

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

周慧娟^{1,2}, 叶正文^{1,2*}, 冯子耀³, 苏明申^{1,2}, 杜纪红^{1,2},
张夏南^{1,2}, 李雄伟^{1,2}, 张明昊^{1,2}, 胡洋^{1,2}

(¹上海市农业科学院林木果树研究所, 上海 201403; ²上海市设施园艺技术重点实验室, 上海 201403; ³上海交通大学数学科学学院, 上海 200240)

摘要:【目的】利用计算机R技术区分不同贮藏期桃果实的质地和风味, 对不同可溶性固形物含量(soluble solids content, SSC)的桃果实的耐贮性及风味进行评价。【方法】以湖景蜜露水蜜桃为试材, 基于SSC将果实分为高、中、低SSC组, 利用质构仪、高效液相色谱仪、电子舌等对贮藏和货架期间果实质构、风味及挥发性物质进行测定和感官评分, 并进行聚类和主成分分析。【结果】基于贮藏时间, 湖景蜜露水蜜桃果实带皮硬度、果肉组织硬度、咀嚼性与果肉脆性呈显著相关; 果糖含量与葡萄糖含量呈显著相关; 电子鼻传感器S6(甲烷)和S7(硫化氢)与传感器S8(乙醇)、传感器S9(芳香成分与有机硫化物)处于3个独立的空間。基于品质和传感器响应值, 贮藏时间可划分为与感官评价相似的分类群。冷藏期间, 高、中SSC组果实保持较高的果肉组织硬度、果肉紧实度、SSC、果糖含量和葡萄糖含量, S6响应值显著低于低SSC组。货架期间, 高、中SSC组果实带皮硬度、果肉组织硬度、咀嚼性、紧实度、SSC、果糖含量和葡萄糖含量及S2、S7、S8、S9响应值均显著高于低SSC组, S6响应值显著低于低SSC组。【结论】提高果实SSC可延长果实的安全贮藏期, 较好地保持果实固有风味; 0~7 d为高、中SSC组果实的优质贮藏期, 14~28 d为安全贮藏期, 不建议SSC低于12%的果实长期冷藏。

关键词: 桃果实; 耐贮性; 风味; 电子鼻; R计算; 可溶性固形物含量

中图分类号: S662.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2022)11-2149-14

Comparison of storability and flavor among peach fruits with different soluble solids contents based on clustering and principal component analysis

ZHOU Huijuan^{1,2}, YE Zhengwen^{1,2*}, FENG Ziyao³, SU Mingshen^{1,2}, DU Jihong^{1,2}, ZHANG Xianan^{1,2}, LI Xiongwei^{1,2}, ZHANG Minghao^{1,2}, HU Yang^{1,2}

(¹Forest and Fruit Tree Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China; ²Shanghai Key Laboratory of Protected Horticultural Technology, Shanghai 201403, China; ³School of Mathematical Sciences of Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: 【Objective】 Texture, color, sugar and acid, soluble solids content (SSC) and volatile compounds are important factors for peach fruit. Fruit quality deterioration, such as loss of flavor, accumulation of harmful substances and chilling injury caused by long-term cold storage or cold-chain transportation, is the main reason that lead to decrease of purchasing power of consumers and hinder the export of fresh fruit. Storage and fresh-keeping technology is an important link to solve the above problems. In addition, more and more enterprises have introduced the classification equipment, based mainly on SSC, which has become an increasingly concerned about internal quality index. However, the correla-

收稿日期: 2022-05-07 接受日期: 2022-06-08

基金项目: 上海市农业科学院攀高计划(PG21221); 国家桃产业技术体系(CARS-30)

作者简介: 周慧娟, 女, 副研究员, 博士, 主要从事果品采后生理与贮藏保鲜技术研究工作。Tel: 021-37195676, E-mail: zhouhuijuan@163.com

com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 021-37195676, E-mail: yezhengwen1300@163.com

tion between SSC and fruit texture, flavor and storability, and the study on storage period and quality divided by quality, SSC, sugar acid and volatile compounds are seldom reported. **【Methods】** In this study, Hujingmilu peach was used as materials. On the premise of the same fruit firmness of pulp (fruit firmness without peel 12.5–21.2 N) based on SSC, the fruit was divided into high SSC group (SSC > 14.5%), middle SSC group (SSC was 12.5%–13.5%) and low SSC group (SSC ≤ 12%). The fruits of different SSC group were placed in plastic baskets lined with grooves, and then precooled and stored in a cold storage at 2–4 °C with 85%–90% relative humidity. Fruit Texture, SSC, sucrose, fructose and glucose contents, sensor value of 10 electronic nose sensors were measured on 0 d, 7 d, 14 d, 21 d, 28 d and 28 d + 3 d, 28 d + 5 d after cold storage, and 10 people were assigned for marking sensory score. The texture and flavor of peach fruit in different storage periods were determined by computer R technology based on clustering and principal component analysis, and the storability and flavor of peach fruit with different SSC contents were evaluated. **【Results】** Based on the storage time, there was a strong correlation between firmness with peel, firmness without peel, chewiness and flesh brittleness, and there was also a strong correlation between fructose and glucose content. The electronic nose sensors S6 (methane) and S7 (hydrogen sulfide) were located in three separate spaces with sensors S8 (ethanol) and S9 (aromatic components and organic sulfides). During cold storage, the fruit with high and medium SSC group maintained higher tissue, firmness, SSC, fructose and glucose content, and S6 response value was significantly lower than that with low SSC group. During shelf life, the firmness with peel, firmness without peel, chewiness and flesh brittleness, SSC, fructose and glucose contents and S2, S7, S8, S9 sensor value with high and medium group were significantly higher than those with low group, and the S6 sensor value was significantly lower than that with the low group. On the basis of quality and sensor value, storage time can be divided into groups similar to sensory evaluation. There were some differences among fruit groups with different SSC contents. Cluster analysis can be used to classify fruit with high and medium SSC at 3 d and 5 d of shelf-life, which showed that increasing SSC contents can prolong shelf-life and maintain shelf-life quality. Among them, the partition of sensor value of high SSC group fruit was advanced to 0–7 days compared with 10 quality parameters (cluster group I 0–21 d) and 10 sense scores (cluster group I 0–14 d), and the criterion of storage quality evaluation should be further optimized. **【Conclusion】** Improving SSC contents in fruit can prolong the safe storage period of fruit and keep the inherent flavor of fruit. High SSC fruit stored 0–14 days with 3 and 5 d of shelf life, and medium SSC group fruit stored 0–7 days were classified as high-quality commercial fruits, and the high SSC fruit stored at 14–28 d and the medium-sugar fruits stored at 7–21 d with 3d of shelf life were classified as commercial fruits. It is recommended that fruit with SSC below 12% should not be refrigerated for longer than 7 days.

Key words: Peach fruit; Storability; Flavor; Electronic nose; R calculation; Soluble solids content

长期冷藏或冷链运输导致的桃果实风味丧失、有害物质积累及冷害等品质劣变问题是导致消费者购买力下降和阻碍鲜果出口的主要原因^[1],贮藏保鲜则是桃产业减损增效、促进产业可持续发展的重要环节^[2]。质构、色泽、糖酸和可溶性固形物含量(soluble solids content, SSC)和挥发性物质是构成桃果实品质的重要因素^[3-4]。由于越来越多的企业引进分级设备,且主要以SSC为分级依据,SSC日益成为被关注的内在品质指标。然而,SSC与果实质构、风味及

贮藏特性的相关性,综合质构、SSC、糖酸和挥发性物质含量等因素划分贮藏期和品质的研究鲜有报道。

SSC是糖酸、氨基酸等物质的总和,也是挥发性物质代谢的底物^[3-5],主要反映了可溶性糖含量的变化^[6];贮藏期间,SSC、糖酸和挥发性物质随果实的软化而发生变化,从而影响贮藏风味^[4]。糖含量可介导桃果实的风味代谢和成熟衰老进程,从而影响果实的贮运性和贮藏风味^[7-9]。提高果实的糖含量,可较好地维持冷藏期间桃果实膜稳定性,提高果实的

低温耐受性^[10-11]。挥发性物质是桃果实品质的主要评价指标,成为学者评价桃果实资源性状和技术的主要参数。电子鼻技术由意大利学者 di Natale 等^[12]提出,并对桃果实挥发性物质进行了评价,在桃果实成熟度^[13]、贮藏品质^[14-16]、果实新鲜度^[17]和瘀伤^[18]等研究领域有一定的应用,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及贮藏后货架期的桃果挥发性物质的变化^[19],已成为桃果实挥发性物质检测的成熟手段之一。

前人多通过果实色泽、硬度和腐烂率的变化确定果实的贮藏期,其他品质鲜有涉及。加之内在品质的测定多为有损测定、果实个体的差异大,为入库品质的把控和贮藏期的预测带来一定难度。随着仪器分析及信息数据化的发展,有效、全面且快速地对复杂数据进行提取与处理,对果蔬的贮运和安全品质的预测至关重要。化学计量法是综合了数据、统计学和计算机等学科于一体的科学处理方法,能最大限度地挖掘出定性定量的信息,对复杂数据进行有效的分析和处理^[20],主要包括主成分分析、聚类分析及判别分析等的定性判别,多元线性回归、偏最小二乘法、人工神经网络及支持向量机等定量预测^[21]。前人多利用单因素指标对果实的贮藏时间进行判别和划分,而控制果实的入库品质,利用计算机 R 计算、综合果实风味、质构、香气等综合性指标进行聚类分析,预测果实的安全贮藏期和品质显得尤为重要。笔者在本研究中以长三角主栽品种湖景蜜露水蜜桃为试材,基于计算机 R 技术对贮藏、货架期间的果实品质和传感器响应值进行聚类、PCA 主成分分析,对不同 SSC 的桃果实耐贮性及风味进行评价,探讨 SSC 对果实质构、风味及耐贮性的影响,为果实品质分级和保鲜技术的研发提供一定的理论支撑。

