

不同温度下‘南红梨’采后品质与风味的变化

张鹏¹, 葛超², 贾晓昱¹, 李春媛¹, 吴迪^{3,4}, 李江阔^{1*}

(1. 天津市农业科学院农产品保鲜与加工技术研究所, 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津), 农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室, 天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384)(2. 沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866)(3. 浙江大学农业与生物技术学院, 浙江杭州 310058)
(4. 浙江大学中原研究院, 河南郑州 450000)

摘要: 为了研究不同贮藏温度对‘南红梨’采后品质和风味的影响, 将‘南红梨’采摘后分别放置在 0、10、20 和 30 ℃ 的恒温箱中进行贮藏, 每隔 7 d 测定‘南红梨’的感官指标和营养指标, 并使用气相色谱-离子迁移谱(Gas Chromatography-Ion Mobility Spectroscopy, GC-IMS) 技术对其风味的变化进行测定。研究结果显示, 0 ℃ 的‘南红梨’在贮藏期间果皮无明显转色腐烂褐变现象, 同时会抑制其成熟并保持较为青涩的风味; 10 ℃ 的‘南红梨’在 21 d 时果肉变软果实呈金黄色硬度达到 3.47 kg/cm², 在 28 d 时出现不愉悦的风味; 20 和 30 ℃ 的‘南红梨’在 7 d 时果实变黄果肉变软, 在贮藏 14 d 时出现腐烂褐变现象, 出现不愉悦的风味。根据研究表明温度对‘南红梨’采后品质与风味变化有着重要的影响, 其中 0 ℃ 适宜‘南红梨’长时间贮藏运输; 10 ℃ ‘南红梨’在贮藏 14~21 d 时为最佳食用期, 适宜‘南红梨’短期贮藏以及货架销售; 20 和 30 ℃ 的‘南红梨’仅在贮藏 7 d 后品质衰败, 可用于‘南红梨’采后短期销售。

关键词: 南红梨; 贮藏温度; 品质; 风味; 气相色谱-离子迁移谱

文章编号: 1673-9078(2025)08-237-245

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.8.0663

Changes in Postharvest Quality and Flavor of ‘Nanhong Pear’ at Varying Temperatures

ZHANG Peng¹, GE Chao², JIA Xiaoyu¹, LI Chunyuan¹, WU Di^{3,4}, LI Jiangkuo^{1*}

(1. Institute of Agricultural Products Preservation and Processing Technology, Tianjin Academy of Agricultural Sciences; National Engineering Technology Research Center for Preservation of Agriculture Products (Tianjin); Key Laboratory of Storage of Agricultural Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Tianjin 300384, China) (2. College of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China) (3. College of Agriculture & Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China) (4. Zhejiang University Zhongyuan Institute, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: To investigate the influence of varying storage temperatures on the postharvest quality and flavor of ‘Nanhong Pear’, harvested ‘Nanhong Pear’ fruits were separately stored in constant-temperature boxes at 0, 10, 20 and 30 ℃. Sensory

引文格式:

张鹏, 葛超, 贾晓昱, 等. 不同温度下‘南红梨’采后品质与风味的变化[J]. 现代食品科技, 2025, 41(8): 237-245.

ZHANG Peng, GE Chao, JIA Xiaoyu, et al. Changes in postharvest quality and flavor of ‘Nanhong Pear’ at varying temperatures [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(8): 237-245.

收稿日期: 2024-05-14

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD1600504)

作者简介: 张鹏(1981-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 果蔬贮运保鲜, E-mail: zhangpeng811202@163.com

通讯作者: 李江阔(1974-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 果蔬贮藏与加工, E-mail: lijkuo@sina.com

and nutritional indicators of the fruits were measured at seven-day intervals, and changes in flavor were determined using gas chromatography-ion mobility spectrometry. The results indicated that 'Nanhong Pear' fruits stored at 0 °C exhibited no discernible change in color or evidence of rotting and browning during the storage period. At this temperature, fruit ripening was also inhibited, leading to the maintenance of a relatively astringent flavor in the fruits. 'Nanhong Pear' fruits stored at 10 °C exhibited soft, golden-yellow flesh, and a hardness of 3.47 kg/cm² after 21 days of storage. Their flavor became unpleasant after 28 days. In pear fruits stored at 20 °C and 30 °C, yellowing and softening of the flesh occurred after 7 days of storage, while rotting, browning, and an unpleasant flavor developed after 14 days. The findings of this study indicate that temperature exerts an important influence on the postharvest quality and flavor changes of 'Nanhong Pear'. Specifically, a temperature of 0 °C is optimal for long-term storage and transportation of 'Nanhong Pear' fruits, while 10 °C is suitable for short-term storage and on-shelf sales. Fruits are best consumed at 14~21 days of storage. 'Nanhong Pear' fruits stored at 20 °C and 30 °C suffer quality deterioration after 7 days of storage, indicating that fruits stored at these temperatures are only suitable for short-term sales after harvesting.

Key words: Nanhong Pears; storage temperature; fruit quality; flavor; gas chromatography-ion mobility spectrometry

‘南红梨’(*Pyrus ussuriensis* ‘Nanhong’)为‘南果梨’(*Pyrus ussuriensis* ‘Nanguo’)红色芽变品种,是一种重要的果树作物,主要种植于我国东北地区,具有丰富的营养价值和经济价值^[1]。其果实具有丰富的维生素C、维生素B和矿物质等营养成分,口感清脆,风味独特,深受消费者喜爱^[2]。由于‘南红梨’果实对温度极为敏感且易腐烂变质,因此贮藏温度成为影响其品质及风味物质的重要因素之一。

