

寸待泽, 普金安, 高俊燕, 等. 云南冰糖橙果皮和果肉矿质元素含量与果实品质的关系[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(24): 207-214.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.24.040

云南冰糖橙果皮和果肉矿质元素含量与果实品质的关系

寸待泽¹, 普金安², 高俊燕¹, 李晶¹, 岳建强¹, 杜玉霞¹, 李丹萍¹, 李雪², 陈磊², 周先艳¹, 李进学¹

(1. 云南省农业科学院热带亚热带经济作物研究所, 云南瑞丽 678600; 2. 云南省新平县经济作物工作站, 云南新平 653400)

摘要:为了探讨云南玉溪冰糖橙主产区不同果园果实营养状况与果实品质指标的关联性,对玉溪新平4个冰糖橙较集中乡镇的17个果园的冰糖橙果皮和果肉的矿质营养元素、单果质量、果形指数、可食率、可滴定性酸含量、可溶性固形物含量和固酸比进行测定分析。结果表明,不同果园冰糖橙的果实品质存在不同程度的变异,其中以固酸比的变异系数最大,为37.29%,可滴定性酸含量和单果质量次之,果形指数的变异系数最小,为3.84%。不同果园冰糖橙果皮和果肉中的矿质元素含量均存在差异,各元素含量变异系数最大的均为Mn,最小的为N。果皮和果肉矿质元素含量均相互影响,都存在一定的相关性。果皮及果肉N和K含量与可滴定性酸含量呈极显著($P < 0.01$)正相关,与固酸比、可食率和可溶性固形物含量呈显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)负相关;P含量与可滴定性酸含量呈显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)正相关,与可食率呈显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)负相关;Ca和Mg含量与固酸比和可溶性固形物含量呈极显著($P < 0.01$)正相关,与可滴定性酸含量呈极显著($P < 0.01$)负相关;Zn含量与固酸比、可食率和可溶性固形物含量呈显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)正相关,与可滴定性酸含量呈极显著($P < 0.01$)负相关;Fe和Cu含量与果实可食率呈显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)负相关。此外,果皮中的Fe含量与可滴定性酸含量呈极显著($P < 0.01$)正相关,与固酸比和可溶性固形物含量呈极显著($P < 0.01$)负相关;果肉中的Mn与单果质量和横径呈显著($P < 0.05$)负相关。果肉中N、P、K和Mg元素含量显著($P < 0.05$)高于果皮,Ca和Mn元素含量显著($P < 0.05$)低于果皮,而果肉和果皮中Fe、Zn和Cu元素含量之间不存在显著差异性。对果皮和果肉矿质元素含量与果实品质关系进行研究,结果为云南冰糖橙平衡施肥、优质果品的生产提供科学依据。

关键词:冰糖橙;果皮;果肉;矿质营养元素;果实品质;相关性分析

中图分类号: S666.401 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)24-0207-08

果实品质不仅影响果实的价格,也影响市场的竞争力。矿质元素对果实品质起着无可替代的作

用,无论是大量元素还是微量元素的过多或过少甚至缺失都会影响其品质^[1-2]。大量研究表明,果实中的矿质营养含量受栽培管理技术、果树品种、土壤质地、果树和砧木种类等多种因素影响,而果实中矿质元素含量不仅反映了果园肥力水平、土壤的营养状况、吸收利用效率,同时与果实的生理病害和品质特性密切相关^[3-7]。细分果实各部分,研究果皮和果肉矿质营养与果实品质的关系,更能直接反映果实矿质营养与品质形成的规律,指导果树的合理施肥、平衡施肥。云南冰糖橙种植面积不断扩大,目前达6700 hm²左右,是我国冰糖橙主栽产地之一^[7-8]。目前,对于云南冰糖橙矿质营养与果实

收稿日期:2019-12-12

基金项目:云南省科技厅省技术创新人才培养对象资助项目(编号:2017HB130);新平柑橘树体养分监测与新品种养分评价体系建设;中国工程院院地合作项目(编号:2019YNZH2);现代农业(柑橘)产业技术体系柠檬综合试验站建设专项(编号:CARS-27)。

作者简介:寸待泽(1986—),男,云南盈江人,研究实习生,从事柑橘栽培研究。E-mail:1298465210@qq.com。

通信作者:周先艳,博士研究生,助理研究员,从事热带果实采前与采后生理品质与代谢研究, E-mail:lyfzhouxianyan@163.com;李进学,博士研究生,副研究员,从事热带果树营养生理、花果调控栽培研究, E-mail:lijue810@163.com。

[36] 范燕萍,王旭日,余让才,等. 不同种姜花香气成分分析[J]. 园艺学报,2007,34(1):231-234.

[37] 徐瑾,李莹莹,郑成淑,等. 菊花不同花期及花序不同部位香气成分和挥发研究[J]. 西北植物学报,2012,32(4):722-730.

[38] 向林,陈龙清. 花香的基因工程研究进展[J]. 中国农业科学,2009,42(6):2076-2084.

[39] Dudareva N, Pichersky E, Gershenzon J. Biochemistry of plant volatiles[J]. Plant Physiology,2004,135(4):1893-1902.

