

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80683

不同成熟度黄桃非冷害温度下耐贮性及风味差异性分析

周 讯^{1,2} 周慧娟^{1,3} 黄灵湘^{1,2} 叶正文^{1,3} 苏明申^{1,3}
杜纪红^{1,3} 张夏南^{1,3} 李雄伟^{1,3} 张明昊^{1,3}

(1. 上海市农业科学院林木果树研究所, 上海 201403; 2. 长江大学, 湖北 荆州 434023;
3. 上海市设施园艺技术重点实验室, 上海 201403)

摘要: [目的] 研究非冷害温度(12~15℃)条件下不同成熟度黄桃果实风味变化规律, 确定品质劣变点和安全贮藏期。[方法] 以七成熟、八成熟、九成熟‘锦绣’黄桃为试材, 研究温度 12~15℃、相对湿度 85%~90% 条件下, 果实失重率、腐烂率、硬度、可溶性固形物、糖酸和电子鼻传感器响应值的变化, 并对成熟度、贮藏时间及关键品质指标进行相关性分析。[结果] 七成熟果实第 25 天的腐烂率仅为 5%, 显著低于八成熟果实第 15 天的和九成熟果实第 5 天的($P < 0.05$); 贮藏 15~20 d 的七成熟果实硬度相当于第 10 天的八成熟果实和第 5 天的九成熟果实。九成熟果实于第 10 天出现蔗糖含量峰值, 较其他两个成熟度果实早 5 d, 贮藏 15~25 d 的八成熟果实中蔗糖含量显著高于九成熟果实; 贮藏 0~20 d, 七成熟和八成熟果实中梨醇含量显著高于九成熟果实($P < 0.05$); 整个贮藏期间, 七成熟果实中苹果酸、柠檬酸含量均显著高于其他两个成熟度果实; 贮藏第 0, 10, 25 天, 3 个成熟度果实的电子鼻传感器响应值均可被完全区分开, 贮藏第 10, 25 天为果实挥发性物质代谢的关键时间点。贮藏时间和采摘成熟度对果实腐烂率、带皮硬度、果肉组织硬度、糖酸含量和电子鼻传感器响应值均有一定的调控作用, 其中梨醇与果实硬度、蔗糖、苹果酸和电子鼻传感器响应值显著相关, 硫化氢类挥发性物质易受贮藏时间、果实硬度和糖酸含量的影响。[结论] 12~15℃下, 七成熟、八成熟、九成熟果实的安全贮藏期分别为 15~20, 10~15, 5 d。

关键词: 成熟度; 非冷害温度; 黄桃; 耐贮性; 风味

Analysis of difference in storability and flavor of yellow peaches with different maturities at non-chilling injury temperatures

ZHOU Xun^{1,2} ZHOU Huijuan^{1,3} HUANG Lingxiang^{1,2} YE Zhengwen^{1,3} SU Mingshen^{1,3}
DU Jihong^{1,3} ZHANG Xianan^{1,3} LI Xiongwei^{1,3} ZHANG Minghao^{1,3}

(1. Forest and Fruit Tree Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China;
2. Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434023, China; 3. Shanghai Key Laboratory of Protected Horticultural
Technology, Shanghai 201403, China)

Abstract: [Objective] To study the flavor changes of yellow peaches with different maturities at non-chilling injury temperatures (12~15℃), as well as to determine the quality deterioration point and safe storage period. [Methods] Using 70%- , 80%- and 90%-ripened "Jinxiu" yellow peaches as materials, this paper studies the changes in the weight loss rate, rotting rate, firmness, soluble solids, sugar, acid and electronic nose sensor response values of the peaches under the temperature of 12~15℃ and relative humidity of 85%~90%, and carries

基金项目: 上海市科委项目(编号: 22N51900700); 上海市农委项目(编号: 沪农科推字[2020]第 2-14 号); 农业农村部项目(编号: CARS-30); 上海市农业科学院卓越团队建设(编号: 沪农科卓[2023]004)

通信作者: 周慧娟(1985—), 女, 上海市农业科学院研究员, 博士。E-mail: zhouhuijuan@163.com

收稿日期: 2024-07-15 **改回日期:** 2025-02-05

引用格式: 周讯, 周慧娟, 黄灵湘, 等. 不同成熟度黄桃非冷害温度下耐贮性及风味差异性分析[J]. 食品与机械, 2025, 41(3): 116-125.

Citation: ZHOU Xun, ZHOU Huijuan, HUANG Lingxiang, et al. Analysis of difference in storability and flavor of yellow peaches with different maturities at non-chilling injury temperatures[J]. Food & Machinery, 2025, 41(3): 116-125.

out the correlation analysis of maturities, storage time and key quality indexes. **[Results]** The rotting rate of 70%-ripened peaches on the 25th day is only 5%, significantly lower ($P<0.05$) than that of 80%-ripened peaches on the 15th day and 90%-ripened peaches on the 5th day. The firmness of 70%-ripened peaches stored for 15~20 days is equivalent to that of 80%-ripened peaches stored for 10 days and 90%-ripened peaches stored for 5 days. The sucrose content of 90%-ripened peaches peaks on the 10th day, which is 5 days earlier than 80%- and 90%-ripened peaches. The sucrose content of 80%-ripened peaches stored for 15~25 days is significantly higher than that of 90%-ripened peaches. Under a storage period of 0~20 days, the sorbitol content of 70%- and 80%-ripened peaches is significantly higher than that of 90%-ripened peaches ($P<0.05$). In the entire storage period, the content of malic acid and citric acid in 70%-ripened peaches is significantly higher than that in 80%- and 90%-peaches. The electronic nose sensor response values of all three groups of peaches at 0, 10, and 25 days can be completely distinguished, and day 10 and day 25 are the key time points for the metabolism of volatile substances in peaches. Storage time and picking maturity have a certain regulatory effect on the fruit rotting rate, firmness with peel, flesh tissue firmness, sugar and acid content, and electronic nose sensor response values. Among these, sorbitol is significantly correlated with fruit firmness, sucrose, malic acid, and electronic nose sensor response values, and hydrogen sulfide-related volatile substances are easily affected by storage time, fruit firmness, and sugar and acid content **[Conclusion]** At 12~15 °C, the safe storage period of 70%-, 80%- and 90%-ripened peaches are 15~20, 10~15 and 5 days respectively.

