

一氧化氮 (NO) 熏蒸提高哈密瓜果实 采后贮藏的耐冷性

王鲁阳¹, 吴斌², 敬媛媛¹, 胡江伟², 张平²

(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: 为了探究一氧化氮 (nitric oxide, NO) 熏蒸对哈密瓜采后耐冷性的影响。以“西州密 25 号”为试材, 用 60 $\mu\text{L/L}$ NO 气体熏蒸 3 h, 分别在 (1 \pm 0.5 $^{\circ}\text{C}$)、(3 \pm 0.5 $^{\circ}\text{C}$)、(5 \pm 0.5 $^{\circ}\text{C}$) 贮藏。统计冷害发病率和冷害指数, 测定过氧化氢酶 (catalase, CAT)、过氧化物酶 (peroxidase, POD)、超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 活性、超氧阴离子 (superoxide anion, $\text{O}_2^{\cdot-}$) 产生速率、过氧化氢 (hydrogen peroxide, H_2O_2) 含量的变化。结果表明: NO 处理能提高 SOD、POD 活性, 抑制 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 产生速率。1 $^{\circ}\text{C}$ 条件下, 果实冷害发病率最高, NO 处理能减轻冷害的发生; 3 $^{\circ}\text{C}$ 条件下, 对照果实后期出现冷害, 但 NO 处理果实无冷害发生; 5 $^{\circ}\text{C}$ 条件下, 果实后期出现冷害和病害症状, NO 处理能减轻果实的冷害和病害。说明 NO 能够提高抗氧化相关酶的活性, 抑制活性氧 (reactive oxygen species, ROS) 的积累, 提高果实的耐冷性; 3 $^{\circ}\text{C}$ 条件下, NO 熏蒸既能有效维持果实的贮藏品质又能抑制果实冷害的发生。

关键词: 哈密瓜; 一氧化氮; 活性氧; 冷害

文章编号: 1673-9078(2018)04-114-120

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.04.019

Enhancement of Chilling Tolerance of Hami Melon Fruits in Postharvest Storage Period by Using Nitric Oxide Fumigation

WANG Lu-yang¹, WU Bin², JING Yuan-yuan¹, HU Jiang-wei², ZHANG Ping²

(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 nitric oxide (NO) fumigation on chilling tolerance of Hami melon fruit in postharvest storage were investigated. The muskmelon fruit, 'Xizhoumi25' muskmelon, was used as a test material and was fumigated with 60 $\mu\text{L/L}$ NO for 3 h and stored at (1 \pm 0.5 $^{\circ}\text{C}$), (3 \pm 0.5 $^{\circ}\text{C}$) and (5 \pm 0.5 $^{\circ}\text{C}$), respectively. The chilling injury incidence and chilling index were counted. The activities of catalase (CAT), peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD), the production rate of superoxide anion ($\text{O}_2^{\cdot-}$) and the content of hydrogen peroxide (H_2O_2) were determined regularly. The results showed that NO treatment could increase the activities of SOD and POD and inhibit the production rate of $\text{O}_2^{\cdot-}$. At the storage temperature of 1 $^{\circ}\text{C}$, the incidence of chilling injury was the highest and the occurrence of chilling injury was reduced by NO treatment. At the storage temperature of 3 $^{\circ}\text{C}$, the chilling injury incidence occurred slightly in the control fruit, but the chilling injury was inhibited by NO-treatment. When the storage temperature was 5 $^{\circ}\text{C}$, the chilling injury and disease symptoms occurred in the late storage period, and the chilling injury and disease were alleviated by NO treatment. The antioxidant enzyme activity was increased and the accumulation of reactive oxygen species (ROS) were inhibited by NO fumigation, thus reducing the chilling injury of fruits. The storage quality of Hami melon fruit could be maintained, and the occurrence of chilling injury could also be inhibited by the NO fumigation treatment at 3 $^{\circ}\text{C}$.

Key words: Hami melon; nitric oxide; reactive oxygen species; chilling injury

收稿日期: 2017-12-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31660478); 新疆维吾尔自治区青年基金项目 (2017D01B23)

作者简介: 王鲁阳 (1993-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工及贮藏工程

通讯作者: 张平 (1964-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 农产品加工及贮藏工程

哈密瓜(*Cucumis melo* L.)为葫芦科(*Cucurbitaceae*)一年生蔓性植物,有着十分悠久的栽培历史,栽培面积和产量均居世界前列^[1]。“西州蜜 25 号”是杂交选育的哈密瓜类型甜瓜新品种,其营养丰富、脆甜可口,备受广大消费者的青睐^[2]。但由于哈密瓜采收期相对集中,含糖量较高,生理代谢旺盛,后熟衰老迅速使果实品质下降^[3]。低温贮藏是果实贮藏保鲜最为有效的方法之一,但在不适宜的低温条件下,会导致果实出现冷害^[4]。冷害发生的症状一般为:果皮表面出现水浸状斑点、干疤、褐变、开裂,果肉开始变硬而后出现凹陷,果实芳香气味丧失,还会伴有异味和苦味出现^[5]。果实冷害的发生将会为微生物的侵染提供便利条件,同时,也严重影响了果实的食用价值和商品价值。因此,如何减轻果实冷害已成为甜瓜贮运产业亟待解决的关键问题之一。