目前国内外对水果风味的研究主要以GC-IMS技术作为主要手段。GC-IMS技术是一种结合了气相色谱(Gas Chromatography, GC)和离子迁移谱(Ion Mobility Spectrometry, IMS)的新型气体样品的分析和检测技术,样品混合物被注入到气相色谱柱中,不同成分根据其在柱子中的相互作用力不同而以不同速度通过柱子从而进入离子迁移室,被电离成离子,并在电场中移动。不同化合物根据其大小、形状和电荷在电场中移动速度不同。GC-IMS技术具有高选择性和灵敏度能够提供较高的分辨率和选择性,由于其高分辨率和选择性,GC-IMS通常不需要复杂的样品预处理步骤,能够直接处理原始样品,相比传统的色谱分析方法,GC-IMS通常具有更快的分析速度,这对于实时或在线分析非常重要,目前GC-IMS技术已经广泛应用于不同领域,其中尤其适用于水果的风味分析^[3],在秋月梨^[4]、香梨^[5]、翠冠梨^[6]等风味物质研究中占主导地位,而在‘南果梨’以及‘南红梨’风味物质研究中应用较少。目前保鲜剂^[7]、贮藏温度^[8]、微环境气调^[9]是‘南果梨’以及‘南红梨’梨贮藏保鲜技术的主要

研究方向。其中王阳等^[10]研究发现5~10 °C可以有效抑制‘南果梨’果皮褐变,维持较好的外观和内在品质,而20 °C下会导致‘南果梨’失去商品价值。卜庆状等^[11]通过研究发现低温贮藏对‘南果梨’香气有较大的影响,抑制其成熟。

然而,目前对于‘南红梨’不同贮藏温度对其品质的影响的研究还存在一些不足之处,如对于低温和常温下‘南红梨’品质及风味物质变化的对比研究较少,不同温度贮藏‘南红梨’品质及风味变化的转折点鲜有研究。同时‘南红梨’在果肉变软果实呈金黄色时达到最佳食用期,因此对‘南红梨’果实硬度、感官指标结合可溶性固形物、可滴定酸以及风味变化的研究十分重要。因此,本研究旨在通过对‘南红梨’在不同贮藏温度下的品质与风味变化进行系统研究,为‘南红梨’的贮藏与保鲜技术提供科学依据,具有重要的理论和实际意义。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

‘南红梨’,采自于辽宁省鞍山市千山区,树龄15年,单果质量71~83 g,果形呈近圆形。

草酸、EDTA、氢氧化钠,天津市大茂化学试剂厂;偏磷酸、钼酸铵,天津市科密欧化学试剂有限公司;浓硫酸,天津市风船化学试剂科技有限公司;冰乙酸,天津市基准化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

HH-1 水浴锅,金坛市金南仪器制造有限公司;HWS-250BX 型恒温恒湿箱,天津市泰斯特仪

器有限公司; TA.XT.Plus 物性仪, 英国 SMS 公司; 916 Ti-Touch 电位滴定仪, 瑞士万通中国有限公司; PAL-1 手持折光仪, 日本 ATAGO 公司; Flavour Spec 气相色谱-离子迁移谱仪, 德国 G.A.S 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品处理

挑选无机械损伤、无病虫害的‘南红梨’, 置于盒内, 每盒 24 个果实, 共 16 盒。将装好的果实置于 $(0 \pm 0.4)^\circ\text{C}$ 的冷库贮藏 1 个月后, 分别置于 0、10、20、30 $^\circ\text{C}$ 下贮藏, 每组处理 4 盒, 每 7 d 进行一次测定, 每次测定取 1 盒, 各指标设置 3 次重复。

1.3.2 测定指标与方法

1.3.2.1 腐烂率

按照腐烂果数占统计总果数的百分比计算。

1.3.2.2 硬度

采用 TA.XT.Plus 物性测定仪测定。每个处理取 5 个果实, 分别在果实赤道线均匀选取 4 个点测定, 取平均值, 单位为 kg/cm^2 。测定参数为: 探头型号 P/2, 直径 2 mm, 测试速度 3 mm/s; 测定深度 5 mm; 最小感知力 5 g。

1.3.2.3 可溶性固形物 (Total Soluble Solids, TSS)

参照林本芳等^[12]方法测定, 略作修改。取‘南红梨’匀浆用清洁的四层纱布包裹压滤汁液, 用数字手持折射仪测定其汁液, 测 6 次, 计算结果取平均值。

1.3.2.4 可滴定酸 (Titratable Acidity, TA)

参照李文生等^[13]方法测定, 略作修改。取 20 g ‘南红梨’匀浆液, 以蒸馏水定容至 250 mL 后, 80 $^\circ\text{C}$ 水浴 30 min, 冷却至室温后使用脱脂棉过滤, 取滤液 20 mL 和蒸馏水 40 mL 于 100 mL 烧杯中, 采用自动电位滴定法测定, NaOH 溶液浓度为 0.05 mol/L。每个处理重复测定 3 次。

1.3.2.5 总酚、类黄酮

参照曹建康等^[14]方法测定, 略作修改。称量‘南红梨’果皮粉 1.00 g, 将各样品中加入 30 mL 体积分数为 80% 的乙醇溶液, 在 50 $^\circ\text{C}$ 下, 水浴超声 (100 W) 震荡提取 30 min, 提取液过滤后收集于 50 mL 容量瓶中, 再加入 10 mL 80% 的乙醇溶液再次对滤渣进行超声提取, 合并滤液后定容至 50 mL。提取液用于测定总酚和类黄酮含量。

1.3.2.6 挥发性物质

GC-IMS 法测定, 参考陈怀宇等^[15]方法, 略

作修改。

样品前处理: 取‘南红梨’匀浆 2 g, 置于 20 mL 顶空瓶中, 50 $^\circ\text{C}$ 孵化 20 min 后进样, 孵化转速 500 r/min, 每个样品平行测定 3 次。

进样: 顶空进样针温度 85 $^\circ\text{C}$; 进样量 500 μL ; 孵化转速 500 r/min。

GC 条件: 色谱柱 MXT-5 (15 m $\times$ 0.53 mm, 1.0 μm), 色谱柱温 60 $^\circ\text{C}$, 分析时间 20 min, 载气为高纯氮气 N_2 (99.999%), 载气流量: 初始 2 mL/min 保持 2 min, 2~10 min 线形增至 10 mL/min。10~20 min 内线形增至 100 mL/min。