Keywords: maturity; non-chilling injury temperature; yellow peach; storability; flavor

‘锦系列’鲜食黄桃是中国的主栽桃品种,由于其肉质糯、酸甜适口、芳香浓郁,市场潜力巨大^[1]。采摘成熟度是影响果实风味、耐贮性和商品特性的关键因子^[2-3]。目前,除了果实色泽和单果重^[4-5],硬度、可溶性固形物、糖酸和挥发性物质逐渐成为判定采摘成熟度的评价指标^[6]。不同成熟度果实采后软化机制和耐贮性均有一定差异^[7-9],果实硬度的变化与采后风味和挥发性物质代谢密切相关^[10-11],可影响贮藏期间桃^[12]、苹果^[13]等果实的糖酸、酚类物质、维生素C的代谢进程,适宜的采摘成熟度可提高果实贮藏风味^[1]。采摘成熟度可调控果实采后挥发性物质的释放,但通过贮藏达到完熟的桃果实芳香物质含量仍显著低于树上完熟的果实^[14]。乙烯代谢可调控桃果实贮藏风味的呈现,在一定程度上延缓采摘可提高果实贮藏风味和商品价值,过早采摘可导致乙酸乙酯等果实特征性风味物质含量急剧下降^[15]。

桃果实常温易腐,长期低温贮藏($\leq 8^{\circ}\text{C}$)易导致果肉褐变、风味失调和异味产生^[16],高于 12°C 的非冷害温度冷藏即可在一定程度上延缓果实软化,又可使次生物质正常代谢,较好地保持固有风味和质地^[17-19],延缓品质劣变^[20-22]。糖代谢可介导风味物质代谢和衰老进程而影响果实的耐贮性和抗冷性^[23-24]。挥发性物质受贮藏因子的调控较大,基于电子鼻传感器响应值的变化可评价贮藏

效果和腐败变质程度,不但可以区分不同品种桃果实的差异,还可以区别不同贮藏条件下桃果挥发性物质的变化^[25],在桃果实贮藏品质^[26]、果实新鲜度^[27]和瘀伤^[28]预测等研究领域有一定的应用。

非冷害温度贮藏虽然可促进果实的正常成熟和风味形成^[29-30],但对果实软化的抑制作用不显著^[19]。前人关于常温($20\sim 25^{\circ}\text{C}$)和低温($0\sim 4^{\circ}\text{C}$)条件下的桃果实品质劣变机理及调控技术的研究较多,而有关非冷害低温贮藏($12\sim 15^{\circ}\text{C}$),尤其是非冷害温度对不同成熟度果实风味和耐贮性的调控作用的研究较少。研究以主栽品种‘锦绣’黄桃为试材,探讨温度 $12\sim 15^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度85%~90%条件下,不同成熟度果实质地、风味、香味和耐贮性的差异性变化,为非冷害温度条件下的复合保鲜技术的研发提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验材料

七成熟、八成熟、九成熟‘锦绣’黄桃(见表1);2023年度采摘于上海市农业科学院黄桃种植基地,分别于盛花期后115 d(七成熟)、120 d(八成熟)、125 d(九成熟)于固定的30株树冠外围高1.2~1.5 m处随机采摘大小均一、色泽均匀、无病虫害、无机械损伤的果实,采摘后立即运至

表1 不同成熟度果实的质量指标

Table 1 Quality indicators of peaches with different maturities

成熟度	盖色和底色	带皮硬度/ ($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$)	果肉组织硬度/ ($\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$)	可溶性固形物 含量/%	盛花期后 时间/d
七成熟	底色青色, 1/5 果面转红色	5.0~7.0	3.5~6.0	10.0~12.5	115
八成熟	底色青色转乳白色, 1/3 果面转粉红色	3.0~5.0	2.0~4.0	11.5~14.5	120
九成熟	底色乳白色, 2/3 果面转粉红色	1.5~3.0	0.7~2.5	11.0~13.5	125

冷库进行分装处理。

1.1.2 仪器与设备

折光仪: ATAGO-1 型, 日本 ATAGO 公司;
无损糖度计: H100F 型, 北京阳光亿事达科技有限公司;
质构仪: TA. XT. Plus 型, 英国 SMS 公司;
色差计: CR-400 型, 日本美能达公司;
高效液相色谱仪: E2695 型, 美国 Waters 公司;
电子鼻: PEN3.5 型, 德国 AIRSENSE 公司;
浓缩仪: Eppendorf Concentrator plus TM 型, 美国 Eppendorf 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 处理 将分选好的果实放置于外衬 0.03 mm 防雾保鲜袋、内衬凹槽的塑料筐中, 单层摆放, 温度 12~15 °C、相对湿度 85%~90% 冷库中贮藏 25 d。每 5 d 测定失重率、腐烂率、带皮硬度、果肉组织硬度、可溶性固形物、果实色差、蔗糖、果糖、葡萄糖、山梨醇、苹果酸、柠檬酸、电子鼻传感器响应值等指标。

1.2.2 指标测定

(1) 失重率: 随机选取固定的 10 个果实, 测定每个贮藏时期的果实质量, 设 3 次重复。按式(1)进行计算失重率。

$$X = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

X ——失重率, %;

W_1 ——贮藏前果实质量, g;

W_2 ——不同贮藏时期果实质量, g。

(2) 腐烂率: 随机选取固定的 30 个果实, 统计每个贮藏时期的果实腐烂情况, 以果实表面出现腐烂为判断依据。按式(2)计算果实腐烂率。

$$Y = \frac{N_0}{N} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

Y ——腐烂率, %;

N_0 ——不同贮藏时期的果实腐烂个数;

N ——调查总果数。

(3) 色差: 参照周慧娟等^[31]的方法。

(4) 质构: 参照周慧娟等^[31]的方法。

(5) 可溶性固形物含量: 参照周慧娟等^[31]的方法。

(6) 糖酸含量: 参照严娟等^[32]和周慧娟等^[12]的方法。

(7) 电子鼻传感器响应值: 参照严娟等^[33]的方法。

1.3 数据处理

采用 IBM SPSS Statistics 22 软件、计算机软件 R (版本 3.5.0)、Excel (Office 2016) 对数据进行显著性和相关性分析。皮尔逊 (Pearson) 相关系数, 绝对值 < 0.3 表示不相关, 0.3~0.7 表示弱相关, 0.7~1.0 表示强相关; $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 失重率和腐烂率变化

由图 1 可知, 随着贮藏时间的延长, 不同成熟度果实失重率和腐烂率均持续上升。贮藏 0~20 d, 不同成熟度果实失重率无显著性差异, 且失重率均 < 6%, 说明成熟度对果实失水无显著的调控作用; 贮藏第 20 天, 九成熟果实失重率高达 11.41%, 显著高于其他两个成熟度果实 ($P < 0.05$), 这与其组织结构解体和腐烂变质有关^[34]。贮藏第 10 天, 九成熟处理组果实腐烂率高达 23.33%, 显著高于其他两个成熟度果实 ($P < 0.05$); 贮藏第 15 天, 八成熟果实腐烂率高达 10%; 贮藏第 25 天, 七成熟果实腐烂率仍低于 7%。说明 12~15 °C 条件下, 采摘成熟度对果实采后腐烂程度和腐败菌侵染有显著的调控作用, 这与成熟度过高, 果实细胞结构不完整、组织结构易解体有关^[35-37]。

2.2 硬度变化

由图 2 可知, 0~5、0~10、0~15 d 分别为九成熟、八成熟和七成熟果实带皮硬度和果肉组织硬度的快速下降期, 贮藏 15~20 d 的七成熟果实硬度相当于第 10 天的八成熟

