

外源 NO 处理对采后鲜莲子品质及乙烯代谢的影响

王瑶^{1,2}, 罗淑芬¹, 胡花丽¹, 周宏胜¹, 张雷刚¹, 张映瞳¹, 李鹏霞^{1,3}

(1. 江苏省农业科学院农产品加工所, 江苏南京 210014)(2. 南京农业大学食品科学技术学院, 江苏南京 210095)

(3. 江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 江苏南京 210014)

摘要: 为探讨一氧化氮(NO)处理对采后鲜莲子乙烯代谢的影响,本研究首先采用不同浓度NO处理新鲜“太空莲36号”莲蓬,在(25±1)℃下进行贮藏,通过分析莲蓬和莲子色差及表型,筛选出适宜的NO处理浓度。在此基础上,研究了NO处理对鲜莲蓬呼吸作用,鲜莲子品质变化和乙烯代谢的影响。结果表明,0.25 mmol/L的NO处理可有效保持莲蓬及莲子品质,减缓贮藏期间莲子可溶性糖和淀粉含量的下降,抑制2~4 d的莲蓬呼吸速率及4 d后莲子的乙烯释放量19.93%以上,以及莲子中1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)含量,同时抑制了莲子4 d后的ACC合成酶(ACS)46.72%以上,和2~4 d的ACC氧化酶(ACO)活性14.79%以上;并保持其较高的蛋氨酸(Met)含量(但对S-腺苷蛋氨酸(SAM)含量影响并不显著),从而延缓了莲蓬及莲子常温货架期2~3天。综上所述,NO处理能够有效保持莲子品质及其抑制乙烯的合成,从而延缓了莲蓬及莲子的衰老,本研究对莲蓬及莲子的采后保鲜提供了理论和技术的支持。

关键词: 一氧化氮; 莲子; 乙烯代谢; 贮藏品质

文章编号: 1673-9078(2019)11-100-108

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.11.014

Effects of Exogenous NO Treatment on the Postharvest Quality and Ethylene Metabolism of Fresh Lotus Seeds

WANG Yao^{1,2}, LUO Shu-fen¹, HU Hua-li¹, ZHOU Hong-sheng¹, ZHANG Lei-gang¹, ZHANG Ying-tong¹,
LI Peng-xia^{1,3}

(1. Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

(2. College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

(3. Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China)

Abstract: In order to investigate the effects of nitric oxide (NO) treatment on ethylene metabolism in postharvest fresh lotus seeds, the fresh “Space Lotus No. 36” lotus seedpods were treated firstly with different concentrations of NO, before storage at (25±1) °C. The optimal concentration of NO was screened through analyzing the color difference and phenotype of lotus seedpods and seeds. On this basis, the effects of NO treatment on the respiration of fresh lotus seed pods, and the quality and ethylene metabolism of lotus seeds were studied. The results showed that the treatment with NO at 0.25 mmol/L significantly maintained the qualities of lotus seedpods and seeds, significantly slowed down the decreases of soluble sugar and starch in the lotus seeds, and inhibited the respiration rate of lotus seedpods from the 2nd to 4th day (while enabling the release of ethylene over 19.93% after 4 days) inhibited the accumulation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) in lotus seeds. Meanwhile this NO treatment inhibited the activities of ACC synthetase (ACS, over 46.72% after 4 days) and ACC oxidase (ACO, over 14.79% during day 2~4) in the lotus seeds, while maintaining a relatively high methionine (Met) content in lotus seeds (but exerting insignificant effect on the content of s-adenosine methionine (SAM)). Therefore, this NO treatment prolonged the shelf life of lotus seedpods and seeds by 2~3 days. In conclusion, NO treatment can inhibit effectively preserve the quality of lotus seeds and inhibit the synthesis of ethylene in lotus seeds, thereby delaying the senescence of lotus seedpods and seeds. This study provides theoretical and technical support for the postharvest preservation of fresh lotus seedpods and seeds.