IMS 条件: 漂移管温度 45 $^\circ\text{C}$, 漂移气流量 75 mL/min, 载气为高纯氮气 N_2 (99.999%)。

1.4 数据处理

数据均 EXCEL 2021 进行记录作图, 采用 Origin 2023 绘制图表, 利用 GC-IMS 配套的 LAV 软件绘制图谱, 利用 SMICA 软件绘制 PCA 图谱, 利用 SPSS 软件进行统计分析 ($P < 0.05$ 为显著性差异)。

2 结果与分析

2.1 不同贮藏温度对‘南红梨’感官指标的影响

结合图 1 不同贮藏温度下‘南红梨’的感官图片以及图 2 不同贮藏温度下‘南红梨’的腐烂率和硬度变化图发现, 在 0 $^\circ\text{C}$ 的贮藏条件下, ‘南红梨’果实在整个贮藏期间没有出现腐烂褐变的现象, 并且果实的硬度没有明显变化。在 10 $^\circ\text{C}$ 的贮藏条件下, ‘南红梨’果实在整个贮藏期间也未出现腐烂褐变现象, 但在贮藏 14 d 时, 果皮开始转色, 21 d 时果实成金黄色, 且硬度相比贮藏 14 d 时降低了 89%。而在 20 和 30 $^\circ\text{C}$ 的贮藏条件下, ‘南红梨’果实在贮藏 7 d 时果皮变黄, 硬度下降到 3.52 kg/cm^2 和 7.53 kg/cm^2 , 贮藏 14 d 时果实呈黄色出现腐烂现象, 腐烂率分别为 8.33% 和 41.67%, 在贮藏 21 d 时 20 $^\circ\text{C}$ 条件下的‘南红梨’腐烂率高达 86.96% 部分果实发生褐变, 而 30 $^\circ\text{C}$ 条件下的‘南红梨’则全部腐烂褐变。综上所述, 0 $^\circ\text{C}$ 的贮藏条件能够有效地维持‘南红梨’28 d 的感官品质; 在 10 $^\circ\text{C}$ 的贮藏条件下, ‘南红梨’在贮藏 21 d 时果肉变软果实呈金黄色; 而 20 和 30 $^\circ\text{C}$ 的贮藏条件下, ‘南红梨’在贮藏 7 d 时果肉变软果实呈黄色, 不适宜长期保存。

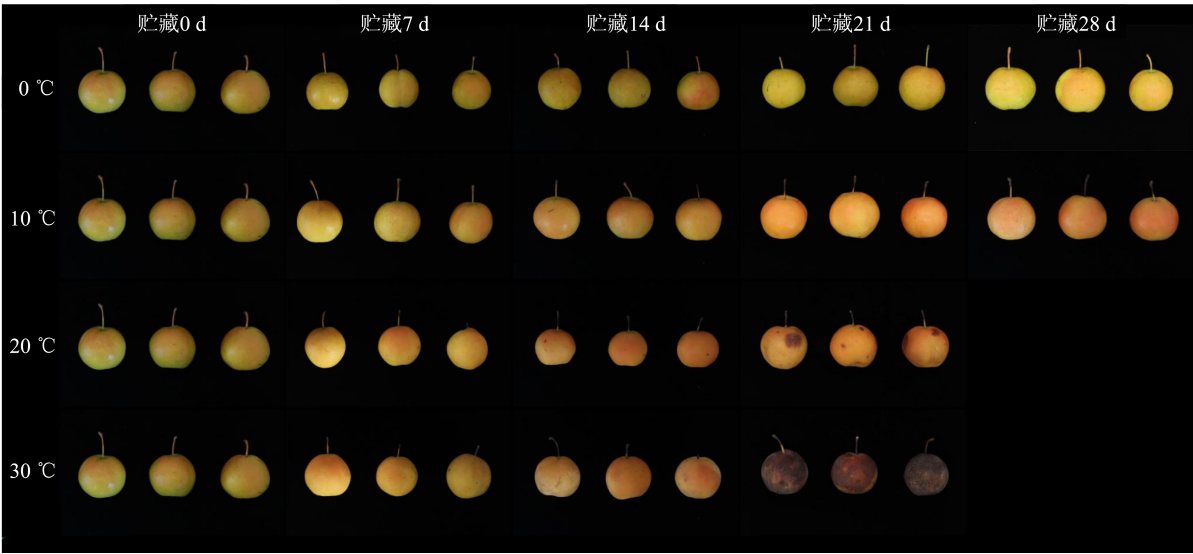


图 1 不同贮藏温度 ‘南红梨’ 感官图片

Fig.1 Sensory pictures of ‘Nanhong Pear’ at different storage temperatures

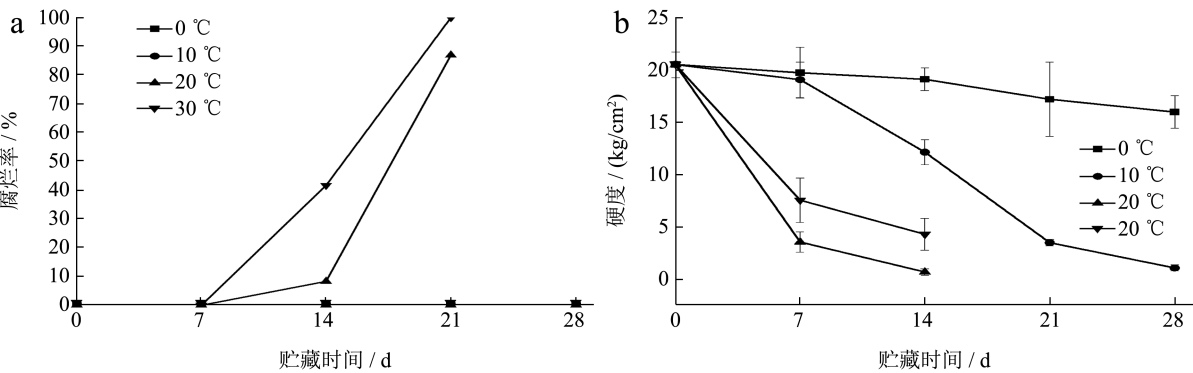


图 2 不同贮藏温度对 ‘南红梨’ 腐烂率和硬度的影响

Fig.2 Effect of different storage temperatures on decay rate and hardness of ‘Nanhong Pear’