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,能够参与植物对各种生物和微生物胁迫反应的信息传递^[6]。近年来,NO 在果蔬采后生理过程中的作用正受到越来越多的关注。

外源 NO 熏蒸可通过影响果实中抗氧化系统和脯氨酸代谢及其叶绿素代谢、能量代谢以及 GABA 代谢的活性来提高香蕉果实的耐冷性^[7],表明 NO 可能通过调控果实的能量代谢减轻果实的冷害。目前,NO 对果蔬保鲜的研究主要集中于延缓果实采后的衰老及抗病效果等,但在低温条件下,外源 NO 熏蒸是否可以增强果实耐冷性还不清楚。本文以“西州蜜 25 号”哈密瓜为试验材料,探究 NO 熏蒸处理影响哈密瓜活性氧代谢与耐冷性的关系,以期对 NO 熏蒸调控果实采后耐冷性适宜温度的研究提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

哈密瓜品种为“西州蜜 25 号”,采自鄯善县哈密瓜生产基地,选择成熟度基本一致、大小均一、带 T 型蔓果柄、无损伤、无病害的果实,用发泡网包装,放入标准瓜箱中,防止在运输过程中哈密瓜受到碰撞损伤,当天运回新疆农业科学院农产品贮藏与加工研究所实验室,将果实运置冷库中,10℃预冷 24 h。

NO 气体(纯度 99.9%);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;XMTD-4000 型电热恒温水浴;北京市永光明医疗仪器厂,YC-260L4℃冰箱。

1.2 处理方法

挑选经过预冷后大小均一、无病虫害的哈密瓜果实随机分为 2 组,一组放在熏蒸箱(内含小风扇)内。NO 的熏蒸浓度为 60 μL/L,用微量气体进样器注入 NO 纯度为 99.96%的标准气体,同时打开风扇,使 NO 气体在熏蒸箱中均匀分布,熏蒸 3 h。另一组用微量进样器注入等量的空气,盖上熏蒸箱上进气口的塞子,同时打开风扇,放置 3 h。分别将其贮藏于(1±0.5℃)、(3±0.5℃)、(5±0.5℃)的低温冷库中。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定

参考曹建康等^[8]方法,采用 NBT 法测定。

1.3.2 过氧化氢酶(CAT)活性的测定

参考 Zhou 等^[9]方法并略有改动。

1.3.3 过氧化物酶(POD)活性的测定

参考 Zhou 等^[9]方法,采用愈创木酚法测定。

1.3.4 超氧阴离子自由基(O^{2·-})产生速率测定

参照 Ren^[10]的方法。

1.3.5 过氧化氢(H₂O₂)含量的测定

参照曹建康^[8]的方法。

1.3.6 冷害率及冷害指数的测定

$$\text{冷害率} = \frac{\text{冷害发生果实数}}{\text{果实总数}} \times 100\%$$

冷害指数参考毕阳^[11]的方法。

冷害指数按下式计算:冷害指数=Σ(冷害果数×冷害级别)/(总果实个数×5)。

1.4 数据分析及处理

使用 SPSS v18.0 软件对实验数据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 熏蒸对哈密瓜采后贮藏过程中冷害发病情况的影响

如图 1 所示,低温贮藏 15 d 后,将哈密瓜果实放在室温下 2 d 观察冷害指数,哈密瓜果实在贮藏中后期开始出现冷害。在 1℃贮藏条件下,对照组哈密瓜果实在第 15 d 出现冷害,在瓜皮表面出现水浸状斑点,在贮藏第 20 d,瓜肉出现明显的凹陷;而 NO 处理组

果实冷害发生比对照组推迟了 5 d 发生，并且在整个贮藏过程中 NO 处理组果实冷害程度均低于对照组（如图 a）。3 °C 贮藏期间对照组果实在贮藏第 20 d 开始发生冷害，而 NO 处理组果实在整个贮藏过程中都未发生冷害（如图 b）。在 5 °C 贮藏条件下，对照组果实在第 20 d 出现冷害症状，而 NO 处理组也在贮藏后期第 25 d 发生冷害，在贮藏第 25、30 d，对照组果实瓜皮表面出现较为明显的病斑斑点，NO 处理组果实的冷害程度略微低于对照组果实（如图 c）。说明在低温贮藏过程中，NO 处理均能够抑制果实冷害的发生，但相比于 1 °C、5 °C，3 °C 条件下 NO 熏蒸处理的抑制效果最好。

