

酥梨膏不同贮藏期的品质比较

牛佳佳¹, 朱娜², 崔巍¹, 苗建银³, 郭超峰⁴, 解远明⁵, 张艳敏⁵, 张四普^{1*}

(1. 河南省农业科学院园艺研究所, 河南郑州 450002) (2. 河南农业大学园艺学院, 河南郑州 450002)
(3. 华南农业大学食品学院, 广东省功能食品活性物重点实验室, 广东广州 510642) (4. 宁陵县农业农村局, 河南商丘 476700) (5. 宁陵果源贡食品有限公司, 河南商丘 476700)

摘要: 该研究为了解酥梨膏长期贮藏品质变化规律, 明确酥梨膏适宜贮藏期限。该研究以不同贮藏期的酥梨膏为试材, 通过测定酥梨膏的菌落总数, 色差值、pH 值、总糖、氨基酸态氮、总酚等外观色泽、品质指标以及挥发性成分, 并采用主成分和相关性分析对各贮藏期的酥梨膏指标进行品质评价和分析, 探究贮藏时长对酥梨膏品质影响。结果表明: 不同贮藏时期的酥梨膏菌落总数在 37.0~67.0 CFU/mL 之间, 均符合食品安全微生物限量标准, 贮藏 32 个月之内的酥梨膏体系较稳定, 沉淀率、澄清度、稳定性、云度值分别为 2.29%、18%、0.87% 和 1.62; 贮藏 24 个月酥梨膏可保持较好品质, 总酚 (2 060.68 mg/L)、总黄酮 (754.33 mg/L)、可溶性蛋白 (67.19 mg/L) 含量显著增加 ($P<0.05$), DPPH· 清除率 (91.62%)、氨基酸态氮 (124.93 mg/L) 与贮藏 10 个月差异不显著 ($P>0.05$), pH 值 (4.71)、总糖 (75.36%) 与贮藏 2 个月差异不显著 ($P>0.05$); 随着贮藏期延长, 酥梨膏中挥发性成分种类增加, 贮藏 24 个月之内刺激性挥发性成分不是特征物质。综合分析, 贮藏 24 个月, 酥梨膏能保持较好的品质, 是酥梨膏适宜的贮藏期限。

关键词: 酥梨膏; 贮藏期; 品质; 挥发性成分

文章编号: 1673-9078(2025)09-184-198

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.9.0945

Comparison of the Quality of Suli Pear Paste Stored for Different Periods

NIU Jiajia¹, ZHU Na², CUI Wei¹, MIAO Jianyin³, GUO Chaofeng⁴, XIE Yuanming⁵, ZHANG Yanmin⁵,
ZHANG Sipu^{1*}

(1.Horticulture Research Institute of Henan Agricultural Science Academy, Zhengzhou 450002, China)

(2.College of Horticulture, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

(3.College of Food Science, South China Agricultural University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Nutraceuticals and Functional Foods, Guangzhou 510642, China)(4.Agricultural Bureau of Ningling County, Shangqiu 476700, China)(5.Ningling Guoyuangong Food Co. Ltd., Shangqiu 476700, China)

Abstract: This research aimed to understand the changing trend of the long-term storage quality of Suli pear paste, and determine its suitable storage period. In this research, the effects of storage period on the quality of the paste were evaluated and analyzed through measuring the total number of colonies, color difference value, pH value, total sugar, amino acid nitrogen, total phenolic content, and other appearance color, nutritional quality indexes and volatile components of the paste,

引文格式:

牛佳佳,朱娜,崔巍,等.酥梨膏不同贮藏期的品质比较[J].现代食品科技,2025,41(9):184-198.

NIU Jiajia, ZHU Na, CUI Wei, et al. Comparison of the quality of suli pear paste stored for different periods [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(9): 184-198.

收稿日期: 2024-07-03; 修回日期: 2024-08-21; 接受日期: 2024-08-21

基金项目: 河南省大宗水果产业技术体系项目 (HARS-22-09-G4)

作者简介: 牛佳佳 (1981-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 果品保鲜与加工, E-mail: 50817645@qq.com

通讯作者: 张四普 (1973-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 果品保鲜与加工, E-mail: spz3554101@126.com

and principal component analysis and correlation analysis were performed on the indexes of the paste stored for different periods. The results showed that the total number of colonies of Suli pear paste after being stored for different storage periods were 37.0~67.0 CFU/mL, which all complied with the food safety microbial limited standard. The Suli pear paste system after 32 months of storage was relatively stable, with the values of precipitation rate, clarity, stability and cloudiness value were 2.29%, 18%, 0.87% and 1.62, respectively. After 24 months of storage, the quality of Suli pear paste remained good, with the contents of total phenolics (2 060.68 mg/L), total flavonoids (754.33 mg/L) and soluble protein (67.19 mg/L) increased significantly ($P<0.05$). The DPPH clearance rate (91.62%) and amino acid nitrogen (124.93 mg/L) were insignificantly different from those stored for 10 months ($P>0.05$); The pH value (4.71) and total sugar (75.36%) were insignificantly different from those stored for 2 months ($P>0.05$). With the extension of storage period, the number of different types of volatile components in the paste increased, and within 24 months of storage, the irritating volatile substances were not the characteristic substances. Comprehensive analysis showed that the pear paste could maintain better quality over a 24-month storage, thus, a storage period of 24 months is appropriate for Suli pear paste.

Key words: suli pear paste; storage period; quality; volatile components

据中国统计年鉴显示, 2022 年梨产量 1 926.5 万 t, 是除苹果、柑橘以外的第三大水果。梨加工成梨浓缩汁和梨罐头是最重要的加工形式^[1], 当梨汁浓缩到一定程度即成为膏状, 可溶性固形物在 75%~80% 之间, 粘度在为 957 mPa·s 以上, 表现为假塑性非牛顿流体^[2]。梨膏加工在我国已有上千年历史, 在《本草求原》《本草纲目》等多部著作均有记载。梨膏以鲜榨梨汁为原料, 经护色、过滤、浓缩等工序制备得到^[3], 梨膏保留了酥梨的多种营养成分, 富含矿物质、可溶性糖、多酚类、黄酮类、维生素和膳食纤维等, 这些成分对人体健康有多种益处, 如平喘止咳、抗炎、抗氧化、促进消化^[4-6]等。关于梨膏的研究, 当前多集中在梨膏工艺参数优化及特征组分分析^[7]、梨膏止咳功效性成分研究^[6]、复合配方梨膏加工^[8]方面。市场销售梨膏种类繁多, 保质期标注也长短不一市场混乱, 王阳等^[9]曾对市售的 27 种梨膏产品进行调研, 数据未显示产品保质期相关信息, 有关梨膏中长期贮藏的品质变化规律, 梨膏适宜贮藏期限问题均未见相关报道。

酥梨是我国梨特色品种, 果个大、品质优、营养丰富, 其产量位于梨产量之首, 是加工梨膏的优质原料, 在安徽、河南、山西、陕西等地广泛种植, 其中, 安徽砀山、河南宁陵、陕西蒲城是中国酥梨之乡, 也是酥梨优势产区, 酥梨膏生产产量巨大。鉴于此, 本研究以宁陵当地一家工厂生产存放的不同批次酥梨膏(以无任何添加的酥梨汁为原料)为材料, 分析不同贮藏时间条件下的酥梨膏品质, 应用 GC-MS 技术对酥梨膏挥发性分进行分析, 为酥梨膏的适宜贮藏期限研究提供科学依据, 为酥梨加工行

业的安全生产销售提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂和仪器

1.1.1 材料

宁陵果源贡食品有限公司生产存放不同时间(2、10、19、24、32、36、40、50、55 月)酥梨膏, 常温、玻璃瓶密封、避光贮藏。

酥梨膏加工工艺为:

梨挑选→清洗→破碎→榨汁→过滤→熬制→真空浓缩→无菌灌装

1.1.2 试剂

分析用化学试剂均为分析纯 AR 级: 乙酸钠、乙酸、甲醛, 天津市科密欧化学试剂有限公司; 蒽酮、硫酸铵、葡萄糖, 国药集团化学试剂有限公司; 硫酸, 江苏彤晟化学试剂有限公司; 乙酰丙酮, 默克 sigma-aldrich 化学试剂公司; 福林酚, 上海展云化工有限公司; 无水乙醇、碳酸钠, 烟台市双双化工有限公司; 亚硝酸钠、硝酸铝, 天津希恩思生化科技有限公司; 芦丁、考马斯亮蓝 G-250、牛血清蛋白, 上海索莱宝生物科技有限公司; 没食子酸, 上海源叶生物科技有限公司; 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼, 上海麦克林生化科技股份有限公司。氯化钠(色谱级), 上海麦克林生化科技股份有限公司; 2-甲基-3-庚酮(色谱级), 德国默克股份两合公司。

