

卯新蕊, 李昊聪, 申志慧, 等. 桃果实矿质元素与糖酸指标的相关性分析[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(1): 164-171.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2020.01.023

桃果实矿质元素与糖酸指标的相关性分析

卯新蕊^{1,2,3}, 李昊聪^{2,3}, 申志慧^{2,3}, 陈小龙^{2,3}, 王亚^{2,3}, 余向阳^{2,3}

(1.南京财经大学食品科学与工程学院/江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心/江苏高校粮油质量安全控制及深加工重点实验室, 江苏 南京 210023; 2.江苏省农业科学院农产品质量安全与营养研究所, 江苏 南京 210014; 3.省部共建国家重点实验室培育基地——江苏省食品质量安全重点实验室, 江苏 南京 210014)

摘要: 本研究对中国不同地区、不同桃品种果实中主要矿质元素含量与品质指标的关系进行研究, 筛选影响果实品质特性的主要矿质元素, 为桃果实营养功能评价提供理论依据。以 14 个不同地区、不同品种的桃果实为材料, 测定了桃果实中的糖酸含量及 26 种矿质元素含量, 应用描述性分析、冗余分析、相关性分析对桃果实中矿质元素与主要品质指标(糖酸含量)的关系进行探讨。试验结果表明, 不同地区栽培的不同品种桃果实中, 大量元素、微量元素和稀土元素的含量均有较大差异。不同省份的桃果实中矿质元素含量有显著差异且具有地方性, 福建省桃果实大量元素中钾和稀土元素中铈的含量最高; 湖北省桃果实大量元素中钙、微量元素中铁、铝含量最高; 云南省桃果实微量元素锰、锌含量丰富, 且稀土元素含量普遍高于其他省份。钾(K)显著影响桃果实的品质, 其与桃果实中的奎宁酸、苹果酸、琥珀酸、柠檬酸、抗坏血酸、山梨醇均显著正相关; 镁(Mg)能显著影响桃果实中有机酸的含量, 其含量与抗坏血酸、柠檬酸、草酸显著正相关, 但与糖类物质无相关性; 钙(Ca)与葡萄糖、果糖呈极显著正相关; 钼(Mo)与酸有较强的相关性; 稀土元素铈(Eu)、铒(Er)、镱(Yb)与桃果实中的糖分含量显著正相关。桃果实中的不同矿质元素对果实品质特性的影响各异, 降低果实中钙、钠含量, 提高果实中钾、镁和稀土元素 Eu、Er、Yb 含量可能是提高桃果实品质的重要技术措施。

关键词: 桃; 矿质元素; 果实品质; 相关性

中图分类号: S662.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2020)01-0164-08

Correlation analysis of mineral elements and sugar and acid contents in peach fruit

MAO Xin-rui^{1,2,3}, LI Hao-cong^{2,3}, SHEN Zhi-hui^{2,3}, CHEN Xiao-long^{2,3}, WANG Ya^{2,3}, YU Xiang-yang^{2,3}

(1. College of Food Science and Engineering / Collaborative Innovation Center for Modern Grain Circulation and Safety / Key Laboratory of Grains and Oils Quality Control and Processing, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China; 2. Institute of Food Safety and Nutrition, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 3. Key Lab of Food Quality and Safety of Jiangsu Province-State Key Laboratory Breeding Base, Nanjing 210014, China)

Abstract: The relationships between the contents of main mineral elements and quality indices of peach fruits in different areas of China were studied and the main mineral elements that affecting the essential characteristics of peach fruits were screened to provide theoretical basis for the evaluation of nutritional function. The contents of sugar and acid and 26

mineral elements of peach fruits from 14 different areas were determined. Descriptive analysis, redundancy analysis and correlation analysis were applied to study the relationship between mineral elements and main quality indices (sugar and acid content) in peach fruits. The results showed that the contents of macroelements, microelements and rare earth elements in peach fruits cultivated in differ-

收稿日期: 2019-10-17

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-30-5-03);
江苏现代农业产业单项技术研发项目[CX(19)3006]

作者简介: 卯新蕊(1995-), 女, 内蒙古乌兰浩特人, 硕士研究生, 主要从事农产品安全研究。(E-mail) 285737477@qq.com

通讯作者: 余向阳, (E-mail) yu981190@hotmail.com

ent areas were quite different. The contents of mineral elements in peach fruits from different provinces were significantly different. The contents of K and Ce in peach fruits were highest in Fujian province, and the contents of Ca, Fe and Al were highest in Hubei province. The contents of Mn and Zn in peach fruits of Yunnan province were rich, and the content of rare earth elements was generally higher than that in other provinces. The quality of peach fruit was significantly affected by potassium (K), which was positively correlated with quinic acid, malic acid, succinic acid, citric acid, ascorbic acid and sorbitol. The contents of organic acids in peach fruits were significantly affected by magnesium (Mg), which was positively correlated with ascorbic acid, citric acid and oxalic acid. However, Mg had no correlation with sugar. Calcium (Ca) was positively correlated with glucose and fructose. Furthermore, molybdenum (Mo) had strong correlation with acid. Besides, Eu, Er and Yb were positively correlated with sugar content in peach fruits. The effects of different mineral elements on the quality characteristics of peach are different. Reducing the contents of Ca and sodium (Na) and increasing the contents of K, Mg, Eu, Er and Yb may be the important technical strategy for improving the quality of peach fruits.

