

# 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

敬媛媛<sup>1</sup>, 吴斌<sup>2</sup>, 李艳娇<sup>1</sup>, 杨彩虹<sup>1</sup>, 朱璇<sup>1</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)

**摘要:** 为探究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关系。以新疆“西州蜜25号”甜瓜为试验材料, 将60  $\mu\text{L/L}$ 的一氧化氮(nitric oxide, NO)气体充入密封箱熏蒸3 h, 密封箱中不充入NO气体密封3 h的处理作为对照, 放置12 h后损伤接种胶孢链格孢(*Alternaria alternata*), 置于常温条件下贮藏。定期测定甜瓜果实病斑直径和病斑深度及与活性氧代谢相关的过氧化氢酶(catalase, CAT)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)及超氧阴离子(superoxide anion,  $\text{O}_2^{\cdot-}$ )的产生速率和过氧化氢(hydrogen peroxide,  $\text{H}_2\text{O}_2$ )的含量。结果表明: NO处理能明显降低贮藏期间甜瓜果实的病斑直径和病斑深度, 诱导贮藏前期 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 的产生速率加快和 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量的快速积累, 明显提高贮藏期间甜瓜果实SOD、CAT和POD的活性。说明NO处理诱导果实采后抗病性与调节果实的活性氧代谢密切相关。

**关键词:** 甜瓜果实; 一氧化氮; 采后病害; 活性氧

文章编号: 1673-9078(2016)12-186-190

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.12.029

## Control of Post-harvest Diseases and Potentiation of Metabolism of Reactive Oxygen Species in Post-harvest Muskmelons Treated by Nitric Oxide

JING Yuan-yuan<sup>1</sup>, WU Bin<sup>2</sup>, LI Yan-jiao<sup>1</sup>, YANG Cai-hong<sup>1</sup>, ZHU Xuan<sup>1</sup>

(1. Xinjiang Agricultural University, College of Food Science and Pharmaceutical Science, Department of Food Science, Urumqi 830052, China) (2. Institute of Agro-products Storage and Processing, Xinjiang Academy of Agricultural Science, Urumqi 830091, China)

**Abstract:** The effects of fumigation treatment with nitric oxide on disease control and potentiation of metabolism of reactive oxygen species in post-harvest muskmelons were investigated. Xinjiang “Xizhoumi No. 25” muskmelons were fumigated with 60  $\mu\text{L/L}$  of nitric oxide (NO) for 3 h in sealed boxes; melons kept in boxes without NO gas and sealed for 3 h were used as controls. After a 12 h treatment, the samples were inoculated with *Alternaria alternata* and stored at room temperature. The lesion diameter, lesion depth, rate of production of superoxide anion free radicals ( $\text{O}_2^{\cdot-}$ ), hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) content, and the activities of superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and peroxidase (POD) of the muskmelons were measured at regular intervals during storage. The results showed that the NO treatment significantly decreased the lesion diameter and lesion depth of muskmelons inoculated with *A. alternata* during the storage at room temperature. The NO treatment also induced the rapid accumulation of  $\text{H}_2\text{O}_2$ , and increased the rate of production of  $\text{O}_2^{\cdot-}$  early in the storage. Furthermore, the NO treatment significantly enhanced SOD, CAT, and POD activities. This suggests that the disease resistance induced by NO treatment in post-harvest fruits is closely related to the regulation of the metabolism of reactive oxygen species.

**Key words:** muskmelons; nitric oxide; postharvest diseases; reactive oxygen species

收稿日期: 2015-12-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31460414); 公益性行业(农业)科研专项(201303075)

作者简介: 敬媛媛(1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬贮藏与保鲜

通讯作者: 朱璇(1971-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬贮藏与保鲜

甜瓜以其“香味浓郁、味甘可口”而驰名中外, 新疆甜瓜品种多、产量高及栽培面积广, 在新疆园艺作物产业中占有重要地位。但甜瓜采收期正值高温夏季, 采后代谢旺盛, 由于缺少冷链贮运和有效的保鲜方法, 导致甜瓜采后腐烂严重, 造成巨大的经济损失<sup>[1]</sup>。其

中由胶孢链格孢 (*Alternaria alternata*) 引起的黑斑病是导致采后腐烂的重要原因。目前, 主要采用化学杀菌剂控制甜瓜采后病害, 但由于其安全性和残留危害等问题而受到限制。因此, 寻求新型安全有效的方法控制甜瓜采后病害已成为甜瓜贮运产业中亟需解决的重要问题。