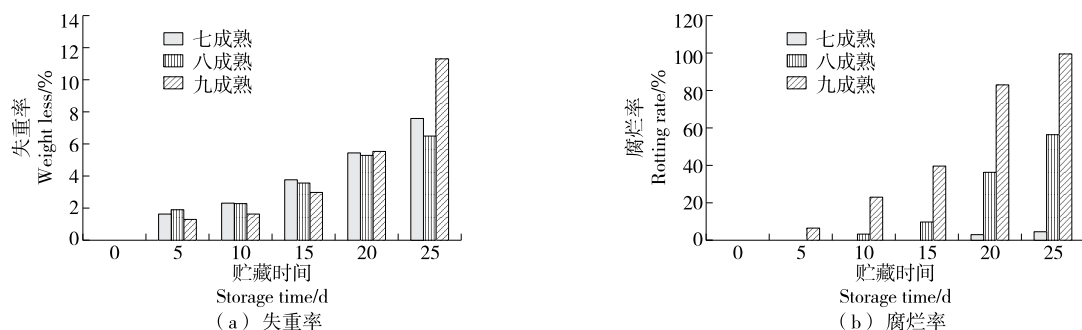


图 1 果实失重率和腐烂率的变化

Figure 1 Changes in weight loss rate and rotting rate

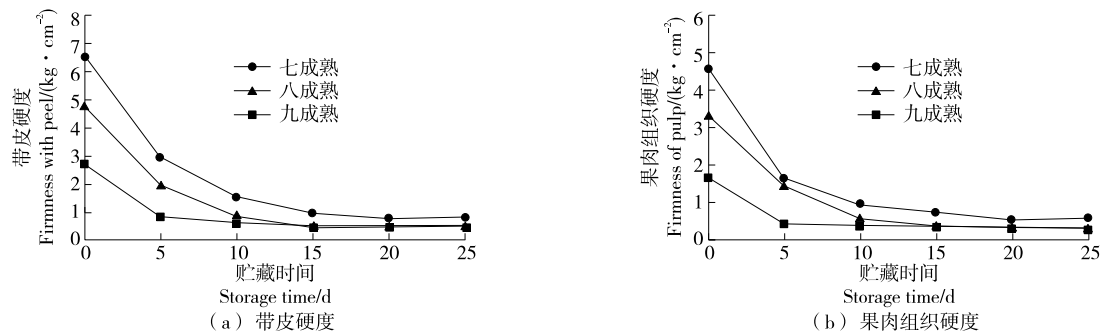


图2 果实硬度的变化

Figure 2 Changes in firmness

和第5天的九成熟果实硬度。果实硬度的快速下降期早于果实快速腐烂期,表明成熟度高的果实软化速度快,果实腐烂率^[7-9]。综合果实硬度和腐烂率的变化,12~15℃条件下,七成熟、八成熟和九成熟果实的安全贮藏期分别为15~20,10,5 d。

2.3 糖和可溶性固形物含量变化

糖含量与果实采后风味和抗性密切相关^[12]。由图3可知,不同成熟度果实蔗糖、果糖、葡萄糖和总糖含量均呈先上升后下降趋势,山梨醇含量呈直线下降趋势。蔗糖作为采后生命活动的代谢底物,可直接参与果实的渗透压、膜和能量代谢^[38]。九成熟果实于第10天出现蔗糖含量峰值,较其他两个成熟度果实早5 d,说明其衰老进程较早^[34];峰值出现后,不同成熟度果实中蔗糖含量均呈下降趋势,抗性降低^[38]。贮藏后期(15~25 d),八成熟果实中蔗糖含量显著高于其他两个成熟度果实($P<0.05$),说明

适宜的采摘成熟度可调控果实贮藏品质和风味;不同成熟度果实中蔗糖含量急剧下降,伴随着果糖、葡萄糖含量的上升,说明随着果实的衰老和腐败变质,蔗糖转化为果糖和葡萄糖,实现供能^[39]。山梨醇与果实的抗性密切相关,整个贮藏期间,不同成熟度果实中山梨醇含量呈急剧下降趋势,七成熟和八成熟果实中山梨醇含量显著高于九成熟果实($P<0.05$),表明亚低温条件下,七成熟和八成熟果实的抗性和耐贮性强^[40]。不同成熟度果实中可溶性固形物含量较为稳定,八成熟果实中可溶性固形物含量显著高于七成熟果实($P<0.05$),这与不同成熟度果实中可溶性固形物含量有差异相关,说明果实初始品质指标对贮藏风味至关重要^[12]。

