

网棚栽培砂糖橘糖酸滋味形成的变化

陈琳¹, 陈秋映¹, 邓迪方², 杨美艳¹, 徐长宝³, 岑伊静⁴, 高向阳¹, 林日高^{1*}

(1. 华南农业大学食品学院, 广东省功能食品活性物重点实验室, 广东广州 510642)

(2. 广州市启迪农业科技有限公司, 广东广州 510642) (3. 华南农业大学园艺学院, 广东广州 510642)

(4. 华南农业大学植物保护学院, 广东广州 510642)

摘要: 糖酸各组分含量及其所形成的固酸比是砂糖橘果实滋味评价的重要指标。该研究以砂糖橘为试验材料, 研究网棚栽培对砂糖橘糖酸滋味成分形成的影响。研究表明: 网棚栽培方式下 12 月份的成熟砂糖橘果实的固酸比 (TSS/TA) 为 28.51 显著低于露天栽培下的固酸比 (31.63, $P<0.05$)。网棚栽培组中砂糖橘的 D-果糖、葡萄糖、D-半乳糖、肌醇、D-山梨醇和海藻糖的生成均被显著抑制 ($P<0.05$), 其中 D-果糖、葡萄糖含量分别为 165.00 mg/g、127.00 mg/g, 相比于露天栽培组分别显著降低了 7.82%、7.97%; 柠檬酸、 α -酮戊二酸、苹果酸的含量略低于露天栽培的果实, 无显著差异 ($P>0.05$)。固酸比与 D-果糖含量正相关性最强 ($r=0.934^{**}$), 与柠檬酸含量负相关性最强 ($r=-0.650^{**}$)。网棚栽培方式下, 砂糖橘糖组分含量减少、有机酸无显著差异, 导致果实滋味偏酸; 露天栽培下的砂糖橘清甜可口、酸甜适宜有蜜味, 风味的可接受度高于网棚栽培的果实。通过增加网棚的透光性、调控网棚内的温湿度等栽培措施, 可更好的保障砂糖橘的品质。

关键词: 网棚栽培; 砂糖橘; 糖酸滋味; 果实品质

文章编号: 1673-9078(2023)03-247-256

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.3.0443

Changes in the Formation of Sweet and Sour Flavours of 'Shatangju'

(*Citrus reticulata* Blanco) Cultivated in Net Shed

CHEN Lin¹, CHEN Qiuyin¹, DENG Difang², YANG Meiyang¹, XU Changbao³, CEN Yijing⁴, GAO Xiangyang¹,
LIN Rigao^{1*}

(1. Guangdong Provincial Key Laboratory of Nutraceuticals and Functional Foods, College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China) (2. Guangzhou Qidi Agricultural Science and Technology Co. Ltd., Guangzhou 510642, China) (3. College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

(4. College of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: The content of each component of sugar and acid and the formed solid-acid ratio are the important indices for evaluating the taste of 'Shatangju' mandarin. In this study, 'Shatangju' mandarin (*Citrus reticulata* Blanco cv. Shatangju) was used as the experimental material to study the effect of the net-shed cultivation on the formation of the sugar and acid flavor components in 'Shatangju' mandarin. The results showed that the solid acid ratio (TSS/TA) of mature 'Shatangju' mandarin fruit in December under net-shed cultivation was 28.51, which was significantly lower than that under open-air cultivation (31.63, $P<0.05$). The formation of D-fructose, glucose, D-galactose, inositol, D-sorbitol, and trehalose was significantly inhibited in the net-shed cultivation group ($P<0.05$). The contents of D-fructose and glucose were 165.00 mg/g and 127.00 mg/g, respectively, which were significantly reduced by 7.82% and 7.97%, compared with the open-air cultivation group. The contents of citric acid, α -ketoglutaric acid, and malic acid were slightly lower than those produced in open-air cultivation, with insignificant

引文格式:

陈琳,陈秋映,邓迪方,等.网棚栽培砂糖橘糖酸滋味形成的变化[J].现代食品科技,2023,39(3):247-256.

CHEN Lin, CHEN Qiuyin, DENG Difang, et al. Changes in the formation of sweet and sour flavours of 'Shatangju' (*Citrus reticulata* Blanco) cultivated in net shed [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(3): 247-256.

收稿日期: 2022-04-13

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0201500); 广州市科技计划项目(20212100073); 广东省科技计划项目(2018A050506074)

作者简介: 陈琳(1999-), 女, 在读硕士, 研究方向: 食品加工安全, E-mail: 1185015585@qq.com

通讯作者: 林日高(1963-), 男, 高级实验师, 研究方向: 食品化学, E-mail: lirigao@126.com

difference ($P>0.05$). The solid-acid ratio had the strongest positive correlation with the D-fructose content ($r=0.934^{**}$) and the strongest negative correlation with the citric acid content ($r=-0.650^{**}$). Under the net-shed cultivation, the sugar content of 'Shatangju' mandarin decreased with insignificant difference in organic acids, thereby resulting in sour fruit taste. Under the open-air cultivation, the 'Shatangju' mandarin was sweet and delicious, exhibiting appropriate sweet and sour tastes with honey flavor. The acceptability of the perceived flavor was higher than that of fruit cultivated in the net shed. The quality of 'Shatangju' mandarin can be better ensured through taking measures such as increasing the light transmittance of the net shed, and regulating the temperature and humidity in the net shed.

Key words: net-shed cultivation; 'Shatangju' mandarin; sugar and acid taste; fruit quality

砂糖橘 (*Citrus reticulata* Blanco cv. Shatangju) 属芸香科柑橘属, 是中国南方特有的一种柑橘, 因口感柔软细腻、气味清香、滋味清甜、皮薄易剥、色泽橙黄、果肉爽脆多汁等优点而深受人们的喜爱与欢迎^[1,2]。柑橘在生长过程中极易发生各种侵染性和非侵染性病害, 易感染盘长孢状刺盘孢菌从而发生柑橘炭疽病 (*Colletotrichum gloeosporioides*), 染病果实产生干疤型、泪痕型、果实腐烂型和幼果僵果等不同症状^[3]; 还易感染亚洲韧皮杆菌 (*Candidatus Liberibacter asiaticus*), 引发目前仍难以有效防治的柑橘黄龙病^[4,5], 该病毒传播力强, 染病果树不结果或结果很少, 病果小而畸形^[2], 果实产量和内外品质都会受到影响, 果实很少能正常发育成黄色大果实^[6,7], 影响柑橘产业发展。

