

基于 GC-MS 和香韵法分析阳光玫瑰葡萄 贮藏过程香气特征变化

谢林君¹, 王海军², 张劲^{1*}, 周思泓¹, 周咏梅¹, 庞丽婷¹, 成果^{1*}

(1. 广西壮族自治区农业科学院葡萄与葡萄酒研究所, 广西南宁 530007)

(2. 广西壮族自治区农业科学院农产品质量与安全检测技术研究所, 广西南宁 530007)

摘要: 探索温度对贮藏期阳光玫瑰葡萄香气特征变化的影响, 采用顶空固相微萃取气相色谱质谱联用 (Headspace-Solid Phase Microextraction and Gas Chromatography-Mass Spectrometry, HS-SPME-GC-MS) 对 4 个贮藏温度 (0、4、10 与 15 °C) 下葡萄果实挥发性成分定性定量, 通过香气活性值 (Odor Activity Value, OAV)、香气轮廓及香韵分析法对特征物质及香气特征鉴定分析。GC-MS 共鉴定出 55 种挥发性成分, 包括醛 20 种, 醇 6 种, 酯 6 种, 萜烯 16 种及其他 7 种, 其中 16 种物质被鉴定为活性香气成分 (OAV>1), 特征香气物质为萜烯及醛类。冰温 (0、4 °C) 与低温 (10、15 °C) 贮藏条件下葡萄果实特征香气轮廓变化分别趋于一致, 贮藏过程特征香气变化差异主要为花香类, 特别是铃、菜、兰、玫与鸳香韵。0 °C 贮藏更能保持葡萄新鲜果香, 但花香特征损失明显; 4 °C 与 10 °C 贮藏 8 周后特征香气发生劣变, 15 °C 贮藏 6 周后特征香气发生劣变。综上所述, 冰温贮藏初期极易引起花香特征的减损, 低温贮藏则不能在较长贮藏期内维持果实的特征香气品质。

关键词: 阳光玫瑰葡萄; 贮藏; 香气特征; 香气轮廓; 香韵分析

文章编号: 1673-9078(2023)09-296-306

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.9.1156

Changes in Aroma Characteristics of Sunshine Muscat Grape during Storage Evaluated by GC-MS and Aroma Analysis

XIE Linjun¹, WANG Haijun², ZHANG Jin^{1*}, ZHOU Sihong¹, ZHOU Yongmei¹, PANG Liting¹, CHENG Guo^{1*}

(1. Grape and Wine Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

(2. Institute of Quality Standard and Testing Technology for Agro-Products, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China)

Abstract: In order to study the effect of temperature on the aroma characteristics of sunshine Muscat grape during storage, headspace-solid phase microextraction (HS-SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were used to for qualitative and quantitative analyses of the volatile components of grape fruits at four storage temperatures (0 °C, 4 °C, 10 °C and 15 °C). The characteristic substances and aroma characteristics were identified and analyzed by odor activity value (OAV), aroma profiling and aroma analysis. The results showed that 55 volatile components were identified by GC-MS, including 20 aldehydes, 6 alcohols, 6 esters, 16 terpenes and 7 other compounds. Among them, 16 compounds were identified as active aroma components (OAV>1). The characteristic aroma components of sunshine Muscat grape were terpenes and aldehydes. The changes in characteristic aroma profile of sunshine Muscat grape stored at ice
引文格式:

谢林君,王海军,张劲,等.基于 GC-MS 和香韵法分析阳光玫瑰葡萄贮藏过程香气特征变化[J].现代食品科技,2023,39(9):296-306

XIE Linjun, WANG Haijun, ZHANG Jin, et al. Changes in aroma characteristics of sunshine muscat grape during storage evaluated by GC-MS and aroma analysis [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(9): 296-306

收稿日期: 2022-09-13

基金项目: 广西重点研发计划项目 (桂科 AB18221077); 广西农业科学院科技发展基金 (桂农科 2021JM107; 桂农科 2022JM88); 广西农业科学院基本科研业务专项 (桂农科 2021YT125)

作者简介: 谢林君 (1988-), 女, 本科, 助理研究员, 研究方向: 农产品加工及贮藏, E-mail: xielinjun666@163.com

通讯作者: 张劲 (1986-), 男, 硕士, 副研究员, 研究方向: 农产品加工及贮藏, E-mail: zhangjpts@126.com; 共同通讯作者: 成果 (1987-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 葡萄与葡萄酒学, E-mail: berry713@163.com

temperatures (0 °C and 4 °C) and low temperatures (10 °C and 15 °C) tended to be consistent, respectively. The characteristic aromas exhibiting differences during storage were mainly floral characteristics, especially the aroma notes of bell, jasmine, orchid, rose and mandarin duck. The storage at 0 °C could keep the fresh fruit aroma of grapes, whilst the loss of floral characteristics was significant. The characteristic aroma deteriorated after 8 weeks of storage at 4 °C and 10 °C or after 6 weeks of storage at 15 °C. In summary, the storage at ice temperatures easily caused a decrease or loss of flower aroma characteristics at the early stage of storage, whilst the storage at a low temperature was unable to maintain the characteristic aroma quality of the fruit during a relatively long storage.

Key words: shine muscat grape; storage; aroma characteristics; aroma profiles; aroma notes analysis

阳光玫瑰葡萄属欧美杂交种,其亲本为安芸津 21 号与白南。成熟时果皮呈黄绿色,具有典型浓郁的玫瑰香味,鲜食风味佳且耐贮藏^[1,2]。近年来该品种在全国种植面积增长迅速,截止 2021 年,全国种植面积达 6.7 万 hm²^[3],葡萄市场价格受到一定影响,贮藏保鲜技术是实现错峰、错区销售及周年供应的重要技术保障。围绕阳光玫瑰葡萄贮藏保鲜方面的研究已有相关报道,如贮藏温度选择^[4]、保鲜剂的保鲜效果^[5,6]等。

香气是水果品质的标志性特征之一,直接影响消费者的喜好,独特诱人的香气特征可提升消费者的食用愉悦感^[7,8]。阳光玫瑰葡萄含有丰富的萜烯类及醛类特征香气物质,葡萄果实具有典型浓郁的玫瑰香、绿叶清香及果香^[9-11]。围绕阳光玫瑰葡萄香气开展的研究主要集中于植物调节剂^[12,13]、光质^[14]及果袋^[10,11]等栽培措施对葡萄果实风味物质的影响。关于采后及贮藏过程中香气的变化研究较少,Matsumoto 等^[15]研究发现阳光玫瑰葡萄贮藏于不同温度时里那醇含量不同,低温贮藏的葡萄果实里那醇含量显著降低。谢林君等^[16]研究发现温度对阳光玫瑰葡萄贮藏期特征风味物质变化趋势作用明显,0 °C 下特征风味物质逸损明显。