2.4 苹果酸和柠檬酸含量变化

由图4可知,整个贮藏期间,八成熟和九成熟果实中苹果酸和柠檬酸含量均呈下降趋势,七成熟果实中较为稳

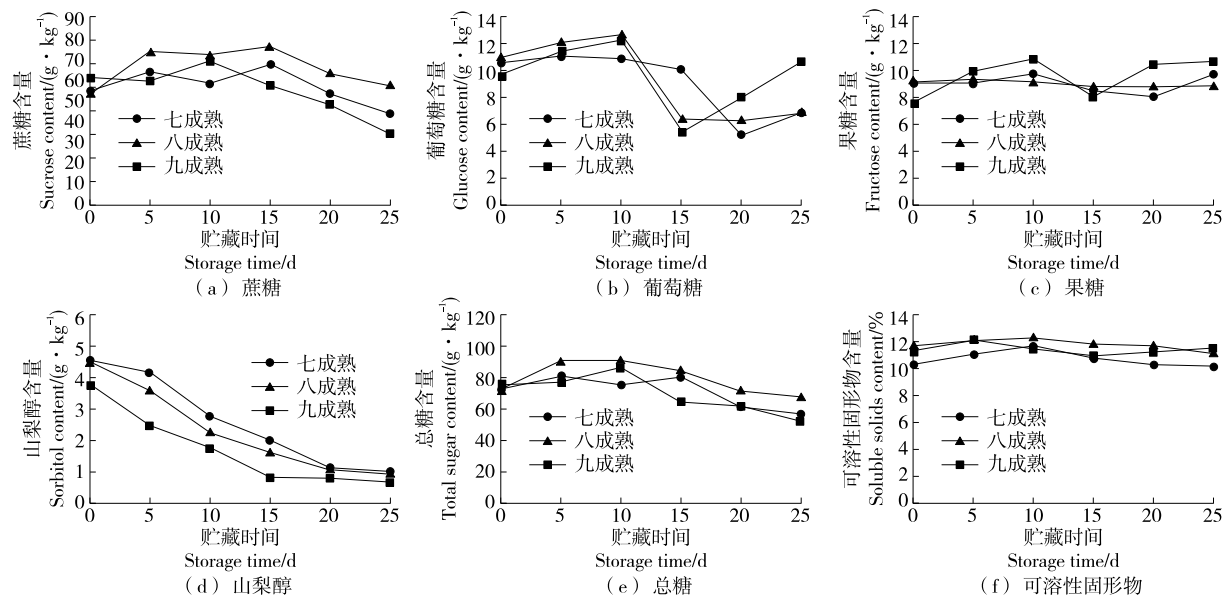


图3 果实糖含量变化

Figure 3 Changes in sugar content

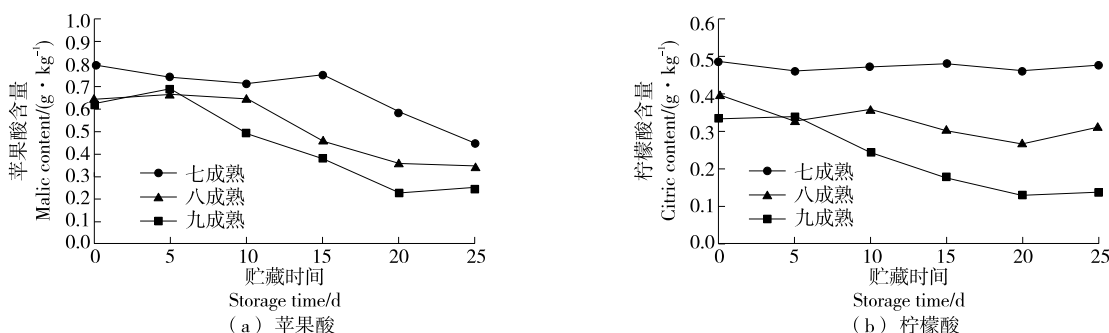


图 4 苹果酸和柠檬酸含量的变化

Figure 4 Changes in malic acid and citric acid content

定。贮藏 5~25 d, 九成熟果实中苹果酸含量下降速率显著高于八成熟果实 ($P < 0.05$), 七成熟果实中苹果酸、柠檬酸含量显著高于其他两个成熟度果实 ($P < 0.05$)。七成熟、八成熟、九成熟果实中苹果酸分别于第 5, 10, 15 天急剧下降, 说明品质开始劣变^[41]。柠檬酸与果实采后风味和抗性密切相关, 九成熟果实中柠檬酸含量于第 5 天急剧下降, 说明抗性降低, 其他两个成熟度果实中柠檬酸含量较为稳定, 与其较耐贮藏的结论一致^[41-42]。

2.5 电子鼻传感器响应值的主成分分析

电子鼻传感器响应值随着贮藏时间的延长和果实的衰老软化而发生变化^[43], 可预测果实采后品质^[44]、贮藏期^[45-46]及病害^[47]。由图 5 可知, 不同成熟度果实的电子鼻传感器响应值第一和第二主成分贡献率分别为 80.89% 和 18.83%, 说明提取的物质信息较完全。贮藏第 0, 10, 15, 20, 25 天的七成熟果实的电子鼻传感器响应值

均可被完全区分开, 说明挥发性物质变化较大; 贮藏 20~25 d 的八成熟果实和贮藏 15~20 d 的九成熟果实的电子鼻传感器响应值无法被区分, 说明此阶段果实挥发性物质相似; 贮藏第 25 天, 九成熟果实的电子鼻传感器响应值又被区分开来, 可能与其发生严重腐败变质有关。贮藏第 0, 10, 25 天的七成熟、八成熟、九成熟果实的电子鼻传感器响应值均可被完全区分开, 说明 10, 25 d 为果实品质形成和劣变的关键时间点, 贮藏第 10 天电子鼻传感器响应值的变化与果实后熟导致挥发性物质合成有关^[48]; 贮藏第 25 天电子鼻传感器响应值的变化与贮藏后期果实腐败变质有关^[28]。综上, 基于电子鼻传感器响应值的变化可判别不同贮藏期的桃果实, 预测其安全贮藏期^[45-46]。后续可将电子鼻传感器响应值与挥发性物质的定量数据进行拟合, 确定关键差异代谢挥发性物质。

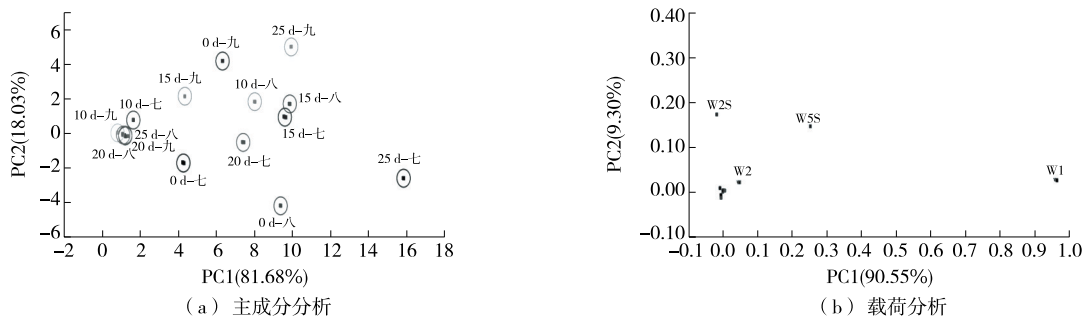


图 5 电子鼻传感器响应值的主成分分析

Figure 5 Principal component analysis of response values of electronic nose sensor

2.6 色泽变化

由图 6 可知, 整个贮藏期间, 果皮色差 L 值和 H 值呈显著下降趋势 ($P < 0.05$), 果肉色差 L 值和 H 值较为稳定。贮藏 15~25 d, 七成熟果实的果皮和果肉色差 L 值、果肉色差 H 值显著高于其他两个成熟度果实 ($P < 0.05$); 贮藏 0~15 d, 八成熟果实的果肉色差 H 值显著高于其他两个成熟度果实 ($P < 0.05$)。综合而言, 亚低温贮藏期间, 八成熟时

采摘的果实可较好地保持其固有的色泽和鲜艳度。

2.7 品质指标相关性分析

由图 7 可知, 受贮藏时间调控大的参数为: 七成熟果实的失重率、腐烂率、带皮硬度、果肉组织硬度、葡萄糖、山梨醇、苹果酸、果皮色差 H 值; 八成熟果实的失重率、腐烂率、带皮硬度、果肉组织硬度、葡萄糖、果糖、山梨醇、苹果酸、柠檬酸、果皮色差 L 值、果皮色差 H 值、W1W (硫化

