

# 抗菌干预结合微环境气调维持葡萄采后贮藏品质

李金金<sup>1</sup>, 李春媛<sup>2</sup>, 谷佰宇<sup>3</sup>, 贾晓昱<sup>2</sup>, 吴迪<sup>4,5</sup>, 张鹏<sup>2</sup>, 李江阔<sup>2\*</sup>, 罗铮<sup>6</sup>

(1. 鞍山师范学院健康产业学院, 辽宁鞍山 114016)

(2. 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  
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)

(3. 沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳, 110866) (4. 浙江大学农业与生物技术学院, 浙江杭州 310058)

(5. 浙江大学中原研究院, 河南郑州 450000) (6. 北京春雨春商贸有限公司, 北京 101299)

**摘要:** 为探讨抗菌干预结合微环境气调保鲜箱对葡萄保鲜效果的影响, 以“阳光玫瑰”葡萄为试材, 采后经抗菌干预(0.8 g/L 纳他霉素和 1.0 g/L  $\epsilon$ -聚赖氨酸喷施以及 1  $\mu$ L/L 1-MCP 处理)后置于气调保鲜箱中, 于 -0.5 °C 冰温库贮藏, 研究不同处理对葡萄感官和营养指标的影响, 并通过电子鼻和顶空固相微萃取结合气相色谱-质谱联用技术对葡萄挥发性成分进行分析。结果表明, 与对照(CK)相比, 3 个处理组均可在一定程度上延缓葡萄果实贮藏品质的下降, 其中处理 3(气调元件保鲜箱+复配保鲜剂+1-MCP)箱内气体环境更有利于抑制葡萄果实的呼吸作用, 贮藏 90 d 时, 果实腐烂率、落粒率和失重率分别为 6.54%、1.70% 和 0.30%, 均保持在较低水平, 且较好地抑制了果皮  $L^*$  值、果实硬度、Vc、可溶性固形物和可滴定酸含量的下降。挥发性成分分析结果表明, 贮藏过程中 3 组处理葡萄果实风味成分变化较大, 处理 3 更有利于葡萄果实香气成分的释放和维持。综上所述, 处理 3 可有效延缓“阳光玫瑰”葡萄果实成熟衰老, 保鲜效果最好。

**关键词:** 阳光玫瑰葡萄; 气调元件; 复配保鲜剂; 贮藏品质; 挥发性成分

文章编号: 1673-9078(2024)04-121-132

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.4.0226

## Combination of Antibacterial Intervention and a Micro-environmental Modified Atmosphere for the Maintenance of Grape Storage Quality after Harvest

LI Jinjin<sup>1</sup>, LI Chunyuan<sup>2</sup>, GU Baiyu<sup>3</sup>, JIA Xiaoyu<sup>2</sup>, WU Di<sup>4,5</sup>, ZHANG Peng<sup>2</sup>, LI Jiangkuo<sup>2\*</sup>, LUO Zheng<sup>6</sup>

(1. College of Health Industry, Anshan Normal University, Anshan 114016, China)

(2. Institute of Agricultural Products Preservation and Processing Technology, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Key Laboratory of Storage of Agricultural Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products (Tianjin), Tianjin 300384, China)

引文格式:

李金金, 李春媛, 谷佰宇, 等. 抗菌干预结合微环境气调维持葡萄采后贮藏品质, 2024, 40(4): 121-132.

LI Jinjin, LI Chunyuan, GU Baiyu, et al. Combination of antibacterial intervention and a micro-environmental modified atmosphere for the maintenance of grape storage quality after harvest [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(4): 121-132.

收稿日期: 2023-02-27

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFD1600504); 农业农村村部农产品贮藏保鲜重点实验室开放基金(kf2022001); 兵团重点领域科技攻关项目(2019AB024)

作者简介: 李金金(1980-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 果蔬营养, E-mail: 1102619627@qq.com

通讯作者: 李江阔(1974-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 果蔬保鲜, E-mail: lijkuo@sina.com

(3. School of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

(4. College of Agriculture & Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)(5. Zhejiang University Zhongyuan Institute, Zhengzhou 450000, China)(6. Beijing Spring Yuchun Trading Co. Ltd., Beijing 101299, China)

**Abstract:** To investigate the effects of antibacterial intervention combined with a micro-environmental modified atmosphere on grape preservation, 'Sunshine rose' grapes were used as the test material. After anti-bacterial intervention (0.8 g/L natamycin and 1.0 g/L  $\epsilon$ -polylysine spray and 1  $\mu$ L/L 1-MCP), the grapes were placed in a micro-environmental modified atmosphere box and stored in a  $(-0.5 \pm 0.3)^\circ\text{C}$  cold storage room. The effects of different treatment conditions on the sensory and nutritional indices of grapes were investigated, and the volatile components of grapes were analyzed using electronic nose and headspace solid-phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that, compared with the control group (CK), the three treatment groups delayed the decline in the storage quality of grapes to a certain extent. Among them, treatment 3 (micro-environmental modified atmosphere box+compound preservatives+1-MCP) created a gas environment more conducive to inhibiting the respiration of grapes. After 90 days of storage, the fruit decay rate, drop rate, and weight loss rate were 6.54%, 1.70%, and 0.30%, respectively; they were maintained at a relatively low level. This effectively inhibited the decrease in the  $L^*$  value, fruit hardness, Vc, and soluble solid and titratable acid contents. The analysis of the volatile components showed that the flavor components of grapes in the three groups changed markedly during storage, and treatment 3 was more beneficial to the release and maintenance of aromatic components of grapes. In conclusion, treatment 3 effectively delayed the ripening and senescence of 'Sunshine Rose' grapes and had the best preservation effect.

**Key words:** 'Sunshine rose' grape; modified atmospheric elements; compound preservative; storage quality; volatile components

葡萄作为一种浆果，富含糖类、有机酸、蛋白质及维生素等多种营养成分，深受人们的喜爱<sup>[1]</sup>。葡萄在采收及运输过程中易受机械损伤，不适宜的运输和贮藏环境也易导致葡萄果实受病菌侵染和生理代谢失调，出现落粒、腐烂变质等问题，影响葡萄的贮藏品质和食用价值，造成一定的经济损失<sup>[2-4]</sup>。因此，探求葡萄果实采后合理的贮藏方式对保持葡萄品质尤为重要。

气调技术是一种适用于果蔬产品的快速、高效的保鲜方式，可有效降低果蔬贮运过程中的损失，保持果蔬的新鲜度和营养成分，延长果蔬的货架期<sup>[5]</sup>。气调技术包括自发气调包装 (Modified Atmosphere Packaging, MAP) 和人工气调贮藏 (Controlled Atmosphere Storage, CAS)。目前传统的气调贮藏技术需要建造大型的气调库，设备成本高，难以大规模推广应用，而气调箱制造成本较低，操作简便，能够灵活搬运，可应用于果蔬的整个物流环节<sup>[6,7]</sup>。李江阔等<sup>[8]</sup>设计了一种便携式多功能果蔬贮运微环境气调保鲜箱，可应用于果蔬贮藏、运输和销售的各个环节，满足易腐烂的小个头果蔬在不同阶段的贮藏环境需要。张平等<sup>[9]</sup>采用气调箱结合不同调气嘴对蓝莓果实进行贮藏试验，结果表明，

