

基于聚类与时序分析的砂梨果实耐贮性及贮藏品质分析预测

Analysis and prediction of storability and storage quality of pear fruit based on clustering and time series analysis

周慧娟^{1,2}叶正文^{1,2}李荣华^{1,2}王晓庆^{1,2}骆 军^{1,2}ZHOU Hui-juan^{1,2} YE Zheng-wen^{1,2} LI Rong-hua^{1,2} WANG Xiao-qing^{1,2} LUO Jun^{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)

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

摘要:目的:对 3 个品种砂梨的贮藏期和品质进行评价,为品种选育和保鲜技术的研发提供理论支撑。方法:以遗传背景相似的早生新水、沪晶梨 18(HJ18)、沪晶梨 67(HJ67)为试材,分别将成熟度一致的 3 个品种砂梨果实放置于温度为 $(1.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 、相对湿度 85%~90%的冷库中贮藏 60 d,每 10 d 对果实质地、糖酸及挥发性物质进行测定,基于聚类、主成分、时序分析,划分贮藏期和贮藏品质。结果:3 个品种砂梨果实质地、糖酸及挥发性物质均受到贮藏时间的调控,且不同指标间有一定的相关性。可将 14 个品质评价参数简化为果肉组织硬度、咀嚼性、紧实度、果皮脆性、弹性、苹果酸、柠檬酸、可溶性固形物和果糖 9 个指标;传感器 S2、S6、S7、S8、S9 的贡献率较大。基于 14 个品质指标,贮藏期间的 HJ67 与早生新水和 HJ18 处于相对独立的空间;基于 10 个传感器响应值,3 个品种存在空间交集,未得到有效区分。3 个品种砂梨的贮藏时间被划分为不同的区间,基于质地、非挥发性和挥发性物质的划分结果较为一致,HJ67 被划分为 0~20, 30, 40~50, 60 d 4 个时间段。结论:HJ67 质地、糖酸含量和挥发性物质与早生新水和 HJ18 差异显著,风味较浓郁。使用指数方程能较好地拟合 3 个品种砂梨果实质地的变化,非线性方程能够较好地描述糖酸含量的变化,两个预测模型的预测误差较低。

关键词:砂梨;时序分析;聚类分析;耐贮性;贮藏品质

Abstract: Objective: The storability and storage quality of three

pear varieties were evaluated to provide theoretical support for variety breeding and fresh-keeping technology. **Methods:** Zaoshengxinshui, HJ18 and HJ67 pear with similar genetic background were used as test materials. Fruit with the same maturity were stored in a cold storage with a temperature of $(1.0 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ and a relative humidity of 85%~90% for 60 days. The fruit texture, sugar and acid and volatile substances were determined every 10 days, divide storage period and quality based on clustering, principal components and time series analysis. **Results:** The results showed that the fruit texture, sugar, acid and volatile substances of the three pear varieties were regulated by storage time, and there was a certain correlation among different indexes. Fourteen quality evaluation parameters could be simplified into 8 indexes: firmness, chewiness, compactness, brittleness, elasticity, malic acid, citric acid, soluble solids content (SSC) and fructose. The contribution rate of sensors S2, 6, 7, 8 and 9 was larger. Based on fourteen quality indexes, HJ67 was in a relatively independent space with Zaosheng Xinshui and HJ18 during storage. Based on the response values of ten sensors, the three varieties had spatial intersection, which had not been effectively distinguished. The storage time of three pear varieties was divided into different intervals, among which HJ67 was divided into four periods: 0~20 days, 30 days, 40~50 days and 60 days based on texture, nonvolatile and volatile substances. **Conclusion:** It is concluded that the texture, sugars and acids contents and volatile matter of HJ67 are significantly different from those of Zaoshengxinshui and HJ18, that has a rich flavor. The change of fruit texture of three pear varieties can be well fitted by exponential equation, and the change of sugar and acid content can be well described by nonlinear equation. The prediction errors of the two prediction models are low. Based on principal component analysis, cluster analysis and time series

基金项目:上海市农委重点攻关项目(编号:2121906);上海市农业科学院攀高计划(编号:PG21221)

作者简介:周慧娟,女,上海市农业科学院副研究员,博士。

通信作者:骆军(1972—),男,上海市农业科学院研究员,学士。

E-mail: zhouhuijuan@163.com

收稿日期:2022-11-03 **改回日期:**2023-05-11

analysis, the storage period and comprehensive quality of three pear varieties can be comprehensively and objectively evaluated.

Keywords: pear; time series analysis; cluster analysis; storability; storage quality

早生新水、沪晶梨 18、沪晶梨 67 等砂梨为呼吸跃变型,常温下易腐败变质^[1-3],长期的低温冷藏易使果实出现风味失调等品质劣变症状^[4]。贮藏后的砂梨果实可形成特殊的贮藏风味^[5-6],因此,采后贮藏保鲜技术的研发是目前的研究重点。国内外关于梨贮藏保鲜技术的研究多集中于贮藏品质的变化及其机理机制^[7],加之,不同梨系统果实的采后特性差异较大^[8],给贮藏技术的研发和品质的预测带来一定挑战。由于果实质地、挥发性物质和非挥发性物质对贮藏时间的相应机制不同,基于数学模型预测安全贮藏期和品质为目前的研究热点。

研发品质无损检测技术,将品质大数据与计算机学相结合,建立预测模型,保证果实品质,降低市场风险^[9-10]。将主成分分析、聚类分析、数学函数分析法等结合能够更科学地评价果实的综合性状^[11]。基于主成分分析和聚类分析的综合评价方法已被广泛应用于圆黄梨^[12]、西洋梨^[13]、砂梨^[14]、蓝莓^[15]、猕猴桃^[16]、桃^[17]等多种果树上。李婕玲等^[18]通过主成分分析、逐步回归分析和聚类分析研究贵州 14 个乡镇无籽刺梨果实,得出糖酸比、固酸比、可食率和可溶性糖含量 4 个代表性指标对刺梨果实品质的贡献最大。俞露等^[9]基于相关性、主成分分析,科学地将对不同地区的刺梨综合品质按优劣划分成 3 类。李跃红等^[16]利用聚类分析和主成分分析将 11 个产地红心猕猴桃划分为 4 类。潘好斌等^[19]基于相关性、因子和聚类分析,将 10 个品种薄皮甜瓜果实的质地特性分为 5 类,可较好地评价薄皮甜瓜果实质地品质。数学模型分析多应用于品种资源的划分,在水果贮藏保鲜领域中,鲜有基于主成分分析法结合聚类分析对果实品质和安全贮藏期综合评价的报道。据此,研究以砂梨系品种早生新水、沪晶梨 18(HJ18)、沪晶梨 67(HJ67)为试材,对贮藏期间果实质地、糖酸含量、可溶性固形物含量等 14 个理化指标,以及 10 个电子鼻传感器感应值进行测定,结合主成分分析、聚类分析等数据分析手段,对 3 个品种砂梨的贮藏品质和贮藏期进行综合评价,确定品质形成和劣变关键点及安全贮藏期,为品种的选育和贮藏技术的研发提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 试验材料

