

# 氧化亚氮 (N<sub>2</sub>O) 熏蒸对木纳格葡萄贮藏品质的影响

许静<sup>1</sup>, 张磊<sup>1</sup>, 魏佳<sup>2</sup>, 张政<sup>2</sup>, 吴斌<sup>2,3</sup>, 李雪萍<sup>4</sup>

(1. 新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆乌鲁木齐 830052) (2. 新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所, 新疆乌鲁木齐 830091) (3. 新疆农产品质量安全实验室, 新疆乌鲁木齐 830091) (4. 华南农业大学园艺学院, 广东广州 510000)

**摘要:** 木纳格葡萄品质优良, 但采后果实易出现失重软化、落粒以及果梗褐变等问题。为了探究小分子气体氧化亚氮 (Nitrous oxide, N<sub>2</sub>O) 熏蒸对鲜食葡萄采后贮藏品质的影响。以新疆特色鲜食葡萄木纳格葡萄 (*Vitis vinifera* L. cv. Munage) 为试材, 采用 20、50 和 100 μL/L 的 N<sub>2</sub>O 对木纳格葡萄进行间歇熏蒸处理 (每 7 d), 在 (0±0.5) °C 的条件下贮藏 70 d。测定了贮藏过程中木纳格葡萄的腐烂率、落粒率、失重率、硬度、可滴定酸、可溶性固形物、电导率、抗坏血酸过氧化物酶 (Ascorbate peroxidase, APX) 以及过氧化物酶 (Peroxidase, POD) 的变化。结果表明: 50 μL/L 的 N<sub>2</sub>O 熏蒸能保持可溶性固形物、可滴定酸的含量; 有效抑制果实腐烂率、落粒率及相对电导率的上升, 降低过氧化物酶和抗坏血酸过氧化物酶的活性, 保持了较好的果实硬度, 说明 N<sub>2</sub>O 熏蒸能够延缓木纳格葡萄果实采后的衰老进程, 较好的维持木纳格葡萄的采后品质。

**关键词:** 木纳格葡萄; 氧化亚氮; 间歇熏蒸; 品质

文章编号: 1673-9078(2018)05-56-61

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.05.008

## Effects of N<sub>2</sub>O Fumigation on Postharvest Quality of Munage Grapes

XU Jing<sup>1</sup>, ZHANG Lei<sup>1</sup>, WEI Jia<sup>2</sup>, ZHANG Zheng<sup>2</sup>, WU Bin<sup>2,3</sup>, LI Xue-ping<sup>4</sup>

(1. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China) (2. Institute of Agro-Products Storage and Processing, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, China) (3. Xinjiang Laboratory of Agro-Products Quality and Safety, Urumqi 830091, China) (4. South China Agricultural University College of horticulture, Guangzhou 510000, China)

**Abstract:** Munage grapes were of good quality, but the postharvest grapes were prone to a series of problems such as weight loss, softening, grain dropping and fruit stem browning. In order to investigate the effects of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) fumigation on postharvest storage quality of Munage grapes, Xinjiang (*Vitis vinifera* L.) cv Munage grapes were fumigated in different concentration of N<sub>2</sub>O (20, 50 and 100 μL/L) every 7 days, thereafter stored in the cold room (0 ± 0.5 °C, 90~95% RH) for 70 d. The changes of decay rate, shattering rate, weight loss rate, hardness, titratable acid, soluble solids, conductivity, ascorbate peroxidase (APX) and peroxidase (POD) were measured during storage. The results showed that 50 μL/L of N<sub>2</sub>O fumigation could maintain the content of soluble solids and titratable acid and effectively inhibit the increase of decay rate, shattering rate and relative conductivity. In addition, N<sub>2</sub>O also decreased the activity of POD and APX, which significantly remained the hardness of grape. It demonstrated that N<sub>2</sub>O fumigation could delay senescence of the harvested fruit and could better maintain the postharvest quality of the Munage grapes.

**Key words:** Munage grape; nitrous oxide; intermittent fumigation; quality

木纳格葡萄 (*Vitis vinifera* L. cv. Munage) 是一种具有新疆地方特色的鲜食、晚熟葡萄品种之一, 主要分布于天山南部和环塔里木盆地, 以阿图什地区的品质最优<sup>[1]</sup>。木纳格葡萄营养价值丰富, 深受消费者的青睐。但是, 木纳格葡萄果皮薄, 果浆丰富, 含糖量

收稿日期: 2018-01-04

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31560473); 广州市科技计划项目 (201604020003)