1 材料和方法

1.1 试验材料

以上海市农业科学院果树种植基地(121.47°E, 30.92°N)种植的湖景蜜露水蜜桃果实为试材,试验园树龄 10 a(年),果实套黄袋。2021 年 7 月 10 日,分别于 60 株树冠外围高 1~2 m 处随机采取 5000 个硬度一致(果肉组织硬度 12.5~21.2 N)、大小均匀、色泽均一、无机械伤和病虫害的果实,立即运回上海市农业科学院林木果树研究所实验室和冷库进行试验处理。

1.2 试验方法

在果实硬度一致的前提下(果肉组织硬度 12.5~21.2 N),用无损糖度计(H100F 型)对 5000 个果实进行 SSC 测定,按照 SSC,将果实分为以下 3 个处理组:高 SSC 组(SSC>14.5%,占比 18.5%)、中 SSC 组(SSC 为 >12.0%~14.5%,占比 60.5%)、低 SSC 组(SSC ≤ 12.0%,占比 21.0%)。每个处理组 600 个果实,设 3 个重复,共计 1800 个果实。将不同 SSC 组果实单层、裸果放置于内衬凹槽的塑料筐中,于温度为(2.0 ± 0.5)°C、相对湿度为 85%~90%的冷库中预冷和贮藏。对冷藏 0、7、14、21、28、31 d[(28+3) d]、33 d[(28+5) d]货架期果实质构、SSC、蔗糖含量、果糖含量、葡萄糖含量、挥发性物质含量进行测定,并固定 10 个人员进行感官评分。

1.3 指标测定

SSC:每次随机取 20 个果实,取果实缝合线左右赤道部位对称部位果肉,用手持阿贝折光仪测定未经稀释的汁液 SSC。

质构:使用质构仪搭配直径为 5 mm 圆柱形探头(P/5),选用 Two deformation test(TDT)进行 2 次下压,测前速度 60 mm·min⁻¹,测试速度 120 mm·min⁻¹,测后速度 600 mm·min⁻¹,触发力 0.049 N。第 1 次下压距离为 3 mm,测定参数为果皮硬度、果皮脆性,第 2 次下压距离为 20 mm,获得参数为果肉硬度、果肉紧实度、果肉脆性。

蔗糖、果糖、葡萄糖含量:参照严娟等^[22]的方法并加以优化。取样品 20 g,用液氮研磨仪磨成粉末。取 3 份约 0.5 g 粉末于离心管中,加入 5 mL 提取液(无水乙醇和 0.4%偏磷酸,体积比 4:1),浸提 24 h,10 000 r·min⁻¹离心 10 min。取上清液进行浓缩,超纯水溶解后,过 0.22 μm 的滤膜,待测。用 e2695 高效液相色谱仪(美国 Waters 公司)进行糖含量测定,检测条件:使用 10 μm 粒径、6 mm×250 mm 的 CARBOSep CHO-620CA 色谱柱,柱温 80 °C,使用示差折光检测器,进样量 15 μL,流动相为超纯水。进样 3 次重复。

挥发性物质:参照严娟等^[23]的方法并加以优化。使用德国 AIRSENSE 公司 PEN3.5 型便携式电子鼻,包含 S1 芳香苯类(W1C)、S2 氮氧化物(W5S)、S3 氨类(W3C)、S4 氢气(W6S)、S5 烷烃(W5C)、S6 甲烷(W1S)、S7 硫化氢(W1W)、S8 乙醇(W2S)、S9 芳香成分与有机硫化物(W2W)和 S10 芳香烷烃(W3S)10 个金属氧化物传感器阵列。将桃

果实整果5个一组放置于干燥皿中,用橡皮塞封口,于25℃静置60 min后测定电子鼻数据。挥发性气体以400 mL·min⁻¹流速通过采集管,清洗时间为60 s,检测时间为240 s,取168~170 s处1~3个稳定信号作为分析的时间点。每个样品重复测定3次。

感官评定:由10位固定的评价员对贮藏期间的样品进行感官评价,以10位评价员的感官得分平均

值作为水蜜桃果实的最终感官得分。采用色差、质构、风味、香气4个模块对待测样品进行打分,1到10分分别代表优质商品果、一般商品果、可接受商品果、非商品果。具体如下:优质商品果,感官评分为>8.5~10.0;商品果,感官评分为>7.0~8.5;一般商品果,感官评分为>5.0~7.0;非商品果,感官评分为>0.0~5.0。水蜜桃感官评价标准具体见表1。

表1 水蜜桃感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standards of honey peach

等级 Grade	分值 Value	评价标准 Evaluation criteria
优质商品果 High quality commercial fruit	>8.5~10.0	果实呈金黄色,果肉质地硬脆,酸甜可口,香味浓郁 The fruit is golden yellow, the flesh is hard and crisp, sweet and sour, and the aroma is rich
商品果 Commercial fruit	>7.0~8.5	果实呈金黄色,果肉质地硬脆,风味和香味变淡 The fruit is golden yellow, the flesh is hard and crisp, and the flavor and aroma become lighter
一般商品果 Common commercial fruit	>5.0~7.0	果实呈金黄色,果肉组织轻微软化,风味和香味变淡 The fruit is golden yellow with slight softening of pulp tissue and a loss of flavor and aroma
非商品果 Non-commercial fruit	0.0~5.0	果实颜色暗淡,果肉组织严重变软或果肉褐变,风味和香味丧失,有异味产生 The color of the fruit is dull, the pulp tissue becomes soft or the flesh becomes brown, and the flavor and aroma are lost

1.4 数据分析

利用PEN3.5自带的WinMuster软件和IBM SPSS Statistics 22软件对数据进行采集、测量和分析;利用计算机软件R(版本3.5.0)对数据进行主成分分析(PCA)和聚类分析;利用SPSS软件进行品质和各传感器响应值的差异显著性检验,数据显著性差异水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 贮藏期间品质评价体系的构建

色泽、质地及风味是反映果实新鲜度的重要感官特征。如图1所示,贮藏0~14 d和货架期3~5 d的高SSC组及贮藏0~7 d的中SSC组果实感官评分均为8.5以上,果实新鲜,为优质商品果;贮藏14~28 d的高SSC组、贮藏7~21 d和货架期第3天的中SSC组及贮藏0~7 d的低SSC组果实感官评分为>7.0~8.5,为商品果;贮藏21~28 d和货架期第5天的中SSC组果实感官评分为>5.0~7.0,为一般商品果;贮藏14~28 d及货架期3~5 d的低SSC组果实感官评分为0.0~5.0,为非商品果。综合感官评分,高SSC