1.1.3 主要仪器设备

CR-400 色差分析仪, 日本柯尼卡美能达公司;

FE-28 酸度计, 梅特勒-托利多(上海)有限公司; HC-2518R 高速冷冻离心机, 安徽中科中佳科学仪器有限公司; BWS-5 恒温水浴锅, 上海一恒科学仪器有限公司; BSA423S-CW 电子秤, 感量 1 mg, 德国赛多利斯公司; A590 扫描型双光束紫外可见分光光度计, 上海翱艺仪器有限公司; 8890B/5977B 型气相色谱-质谱联用仪, 美国安捷伦科技有限公司; HP-5MS 毛细管色谱柱 (30 m×0.25 mm, 0.25 μm), 上海安谱实验科技股份有限公司; FlavourSpec 空气相色谱-离子迁移谱仪, 德国 G.A.S 公司; DB-WAX 色谱柱 (30 m×0.53 mm, 1 μm), 美国 RESTEC 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 酥梨膏菌落总数的测定

参照 GB 4789.2-2016《食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定》^[10]的方法进行计数。

1.2.2 酥梨膏 pH 值、外观色泽的测定

参照 GB 18963-2012《浓缩苹果汁》^[11]的方法, 将酥梨膏 TSS 含量稀释至 11.5%, 测定 pH 值、色差值、云度值、稳定性、澄清度、离心沉淀率。

1.2.2.1 pH 值的测定

将校正后的 pH 计浸入酥梨膏稀释液的液面之下小心搅拌, 待读数稳定后记录 pH 值。

1.2.2.2 色差值的测定

使用校准后的色差仪直接进行亮度 (L^*)、红色度 (a^*)、黄色度 (b^*)、饱和度 (C^*) 的测定。

1.2.2.3 澄清度的测定

取适量梨膏水溶液移入比色皿中, 以蒸馏水为对照, 在 625 nm 处测量透光率。

1.2.2.4 离心沉淀率的测定

采用称量法, 酥梨膏稀释液于 3 500 r/min 离心 15 min, 取出弃上清液后称量沉淀质量。重复 3 次。沉淀率计算如公式 (1) 所示:

$$Y = \frac{C-A}{B-A} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

Y ——沉淀率, %;

A ——离心管的质量, g;

B ——离心管和酥梨膏水溶液总质量, g;

C ——离心管和沉淀的质量, g。

1.2.2.5 云度值和稳定性的测定

参考 Ertugay 等^[12]方法稍有改动, 酥梨膏水

760 r/min 离心 10 min, 吸取上清液测定 625 nm 处的吸光度值即为云度值, 以蒸馏水为对照; 酥梨膏水 4 200 r/min 离心 15 min, 吸取上清液测定 625 nm 处的吸光度值, 以蒸馏水为对照。稳定性计算如公式 (2) 所示:

$$Y = \frac{C_2}{C_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

Y ——稳定性, %;

C_1 ——样品 760 r/min 离心后上清液在 625 nm 的吸光度值;

C_2 ——样品 4 200 r/min 离心后上清液在 625 nm 的吸光度值。

1.2.3 酥梨膏品质指标的测定

1.2.3.1 总黄酮含量的测定

参考张四普等^[2]的方法, 以芦丁为标准样品, 建立标准曲线 $y=0.967x$ ($R^2=0.998$)。

1.2.3.2 总酚含量的测定

参考张四普等^[2]的方法, 梨膏加蒸馏水稀释 10 倍后, 进行测定, 以没食子酸溶液为标准样品建立标准曲线 $y=0.365x$ ($R^2=0.994$)。

1.2.3.3 可溶性蛋白含量的测定

采用考马斯亮蓝法, 梨膏加蒸馏水稀释 10 倍, 40 °C 超声提取 20 min, 10 000 r/min 离心 20 min, 取上清液进行测定, 以牛血清蛋白溶液为标准样品建立标准曲线 $y=13.83x-6.783$ ($R^2=0.992$)。

1.2.3.4 氨基酸态氮含量的测定

参考林伟等^[13]的方法略有改动, 称量 1 g 酥梨膏加蒸馏水稀释 50 倍, 吸取 1 mL 样品待测, 以硫酸铵为氮标准储备液, 建立标准曲线 $y=0.1245x-0.0011$ ($R^2=0.983$)。

1.2.3.5 总糖含量的测定

参考王琦等^[14]的蒽酮-硫酸比色法略作修改, 酥梨膏稀释 10 000 倍, 10 000 r/min 离心 20 min, 取上清液 1 mL 进行测定, 以葡萄糖标准样品建立标准曲线 $y=133.41x-4.595$ ($R^2=0.991$)。

1.2.3.6 DPPH 清除率的测定

DPPH 清除率的测定参考 Li 等^[15]的方法。吸取 0.2 mL 的酥梨膏稀释液, 加入 3.8 mL 0.02 g/mL 的 DPPH 乙醇溶液为测试样品, 以不添加 DPPH 的乙醇溶液管为对照, 以试管中只添加 DPPH 乙醇溶液的为空白。在室温下避光反应 45 min 后, 于 510 nm 处分别测定吸光值。

1.2.4 酥梨膏挥发性成分分析

1.2.4.1 GC-MS测定挥发性成分

参考 Giannetti 等^[16]的方法略有改动, 取梨膏样品 1.0 g 于试管中, 加入 0.20 g NaCl 和 5 μ L 内标物 (2-甲基-3-庚酮, 质量浓度 0.031 g/L), 60 $^{\circ}$ C 环境下于磁力搅拌器中平衡 20 min, 平衡后将 SPME 萃取头顶空吸附 30 min, 然后进行色谱和质谱分析。色谱条件: HP-5MS 毛细管色谱柱 (30 m $\times$ 0.25 mm, 0.25 μ m); 进样口温度 260 $^{\circ}$ C, 载气为 He (纯度 99.999%), 流量 1 mL/min, 不分流进样。升温程序: 起始温度为 40 $^{\circ}$ C, 保持 3 min 后以 2 $^{\circ}$ C/min 的速度升温至 70 $^{\circ}$ C, 再以 5 $^{\circ}$ C/min 的速度升温至 150 $^{\circ}$ C, 再以 8 $^{\circ}$ C/min 的速度升温至 230 $^{\circ}$ C; 质谱条件: 电子轰击电离 (EI), 电子能量为 70 eV, 离子源温度为 230 $^{\circ}$ C, 接口温度为 230 $^{\circ}$ C, 质量扫描范围为 m/z 35~500, 溶剂切除时间 2 min。将采集到的谱图与质谱仪的 NIST 谱库进行检索对比进行定性, 选取匹配度大于 80% 作为物质鉴定依据, 用峰面积计算挥发性物质的绝对含量。

1.2.4.2 GC-IMS测定挥发性成分

参考 Wang 等^[17]的方法略有改动, 准确称取酥梨膏样品 1 mL 稀释至 2 mL, 置于 20 mL 顶空瓶中, 60 $^{\circ}$ C 孵育 15 min 后进样。孵化温度: 60 $^{\circ}$ C, 孵化时间: 15 min, 进样体积: 500 μ L; 不分流进样; 孵化转速: 500 r/min; 进样针温度: 85 $^{\circ}$ C。色谱柱温度: 60 $^{\circ}$ C; 载气: 高纯氦 (纯度 $\geq$ 99.999%); 程序升压: 初始流量 2.00 mL/min 保持 2 min, 在 8 min 内线性增至 10.00 mL/min, 在 10 min 内线性增至 100.00 mL/min, 保持 10 min。色谱运行时间: 30 min; 进样口温度: 80 $^{\circ}$ C。

IMS 条件: 电离源: 氙源 (3H); 迁移管长度: 53 mm; 电场强度: 500 V/cm; 迁移管温度: 45 $^{\circ}$ C; 漂移气: 高纯氮气 (纯度 $\geq$ 99.999%); 流量: 150 mL/min; 正离子模式。使用 GC 保留指数 (NIST 2020) 数据库和 IMS 迁移时间数据库检索和比对, 对目标物进行定性分析。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 2022 处理数据, SPSS 19.0 分析软件进行差异显著性、相关性和主成分分析, 利用 Origin 2020 软件制图, 使用 Gallery Plot 插件进行指纹图谱对比。试验均设 3 次平行。

