K和Zn含量明显低于花,说明在受粉受精过程中花部器官对K和Zn的需求量较高,因为Zn对生长素的合成有影响,Zn缺乏可导致生长素水平降低,从而使花粉管生长异常,最终使果树受粉受精过程受到影响[9,36];而K具有促进花芽分化的作用[32],对开花过程有至关重要的影响[5],因此,K和Zn是枇杷花发育过程中不可或缺的元素。相关性分析结果显示:枇杷花K含量与土壤中P、K、Mg、Fe和Zn含量极显著或显著正相关,但与叶片中Cu和Zn含量极显著负相关;而花Zn含量则与土壤中P、K、Mg、Fe和Zn含量极显著负相关,与叶片中N、Cu和Zn含量则呈极显著正相关,因此,可以通过调控土壤和叶片中相关矿质元素水平调控花中K和Zn的含量。从盛花期至幼果期,枇杷叶片中N、Ca、Fe、Mn、Cu和Zn含量均提高,主要是因为此阶段是春梢生长阶段,叶面积迅速增大,叶片光合作用也增强,而N、Fe、Mn、Cu和Zn均与叶绿素合成或光合作用过程有关[33]87-98。但在本研究中,叶绿素合成所需的Mg含量从盛花期至幼果期却下降,其原因还有待进一步研究。Ca是植物细胞壁的组成成分[33]62-63,枇杷栽植土壤Ca含量与叶片Ca含量极显著正相关,说明土壤中的Ca能够有效转运到叶片中供枇杷植株的利用。

在枇杷果实生长发育过程中,未成熟果实中9种矿质元素含量高于成熟果实,这是因为果实发育初期需要充足的矿质营养供应,以便维持果实的细胞分裂和生长发育,这是枇杷果实生长过程中矿质元素被大量吸收利用的关键时期[37];但随着枇杷果实的生长发育,成熟果实中各矿质元素的含量均最低,其原因是果实发育过程中对矿质元素的吸收量不能与干物质增长量同步,从而产生"稀释效应",最终导致成熟果实中矿质元素含量降低[38]。而且在枇杷果实生长发育过程中,果实中K和Mg含量总体明显高于叶片,而且在果实所有矿质元素中K含量最高,说明在果实生长发育过程中对K和Mg的需求量高于其他矿质元素,这是因为K和Mg在促进植物光合作用[39-40]、糖代谢[41]、蛋白质合成[42]及碳水化合物向果实运输等代谢过程中起重要作用,而且K在促进果实膨大和生长发育、着色、成熟和改善果实品质等方面也具有关键作用[32]。相关性分析结果显示:果实K含量与叶片K含量显著正相关,果实Mg含量与土壤Mg含量显著正相关,因此,可以通过提升叶片和土壤中K和Mg水平调控果实中K和Mg含量。

综上所述,随花和果实的生长发育,枇杷不同器官及栽植土壤中矿质元素含量呈现不同的变化规律,其相互关系也发生了变化。其中,土壤中Mn和Zn含量对枇杷叶片中矿质元素含量有较大影响;土壤中P、K、Mg、Fe、Mn和Zn含量对枇杷花中矿质元素含量有较大影响;土壤中N、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn含量对枇杷果实中矿质元素含量有较大影响。此外,枇杷花中矿质元素含量与其叶片中N、Mn、Cu和Zn含量,枇杷果实中矿质元素含量与其叶片中P、Ca和Zn含量具有一定的关联。建议在实际生产过程中,可在花芽分化期(8月下旬)至盛花期(12月上旬)以及幼果期(2月中旬)至果实成熟期(5月中旬)合理追施速效肥和矿质肥。此外,还应针对不同生长期枇杷各器官对某些矿质元素的特殊需求以及土壤的物化特性进行合理施肥。

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 and Genomes, 2014, 10(5): 1387-1398.

[2] HASEGAWA P N, DE FARIA A F, MERCADANTE A Z, et al. Chemical composition of five loquat cultivars planted in Brazil[J]. Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2010, 30(2): 552-559.