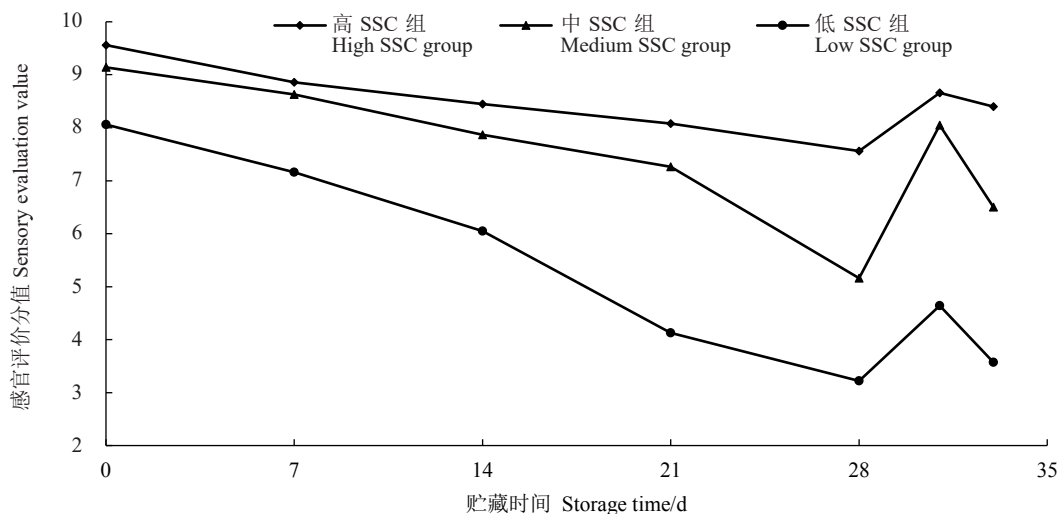


图1 水蜜桃贮藏和货架期间感官评分的变化

Fig. 1 The change of sensory score of honey peach during storage and shelf life

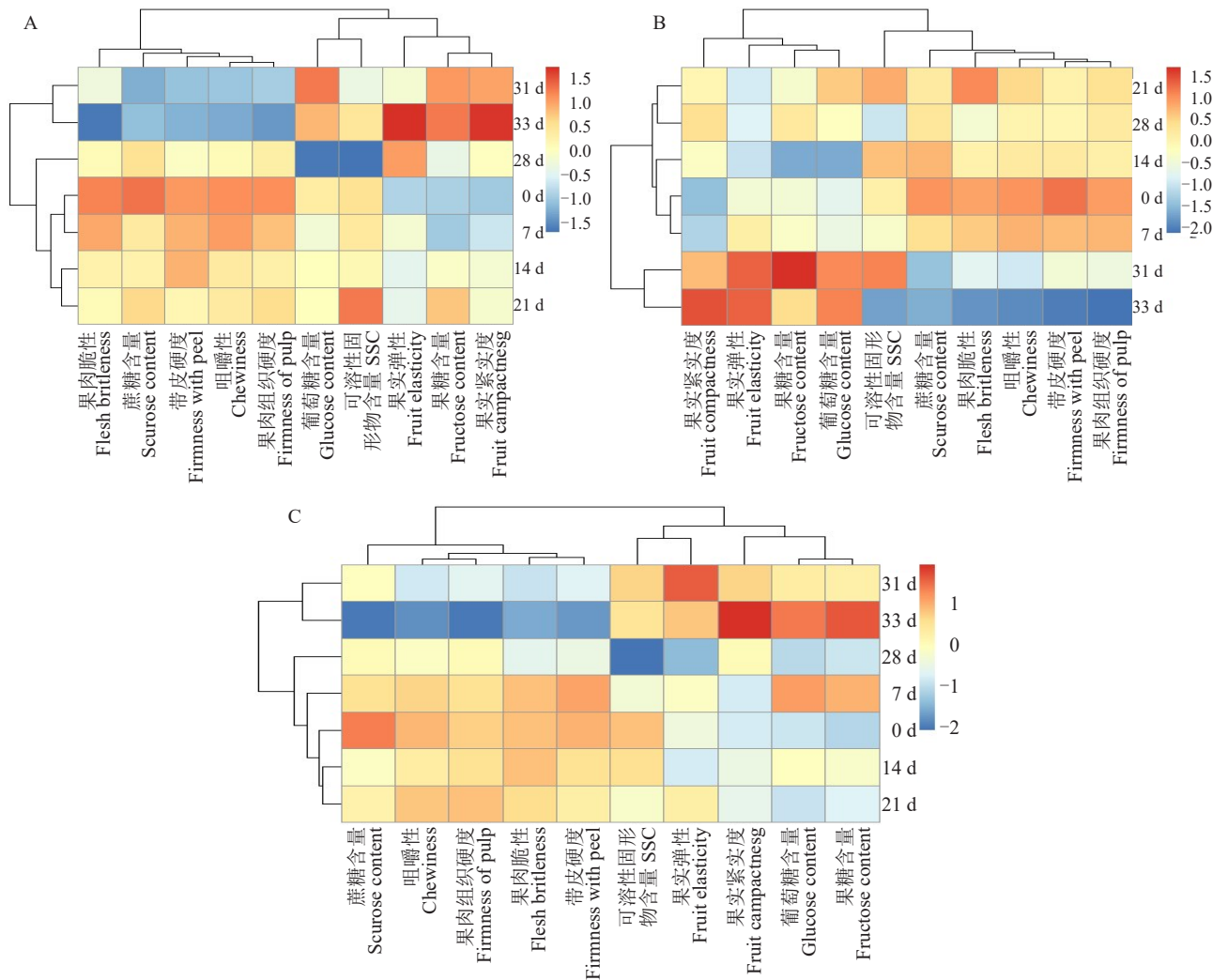
组果实的优质贮藏期为 14 d,安全贮藏期为 28 d,货架期为 3~5 d;中 SSC 组果实的优质贮藏期为 7 d,安全贮藏期为 21 d,货架期可达 3 d;不建议糖度低于 12%的果实长期低温冷藏或冷藏时间超过 7 d。结果表明,随着冷藏时间的延长,桃果实新鲜度和风味逐渐降低;第(28+3)天和第(28+5)天,果实风味有一定的提升,可达到一般商品果的要求,且提高果实的 SSC 可延长果实的冷藏期和货架期。

2.2 高、中、低 SSC 组果实贮藏品质的聚类分析

选用层次聚类分析法中的最短距离法对冷藏及货架期间高、中、低 SSC 组果实品质进行聚类分析,结果如图 2 所示,基于 10 个品质指标的变化,不同贮藏期高、低 SSC 组果实被聚类为 4 个类群,类群 I 包含贮藏 0~21 d 的果品,类群 II 包含贮藏 28 d 的果品,类群 III 包含 (28+3) d 的果品,类群 IV 包含贮藏

(28+5) d 的果品;中 SSC 组果实被聚类为 4 个类群,类群 I 包含贮藏 0~14 d 的果品,类群 II 包含贮藏 21~28 d 的果品,类群 III 包含 (28+3) d 的果品,类群 IV 包含贮藏 (28+5) d 的果品;说明高 SSC 组 0~21 d 及中 SSC 组 0~14 d 的果实综合品质与初始值无显著性差异,且显著高于低 SSC 组果实,贮藏性能佳,与感官打分结果的趋势一致。说明低 SSC 果实对低温更敏感,易发生品质劣变和冷害。

基于贮藏时间的变化,低 SSC 组果实品质指标被聚为 4 个类群,类群 I 包含果肉脆性,类群 II 包含蔗糖含量、带皮硬度、果肉组织硬度、咀嚼性,类群 III 包含 SSC 和葡萄糖含量,类群 IV 包含果实弹性、果肉紧实度和果糖含量;中 SSC 组被聚为 4 个类群,类群 I 包含果肉紧实度,类群 II 包含果实弹性、果糖含量和葡萄糖含量,类群 III 包含 SSC,类群 IV 包含带皮硬



A. 低 SSC 组;B. 中 SSC 组;C. 高 SSC 组。
A. Low SSC group; B. Medium SSC group; C. High SSC group.

图 2 基于水蜜桃品质指标的聚类分析
Fig. 2 Cluster analysis based on peach quality index

度、果肉组织硬度、咀嚼性、果肉脆性和蔗糖含量;高SSC组被聚为4个类群,类群I包含蔗糖含量,类群II包含带皮硬度、果肉组织硬度、咀嚼性和果肉脆性,类群III包含SSC和果实弹性,类群IV包含果肉紧实度、果糖含量和葡萄糖含量。综合得出,果实带皮硬度、果肉组织硬度、咀嚼性与果肉脆性有较显著的相关性,果实弹性、果肉紧实度与其他指标相关性差;果糖与葡萄糖含量有较显著的相关性,蔗糖含量、SSC与其他指标间的相关性差;SSC可调控果实品质指标间的相关性,从而影响果实的耐贮性。

2.3 高、中、低SSC组果实贮藏期间风味特征的主成分分析

为了观察不同贮藏时间的水蜜桃风味特征是否具有明显区别,利用降维的方法对电子鼻10个传感器的响应值进行主成分分析。如图3所示,基于10个传感器的感应值,贮藏期间水蜜桃果实前2个主成分的累计贡献率达75.96%,其中第1主成分(PC1)的

贡献率为59.28%,第2主成分(PC2)的贡献率为16.68%,说明贮藏时间及果实SSC均对果实的挥发性物质有一定的调控作用。从图3-A可知,低SSC组果实的初始值与贮藏7~28 d、(28+5) d的果实及贮藏21 d、(28+3) d的果实在PC2上处于较独立的空间,贮藏14 d、21 d、(28+3) d和(28+5) d的果实在PC1上显示出较好的区分;中SSC组果实的初始值与贮藏14~28 d的果实及贮藏(28+3) d的果实在PC1上处于较明显独立的空间,贮藏0~7 d的果实与贮藏14 d的果实及贮藏21~28 d、(28+3) d和(28+5) d的果实在PC2上显示出较好的区分;高SSC组果实的初始值与贮藏21~28 d及(28+3) d的果实和(28+5) d的果实在PC1上处于较明显独立的空间,贮藏0 d、21 d的果实与贮藏7 d及贮藏14 d、28 d、(28+3) d、(28+5) d的果实在PC2上显示出较好的区分。结果表明,PC1及PC2能反映绝大部分水蜜桃果实贮藏期间电子鼻响应值信息,且不同贮藏时间段的果品在主成分空间中处

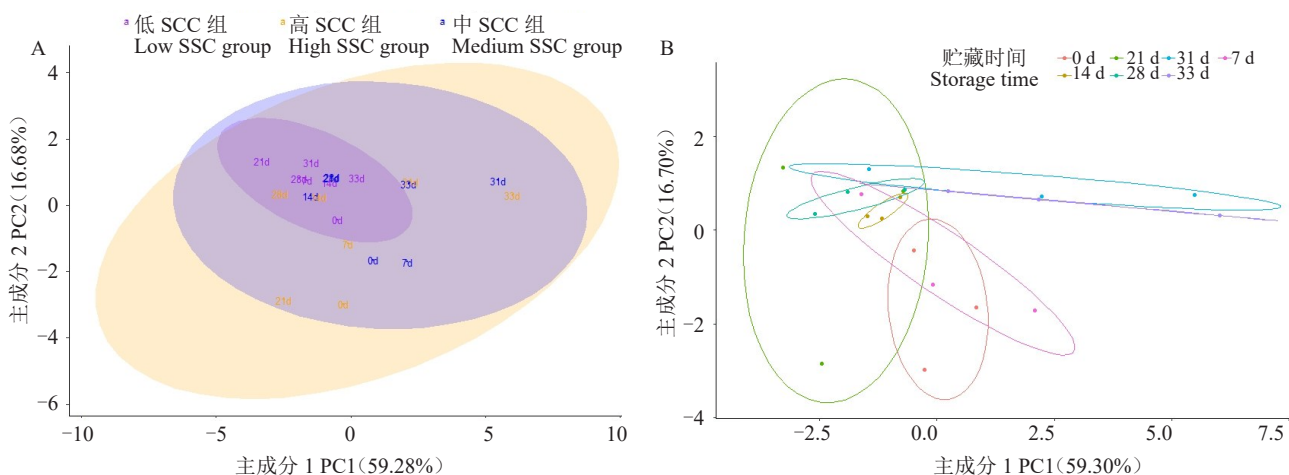


图3 水蜜桃贮藏期间电子鼻响应值的主成分分析

Fig. 3 Principal component analysis (PCA) for honey peach during postharvest storage based on e-nose responses

