

一氧化氮(NO)和湿度因子对哈密瓜采后耐冷性的影响

王霞¹, 魏佳², 张政², 玉山江·麦麦提², 胡江伟², 吴斌²

(1. 新疆农业大学食品科学与药学院, 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: 为探究湿度因子对一氧化氮(NO)提高哈密瓜采后耐冷性效果的影响, 本文采用 60 $\mu\text{L/L}$ NO 在低湿(LH: 35%~45%)、中湿(MH: 65%~75%)和高湿(HH: 90%~99%)条件下进行熏蒸处理。研究贮藏温度 3 $^{\circ}\text{C}$ 条件下对哈密瓜采后冷害及品质参数变化的影响。结果表明: 在不同湿度熏蒸条件下, NO 均能延缓哈密瓜采后冷害的发生和品质劣变。低湿度因子为 35%~45% 时可以显著提高哈密瓜采后贮藏过程的耐冷性, 与对照相比, NO 处理组冷害推迟 5 d 发生, 贮藏 30 d 时, 冷害指数最低, 仅为 40.00%; 贮藏过程中, NO 处理组果实品质保持效果较好, 硬度下降速度缓慢, 为 17.07 N, 仅比贮藏前下降了 29.08%, 细胞膜渗透率只上升了 24.11%; 能有效延缓果实品质中可滴定酸、抗坏血酸含量的下降, 维持较高的可溶性固形物含量; NO 处理可以降低呼吸速率和乙烯释放量, 延迟呼吸高峰和乙烯高峰的出现, 且峰值比对照低了 33.80% 和 27.04%, 从而减缓果实软化进程, 有效延长哈密瓜的贮藏时间。明确了湿度因子是影响 NO 熏蒸效果的主要因素之一, 在低湿度 35%~45% 条件熏蒸, NO 可以更好的提高哈密瓜果实的耐冷性, 保持较好的贮藏品质。

关键词: 一氧化氮; 湿度因子; 品质; 冷害; 哈密瓜

文章编号: 1673-9078(2019)07-66-75

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.7.010

Effects of Nitric Oxide (NO) and Humidity on Chilling Tolerance of Hami Melon during Postharvest Storage

WANG Xia¹, WEI Jia², ZHANG Zheng², YU Shan-Jiang·Maimaiti², HU Jiang-wei², WU Bin²

(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 and humidity on chilling tolerance of muskmelon fruit during postharvest storage were investigated. The muskmelon fruit was fumigated with 60 $\mu\text{L/L}$ nitric oxide gas for 2 hours, along with air treatment as control, in three different humidity groups: Low humidity (LH: 35%~45%), medium humidity (MH: 65%~75%) and high humidity (HH: 90%~99%), respectively. The chilling injury and quality deterioration were all delayed by NO in all humidity groups. The chilling tolerance was improved significantly when the low humidity factor was 35%~45%. Compared with the control, the chilling injury of NO treatment group was delayed for 5 days, and the cold injury index was the lowest when it was stored for 30 days, only 40.00%; During the storage period, the fruit quality of the NO group was the best, and the slowest decline in the hardness was found (17.07 N), which was only 29.08% lower than the control group. The slowest growth in the cell membrane permeability was found (only 24.11%). It can Maintain fruit firmness and slow the increase in cell membrane permeability; It can effectively delay the decline of titratable acid and Vc content in fruit quality and maintain high soluble solid content. NO treatment can reduce the respiratory rate and ethylene release, while the peak of respiratory and ethylene peak delays, and the peak value is the lowest (33.80% and 27.04% lower than the control), respiration rate and the process of softening. It was confirmed that humidity was a factor affected the NO fumigation effect. These results suggested that the chilling tolerance improvement and the fruit quality

收稿日期: 2019-03-13

基金项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金青年基金项目 (2017D01B23)

作者简介: 王霞 (1992-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品贮藏与加工

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

enhancement of postharvest melon might be attributed to the low humidity and NO fumigation.

Key words: NO; humidity; quality; chilling injury; muskmelon

新疆哈密瓜 (*Cucumis melo* L.) 古称甜瓜、甘瓜, 维吾尔族称“库洪”, 其果实甘甜如蜜、味香汁浓, 是新疆的一大名优特产^[1,2]。由于哈密瓜采收期处于夏季高温, 采收后, 水分流失速度加快, 高温条件下贮藏期缩短^[3]。目前, 低温贮藏是哈密瓜贮藏保鲜最有效的方法之一, 但哈密瓜属于冷敏性果实, 对温度因子较为敏感。在低温贮藏条件下, 温度变化易导致哈密瓜果实冷害发生, 致使果实的商品价值和食用价值下降^[4], 如何降低冷链储运中哈密瓜果实冷害的发生已成为亟待解决的主要问题之一。

近年来, 一氧化氮 (nitric oxide, NO) 作为一种信号分子, 在桃^[5]、甜瓜^[2]、李子^[6]、高山离子芥^[7]的研究中证实外源 NO 可以降低果实冷害的发生, 提高果实的抗氧化酶活性, 维持细胞壁的完整性。在香蕉^[8]、芒果^[9]、枇杷等^[10]研究中显示以硝普钠 (SNP) 为 NO 供体浸泡果实, 能在一定程度上减轻果实的冷害的发生, 提高果实的耐冷性。张娜等^[11]研究表明在相对湿度 95% 条件下用臭氧熏蒸树莓能较好的保持果实的贮藏品质。白有强等^[12]研究表明, 在湿度为 80%~85% 的低温条件下进行臭氧熏蒸贮藏, 能较好的保持甜瓜果实采后品质。目前, 湿度因子对果蔬保鲜研究多集中在采后贮藏期的调控上, 贮藏前湿度因子对哈密瓜处理的影响研究还较少。因此, 在低温条件下, 研究一氧化氮和湿度因子熏蒸技术对哈密瓜采后耐冷性的影响具有一定的理论意义。

为此, 本文以新疆哈密瓜-俊秀品种为试材, 在不同湿度条件下, 采用 NO 气体进行熏蒸保鲜处理, 分析湿度因子对 NO 熏蒸效果的影响, 研究 NO 和湿度因子熏蒸处理对新疆哈密瓜采后冷害及贮藏品质的影响, 对后期 NO 和湿度熏蒸哈密瓜研究提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

哈密瓜: 俊秀品种, 采自新疆喀什疏勒县甜瓜生产基地。选取单果在 2.0~3.0 kg 左右、大小均一、带 T 型蔓果柄、无任何损伤、无病虫害、可溶性固形物 8.0%~10% 的哈密瓜果实。分别将套装发泡网的哈密瓜果实装于标准纸箱内, 每个箱子装 3~4 个, 当天运回新疆农业科学院冷库, 在 15 °C 条件下存放。

NO 气体 (纯度 99.99%), 新天意气体有限公司; DDS-11A 型电导仪, 上海大浦仪器有限公司; Agilent

7890A, 安捷伦科技 (中国) 有限公司; GL-20G-II 型高速冷冻离心机, 上海安亭科学仪器厂; XMTD-4000 型电热恒温水浴锅, 北京市永光明医疗仪器厂。