Key words: peach; mineral elements; fruit quality; correlation

桃(*Prunus persica* L. Batsch)是中国的主栽果树,种植面积及产量仅次于苹果、梨和柑橘,排第四位^[1]。桃原产于中国,肉质鲜美,营养丰富,桃果肉中的矿物元素不仅可以提供人体所需的营养,而且能够影响果实品质^[2-3]。桃果实中的矿质元素含量受到多种因素的影响,温度、水分、光照、病菌侵害以及土壤质量都会使果实中的矿质元素积累产生差异^[4-5]。桃在中国分布广泛且种类繁多,不同的土壤类型会直接影响桃果实对矿质元素的吸收,这种矿质元素的差异与桃果的品质直接相关^[4-5]。所以,明确优质桃果实中矿质元素种类及含量,探究桃果实中矿质元素与果实品质之间的相关性,对指导桃树合理营养与施肥,提高果实品质具有重要的理论意义和应用价值。

以往果实矿质营养领域的研究大多集中在喷施肥料对树体生长发育、叶片营养元素及果实发育的影响等方面。研究发现,岗山早生和玉露桃展叶到果熟期,叶片和果实中铁元素含量达最高值^[6]。盛花后 10 d 喷施不同形态有机钙肥可提高早熟桃青研一号果实贮藏性和品质^[7]。脐橙果实品质受矿质营养元素的协同影响,钙、镁、铜、锌是影响脐橙果实品质的关键因子^[8]。Fallahi 等^[9-10]研究认为矿质元素影响果实品质,其中氮、磷、钾对苹果品质和生理病害影响较大,钾可以提高苹果的大小、含酸量和色泽,降低果实硬度,钙与果实硬度呈正相关。Marmo 等^[11]分析了旭苹果果实的 10 种矿质元素,发现钙、磷、钾等元素含量与耐贮性呈正相关,可用于果实耐贮性预测。现阶段国内外关于果实与矿物质的研究多与大量和微量元素相关,而简单相关分析仅能反映矿质元素与

果实品质指标之间的相关性,不能明确各矿质元素影响果实品质指标的作用大小。此外,果实品质与稀土元素之间的相关性研究较少。本研究通过采集江苏、山东等中国主要桃产区的桃果实,利用冗余分析(Redundancy analysis, RDA)和相关性分析,探讨桃果实矿质元素(包括大量元素、微量元素和稀土元素)之间的相关性及其与糖酸含量的关系,明确影响桃果实糖酸含量的主要矿质元素种类,以期为实现桃树的合理营养施肥和优质高效生产提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 样品采集及制备

样品采集于 2018 年 6 月至 8 月,分别从全国 14 个省份采集 97 份树龄在 8~10 年的桃果实。每个果园按 S 型选择成长较好、长势一致的果树 3~5 棵,每棵果树采集 3~5 只桃作为样品。选择日照时间长(果树树冠的中部),且成熟度、大小、颜色保持一致的桃作为采集样品。将采集的样品带回实验室,24 h 内完成样品去核、切块,并将所有桃块置于研磨机中,加少许干冰后研磨 5 min,样品充分打碎并混合均匀后于 -20 ℃ 冰箱保存。

1.2 仪器与试剂

电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS, Agilent),高效液相色谱(HPLC-1260 Infinity, Agilent),电子天平(上海精密科学仪器有限公司产品),XW-80A 漩涡混合器(上海恒勤仪器设备有限公司产品),DB-3A 电子恒温加热板(常州金坛良友仪器有限公司产品),元素标准溶液购于国家标准物质研究中心,试验用水均为去离子水。

1.3 仪器工作参数

ICP-MS: 射频功率 1 100 W, 等离子体气流量 16 L/min, 雾化器流量 0.92 L/min, 辅助气流量 1.2 L/min, 样品提升速率 20 r/min, 检测模式: 碰撞模式, 氦气流量 3 ml/min。

HPLC 检测有机酸的仪器参数: 色谱柱 ZORB-AX SB-C18 (4.6 mm×250.0 mm, 5 μm, Agilent, GB), 柱温 40 ℃, 检测波长 210 nm, 二极管阵列检测器, 流动相为 0.01 mol/L 硫酸溶液, 流速 1 ml/min。

HPLC 检测还原糖的仪器参数: Hi-Plex Ca (7.7 mm×300.0 mm, 8 μm, Agilent, GB), 柱温 80 ℃, 示差检测器 (Agilent 1260) 柱温 40 ℃, 流动相为超纯水, 流速 0.6 ml/min。

1.4 样品处理

1.4.1 矿质元素分析测定 准确称取 5.0 g 样品置于消煮管中, 加入 10 ml 浓硝酸, 电炉加热消解 12 h, 直至肉眼看不见桃纤维为止。消解完成后转移至 50 ml 容量瓶中, 去离子水定容, 同时做空白试验。根据元素含量大小按比例稀释后, ICP-MS 测定样品中大量元素钾、钙、镁, 微量元素钠、铜、铁、锰、锌、铝、硼、钼和稀土元素钇、镧、铈、镨、钕、钐、铕、铽、镱、铟、铊、铋。每组 5 个平行试验。