于相对独立的空间,说明贮藏期间水蜜桃果实的挥发性化合物发生了明显变化,得到了有效区分。冷藏7~28 d的低SSC组果实的电子鼻响应值未得到有效区分,与糖含量低导致冷藏期间果实膜稳定性和低温耐受性差而未影响挥发性物质代谢有关。

由图3-B可知,基于贮藏时间的前2个主成分的累计贡献率达76%,其中PC1的贡献率为59.3%,PC2的贡献率为16.7%。贮藏0~7 d,高、中、低SSC组果实10个传感器的感应值在PC1和PC2上均有较大差异,对挥发性物质的调控作用呈加大趋势;至第14天和28天,对挥发性物质的调控作用最小,3个处理间差异性降低;贮藏第21天、(28+3)天和

(28+5)天,对挥发性物质的调控作用最大,差异性加剧。说明长期低温冷藏抑制果实挥发性物质的释放,货架期挥发性物质恢复代谢,提高SSC可减缓低温对桃果实挥发性物质的抑制作用。

载荷因子是主成分分析中重要变量贡献的集合,载荷分析可以具体显示某个变量对主成分的贡献率。为了从主成分分析模型中获得更多的贮藏期间不同SSC组果实风味特征的差异,对水蜜桃贮藏期间的电子鼻响应值进行载荷分析。如图4所示,在PC1中,贡献率较大的传感器有S2、S9、S7、S8、S4,载荷值均大于0.25,主要敏感的化合物为氮氧化物、芳香成分和硫化物、硫化物、乙醇、氢气;S1(芳香苯

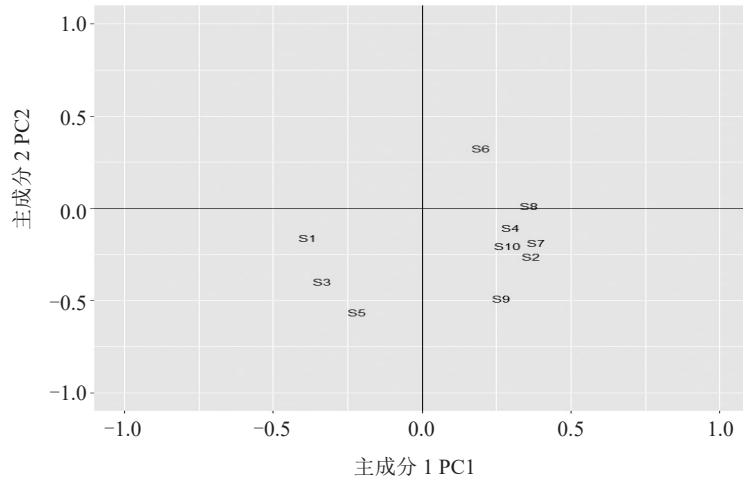


图 4 水蜜桃贮藏期间电子鼻响应值的载荷分析

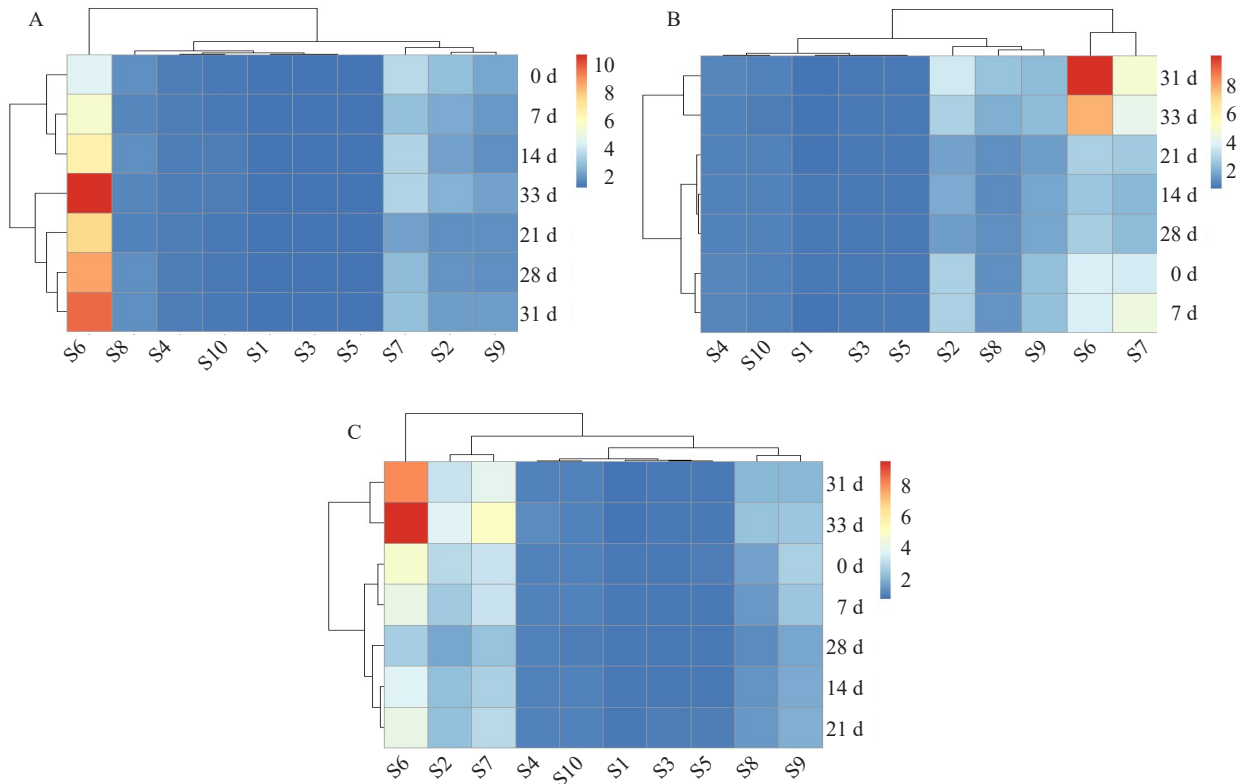
Fig. 4 The loading analysis of honey peach during storage based on e-nose responses

类)、S3(氨类)与PC1呈负相关,载荷接近于-0.5。在PC2中,贡献率较大的传感器是S6,载荷值均大于0.25,主要敏感的化合物为甲烷;S5(烷烃)和S9(芳香成分及硫化物)与PC2呈负相关,载荷接近于-0.5。综上所述,氮氧化合物、芳香成分和硫化物、硫化物、乙醇、氢气、甲烷为湖景蜜露水蜜桃贮藏和货架期间

的关键挥发性物质。

2.4 高、中、低 SSC 组果实贮藏期间挥发性物质的聚类分析

如图5所示,基于贮藏时间,电子鼻传感器S6和S7与传感器S8、传感器S9处于3个独立的空间。低SSC组果实的挥发性物质被聚为3个类群,由S6(甲



A. 低 SSC 组; B. 中 SSC 组; C. 高 SSC 组。

A. Low SSC group; B. Medium SSC group; C. High SSC group.

图 5 水蜜桃贮藏期间电子鼻响应值的聚类分析

Fig. 5 Hierarchical clustering analyse of fruit during postharvest storage based on e-nose responses

烷)组成的类群 I, 由 S2(氮氧化合物)、S7(硫化物)、S9(芳香成分和硫化物)组成的类群 II, 由 S1(芳香苯类)、S3(氨类)、S4(氢气)、S5(烷烃)、S8(乙醇)、S10(烷烃)组成的类群 III; 中 SSC 组被聚为 4 个类群, 由 S6 组成的类群 I, 由 S7 组成的类群 II, 由 S2、S8、S9 组成的类群 III, 由 S1、S3、S4、S5、S10 组成的类群 IV; 高 SSC 组被聚为 4 个类群, 由 S6 组成的类群 I, 由 S2、S7 组成的类群 II, 由 S8、S9 组成的类群 III, 由 S1、S3、S4、S5、S10 组成的类群 IV。

基于 10 个传感器的响应值, 低 SSC 组不同贮藏期的果实被聚为 4 个类群, 类群 I 包含 0 d 的果品, 类群 II 包含 7 d 和 14 d 的果品, 类群 III 包含 21 d、28 d、

(28+3) d 的果品, 类群 IV 包含 (28+5) d 的果品; 中 SSC 组被聚为 3 个类群, I 包含 0 d 和 7 d 的果品, 类群 II 包含 14、21 和 28 d 的果品, 类群 III 包含 (28+3) d、(28+5) d 的果品; 高 SSC 组被聚为 4 个类群, 类群 I 包含 0 d 和 7 d 的果品, 类群 II 包含 14、21 和 28 d 的果品, 类群 III 包含 (28+3) d 的果品, 类群 IV 包含 (28+5) d 的果品。