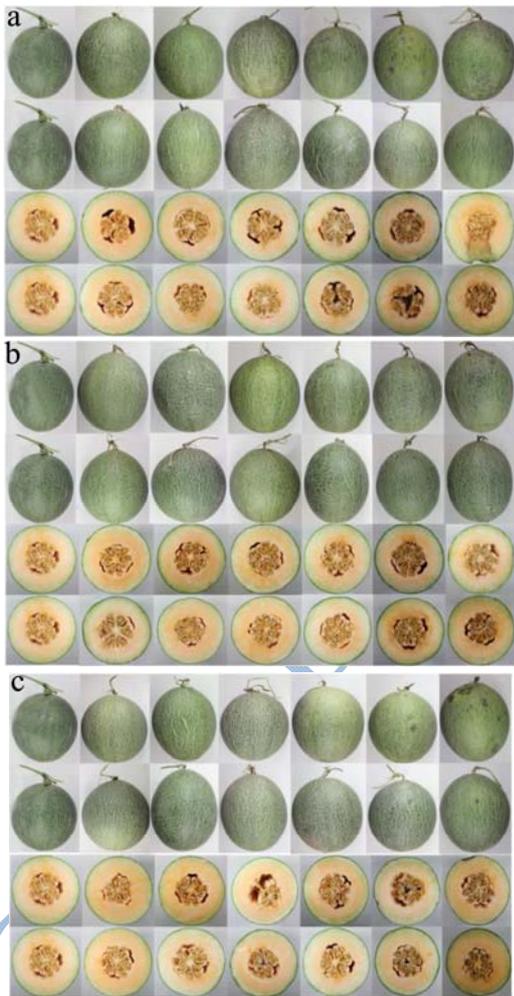


图1 在 1 °C (a)、3 °C (b)、5 °C (c) 条件下一氧化氮熏蒸对哈密瓜果实冷害的影响

Fig.1 Effects of nitric oxide fumigation on the chilling injury of muskmelon fruit at storage temperatures of 1°C (a), 3°C (b) and 5°C (c)

2.2 NO 熏蒸对哈密瓜 CAT 活性和果实耐冷性的影响

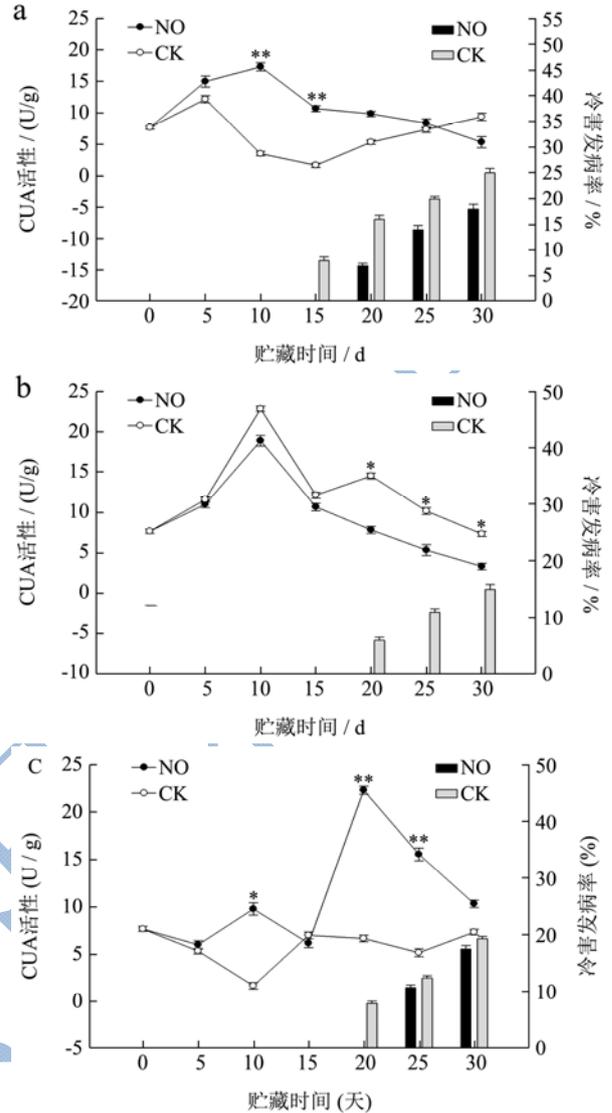


图2 在 1 °C (a)、3 °C (b)、5 °C (c) 条件下一氧化氮熏蒸调控哈密瓜 CAT 活性对果实耐冷性的影响

Fig.2 Effects of nitric oxide fumigation on the cold tolerance of muskmelon fruits by regulating CAT activity at storage temperatures of 1°C (a), 3°C (b) and 5°C (c)

注：*表示 $p < 0.05$ 差异显著，**表示 $p < 0.01$ 差异极显著。

如图 2 所示，随着贮藏时间的延长，果实的冷害发病率逐渐上升。1 °C 贮藏条件下哈密瓜果实 CAT 活性总体呈先升高后下降的变化趋势。在贮藏期间前 10 d，果实的冷害发病率为 0%，NO 处理组哈密瓜果实的 CAT 活性明显升高，且在第 10 d 时 CAT 活性比对照组高出 4.95 倍 ($p < 0.01$)。贮藏结束时，对照果实的冷害发病率高达 25%，NO 处理组果实的 CAT 活性下降至比对照果实低，NO 处理组和对照组甜瓜果实 CAT 活性为 5.376 U/g、9.273 U/g（如图 a）。与 1 °C 贮藏下的果实相比，3 °C 贮藏期间 NO 处理组果实未出现冷害。NO 处理组和对照组的 CAT 活性变化趋势相同，NO 处理能够降低果实的 CAT 活性，贮藏第 20

d时,NO处理组果实的CAT活性比对照组果实低1.85倍 ($p<0.05$),对照组果实开始出现冷害。贮藏结束时,NO处理组果实的CAT活性仍低于对照组果实,CAT活性分别为3.333 U/g、7.297 U/g(如图b)。