[3] XU H X, CHEN J W. Commercial quality, major bioactive compound content and antioxidant capacity of 12 cultivars of loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) fruits[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011, 91(6): 1057-1063.

[4] 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(2): 94-98.

[5] 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.

[6] 沈 超, 袁紫倩, 杨先裕, 等. 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.

[7] AMIRI M E, FALLAHI E, GOLCHIN 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.

[8] 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.

[9] 韩振海, 王 倩. 我国果树营养研究的现状和展望—文献述评[J]. 园艺学报, 1995, 22(2): 138-146.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 刘丽雅. 菠萝蜜叶片营养元素含量的动态变化研究[D]. 湛江：广东海洋大学农学院，2018：17-36.

[13] 张晓玲，高正辉，刘春燕，等. 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.

[14] 宋少华. 矿质元素变化及对甜柿果实品质的影响[D]. 南京：南京农业大学园艺学院，2015：26-86.

[15] 张玉良，宗　宇，宋建坤，等. 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.

[16] 黄丽萍，帅　芳，张　正，等. 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)：194-196，226.

[17] 高启明，罗淑萍，郑春霞，等. 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.

[18] 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.

[19] 陆修闽，郑少泉，蒋际谋，等. '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.

[20] 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.

[21] 张晓玲，徐义流，齐永杰，等. 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.

[22] 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.

[23] 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.

[24] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京：中国农业出版社，2000：25-114.

[25] 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.

[26] 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.

[27] 覃杰凤. 果树矿质营养的研究进展[J]. 安徽农学通报，2011，17(7)：94-95.

[28] 鲍江峰，夏仁学，彭抒昂，等. 湖北省纽荷尔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.

[29] VELEMIS D，ALMALIOTIS D，BLADENOPOULOU S，et al. Leaf nutrient levels of apple orchards (cv. Starkrimson) in relation to crop yield[J]. Advances in Horticultural Science，1999，13(4)：147-150.

[30] 邹秀华. 营养诊断技术在胶东红富士苹果上的应用研究[D]. 泰安：山东农业大学农学院，2005：7-12.

[31] 刘丽雅. 菠萝蜜叶片营养元素含量的动态变化研究[D]. 湛江：广东海洋大学农学院，2018.

[32] 田　真. 鸭梨土壤和叶片矿质元素年周期变化规律的研究[D]. 保定：河北农业大学园艺学院，2008：11-12.

[33] 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.

[34] 刘茂桥，潘学军，张文娥，等. 铁核桃叶片主要矿质营养元素含量与生育期动态变化特征[J]. 云南大学学报(自然科学版)，2016，38(1)：162-170.

[35] 李淑仪，廖新荣，陈碧琛，等. 沙田柚树体营养特性研究[J]. 生态科学，2001(3)：70-76.

[36] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 北京：高等教育出版社，2001：252-264.

[37] 赵智慧，周俊义. 冬枣、临猗梨枣果实发育期 K、Ca、Fe、Zn 含量变化[J]. 河北农业大学学报，2006，29(5)：20-23.

[38] 车玉红，杨　波，郭春苗，等. '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.

[39] CAKMAK I，YAZICI A M. Magnesium：a forgotten element in crop production[J]. Better Crops，2010，94(2)：23-25.

[40] 陆志峰，鲁剑巍，潘勇辉，等. 钾素调控植物光合作用的生理机制[J]. 植物生理学报，2016，52(12)：1773-1784.

[41] YANG X E，LIU J X，WANG W M，et al. Potassium internal use efficiency relative to growth vigor，potassium distribution，and carbohydrate allocation in rice genotypes[J]. Journal of Plant Nutrition，2004，27(5)：837-852.

[42] 王立梅，刘奕清，阮玉娟. 植物钾素研究进展[J]. 中国园艺文摘，2015，31(5)：71，148.

(责任编辑：郭严冬)