2.5 高、中、低 SSC 组果实贮藏期间品质差异性分析

如图 6 所示, 冷藏期间, 高、中、低 SSC 组果实带皮硬度、果肉组织硬度、咀嚼性和紧实度均呈下降趋势, 果肉脆性和果实弹性较为稳定; 高、中 SSC 组果实带皮硬度和咀嚼性显著 ($p < 0.05$) 高于低 SSC 组

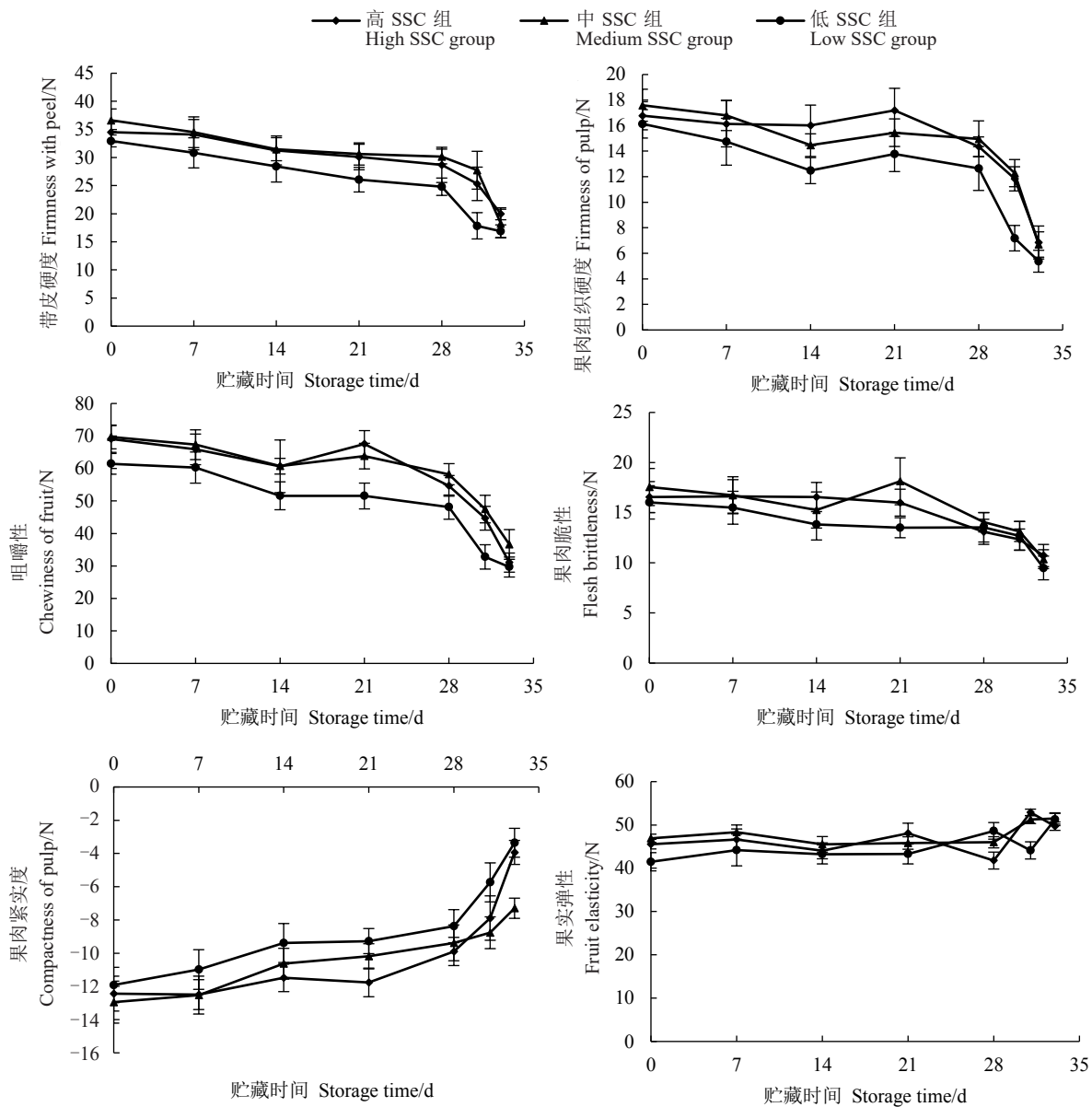


图 6 高、中、低 SSC 组果实贮藏期间质构的变化

Fig. 6 Changes of fruit texture in high, middle and low SSC group during storage and shelf-life

果实,高 SSC 组果实果肉组织硬度和果肉紧实度显著($p < 0.05$)高于低 SSC 组果实,与中 SSC 组果实无显著性差异;高、中、低 SSC 组果实果肉脆性与果实弹性无显著性差异。进一步说明了入库时果实 SSC 可调控贮藏期间质地的变化,从而影响耐贮性。

货架期间,3 个处理组果实带皮硬度、果肉组织硬度、咀嚼性、紧实度和果肉脆性呈急剧下降趋势,果实弹性呈上升趋势;货架期第 3 天,高、中 SSC 组果实带皮硬度、果肉组织硬度、咀嚼性和紧实度均显著($p < 0.05$)高于低 SSC 组果实;货架期第 5 天,3 个处理组间质构特性无显著性差异。说明高 SSC 可延长果实的货架期,较好地保持果实质构特性,随着

果实的软化,差异性降低。

由图 7 可知,冷藏期间,高、中、低 SSC 组果实 SSC、果糖、葡萄糖和蔗糖含量无显著性变化;高 SSC 组果实 SSC、果糖和葡萄糖含量显著($p < 0.05$)高于低 SSC 组,与中 SSC 组无显著性差异。货架期第 3 天和第 5 天,高、中 SSC 组果实 SSC、果糖和葡萄糖含量显著($p < 0.05$)高于低 SSC 组;货架期第 3 天,高 SSC 组果实蔗糖含量显著($p < 0.05$)高于中、低 SSC 组。说明入库时果实 SSC 与贮藏品质密切相关,高 SSC 可诱导货架期间果实的糖代谢,缓解长期低温冷藏导致的风味丧失问题,保持较高的品质状态。

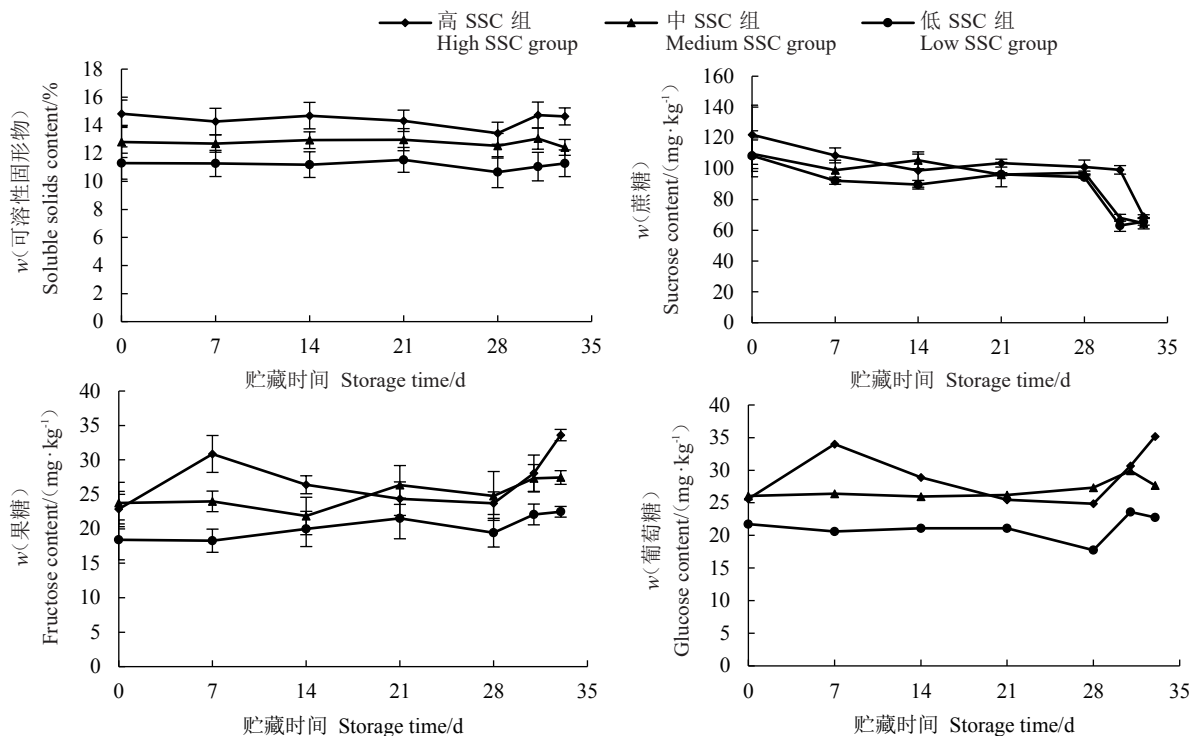


图 7 高、中、低 SSC 组果实贮藏期间糖含量的变化

Fig. 7 Changes of sugar content in fruit of high, middle and low group during storage and shelf-life

2.6 高、中、低 SSC 果实贮藏期间挥发性物质差异性分析

由于贮藏和货架期间传感器 S2、S4、S6、S7、S8、S9 的贡献率较大,于是对这 5 个传感器的响应值进行分析。如图 8 所示,贮藏期间,高、中、低 SSC 组果实的 S2 和 S9 响应值呈前期(0~14 d)的急剧下降和后期(14~28 d)平稳的趋势,且高 SSC 组果实 2 个传感器的响应值显著($p < 0.05$)高于低 SSC 组果实、与中 SSC 组果实无显著性差异;低 SSC 组果实 S6 响应值呈线性上升的趋势,高、中 SSC 组果实 S6 响应值