2.2 不同贮藏温度对‘南红梨’采后营养指标的影响

表 1 显示了不同贮藏温度下 ‘南红梨’ 的营养指标。从表 1 中可以看出，可溶性固形物呈上升趋势，可溶性固形物是水果中的糖、蛋白质和矿物质等物质的总和，可溶性固形物含量逐渐增加表明水果的成熟，可滴定酸呈下降趋势，可滴定酸是水果中的酸性物质，随着水果成熟，酸度逐渐降低。此外，固酸比值呈上升趋势，表明果实逐渐成熟。0 °C 处理的 ‘南红梨’ 固酸比始终低于其他处理；而在 10 °C 条件下贮藏的 ‘南红梨’，在 21 d 时固酸比急剧上升，增加了 16.36；在 20 和 30 °C 条件下贮藏的 ‘南红梨’，在贮藏 7 d 时固酸比也急剧上升，分别增加了 15.92 和 17.10。综上所述，0 °C 的贮藏温度可以有效抑制 ‘南红梨’ 的成熟过程，并更好地维持其营养品质；10 °C 的贮藏温度使 ‘南红

梨’ 在 21 d 达到成熟；而 20 和 30 °C 的贮藏温度会导致 ‘南红梨’ 在 7 d 达到成熟。

2.3 不同贮藏温度对‘南红梨’采后总酚和类黄酮的影响

图 3 显示了不同贮藏温度下 ‘南红梨’ 总酚和类黄酮含量变化。由图 3 可知在贮藏 0 d 时 ‘南红梨’ 总酚含量为 3.88 mg/g，10、20、30 °C ‘南红梨’ 在贮藏 7 d 时总酚含量达到最高值，分别为 5.60、4.89、5.78 mg/g，0 °C ‘南红梨’ 在贮藏 14 d 时总酚含量达到最高值 5.13 mg/g，在贮藏 28 d 时 0 °C ‘南红梨’ 总酚含量为 4.36 mg/g 显著高于 ($P<0.05$) 10 °C ‘南红梨’ 总酚含量 (3.55 mg/g)。在贮藏 0 d 时类黄酮含量为 1.65 mg/g，10、20、30 °C ‘南红梨’ 在贮藏 7 d 时类黄酮含量达到最高值，分别为 3.8、3.51、5.32 mg/g，0 °C ‘南红梨’ 在贮藏 21 d 时类黄酮含量达到最高值 3.29 mg/g，在贮

藏 28 d 时 0 ℃ ‘南红梨’ 类黄酮含量为 2.81 mg/g 显著高于 ($P<0.05$) 10 ℃ ‘南红梨’ 类黄酮含量 (1.62 mg/g)。综上所述, 低温 (0 ℃) 贮藏条件可以在贮藏末期维持较高的总酚和类黄酮含量, 从而保持较高的抗氧化活性。

表 1 不同贮藏温度 ‘南红梨’ 的营养指标
(TSS、TA、TSS/TA)
Table 1 Nutritional indexes (TSS,TA,TSS/TA) of ‘Nanhong Pears’ at different storage temperatures

贮藏时间/d	贮藏温度/℃	TSS/(°Brix)	TA/(wt.%)	TSS/TA
0	0	12.72 ± 0.038 ^a	0.50 ± 0.002 ^a	25.69 ± 0.179 ^a
	10	12.72 ± 0.038 ^a	0.50 ± 0.002 ^a	25.69 ± 0.179 ^a
	20	12.72 ± 0.038 ^a	0.50 ± 0.002 ^a	25.69 ± 0.179 ^a
	30	12.72 ± 0.038 ^a	0.50 ± 0.002 ^a	25.69 ± 0.179 ^a
7	0	13.93 ± 0.052 ^b	0.49 ± 0.003 ^b	28.09 ± 0.072 ^b
	10	14.13 ± 0.052 ^b	0.46 ± 0.002 ^b	30.72 ± 0.209 ^b
	20	14.50 ± 0.000 ^a	0.40 ± 0.008 ^a	35.84 ± 0.287 ^b
	30	14.38 ± 0.041 ^b	0.39 ± 0.002 ^b	37.16 ± 0.236 ^a
14	0	14.13 ± 0.052 ^b	0.44 ± 0.008 ^a	32.04 ± 0.183 ^b
	10	14.50 ± 0.000 ^b	0.43 ± 0.004 ^a	33.54 ± 0.225 ^b
	20	15.70 ± 0.000 ^a	0.30 ± 0.004 ^b	51.76 ± 0.685 ^b
	30	14.47 ± 0.052 ^b	0.27 ± 0.002 ^c	54.26 ± 0.121 ^a
21	0	14.30 ± 0.063 ^b	0.38 ± 0.007 ^b	38.59 ± 0.433 ^b
	10	14.80 ± 0.000 ^a	0.30 ± 0.007 ^a	49.90 ± 0.914 ^a
28	0	14.60 ± 0.000 ^b	0.32 ± 0.003 ^a	43.85 ± 0.486 ^b
	10	15.08 ± 0.041 ^a	0.28 ± 0.002 ^b	52.87 ± 0.652 ^a