Key words: nitric oxide; lotus seed; ethylene metabolism; storage quality

收稿日期: 2019-05-21

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31901755)

作者简介: 王瑶(1995-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬贮藏与保鲜

通讯作者: 李鹏霞(1976-), 女, 研究员, 研究方向: 果蔬保鲜与流通

莲(*Nelumbo nucifera* Gaertn.), 睡莲科多年生水生植物, 在我国福建、浙江、湖北、江苏等地大面积种植^[1]。实际上, 莲的所有部分, 如种子、根茎、叶子、花朵等, 都在世界范围内被大量消耗。而莲子是

我国广泛食用的有价值的功能性食品,可用于汤食、粥、糕点制作等^[2]。莲蓬采于每年 7~8 月,正值江南高温季节,采摘后的莲蓬呼吸作用旺盛,并伴有乙烯生成,采后鲜莲蓬 2~3 d 就迅速衰老褐变,失去食用价值^[3]。因此,鲜莲蓬及莲子的贮藏保鲜备受关注。当前,鲜莲子保鲜的主要方式为低温贮藏。王建辉等^[4]发现将莲子于 $(4\pm 0.1)^{\circ}\text{C}$ 的条件下贮藏比 $(25\pm 0.1)^{\circ}\text{C}$ 有明显延长货架期的效果。隋棠等^[5]利用气调保鲜箱并结合低温 $(2\pm 0.5)^{\circ}\text{C}$ 发现可有效抑制莲蓬水分散失和褐变现象,达到延长莲蓬贮藏期的目的。此外,生物保鲜剂^[6,7]、植物生长调节剂^[3,8]、薄膜材料^[9]等也得到应用,辐照技术的应用效果也得到验证^[10]。但目前有关鲜莲蓬及莲子的常温保鲜方法仍较少。

一氧化氮(Nitric oxide, NO)是一种普遍存在于动、植物和微生物体内的信号分子,参与调节多种生理过程^[11]。近年来,NO 在农作物保鲜中的应用广受关注。已有研究发现,利用 NO 处理果蔬能起到保鲜的效果,其作用机制可能与抑制乙烯产生有关^[12]。郭芹等^[13]用 NO 处理番木瓜,发现番木瓜的乙烯释放量、ACC 氧化酶(ACO)活性及基因的表达受到抑制,1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)和丙二酰 1-氨基环丙烷-1-羧酸(MACC)的含量积累。刘孟臣等^[14]用 NO 结合外源乙烯处理桃果实,结果发现,桃 ACO、ACC 合成酶(ACS)的活性、乙烯的释放得到抑制。目前,用 NO 处理的研究还有很多,但 NO 在采后鲜莲蓬及莲子上的应用尚未见报道,对抑制乙烯代谢的作用机理尚不明确。

本文以“太空莲 36 号”莲蓬为研究对象,首先筛选了莲蓬适宜的 NO 处理浓度,在此基础上,通过对莲蓬及莲子品质,及其乙烯释放量、ACC、蛋氨酸(Met)、S-腺苷蛋氨酸(SAM)含量及 ACO、ACS 活性进行测定,揭示了 NO 处理对采后鲜莲子采后品质及乙烯代谢的影响,为 NO 在莲蓬及莲子采后保鲜方面提供了理论参考与技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本实验采用莲蓬品种为“太空莲 36 号”,于 2018 年 7 月 25 日在江苏省淮安市金湖县荷盛莲业有限公司采摘,采后 2 h 内运回江苏省农科院农产品加工研究所农产品储藏保鲜研究室。挑选无明显机械损伤、成熟度基本一致、大小均匀的莲蓬作为实验材料。

硝普钠二水合物购自上海麦克林生化科技有限公司;磷酸吡哆醛、S-腺苷蛋氨酸(SAM)、L-甲硫氨

酸(Met)购自上海瑞永生物科技有限公司;1-氨基环丙烷羧酸(ACC)购自阿达玛斯试剂有限公司;抗坏血酸钠购自上海源叶生物科技有限公司;甲醇(色谱级)购自美国贝克(J.T.Baker)。

1.2 仪器与设备

PL202-L 电子天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;HH-S 系列数显恒温水浴锅,常州万达升实验仪器有限公司;GC-7820 气相色谱仪,安捷伦科技(中国)有限公司;德国 Sigma 3K 15 离心机,美国 Sigma-Aldrich 公司;Waters 2695 高效液相色谱仪,美国 Waters 公司;CR-400 全自动测色色差仪,日本 KONICA MINOLTA 公司;A11 Basic 液氮研磨器,艾卡(广州)仪器设备有限公司;Seven multi pH 计,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司。

1.3 处理方法

1.3.1 适于鲜莲蓬保鲜的 NO 浓度的筛选

用 0、0.10、0.25、0.50、1.00 mmol/L 浓度的硝普钠浸泡莲蓬,每个处理 3 个平行,每个平行 10 个莲蓬,沥干水分后放入 21 L 对角带孔(孔径:2 cm)乐扣箱贮藏。于 $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 下放置 6 d,根据莲蓬、莲子表型及莲皮 a^* 、 b^* 值,确定适于鲜莲蓬保鲜的 NO 合适浓度。