2 结果与分析

2.1 不同贮藏期对酥梨膏菌落总数的影响

微生物指标是食品安全的重要指标, 霉菌、酵母等微生物是天然污染菌群, 菌落总数可作为判定食品被污染程度的标志。由图 1 可知, 不同贮藏时期的酥梨膏菌落总数在 37.0~67.0 CFU/mL 之间, 不同贮藏时期存在显著差异, 但数量均低于 100 CFU/mL, 符合浓缩汁食品安全 GB1735-2015 的微生物限量标准^[18]。一方面酥梨膏熬制初始阶段采用 120 $^{\circ}$ C 以上温度可杀灭绝大多数微生物, 另一方面酥梨膏的可溶性固形物在 75%~80% 之间, 可维持较高的渗透压, 抑制微生物生长。因此, 通过菌落总数测定无法比较不同贮藏期酥梨膏品质优劣。

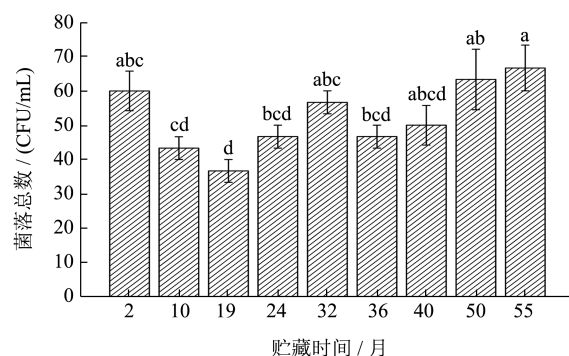


图 1 不同贮藏时间对酥梨膏菌落总数的影响

Fig.1 The effect of different storage times on the total bacterial count of Suli pear paste

注: 字母不同, 表示该指标在不同处理间存在显著差异 ($P < 0.05$)。

2.2 不同贮藏期对酥梨膏外观色泽的影响

贮藏 55 个月的酥梨膏由最初膏状的假塑性非牛顿流体变成流动性较强的液体^[19], 说明此贮藏期的酥梨膏的品质发生劣变不能食用。其他贮藏时期的酥梨膏肉眼观察外观上无明显变化。云度值、稳定性和离心沉淀率是表明整个系统稳定性的重要质量参数, 云度值的高低反映了梨膏的透明度和清澈度^[12]。由表 1 可知, 贮藏 2 个月 (0.41) 和 10 个月 (0.59) 的酥梨膏云度值较低, 说明酥梨膏中悬浮颗粒少, 浑浊程度低, 从而澄清度高、沉淀率较低; 从贮藏 19 个月开始, 云度值增加, 直至贮藏到 40 个月云度值基本维持在一个较稳定的范围 (1.09~1.62), 澄清度随贮藏时间延长持续显著降

低,贮藏 40 个月时澄清度由开始的 53.49% 显著降至 9.74% ($P<0.05$)。由于总糖分解糖含量降低果汁的黏度减小,果汁的混浊稳定性变差,稳定性在贮藏 36 个月时急剧降低且差异显著,沉淀率在 40 个月时显著增加,由 1.97% 增加至 4.08%;贮藏 50 个月开始,云度值、沉淀率大幅升高,稳定性、澄清度降低,NFC 苹果梨桑葚复合汁贮藏 35 d 也有类似结果^[20]。颜色变化由表 1 可知,在贮藏期 2 个月时,酥梨膏 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、 C^* 值最高,值分别为 37.44、2.74、8.81 和 9.01,此时酥梨膏色泽明亮度、色彩饱和度、红色程度最高,随着贮藏时间延长 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、 C^* 值缓慢下降,酥梨膏明亮度也越低,颜色也越浅, L^* 值与贮藏 10 个月, a^* 值、 b^* 值、 C^* 值与贮藏 19 个月差异未达到显著水平 ($P>0.05$),说明酥梨膏色度值在贮藏期内变化不明显,王燕^[21]在研究菠萝浓缩汁时认为色度值与贮藏时间紧密相关,可能由于本研究的酥梨膏加工时采用高温熬制和二次真空浓缩导致产品外观呈棕红色,褐变度较高贮藏期间色值变化不显著^[22]。综上,随贮藏时间延长,酥梨膏稳定性和澄清度降低,沉淀率增加,色泽变暗,色彩饱和度降低,贮藏 32 个月之内的酥梨膏体系较稳定,贮藏 32 个月沉淀率、澄清度、稳定性、云度值、分别为 2.29%、18%、0.87% 和 1.62。

2.3 不同贮藏期对酥梨膏品质指标的影响

由表 2 可知,随贮藏时间延长,酥梨膏 pH 值、总糖含量降低,梨枣汁贮藏期间也有 pH 值、总糖含量降低的变化规律^[23]。pH 值在贮藏 40 个月时显著降低,由 4.75 降至 4.55,总糖含量 (55.34%) 在贮藏 50 个月显著降低。总酚、总黄酮、可溶性蛋白、

氨基酸态氮含量和 DPPH 清除率总体呈先增加后降低趋势。酥梨膏贮藏 2 个月时,总酚、总黄酮、可溶性蛋白、氨基酸态氮含量分别为 1 604.92 mg/L、438.68 mg/L、34.36 mg/L 和 103.21 mg/L;贮藏至 24 个月时,总酚 (2 060.68 mg/L)、总黄酮 (754.33 mg/L)、可溶性蛋白含量 (67.19 mg/L) 显著增加 ($P<0.05$),pH 值降低至 4.70,氨基酸态氮含量增加至 124.93 mg/L,与贮藏 10 个月的 (131.55 mg/L) 差异不显著 ($P>0.05$),总糖 (75.36%) 含量与贮藏 2 个月指标差异不显著 ($P>0.05$);从 40 个月开始,DPPH 清除率、总黄酮、氨基酸态氮含量达到最高,值分别为 98.11%、1 493.49 mg/L 和 309.27 mg/L,总酚含量和可溶性蛋白含量在贮藏 50 个月达到峰值,此时可能由于酥梨膏糖类降解,各种生化反应和微生物代谢产生酸性物质,酥梨膏 pH 值降至 4.30。范明月等^[24]认为梨汁贮藏 150 d 由于可溶性酚类或其他物质结合发生了共呈色反应和美拉德反应,造成可溶性蛋白含量和氨基态氮的下降,杨毅等^[25]认为贮藏 100 d 浓缩梨汁中总酚含量由于酚类物质氧化随贮藏期延长而降低,本研究中总酚、总黄酮、可溶性蛋白等指标先增加后降低,可能由于两者贮藏时间不同,酥梨膏贮藏时间跨度长达 55 个月,而此前研究涉及范围在 150 d 之内;总酚含量的变化趋势也造成了总黄酮含量和 DPPH 清除率相同变化趋势。因此,酥梨膏长期贮藏可能产生类似于高温的效果,使不溶性酚降解为可溶性多酚存在于果汁体系中^[26],也可能酥梨膏由于发生一系列生化反应,造成大分子物质降解,总之,酥梨膏贮藏长期变化机制有待于进一步研究。综上所述,酥梨膏贮藏 24 个月可保持较好品质,贮藏 40 个月酥梨膏 pH 值显著降低至 4.55,说明此时酥梨膏品质劣变。

表 1 不同贮藏时间对酥梨膏外观色泽的影响

Table 1 Effect of different storage periods on the appearance and color of Suli pear paste								
贮藏时间/月	沉淀率/%	澄清度/%	稳定性/%	云度值	L^*	a^*	b^*	C^*
2	3.92 ± 0.46 ^{bc}	53.49 ± 0.50 ^a	0.97 ± 0.01 ^b	0.41 ± 0.00 ^g	37.44 ± 1.62 ^a	2.74 ± 0.29 ^a	8.81 ± 2.22 ^a	9.01 ± 2.24 ^a
10	1.59 ± 0.39 ^c	32.94 ± 0.09 ^b	0.96 ± 0.01 ^{bc}	0.59 ± 0.00 ^f	25.76 ± 0.22 ^{bc}	0.89 ± 0.07 ^c	2.95 ± 0.321 ^b	3.09 ± 0.33 ^b
19	2.76 ± 0.27 ^{bcd}	27.78 ± 0.01 ^d	0.92 ± 0.01 ^d	1.09 ± 0.00 ^e	25.53 ± 0.06 ^{bc}	1.92 ± 0.09 ^b	2.21 ± 0.10 ^b	2.92 ± 0.13 ^b
24	2.19 ± 0.26 ^c	32.07 ± 0.05 ^c	0.87 ± 0.00 ^d	1.30 ± 0.00 ^c	25.77 ± 0.05 ^{bc}	1.82 ± 0.05 ^b	2.77 ± 0.08 ^b	3.32 ± 0.09 ^b
32	2.29 ± 0.53 ^{cd}	18.00 ± 0.50 ^e	1.05 ± 0.01 ^a	1.62 ± 0.06 ^b	25.94 ± 0.32 ^{bc}	1.73 ± 0.30 ^b	2.35 ± 0.11 ^b	3.50 ± 0.41 ^b
36	1.97 ± 0.21 ^c	13.38 ± 0.02 ^f	0.53 ± 0.02 ^e	1.27 ± 0.00 ^c	24.58 ± 0.16 ^c	1.72 ± 0.03 ^b	1.13 ± 0.02 ^b	1.82 ± 0.12 ^b
40	4.08 ± 0.45 ^b	9.74 ± 0.00 ^g	0.50 ± 0.01 ^e	1.17 ± 0.00 ^d	24.43 ± 0.00 ^c	1.80 ± 0.06 ^b	1.22 ± 0.16 ^b	1.81 ± 0.06 ^b
50	4.29 ± 1.13 ^b	8.43 ± 0.12 ^h	0.51 ± 0.04 ^e	2.85 ± 0.01 ^a	25.01 ± 0.03 ^c	1.67 ± 0.04 ^b	1.17 ± 0.02 ^b	2.04 ± 0.02 ^b
55	9.02 ± 0.72 ^a	7.94 ± 0.01 ^h	0.32 ± 0.00 ^f	2.83 ± 0.02 ^a	27.05 ± 0.03 ^b	1.48 ± 0.02 ^b	2.45 ± 0.02 ^b	2.86 ± 0.02 ^b

