

不同采收期和冷藏期对四川“清见”杂柑品质特性的影响

高丽¹, 龙勇², 陈德勇², 乐梨庆¹, 李红章³, 李华佳¹, 曾晓丹¹, 朱永清¹, 祝进^{4*}, 贺红宇^{1*}
(1. 四川省农业科学院农产品加工研究所, 四川成都 610066) (2. 四川省眉山市农业农村局, 四川眉山 620020) (3. 四川省仁寿县农业农村局, 四川眉山 620500)
(4. 四川省园艺作物技术推广总站, 四川成都 610041)

摘要: 采收期影响果实在贮藏期间的果实质量。为进一步延长四川“清见”杂柑的货架期, 研究了4个采收期(1月29、2月26、3月26和4月25)和(4±0.5)℃下5个冷藏期(30、60、90、120和150 d)对其品质的影响。结果显示, 柑橘颜色指数、总可溶性固形物(Total Soluble Solid, TSS)、固酸比、蔗糖、葡萄糖、果糖、奎尼酸和苹果酸含量随采收期的延长显著增加($P<0.05$), 分别从采收I期到IV期增加了21.81%、17.99%、33.33%、41.56%、51.22%、54.38%、82.59%、34.74%; 而 b^* 值、硬度、可滴定酸(Titratable Acid, TA)、柠檬酸和丁二酸含量随采收期的延长显著下降($P<0.05$), 分别下降了15.57%、39.85%、32.61%、30.95%和33.04%。同时, 采收期的延长可使冷藏期果实的TSS、固酸比和蔗糖含量提前30 d达到峰值, TA含量提前30 d降到最低值。果实综合品质主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)结果表明, 现采果在采收IV期、冷藏果在采收I期放置60 d和150 d时综合品质最佳。综上, 采收期和冷藏期对四川“清见”杂柑品质影响显著且存在交互作用, 采收IV期最适鲜销, 采收I期在单纯实验理想状态下(未进行经济方面考量)最适长期低温贮藏后销售。

关键词: 采收期; “清见”杂柑; 冷藏期; 品质特性

文章编号: 1673-9078(2024)09-209-218

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.9.0580

Effects of Different Harvesting and Cold Storage Periods on the Quality Characteristics of Sichuan "Kiyomi Tangor" Hybrid Citrus

GAO Li¹, LONG Yong², CHEN Deyong², LE Liqing¹, LI Hongzhang³, LI Huajia¹, ZENG Xiaodan¹,
ZHU Yongqing¹, ZHU Jin^{4*}, HE Hongyu^{1*}

(1. Institute of Agro-products Processing Science and Technology, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China) (2. Agriculture and Rural Bureau of Meishan City, Meishan 620020, China)
(3. Agriculture and Rural Bureau of Renshou County, Meishan 620500, China)
(4. Sichuan Provincial Horticultural Crop Technology Extension Station, Chengdu 610041, China)

引文格式:

高丽, 龙勇, 陈德勇, 等. 不同采收期和冷藏期对四川“清见”杂柑品质特性的影响[J]. 现代食品科技, 2024, 40(9): 209-218.

GAO Li, LONG Yong, CHEN Deyong, et al. Effects of different harvesting and cold storage periods on the quality characteristics of Sichuan "Kiyomi tangor" hybrid citrus [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(9): 209-218.

收稿日期: 2023-05-16

基金项目: 四川省“十四五”育种攻关项目(2021YFYZ0023-14); 成都市技术创新研发项目(2021-YF05-02120-SN); 四川省财政自主创新专项(2022ZZCX060); 四川省科技创新苗子工程培育项目(2022111)

作者简介: 高丽(1991-), 女, 硕士, 研究实习员, 研究方向: 果蔬采后贮藏与加工, E-mail: gl910112@163.com

通讯作者: 祝进(1981-), 女, 硕士, 正高级农艺师, 研究方向: 果树及园艺作物技术与推广, E-mail: 19607349@qq.com; 共同通讯作者: 贺红宇(1987-), 女, 硕士, 副研究员, 研究方向: 果蔬采后生理与病理, E-mail: hhy20064299@163.com

Abstract: The harvesting period affects the quality of fruit during storage. To further extend the shelf-life of Sichuan "Kiyomi Tangor" hybrid citrus, the effects of four harvesting periods (29th January, 26th February, 26th March and 25th April) and five cold storage periods (30, 60, 90, 120 and 150 d) at (4±0.5) °C on the fruit quality were investigated. The results showed that the citrus colour index, total soluble solid (TSS), solid-to-acid ratio, and sucrose, glucose, fructose, quinic acid and malic acid contents increased significantly ($P<0.05$) with the extension of harvesting period (from the harvesting period I to IV by 21.81%, 17.99%, 33.33%, 41.56%, 51.22%, 54.38%, 82.59% and 34.74%, respectively), whereas, the b^* value, hardness, titratable acid (TA), citric acid content and succinic acid content decreased significantly ($P<0.05$) with the extension of harvesting period (by 15.57%, 39.85%, 32.61%, 30.95% and 33.04%, respectively). Meanwhile, the extension of the harvesting period could make the TSS, solid-acid ratio and sucrose content of the fruit during cold storage reached the peak values 30 days earlier while the TA content decreasing to the lowest value 30 days earlier. The results of principal component analysis (PCA) showed that the comprehensive fruit quality was the best when the fresh fruits were harvested in the harvesting period IV, and when the fruits were harvested in harvesting period I then refrigerated for 60 days and 150 days. Taken together, the harvesting period and cold storage period had significant effects on the quality of Sichuan "Kiyomi Tangor" hybrid citrus, and there were interactions between these two variables. The fruits harvested in Harvesting period IV was the most suitable for fresh sale, and under the ideal experimental conditions of simple experiment (without economic considerations), the fruits harvested in harvesting period I was the most suitable long-term low-temperature storage before selling.

Key words: harvesting stages; "Kiyomi tangor" hybrid citrus; cold storage periods; quality characteristics

柑橘是世界上最常见的水果之一^[1]。据联合国粮食及农业组织 (FAO) 和国家统计局统计, 2021 年世界柑橘类水果总产量约为 1.585 亿 t, 而中国柑橘类水果产量约为 0.56 亿 t, 占比约为 35.33%, 居世界首位。其中, 作为我国重点柑橘原产区的四川省, 2021 年柑橘类水果产量高达 522.28 万 t, 仅次于广西、湖南、湖北、广东, 产量居全国第 5 位。鉴于柑橘产量巨大, 市场无法短期内全部接纳, 为减少柑橘采后经济损失, 柑橘贮藏保鲜就显得尤为重要。柑橘采后的经济损失主要来自果实自然衰老、物理损伤和病理衰败, 包括果实脱水和重量损失^[2]、果皮损伤和收缩^[3]、果肉粒化和质地变化^[4]、糖和有机酸降解及风味恶化^[5]等。其中, 清见是由宫川早熟温州蜜柑与特罗维塔甜橙杂交育成, 具有果实大、产量丰、水分足、易剥皮等特点, 是西南地区很有市场潜力的晚熟杂柑品种^[6]。