网棚设施栽培能够有效地预防侵染性病害, 但对作物小气候造成影响, 从而影响果实的产量和品质。Formisano 等^[8]的研究表明, 网棚孔隙率低会导致气压下降、气流减少、生长环境温度升高, 影响西葫芦果实的产量、早熟性和品质。网纱覆盖使光照辐射传播降低、温室小气候条件欠佳、叶子损伤等, 影响木瓜的光合作用能力, 从而影响果实碳水化合物的积累, 对木瓜果实质量和产量 (数量和果实大小) 都产生了负面影响^[9]; Pirkner 等^[10]研究了不同网纱类型对网棚香蕉种植园微气候、果实产量的影响, 不同网纱下的香蕉产量相同, 但与针织网纱相比, 机织网纱的水分利用效率有所的提高。

目前, 将网棚应用于柑橘果树的栽培能有效防治病虫害, 阻隔黄龙病的媒介昆虫-柑橘木虱, 从而防止黄龙病的发生^[11], 但果园覆盖防虫网改变了砂糖橘果实的生长环境, 透光率降低、温室小气候等环境条件不利于砂糖橘果实的生长^[12]。汤狄华等^[13]分析沃柑在网棚、露地栽培的果实可溶性固形物 (Total Soluble Solid, TSS) 含量差异不显著。张小凤等^[14,15]的研究结果表明防虫网对砂糖橘春梢的生长具有促进作用, 对砂糖橘冬梢的生长没有影响。遮阳网能有效地降低茂谷柑的环境温度和减少果实发生日灼, 对果实的可溶性固形物 (TSS) 和可滴定酸含量 (Titratable Acid,

TA) 无显著影响^[16]。TA 和 TSS 是初步评估砂糖橘果实中有机酸和可溶性固形物含量的指标, TSS/TA 值很大程度上影响果实的特征性口感和感官品质, 通常被认为是柑橘果实的重要质量指标^[17]。网棚的覆盖会影响果实发育过程中的环境因子, 从而影响果实糖酸滋味成分的积累。

本研究通过比较网棚栽培与露天栽培下不同生长阶段的砂糖橘果实糖酸滋味成分, 包括可溶性固形物、可滴定酸、糖组分含量以及有机酸含量, 并进行糖酸含量相关性分析, 探讨网棚的覆盖对砂糖橘果实发育过程中糖酸滋味成分积累的影响, 分析露天及网棚栽培条件下的砂糖橘滋味品质的差异, 在有效预防黄龙病等侵染性病害的同时, 为砂糖橘的品质保护控制、网棚栽培条件的优化提供理论和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验砂糖橘果实分别从 2020 年 9 月至 12 月在广东省惠州市博罗县杨村镇井水龙村园美种植专业合作社采集。供试防虫网规格为 40 目, 高度为 3.5 m, 网棚面积 5 亩。试验选取网棚外长势相对一致的植株作为对照区, 处理和对照果园立地条件、田间管理方式基本一致。在网棚和露天栽培条件下选择树势基本一致的 10 棵砂糖橘果树且做好标记, 分别从 9 月、10 月、11 月、12 月在已做好标记的果树采集挑选 60 个无病害, 外观完好的果实作为样品。

1.2 试验试剂

甲醇, 德国 Merck 公司; 异丙醇, 天津市科密欧化学试剂中心; 甲氧铵盐、吡啶, 美国 Sigma 公司; 正己烷, 德国 CNW 公司; 以上试剂为 HPLC 级。D-阿拉伯糖、木糖醇、L-鼠李糖、L-岩藻糖、D-半乳糖、肌醇、乳糖、麦芽糖、海藻糖、葡萄糖、果糖、蔗糖、山梨醇标准品, 上海甄准生物 ISOREAG 公司; α -酮戊二酸、DL-苹果酸、柠檬酸标准品, 上海源叶生物科技有限公司。

1.3 仪器与设备

5415R-离心机, Eppendorf; 7890-5975C GC-MS/MS, Agilent; CentriVap 冷冻干燥机, LABCONCO; LC-10C 高效液相色谱仪, 日本岛津公司。

1.4 试验方法

1.4.1 可溶性固形物及可滴定酸测定

参照 GB/T 8210-2011 测定可溶性固形物 (TSS) 含量, 采用手持糖度计进行测定。

参照 GB/T 8210-2011 测定可滴定酸 (TA) 含量。固酸比参照下列公式计算:

$$R = TSS/TA$$

式中:

R ——固酸比;

TSS ——可溶性固形物含量, %;

TA ——可滴定酸含量, g/100 g。

1.4.2 糖组分含量测定

采用 GC-MS/MS 分析。配制不同浓度的标准品溶液, 获取各个浓度标准品的对应定量信号的质谱峰强度数据, 绘制不同物质的标准曲线。色谱质谱条件: 进样量: 2 μ L; 分流模式: 不分流; 载气: 高纯氦气 (99.999%) 载气; 色谱柱: DB-5MS (30 m \times 0.25 mm

\times 0.25 μ m); 柱流速: 1 mL/min; 柱箱升温程序: 初始温度 70 $^{\circ}$ C 保持 1 min, 以 30 $^{\circ}$ C/min 的速度升至 112 $^{\circ}$ C, 保持 3 min; 以 15 $^{\circ}$ C/min 的速度升至 175 $^{\circ}$ C, 保持 1 min; 以 3 $^{\circ}$ C/min 的速度升至 190 $^{\circ}$ C, 保持 2 min; 以 35 $^{\circ}$ C/min 的速度升至 240 $^{\circ}$ C, 以 10 $^{\circ}$ C/min 的速度升至 280 $^{\circ}$ C, 保持 2.5 min。

将检测到的所有样本糖类的积分峰面积代入标准曲线线性方程进行计算, 最终得到实际样本中糖类的绝对含量数据。

1.4.3 有机酸含量测定

采用 HPLC 进行测定。参照 Yilmaz 等^[18]的方法, 略有改动。色谱条件: DIKMA Spursil C₁₈ 色谱柱 (250 mm \times 4.6 mm, 5 μ m); 进样量 20 μ L; 检测波长为 215 nm; 流动相: 用 0.1% 硫酸溶液-甲醇=99.5+0.5 (体积比) 的流动相等梯度洗脱 35 min, 流速为 1 mL/min。根据酸组分回归方程对砂糖橘果实中酸组分进行定量。

1.4.4 成熟果实的感官评价分析

采用描述测试法, 感官分析由 15 人组专家评定小组, 砂糖橘果实样品的感官评价项目及标准如表 1 所示。每个样品至少 8~10 名专家品尝, 给出打分, 从 1 到 9 分, 1 分表示极度不喜欢, 9 分表示非常喜欢^[19]。

评价项目与标准如表 1 所示。

表 1 砂糖橘果实感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standard of sugar 'Shatangju' mandarin