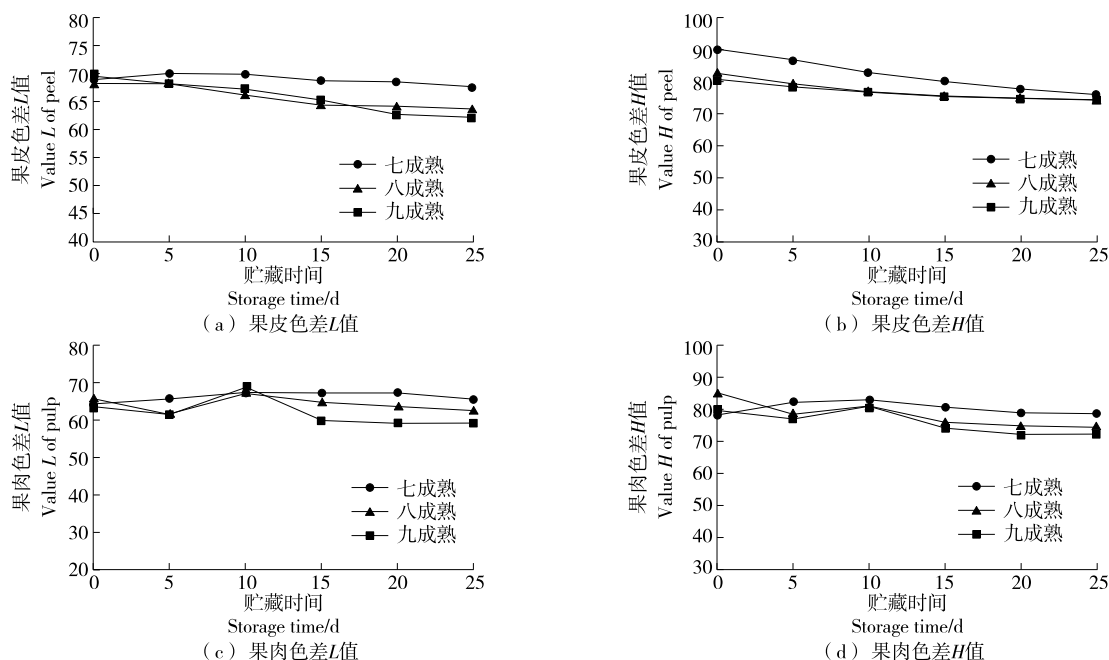


图6 果皮和果肉的色差变化

Figure 6 Color difference changes in peel and pulp

氢类物质)和W5S(氮氧化物);九成熟果实的失重率、腐烂率、带皮硬度、果肉组织硬度、蔗糖、山梨醇、苹果酸、柠檬酸、果皮色差L值、果皮色差H值和硫化氢类物质。

3个成熟度的果实腐烂率与山梨醇和苹果酸含量呈显著负相关。此外,七成熟果实的腐烂率与蔗糖、葡萄糖呈显著负相关,八成熟果实的腐烂率与可溶性固形物、葡萄糖、果糖、硫化氢类物质、W1S(甲烷)和氮氧化物呈显著负相关,九成熟果实的腐烂率与蔗糖、柠檬酸呈显著负相关。说明亚低温贮藏期间,果实软化不是引起果实腐烂变质的唯一因素,提高果实的内在品质可以提升果实的耐贮性和抗病性^[12]。

3个成熟度果实的硬度与山梨醇含量呈显著正相关。此外,八成熟果实的硬度与柠檬酸、硫化氢类物质和氮氧化物呈显著正相关,九成熟果实的硬度与柠檬酸、硫化氢类物质、甲烷和氮氧化物呈显著正相关,说明果实软化可诱导果实风味和电子鼻传感器响应值的变化^[21],成熟度低的果实亚低温期间,虽然果实可正常软化,但对电子鼻传感器响应值无显著性影响^[2,14],随着成熟度的提高,果实软化对电子鼻传感器响应值(挥发性物质)有显著调控作用,具体机理需系统研究,进一步证明了把控果实入库成熟度的重要性^[1,12]。

七成熟果实的山梨醇与葡萄糖、苹果酸呈显著正相关,八成熟果实的山梨醇与葡萄糖、果糖、苹果酸、柠檬酸、硫化氢类物质呈显著正相关,九成熟果实的山梨醇与苹果酸、柠檬酸、挥发性物质硫化氢类物质、甲烷和氮

氧化物呈显著正相关,说明山梨醇是影响果实风味和挥发性物质的重要代谢物质^[40]。

七成熟果实的硫化氢类物质与可溶性固形物、葡萄糖、山梨醇和氮氧化物呈显著正相关,八成熟果实的硫化氢类物质、甲烷和氮氧化物均与果糖、苹果酸呈显著正相关,九成熟果实的硫化氢类物质、甲烷和氮氧化物均与果实带皮硬度、果肉组织硬度、果糖、山梨醇呈显著正相关。说明亚低温贮藏期间,硫化氢类挥发性物质易受果实硬度和糖酸含量的影响,是未来关注的重点^[31]。

2.8 聚类分析和安全贮藏期的界定

由图8可知,七成熟果实的16个品质指标被聚为4个类群:类群I(带皮硬度、果肉组织硬度、果皮色差H值和山梨醇)、类群II(柠檬酸、苹果酸、W1W和果皮色差L值)、类群III(失重率、腐烂率、果糖)和类群IV(可溶性固形物、蔗糖、葡萄糖、W1S和W5S);八成熟果实的16个品质指标被聚类为4个类群:类群I(失重率)、类群II(腐烂率)、类群III(带皮硬度、果肉组织硬度、山梨醇和W1W)和类群IV(葡萄糖、果糖、苹果酸、山梨醇、果皮色差H和L值);九成熟果实的16个品质指标被聚类为4个类群:类群I(失重率、腐烂率)、类群II(可溶性固形物、蔗糖、果糖)、类群III(W1W、W1S和W5S)和类群IV(带皮硬度、果肉组织硬度、山梨醇和果皮色差H值)。

基于16个品质指标的变化,七成熟果实的贮藏期被划分为3个类群:类群I(0d的果品)、类群II(5~15d的果品)和类群III(20~25d的果品);八成熟果实的贮藏期