4种调气嘴均能有效调控箱内气体成分，降低贮藏期间果实的腐烂率和软果率，贮藏75 d后蓝莓好果率可达到91.23%，有效地延长了蓝莓果实的保鲜期。

纳他霉素 (Natamycin) 和  $\epsilon$ -聚赖氨酸 ( $\epsilon$ -Polylysine) 是目前国际范围内获得批准且被广泛使用的微生物来源的天然食品防腐剂。纳他霉素是一种多烯类抗菌素，具有安全性高，有效地抑制霉菌和酵母菌生长的特点<sup>[10]</sup>。 $\epsilon$ -聚赖氨酸具有抑菌谱广、水溶性强、安全性高、耐高温和稳定性好等优良特征，已成为天然食品防腐剂替代化学食品防腐剂的关键品种<sup>[11-15]</sup>。乙烯是促进果实成熟与衰老的重要因子，1-甲基环丙烯 (1-Methylcyclopropene, 1-MCP) 作为乙烯受体抑制剂被广泛应用于呼吸跃变型果实的保鲜，可有效延缓其后熟软化和腐烂，延长果实保鲜期<sup>[16]</sup>。

大量试验研究表明，与果蔬单一保鲜技术相比，结合多种保鲜技术的复合保鲜方法可更有效地抑制果蔬贮运过程中细菌和微生物的生长以及生理代谢的失调，更有利于保持果蔬的品质，延长果蔬的保鲜期<sup>[17]</sup>。目前，纳他霉素与  $\epsilon$ -聚赖氨酸结合 1-MCP 处理对“阳光玫瑰”葡萄果实采后贮藏品质影响的研究未见报道。本文在前期试验的基础上，采用优

选的气调元件保鲜箱与复配保鲜剂（纳他霉素和 $\epsilon$ -聚赖氨酸）和1-MCP相结合对采后葡萄果实进行处理，通过分析其对葡萄果实腐烂率、落粒率、失重率、 $L^*$ 值、硬度、可溶性固形物（Total Soluble Solids, TSS）、Vc、可滴定酸（Titratable Acidity, TA）含量及风味物质等指标的影响来探究其适用性，以期开发新型、高效、经济的葡萄采后贮藏方法提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

“阳光玫瑰”葡萄，采自河北省石家庄市，采收当日运至实验室，挑选大小均匀、果粒饱满、无落粒、无机械损伤及病虫害的葡萄果实进行相应处理。便携式塑料气调箱（规格：0.28 m×0.22 m×0.12 m），箱体前、后2个面各设有3个通风口（2 cm×1.5 cm，气孔间距1.5 cm），可配备不同型号的气调元件（由食品级聚丙烯制成的功能性透气膜结合单向阀等制作而成），塑料气调箱内置2个手提篮（规格为：0.20 m×0.12 m×0.11 m），宁波国嘉农产品保鲜包装技术有限公司。1-MCP便携包，国家农产品保鲜工程技术研究中心（天津）；纳他霉素、 $\epsilon$ -聚赖氨酸，浙江新银象生物工程有限公司。

### 1.2 仪器与设备

精准温控库（冰温库），国家农产品保鲜工程技术研究中心（天津）；Check Piont II型残氧仪，丹麦 Dansensor 公司；TA.XT Plus型质构仪，英国 SMS 公司；PAL-1型手持折光仪，日本 ATAGO 公司；916 Ti-Touch型电位滴定仪，瑞士万通中国有限公司；CM-700 d型色差仪，日本柯尼卡美能达公司；Sigma 高速冷冻离心机，德国 SIGMA 公司；2010型气相色谱仪，日本岛津公司；DDS-307A型电导率仪，上海仪电科学仪器股份有限公司；Multiskan FC型酶标仪，Thermo Scientific 公司；PEN3型便携式电子鼻，德国 Airsense 公司；Trace DSQ MS型气相色谱-质谱联用仪，美国 Thermo 公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 试验方法

试验共设4组处理。对照（CK，不粘贴气调元件的保鲜箱处理）：将葡萄果实置于不粘贴气调元

件的保鲜箱中盖上盖子后于冰温库贮藏；处理1（气调元件保鲜箱处理）：将葡萄果实置于粘贴气调元件的保鲜箱中并盖上盖子，于冰温库贮藏；处理2（不粘贴气调元件的保鲜箱+复配保鲜剂+1-MCP处理）：采用0.8 g/L 纳他霉素+1.0 g/L  $\epsilon$ -聚赖氨酸复配保鲜剂对葡萄果实进行均匀喷洒处理，晾干至表面没有水分后，放置于粘贴气调元件的保鲜箱中，同时在箱内放入1袋1-MCP药包（1  $\mu$ L/L），然后盖上盖子，于冰温库贮藏，24 h后将气调元件撕下；处理3（气调元件保鲜箱+复配保鲜剂+1-MCP处理）：采用0.8 g/L 纳他霉素+1.0 g/L  $\epsilon$ -聚赖氨酸复配保鲜剂对葡萄果实进行均匀喷洒处理，晾干至表面没有水分后，放置于粘贴了气调元件的保鲜箱中，同时在箱内放入1袋1-MCP药包（1  $\mu$ L/L），然后盖好盖子，于冰温库贮藏。以上4组处理均在（-0.5±0.3）℃、相对湿度80%~85%的条件下进行，每个保鲜箱中有两个手提篮，每篮装果量约为（1200±50）g，每30 d测定1次相关指标，每处理重复3次。

#### 1.3.2 测定指标及方法

##### 1.3.2.1 保鲜箱内气体含量

使用 Check Piont II型残氧仪测量各气调箱内的顶空气体含量。

##### 1.3.2.2 腐烂率

果实出现病斑、霉变、汁液外溢、裂果等均计为腐烂果实。将腐烂果实取下，记录腐烂果实质量及整穗总质量，腐烂率计算公式为：

$$A = \frac{m_1}{m} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

$A$ ——腐烂率，%；

$m_1$ ——腐烂果实质量，g；

$m$ ——果实总质量，g。

##### 1.3.2.3 落粒率

以固定力度对整穗葡萄进行抖落试验，记录抖落果实质量及整穗葡萄总质量，落粒率计算公式为：

$$B = \frac{m_2}{m} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$B$ ——落粒率，%；

$m_2$ ——落粒果实质量，g；

$m$ ——果实总质量，g。

1.3.2.4 失重率

采用电子称进行称量，果实失重率计算公式为：

$$C = \frac{m_0 - m}{m_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

C——失重率，%；

$m_0$ ——初始质量，g；

$m$ ——测定当天质量，g。

1.3.2.5 色差

参照王丽琼等<sup>[18]</sup>的方法，每个处理剪取 10 粒果粒，用色差仪测量果粒两侧颜色。

1.3.2.6 Vc、可溶性固形物、可滴定酸含量

Vc 含量：参照李军<sup>[19]</sup>的方法测定。TSS 含量：在整串葡萄的不同位置均匀选取 10 粒果实进行打浆，用 4 层纱布过滤，取滤液置于折光仪上测定，试验重复 6 次，结果以质量分数 (%) 表示。可滴定酸含量：参照李文生等<sup>[20]</sup>的方法，用 NaOH 溶液电位滴定仪测定，试验重复 3 次，结果以质量分数 (%) 表示，并进行空白试验。