评分项目	评分标准	分值
滋味	酸甜适宜, 无涩味、苦味及其他异味, 可接受度高	7~9
	偏酸、偏甜或酸甜味寡淡, 可接受度一般	4~6
	很酸、很甜或完全无酸甜味, 甚至存在不可接受的异味、苦味或涩味	1~3
果肉颜色	色泽均匀, 呈自然橙红色	7~9
	色泽较均匀, 呈橙黄色	4~6
	色泽不均匀, 呈黄绿色	1~3
甜味	有清甜蜜味, 能带来愉悦的甜味	7~9
	甜味稍淡, 可接受度一般	4~6
	几乎没有甜味	1~3
酸味	有柑橘的特征酸味, 接受度高	7~9
	有酸味, 但酸味很淡	4~6
	几乎没有酸味	1~3
口感	汁胞饱满且软硬适中, 爽脆无渣, 柔嫩多汁	7~9
	汁胞偏硬或偏软, 口感略有不适	4~6
	汁胞很软或很硬, 口感不适, 影响咀嚼	1~3
香味	甘美芳香, 柑橘香味清新	7~9
	柑橘香味淡	4~6
	无柑橘香味	1~3

1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 和 IBM SPSS 19 软件进行数据处理, Origin 2018 绘图, 平行组误差用误差线表示, Analyst 1.6.3 处理质谱数据, 以及 TBtool 软件绘制热图。

2 结果与分析

2.1 网棚栽培对砂糖橘果实 TSS、TA 的影响

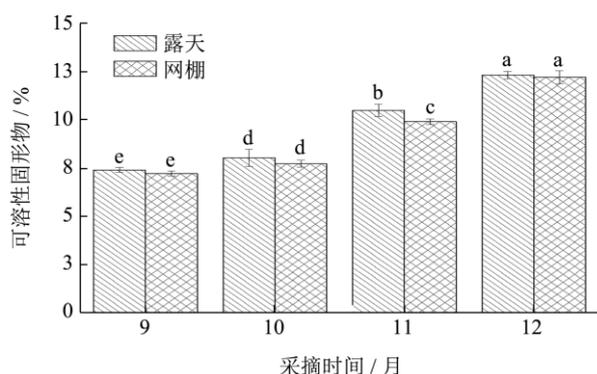


图1 网棚栽培和露天栽培砂糖橘不同生长阶段果肉 TSS 的比较

Fig.1 Comparison of the TSS of 'Shatangju' mandarin pulp in different growth stages between net-shed cultivation and open-air cultivation

注: 图中不同的小写字母表示具有显著差异 ($P < 0.05$),

下图同。

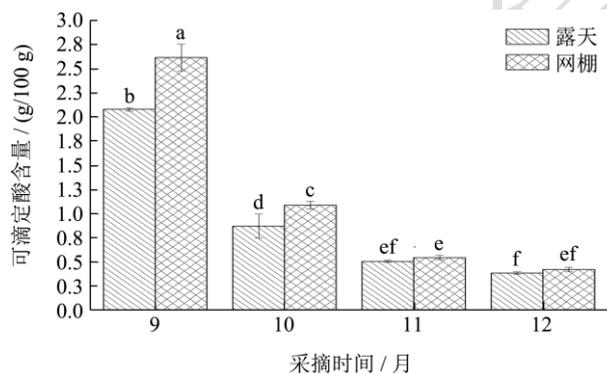


图2 网棚栽培和露天栽培砂糖橘不同生长阶段果肉 TA 的比较

Fig.2 Comparison of TA of 'Shatangju' mandarin pulp in different growth stages between net-shed and open-air cultivation

TSS 和 TA 含量是柑橘果实风味品质的重要指标^[20]。两种栽培条件下砂糖橘不同生长阶段果肉 TSS 含量变化如图 1, TSS 含量随着砂糖橘果实的生长逐渐增多, 总体上, 网棚栽培的砂糖橘 TSS 含量低于露天栽培, 在 11 月份时出现显著差异 ($P < 0.05$)。Dion 等^[21]的研究表明, 果实气孔补充蒸腾水分损失时, 木质部汁液与水分一起将有机分子从基质输送到果实

中, 并促进可溶性固形物的积累, 在无光源的黑棉中, 黄瓜果实的 TSS 含量降低。这与本研究结果相似, 说明网棚栽培导致果实的光合作用减弱, 进一步导致 TSS 含量下降。

从图 2 可看出, 9 月份时果肉中的 TA 含量最高, 且露天与网棚栽培之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。随着砂糖橘的生长, 果肉中 TA 的含量逐渐降低。表明, 网棚栽培能够较好的保留砂糖橘中 TA 的含量。Mckean^[22]在研究不同地理位置的草莓品质时, 认为 TA 与 24 h 平均温度、白天温度和夜间温度呈显著正相关。说明网棚栽培所造成的温室环境导致果实 TA 含量升高。

2.2 网棚栽培对砂糖橘果实固酸比的影响

固酸比作为果实品质或成熟度常用的参考指标之一, 当果实固酸比相差 1% 的时, 其风味将产生显著的差异。从图 3 可看出, 砂糖橘的固酸比呈上升趋势, 9 月份时露天栽培和网棚栽培的固酸比最低, 分别为 3.56 和 2.76, 10、11、12 月份时, 露天栽培与网棚栽培方式下的砂糖橘固酸比存在显著性差异 ($P < 0.05$), 总的来看, 露天栽培的固酸比高于网棚栽培。

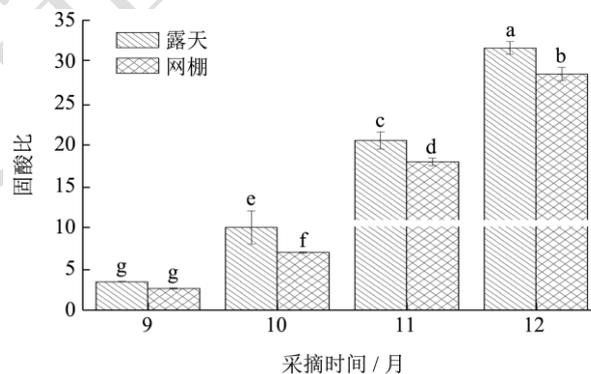


图3 网棚栽培和露天栽培砂糖橘不同生长阶段固酸比的比较

Fig.3 Comparison of solid acid ratios in different growth stages of 'Shatangju' mandarin cultivation in net-shed and open-air cultivation

2.3 网棚栽培对砂糖橘果实糖组分含量变化的影响

2.3.1 砂糖橘生长过程果实糖组分热图分析

糖组分是果实中影响品质、风味的重要因素^[23], 同时也是各种营养成分合成与代谢的底物^[24]。本研究采用 GC-MS/MS 对砂糖橘果肉中的糖类物质进行定量分析, 采用极差法进行归一化数据处理, 绘制聚类热图如图 4 所示, 横向为样品信息, 纵向为代谢物信息, Class 为物质分类, Group 为分组, 颜色图例为标

准化处理得到表达量（颜色越红表达量越高）。从图4可看出，砂糖橘中的糖组分含量随着果实的生长均呈现上升趋势。总体上，露天栽培方式下的砂糖橘果实糖含量高于网棚栽培方式。