注: 字母不同,表示该指标在不同处理间存在显著差异 ($P<0.05$),下同。

表 2 不同贮藏期对酥梨膏品质指标影响

Table 2 The influence of different storage periods on the quality indicators of Suli pear paste							
贮藏时间 /月	pH 值	总酚 /(mg/L)	总黄酮 /(mg/L)	可溶性蛋白 /(mg/L)	氨基酸态氮 /(mg/L)	总糖含量 /%	DPPH·清除率 /%
2	4.75 ± 0.00 ^a	1 604.92 ± 38.63 ^s	438.68 ± 7.35 ^f	34.36 ± 1.62 ^h	103.21 ± 2.54 ^f	71.07 ± 1.03 ^{ab}	90.27 ± 0.75 ^{cd}
10	4.72 ± 0.00 ^b	1 818.36 ± 71.97 ^s	600.98 ± 9.21 ^c	38.70 ± 1.43 ^s	131.55 ± 1.00 ^c	74.81 ± 1.91 ^a	92.64 ± 1.93 ^{bc}
19	4.72 ± 0.00 ^b	1 751.58 ± 46.11 ^s	579.97 ± 12.41 ^c	38.64 ± 0.52 ^s	120.10 ± 3.42 ^c	75.60 ± 2.36 ^a	92.43 ± 0.57 ^{bc}
24	4.71 ± 0.00 ^b	2 060.68 ± 105.88 ^f	754.33 ± 14.95 ^d	67.19 ± 1.58 ^f	124.93 ± 2.41 ^c	75.63 ± 0.30 ^a	91.62 ± 0.91 ^{bc}
32	4.70 ± 0.00 ^b	2 225.83 ± 134.85 ^{cf}	928.47 ± 14.18 ^c	77.95 ± 1.79 ^c	150.70 ± 21.04 ^d	73.06 ± 2.62 ^{ab}	93.60 ± 1.62 ^{bc}
36	4.70 ± 0.00 ^b	2 390.99 ± 78.30 ^{cd}	1 102.61 ± 16.89 ^b	84.41 ± 0.32 ^d	176.47 ± 0.34 ^c	68.64 ± 3.47 ^{abc}	95.59 ± 1.31 ^{ab}
40	4.55 ± 0.00 ^c	2 660.62 ± 69.69 ^{ab}	1 493.49 ± 17.44 ^a	94.74 ± 0.50 ^c	309.27 ± 0.48 ^a	66.07 ± 2.89 ^{bc}	98.11 ± 1.14 ^a
50	4.57 ± 0.00 ^c	2 813.61 ± 56.53 ^a	1 178.58 ± 0.86 ^b	184.85 ± 0.64 ^a	216.52 ± 0.78 ^b	55.34 ± 2.54 ^{de}	92.36 ± 1.22 ^{bc}
55	4.30 ± 0.00 ^d	2 506.77 ± 8.20 ^{bc}	1 103.07 ± 8.37 ^b	104.98 ± 0.61 ^b	222.70 ± 2.51 ^b	51.67 ± 1.31 ^c	86.67 ± 2.18 ^d

2.4 不同贮藏期酥梨膏品质评价

表 3 酥梨膏理化指标的各公因子解释变量载荷值
Table 3 Load values of explanatory variables for various common factors of physicochemical indicators of Suli pear paste

指标	F1	F2	F3
pH 值	<u>0.781</u>	-0.515	0.175
沉淀率	-0.513	<u>0.796</u>	-0.125
澄清度	<u>0.970</u>	0.164	0.006
稳定性	<u>0.931</u>	-0.220	-0.124
云度值	<u>-0.825</u>	0.354	-0.252
总酚	<u>-0.950</u>	-0.001	0.242
总黄酮	<u>-0.899</u>	-0.112	0.396
氨基酸态氮	<u>-0.839</u>	0.006	0.414
可溶性蛋白	<u>-0.822</u>	0.157	0.135
总糖	<u>0.771</u>	-0.597	0.006
L* 值	<u>0.667</u>	<u>0.687</u>	0.253
a* 值	0.454	0.459	<u>0.614</u>
b* 值	<u>0.777</u>	0.583	0.170
C* 值	<u>0.719</u>	0.596	0.329
DPPH 清除率	-0.122	<u>-0.758</u>	<u>0.628</u>
方差贡献率/%	58.881	22.973	10.024
累积贡献率/%	58.881	81.854	91.878

注：下划线部分为载荷绝对值大于 0.6 的指标。

对酥梨膏 9 个贮藏时期的 pH 值等 15 个指标进行主成分分析，分析结果见表 3。得到 3 个主成分，3 个主成分的累积贡献率为 91.878%，包括了所有指标的大部分信息，达到成分提取要求。根据

旋转后的因子载荷矩阵结果结合初始特征值至少要大于 1 的特定要求，各因子选取载荷绝对值至少大于 0.6 的变量作为其因子解释性能的指标。F1 因子方差贡献率 58.881%，包括 pH 值、澄清度、稳定性、云度值、总酚、总黄酮、氨基酸态氮、可溶性蛋白、总糖、L* 值、b* 值、C* 值；F2 因子方差贡献率 22.973%，包括沉淀率、L* 值、DPPH 清除率；F3 因子方差贡献率 10.024%，包括 a* 值和 DPPH 清除率。F1~F3 为各品种的公因子所获得分值，系数为其方差贡献率，依据方差贡献率得到模型：Y=0.588 81F1+0.229 73F2+0.100 24F3。根据模型计算综合得分，发现贮藏 24 个月的酥梨膏得分为 0.138 排在第 3 位。综合表 1、2、4 可知，贮藏 24 个月之内的酥梨膏酥具有较好品质，梨膏的适宜贮藏期限为 24 个月。

表 4 不同贮藏时期酥梨膏种综合得分比较
Table 4 Comparison of comprehensive scores of Suli pear paste during different storage periods

贮藏时间/月	主成分得分 Y	排序
2	1.528	1
10	0.055	4
19	0.194	2
24	0.138	3
32	-0.086	5
36	-0.312	6
40	-0.490	8
50	-0.441	7
55	-0.586	9

表 5 酥梨膏理化指标相关性分析

Table 5 Correlation analysis of physical and chemical indicators of Suli pear paste															
指标	pH 值	沉淀率	澄清度	稳定性	云度值	总酚	总黄酮	氨基酸态氮	可溶性蛋白	总糖	L* 值	a* 值	b* 值	C* 值	DPPH·清除率
pH 值	1														
沉淀率	-0.916**	1													
澄清度	0.671*	-0.371	1												
稳定性	0.835**	-0.650	0.898**	1											
云度值	-0.778*	0.656	-0.755*	-0.785*	1										
总酚	-0.655	0.404	-0.906**	-0.899**	0.767*	1									
总黄酮	-0.610	0.344	-0.883**	-0.877**	0.567	0.945**	1								
氨基酸态氮	-0.680*	0.466	-0.783*	-0.817**	0.482	0.856**	0.946**	1							
可溶性蛋白	-0.551	0.390	-0.743*	-0.739*	0.852**	0.899**	0.720*	0.628	1						
总糖	0.876**	-0.842**	0.639	0.839**	-0.848**	-0.742*	-0.606	-0.639	-0.785*	1					
L* 值	0.216	0.160	0.764*	0.431	-0.384	-0.565	-0.574	-0.446	-0.396	0.088	1				
a* 值	0.272	0.044	0.481	0.244	-0.260	-0.285	-0.244	-0.219	-0.180	0.124	0.722*	1			
b* 值	0.326	0.039	0.865**	0.578	-0.503	-0.689*	-0.685*	-0.552	-0.525	0.244	0.981**	0.656	1		
C* 值	0.326	0.043	0.802**	0.497	-0.467	-0.592	-0.584	-0.466	-0.425	0.181	0.991**	0.756*	0.980**	1	
DPPH·清除率	0.386	-0.601	-0.240	-0.028	-0.358	0.254	0.445	0.387	0.037	0.351	-0.435	-0.055	-0.422	-0.327	1