品质的关系还没有系统的研究,生产上施肥问题突显,树体营养元素失衡比较普遍,果实大小不均,品质不高。因此,探明冰糖橙果实品质与果皮、果肉矿质营养元素的关系及果皮与果肉矿质营养的差异性,对于合理利用矿质营养、平衡施肥、提升果实品质具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2016年12月在云南省新平县冰糖橙产区戛洒镇、水塘镇、漠沙镇和者竜乡选取17个种植面积在35 hm²以上的果园。在每个果园选择树体大小基本相同的9株树,在每株树的树冠外围随机取8个果实,每个果园共取果实72个左右,然后把果实随机分成2份,每份36个,一份用于果实品质分析,一份切开分开果皮和果肉,烘干后粉碎,放于阴凉干燥处用于矿质元素分析^[7]。

1.2 样品测定

1.2.1 果实矿质营养的测定 氮、磷、钾含量的测定采用HNO₃-HClO₄消煮法(测定仪器为FLAstar

3000流动分析仪)测定;钙、镁含量的测定采用¹N中性醋酸铵浸提(采用原子吸收分光光度法)测定;铁、锰、铜和锌含量的测定采用二乙三胺五乙酸(DTPA)浸提法(采用原子吸收分光光度法)测定^[9-10]。

1.2.2 果实品质的测定 对果实进行单果质量、纵横径、可滴定酸含量和可溶性固形物含量的测定。可溶性固形物含量采用手持糖度计测定,可滴定酸含量用手持糖酸一体机测定^[8]。

1.3 数据分析

采用Excel 2007和SPSS 22.0软件进行数据统计处理、相关性和显著性分析。

2 结果与分析

2.1 冰糖橙果实品质指标

从表1可以看出,17个冰糖橙果园的果实品质指标存在不同程度的变异,其中以固酸比的变异系数最大,为37.29%,可滴定酸含量和单果质量次之,果形指数的变异系数最小,为3.84%,这说明果园管理对果实固酸比、可滴定酸含量和单果质量等品质指标具有较大的影响。

表1 冰糖橙果实品质指标状况

| 调查点 | 单果质量(g) | 纵径(cm) | 横径(cm) | 果形指数 | 可食率(%) | 可溶性固形物含量(%) | 可滴定酸含量(%) | 固酸比 |
|---------|---------|--------|--------|------|--------|-------------|-----------|-------|
| 1 | 180.4 | 7.02 | 6.84 | 1.03 | 74.75 | 10.67 | 0.49 | 21.78 |
| 2 | 201.35 | 7.12 | 7.42 | 0.96 | 70.84 | 9.77 | 0.84 | 11.63 |
| 3 | 183.56 | 6.74 | 6.82 | 0.99 | 75.84 | 10.23 | 0.78 | 13.12 |
| 4 | 196.15 | 7.29 | 7.1 | 1.03 | 75.52 | 10.40 | 0.51 | 20.39 |
| 5 | 169.9 | 6.5 | 6.55 | 0.99 | 77.00 | 10.43 | 0.60 | 17.38 |
| 6 | 135.48 | 6.16 | 6.29 | 0.98 | 77.07 | 10.07 | 0.80 | 12.59 |
| 7 | 148.66 | 6.58 | 6.43 | 1.02 | 72.43 | 9.56 | 0.94 | 10.17 |
| 8 | 223.07 | 7.00 | 7.67 | 0.91 | 76.32 | 9.87 | 0.82 | 12.04 |
| 9 | 133.08 | 6.37 | 6.3 | 1.01 | 73.79 | 8.87 | 0.99 | 8.96 |
| 10 | 177.36 | 7.01 | 6.97 | 1.01 | 73.23 | 8.90 | 0.94 | 9.47 |
| 11 | 231.88 | 7.95 | 7.71 | 1.03 | 75.02 | 9.37 | 0.92 | 10.18 |
| 12 | 227.38 | 7.54 | 7.54 | 1.00 | 75.33 | 8.80 | 1.02 | 8.63 |
| 13 | 235.43 | 8.00 | 7.72 | 1.04 | 73.44 | 8.27 | 1.09 | 7.59 |
| 14 | 217.6 | 7.94 | 7.58 | 1.05 | 61.93 | 8.50 | 1.14 | 7.46 |
| 15 | 178.66 | 6.76 | 7.1 | 0.95 | 71.09 | 9.30 | 0.94 | 9.89 |
| 16 | 210.67 | 8.26 | 7.82 | 1.06 | 75.57 | 10.43 | 0.56 | 18.63 |
| 17 | 172.22 | 6.91 | 6.99 | 0.99 | 77.57 | 10.50 | 0.52 | 20.19 |
| 平均值 | 189.58 | 7.13 | 7.11 | 1.00 | 73.93 | 9.64 | 0.82 | 11.76 |
| 最大值 | 235.43 | 8.26 | 7.82 | 1.06 | 77.57 | 10.67 | 1.14 | 21.78 |
| 最小值 | 133.08 | 6.16 | 6.29 | 0.91 | 61.93 | 8.27 | 0.49 | 7.46 |
| 变异系数(%) | 17.05 | 8.70 | 7.33 | 3.84 | 4.96 | 7.97 | 25.78 | 37.29 |

2.2 冰糖橙果皮和果肉的矿质营养元素含量

从表2可以看出,不同果园冰糖橙果皮的矿质营养元素含量存在不同程度变异,变异系数从大到小依次为锰(Mn)、铜(Cu)、锌(Zn)、铁(Fe)、磷(P)、钙(Ca)、镁(Mg)、钾(K)、氮(N)。其中,Mn含量变异程度最大,变异系数为69.20%,N含量变异程度最小,变异系数为11.02%。若设变异系

数>30%为强变异,20%<变异系数≤30%为中变异,变异系数≤20%为弱变异^[11],则Fe、Zn、Mn和Cu为强变异,P、Ca和Mg为中变异,N和K为弱变异。这主要是因为人们在生产中注重补充氮肥、钾肥,而较少关注中微量元素肥料。多数矿质元素属于中变异和强变异,这说明果皮矿质营养能够敏锐反映树体养分和土壤养分的变化。