采收期是影响贮藏期间果实品质、生理特性及贮藏寿命的最重要因素, 采摘过早口感不佳, 而采摘过晚则不耐贮藏^[7,8]。Zhang 等^[9]研究表明成熟度越高的苹果淀粉含量越低, 冷藏过程中总可溶性固形物含量达到最大值需要的时间越少, 平均硬度持续下降。枣子生长发育过程中, 其四种主要有机酸及其衍生物中, 柠檬酸、丁烯二酸和 D-半乳糖醛酸的含量先升高后降低^[10]。随着番茄果实成熟度的增加, 硬度下降, 番茄红素、 β -胡萝卜素、总酚和

总黄酮含量逐步积累^[11]。此外, 草莓在四个不同成熟期 (绿色到红色) 中柠檬酸、可溶性糖和花青素的分布差异显著^[12]。

然而, 目前柑橘贮藏保鲜研究主要集中在传统物理化学及新型生物防控等方面^[13-15], 针对采收期和冷藏期对晚熟柑橘果实品质特性相关的研究报道甚少, 而对晚熟“清见”杂柑的研究则更少。本研究以四川晚熟“清见”杂柑为试验材料, 通过对比不同采收期柑橘在冷藏期间的品质差异, 包括果实硬度、颜色、总可溶性固形物、可滴定酸、可溶性糖和有机酸含量, 为指导“清见”杂柑的适宜采收期和冷藏期以保证果实长期贮藏后上市的最佳品质、减少采后经济损失提供基础科学依据。

1 材料与方法

1.1 原料

四川“清见”杂柑采自四川省眉山市仁寿县。每间隔 1 个月采收一次, 如表 1 所示。每一采收期采摘大小和形状一致、颜色均匀、无瑕疵及机械损伤的果实 60 个, 10 个为一组, 共计 240 个。每期采摘后当日运回实验室, 立即进行基本品质测定, 其余果实直接放入框中置于 (4±0.5) °C、相对湿度 85%~95% 的冷库中贮藏, 每冷藏 30 d 测定一次指标。

表 1 采收期与采收时间、冷藏时间的对应关系

Table 1 The corresponding relationship between harvesting stage, harvesting time and cold storage time

贮藏时间/d	采收期			
	I	II	III	IV
	2021.01.29	2021.02.26	2021.03.26	2021.04.25
0	I-0	II-0	III-0	IV-0
30	I-1	II-1	III-1	IV-1
60	I-2	II-2	III-2	IV-2
90	I-3	II-3	III-3	IV-3
120	I-4	II-4	III-4	IV-4
150	I-5	II-5	III-5	IV-5

1.2 主要仪器设备

1260 高效液相色谱仪, 安捷伦公司 (美国) 生产; CR-400 色差仪, 柯尼卡美能达公司 (日本) 生产; TA.XT Plus 质构仪, Stable Micro System 公司 (英国) 生产; PAL-1 手持式折光仪, ATAGO 公司 (日本) 生产; 855 型全自动滴定仪, Metrohm 公司 (瑞士) 生产。

1.3 试验方法

1.3.1 果实颜色测定

采用色差仪在柑橘赤道面东南西北 4 个位置测定颜色属性值, 记录明/暗度 L^* (“+”=较亮; “-”=较暗)、红/绿度 a^* (“+”=较红; “-”=较绿) 和黄/蓝度 b^* (“+”=较黄; “-”=较蓝), 此外参照 Ma 等^[16]方法, 计算柑橘颜色指数 (Citrus Color Index, CCI)。

$$C=1\ 000a^*(L^*\times b^*)$$

式中:

C —颜色指数 (CCI)。

1.3.2 果实硬度测定

将果实置于质构仪探头下方, 测定柑橘赤道部位。试验所用探头为 P-100, 试验参数为测前、测中、测后速率分别为 3、1、5 mm/s, 压缩应变为 20%, 每组测定 10 个果实后取平均值。

1.3.3 TSS、TA 和固酸比测定

将柑橘果肉剥皮后, 用手动榨汁机榨汁, 过滤并收集果汁备用 (-80 °C 密封冻存)。使用手持式折

光仪测定果实 TSS, 并以百分比表示。使用全自动滴定仪测定 TA, 以 100 mL 果汁中柠檬酸体积表示。每组 10 个果实, 每个果实重复 3 次。固酸比 (TSS/TA) 通过 TSS 值除以 TA 值来计算。

1.3.4 可溶性糖含量测定

使用高效液相色谱法测定, 测定前, 先将 -80 °C 下冻存的柑橘汁用流动冷水解冻, 吸取 1 mL 原液用超纯水稀释 28 倍, 用 0.22 μm 无机膜过滤纯化后移入进样瓶。色谱条件: Agilent Hi-Plex Ca 色谱柱 (7.7 mm×300 mm, 8 μm); 流动相: 100% 去离子水; 流量: 0.6 mL/min; 进样量: 2 μL; 柱温: 80 °C; 检测器: 蒸发光散射检测器 (Evaporative Light Scattering Detector, ELSD); 增益: 1.2; 蒸发温度: 70 °C; 雾化温度: 90 °C; 载气: 氮气 (纯度 99.99%)。采用蔗糖、葡萄糖和果糖 3 种标准品的色谱峰保留时间对柑橘汁中的单糖进行定性, 用标准曲线 ($R^2 > 0.999$) 进行定量分析。蔗糖 ($y=3\ 550.3x-2\ 322.9$, $R^2=0.999\ 2$)、果糖 ($y=1\ 939.2x-1\ 204.4$, $R^2=0.999\ 1$)、葡萄糖 ($y=2\ 080.6x-1\ 337$, $R^2=0.999\ 4$) 的标准曲线是通过绘制峰面积与相应标准化合物浓度 (1~3 mg/g) 的关系来构建的。

1.3.5 有机酸含量测定

样品前处理同 1.1.4, 色谱条件: ChromCore Sugar-H 色谱柱 (6 μm, 7.8 mm×300 mm); 检测器: 紫外检测器 (UV); 检测波长: 210 nm; 流动相: 3.5 mmol/L H₂SO₄; 柱温: 80 °C; 流量 0.4 mL/min; 进样量: 20 μL。采用柠檬酸、苹果酸、奎尼酸、丁二酸等 4 种标准品的色谱峰保留时间对柑橘汁中的有机酸进行定性, 用标准曲线 ($R^2 > 0.999$) 进行定量分析。柠檬酸 ($y=3.917\ 4x-1.558\ 3$, $R^2=1$)、苹果酸 ($y=2.162\ 6x-1.238\ 0$, $R^2=1$)、奎尼酸 ($y=1.639\ 2x-3.452\ 2$, $R^2=0.999\ 9$)、丁二酸 ($y=1.696\ 4x+0.291\ 5$, $R^2=1$) 的标准曲线是通过绘制峰面积与相应标准化合物浓度 (25~540 μg/g) 的关系来构建的。