1.3.2.7 硬度

随机选取整串葡萄不同部位的 10 个果粒（带皮）进行测定，结果取平均值。质构仪参数：P/2 探头直径 2 mm，测试速度 5.00 mm/s，测定深度 10.00 mm，最小感知力 5.0 g。

1.3.2.8 电子鼻分析

参考薛友林等<sup>[21]</sup>的方法，每个处理取 110 g 葡萄，重复测定 6 次。电子鼻传感器阵列及其性能如表 1 所示。

表 1 电子鼻传感器阵列及其性能

Table 1 Electronic nose sensor array and its performance

序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	对芳香型物质敏感
2	W5S	对氮氧化物敏感
3	W3C	对氨类、芳香型物质敏感
4	W6S	对氢气敏感
5	W5C	对烷烃和芳香型物质敏感
6	W1S	对甲烷敏感
7	W1W	对硫化物和萜烯类敏感
8	W2S	对醇类和部分芳香型物质敏感
9	W2W	对芳香成分和有机硫化物敏感
10	W3S	对烷烃敏感

1.3.2.9 香气成分分析

参照张鹏等<sup>[22]</sup>的方法，采用顶空固相微萃取与气相色谱-质谱联用 (Headspace Solid-Phase Microextraction Gas-Chromatographic Mass-Spectrometric, HS-SPME-GC-MS) 技术测定葡萄果实的香气成分相对含量。

1.3.3 数据分析

采用 Excel 2010 进行数据统计分析和作图，采用 DPS 7.5 进行显著性分析，采用 SPSS 21 进行主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA)，挥发性物质查询 CAS 码，使用电子鼻 Winmuster 分析软件对葡萄果实风味物质进行分析。

2 结果与分析

2.1 抗菌干预结合微环境气调对保鲜箱内气体成分含量的影响

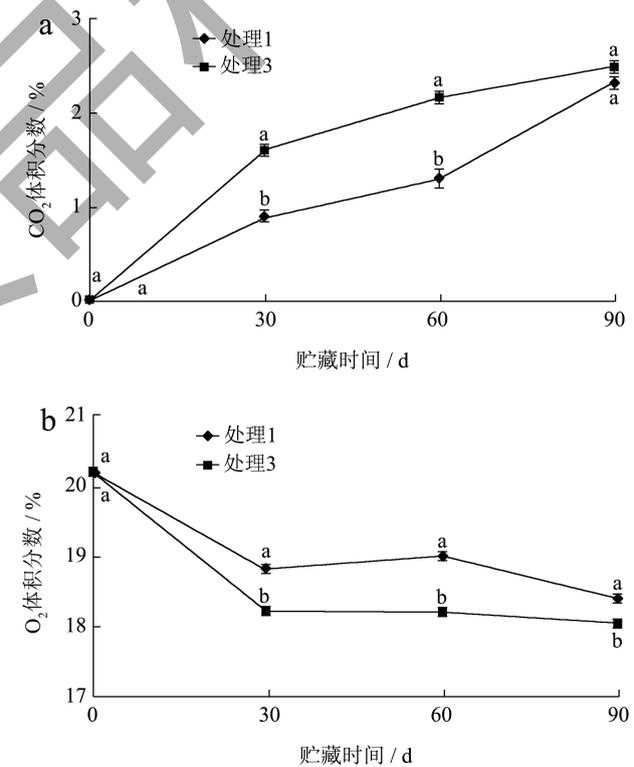


图 1 气调保鲜箱内气体含量的变化

Fig.1 Change of gas content in the modified atmosphere box

注：同一贮藏时间不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )，以下图同。

贮藏微环境气体成分含量是影响果蔬贮藏效果的重要因素之一<sup>[23]</sup>。本试验中 CK 和处理 2 为不粘贴气调元件的保鲜箱处理，箱内 O<sub>2</sub> 体积分

数约 20.90%，CO<sub>2</sub> 体积分数约 0.03%。由图 1 可知，处理 1 和处理 3 箱内 O<sub>2</sub> 体积分数变化范围分别为 18.40%~19.00% 和 18.03%~18.20%，且随着贮藏时间的延长 O<sub>2</sub> 体积分数逐渐减少，贮藏 30~90 d 时，处理 3 的箱内 O<sub>2</sub> 体积分数始终显著低于处理 1 ( $P<0.05$ )；处理 1 和处理 3 箱内 CO<sub>2</sub> 体积分数变化范围分别为 0.90%~2.30% 和 1.60%~2.47%，且随着贮藏时间的延长呈逐渐上升的变化趋势，处理 3 始终高于处理 1。表明抗菌干预结合微环境气调保鲜箱处理可以通过调节箱内气体成分含量，更好地抑制果实生理代谢，减少葡萄果实生命活动。

## 2.2 抗菌干预结合微环境气调保鲜箱对葡萄贮藏期间感官品质的影响

由图 2 可以看出，贮藏 60 d 时，CK 组葡萄果实表面已经开始出现腐烂现象，贮藏 90 d 时 CK 组葡萄果实腐烂严重，处理 1、2 组均有 10% 左右的葡萄果实发生腐烂，而处理 3 组葡萄果实保持了较好的果粒状态，外观品质最好。

如图 3 可见，贮藏 0~30 d 时，各处理组葡萄果实均未出现腐烂现象，之后腐烂率均呈逐渐上升的变化趋势。处理 1、3 组在贮藏 60 d 时腐烂率

显著低于 CK ( $P<0.05$ )，而处理 2 对葡萄腐烂率无明显抑制效果。贮藏 90 d 时，CK 组腐烂率达到 27.73% (无商品价值)，处理 1、处理 2 和处理 3 葡萄果实腐烂率分别为 9.65%、11.96% 和 6.54%，均显著低于对照组 ( $P<0.05$ )。这可能是由于微环境气调或抗菌干预均对葡萄果实的生理活动及微生物起到一定的抑制作用，进而减缓葡萄果实在贮藏过程中的腐烂变质现象，其中处理 3 对葡萄果实腐烂的抑制效果最佳，腐烂率显著低于其他 3 组处理 ( $P<0.05$ )。

由图 4 可见，贮藏 0~30 d 时，各处理均未出现落粒现象。30 d 后各组葡萄果实落粒率均呈上升的变化趋势。贮藏 60 d 时，对照组果实落粒率为 4.23%，与处理 2 差异不显著，而处理 1 和处理 3 落粒率分别为 1.67% 和 1.16%，显著低于对照和处理 2 ( $P<0.05$ )。贮藏 90 d 时，CK、处理 1、处理 2 和处理 3 葡萄的落粒率分别为 13.89%、1.78%、9.59% 和 1.70%，说明微环境气调及其结合抗菌干预处理均可显著抑制葡萄贮藏过程中落粒率的上升。张鹏等<sup>[24]</sup>对无核寒香蜜葡萄贮运品质的研究表明，箱式气调结合 1 000 mg/L 纳他霉素和 500 mg/L 的  $\epsilon$ -聚赖氨酸处理均可显著抑制葡萄果实的落粒率。