表2 冰糖橙果皮的矿质营养元素含量

| 调查点 | 矿质营养元素含量 | | | | | | | | |
|---------|----------|-------|-------|--------|--------|------------|------------|------------|------------|
| | N (%) | P (%) | K (%) | Ca (%) | Mg (%) | Fe (mg/kg) | Zn (mg/kg) | Mn (mg/kg) | Cu (mg/kg) |
| 1 | 0.96 | 0.06 | 0.85 | 0.56 | 0.12 | 19.60 | 10.70 | 13.50 | 4.50 |
| 2 | 1.08 | 0.07 | 1.03 | 0.52 | 0.07 | 17.30 | 5.40 | 41.30 | 1.60 |
| 3 | 1.10 | 0.05 | 0.99 | 0.55 | 0.11 | 17.90 | 7.50 | 37.00 | 1.70 |
| 4 | 1.07 | 0.05 | 0.81 | 0.70 | 0.09 | 17.20 | 7.20 | 10.00 | 2.30 |
| 5 | 1.05 | 0.07 | 0.89 | 0.58 | 0.08 | 23.30 | 6.70 | 46.50 | 2.60 |
| 6 | 1.07 | 0.06 | 0.97 | 0.43 | 0.08 | 19.10 | 6.40 | 27.90 | 4.20 |
| 7 | 1.23 | 0.06 | 1.16 | 0.54 | 0.08 | 17.50 | 5.10 | 63.10 | 1.90 |
| 8 | 1.10 | 0.07 | 1.17 | 0.38 | 0.08 | 24.90 | 4.10 | 47.00 | 2.30 |
| 9 | 1.18 | 0.07 | 1.40 | 0.35 | 0.06 | 24.90 | 3.30 | 6.00 | 2.00 |
| 10 | 1.12 | 0.08 | 1.14 | 0.41 | 0.07 | 29.00 | 3.60 | 48.60 | 2.30 |
| 11 | 1.10 | 0.10 | 0.93 | 0.37 | 0.08 | 24.60 | 4.90 | 9.30 | 3.00 |
| 12 | 1.12 | 0.06 | 1.15 | 0.39 | 0.08 | 32.50 | 3.70 | 18.50 | 4.70 |
| 13 | 1.48 | 0.06 | 1.12 | 0.38 | 0.06 | 36.90 | 2.90 | 13.10 | 2.20 |
| 14 | 1.30 | 0.12 | 1.23 | 0.44 | 0.07 | 50.40 | 1.60 | 19.60 | 9.70 |
| 15 | 1.18 | 0.09 | 1.05 | 0.46 | 0.08 | 31.60 | 4.60 | 24.80 | 2.20 |
| 16 | 1.03 | 0.06 | 0.90 | 0.59 | 0.11 | 15.30 | 7.50 | 10.00 | 1.70 |
| 17 | 0.98 | 0.07 | 0.78 | 0.71 | 0.11 | 14.00 | 9.70 | 5.00 | 2.00 |
| 平均值 | 1.13 | 0.07 | 1.03 | 0.49 | 0.08 | 24.47 | 5.58 | 25.95 | 2.99 |
| 最大值 | 1.48 | 0.12 | 1.40 | 0.71 | 0.12 | 50.40 | 10.70 | 63.10 | 9.70 |
| 最小值 | 0.96 | 0.05 | 0.78 | 0.35 | 0.06 | 14.00 | 1.60 | 5.00 | 1.60 |
| 变异系数(%) | 11.02 | 25.76 | 16.10 | 22.96 | 21.46 | 38.32 | 43.57 | 69.20 | 66.24 |

从表3可以看出,不同果园冰糖橙果肉的矿质营养元素含量存在不同程度变异,变异系数从大到小依次为Mn、Ca、Cu、Zn、Mg、Fe、P、K、N。其中,Mn含量变异程度最大,变异系数为76.86%,N含量变异程度最小,变异系数为24.70%。若设变异系数>30%为强变异,20%<变异系数≤30%为中变异,变异系数≤20%为弱变异^[11],则除N、P、K、Fe为中变异外,其他元素均为强变异。这是因为生产中注重补充氮肥、磷肥和钾肥而对中微量元素关注较少。

2.3 果皮和果肉的矿质营养元素相关性分析

由表4可知,冰糖橙果皮矿质元素含量相互影

响。其中,N与K和Fe呈极显著($P < 0.01$)正相关,与Ca、Mg和Zn呈显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$)负相关;P与Fe和Cu呈极显著($P < 0.01$)或显著($P < 0.05$)正相关,与Zn呈显著($P < 0.05$)负相关;K与Ca、Mg和Zn呈极显著($P < 0.01$)负相关,与Fe呈显著($P < 0.05$)正相关;Ca与Mg和Zn呈极显著($P < 0.01$)正相关,与Fe呈显著($P < 0.05$)负相关;Mg与Zn呈极显著($P < 0.01$)正相关,与Fe呈显著($P < 0.05$)负相关;Fe与Cu呈极显著($P < 0.01$)正相关,与Zn呈极显著($P < 0.01$)负相关。

由表5可知,冰糖橙果肉矿质元素含量相互影

响。其中,N与P和K呈极显著($P < 0.01$)正相关,与Ca、Mg和Zn呈极显著($P < 0.01$)负相关;P与K呈极显著($P < 0.01$)正相关,与Ca、Mg和Zn呈极显著($P < 0.01$)负相关;K与Ca、Mg和Zn呈极显著