早生新水、沪晶梨 18(HJ18)、沪晶梨 67(HJ67)均采自上海市农业科学院庄行综合试验站,套单层黄袋,株行

距 2.5 m×3.5 m,树龄 10 年,统一管理。筛选成熟度均一、大小一致、无病虫害和机械损伤的果实,放置于上海市农业科学院林果所冷库预冷和贮藏,用无损糖度计(H100F 型)对 3 个品种砂梨果实可溶性固形物(SSC)含量进行测定,果实的入库品质状态见表 1。

表 1 梨果实入库时品质状态[†]

Table 1 Quality of three pear varieties

品种	盛花后天数/d	外观	果肉组织硬度/N	可溶性固形物含量/%
早生新水	95	绿色转黄色	9~12	11.2~12.0
HJ18	90	绿色转黄色	8~12	11.8~12.8
HJ67	110	绿色转黄色	9~12	12.3~13.5

[†] 果实的硬度和可溶性固形物含量均为按照采摘时间和外观综合评价采摘后,测定的数据范围。

1.1.2 仪器与设备

质构仪:TA, XT, Plus 型,英国 SMS 公司;
糖度计:H100F 型,北京阳光亿事达科技有限公司;
手持阿贝折光仪:PAL-1 型,日本 ATAGO 公司;
电子鼻:PEN3.5 型,德国 AIRSENSE 公司;
浓缩仪:Concentrator plus TM 型,美国 Eppendorf 公司;
离心机:X-22R 型,美国 Beckman 公司;
液相色谱仪:E2695 型,美国 Waters 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 试验处理 果实单层放置于内衬厚度为 0.03 mm 的防雾保鲜袋的塑料筐中,置于温度(1.0±0.5)℃、相对湿度 85%~90%的冷库中贮藏。每 10 d 随机取 30 个果实,测定果实质构、可溶性固形物、可滴定酸、糖酸含量,以及电子鼻传感器感应值。设 3 次重复,每重复 300 个果实,每个品种共计 900 个果实。

1.2.2 指标测定

(1) 质构:参照周慧娟等^[2]的方法并改善,随机取 20 个果实,用质构仪对梨果实赤道对称两点的质构特性进行测定,果皮硬度和果皮脆性为第一次下压测定数值;果肉硬度、果肉紧实度及果肉脆性为第二次下压测定数值。

(2) 可溶性固形物:随机取 20 个果实,参照周慧娟等^[2]的方法测定。

(3) 可滴定酸:随机取 20 个果实,取左右赤道对称部位果肉打汁,酸碱滴定法测定。

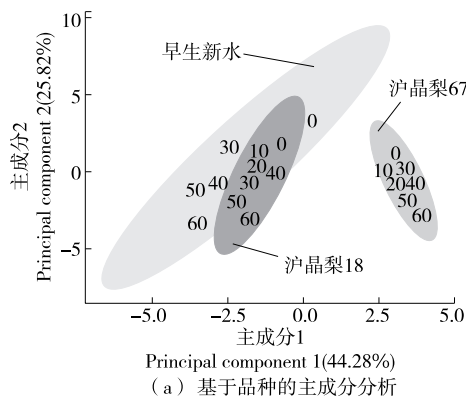
(4) 糖酸:随机取 20 个梨果实,取赤道对称两点果肉,参照严娟等^[20]的方法对蔗糖、葡萄糖、果糖、山梨醇、苹果酸、柠檬酸含量进行测定,设 3 个重复。

(5) 挥发性物质:根据严娟等^[21]的方法修改如下:使

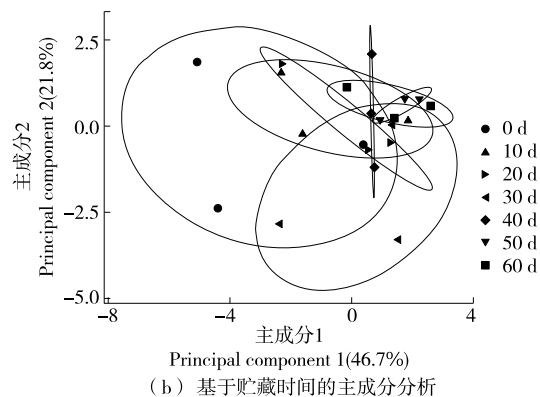
用 PEN3.5 型便携式电子鼻,将 5 个梨果实放置于密闭的干燥皿中,25 ℃ 下静置 1 h,进行气体采集。气体采集流速为 400 mL/min,清洗 1 min,检测 4 min。每个样品重复 3 次。10 个金属氧化物传感器阵列分别为:S1 芳香苯类(W1C)、S2 氮氧化物(W5S)、S3 氨类(W3C)、S4 氢气(W6S)、S5 烷烃(W5C)、S6 甲烷(W1S)、S7 硫化氢(W1W)、S8 乙醇(W2S)、S9 芳香成分与有机硫化物(W2W)和 S10 烷烃(W3S)。

1.3 数据处理

利用 IBM SPSS Statistics 22 软件、计算机软件 R(版本 3.5.0)、Excel(Office 2016)对数据进行分析并作图。



(a) 基于品种的主成分分析



(b) 基于贮藏时间的主成分分析

图 1 贮藏期间 14 个品质指标的主成分分析

Figure 1 Results of principal component analysis (PCA) for fourteen qualities index during storage

由图 1(b)可知,3 个品种砂梨贮藏 0 d 与 40,50,60 d 的果实处于相对独立的空间,说明 40~60 d 是果实质地和风味变化的关键期。贮藏 0~20 d 的早生新水与贮藏 10~20,30,40~60 d 的果实在 PC1 和 PC2 上均显示出较好的区分,说明其果实质地和风味受贮藏时间调控较大;贮藏 0 d 的 HJ18 与 30,50~60 d 的果实在 PC2 上显示出较好的区分;贮藏 0 d 的 HJ67 与 10~40,50~60 d 的果实在 PC2 上显示出较好的区分,贮藏后期是果实风味变化的关键时期。