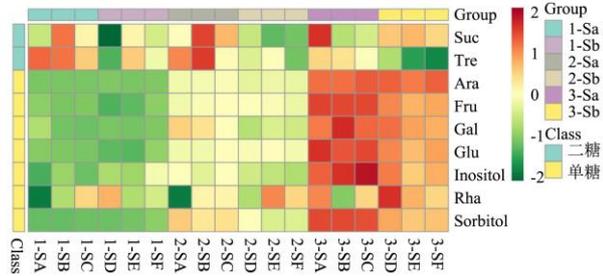


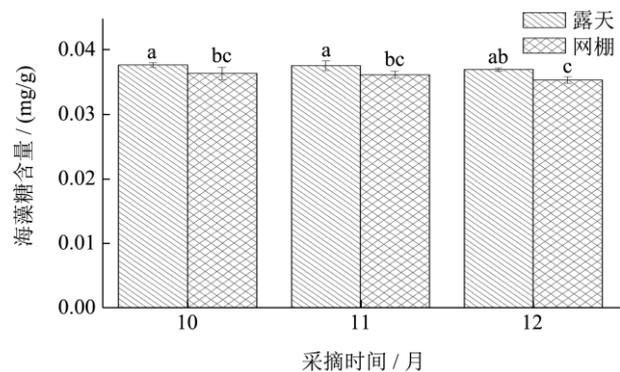
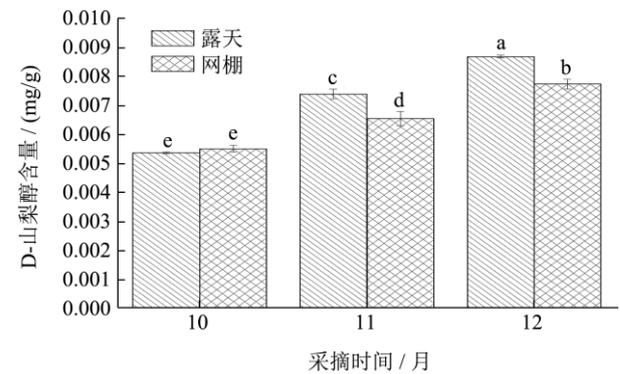
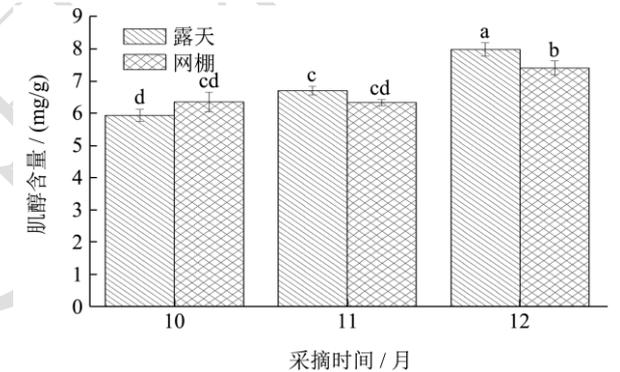
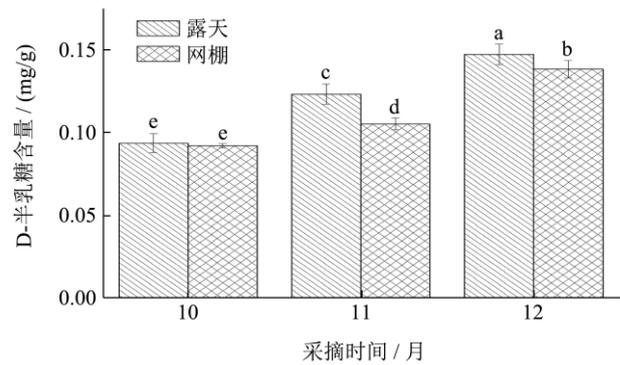
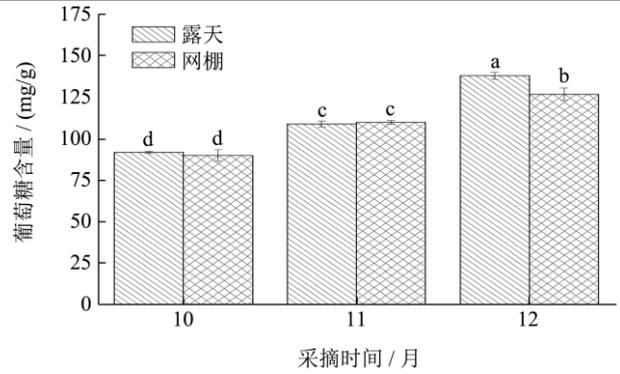
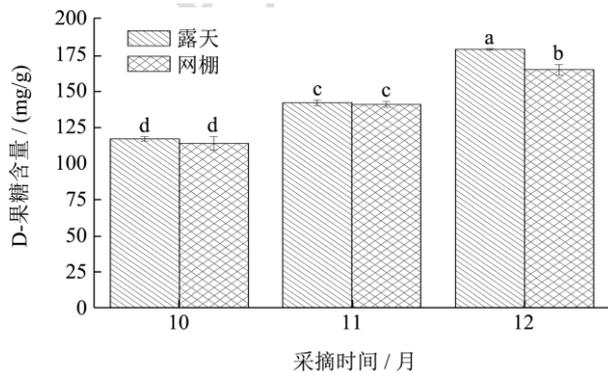
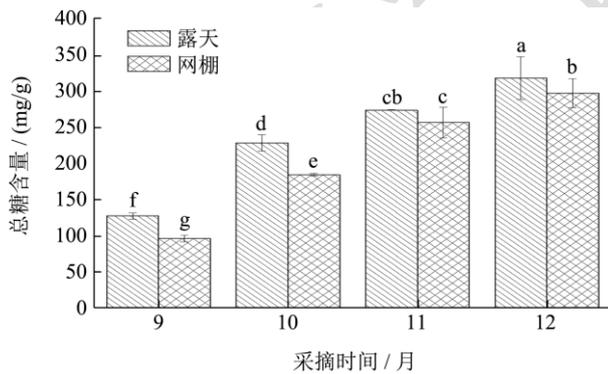
图4 网棚栽培和露天栽培砂糖橘不同生长阶段糖组分聚类热图

Fig.4 Clustering heat map of sugar components in different growth stages of 'Shatangju' mandarin cultivated in net-shed and in open-air