作者简介: 许静 (1992-), 女, 研究生在读, 研究方向: 果蔬贮藏与保鲜

通讯作者: 吴斌 (1973-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品贮藏加工

高, 在贮藏期间容易发生失重软化、果梗褐变和落粒以及腐烂等一系列问题, 造成严重的采后损失<sup>[2]</sup>。这不仅给木纳格葡萄的贮藏、运销带来困难, 造成经济损失, 也制约了南疆木纳格葡萄向规模化、产业化推进。

氧化亚氮 (Nitrous oxide, N<sub>2</sub>O) 是一种化学结构, 与 CO<sub>2</sub> 相似, 在水中具有较高的溶解性和稳定性的气体, 同时它也是土壤中脱氮细菌的产物<sup>[3-5]</sup>。N<sub>2</sub>O 能抑制线粒体中细胞色素氧化酶 C 的活性, 减少果实在成熟衰老过程中乙烯的释放, 延缓果实的转色, 维持果

实的贮藏品质<sup>[4,6-9]</sup>。Qadir等<sup>[10]</sup>人发现, N<sub>2</sub>O可以延缓接菌后苹果、草莓、番茄以及石榴的腐烂速度。Lichanporn等<sup>[11]</sup>人认为, N<sub>2</sub>O可以通过降低PAL、PPO活性, 抑制龙宫果的褐变。课题组前期研究发现, 一氧化氮(Nitric oxide, NO)在果实贮藏过程中也具有上述与N<sub>2</sub>O相同的功能<sup>[12-15]</sup>。我们推测, N<sub>2</sub>O作为NO的衍生物, 它可能与NO类似在果蔬采后生命活动中发挥了积极的作用。课题前期已经证实NO能够维持木纳格葡萄的贮藏品质, 延缓果实的衰老<sup>[16]</sup>。目前, 有关N<sub>2</sub>O处理对葡萄采后品质影响的报道相对较少。因此, 本试验以木纳格葡萄为材料, 采用N<sub>2</sub>O气体以间歇熏蒸的方式处理果实, 研究N<sub>2</sub>O对木纳格葡萄采后贮藏品质及抗氧化酶活性的影响, 在为葡萄采后保鲜技术提供新思路同时, 也为N<sub>2</sub>O在园艺产品的应用提供理论参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料与试剂

木纳格葡萄采自新疆阿图什, 采后用冷藏车运回新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所冷库, 挑选大小均一, 果梗鲜绿、无机械损伤、无病虫害的葡萄果实。置于(0±0.5)℃实验室冷库中进行预冷处理, 预冷时间24 h。

丙酮、草酸、氢氧化钠、冰醋酸、无水醋酸钠、磷酸氢二钾、磷酸二氢钾、聚乙烯吡咯烷酮、过氧化氢, 天津市福晨化学试剂厂; 抗坏血酸、酚酞, 天津市北联精细化学品开发有限公司; 2,6-二氯靛酚, 上海源叶生物科技有限公司; 愈创木酚, 天津市光复精细化工研究所。以上试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

N<sub>2</sub>O 气体(气体纯度为99.8%), 广州世源气体有限公司; UV-2600 紫外分光光度计, 日本岛津有限公司; IKA@A11 基本型研磨机, 广州仪科实验室技术有限公司; GY-4 硬度计, 北京市兴光测色仪器公司; PAL-1 数显折射仪, 日本 Atago 公司; Centrifuge 5810 R 型高速冷冻离心机, 德国 Eppendorff 公司。

### 1.3 处理方法

将试验材料随机分组, 每筐葡萄果实重5.00 kg, 每个处理为4筐, 共计16筐。将葡萄置于30 L熏蒸装置中, 分别采用20、50、100 μL/L的N<sub>2</sub>O在有氧条件下熏蒸处理2 h(每隔7 d熏蒸一次, 共熏蒸10次)。处理结束后, 筐外套入0.03 mm的PE袋并封口,

置于(0±0.5)℃的条件下贮藏, 以不采用N<sub>2</sub>O间歇熏蒸处理为对照组。每隔10 d拍照、取样(每次为2.00 kg), 并对理化指标和相关活性酶进行测定。

### 1.4 指标测定

可溶性固形物含量的测定采用PR PAL-1型数显折射仪测定; 可滴定酸含量的测定采用酸碱滴定法<sup>[17]</sup>; 相对电导率的测定采用电导仪测定法<sup>[18]</sup>; POD活性测定采用愈创木酚法<sup>[19]</sup>; APX活性测定参考Imahori<sup>[20]</sup>等人的方法; 硬度的测定采用GY-4数显式果实硬度计; 失重率、腐烂率和落粒率的测定采用称重法<sup>[16]</sup>。

$$\text{失重率}/\% = \frac{(\text{贮藏前质量} - \text{贮藏后质量})}{\text{贮藏前质量}} \times 100$$

$$\text{落粒率}/\% = \frac{\text{落粒果实质量}}{\text{总质量}} \times 100$$

$$\text{腐烂率}/\% = \frac{\text{腐烂果实质量}}{\text{果实原质量}} \times 100$$

### 1.5 数据处理

使用Sigma Plot 12.5软件作图, SPSS 19.5进行数据方差分析(ANOVA)并利用Duncan法进行均值比较。 $p < 0.05$ 表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 N<sub>2</sub>O熏蒸浓度的筛选