构成葡萄香气的物质极其复杂,不同香气物质的呈香作用与挥发性成分类型及含量密切相关,使不同品种葡萄呈现典型的香气特征^[7,17]。挥发性成分对于样品整体香气特征的贡献程度、风味物质组成与香味香韵感官表现等一直是风味化学研究的热门方向。依据挥发性成分的定性定量分析结果,应用香气活性值(OAV)与香气轮廓法、香韵分析法相结合对香气成分进行量化模拟,可以一定程度对香气进行量化分析。该分析法已见报道应用于葡萄^[18,19]、芒果^[20]与香蕉^[21]等水果香气特征研究。本文采用 HS-SPME-GC-MS 分析不同温度下阳光玫瑰葡萄贮藏期的挥发性成分,结合气味 OAV 法及香韵分析法,鉴定贮藏过程中葡萄风味特征变化规律及差异,为贮藏期葡萄果实香气品质评价及贮藏保鲜工艺研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

阳光玫瑰葡萄贮藏保鲜原料:采摘于南宁市武鸣区岫扭村(广西真诚农业有限公司东盟开发区葡萄基地)(23°20'00" N, 108°15'34" E)。

2-甲基-3-庚酮(色谱纯),美国 Aldrich 公司;正构烷烃混标(C6~C26 色谱纯),美国 Supelco 公司。

1.2 仪器与设备

LRH-150CL 低温恒温培养箱,上海一恒科学仪器有限公司;固相微萃取手柄、75 μm CAR/PDMS 萃取头,美国 Supelco 公司;SCION SQ 456GC-MS 气相色谱-质谱联用仪,美国 Bruker 公司;DB-WAX 色谱柱(30 m×0.25 mm×0.25 μm),美国 Agilent 公司。

1.3 实验方法

1.3.1 保鲜处理与取样方法

样品采摘和前处理参照谢林君等^[4]的方法。选择无机损伤、无病虫害,果皮呈黄绿色的成熟阳光玫瑰葡萄,单穗用专用葡萄保鲜袋包装(预冷后密封贮藏),置于不同温度条件(0、4、10 和 15 °C)贮藏。贮藏处理前取样一次记为 0 周(w),贮藏过程中每 2 w 取样 1 次,取样周期为 8 w,混合均匀取样的葡萄果实并去籽,用液氮将葡萄果实进行冷冻,待果实冻透裂开后用不锈钢搅拌机粉碎成粉末,迅速移取并精确称量样品约 10 g 置于 20 mL 顶空进样瓶(Agilent)中,-80 °C 下冻存备用。

1.3.2 顶空-固相微萃取

样品经解冻,加入 10 μL 2-甲基-3-庚酮(320 μg/mL)内标物,充分震荡均匀,将老化后的 75 μm CAR/PDMS 萃取头插入样品瓶顶空部分,于 45 °C 吸附 30 min,吸附后取出插入气相色谱进样口,于 250 °C 解吸 3 min,同时启动仪器采集数据。

1.3.3 GC-MS 分析条件

色谱柱: DB-WAX (30 m×0.25 mm×0.25 μm); 升温程序: 40 °C 保持 3 min, 以 5 °C/min 升至 90 °C, 再以 10 °C/min 升至 230 °C, 保持 7 min; 进样温度 250 °C, 载气为氦气 (He), 流速 0.8 mL/min, 不分流进样。

电子电离 (Electronic Ionization, EI) 源, 电子能量 70 eV, 离子源温度 200 °C, 扫描范围 30~500 *m/z*。

1.3.4 鉴定方法

定性定量与 OAV 分析: 结合质谱 (MS) 和保留指数 (Retention Index, RI) 对阳光玫瑰葡萄果实的挥发性成分进行定性, 其中质谱分析结果在工作站 NIST 和 Wiley 数据库进行检索比对定性; 根据内标物的出峰面积对挥发性成分进行定量, 计算公式为: 挥发性成分质量浓度 (μg/kg) = (各挥发性成分的峰面积×内标物的质量浓度) / 内标物的峰面积。OAV 值由挥发性成分中香气成分绝对含量与该成分的气味阈值的比值计算得到, OAV 大于 1 的成分被定性为对葡萄整齐香气具有贡献的活性香气成分; 具体计算方法参考文献^[20]。

香气轮廓分析: 参考文献^[18,19], 将目标香气轮廓确定为花香、果香、草本香、脂肪香、泥土味、烤香、甜香 7 个系列; 根据活性香气成分的 OAV 值赋予对应的一个或多个系列, 对应多个系列时, 每个系列均获得该 OAV 值, 由 7 个气味系列及 OAV 累计值绘制雷达图来表示果实整体香气轮廓。

香韵分析方法: 分析方法参考文献^[20], 参照林翔云^[22]气味‘ABC’分类法进行挥发性成分香韵量化, 将该分类系统中各香气组分的香味特征量化值乘以香比强度再结合所测得该香气组分的相对含量, 即可计算出各香韵的载荷, 计算结果绘制出整体样品的香韵分布图谱。

1.4 数据处理

数据处理采用 Excel 2016 软件, 作图采用 Prism 8.0 与 SPSS 20.0 软件。

2 结果与讨论

2.1 挥发性成分定性定量分析

不同温度贮藏的阳光玫瑰葡萄挥发性成分定性定量分析结果见表 1。挥发性成分组成与含量分布见图 1 示。共鉴定出 55 种挥发性成分, 其中醛 20 种, 醇 6 种、酯 6 种、萜烯 16 种, 其他 7 种。不同温度贮藏的样品挥发性成分种数变化范围为 33~45 种, 0 °C 贮藏的挥发性成分种数总体偏少, 4 °C 贮藏 4 周内较少。

挥发性成分总含量 0 °C、4 °C 贮藏 6 周内减少, 8 周时增加; 10 °C、15 °C 在整个贮藏期含量增加。

醛类物质为阳光玫瑰葡萄果实主要挥发性成分, 含量为 748.05~2 608.05 μg/kg, 占挥发性成分总量的 69.89%~94.70%。其中己醛最高, (E)-2-己烯醛次之, 两者是阳光玫瑰葡萄主要的醛类化合物。魏志峰等^[11]研究也表明阳光玫瑰葡萄以具有绿叶清香和果香的主成分 2-己烯醛及己醛的醛类物质为主, 其中 2-己烯醛的含量更高, 这可能与不同颜色果袋栽培措施有关。己醛含量除 0 °C 贮藏 8 周外, 在其余贮藏期均下降。(E)-2-己烯醛在贮藏初期下降, 贮藏后期上升。0 °C 贮藏 8 周 2 种醛类含量较高, 更能保持葡萄果实青香及果香。2,4-戊二烯醛、糠醛及 5-羟甲基糠醛仅在部分贮藏期的样品中检测到, 其中 2,4-戊二烯醛存在于 10 °C 贮藏的 2 周及 6 周; 糠醛存在于 4 °C 与 10 °C 贮藏的 2 周; 5-羟甲基糠醛存在于 0 °C 贮藏的 6 周及其他 3 个温度的大多数贮藏期, 表明 10 °C 贮藏 2 周的醛类物质变化较大。