2.1.2 3 个品种砂梨贮藏品质相关性分析 由图 2 可知,受贮藏时间调控大的参数为:早生新水和 HJ18 果实的果肉组织硬度、咀嚼性、果皮脆性、果肉脆性及 HJ67 果实的紧实度;早生新水和 HJ67 果实的葡萄糖、果糖、柠檬酸、苹果酸及 HJ18 果实的葡萄糖和可滴定酸(TA)。

早生新水果实 4 个质构参数间(果肉组织硬度、咀嚼性、紧实度、果肉脆性),4 个风味参数间(苹果酸、柠檬酸、葡萄糖、果糖),及 SSC 和 TA 显著相关;果肉组织硬度与苹果酸、柠檬酸呈强正相关,与 SSC、葡萄糖和果糖呈强负相关,说明早生新水果实内含物的变化与质地的变化密切相关。HJ18 带皮硬度、果肉组织硬度、果肉脆性、带皮脆性间及葡萄糖和 TA 呈强相关,与山梨醇和 SSC 弱

2 结果与分析

2.1 3 个品种梨果实贮藏品质指标差异性比较

2.1.1 贮藏期间果实品质指标的主成分分析 利用降维的方法对贮藏期间 3 种砂梨果实的 14 个品质指标进行分析,如图 1(a)所示,成分 1(PC1)和主成分 2(PC2)的贡献率分别为 44.28% 和 25.82%。贮藏期间,3 个品种果实综合品质持续下移,说明果实质地及风味均发生较大变化;与早生新水和 HJ18 相比,HJ67 的贮藏品质指标处于相对独立的空间,说明 HJ67 与其他两个品种的品质特性及贮藏特性均有较大差异。

相关;果肉组织硬度与 SSC 和葡萄糖呈强相关、与果糖和 TA 呈弱相关。HJ67 果实紧实度与果肉脆性和咀嚼性呈强相关、与带皮硬度和果实弹性呈弱相关;果糖与苹果酸、葡萄糖呈强相关,与 SSC、TA 和柠檬酸呈弱相关;果肉组织硬度与 TA、柠檬酸、葡萄糖和果糖呈弱相关。综上所述可知,贮藏期间,不同品种砂梨质地和风味品质间的相关性有一定差异。

2.1.3 聚类分析 如图 3 所示,早生新水的 14 个品质指标被聚为 4 个类群,类群 I (TA),类群 II (果皮脆性),类群 III (果实弹性、果肉组织硬度、咀嚼性、果肉脆性、苹果酸),类群 IV (带皮硬度、果实紧实度、SSC、果糖、葡萄糖、山梨醇、柠檬酸);HJ18 被聚为 4 个类群,类群 I (果糖),类群 II (果实紧实度、苹果酸),类群 III (带皮硬度、果肉组织硬度、咀嚼性、果肉脆性和 TA),类群 IV (果皮脆性、果实弹性、SSC、柠檬酸、葡萄糖、山梨醇);HJ67 被聚为 4 个类群,类群 I (果肉脆性和柠檬酸),类群 II (带皮硬度、果肉组织硬度、果实弹性、咀嚼性、SSC、葡萄糖、山梨醇),类群 III (果实紧实度),类群 IV (果皮脆性、TA 和苹果酸)。3 个品种砂梨的果实质地、糖酸非挥发性物质及挥发性物质均受到贮藏时间的调控,但受调控程度有一定差异,不同指标间有一定的相关性。试验表明 3 个品种

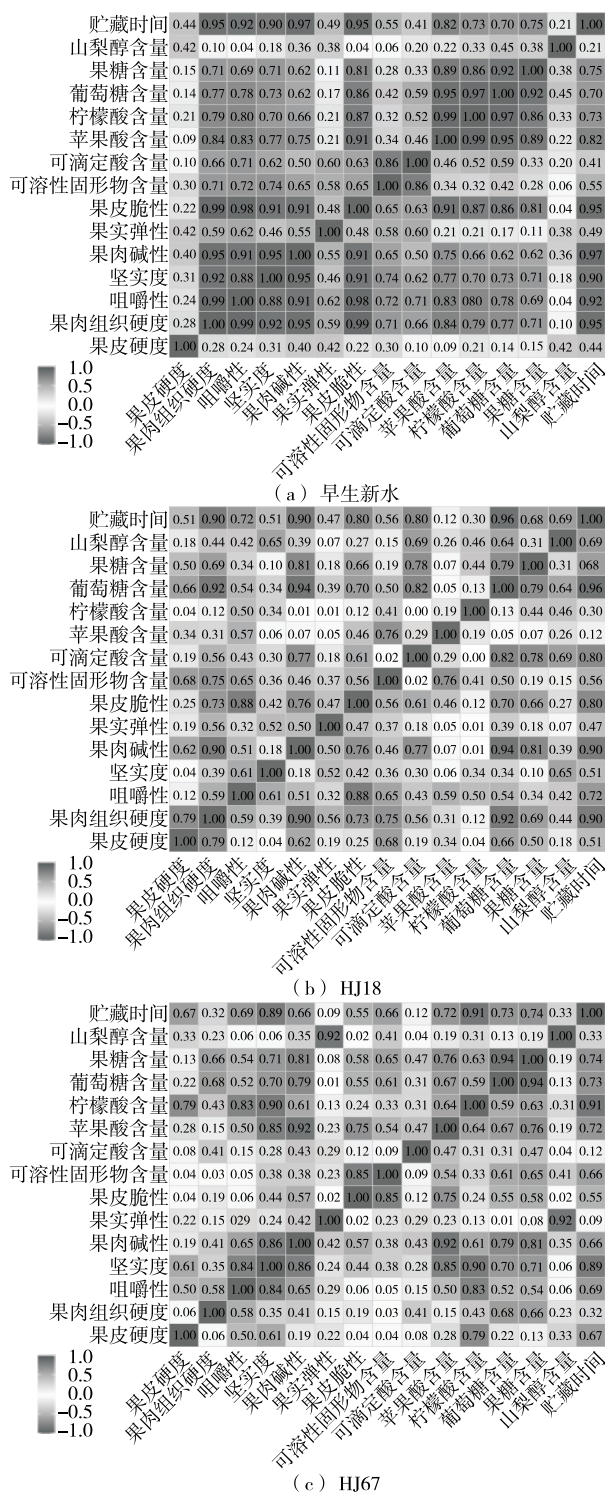


图 2 指标间相关性分析

Figure 2 Correlation analysis between indicators

砂梨带皮硬度、果肉组织硬度和果肉脆性呈正相关,被聚为一类,可简化评价指标,与潘好斌等^[19]报道的果实硬度与咀嚼性呈极显著性正相关的结论有一定差异。3 个品种砂梨果皮特性差异较大,咀嚼性、紧实度、果皮脆性和