较为稳定、且显著($p < 0.05$)低于低 SSC 组果实,低温可抑制果实挥发性物质的散发,尤其是烷烃类和醇类物质;低 SSC 组果实甲烷异常积累,说明低 SSC 组果实在冷藏期间发生了冷害或无氧呼吸,与果肉组织硬度和紧实度降低的趋势一致。高、中、低 SSC 组果实的传感器 S4、S7 和 S8 响应值无显著性变化,且 3 个处理间无显著性差异。

货架期间,3 个处理组果实 S2、S6、S7、S8、S9 响应值呈急剧上升趋势,说明随着果实的软化和腐败,挥发性化合物发生了明显变化,尤其是氮氧化合物、

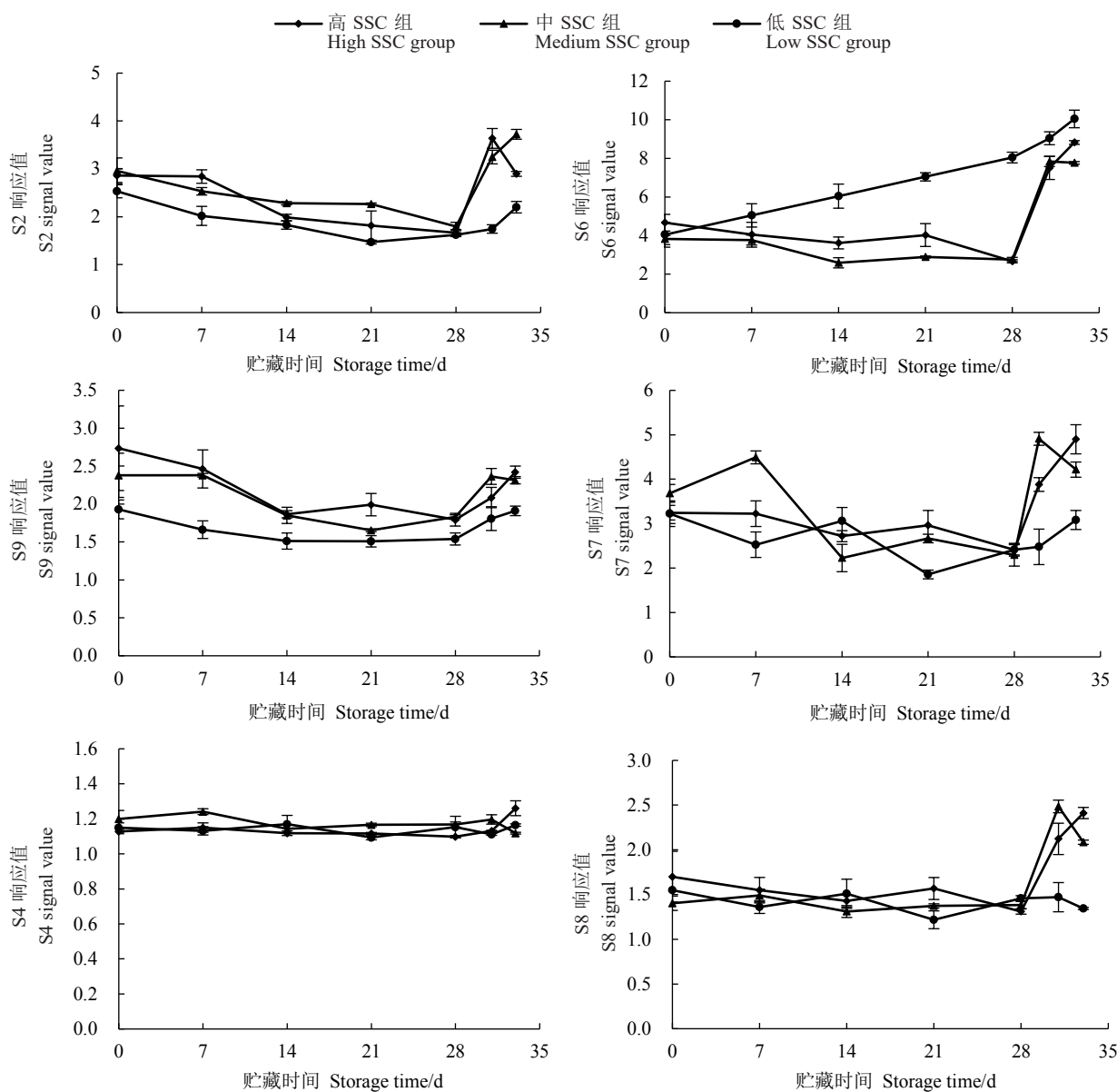


图 8 高、中、低 SSC 组果实贮藏期间挥发性物质的变化

Fig. 8 Changes of electronic nose in fruit of high, middle and low group during storage and shelf-life

甲烷、硫化物,乙醇、芳香化合物含量呈急剧增加趋势;S4响应性无显著变化,这可能是由于S4对氢气较为敏感,而该化合物在水蜜桃中很少检出;高、中SSC组果实S2、S7、S8、S9响应值显著($p < 0.05$)高于低SSC组果实,高、中SSC组果实S6响应值显著($p < 0.05$)低于低SSC组果实。

3 讨 论

长期低温冷藏导致果实品质下降,加之消费者对高品质桃需求的不断增加,贮藏品质的保持和安全贮藏期的确定为目前研究的热点^[1]。SSC与果实糖酸、挥发性物质的代谢密切相关^[6],被作为果品分

级的依据,日益成为被关注的内在品质指标。SSC、蔗糖、果糖与葡萄糖含量与桃果实中己醛、乙酸乙酯和 γ -六内酯等挥发性物质含量呈显著正相关^[3-4],以上次生物质的降解或合成决定了果实的贮藏品质。研究SSC与果实质构、风味及贮藏特性的相关性,综合质构、SSC、糖酸和挥发性物质含量等因素划分贮藏期和品质的研究显得尤为重要。笔者在本研究中得出,基于贮藏时间,湖景蜜露水蜜桃果实带皮硬度、果肉组织硬度、咀嚼性和果肉脆性4个参数间呈显著相关,未来的研究可结合4个指标的变化评价果实的质构特性,为解决单因素果实硬度评价果实耐贮性导致的结果片面性问题提供数据支撑;果糖

和葡萄糖呈显著相关,但与蔗糖和 SSC 的相关性差,可能与低温抑制了果实蔗糖和 SSC 代谢、货架期间恢复糖代谢有关^[24];冷藏和货架期间,高 SSC 组果实蔗糖、葡萄糖和果糖含量显著高于低 SSC 组果实,且可显著抑制果肉褐变的发生^[7],说明高 SSC 可延缓桃果实冷害发生和品质的劣变^[8],与高糖可较好地维持冷藏期间桃果实膜完整性、提高果实的低温耐受性有关^[10-11]。PC1 及 PC2 能反映绝大部分水蜜桃果实贮藏期间电子鼻响应值信息,且不同贮藏时间段的果品在主成分空间中处于相对独立的空

间,说明贮藏期间水蜜桃果实的挥发性化合物发生了明显变化,得到了有效的区分^[15-16]。综合得出,果实带皮硬度、果肉组织硬度、咀嚼性和果肉脆性、果糖、葡萄糖、氮氧化合物、烷烃类化合物和醇类化合物含量均能较好地反映果实品质的变化,可作为评价贮藏和货架期间果实新鲜度和风味变化的关键指标^[4,25],与刘聪等^[26]报道的甜瓜果实质构参数之间、质构参数与感官品质指标之间存在不同程度的相关性,且贮藏温度可调控以上参数相关性的结论一致。

挥发性物质含量是桃果实品质的主要指标,也是直接影响消费者购买力的重要果实性状。果实糖酸、酚类物质、色素、果皮细胞结构等均可对香气的表征产生影响^[23-24,27]。Infante 等^[28]报道,果实风味与果实甜味、汁液丰富度及质构呈显著相关,与芳香物质和可滴定酸含量无相关性;而一些报道表明,桃果实风味、甜味和芳香成分间呈显著正相关,尤其是果实风味和芳香物质含量^[1],说明芳香物质含量受贮藏条件和货架时间调控较明显。电子鼻技术作为一种简便、快速的测定方法,在果实的贮藏性评价^[15-16]、成熟度判别^[13]等方面均有一定的应用,但桃果实成熟期和贮藏期等各阶段所散发的香气组分不同,传感器识别作用有些差别^[23]。如传感器 W1S(甲烷)、W2S(乙醇)、W2W(硫化氢类)在对货架期内大久保水蜜桃的芳香成分进行检测中起主要作用^[15];传感器 W1S(甲烷)、W2S(乙醇)、W5C(烷烃、芳香型化合物)在对不同贮藏时间的朝晖水蜜桃芳香成分进行检测中起主要作用^[16];传感器 W5S 在未熟、成熟和完熟的桃果实鉴定中起主要作用^[29]。笔者对贮藏和货架期间的湖景蜜露水蜜桃果实的挥发性物质进行分析的结果表明,传感器 S2、S4、S6、S7、S8、S9、S10 起主要作用,与大久保和朝晖水蜜桃均有一