1.2 实验方法

挑选预冷好的哈密瓜果实随机分为 6 组, 每组处理 42 个果实, 3 个重复, 熏蒸时间 2 h。试验设计: ①低湿组 (LH, 35%~45%): 60 μ L/L NO 和 LH 35%~45%熏蒸; ②低湿组 (LH, 35%~45%): CK 对照, LH 35%~45%熏蒸; ③中湿组 (MH, 65%~75%): 60 μ L/L NO 和 MH 65%~75%熏蒸; ④中湿组 (MH, 65%~75%): CK 对照, MH 65%~75%熏蒸; ⑤高湿组 (HH, 90%~99%): 60 μ L/L NO 和 HH 90%~99%熏蒸; ⑥高湿组 (HH, 90%~99%): CK 对照, HH 90%~99%熏蒸。处理结束后将其拿出晾晒半小时后贮藏于低温 (3 $\pm$ 0.5 °C, RH 65%~75%) 冷库中。入库当天及此后每隔 5 d 取 3 个果实测定相关指标, 另外每隔 5 d 取出 3 个果实于室温放置 3 d 后统计冷害指数。

1.3 测定方法

1.3.1 冷害指数(CI)

冷害指数参考毕阳等^[13]的方法。按公式计算:

$$CI = \frac{\sum \text{冷害果实数} \times \text{冷害级数}}{\text{总果实数} \times \text{最高冷害级数}}$$

冷害程度分为 5 级; 0 级, 无冷害发生; 1 级, 冷害发生面积 $\leq$ 10%; 2 级, 11%<冷害发生面积 $\leq$ 25%; 3 级, 26%<冷害发生面积 $\leq$ 50%; 4 级, 冷害发生面积 $\geq$ 50%。

1.3.2 硬度

采用 GY-4 型硬度计测定。选取 3 个果实, 沿赤道部位将瓜切开, 用直径 1 cm 的探头在对称部位距果皮 1 cm 处取 6 个点分别测定果肉的硬度, 最后取其平均值。

1.3.3 可溶性固形物含量

采用手持数显折糖仪 (PAL-1) 测定。随机选取待测果 3 个, 在果实赤道最大直径处的对称部位测定可溶性固形物含量, 重复 3 次取其平均值。

1.3.4 可滴定酸含量

每个处理随机选取 3 个甜瓜果实, 用手动榨汁机榨汁, 取汁液, 在 4000 r/min 离心 10 min 后取 10.00 mL 上清液 10.00 mL 置于 100 mL 锥形瓶中。在锥形瓶中

加 2 滴酚酞, 用邻苯二甲酸氢钾标定过的 0.05 mol/L 的 NaOH 溶液滴定至粉红色, 记录 NaOH 溶液体积。结果以柠檬酸计 (折算系数为 0.064)。

1.3.5 抗坏血酸含量

参照 Jines^[14]的方法测定, 5.0 g 哈密瓜果肉加入 10 mL 2% 的乙酸, 均质离心取上清液。采用 2,6-二氯酚靛酚法测定, 单位: mg·100/g FW。

1.3.6 细胞膜透性

参照 Li 等^[15]的方法并加以改进。取哈密瓜赤道部位对称果肉, 用直径为 1 cm 的不锈钢打孔器在距离果皮 10 mm 取厚度相一致的果肉原片 20 片, 用去离子水冲洗, 滤纸吸干表面水渍, 放入准确添加 20 mL 去离子水的烧杯中, 在 25 °C 下浸泡 15 min, 测定溶液电导率 L_0 , 将溶液煮沸 15 min, 再次测定电导率 L_1 。

1.3.7 呼吸速率及乙烯释速率

呼吸速率采用静置法。将哈密瓜分别放入密封箱中密闭 1 h 后, 草酸滴定, 计算方法参考曹建康等^[16]方法; 用注射器抽取 1 mL 气体, 采用气相色谱仪 (Agilent 7890 A) 进行乙烯测定, 色谱分析条件参考王倩等^[17]。

1.4 数据分析与处理

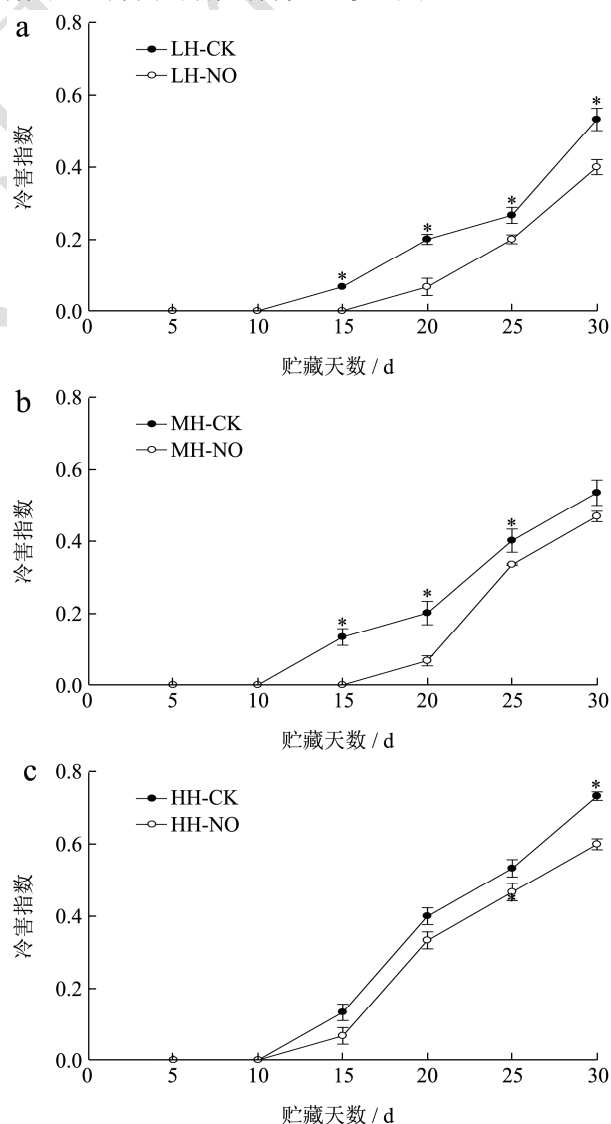
用 Excel 进行数据统计, Sigma Plot 12.5 作图, SPSS 19.0 软件进行差异显著性分析 (ANOVA)。*表示 $p < 0.05$ 差异显著, **表示 $p < 0.01$ 差异极显著。

2 结果与分析

2.1 湿度因子和 NO 熏蒸对哈密瓜果实采后冷害指数的影响

冷害指数可以反映果实在低温环境中贮藏效果的好坏。湿度因子和 NO 熏蒸对哈密瓜果实采后冷害指数的影响如图 1 所示。在整个贮期中, 哈密瓜的冷害指数呈上升趋势。未经 NO 处理的哈密瓜果实冷害指数高于处理组。贮藏第 15 d 时, 果实开始出现冷害, 至贮藏结束, 冷害加剧。贮期第 30 d 时, LH-CK、MH-CK 和 HH-CK 组冷害指数分别为 0.53、0.53 和 0.73, 同比 LH-NO、MH-NO 和 HH-NO 组分别上升了 33.32%、14.20% 和 22.21%, NO 处理的果实显著低于同一湿度下的对照组 ($p < 0.05$) (图 1a、b、c)。说明 NO 处理可以显著降低果实的冷害指数。这与范蓓等^[18]的研究用一氧化氮供体硝普钠溶液浸泡处理采后青芒果果实, 显著降低冷害, 推迟冷害发生结论一致。