一氧化氮 (nitric oxide, NO) 是一种普遍存在于动物、植物和微生物体内的信号分子, 能够调节植物的生长、发育, 参与植物对各种生物和微生物胁迫反应的信息传递, 在植物抗病反应中起到重要作用<sup>[2]</sup>。有关水稻的研究表明, NO能够增加抗氧化酶CAT、GR、POD和SOD的活性增强水稻对镉胁迫的抗性<sup>[3]</sup>, NO熏蒸处理通过提高果实中抗氧化相关酶的活性和茉莉酸信号转导途径来增强草莓<sup>[4]</sup>及番茄果实<sup>[5]</sup>的抗病性, 说明NO可通过诱导果实抗性来抑制果实采后病害。活性氧迸发是植物对病原菌应答的最早期反应之一, 活性氧水平高低与植物的抗病强弱直接相关。目前, NO对果蔬的研究主要集中在延缓果实的后熟衰老及抗病效果等方面<sup>[2]</sup>, 而NO处理增强果蔬抗病性与活性氧代谢的关系的研究鲜见报道。本文以‘西州蜜25号’甜瓜为试验材料, 探究NO处理对甜瓜果实在采后病害的控制与活性氧代谢的关系, 以期NO处理提高果实采后抗病性的研究提供理论参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 甜瓜品种

试材甜瓜品种为“西州蜜 25 号”, 于 2015 年 7 月 15 日采自鄯善县商品瓜生产基地, 选择成熟度基本一致, 可溶性固形物在 15%~18%之间, 网纹细密, 果柄处带 T 形蔓的果实, 外套塑料发泡网套, 放入标准瓜箱中, 防止运输过程中甜瓜的碰撞损伤, 当天运回新疆农业科学院贮藏与加工所实验室, 放置在通风阴凉处理自然冷却散去田间热, 用于试验处理。

#### 1.1.2 病菌品种

病原菌胶孢链格孢 (*Alternaria alternata*) 取自自然发病的甜瓜果实在, 由新疆农业大学微生物实验室提供。

#### 1.1.3 试验试剂

Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O、NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>·12H<sub>2</sub>O、过氧化氢 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)、二硫苏糖醇(DTT)、乙二胺四乙酸(EDTA)、聚乙烯吡咯烷酮(PVPP)、盐酸羟胺、对氨基苯磺酸、 $\alpha$ -萘胺、KNO<sub>2</sub>、甲硫氨酸(MET)、氮蓝四唑(NBT)、乙二胺四乙酸二钠(EDTA-Na<sub>2</sub>)、核黄素、无水醋酸钠、

愈创木酚和聚乙二醇6000(PEG6000): 分析纯, 天津市致远化学试剂有限公司; 四氯化钛、丙酮、冰醋酸和Triton X-100: 分析纯, 天津市光复科技发展有限公司; 浓氨水、硫酸和盐酸: 分析纯, 北京化工厂。

#### 1.1.4 主要仪器设备

UV-2600岛津紫外分光光度计: 乌鲁木齐岛津分公司; GL-20G-II型高速冷冻离心机: 上海安亭科学仪器厂; AL204-IC型电子分析天平: 梅特勒-托利多仪器厂(上海)有限公司; XMTD-4000型电热恒温水浴: 北京市永光明医疗仪器厂。

## 1.2 处理方 法

### 1.2.1 试验处理

NO 熏蒸处理: 挑选色泽基本一致, 大小均匀, 无机械损伤, 无病虫害的果实, 并将果实随机分为 2 组, 每组 50 个, 将甜瓜果实在密封箱(内含小风扇)中。在预实验的基础上, 选取 NO 熏蒸浓度为 60  $\mu$ L/L, 用微量进样器注入 60  $\mu$ L/L 的 NO 气体, 立即盖上密封箱上进气口的塞子, 同时打开风扇, 使 NO 气体在密封箱中均匀分布, 熏蒸 3 h。以密封箱中不充入 NO 气体为对照, 放置 3 h。熏蒸过后取出甜瓜果实在常温下放置 12 h 后, 用于损伤接种。