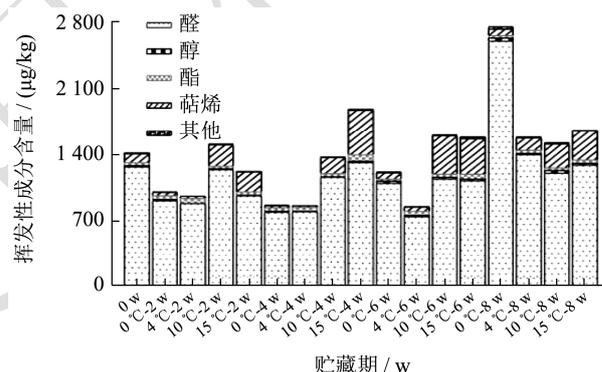


图 1 不同贮藏温度阳光玫瑰葡萄贮藏期挥发性成分种类及含量

Fig.1 The type and content of volatiles components of Shine Muscat grape during storage periods at different storage temperatures

萜烯类物质含量在不同温度的贮藏期差异明显, 0 °C、4 °C 贮藏 4 周内, 萜烯类物质含量为 15.27~37.49 μg/kg。10 °C、15 °C 贮藏时较高, 为 170.01~475.17 μg/kg。其中里那醇含量最高, 不同温度贮藏时差异较大, 0 °C、4 °C 贮藏 6 周内仅为 2.90~13.25 μg/kg, 相比于 0 w 样品中的 31.77 μg/kg, 下降明显。10 °C、15 °C 贮藏时为 170.33~354.60 μg/kg, 是前者低含量样品的几百倍。与 Matsumoto 等^[15]、谢林君等^[16]研究结果较一致, 阳光玫瑰葡萄贮藏于 0 °C、2 °C 与 5 °C 条件下, 里那醇的含量明显低于 10 °C 条件下的里那醇, 0 °C 贮藏 4 周后, 葡萄果实里那醇含量下降明显, 而 10 °C 贮藏时可保持。其次含量较高的是(E)-柠檬醛、香茅醇、橙花醇、香叶醇及香叶酸, 这些成分具有甜香、浓郁玫瑰花香及柑橘、柠檬果香等香气特征^[10,22]。

与前人研究结果较一致^[1,23], 阳光玫瑰葡萄特有的玫瑰香味与萜烯的存在有关, 尤其是单萜烯醇及其衍生物, 如里那醇、香叶醇及其衍生物。 α -水芹烯、 α -蒎烯、氧化里那醇、萜品醇、薄荷醇仅在贮藏期的样品中检测到, 除氧化里那醇在 10 °C 贮藏 6 w 及 8 w、15 °C 贮藏 2、6 及 8 w 检测出, 其余成分均只在 15 °C 贮藏 8 w 检测出, 表明 15 °C 贮藏的葡萄花香和果香特征变化更明显。贮藏温度对挥发性成分中萜烯类物质含量影响明显, 可能造成果实香气特征的变化。

醇类物质种数及含量较少, 己醇、1-辛烯-3-醇、(E)-2-辛烯-1-醇存在于所有样品, 在贮藏后期含量较高。2-戊醇、苯乙醇含量较低, 仅在少部分 (如 10 °C-6 w) 的果实中检测到。(Z)-3-己烯醇在 0 °C 整个贮藏期含量较高, 在其他温度贮藏后期才被检测到。酯类物质中戊酸异丙酯含量较高, 为 18.58~50.27 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 在所有样品中均检测到, 在贮藏后期的样品中含量较高。异丁酸丁酯、香叶酸甲酯在 10 °C 与 15 °C 贮藏的果实中含量较高, 15 °C 贮藏时含量更高。其他类物质中除 2-戊基呋喃、1-辛烯-3-酮在所有果实中均被检测到, 其余成分仅在部分贮藏期果实中检测到。

综上, 不同温度贮藏的阳光玫瑰葡萄在贮藏期挥发性成分种数和含量均发生了明显的变化。阳光玫瑰葡萄果实主要挥发性成分为醛类及萜烯类物质, 其中己醛、(E)-2-己烯醛和里那醇含量最高, 此结果与前人的研究结果一致^[10,11,13]。0 °C 与 4 °C 贮藏的 6 w 内, 葡萄果实挥发性成分数量及含量减少明显, 贮藏 8 w, 0 °C 贮藏的葡萄果实醛类物质含量最高, 4 °C 次之。10 °C 与 15 °C 贮藏的葡萄果实在贮藏期萜烯类物质含量明显增加。

2.2 活性和特征香气成分分析

根据表 1 中的定性定量结果, 结合香气阈值计算各物质的香气活性值 (OAV), 共鉴定出 16 种 OAV 大于 1 的活性香气成分, 结果见表 2, 其中醛 12 种, 萜烯 4 种, 表明醛和萜烯是构成阳光玫瑰葡萄主体香气特征的重要类别。由表 2 可知, 己醛、3-己烯醛、(E)-2-己烯醛、辛醛、(E)-2-庚烯醛、壬醛、(E,E)-2,4-己二烯醛、2-辛烯醛、癸醛、 β -月桂烯、里那醇、香叶醇共 12 种活性香气成分存在于各贮藏期样品中, 但各样品中香气活性程度不同。己醛与里那醇的活性值最高。己醛 OAV 值在 0 °C、4 °C 贮藏初期较低, 至 6 w 以后, OAV 值升高, 0 °C 贮藏 8 w 值最高。里那醇的含量差异较大 (表 1), 致其 OAV 值差异较大, 0 °C、4 °C 贮藏的样品中里那醇 OAV 值为 11.59~139.45, 10 °C、15 °C 贮藏的样品 OAV 值为 708.55~1 611.82, 赋予葡萄果实玫瑰花香、果香^[16,24]。3-己烯醛在 0 °C 贮藏中 OAV 值较大, 在 10 °C、15 °C 贮藏 2 w OAV 值较大, 具有青香。 β -月桂烯在 10 °C 贮藏 6 w 及 15 °C 贮藏的样品中 OAV 值较高 (OAV>1), 具有脂香、果香^[24,25]。萜品醇是 15 °C 贮藏后期 (6 w 及 8 w) 的特征活性香气成分, 具有蘑菇味^[26], 表明该阶段葡萄香气特征发生改变。(E)-2-己烯醛、壬醛等活性香气成分在贮藏后期的样品中 OAV 值较高, 共同赋予葡萄果实青香、果香与花香的香气特征。

冰温 (0 °C、4 °C) 贮藏抑制了葡萄果实玫瑰花香等香气物质的香气活性表现。低温 (10 °C、15 °C) 贮藏葡萄果实花香与果香更浓郁, 但在贮藏后期, β -月桂烯与萜品醇香气活性明显, 可能导致整体香气特征的改变, 而呈现出香气品质劣变。总体来说冰温对葡萄果实典型性的香气特征表现有抑制作用, 而低温则不能长时间保持葡萄的整体香气品质。