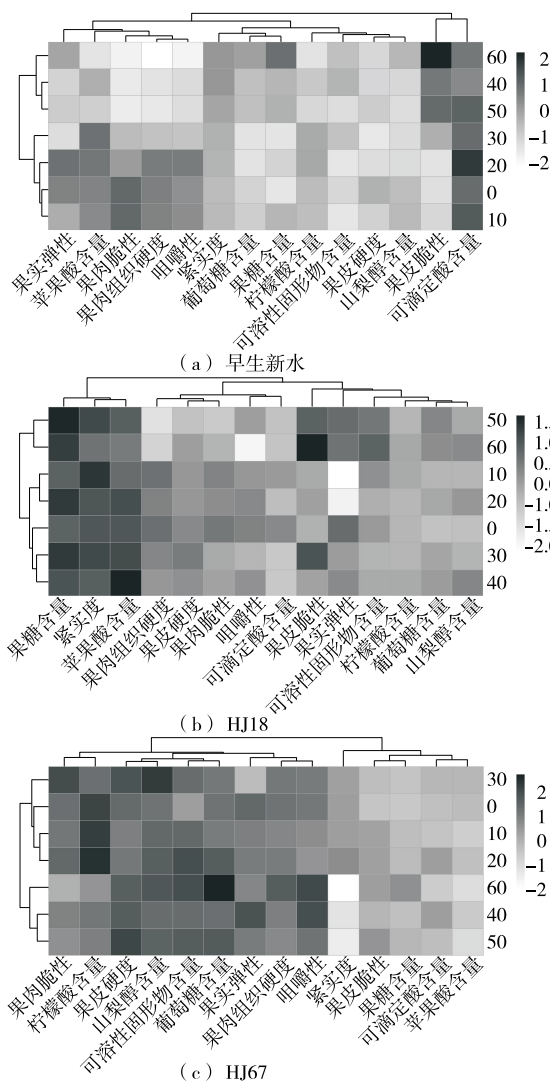


图 3 基于品质指标的聚类分析

Figure 3 Cluster analysis based on quality index

果实弹性无关联性,但与贮藏时间显著相关,说明以上 5 个指标可以独立评价果实耐贮性^[22]。建议将评价指标简化为果肉组织硬度、紧实度、果皮脆性、果实弹性和咀嚼性,与前人在梨^[23]、桃^[24]等园艺作物中的研究结果相似。3 个品种砂梨贮藏风味指标的相关性分析和聚类结果有一定差异,早生新水和 HJ67 苹果酸、柠檬酸、葡萄糖、果糖间及 SSC 和 TA 密切相关,HJ18 葡萄糖和 TA 间存在强相关、与山梨醇和 SSC 存在弱相关;早生新水和 HJ18 的 TA、苹果酸、柠檬酸处于 3 个独立的空,而 HJ67 的 TA 和苹果酸有较强相关性,柠檬酸处于独立的空,进一步说明了 HJ67 果实的独特酸代谢途径。3 个品种砂梨果实 SSC、葡萄糖、山梨醇被聚为一类,果糖的聚类结果差异较大,说明果糖在果实贮藏风味的调控中,起到不同的作用^[25-26]。建议将非挥发性评价指标简化为可滴定酸、苹果酸、柠檬酸、SSC 和果糖。

基于14个品质指标的变化,早生新水和 HJ67 的贮藏时间被聚为4个类群,类群 I (0~20 d 的果品),类群 II (30 d 的果品),类群 III (40~50 d 的果品),类群 IV (60 d 的果品);HJ18 被聚为4个类群,类群 I (0,30~40 d 的

果品),类群 II (10~20 d 的果品),类群 III (50 d 的果品),类群 IV (60 d 的果品)。

2.2 贮藏期间3个品种砂梨挥发性物质差异性比较

2.2.1 主成分分析 如图所4(a)示,贮藏时间对3个品

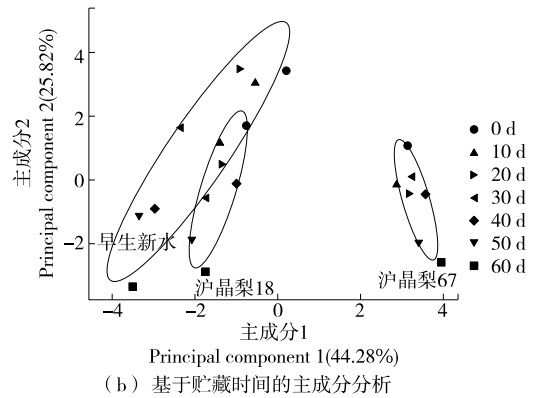
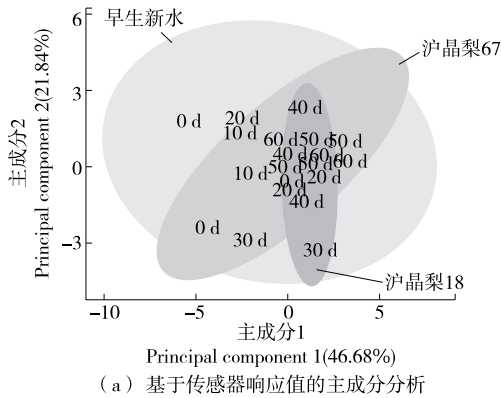


图4 主成分分析

Figure 4 Principal component analysis (PCA) based on e-nose responses

种砂梨果实的挥发性物质均有一定的调控作用。贮藏0 d 的早生新水与10,20~60 d 的果实在 PC1 上显示出较好的区分,贮藏0,20,40~60 d 的果实在 PC2 上处于较独立的空间,说明早生新水果实挥发性物质在贮藏后期发生了显著变化;贮藏0,10~60 d 的 HJ18 果实在 PC2 上处于较独立的空间,不同贮藏时间点10个传感器感应值在 PC1 未被有效区分,说明 HJ18 果实的挥发性物质的变化较小;贮藏0,10~30,40~60 d 的 HJ67 果实在 PC1 上显示出较好的区分,贮藏0~20,30,40~60 d 的 HJ67 果实在 PC2 上处于较独立的空间,说明 HJ67 果实挥发性物质受贮藏期调控较大。

