网络出版时间:2025-10-31 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.04.013

挂树保鲜对‘阳光玫瑰’葡萄果实品质的综合影响

姜家鹏[1],张鹏[1],陈莉[1],王丹[1],周国朝[2],陈可钦[1],张克坤[1],房玉林[1]
(1 西北农林科技大学 葡萄酒学院,陕西 杨凌 712100;2 云南元谋原生源农业科技有限责任公司,云南 元谋 651300)

[摘 要] 【目的】分析挂树保鲜技术对‘阳光玫瑰(Shine Muscat)’葡萄果实品质及香气成分的综合影响,为观光葡萄园优化采收策略及实现错峰上市提供理论依据。【方法】于2022—2023年连续2个生长季,以葡萄‘阳光玫瑰’为试材,在果实商业成熟期(E-L38发育阶段)后,分别于第0,9,18,27,36,45,54天采收(2023年另增加第63天)挂树果实,测定果面颜色、单粒质量、果实形状、果实品质及其挥发性化合物组成等,分析挂树保鲜技术对果实基础理化品质、外观与香气成分的影响。【结果】随着挂树保鲜期的延后,‘阳光玫瑰’葡萄果皮亮度(L^*)、黄蓝度(b^*)及色调角(h)均呈递减趋势,饱和度(C^*)在经过一段平台期(2022年第27天、2023年第36天)后显著下降,而红绿度(a^*)则显著提升。2年挂树保鲜的果实单粒质量均在第45天达到峰值,分别为16.78和16.80 g;2022年收获的葡萄果实接近于圆形,而2023年为椭圆形。果实耐压力在中期采收阶段(2年均为第18天)达峰值后有所回落,而果柄耐拉力则随采收延迟呈线性递减。在挂树保鲜期间,果实的可溶性固形物与还原糖含量逐步累积,其中还原糖含量均在第54天达到峰值,2022和2023年的峰值分别为180.26和179.96 g/L;可滴定酸含量显著下降,其中2022年可滴定酸含量从挂树保鲜开始时3.88 g/L下降至第54天的2.05 g/L。挂树保鲜期间挥发性醛类含量与总香气含量呈协同演变趋势,其中以正己醛和2-己烯醛为主体物质,挥发性醛类在2022年于第45天达到峰值,2023年则保持持续增长;而萜烯类物质在2年度内均呈先升后降趋势。【结论】挂树保鲜可提升葡萄可溶性固形物与还原糖含量,同时促进醛类及萜烯类香气物质积累,但过分延长挂树保鲜期会降低果柄耐拉力及可滴定酸含量和果皮饱和度(C^*)值,因此选取适宜的挂树保鲜时间是改善果实品质、提高观光吸引力及通过错峰上市提高经济效益的关键。

[关键词] 阳光玫瑰;葡萄;延迟采收;挂树保鲜;品质评价;挥发性香气物质
[中图分类号] S663.109+.3 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)04-0113-10

Comprehensive effect of on-vine preservation on the fruit quality of ‘Shine Muscat’ grapes

JIANG Jiapeng[1],ZHANG Peng[1],CHEN Li[1],WANG Dan[1],ZHOU Guochao[2],
CHEN Keqin[1],ZHANG Kekun[1],FANG Yulin[1]
(1 *College of Enology,Northwest A&F University,Yangling,Shaanxi* 712100,*China*;
2 *Yuanmou Yuanshengyuan Agricultural Technology Co.,Ltd,Yuanmou,Yunnan* 651300,*China*)

Abstract:【Objective】This study investigated the comprehensive impact of on-vine preservation techniques on fruit quality and aromatic components of ‘Shine Muscat’ grapes,thereby providing a theoretical foundation for optimizing harvesting strategies and achieving staggered marketing in scenic vineyards.【Method】Du-

[收稿日期] 2024-12-28 [修回日期] 2025-03-06
[基金项目] 云南省科技人才与平台计划(院士专家工作站)项目(202305AF150112);陕西省西安市科技计划项目(24NYGG0057);陕西省重点研发计划项目(2024NC-YBXM-021,2023-ZDLNY-21)
[作者简介] 姜家鹏(1999—),男,宁夏银川人,在读硕士,主要从事葡萄果实品质发育调控与果酒酿造研究。E-mail:jjp@nwafu.edu.cn
[通信作者] 房玉林(1973—),男,河南兰考人,教授,博士生导师,主要从事葡萄果实品质发育调控与果酒酿造研究。E-mail:fangyulin@nwsuaf.edu.cn
张克坤(1990—)男,山东泰安人,副教授,博士生导师,主要从事葡萄果实品质发育调控与果酒酿造研究。E-mail:zhangkekun1990@nwafu.edu.cn

中国知网 https://www.cnki.net

ring two consecutive growing seasons (2022—2023), 'Shine Muscat' was used as experimental material. After reaching commercial maturity stage(corresponding to E-L38 developmental phase), fruit clusters were systematically harvested at 0, 9, 18, 27, 36, 45, and 54 days post-maturity in both seasons, with an additional harvest at 63 days post-maturity implemented exclusively in 2023. Subsequent measurements included fruit skin color, single-berry weight, fruit shape, fruit quality parameters, and volatile organic compound (VOC) composition to analyze the effects of on-vine preservation on fundamental physicochemical properties, appearance, and aromatic components.【Result】With prolonged on-vine preservation, the 'Shine Muscat' grapes exhibited decreasing trends in peel brightness (L^*), yellow-blue degree (b^*), and hue angle (h). Saturation (C^*) significantly decreased after a certain plateau period (day 27 of 2022 and day 36 of 2023), while the red-green degree (a^*) significantly increased. The single-berry weight peaked at 16.78 g and 16.80 g on day 45 in 2022 and 2023, respectively. The grape fruits harvested in 2022 were subglobose, while those in 2023 were oval. The berry tension resistance reached its peak during the mid-stage of harvest (day 18 in both years) before declining, while the pulling force of fruit stalk showed a linear decrease with harvest delay. During the on-vine preservation period, soluble solids and reducing sugars in the fruits gradually accumulated. Reducing sugar content peaked at 180.26 g/L (2022) and 179.96 g/L (2023) on day 54. Titratable acid content significantly decreased, declining from 3.88 g/L on day 0 to 2.05 g/L by day 54 in 2022. During the on-vine preservation period, the content of volatile aldehydes and the total aroma content showed synergistic dynamics, with hexanal and 2-hexenal being the predominant compounds. Volatile aldehydes peaked on day 45 in 2022 and exhibited a continuous increase in 2023, whereas terpenes substances showed an initial increase followed by a decline in both years.【Conclusion】On-vine preservation can enhance the soluble solids and reducing sugar content in grapes while promoting the accumulation of aldehydes and terpene aroma substances. However, excessively prolonging the on-vine preservation period reduces stem tension resistance, titratable acid content, and peel saturation (C^*) value. Therefore, optimizing the on-vine preservation duration is key to improving fruit quality, enhancing tourist appeal, and increasing economic benefits through staggered marketing.