注：1~10月，2~11月，3~12月，Sa/ABC-露天，Sb/DEF-搭棚。

2.3.2 网棚栽培对砂糖橘果实糖组分含量的影响

两种栽培条件下砂糖橘生长过程中的糖组分含量变化趋势相似（图5）。砂糖橘果肉中的总糖含量随着月份的增加逐渐升高，蔗糖和D-果糖的占比较高，其次为葡萄糖，在生长过程中蔗糖占比逐渐下降，D-果糖和葡萄糖的占比逐渐上升。在12月份果实成熟时，网棚栽培方式下砂糖橘的D-果糖、葡萄糖和蔗糖3种糖组分含量约占总糖组分含量的98.30%。易明亮等^[25]对温州蜜橘糖组分占比研究结果与本研究结果相似。



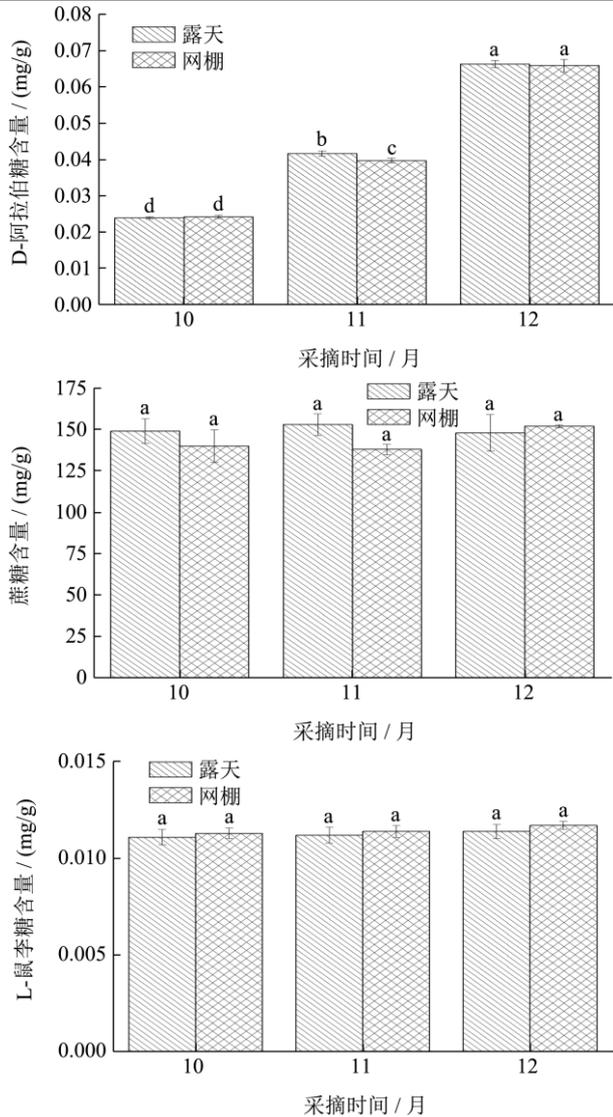


图5 网棚栽培和露天栽培砂糖橘不同生长阶段糖组分含量的比较

Fig.5 Comparison of sugar content in different growth stages between net-shed cultivation and open-air cultivation of 'Shatangju' mandarin

从图5可看出, 砂糖橘总糖含量均为露天栽培高于网棚栽培, 9、10、12月份时有显著性差异($P < 0.05$)。L-鼠李糖、蔗糖、海藻糖含量在砂糖橘的生长过程中含量较为稳定, 无明显变化。在12月份砂糖橘果实成熟时, 网棚栽培组的海藻糖含量为0.035 mg/g, 显著低于露天栽培组4.34% ($P < 0.05$)。网棚栽培组的D-果糖、葡萄糖、D-半乳糖和肌醇含量分别为165.00、127.00、0.138和7.42 mg/g, 分别显著低于露天栽培组7.82%、7.97%、6.12%、7.13% ($P < 0.05$)。D-果糖、D-半乳糖、葡萄糖、肌醇、D-山梨醇和D-阿拉伯糖的含量在果实生长阶段随着生长时间延长逐渐上升。不同糖组分及其含量的组合对果实的风味作用不同^[26], 果糖味清甜, 甜度最高, 葡萄糖味甘甜, 甜度最

低^[27,28], 但相比果糖, 葡萄糖具有独特的绵软口感, 因此, 相对高果糖、高葡萄糖含量使得露天栽培下成熟的鲜采砂糖橘味感更为清甜可口。

2.4 网棚栽培对砂糖橘果实有机酸的影响

柠檬酸是柑橘果实中酸味的主要成分^[29,30], 砂糖橘果实不同生长阶段有机酸含量变化如图6。柠檬酸含量随砂糖橘的生长时间延长逐渐降低, 露天栽培组9月份时的柠檬酸含量为1.21 mg/g, 10月份柠檬酸含量出现显著降低; 网棚栽培组9、10月份时的柠檬酸含量高于露天栽培组, 且差异显著 ($P < 0.05$), 这可能是网棚栽培减弱了光照强度, 抑制了柠檬酸的降解。

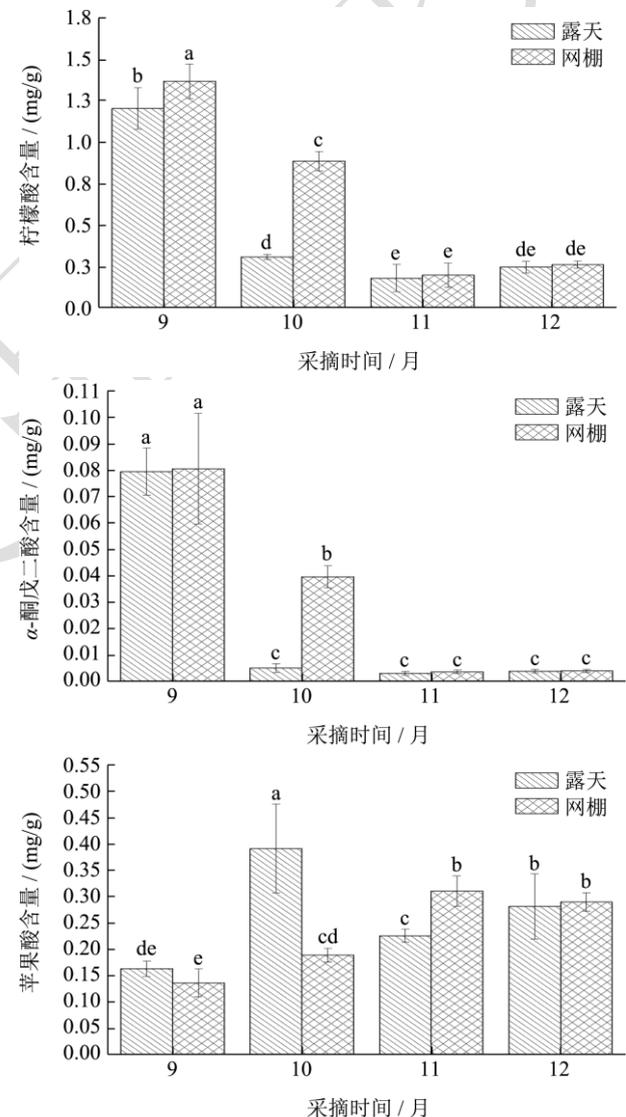


图6 网棚栽培和露天栽培砂糖橘不同生长阶段有机酸的比较

Fig.6 Comparison of organic acids in different growth stages between net-shed cultivation and open-air cultivation of 'Shatangju' mandarin