熏蒸湿度影响了 NO 提高果实耐冷性的效果 (图 1d)。对照组在贮期第 15 d 出现冷害, LH-NO 和 MH-NO 处理降低了哈密瓜的冷害, 冷害发生的时间延缓至第 20 d。HH-NO 处理没有延缓哈密瓜冷害出现的时间, 对果实冷害的发生仅有抑制作用。第 30 d 时, LH-NO 组的冷害指数仅为 0.400, 显著低于其他处理组 ($p < 0.05$); HH-NO 组冷害指数至贮藏结束时, 冷害指数高达 60.00%, 显著高于 LH-NO 和 MH-NO 组 ($p < 0.05$)。这可能与湿度的高低对果实表面气孔运动影响有关。贮期前 20 d, LH-NO 和 MH-NO 处理果实的甜瓜冷害指数没有显著的差异, 在 25 d 后二者有显著差异 ($p < 0.05$)。贮藏结束后, NO 处理甜瓜果实的冷害指数大小为 HH-NO > MH-NO > LH-NO。这说明 LH-NO 熏蒸更有利于延缓哈密瓜果实冷害的发生。但果实贮藏过程中较晚的发生冷害现象可能与果实抵御低温环境、NO 加速呼吸产热有关。湿度越大, 冷害越严重, 也可能与 NO 的水溶性和对病原菌的侵染有关, 此方面的研究有待进一步的深入。



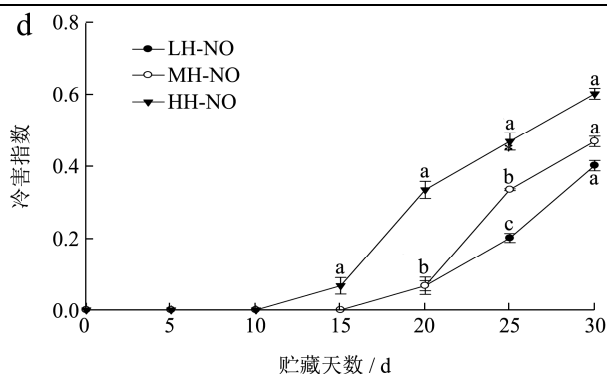


图1 不同处理方式对哈密瓜果实冷害指数的影响

Fig.1 The influence on chilling injury index of melon fruit under different treatment methods

2.2 湿度因子和NO熏蒸对哈密瓜果实采后硬度的影响

随着贮期的延长,果实内部的原果胶被果胶酶水解为可溶性果胶和果胶酸^[19],果实逐渐软化,硬度不断下降。如图2所示,LH-NO和MH-NO处理果实的硬度均高于对照组。HH-NO处理果实硬度仅在第5、15、20 d显著高于对照组。至贮藏结束,LH-CK组和LH-NO组硬度分别下降了47.78%和29.08%(图2a);MH-CK和MH-NO下降了51.10%和47.11%(图2b);HH-CK和HH-NO下降了39.88%和47.78%(图2c)。LH-NO处理果实硬度下降速率显著低于LH-CK($p<0.01$)。说明NO处理能较好的延缓果实硬度的下降。

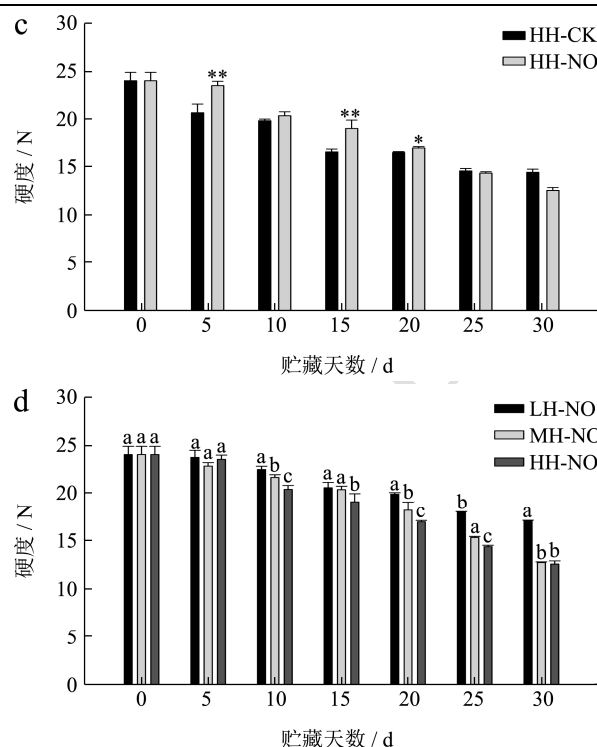
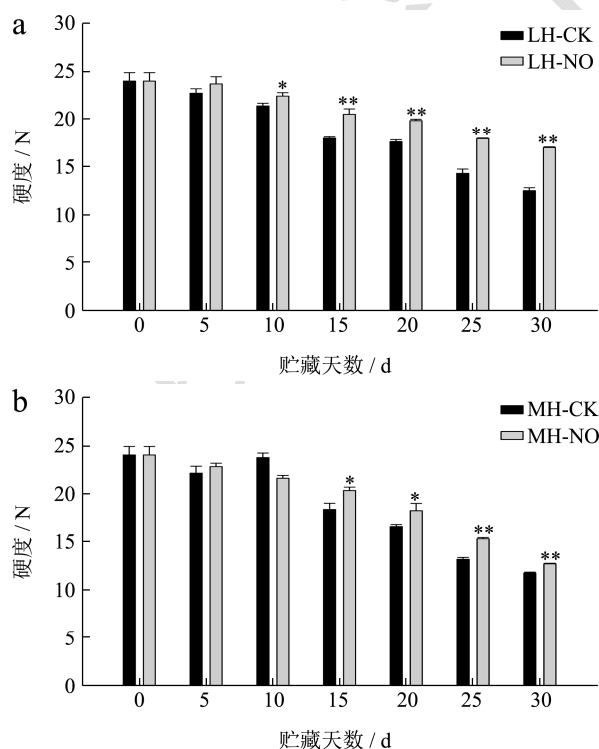


图2 不同处理方式对哈密瓜果实硬度的影响

Fig.2 The influence on hardness of melon fruit under different treatment methods

不同湿度熏蒸处理对硬度有显著影响(如图2d)。贮藏结束时,LH-NO、MH-NO和HH-NO处理组对应的硬度分别是17.07 N、12.73 N、12.57 N,相比入库时硬度,降幅分别为29.08%、47.11%和47.78%,LH-NO下降速度显著低于MH-NO和HH-NO($p<0.05$),但后两者之间无明显差异。表明LH-NO处理能够有效的缓解甜瓜果实采后硬度的下降,这可能是由于NO抑制了果胶甲酯酶和多聚半乳糖醛酸酶等与细胞壁代谢相关酶的活性^[20],也可能是由于湿度变化影响了果实组织对外界环境的耐受力。

2.3 湿度因子和NO熏蒸对哈密瓜果实采后TSS的影响

可溶性固形物(TSS)含量是评价果实风味的重要指标,也常被用来评价果蔬采后耐冷性^[21]。如表1所示,在整个贮期中,果实的TSS变化呈逐渐下降的趋势。LH-NO处理果实的TSS高于对照,仅第20 d有显著差异。MH-NO和HH-NO处理果实的TSS略低于对照,在贮藏后期第20 d和30 d时差异较明显。贮藏第30 d,LH-CK和LH-NO处理比贮藏初期TSS含量仅下降了9.38%和7.62%,MH-CK和MH-NO处理分别下降了12.02%和12.81%,HH-CK和HH-NO处理下降了13.69%和10.75%。果实在贮藏期间TSS