注: ** 表示差异极显著 ($P<0.01$); * 表示差异显著 ($P<0.05$)。

2.5 不同贮藏期酥梨膏理化指标相关性分析

如表 5 所示,对酥梨膏 9 个贮藏时期的 15 个指标进行相关分析,发现各指标间存在显著的相关性。澄清度与 10 个指标达到直接的显著相关性,与稳定性、 b^* 值、 C^* 值极显著正相关,相关系数分别为 0.898**、0.865**、0.802**,与 L^* 值、澄清度显著正相关,相关系数分别为 0.764*、0.671*,与总酚、总黄酮极显著负相关,相关系数分别为 -0.906**、-0.883**,与云度值、氨基酸态氮、可溶性蛋白显著负相关,相关系数分别为 -0.755*、-0.783*、-0.743*;稳定性与 8 个指标直接显著相关,与澄清度、pH 值、总糖极显著正相关,相关系数分别为 0.898**、0.835**、0.839**,与总酚、总黄酮、氨基酸态氮极显著负相关,相关系数分别为 -0.899**、-0.877**、-0.817**,与云度值、可溶性蛋白显著负相关,相关系数分别为 -0.785*、-0.739*;总酚与 7 个指标直接显著相关,与总酚、总黄酮、氨基酸态氮极显著正相关,相关系数分别为 0.945**、0.856**、0.899**,与云度值显著正相关,相关系数为 0.767*,与澄清度、稳定性极显著负相关,相关系数分别为 -0.906**、-0.899**,与总糖、 b^* 值显著负相关,相关系数分别为 -0.742*、-0.689*;pH 值与 6 个指标达到直接的显著相关性,与沉淀率极显著负相关,相关系数 -0.916**,与云度值、氨基酸态氮显著负相关,相关系数分别为 -0.778*、-0.680*,与稳定性、总糖含量极显著正相关,相关系数分别为 0.835**、0.876**,与澄清度显著正相关,相关系数 0.671*;与云度值、氨基酸态氮显著负相关,相关系数分别为 -0.778*、-0.680*,与稳定性、总糖含量极显著正相关,相关系数分别为 0.835**、0.876**,与澄清度显著正相关,相关系数为 0.671*;总黄酮与氨基酸态氮、可溶性蛋白、 b^* 值、澄清度、稳定性、总酚 6 个指标达到直接的显著相关性;总糖与 pH 值、沉淀率、稳定性、云度值、总酚、可溶性蛋白 6 个指标达到直接的显著相关性;可溶性蛋白与总糖、澄清度、稳定性、云度值、总酚、总黄酮 6 个指标达到直接的显著相关性。

因此,澄清度、稳定性、总酚、pH 值、总黄酮、总糖、可溶性蛋白是酥梨膏贮藏期间判断品质变化的关键指标,其中 pH 值的测定不需要大型仪器设备、试剂配制、复杂的操作步骤,正常酥梨膏的 pH 在 4.71 以上,由于酸性条件抑制了产酸反应^[27],同时有机酸有一定的缓冲作用^[28],在品质未变的情况下 pH 值基本保持不变,各品种梨膏 pH 值也有一定的特异性^[28],且该指标与关键指标澄清度、稳定性、总糖具有直接的显著相关关系,可用于初步快速判断酥梨膏品质是否变化。

2.6 不同贮藏期酥梨膏挥发性成分分析

2.6.1 GC-MS 挥发性成分分析

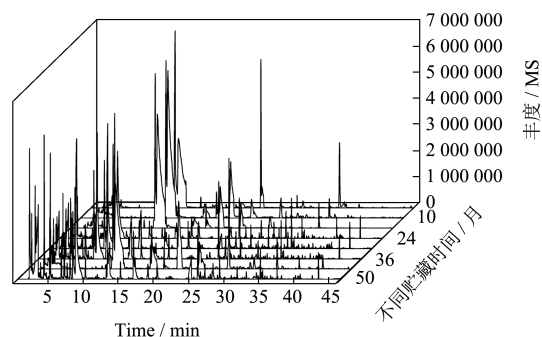


图 2 不同贮藏期酥梨膏挥发性化合物总离子流图

Fig.2 Total ion chromatogram of volatile compounds in Suli pear paste at different storage periods

梨膏不同贮藏时间总离子流图如图 2 所示。由表 6 可知,长期的贮藏过程中挥发性成分发生许多复杂的化学变化,不同贮藏时间酥梨膏共测定出挥发性成分 53 种,其中 2、10、19、24、32、36、50 个月中挥发性成分种类分别为 14、21、16、22、25、31、26、43 种。根据其化学式结构可分为醛类、酸类、醇类、酮类、酯类、呋喃、烷烃类和其他。酥梨膏在贮藏过程中,醇类物质的占比最高,占总挥发性成分的 22.64%,其次是酯类 (20.75%)、醛类 (13.21%)、酸类 (11.32%)、其他 (9.43%)、呋喃和烷烃类 (5.66%)。随着贮藏期延长,酥梨膏中醛类、醇类、酯类、酸类和其他类的挥发性成分种类增加,醇类由 1 种增加至 11 种,酯类由 0 增加至 7 种,酸类由 2 种增加至 5 种,醛类由 3 种增加至 7 种,其他类由 1 种增加至 5 种。

醇类的生成主要来源于蛋白质、氨基酸和糖类等的次级代谢产物^[29],苯乙醇、芳樟醇都具有花果香味,少量的醇还可作为其他香气的良好溶剂,但大量的醇类产生会造成酥梨膏品质劣变,贮藏 36 个月酥梨膏的乙醇、异戊醇、2-甲基-1-丁醇、等醇类大量产生;醛类化合物是构成果蔬汁特征风味的重要物质之一^[30]。糠醛具有苦杏仁味,是由戊聚糖在酸的作用下水解生成戊糖,再由戊糖脱水环化而成,在贮藏 32 个月时含量较高,同时甲酸、醋酸、正壬酸也大量生成,之后酸类成分持续累积;酯类物质在贮藏 24 个月时产生 4 种,己酸乙酯、DL-泛酰内酯、辛酸乙酯、2,2,4-三甲基戊二醇异丁酯,这些酯类无异味,还赋予酥梨膏果香和花香的香气特征;其他类物质中,反式呋喃芳樟醇氧化物在 32~50 个月中均有检出,且数量级相同,可作为鉴别的酥梨膏达到贮藏期限的特征挥发性化合物。

表 6 不同贮藏期酥梨挥发性成分GC-MS分析结果
Table 6 GC-MS analysis results of volatile components in different storage periods of Suli pear paste

序号	化合物名称	保留时间/min	不同贮藏时间挥发性化合物含量(μg/L)							
			2/月	10/月	18/月	24/月	32/月	36/月	40/月	50/月
1	乙醇	1.549						6 100.84 ± 55.29	704.77 ± 68.36	13 802.45 ± 68.52
2	异戊醇	4.005						2 833.87 ± 125.67	103.51 ± 11.23	4 538.64 ± 182.83
3	2- 甲基-1-丁醇	4.081						2 782.97 ± 147.82		3 729.04 ± 335.67
4	1,2-丙二醇	4.311								639.69 ± 498.25
5	2,3- 丁二醇	5.415		5.81 ± 0.66	5.08 ± 0.54	678.13 ± 22.87	678.13 ± 22.87	1 332.97 ± 78.93	1 323.21 ± 125.87	3 110.08 ± 196.98
6	糠醇	7.534		75.97 ± 6.32	65.09 ± 5.89	25.11 ± 1.48			52.44 ± 4.56	76.24 ± 4.68
7	3-呋喃甲醇	8.32				496.08 ± 38.10	1 597.23 ± 38.10	4 775.17 ± 496.08	10 343.85 ± 845.26	2 795.18 ± 21.92
醇类	5- 甲基-2-呋喃甲醇	13.848	193.22 ± 12.58	4.93 ± 0.58	3.43 ± 0.25	1.18 ± 0.11	23 750.71 ± 1 035.49	1 822.07 ± 98.57		
	2- 乙基乙醇	18.642				2 825.13 ± 245.68	321.59 ± 84.03	313.33 ± 18.52		395.62 ± 24.31
	芳樟醇	23.391						180.32 ± 17.22		316.85 ± 27.56
	苯乙醇	23.969		25.34 ± 2.33				487.25 ± 22.71	131.22 ± 11.54	3 022.45 ± 335.32
	雪松醇	31.63		5.24 ± 1.08	1.50 ± 0.15	8.42 ± 0.75	12.68 ± 1.22	3.78 ± 0.45	20.46 ± 1.56	4.57 ± 0.55
酸类	甲酸	1.83					1 786.12 ± 155.63	2 209.02 ± 225.46		5 468.08 ± 396.82
	醋酸	2.603	800.86 ± 58.69	182.71 ± 11.45	138.85 ± 12.33	681.85 ± 55.78	8 101.61 ± 729.15	8 750.80 ± 589.63	1 312.35 ± 112.48	22 020.92 ± 1 945.50
	丙酸	3.265								623.31 ± 45.23
	异辛酸	17.862								250.33 ± 16.35
	苯甲酸	26.721	1 063.12 ± 566.31	31.99 ± 2.63						437.84 ± 32.69
18	正壬酸	30.502					320.84 ± 25.64			
酯类	乙酸乙酯	2.246						1 827.85 ± 78.56	126.19 ± 12.36	
	丁酸乙酯	5.976					281.07 ± 15.55	299.03 ± 18.82		347.11 ± 21.69
	乳酸乙酯	6.451							19.21 ± 1.56	3 761.14 ± 119.57