而5℃贮藏条件下,哈密瓜果实CAT活性的变化趋势不同于1℃和3℃贮藏的果实,但NO处理能够明显促进果实CAT的活性,推迟果实冷害的发生,尤其是贮藏第15d后表现的最为明显,在贮藏第20d时,NO处理果实的CAT活性比对照组高出3.35倍 ($p<0.01$)(如图c)。

2.3 NO熏蒸对哈密瓜POD活性和果实耐冷性的影响

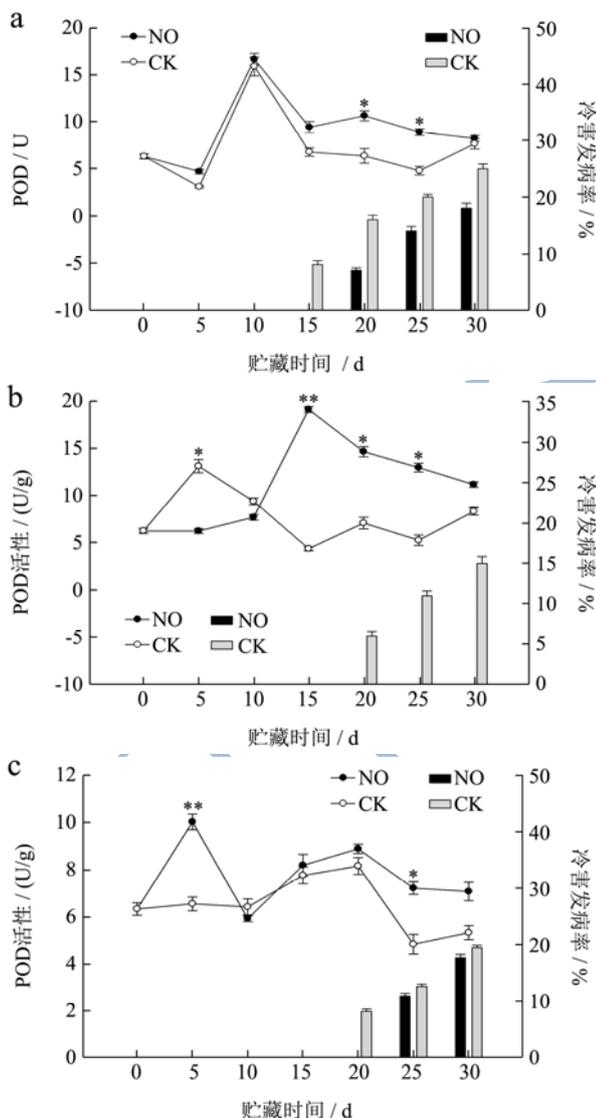


图3 在1℃(a)、3℃(b)、5℃(c)条件下一氧化氮熏蒸调控哈密瓜POD活性对果实耐冷性的影响

Fig.3 Effects of nitric oxide fumigation on the cold tolerance of muskmelon fruits by regulating POD activity at storage

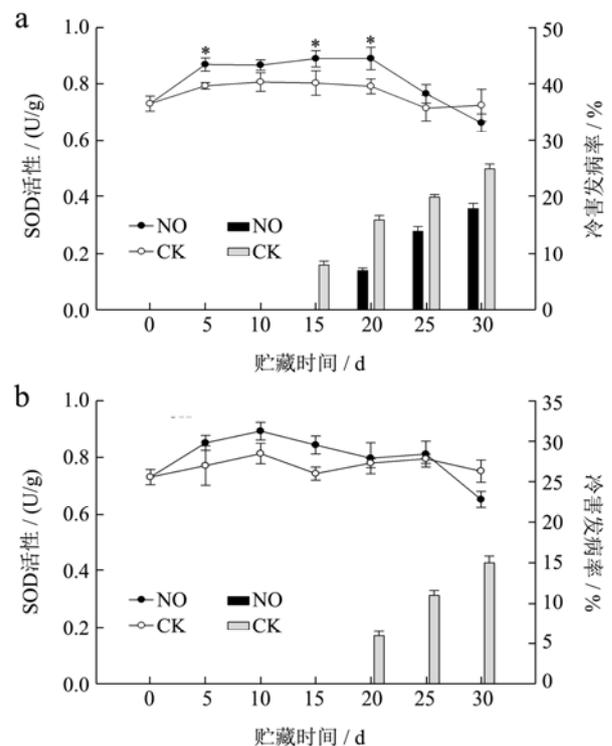
注: *表示 $p<0.05$ 差异显著, **表示 $p<0.01$ 差异极显著。

如图3所示,1℃贮藏条件下,哈密瓜果实POD活性变化趋势基本相似。NO处理能够促进果实POD的活性,但在贮藏期间前15d没有显著差异。在贮藏第20d时,NO处理组果实的POD活性比对照果实高了40.27% ($p<0.05$)(如图a)。

与1℃贮藏下的果实相比,3℃贮藏期间哈密瓜果实POD活性的变化趋势不同,在贮藏期间前10d,NO处理果实组抑制了POD活性。而10d之后NO处理促进了果实POD的活性。在贮藏第15d时,NO处理组POD活性比对照组高了77% ($p<0.01$)(如图b)。而5℃贮藏条件下,NO处理能够促进果实的POD活性,在贮藏第25d时,NO处理组和对照组果实均出现冷害,NO处理组果实的POD活性比对照组果实高了33% ($p<0.05$)(如图c)。