($P < 0.01$)负相关;Ca与Mg和Zn呈极显著($P < 0.01$)正相关;Mg与Zn呈极显著($P < 0.01$)正相关;Fe与Cu呈极显著($P < 0.01$)正相关。

表3 冰糖橙果肉的矿质营养元素含量

| 调查点 | 矿质营养元素含量 | | | | | | | | |
|---------|----------|-------|-------|--------|--------|------------|------------|------------|------------|
| | N (%) | P (%) | K (%) | Ca (%) | Mg (%) | Fe (mg/kg) | Zn (mg/kg) | Mn (mg/kg) | Cu (mg/kg) |
| 1 | 1.07 | 0.11 | 1.06 | 0.68 | 0.23 | 28.40 | 9.50 | 30.10 | 4.40 |
| 2 | 1.42 | 0.18 | 1.64 | 0.41 | 0.13 | 14.40 | 5.70 | 7.00 | 3.20 |
| 3 | 1.31 | 0.15 | 1.35 | 0.29 | 0.14 | 21.80 | 8.00 | 6.40 | 3.30 |
| 4 | 1.19 | 0.16 | 1.29 | 0.34 | 0.12 | 18.20 | 7.00 | 32.30 | 3.00 |
| 5 | 1.08 | 0.13 | 1.23 | 0.41 | 0.13 | 18.50 | 6.70 | 21.80 | 2.10 |
| 6 | 1.36 | 0.16 | 1.43 | 0.35 | 0.13 | 19.80 | 5.70 | 13.30 | 3.70 |
| 7 | 1.41 | 0.18 | 1.90 | 0.27 | 0.11 | 17.30 | 4.50 | 36.30 | 3.70 |
| 8 | 1.67 | 0.22 | 1.35 | 0.26 | 0.11 | 16.60 | 4.70 | 4.70 | 2.50 |
| 9 | 1.48 | 0.18 | 2.08 | 0.22 | 0.08 | 12.80 | 3.90 | 22.90 | 2.10 |
| 10 | 1.47 | 0.20 | 2.20 | 0.20 | 0.09 | 25.00 | 4.30 | 6.80 | 4.20 |
| 11 | 1.57 | 0.17 | 2.04 | 0.20 | 0.09 | 19.20 | 4.60 | 6.20 | 4.40 |
| 12 | 1.55 | 0.25 | 2.01 | 0.21 | 0.10 | 13.20 | 4.30 | 7.50 | 2.40 |
| 13 | 2.32 | 0.29 | 2.25 | 0.19 | 0.09 | 13.90 | 3.60 | 5.50 | 2.40 |
| 14 | 2.10 | 0.28 | 2.60 | 0.19 | 0.09 | 30.70 | 2.90 | 13.50 | 5.10 |
| 15 | 1.55 | 0.18 | 1.80 | 0.23 | 0.10 | 27.60 | 6.40 | 17.60 | 6.90 |
| 16 | 1.08 | 0.14 | 1.16 | 0.60 | 0.15 | 17.70 | 7.20 | 5.30 | 2.00 |
| 17 | 0.94 | 0.13 | 1.10 | 0.51 | 0.18 | 11.80 | 8.80 | 2.30 | 1.30 |
| 平均值 | 1.45 | 0.18 | 1.68 | 0.33 | 0.12 | 19.23 | 5.75 | 14.09 | 3.34 |
| 最大值 | 2.32 | 0.29 | 2.60 | 0.68 | 0.23 | 30.70 | 9.50 | 36.30 | 6.90 |
| 最小值 | 0.94 | 0.11 | 1.06 | 0.19 | 0.08 | 11.80 | 2.90 | 2.30 | 1.30 |
| 变异系数(%) | 24.70 | 28.06 | 28.03 | 45.89 | 31.43 | 29.79 | 33.03 | 76.86 | 41.50 |

表4 冰糖橙果皮矿质营养元素相关性分析

| 元素指标 | 相关系数 | | | | | | | | |
|------|----------|---------|----------|---------|---------|----------|--------|--------|-------|
| | N含量 | P含量 | K含量 | Ca含量 | Mg含量 | Fe含量 | Zn含量 | Mn含量 | Cu含量 |
| N含量 | 1.000 | | | | | | | | |
| P含量 | 0.256 | 1.000 | | | | | | | |
| K含量 | 0.620** | 0.288 | 1.000 | | | | | | |
| Ca含量 | -0.518* | -0.378 | -0.759** | 1.000 | | | | | |
| Mg含量 | -0.688** | -0.370 | -0.719** | 0.680** | 1.000 | | | | |
| Fe含量 | 0.699** | 0.668** | 0.570* | -0.590* | -0.570* | 1.000 | | | |
| Zn含量 | -0.763** | -0.505* | -0.832** | 0.766** | 0.883** | -0.768** | 1.000 | | |
| Mn含量 | 0.049 | -0.080 | 0.227 | -0.078 | -0.211 | -0.084 | -0.180 | 1.000 | |
| Cu含量 | 0.205 | 0.589* | 0.210 | -0.222 | -0.113 | 0.700** | -0.304 | -0.181 | 1.000 |