含量变化缓慢,差异不显著 ($p>0.05$)。表明湿度因子和 NO 熏蒸处理果实的 TSS 含量变化影响不明显。这可能由于低温胁迫下, NO 和湿度共同影响了果实的

呼吸与蒸腾作用,降低了糖酵解途径中营养物质的分解代谢。

表 1 不同处理方式对哈密瓜 TSS 的影响

Table 1 The influence TSS of melon fruit under different treatments

处理		时间/d						
		0	5	10	15	20	25	30
LH	CK	10.23±0.21 ^a	10.03±0.32 ^a	10.12±0.15 ^a	9.64±0.21 ^a	9.50±0.20 ^c	9.43±0.20 ^a	9.27±0.12 ^a
	NO	10.23±0.21 ^a	10.26±0.06 ^a	10.31±0.12 ^a	10.25±0.06 ^a	9.90±0.12 ^a	9.70±0.29 ^a	9.45±0.05 ^a
MH	CK	10.23±0.21 ^a	10.20±0.17 ^a	10.17±0.15 ^a	9.87±0.15 ^b	9.73±0.15 ^a	9.60±0.25 ^a	9.00±0.12 ^b
	NO	10.23±0.21 ^a	10.10±0.11 ^b	10.15±0.21 ^a	9.83±0.12 ^b	9.40±0.06 ^d	9.30±0.06 ^a	8.92±0.17 ^c
HH	CK	10.23±0.21 ^a	10.13±0.06 ^b	10.13±0.15 ^a	9.87±0.06 ^b	9.57±0.10 ^b	9.10±0.00 ^a	8.83±0.06 ^d
	NO	10.23±0.21 ^a	10.03±0.06 ^b	10.03±0.06 ^b	9.83±0.15 ^b	9.73±0.15 ^a	9.65±0.25 ^a	9.13±0.25 ^b

注: 结果均以平均数表示。表中数值不同字母标注表示有显著性差异 ($p<0.05$)。

2.4 湿度因子和 NO 熏蒸对哈密瓜果实采后

TA 的影响

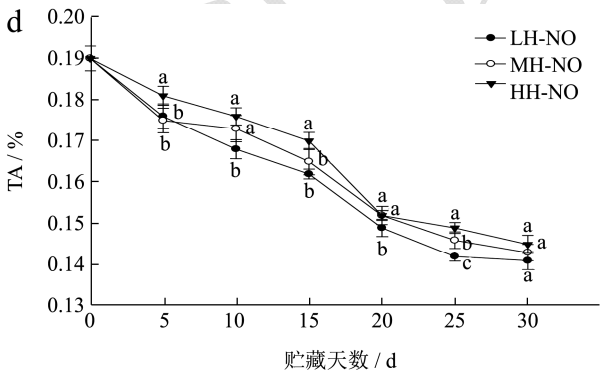
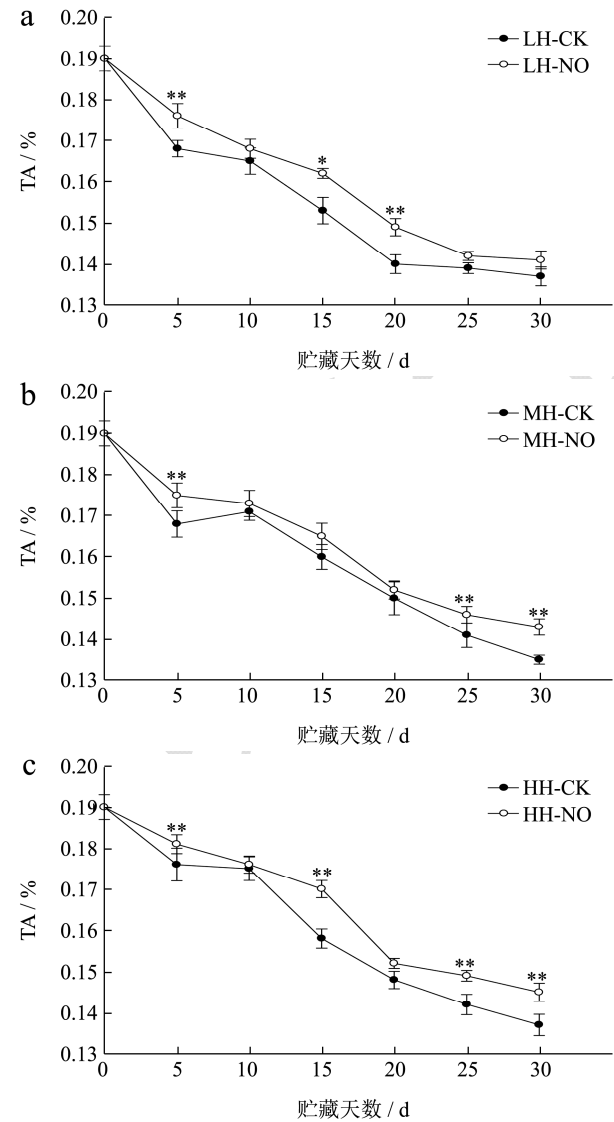


图 3 不同处理方式对哈密瓜果实 TA 含量的影响

Fig.3 The influence on titratable acid of melon fruit under different treatments

可滴定酸 (TA) 可作为反映哈密瓜果实糖酸比和耐贮性的重要指标之一。如图 3 所示, 果实的 TA 含量在整个贮期呈下降趋势。NO 处理在不同熏蒸条件下 TA 含量均高于对照组。在贮期第 5 d 时, LH-NO 与 MH-NO 和 HH-NO 处理 TA 含量分别比对照高了 4.76%、4.17%和 2.84%, 差异显著 ($p<0.01$) (图 3a、b、c)。在贮藏后期, LH-NO 处理在第 15 d 和 20 d 高于对照 ($p<0.05$), 分别比对照高了 5.89%和 6.43%; MH-NO 和 HH-NO 处理第 25 d 和 30 d 显著高于对照 ($p<0.05$)。说明 NO 能有效减缓 TA 下降速率。这与陈娟等^[22]研究发现用 NO 处理“新密 3 号”甜瓜可以有效抑制采后果实中 TA 含量下降结论一致。

在整个贮藏过程中, 处理湿度变化对 TA 含量影响较小(如图 3d)。LH 处理在整个贮期 TA 含量均低于 MH 处理和 HH 处理, 在第 10 d 和 25 d 与 MH 和 HH 处理有显著差异 ($p<0.05$)。第 30 d 时, LH 组由最初的 0.19%下降至 0.14%, 下降了 25.79%; MH 组下降到 0.14%, 降幅 24.74%; HH 下降到 0.15%, 降幅 23.68%, 处理组之间无明显差异 ($p>0.05$)。表明

LH-NO 处理可以有效维持哈密瓜果实采后 TA 含量。这说明 LH-NO 处理可一定程度上抑制哈密瓜果实 TA 含量的下降,能有效保证果实的糖酸比及延长其贮藏期。