2.4 NO熏蒸对哈密瓜SOD活性和果实耐冷性的影响

如图4所示,1℃贮藏条件下,NO处理能够促进果实的SOD活性,在贮藏第20d时,NO处理组果实SOD活性比对照组高了11% ($p<0.05$),至贮藏结束时,果实的冷害发病率达到最大,NO处理组果实的SOD活性高于对照组(如图a)。与1℃贮藏下的果实相比,3℃贮藏条件下,NO处理组果实促进了SOD的活性,在贮藏后期,两处理组SOD活性差异不显著(如图b)。



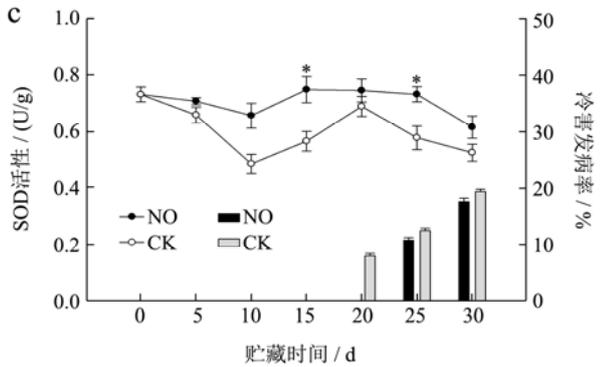


图4 在1℃(a)、3℃(b)、5℃(c)条件下一氧化氮熏蒸调控哈密瓜SOD活性对果实耐冷性的影响

Fig.4 Effects of nitric oxide fumigation on the cold tolerance of muskmelon fruits by regulating SOD activity at storage temperatures of 1℃(a), 3℃(b) and 5℃(c)

注: *表示 $p < 0.05$ 差异显著, **表示 $p < 0.01$ 差异极显著。

与1℃、3℃贮藏条件下不同的是,5℃贮藏期间哈密瓜果实的SOD活性变化明显,NO处理能够较为明显促进果实的SOD活性,在贮藏第15d时,NO处理组果实的SOD活性比对照组高了1.33倍($p < 0.05$) (如图c)。

2.5 NO熏蒸调控哈密瓜 $O_2^{\cdot-}$ 的产生速率对果实耐冷性的影响

如图5所示,1℃贮藏条件下,超氧阴离子产生速率在贮藏前期略有升高,后期伴随着果实冷害的发生超氧阴离子产生速率也呈现逐渐增加的变化趋势,NO处理能够抑制超氧阴离子的产生速率,在贮藏第25d时,NO处理组果实的超氧阴离子产生速率比对照组果实低了72%($p < 0.01$) (如图a)。3℃贮藏期间甜瓜果实的超氧阴离子产生速率呈先出下降的变化趋势,NO处理能够抑制果实超氧阴离子的产生速率,在贮藏第20d时,NO处理组超氧阴离子的产生速率比对照组果实低了73%($p < 0.01$),至贮藏结束时,果实的冷害发病率达到最大,NO处理组果实的超氧阴离子的产生速率仍高于对照组 (如图b)。

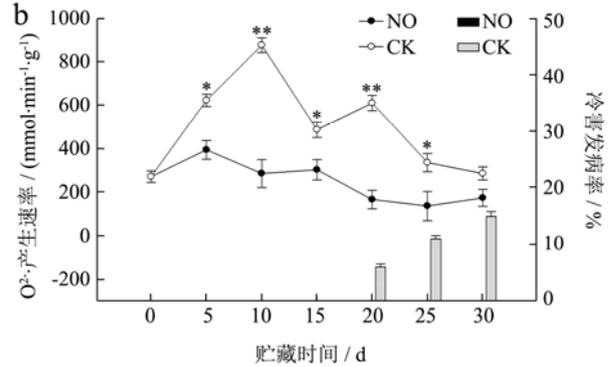
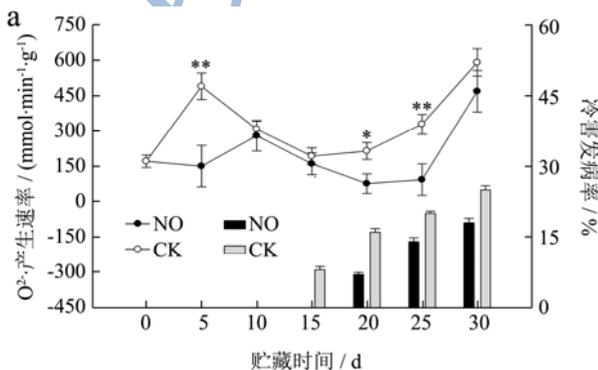


图5 在1℃(a)、3℃(b)、5℃(c)条件下一氧化氮熏蒸调控哈密瓜 $O_2^{\cdot-}$ 的产生速率对果实耐冷性的影响

Fig.5 Effects of nitric oxide fumigation on the cold tolerance of muskmelon fruits by regulating $O_2^{\cdot-}$ activity at storage temperatures of 1℃(a), 3℃(b) and 5℃(c)