1.4.2 果实品质指标测定 准确称取 2.0 g 样品置于离心管中, 加入 8 ml 超纯水, 高通量组织研磨仪于常温下研磨 (1 000 r/min) 15 min, 高速离心机 4 000 r/min 离心 5 min 后取提取液 2 ml, 过 0.45 μm 水系滤膜, 装入 2 ml 玻璃进样瓶待测, 每组 5 个平行试验。

1.5 数据处理方法

采用 Excel 2010 和 GraphPad Prism 8.0 对试验数据进行整理或作图, 采用 SPSS 22.0 软件和 CANOCO 4.5 对桃果实各指标进行统计分析或作图。

2 结果与分析

2.1 桃果实品质指标和矿质元素含量

由表 1 可知, 不同品种及园区桃果实的矿质元素含量差异较大, 变异系数介于 16.60% 至 107.00%。在所测元素中铁的变异系数最大, 镁的变异系数最小, 其变异系数大小依次为铁>铝>钼>钠>锰>锌>钙>铜>硼>钾>镁。在大量元素中, 钾含量最高, 镁含量次之, 钙含量最低。在微量元素中, 硼含量最高, 钼含量最低。

表 1 桃果实矿质元素含量水平

Table 1 Contents of mineral elements in peach fruits

元素	均值 (mg/kg)	最小值 (mg/kg)	最大值 (mg/kg)	标准差 (mg/kg)	变异系数 (%)
钾	1 842.000a	980.000	2 720.000	313.000	17.00
钙	25.400b	10.200	65.400	10.700	42.00
镁	87.500b	57.200	139.000	14.500	16.60
钠	5.660c	0.530	23.600	3.850	68.20
铜	0.693c	0.180	1.910	0.279	40.30
铁	4.650c	1.580	50.400	4.980	107.00
锰	0.857c	0.260	2.860	0.528	61.60
锌	1.640c	0.790	4.350	0.684	41.70
铝	2.270c	0.380	21.300	2.330	103.00
硼	6.910c	2.960	13.600	2.100	30.40
钼	0.017c	0.001	0.090	0.016	97.70

表中均值数据后不同小写字母表示不同元素含量间差异显著 ($P < 0.05$)。

由表 2 可知, 不同品种及园区桃果实稀土元素含量的变异系数介于 67.30% 至 161.00%。在所测稀土元素中铈的变异系数最大, 铈的变异系数最小, 且除铈和镧外, 其他稀土元素的变异系数均在 100% 以上。在 4 种稀土元素中, 铈的含量最高, 达到 19.40 μg/kg, 铈次之, 含量最低的稀土元素为镧, 仅为 0.03 μg/kg。

表 2 桃果实稀土元素含量水平

Table 2 Contents of rare earth elements in peach fruits

元素	均值 (μg/kg)	最小值 (μg/kg)	最大值 (μg/kg)	标准差 (μg/kg)	变异系数 (%)
钇	2.09b	0.32	24.90	3.37	161.00
镧	5.00b	0.65	47.30	6.86	137.00
铈	7.08b	0.65	53.30	9.01	127.00
镨	0.94b	0.12	8.76	1.35	142.00
钕	4.21b	0.56	38.90	6.49	154.00
钐	0.64b	0.08	5.92	0.88	137.00
铕	0.16b	0.04	1.20	0.18	108.00
钆	0.61b	0.04	5.98	0.88	145.00
铽	0.06b	0.00	0.64	0.09	143.00
镱	0.33b	0.04	3.12	0.46	140.00
铟	0.06b	0	0.56	0.09	149.00
铊	19.40a	0	78.20	13.10	67.30
铋	0.02b	0	0.18	0.03	120.00
镱	0.13b	0.02	0.96	0.14	111.00
镳	0.03b	0.01	0.17	0.02	83.70

表中均值数据后不同小写字母表示不同元素含量间差异显著 ($P < 0.05$)。

97 份桃果实样品的果实品质(可滴定糖和有机酸含量)指标如表 3 和表 4 所示,不同品种及园区的果实品质间存在一定差异。由表 3 可知,在所测 4 种可滴定糖中,山梨醇在桃果实中含量最低且变异程度最大,变异系数达到 88.60%;葡萄糖变异程度最小,为 36.80%;桃果实中的糖类以蔗糖为主,平均含量达到 42.90 mg/g。由表 4 可知,不同品种及园区桃果实有机酸含量的变异系数介于 27.10%至 77.40%。在所测 7 种有机酸中,酒石酸在桃果实中含量最低,苹果酸含量最大,且变异系数最小,而柠檬酸变异系数最大。

表 3 桃果实中可滴定糖含量

Table 3 Contents of titratable sugar in peach fruits

滴定糖	最小值 (mg/g)	最大值 (mg/g)	均值 (mg/g)	标准差 (mg/g)	变异系数 (%)
蔗糖	3.19	75.6	42.9a	16.90	39.50
葡萄糖	2.39	17.10	7.51b	2.76	36.80
果糖	3.07	24.60	8.94b	3.53	39.40
山梨醇	0.09	11.50	2.39b	2.12	88.60
总糖	26.50	101.00	61.70	21.00	34.00