Key words: Shine Muscat; grape; delayed harvest; on-vine preservation; quality evaluation; volatile aromatic compounds

葡萄是我国广泛种植的水果之一,口感丰富,香气浓郁,具有极高的经济价值。葡萄果实的综合品质主要由糖酸等初级代谢产物及酚类、香气类等次生代谢产物构成,这些成分对果实品质起到关键作用。糖酸作为决定葡萄果实品质的关键组分,是衡量果实成熟度的关键之一,并影响着葡萄的整体感官品质。香气是葡萄风味的重要组成部分,优雅馥郁的香气可以在一定程度上吸引消费者,提高其市场竞争力。当前研究多通过整合果实套袋、调亏灌溉、砧木嫁接、延迟采收、负载量调控、叶幕补光及激素调控等栽培技术[1-9],系统调控葡萄成熟进程、贮藏周期与香气组分等关键品质指标。

挂树保鲜,也称挂树贮藏、延迟采收,是一种简便高效、经济效益突出且契合中短期贮藏需求的保鲜方式,目前已在柑橘[10]、猕猴桃[11]、葡萄[12]等果树上广泛应用。意大利葡萄在挂树贮藏的前期和中期能提高葡萄糖和维生素C含量[13],'红地球'葡萄可以通过挂树贮藏显著提升单粒质量和果实纵径,并提高可溶性固形物含量而降低可滴定酸含量[14]。此外,以晚采收的'赤霞珠'为原料所酿制的葡萄酒,能展现出更加丰富的玫瑰花香[15]。

'阳光玫瑰'葡萄因其独特的玫瑰香而备受消费者青睐,因其具有果肉坚硬爽脆、不易裂果、耐贮运及抗病性强等优势,成为观光葡萄园的首选品种。挂树保鲜技术能有效缓解葡萄集中上市引发的价格波动,在保持果实品质稳定的同时,适时填补市场供应的空档期,并可显著提升果农的经济效益[16],但有关挂树保鲜技术对'阳光玫瑰'葡萄果实的影响尚未见报道。为此,本研究系统探究延长挂树保鲜期对'阳光玫瑰'果实理化性质、外观以及香气物质等品质指标的影响,旨在为延长'阳光玫瑰'葡萄的观光采收期及错峰延迟上市提供理论依据和实践指导。

中国知网 https://www.cnki.net

1　材料与方法

1.1　试剂、仪器与设备

氢氧化钠、福林-酚、甲基纤维素、硫酸铵、氯化钾、醋酸钠、亚硝酸钠、氯化铝、甲醇、甲酸，均为分析纯；乙醇，色谱纯，天津科密欧有限公司。儿茶素、没食子酸、香气标准品，美国Sigma公司。

BSA423S千分之一分析天平、pH/ATC electrode酸度计，德国Sartorius公司；MASTER-53M型手持糖度计，日本Atago公司；CR-400便携式色差计，日本KONICA MINOLTA公司；TAXT Plus型质构仪，英国Stable Micro System公司；HP-100数显拉力计，深圳艾德堡公司；手持竖线折光仪，浙江陆恒环境科技有限公司；7890B GC仪、5977B MS仪、PAL3自动进样器，美国Agilent公司。

1.2　试验设计

本研究于2022－2023年连续2个生长季，在西北农林科技大学合阳葡萄试验示范站（110°21′ E，35°22′ N）进行。该试验示范站位于陕西省关中地区东部，黄河中游西侧，土壤为沙砾结合型，属中温带季风气候。站内‘阳光玫瑰’葡萄（Shine Muscat）为4年生试材，株行距为1 m×3 m，主干高1.5 m，采用简易避雨栽培模式，种植于配备滴灌系统的单向龙骨状Ⅴ型小平棚中。果园的土肥水管理及病虫害防治均按照统一标准进行，以处于商业成熟期（E-L38阶段）的葡萄作为基准（记为挂树保鲜第0天），分别在挂树保鲜期的0，9，18，27，36，45和54 d（2023年，挂树保鲜第63天时果实仍状态良好，故延长到63 d），采集20穗生长状态一致的葡萄穗，置于－80 ℃冰箱中保存备测。

1.3　试验方法

1.3.1　葡萄果实基础理化指标的测定　果实果面颜色参数采用CR-400便携式色差计测定。随机选取50粒果实分别测定其a^*、b^*和L^*值。其中，a^*值反映果皮的红绿色度，正值表示红色，负值表示绿色，绝对值越大颜色越深。b^*值表示果皮的黄蓝色度，正值越大，黄色越显著；负值越大，蓝色越明显。L^*值为亮度值，取值为1～100，其值越大表示果面越明亮。色调角h通过公式h=arctangent［b^*/a^*］计算，反映果实颜色的色调特征。根据h值可对果实颜色进行分类：当$a^*<0$且$b^*>0$，h值在90°～180°时归为黄绿色。色泽饱和度C^*通过公式$C^*=(a^{*2}+b^{*2})^{1/2}$计算，用于反映果皮颜色的鲜艳程度，$C^*$值越大表明颜色越鲜艳。

随机选取50粒果实，单粒质量的测定参考WEI等[17]的方法；使用电子游标卡尺（精度0.01 cm）测量果实的横纵径，并计算果形指数（纵径/横径）；果实耐压力采用托普云GY-4数显果实硬度计测定，在果实赤道部位进行硬度测量，每粒果实重复测量3次，取平均值。果柄耐拉力利用艾德堡HP-100数显拉力计测定，沿果粒纵轴方向施加拉力直至果柄完全脱离果实，记录最大拉力值。

在果穗的上、中、下3个部位随机选择20粒果实，挤汁后立即测定可溶性固形物（TSS，total soluble solids）含量。还原糖和可滴定酸含量分别采用斐林试剂滴定法和酸碱中和滴定法进行测定。

1.3.2　葡萄中挥发性化合物的测定　葡萄果实香气物质采用顶空固相微萃取与气相色-质谱联用技术（HS-SPME-GC-MS）测定，提取流程参照ZHANG等[8]的方法。取60 g葡萄果实，加入液氮速冻，敲碎、去籽后加入0.8 g聚乙烯基吡咯烷酮（PVPP）和0.5 g *D*-葡糖酸内酯，磨碎后平均分装至2个离心管中，加盖浸渍2.5 h，8 000 r/min离心10 min，取5 mL上清液至20 mL顶空瓶中，并加入1 g NaCl、20 μL内标液（2-辛醇 0.8 mg/mL）及磁子，加盖后置于40 ℃磁力搅拌加热台平衡30 min；将活化后的萃取头插入顶空部分吸附30 min后，插入GC-MS进样口待测。

色谱条件：载气为高纯氦气（纯度99.999 9%），流速为1 mL/min，进样口温度设置为220 ℃。在氦气的吹动下，挥发物质进入HP-Innowax（60 m×0.25 mm×0.25 μm）色谱柱，采用不分流模式进样。柱箱初始温度为50 ℃，保持1 min；3 ℃/min升至220 ℃，保持5 min。