续表6

序号	化合物名称	保留时间/min	不同贮藏时间挥发性化合物含量(μg/L)							
			2/月	10/月	18/月	24/月	32/月	36/月	40/月	50/月
22	γ-戊内酯	13.544					120.61 ± 14.88			297.84 ± 28.29
24	2-糠酸乙酯	16.081							7.69 ± 1.55	10.47 ± 0.54
23	正己酸乙酯	16.714				101.69 ± 8.52				8 286.15 ± 96.58
25	DL-泛酰内酯	18.846				515.58 ± 42.23	628.69 ± 49.63			434.87 ± 76.15
26	辛酸乙酯	27.902		17.48 ± 1.77		381.69 ± 15.44			8.88 ± 0.96	
27	2,2,4-三甲基戊二醇异丁酯	31.458			18.28 ± 1.95	2.83 ± 0.12			39.00 ± 2.45	14.82 ± 1.23
28	丁酸丁酯	33.552					272.25 ± 22.58			
29	邻苯二甲酸, 庚-4-基异丁基酯	45.02				118.28 ± 9.85	249.51 ± 15.23			
30	4-甲基-2-戊酮	4.124	108.95 ± 23.55			620.62 ± 51.24		227.87 ± 15.58		
31	2-甲基四氢呋喃-3-酮	6.12		25.16 ± 1.88	23.91 ± 2.55	1 524.28 ± 27.69	1 538.73 ± 32.54	758.02 ± 25.63	14.59 ± 1.56	1 440.59 ± 51.28
32	甲基环戊烯醇酮	18.303								271.93 ± 36.80
33	2,6,6-三甲基-2-环己烯-1,4-二酮	18.418		5.74 ± 0.52	4.21 ± 0.51					
34	2,3-二氢-3,5-二羟基-6-甲基-4H-吡喃-4-酮	25.405	182.67 ± 15.22				549.81 ± 4.98	410.42 ± 9.89		431.09 ± 3.78
35	乙醛	1.19	54.90 ± 5.69	7.09 ± 0.54	4.97 ± 0.42	4.68 ± 0.57		4.33 ± 0.23		
36	糠醛	7.25	8 095.32 ± 638.62	4 147.31 ± 323.65	3 426.22 ± 259.63	49 331.51 ± 5 266.58	107 884.52 ± 4 704.22	29 886.38 ± 2 154.33	4 399.85 ± 388.42	49 745.96 ± 4 318.73
37	5-甲基呋喃醛	14.148	1 599.31 ± 59.78	836.16 ± 59.63	627.00 ± 55.48	3 864.93 ± 113.31	1 734.69 ± 108.13	3 128.26 ± 112.52	1 686.67 ± 114.59	17 133.35 ± 932.88
38	正辛醛	16.79					230.60 ± 14.23	176.66 ± 12.35		377.62 ± 26.85
39	壬醛	23.646		15.97 ± 1.25		738.01 ± 81.66	625.85 ± 16.70	483.10 ± 88.46	96.55 ± 7.55	671.66 ± 96.55
40	正癸醛	28.157		8.10 ± 0.65		610.87 ± 21.73	491.38 ± 23.70	354.71 ± 33.51	70.11 ± 5.24	822.78 ± 25.38
41	5-羟甲基糠醛	29.058								1 352.74 ± 78.91

续表6

序号	化合物名称	保留时间/min	不同贮藏时间挥发性化合物含量(μg/L)							
			2/月	10/月	18/月	24/月	32/月	36/月	40/月	50/月
42	2-乙酰基呋喃	10.988	265.72 ± 22.36	285.94 ± 22.35	202.18 ± 15.23	201.51 ± 12.36	12 802.57 ± 423.15	519.23 ± 45.12	6 783.76 ± 478.59	2 513.55 ± 195.62
43	2-丙酰基呋喃	13.305	273.37 ± 19.54	60.41 ± 5.28	39.03 ± 3.26				171.64 ± 15.52	327.10 ± 22.55
44	5-甲基-2-乙酰基呋喃	14.385							29.17 ± 1.98	74.56 ± 4.85
45	十一烷	16.819	199.26 ± 10.36	14.11 ± 1.05	7.31 ± 0.81	6.97 ± 0.25			13.69 ± 1.12	
46	正十二烷	27.928	257.94 ± 18.83				278.67 ± 4.12	209.41 ± 19.56		287.71 ± 39.38
47	十三烷	31.36	65.72 ± 5.52				210.31 ± 0.578	195.69 ± 8.74		210.27 ± 5.22
48	十四烷	34.274								533.91 ± 18.28
49	对二甲苯	8.728						392.42 ± 42.56		219.01 ± 11.24
50	甲氧基苯基-脲	11.26		5.80 ± 0.23		2 576.92 ± 115.50	9 384.48 ± 568.21	8 914.91 ± 785.12		12 291.92 ± 455.28
51	2-乙酰基吡咯	21.318	300.35 ± 21.54	161.84 ± 15.77	103.41 ± 9.56	101.77 ± 22.41	4 898.54 ± 814.98	898.42 ± 48.52	848.12 ± 57.46	8 286.15 ± 848.12
52	反式呋喃芳樟醇氧化物	21.624					409.35 ± 17.86	113.31 ± 8.96	152.99 ± 11.26	407.93 ± 12.68
53	1,1,6-三甲基-1,2-二氢萘	25.564		17.09 ± 1.45	3.98 ± 0.25	6.24 ± 1.32			12.11 ± 0.54	8.07 ± 0.74

2.6.2 GC-IMS挥发性成分分析

12种、酮类物质11种、醇类物质7种、醛类物质6种、酸类物质1种、呋喃类物质1种。其中酯类和酮类物质相对含量最高，占比分别为31.58%和28.95%，醇类占比18.42%、醛类占比15.79%、酸类和呋喃占比2.63%。