由4(b)可知,贮藏0~30 d,传感器对3个品种砂梨的感应值在 PC1 和 PC2 上均处于较独立的空间,说明贮藏前期3个品种的挥发性物质含量差异较大;至第40天,差异性降低,在 PC1 不能有效区分,在 PC2 上得到显著区分,可能与 HJ67 的酸味降低、导致果实挥发性物质发生变化,以及与其他两个品种的部分挥发性物质较接近有关,具体物质和含量需进一步研究;贮藏50~60 d,差异性增大,在 PC1 和 PC2 上均处于较独立的空间,说明果实衰老对3个品种砂梨挥发性物质的调控作用不同,综合风味的变化差异较大。

2.2.2 聚类分析 如图5所示,基于贮藏时间,早生新水挥发性物质被聚为4个类群,类群 I (S4 和 S10),类群 II (S2、S7、S9),类群 III (S1),类群 IV (S3、S5、S6、S8); HJ18 挥发性物质被聚为4个类群,类群 I (S4),类群 II (S10),类群 III (S2、S6、S7、S8、S9),类群 IV (S1、S3、S5); HJ67 挥发性物质被聚为4个类群,类群 I (S6、S8),类群 II (S2、S7、S9),类群 III (S1、S4、S10),类群 IV (S3、S5)。

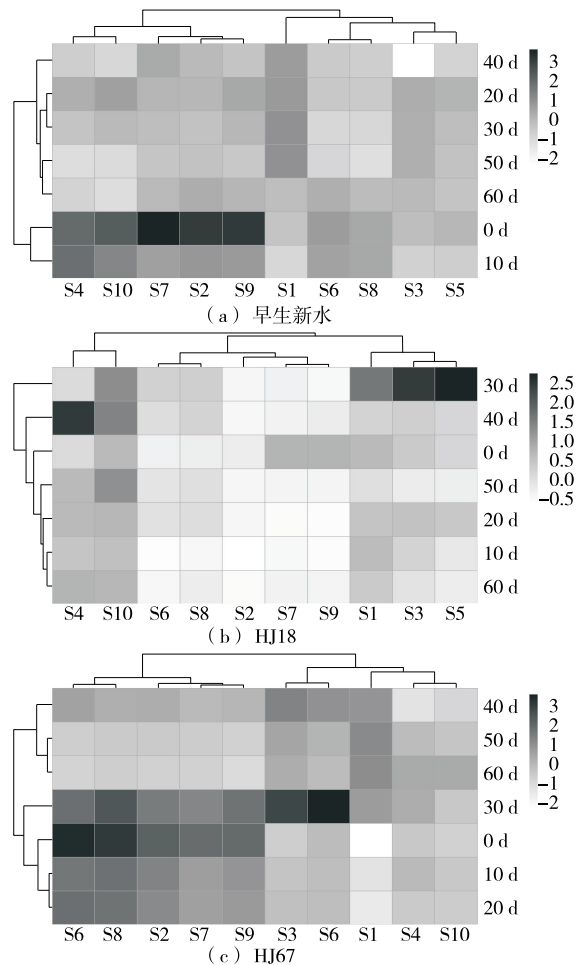


图5 电子鼻响应值的聚类分析

Figure 5 Hierarchical clustering analysis based on e-nose responses

基于响应值,早生新水的贮藏时间被聚为 4 个类群,类群 I (0 d 的果品),类群 II (10 d 的果品),类群 III (40 d 的果品),类群 IV (20~30, 50~60 d 的果品);HJ18 被聚为 3 个类群,类群 I (30 d 的果品),类群 II (40 d 的果品),类群 III (0~20, 50~60 d 的果品);HJ67 被聚为 4 个类群,类群 I (0~20 d 的果品),类群 II (30 d 的果品),类群 III (40 d 的果品),类群 IV (50~60 d 的果品)。

传感器 W5S、W2W 和 W2S 可区别不同处理的香红梨果实挥发性物质^[27];W1S、W1W、W2S、W3S 可判别皇冠梨腐败程度^[28]。研究得出:传感器 W5S、W1S、W1W、W2S、W2W 对贮藏期间 3 个品种砂梨果实的贡献率较大,可能与品种特性和贮藏条件等有关^[27-28]。通过聚类分析方法可将早生新水和 HJ67 传感器 S2、S7、S9 和 S6、S8 聚类为两个独立的空间,而 HJ18 的 5 个传感器感应值被聚为一类,未得到很好的划分,进一步说明了早生新水和 HJ67 的挥发性物质受贮藏时间调控较大,与 PCA 的分析结果一致;甲烷和乙醇的变化具有相似性,为采后贮藏期间需重点研究的挥发性物质,氮氧化物、硫化氢、芳香成分与有机硫化物的变化具有相似性,与果实糖酸代谢的变化有密切关系。

砂梨系统果实采后果实糖酸和挥发性物质均存在代谢进程,可形成特殊的贮藏风味^[29-30],果实质地、风味和芳香物质受贮藏条件的调控较大^[31-32]。基于 14 个品质指标,HJ67 与早生新水和 HJ18 处于相对独立的空间,说明 HJ67 与其他两个品种的品质特性及贮藏特性均有较大差异;基于 10 个传感器响应值,3 个品种存在独立空间交集,未得到有效区分。第 40 天,3 个品种梨传感器感应值在 PC2 上得到显著区分,可能与 HJ67 的酸味降低、导致果实挥发性物质发生变化有关,具体物质和含量需进一步探讨;第 50 天和第 60 天,3 个品种传感器感应值在 PC1 和 PC2 上均处于较独立的空间,可对贮藏后期果品的挥发性物质进行定性和定量分析及机理解析。以上结

果进一步说明了早生新水、HJ18 和 HJ67 采后贮藏期间果实挥发性物质的代谢规律有较大差异,具体的差异化代谢途径、机理及相关调控技术需进一步研究。

HJ67 基于质地、非挥发性和挥发性物质的划分结果较为一致,被划分为 0~20, 30, 40~50, 60 d 4 个贮藏时间段,贮藏后期的划分结果有一定差异,可能与非挥发性和挥发性物质对贮藏时间的响应机制不同有关。早生新水和 HJ18 基于质地、非挥发性和挥发性物质的划分结果差异较大,可能与果实软化对非挥发性和挥发性物质调控机制不同有关。