1.4 数据分析

试验数据分析采用 Excel、IBM SPSS Statistics 26 分析软件, Origin 2018 绘图软件进行处理, 图表中数据以平均值 ± 标准差的形式表示。

2 结果与讨论

2.1 四川“清见”杂柑采收期品质变化

2.1.1 不同采收期对四川“清见”杂柑基本品质的影响

如表2所示,随着采收期的延长,柑橘颜色指数CCI先快速上升后趋于稳定。采收期对柑橘果实颜色属性 L^* 值和 b^* 值的影响与CCI正好相反,均呈现先显著降低后趋于稳定的趋势,而对 a^* 值无显著性影响。果实硬度随采收期的延长显著下降($P < 0.05$),从采收I期的11.72 kg直接下降到采收IV期的7.05 kg,降幅达到39.85%。Astiari等^[17]收获的暹罗橙子越成熟,其果实硬度越低,这种下降趋势可能是由于不溶性果胶分解为可溶性果胶而导致细胞壁成分发生的变化。

TSS、TA及固酸比与其感官品质密切相关,如酸度、甜度和口感^[18]。TSS含量在早期和末期随着采收期的延长呈显著上升趋势($P < 0.05$),到采收IV期达到最高值9.38%。TA含量在采收I-II期出现一个显著增长趋势,此后随采收期的延长呈先极显著下降后趋于稳定的趋势。果实固酸比与TA含量趋势相反,在II-IV期随采收期的延长呈先极显著上升后趋于稳定的趋势,在采收IV期达到最高为10.12。Fattahi等^[19]观察到三种柑橘品种的TSS

和固酸比随着果实的成熟而增加,而TA浓度则相反。同样,在花期后131、238和203 d收获的2种橙子中,固酸比随果实成熟而增加^[20]。

2.1.2 不同采收期对四川“清见”杂柑可溶性糖及有机酸含量的影响

如表3所示,四川“清见”杂柑中共检出3种主要可溶性糖和4种主要有机酸,分别为蔗糖、葡萄糖、果糖,柠檬酸、奎尼酸、丁二酸和苹果酸。随着采收期的延长,果实中可溶性糖含量呈上升趋势,且3种糖趋势一致。在已测得的3种可溶性糖中,蔗糖含量最高,其次是果糖、葡萄糖,且蔗糖:果糖:葡萄糖约为2:1:1,这与吴文明等^[21]在椪柑中得到的结果相似。随着采收期的延长,柠檬酸总体呈下降趋势,苹果酸则相反,奎尼酸在采收I-III期无显著变化,在III-IV期显著增加($P < 0.05$),而丁二酸则呈显著下降趋势($P < 0.05$)。在已检测的4种有机酸中,柠檬酸含量最高,其次是奎尼酸,丁二酸和苹果酸,且柠檬酸、奎尼酸、丁二酸和苹果酸之比约为9:3:1:1。Zhou等^[22]研究了6个柑橘品种果实发育过程中糖酸变化发现,蔗糖是各阶段的主要糖成分,其范围为9.26~50.92 mg/g,果糖和葡萄糖的范围分别为4.16~26.32 mg/g和3.72~16.99 mg/g;柠檬酸是主要有机酸成分,且柠檬酸(5.47~29.87 mg/g)明显高于苹果酸(0.63~3.71 mg/g)和奎宁酸(0.19~4.36 mg/g)。

表2 不同采收期对四川“清见”杂柑品质的影响

Table 2 Effects of different harvesting stages on the quality of Sichuan “Kiyomi tangor” hybrid citrus

采收期	L^*	a^*	b^*	CCI	硬度/kg	TSS/%	TA/(mL/100 mL)	固酸比
I	68.35±1.36 ^a	22.31±1.45 ^a	76.02±2.08 ^a	4.31±0.15 ^c	11.72±0.96 ^a	7.95±0.45 ^c	1.05±0.08 ^b	7.59±0.76 ^b
II	67.60±1.97 ^{ab}	22.25±1.41 ^a	68.61±2.12 ^b	4.82±0.20 ^b	9.57±0.66 ^b	8.83±0.27 ^b	1.38±0.11 ^a	6.44±0.57 ^c
III	66.31±1.40 ^b	22.42±0.59 ^a	65.97±1.96 ^c	5.14±0.19 ^a	8.43±0.54 ^c	8.63±0.28 ^b	0.89±0.06 ^c	9.85±0.90 ^a
IV	65.93±1.22 ^b	22.19±0.92 ^a	64.18±1.84 ^c	5.25±0.14 ^a	7.05±0.62 ^d	9.38±0.43 ^a	0.93±0.09 ^c	10.12±1.05 ^a

注:表中数据表示为平均值±标准偏差;对于每一列,不同小写字母对应的值在 $P < 0.05$ 时显著不同。

表3 不同采收期对四川“清见”杂柑可溶性糖及有机酸含量的影响

Table 3 Effects of different harvesting stages on the soluble sugar and organic acid contents of Sichuan “Kiyomi tangor” hybrid citrus

采收期	可溶性糖含量/(mg/g)			有机酸含量/(mg/g)			
	蔗糖	葡萄糖	果糖	柠檬酸	奎尼酸	丁二酸	苹果酸
I	22.86 ± 4.17 ^c	13.53 ± 1.60 ^b	14.60 ± 1.71 ^b	10.37 ± 1.20 ^b	3.16 ± 0.34 ^b	1.15 ± 0.16 ^a	0.95 ± 0.13 ^b
II	22.98 ± 2.73 ^c	13.98 ± 1.37 ^b	15.23 ± 1.35 ^b	12.79 ± 1.27 ^a	2.83 ± 0.33 ^b	0.94 ± 0.13 ^b	0.77 ± 0.09 ^c
III	28.73 ± 3.10 ^b	13.34 ± 1.50 ^b	15.19 ± 1.59 ^b	9.33 ± 1.28 ^b	3.36 ± 0.53 ^b	0.98 ± 0.11 ^b	0.97 ± 0.13 ^b
IV	32.36 ± 4.59 ^a	20.46 ± 2.26 ^a	22.54 ± 2.25 ^a	7.16 ± 1.51 ^c	5.77 ± 0.65 ^a	0.77 ± 0.09 ^c	1.28 ± 0.17 ^a

注:表中数据表示为平均值±标准偏差($n=10$);对于每一列,不同小写字母对应的值在 $P < 0.05$ 时显著不同。

2.2 四川“清见”杂柑冷藏期品质变化

2.2.1 不同冷藏期对四川“清见”杂柑颜色的影响

水果颜色被视为种植者和消费者用于分级的主要标准，也是影响其商业价值的重要外部因素^[23]。如图1所示，冷藏期对柑橘果实颜色属性 (L^* 、 a^* 、 b^* 和 CCI) 均有影响，但总体显著性并不明显，荆佳伊等^[24]在晚熟 W. 默科特柑橘的研究中也观察到了同样的结果。采收早期 (I-II) 的果实平均 L^* 值在整个冷藏期 (0~150 d) 均无显著性差异，到采收后期 (III-IV)， L^* 值随冷藏时间 (>60 d) 的延长有显著性下降趋势，采收IV期在冷藏 120 d 时表现出显著最低的 L^* 值 (63.25) (图 1a)，这可能是由于脱水引起的表面萎蔫和光泽降低。