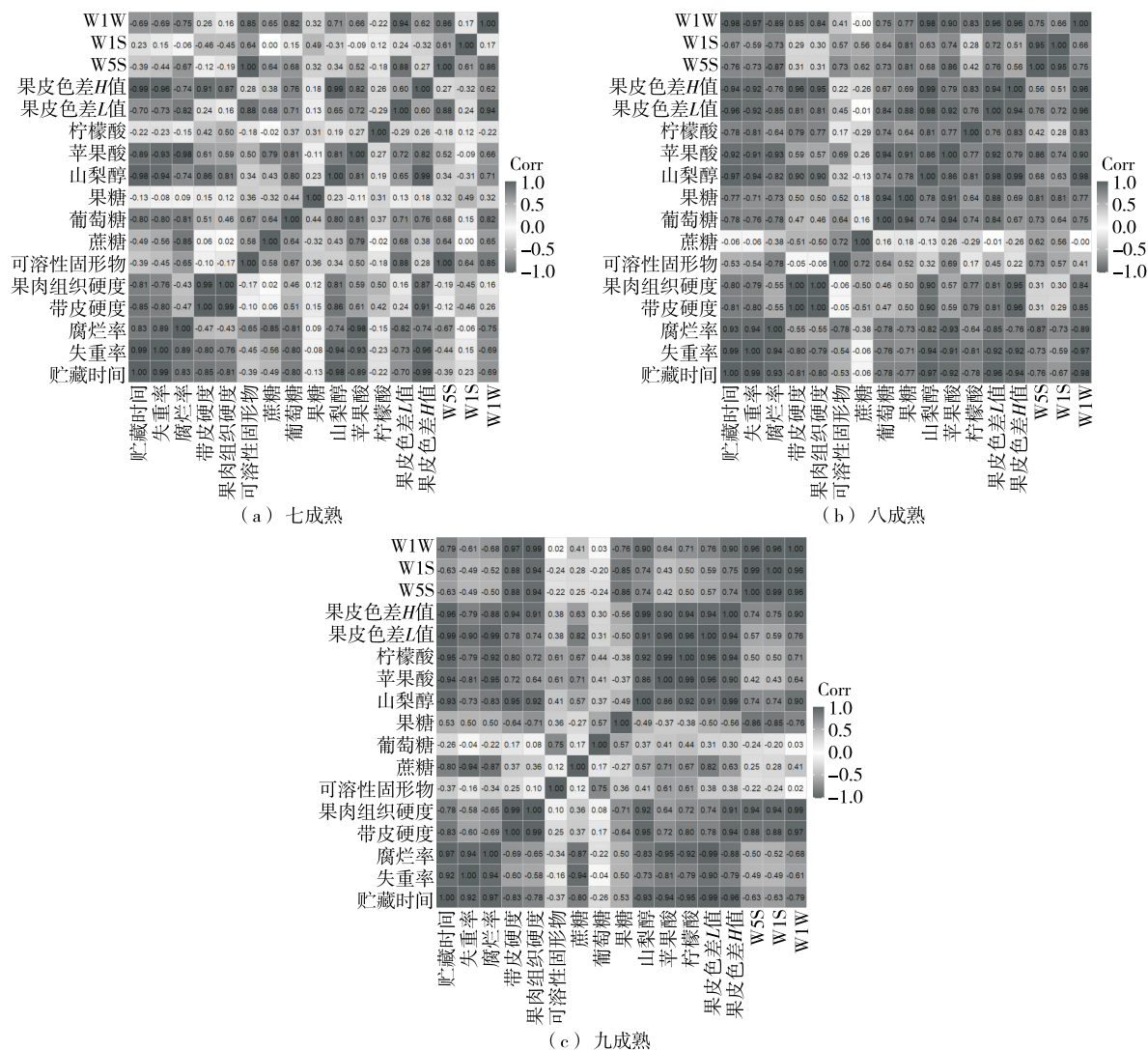


图 7 基于不同成熟度果实品质指标的相关性分析

Figure 7 Correlation analysis based on quality indicators of peaches with different maturities

被划分为 4 个类群:类群 I (0 d 的果品)、类群 II (5 d 的果品)、类群 III (10~15 d 的果品) 和类群 IV (20~25 d 的果品);九成熟果实的贮藏期被划分为 4 个类群:类群 I (0 d 的果品)、类群 II (5~15 d 的果品)、类群 III (20 d 的果品) 和类群 IV (25 d 的果品)。

3 结论

12~15℃亚低温贮藏既可延长果实保鲜期,又可使不同成熟度果实正常软化后熟。适宜的采摘成熟度可延缓果实的腐烂和软化速率,调控贮藏风味;贮藏后期,八成熟果实中蔗糖含量显著高于其他两个成熟度果实($P<0.05$);贮藏 0~20 d,七成熟和八成熟果实中山梨醇含量显著高于九成熟果实($P<0.05$);整个贮藏期间,七成熟果实中苹果酸和柠檬酸含量均显著高于其他两个成熟度果

实。整个贮藏期间,七成熟果实的电子鼻传感器响应值可完全被区分开来,说明其易受贮藏条件调控。0, 10, 25 d 的 3 个成熟度果实的电子鼻传感器响应值均可被完全区分开,说明不同成熟度果实采后期间果实挥发性物质存在差异性。基于电子鼻传感器响应值评价果实特征性挥发性物质的变化,与 GC-MS 定量测定的挥发性物质数据进行拟合,确定差异代谢物质,挖掘代谢通路和关键基因,是贮藏品质和贮藏期预测及机理研究的重点方向之一。

贮藏时间和采摘成熟度对果实腐烂率、带皮硬度、果肉组织硬度、糖酸含量和电子鼻传感器响应值均有一定的调控作用,其中山梨醇与果实硬度、蔗糖、苹果酸和电子鼻传感器响应值显著相关,硫化氢类挥发性物质易受贮藏时间、果实硬度和糖酸含量的影响,为桃果实采后耐

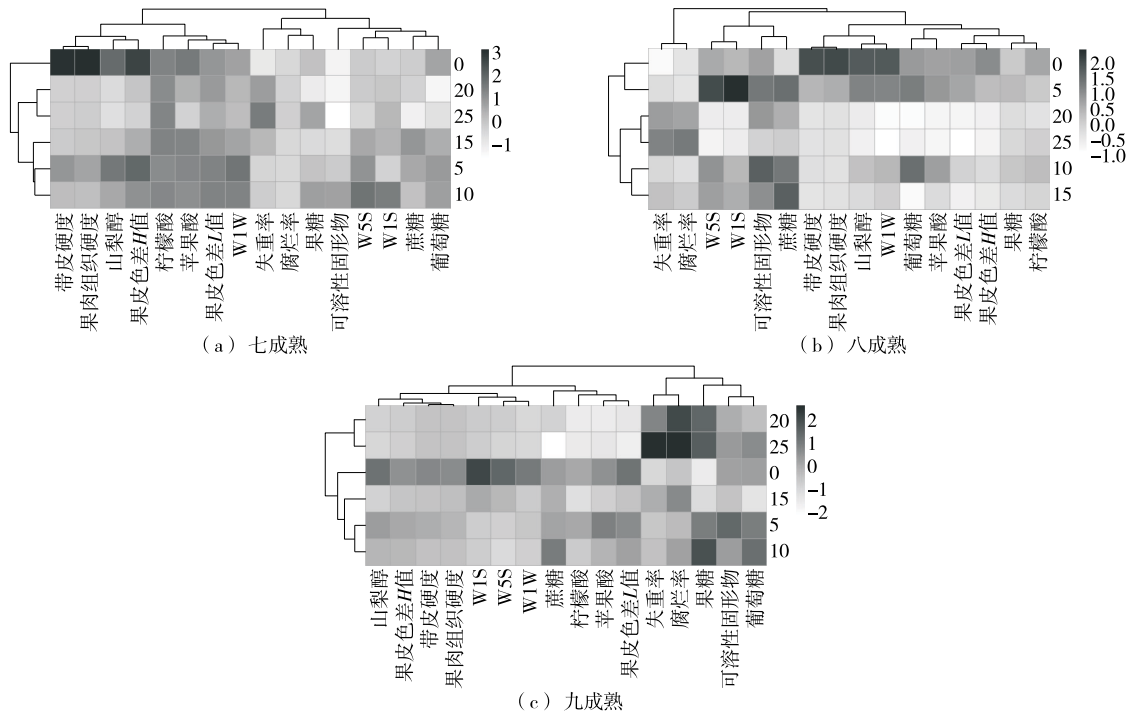


图8 基于3个成熟度桃果实品质指标的聚类分析

Figure 8 Cluster analysis based on quality indicators of peaches with three maturities

贮性和抗病性研究的重要目标物质,具体调控机理需进一步研究。综合得出:12~15℃条件下,七成熟、八成熟、九成熟果实的安全贮藏期分别为15~20,10~15,5 d。