定差异,可能与品种特性和贮藏条件等有关^[15-16]。基于贮藏时间,传感器 S6、S7 与传感器 S8、S9 呈现 3 个独立的存在空间,差异性较大,推断不同贮藏和货架期间桃果实香气差异主要是由烷类、硫化物、乙醇和芳香物质的代谢差异引起的,具体发挥作用的挥发性组分还需进一步通过 GC-MS 进行测定和定量分析。

SSC 对贮藏和货架期间的果实风味、质构及挥发性物质均有一定影响,提高 SSC 可延长果实的安全贮藏期,较好地保持果实固有风味,与糖代谢可介导果实的风味代谢和成熟衰老进程,从而介导果实的贮运性有关^[8-9]。冷藏和货架期间,高 SSC 组果实带皮硬度、果肉组织硬度、果肉紧实度、咀嚼性均显著高于低 SSC 组果实,与低 SSC 组果实汁液含量少、果肉组织紧密的结论有一定差异^[30];货架期第 3 天,高、中 SSC 组果实带皮硬度、果肉组织硬度、咀嚼性和紧实度均显著高于低 SSC 组果实,说明提高 SSC 可延长果实的货架期,较好地保持果实质构特性。贮藏和货架期间,高、中 SSC 组果实 SSC、果糖和葡萄糖含量显著高于低 SSC 组,说明高 SSC 可较好地维持冷藏期间桃果实膜稳定性,增强耐冷性,保持果实固有风味^[10]。

高、中 SSC 组不同贮藏时间段的果品在主成分空间中处于相对独立的空

间,说明贮藏期间水蜜桃果实的挥发性化合物发生了明显变化。冷藏 7~28 d 的低 SSC 组果实的电子鼻响应值未得到有效区分,说明低 SSC 果实冷藏期间的后熟进度慢,品质不佳;甲烷急剧积累,说明低 SSC 组果实在冷藏期间发生了冷害或无氧呼吸导致甲烷异常积累^[31],与果肉组织硬度和紧实度降低的趋势一致,与低糖含量导致冷藏期间果实膜稳定性和低温耐受性差、能荷低、易发生冷害有关^[32]。贮藏 0~7 d,高、中、低 SSC 组果实 10 个传感器的感应值在 PC1 和 PC2 上均有较大差异;随着冷藏时间的延长(14~28 d),3 个处理间差异性降低,说明长期的低温冷藏显著抑制了挥发性物质的挥发^[33];货架期(28+3) d 和(28+5) d,3 个处理组果实挥发性物质的差异程度加大,尤其是氮氧化合物、甲烷、硫化物,乙醇、芳香化合物等挥发性化合物,说明恢复室温有利于挥发性物质的合成^[15-16],与 Zhang 等^[33]报道的贮藏后期和货架期间的番茄中挥发性化合物的含量明显增加的结论一致,提高 SSC 可减缓低温对桃果实挥发性物质的抑制作用。

通过聚类和主成分分析不仅能处理量大的数据,还可以观察不同品种之间的相似程度,实现品质和资源的归类,在葡萄^[34-35]、甜瓜^[36]的品质综合评价和品种谱系划分中已得到较好的应用,但在采后贮藏保鲜领域中的应用较少。笔者在本研究中利用计算机R计算,通过主成分分析、聚类分析得出将果实的质构、非挥发性风味物质和挥发性风味物质等参数指标进行归类,得出水蜜桃果实质构参数间、质构参数和非挥发性物质及挥发性物质间存在一定的相关性,并被划分为不同的归类区间,可综合评价果实的贮藏期和贮藏品质^[27];基于10个品质指标和10个传感器响应值的变化,可把不同SSC组果实的贮藏期有效划分为与感官评价相似的分类群,不同SSC组果实的分类群有一定的差异,为果品安全贮藏期的判定提供了科学依据。利用聚类分析可将冷藏和货架期第3天和第5天的中、高SSC组果实有效划分,说明提高SSC可延长果实的货架期,并较好地保持货架品质。其中,贮藏期间对高SSC组果实传感器响应值的划分较10个品质划分的聚类群I(0~21 d)和感官评分划分的聚类群I(0~14 d),提前至0~7 d,可能是与挥发性物质对低温环境的应激作用更敏感,而感官评分更侧重于果实质地和糖酸含量有关^[28, 31]。冷藏0~14 d和货架期第3天、第5天的中SSC组果实及冷藏0~7 d的中SSC组果实被划分为优质商品果,冷藏14~28 d的中SSC组果实及冷藏7~21 d和货架第3天的中SSC组果实被划分为商品果,进一步说明了把控入库品质可较好地保持贮藏和货架品质。前人结合多元线性回归、主成分回归及偏最小二乘法方法,分别建立了猕猴桃SSC、pH值及硬度的近红外定量分析模型^[37]和苹果贮藏期间有机酸含量及SSC的数学模型^[38]。利用支持向量机法分别建立了哈密瓜的SSC及硬度的预测模型^[39]。Trivittayasil等^[40]建立了1-甲基环丙烯处理的2个品种苹果分类模型,验证准确率为89.74%。本研究中,仅对不同SSC的果实的安全贮藏期及品质进行了有效划分,利用大数据建立不同贮藏条件下果实的安全贮藏期和品质预测数学模型、提高训练集识别率、完善方程式是未来研究的方向。

4 结 论

计算机R技术可有效区分桃果实贮藏期和品质,提高果实SSC,可延长果实的安全贮藏期,较好

地保持果实固有风味;0~7 d为高、中SSC组果实的优质贮藏期,14~28 d为安全贮藏期,货架期为3~5 d,不建议SSC<12%的果实长期冷藏。果实带皮硬度、果肉组织硬度、咀嚼性、果肉脆性和果糖、葡萄糖、氮氧化合物、烷烃类化合物、醇类化合物含量可作为评价贮藏和货架期间果实新鲜度和风味变化的关键指标。

参考文献 References:

- [1] GIACALONE G, PEANO C, IACONA T, IACONA C. Consumer testing on local and new cultivars of peach in the Roero area, Piedmont, Italy[J]. Acta Horticulturae, 2006, 713: 457-459.
- [2] 姜全, 俞明亮, 王志强, 张帆. 中国现代农业产业可持续发展战略研究桃分册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018.
JIANG Quan, YU Mingliang, WANG Zhiqiang, ZHANG Fan. Research on sustainable development strategy of modern agricultural industry in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2018.
- [3] SU M S, ZHANG B, YE Z W, CHEN K S, GUO J, GU X J, SHEN J Y. Pulp volatiles measured by an electronic nose are related to harvest season, TSS concentration and TSS/TA ratio among 39 peaches and nectarines[J]. Scientia Horticulturae, 2013, 150: 146-153.
- [4] 周慧娟, 杜纪红, 苏明申, 陈翹宏, 张夏南, 叶正文, 李雄伟. 水蜜桃果皮中色素和芳香物质变化与其内在品质的相关性[J]. 经济林研究, 2019, 37(1): 1-10.
ZHOU Huijuan, DU Jihong, SU Mingshen, CHEN Chihong, ZHANG Xia 'nan, YE Zhengwen, LI Xiongwei. Relationship of content changes of pigments and aromatic compounds in pericarp with internal quality of honey peach fruits[J]. Non-wood Forest Research, 2019, 37(1): 1-10.
- [5] BECKLES D M. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 63(1): 129-140.
- [6] SCHWAB W, DAVIDOVICH-RIKANATI R, LEWINSOHN E. Biosynthesis of plant derived flavor compounds[J]. The Plant Journal, 2008, 54(4): 712-732.
- [7] ABIDI W, CANTIN C M, JIMENEZ S, GIMÉNEZ R, MORÉNO M A, GOGORCENA Y. 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.
- [8] ZHOU H J, ZHANG X N, SU M S, DU J H, LI X W, YE Z W. Effects of ultraviolet-C pretreatment on sugar metabolism in yellow peaches during shelf life[J]. HortScience, 2020, 55(4): 416-423.
- [9] LAUXMANN M A, BORSANI J, OSORIO S, LOMBARDO V A, BUDDE C O, BUSTAMANTE C A, MONTI L L, ANDREO