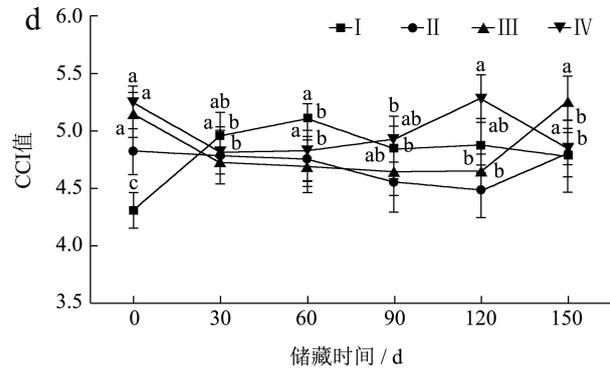
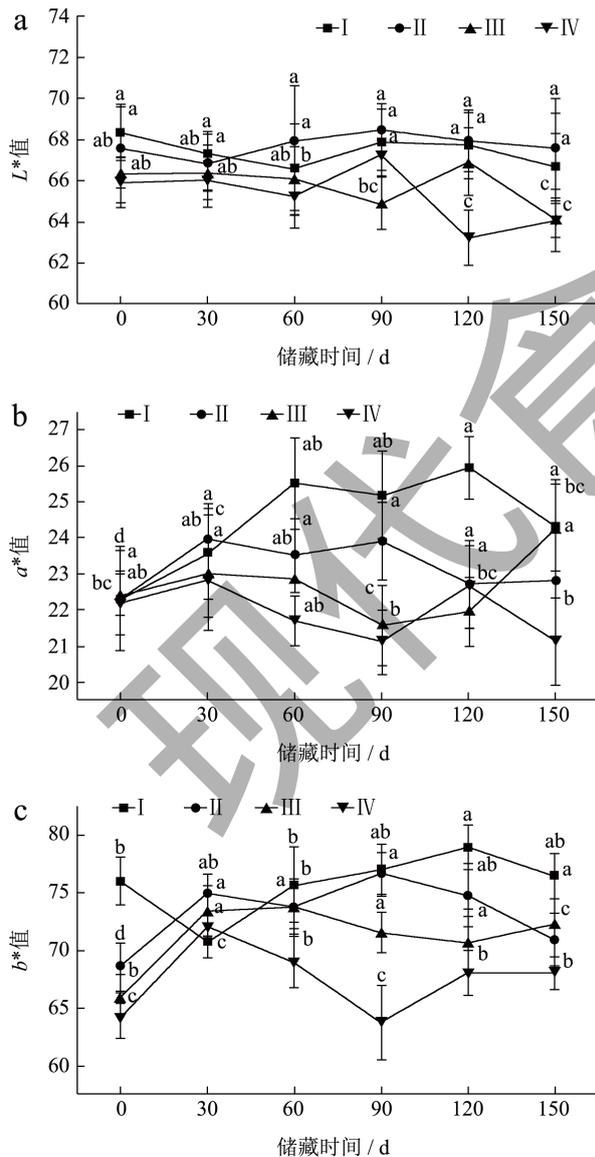


图1 采收期和冷藏期对四川“清见”杂柑颜色的影响

Fig.1 Effects of harvesting and chilling periods on colour of Sichuan “Kiyomi tangor” hybrid citrus

在整个冷藏期，采收早期 (I-II) 的果实 a^* 值要显著高于采收后期 (III-IV)。I 期的果实平均 a^* 值随冷藏时间的增加显著升高，到 120 d 时达到峰值 25.95，II 的果实 a^* 值随冷藏时间的增加无显著性差异。在冷藏 30 d 时，整个采收期的果实 a^* 值均在升高，此后，随采收期的增加， a^* 值出现下降趋势的冷藏时间逐渐缩短，I-IV 期出现下降的冷藏时间分别为 120、90、60 和 30 d (图 1b)。

与冷藏 0 d 相比，在冷藏 30 d 时，采收 II-IV 期的果实 b^* 值均显著升高，而采收 I 期显著降低 ($P < 0.05$)。柑橘果实 b^* 值在冷藏中期 (60~120 d) 时与冷藏 0 d 时有相同的趋势，均随采收期的增加而降低。随采收期的增加， b^* 值出现峰值的冷藏时间逐渐缩短，I-IV 期出现峰值的冷藏时间分别为 120、90、60 和 30 d (图 1c)。

柑橘颜色指数 CCI 值在冷藏 30 d 内，采收 I 期的果实出现急剧增加，然后到 60 d 时增加至最高 5.10，而采收 III 期和 IV 期则出现显著下降，然后分别到冷藏 150 d (5.25) 和 120 d (5.28) 时达到峰值，采收 II 期无显著性变化，在冷藏 120 d 时出现显著最低值 (4.48) (图 1d)。整体来看，随冷藏时间的延长， L^* 值和 b^* 值降低， a^* 值增加，这些颜色值的变化归因于柑橘果实的成熟、衰老、叶绿素的降解和类胡萝卜素的积累。Zhao 等^[25]在冬枣果实贮藏期间也观察到了同样的趋势。

2.2.2 不同冷藏期对四川“清见”杂柑硬度的影响

所有四川“清见”杂柑的硬度均显著 ($P < 0.05$) 受采收期和冷藏期的影响 (图 2)。随冷藏时间的增加，4 个采收期的果实硬度均显著降低。李宏建等^[26]研究表明，随着果实的后熟，低

温贮藏时果实中的原果胶在果胶酶的作用下转变为可溶性果胶,由此导致贮藏期间硬度的降低。在同一冷藏期(60、120和150 d),4个采收期的果实硬度无明显差异。在冷藏0~60 d时,采收I-IV期的果实硬度降幅分别为48.04%、33.65%、27.28%、17.45%;在冷藏0~150 d时,采收I-IV期的果实硬度降幅分别为65.53%、61.02%、65.36%、46.52%。由此可以看出,短期冷藏时,采收期对果实硬度影响显著,采收期越早,硬度下降速度越快,反之越慢;长期冷藏时,采收期对果实硬度影响并不显著,尤其是采收早期(I-III)。而荆佳伊等^[24]则表明早采有利于晚熟W.默科特柑橘贮藏过程中的硬度保持,相反结论可能与果实贮藏前处理、冷藏温度及柑橘品种间的不同有较大关系。