2.6.2.1 挥发性化合物定性结果

如表7所示，酥梨膏在四个贮藏时间下，GC-IMS鉴定出60种挥发性成分，定性51种，其中有13种挥发性成分还产生二聚体形态。酯类物质

表7 不同贮藏期酥梨膏挥发性化合物定性结果

Table 7 Qualitative results of volatile compounds in Suli pear paste during different storage periods								
序号	化合物名称	分子式	CAS 号	分子量 (Mw)	相对保留 指数 (RI)	保留 时间/s	(归一化后) 相对 迁移时间/(a.u.)	香气特征
1	羟基丙酮单体 羟基丙酮二聚体	C ₃ H ₆ O ₂	116096	74.1	1 313.9	506.68	106.559	刺激性气味，焦糖味，清新
2	环己酮单体 环己酮二聚体	C ₆ H ₁₀ O	108941	98.1	1 313.9	506.68	116.197	强烈的刺激性气味，泥土味
3	3-羟基-2-丁酮单体 3-羟基-2-丁酮二聚体	C ₄ H ₈ O ₂	513860	88.1	1 294.5	468.81	106.792	黄油味、奶油味
4	2-甲基四氢呋喃-3-酮单体 2-甲基四氢呋喃-3-酮二聚体	C ₅ H ₈ O ₂	3188009	100.1	1 269.7	427.108	107.523	甜味、面包、黄油、坚果
5	4-庚酮单体 4-庚酮二聚体	C ₇ H ₁₄ O	123193	114.2	1 153.8	272.615	123.902	果香
6	正丁醇单体 正丁醇二聚体	C ₄ H ₁₀ O	71363	74.1	1 147.1	265.312	118.178	红酒味
7	2-戊醇	C ₅ H ₁₂ O	6032297	88.1	1 124.3	241.664	121.727	杂醇油，清香
8	乙酸异戊酯	C ₇ H ₁₄ O ₂	123922	130.2	1 124.0	241.317	174.615	甜味，香蕉果味
9	2-甲基-1-丙醇单体 2-甲基-1-丙醇二聚体	C ₄ H ₁₀ O	78831	74.1	1 100.7	219.408	117.491	清新的、酒味、皮质
10	丁酮	C ₄ H ₈ O	78933	72.1	905.8	119.532	124.525	果香，樟脑香味
11	乙酸乙酯	C ₄ H ₈ O ₂	141786	88.1	886.9	113.728	133.723	清新的，果味，甜味，草味
12	丙酮	C ₃ H ₆ O	67641	58.1	830.4	97.955	111.636	清新、苹果、梨
13	乙酸 乙酸二聚体	C ₂ H ₄ O ₂	64197	60.1	1 449.5	871.622	105.461	辛辣味
14	糠醛 糠醛二聚体	C ₅ H ₄ O ₂	199811	96.1	1 443.7	851.62	108.815	甜味、木头、杏仁香、烤面包
15	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	124196	142.2	1 400.6	716.572	147.915	玫瑰，柑橘等香气，有强的油脂气味
16	2-乙酰基呋喃单体 2-乙酰基呋喃二聚体	C ₆ H ₆ O ₂	1192627	110.1	1 463.5	921.648	11.219	脂香，甜香，焦糖，坚果，烟香
17	辛酸乙酯	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	106321	172.3	1 427.9	799.25	148.321	水果香气，并有菠萝，苹果样的香韵和白兰地的酒香味
18	反-2-辛烯醛	C ₈ H ₁₄ O	2548870	126.2	1 420.6	776.506	133.818	新鲜黄瓜，脂肪，青香草药，香蕉，青香叶子
19	正己醇	C ₆ H ₁₄ O	111273	102.2	1 377.7	654.036	133.216	清新的，果味，酒精，甜，青香

续表7								
序号	化合物名称	分子式	CAS 号	分子量 (Mw)	相对保留 指数 (RI)	保留 时间/s	(归一化后) 相对 迁移时间/(a.u.)	香气特征
20	乳酸乙酯单体 乳酸乙酯二聚体	C ₅ H ₁₀ O ₃	97643	118.1	1370.3	634.926	114.167	果香
21	异戊醇	C ₅ H ₁₂ O	123513	88.1	1 209.6	340.603	149.954	威士忌酒香, 香蕉果香
22	正己酸乙酯单体 正己酸乙酯二聚体	C ₈ H ₁₆ O ₂	123660	144.2	1 236.5	376.887	134.202	菠萝果香, 酒香
23	3-戊烯-2-酮单体 3-戊烯-2-酮二聚体	C ₅ H ₈ O	625332	84.1	1 133.1	250.491	107.404	辛辣的刺激味
24	戊-3-烯-2-酮	C ₅ H ₈ O	3102338	84.1	1 104.2	222.576	109.297	
25	乙酸异丁酯	C ₆ H ₁₂ O ₂	110190	116.2	1 019.3	164.586	161.431	果香, 生梨和复盆子 的香气
26	丁酸乙酯	C ₆ H ₁₂ O ₂	105544	116.2	1 040.0	177.023	155.807	菠萝似果香, 脂香, 威士忌
27	异丁酸乙酯	C ₆ H ₁₂ O ₂	97621	116.2	1 007.5	157.953	156.145	甜味、果味、酒精味、 朗姆酒
28	正丙酸乙酯	C ₅ H ₁₀ O ₂	105373	102.1	963.7	139.298	145.348	葡萄, 菠萝等水果味, 朗姆酒
29	2-戊酮	C ₅ H ₁₀ O	107879	86.1	987.2	148.211	136.687	丙酮气味, 清新的, 甜果味, 酒香
30	丁酸甲酯	C ₅ H ₁₀ O ₂	623427	102.1	988.2	148.625	143.773	苹果、甜香蕉、菠萝
31	戊醛	C ₅ H ₁₀ O	110623	86.1	1 026.4	168.731	142.086	青草气味, 带微弱 香蕉味, 味刺激
32	2-甲基丁酸乙酯	C ₇ H ₁₄ O ₂	7452791	130.2	1 047.0	181.376	123.641	苹果香
33	乙酸正丙酯	C ₅ H ₁₀ O ₂	109604	102.1	945.2	132.665	147.822	果香, 梨似香气
34	异戊醛	C ₅ H ₁₀ O	590863	86.1	920.2	124.166	140.062	巧克力、脂肪味
35	二乙基酮	C ₅ H ₁₀ O	96220	86.1	952.3	135.152	135.113	乙醚气味
36	反式-2-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O	6728263	98.1	1 221.8	356.572	119.428	青香、香蕉、脂肪
37	丙醇	C ₃ H ₈ O	71238	60.1	1 048.4	182.273	111.388	酒精、刺激性气味
38	顺-2-戊烯醇	C ₅ H ₁₀ O	1576950	86.1	1 302.1	483.311	0.953 61	绿色、塑料、橡胶

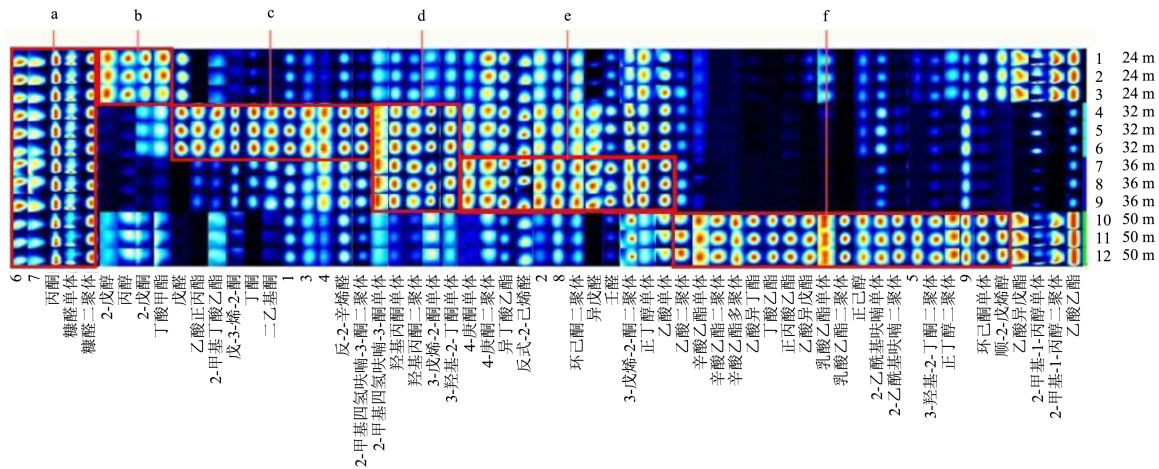


图3 不同贮藏期酥梨膏挥发性化合物的 Gallery Plot 指纹图谱

Fig.3 Gallery Plot fingerprinting of volatile components in Suli pear paste with different storage periods

注：横坐标为挥发物质名称，纵坐标为样品名称；图中每一行代表一个样品中选取的全部信号峰；每一列代表同一挥发性化合物在不同样品中的信号峰；数字代表迁移谱库中未定性的物质用数字代替；物质峰颜色越深代表峰高越高。