表中均值数据后不同小写字母表示不同元素含量间差异显著($P < 0.05$)。

表 4 桃果实中有机酸含量

Table 4 Contents of organic acid in peach fruits

有机酸	最小值 (mg/g)	最大值 (mg/g)	均值 (mg/g)	标准差 (mg/g)	变异系数 (%)
奎宁酸	0.210	1.650	0.479a	0.197	41.10
苹果酸	0.250	1.200	0.672a	0.182	27.10
柠檬酸	0.030	0.930	0.271a	0.210	77.40
琥珀酸	0.120	1.410	0.547a	0.223	40.90
草酸	0.040	0.270	0.157a	0.045	28.80
酒石酸	0.030	0.160	0.060b	0.010	31.40
抗坏血酸	0.010	0.040	0.018b	0.007	38.40

表中均值数据后不同小写字母表示不同元素含量间差异显著($P < 0.05$)。

2.2 不同省份桃果实中矿质元素含量差异

97 份桃果实样品分别来自 14 个省份。由表 5 和表 6 可知,不同地区的桃果实中矿质元素含量差异较大。大量元素中,钾元素含量最高的省份为浙江省和福建省,而四川省、湖北省桃果实中钙元素含量最高。微量元素中,钠元素在山西省桃果实中含

量最高,铜元素在贵州省桃果实中含量最高,湖北省桃果实中铁含量最高;桃果实中锌含量最高的省份是云南省,锰含量最高的是福建省。湖北省桃果实中铝含量最高;河北省和河南省桃果实中硼元素含量最高;辽宁省桃果实中钼元素含量最高。稀土元素中,福建省桃果实中铈含量最高,其他稀土元素在云南省桃果实中含量最高。

2.3 桃果实中糖酸含量与矿质元素的相关分析

为明确桃果实中矿质元素与糖酸含量间的相互关系,以桃果实的可滴定糖和有机酸为一个总体,以大量元素、微量元素和稀土元素含量为另一个总体,应用典型相关进行统计分析。由表 7 可知,桃果实中矿质元素与糖酸指标间存在相关性。其中钾与奎宁酸、苹果酸、琥珀酸呈显著正相关,与柠檬酸、抗坏血酸、山梨醇呈极显著正相关;钙与苹果酸、琥珀酸呈显著负相关,与奎宁酸、酒石酸、葡萄糖、果糖呈极显著正相关。钠与琥珀酸呈极显著负相关,但与酒石酸、葡萄糖、果糖呈极显著正相关。镁与抗坏血酸、柠檬酸、草酸、山梨醇呈显著或极显著正相关。钼与草酸呈显著正相关,与苹果酸呈极显著正相关,与其他有机酸及可滴定糖均不存在显著相关性。铜仅与蔗糖呈显著正相关,与其他糖酸无显著相关性。铈与抗坏血酸呈极显著负相关,与葡萄糖呈极显著正相关。镱与蔗糖、总糖呈极显著正相关,与有机酸无显著相关性。由表 7 可知,桃果实的生长发育与品质形成息息相关。

2.4 桃样品中元素与糖酸含量的 RDA 分析

如图 1 所示,第一排序轴可解释 10.5%的糖酸变化,第二排序轴可解释 5.6%的糖酸变化。大量元素钾、钙、镁,微量元素钼、钠以及稀土元素铈、镱和铈是影响桃果实糖酸含量的主控因子。此外,对于大量元素,钙与奎宁酸、酒石酸呈极显著正相关,与苹果酸、琥珀酸呈负相关,与钠、镁、钙呈极显著正相关;钾与柠檬酸、抗坏血酸、山梨醇呈极显著正相关,与铈呈显著负相关,与镱呈极显著正相关;镁与柠檬酸、草酸、抗坏血酸、山梨醇呈显著正相关,与钼呈显著正相关;对于微量元素,钠与蔗糖、葡萄糖、果糖呈显著正相关,与苹果酸、琥珀酸呈显著负相关,与铈、钼、镱呈显著正相关,与钼呈极显著正相关;钼与苹果酸、琥珀酸、抗坏血酸、草酸呈显著正相关,与其他元素均呈负相关。此外,3 种稀土元素与蔗糖、葡萄糖、总糖具有显著相关性。