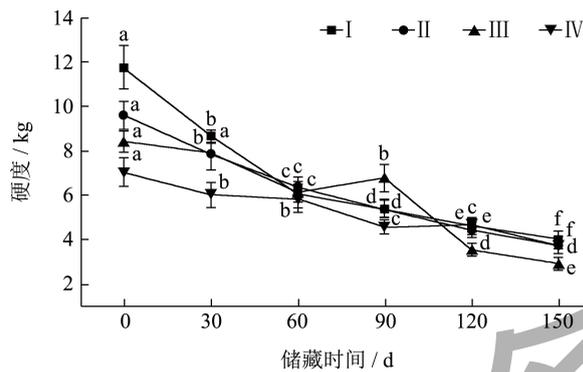


图2 采收期和冷藏期对四川“清见”杂柑硬度的影响

Fig.2 Effects of harvesting and chilling periods on hardness of Sichuan “Kiyomi tangor” hybrid citrus

2.2.3 不同冷藏期对四川“清见”杂柑TSS、TA和固酸比的影响

如图3所示,冷藏期对四川“清见”杂柑TSS、TA含量及固酸比均有显著性影响($P < 0.05$)。在贮藏150 d内,随冷藏时间的增加,4个采收期的果实TSS含量均呈先上升后下降趋势,这可能是因为在冷藏初期,果实蒸腾失水而导致TSS浓度增大,或是果实将内部积累的淀粉、果胶、纤维素等物质水解而导致的上升,而在冷藏后期因内部营养物质的不断消耗而造成下降^[27,28]。在整个冷藏期,果实越成熟,TSS含量越高(图3a)。随冷藏时间的增加,果实TA含量整体呈波动趋势(图3b),而固酸比与TSS含量趋势相近,呈先上升后下降趋势(图3c)。此外,贮藏期内采收期的延长可以使冷藏期果实的TSS含量和固酸比提前30 d达到最大值,而TA含量提前30 d降到最低值。

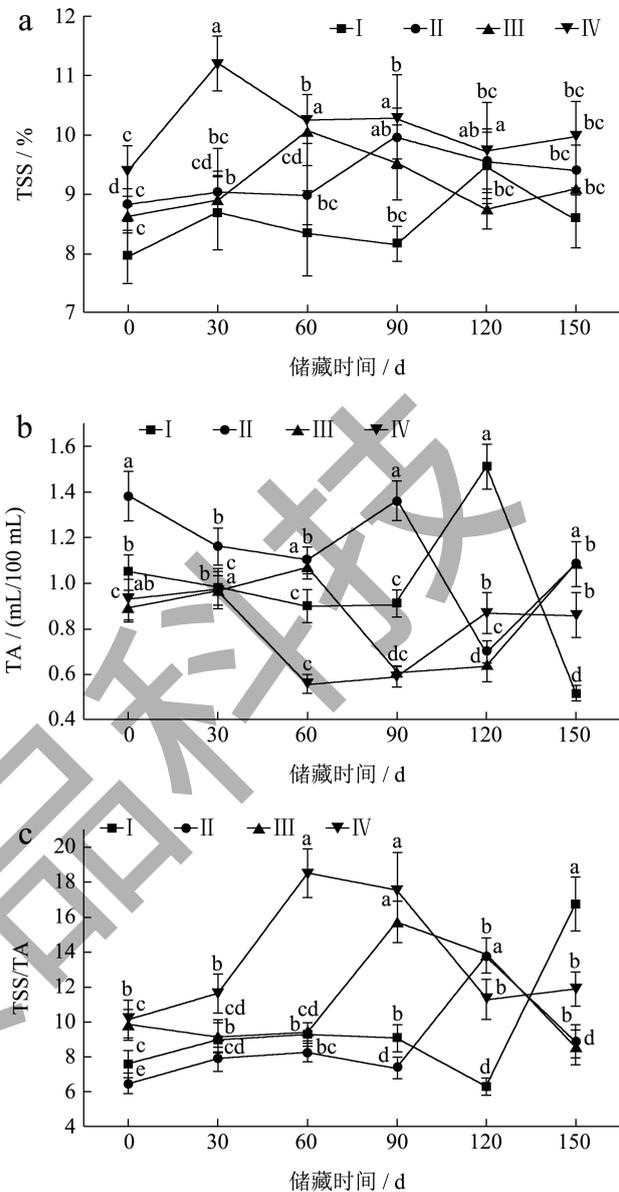


图3 采收期和冷藏期对四川“清见”杂柑TSS、TA和TSS/TA的影响

Fig.3 Effects of harvesting and chilling periods on TSS, TA and TSS/TA of Sichuan “Kiyomi tangor” hybrid citrus

与所有采收期和冷藏期相比,冷藏30 d后在采收IV期收获的果实表现出显著最高的TSS(11.19%),冷藏150 d在采收I期和冷藏60 d后在采收IV期收获的果实表现出最低的TA(0.52 mL/100 mL、0.56 mL/100 mL),冷藏60 d后在采收IV期收获的果实表现出显著最高的固酸比(18.50)。由此可以看出,TSS、TA含量及固酸比的不同采收期和冷藏期之间存在显著的交互作用。采收期的延长可以显著加快TSS和固酸比在冷藏150 d内达到最高值和TA出现最低值的时间。