葡萄果实采后易受病菌浸染而腐烂变质, 引起腐烂的致病菌主要以青霉(*Penicillium sp.*)、灰霉(*Botrytis cinerea*)等真菌为主<sup>[21]</sup>。由表1可知, 未经N<sub>2</sub>O处理的木纳格葡萄果实腐烂较快, 在贮藏20 d后发生腐烂现象, 到第70 d, 葡萄果实的腐烂率达到30.49%。经N<sub>2</sub>O处理的木纳格葡萄果实的腐烂率显著低于对照组( $p < 0.05$ )。在贮藏50 d后, 20 μL/L和100 μL/L N<sub>2</sub>O处理组的葡萄果实腐烂率分别为14.24%和13.21%, 显著高于50 μL/L处理组( $p < 0.05$ )。

直至贮藏结束, 50 μL/L N<sub>2</sub>O处理组的葡萄果实腐烂率仅为17.37%。50 μL/L N<sub>2</sub>O抑制葡萄果实腐烂的效果要显著优于其他浓度( $p < 0.05$ )。N<sub>2</sub>O是微生物有效生长抑制剂且能延迟微生物生长的滞后期, 抑制乙烯的产生和作用<sup>[9,22]</sup>。木纳格葡萄在贮藏过程中较低的腐烂率、落粒率可能与N<sub>2</sub>O能够有效抑制真菌的生长和乙烯的产生有关; 较低的腐烂率也可能是N<sub>2</sub>O非直接地增加了寄主的抗病能力<sup>[23]</sup>, 这方面的研究有待进一步深入。

表 1 N<sub>2</sub>O 间歇熏蒸对木纳格葡萄腐烂率、落粒率、失重率的影响

Table 1 Effects of intermittent fumigation of N<sub>2</sub>O on the decay rate, shattering rate and weight loss rate of Munage grapes

贮藏天数/d	浓度/( $\mu\text{L/L}$ )	腐烂率/%	落粒率/%	失重率/%
0		0	0	0
20	CK	9.76±0.92 <sup>a</sup>	2.86±0.27 <sup>d</sup>	0 <sup>c</sup>
	20	0 <sup>b</sup>	11.26±0.88 <sup>a</sup>	0 <sup>c</sup>
	50	0 <sup>b</sup>	4.09±0.42 <sup>c</sup>	0.39±0.07 <sup>b</sup>
	100	0 <sup>b</sup>	10.03±0.74 <sup>b</sup>	0.49±0.07 <sup>a</sup>
50	CK	16.65±0.45 <sup>a</sup>	20.17±0.85 <sup>a</sup>	0.97±0.18 <sup>a</sup>
	20	14.24±0.71 <sup>b</sup>	19.73±0.63 <sup>a</sup>	0.63±0.07 <sup>b</sup>
	50	10.79±0.88 <sup>c</sup>	17.88±0.95 <sup>b</sup>	0.74±0.16 <sup>ab</sup>
	100	13.21±0.91 <sup>b</sup>	21.24±0.96 <sup>a</sup>	0.98±0.08 <sup>a</sup>
70	CK	30.49±0.79 <sup>a</sup>	31.58±0.54 <sup>b</sup>	1.54±0.06 <sup>a</sup>
	20	25.71±0.78 <sup>b</sup>	32.59±0.81 <sup>ab</sup>	2.60±0.13 <sup>a</sup>
	50	17.37±0.66 <sup>d</sup>	28.80±0.71 <sup>c</sup>	1.18±0.17 <sup>a</sup>
	100	21.04±0.90 <sup>c</sup>	33.66±0.63 <sup>a</sup>	1.71±0.02 <sup>a</sup>

注：相同指标在同一天的不同处理，小写字母不同表示差异显著 ( $p < 0.05$ )。

在贮藏期间，木纳格葡萄果实的落粒率总体呈上升趋势。第 20 d 不同程度的出现落粒果，20  $\mu\text{L/L}$  和 100  $\mu\text{L/L}$  处理组的葡萄落粒率均超过 10%，显著高于 50  $\mu\text{L/L}$  处理组 ( $p < 0.05$ )。在整个贮藏期间 50  $\mu\text{L/L}$  处理组的葡萄落粒率显著低于对照组和其他处理组 ( $p < 0.05$ )。表明 50  $\mu\text{L/L}$  N<sub>2</sub>O 处理效果最佳，能有效的减少木纳格葡萄的落粒率。