注: 不同小写字母代表不同贮藏温度差异显著性, $P<0.05$ 。

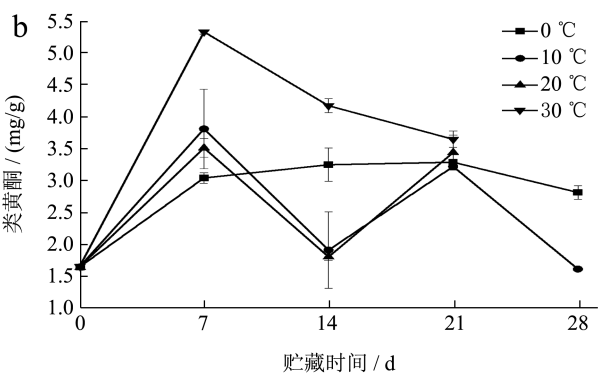
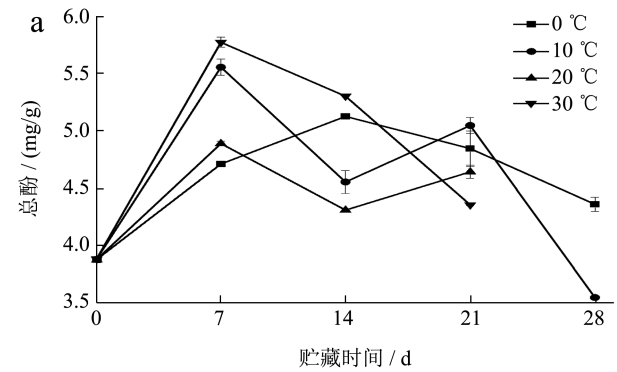


图 3 不同贮藏温度对 ‘南红梨’ 总酚和类黄酮含量的影响
Fig.3 Effect of different storage temperatures on total phenolics and flavonoids content of ‘Nanhong Pear’

2.4 不同贮藏温度 ‘南红梨’ GC-IMS 挥发性物质变化

2.4.1 不同贮藏温度 ‘南红梨’ 差异图谱分析

图 4 展示了不同贮藏温度下 ‘南红梨’ 挥发性成分的 GC-IMS 二维差异图谱, 以贮藏 0 d 的 ‘南红梨’ 作为参考进行对比。从图中可以观察到, ‘南红梨’ 中大部分挥发性成分的相对迁移时间在 1.10~1.90 ms 的范围内, 而在 1.30~1.80 ms 范围内的挥发性成分信号较为强烈。此外, 随着贮藏温度的升高, 风味物质的浓度也随之增加。综上所述, 贮藏温度对 ‘南红梨’ 的挥发性成分具有一定的影响, 0 ℃ 贮藏的 ‘南红梨’ 在风味上没有明显变化; 10 ℃ 贮藏的 ‘南红梨’ 在贮藏 14 d 后风味物质浓度急剧增加; 20 和 30 ℃ 贮藏的 ‘南红梨’ 在贮藏 7 d 后风味物质浓度急剧增加。

2.4.2 不同贮藏温度 ‘南红梨’ 挥发性物质指纹图谱分析

通过 GC-IMS 配套的 LAV 软件中 Gallery Plot 插件绘制出两种树莓贮藏期间挥发性物质的指纹图谱 (图 3)。由图 5 和表 2 可知, 通过测定共检出 32 种有效挥发性物质, 其中 30 种为已知的挥发性物质, 2 种为未知的挥发性物质。主要包括酯类 20 种 (占比 62.5%)、醇类 9 种 (占比 28.1%)、酮类 1 种 (占比 3.1%)、其他挥发性物质 2 种 (占比 6.3%)。

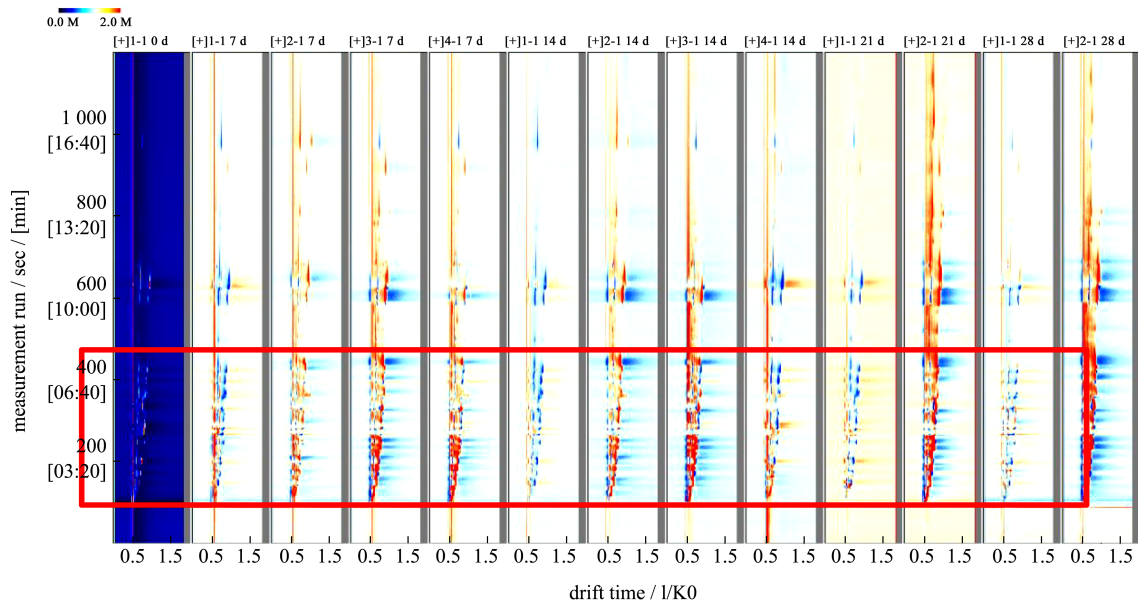


图 4 不同贮藏温度 ‘南红梨’ 挥发性成分的 GC-IMS 二维差异图谱

Fig.4 GC-IMS two-dimensional difference maps of volatile components of ‘Nanhong Pear’ at different storage temperatures