注: *、**代表相关性达显著($P < 0.05$)、极显著水平($P < 0.01$)。表5~表7同。

2.4 果皮和果肉矿质元素与果实品质相关性

从表6结果看出,冰糖橙果皮N含量与可滴定

酸呈极显著($P < 0.01$)正相关,与固酸比和可溶性固形物含量呈极显著($P < 0.01$)负相关,与可食率

表5 冰糖橙果肉矿质营养元素相关性分析

| 元素 | 相关系数 | | | | | | | | |
|------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|--------|-------|-------|
| | N含量 | P含量 | K含量 | Ca含量 | Mg含量 | Fe含量 | Zn含量 | Mn含量 | Cu含量 |
| N含量 | 1.000 | | | | | | | | |
| P含量 | 0.930** | 1.000 | | | | | | | |
| K含量 | 0.814** | 0.804** | 1.000 | | | | | | |
| Ca含量 | -0.729** | -0.726** | -0.803** | 1.000 | | | | | |
| Mg含量 | -0.676** | -0.690** | -0.791** | 0.922** | 1.000 | | | | |
| Fe含量 | 0.110 | -0.019 | 0.157 | 0.015 | 0.119 | 1.000 | | | |
| Zn含量 | -0.802** | -0.830** | -0.880** | 0.821** | 0.888** | 0.087 | 1.000 | | |
| Mn含量 | -0.242 | -0.291 | -0.103 | 0.142 | 0.143 | 0.231 | 0.127 | 1.000 | |
| Cu含量 | 0.272 | 0.109 | 0.359 | -0.270 | -0.162 | 0.820** | -0.118 | 0.293 | 1.000 |

表6 冰糖橙果皮矿质元素与果实品质相关性分析

| 元素指标 | 相关系数 | | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|
| | 单果质量 | 纵径 | 横径 | 果形指数 | 可食率 | 可溶性固形物含量 | 可滴定酸含量 | 固酸比 |
| N含量 | 0.263 | 0.290 | 0.220 | 0.226 | -0.535* | -0.827** | 0.797** | -0.746** |
| P含量 | 0.246 | 0.295 | 0.304 | 0.069 | -0.703** | -0.474 | 0.486* | -0.443 |
| K含量 | -0.058 | -0.078 | -0.041 | -0.098 | -0.486* | -0.785** | 0.831** | -0.827** |
| Ca含量 | -0.194 | -0.083 | -0.172 | 0.148 | 0.252 | 0.761** | -0.812** | 0.831** |
| Mg含量 | -0.046 | 0.023 | -0.028 | 0.116 | 0.411 | 0.793** | -0.781** | 0.802** |
| Fe含量 | 0.413 | 0.380 | 0.359 | 0.169 | -0.722** | -0.812** | 0.752** | -0.670** |
| Zn含量 | -0.276 | -0.223 | -0.273 | 0.027 | 0.578* | 0.907** | -0.916** | 0.915** |
| Mn含量 | -0.222 | -0.433 | -0.276 | -0.449 | -0.053 | 0.029 | 0.161 | -0.243 |
| Cu含量 | 0.211 | 0.272 | 0.160 | 0.305 | -0.653** | -0.332 | 0.334 | -0.224 |

呈显著($P < 0.05$)负相关;P含量与可滴定酸含量呈显著($P < 0.05$)正相关,与可食率呈极显著($P < 0.01$)负相关;K含量与可滴定酸含量呈极显著($P < 0.05$)正相关,与固酸比和可溶性固形物含量呈极显著($P < 0.01$)负相关,与可食率呈显著($P < 0.05$)负相关;Ca含量和Mg含量与固酸比和可溶性固形物含量呈极显著($P < 0.01$)正相关,与可滴定酸含量呈极显著($P < 0.01$)负相关;Fe含量与可滴定酸含量呈极显著($P < 0.01$)正相关,与固酸比、可食率和可溶性固形物含量呈极显著($P < 0.01$)负相关;Zn含量与固酸比和可溶性固形物含量呈极显著($P < 0.01$)正相关,与可食率呈显著($P < 0.05$)正相关,与可滴定酸含量呈极显著($P < 0.01$)负相关;Cu含量与可食率呈极显著($P < 0.01$)负相关。

从表7结果看出,冰糖橙果肉N含量与可滴定酸呈极显著($P < 0.01$)正相关,与固酸比、可食率和可溶性固形物含量呈极显著($P < 0.01$)负相关;P含量与单果质量呈显著($P < 0.05$)正相关,与可滴

定酸含量呈极显著($P < 0.01$)正相关,与固酸比和可溶性固形物含量呈极显著($P < 0.01$)负相关,与可食率呈显著($P < 0.05$)负相关;K含量与可滴定酸含量呈极显著($P < 0.05$)正相关,与固酸比、可食率和可溶性固形物含量呈极显著($P < 0.01$)负相关;Ca含量和Mg含量与固酸比和可溶性固形物含量呈极显著($P < 0.01$)正相关,与可滴定酸含量呈极显著($P < 0.01$)负相关;Fe含量与可食率呈显著($P < 0.05$)负相关;Zn含量与固酸比、可食率和可溶性固形物含量呈极显著($P < 0.01$)正相关,与可滴定酸含量呈极显著($P < 0.01$)负相关;Mn含量与单果质量和横径呈显著($P < 0.05$)负相关;Cu含量与可食率呈显著($P < 0.05$)负相关。

2.5 冰糖橙果肉和果皮营养元素含量比较

冰糖橙果肉与果皮养分含量的差异性分析(表8)表明,果肉中N、P、K和Mg元素含量显著($P < 0.05$)高于果皮,Ca和Mn元素含量显著($P < 0.05$)低于果皮,而果肉和果皮中Fe、Zn和Cu元素含量