质谱条件：采用电子电离源（EI），离子源温度设定为250 ℃，电离能量为70 eV。扫描模式为全扫描（full scan），质量范围（m/z）覆盖30～450 amu，采样速率为50 Hz。为避免溶剂干扰，设置2 min的溶剂延迟时间。

定性定量分析：参考臧燕燕等[18]的方法，以正构烷烃（C6－C32）为标准，采用Kovats法测定所有组分的保留指数。通过标准品的保留时间及NIST 14谱库检索进行定性分析，并采用内标法与外标法对挥发性化合物进行定量分析。

1.4　气象数据

气象数据由陕西省合阳县气象站（110°11′ E，35°

中国知网　https://www.cnki.net

15′ N)提供,统计2022与2023年4—10月平均温度、有效积温、昼夜温差以及7—10月降水量如表1所示。

表1 2022与2023年合阳地区4—10月的气象数据

Table 1 Meteorological data in Heyang county from Apr. to Oct. in 2022 and 2023

采收年份 Harvest year	4—10月平均温度/℃ Average temperature, Apr. —Oct.	4—10月有效积温/℃ Effective accumulated temperature, Apr. —Oct.	4—10月昼夜温差/℃ Diurnal temperature range, Apr. —Oct.	7—10月降雨量/mm Rainfal, Jul. —Oct.
2022	19.45	2 023.30	11.43	488.40
2023	19.07	1 940.20	11.10	305.70

1.5 数据统计与分析

使用SPSS 26(IBM, Armonk, NY, USA)对所有试验数据进行单因素方差分析(ANOVA)及Tukey检验($P<0.05$),采用Duncan's法进行组间多重比较。图表通过GraphPad Prism 9.3.1(GraphPad Software, USA)、Metware Cloud(https://cloud.metware.cn)和Origin 2021(OriginLab Corporation, Northampton, MA)生成。使用SPSS 26进行主成分分析,并用Origin 2021绘图。在进行多变量统计分析之前,所有化学变量均经过归一化处理。

2 结果与分析

2.1 挂树保鲜对果皮颜色的影响

挂树保鲜对'阳光玫瑰'葡萄果皮颜色的影响见表2。表2显示,随着挂树保鲜时间的延长,'阳光玫瑰'葡萄果皮的a^*值持续上升而b^*值逐步下降,表明果实表皮颜色呈现两方面的转变,即绿色调从深绿向浅绿演变,黄色调则由深黄向浅黄过渡。果皮色调角h值在114.47°~119.39°保持稳定,2年的试验数据均未出现显著波动($P>0.05$),这表明挂树保鲜期间果实基础色调稳定。在亮度指标方面,L^*值均在采收末期达到最低水平,但2022年呈先升后降趋势,于第18天达到峰值,而2023年则无明显变化规律。饱和度C^*值在2022年于第27天骤降至15.72,2023年则在第36天陡降至15.82。这种跨年度的同步突变现象表明,C^*值的陡峭衰减曲线可作为判断果实生理衰老的关键生物标志。

表2 挂树保鲜对'阳光玫瑰'葡萄果皮颜色的影响

Table 2 Effects of on-vine preservation on skin color of 'Shine Muscat' grapes

年份 Year	挂树保鲜时间/d Time of on-vine preservation	L^*	a^*	b^*	C^*	h/(°)
2022	0	42.36±1.93 b	−9.95±0.63 c	21.05±1.82 a	23.15±1.89 a	119.07±2.23 a
	9	43.16±1.76 ab	−9.84±0.74 c	21.31±1.49 a	23.48±1.60 a	114.80±1.11 a
	18	43.62±1.52 a	−9.87±0.77 c	21.52±1.56 a	23.69±1.68 a	114.65±1.06 a
	27	42.78±1.18 ab	−7.57±0.62 b	13.77±0.98 b	15.72±1.19 b	118.75±1.75 a
	36	41.32±1.49 c	−7.33±0.70 ab	13.21±0.92 b	15.12±1.12 bc	118.99±1.79 a
	45	38.99±1.37 d	−7.10±0.59 ab	14.05±0.88 b	15.75±0.92 b	116.82±1.91 a
	54	37.97±1.37 e	−6.42±0.46 a	13.21±1.00 b	14.69±1.14 c	115.87±1.76 a
2023	0	42.35±2.01 bcd	−8.92±0.61 b	20.97±1.82 a	23.05±1.92 a	114.57±0.70 a
	9	41.92±1.66 cd	−8.97±0.32 b	20.63±1.71 a	22.75±1.83 a	119.39±0.24 a
	18	43.26±1.66 ab	−8.72±0.53 b	21.36±1.38 a	23.47±1.46 a	114.47±0.62 a
	27	43.67±1.55 a	−8.78±0.68 b	21.48±1.61 a	23.61±1.73 a	114.49±0.51 a
	36	42.80±1.18 abc	−7.60±0.65 a	13.87±0.92 b	15.82±1.10 b	118.68±0.86 a
	45	41.23±1.45 d	−7.26±0.63 a	13.21±0.94 b	15.08±1.14 b	118.77±1.23 a
	54	39.02±1.31 e	−7.16±0.46 a	14.06±0.80 b	15.78±0.90 b	116.99±0.72 a
	63	38.21±1.63 e	−6.59±0.52 a	13.26±0.92 b	14.81±1.09 b	116.40±0.96 a

注:同列数据中的不同小写字母表示同一年份不同挂树保鲜时间差异显著($P<0.05$)。下同。

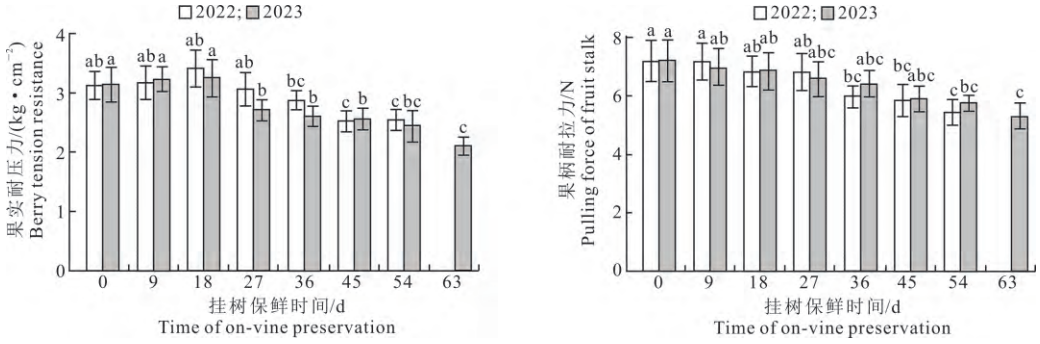
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among on-vine preservation in the same year ($P<0.05$). The same below.