注: *表示 $p < 0.05$ 差异显著, **表示 $p < 0.01$ 差异极显著。

而5℃贮藏条件下,NO处理组果实能够有效抑制超氧阴离子的产生速率,尤其在贮藏后期,发生冷害时,NO处理组的超氧阴离子的产生速率明显低于对照果实,在贮藏第30d时,NO处理组果实的超氧阴离子产生速率比对照组果实低了81%($p < 0.01$) (如图c)。

图5 在1℃(a)、3℃(b)、5℃(c)条件下一氧化氮熏蒸调控哈密瓜 $O_2^{\cdot-}$ 的产生速率对果实耐冷性的影响

Fig.5 Effects of nitric oxide fumigation on the cold tolerance of muskmelon fruits by regulating $O_2^{\cdot-}$ activity at storage temperatures of 1℃(a), 3℃(b) and 5℃(c)

注: *表示 $p < 0.05$ 差异显著, **表示 $p < 0.01$ 差异极显著。

而5℃贮藏条件下,NO处理组果实能够有效抑制超氧阴离子的产生速率,尤其在贮藏后期,发生冷害时,NO处理组的超氧阴离子的产生速率明显低于对照果实,在贮藏第30d时,NO处理组果实的超氧阴离子产生速率比对照组果实低了81%($p < 0.01$) (如图c)。

2.6 NO熏蒸调控哈密瓜 H_2O_2 含量对果实耐冷性的影响

如图6所示,1℃贮藏条件下,过氧化氢含量在贮藏期间前5d没有明显变化,NO处理能够降低果实过氧化氢的含量,在贮藏第20d时,NO处理组果实的过氧化氢的含量比对照组果实低了17%($p < 0.05$) (如图a)。3℃贮藏期间哈密瓜果实的过氧化氢含量逐渐增加,NO处理能够诱导果实过氧化氢含量的增加,在贮藏第20d时,NO处理组的过氧化氢含量比对照组高了33%($p < 0.01$),至贮藏结束时,果实的冷害发病率达到最大,NO处理组果实的过氧化氢含量仍高于对照组 (如图b)。而在5℃贮藏条件下,NO处理组果实能够有效抑制过氧化氢含量的增加,发生冷害

时,对照组的过氧化氢含量明显升高,在贮藏第 25 d 时,NO 处理组果实的过氧化氢含量比对照组果实低了 27% ($p<0.05$) (如图 c)。

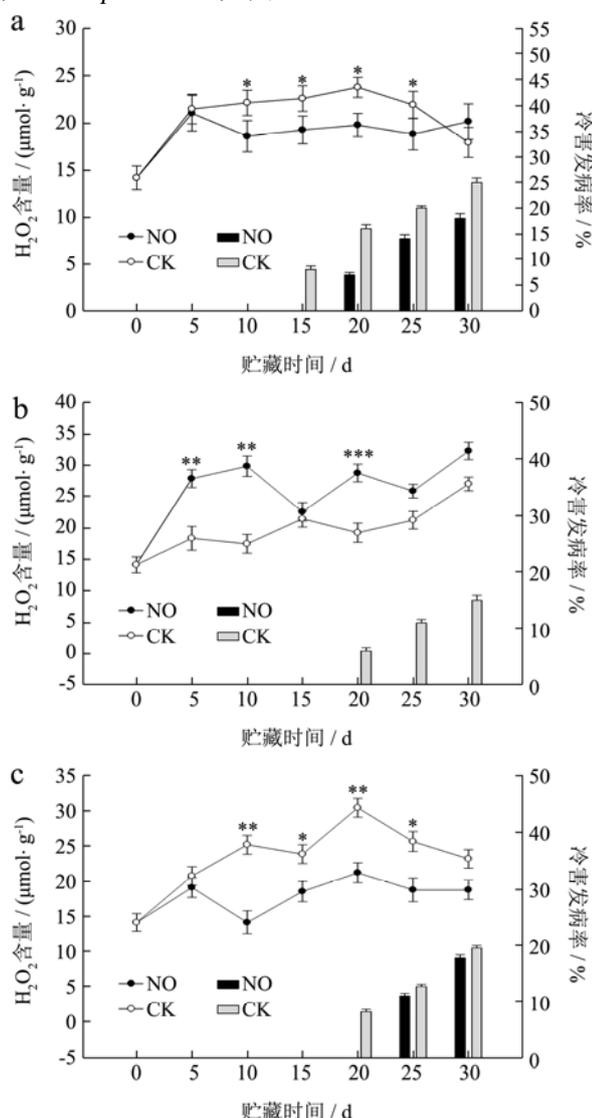


图 6 在 1 °C (a)、3 °C (b)、5 °C (c) 条件下一氧化氮熏蒸调控哈密瓜 H₂O₂ 含量对果实耐冷性的影响

Fig.6 Effects of nitric oxide fumigation on the cold tolerance of muskmelon fruits by regulating H₂O₂ activity at storage temperatures of 1 °C (a), 3 °C (b) and 5 °C (c)