表7 冰糖橙果肉矿质元素与果实品质相关性分析

| 元素指标 | 相关系数 | | | | | | | |
|------|----------|--------|----------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 单果质量 | 纵径 | 横径 | 果形指数 | 可食率 | 可溶性固形物含量 | 可滴定酸含量 | 固酸比 |
| N | 0.479 | 0.402 | 0.433 | 0.081 | -0.594 ** | -0.867 ** | 0.858 ** | -0.810 ** |
| P | 0.525 * | 0.437 | 0.485 | 0.068 | -0.562 * | -0.878 ** | 0.835 ** | -0.784 ** |
| K | 0.228 | 0.297 | 0.209 | 0.262 | -0.693 ** | -0.959 ** | 0.930 ** | -0.886 ** |
| Ca | -0.173 | -0.026 | -0.096 | 0.136 | 0.356 | 0.805 ** | -0.851 ** | 0.875 ** |
| Mg | -0.176 | -0.132 | -0.166 | 0.039 | 0.363 | 0.791 ** | -0.804 ** | 0.840 ** |
| Fe | -0.014 | 0.041 | -0.027 | 0.148 | -0.529 * | -0.024 | 0.065 | -0.012 |
| Zn | -0.233 | -0.224 | -0.223 | 0.070 | 0.506 ** | 0.877 ** | -0.885 ** | 0.882 ** |
| Mn | -0.503 * | -0.395 | -0.582 * | 0.215 | -0.087 | 0.204 | -0.206 | 0.249 |
| Cu | -0.011 | -0.019 | 0.001 | -0.051 | -0.560 * | -0.245 | 0.336 | -0.315 |

表8 冰糖橙果肉和果皮营养元素含量比较

| 果实 | 营养元素含量 | | | | | | | | |
|----|--------|-------|-------|--------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | N (%) | P (%) | K (%) | Ca (%) | Mg (mg/kg) | Fe (mg/kg) | Zn (mg/kg) | Mn (mg/kg) | Cu (mg/kg) |
| 果皮 | 1.13b | 0.07b | 1.03b | 0.49b | 0.08b | 24.47a | 5.58a | 25.95a | 2.99a |
| 果肉 | 1.45a | 0.18a | 1.68a | 0.33a | 0.12a | 19.23a | 5.75a | 14.09b | 3.34a |

注:同列数据后不同小写字母表示差异达到显著水平($P < 0.05$)。

之间不存在显著差异性。

3 结论与讨论

果实的矿质营养元素主要依赖于果树根系、叶片从土壤或叶面对矿质元素的吸收、运输和分配,矿质营养是果树生长发育、产量和品质形成的物质基础,对果树生长、果实产量和品质、果树抗性有重大影响^[7,12-15]。

3.1 冰糖橙果实品质指标和矿质元素含量

不同冰糖橙果园的果实品质指标存在不同程度的变异,其中以固酸比的变异系数最大,为37.29%,可滴定酸含量和单果质量次之,果形指数的变异系数最小,为3.84%。王磊彬等的研究表明,富士苹果不同果园果实品质变异系数很大的是固酸比、可滴定酸含量、可溶性糖含量,而变异系数较小的是可溶性固形物含量、果形指数^[16],与本研究结果基本一致。说明果园管理对果实固酸比、可滴定酸含量等品质具有较大的影响。

富士苹果不同果园果实矿质元素 Fe、Zn 和 Mn 含量变异系数较大,N、P 和 Mg 最小^[16],朴哲虎等的研究表明,苹果梨不同果园果实各元素含量变异系数从大到小依次为 Zn、K、N、Fe、Ca、Mg、Cu、P、Mn^[17]。而本研究表明,不同果园冰糖橙果皮和果

肉的矿质元素含量均存在差异,果皮各元素含量变异系数从大到小排序为 Mn、Cu、Zn、Fe、P、Ca、Mg、K、N,果肉各元素含量变异系数从大到小依次为 Mn、Ca、Cu、Zn、Mg、Fe、P、K、N,由此看出各元素含量变异系数最大的均为 Mn,最小的为 N,这是因为生产中注重补充氮肥、磷肥和钾肥,而对中微量元素关注较少。

3.2 果实矿质元素相关性

果皮和果肉的矿质元素含量间相互影响,都存在一定的相关性。N 与 K 呈极显著正相关,N 和 K 与 Ca、Mg 和 Zn 呈显著或极显著负相关,P 与 Zn 呈显著负相关,Ca 与 Mg 和 Zn 呈极显著正相关,Mg 与 Zn 呈极显著正相关,Fe 与 Cu 呈极显著正相关。王磊彬等的研究表明,苹果中 N 和 P 与 Mg 呈显著正相关,K 与 Mg、Fe 和 Cu 呈极显著正相关,Ca 与 Mg 和 Fe 呈显著正相关,Mg 与 Cu 呈极显著正相关^[16]。果实矿质元素之间存在协同或拮抗的作用,大量元素过多会影响中微量元素的吸收,如 K 与 Mg 间具有显著的拮抗作用,K 过量会通过抑制 Mg 吸收间接降低可溶性固形物的含量^[18],因此云南冰糖橙产区应注意合理施用氮肥、磷肥和钾肥。