2.3 早生新水果实品质的时序分析

2.3.1 早生新水果实质地的时序分析 由图 1(a)和图 6 可知,质构参数均可直接使用线性拟合,果肉组织硬度和咀嚼性拟合方程的 R^2 分别为 0.89 和 0.82,符合线性指数模型条件。线性指数模型可预测 1 °C 贮藏条件下果肉组织硬度、咀嚼性的变化速率,预测出库时间,降低损耗。

2.3.2 早生新水果实糖酸含量的时序分析 由图 7 可知,果实葡萄糖和苹果酸拟合方程的 R^2 分别为 0.73 和 0.86,符合非线性指数模型条件。非线性指数模型可预测 1 °C 贮藏条件下果实苹果酸、柠檬酸、葡萄糖、果糖的变化速率及不同贮藏时间点的风味值,根据果实糖酸含量,确定果品出库时间,可提高果实附加值,降低市场风险。

2.4 HJ18 果实品质的时序分析

2.4.1 HJ18 果实质地和糖酸的时序分析 果肉组织硬度、果肉脆性、葡萄糖、果糖和山梨醇与贮藏时间呈线性关系,可使用线性拟合。由图 8 可知,果肉组织硬度和葡萄糖拟合方程的 R^2 分别为 0.77 和 0.91,符合线性指数模型条件。线性指数模型可预测 1 °C 贮藏条件下 HJ18 果实质地和风味的变化范围。