表 1 不同贮藏温度阳光玫瑰葡萄贮藏期挥发性成分定性定量结果

Table 1 Analysis results of volatile components of Shine Muscat grape during storage period at different storage temperatures

成分类别	成分	保留指数/RI	含量($\mu\text{g}/\text{kg}$)																	
			0 °C				4 °C				10 °C				15 °C					
			2 w	4 w	6 w	8 w	2 w	4 w	6 w	8 w	2 w	4 w	6 w	8 w	2 w	4 w	6 w	8 w		
醛	异戊醛	913	-	0.57	-	-	0.18	0.69	1.38	1.31	0.66	-	1.98	1.56	3.71	1.86	2.08			
	戊醛	974	0.85	1.15	1.39	2.06	0.55	0.38	1.28	1.47	0.39	1.26	1.69	1.18	3.20	1.43	1.64			
	己醛	1 078	1 010.73	739.30	615.86	757.91	1 963.68	694.02	643.03	534.20	920.33	965.88	892.10	850.85	787.50	1 026.05	852.55	974.50		
	2,4-戊二烯醛	1 081	-	-	-	-	-	-	-	-	0.78	-	-	5.80	-	1.44	-			
	3-己烯醛	1 134	7.24	2.24	3.51	0.96	11.03	0.02	0.08	0.98	1.02	0.45	0.38	0.22	4.93	0.85	0.33	0.10		
	庚醛	1 174	2.86	2.14	1.66	2.18	5.24	0.96	0.75	1.46	3.19	2.76	0.61	1.83	3.02	9.07	-	1.96		
	(E)-2-己烯醛	1 210	204.09	154.45	146.74	283.25	561.39	169.30	148.52	169.31	424.74	168.62	253.40	241.49	143.26	212.68	229.35	274.15		
	辛醛	1 281	0.93	0.51	0.85	1.25	2.73	0.12	0.20	0.55	1.28	1.47	0.13	0.66	0.62	1.66	0.96	0.76		
	(E)-2-庚烯醛	1 317	14.09	4.06	5.72	4.32	16.19	1.37	0.83	13.97	4.50	5.29	7.49	20.36	27.72	2.86	9.29	15.67		
	壬醛	1 387	2.45	2.20	3.38	4.63	13.31	0.78	0.73	2.39	4.48	2.74	0.66	2.22	2.08	3.04	3.99	5.13	2.47	
	(E,E)-2,4-己二烯醛	1 395	9.76	3.79	5.01	7.95	11.85	1.88	1.74	7.55	6.75	7.95	3.30	12.63	16.90	3.76	6.49	5.89	0.46	
	2-辛烯醛	1 424	4.32	2.69	1.96	2.61	5.76	1.20	1.04	2.81	3.10	4.22	1.62	5.65	10.65	2.72	8.47	3.39	5.59	
	糠醛	1 458	-	-	-	-	-	2.11	-	-	-	7.88	-	-	-	-	-	-	-	
	(E,E)-2,4-庚二烯醛	1 460	3.37	1.61	1.74	-	3.56	-	0.86	3.48	4.52	0.21	0.74	2.72	6.47	1.90	5.18	3.68	-	
	癸醛	1 494	1.04	0.42	0.77	1.31	3.90	0.10	0.17	0.52	1.66	1.51	1.25	0.90	0.50	1.17	1.35	1.16	0.59	
苯甲醛	1 518	2.45	0.77	0.81	5.08	0.91	1.40	0.87	1.49	4.38	5.84	0.93	2.76	4.54	1.77	11.87	4.49	7.55		
(Z)-6-壬烯醛	1 532	1.08	0.80	1.02	1.93	3.03	0.23	0.10	0.85	1.57	2.26	0.13	1.48	1.72	1.20	0.77	2.32	1.51		
苯乙醛	1 640	1.91	0.80	0.61	-	3.41	-	-	1.74	2.96	2.28	-	1.61	2.20	0.69	2.95	1.37	-		
2,4-壬二烯醛	1 700	0.46	0.26	-	-	-	-	-	-	-	0.99	-	0.06	0.34	0.18	-	-	-		
5-羟甲基糠醛	2 502	-	-	-	25.48	-	11.33	0.19	4.78	15.67	48.95	-	0.48	6.82	-	11.42	3.14	0.14		
醇	2-戊醇	1 321	0.11	-	0.35	-	-	-	-	0.39	-	-	0.06	-	-	0.39	-	-		
	己醇	1 355	4.13	5.91	5.46	11.12	20.08	0.54	0.27	3.36	6.56	2.98	0.50	5.81	9.15	1.07	5.55	10.10	11.52	
	(Z)-3-己烯醇	1 384	0.74	3.49	3.38	3.67	5.02	-	-	1.08	0.93	-	0.35	1.38	0.63	-	-	-	1.07	
	1-辛烯-3-醇	1 449	3.77	0.98	2.51	2.63	4.84	0.56	0.35	5.16	2.81	1.12	1.51	5.06	9.65	1.35	5.16	6.40	4.82	
	(E)-2-辛烯-1-醇	1 615	2.24	0.48	0.70	0.48	1.89	0.38	0.45	2.83	0.36	0.58	1.45	3.08	3.62	0.26	0.75	1.49	2.79	
	苯乙醇	1 919	0.52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.24	-	-	-	-	-	-
	乳酸乙酯	936	8.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.16	-	6.63
	戊酸异丙酯	1 126	24.63	37.47	35.53	26.65	18.58	43.00	45.76	37.85	29.78	26.21	33.29	26.31	21.55	35.54	50.27	38.58	24.52	