3.3 果实矿质元素与果实品质相关性

本研究中果皮及果肉矿质元素与果实品质相

关性分析表明,N和K含量与可滴定酸含量呈极显著正相关,与固酸比、可食率和可溶性固形物含量呈显著或极显著负相关。过量的N和K会导致果实可滴定酸含量增加,可溶性固形物含量减少^[19-20],苹果梨中N和K含量与总酸含量呈正相关,K含量与可溶性固形物含量呈正相关,N含量与可溶性固形物含量呈负相关^[17],苹果果实中N含量与果实可溶性固形物含量和固酸比呈极显著负相关^[21],与本研究结果一致;而笃斯越橘果实中K含量与可溶性糖含量呈显著正相关^[22],与本研究结果相反;P含量与可滴定酸含量呈显著或极显著正相关,与可食率呈显著或极显著负相关。黄霄等的研究表明,白玉枇杷、富士苹果果实中P含量与可滴定酸含量呈极显著正相关^[23-24];而朴哲虎等的研究表明,苹果梨中P含量与总酸含量呈负相关^[17],与本研究结果相反;Ca和Mg含量与固酸比和可溶性固形物含量呈极显著正相关,与可滴定酸含量呈极显著负相关。张强等的研究表明,苹果中的Ca含量与固酸比和可溶性固形物含量呈极显著正相关,与果实中的可滴定酸含量呈负相关^[21,25],李性苑的研究表明,柑橘缺M可使柠檬酸含量升高,使可溶性固形物含量显著降低^[26],廖育林等的研究表明椴柑施用Mg可使可溶性固形物含量升高,全酸含量降低^[27]。而苹果梨中Ca和Mg含量与可溶性固形物含量、总酸含量呈负相关^[17]。枇杷中Ca和Mg含量与可溶性固形物含量呈极显著负相关,Ca含量与可滴定酸含量呈显著正相关^[28],这与本研究结果相反;Zn含量与固酸比、可食率和可溶性固形物含量呈极显著或显著正相关,与可滴定酸含量呈极显著负相关。廖育林等对椴柑的研究结果^[27]与之相似,于馨森等的研究表明锌肥可降低枇杷可滴定酸含量^[29],朴哲虎等的研究表明苹果梨中Zn含量与可溶性固形物含量呈正相关,与总酸含量呈负相关^[17],但是,顾曼如等在苹果上研究结果^[30-31]与之相反,这可能是同种元素在不同物种间对果实品质影响不同;Fe和Cu含量与可食率呈极显著或显著负相关。此外,本研究果皮中的Fe含量与可滴定酸含量呈极显著正相关,与固酸比和可溶性固形物含量呈极显著负相关;果肉中的Mn含量与单果质量和横径呈显著负相关。

3.4 冰糖橙果肉和果皮营养元素含量比较

果肉和果皮营养元素含量比较表明,果肉中N、P、K和Mg元素含量显著高于果皮,Ca和Mn元素

含量显著低于果皮,而果肉和果皮中Fe、Zn和Cu元素含量之间不存在显著差异性。Organ等在哈姆林脐橙上的研究发现果皮中K元素减少会增加果皮开裂^[32],李春燕等研究发现枣在脆熟期,果肉中Ca和Mn元素含量均低于或显著低于果皮^[33]。对苹果的研究发现,Ca与果实硬度呈正相关,可防止果实变软,减少贮藏病害,Ca在果实中含量的变化表现为果皮>种子和果核>果肉^[6,34-35]。

综上所述,不同冰糖橙果园的果实品质存在不同程度的变异,果皮和果肉的矿质元素均存在差异,相互影响且存在一定的相关性,果实矿质元素之间存在协同或拮抗的作用,各种矿质元素协同调控其品质形成,因此在云南冰糖橙生产中应适当控制大量元素的施用,适当增施Ca、Mg和Zn等中微量元素,以实现优质果品的生产。

参考文献:

- [1] Aular J, Cásares M, Natale W. Factors affecting citrus fruit quality: emphasis on mineral nutrition[J]. *Científica*, 2017, 45(1): 64.
- [2] Alvaa K, Paramasivam S, Obreza T A, et al. Nitrogen best management practice for citrus trees: I. Fruit yield, quality and leaf nutritional status[J]. *Scientia Horticulturae*, 2006, 107(3): 233 - 244.
- [3] 关军锋, 魏邵冲, 徐迎春, 等. 不同中间砧对‘金冠’苹果果实品质及矿质营养的影响[J]. *河北农业科学*, 2004, 8(4): 19 - 21.
- [4] 王涛, 冯先桔, 林媚, 等. 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, 20(3): 190 - 194.
- [5] Kumar J, Kumar R, Ratna R, et al. Influence of foliar application of mineral nutrients at different growth stages of guava[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2017, 40(5): 656 - 661.
- [6] 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.
- [7] 周先艳, 朱春华, 李进学, 等. 云南冰糖橙果实矿质营养与品质及产量的关系[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2018, 44(4): 382 - 387.
- [8] 周先艳, 朱春华, 高俊燕, 等. 云南冰糖橙叶片矿质元素含量与果实品质关联性分析[J]. *江西农业学报*, 2018, 30(6): 12 - 16.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [10] 饶江. 广西承包蔗地土壤养分空间变异与分区管理研究[D]. 南宁: 广西大学, 2008.
- [11] 贵会平, 胡承孝, 郑苍松, 等. 温州蜜柑花矿质元素含量与果实品质关系的研究[J]. *中国南方果树*, 2015, 44(2): 10 - 13.
- [12] Blanco A, Fernández V, Val J. Improving the performance of calcium - containing spray formulations to limit the incidence of bitter pit in apple (*Malus × domestica* Borkh.) [J]. *Scientia Horticulturae*, 2010, 127(1): 23 - 28.
- [13] Benavides A, Recasens I, Casero T, et al. Multivariate analysis of