2.4.2 HJ18 果实可滴定酸和可溶性固形物的时序分析

由图 9 可知,HJ18 果实 TA 拟合方程的 R^2 为 0.89,符合非线性指数模型条件。

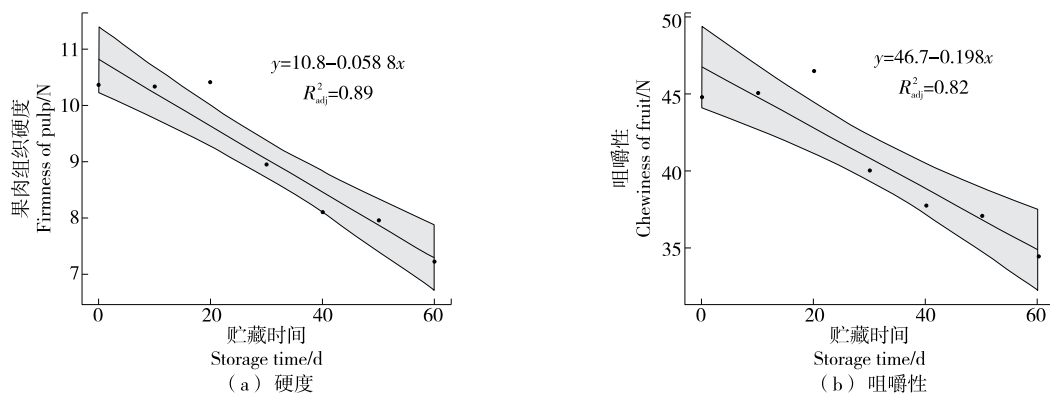


图 6 果肉组织硬度和咀嚼性与贮藏时间的拟合方程式

Figure 6 Fitting equation of firmness, chewiness and storage time

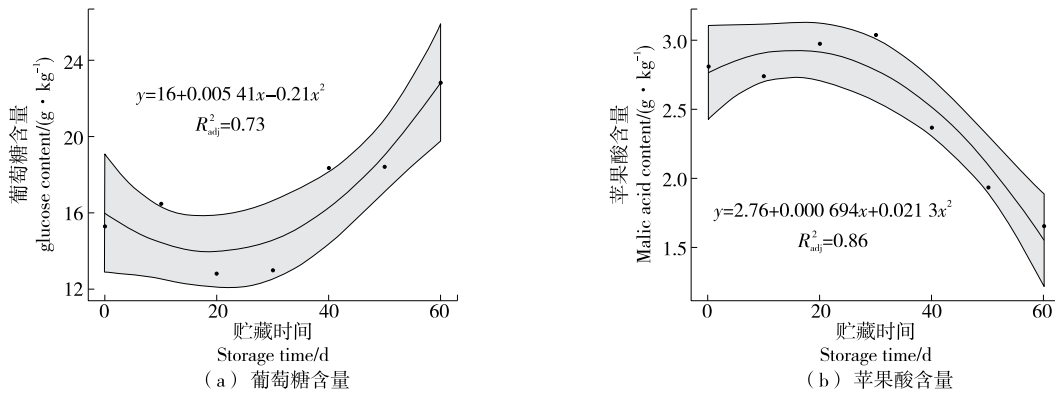


图7 葡萄糖和苹果酸与贮藏时间的拟合方程式

Figure 7 Fitting equation of glucose and malic acid and storage time

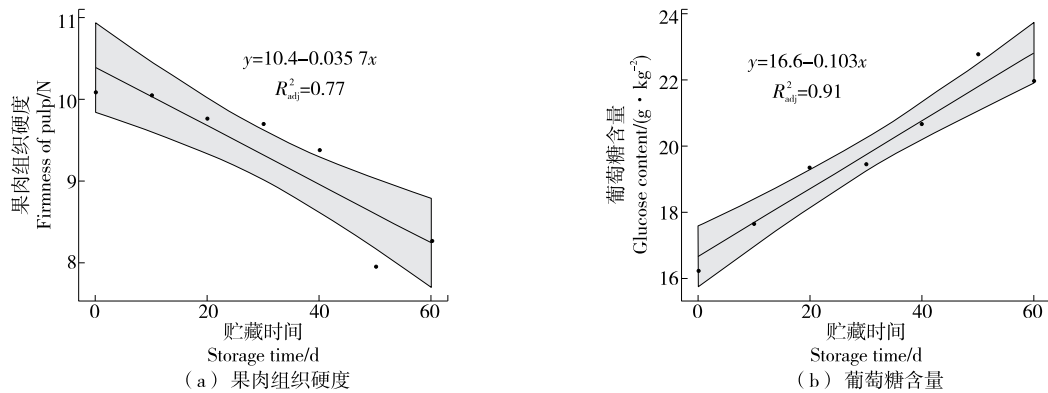


图8 HJ18果实果肉组织硬度、葡萄糖与贮藏时间的拟合方程式

Figure 8 Fitting equation of firmness, glucose and storage time of HJ18 pear

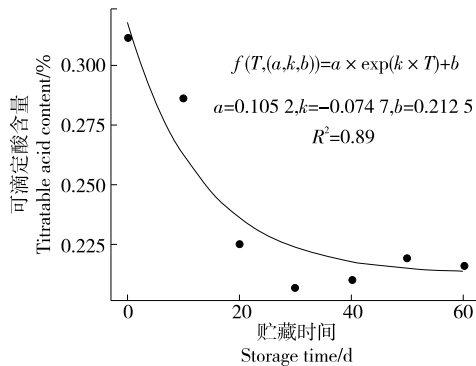


图9 HJ18果实可滴定酸与贮藏时间的拟合方程式

Figure 9 Fitting equation between titratable acid and storage time of HJ18 pear

3 结论

基于品质变化,3个砂梨品种的贮藏时间被划分为不同的区间。建立了贮藏期间果实质地和品质变化的预测模型,指数方程可预测3个砂梨品种果实质地的变化,非线性方程可预测糖酸含量的变化,主成分分析、聚类分析结合计算机R计算可给予3个品种砂梨果实的贮藏期和综合品质较全面、客观的评价。3个砂梨品种糖酸含量与

果肉组织硬度的相关性、及贮藏期间果实挥发性物质的代谢规律有一定差异,相关机理需进一步研究。

参考文献

- [1] 张明昊,叶正文,骆军,等. 1-MCP处理结合低温贮藏对早生新水梨采后生理及品质的影响[J]. 食品与机械, 2022, 38(10): 127-133, 209.
- ZHANG M H, YE Z W, LUO J, et al. Effects of 1-MCP combined with low temperature storage on postharvest physiology and quality of Zaoshengxinshui pear[J]. Food & Machinery, 2022, 38(10): 127-133, 209.
- [2] 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.
- [3] 周慧娟,叶正文,骆军,等. 气调处理对‘早生新水’梨贮藏品质的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(28): 143-152.
- ZHOU H J, YE Z W, LUO J, et al. Effect of controlled-atmosphere on storage quality of 'Zaoshengxinshui' pear[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2018, 34(28): 143-152.
- [4] 孙希生,王文辉,李志强,等. 1-MCP对砀山酥梨保鲜效果的影响

- 响[J]. 保鲜与加工, 2001(6): 14-17.
- SUN X S, WANG W H, LI Z Q, et al. Effects of 1-MCP on cold storage of Dangshansuli pears[J]. Storage and Process, 2001(6): 14-17.
- [5] 牛佳佳, 张四普, 张柯, 等. 9 个梨品种综合品质评价分析[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(17): 149-156.
- NIU J J, ZHANG S P, ZHANG K, et al. Comprehensive quality evaluation and analysis of nine pear varieties[J]. Food Research and Development, 2021, 42(17): 149-156.
- [6] SU M S, ZHANG B, YE Z W, et al. 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.
- [7] 程玉豆, 张亚光, 关军锋, 等. 1-MCP 和延迟冷藏对‘早红考密斯’梨货架期间品质和软化相关基因表达的影响[J]. 中国农业科学, 2020, 53(22): 4 658-4 666.
- CHEGN Y D, ZHANG Y G, GUAN J F, et al. Effects of 1-MCP and delayed cold-storage on quality and expression of softening related genes in 'doyenne ducomice' pear during shelf-life [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(22): 4 658-4 666.
- [8] 周慧娟, 叶正文, 冯子耀, 等. 基于聚类主成分分析的不同可溶性固形物含量桃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 Trees, 2022, 39(11): 2 149-2 160.
- [9] 俞露, 赵芷, 张文欣, 等. 贵州不同地区刺梨的综合品质对比分析[J]. 现代食品科技, 2021, 37(9): 169-178.
- YU L, ZHAO Z, ZHANG W X, et al. Comparative comprehensive quality analysis of Rosa roxburghii fruit from different regions in Guizhou province[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(9): 169-178.
- [10] 刘美迎, 李小龙, 梁茁, 等. 基于模糊数学和聚类分析的鲜食葡萄品种综合品质评价[J]. 食品科学, 2015, 36(13): 57-64.
- LIU M Y, LI X L, LIANG Z, et al. Comprehensive quality assessment of table grapes varieties using fuzzy mathematics and cluster analysis[J]. Food Science, 2015, 36(13): 57-64.
- [11] 罗立娜, 韩树, 王代谷, 等. 油梨果实品质的差异分析与评价[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(3): 105-113.
- LUO L N, HAN S, WANG D G, et al. Analysis and evaluation of the differences in fruit quality of avocado [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2021, 23(3): 105-113.
- [12] 严鑫, 吴巨友, 贡鑫, 等. 不同产地圆黄梨果实品质差异分析[J]. 果树学报, 2021, 38(12): 2 082-2 090.
- YAN X, WU J Y, GONG X, et al. Analysis of fruit quality of Wonhwang pear from different regions[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(12): 2 082-2 090.
- [13] 牟红梅, 于强, 李庆余, 等. 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): 1 084-1 092.
- MOU H M, YU Q, LI Q Y, et al. 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): 1 084-1 092.
- [14] 陈启亮, 杨晓平, 范净, 等. 广西砂梨地方品种果实品质性状分析及综合评价[J]. 南方农业学报, 2021, 52(9): 2 524-2 533.
- CHEN Q L, YANG X P, FAN Z, et al. Fruit quality character analysis and comprehensive evaluation of Pyrus prifolia Nakai landrace in Guangxi[J]. Journal of Southern Agriculture, 2021, 52(9): 2 524-2 533.
- [15] 韩斯, 孟宪军, 汪艳群, 等. 不同品种蓝莓品质特性及聚类分析[J]. 食品科学, 2015, 36(6): 140-144.
- HAN S, MENG X J, WANG Y Q, et al. Quality properties and cluster analysis of different blueberry cultivars[J]. Food Science, 2015, 36(6): 140-144.
- [16] 李跃红, 冉茂乾, 徐孟怀, 等. 不同品种猕猴桃果实品质比较与综合评价[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(23): 162-168.
- LI Y H, RAN M Q, XU M H, et al. Comparison and comprehensive evaluation of fruit quality of different varieties of kiwifruit [J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(23): 162-168.
- [17] 张春岭, 刘慧, 刘杰超, 等. 基于主成分分析与聚类分析的中、早熟桃品种制汁品质评价[J]. 食品科学, 2019, 40(17): 141-149.
- ZHANG C L, LIU H, LIU J C, et al. Evaluation of juice quality of mid-early ripening peach varieties based on principal component analysis and cluster analysis [J]. Food Science, 2019, 40(17): 141-149.
- [18] 李婕玲, 胡继伟, 李朝婵. 贵州不同种植地区无籽刺梨果实品质评价[J]. 果树学报, 2016, 33(10): 1 259-1 268.
- LI J L, HU J W, LI C C. Fruit quality of Rosa sterilis planted in different regions of Guizhou province[J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(10): 12 59-1 268.
- [19] 潘好斌, 刘东, 邵青旭, 等. 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 H B, LIU D, SHAO Q X, et al. 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.
- [20] 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 sugar in peaches by high-performance liquid chromatography with variable wavelength detector[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Science, 2015, 31(4): 887-892.
- [21] 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.