α-酮戊二酸是柠檬酸降解途径的重要有机酸^[31]。随着砂糖橘的生长它的含量逐渐降低, 两种栽培条件

在 10 月份时砂糖橘果实的 α -酮戊二酸含量有显著性差异, 其变化趋势与柠檬酸的相似。

两种栽培条件下砂糖橘果实中的苹果酸含量随着果实的生长呈现先上升后下降的趋势。网棚抑制了果实中苹果酸的生成, 并延迟了苹果酸的降解。10 月份时, 露天栽培组砂糖橘果实中的苹果酸不断积累, 含量达到最高为 0.40 mg/g, 是网棚栽培组的 2.15 倍, 呈显著性差异 ($P<0.05$)。11 月份时, 由于网棚栽培延迟了苹果酸的降解, 使得网棚栽培组的苹果酸含

量显著高于露天栽培组 ($P<0.05$)。

有机酸对果实的滋味具有重要作用^[32]。果实成熟时, 砂糖橘果实中柠檬酸含量高于 α -酮戊二酸和苹果酸。但三种有机酸在两种栽培条件下的这三种有机酸均无显著差异 ($P>0.05$), 而且均为露天栽培组的有机酸含量略低于网棚栽培组, 可能是由于网棚使砂糖橘果实中有机酸的降解被抑制。

2.5 砂糖橘果实不同糖酸物质间相关性分析

表 2 糖酸相关性分析

Table 2 Correlation analysis of sugar and organic acid

相关性	总糖	D-果糖	葡萄糖	D-半乳糖	肌醇	D-山梨醇	海藻糖	D-阿拉伯糖	蔗糖	L-鼠李糖	柠檬酸	α -酮戊二酸	苹果酸
D-果糖	0.934**												
葡萄糖	0.926**	0.998**											
D-半乳糖	0.925**	0.951**	0.941**										
肌醇	0.779**	0.920**	0.922**	0.914**									
D-山梨醇	0.927**	0.966**	0.958**	0.961**	0.916**								
海藻糖	-0.171	-0.250	-0.272	-0.160	-0.259	-0.151							
D-阿拉伯糖	0.913**	0.977**	0.976**	0.951**	0.918**	0.936**	-0.379						
蔗糖	0.337	0.286	0.270	0.314	0.249	0.331	0.346	0.292					
L-鼠李糖	0.312	0.361	0.386	0.251	0.320	0.259	-0.564*	0.427	0.098				
柠檬酸	-0.764**	-0.597**	-0.580*	-0.544*	-0.308	-0.561*	-0.145	-0.536*	-0.381	-0.083			
α -酮戊二酸	-0.737**	-0.577**	-0.559*	-0.530*	-0.289	-0.536*	-0.141	-0.526*	-0.387	-0.061	0.988**		
苹果酸	0.016	-0.032	-0.026	-0.115	-0.175	-0.168	0.142	-0.055	0.141	0.037	-0.442	-0.515*	
固酸比	0.959**	0.982**	0.976**	0.966**	0.881**	0.962**	-0.251	0.977**	0.296	0.308	-0.650**	-0.637**	-0.042

注: **在 $P<0.01$ 水平 (双侧) 上显著相关。*在 $P<0.05$ 水平 (双侧) 上显著相关。

砂糖橘果实的糖组分和有机酸相关性分析结果如表 2, 总糖含量与 D-果糖、葡萄糖、D-半乳糖、肌醇、D-山梨醇、D-阿拉伯糖含量呈极显著性正相关, 其中与 D-果糖含量相关性最强 ($r=0.934^{**}$), 与柠檬酸、 α -酮戊二酸含量呈极显著负相关。

D-果糖含量与葡萄糖、D-半乳糖、肌醇、D-山梨醇、D-阿拉伯糖含量互为极显著正相关, 其中与葡萄糖含量相关性最强 ($r=0.998^{**}$), 与柠檬酸含量呈极显著负相关, 与 α -酮戊二酸含量呈显著负相关; 葡萄糖含量与 D-半乳糖、肌醇、D-山梨醇、D-阿拉伯糖含量互为极显著正相关, 与柠檬酸、 α -酮戊二酸含量呈显著负相关; D-半乳糖含量与肌醇、D-山梨醇、D-阿拉伯糖含量互为极显著正相关, 与柠檬酸、 α -酮戊二酸含量呈显著负相关; 肌醇含量与 D-山梨醇、D-阿拉伯糖含量互为极显著正相关; D-山梨醇含量与 D-阿拉伯糖含量互为极显著正相关, 与柠檬酸、 α -酮戊二酸含量呈显著负相关; D-阿拉伯糖与柠檬酸、 α -酮戊二酸含量呈显著负相关; 海藻糖含量与 L-鼠李

糖含量呈显著性负相关 ($r=-0.564^*$), 与蔗糖含量呈正相关, 与其他糖酸组分均呈现负相关; 蔗糖含量与柠檬酸、 α -酮戊二酸呈负相关, 与其他糖酸组分均呈正相关; L-鼠李糖含量除与海藻糖含量呈显著性负相关外, 与柠檬酸、 α -酮戊二酸呈负相关, 与其他糖酸组分呈正相关; 柠檬酸含量与 α -酮戊二酸含量呈极显著正相关 ($r=0.988^{**}$), 与苹果酸含量呈负相关; α -酮戊二酸含量与苹果酸含量呈显著负相关 ($r=-0.515^*$)。

砂糖橘果实的固酸比与总糖、D-果糖、葡萄糖、D-半乳糖、肌醇、D-山梨醇、D-阿拉伯糖含量互为极显著正相关, 其中与 D-果糖含量相关性最强 ($r=0.982^{**}$), 与柠檬酸、 α -酮戊二酸含量呈极显著负相关, 与蔗糖、L-鼠李糖呈正相关, 与海藻糖、苹果酸呈负相关。

相关性结果分析表明, 不同种类的糖酸组分之间存在相关性, 各糖酸组分含量变化呈现一致或相反的趋势, 糖组分含量之间的相关性 (除海藻糖外) 均呈

现正相关,糖组分与有机酸含量之间的相关性大部分呈现负相关,三种有机酸之间,除柠檬酸含量与 α -酮戊二酸含量互为正相关外,均呈现负相关,表明砂糖橘果实生长发育过程中糖酸含量的变化总体呈现相反的趋势。糖酸含量导致固酸比改变,综合影响砂糖橘果实的滋味。