失重率是评价葡萄水分含量的重要指标，水分含量高则果粒饱满，新鲜度高。失重率随着贮藏时间不断增加。至贮藏结束时，20  $\mu\text{L/L}$  和 100  $\mu\text{L/L}$  处理组的葡萄失重率为 2.60% 和 1.71%，而 50  $\mu\text{L/L}$  处理组仅为 1.18%。说明 50  $\mu\text{L/L}$  的 N<sub>2</sub>O 熏蒸处理能较好的维持果实的失重率。较低的果实失重率可能是由于 N<sub>2</sub>O 抑制了线粒体呼吸链上细胞色素 C 氧化酶的活性，降低了呼吸速率<sup>[24]</sup>，从而抑制了木纳格葡萄采后的呼吸和蒸腾作用，减少了果实水分的散失和落粒现象的出现。果实的腐烂、落粒是严重影响木纳格葡萄外观品质及商品价值的重要因素。本研究中，N<sub>2</sub>O 处理能显著延缓木纳格葡萄在贮藏过程中的腐烂和水分散失，减少落粒的发生，使木纳格葡萄维持较高的商品价值，其中 50  $\mu\text{L/L}$  N<sub>2</sub>O 处理浓度最适宜，则后续实验处理组均在此浓度下进行。

## 2.2 N<sub>2</sub>O 对木纳格葡萄硬度的影响

果蔬在成熟衰老过程中，果胶在果胶酶和酸、碱作用下水解，这是造成果实硬度下降的主要原因。

从图 1 可知：木纳格葡萄的硬度随着贮藏时间逐渐下降。对照组果实硬度在贮藏 10 d 后迅速下降，由

8.8 N/cm<sup>2</sup> 下降至 6.4 N/cm<sup>2</sup>，而处理组果实的硬度在整个贮存期下降缓慢，直至贮藏结束硬度为 6.6 N/cm<sup>2</sup>，处理组与对照组差异性显著 ( $p < 0.05$ )。本试验发现，50  $\mu\text{L/L}$  N<sub>2</sub>O 处理能有效的维持木纳格葡萄果实贮藏过程中的硬度，这可能是由于 N<sub>2</sub>O 抑制了木纳格葡萄果实组织中影响软化相关酶<sup>[25]</sup>（果胶甲酯酶，多聚半乳糖醛酸酶和  $\beta$ -半乳糖苷酶）以及细胞壁代谢相关酶的活性。

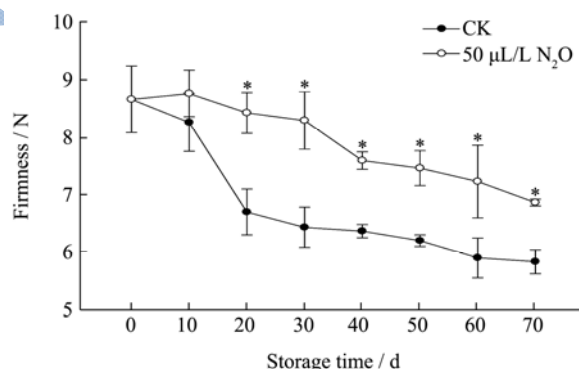


图 1 N<sub>2</sub>O 对木纳格葡萄硬度的影响

Fig.1 Effects of N<sub>2</sub>O on the hardness of Munage grapes

## 2.3 N<sub>2</sub>O 对木纳格葡萄可滴定酸含量的影响

果实中的糖酸含量能直接反映果蔬的品质状况。可滴定酸含量是评价葡萄风味品质的一个重要指标，也是影响贮藏特性的主要因素之一<sup>[26]</sup>。从图 2 可以看出，对照组和 N<sub>2</sub>O 处理组木纳格葡萄中可滴定酸含量的变化趋势相似，均随着贮藏时间呈逐渐下降的趋势。虽然，N<sub>2</sub>O 处理能够延缓果实中可滴定酸含量的降低。但与对照组相比，N<sub>2</sub>O 处理对可滴定酸的延缓效果并