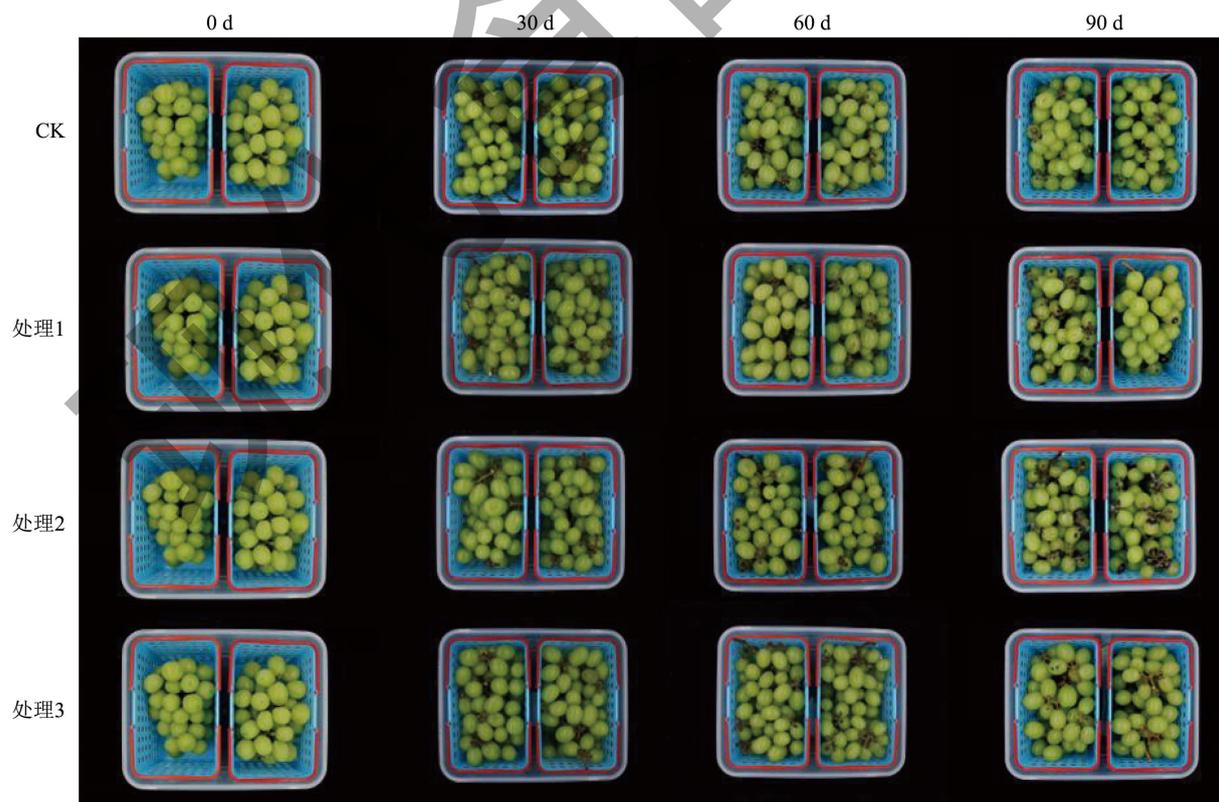


图 2 不同处理葡萄果实感官照片

Fig.2 Sensory photos of grape fruits with different treatments

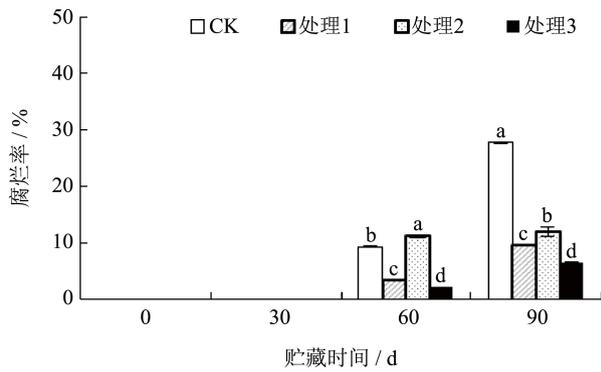


图 3 不同处理葡萄果实腐烂率的比较

Fig.3 Comparison of decay rate of grape fruits with different treatments

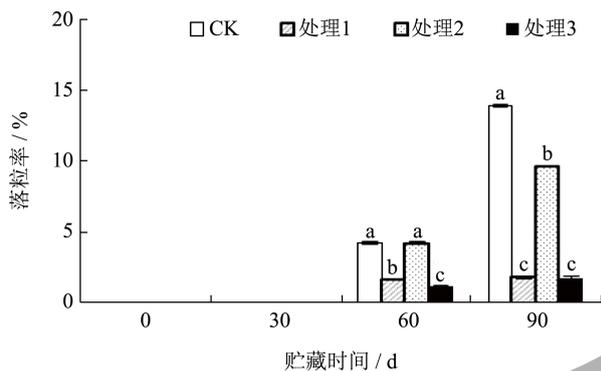


图 4 不同处理葡萄果实落粒率的比较

Fig.4 Comparison of grain drop rate of grape fruits with different treatments

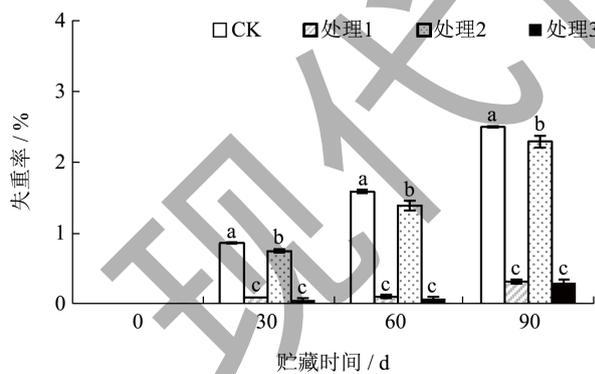


图 5 不同处理葡萄果实失重率的比较

Fig.5 Comparison of weight loss rate of grape fruits with different treatments

由图 5 可见，不同处理组葡萄果实的失重率呈逐渐上升的变化趋势。贮藏 30~90 d 期间，与对照组相比，其他 3 组处理均可显著抑制葡萄失重率的上升 ( $P < 0.05$ )，且处理 1 和处理 3 的失重率显著低于处理 2 ( $P < 0.05$ )。贮藏 90 d 时，CK、处理 1、

处理 2 和处理 3 葡萄的失重率分别为 2.50%、0.31%、2.29% 和 0.30%，可见微环境气调及其结合抗菌干预处理可显著抑制葡萄果实贮藏过程中水分含量的减少和干物质的消耗，使葡萄果实失重率始终处于较低水平。

果皮  $L^*$  值可以体现葡萄果皮的明暗程度， $L^*$  值越大表示亮度越高。由图 6 可知，整个贮藏期间各处理组葡萄果皮的  $L^*$  值整体呈下降的变化趋势，这可能是由于随着贮藏时间的延长，果实逐渐失水，果皮皱缩，表面失去光泽，或果皮发生褐变所致。贮藏 90 d 时，处理 1 和处理 3 的葡萄果皮  $L^*$  值显著高于 CK ( $P < 0.05$ )，可更好地维持贮藏期间葡萄果皮亮度。