- C S, FERNIE A R, DRINCOVICH M F, LARA M V. Deciphering the metabolic pathways influencing heat and cold responses during post-harvest physiology of peach fruit[J]. *Plant Cell and Environment*, 2014, 37(3):601-616.
- [10] CAO S F, YANG Z F, ZHENG Y H. Sugar metabolism in relation to chilling tolerance of loquat fruit[J]. *Food Chemistry*, 2013, 136(1):139-143.
- [11] 张浩, 安可婧, 徐玉娟, 余元善, 吴继军, 肖更生. 基于电子舌与 SPME-GC-MS 技术的芒果风味物质的比较分析[J]. *现代食品科技*, 2018, 34(10):214-224.
- ZHANG Hao, AN Kejing, XU Yujuan, YU Yuanshan, WU Jijun, XIAO Gengsheng. The characteristic flavor compounds analysis of different cultivars of mango by electronic tongue and SPME-GC-MS[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(10):214-224.
- [12] DI NATALE C, MACAGNANO A, MARTINELLI E, PROIETTI E, PAOLESSE R, CASTELLARI L, CAMPANI S, D'AMICO A. Electronic nose based investigation of the sensorial properties of peaches and nectarines[J]. *Sensors and Actuators B Chemical*, 2001, 77(1/2):561-566.
- [13] VOSS H G J, AYUB R A, JR S L S. Peach growth cycle monitoring using an electronic nose[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2019, 163:104858.
- [14] WEI X, ZHANG Y C, WU D, WEI Z B, CHEN K S. 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):2990-3004.
- [15] 江琳琳, 潘磊庆, 屠康, 杨虹贤, 钱钊, 韩东海. 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 Linlin, PAN Leiqing, TU Kang, YANG Hongxian, QIAN Zhao, HAN Donghai. Freshness evaluation of juicy peach by electronic nose[J]. *Food Science*, 2010, 31(12):229-232.
- [16] 马淑凤, 王周平, 丁占生, 王利强, 徐化能. 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 Shufeng, WANG Zhouping, DING Zhansheng, WANG Liqiang, XU Huaneng. 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.
- [17] HUI G H, WU Y L, YE D D, DING W W, ZHU L S, WANG L Y. Study of peach freshness predictive method based on electronic nose[J]. *Food Control*, 2012, 28(1):25-32.
- [18] 朱娜, 潘磊庆, 毛淑波, 吴林蔚, 屠康. 基于电子鼻判别桃果实瘀伤的研究[J]. *南京农业大学学报*, 2013, 36(1):137-141.
- ZHU Na, PAN Leiqing, MAO Shubo, WU Linwei, TU Kang. Non-destructive detection of peach bruise by e-nose[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2013, 36(1):137-141.
- [19] 苏明申, 张波, 叶正文, 申济源, 李宏义, 陈昆松. 基于电子鼻无损检测技术的桃果实香气研究[J]. *果树学报*, 2012, 29(5):809-813.
- SU Mingshen, ZHANG Bo, YE Zhengwen, SHEN Jiyuan, LI Hongyi, CHEN Kunsong. Nondestructive detection of peach (*Prunus persica*) fruit volatiles using an electronic nose[J]. *Journal of Fruit Science*, 2012, 29(5):809-813.
- [20] 孙灵霞, 陈锦屏, 赵改名, 李苗云. 化学计量学在食品分析中的应用研究进展[J]. *食品工业科技*, 2012, 33(7):444-448.
- SUN Lingxia, CHEN Jinping, ZHAO Gaiming, LI Miaoyun. Research progress in application of chemometrics in food analysis[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2012, 33(7):444-448.
- [21] EFENBERGER-SZMECHTYK M, NOWAK A, KREGIEL D. Implementation of chemometrics in quality evaluation of food and beverages[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2018, 58(10):1747-1766.
- [22] 严娟, 蔡志翔, 马瑞娟, 张斌斌, 沈志军, 郭绍雷, 俞明亮. 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 Juan, CAI Zhixiang, MA Ruijuan, ZHANG Binbin, SHEN Zhijun, GUO Shaolei, YU Mingliang. Determination of sugar in peaches by high-performance liquid chromatography with variable wavelength detector[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2015, 31(4):887-892.
- [23] 严娟, 蔡志翔, 张明昊, 徐子媛, 沈志军, 马瑞娟, 俞明亮. 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 Juan, CAI Zhixiang, ZHANG Minghao, XU Ziyuan, SHEN Zhijun, MA Ruijuan, YU Mingliang. Evaluation of aroma in peach fruit by electronic nose[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2021, 22(1):274-282.
- [24] ABIDI W, CANTIN C M, JIMENEZ S, GIMENEZ R, MORENO M A, GOGORCENA Y. 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.
- [25] 李旺雄, 唐中祺, 程鸿, 孔维萍, 罗石磊. 不同甜瓜品种贮藏期间品质变化和风味物质分析[J]. *中国瓜菜*, 2021, 34(9):50-55.
- LI Wangxiong, TANG Zhongqi, CHENG Hong, KONG Weiping, LUO Shilei. Analysis of quality changes and flavor substances of different melon varieties during storage[J]. *China Cucurbits and Vegetables*, 2021, 34(9):50-55.
- [26] 刘聪, 李亚珍, 尹嘉敏, 邓云, 孙静, 王吉力特. 不同贮藏温度对瓯口华莱士蜜瓜质构特性、理化指标、感官品质变化及相关性分析[J]. *中国瓜菜*, 2022, 35(1):47-53.
- LIU Cong, LI Yazhen, YIN Jiamin, DENG Yun, SUN Jing, WANG Jilite. Correlation analysis of changes in texture characteristics, physical and chemical indexes and sensory quality of Dengkou Hualaiishi melon at different storage temperatures[J].

- China Cucurbits and Vegetables, 2022, 35(1):47-53.
- [27] 周慧娟,叶正文,王戈,苏明申,杜纪红,李雄伟. 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):1000-1006.
ZHOU Huijuan, YE Zhengwen, WANG Ge, SU Mingshen, DU Jihong, LI Xiongwei. Effect of preharvest bagging on ultrastructural changes of yellow-peach pericarp during shelf-life[J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(8):1000-1006.
- [28] INFANTE R, FARCUH M, MENESES C. Monitoring the sensorial quality and aroma through an electronic nose in peaches during cold storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008, 88(12):2073-2078.
- [29] BENEDETTI S, BURATTI S, SPINARDI A, MANNINO S, MIGNANI E. Electronic nose as a non-destructive tool to characterise peach cultivars and to monitor their ripening stage during shelf-life[J]. Postharvest Biology and Technology, 2008, 47(2):181-188.
- [30] 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 Huijuan, YE Zhengwen, QIAO Yongjin. Related factors of soften of honey peach at different maturity[J]. Non-wood Forest Research, 2012, 30(1):67-72.
- [31] ZHOU H J, YE Z W, SU M S. Effects of MAP Treatment on aroma compounds and enzyme activities in flat peach during storage and shelf life[J]. HortScience, 2018, 53(4):511-523.
- [32] 周慧娟,杜纪红,张夏南,苏明申,李雄伟,叶正文. UVC 预处理对冷藏和货架期间‘锦香’黄桃挥发性物质组分及含量的影响[J]. 上海农业学报, 2021, 37(3):91-99.
ZHOU Huijuan, DU Jihong, ZHANG Xia'nan, SU Mingshen, LI Xiongwei, YE Zhengwen. Effects of UVC pretreatment on volatile substances and contents of 'Jinxiang' yellow peach during cold storage and shelf-life[J]. Acta Agriculturae Shanghai, 2021, 37(3):91-99.
- [33] ZHANG Z M, ZENG D D, LI G K. Study of the volatile composition of tomato during storage by a combination sampling method coupled with gas chromatography/mass spectrometry[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008, 88(1):116-124.
- [34] 林蝉蝉,何舟阳,单文龙,刘旭,杨晨露,王华,李华. 基于主成分与聚类分析综合评价杨凌地区红色鲜食葡萄果实品质[J]. 果树学报, 2020, 37(4):520-532.
LIN Chanchan, HE Zhouyang, SHAN Wenlong, LIU Xu, YANG Chenlu, WANG Hua, LI Hua. Comprehensive evaluation of fruit quality of 12 red table grape cultivars cultivated in Yangling area based on principal component and cluster analyses[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(4):520-532.
- [35] 牟红梅,于强,李庆余,王义菊,姜福东,李元军,薛敏,王兆龙. 基于主成分分析的烟台地区西洋梨果实品质综合评价[J]. 果树学报, 2019, 36(8):1084-1092.
MOU Hongmei, YU Qiang, LI Qingyu, WANG Yiju, JIANG Fudong, LI Yuanjun, XUE Min, WANG Zhaolong. Synthetic evaluation of fruit quality of common pears (*Pyrus communis* L.) based on principal component analysis in Yantai areas[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(8):1084-1092.
- [36] 潘好斌,刘东,邵青旭,高歌,齐红岩. 不同品种薄皮甜瓜成熟期果实质地品质分析及综合评价[J]. 食品科学, 2019, 40(21):35-42.
PAN Haobin, LIU Dong, SHAO Qingxu, GAO Ge, QI Hongyan. Analysis and comprehensive evaluation of textural quality of ripe fruits from different varieties of oriental melon (*Cucumis melo* var. *makuwa* Makino)[J]. Food Science, 2019, 40(21):35-42.
- [37] 岳绒,郭文川,刘卉. 近红外漫反射光谱检测损伤猕猴桃的内部品质[J]. 食品科学, 2011, 32(10):141-144.
YUE Rong, GUO Wenchuan, LIU Hui. No-destructive testing of internal qualities of bruised kiwi fruits in storage by near-infrared diffuse reflectance spectroscopy[J]. Food Science, 2011, 32(10):141-144.
- [38] 刘志洋,刘岩. 电子感官结合化学计量学对苹果贮藏期鉴别的研究[J]. 北方园艺, 2017(22):137-141.
LIU Zhiyang, LIU Yan. Determination of apple storage period by using electronic senses and chemometrics[J]. Northern Horticulture, 2017(22):137-141.
- [39] 孙静涛,马本学,董娟,杨杰,徐洁,蒋伟,高振江. 高光谱技术结合特征波长筛选和支持向量机的哈密瓜成熟度判别研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37(7):2184-2191.
SUN Jingtao, MA Benxue, DONG Juan, YANG Jie, XU Jie, JIANG Wei, GAO Zhenjiang. Study on maturity discrimination of Hami melon with hyperspectral imaging technology combined with characteristic wavelengths selection methods and SVM[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2017, 37(7):2184-2191.
- [40] TRIVITTAYASIL V, TSUTA M, KASAI S, MATSUO Y, SEKIYAMA Y, SHOJI T, AIYAMA R, KOKAWA M, SUGIYAMA J. Classification of 1-methylcyclopropane treated apples by fluorescence fingerprint using partial least squares discriminant analysis with stepwise selectivity ratio variable selection method[J]. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2018, 175:30-36.