表 5 不同省份桃果实中矿质元素含量

Table 5 Mineral element contents of peach fruits in different provinces

省份	样品数	钾 (mg/kg)	钙 (mg/kg)	镁 (mg/kg)	钠 (mg/kg)	铜 (mg/kg)	铁 (mg/kg)	锰 (mg/kg)	锌 (mg/kg)	铝 (mg/kg)	硼 (mg/kg)	钼 (mg/kg)
山东	20	1 844.000ab	28.000bc	92.700a	5.130ab	0.637abc	4.480b	0.988b	1.740ab	2.250b	7.600ab	0.017b
江苏	17	1 825.000ab	18.300c	79.000a	4.270ab	0.560bc	3.120b	1.130ab	1.530ab	1.670b	6.180ab	0.007b
河北	13	1 840.000ab	22.400bc	87.600a	3.910ab	0.731abc	4.240b	0.619b	1.270ab	1.790b	7.900a	0.024b
山西	10	1 826.000ab	32.400ab	90.700a	11.800a	0.942ab	5.090b	0.642b	2.220a	3.190ab	6.540ab	0.015b
浙江	5	2 102.000a	21.000bc	85.800a	4.000ab	0.503c	3.290b	0.767b	1.480ab	1.390b	6.300ab	0.016b
四川	5	1 960.000ab	40.600a	83.500a	4.480ab	0.500c	2.180b	0.407b	1.080b	1.440b	6.870ab	0.006b
湖北	5	1 918.000ab	43.000a	95.400a	8.650ab	0.862abc	13.400a	0.831b	2.170a	6.270a	7.690ab	0.023b
云南	4	1 562.000b	24.000bc	75.700a	8.570ab	0.635abc	5.520b	1.090ab	2.250a	3.980ab	5.930ab	0.008b
河南	4	1 762.000ab	22.200bc	97.800a	3.220c	0.576bc	4.840b	0.444b	1.430ab	2.340b	7.760a	0.018b
贵州	4	1 764.000ab	18.300c	84.200a	5.830ab	1.034a	4.600b	0.559b	1.470ab	1.620b	7.140ab	0.023b
福建	3	2 106.000a	16.400c	86.900a	3.880ab	0.838abc	3.480b	1.740a	1.380ab	1.160b	4.320b	0.014b
辽宁	3	1 849.000ab	16.900c	93.200a	6.560ab	0.695abc	5.460b	1.100ab	1.840ab	2.200b	6.790ab	0.059a
甘肃	2	1 737.000ab	22.400bc	93.400a	4.110ab	0.886abc	4.050b	0.758b	1.310ab	1.590b	6.010ab	0.019b
陕西	2	1 475.000b	26.900bc	81.900a	4.300ab	0.692abc	6.630b	0.656b	1.600ab	0.870b	6.190ab	0.007b

同一列数据后不同小写字母表示不同省份间相同矿质元素含量差异显著 ($P < 0.05$)。

表 6 不同省份桃果实中稀土元素含量

Table 6 Rare earth elements contents of peach fruits in different provinces

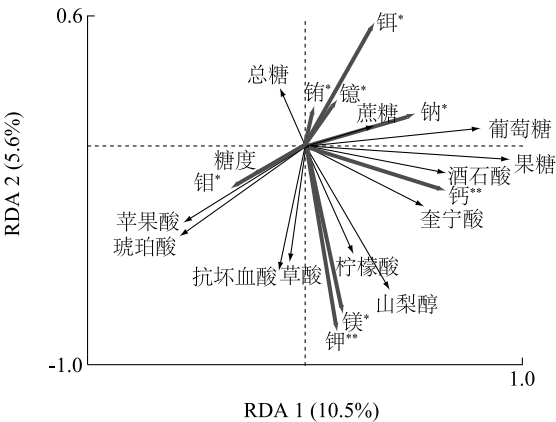
省份	样品数	钇 ($\mu\text{g/kg}$)	镧 ($\mu\text{g/kg}$)	铈 ($\mu\text{g/kg}$)	镨 ($\mu\text{g/kg}$)	钕 ($\mu\text{g/kg}$)	钐 ($\mu\text{g/kg}$)	铈 ($\mu\text{g/kg}$)	钆 ($\mu\text{g/kg}$)	铽 ($\mu\text{g/kg}$)	铈 ($\mu\text{g/kg}$)	铈 ($\mu\text{g/kg}$)	铈 ($\mu\text{g/kg}$)	铈 ($\mu\text{g/kg}$)	铈 ($\mu\text{g/kg}$)
山东	20	1.490b	3.970bcd	4.980d	0.691bc	2.800c	0.450bc	0.129cd	0.402b	0.046b	0.233b	0.041b	18.600a	0.017b	0.105b
江苏	17	1.310b	2.920cd	4.760d	0.546bc	2.210c	0.374bc	0.101cd	0.335b	0.037b	0.199b	0.033b	20.800a	0.012b	0.084b
河北	13	1.820b	5.000bcd	8.950cd	0.959bc	3.880c	0.652bc	0.148cd	0.578b	0.061b	0.315b	0.055b	19.900a	0.020b	0.123b
山西	10	1.640b	3.810bcd	7.210cd	0.809bc	3.300c	0.600bc	0.158cd	0.516b	0.060b	0.308b	0.058b	25.000a	0.023b	0.139b
浙江	5	2.380b	4.100bcd	4.970d	0.814bc	3.430c	0.586bc	0.168cd	0.570b	0.072b	0.375b	0.060b	20.400a	0.021b	0.125b
四川	5	0.600b	1.190d	1.820d	0.222c	0.995c	0.170bc	0.075d	0.122b	0.019b	0.092b	0.011b	12.400a	0.008b	0.042b
湖北	5	3.020b	11.600bc	4.680d	2.260b	9.060bc	1.300b	0.309bc	1.130b	0.110b	0.537b	0.093b	19.400a	0.034b	0.208b
云南	4	13.050a	22.200a	17.300bc	4.380a	18.400a	3.230a	0.697a	3.260a	0.365a	1.830a	0.343a	30.100a	0.094a	0.536a
河南	4	1.200b	2.170d	3.940d	0.528bc	2.170c	0.406bc	0.096d	0.322b	0.035b	0.216b	0.039b	20.600a	0.017b	0.106b
贵州	4	1.260b	3.500bcd	3.770d	0.565bc	2.120c	0.406bc	0.113cd	0.335b	0.048b	0.203b	0.041b	13.600a	0.021b	0.089b
福建	3	3.370b	12.100b	28.900a	1.950bc	7.410bc	1.050bc	0.322b	1.190b	0.089b	0.465b	0.083b	13.300a	0.030b	0.177b
辽宁	3	1.940b	4.260bcd	21.200ab	0.798bc	15.100ab	0.532bc	0.118cd	1.160b	0.066b	0.279b	0.048b	14.500a	0.022b	0.120b
甘肃	2	1.010b	3.170bcd	3.880d	0.441bc	1.910c	0.353bc	0.085d	0.270b	0.031b	0.183b	0.029b	10.200a	0.011b	0.085b
陕西	2	0.467b	0.811d	1.070d	0.153c	0.681c	0.118c	0.046d	0.089b	0.015b	0.075b	0.009b	14.700a	0.006b	0.041b