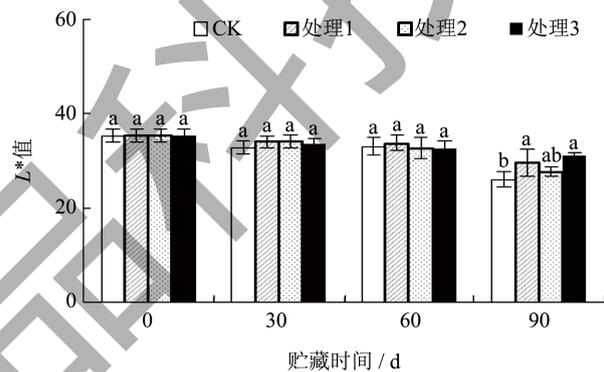


图 6 不同处理葡萄果实  $L^*$  值的比较

Fig.6 Comparison of  $L^*$  value of grape fruits with different treatments

### 2.3 抗菌干预结合微环境气调保鲜箱对葡萄贮藏期间硬度的影响

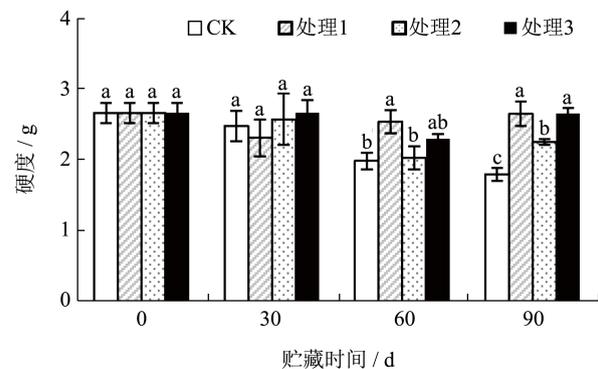


图 7 不同处理葡萄果实硬度的比较

Fig.7 Comparison of hardness of grape fruits with different treatments

葡萄果实在成熟衰老过程中其硬度逐渐降低，进而影响葡萄的口感和品质，果实硬度的变化可反

映其衰败程度<sup>[25]</sup>。由图7可知,贮藏期间各组葡萄果实的硬度整体呈下降的变化趋势。贮藏90 d时,三个处理组果实硬度,均显著高于CK ( $P<0.05$ ),且处理1和处理3果实硬度显著高于处理2,说明微环境气调及其结合抗菌干预处理更有利于维持果实组织细胞的活性和细胞壁的完整性,有效抑制葡萄果实在贮藏过程中的软化现象,这与张鹏等<sup>[24]</sup>的研究结果一致。

#### 2.4 抗菌干预结合微环境气调保鲜箱对葡萄贮藏期间营养指标的影响

Vc是葡萄果实的重要营养成分之一,也是体内重要的抗氧化物质<sup>[26]</sup>。由图8可见,各组葡萄果实Vc含量整体呈下降的变化趋势,与史星雲等<sup>[27]</sup>的研究结果相似。贮藏90 d时,CK、处理1、处理2和处理3葡萄果实的Vc含量分别为:5.32、6.99、5.74和7.66 mg/100 g,处理1和处理3葡萄果实Vc含量显著高于CK和处理2 ( $P<0.05$ ),可显著抑制葡萄果实Vc含量的流失,且处理3的抑制效果最好。

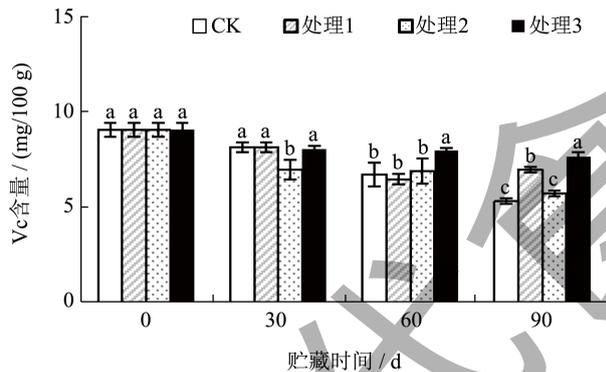


图8 不同处理葡萄果实Vc含量的比较

Fig.8 Comparison of Vc content of grape fruits with different treatments

由图9可见,各组葡萄果实的TSS含量均呈先上升后下降的变化趋势,且在贮藏60 d时达到峰值,这可能是由于贮藏前期果实未完全成熟,贮藏过程中其内部淀粉等有机物质仍可转化为还原糖等可溶性物质,而贮藏后期果实已完全成熟,果实TSS由于呼吸作用被不断消耗。贮藏90 d时,三个处理组果实的可溶性固形物含量均显著高于对照组 ( $P<0.05$ )。其中处理3果实的可溶性固形物含量最高,且整个贮藏期间处理3果实的TSS含量变化幅度较小,说明微环境气调结合抗菌干预处理可以延缓果实代谢速率和内部成分变化,且可在长期贮藏时使葡萄果实TSS含量维持在一个较高的水平。

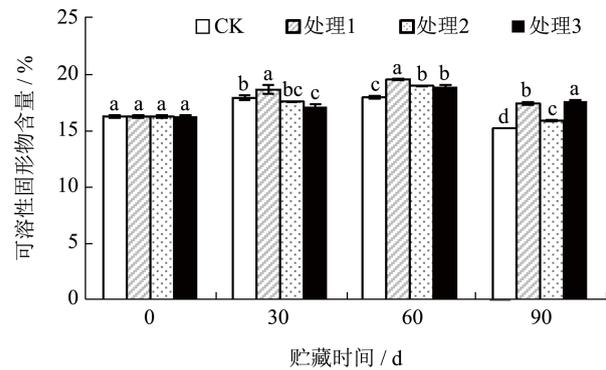


图9 不同处理葡萄果实TSS含量的比较

Fig.9 Comparison of TSS content of grape fruits with different treatments

可滴定酸含量是影响葡萄果实贮藏期间风味品质的重要指标之一<sup>[28]</sup>。果实在贮藏期间受呼吸作用的影响,有机酸作为底物被消耗,含量逐渐下降。由图10可知,各组葡萄果实的TA含量整体呈下降的变化趋势。贮藏90 d时,与对照组相比,3个处理组均对果实TA含量的降低有显著抑制效果 ( $P<0.05$ ),且处理1和处理3的效果较好。

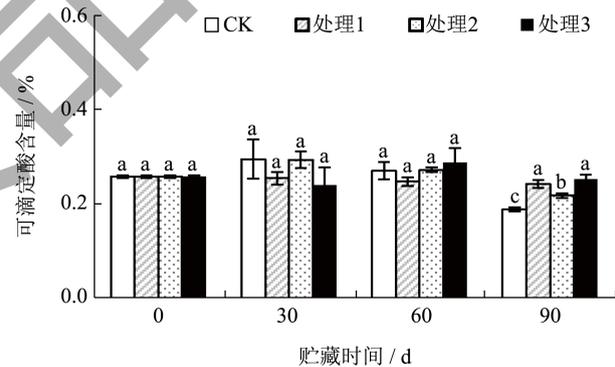


图10 不同处理葡萄果实可滴定酸含量的比较

Fig.10 Comparison of TA content of grape fruits with different treatments

#### 2.5 电子鼻对不同处理葡萄贮藏期间挥发性成分的判别

如图11所示,将4种处理的电子鼻数据进行主成分分析(PCA),2个主成分的累计贡献率为99.44%,表明已经能基本代表样本的主要信息特征。各组葡萄果实不同贮藏时间的二维散点分布有明显的分界,但是各处理组之间仍有部分贮藏时间存在重叠交叉现象,不能明显看出差异。可见,主成分分析方法并不能很好地区分贮藏过程中不同处理的葡萄。此外,4种处理在贮藏30 d时第一主成分位移均处于较高数值而后下降,可见贮藏过程中葡