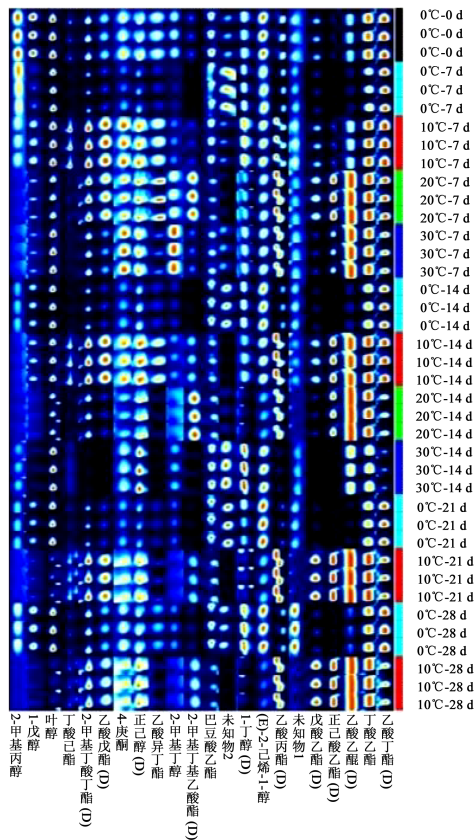


图 5 不同贮藏温度 ‘南红梨’ 挥发性物质的指纹图谱

Fig.5 Fingerprints of volatile substances in ‘Nanhong Pear’ at different storage temperatures

根据图示，‘南红梨’贮藏 0 d 的主要风味物质为 2-甲基丙醇（果香味）、1-戊醇（果香味）和叶醇（青草味）。其中，叶醇的存在表明果实尚未完

全成熟。随着贮藏时间的增加，0℃下贮藏的‘南红梨’叶醇的浓度下降不明显，而其他贮藏温度下的‘南红梨’叶醇浓度明显降低，这表明 0℃可以有效抑制‘南红梨’的成熟过程。在贮藏 28 d 时，10℃下贮藏的‘南红梨’主要风味物质为正己酸乙酯（白兰地味）和乙酸乙酯（白兰地味）。而 20 和 30℃下贮藏的‘南红梨’在贮藏 14 d 时此类风味物质十分浓郁。相比之下，在 0℃下贮藏的‘南红梨’几乎没有这些风味物质的产生。

通过测定发现酯类物质在‘南红梨’风味物质中占比较高，Luo 等^[16]在‘南果梨’香气分析也表明酯类是主要香气物质，酯类物质通常带有令人愉悦的水果香气^[17]。其中，乙酸乙酯和丁酸乙酯在整个贮藏期间表现出浓郁的风味，成为‘南红梨’的主要风味物质，而陈计峦等^[18]分析表明‘南果梨’主要香气物质为己酸乙酯、乙酸乙酯、乙酸己酯。0℃下贮藏的‘南红梨’在整个贮藏期间风味无明显变化同时伴随着少许青涩的风味。10℃下贮藏的‘南红梨’在贮藏 21 d 时果味最为浓郁主要风味物质为乙酸丙酯（水果味）和戊酸乙酯（苹果味），在贮藏 28 d 时出不愉悦风味（正己酸乙酯和乙酸乙酯）。20 和 30℃下贮藏的‘南红梨’在贮藏 7 d 时果味最为浓郁主要包括 4-庚酮（水果味）、乙酸异丁酯（苹果味）、2-甲基丁醇（葡萄味）和 2-甲基丁基乙酸酯（浓烈水果味），在贮藏 14 d 时出现不愉悦风味（正己酸乙酯和乙酸乙酯）。

表 2 不同贮藏温度‘南红梨’风味物质信息

Table 2 Information of flavor substances of ‘Nanhong Pear’ at different storage temperatures							
分类	化合物名称	CAS 号	分子式	保留指数	保留时间/s	迁移时间/ms	风味特征
酯类	2-甲基丁酸丁酯 (M)	15706-73-7	C ₉ H ₁₈ O ₂	1 038.1	647.955	1.384 23	青苹果味
	2-甲基丁酸丁酯 (D)	15706-73-7	C ₉ H ₁₈ O ₂	1 033.5	639.48	1.890 68	
	正己酸乙酯 (M)	123-66-0	C ₈ H ₁₆ O ₂	1 009.9	597.377	1.338 89	白兰地味
	正己酸乙酯 (D)	123-66-0	C ₈ H ₁₆ O ₂	1 010.8	598.78	1.785 22	
	乙酸戊酯 (M)	628-63-7	C ₇ H ₁₄ O ₂	919.1	426.835	1.307 43	梨味
	乙酸戊酯 (D)	628-63-7	C ₇ H ₁₄ O ₂	916.8	423.034	1.753 04	
	戊酸乙酯 (M)	539-82-2	C ₇ H ₁₄ O ₂	902.1	399.817	1.273 79	酵母味
	戊酸乙酯 (D)	539-82-2	C ₇ H ₁₄ O ₂	900.1	396.765	1.680 79	
	2-甲基丁基乙酸酯 (M)	624-41-9	C ₇ H ₁₄ O ₂	880.7	369.632	1.291 22	梨味
	2-甲基丁基乙酸酯 (D)	624-41-9	C ₇ H ₁₄ O ₂	878.6	366.919	1.730 58	
	巴豆酸乙酯	623-70-1	C ₆ H ₁₀ O ₂	843.9	324.499	1.178 08	热带水果味
	乙酸丁酯 (M)	123-86-4	C ₆ H ₁₂ O ₂	820.8	299.05	1.235 5	苹果味
	乙酸丁酯 (D)	123-86-4	C ₆ H ₁₂ O ₂	811.4	289.304	1.616 34	
	丁酸乙酯	105-54-4	C ₆ H ₁₂ O ₂	793.9	271.914	1.555 22	柑橘味
	乙酸异丁酯	110-19-0	C ₆ H ₁₂ O ₂	766.5	245.563	1.604 45	苹果味
	乙酸丙酯 (M)	109-60-4	C ₅ H ₁₀ O ₂	715.1	201.846	1.162	梨味
	乙酸丙酯 (D)	109-60-4	C ₅ H ₁₀ O ₂	713.2	200.359	1.464 61	
	乙酸乙酯 (M)	141-78-6	C ₄ H ₈ O ₂	614.1	148.293	1.096 87	白兰地味
	乙酸乙酯 (D)	141-78-6	C ₄ H ₈ O ₂	614.1	148.293	1.331 38	
	丁酸己酯	2639-63-6	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	735.2	213.258	1.252 43	苹果味
醇类	正己醇 (M)	111-27-3	C ₆ H ₁₄ O	877	364.79	1.325 38	香蕉味
	正己醇 (D)	111-27-3	C ₆ H ₁₄ O	875.8	363.221	1.653 45	
	(E)-2-己烯-1-醇	928-95-0	C ₆ H ₁₂ O	862.1	346.093	1.179 58	青草味
	叶醇	928-96-1	C ₆ H ₁₂ O	855.4	338.04	1.511 67	青草味
	1-戊醇	71-41-0	C ₅ H ₁₂ O	766.5	245.564	1.227 7	果香味
	1-丁醇 (M)	71-36-3	C ₄ H ₁₀ O	667.7	172.107	1.178 04	果香味
	1-丁醇 (D)	71-36-3	C ₄ H ₁₀ O	664.6	170.66	1.400 83	
	2-甲基丙醇	78-83-1	C ₄ H ₁₀ O	631.4	155.608	1.174 44	苹果味
	2-甲基丁醇	137-32-6	C ₅ H ₁₂ O	735.9	218.5	1.234 21	葡萄味
	4-庚酮	123-19-3	C ₇ H ₁₄ O	871.8	358.135	1.574 95	果香味