不显著 ( $p>0.05$ )。

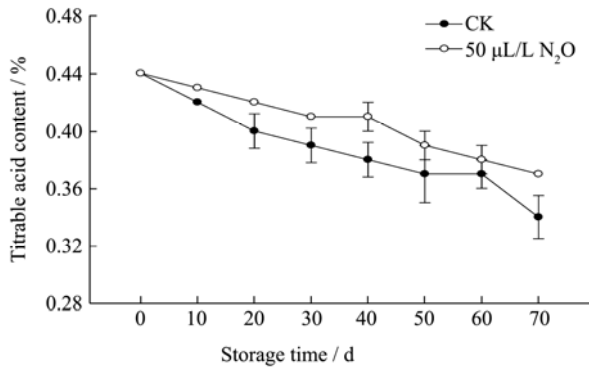


图2 N<sub>2</sub>O对木纳格葡萄可滴定酸含量的影响

Fig.2 Effects of N<sub>2</sub>O on the titratable acid content of Munage grapes

2.4 N<sub>2</sub>O对木纳格葡萄可溶性固形物的影响

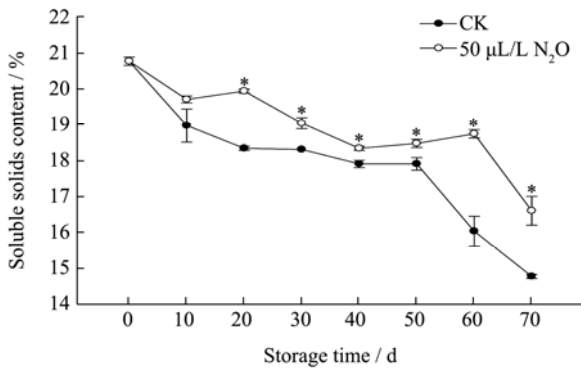


图3 N<sub>2</sub>O对木纳格葡萄可溶性固形物含量的影响

Fig.3 Effects of N<sub>2</sub>O on the content of soluble solids in Munage grapes

从图3可知,在贮藏期间木纳格葡萄的可溶性固形物含量呈逐渐下降的趋势,对照组下降幅度较大,处理组则下降缓慢。在贮藏10d后处理组果实显著延缓了葡萄可溶性固形物的下降 ( $p<0.05$ )。贮藏50d后对照组果实可溶性固形物下降速率急剧增加,处理组则推迟了10d。至贮藏结束,对照组和处理组果实的可溶性固形物含量由最初的21%下降至14.5%和16.5%。50 μL/L N<sub>2</sub>O处理显著延缓了采后木纳格葡萄果实中可溶性固形物含量的降低,这与 Benkeblia<sup>[8]</sup>等人在洋葱上的研究结果相似。N<sub>2</sub>O处理可能影响了葡萄果实的呼吸速率,从而减少了细胞内部营养物质的分解代谢,因此较好的保持了木纳格葡萄的糖酸含量。

2.5 N<sub>2</sub>O对木纳格葡萄相对电导率的影响

相对电导率是评价果实品质和耐贮藏性的重要指标,在果蔬后熟衰老的过程中,细胞内的电解质会向外渗透,引起电导率的增加<sup>[16]</sup>。由图4可知,木纳格葡萄的相对电导率整体呈上升趋势,在贮藏10d后,

处理组果实的相对电导率显著低于对照组 ( $p<0.05$ ),贮藏期结束时,对照组果实的相对电导率由最初的7%上升到25%,处理组则为21%。实验结果表明50 μL/L的 N<sub>2</sub>O能有效的抑制葡萄果实冷藏期间细胞膜渗透性的增加,说明 N<sub>2</sub>O可降低植物细胞质膜的相对透性,使细胞膜的离子渗透减少,对细胞膜具有良好的保护或修复作用,从而延缓了果实的衰老。