萄主要挥发性成分的变化拐点为 30 d。贮藏 90 d 时，处理 2 和处理 3 第一主成分位移最大，说明处理 2 和处理 3 在贮藏后期对葡萄主要挥发性成分的释放具有一定的抑制效果。

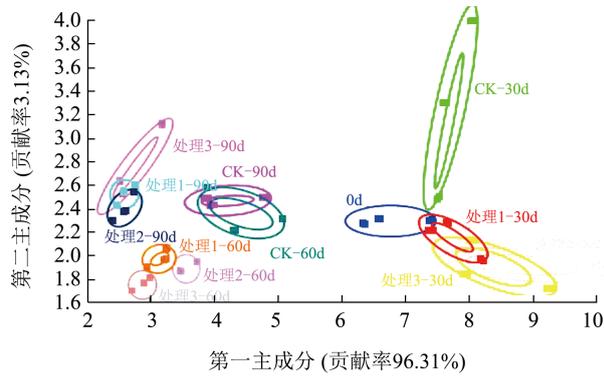


图 11 贮藏期间不同处理葡萄挥发性成分的主成分分析

Fig.11 Principal component analysis of volatile components in grapes under different treatments during storage

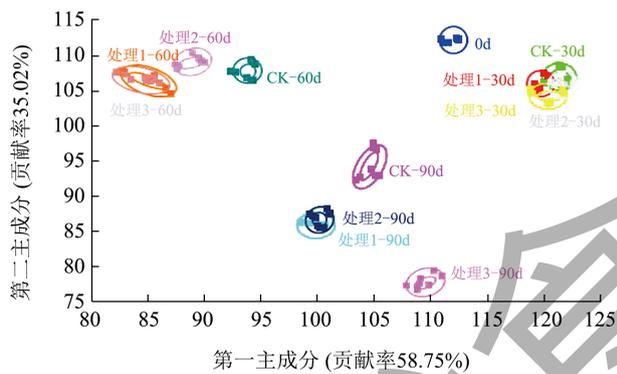


图 12 贮藏期间不同处理葡萄挥发性成分的线性判别分析

Fig.12 Linear discriminant analysis of volatile components in grapes under different treatments during storage

线性判别分析 (Linear Discriminant Analysis, LDA) 方法较 PCA 相比，可以明显区分不同贮藏时期葡萄的挥发性成分。由图 12 可见，不同处理葡萄果实第一主成分 (LD1) 和第二主成分 (LD2) 贡献率分别为 58.75% 和 35.02%，累计贡献率为 93.77%，表明 2 个主成分基本可以代表葡萄的主要信息特征。从图中椭圆分布情况可知，贮藏 30 d 时，对照组与 3 个处理组均无有效区分，说明各处理组对葡萄贮藏前期挥发性成分无明显的影响；贮藏 60 d 时，3 个处理组与对照组能有效地区分，并且均与 0 d 时距离最远，说明此时 3 组处理葡萄果实风味成分变化较大；贮藏 90 d 时，3 个处理组与对照组区域完全分离，且距离较远，说明贮藏后期 3 个处理组的葡萄挥发性香气成分较对照有明显区

别。综上所述，各处理对贮藏期间葡萄的挥发性成分有明显影响，具体变化还需要进一步借助 GC-MS 联用技术进行分析。

载荷分析与 PCA 分析基于相同的算法，可通过载荷分析确认各传感器对样品的相对重要性，PC1 特征值越大，对样品的区分越有效，传感器分布越靠近原点，对样品的区分作用越小<sup>[29]</sup>。由图 13 可见，载荷分析的总贡献率为 99.44%，说明分析结果可靠，基本代表了样品的全部特征信息。W5S、W1S、W2S 和 W1W 这 4 个传感器分布远离原点，其他传感器与原点的距离较近，并且在位置上存在重叠，表明传感器在区分不同处理葡萄果实挥发性香气成分上有差别，W5S、W1S、W2S 和 W1W 这 4 个传感器在不同处理葡萄果实挥发性香气成分上具有明显的区分作用，其中 W5S 对应的 PC1 特征值最大，为用于区分葡萄挥发性香气成分的主要传感器。以上结果说明，不同处理组葡萄果实挥发性香气成分的差异主要由电子鼻中的 W5S、W1S、W2S 和 W1W 传感器反映。

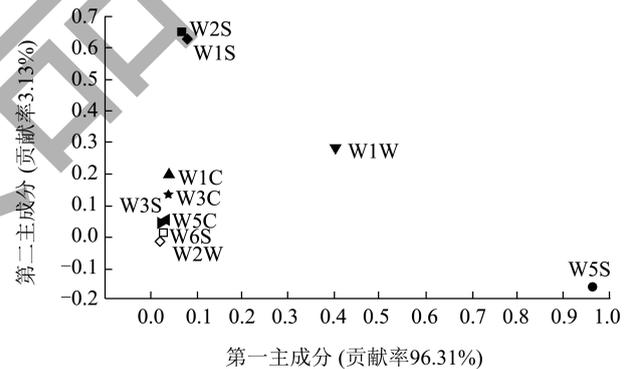


图 13 贮藏期间不同处理葡萄挥发性成分的载荷分析

Fig.13 Load analysis of volatile components in grapes under different treatments during storage

## 2.6 不同处理葡萄果实贮藏期间香气成分分析

由表 2 可知，不同处理葡萄果实贮藏过程中共提取出 5 类 (13~19 种) 挥发性成分，其中醛类 6~8 种，萜烯类 1~6 种，醇类 1~3 种，酯类 0~3 种，其他类 2~4 种。贮藏 0 d 时，所有处理有效挥发性成分均为 17 种；贮藏 60 d 时，果实逐渐成熟，各组葡萄果实挥发性成分达到最多，CK、处理 1、处理 2 和处理 3 有效挥发性成分分别为 17、19、18 和 18 种；贮藏 90 d 时，由于果实逐渐从成熟转向衰老，挥发性成分逐渐减少。各组葡萄果实挥发性成分相对含量变化见表 3。

表 2 不同处理葡萄果实贮藏过程中挥发性物质种类的变化

Table 2 Changes of volatile substances in different treatments of grapes during storage

种类	贮藏 0 d				贮藏 30 d				贮藏 60 d				贮藏 90 d			
	CK	处理 1	处理 2	处理 3	CK	处理 1	处理 2	处理 3	CK	处理 1	处理 2	处理 3	CK	处理 1	处理 2	处理 3
醛类	6	6	6	6	7	8	6	7	8	7	8	8	7	7	6	6
萜烯类	3	3	3	3	5	5	4	5	5	6	4	4	2	2	3	1
醇类	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
酯类	2	2	2	2	0	0	0	1	1	1	2	2	3	3	3	3
其他类	3	3	3	3	2	2	2	2	2	4	3	3	2	2	2	2
合计	17	17	17	17	15	16	13	16	17	19	18	18	15	15	15	13

表 3 葡萄贮藏过程中挥发性成分相对含量变化

Table 3 Changes of relative contents of volatile components in grapes during storage (%)