- quality and mineral parameters on golden smoothie apples treated before harvest with calcium and stored in controlled atmosphere[J]. *Food Science and Technology International*, 2002, 8(3): 139-146.
- [14] 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): 49-60.
- [15] 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.
- [16] 王磊彬, 陈兴望, 李天宇, 等. 江苏丰县地区富士苹果果实矿质元素与品质的相关性分析及通径分析[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(7): 146-151.
- [17] 朴哲虎, 石岩, 程金良, 等. 苹果梨果实矿质元素含量与品质的相关性分析[J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(20): 159-161.
- [18] 董燕, 王正银. 矿质营养对柑橘品质的影响[J]. *土壤肥料*, 2004(6): 37-40, 46.
- [19] Denise N, Gerryn N. Nutritional effects on fruit quality for apple trees[J]. *New York Fruit Quarterly*, 2009, 17(3): 21-24.
- [20] Reitz H J, Koo R C J. Effect of nitrogen and potassium fertilization on yield and fruit quality of Valencia orange on calcareous soil [J]. *Florida State Horticulture Society*, 1959, 72: 12-16.
- [21] 张强, 李兴亮, 李民吉, 等. ‘富士’苹果品质与果实矿质元素含量的关联性分析[J]. *果树学报*, 2016, 33(11): 1388-1395.
- [22] 白永超, 卫旭芳, 陈露, 等. 笃斯越橘果实、叶片矿质元素和土壤肥力因子与果实品质的多元分析[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(1): 170-181.
- [23] 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.
- [24] 闫忠业, 伊凯, 刘志, 等. 富士苹果果实主要营养元素含量变化与品质的关系[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(6): 167-169.
- [25] 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.
- [26] 李性苑. 柑橘体内的几种矿质营养[J]. *黔东南民族师专学报*, 2001, 19(6): 31-32.
- [27] 廖育林, 郑圣先, 戴平安, 等. 钾镁锌硼钼肥对椪柑产量和品质的影响[J]. *土壤通报*, 2007, 38(6): 1158-1161.
- [28] 黄霄, 王化坤, 渠慎春, 等. 江苏东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.
- [29] 于馨淼, 李斌奇, 陈发兴. 矿质营养元素对枇杷果实品质的影响[J]. *东南园艺*, 2018, 6(2): 16-19.
- [30] 顾曼如, 束怀瑞, 曲桂敏, 等. 红星苹果果实的矿质元素含量与品质关系[J]. *园艺学报*, 1992, 19(4): 301-306.
- [31] 李宝江, 林桂荣. 矿质元素含量与苹果风味品质及耐贮性的关系[J]. *果树科学*, 1995, 12(3): 141.
- [32] Organ E T M, Obert R, Ouse E R, et al. Leaf and fruit mineral content and peel thickness of ‘Hamlin’ orange [J]. 2005, 118: 19-21.
- [33] 李春燕, 卢桂宾, 刘和, 等. 枣在裂果关键期果皮、果肉中主要矿质元素的含量特点[J]. *山西农业科学*, 2019, 47(9): 1505-1508.
- [34] Fallahi E, Brenda R S. Interrelations among leaf and fruit mineral nutrients and fruit quality in ‘Delicious’ apples [J]. *Journal of Tree Fruit Production*, 1996, 1(1): 15-25.
- [35] 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]. *American Society for Horticultural Science*, 1997, 32(5): 831-835.

(上接第155页)

- ontogeny [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2015, 6: 544.
- [10] 吴永波, 叶波. 高温干旱复合胁迫对构树幼苗抗氧化酶活性和活性氧代谢的影响[J]. *生态学报*, 2016, 36(2): 403-410.
- [11] 王宏民, 李亚芳, 张仙红, 等. 几种杀虫剂胁迫对黄瓜幼苗抗氧化酶活性和相关生理指标的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2015, 23(9): 1185-1190.
- [12] 黄雪妮, 屈凡, 马名立, 等. 镉胁迫对2个宁夏主栽水稻品种幼苗期抗氧化同工酶亚基及其活性的影响[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(7): 107-112.
- [13] 朱诚, 曾广文. 桂花花衰老过程中的某些生理生化变化[J]. *园艺学报*, 2000, 27(5): 356-360.
- [14] Halevy A H, Mayak S. Senescence and postharvest physiology of cut flowers [J]. *Horticulture Review*, 1981(3): 59-143.
- [15] 刘雅莉, 王飞, 张恩让, 等. 百合花不同发育期生理变化与衰老关系的研究[J]. *西北农业大学学报*, 2000, 28(1): 109-112.
- [16] 沈漫, 高遐虹, 程继鸿, 等. 地被菊开花过程中生理生化变化的初步研究[C]//中国园艺学会第七届青年学术讨论会论文集, 2006: 610-614.
- [17] 吴桂容, 王上伟, 苏德生, 等. 3个牡丹品种花期进程中花瓣的生理生化特征[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(1): 85-87.
- [18] 季成, 王崇效, 余权文. 风眼莲超氧化物酶活性与抗寒性的关系[J]. *植物生理学报*, 1989, 15(2): 133-136.
- [19] Coorts G D. Internal metabolic changes in cut flower [J]. *Horticulture Science*. 1975(8): 195-198.
- [20] 严景华, 蔡永萍, 李东林. 保鲜剂对玫瑰切花衰老指标的影响简报[J]. *植物生理学通讯*, 1997, 33(2): 109-111.
- [21] 李雅洁, 张其安, 陆晓民. 不同外源物质对低温弱光次生盐渍化复合逆境下黄瓜幼苗生长、抗氧化系统及光合作用的影响[J]. *江苏农业学报*, 2018, 34(2): 404-410.
- [22] 张云, 郭维明, 陈发棣, 等. *N*-月桂酰乙醇胺对香石竹开放和衰老进程中花瓣微粒体膜组分和功能的调节[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(10): 2303-2308.
- [23] 舒祯. 香雪兰花朵衰老的生理生化研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2010.