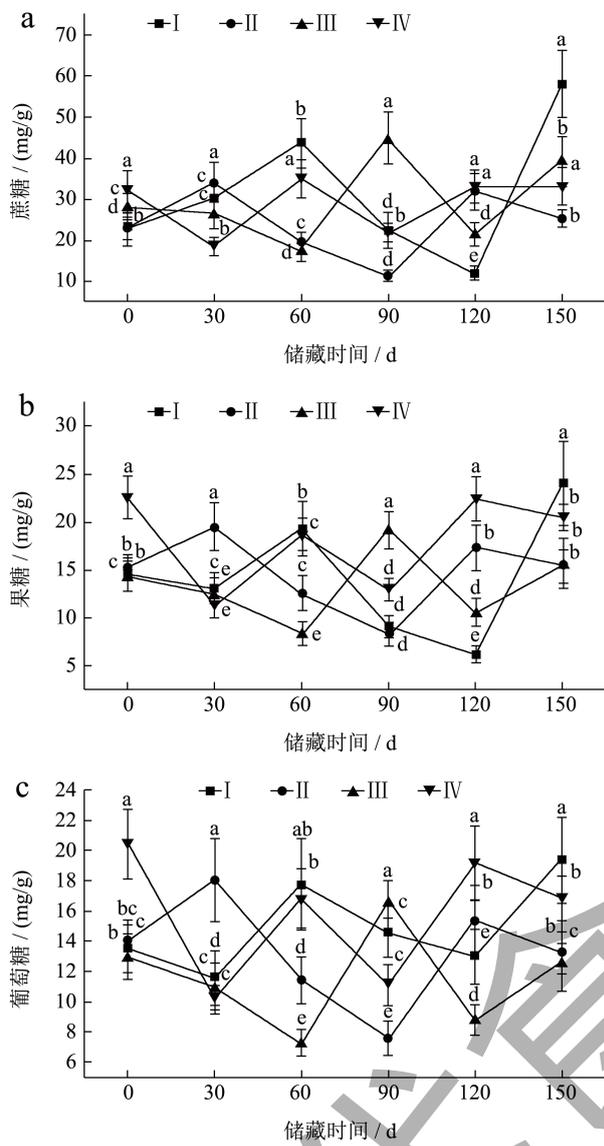


图4 采收期和冷藏期对四川“清见”杂柑可溶性糖含量的影响

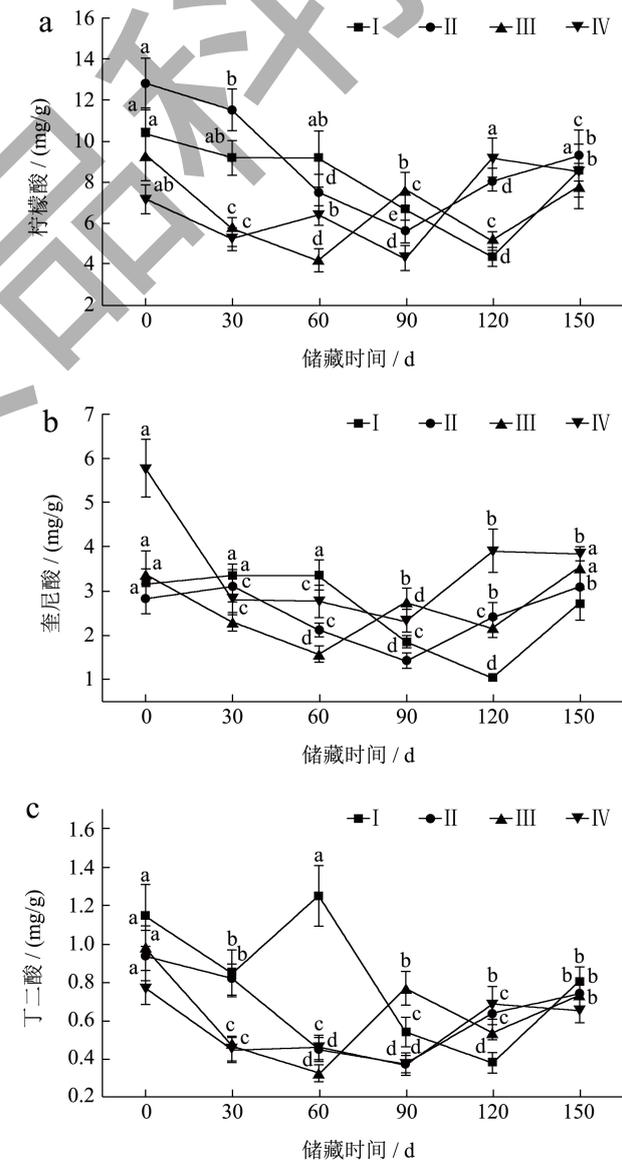
Fig. 4 Effects of harvesting and chilling periods on soluble sugar contents of Sichuan “Kiyomi tangor” hybrid citrus

2.2.4 不同冷藏期对四川“清见”杂柑可溶性糖含量的影响

采收期和冷藏期对四川“清见”杂柑可溶性糖含量有显著的交互作用 ($P < 0.05$) (图4)。在贮藏150 d内, 随冷藏期的延长, 果实中蔗糖含量呈上升下降再上升的波动趋势 (图4a)。采后果实中糖的含量是由糖降解和生物合成的平衡决定的, 它由蔗糖合酶、蔗糖磷酸合酶和转化酶催化。贮藏过程中蔗糖的积累可能是果实内部淀粉、果胶、纤维素等物质的水解作用, 而蔗糖的降解始于蔗糖转化为己糖, 然后是经过糖酵解途径作为呼吸底物和 / 或

进一步合成其他碳水化合物^[27-29]。同样, 与TSS和固酸比一致, 冷藏期果实的蔗糖含量随采收期的延长可提前30 d增长至最高值, 采收I期在冷藏150 d时蔗糖含量最高为57.94 mg/g, 采收II期在冷藏120 d时蔗糖含量最高为32.09 mg/g, 采收III期在冷藏90 d时蔗糖含量最高为44.98 mg/g, 采收IV期在冷藏60 d时蔗糖含量最高为35.08 mg/g。随冷藏时间的延长, 果糖含量总体呈波浪趋势 (图4b)。葡萄糖含量随冷藏时间的延长也呈波浪趋势, 采收I-II期随冷藏时间的增加先上升下降再上升, 采收III-IV期随冷藏时间的增加先显著下降 ($P < 0.05$) 后上升下降交替 (图4c)。

2.2.5 不同冷藏期对四川“清见”杂柑有机酸含量的影响



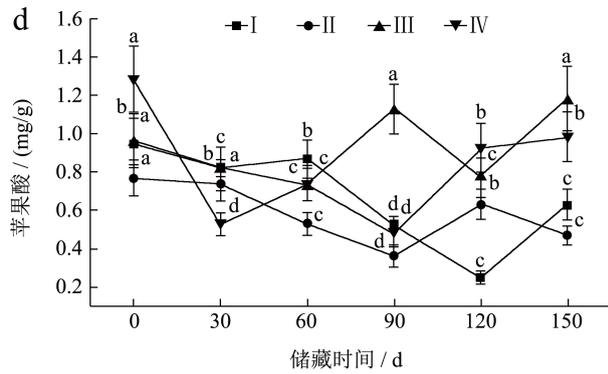


图5 采收期和冷藏期对四川“清见”杂柑有机酸含量的影响

Fig.5 Effects of harvesting and chilling periods on organic acid contents of Sichuan “Kiyomi tangor” hybrid citrus

如图5所示,冷藏期对四川“清见”杂柑中有机酸含量有显著影响 ($P < 0.05$)。随冷藏期的延长,果实中4种有机酸含量趋势大体一致,均先下降后上升。与未冷藏果实相比,冷藏30 d内,果实中柠檬酸含量随采收期的延长降幅增加,分别为11.57%、9.93%、38.48%、26.96%,这说明晚采有利于冷藏过程中的柠檬酸含量的快速降低(图5a)。在冷藏150 d内,采收I-IV期的果实中奎尼酸含量分别从60、30、0和0 d开始显著下降,这说明采收期的延长可以加速冷藏果实中奎尼酸含量下降的时间(图5b)。与未冷藏果实相比,冷藏30 d内,所有采收期果实中的丁二酸含量均显著降低(图5c)。在整个冷藏期,采收I、II和IV期果实中苹果酸含量在冷藏0 d时最高,分别为0.95、0.77、1.28 mg/g,采收III期则在冷藏90(150) d时最高,为1.13 mg/g (1.18 mg/g),这说明在采收早期和晚期,冷藏均可降低柑橘果实中苹果酸含量(图5d)。贮藏过程中有机酸的降低可能与果实呼吸消耗酸有关,也可能和酸转变为其他物质有关。