参考文献

- [1] 周慧娟,叶正文,张志强,等. 基于NMR和¹H-MRI技术的不同糖度锦绣黄桃耐贮性评价[J]. 食品与机械, 2022, 38(11): 136-142.
ZHOU H J, YE Z W, ZHANG Z Q, et al. Storage endurance evaluation of 'Jinxiu' yellow peach with different sugar content based on NMR and ¹H-MRI techniques[J]. Food & Machinery, 2022, 38(11): 136-142.
- [2] 田一鸣,王瑞,马超,等. 1-甲基环丙烯对不同成熟度蜂糖李货架品质及挥发性物质影响的研究[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(12): 209-219.
TIAN Y M, WANG R, MA C, et al. Effects of 1-methylcyclopentene on shelf quality and volatile substances of Fengtang plums with different harvest maturity[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(12): 209-219.
- [3] KWEON H J, KANG I K, KIM M J, et al. Fruit maturity, controlled atmosphere delays and storage temperature affect fruit quality and incidence of storage disorders of 'Fuji' apples [J]. Scientia Horticulturae, 2013, 157: 60-64.
- [4] ZHOU H J, YU Z F, YE Z W. Effect of bagging duration on peach fruit peel color and key protein changes based on iTRAQ quantitation[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 246: 217-226.
- [5] 及华,关军锋,孙玉龙,等. 不同采收成熟度黑宝石李冷藏期间品质变化的研究[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(3): 22-25.
JI H, GUAN J F, SUN Y L, et al. Research of quality change for black diamond plums of different maturity during cold storage [J]. Storage & Process, 2010, 10(3): 22-25.
- [6] LURIE S, FRIEDMAN H, WEKSLER A, et al. Maturity assessment at harvest and prediction of softening in an early and late season melting peach[J]. Postharvest Biology and Technology, 2013, 76: 10-16.
- [7] 周慧娟,叶正文,乔勇进. 不同成熟度水蜜桃果实软化的影响因素[J]. 经济林研究, 2012, 30(1): 67-72.
ZHOU H J, YE Z W, QIAO Y J. Related factors of soften of honey peach at different maturity[J]. Nonwood Forest Research, 2012, 30(1): 67-72.
- [8] PÉREZ-LÓPEZ A, CHÁVEZ-FRANCO S H, VILLASEÑOR-PÉREZ C A, et al. Respiration rate and mechanical properties of peach fruit during storage at three maturity stages[J]. Journal of Food Engineering, 2014, 142: 111-117.
- [9] 张志刚,刘玉芳,李长城,等. 不同成熟度对杏果实品质的影响[J]. 浙江农业学报, 2021, 33(8): 1402-1408.
ZHANG Z G, LIU Y F, LIU C C, et al. Effect of different maturity on fruit quality of apricot[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2021, 33(8): 1402-1408.
- [10] POSÉ S, PANIAGUA C, MATAS A J, et al. A nanostructural view of the cell wall disassembly process during fruit ripening and postharvest storage by atomic force microscopy[J]. Trends

- in Food Science & Technology, 2019, 87: 47-58.
- [11] LI C B, XIN M, LI L, et al. Characterization of the aromatic profile of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims) during ripening by HS-SPME-GC/MS and RNA sequencing[J]. Food Chemistry, 2021, 355: 129685.
- [12] 周慧娟, 叶正文, 冯子耀, 等. 基于聚类分析和主成分分析的不同可溶性固形物含量桃的耐贮性和风味差异性比较[J]. 果树学报, 2022, 39(11): 2 149-2 160.
ZHOU H J, YE Z W, FENG Z Y, et al. Comparison of storability and flavor among peach fruits with different soluble solids contents based on clustering and principal component analysis[J]. Journal of Fruit Science, 2022, 39(11): 2 149-2 160.
- [13] LI W H, LIU Z Y, WANG H F, et al. Harvest maturity stage affects watercore dissipation and postharvest quality deterioration of watercore 'Fuji' apples[J]. Postharvest Biology and Technology, 2024, 210: 112736.
- [14] 余意, 张鑫, 张丽平, 等. 采收成熟度和贮藏温度对锦绣黄桃完熟品质的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(4): 334-338.
YU Y, ZHANG X, ZHANG L P, et al. Effect of both harvest maturities and storage temperatures on fruit quality of 'Jinxu' yellow peach[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(4): 334-338.
- [15] 王静, 张辉, 逢焕明, 等. 不同成熟度赛买提杏货架期品质变化的研究[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(6): 1 117-1 121.
WANG J, ZHANG H, PANG H M, et al. The study on the quality changes of the different maturities saimaiti apricot during the shelf-life[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2010, 47(6): 1 117-1 121.
- [16] WANG Q, WEI Y Y, CHEN X Y, et al. Postharvest strategy combining maturity and storage temperature for 1-MCP-treated peach fruit[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(4): e14388.
- [17] 周慧娟, 叶正文, 张夏南, 等. 1-MCP处理结合不同低温条件对水蜜桃风味质地及生理的影响[J]. 食品与机械, 2022, 38(3): 139-146.
ZHOU H J, YE Z W, ZHANG X N, et al. Effect of 1-MCP combined with low temperature storage on flavor, texture and physiology of honey peach[J]. Food & Machinery, 2022, 38(3): 139-146.
- [18] ZHOU H J, WANG L F, SU M S, et al. Comparative network analysis reveals the regulatory mechanism of 1-methylcyclopropene on sugar and acid metabolisms in yellow peach stored at non-chilling temperatures[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2024, 216: 109100.
- [19] YU F, SHAO X F, YU L N, et al. Proteomic analysis of postharvest peach fruit subjected to chilling stress or non-chilling stress temperatures during storage[J]. Scientia Horticulturae, 2015, 197: 72-89.
- [20] DONG X R, HE Y, YUAN C S, et al. Controlled atmosphere improves the quality, antioxidant activity and phenolic content of yellow peach during the shelf life[J]. Antioxidants, 2022, 11(11): 2 278.
- [21] LEHNER T B, SIEGMUND B. The impact of ventilation during postharvest ripening on the development of flavour compounds and sensory quality of mangoes (*Mangifera indica* L.) cv. Kent[J]. Food Chemistry, 2020, 320: 126608.
- [22] LI Y, LI L, ZHANG X P, et al. Differences in total phenolics, antioxidant activity and metabolic characteristics in peach fruits at different stages of ripening[J]. LWT, 2023, 178: 114586.
- [23] ABIDI W, CANTÍN C M, JIMÉNEZ S, et al. Influence of antioxidant compounds, total sugars and genetic background on the chilling injury susceptibility of a non-melting peach (*Prunus persica* (L.) Batsch) progeny[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 95(2): 351-358.
- [24] LAUXMANN M A, BORSANI J, OSORIO S, et al. Deciphering the metabolic pathways influencing heat and cold responses during post-harvest physiology of peach fruit[J]. Plant, Cell & Environment, 2014, 37(3): 601-616.
- [25] HUI G H, WU Y L, YE D D, et al. Study of peach freshness predictive method based on electronic nose[J]. Food Control, 2012, 28(1): 25-32.
- [26] WEI X, ZHANG Y C, WU D, et al. Rapid and non-destructive detection of decay in peach fruit at the cold environment using a self-developed handheld electronic-nose system[J]. Food Analytical Methods, 2018, 11(11): 2 990-3 004.
- [27] 江琳琳, 潘磊庆, 屠康, 等. 基于电子鼻对水蜜桃货架期评价的研究[J]. 食品科学, 2010, 31(12): 229-232.
JIANG L L, PAN L Q, TU K, et al. Freshness evaluation of juicy peach by electronic nose[J]. Food Science, 2010, 31(12): 229-232.
- [28] 马淑凤, 王周平, 丁占生, 等. 应用电子鼻技术对水蜜桃储藏期内品质变化的研究[J]. 食品与生物技术学报, 2010, 29(3): 390-394.
MA S F, WANG Z P, DING Z S, et al. Study on the quality of juicy peaches during store using an electronic nose[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2010, 29(3): 390-394.
- [29] XU Y H, LI S E, HUAN C, et al. Effects of 1-methylcyclopropene treatment on quality and anthocyanin biosynthesis in plum (*Prunus salicina* cv. Taoxingli) fruit during storage at a non-chilling temperature[J]. Postharvest Biology and Technology, 2020, 169: 111291.
- [30] VITHANA M D K, SINGH Z, JOHNSON S K. Cold storage temperatures and durations affect the concentrations of luteol, mangiferin, phenolic acids and other health-promoting compounds in the pulp and peel of ripe mango fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 139: 91-98.
- [31] 周慧娟, 高晓沅, 叶正文, 等. 基于相关性和时序分析的鲜食黄桃安全贮藏期的确定及品质预测[J]. 食品与机械, 2022,