2.2 挂树保鲜对果实耐压力和果柄耐拉力的影响

果实耐压力指果实受到外力挤压或碰撞时所能承受的力值[19],也被称为果实硬度;果柄耐拉力则表示果柄与果粒分离时所需的力值[19],二者是评

中国知网 https://www.cnki.net

估果实成熟度和贮藏品质的重要参数。图 1 显示，2022 和 2023 年‘阳光玫瑰’葡萄的果实耐压力均在挂树保鲜第 18 天达到峰值，分别为 3.41 和 3.26 kg/cm^2，之后呈持续下降趋势，这可能是由于葡萄成熟过程中果胶质降解导致果实组织松弛，硬度随之下降[20]。果柄耐拉力较强的葡萄不易落粒，能够在贮存和运输过程中保持较好的果实完整性，但在两年的挂树保鲜期间，果柄耐拉力均逐渐下降，在最后一次采收时降至最低值，分别为 5.43 和 5.31 N。



图柱上的不同字母表示同一年份不同挂树保鲜时间差异显著（$P<0.05$），下同。

Different letters on the column indicate significant difference on-vine preservation time in the same year（$P<0.05$）. The same below.

图 1　挂树保鲜对‘阳光玫瑰’果实耐压力和果柄耐拉力的影响

Fig. 1　Effects of on-vine preservation on berry tension resistance and pulling force of fruit stalk of ‘Shine Muscat’ grape

2.3　挂树保鲜对果实单粒质量和形状的影响

挂树保鲜对‘阳光玫瑰’果实单粒质量、果实形状的影响如表 3 所示。由表 3 可知，随着挂树保鲜时间的延长，2022 和 2023 年‘阳光玫瑰’葡萄果实的单粒质量均呈先上升后下降趋势，并均在第 45 天达到峰值，分别为 16.78 和 16.80 g。然而，果实过熟可能会因失水皱缩而导致横径和纵径减小[21]。此外，果实的形态特征分析显示，2022 年采收葡萄的果形指数为 1.02～1.06，表明该年份的果实整体趋向于圆形，说明果实形状在该年份具有较好的稳定性。相比之下，2023 年采收葡萄果实的果形指数为 1.03～1.10，果实形状更偏向于椭圆形。

表 3　挂树保鲜时间对‘阳光玫瑰’果实单粒质量、形状、基础理化指标的影响

Table 3　Effects of on-vine preservation on berry weight, shape, and physicochemical parameters in ‘Shine Muscat’ grapes

年份 Year	挂树保鲜时间/d Time of on-vine preservation	单粒质量/g Single-berry weight	果实纵径/mm Longitudinal diameter	果实横径/mm Transverse diameter	果形指数 Berry shape index	可溶性固形物/(°Brix) Total soluble solids	还原糖/(g·L^{-1}) Reducing sugars	可滴定酸/(g·L^{-1}) Titratable acids
2022	0	14.37±0.12 e	28.64±2.09 d	28.30±2.27 c	1.02±0.08 a	15.25±0.07 f	142.65±0.28 g	3.88±0.00 a
	9	14.73±0.08 d	29.96±1.15 c	28.37±1.34 c	1.06±0.04 a	15.60±0.00 e	150.07±0.71 f	2.78±0.00 b
	18	15.11±0.02 c	31.17±1.36 b	27.17±1.43 d	1.05±0.08 a	16.05±0.07 d	154.90±0.91 e	2.78±0.04 b
	27	16.12±0.12 b	31.73±1.08 ab	31.07±0.59 b	1.02±0.03 a	17.05±0.07 c	164.98±0.21 d	2.66±0.02 b
	36	16.63±0.03 a	32.85±0.95 a	32.49±0.91 a	1.01±0.03 a	18.05±0.07 b	173.01±0.21 c	2.35±0.06 c
	45	16.78±0.10 a	32.61±1.85 a	31.66±0.88 ab	1.03±0.05 a	18.35±0.07 a	176.84±1.62 b	2.04±0.02 d
	54	16.69±0.02 a	32.67±1.35 a	32.29±1.00 a	1.02±0.06 a	18.50±0.14 a	180.26±1.29 a	2.05±0.06 d
2023	0	13.67±0.01 d	28.61±1.47 c	27.75±1.74 c	1.03±0.08 b	14.25±0.07 f	132.91±0.89 g	3.80±0.06 a
	9	14.80±0.20 c	30.00±2.10 b	27.73±1.66 c	1.05±0.09 ab	14.75±0.07 e	138.64±0.74 f	3.46±0.04 b
	18	14.94±0.05 bc	30.38±1.17 b	29.46±1.32 ab	1.03±0.05 b	15.00±0.14 de	145.24±0.75 e	3.43±0.01 b
	27	15.54±0.06 b	30.81±1.09 ab	29.88±0.86 a	1.03±0.04 b	15.25±0.07 d	150.41±1.37 d	3.33±0.02 c
	36	16.64±0.46 a	31.02±1.60 ab	28.41±2.28 bc	1.10±0.11 a	17.30±0.14 c	164.21±1.46 c	2.48±0.01 d
	45	16.80±0.25 a	31.17±2.32 ab	28.33±1.95 bc	1.10±0.09 a	18.05±0.07 b	174.15±0.48 b	2.48±0.02 d
	54	16.74±0.14 a	32.20±3.06 a	29.64±2.52 ab	1.09±0.09 ab	18.45±0.07 a	179.96±0.98 a	2.46±0.01 d
	63	16.75±0.10 a	32.21±1.50 a	29.78±2.03 a	1.09±0.09 ab	18.50±0.00 a	178.71±0.66 a	2.38±0.02 d

中国知网　https://www.cnki.net

2.4 挂树保鲜对果实基础理化指标的影响

由表3可知,在2022和2023年,'阳光玫瑰'葡萄果实的可溶性固形物和还原糖含量整体均随挂树保鲜时间的延长而呈持续增加趋势,其中还原糖均于第54天整体达到峰值,分别为180.26和179.96 g/L,且与当年前期(0~45 d)各采样期差异显著($P<0.05$)。可滴定酸含量则整体随挂树保鲜时间延长呈持续下降趋势,其中2022年从初始的3.88 g/L降至2.05 g/L,降幅达47.16%,该现象主要归因于挂树保鲜期间葡萄果实的持续发育代谢,其中糖酸代谢的协同变化是挂树保鲜改善果实风味品质的关键生理机制[22]。

2.5 挂树保鲜对果实香气物质含量的影响

2.5.1 果实香气物质种类及含量 挂树保鲜期间'阳光玫瑰'果实的香气物质组成和含量的变化如图2所示。图2显示,'阳光玫瑰'葡萄的果实香气主要包括醛、醇、酮、酯、酸、萜烯及其他共7大类,其中醛类物质含量最高,占比超过80%,其次为醇类和萜烯类,这3类香气物质共同构成了'阳光玫瑰'葡萄果实的主要特征香气。相较之下,酮类、酯类、酸类及其他物质含量较低,但其在果实香气的特异性方面发挥着重要作用。同一年份'阳光玫瑰'葡萄的香气成分具有较高一致性,跨年份样本仅呈现部分相似特征。