同一列数据后不同小写字母表示不同省份间相同稀土元素含量差异显著 ($P < 0.05$)。

表 7 桃果实中糖酸含量与矿质元素的相关系数
Table 7 Correlation coefficients between sugar and acid content and mineralement content in peach fruits

	相关系数							
	钾	钙	钠	镁	铝	锆	铈	铈
奎宁酸	0.238 *	0.351 **	0.164	0.162	-0.074	0.071	-0.094	0.087
苹果酸	0.214 *	-0.221 *	-0.048	0.074	0.306 **	0.186	-0.203 *	0.165
柠檬酸	0.264 **	0.229 *	-0.026	0.330 **	0.025	-0.175	-0.102	-0.196
琥珀酸	0.220 *	-0.220 *	-0.278 **	0.131	0.091	0.000	-0.177	-0.054
草酸	0.188	0.132	0.048	0.459 **	0.213 *	-0.051	-0.110	-0.057
酒石酸	0.083	0.267 **	0.286 **	0.104	-0.104	0.006	0.016	0.056
抗坏血酸	0.294 **	-0.017	-0.131	0.203 *	-0.004	-0.015	-0.298 **	-0.034
蔗糖	-0.013	-0.092	0.064	-0.063	-0.023	0.217 *	0.169	0.276 **
葡萄糖	0.057	0.281 **	0.321 **	0.111	-0.192	0.071	0.271 **	0.158
果糖	0.180	0.395 **	0.390 **	0.199	-0.123	0.087	0.229 *	0.160
山梨醇	0.431 **	0.160	-0.008	0.284 **	-0.115	-0.058	-0.152	-0.049
总糖	0.071	0.045	0.159	0.026	-0.076	0.194	0.196	0.266 **

* 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。



糖酸(以带箭头的细线表示)为奎宁酸、苹果酸、柠檬酸、琥珀酸、草酸、酒石酸、抗坏血酸、蔗糖、葡萄糖、果糖、山梨醇、总糖。元素(以带箭头的粗线表示)为钾、钙、镁、钠、铝、锆、铈和铈。
* 和 ** 分别为蒙特卡罗分析中显著 ($P < 0.05$) 及极显著 ($P < 0.01$) (排列数 = 499)。

图 1 97 份桃果实中糖酸含量与矿质元素关系的 RDA 排序图
Fig.1 RDA ordination diagram of the relationships between sugar and acid content and mineralement content in 97 peach fruits

3 讨论

果实中的糖、酸含量是决定果实品质的重要指标,果实中糖酸组分及其含量与比例对果实甜酸风味形成有着重要的影响。矿质元素是果树生长发

育、果实品质和产量的物质基础,而果实中矿质元素的含量和比例也能在一定程度上反映树体的营养状况,而且对果实的糖酸含量产生重要影响^[2-5]。本研究发现,在不同地区栽培的桃果实中,大量元素、微量元素和稀土元素的含量均有较大差异,差异性最大的是微量元素铁、铝和稀土元素铈。而大量元素中含量最高的是钾,稀土元素中含量最高的是铈。对桃果的可滴定糖和有机酸含量测定发现,山梨醇和柠檬酸的差异性最大,蔗糖和苹果酸含量最高。不同省份的桃果实中大量元素、微量元素和稀土元素含量也有较大差异。湖北省、福建省和云南省桃果实中大量元素和微量元素含量较为丰富,其中,福建省桃果实大量元素中钾和稀土元素中铈的含量最高,湖北省桃果实大量元素中钙,微量元素中铁、铝含量最高,这可能与 2 个省份气候温暖,雨水丰富有关^[12]。云南省桃果实中微量元素锰、锌含量丰富,此外,稀土元素含量也普遍高于其他省份,可能是因为云南省稀土矿分布广泛,栽培土壤中稀土元素含量丰富^[13]。