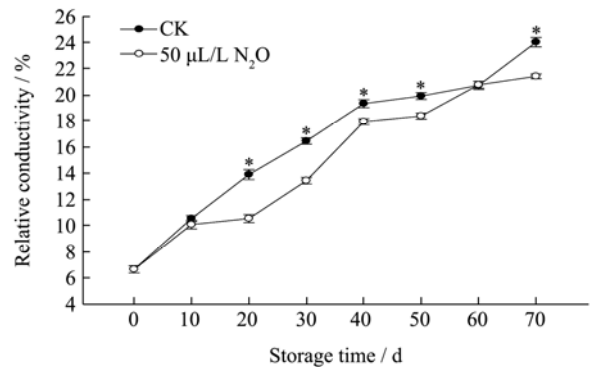


图4 N<sub>2</sub>O对木纳格葡萄相对电导率的影响

Fig.4 Effects of N<sub>2</sub>O on the relative conductance of Munage grapes

2.6 N<sub>2</sub>O对木纳格葡萄APX和POD活性的影响

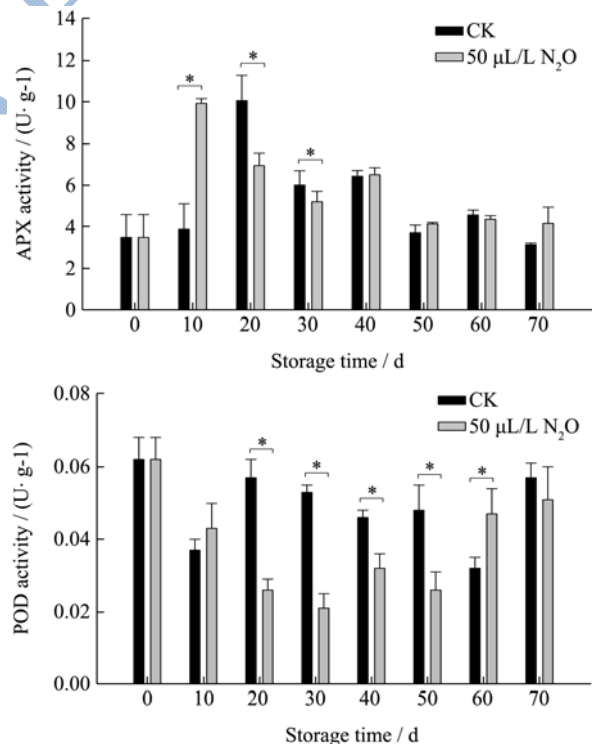


图5 N<sub>2</sub>O对木纳格葡萄APX和POD活性的影响

Fig.5 Effects of N<sub>2</sub>O on the activity of APX and POD of Munage grapes

APX可以清除植物体内的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,防止植物中叶

绿素的降解和细胞组织的伤害<sup>[27]</sup>。由图 5 可知,在贮藏期间,对照组和处理组的木纳格葡萄 APX 活性呈先上升后下降的趋势。处理组果实的 APX 活性高峰在第 10 d 就出现了,比对照组早了 10 d。在贮藏前 30 d,处理组和对照组果实的 APX 活性差异性显著( $p<0.05$ ),贮藏后期则无显著性差异。

POD 是果蔬中普遍存在的一种重要的氧化还原酶,它与果蔬的许多生理过程和生化代谢过程都有密切联系<sup>[28]</sup>。由图 6 可以看出,贮藏 10 d 后,木纳格葡萄 POD 活性迅速下降,对照组的 POD 活性缓慢上升,而处理组果实的 POD 活性则持续下降至 50 d。贮藏 20 d 到 60 d 之间,处理组果实 POD 活性显著低于对照组( $p<0.05$ )。植物中木质素和木栓质的积累与 POD 活性增强有关<sup>[29]</sup>。N<sub>2</sub>O 可能通过抑制葡萄果实中 POD 的活性来抑制木质素和纤维素的合成,推迟组织木质化,从而较好的保持了果实的贮藏品质。

POD 和 APX 是植物在逆境条件下酶促防御系统的关键酶,能够清除植物体内的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>,使植物体内自由基维持在一个正常的动态水平,以提高植物抗逆性<sup>[2]</sup>。本试验研究结果显示,50 μL/L N<sub>2</sub>O 能够抑制葡萄果实 APX、POD 的活性。这与程琳琳<sup>[30]</sup>、Lichanporn<sup>[11]</sup> 研究的结果相一致。从上述指标中可看出 50 μL/L N<sub>2</sub>O 较好地维持了木纳格葡萄的贮藏品质,这也减少了葡萄果实的逆境防御生理生化反应,因此 POD 和 APX 的活性维持较低水平。NO 对植物中活性氧水平具有双重调节作用,NO 可以通过调节植物体内的活性氧代谢来减轻胁迫伤害,但 NO 在抑制线粒体活性的同时也可增强抗氧呼吸,避免因线粒体电子传递链而导致活性氧的积累<sup>[31]</sup>。N<sub>2</sub>O 是 NO 的衍生物,由此可推测 N<sub>2</sub>O 可能通过抑制葡萄果实 APX、POD 的活性导致活性氧积累,活性氧水平高低与植物的抗病强弱直接相关,当植物受到病原微生物浸染后,活性氧水平快速增加引发过敏反应<sup>[32]</sup>。这也能较好的解释 N<sub>2</sub>O 对木纳格葡萄果实腐烂率的抑制作用。

### 3 结论

在(0±0.5) °C 的温度条件下,采用 N<sub>2</sub>O 处理对木纳格葡萄进行间歇熏蒸,能显著保持可溶性固形物、可滴定酸的含量;有效的抑制腐烂率、落粒率及相对电导率的上升,从而较好的保持了硬度;同时也抑制了 POD 和 APX 的活性,其中 50 μL/L N<sub>2</sub>O 处理组效果优于其他处理组。说明 N<sub>2</sub>O 间歇熏蒸能够延缓果实的衰老,较好地维持木纳格葡萄的贮藏品质。