2.6 砂糖橘果实感官分析

表3 两种栽培方式下砂糖橘感官品质比较

月份	栽培方式	滋味	果肉颜色	甜味	酸味	口感	香味
12月	露天	6.46±0.64 ^b	7.80±0.80 ^a	7.60±0.20 ^a	7.67±0.577 ^a	7.67±0.12 ^a	7.73±0.12 ^a
	网棚	7.80±0.20 ^a	6.57±0.31 ^b	6.83±0.21 ^b	8.13±0.71 ^a	7.80±0.26 ^a	7.50±0.26 ^a

注:表中不同的小写字母表示具有显著差异($P<0.05$)。

3 讨论

网棚能有效预防柑橘果树发生侵染性病害^[33],但网棚栽培微环境对砂糖橘果实的品质影响较大。本研究通过比较露天与网棚两种不同栽培条件下砂糖橘果实糖酸组分在生长过程中的变化趋势,探讨网棚栽培对砂糖橘果实滋味的影响。

网棚栽培使砂糖橘果实中TSS的积累量下降,TA降解速度减慢,显著降低了果实的固酸比,这与García等^[34]在大叶柑和酸橙上的研究结果相似。柑橘风味接受度与甜度和柑橘风味呈显著正相关,柑橘果实中的TSS水平较低或TA水平较高会导致果实的甜度不足或较酸,风味接受度降低^[35],本研究中,露天栽培方式下的砂糖橘TSS水平略高于网棚、TA水平略低于网棚,说明网棚不利于砂糖橘果实滋味成分的形成。网棚栽培的砂糖橘果实固酸比在果实生长过程中显著低于露天栽培的砂糖橘,柑橘果实的较好风味与较高的固酸比和较低的酸度有关^[36],本研究中,露天栽培下的砂糖橘果实的指标相比于网棚栽培呈现出风味较好的特性。

网棚栽培条件下成熟的砂糖橘果实中D-果糖、葡萄糖、D-半乳糖、肌醇、D-山梨醇的含量分别为165.00、127.00、0.138、7.42、0.008 mg/g,相比于露天栽培组分别显著下降了7.82%、7.97%、6.12%、7.13%、4.34% ($P<0.05$)。光照充足的沃柑果实中蔗糖、葡萄糖、果糖及总糖的含量均显著高于遮阴的果实^[37],适宜的光照条件对果实糖组分含量有促进作用,网棚阻挡了部分光线导致光合作用减弱,从而导致网棚栽培组糖组分含量比露天栽培组含量低。网棚栽培下的砂糖橘果实柠檬酸含量为0.262 mg/g、苹果酸含量为0.262 mg/g、酮戊二酸含量为0.004 mg/g,与露天栽培

两种栽培条件下砂糖橘果实的感官品质比较如表3,砂糖橘果实的滋味、果肉色泽和甜味存在显著性差异($P<0.05$),网棚使砂糖橘果肉色泽较浅,甜味不足;露天栽培组的甜度较高。这与上述分析糖酸组分变化所得结论相符。两种栽培条件下的砂糖橘酸味、口感和香味无显著差异($P>0.05$),而网棚栽培组的砂糖橘果实口感较佳,露天栽培组的砂糖橘果实香味略高于网棚。

的砂糖橘果实有机酸含量无显著差异($P>0.05$)。露天栽培组成熟砂糖橘果实的固酸比为31.63,网棚组显著降低至28.51 ($P<0.05$)。本研究中,网棚栽培对砂糖橘果实有机酸的含量无显著影响,这与孙晓华等^[38]对南丰蜜橘有机酸含量的研究结果相似。

相关性分析中,糖组分含量之间的相关性(除海藻糖外)均呈现正相关,糖组分与有机酸含量之间的相关性均呈现负相关,与Pan等^[30]、喻最新等^[39]糖酸含量相关性的研究结果相似。12月份砂糖橘果实成熟时,网棚栽培条件下的砂糖橘果肉色泽较浅,甜味不足,所得感官品质评价与上述糖酸组分含量变化分析所得结论相符。

4 结论

分析不同栽培条件下砂糖橘果实生长过程中的糖酸滋味成分形成的变化,可为砂糖橘栽培过程中的品质保护控制、网棚栽培条件的优化提供理论和技术参考。网棚改变了光照强度、温湿度等因素,影响果实光合作用和呼吸作用,不利于砂糖橘果实TSS在生长过程中的形成与积累,抑制TA的降解,显著降低果实的固酸比,D-果糖、葡萄糖、D-半乳糖、肌醇、D-山梨醇含量显著下降,有机酸无显著变化,这些影响因素综合降低了网棚栽培下的砂糖橘果实的感官品质,果实甜味减淡、滋味变酸;露天栽培条件下的砂糖橘果实酸甜适宜,果实风味的可接受度高于网棚栽培。在有效防控病虫害的同时,为了更好地保障砂糖橘品质,需进一步改良栽培方式,加强田间管理,适时调控砂糖橘生长环境的条件,改善网棚的透光性,增加光线透过率从而增强果实的光合作用,使糖组分含量积累;温湿度影响植株气孔导度和蒸腾速率,网棚内昼夜温差小,阴雨天时高温潮湿均不利于砂糖橘