2.3 主成分分析

为了评价采收期和冷藏期对四川“清见”杂柑采后品质的影响,本研究采用主成分分析法对前文15个柑橘品质指标和不同采收期(4组)及不同采收期和冷藏期(24组)样本进行了评估。PCA的结果以荷载图和得分图呈现(图6),其中变量对PC1和PC2的贡献由向量的方向和长度表示。四川“清见”杂柑采后品质的综合评价结果以综合得分图呈现(图7,所呈现结果选用了特征值大于1的4个主成分,累计方差贡献率为79.524%),具体算法参考我们之前的报告^[30]。

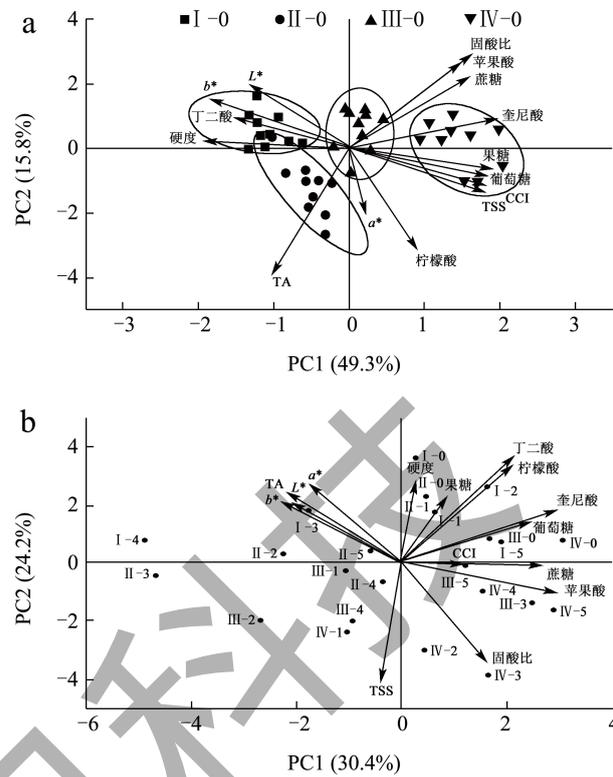


图6 四川“清见”杂柑品质指标的主成分分析的荷载图和得分图

Fig.6 The loading and score plots of the principal component analysis on quality indexes of Sichuan “Kiyomi tangor” hybrid citrus

注:(a)采收期;(b)采收期和冷藏期。

如图6a所示,采收早期(I-II)、采收III期和采收IV期收获的新鲜“清见”杂柑可以被很好的分组,而采收I期和采收II期收获的果实部分重叠。采收早期(I-II)收获的果实与含有硬度、 L^* 、 b^* 、TA和丁二酸的荷载向量的接近程度表明,在早熟阶段收获的果实具有硬度、 L^* 、 b^* 、TA和丁二酸含量高的特点。固酸比、可溶性糖、TSS、CCI、奎尼酸和苹果酸的荷载向量与采收晚期(III-IV)收获的果实接近,表明这6种是晚熟“清见”杂柑的主要成分,这与Zhang等^[31]研究采收期对赣南脐橙果汁化学成分和抗氧化能力的影响结果相近。

如图6b所示,不同采收期和冷藏期的24组样本不能很好的被分组,采收早期及其冷藏早期(I-0、II-0、I-1、I-2、II-1)得到的果实与含有硬度、果糖、丁二酸和柠檬酸的荷载向量更接近,采收晚期及其冷藏晚期(III-0、IV-0、III-3、III-5、IV-4、IV-5)得到的果实与含有奎尼酸、葡萄糖、蔗糖、CCI和苹果酸分荷载向量较为接近,这与采

收期的 PCA 结果 (图 6a) 近似但又不同, 说明采收期和冷藏期对四川“清见”杂柑品质有显著的交互作用。

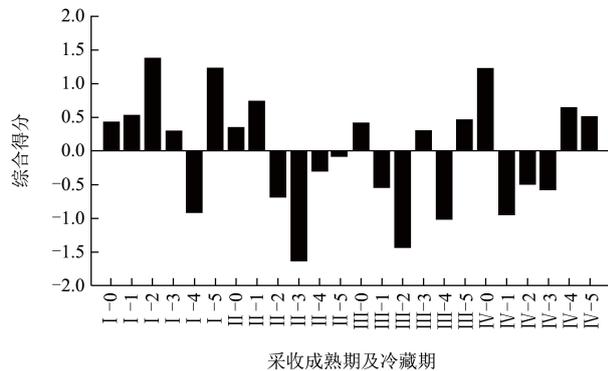


图 7 四川“清见”杂柑品质指标的综合得分图

Fig.7 The comprehensive score of quality indicators of Sichuan “Kiyomi tangor” hybrid citrus

从图 7 可以直观的看出, 采收晚期 (IV-0, 4 月 25 日)、采收早期收获后冷藏 60 d (I-2, 3 月 29 日) 和 150 d (I-5, 6 月 29 日) 的综合得分接近并大于 1, 分别为 1.21、1.37 和 1.21, 说明此时四川“清见”杂柑综合品质最优。“清见”杂柑采收 I-0、II-0、III-0 和 IV-0 的综合品质得分分别为 0.44、0.35、0.43 和 1.21, 即随采收期的延长, 新鲜“清见”杂柑综合品质维持稳定后, 在末期 (IV) 显著提升至最优, 说明晚采更适合于鲜食。在实际采收中, “清见”杂柑一般会在 4 月初完成全部采摘, 而早采后的冷藏果在 6 月末保持了很好的品质, 这可以延长“清见”杂柑的市售时间。与新鲜果实相比, 采收 I-IV 期的冷藏果实综合得分大于 0 的个数分别为 4、1、2 和 2 个, 说明早采更有利于冷藏期柑橘果实品质的保持。

3 结论

采收期和冷藏期显著影响四川“清见”杂柑的品质。随采收期的延长, 柑橘 CCI、TSS、固酸比、蔗糖、葡萄糖、果糖、奎尼酸和苹果酸含量显著增长, L^* 值、 b^* 值、硬度、TA、柠檬酸和丁二酸含量则显著下降。随冷藏期的延长, 柑橘 L^* 值和 b^* 值下降, a^* 值上升, 硬度显著下降 ($P < 0.05$), TSS 和固酸比上升, TA 下降, 可溶性糖和有机酸含量总体波动。在冷藏 150 d 内, 采收期的延长可以使柑橘糖含量提前 30 d 达到最高值, 酸含量提前 30 d 降到最低。这说明采收期和冷藏期对四川“清见”杂柑品质有显著的交互作用 ($P < 0.05$)。此外, 结

合 PCA 柑橘果实综合品质分析, 4 个采收期中, 采收 IV 期 (4 月 25 日) 采收的果实在采摘时综合品质最佳, 适合鲜销, 采收 I 期 (1 月 29 日) 采收的果实在冷藏中 (60 d)、后 (150 d) 期时综合品质最佳, 适合长时间低温贮藏后销售。当然, 在实际应用中, 针对贮藏后销售的水果, 我们还应结合贮藏、时间、运输、人工等经济成本进行更深入的分析与探讨。同时, 柑橘是以其营养和健康促进价值而闻名, 今后还需进一步研究其功能性成分和抗氧化等生物学功能并深入挖掘其作用机理, 为四川晚熟“清见”杂柑最适采收期提供全方位的理论基础, 用以满足不同消费群体及市场需求。