### 参考文献

- [1] 依马木,王莉.木纳格葡萄品种简介[J].现代园艺,2003, 4:21-22  
YI Ma-mu, WANG Li. Munage Grape varieties introduction [J]. Modern Gardening, 2003, 4: 21-22
- [2] Champa W A H, Gill M I S, Mahajan B V C, et al. Postharvest treatment of polyamines maintains quality and extends shelf-life of table grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Flame Seedless [J]. Postharvest Biology & Technology, 2014, 91(5): 57-63
- [3] Benkeblia N, Varoquaux P. Effect of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) on respiration rate, soluble sugars and quality attributes of onion bulbs *Allium cepa*, cv. Rouge Amposta during storage [J]. Postharvest Biology & Technology, 2003, 30(2): 161-168
- [4] Leshem Y Y, Wills R B H. Harnessing senescence delaying gases nitric oxide and nitrous oxide: a novel approach to postharvest control of fresh horticultural produce [J]. Biologia Plantarum, 1998, 41(1): 1-10
- [5] 方华军,程淑兰,于贵瑞,等.森林土壤氧化亚氮排放对大气氮沉降增加的响应研究进展[J].土壤学报,2015, 52(2):262-271  
FANG Hua-jun, CHENG Shu-lan, YU Gui-rui, et al. Research progress on response of nitrous oxide emission in forest soil to increase of atmospheric nitrogen deposition [J]. Acta Soil Science, 2015, 52(2): 262-271
- [6] Sowa S, Towill L E. Effects of nitrous oxide on mitochondrial and cell respiration and growth in *distichlis spicata*, suspension cultures [J]. Plant Cell Tissue & Organ Culture, 1991, 27(2): 197-201
- [7] Gouble B, Fath D, Soudain P. Nitrous oxide inhibition of ethylene production in ripening and senescing climacteric fruits [J]. Postharvest Biology & Technology, 1995, 5(4): 311-321
- [8] Palomer X, Roig-Villanova I, Grima-Calvo D, et al. Effects of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) treatment on the postharvest ripening of banana fruit [J]. Postharvest Biology & Technology, 2005, 36(2): 167-175
- [9] Benkeblia N, Varoquaux P. Effect of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) on respiration rate, soluble sugars and quality attributes of onion bulbs *Allium cepa*, cv. Rouge Amposta during storage [J]. Postharvest Biology & Technology, 2003, 30(2): 161-168
- [10] Qadir A, Hashinaga F. Inhibition of postharvest decay of fruits by nitrous oxide [J]. Postharvest Biology & Technology, 2001, 22(3): 279-283
- [11] Lichanporn I, Techavuthiporn C. The effects of nitric oxide and nitrous oxide on enzymatic browning in longkong [J].