果实糖分的积累,需适时调控网棚内的温湿度。

参考文献

- [1] CAO Jinping, KANG Chen, CHEN Yunyi, et al. Physicochemical changes in *Citrus reticulata* cv. Shatangju fruit during vesicle collapse [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2020, 165: 111180.
- [2] LI Juan, LIANG Chunhui, LIU Xiangyu, et al. Effect of Zn and NAA co-treatment on the occurrence of creasing fruit and the peel development of 'Shatangju' mandarin [J]. *Scientia Horticulturae*, 2016, 201: 230-237.
- [3] 陆英,漆艳香,喻群芳,等.柑橘病害名录[J].*热带生物学报*, 2017,8(4):8.
- [4] YANG Dongzi, WANG Fengcheng, HU Yuqi, et al. Citrus Huanglongbing detection based on multi-modal feature fusion learning [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2021, 12: 809506.
- [5] WANG Feiyan, WU Yunli, WU Wen, et al. Integrative analysis of metabolome and transcriptome profiles provides insight into the fruit pericarp pigmentation disorder caused by 'Candidatus Liberibacter asiaticus' infection [J]. *BMC Plant Biology*, 2021, 21(1): 397.
- [6] WANG Feiyan, HUANG Yongjing, WU Wen, et al. Metabolomics analysis of the peels of different colored citrus fruits (*Citrus reticulata* cv. 'Shatangju') during the maturation period based on UHPLC-QQQ-MS [J]. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 2020, 25(2): 396.
- [7] XU Meirong, LIANG Meidan, CHEN Jianchi, et al. Preliminary research on soil conditioner mediated citrus Huanglongbing mitigation in the field in Guangdong, China [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2013, 137(2): 283-293.
- [8] Luigi Formisano, Pannico Antonio, El-Nakhel Christophe, et al. Improved porosity of insect proof screens enhances quality aspects of zucchini squash without compromising the yield [J]. *Plants (Basel, Switzerland)*, 2020, 9(10): 1264.
- [9] Juana Cabrera, Ritter Axel, Raya Vanesa, et al. Papaya (*Carica papaya* L.) phenology under different agronomic conditions in the subtropics [J]. *Agriculture*, 2021, 11: 173.
- [10] Moran Pirkner, Tanny Josef, Shapira Or, et al. The effect of screen type on crop micro-climate, reference evapotranspiration and yield of a greenhouse banana plantation [J]. *Scientia Horticulturae*, 2014, 180: 32-39.
- [11] 乔世成,田有文,何宽,等.水果病虫害无损检测技术研究进展[J].*食品科学*,2019,40(11):227-234.
- [12] Medina Camilo L, Souza Rog éria P, Machado Eduardo C, et al. Photosynthetic response of citrus grown under reflective aluminized polypropylene shading nets [J]. *Scientia Horticulturae*, 2002, 96(1): 115-125.
- [13] 汤狄华,黄桂香,周彩霞,等.网棚栽培对沃柑物候期和果实发育的影响[J].*江苏农业科学*,2019,47(8):168-171.
- [14] 张小凤,郭雁君,蒋惠,等.春季防虫网温湿度变化对砂糖橘春梢生长的影响[J].*湖北农业科学*,2017,56(22): 4337-4340.
- [15] 张小凤,郭雁君,蒋惠,等.冬季防虫网内外环境因子变化对砂糖橘冬梢生长的影响[J].*湖北林业科技*,2017,46(5):23-26.
- [16] Tsai Mengshun, Lee Tancha, Chang Pai. Comparison of paper bags, calcium carbonate, and shade nets for sunscald protection in 'Murcot' tangor fruit [J]. *Hort Technology*, 2013, 23(5): 659-667.
- [17] ZHANG Jingyi, LIANG Yan, HE Lian, et al. Effects of storage time and temperature on the chemical composition and organoleptic quality of Gannan navel orange (*Citrus sinensis* Osbeck cv. Newhall) [J]. *Food Measure*, 2022, 16: 935-944.
- [18] Yilmaz B, Cimen B, Zarifikhosroshahi M, et al. Fruit quality and biochemical characteristics of some early ripening mandarin varieties [J]. *Fruits*, 2020, 75(4): 145-152.
- [19] 刁俊明,曾宪录,朱远平,等.脐橙果实大小对果实感官品质和可溶性固形物含量的影响[J].*广东农业科学*,2015,42(23): 82-85.
- [20] Garc ía-Mu ñoz M C, Henao-Rojas J C, Moreno-Rodr íguez J M, et al. Effect of rootstock and environmental factors on fruit quality of Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka) grown in tropical regions [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2021, 103: 104081.
- [21] Dion P P, J äntg ärd S, Bertrand A, et al. Growing medium soluble carbon and nitrogen influence xylem sap and soluble solid contents in greenhouse cucumber fruits [J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 2020, 101(3): 366-376.
- [22] McKean T. Effects of soilless substrate systems and environmental conditions on yield, total soluble solids, and titratable acidity of greenhouse strawberry (*Fragaria × ananassa*) [D]. Columbus: The Ohio State University, 2019.
- [23] 徐子媛,严娟,蔡志翔,等.桃果实糖酸和酚类物质与口感风味的相关性[J].*江苏农业学报*,2022,38(1):190-199.
- [24] 孟晓美,张丽芬,陈复生,等.超声波协同钙浸渍对冬枣品质特性的影响[J].*食品研究与开发*,2019,40(3): 66-74.
- [25] 易明亮,肖洒,刘德春,等.温州蜜柑完熟栽培期间果实糖酸变化及其相关基因表达分析[J].*江西农业大学学报*,2022, 44(1):35-44.

- [26] 王天玉,林媚,张伟清,等.柑橘果实生长发育过程中糖组分变化规律研究[J].浙江柑橘,2020,37(4):32-36.
- [27] ZHANG Jia, NIE Jiyun, LI Jing, et al. Evaluation of sugar and organic acid composition and their levels in highbush blueberries from two regions of China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2020, 19(9): 2352-2361.
- [28] 曹煌,张静雅,龚苏晓,等.中药酸味的药性表达及在临证配伍中的应用[J].中草药,2015,46(24):3617-3622.
- [29] Legua P, Modica G, Porras I, et al. Bioactive compounds, antioxidant activity and fruit quality evaluation of eleven blood orange cultivars [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2022, 102(7): 2960-2971.
- [30] PAN Tengfei, M M Ali, GONG Jiangmei, et al. Fruit physiology and sugar-acid profile of 24 pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) cultivars grown in subtropical region of China [J]. Agronomy, 2021, 11(12): 2393.
- [31] 王金玲,晏雨辰,李巧月,等.生物降解柠檬酸及其影响因素的研究进展[J].现代食品科技,2022,38(2):347-357,312.
- [32] 梁芳菲,王小容,邓丽莉,等.采后柑橘果实糖酸代谢研究进展[J].食品与发酵工业,2018,44(10):268-274.
- [33] Gaire S, Albrecht U, Batuman O, et al. Individual protective covers (IPCs) to prevent Asian citrus psyllid and *Candidatus Liberibacter asiaticus* from establishing in newly planted citrus trees [J]. Crop Protection, 2022, 152: 105862.
- [34] Francisco Garc á-S áchez, Sim ón Inmaculada, Lid ón Vicente, et al. Shade screen increases the vegetative growth but not the production in 'Fino 49' lemon trees grafted on *Citrus macrophylla* and *Citrus aurantium* L. [J]. Scientia Horticulturae, 2015, 194(4): 175-180.
- [35] Goldenberg L, Yaniv Y, Kaplunov T, et al. Diversity in sensory quality and determining factors influencing mandarin flavor liking [J]. Journal of Food Science, 2015, 80(2): S418-S425.
- [36] Obenland D, Collin S, Mackey B, et al. Storage temperature and time influences sensory quality of mandarins by altering soluble solids, acidity and aroma volatile composition [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 59(2): 187-193.
- [37] 贾聚金,陈香玲,孙权,等.沃柑树冠不同结果部位光照条件对果实品质的影响[J].华中农业大学学报,2021,40(6):112-118.
- [38] 孙晓华,叶丽红,刘杰才,等.日光温室不同结果枝类型对柑橘果实有机酸含量的影响[J].果树学报,2018,35(5):565-573.
- [39] 喻最新,王日葵,贺明阳,等.'塔罗科'血橙成熟过程中花色苷积累及其与糖酸含量相关性[J].食品科学,2020,41(15):105-114.