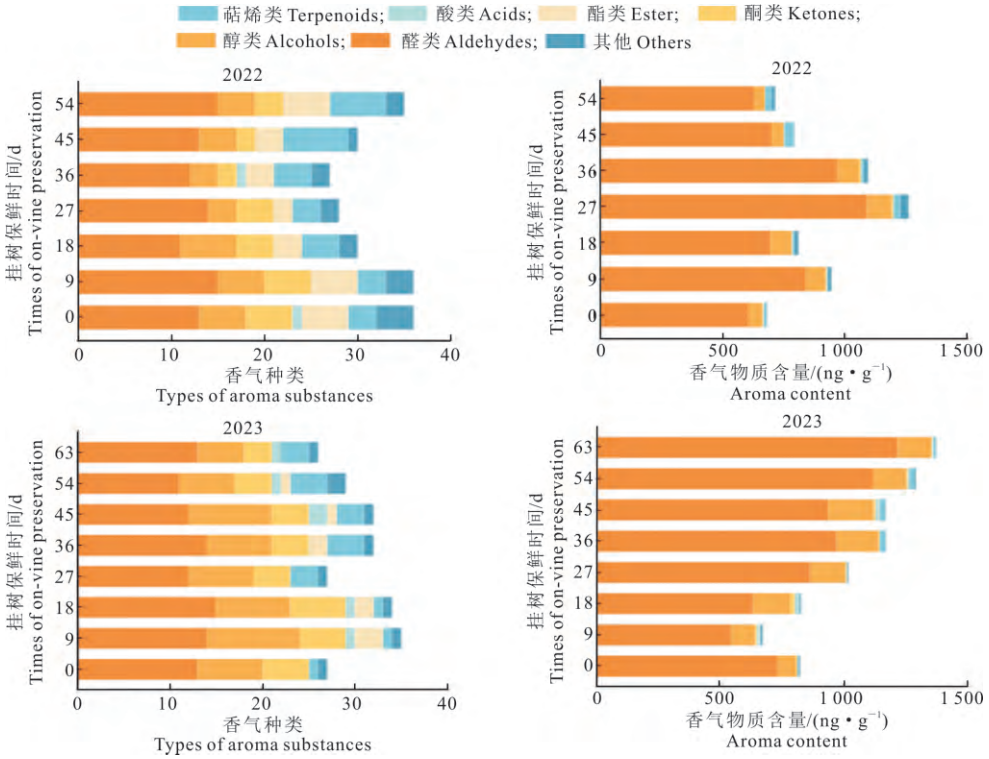


图2 挂树保鲜期间'阳光玫瑰'果实香气物质组成的变化

Fig. 2 Dynamics of aroma compound composition in 'Shine Muscat' grapes during on-vine preservation

图2表明,2年间'阳光玫瑰'葡萄果实的香气物质种类无显著差异,说明年份差异主要引发含量及比例的变化,对种类构成影响有限。2022年挂树保鲜期的葡萄在第0天和第9天检测到的香气物质种类最多,达到36种,而2023年则以第9天的香气物质种类最多,第63天果实中的香气化合物最少,为26种。此外,酸类和酯类香气物质并非在葡萄成熟的各个阶段均有出现,这可能与降水和温度的短期显著变化有关[23]。在挂树保鲜期间,2022年'阳光玫瑰'果实香气物质总含量总体呈先上升再下降的趋势,以第27天采收葡萄的香气化合物含量最高,且明显高于该年份其他挂树保鲜期的葡萄,此时醛类香气物质在总香气成分中占比最高(85.51%)。不同挂树保鲜期相比较,第27天的醇类物质总量显著高于其他时期($P<0.05$),而酸类物质仅在第0天和第36天有微量检出。2023年葡萄果实香气物质总含量整体呈上升态势,但第9天采收样本的香气物质总量明显偏低。值得注意的是,醛类物质含量自第10天后持续上升,在第45天出现3.61%的短暂回落,最终在第63天达到年度峰值,与总香气物质含量的变化趋势高度一致。

2.5.2 果实醛类香气成分分析 图3展示了2022

中国知网 https://www.cnki.net

和2023年挂树保鲜期间‘阳光玫瑰’果实香气物质和挂树保鲜时间的相关性热图。图3表明，醛类化合物是‘阳光玫瑰’葡萄的主要香气成分，其中正己醛和2-己烯醛分别具有生青味和清新果香[24]，这两种香气物质总和占醛类香气的90.02%以上。根据2022年的数据，2-己烯醛含量随着采收期的延迟呈先升后降趋势，于第27天达到峰值；与此同时，正己醛含量也在同一时间点达到峰值。相较之下，2023年葡萄果实中正己醛与2-己烯醛的含量未表现出明显变化规律，二者分别在第69天和第45天达到了各自峰值。此外，2022和2023年采收果实中挥发性醛类香气物质的种类存在明显差异，2022年采收果实中特征性香气化合物有(E)-2-庚烯醛(脂肪类香气)、反-2-壬烯醛(黄瓜-柑橘香)、2,3-二甲基戊醛(青草香)、正丁醛(辛香)、壬醛(豌豆香)，虽然这些物质的含量相对较低，但在塑造‘阳光玫瑰’葡萄香气的特异性方面发挥了重要作用；2023年采收的‘阳光玫瑰’葡萄中鉴定出三类特征性香气活性醛类化合物，分别为具有刺激性果味的乙醛和有橙皮香的正辛醛，以及有香蕉香的(E)-2-辛烯醛。