续表 1

成分 类别	保留 指数/RI	含量($\mu\text{g}/\text{kg}$)																				
		0 °C				4 °C				10 °C				15 °C								
		2 W	4 W	6 W	8 W	2 W	4 W	6 W	8 W	2 W	4 W	6 W	8 W	2 W	4 W	6 W	8 W					
异丁酸丁酯	1 141	-	1.93	2.02	-	-	-	-	4.36	-	2.16	4.00	-	-	1.90	2.32	2.36	1.98	7.64	4.28	2.36	
辛酸乙酯	1 431	0.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09	0.24	-	-	-	-	0.65	-	
丙烯酸正戊酯	1 652	-	-	0.18	0.34	-	-	-	-	-	0.57	1.02	-	-	-	-	-	-	-	-	0.39	-
香叶酸甲酯	1 693	0.43	0.51	-	-	-	3.60	1.91	1.91	-	1.01	-	-	2.18	0.26	4.40	3.98	1.92	13.27	6.74	3.87	
α -水芹烯	1 143	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.50
β -月桂烯	1 146	1.06	0.38	0.16	0.30	0.99	0.20	0.10	0.19	0.51	0.60	0.44	2.71	1.06	1.70	1.82	1.64	1.70	1.82	1.64	2.11	
柠檬烯	1 179	0.48	0.34	0.26	-	-	-	-	0.24	0.20	0.39	-	1.41	0.98	0.81	-	4.63	0.81	-	4.63	2.86	
α -蒎烯	1 229	-	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.44
(E)- β -罗勒烯	1 240	0.92	0.22	-	-	-	0.66	-	-	-	0.11	0.67	-	0.43	2.62	0.72	1.48	1.48	0.99	1.31	1.74	
氧化里那醇	1 442	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.53	1.13	0.24	-	0.37	1.15	
里那醇	1 543	31.77	9.34	4.21	10.18	30.68	2.55	2.90	13.25	25.89	177.36	155.88	182.70	170.33	333.38	281.81	220.68	170.33	333.38	281.81	220.68	
萜品醇	1 602	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.63
β -环柠檬醛	1 622	0.66	0.39	0.32	0.83	0.89	0.08	0.18	0.13	0.39	0.29	0.64	0.71	0.89	0.32	0.58	0.43	0.32	0.58	0.43	0.48	
薄荷醇	1 643	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.36
(Z)-橙花醛	1 680	0.88	0.78	-	3.60	-	-	-	0.37	0.95	4.67	2.26	0.42	1.35	2.34	2.30	2.63	2.26	2.34	2.30	2.63	
(E)-柠檬醛	1 731	6.14	5.11	1.06	10.99	2.71	3.25	2.16	4.25	16.90	2.66	1.72	8.64	13.14	6.25	58.27	10.38	6.25	58.27	10.38	14.67	
香茅醇	1 769	5.63	2.72	1.73	5.21	5.26	1.68	2.80	3.13	8.76	6.33	5.77	5.03	6.47	2.97	9.33	6.25	2.97	9.33	6.25	4.64	
橙花醇	1 803	14.84	6.25	3.52	9.45	7.66	3.63	1.87	5.64	20.99	8.58	1.54	7.04	9.06	7.96	18.53	8.69	7.96	18.53	8.69	8.09	
香叶醇	1 849	30.40	10.64	8.10	15.59	21.56	7.82	4.05	15.08	38.21	21.05	2.87	17.05	25.00	16.79	14.95	24.99	16.79	14.95	24.99	19.95	
香叶酸	2 364	3.25	1.10	1.38	6.34	-	1.85	0.60	3.35	10.86	5.48	-	3.76	6.78	1.10	15.11	5.90	1.10	15.11	5.90	4.24	
2-乙基呋喃	947	3.19	-	0.94	1.91	2.47	0.28	0.42	0.32	1.35	3.50	-	-	-	2.39	3.44	0.59	2.39	3.44	0.59	-	
2-甲基-3-己酮	1 062	-	-	0.74	-	-	0.82	0.91	0.59	0.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
2-戊基呋喃	1 219	0.57	1.34	1.27	3.06	3.25	0.20	0.20	1.60	2.00	1.79	2.35	0.61	0.49	1.82	2.30	0.79	1.82	2.30	0.79	1.13	
苯乙烯	1 246	0.59	-	2.06	2.42	3.20	-	-	0.56	1.42	-	0.16	0.63	0.76	0.18	-	10.10	0.18	-	10.10	0.51	
1-辛烯-3-酮	1 294	2.34	1.19	1.72	1.06	4.46	0.12	0.20	3.49	1.44	0.83	1.74	5.20	7.34	0.79	1.34	1.06	0.79	1.34	1.06	3.18	
6-甲基-5-庚烯-2-酮	1 333	1.47	0.09	0.16	1.08	8.19	0.22	0.15	-	1.44	1.00	-	2.36	3.99	0.31	2.58	1.98	1.00	2.58	1.98	1.55	
艾蒿醛	1 746	0.81	0.62	-	-	-	-	0.32	-	-	0.98	0.07	0.79	0.94	0.73	0.91	1.84	0.98	0.73	0.91	1.28	

注:表中“-”表示未检出。

表2 挥发性成分香气活性值分析
Table 2 Odor activity values analysis of volatile component

化合物	阈值 ^[27] ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	OAV												香气描述 ^{[10], [16], [23], [26], [28]}	气味系列					
		0 °C				4 °C				10 °C						15 °C				
		2w	4w	6w	8w	2w	4w	6w	8w	2w	4w	6w	8w			2w	4w	6w	8w	
异戊醛	0.40	5.37	-	1.43	-	0.45	1.73	3.45	3.28	1.65	-	4.95	3.90	9.28	4.65	5.20	辛辣气息, 低浓度 有果香, 面包香	2, 6		
己醛	5.00	202.15	147.86	123.17	151.58	392.74	138.80	128.61	106.84	184.07	193.18	178.42	170.17	171.30	157.50	205.21	170.51	194.90	绿叶清香和果香	2, 3
3-己烯醛	0.25	28.96	8.96	14.04	3.84	44.12	0.08	0.32	3.92	4.08	39.68	1.80	1.52	0.88	19.72	3.40	1.32	0.40	青草香	3
庚醛	2.80	1.02	0.76	0.59	0.78	1.87	0.34	0.27	0.52	1.14	0.99	0.22	0.65	0.72	1.08	3.24	-	0.70	浓郁果实香气, 低浓度 有甜杏、坚果香气	2, 4
(E)-2-己烯醛	17.00	12.01	9.09	8.63	16.66	33.02	9.96	8.74	9.96	24.98	9.92	14.91	14.21	15.58	8.43	12.51	13.49	16.13	绿叶清香和果香	2, 3
辛醛	0.587	1.59	0.87	1.45	2.13	4.65	0.20	0.34	0.94	2.18	2.50	0.22	1.12	1.06	1.62	2.83	1.64	1.29	柠檬味	2
(E)-2-庚烯醛	13	1.08	0.31	0.44	0.33	1.25	0.11	0.06	1.07	0.35	0.41	0.58	1.57	2.13	0.22	0.71	0.69	1.21	青香, 果香, 脂香	2, 3, 4
壬醛	1.10	2.23	2.00	3.07	4.21	12.10	0.71	0.66	2.17	4.07	2.49	0.60	2.02	1.89	2.76	3.63	4.66	2.25	玫瑰, 柑橘香	1, 2
(E,E)-2,4-己二烯醛	10.00	0.98	0.38	0.50	0.80	1.19	0.19	0.17	0.76	0.68	0.80	0.33	1.26	1.69	0.38	0.65	0.59	0.05	青香, 果香, 柑橘香	2, 3
2-辛烯醛	3.00	1.44	0.90	0.65	0.87	1.92	0.40	0.35	0.94	1.03	1.41	0.54	1.88	3.55	0.91	2.82	1.13	1.86	青香, 脂香	3, 4
癸醛	3.00	0.35	0.14	0.26	0.44	1.30	0.03	0.06	0.17	0.55	0.50	0.42	0.30	0.17	0.39	0.45	0.39	0.20	甜香, 柑橘香, 花香	1, 2, 7
2,4-壬二烯醛	0.05	9.11	5.20	-	-	-	-	-	-	-	19.80	-	1.20	6.80	3.60	-	-	-	脂香, 花香	1, 4
β -月桂烯	1.20	0.88	0.32	0.13	0.25	0.83	0.17	0.08	0.16	0.43	0.50	0.37	2.26	0.88	1.42	1.52	1.37	1.76	脂香, 果香	2, 4
里那醇	0.22	144.43	42.45	19.14	46.27	139.45	11.59	13.18	60.23	117.68	806.18	708.55	1611.82	830.45	774.23	1515.36	1280.95	1003.09	玫瑰花香、薰衣草香、 柑橘、杨梅	1, 2
萜品醇	0.46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54.80	18.76	花香, 甜香, 蘑菇味	1, 5, 7
香叶醇	6.60	4.61	1.61	1.23	2.36	3.27	1.18	0.61	2.28	5.79	3.19	0.43	2.58	3.79	2.54	2.27	3.79	3.02	橙花, 天竺葵	1