### 1.2.2 损伤接种

参照 Yao<sup>[6]</sup> 的方法并稍作修改。取生长 7 d 的 *A. alternata* 培养皿, 加入 20 mL 含有 0.05% Tween-80 的无菌水, 用灭菌的药勺刮下 PDA 平板上的 *A. alternata* 孢子, 倒入 50 mL 锥形瓶中, 将孢子悬浮液在旋涡震荡器上震荡 15 s, 混匀后用双层纱布过滤, 收集滤液, 滤液用血球计数板记数并调节浓度, 使滤液中 *A. alternata* 孢子的浓度达到  $1 \times 10^6$  个孢子/mL。取经过 NO 熏蒸处理的甜瓜果实在及对照组果实, 先用无菌水擦拭果实表面, 再用 75% 酒精擦洗果实表面进行消毒, 取灭菌的铁钉在果实赤道部位等距离刺 5 个孔 ( $\Phi 3$  mm, 4 mm 深), 向刺孔内注入 20  $\mu$ L 孢子悬浮液, 并用透明胶带将孔周围封住。接种后, 将果实置于纸箱中常温条件下贮藏。贮藏期间每 2 d 取样测定相关指标, 每次取样测定用瓜 10 个, 测定重复 3 次。

## 1.3 测定指标及方法

### 1.3.1 病斑直径的测定

将接种处果皮削去, 用直尺在病斑处进行十字交叉法测量病斑直径, 单位, cm。

### 1.3.2 病斑深度的测定

将果实纵向切开, 用直尺测量病斑深度, 单位, cm。

### 1.3.3 过氧化氢 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 含量的测定

参照曹建康<sup>[7]</sup>的方法。

### 1.3.4 超氧阴离子自由基 (O<sub>2</sub><sup>·-</sup>) 产生速率测定

参照 Ren<sup>[8]</sup>的方法。

### 1.3.5 过氧化氢酶 (CAT) 活性的测定

参照 Zhou<sup>[9]</sup>的方法。

### 1.3.6 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性的测定

参照曹建康<sup>[7]</sup>的方法。

### 1.3.7 过氧化物酶 (POD) 活性的测定

参照 Zhou<sup>[9]</sup>的方法。

## 1.4 数据分析及处理

试验数据采用 SPSS v18.0 软件进行方差分析和检验, 并利用 Duncan 多重比较, 进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 NO 处理对接种 *A. alternata* 的甜瓜果实病

斑直径的影响

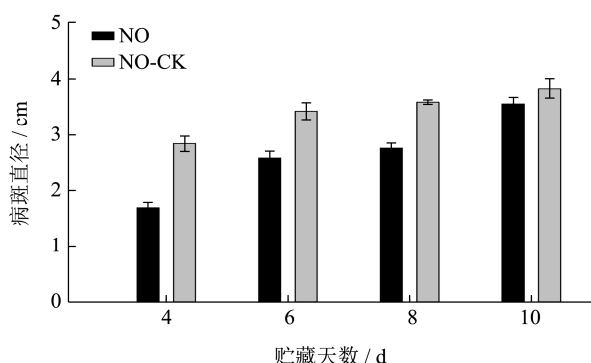


图 1 NO 处理对甜瓜果实接种 *A. alternata* 的病斑直径的影响

Fig.1 Effect of NO treatment on lesion diameter of muskmelon fruits inoculated with *A. alternata*

如图 1 所示, NO 处理组果实病斑直径明显低于对照组果实, 在贮藏第 4 d, 对照组果实的病斑直径为 2.84 cm, NO 处理组甜瓜果实的病斑直径为 1.69 cm, 比对照组低了 40.49% ( $p < 0.01$ ), 说明 NO 处理能够显著降低贮藏过程中接种 *A. alternata* 后甜瓜果实的病斑直径。

### 2.2 NO 处理对接种 *A. alternata* 的甜瓜果实病

斑深度的影响

如图 2 所示, NO 处理能有效抑制接种 *A. alternata* 后甜瓜果实的病斑深度, 随着贮藏时间的延长, 病斑

深度不断加深, 在贮藏第 6 d 增加明显, 随后较为缓慢。在贮藏第 10 d, 对照组果实的病斑深度为 3.20 cm, NO 处理组甜瓜果实的病斑深度为 2.69 cm, 比对照组低了 15.94% ( $p < 0.05$ )。