- 38(8): 144-151, 226.
- ZHOU H J, GAO X F, YE Z W, et al. Prediction of safe storage period and quality of fresh yellow peach based on correlation and time series analysis[J]. Food & Machinery, 2022, 38(8): 144-151, 226.
- [32] 严娟, 蔡志翔, 马瑞娟, 等. 高效液相色谱搭载可变波长检测器测定桃果肉中糖组分[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(4): 887-892.
- YAN J, CAI Z X, MA R J, et al. Determination of sugars in peaches by high-performance liquid chromatography with variable wavelength detector[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2015, 31(4): 887-892.
- [33] 严娟, 蔡志翔, 张明昊, 等. 利用电子鼻评价桃果实香气[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(1): 274-282.
- YAN J, CAI Z X, ZHANG M H, et al. Evaluation of aroma in peach fruit by electronic nose[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2021, 22(1): 274-282.
- [34] ZHU X, HOU Y Y, ZHAO Y T, et al. Effects of salicylic acid treatment on cell ultrastructure of apricot fruits during cold storage[J]. Food Science, 2014, 35(14): 193-197.
- [35] 周慧娟, 叶正文, 王戈, 等. 采前套袋对黄肉桃货架期果皮超微结构的影响[J]. 果树学报, 2016, 33(8): 1 000-1 006.
- ZHOU H J, YE Z W, WANG G, et al. Effect of preharvest bagging on ultrastructural changes of yellow-peach pericarp during shelf-life[J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(8): 1 000-1 006.
- [36] DENG L Z, MUJUMDAR A S, YANG X H, et al. High humidity hot air impingement blanching (HHAIB) enhances drying rate and softens texture of apricot via cell wall pectin polysaccharides degradation and ultrastructure modification[J]. Food Chemistry, 2018, 261: 292-300.
- [37] SUN F J, HAN M Y, ZHAO C P, et al. Effect of harvest maturity on storage quality of nectarine and flesh cell ultrastructure[J]. Journal of Fruit Science, 2009, 26(4): 450-455.
- [38] WANG L F, ZHENG X L, YE Z W, et al. Transcriptome co-expression network analysis of peach fruit with different sugar concentrations reveals key regulators in sugar metabolism involved in cold tolerance[J]. Foods, 2023, 12(11): 2 244.
- [39] CHEN T, ZHANG Z Q, LI B Q, et al. Molecular basis for optimizing sugar metabolism and transport during fruit development[J]. aBIOTECH, 2021, 2(3): 330-340.
- [40] ZHOU H J, SU M S, DU J H, et al. Crucial roles of sorbitol metabolism and energy status in the chilling tolerance of yellow peach[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2023, 204: 108092.
- [41] 周慧娟, 王忠, 叶正文, 等. 不同类型桃果实采后糖酸代谢的差异性分析[J]. 经济林研究, 2016, 34(3): 30-41.
- ZHOU H J, WANG Z, YE Z W, et al. Difference analysis on postharvest sugar and acid metabolism in different types of peach fruits[J]. Nonwood Forest Research, 2016, 34(3): 30-41.
- [42] ETIENNE C, MOING A, DIRLEWANGER E, et al. Isolation and characterization of six peach cDNAs encoding key proteins in organic acid metabolism and solute accumulation: involvement in regulating peach fruit acidity[J]. Physiologia Plantarum, 2002, 114(2): 259-270.
- [43] 刘强, 张婷婷, 周丹丹, 等. 基于电子鼻技术对草莓采后灰霉病的分析与早期诊断[J]. 食品科学, 2022, 43(12): 341-349.
- LIU Q, ZHANG T T, ZHOU D D, et al. Quantitative analysis and early detection of postharvest gray mold in strawberry fruit using electronic nose[J]. Food Science, 2022, 43(12): 341-349.
- [44] RIZZOLO A, BIANCHI G, VANOLI M, et al. Electronic nose to detect volatile compound profile and quality changes in 'spring Belle' peach (*Prunus persica* L.) during cold storage in relation to fruit optical properties measured by time-resolved reflectance spectroscopy[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2013, 61(8): 1 671-1 685.
- [45] PAN L Q, ZHANG W, ZHU N, et al. Early detection and classification of pathogenic fungal disease in post-harvest strawberry fruit by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Research International, 2014, 62: 162-168.
- [46] 周慧娟, 叶正文, 曾思懿, 等. 砂梨品种果实冷藏期间质地及品质差异性评价[J]. 食品与机械, 2023, 39(1): 125-131.
- ZHOU H J, YE Z W, ZENG S Y, et al. Evaluation on fruit texture and quality of different pear varieties during cold storage[J]. Food & Machinery, 2023, 39(1): 125-131.
- [47] GUO Z M, GUO C, CHEN Q S, et al. Classification for *Penicillium expansum* spoilage and defect in apples by electronic nose combined with chemometrics[J]. Sensors, 2020, 20(7): 2 130.
- [48] 张鹏, 李江阔, 陈绍慧. 基于电子鼻判别富士苹果货架期的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(5): 272-276.
- ZHANG P, LI J K, CHEN S H. Discrimination of Fuji apples shelf life by electronic nose[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(5): 272-276.