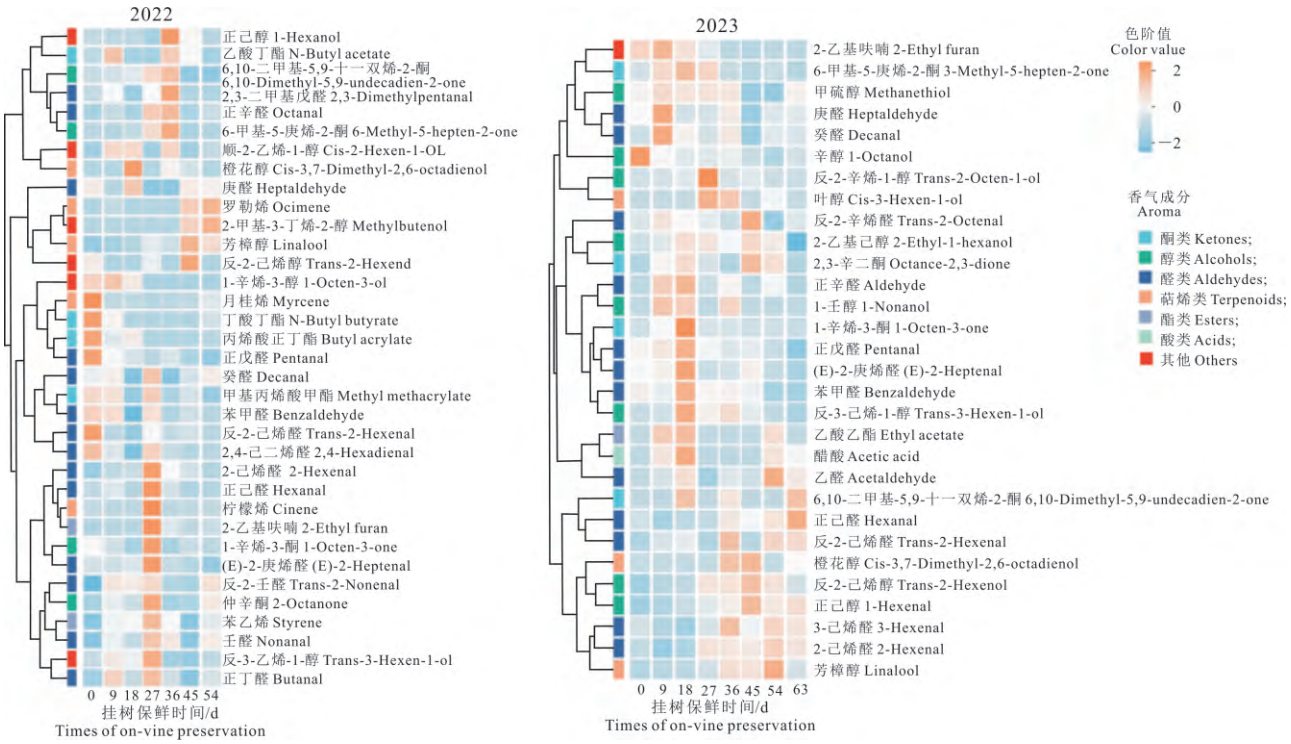


图3　挂树保鲜期间‘阳光玫瑰’果实香气物质聚类热图

Fig. 3　Cluster heatmap of aroma compounds in ‘Shine Muscat’ grapes during on-vine preservation

2.5.3　果实萜烯类香气成分分析　萜烯类物质作为‘阳光玫瑰’葡萄的特征香气组分，凭借较低的嗅觉阈值赋予果实强烈的香气特征。其中芳樟醇作为典型代表，不仅在葡萄等植物中广泛分布[25]，更因其独特的芳香属性，成为多个葡萄品种的核心香气成分之一。由图3可知，在2022年挂树保鲜期间，‘阳光玫瑰’葡萄果实中的芳樟醇含量先上升后下降，在第0天时能被微弱检出，于第45天达到峰值，表明该年度的挂树保鲜有利于‘阳光玫瑰’葡萄果实芳樟醇的积累；2023年挂树保鲜过程中，‘阳光玫瑰’葡萄果实的芳樟醇含量无明显变化，其峰值出现在第54天。上述结果表明，不同年份间芳樟醇的积累规律存在差异，可能与气候条件、光照强度、土壤特性以及采收时期等因素密切相关[26]。深入分析这些因素的变化及其对香气成分的影响有助于优化葡萄的种植策略，从而提高其特征香气成分的含量并塑造其风味品质。此外，2022年检测到的萜烯类香气物质种类多于2023年，在这些萜烯类香气物质中，具有香料、草本和白胡椒香气的柠檬烯，以及散发柑橘香气的罗勒烯、具有脂肪气味的月桂烯均未在2023年的各个采收期中检测到，具有青草香气的叶醇则未能在2022年检测到。

3　讨　论

挂树保鲜技术作为一项有效的葡萄保鲜措施，在葡萄种植中具有显著的提高经济效益与改善生态效益的作用。一方面，其通过延长果实供应周期，避免集中上市带来的价格波动，同时还可以降

中国知网　https://www.cnki.net

低贮存成本;另一方面,则为观光葡萄园提供了可持续发展的经营模式,使其能在较长时间内保持“可采摘、可观赏”的理想状态,最终实现观光农业与果实保鲜需求的协同发展。

‘阳光玫瑰’葡萄凭借其鲜美的食用口感、独特的玫瑰香气、卓越的经济价值以及良好的耐贮运特性,成为陕西省继‘户太八号’之后备受瞩目的种植品种。本研究发现,在2022和2023年,挂树保鲜第45天时果实的单粒质量能够达到16.78和16.80 g,这对于偏爱大粒大穗型葡萄的消费者具有一定的吸引力,但过大的果实会造成香气物质的无端损耗[27],并且会加速树体营养流失。此外,随着挂树保鲜期的延长,果皮颜色逐渐变为浅黄、浅绿色调,虽色调h值在两年的挂树保鲜期稳定在114.47°~119.39°,表明挂树保鲜期果皮颜色整体上不会使色调有较明显的偏移,但影响消费者购买欲望的果皮饱和度C^*和果皮亮度L^*均有不同程度的下降[28],其中果皮饱和度的降幅甚至在2022年挂树保鲜的第27天就达到了32.09%,同样在2023年于第36天达到了31.37%,这种断崖式的下降表明果皮的颜色已经开始衰老,酚类物质开始分解,使果皮颜色的饱和度有所下降,这可能是长时间的日照损坏了果皮中花青素等物质所致[29]。在挂树保鲜末期,代表果实耐贮运性能的果实耐压力和果柄耐拉力均降至最低值,其中果实耐压力因‘阳光玫瑰’葡萄质地坚实仍维持相对较高阈值,而果柄耐拉力受单粒质量累积影响呈现更明显的衰减。虽然‘阳光玫瑰’葡萄本身的抗裂特性可缓冲果实耐压能力的下降,但果柄维管系统的持续载荷会导致采后贮藏风险递增[30]。对于需要长期贮藏实现错峰上市的果品,可以对果柄进行褐变观察,将挂树保鲜期控制在衰减的临界阈值之前。

本研究通过2年连续观测发现,‘阳光玫瑰’葡萄在挂树保鲜过程中呈现出显著的糖酸代谢动态特征,即在果实还原糖与可溶性固形物含量持续积累的同时,可滴定酸含量呈现渐进性下降趋势。这种双向的代谢变化通过提升糖酸比和固酸比优化了果实的风味品质[31],但值得注意的是,2022年最后一次采收果实与该年第一次采收相比,果实可滴定酸含量的降幅达47.16%,这种现象将导致糖酸比突破感官阈值,形成甜度过载而酸度不足的味觉断层[32]。针对此现象,生产实践中可以通过精准调控挂果量来延缓酸代谢速率,从而维持糖酸协同降解的稳态平衡[16]。此外,在陕西省合阳地区,挂树保鲜技术可以通过精准调控‘阳光玫瑰’葡萄的糖酸比,显著提升其作为白兰地蒸馏酒原料的基酒品质,进而改善酒体口感,同时促进挥发性风味成分的生成[33]。