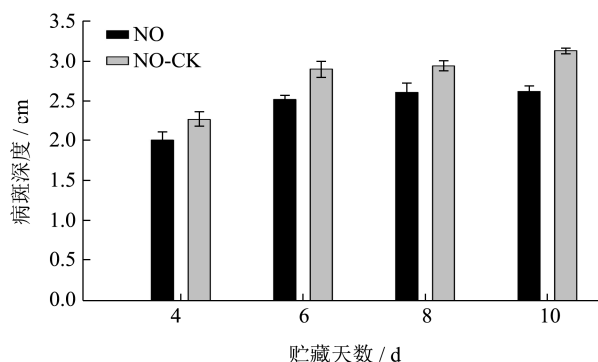


图 2 NO 处理对甜瓜果实接种 *A. alternata* 的病斑深度的影响

Fig.2 Effect of NO treatment on lesion depth of muskmelon fruits inoculated with *A. alternata*

### 2.3 NO 处理对接种 *A. alternata* 的甜瓜果实过

氧化氢 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 含量的影响

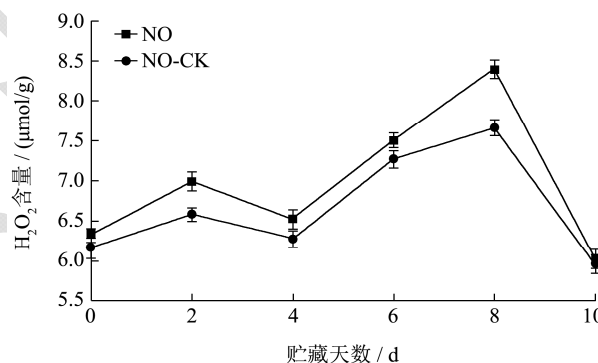


图 3 NO 处理对甜瓜果实接种 *A. alternata* 的过氧化氢含量的影响

Fig.3 Effect of NO treatment on H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> content of muskmelon fruits inoculated with *A. alternata*

如图 3 所示, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量总体上呈先上升后下降的趋势, 在甜瓜果实损伤接种 *A. alternata* 的第 2 d 和第 8 d H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量明显增加。在贮藏第 2 d 和第 8 d, 对照组果实 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量分别为 6.59 μmol/g FW 和 7.41 μmol/g FW, NO 处理组甜瓜果实 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量分别为 7.09 mol/g FW 和 8.53 μmol/g FW, 比对照组分别高了 7.05% 和 13.13% ( $p < 0.05$ )。说明 NO 处理可诱导接种 *A. alternata* 后甜瓜果实 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 含量的快速积累。

### 2.4 NO 处理对接种 *A. alternata* 的甜瓜果实超

氧阴离子 (O<sub>2</sub><sup>·-</sup>) 产生速率的影响

如图 4 所示, 在贮藏初期, NO 处理组  $O_2^-$  产生速率高于对照组, 贮藏 4 d 后, 对照组  $O_2^-$  产生速率始终高于 NO 处理组并在第 6 d 达到最大值。在贮藏第 6 d, 对照组果实的  $O_2^-$  产生速率为 484.96 nmol/min·g FW, NO 处理组的  $O_2^-$  产生速率为 428.83 nmol/min·g FW, 比对照组低了 11.57% ( $p < 0.05$ )。

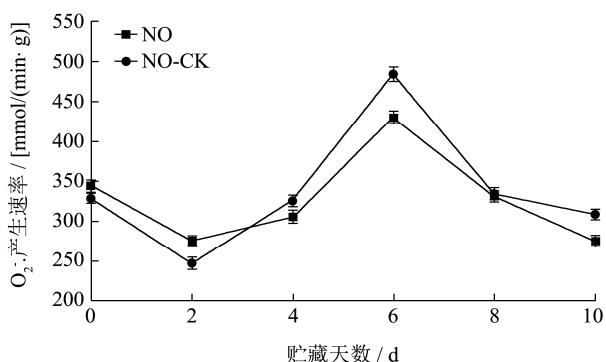


图 4 NO 处理对甜瓜果实接种 *A. alternata* 的超氧阴离子产生速率的影响

Fig.4 Effect of NO treatment on  $O_2^-$  production rate of muskmelon fruits inoculated with *A. alternata*