通过相关性分析发现,钾能够显著影响桃果实品质,其与果实中的奎宁酸、苹果酸、琥珀酸、柠檬酸、抗坏血酸、山梨醇呈显著正相关。类似的,徐慧等^[14]利用典型相关和通径分析方法筛选影响胶东半岛主要苹果产区果实品质指标的矿质元素因子,结果发现钾对可滴定酸具有最大的正直接作用。研

究结果表明钾参与糖合成、运输、转化过程,是果实糖积累的重要调节因子^[15-16]。Fallahi等^[17]研究认为,钾可以提高苹果的大小、酸含量和色泽,其含量对果实的品质有较大的影响。

Mg能显著影响桃果实中有机酸的含量,与抗坏血酸、柠檬酸、草酸显著正相关。陈艳秋等^[18]通过对苹果、梨果实生长发育中9种矿质元素与总糖含量的分析发现,果实矿质元素间存在复杂的交互作用,总糖在果实品质指标中起主导地位,镁通过氮、钙、铁等元素间接影响总糖。李泽坤等^[19]对橄榄果实中蔗糖代谢变化进行研究,发现橄榄果实发育成熟过程中镁元素含量与糖积累变化趋势相反,其中与葡萄糖、果糖含量呈显著负相关,与蔗糖代谢相关酶相关性不显著,说明镁可能促进了果实生长过程对糖类的消耗。

在苹果、梨、桃果实上的研究结果进一步表明钙对这3种果实中的蔗糖转化酶活性均有促进作用,尤其对可溶性酸性转化酶活性的促进作用最为显著^[20-21]。在本试验中,钙与葡萄糖、果糖呈极显著正相关,这些结果与前人研究结果类似,说明钙可能是激活桃果实内酸性转化酶的主要影响因子,进而促使桃果实内蔗糖转化为葡萄糖和果糖,最终使葡萄糖与果糖含量上升。但王武等^[22]对血橙的研究结果表明,果实内酸含量与果皮、囊壁中钙的含量呈显著负相关,与本研究的结果不同,这可能与果树种类、砧木类型、品种、土壤质地、肥水条件和栽培管理技术等因素不同有关。由于钙与钠间具有显著的促进作用,因此钙对桃果实酸含量的影响,不仅体现在其对酸形成的直接抑制作用上,也体现在其通过促进Na吸收影响酸含量。花期喷施微量元素钼可使红富士苹果可溶性固形物含量升高,增长幅度为6.40%~20.00%^[23]。外部施加0.03%~0.05%钼酸铵肥和钼肥可以改善柑橘果实品质^[24]。本试验对桃果实进行研究时发现,钼含量与果实糖酸含量呈正相关,与苹果和柑橘研究所得结论相同,证明钼能够影响桃果实品质。

稀土元素钕、铒、镱与桃果实中的糖含量都存在一定的正相关关系,是影响桃果实品质的因素之一。杨娉娉等^[25]对脐橙品质与稀土元素间的相关性进行研究,发现果实中稀土元素含量与果实糖含量呈正相关,其原因是稀土元素能增加叶绿素含量,保证光合作用,为碳水化合物的积累奠定物质基础,促进

糖类形成。其中与蔗糖相关性最为密切,原因是稀土元素能够抑制蔗糖转化酶的活性,抑制其将蔗糖转化为葡萄糖和果糖,有利于蔗糖的积累。周沁沁等^[26]研究发现土壤稀土元素含量与大枣品质的相关性显著,其中,与大枣可溶性糖和可滴定酸含量呈正相关,与糖酸比和可食率呈负相关。对6年生新噶拉苹果在果实膨大期、采前半个月各喷施1次1000 mg/kg稀土元素,能显著提高单果质量、可溶性固形物含量和果实硬度^[27]。外部喷施稀土元素后,菠萝果实维生素C含量提高136.0%,糖酸比增加17.8%^[28];葡萄维生素C含量增加45.0%,果实总糖含量增加5.1%,糖酸比提高7.0%,增加了葡萄果实的色泽和风味^[29]。说明稀土元素可以改善农作物品质。

综上所述,果实中的糖酸含量决定了果实的品质与风味。大量元素钾、钙、镁,微量元素钠、钼与糖酸含量相关性均较强,其含量能显著影响桃果实的品质。稀土元素钕、镱与桃果实酸含量间不存在显著相关性,而与糖含量相关性显著。桃果实中的不同矿质元素含量对果实品质特性的影响各异,降低果实钙、钠含量,提高果实钾、镁、稀土元素钕、铒、镱含量可能是提高桃果实品质的重要技术措施。

参考文献:

- [1] MARMO C A, BRAMLAGE W J, WEIS S A. Effects of fruit maturity, size, and mineral concentrations on predicting the storage life of 'McIntosh' apples [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1985, 110 (4): 499-502.
- [2] 梁晓萍,范崇辉,许晓玲,等. 水肥耦合对“重阳红”桃果实产量、品质及叶片光合性能的影响[J]. *北方园艺*, 2017(23): 58-63.
- [3] 郭智,周炜,陈留根,等. 太湖流域典型桃园氮素投入特征及其对桃果产量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2015, 43 (11): 204-207.
- [4] 郭智,周炜,陈留根,等. 太湖流域典型桃园养分投入特征及其对磷素径流损失和桃果产量与品质的影响[C]//中国农学会耕作制度分会.中国农学会耕作制度分会2016年学术年会论文摘要集.北京:中国农业科学技术出版社,2016: 204-206.
- [5] 李中勇,高东升,王闯,等. 土壤施钙对设施栽培油桃果实钙含量及品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16 (1): 191-196.
- [6] 戴文圣,王白坡,钱银才. 桃叶片和果实矿质元素含量[J]. *浙江林学院学报*, 1994, 11(3): 247-252.
- [7] 田世恩,王萌,宋伟,等. 不同形态钙肥对桃果实品质及耐

- 贮性的影响[J]. 烟台果树, 2011 (2): 16-17.
- [8] 王小玲,刘卓荣,幸学俊,等. 赣南脐橙生长发育期果实和叶片矿质营养与重金属元素的动态变化及相关性分析[J/OL]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019,47(11):78-84
- [9] FALLAHI E, CONWAY W S, HICKEY K D, et al. The role of calcium and nitrogen in postharvest quality and disease resistance of apples[J]. Hortscience, 1997, 32 (5): 831-835.
- [10] FALLAHI E, SIMONS B R. Interrelations among leaf and fruit mineral nutrients and fruit quality in 'Delicious' apples[J]. Journal of Tree Fruit Production, 1996, 1 (1): 15-25.
- [11] MARMO C A, BRAMLAGE W J, WEIS S A. Effects of fruit maturity, size, and mineral concentrations on predicting the storage life of 'McIntosh' apples[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1985, 110 (4): 499-502.
- [12] 彭京备,郑 飞,陈 红,等. 2018 年夏季全国气候趋势展望[J]. 中国科学院院刊, 2018, 33 (6): 630-636.
- [13] 焦 扬. 云南文山天生桥矿区晚二叠世铝土矿沉积古地理特征与成矿作用研究[D]. 北京:中国地质大学, 2014.
- [14] 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.
- [15] 魏建梅,齐秀东,朱向秋,等. 苹果果实糖积累特性与品质形成的关系[J]. 西北植物学报, 2009, 29 (6): 1193-1199.
- [16] 周 敏. 刺葡萄矿质营养变化规律与钾对果实糖分积累的影响研究[D]. 长沙:湖南农业大学, 2017.
- [17] FALLAHI E, FALLAHI B, NEILSEN G H, et al. Effects of mineral nutrition on fruit quality and nutritional disorders in apples[J]. Acta Horticulturae, 2010, 868 (868): 49-60.
- [18] 陈艳秋,曲柏宏. 苹果梨果实矿质元素含量及其品质效应的研究[J]. 吉林农业科学, 2000, 25 (6): 44-48.
- [19] 李泽坤. 橄榄[*Canarium album* (Lour.) Raeusch]果实成熟发育蔗糖代谢变化研究[D]. 福州:福建农林大学, 2016.
- [20] ZHANG R R, DUAN Y X, LI P H, et al. Changes of soluble sugar contents and sucrose invertase activity and their relation to fruits hardness of peach fruits before and after ripening [J]. Plant Physiology Journal, 2015, 5 (2): 14-22.
- [21] PAN Q H, YU X C, ZHANG N, et al. Activity, but not expression, of soluble and cell wall-bound acid invertases is induced by abscisic acid in developing apple fruits [J]. Journal of Integrative, 2006, 48 (5): 536-549.
- [22] 王 武,尹旭敏,胡佳羽,等. 喷施叶面肥对塔罗科血橙果实内在品质的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2012, 34 (12): 27-33.
- [23] 薛晓敏,王金政,陈鸿飞,等. 花期喷钼对“红富士”苹果坐果率和果实品质的影响[J]. 北方园艺, 2012 (21): 12-14.
- [24] 钼对改善柑桔果实品质的作用(初报)[J]. 柑桔科技通讯, 1975 (2): 33-35.
- [25] 杨娉娉. 脐橙品质与稀土元素的相关性探讨[D]. 赣州:赣南师范学院, 2011.
- [26] 周沁沁,栾文楼,宋泽峰,等. 土壤稀土元素对太行山区大枣品质影响的探讨[J]. 河北农业科学, 2015 (6): 40-43.
- [27] 张力飞,杨 洋. 稀土对新嘎拉苹果品质的影响[J]. 北方园艺, 2011(1): 54-55.
- [28] 姚艳丽,张秀梅,刘忠华,等. 硝酸铜和硝酸钾对菠萝产量品质和抗氧化酶系统的影响[J]. 热带作物学报, 2010, 31(8): 1372-1376.
- [29] 曹川健,郭宝琴,宋 军. 巨峰葡萄叶面喷施稀土、叶面宝[J]. 宁夏农林科技, 1991(3): 23-24.

(责任编辑:陈海霞)