2.4.3 不同贮藏温度‘南红梨’挥发性物质主成分分析

主成分分析方法 (Principal Component Analysis, PCA), 是一种使用最广泛的数据降维算法^[19]。由图可知主成分 1、主成分 2 的贡献率分别为 45.4%、27.4%, 总贡献率达到 72.8%, 超过可信值 (60%)。因此该 PCA 具有可行性, 证明不同贮藏温度下 ‘南红梨’ 风味物质有所差异。

2.4.4 不同贮藏温度‘南红梨’挥发性物质相似性分析

通过 “最近邻” 指纹分析评估区域化合物的强度对样本进行快速比较计算出样本间的欧氏距离, 欧氏距离的远近代表了样品的相似性^[20]。如图所示, 0 ℃贮藏条件下的 ‘南红梨’ 距离无明显差异, 证明其具有较高的相似性; 10 ℃下的 ‘南红梨’ 在 14 d 和 21 d 间的距离较大, 7 d 和 14 d, 21 d 和 28 d

距离较小,证明 14 d 和 21 d 有较大的差异;20 和 30 ℃ 下的‘南红梨’在 7 d 和 14 d 间的距离较大,证明 7 d 和 14 d 有较大的差异。

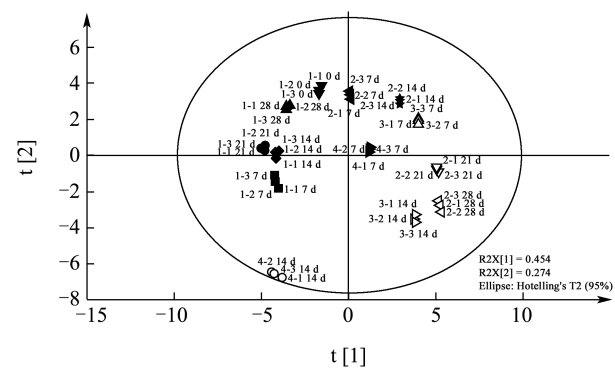


图 6 不同贮藏温度‘南红梨’挥发性物质 PCA 图谱
Fig.6 PCA profiles of volatile substances in ‘Nanhong Pear’ at different storage temperatures

注: 1: 0 ℃ 贮藏、2: 10 ℃ 贮藏、3: 20 ℃ 贮藏、4: 30 ℃ 贮藏、-1-2-3: 三组平行处理。

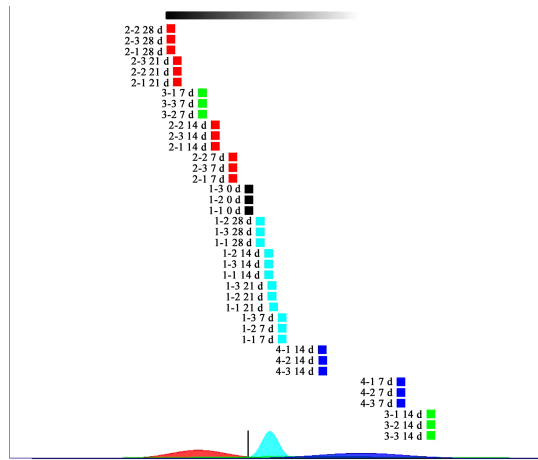


图 7 不同贮藏温度‘南红梨’挥发性物质相似性图谱
Fig.7 Similarity mapping of volatile substances in ‘Nanhong Pear’ at different storage temperatures

注: 1: 0 ℃ 贮藏、2: 10 ℃ 贮藏、3: 20 ℃ 贮藏、4: 30 ℃ 贮藏、-1-2-3: 三组平行处理。

3 讨论

结果表明,酯类物质在‘南红梨’风味物质中占比较高,其中乙酸乙酯和丁酸乙酯为‘南红梨’的主要风味物质,0 ℃ 下‘南红梨’在贮藏期间叶醇含量无明显变化使其维持青涩的风味,而 10、20、30 ℃ 贮藏温度下的‘南红梨’在贮藏期间均出现不愉悦的风味。0 ℃ 贮藏温度下可以有效维持‘南红梨’的感官品质营养指标,维持较高的抗氧化活

性,抑制其成熟并维持其青涩的风味,同时在 Sun 等^[21]研究中也证明了 0 ℃ 可以有效维持梨的品质,因此 0 ℃ 适宜‘南红梨’长期贮藏,这一结论也在山楂^[22]、枇杷^[23]等蔷薇科水果中得已验证。10、20、30 ℃ 贮藏温度下的‘南红梨’果皮颜色由绿转黄,果实硬度下降,温度越高越加速果实的软化和转色,这一点也在杨晓龙等^[24]‘南果梨’采后变化研究中得以体现。其中 10 ℃ 贮藏温度下的‘南红梨’在贮藏期间无褐变现象,在贮藏 21 d 时果实变为金黄色果肉变软,同时拥有较高的成熟度以及浓郁的风味。20 和 30 ℃ 贮藏温度下的‘南红梨’在贮藏 7 d 时果实变为黄色果肉变软,有较高的成熟度以及浓郁的风味,但在后续贮藏中果实感官以及营养、生理指标有明显衰退,同时产生不愉悦风味,因此 20 和 30 ℃ 不适宜‘南红梨’的贮藏,但却适用于‘南红梨’采后短期货架销售。同时根据王阳等^[25]以及孙扬扬等^[26]研究结果表明‘南果梨’在硬度到达 5 kg/cm² 颜色呈黄色时到达最佳食用期。