注: 气味系列: 1.花香; 2.果香; 3.草本香; 4.脂肪香; 5.泥土味; 6.烤香; 7.甜香。

2.3 香气轮廓分析

由表2中各单体香气物质的气味描述及OAV值,计算得出样品中各香气描述总OAV,绘制整体香气轮廓图(图2)。冰温(0℃和4℃)贮藏的葡萄果实香气轮廓变化趋势类似,与低温(10℃和15℃)呈现差异的变化趋势。冰温贮藏中花香、果香和草本香强度值较大,低温贮藏中花香与果香强度值较大,其余香气强度值较小。在Wu等^[18]研究中,阳光玫瑰葡萄汁中草本香及花香强度值较大,这可能与测定挥发性成分的条件或产地差异有关。图2a可知,0℃贮藏6w

内的葡萄果实气味强度值较低,6w后,香气变化趋势大,果香味与草本香突出。图2b中,4℃条件下,葡萄果实气味强度值较低,贮藏8w时,香气变化明显,以突出的果香为主要特征。图2c中,10℃贮藏6w内的葡萄果实花香与果香强度值较高。贮藏8w,葡萄果实花香与果香味强度值减少。图2d中,15℃贮藏的葡萄果实花香与果香更为突出。15℃贮藏4w内葡萄果实花香与果香气味强度值增大。在贮藏6w及之后,葡萄果实的花香与果香的气味强度值降低。表明10℃贮藏8w的葡萄果实风味变差,15℃贮藏6w开始葡萄果实香气风味变差。

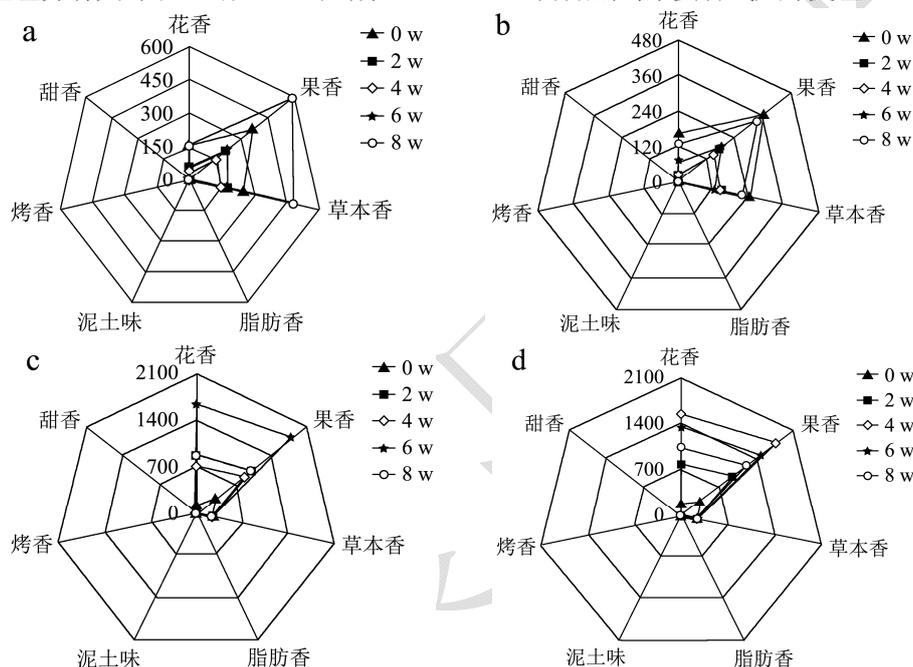


图2 香气轮廓分析结果

Fig.2 Aroma profiles analysis of Shine Muscat grape

注: 图 a、b、c 与 d 分别表示 0、4、10 和 15℃ 贮藏的阳光玫瑰葡萄果实香气轮廓图。

通过香气轮廓的变化分析,冰温贮藏能更长时间维持果实原有香气特征,减少不愉悦异味香气的出现,但同时阳光玫瑰葡萄典型的玫瑰花香有较强的抑制作用,而这种抑制作用在贮藏早期就表现出来。低温贮藏能保持甚至促进典型花香的表现,但贮藏周期延长时,花香香气强度减弱而影响了果实的整体香气品质。这与我们贮藏保鲜实际生产中较高的贮藏温度不利于果实其他品质保持的结果是一致的^[4],而冰温保存对阳光玫瑰葡萄典型花香的抑制则是我们评价保鲜效果时容易忽略的重要因素。

2.4 典型香韵分析

为了更直观清晰地表达阳光玫瑰葡萄贮藏期整体典型香韵变化规律,同时验证香气轮廓的分析结果,应用本团队已经建立的香韵分析方法^[20],选择活性香

气物质(OAV>1),利用气味ABC值、含量和香比强值进行香韵模拟统计,计算获得样品的各香韵理论载荷,从而绘制出其香韵分布表(表3)。从表3可以看出,阳光玫瑰葡萄主要香韵分别为:果、青、木、辛、脂、花,其中果、青、脂占了87%以上,是构成阳光玫瑰葡萄的典型香韵,与上文中对于特征香气的分析结果基本符合。各香韵值在0℃、4℃贮藏4w内较低,再次验证典型香气受冰温处理而产生的快速的香气逸损响应,贮藏6w及8w上升明显。这些结论与前面香气轮廓分析的结论具有较好的相似性,阳光玫瑰主体的香韵是果香、青香及脂香。

花香的香韵值虽然不是最大,但其阈值低,更易为人所感知并令人愉悦,能赋予葡萄果实独特的香气品质,是区分葡萄香气类型的指标特征之一,已有研究中依据葡萄典型的花香和果香特征,将葡萄划分为