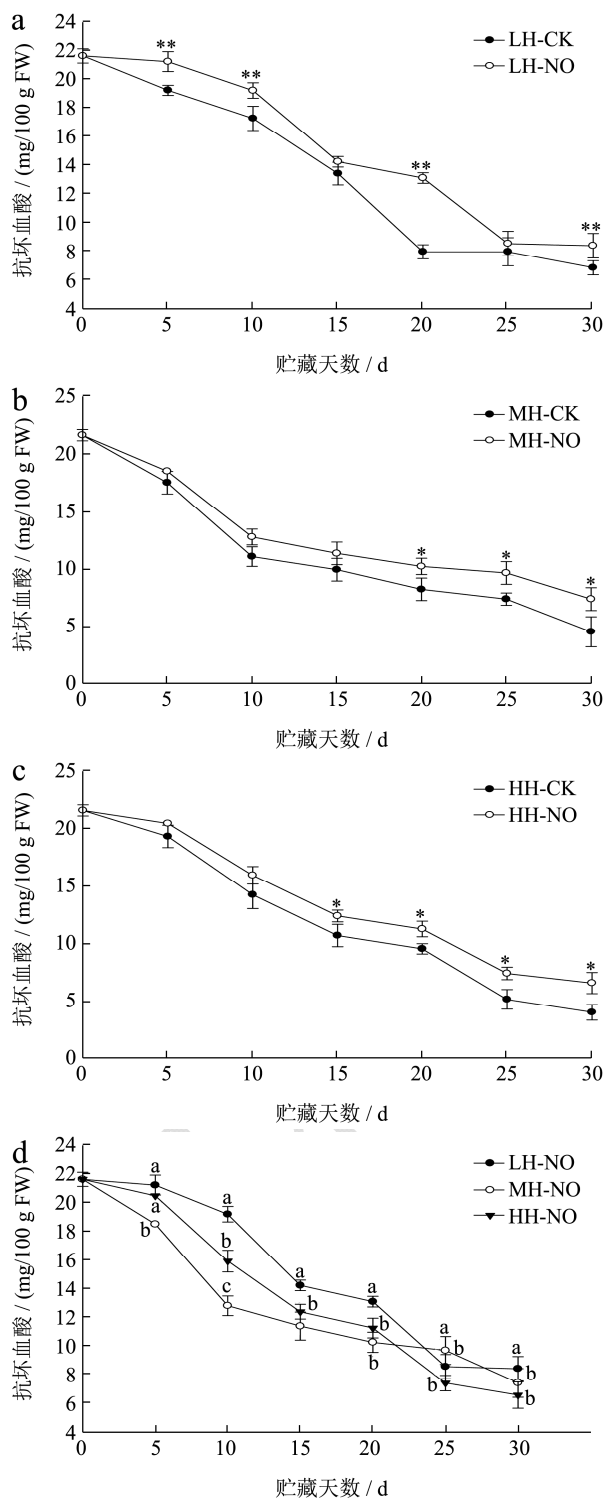


图4 不同处理方式对甜瓜果实 Vc 含量的影响

Fig.4 The influence on vitamin C melon fruit under different treatment methods

2.5 湿度因子和 NO 熏蒸对哈密瓜果实采后抗

坏血酸的影响

抗坏血酸是衡量果实品质、口感好坏的关键指标之一。由图 4 可知,随贮期延长,果实的抗坏血酸含量不断下降。处理组果实抗坏血酸含量整体高于对照组。除第 15 d 和 25 d, LH-NO 处理果实的抗坏血酸含量与对照组差异极显著 ($p<0.01$) (图 4a)。第 30 d 时,处理组和对照组由初期 21.60 下降至 6.83 和 8.38 mg/100 g FW,处理组抗坏血酸含量是对照组的 1.22 倍;MH-NO 条件下,果实贮藏后期 20 d 开始与对照出现明显差异 ($p<0.05$) (图 4b),第 20 d 时,处理组和对照组分别比贮藏初期下降了 52.63%和 61.84%。HH-NO 处理具有与 MH-NO 处理相似的变化趋势,比 MH-NO 处理提前 5 d,即第 15 d 起与对照差异明显 ($p<0.05$) (图 4c)。第 15 d 时,处理组和对照组分别比贮藏初期下降了 50.63%和 42.74%。说明 NO 处理能降低果实中抗坏血酸含量的下降速度。

熏蒸湿度对果实抗坏血酸含量变化不明显(如图 4d)。贮藏前期抗坏血酸下降较快,15 d 后下降变缓慢。贮藏至 20 d, LH-NO、MH-NO 和 HH-NO 处理抗坏血酸含量分别比贮藏初期下降了 39.47%、52.63%和 48.00%。LH-NO 处理抗坏血酸含量显著高于 MH-NO 和 HH-NO 组 ($p<0.05$)。MH-NO 和 HH-NO 处理之间仅在第 5 d 和第 10 d 有显著差异,后期差异不显著。在贮藏 30 d 时, LH-NO 组抗坏血酸含量分别是 MH-NO 和 HH-NO 组的 1.13 倍和 1.28 倍,差异明显,但 MH-NO 和 HH-NO 处理间无显著差异 ($p>0.05$)。这与孙丽娜^[23]用 NO 溶液浸果处理猕猴桃果实,能延缓抗坏血酸含量下降结果相同。说明 LH-NO 处理能够有效的保持哈密瓜果实采后抗坏血酸含量。这也可能是因为 NO 处理能调节 ACO 的辅助因子抗坏血酸和 Fe^{2+} 的活性,阻止了果实贮藏过程中抗坏血酸的流失。

2.6 湿度因子和 NO 熏蒸对哈密瓜果实采后细

胞膜渗透率的影响

细胞膜渗透率可以反映果蔬成熟衰老过程中,细胞内溶物向外流失的状况,也是评价果蔬耐贮性的重要指标^[24]。从图 5 可知,果实的细胞膜相对透性在整个贮期间呈逐步上升趋势。LH-NO 与 MH-NO 和 HH-NO 组的细胞膜渗透率显著低于 CK。LH-NO 组从 15 d 开始与 CK 出现显著差异 ($p<0.01$) (图 5a),比 CK 组低 11.90%;MH-NO 提前 5 d,在第 10 d 与 CK 差异明显 ($p<0.05$) (图 5b),比 CK 低 23.91%;