4 结论

根据研究表明温度对‘南红梨’采后品质与风味变化有着重要的影响,其中 0 ℃ 适宜‘南红梨’贮藏运输;10 ℃ ‘南红梨’在贮藏 14~21 d 时果实变为金黄色同时硬度达到 12.13~3.47 kg/cm²,达到最佳食用期,适宜‘南红梨’短期贮藏以及货架销售;20 和 30 ℃ 的‘南红梨’在贮藏 7 d 左右果实变为黄色果实果肉硬度分别为 3.53 kg/cm² 和 7.54 kg/cm²,达到最佳食用期,适宜‘南红梨’采后短期货架销售。

参考文献

[1] LI C Y, CHENG Y, HOU J B, et al. Application of methyl jasmonate postharvest maintains the quality of ‘Nanguo pears’ by regulating mitochondrial energy metabolism [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(11): 3075-3083.

[2] SUN H J, LUO M L, ZHOU X, et al. PuMYB21/PuMYB54 coordinate to activate iPuPLD β 1/i transcription during peel browning of cold-stored ‘Nanguo pears’ [J]. Horticulture Research, 2020, 7(1): 136.

[3] 赵竞伊,张鹏,曹森,等.不同品种番茄采后品质和挥发性物质差异分析[J].食品工业科技,2024,45(15):274-282.

[4] 何婉琳,施露,林梦桦,等.基于气相色谱-离子迁移谱分析不同产地秋月梨品质差异[J].食品科学,2024,45(5):118-125.

- [5] 赵迎丽,张微,王亮,等.冰温贮藏对山西不同产地玉露香梨挥发性有机物的影响[J].保鲜与加工,2022,22(2):1-7.
- [6] 张文君,李慧冬,毛江胜,等.不同产地翠冠梨果的GC-IMS香气指纹图谱差异性分析[J].农产品质量与安全,2021,5:23-28.
- [7] 叶春苗,李莉峰,韩艳秋.不同保鲜剂处理对南果梨贮藏期品质的影响[J].北方园艺,2022,20:99-103.
- [8] 胡君一,杨芳芳,侯宪峰,等.贮藏温度对鲜切南果梨保鲜的影响[J].食品研究与开发,2014,35(2):107-108.
- [9] 郭丹,郝义,韩英群.箱式气调贮藏对南果梨生理品质变化的影响[J].食品研究与开发,2015,36(16):148-151.
- [10] 王阳,贾晓辉,王文辉,等.不同货架温度对南果梨品质及果皮褐变的影响[J].中国南方果树,2018,47(1):87-92.
- [11] 卜庆状,纪淑娟,李江阔,等.冷藏后南果梨常温后熟期香气成分变化[J].食品科学,2013,34(2):273-276.
- [12] 林本芳,鲁晓翔,李江阔,等.冰温结合1-MCP贮藏对西兰花品质及生理的影响[J].食品工业科技,2013,34(12):304-307,311.
- [13] 李文生,冯晓元,王宝刚,等.应用自动电位滴定仪测定水果中的可滴定酸[J].食品科学,2009,30(4):247-249.
- [14] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
- [15] 陈怀宇,王钰淇,陈洪彬,等.基于GC-IMS分析“黄金”和“紫香”西番莲果实挥发性风味物质的差异[J].中国南方果树,2022,51(6):84-89.
- [16] LUO M L, SUN H J, GE W Y, et al. PuNAC100-like/PuHLH61 co-regulate PuLOX3 mediating ester biosynthesis in cold-stored 'Nanguo pears' [J]. Postharvest Biology and Technology, 2023, 205: 112498.
- [17] WAN J, LIU Q, MA C, et al. Characteristic flavor fingerprint disclosure of dzo beef in Tibet by applying SAFE-GC-O-MS and HS-GC-IMS technology [J]. Food Research International, 2023, 166: 112581.
- [18] 陈计峦,周珊,闫师杰,等.丰水梨、砀山梨、南果梨的香气成分分析[J].园艺学报,2005,2:301-303.
- [19] HOPE H M T, HALAI A, CRINION J, et al. Principal component analysis-based latent-space dimensionality underestimation, with uncorrelated latent variables [J]. Brain: A Journal of Neurology, 2024, 147(2): e14-e16.
- [20] SCHAEFER A, SCOLARO P T, GHISI E. Cluster analysis applied to obtaining reference models for building thermal performance studies [J]. Journal of Building Engineering, 2024, 89: 109273.
- [21] SUN H J, LUO M L, ZHOU X, et al. Influence of melatonin treatment on peel browning of cold-stored 'Nanguo pears' [J]. Food and Bioprocess Technology: An International Journal, 2020, 13(8): 1478-1490.
- [22] 刘裕晨,史小柯,任瑞,等.不同贮藏温度对山楂果实品质的影响[J].山西农业科学,2019,47(10):1842-1846.
- [23] 孙维芝.白玉枇杷贮藏保鲜的程序降温技术研究[J].江苏农业科学,2010,6:426-427.
- [24] 杨晓龙,王文辉,王志华,等.五种秋子梨果实采后品质变化及生理差异研究[J].保鲜与加工,2017,17(3):26-31.
- [25] 王阳,佟伟,王文辉,等.辽宁鞍山南果梨果实品质分析[J].中国果树,2023,12:19-23.
- [26] 孙扬扬,罗曼莉,纪淑娟.外源硝普钠处理缓解冷藏南果梨果皮褐变的作用机理[J].食品科学,2024,45(16):223-231.