- [22] 周慧娟, 高晓飒, 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.
- [23] 王燕霞, 王晓蔓, 关军锋. 梨肉质质地性状分析[J]. 中国农业科学, 2014, 47(20): 4 056-4 066.
- WANG Y X, WANG X M, GUAN J F. Flesh texture characteristic analysis of pear[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2014, 47(20): 4 056-4 066.
- [24] 袁成龙, 董晓颖, 李培环, 等. TPA 质构分析硬肉桃果实采后质地变化[J]. 食品科学, 2013, 34(20): 273-276.
- YUAN C L, DONG X Y, LI P H, et al. Changes in texture properties of crisp peach during postharvest storage by texture profile analysis[J]. Food Science, 2013, 34(20): 273-276.
- [25] 蒋爽, 岳晓燕, 滕元文, 等. 不同砂梨果实中糖酸含量及代谢相关基因表达分析[J]. 果树学报, 2016, 33(S1): 65-70.
- JIANG S, YUE X Y, TENG Y W, et al. The contents of sugars and acids, and the expression analysis of metabolism-associated genes in fruit of *Pyrus pyrifolia* [J]. Journal of Fruit Science, 2016, 33(S1): 65-70.
- [26] 姚改芳, 张绍铃, 吴俊, 等. 10 个不同系统梨品种的可溶性糖与有机酸组分含量分析[J]. 南京农业大学学报, 2011, 34(5): 25-31.
- YAO G F, ZHANG S L, WU J, et al. Analysis of components and contents of soluble sugars and organic acids in ten cultivars of pear by high performance liquid chromatography[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2011, 34(5): 25-31.
- [27] 闫子茹, 岳肖肖, 赵江丽, 等. 基于电子鼻分析 1-MCP 对“香红梨”后熟进程的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(4): 271-275, 281.
- YAN Z R, YUE Y X, ZHAO J L, et al. Effect of 1-MCP on the ripening process of 'Xianghong' pears based on the electronic nose analysis[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(4): 271-275, 281.
- [28] 赵策, 马飒飒, 张磊, 等. 基于电子鼻技术的皇冠梨腐败等级分类研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(3): 246-258.
- ZHAO C, MA S S, ZHANG L, et al. Research on classification of rotten grades of huangguan pears on electronic nose technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(3): 246-258.
- [29] 马天晓, 王佳慧, 刘震, 等. 泌阳瓢梨贮藏过程中香气成分组成及变化的研究[J]. 经济林研究, 2013, 31(3): 35-40.
- MA T X, WANG J H, LIU Z, et al. Composition and change of aroma components in *Pyrus breschneideri* during storage [J]. Nonwood Forest Research, 2013, 31(3): 35-40.
- [30] 李国鹏, 贾惠娟, 王强. 油红梨 (*Pyrusussuriensis*) 果实成熟过程中香气成分的变化[J]. 果树学报, 2012, 29(1): 11-16.
- LI G P, JIA H J, WANG Q, et al. Changes of aromatic composition in 'Youhongli' (*Pyrusussuriensis*) fruit during fruit ripening[J]. Journal of Fruit Trees, 2012, 29(1): 11-16.
- [31] 周慧娟, 杜纪红, 苏明申, 等. 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 H J, DU J H, SU M S, et al. 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.
- [32] ABIDI W, CANTIN C M, JIMENEZ 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: 51-358.
- (上接第 72 页)
- [17] SHISHOV A, GERASIMOV A, NECHAEVA D, et al. An effervescence-assisted dispersive liquid-liquid microextraction based on deep eutectic solvent decomposition: Determination of ketoprofen and diclofenac in liver[J]. Microchemical Journal, 2020, 156: 104837.
- [18] OZAK S S, YILMAZ Y. Ultrasound-assisted hydrophobic deep eutectic solvent based solid-liquid microextraction of Sudan dyes in spice samples[J]. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 2020, 236: 118353.
- [19] LIU W, ZHANG K D, YU J J, et al. A green ultrasonic-assisted liquid-liquid microextraction based on deep eutectic solvent for the HPLC-UV determination of TBHQ in edible oils [J]. Food Analytical Methods, 2017, 10(9): 3 209-3 215.
- [20] HABIBOLLAHI M H, KARIMYAN K, ARFAEINIA H, et al. Extraction and determination of heavy metals in soil and vegetables irrigated with treated municipal wastewater using new mode of dispersive liquid-liquid microextraction based on the solidified deep eutectic solvent followed by GFAAS[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99(2): 656-665.
- [21] SOROURADDIN S M, FARAJZADEH M A, OKHRAVI T. Application of deep eutectic solvent as a disperser in reversed-phase dispersive liquid-liquid microextraction for the extraction of Cd (II) and Zn (II) ions from oil samples[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2020, 93: 103590.
- [22] SOROURADDIN S M, FARAJZADEH M A, DASTOORI H. Development of a dispersive liquid-liquid microextraction method based on a ternary deep eutectic solvent as chelating agent and extraction solvent for preconcentration of heavy metals from milk samples[J]. Talanta, 2020, 208: 120485.
- [23] 吴平, 陈雷, 范立英. 免消解原子荧光法测定牛奶中的铅[J]. 中国卫生检验杂志, 2012, 22(7): 1 536-1 538.
- WU P, CHEN L, FAN L Y. Determination of lead in milk by non-digestion atomic fluorescence spectrometer[J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2012, 22(7): 1 536-1 538.