- Postharvest Biology & Technology, 2013, 86(86): 62-65
- [12] 胡江伟.NO 处理对伽师瓜采后抗氰呼吸及相关基因 AOX 的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2015
- HU Jiang-wei. Effect of NO treatment on postharvest cyanobacterial respiration and related gene AOX in Jiashi melon [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2015
- [13] 敬媛媛,吴斌,李艳娇,等.一氧化氮处理对甜瓜果实采后病害的控制及活性氧代谢的作用[J].现代食品科技,2016,12: 186-190
- JING Yuan-yuan, WU Bin, LI Yan-jiao, et al. Effect of nitric oxide treatment on postharvest disease control and reactive oxygen metabolism in melon [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 12: 186-190
- [14] 郭芹,王吉德,李雪萍,等.一氧化氮处理对采后番木瓜果实乙烯生物合成的影响[J].广东农业科学,2013,40(3):75-78
- GUO Qin, WANG Ji-de, LI Xue-ping, et al. Effects of nitric oxide on ethylene biosynthesis in postharvest papaya [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013, 40(3): 75-78
- [15] 郭芹,高晶,张玉丽,等.二氧化氯和一氧化氮处理对荔枝采后可溶性糖含量的影响[J].食品工业,2013,8:111-114
- GUO Qin, GAO Jing, ZHANG Yu-li, et al. Effects of chlorine dioxide and nitric oxide on postharvest soluble sugar content of litchi [J]. Food Industry, 2013, 8: 111-114
- [16] 张政,王倩,吴斌,等.一氧化氮间歇熏蒸对木纳格葡萄贮藏品质的影响[J].食品科技,2016,8:28-33
- ZHANG Zheng, WANG Qian, WU Bin, et al. Effect of intermittent fumigation of nitric oxide on the storage quality of Morgagrams [J]. Food Science, 2016, 8: 28-33
- [17] 曹建康,江微波,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
- CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Fruit and vegetable post-harvest physiology and biochemistry experimental guidance [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [18] 孔秋莲,修德仁,胡文玉,等.葡萄贮藏中  $\text{SO}_2$  伤害与膜脂过氧化物的关系[J].果树学报,2008,25(3):322-326
- KONG Qiu-lian, XIU De-ren, HU Wen-yu, et al. Relationship between  $\text{SO}_2$  injury and membrane lipid peroxidation in grape [J]. Journal of Fruit Science, 2008, 25(3): 322-326
- [19] Zapata P J, Martínez-Esplá A, Guillén F, et al. Preharvest application of methyl jasmonate (MeJA) in two plum cultivars. 2. Improvement of fruit quality and antioxidant systems during postharvest storage [J]. Postharvest Biology & Technology, 2014, 98(3): 115-122
- [20] Imahori Y, Bai J, Baldwin E. Antioxidative responses of ripe tomato fruit to postharvest chilling and heating treatments [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 198(75): 398-406
- [21] 宋开艳,阿米尼古丽·再那吉,冯宏祖,等.新疆葡萄采后致病菌分离鉴定及拮抗菌的筛选[J].新疆农业学,2011,48(5): 871-876
- SONG Kai-yan, Aminiguli·ZaiNaJi, FENG Hong-zu, et al. Sanjiang grapes post-harvest pathogenic bacteria isolation and identification of antagonistic bacteria [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2011, 48(5): 871-876
- [22] Enfors S O, Molin G. Effect of chemically inert gases on the germination of *Bacillus cereus* spores [J]. Spore Research, 1976, 1: 793-809
- [23] 段学武,蒋跃明,李月标,等.一氧化二氮处理提高香蕉保鲜效果[J].食品科学,2003,24(4):152-154
- DUAN Xue-wu, JIANG Yue-ming, LI Yue-biao, et al. Nitrous oxide treatment improves the preservation of banana [J]. Food Science, 2003, 24(4): 152-154
- [24] Chervin C, Thibaud M C. Inhibition of plant and animal cytochrome oxidases by nitrous oxide as a function of cytochrome c concentration [J]. Biochimie, 1992, 74(12): 1125-1127
- [25] Rocculi P, Romani S, Rosa M D. Effect of MAP with argon and nitrous oxide on quality maintenance of minimally processed kiwifruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 35(3): 319-328
- [26] 王霄倩,王俊芳,刘孝勇,等.不同保鲜处理对红地球葡萄低温贮藏效果的影响[J].食品工业,2016,12:98-102
- WANG Xiao-qian, WANG Jun-fang, LIU Xiao-yong, et al. Effects of different preservation treatments on the storage of Red Globe grape at low temperature [J]. Food Industry, 2016, 12: 98-102
- [27] Liszskay A, Zalm E V D, Schopfer P. Production of reactive oxygen intermediates  $\text{O}_2^-$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , and  $\cdot\text{OH}$  by maize roots and their role in wall loosening and elongation growth [J]. Plant Physiology, 2004, 136(2): 3114-3123
- [28] Asada K. Ascorbate peroxidase a hydrogen peroxide scavenging enzyme in plants [J]. Physiologia Plantarum, 1992, 85(2): 235-241
- [29] 赵强,张平,朱志强,等.不同品种无核葡萄采后活性氧代谢的比较研究[J].北方园艺,2013,17:20-22
- ZHAO Qiang, ZHANG Ping, ZHU Zhi-qiang, et al. Comparative study on postharvest active oxygen metabolism of different varieties of seedless grape [J]. Northern Gardening, 2013, 17: 20-22

- [30] 程琳琳.NO 和 N<sub>2</sub>O 对香蕉采后冷害及香气成分影响[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2012  
CHENG Lin-lin. Effect of NO and N<sub>2</sub>O on postharvest chilling injury and aroma components of banana [D]. Urumqi: Xinjiang University, 2012
- [31] 田世平,罗云波,王贵禧.园艺产品采后生物学基础[M].北京:科学出版社,2011  
TIAN Shi-ping, LUO Yun-bo, WANG Gui-xi. Horticultural products post-harvest biology [M]. Beijing: Science Press, 2011
- [32] Vellosillo T, Vicente J, Kulasekaran S, et al. Emerging complexity in reactive oxygen species production and signaling during the response of plants to pathogens [J]. Plant Physiology, 2010, 154(2): 444

现代食品科技