1.3.2 鲜莲蓬的 NO 处理

在以上研究基础上,以筛选出的硝普钠浓度处理莲蓬,以清水浸泡处理作为对照组(CK),处理方法同上,每组处理 150 个莲蓬,于 $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 下贮藏 8 d,每隔 1 d 取样一次。取样方法如下:每组随机取 30 个莲蓬,其中每个平行 10 个,取鲜莲蓬测定呼吸速率和乙烯释放量后,拍摄莲蓬及莲子的照片,去除莲皮、莲心,切除莲子两端各约 2~3 mm,迅速将剩余莲子部分冷冻于液氮中,存于 -80°C 冰箱中,用于后续相关指标的测定。

1.4 测定指标

1.4.1 色差的测定

用 CR-400 全自动色差仪在取样后测定莲皮 a^* 、 b^* 值,仪器用标准白板进行校正。每个平行随机取 30 个莲子进行测定其表皮,结果取平均值。

1.4.2 可溶性糖含量的测定

参照刘红艳等^[15]的方法,略作修改。称取 1 g 用液氮研磨器研磨的莲子样品,加入 10 mL 80%的乙醇,在 80°C 水浴中浸提 10 min,冷却后离心,取 0.5 mL 上清液,沿管壁缓慢加入 5 mL 蒽酮,混匀后于沸水

浴中加热, 冷却后于 625 nm 下测定。

1.4.3 淀粉含量的测定

参照李向红等^[16]的方法, 略作修改。取 5 g 经液氮研磨器研磨的莲子样品, 加入适量蒸馏水反复洗涤至澄清后, 合并滤液, 静置后去除上清液, 将下层沉淀于 40 °C 烘干后称重。

1.4.4 呼吸速率的测定

参照高建晓等^[17]的方法略有改动。贮藏期间每 2 d 取样 1 次。每组取 30 个莲蓬, 其中每个平行 10 个莲蓬, 称重后扣盖密封。于 25±1 °C 条件下密闭 1 h 后用注射器取气 20 mL, 用气相色谱测定。色谱条件: FID 检测器; 柱温 70 °C, N₂ 压力 0.5 MPa, H₂ 压力 0.3 MPa, 空气压力 0.5 MPa, 重复 3 次, 外标法定量。

1.4.5 乙烯释放量的测定

参照刘红艳等^[8]的方法并作改动。贮藏期间每隔 2 d 取样 1 次, 每组取 30 个莲蓬, 其中每个平行 10 个, 称重后扣盖密封。于 21 L 乐扣箱中密封 4 h, 取 20 mL 箱内气体于气相色谱 (安捷伦 7820) 上进行测定, 气相测定条件如下: FID 检测器, 柱温 70 °C, N₂ 压力 0.5 MPa, H₂ 压力 0.3 MPa, 空气压力 0.5 MPa, 重复 3 次, 外标法定量。

1.4.6 ACC 含量的测定

ACC 含量测定按徐涛^[18]、Egea 等^[19]的方法测定, 略有修改。

取存放在 -80 °C 的莲子样品, 用液氮研磨器研磨成粉末, 称取 2 g 于 10 mL 离心管中, 加入 8 mL 0.2 mmol/L 的 TCA (三氯乙酸), 4 °C 冰箱提取 12 h, 于 4 °C、10000 r/min 条件下离心 30 min, 收集上清液, 置于 4 °C 冰箱备用。取 2 mL 上清液封入青霉素瓶 (20 mL) 中, 用注射器注入 0.8 mL 混合液 5% 次氯酸钠: 饱和氢氧化钠 (V:V) = 2:1, 4 °C 冰箱放置 2 h 后, 强力震荡 5 s, 静置 5 min 后抽取 2.5 mL 气体注入气相色谱 (安捷伦 7820), 测定乙烯的生成量, 然后换算成 ACC 含量, 重复 3 次。计算公式:

$$\text{ACC 含量 (nmol/g)} = \frac{N}{S} \times c \times n \times V \times \frac{1}{22.4 \times W}$$

式中: N 为 1.0 mL 样品乙烯的峰面积; S 为 1.0 mL 标准乙烯气体的峰面积; n 为提取液的稀释倍数; c 为标准乙烯的浓度 (nL/mL); V 为反应容器的体积 (mL); W 为测定样品的鲜重 (g)。