有研究表明,葡萄果实中的香气物质在成熟期呈现显著增加趋势[34],然而挂树保鲜及延迟采收是否能进一步促进葡萄果实香气物质的累积,目前仍存在争议。本研究通过对不同挂树保鲜时期采集的葡萄果实进行分析,发现其香气物质组成呈现显著差异,且香气物质总量在不同年份间并未表现出一致性变化趋势,这一现象表明气候因素(如温度、光照条件)可能在葡萄果实香气物质的积累过程中发挥着关键的调控作用[35]。本研究结果表明,在挂树保鲜期间,‘阳光玫瑰’葡萄果实中的醛类物质占香气物质总量的80%以上,其中正己醛和2-己烯醛是主要贡献者。这一发现与之前的研究结果[17]高度一致,进一步证实了醛类物质在该品种香气特征形成中的主导作用。值得注意的是,在2年的挂树保鲜期间,醛类物质的种类存在一定差异,该现象表明某些醛类物质可能仅在特定阶段合成,这可能与醛类物质积累的代谢调控机制密切相关[36]。玫瑰花香作为‘阳光玫瑰’葡萄最具代表性的特征香气之一,其关键组分芳樟醇在挂树保鲜期的各采收阶段均可被检测到。其中2022年芳樟醇含量随采收时间的推移呈现先上升后下降的变化趋势,而2023年则未表现出明显变化特征。这一现象可能与果实成熟期光照条件的变化密切相关[26],同时也与陕西省合阳地区9—10月的气候特征具有一定的相关性。

4 结 论

研究了2022—2023年连续2年挂树保鲜对‘阳光玫瑰’葡萄基础理化指标及果实香气物质的影响。结果显示,随着挂树保鲜时间的延长,代表果实耐贮藏性能的果实耐压力和果柄耐拉力总体上均逐渐降低,表明过长时间的挂树保鲜不利于葡萄的运输和保存;并且随挂树保鲜时间增加,葡萄果皮颜色逐渐变为黄绿色,饱和度和亮度亦逐渐下降,直接影响消费者的购买意愿;果实的还原糖含量和TSS逐渐上升,与此同时可滴定酸含量下降,这在提高果实糖酸比、固酸比的同时丰富了果实的口感,但过分延长挂树保鲜期会因可滴定酸含量显

中国知网 https://www.cnki.net

著下降而打破果实口感的平衡。此外，在2022年第27天采收的果实中，正己醛和2-己烯醛的含量达到了峰值，占醛类物质的90.02%以上，显著高于其他时期，使得果实具有较强的青草香；在2022年挂树保鲜第45～54天，具有玫瑰花香味的萜烯类物质芳樟醇含量较高，此时‘阳光玫瑰’葡萄特异性香气最为浓郁。综上所述，延长挂树保鲜时间能够提升‘阳光玫瑰’葡萄的可溶性固形物和总糖含量，同时有效促进了醛类和萜烯类香气物质的积累，从而维持了‘阳光玫瑰’葡萄的典型玫瑰香型特征；但随着保鲜时间延长，挂树保鲜后期会导致果皮饱和度（C^*）值和可滴定酸含量显著下降，进而给果实颜色与口感带来一定影响。因此，合理确定挂树保鲜时间具有重要意义，这不仅有助于优化保鲜策略，提高市场竞争力，同时也为提升果实综合品质提供了理论支撑。

[参考文献]

[1] 张鹏，文跃，周国朝，等. 不同果袋对‘阳光玫瑰’葡萄果实品质和香气物质的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒，2024(5)：30-37.
ZHANG P，WEN Y，ZHOU G C，et al. The influence of different bag treatments on fruit quality and aroma substances of ‘Shine Muscat’ grapes[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine，2024(5)：30-37.

[2] ZHA Q，XI X J，HE Y N，et al. Bagging affecting sugar and anthocyanin metabolism in the ripening period of grape berries[J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca，2019，47(4)：1194-1205

[3] 房玉林，孙伟，万力，等. 调亏灌溉对酿酒葡萄生长及果实品质的影响[J]. 中国农业科学，2013，46(13)：2730-2738.
FANG Y L，SUN W，WAN L，et al. Effects of regulated deficit irrigation (RDI) on wine grape growth and fruit quality[J]. Scientia Agricultura Sinica，2013，46(13)：2730-2738.

[4] LI M，GUO Z，JIA N，et al. Evaluation of eight rootstocks on the growth and berry quality of ‘Marselan’ grapevines[J]. Scientia Horticulturae，2019，248：58-61.

[5] 白世践，户金鸽，蔡军社，等. 砧木对极端干旱区马瑟兰葡萄光合及酿酒特性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2021，49(3)：129-137.
BAI S J，HU J G，CAI J S，et al. Effects of rootstocks on photosynthesis and vinification characteristics of Marselan grapes in extreme arid region[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)，2021，49(3)：129-137.

[6] 葛谦，张媛珂，闫玥，等. 不同采收期下负载量对‘赤霞珠’葡萄及葡萄酒品质的影响[J]. 食品科学，2025，46(3)：128-137.
GE Q，ZHANG Y K，YAN Y，et al. Effect of crop load on the quality of Cabernet Sauvignon grapes and wines at different harvest times[J]. Food Science，2025，46(3)：128-137

[7] LI J N，MA T T，BAO S H，et al. Suitable crop loading：an effective method to improve ‘Shine Muscat’ grape quality[J]. Food Chemistry，2023，424：136451.

[8] ZHANG J X，LI W P，ZHANG P，et al. Effect of supplementary light with different wavelengths on anthocyanin composition，sugar accumulation and volatile compound profiles of grapes[J]. Foods，2023，12(22)：4165.

[9] 权桂蓉，高翔，惠竹梅. 外源激素处理对葡萄及葡萄酒香气成分的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2020，48(1)：126-134.
QUAN G R，GAO X，XI Z M. The effects of exogenous plant hormones and aromatic components of grapes on dry red wine.[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)，2020，48(1)：126-134.

[10] 孙建城，王登亮，刘春荣，等. 柑橘留树保鲜技术研究进展[J]. 中国果树，2021(7)：1-6，10.
SUN J C，WANG D L，LIU C R，et al. Research progress of citrus on-vine storage[J]. China Fruits，2021(7)：1-6，10.

[11] 彭雯，张敏，李欣怡，等. 延迟采收对‘翠香’猕猴桃品质的影响[J]. 食品工业科技，2025，46(3)：333-341.
PENG W，ZHANG M，LI X Y，et al. Effect of delayed harvesting on the quality of ‘Cuixiang’ kiwifrui[J]. Science and Technology of Food Industry，2025，46(3)：333-341.

[12] 马龙，马东海，刘鑫，等. 延后采收对设施葡萄果实品质的影响[J]. 农业科学研究，2023，44(3)：44-50，63.
MA L，MA D H，LIU X，et al. Effects of delayed harvest on the fruit quality of protected grape[J]. Journal of Agricultural Sciences，2023，44(3)：44-50，63.