## 2.5 NO 处理对接种 *A. alternata* 的甜瓜果实过

氧化氢酶 (CAT) 活性的影响

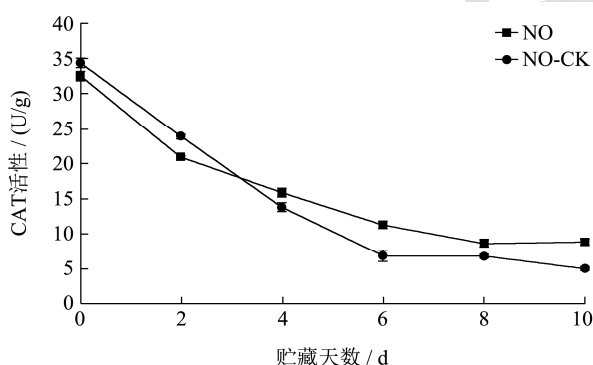


图 5 NO 处理对甜瓜果实接种 *A. alternata* 过氧化氢酶活性的影响

Fig.5 Effect of NO treatment on CAT activity in muskmelon fruits inoculated with *A. alternata*

由图 5 可知, 在贮藏期间 NO 处理组和对照组果实 CAT 的活性随着时间的延长而不断下降, NO 处理组果实 CAT 活性前 2 d 低于对照组, 4 d 之后 NO 处理组高于对照组。在贮藏第 6 d, 对照组果实 CAT 活性为 6.77 U/g, NO 处理组甜瓜果实 CAT 活性为 11.26 U/g, NO 处理组比对照组高了 39.88% ( $p < 0.05$ ), 说明 NO 处理在贮藏前期抑制接种 *A. alternata* 的甜瓜果实 CAT 活性, 有利于  $H_2O_2$  的积累; 而贮藏后期 CAT 的活性的增加有利于降低果实  $H_2O_2$  的含量。

## 2.6 NO 处理对接种 *A. alternata* 的甜瓜果实超

氧化物歧化酶 (SOD) 活性的影响

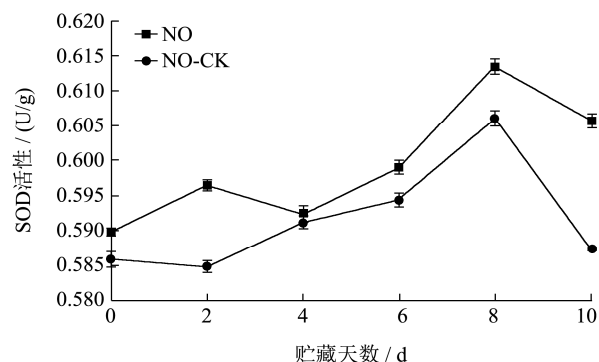


图 6 NO 处理对甜瓜果实接种 *A. alternata* 的超氧化物歧化酶活性的影响

Fig.6 Effect of NO treatment on SOD activity in muskmelon fruits inoculated with *A. alternata*

由图 6 可知, 贮藏期间甜瓜果实 SOD 的活性呈先上升后下降的趋势, 处理组与对照组变化趋势基本相同, 贮藏结束时 NO 处理组果实的 SOD 活性仍明显高于对照组。在贮藏第 8 d, SOD 活性达到最高, NO 处理组和对照组杏果实 SOD 的活性分别为 0.62 U/g FW 和 0.60 U/g FW, NO 处理组为对照组的 1.03 倍, 贮藏第 10 d, NO 处理组果实 SOD 的活性为 0.61 U/g FW, 对照组果实 SOD 活性为 0.58 U/g FW, NO 处理果实的 SOD 活性是对照果实的 1.05 倍。说明 NO 处理能提高接种 *A. alternata* 后甜瓜果实的 SOD 活性。

## 2.7 NO 处理对接种 *A. alternata* 的甜瓜果实过

氧化物酶 (POD) 活性的影响

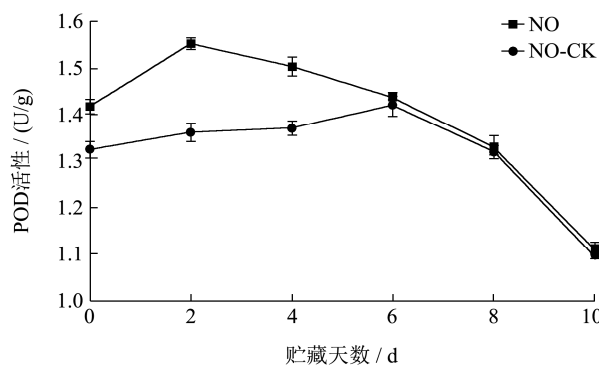


图 7 NO 处理对甜瓜果实接种 *A. alternata* 的过氧化物酶活性的影响

Fig.7 Effect of NO treatment on POD activity in muskmelon fruits inoculated with *A. alternata*