参考文献

- [1] MATSUO Y, MIURA LA, ARAKI T, et al. Proximate composition and profiles of free amino acids, fatty acids, minerals and aroma compounds in *Citrus natsudaidai* peel [J]. Food Chemistry, 2019, 279: 356-363.
- [2] LUFU R, AMBAW A, OPARA UL. Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors [J]. Scientia Horticulturae, 2020, 272: 109519.
- [3] ZHOU X, YUE J, YANG H, et al. Integration of metabolome, histochemistry and transcriptome analysis provides insights into lignin accumulation in oleocellosis-damaged flavedo of citrus fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2021, 172: 111362.
- [4] CHEN C, NIE Z, WAN C, et al. Suppression on postharvest juice sac granulation and cell wall modification by chitosan treatment in harvested pummelo (*Citrus grandis* L. Osbeck) stored at room temperature [J]. Food Chemistry, 2021, 336: 127636.
- [5] TANG N, DENG W, HU N, et al. Metabolite and transcriptomic analysis reveals metabolic and regulatory features associated with Powell orange pulp deterioration during room temperature and cold storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 112: 75-86.
- [6] HAN S, KIM HM, LEE S. Simultaneous determination of polymethoxyflavones in Citrus species, Kiyomi tangor and *Satsuma mandarin*, by high performance liquid chromatography [J]. Food Chemistry, 2012, 134(2): 1220-1224.
- [7] 朱文靖, 张容鹤, 邓浩, 等. 不同成熟度红毛丹果实果肉品质特性及抗氧化活性比较 [J]. 现代食品科技, 2021, 37(9): 138-144.
- [8] LICHTFOUSE E. Postharvest Management of Fruits and Vegetables Storage [M]. Switzerland: Springer International Publishing AG, 2014: 65-152.

- [9] ZHANG B, ZHANG M, SHEN M, et al. Quality monitoring method for apples of different maturity under long-term cold storage [J]. *Infrared Physics & Technology*, 2021, 112: 103580.
- [10] FENG Z, GAO Z, JIAO X, et al. Widely targeted metabolomic analysis of active compounds at different maturity stages of 'Hupingzao' jujube [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2020, 88: 103417.
- [11] ALENAZI MM, SHAFIQ M, ALSADON AA, et al. Non-destructive assessment of flesh firmness and dietary antioxidants of greenhouse-grown tomato (*Solanum lycopersicum* L.) at different fruit maturity stages [J]. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2020, 27(10): 2839-2846.
- [12] WANG J, YANG E, CHAURAND P, et al. Visualizing the distribution of strawberry plant metabolites at different maturity stages by MALDI-TOF imaging mass spectrometry [J]. *Food Chemistry*, 2021, 345: 128838.
- [13] GARCIA-MARTIN JF, OLMO M, GARCIA JM. Effect of ozone treatment on postharvest disease and quality of different citrus varieties at laboratory and at industrial facility [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 137: 77-85.
- [14] POVEDA J, ROESCHLIN RA, MARANO MR, et al. Microorganisms as biocontrol agents against bacterial citrus diseases [J]. *Biological Control*, 2021, 158: 104602.
- [15] CHEN K, TIAN Z, HE H, et al. *Bacillus* species as potential biocontrol agents against citrus diseases [J]. *Biological Control*, 2020, 151: 104419.
- [16] MA Q, LIN X, WEI Q, et al. Melatonin treatment delays postharvest senescence and maintains the organoleptic quality of 'Newhall' navel orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] by inhibiting respiration and enhancing antioxidant capacity [J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 286: 110236.
- [17] ASTIARI NKA, SULISTIAWATI NPA, SUTAPA IG. The difference of quality of citrus fruits on different levels of maturity during storage period [J]. *Open Access Research Journal of Multidisciplinary Studies*, 2022, 4(1): 17-22.
- [18] CHENG C, JIA M, GUI Y, et al. Comparison of the effects of novel processing technologies and conventional thermal pasteurisation on the nutritional quality and aroma of Mandarin (*Citrus unshiu*) juice [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2020, 64: 102425.
- [19] FATTAHI J, HAMIDOGHLI Y, FOTOUHI R, et al. Assessment of fruit quality and antioxidant activity of three citrus species during ripening [J]. *South Western Journal of Horticulture, Biology and Environment*, 2011, 2(2): 113-128.
- [20] WANG JH, LIU JJ, CHEN KL, et al. Comparative transcriptome and proteome profiling of two *Citrus sinensis* cultivars during fruit development and ripening [J]. *BMC Genomics*, 2017, 18(1): 984.
- [21] 吴文明,朱一成,秦巧平,等.不同采收成熟度对椪柑采后贮藏性及品质的影响[J].*中国果菜*,2017,37(8):4-8.
- [22] ZHOU Y, HE W, ZHENG W, et al. Fruit sugar and organic acid were significantly related to fruit Mg of six citrus cultivars [J]. *Food Chemistry*, 2018, 259: 278-285.
- [23] ZACARIAS-GARCIA J, REY F, GIL JV, et al. Antioxidant capacity in fruit of Citrus cultivars with marked differences in pulp coloration: Contribution of carotenoids and vitamin C [J]. *Food Science and Technology International*, 2021, 27(3): 210-222.
- [24] 荆佳伊,刘晓佳,邓丽莉,等.采收成熟度对晚熟W.默科特柑橘贮藏期品质的影响[J].*农业工程学报*,2021,37(5): 303-309.
- [25] ZHAO Y, ZHU X, HOU Y, et al. Effects of harvest maturity stage on postharvest quality of winter jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao) fruit during cold storage [J]. *Scientia Horticulturae*, 2021, 277: 109778.
- [26] 李宏建,徐贵轩,宋哲,等.不同采收期对凉香苹果果实贮藏品质的影响[J].*河南农业科学*,2011,40(6):106-110.
- [27] 林旭东,沈波涛,朱麟,等.MAP结合1-MCP处理对“红美人”柑橘冷藏品质的影响[J].*保鲜与加工*,2020,20(2):74-78.
- [28] PETRICCIONE M, DE S F, PASQUARIELLO MS, et al. The effect of chitosan coating on the quality and nutraceutical traits of sweet cherry during postharvest life [J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2015, 8(2): 394-408.
- [29] YAO S, CAO Q, XIE J, et al. Alteration of sugar and organic acid metabolism in postharvest granulation of Ponkan fruit revealed by transcriptome profiling [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 139: 2-11.
- [30] 高丽,龙勇,李红章,等.采收成熟度对晚熟大雅柑橘品质特性及其风味的影响[J].*食品与发酵工业*,2023,49(22): 140-148.
- [31] ZHANG J, ZHANG J, SHAN Y, et al. Effect of harvest time on the chemical composition and antioxidant capacity of Gannan navel orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck 'Newhall') juice [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2022, 21(1): 261-272.