编号	中文名	贮藏 0 d				贮藏 30 d				贮藏 60 d				贮藏 90 d			
		CK	处理 1	处理 2	处理 3	CK	处理 1	处理 2	处理 3	CK	处理 1	处理 2	处理 3	CK	处理 1	处理 2	处理 3
1	己醛	25.40	25.40	25.40	25.40	12.13	15.16	16.63	16.16	13.44	18.11	14.37	17.62	13.27	17.95	15.57	15.46
2	2-己烯醛	37.98	37.98	37.98	37.98	57.87	54.60	60.69	56.50	54.32	46.40	49.72	48.76	44.58	37.34	33.21	28.09
3	(E,E)-2,4-己二烯醛	3.96	3.96	3.96	3.96	2.28	2.86	3.10	3.69	2.15	2.41	2.78	3.12	2.08	3.22	2.85	3.37
4	苯乙醛	0.20	0.20	0.20	0.20	0.28	0.24	0.24	0.32	0.37	0.60	0.38	0.66	0.13	0.22	0.19	0.16
5	正癸醛	—	—	—	—	—	0.15	0.17	0.19	0.28	0.23	0.20	0.20	0.17	0.18	0.15	0.16
醛类	6	柠檬醛	—	—	—	—	0.13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	(E)-4-氧代己-2-烯醛	4.35	4.35	4.35	4.35	—	1.90	—	—	1.19	—	1.66	1.47	1.15	2.65	1.47	2.92
8	壬醛	0.17	0.17	0.17	0.17	0.33	0.22	0.19	0.23	0.32	0.35	0.27	0.27	0.24	—	—	—
9	2,4-二甲基苯甲醛	—	—	—	—	—	—	—	0.23	—	—	—	—	—	0.16	—	—
10	2-甲基-4-戊醛	—	—	—	—	8.59	7.51	—	—	6.83	6.26	5.66	5.26	—	—	—	—
	小计	72.06	72.06	72.06	72.06	81.61	82.64	81.02	77.32	78.90	74.36	75.04	77.36	61.62	61.72	53.44	50.16
1	芳樟醇	6.29	6.29	6.29	6.29	2.58	2.48	2.11	3.49	0.80	5.96	5.45	4.03	0.42	0.51	1.90	0.79
2	(+)- $\alpha$ -松油醇	—	—	—	—	0.19	0.21	0.17	0.33	—	0.43	0.58	0.39	—	—	0.25	—
3	橙花醇	—	—	—	—	—	—	—	—	0.21	—	—	—	—	—	—	—
萜烯类	4	香茅醇	—	—	—	—	—	0.47	—	1.16	—	—	—	—	—	—	—
5	香叶醇	—	—	—	—	0.49	0.37	0.25	0.18	0.82	0.3	0.35	0.23	0.17	0.23	—	—
6	$\alpha$ -蒎烯	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.18	0.19	—	—	—	—	—
7	罗勒烯	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.22	0.16	0.22	0.21	0.42	—	—	—	—	0.16	—
8	蒎品油烯	0.14	0.14	0.14	0.14	0.17	—	—	0.16	—	0.20	—	0.17	—	—	—	—
	小计	6.63	6.63	6.63	6.63	3.63	3.75	2.69	4.38	3.20	7.49	6.57	4.82	0.59	0.74	2.31	0.79

续表 3

编号	中文名	贮藏 0 d				贮藏 30 d				贮藏 60 d				贮藏 90 d				
		CK	处理 1	处理 2	处理 3	CK	处理 1	处理 2	处理 3	CK	处理 1	处理 2	处理 3	CK	处理 1	处理 2	处理 3	
醇类	1	2-丙基-1-戊醇	—	—	—	—	1.79	1.67	—	—	3.10	3.18	—	—	—	—	—	
	2	2-乙基己醇	3.32	3.32	3.32	3.32	1.73	—	—	1.82	2.24	—	—	3.35	1.80	2.06	2.12	2.46
	3	苯乙醇	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	$\alpha,\alpha$ -4-三甲基环己基甲醇	0.14	0.14	0.14	0.14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5	(R)- $\alpha,\alpha$ -4-三甲基-3-环己烯-1-基甲醇	0.14	0.14	0.14	0.14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	小计	3.60	3.60	3.60	3.60	1.73	1.79	1.67	1.82	2.24	3.10	3.18	3.35	1.80	2.06	2.12	2.46	
酯类	1	2,2,4-三甲基戊二醇异丁酯	0.26	0.26	0.26	0.26	—	—	—	—	—	0.38	0.23	0.73	0.82	1.02	1.00	
	2	邻苯二甲酸二丁酯	0.27	0.27	0.27	0.27	—	—	—	0.42	1.95	1.90	1.22	1.28	0.83	1.48	1.11	0.98
	3	2-甲基-丙酸 3-羟基-2,2,4-三甲基戊基酯	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24.83	19.87	28.19	31.96
		小计	0.53	0.53	0.53	0.53	0	0	0	0.42	1.95	1.90	1.60	1.51	26.39	22.17	30.32	33.94
其他	1	2,4-二叔丁基酚	3.71	3.71	3.71	3.71	0.60	0.80	0.47	0.72	1.57	0.98	1.04	0.79	0.34	0.69	0.49	0.53
	2	甲氧基苯基酚	1.43	1.43	1.43	1.43	2.06	2.25	2.60	2.75	2.55	2.51	2.23	2.39	1.09	1.73	1.51	1.31
	3	己酸	0.18	0.18	0.18	0.18	—	—	—	—	—	0.18	0.18	—	—	—	—	—
	4	香叶基丙酮	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.15	—	0.16	—	—	—	—
		小计	5.32	5.32	5.32	5.32	2.66	3.05	3.07	3.47	4.12	3.82	3.45	3.34	1.43	2.42	2.00	1.84
	总计	88.14	88.14	88.14	88.14	89.63	91.23	88.45	87.41	90.41	90.67	89.84	90.38	91.83	89.11	90.19	89.19	

注：表中“—”表示未检出。

由表 3 可见，葡萄的挥发性成分主要由醛类（相对含量：50.16%~82.64%）、萜烯类（相对含量：0.59%~7.49%）、醇类（相对含量：1.67%~3.60%）和酯类（相对含量：0~33.94%）组成，4 者之和在所有贮藏时期均大于 80%，为葡萄香气的主要构成成分。其中 2-己烯醛、己醛、芳樟醇、(E,E)-2,4-己二烯醛等挥发性香气成分相对含量较高，说明不同处理葡萄之间香气成分种类的差异主要体现在醛类和萜烯类上。贮藏期间，不同处理组葡萄果实中醛类物质相对含量总体呈先上升后下降的变化

趋势，在贮藏 30 d 时达到最高，贮藏 60 d 时醛类物质相对含量与贮藏 0 d 时最接近，之后继续下降。在高度稀释下，醛类物质呈现的新鲜植物和水果的香气更加清香<sup>[30]</sup>，如 2-己烯醛具有绿叶清香和果香、己醛呈绿色蔬菜气味，(E,E)-2,4-己二烯醛具有橄榄油香气<sup>[22]</sup>。处理 3 葡萄果实醛类物质相对含量在整个贮藏期间变化幅度较小，且贮藏 90 d 时相对含量最低，说明该处理可有效抑制醛类物质的释放，更有利于保持葡萄中的植物类气味。作为玫瑰香型葡萄品种，“阳光玫瑰”葡萄的关键呈香