玫瑰香型、草莓香型和中性香型^[29], 也是被广泛接受的葡萄果实香气类型分类。对花香的具体香韵分类进行分析, 结果见表 3 与图 3。结合表 3 与图 3 分析可知, 主成分 1 和主成分 2 共解释了总变异的 89.3%, 整体区分度较好。阳光玫瑰葡萄果实主要花香香韵为: 鸢、玫、铃、茉、兰, 均属于甜香类的花香味, 令人愉悦^[22]。冰温 (0 °C、4 °C) 与低温 (10 °C、15 °C) 贮藏的葡萄果实花香香韵差别较大, 花香香韵的变化与贮藏温度高低直接相关。0 °C 和 4 °C 贮藏的主要花香香韵为鸢和玫, 10 °C 和 15 °C 贮藏的主要花香香韵为铃、茉、兰, 花香香韵更为丰富。10 °C 贮藏 8 周各香韵值下降, 15 °C 贮藏 6 周铃、茉、兰香韵值下降。花香韵的变化趋势和上文香气轮廓分析结果一致, 说明冰温会对阳光玫瑰葡萄典型花香造成抑制, 而低温能保持或触发花香的表现, 但可能引起果实原有整体香型的变化而呈现出香气品质劣变的表现。不同温度贮藏条件下, 变化较大的香韵主要表现在铃、茉、兰、玫与鸢香, 这些花香香韵共同构成了阳光玫瑰葡萄特

征的香气品质, 也是作为香气品质劣变的评价指标。数学模型模拟香韵分析结论对香气品质评价具有一定的参考价值, 但仍需建立科学的感官分析手段进一步验证。香韵模拟分析法与感官分析法的科学结合是今后值得研究的方向。

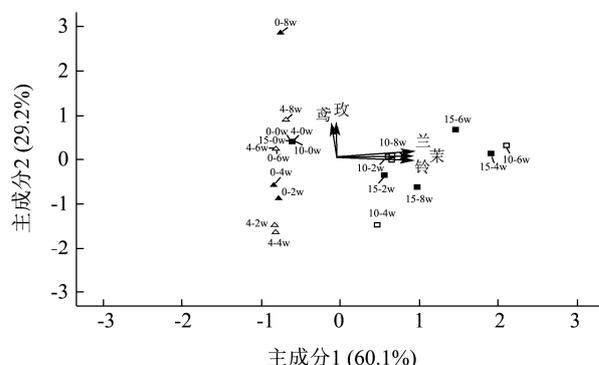


图 3 阳光玫瑰葡萄花香香韵主成分分析

Fig.3 Principal component analysis of aroma notes of flowers of Shine Muscat grape

表 3 阳光玫瑰葡萄果实的香韵分析

Table 3 Aroma notes analysis of Shine Muscat grape

项目	香韵											
	果	青	木	辛	脂	花	食	药	麻	土	臊	松
0 °C-0 w	21 532 043	27 864 087	7 076 594	3 061 350	46 996 222	828 650	216 980	10 010	10 750	36 800	13 800	1 484
0 °C-2 w	15 440 604	19 843 576	5 175 632	2 316 750	34 058 246	294 480	60 480	7 490	0	18 770	7 800	532
0 °C-4 w	13 553 240	18 584 262	4 311 244	2 201 100	28 864 992	256 430	100 470	5 810	2 850	13 850	0	224
0 °C-6 w	19 694 745	31 648 735	5 305 790	4 248 750	37 057 980	459 835	25 920	7 630	0	20 845	0	420
0 °C-8 w	45 787 197	67 330 928	13 747 146	8 420 850	93 410 713	895 030	297 810	18 340	0	39 580	0	1 386
4 °C-0 w	21 532 043	27 864 087	7 076 594	3 061 350	46 996 222	828 650	216 980	10 010	10 750	36 800	13 800	1 484
4 °C-2 w	14 945 630	20 330 850	4 858 420	2 539 500	31 962 940	145 970	540	3 360	0	9 910	0	280
4 °C-4 w	13 583 385	18 039 515	4 501 350	2 227 800	29 472 945	110 305	3 960	2 625	900	7 225	0	140
4 °C-6 w	19 694 745	31 648 735	5 305 790	4 248 750	37 057 980	459 835	25 920	7 630	0	20 845	0	420
4 °C-8 w	26 210 198	45 537 687	6 443 024	6 371 100	46 125 262	806 175	41 340	11 165	6 900	34 605	0	714
10 °C-0 w	21 532 043	27 864 087	7 076 594	3 061 350	46 996 222	828 650	216 980	10 010	10 750	36 800	13 800	1 484
10 °C-2 w	19 581 470	23 424 330	6 762 000	2 529 300	44 245 970	2 162 715	280 940	9 660	6 550	31 625	29 700	840
10 °C-4 w	20 579 832	30 083 988	6 245 316	3 801 000	41 924 283	1 659 325	18 750	2 135	3 300	9 535	0	616
10 °C-6 w	20 577 978	30 556 577	5 959 744	3 622 350	41 116 192	3 984 995	10 260	6 405	0	36 775	1 800	3 794
10 °C-8 w	21 939 058	33 762 502	5 997 124	3 972 300	42 434 912	2 206 880	25 740	7 070	9 900	54 250	10 200	1 484
15 °C-0 w	21 532 043	27 864 087	7 076 594	3 061 350	46 996 222	828 650	216 980	10 010	10 750	36 800	13 800	1 484
15 °C-2 w	15 788 340	19 203 880	5 514 880	2 148 900	36 059 100	1 971 445	148 710	10 570	7 800	21 995	5 400	2 380
15 °C-4 w	21 607 781	27 883 319	7 184 898	3 190 200	48 314 459	3 649 515	60 050	31 745	18 550	49 825	0	2 548
15 °C-6 w	19 519 227	27 986 643	6 020 566	3 440 250	40 309 988	3 229 735	27 510	25 210	9 300	29 445	0	153 556
15 °C-8 w	22 621 563	33 562 492	6 841 714	4 112 250	46 392 157	2 432 695	23 500	15 490	10 400	37 925	0	54 734

注: 表中色块由绿色、黄色、红色依次递进, 表明对应香韵载荷当量依次递增。

表4 阳光玫瑰葡萄花香韵分析

Table 4 Aroma notes of flowers analysis of Shine Muscat grape

项目	花香香韵				
	鸢	玫	铃	茉	兰
0℃-0 w	13 475	467 075	284 560	31 770	31 770
0℃-2 w	12 100	178 340	85 360	9 340	9 340
0℃-4 w	18 590	187 640	41 780	4 210	4 210
0℃-6 w	25 465	316 980	97 030	10 180	10 180
0℃-8 w	73 205	493 465	267 000	30 680	30 680
4℃0 w	13 475	467 075	284 560	31 770	31 770
4℃-2 w	4 290	108 360	28 220	2 550	2 550
4℃-4 w	4 015	73 240	27 250	2 900	2 900
4℃-6 w	25 465	316 980	97 030	10 180	10 180
4℃-8 w	24 640	484 425	245 330	25 890	25 890
10℃-0 w	13 475	467 075	284 560	31 770	31 770
10℃-2 w	15 070	352 995	1 439 930	177 360	177 360
10℃-4 w	3 630	94 025	1 249 910	155 880	155 880
10℃-6 w	12 210	409 735	2 853 850	354 600	354 600
10℃-8 w	11 440	366 440	1 463 600	182 700	182 700
15℃-0 w	13 475	467 075	284 560	31 770	31 770
15℃-2 w	16 720	234 635	1 379 430	170 330	170 330
15℃-4 w	21 945	278 820	2 681 990	333 380	333 380
15℃-6 w	28 215	358 430	2 279 470	281 810	281 810
15℃-8 w	13 585	192 360	1 785 390	220 680	220 680