[13] 张克坤，王海波，王孝娣，等. ‘意大利’葡萄延迟栽培挂树贮藏期间果实品质的变化[J]. 园艺学报，2016，43(5)：853-866.
ZHANG K K，WANG H B，WANG X D，et al. Studies on quality development of ‘Italia’ grape during on-vine storage under delayed cultivation[J]. Acta Horticulturae Sinica，2016，43(5)：853-866.

[14] 平吉成，刘亮. 红地球葡萄延迟采收活体保鲜研究[J]. 农业科学研究，2011，32(1)：23-25.
PING J C，LIU L. A study on the late harvest of Red Earth grapes and the preservation of live grapes[J]. Journal of Agricultural Science，2011，32(1)：23-25.

[15] 陈倬，成池芳，苟佳毓，等. 承德地区晚采干红葡萄酒主要呈香物质鉴定及感官特征分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒，2024(2)：28-36.
CHEN Z，CHENG C F，GOU J Y，et al. Identification of main aroma compounds and sensory analysis of delayed harvesting wines from chengde region[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine，2024(2)：28-36.

[16] 魏志峰，李秋利，高登涛，等. 阳光玫瑰葡萄在延迟采收后果实品质和香味的变化[J]. 江苏农业科学，2022，50(24)：100-105.
WEI Z F，LI Q L，GAO D T，et al. Changes in fruit quality and aroma of ‘Shine-Muscat’ grapes after delayed harvest[J]. Jiangsu Agricultural Sciences，2022，50(24)：100-105.

[17] WEI M Y，MA T T，CAO M M，et al. Biomass estimation

中国知网　https://www.cnki.net

and characterization of the nutrient components of thinned unripe grapes in China and the global grape industries[J]. Food Chemistry:X,2022,15:100363.

[18] 臧燕燕,张明霞,刘国杰,等. 不同品种中国柚果皮中挥发性物质的组成及质量分数比较[J]. 中国农业大学学报,2011,16(6):52-57.
ZANG Y Y,ZHANG M X,LIU G J,et al. Comparison of volatile compounds in flavedos of Chinese pummelos[J]. Journal of China Agricultural University,2011,16(6):52-57.

[19] 贺普超. 葡萄学[M]. 北京:中国农业出版社,2004:217.
HE P C. Vitiology[M]. Beijing: China Agriculture Press,2004:217.

[20] CHEN Y H,XIE B,AN X H,et al. Overexpression of the apple expansin-like gene *MdEXLB*1 accelerates the softening of fruit texture in tomato[J]. Journal of Integrative Agriculture,2022,21(12):3578-3588.

[21] 温鹏飞,郑蓉,牛铁泉,等. 延迟采收对赤霞珠葡萄果实品质的影响[J]. 山西农业科学,2011,39(12):1281-1283,1290.
WEN P F,ZHENG R,NIU T Q,et al. Influence of delayed harvesting on the fruit quality of grape *Vitis vinifera* L. Cabernet Sauvignon[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences,2011,39(12):1281-1283,1290.

[22] LU L,DELROT S,LIANG Z C. From acidity to sweetness:a comprehensive review of carbon accumulation in grape berries[J]. Mol Hortic,2024,4(1):1-15.

[23] 黄蓉. 避雨栽培对陕西泾阳赤霞珠葡萄相关的微生物群落和葡萄酒质量风味的影响[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,2023:64-70.
HUANG R. The effect of rain-shelter cultivation on microbial communities and wine quality and flavor associated with Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) grapes in Jingyang,Shaanxi[D]. Yangling,Shaanxi: Northwest A&F University,2023:64-70.

[24] 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.

[25] DEIN M,MUNAFO J P. Characterization of key odorants in hoary mountain mint,pycnanthemum incanum[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2019,67(9):2589-2597.

[26] ZHANG H,FAN P,LIU C,et al. Sunlight exclusion from Muscat grape alters volatile profiles during berry development[J]. Food Chemistry,2014,164:242-250.

[27] 田由,王晖,寇娟. 渭南阳光玫瑰葡萄生产存在的问题与对策[J]. 落叶果树,2024,56(1):95-96.
TIAN Y,WANG H,KOU J. Problems and countermeasures in the production of 'Shine-Muscat' grapes in Weinan[J]. Deciduous Fruits,2024,56(1):95-96.

[28] NORMANN A,RÖDING M,WENDIN K. Sustainable fruit consumption:the influence of color,shape and damage on consumer sensory perception and liking of different apples[J]. Sustainability,2019,11(17):4626.

[29] CHEN Z J,YU J,LIU W J,et al. Research progress of fruit color development in apple[J]. Plant Physiology and Biochemistry,2021,162:267-279

[30] 王鹏,樊秀彩,张颖,等. 葡萄种质果实耐压力和果柄耐拉力的相关性分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2021(5):14-20.
WANG P,FAN X C,ZHANG Y,et al. Correlation analysis of fruit compression tolerance and pulling force of fruit stalk for grape germplasm[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine,2021(5):14-20.

[31] 任言,刘婉君,李美璇,等. 鲜食葡萄果实发育过程中有机酸积累差异研究[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2024(3):67-74.
REN Y,LIU W J,LI M X,et al. Study on differences of organic acid accumulation during fruit development of table grape[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine,2024(3):67-74.

[32] 黄丽萍,马小河,王敏,等. 鲜食葡萄种质酸甜风味指标评价与分析[J]. 中外葡萄与葡萄酒,2022(3):55-58.
HUANG L P,MA X H,WANG M,et al. Study on flavor evaluation index of table grape germplasms[J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine,2022(3):55-58.

[33] 金宇宁,舒楠,谢苏燕,等. 延迟采收对北冰红葡萄及蒸馏酒中挥发性成分的影响[J]. 中国酿造,2020,39(12):140-145.
JING Y N,SHU N,XIE S Y,et al. Effect of delayed harvest on volatile components in Beibinghong grape and distilled wine[J]. China Brewing,2020,39(12):140-145.

[34] 郑茗源,索雨洁,张佳静,等. '白玫瑰'和'红玫瑰'葡萄果实发育过程中香气物质变化规律及葡萄酒香气特征研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2025,53(5):132-145,156.
ZHENG M Y,SUO Y J,ZHANG J J,et al. Evolution of aromatic compounds during berry development of 'Muscat Blanc' and 'Muscat Rouge' and aroma characteristics of wine[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition),2025,53(5):132-145,156.

[35] Orduña R M D. Climate change associated effects on grape and wine quality and production[J]. Food Research International,2010,43(7):1844-1855.

[36] LI Y,HE L,SONG Y,et al. Comprehensive study of volatile compounds and transcriptome data providing genes for grape aroma[J]. BMC Plant Biology,2023,23:171.

(责任编辑:温晓平)

中国知网 https://www.cnki.net