注: *表示 $p<0.05$ 差异显著, **表示 $p<0.01$ 差异极显著。

3 结论

3.1 活性氧 (reactive oxygen species, ROS) 是一类化学性质活泼、氧化能力很强的含氧物质的总称, 主要包括超氧化物、过氧化氢 (hydrogen peroxide, H₂O₂) 和超氧阴离子 (superoxide anion free radical, O²⁻) 等。当植物遭受冷胁迫时, 活性氧自由基会大量积累, 导致活性氧代谢平衡失调, 加剧果实冷害的发生^[12-15]。本试验结果表明, 1 °C 条件下, 哈密瓜果实的冷害发

病率最高, 贮藏后期瓜皮表面出现水浸状斑点, 果肉严重凹陷; 5 °C 条件下, 果实由于贮藏温度较高, 在贮藏后期, 果实抗性下降, 果皮表面发生冷害并伴有黑色病斑出现; 而 3 °C 条件下, NO 处理组果实整个贮藏期间未发生冷害, 这可能是由于在 3 °C 条件下 NO 处理能够诱导 H₂O₂ 含量的增加, H₂O₂ 能够作为信号分子启动了果实的防御系统, 同时, NO 处理还能够明显抑制 O²⁻ 的产生速率, 较好的维持果实活性氧代谢的平衡, 从而增强果实的耐冷性, 这与柯德森对香蕉^[16]活性氧代谢的相关研究结果相一致。

3.2 植物在进化中形成了能够清除活性氧的抗氧化酶系统, 主要由超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化氢酶 (CAT), 过氧化物酶 (POD) 等组成^[17,18]。在植物遭受逆境时, SOD、POD 和 CAT 能够清除过高的活性氧, 使细胞内活性氧维持在较低水平, 减轻对细胞造成的伤害^[19]。Lamattina 等^[20]研究表明, 施用 NO 能够提高玉米、小麦和番茄植株和种子的抗低温能力。本研究结果也表明, 在 1、5 °C 贮藏条件下, 虽然贮藏后期果实的冷害发病率较高, 但 NO 处理能够减轻果实冷害的发生, 这可能跟 NO 处理能够提高果实 SOD、POD 酶的活性有关, 而在 3 °C 贮藏条件下, NO 处理组哈密瓜果实无冷害发生, 这可能是由于 NO 处理在 3 °C 条件下能更好地诱导甜瓜抗性相关酶的提高清除细胞中过多的活性氧, 从而抑制果实冷害的发生。说明 NO 处理对果实冷害的控制效果显著, 与对照组哈密瓜果实相比, NO 处理能够提高冷藏期间哈密瓜果实抗氧化酶 SOD 和 POD 的活性, 降低活性氧自由基 O²⁻ 的产生速率, 有效地维持活性氧代谢平衡, 从而减轻哈密瓜果实冷害的发生。用 1-甲基环丙烯处理甜柿^[21]、热处理枇杷^[22]、热处理对黄瓜^[23]等研究结果表明, 甜柿、枇杷和黄瓜抗冷性的增强与 SOD、CAT、POD 抗氧化酶活性的增强有关。而本研究中, 在 3 °C 贮藏条件下 NO 处理能够抑制 CAT 的活性与上述研究结果不同, 可能是 NO 处理抑制了 CAT 的活性, 增强了 H₂O₂ 的含量增强了果实的防御系统, 从而提高了哈密瓜果实的抗冷性。这可能也是 NO 减轻果实冷害的机制之一。

3.3 综上所述, 哈密瓜果实采收后低温贮藏过程中 NO 熏蒸处理能够有效减轻果实冷害的发生, 但果实冷害与贮藏温度密切相关。在 1 °C 贮藏条件下, 冷害现象最为严重, 贮藏第 30 d 时, 对照组果实的冷害发病率高达 25%; 在 3 °C 贮藏条件下, NO 处理组果实未发生冷害, 对照组果实在贮藏后期出现冷害; 在 5 °C 贮藏条件下, 贮藏后期, 哈密瓜果实发生冷害, 并且瓜皮表面出现黑色病斑。说明 NO 处理能够提高果实的

SOD、POD 活性,有效抑制 O_2^- 的产生速率,从而减轻果实冷害的发生;与 $1\text{ }^\circ\text{C}$ 和 $5\text{ }^\circ\text{C}$ 相比,在 $3\text{ }^\circ\text{C}$ 贮藏条件下,采用 NO 气体熏蒸处理既能有效维持哈密瓜果实的贮藏品质又能抑制果实冷害的发生。