注：表中色块由绿色、黄色、红色依次递进，表明对应香韵载荷当量依次递增。

3 结论

贮藏温度和贮藏期直接影响阳光玫瑰葡萄果实的香气品质，采后贮藏初期，冰温条件引起葡萄果实典型香韵锐减，直接影响香气品质，短时期内，低温贮藏一定程度上利于保持和触发阳光玫瑰葡萄典型香气品质。贮藏4周内，10℃、15℃贮藏的果实香气品质优于0℃、4℃。随着贮藏周期的延长，低温贮藏引发果实品质劣变，而导致一些不愉悦和非典型的香韵产生，不利于香气品质的保持。根据贮藏期香气品质的变化规律，基于不同贮藏期目标，可以选择更利于保持果实香气品质的贮藏温度条件。冰温贮藏仍是目前用于葡萄保鲜的常用选择条件，冰温条件下如何能更好的保持玫瑰香型葡萄的香气品质是葡萄采后生理需要深入研究的方向。

参考文献

[1] Yamade Masahiko, Yamane Hiroyasu, Sato Akihiko, et al. New grape cultivar 'Shine Muscat' [J]. Bulletin of the

National Institute of Fruit Tree Science, 2008, 7: 21-38.

[2] Suehiro Yuka, Mochida Keisuke, Itamura Hiroyuki, et al. Skin browning and expression of PPO, STS, and CHS genes in the grape berries of 'Shine Muscat' [J]. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, 2014, 83(2): 122-132.

[3] 聂瑞洁. '阳光玫瑰'葡萄未来市场形势分析[J]. 北方果树, 2021, 6: 53-55.

[4] 谢林君, 成果, 周咏梅, 等. 贮藏温度对阳光玫瑰葡萄采后贮藏品质的影响[J]. 中国果菜, 2020, 40(11): 1-7, 58.

[5] 成果, 谢林君, 周思泓, 等. 1-MCP 和 SO₂ 保鲜剂处理阳光玫瑰葡萄的转录组学分析[J]. 南方农业学报, 2022, 53(3): 641-653.

[6] ZHANG Zibo, ZHAO Pengcheng, ZHANG Peian, et al. Integrative transcriptomics and metabolomics data exploring the effect of chitosan on postharvest grape resistance to *Botrytis cinerea* [J]. Postharvest Biology and Technology, 2020, 167(7): 111248.

[7] 程焕, 陈健乐, 周晓舟, 等. 水果香气物质分析及合成途径研究进展[J]. 中国食品学报, 2016, 16(1): 211-218.

[8] 杜林笑, 赵晓敏, 杨洋, 等. 1-MCP 处理对库尔勒香梨采后储存期香气成分和品质的影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(7): 134-142, 133.

[9] Wu Y S, Zhang W W, Song S R, et al. Evolution of volatile compounds during the development of Muscat grape 'Shine Muscat' (*Vitis labrusca* × *V. vinifera*) [J]. Food Chemistry, 2019, 309: 125778.

[10] 王继源, 冯娇, 侯旭东, 等. 不同果袋对'阳光玫瑰'葡萄香气组分及合成相关基因表达的影响[J]. 果树学报, 2017, 34(1): 1-11.

[11] 魏志峰, 李秋利, 高登涛, 等. 不同颜色果袋对'阳光玫瑰'葡萄果实品质及香气物质的影响[J]. 经济林研究, 2019, 37(4): 35-43.

[12] Wang W, Muhammad K U R, Feng J, et al. RNA-seq based transcriptomic analysis of CPPU treated grape berries and emission of volatile compounds [J]. Journal of Plant Physiology, 2017, 8: 155-166.

[13] Wang W, Muhammad K U R, Wei L L, et al. Effect of thidiazuron on terpene volatile constituents and terpenoid biosynthesis pathway gene expression of Shine Muscat (*Vitis labrusca* × *V. vinifera*) grape berries [J]. Molecules, 2020, 25(11): 2578.

[14] 满坤. 不同光质对'阳光玫瑰'葡萄香气组分及风味的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2020.

[15] Matsumoto Hikaru, Ikoma Yoshinori. Effect of postharvest temperature on the muscat flavor and aroma volatile content

- in the berries of ‘Shine Muscat’ (*Vitis labruscana* Baily×*V. vinifera* L.) [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 112: 256-265.
- [16] 谢林君,成果,王海军,等.基于电子鼻及气相-离子迁移谱法分析阳光玫瑰葡萄贮藏期挥发性成分[J].*食品研究与开发*, 2022,43(7):167-174.
- [17] D’Onofrio Claudio, MatareseFabiola, Cuzzola Angela. Study of the terpene profile at harvest and during berry development of *Vitis vinifera* L. aromatic varieties Aleatico, Brachetto, Malvasia di Candia aromatica and Moscatobianco [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, 97(9): 2898-2907.
- [18] Wu Y S, Duan S Y, Zhao L P, et al. Aroma characterization based on aromatic series analysis in table grapes [J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 31116.
- [19] 陈迎春,张晶莹,宫磊,等.六个早熟鲜食葡萄品种果实香气成分分析[J].*中外葡萄与葡萄酒*,2021,1:24-30,35.
- [20] 张劲.芒果香气特征分析研究[D].南宁:广西大学,2011.
- [21] 梁水连,吕岱竹,马晨,等.‘桂蕉1号’香蕉成熟过程中挥发性成分和香气特征分析[J].*食品工业科技*,2021,42(14):99-106.
- [22] 林翔云.调香术[M].北京:化学工业出版社,2013.
- [23] Wang W, Feng J, Wei L L, et al. Transcriptomics integrated with free and bound terpenoid aroma profiling during “Shine Muscat” (*Vitis labrusca*× *V. vinifera*) grape berry development reveals coordinate regulation of MEP pathway and terpene synthase gene expression [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2021, 69(4): 1413-1429.
- [24] 孙磊,王晓玥,王慧玲,等.不同砧木对鲜食葡萄生长和香气品质的影响[J].*中国农业科学*,2021,54(20):4405-4429.
- [25] 商佳胤,李树海,朱志强,等.设施‘玫瑰香’葡萄二次果果实品质及芳香化合物组分分析[J].*果树学报*,2013,30(2):267-273.
- [26] 李华.葡萄酒品尝学[M].北京:科学出版社,2006.
- [27] VAN Gemert L J. Odour Thresholds. *Compilations of Odour Threshold Values in Air, Water and other Media* [M]. Utrecht: Oliemans Punter & Partners BV, 2011, 2.
- [28] 孙宝国,刘玉平,郑福平,等.食用调香术[M].北京:化学工业出版社,2010.
- [29] YANG Chunxiang, WANG Yiju, LIANG Zhenchang, et al. Volatiles of grape berries evaluated at the germplasm level by headspace-SPME with GC-MS [J]. *Food Chemistry*, 2009, 114(3): 1106-1114.