HH-NO 仅在第 20 d 和 25 d 与 CK 差异显著 ($p<0.05$) (图 5c), 分别比 CK 低 9.80% 和 10.53%。

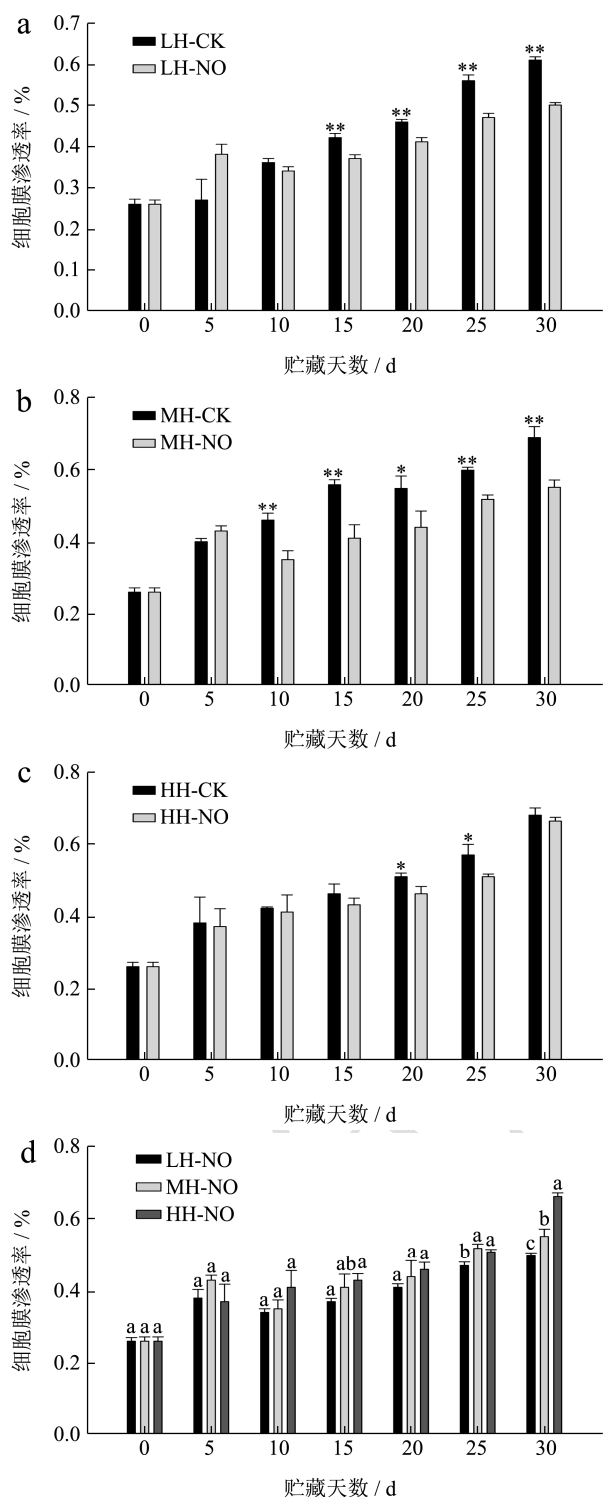


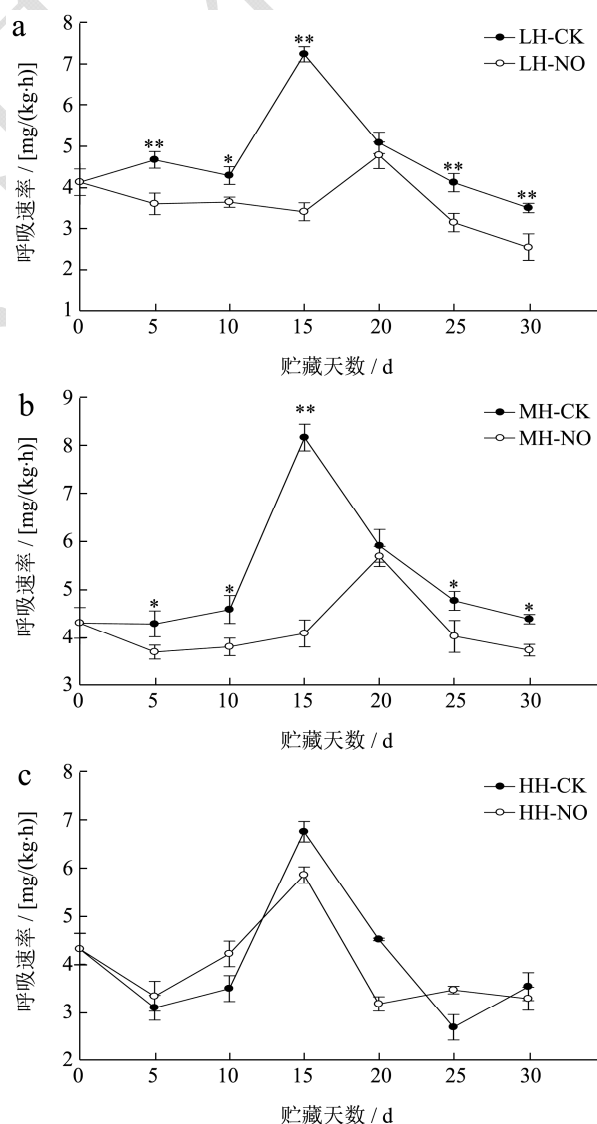
图 5 不同处理方式对哈密瓜果实细胞膜渗透率的影响

Fig.5 The influence on cell membrane relative permeability of melon fruit under different treatment methods

熏蒸湿度对果实细胞膜相对透性影响如图 5d 所示。随贮期延长, 细胞膜渗透率不断上升。贮藏前期, LH-NO 与 MH-NO 和 HH-NO 组之间差异不显著 ($p>0.05$)。第 25 d 时, LH-NO 与 MH-NO 和 HH-NO

组开始有显著差异 ($p<0.05$), 后两者差异不显著。贮藏 30 d 时, LH-NO 与 MH-NO 和 HH-NO 组的细胞膜渗透率分别是 50.11%、55.31% 和 66.38%, 分别是贮藏前期的 1.93、2.13 和 2.55 倍, LH-NO 与 MH-NO 和 HH-NO 组之间均有差异 ($p<0.05$)。陈娟等^[22]研究也指出 NO 处理可延缓‘新密 3 号’哈密瓜果实冷害发生, 抑制电导率上升, 提高果实的抗冷性。与本试验 LH-NO 处理有效降低果实细胞膜渗透率上升结果相一致。原因可能是 NO 和湿度因子在一定程度上抑制了果实的自身氧化, 避免细胞的自我损伤, 减少了细胞膜的离子渗透。抑或是适宜湿度可以使果实维持正常的乙烯释放速率, 减少果实内部营养物的消耗, 在一定程度上抑制细菌微生物的萌发和生长, 延长果蔬的贮藏时间。

2.7 湿度因子和 NO 熏蒸对哈密瓜果实采后呼吸速率和乙烯释放量的影响



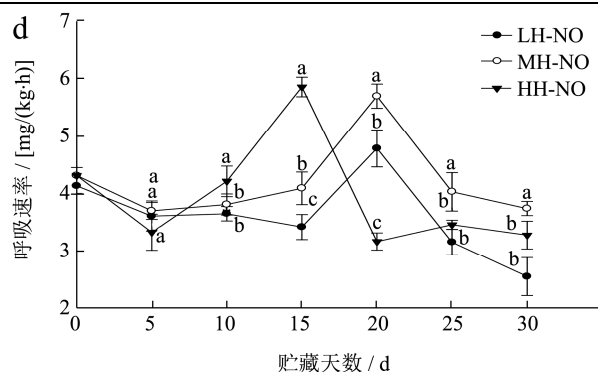


图6 不同处理方式对哈密瓜果实呼吸速率的影响

Fig.6 The influence on respiration rate melon fruit under different treatment methods