如图 7 所示, 整个贮藏期间, NO 处理组 POD 活

性始终高于对照组。在损伤接种后的第2 d, NO处理组果实的POD活性为1.55 U/g FW, 对照组果实POD活性为1.36 U/g FW, 对照组比NO处理组低了12.26% ( $p < 0.05$ )。贮藏6 d之后, NO处理组和对照组果实POD活性同时下降且无明显差异。说明NO处理在贮藏前期可有效提高接种 *A. alternata* 后甜瓜果实的POD活性。

### 3 结论

3.1 本研究结果表明, 60  $\mu\text{L/L}$ 的NO处理能有效降低接种 *A. alternata*的甜瓜果实的病斑直径和病斑深度, 增强果实对黑斑病的抗性, 刘零怡<sup>[5]</sup>、Zhou<sup>[9]</sup>和李永才<sup>[10]</sup>等的研究也表明, NO处理能显著抑制番茄、柑橘和油桃果实的病斑直径, 增强果实的抗病性。

3.2  $\text{H}_2\text{O}_2$ 能够作为植物防御反应的信号分子和直接参与者, 在植物早期抗病反应和抵御病原菌的侵入过程中起到重要作用,  $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量的升高不仅有利于细胞壁蛋白氧化交联使细胞壁加厚还能诱导植物体内防卫物质如植保素的形成<sup>[11]</sup>。本研究结果表明, NO处理能够在贮藏前期抑制CAT的活性, 促使 $\text{H}_2\text{O}_2$ 快速积累, 同时, NO处理也诱导了贮藏前期甜瓜果实 $\text{O}_2\cdot^-$ 产生速率的提高,  $\text{H}_2\text{O}_2$ 和 $\text{O}_2\cdot^-$ 可与NO协同作用加强甜瓜的自我防卫反应, 增强果实的抗病性。

3.3  $\text{H}_2\text{O}_2$ 可作为信号分子诱导果实SOD和POD等抗性相关酶活性的增加<sup>[9]</sup>。本研究表明, NO处理可使接种 *A. alternata* 后甜瓜果实SOD和POD活性显著提高, 有效抑制甜瓜果实的病斑直径和病斑深度, 提高果实的抗病性。王倩<sup>[12]</sup>等研究表明NO处理能维持番茄果实内较高的抗氧化酶SOD和POD活性, 增强果实的抗病能力; 王云飞<sup>[13]</sup>等研究表明, 硅酸钠处理能够提高厚皮甜瓜CAT和SOD活性, 诱导 $\text{H}_2\text{O}_2$ 的积累和 $\text{O}_2\cdot^-$ 的产生速率加快, 提高甜瓜果实对粉霉病的抗性。虽然活性氧的快速积累可增强果实的抗病性, 但如果活性氧一直保持在较高水平则会引起膜脂过氧化作用, 并且对果蔬组织造成氧化胁迫, 导致病害加剧<sup>[14]</sup>。果蔬组织体内存在着主要由CAT、POD和SOD组成的清除活性氧的抗氧化酶系统, SOD可将 $\text{O}_2\cdot^-$ 歧化生成 $\text{H}_2\text{O}_2$ , CAT和POD可将 $\text{H}_2\text{O}_2$ 还原为 $\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{O}_2$ , 本研究中, NO处理在贮藏后期能够显著降低 $\text{H}_2\text{O}_2$ 和 $\text{O}_2\cdot^-$ 的含量, 这与Zhou<sup>[9]</sup>和王云飞<sup>[13]</sup>在柑橘和厚皮甜瓜果实上的研究结果一致。说明NO作为信号分子, 在贮藏前期诱导了甜瓜果实活性氧的快速积累, 而在贮藏后期提高SOD、POD和CAT的活性可使果实中活性氧处于最低危害水平, 防止膜脂过氧化作用对细胞造成氧化伤害。

3.4 综上所述, 采后60  $\mu\text{L/L}$ 的NO处理能显著抑制接种 *A. alternata*后甜瓜果实的病斑直径和病斑深度, 降低贮藏前期CAT的活性, 诱导活性氧的快速积累, 贮藏后期提高SOD、POD和CAT的活性, 说明NO处理对提高果实采后抗病性与调节果实的活性氧代谢密切相关。