2.6.2.2 挥发性化合物分析

GC-IMS 鉴定出的挥发性成分种类和 GC-MS 有所不同,但变化趋势基本一致,酥梨膏随贮藏时间延长挥发性成分种类增加。贮藏 24 m 相对含量较高的特征挥发性成分有 4 种,32 m 增加至 16 种,36 m 为 17 种,50 m 为 19 种(图 3)。通过对四个不同贮藏时间梨膏中挥发性物质进行比较分析,四个不同贮藏时间梨膏中挥发性物质差异明显,丙酮、糠醛和未知物质 6、7 在四个不同贮藏时期中差异较小(图 3a);贮藏 24 m 中 2-戊醇、丙醇、2-戊酮、丁酸甲酯含量较高(图 3b),这几种物质具有淡淡的水果香和青草香,相对含量随贮藏时间的延长呈逐渐减少;32 m 的特征物质有戊醛、乙酸正丙酯、2-甲基丁酸乙酯、戊-3-戊烯-2-酮、丁酮、二乙基酮、反-2-辛烯醛、2-甲基四氢呋喃-3-酮二聚体和未知物质 1、3、4,相对含量随在不同贮藏时间呈先增后减的趋势,二乙基酮的香气特征为乙醚气味,反-3-戊烯-2-酮为辛辣的刺激味,说明贮藏 32 个月酥梨膏品质出现变化(图 3c);36 m 的特征物质有 4-庚酮(单体、二聚体)、异丁酸乙酯、反式-2-己烯醛、环己酮二聚体、异戊醛、壬醛、3-戊烯-2-酮二聚体、正丁醇单体、乙酸单体和未知物质 2、8(图 3e),环己酮、3-戊烯-2-酮等物质也具有刺激性气味;2-甲基四氢呋喃-3-酮单体、羟基丙酮(单体、二聚体)、3-戊烯-2-酮单体、3-羟基-2-丁酮单体(图 3d)在 32 m 和 36 m 中含量差异较小,但高于其他贮藏时期;50 m 乙酸单体、辛酸乙酯、正己酸乙酯(单体、二聚体)、乙酸异丁酯、丁酸乙酯、正丙酸乙酯、乙酸异戊酯、乳酸乙酯(单体、二聚体)、正己醇、2-乙酰基呋喃(单体、二聚体)、3-羟基-2-丁酮二聚体、正丁醇二聚体、顺-2-戊烯醇(图 3f)明显高于其他贮藏时期,其中顺-2-戊烯醇具有绿色塑料、橡胶味,对贮藏酥梨膏风味本体产生严重影响,说明贮藏 50 个月的酥梨膏品质发生明显劣变。综上所述,酥梨膏在贮藏 24 个月时刺激性挥发性成分不是特征物质,酥梨膏适宜的贮藏期限是 24 个月。

3 结论

通过测定不同贮藏期的酥梨膏中的微生物指标、外观色泽、营养品质、挥发性化合物,结果表明,通过菌落总数测定不能判断酥梨膏品质优劣。随贮藏期延长,酥梨膏稳定性和澄清度降低,沉淀率增

加,色泽变暗,色彩饱和度降低,pH 值、总糖含量降低,总酚、总黄酮、可溶性蛋白、氨基酸态氮含量和 DPPH 清除率呈先增加后降低趋势。贮藏 32 个月之内的酥梨膏体系较稳定,贮藏 24 个月之内,酥梨膏能保持较好的品质。对酥梨膏 9 个贮藏时期的 pH 值等 15 个指标进行主成分分析和相关性分析,根据模型评价贮藏 24 个月之内的酥梨膏具有较好品质;澄清度、稳定性、总酚、pH 值、总黄酮、总糖、可溶性蛋白是酥梨膏贮藏期间判断品质变化的关键指标,其中 pH 值可用于初步快速鉴别酥梨膏品质是否变化。不同贮藏时间酥梨膏通过 GC-MS 鉴定出共测定出 53 种挥发性成分,随着贮藏期延长,酥梨膏中醛类、醇类、酯类、酸类和其他类的挥发性成分种类增加,反式呋喃芳樟醇氧化物在 32~50 个月中均有检出,且数量级相同,可作为鉴别的酥梨膏达到贮藏期限的特征挥发性化合物;GC-IMS 鉴定出 60 种挥发性成分种类,变化趋势与 GC-MS 基本一致,酥梨膏随贮藏时间延长挥发性成分种类增加,酥梨膏在贮藏 24 个月时刺激性挥发性成分不是特征物质,酥梨膏适宜的贮藏期限是 24 个月。

参考文献

- [1] MA X, YUAN H, WANG H, et al. Coproduction of bacterial cellulose and pear vinegar by fermentation of pear peel and pomace [J]. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 2021, 44(11): 2231-2244.
- [2] 张四普,杨文斌,崔巍,等.酥梨汁乳酸菌发酵后真空浓缩对梨膏品质的影响[J].*食品科技*,2023,48(11):88-95,106.
- [3] 李月,赵江丽,张笑莹,等.梨膏的流变学特性及其影响因素[J].*食品安全质量检测学报*,2023,14(16):259-267.
- [4] BORCHANI M, MASMOUDI M, BEN AA, et al. Effect of enzymatic treatment and concentration method on chemical, rheological, microstructure and thermal properties of prickly pear syrup [J]. *LWT-Food Science & Technology*, 2019, 113: 108314.
- [5] SANTHKUMAR A B, BATTINO M, ALVAREZ-SUAREZ J M. Dietary polyphenols: structures, bioavailability and protective effects against atherosclerosis [J]. *Food & Chemical Toxicology An International Journal Published for the British Industrial Biological Research Association*, 2018, 113: 49-65.
- [6] DU B, CHENG C, CHEN Y, et al. Phenolic profiles and antioxidant activities of exocarp, endocarp, and hypanthium of three pear cultivars grown in China [J]. *Journal of Food Bioactives*, 2021, 14: 75-80.
- [7] 何磊.砀山梨膏加工技术研究及产品特性、特征组成分

- 析[D].合肥:安徽农业大学,2019.
- [8] 冯泽,茹先古丽·买买提依明,潘红军,等.响应面法优化复合梨膏配方及其抗氧化性活性[J].食品工业,2022,43(6): 111-115.
- [9] 王阳,佟伟,王文辉,等.市售梨膏产品调研及品质分析[J].保鲜与加工,2022,22(11):69-75.
- [10] GB 4789.2-2016,食品微生物学检验:菌落总数测定[S].
- [11] GB 18963-2012,浓缩苹果汁[S].
- [12] ERTUGAY M F, BAŞLAR M. The effect of ultrasonic treatments on cloudy quality-related quality parameters in apple juice [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 26: 226-231.
- [13] 林伟,郑国伟.酱油中氨基酸态氮的两种测定方法比较[J].食品安全导刊,2022,1:114-116.
- [14] 王琦,蒙丽丹,田润,等.甘蔗原汁后混浊及其蛋白质组成特征[J].现代食品科技,2022,38(7):143-151.
- [15] LI F F, ZHAO H T, XU R R, et al. Simultaneous optimization of the acidified water extraction for total anthocyanin content, total phenolic content, and antioxidant activity of blue honeysuckle berries (*Lonicera caerulea* L.) using response surface methodology [J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(9): 2968-2976.
- [16] GIANNETTI V, BOXXACCI M M, LIVI G, et al. Characterization of the aroma profile of edible flowers using HS-SPME/GC-MS and chemometrics [J]. Food Research International, 2024, 2: 178.
- [17] WANG Z, MI S, WANG X, et al. Characterization and discrimination of fermented sweet melon juice by different microbial strains via GC-IMS-based volatile profiling and chemometrics [J]. Food Science and Human Wellness, 2023, 12(4): 1241-1247.
- [18] GB1735-2015,食品工业用浓缩液(汁、浆)[S].
- [19] SONAWANE A, PATHAK S, PRADHAN R C. Effect of processing temperature on dynamic rheological properties and color degradation kinetics of bael fruit pulp [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(15): 5596-5602.
- [20] 王妍惠,张福娟,于泳渤,等.NFC苹果梨桑葚复合汁配方优化及其贮藏品质变化[J].包装工程,2021,42(19):77-84.
- [21] 王燕.菠萝浓缩汁品质及物性参数的研究[D].天津:天津科技大学,2006.
- [22] JIA W, GUO A, ZHANG R, et al. Mechanism of natural antioxidants regulating advanced glycosylation end products of Maillard reaction [J]. Food Chemistry, 2023, 404(A): 1-11.
- [23] 冀晓龙,王敏,田汉英,等.不同杀菌方式对梨枣汁贮藏过程中品质变化的影响[J].现代食品科技,2013,29(9): 2211-2217.
- [24] 范明月,宋丽宁,王成荣,等.圆黄梨浊汁贮藏过程中品质变化的研究[J].现代食品科技,2013,29(6):1234-1236, 1212.
- [25] 杨毅,谢慧明,王海翔,等.浓缩砀山酥梨汁非酶促褐变中氨基酸变化的研究[J].食品科学,2008,2:116-119.
- [26] MOYER R A, HUMMER K E, FINN C E, et al. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity in diverse small fruits: vaccinium, rubus, and ribes [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2002, 50(3): 519-25.
- [27] 郝秦锋,许洪高,高彦祥.沙棘原浆贮藏期间的品质变化规律[J].食品工业科技,2009,30(11):277-281.
- [28] 杨福臣,王然,王凤舞,等.六种梨浓缩汁贮藏期间色泽稳定性相关指标研究[J].食品科学,2009,30(12):281-284.
- [29] NIENABER U, SHELLHAMMER H T. High-pressure processing of orange juice: combination treatments and a shelf life study [J]. Journal of Food Science, 2001, 66(2): 332-336.
- [30] ZHANG Y, XU J, DING F, et al. Multidimensional profiling indicates the shifts and functionality of wheat-origin microbiota during high-temperature Daqu incubation [J]. Food Research International, 2022, 6: 156.