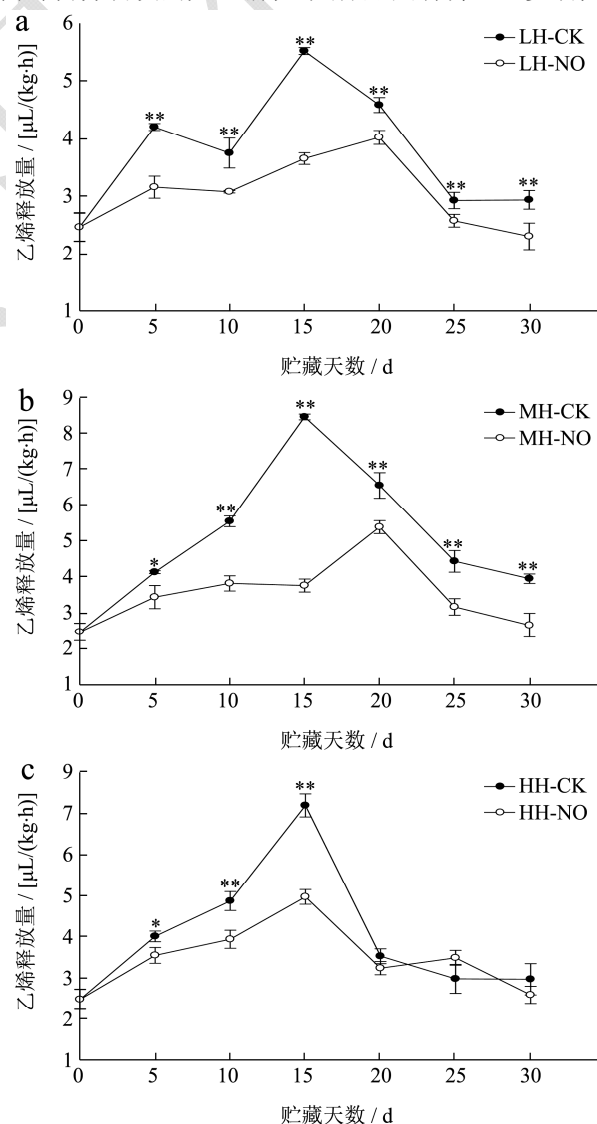
呼吸作用为果蔬采后提供生命活动所需能量,也是有机物互相转化的关键中枢^[7],从而影响果蔬的贮藏时间。由图6可知,哈密瓜果实在采后贮藏过程中呼吸速率先上升后下降。LH-NO组和MH-NO组在贮藏期第20d出现呼吸高峰,峰值为4.78和5.69 mg/(kg·h),是贮藏初期的1.16倍和1.32倍,比LH-CK和MH-CK组低33.80%和30.35%(图6a、b);HH-NO组和CK组提前5d出现呼吸高峰,HH-NO组峰值为5.85 mg/(kg·h),是贮藏初期的1.36倍,比HH-CK组低13.32%(图6c)。贮藏中,LH-NO组显著低于CK组($p<0.01$)(图6a);MH-NO组与CK组差异明显($p<0.05$)(图6b);HH-NO组在呼吸高峰附近第15d、20d差异显著($p<0.05$),其他时间差异不明显。这与郭芹^[25]和胡江伟等^[26]报道NO处理可以减缓番木瓜和伽师瓜果实呼吸速率的结果相一致。

不同湿度处理对哈密瓜的采后呼吸速率有显著性影响(如图6d)。LH-NO组呼吸速率显著低于MH-NO组和HH-NO组($p<0.05$),LH-NO组峰值分别比MH-NO组和HH-NO组低18.27%和22.40%,比HH-NO组呼吸高峰推迟5d发生,差异显著($p<0.05$)。但MH-NO组和HH-NO组之间无明显差异($p>0.05$)。这表明LH-NO处理在抑制果实呼吸上的效果更显著,也说明NO熏蒸处理湿度并不是越高越好,而是需要一个合理的湿度范围。

乙烯具有促进果蔬成熟衰老的作用,对于跃变型果实,乙烯含量越高,果实耐贮性越差。朱树华^[27]和朱丽琴等^[28]研究外源NO能降低果乙烯释放量,有效地延缓果实衰老。由图7可知,哈密瓜果实的乙烯释放量与呼吸速率有相似的变化趋势,先上升后下降。NO处理组乙烯释放量在整个贮藏期显著低于CK组。LH-CK、LH-NO、MH-CK、MH-NO、HH-CK和HH-NO组的乙烯峰值分别为5.51、4.02、8.45、5.38、7.18、4.96 $\mu\text{L}/\text{kg}/\text{h}$ 。LH、MH和HH处理分别比同一湿度

CK组乙烯高峰低27.04%、36.32%和30.92%。HH-NO组在第5~15d差异显著($p<0.05$),后期无明显改变。LH-NO与MH-NO组在第20d出现乙烯高峰,比HH-NO组延迟5d出现。说明NO处理可以抑制乙烯释放量,并推迟高峰的出现时间。

处理湿度对哈密瓜乙烯释放量有显著影响(图7d)。HH-NO组在第15d出现乙烯高峰,比LH-NO和MH-NO组提前5d。LH-NO组果实乙烯峰值为4.02 $\mu\text{L}/(\text{kg}\cdot\text{h})$,比MH-NO和HH-NO组乙烯释放量低25.29%和18.95%,显著低于MH-NO和HH-NO组($p<0.05$)。MH-NO组和HH-NO组除第15d和20d外,两者之间无显著差异($p>0.05$)。说明LH-NO处理可以显著降低果实乙烯释放量、在一定程度上延缓乙烯高峰时间。这可能因为NO通过降低果实活性氧代谢来增加果实在低温胁迫下的抗逆性。高湿度处理能够提前乙烯高峰时间,可能是因为适宜的湿度为果实微生物及病原菌提供了良好的繁殖空间,造成果实内部营养物质的大量消耗,具体原因有待进一步研究。



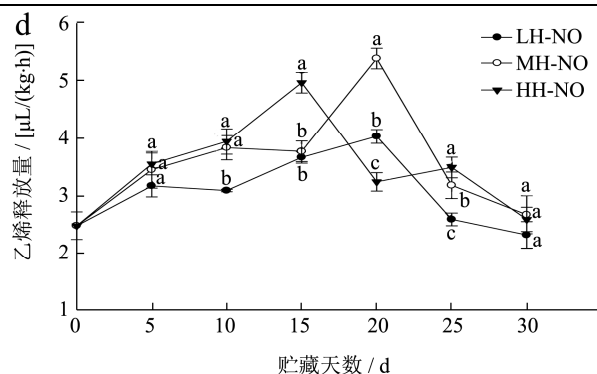


图7 不同处理方式对哈密瓜果实乙烯释放量的影响

Fig.7 The influence on ethylene release of melon fruit under different treatment methods

3 结论

本研究表明 NO 和湿度因子能够影响哈密瓜果实的贮藏品质。其中, LH-NO 处理能够有效降低果实的冷害指数, 维持较好的果实硬度和 TSS 含量, 有效降低果实的呼吸速率和乙烯释放量, 并且延缓哈密瓜果实的 TA 和抗坏血酸的下降, 降低细胞膜渗透率的上升速度, 从而较好的维持果实的贮藏品质, 达到延长贮藏期的目的。