参考文献

- [1] 杨永,王豪杰,张学军,等.新疆甜瓜地方种质资源遗传多样性的 SRAP 分析[J].植物遗传资源学报,2017,18(3):436-448
YANG Yong, WANG Hao-jie, ZHANG Xue-jun, et al. Genetic diversity analysis of melon landraces (*Cucumis melo*) in Xinjiang based on SRAP markers [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2017, 18(3): 436-448
- [2] Liller W. The impact of kitchen and food service preparation practices on the volatile aroma profile in ripe tomatoes: effects of refrigeration and blanching [J]. Hortscience A Publication of the American Society for Horticultural Science, 2015, 50(9): 1358-1364
- [3] Yu F, Ni Z, Shao X, et al. Differences in sucrose metabolism in peach fruit stored at chilling stress versus nonchilling stress temperatures [J]. Hortscience A Publication of the American Society for Horticultural Science, 2015, 50(10): 1542-1548
- [4] Jiang H, Ying-Chun X U, Yong-Rong L I, et al. The study on cold resistance of different citrus mediacstrains [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012
- [5] 罗金山.石榴冷害与病害生理及调控技术研究[D].天津:天津科技大学,2015
LUO Jin-shan. Study on physiology and regulation of pomegranate cold damage and disease [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2015
- [6] 石武良.拟南芥一氧化氮合成相关蛋白(*AtNOA1*)的生物学功能研究[D].厦门:厦门大学,2009
SHI Wu-liang. Study the biological function of Nitric Oxide Associated Protein 1(*AtNOA1*) in *arabidopsisthaliana* [D]. Xiamen: Xiamen University, 2009
- [7] 陈兰.外源 NO 对番木瓜果实贮藏过程中活性氧代谢的影响[D].广州:华南农业大学,2012
CHEN Lan. Effect of nitric oxide(NO) on storage and active oxygen metabolism of postharvest papaya (*Carica papaya* L.) fruit [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2012
- [8] 王延圣.一氧化氮处理诱导采后香蕉果实耐冷性机理的研究[D].杭州:浙江大学,2015
WANG Yan-sheng. Mechanism of nitric oxide treatment in inducing chilling tolerance of postharvest banana fruit [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015
- [9] 曹建康,姜微波.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. Experimental guidance on postharvest physiology and biochemistry of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [10] Zhou Y, Li S, Zeng K. Exogenous nitric oxide-induced postharvest disease resistance in citrus fruit to *Colletotrichumgloeosporioides* [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(2): 505-512
- [11] Ren Y, Wang Y, Yang B, 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
- [12] 张梦如,杨玉梅,成蕴秀,等.植物活性氧的产生及其作用和危害[J].西北植物学报,2014,34(9):1916-1926
ZHANG Meng-ru, YANG Yu-mei, CHENG Yun-xiu, et al. Generation of reactive oxygen species and their functions and deleterious effects in plants [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2014, 34(9): 1916-1926
- [13] 张维一,毕阳.果蔬采后病害与控制[M].北京:中国农业出版社,1996
ZHANG Wei-yi, BI Yang. Postharvest diseases and control of fruits and vegetables [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996
- [14] Filippou P, Antoniou C, Obata T, et al. Kresoxim-methyl primes medicagotruncatula plants against abiotic stress factors via altered reactive oxygen and nitrogen species signalling leading to downstream transcriptional and metabolic readjustment [J]. Journal of Experimental Botany, 2016, 67(5): 1259-1274
- [15] 潘少丽.活性氧在采后香蕉果实耐冷诱导中的作用[D].广州:华南农业大学,2006
PAN Shao-li. Effect of reactive oxygen species on postharvest cold tolerance in banana fruit [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2006
- [16] 柯德森,王爱国,罗广华.成熟香蕉果实活性氧与乙烯形成酶活性的关系[J].分子植物(英文版),1998,4:313-319
KE De-sen, WANG Ai-guo, LUO Guang-hua. Relationship between active oxygen enzyme in mature banana fruit and ethylene formation [J]. Molecular Plant, 1998, 4: 313-319
- [17] 奉斌,代其林,王劲.非生物胁迫下植物体内活性氧清除酶系统的研究进展[J].绵阳师范学院学报,2009,28(11):50-53

- FENG Bin, DAI Qi-lin, WANG Jin. Studies on the scavenging enzymes of reactive oxygen species in plants under abiotic stress[J]. Journal of Mianyang Normal University, 2009, 28(11):50-53
- [18] He Y, Huang B R. Differential responses to heat stress in activities and isozymes of four antioxidant enzymes for two cultivars of kentucky bluegrass contrasting in heat tolerance[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2010, 135(2):116-124
- [19] 马爱梅. 不同基因型水稻应答稻瘟病菌侵染的过氧化物酶系活性变化及蛋白质组学研究[D]. 南京:南京农业大学, 2014
- MA Ai-mei. Identification the peroxidase activities and proteomics of different genotype rice species response to the rice blast fungus[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014
- [20] Lamattina L, Beligni M V, Garcia-Mata C, et al. Method of enhancing the metabolic function and the growing conditions of plants and seeds: US, US 6242384 B1[P]. 2001
- [21] 张宇. 1-甲基环丙烯对甜柿贮藏中冷害的控制作用[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2010
- ZHANG Yu. Reduction of chilling injury in sweet persimmon fruit by 1-MCP[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2010
- [22] 陈发河, 张晓勇, 吴光斌, 等. 热处理诱导枇杷果实抗冷性与组织保护酶系变化的关系[J]. 食品与机械, 2009, 25(5):29-33
- CHEN Fa-he, ZHANG Xiao-yong, WU Guang-bin, et al. The relationship of inducing chilling tolerance by postharvest heat treatment and protection enzymes activity in loquat fruit[J]. Food & Machinery, 2009, 25(5):29-33
- [23] 郑鄢燕, 代晓霞, 申琳, 等. 热处理与内源 H₂O₂ 对黄瓜抗冷性和抗氧化酶活性的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(22): 314-318.
- ZHENG Yan-yan, DAI Xiao-xia, SHEN Lin, et al. Effect of heat treatment and endogenous H₂O₂ on cold tolerance and antioxidant enzymes of cucumber[J]. Food Science, 2012, 33(22):314-318