物质为萜烯类物质,所检测出的主要萜烯类物质为具有玫瑰花香的芳樟醇。贮藏期间,CK组葡萄果实中芳樟醇相对含量呈下降趋势,玫瑰香味变淡,而3个处理组总体呈先下降后上升再下降的变化趋势,贮藏60d时芳樟醇相对含量上升至与贮藏0d时接近,其中处理2和处理3组葡萄果实贮藏90d时芳樟醇相对含量高于其他两组,说明抗菌干预及结合微环境气调处理有利于“阳光玫瑰”葡萄香气成分的释放和维持,可更好地保持葡萄果实的品质。

### 3 结论

本试验采用优选的气调元件保鲜箱与复配保鲜剂(0.8 g/L 纳他霉素+1.0 g/L  $\epsilon$ -聚赖氨酸)和1  $\mu$ L/L 1-MCP相结合对采后葡萄果实进行处理,结果表明,(-0.5 $\pm$ 0.3)  $^{\circ}$ C冰温贮藏过程中,处理3(气调元件保鲜箱+复配保鲜剂+1-MCP组)可显著降低保鲜箱内O<sub>2</sub>体积分数,并提高CO<sub>2</sub>体积分数,有利于抑制葡萄果实的呼吸作用,延缓果实成熟衰老。与CK相比,3个处理组均可在一定程度上延缓葡萄果实贮藏品质的下降,其中处理3可使葡萄果实的腐烂率、落粒率、失重率保持在较低的水平,较好地抑制了果皮L\*值、果实硬度、Vc、可溶性固形物和可滴定酸含量的下降。挥发性成分分析结果表明,贮藏过程中3个处理组葡萄果实风味成分变化较大。“阳光玫瑰”葡萄挥发性成分主要由醛类、萜烯类、醇类和酯类组成,相对含量较高的挥发性香气成分为2-己烯醛、己醛、芳樟醇、(E,E)-2,4-己二烯醛等。随着贮藏时间的延长,各处理葡萄果实香气组分均表现出醛类物质先上升后下降,萜烯类物质下降的规律,其中处理3可有效抑制醛类物质的释放和萜烯类物质相对含量的下降,更有利于“阳光玫瑰”葡萄贮藏期间香气成分的释放和维持。综上所述,气调元件保鲜箱+复配保鲜剂+1-MCP处理的“阳光玫瑰”葡萄在(-0.5 $\pm$ 0.3)  $^{\circ}$ C冰温条件下贮藏品质最好。

### 参考文献

- [1] 王阳,佟伟,张文江,等.植物提取物在葡萄保鲜中的应用研究进展[J].保鲜与加工,2022,22(4):116-120.
- [2] ZHANG Z Q, TIAN S P, ZHU Z, et al. Effects of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on ripening and resistance of jujube (*Zizyphus jujuba* cv. Huping) fruit against postharvest disease [J]. LWT Food Science and Technology, 2012, 45(1): 13-19.
- [3] QIN G Z, ZONG Y Y, CHEN Q L, et al. Inhibitory effect of boron against *Botrytis cinerea* on table grapes and its possible mechanisms of action [J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 138(1/2): 145-150.
- [4] 张雨萌,牛新湘,邹强,等.贝莱斯芽孢杆菌对采后葡萄果实贮藏品质的影响[J].保鲜与加工,2022,22(11):1-8.
- [5] 张鹏,朱文月,李江阔,等.微环境气体调控在果蔬保鲜中的研究进展[J].包装工程,2020,41(1):1-10.
- [6] 王宝刚,李文生,侯玉茹,等.甜樱桃物流及气调箱贮藏期间的品质变化[J].果树学报,2014,31(5):953-958.
- [7] 朱麟,凌建刚,康孟利,等.不同包装方式对兔眼蓝莓保鲜效果的影响[J].食品与发酵工业,2012,38(3):190-193.
- [8] 李江阔,唐海良,张鹏,等.便携式多功能果蔬贮运微环境气体调控保鲜箱:中国, CN201510165101.9[P].2015-06-24.
- [9] 张平,李江阔,张鹏,等.蓝莓塑料箱式气调保鲜技术研究[J].保鲜与加工,2010,10(3):9-11.
- [10] 陈方圆,戴久竣,徐家延,等.纳他霉素抑菌机制及在食品保鲜中的应用研究进展[J].食品科技,2021,46(9):47-51.
- [11] 张伟娜,李迎秋. $\epsilon$ -聚赖氨酸在食品中应用的进展[J].中国食品添加剂,2012,5:207-211.
- [12] 于雪骊,刘长江,杨玉红. $\epsilon$ -聚赖氨酸研究现状及应用前景[J].粮食与油脂,2006,9:43-45.
- [13] 夏文水.食品工艺学[M].北京:中国轻工业出版社,2010.
- [14] Hiraki J. Basic and applied studies on  $\epsilon$ -polylysine [J]. Antibacterial Antifungal Agents, 1995, 23(4): 349-354.
- [15] Shima S, Matsuoka H, Iwamoto T, et al. Antimicrobial action of epsilon-Poly-L-Lysine [J]. Journal of Antibiotics, 1984, 37(11): 1449-1455.
- [16] 赵倩兮.自发性气调包装与1-甲基环丙烯处理对‘阳丰’甜柿采后冷害的控制作用[D].咸阳:西北农林科技大学,2019.
- [17] 戴莹,王纪华,韩平,等.拮抗酵母菌复合保鲜技术在果蔬保鲜中的应用研究进展[J].食品安全质量检测学报, 2015,3:742-746.
- [18] 王丽琼,林少华,陈存坤,等.3种不同的保鲜方法对香椿贮藏品质的影响[J].食品研究与开发,2019,40(13):150-155.
- [19] 李军.钼蓝比色法测定还原型维生素C[J].食品科学, 2000,21(8):42-45.
- [20] 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.
- [21] 薛友林,董立超,张鹏,等.电子鼻结合GC-MS分析不同处理蓝莓货架期间果实的挥发性成分[J].食品工业科技, 2020,41(19):297-303,320.
- [22] 张鹏,袁兴铃,王利强,等.1-MCP处理对“阳光玫瑰”葡

- 萄货架品质的影响[J].包装工程,2021,42(7):19-27.
- [23] 刘莹,曹森,马超,等.自发气调包装对采后“十月红”桃质构性能的影响[J].江苏农业科学,2019,47(13):230-234.
- [24] 张鹏,刘振通,李江阔,等.气调结合生物保鲜剂对葡萄冷藏品质及电子鼻判别的影响[J].食品科技,2017,42(12):40-47.
- [25] 李珍,王宁,邓冰,等.冰温结合臭氧对销地红提葡萄保鲜效果研究[J].核农学报,2016,30(2):275-281.
- [26] CL L. Effect of ozone and storage temperature on postharvest diseases and physiology of carrots (*Daucus carota* L) [J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1994, 119(3): 563-567.
- [27] 史星雲,王莉,徐珊珊,等.外源褪黑素对葡萄常温贮藏品质和生理特性的影响[J].果树学报,2022,39(7):1271-1280.
- [28] 国崇文.1-MCP、生物保鲜剂结合PE包装对西兰花贮藏品质的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [29] 张鹏,刘振通,李江阔,等.不同气调元件对软枣猕猴桃冷藏期保鲜品质及电子鼻判别的影响[J].食品与发酵工业,2017,43(12):130-136.
- [30] 邓凤莹,梁世弦,陈彦蓓,等.3个鲜食葡萄冬果挥发性香气成分分析[J].南方农业学报,2020,51(5):1145-1151.