参考文献

- [1] 张有林,张润光,孙刚,等.伽师瓜采后生理、贮藏病害及贮藏保鲜技术[J].中国农业科学,2010,43(6):1220-1228
ZHANG You-lin, ZHANG Run-guang, SUN Gang, et al. Study on postharvest physiology, storage diseases and quality changes of Jiashi muskmelon [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(6): 1220-1228
- [2] 张阳,张润光,张有林,等.气调贮藏对新疆伽师瓜采后生理及贮藏品质的影响[J].农业工程学报,2011,27(1):383-388
ZHANG Yang, ZHANG Run-guang, ZHANG You-lin, et al. Effects of modified atmosphere storage on postharvest physiology and storage quality of Jiashi melon in xinjiang [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(1): 383-388
- [3] 张润光,王良艳,黄丽婉.甜瓜贮藏保鲜技术研究进展[J].保鲜与加工,2011,11(1):36-39
ZHANG Run-guang, WANG Liang-yan, HUANG Li-wan. Research progress on storage technology of muskmelon [J]. Preservation and Processing, 2011, 11(1): 36-39
- [4] 赵颖颖,陈京京,金鹏,等.低温预贮对冷藏桃果实冷害及能量水平的影响[J].食品科学,2012,33(4):276-281
ZHAO Ying-ying, CHEN Jing-jing, JIN Peng, et al. Effect of low temperature conditioning on chilling injury and energy status in cold-stored peach fruit [J]. Food Science, 2012,

- 33(4): 276-281
- [5] 陈德碧.水杨酸对枇杷采后品质和衰老的影响[D].重庆:西南大学,2008
CHEN De-bi. Effect of salicylic acid on loquat fruits quality and senescence [D]. Chongqing: Southwest University, 2008
- [6] S W Y, P T S, X Y. Effects of high oxygen concentration on pro- and anti-oxidant enzymes in peach fruits during postharvest periods [J]. Food Chemistry, 2015, 91(1): 99-104
- [7] 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. Biological Basis of Postharvest Horticultural Products [M]. Beijing: Science Press, 2011
- [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. Study on the mechanism of cold tolerance induced by postharvest banana fruit by nitric oxide treatment [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015
- [9] 杨杨,申琳,生吉萍,等.外源 NO 对采后芒果果实低温胁迫后 H₂O₂ 代谢的影响[J].中国农业科技导报,2013,15(2):131-136
YANG Yang, SHEN Lin, SHENG Ji-ping, et al. Effect of exogenous NO on H₂O₂ metabolism in postharvest mango fruit under low temperature stress [J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2013, 15(2): 131-136
- [10] 任艳芳,何俊瑜,刘冬,等.一氧化氮对采后大五星枇杷常温贮藏下品质的影响[J].食品工业科技,2016,37(5):329-333
REN Yan-fang, HE Jun-yu, LIU Dong, et al. Effect of nitric oxide on fruit quality of "Dawuxin" loquat during storage at room temperature [J]. Science and Technology of Food Industry, 2016, 37(5): 329-333
- [11] 张娜,李昆仑,王文生,等.应用臭氧浓度精准控制熏蒸装置提高树莓贮藏品质[J].农业工程学报,2017,33(10):295-301
ZHANG Na, LI Kun-lun, WANG Wen-sheng, et al. Application of ozone concentration precise control fumigation device improving quality of raspberries during cold storage [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(10): 295-301
- [12] 白友强,廖亮,许建,等.不同臭氧处理对甜瓜采后生理影响[J].食品工业科技,2017,38(23):256-261
BAI You-qiang, LIAO Liang, XU Jian, et al. effects of different ozone treatments on postharvest physiological of melon [J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(23): 256-261
- [13] Yang B, Tian S, Hongxia L, et al. Effect of temperature on

- chilling injury, decay and quality of Hami melon during storage [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2003, 29(2): 229-232
- [14] Jones E, Hughes R E. Foliar ascorbic acid in some angiosperms [J]. *Phytochemistry*, 1983, 22(11): 2493-2499
- [15] X W L I, Jin P, Wang J, et al. 1-Methylcyclopropene delays postharvest ripening and reduces decay in hami melon [J]. *Journal of Food Quality*, 2011, 34(2): 119-125
- [16] 曹建康,姜微波,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. *Experimental Guidance on Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007
- [17] 王倩,张辉,张政,等.亚精胺与乙烯对新疆赛买提杏采后生理生化的交互作用[J].食品科技,2016,41(8):34-38
- WANG Qian, ZHANG Hui, ZHANG Zheng, et al. The interaction of spermidine and ethylene on physiological and biochemical in Xin Jiang "Sai mai ti" apricot [J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(8): 34-38
- [18] 范蓓,杨杨,王锋,等.外源 NO 处理对采后芒果抗冷性的影响[J].核农学报,2013,27(6):800-804
- FAN Bei, YANG Yang, WANG Feng, et al. Effects of exogenous NO treatment on cold resistance of postharvest mangoes [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2013, 27(6): 800-804
- [19] 都凤华,王秀春,郭菊曼,等.李子贮藏温度及冷害的研究[J].吉林农业大学学报,1997,3:94-99
- DU Feng-hua, WANG Xiu-chun, GUO Ju-man, et al. Study on storage temperature and chilling damage of plums [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 1997, 3: 94-99
- [20] ROCCULI, Pietro, Santana, et al. 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
- [21] 陈伟,苏新国,郅海燕,等.低温对桃果实采后冷害及其内源激素的影响[J].核农学报,2013,27(08):1173-1178
- CHEN Wei, SU Xin-guo, GAO Hai-yan, et al. Effects of low temperature on postharvest chilling injury and endogenous hormones in peach fruit [J]. *Chinese Journal of Nuclear*, 2013, 27(8): 1173-1178
- [22] 陈娟.一氧化氮处理对采后新密3号甜瓜抗冷性的影响[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2015
- CHEN Juan. Effect of nitric oxide treatment on cold resistance of postharvest Xinmi No. 3 melon [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2015
- [23] 孙丽娜.一氧化氮对冬枣和猕猴桃贮藏期间生理代谢的影响[D].泰安:山东农业大学,2008
- SUN Li-na. Effects of nitric oxide on physiological metabolism of winter jujube and kiwifruit during storage [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2008
- [24] 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,2016,41(8):28-33
- ZHANG Zheng, WANG Qian, WU Bin, et al. Effects of nitric oxide intermittent fumigation on quality of 'Munage' table grapes during storage [J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(8): 28-33
- [25] 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 treatment on ethylene biosynthesis of papaya fruits after harvest [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2013, 40(3): 75-78
- [26] 胡江伟,周江,朱璇,等.一氧化氮对新疆伽师瓜果实采后贮藏品质的影响[J].食品工业科技,2015,36(13):352-356
- HU Jiang-wei, ZHOU Jiang, ZHU Xuan, et al. Effects of nitric oxide treatment on postharvest quality of Xinjiang Jiashi melon fruit [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(13): 352-356
- [27] 朱树华,孙丽娜,周杰.一氧化氮对猕猴桃果实营养品质和活性氧代谢的影响[J].果树学报,2009,26(3):334-339
- ZHU Shu-hua, SUN Li-na, ZHOU Jie. Effects of nitric oxide on nutritional quality and active oxygen metabolism in kiwifruit fruits [J]. *Journal of Fruit Science*, 2009, 26(3): 334-339
- [28] 朱丽琴,李斌,张伟,等.NO 对采后李果实保鲜效果的影响[J].江西农业大学学报,2013,35(6):1157-1161
- ZHU Li-qin, LI Bin, ZHANG Wei, et al. Effects of NO on the preservation of post-harvest plum fruits [J]. *Journal of Jiangxi Agricultural University*, 2013, 35(6): 1157-1161