### 参考文献

- [1] Jacob C J, Krarup C, Díaz G A, et al. A severe outbreak of charcoal rot in cantaloupe melon caused by *Macrophomina phaseolina* in Chile [J]. Plant Disease, 2013, 97(1):141-142
- [2] Noelia Foresi, Martín L Mayta, Lodeyro A F, et al. Expression of the tetrahydrofolate-dependent nitric oxide synthase from the green alga *Ostreococcus tauri* increases tolerance to abiotic stresses and influences stomatal development in Arabidopsis [J]. Plant Journal, 2015, 82(5): 806-821
- [3] Panda P, Nath S, Chanu T T, et al. Cadmium stress-induced oxidative stress and role of nitric oxide in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2011, 33(15): 1737-1747
- [4] Wills R B H, Ku V V V, Leshem Y Y. Fumigation with nitric oxide to extend the postharvest life of strawberries [J]. Postharvest Biology & Technology, 2000, 18(1): 75-79
- [5] 刘零怡, 于萌萌, 郑杨, 等. 采后一氧化氮处理调控番茄果实茉莉酸类物质合成并提高灰霉病抗性[J]. 食品科学, 2010, 22:457-461
- LIU Ling-yi, YU Meng-meng, ZHENG Yang, et al. Effect of postharvest nitric oxide treatment on jasmonates biosynthesis and disease incidence to botrytis cinerea Pers. in Tomato fruits [J]. Food Science, 2010, 22: 457-461
- [6] Yao H, Tian S. Effects of pre- and post-harvest application of salicylic acid or methyl jasmonate on inducing disease resistance of sweet cherry fruit in storage [J]. Postharvest Biology & Technology, 2005, 35(3): 253-262
- [7] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅, 等. 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, et al. Experiment guidance of postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables [M]. Beijing: Chinese Light Industry Press, 2007
- [8] Ren Y, Wang Y, Bi Y, et al. Postharvest BTH treatment induced disease resistance and enhanced reactive oxygen species metabolism in muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruit [J]. European Food Research & Technology, 2012, 234(6): 963-

971

- [9] Zhou Y, Li S, Zeng K. Exogenous nitric oxide induced postharvest disease resistance in citrus fruit to *Colletotrichum gloeosporioides* [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2015, 96(2): 505-512
- [10] 李永才,陈松江,毕阳,等.采后一氧化氮处理对油桃抗软腐病的诱导[J].食品工业科技,2012,33(10):340-342  
LI Yong-cai, CHEN Song-jiang, BI Yang, et al. Induced resistance to *Rhizopus* rot (*Rhizopus stolonifer*) in nectarine fruit by postharvest treatment with nitric oxide [J]. Science & Technology of Food Industry, 2012, 33(10): 340-342
- [11] Li W, Bi Y, Ge Y, et al. Effects of postharvest sodium silicate treatment on pink rot disease and oxidative stress-antioxidative system in muskmelon fruit [J]. European Food Research & Technology, 2012, 234(1): 137-145
- [12] 王倩,高丽朴,杨娜,等.一氧化氮对果蔬采后灰霉菌生长发育及致病性的影响[J].植物保护学报, 2013,40(3):243-248  
WANG Qian, GAO Li-pu, YANG Na, et al. Effects of nitric oxide on growth, development and pathogenicity of postharvest *Botrytis cinerea* on fruits and vegetables [J]. Acta Phytopythologica Sinica, 2013, 40(3): 243-248
- [13] 王云飞,毕阳,任亚琳,等.硅酸钠处理对厚皮甜瓜果实采后病害的控制及活性氧代谢的作用[J].中国农业科学,2012, 45(11):2242-2248  
WANG Yun-fei, BI Yang, REN Ya-lin, et al. Control of postharvest diseases and potentiation of reactive oxygen species metabolism in muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruits treated by sodium silicate [J]. China Agriculture Science, 2012, 45(11): 2242-2248
- [14] Correa-Aragunde N, Foresi N, Lamattina L. Nitric oxide is a ubiquitous signal for maintaining redox balance in plant cells: regulation of ascorbate peroxidase as a case study [J]. Journal of Experimental Botany, 2015, 66(10)