1.4.7 SAM 含量测定

参照 Bram 等^[20]的方法, 略有改动。

取 -80 °C 冷冻莲子 2 g, 加入 6 mL 10% 的 TCA 溶液, 4 °C 下静置 2 h 后, 于 4 °C、10000 r/min 下离心 20 min, 取上清液过 0.22 μm 滤膜, 用高效液相色谱

进行检测。

检测条件: 色谱柱: C18 柱 (250 mm×4.6 mm×5 μm), 柱温: 30 °C, 流动相采用 0.01 mol/L 甲酸铵: 甲醇 (V:V) = 95:5, pH=3.5, 流速: 0.45 mL/min, 进样量为 10 μL, 检测器: 紫外检测器, 检测波长: 260 nm, 采集数据时间: 30 min。

标曲绘制: 称取 SAM 标准品 0.01 g, 加水溶解、定容, 配置为 1.0 g/L 的贮备液。取适量贮备液加水稀释至浓度为 0.04、0.07、0.10、0.15、0.20 g/L 的标准溶液, 以峰面积与标准品浓度制作标曲, 计算曲线方程及相关系数, 按照标曲计算 SAM 的含量。

1.4.8 Met 含量测定

按照 Kühnreich 等^[21]的方法略有改动。

称取 2 g 莲子研磨, 加入 6 mL 纯净水, 于 10000 r/min 离心 20 min, 经 0.22 μm 滤膜过滤后用高效液相色谱检测。

液相检测条件: 色谱柱: C18 柱 (250 mm×4.6 mm×5 μm)。柱温: 30 °C。流动相: 0.01 mol/L 甲酸铵: 甲醇 (V:V) = 97:3, pH=3.5。流速: 1 mL/min。进样量: 10 μL。检测器: 紫外检测器。监测波长: 210 nm。采集数据时间: 30 min。

标曲绘制: 称取 Met 标准品 0.01 g, 加水溶解、定容, 配置为 1.00 g/L 的贮备液。取适量贮备液加水稀释至浓度为 0.01、0.03、0.05、0.07、0.10 g/L 的标准溶液, 以峰面积与标准品浓度制作标曲, 计算曲线方程及相关系数, 按照标曲计算 Met 的含量。

1.4.9 ACC 氧化酶 (ACS) 活性测定

参考 Zaharah 等^[22]的方法略有改动。

提取液的制备: 称取 2 g 研磨成粉末的莲子样品, 加入 8 mL 磷酸缓冲液 (400 mmol/L PBS, pH=8.5, 0.1 mol/L EDTA, 0.5% 巯基乙醇; 10 μmol/L 磷酸吡哆醛) 提取, 4 °C、10000 r/min 离心, 上清用于酶活性测定。

酶活性测定: 取 0.8 mL 上清液于装有 2 mL 反应体系 (250 μmol/L 磷酸吡哆醛; 50 mmol/L Hepes-KOH, pH=8.5) 的 20 mL 气相小瓶中, 用橡皮塞密封, 于 32 °C 水浴 3 h, 加入 0.2 mL 50 mmol/L 的 HgCl₂ 终止反应, 立即振荡 15 s, 取 2.5 mL 样气检测乙烯浓度, 重复 3 次, 结果以 nmol C₂H₄ / (g·h) 表示。计算公式:

$$\text{ACS 活性 (nmol/(g·h))} = \frac{N}{S} \times n \times V \times \frac{1}{t} \times \frac{1}{22.4 \times W}$$

式中: N 为 1.0 mL 样品乙烯的峰面积; S 为 1.0 mL 标准 ACC 产生乙烯气体的峰面积; n 为稀释倍数; V 为反应容器的体积 (mL); t 为密闭时间 (h); W 为测定样品的鲜重 (g)。

1.4.10 ACC (ACO) 活性测定

参考 Zaharah 等^[22]的方法略有改动。

提取液的制备: 称取 2 g 研磨成粉末的莲子样品, 加入 3 mL 浸提液(含 100 mmol/L、pH=7.5 的 Tris-HCl 缓冲液, 10%甘油 (V/V), 30 mmol/L 抗坏血酸钠, 5% PVP, 0.1 mmol/L FeSO₄; 5 mmol/L DTT), 将小瓶置于振荡器中于 30 ℃振荡 1 h。

酶活性的测定: 取振荡液 0.8 mL 注入盛有 1.8 mL 酶反应液[含 100 mmol/L Tris-HCl (pH=7.5) 缓冲液, 10%甘油 (V/V), 30 mmol/L 抗坏血酸钠; 30 mmol/L NaHCO₃, 1 mmol/L ACC, 0.1 mmol/L FeSO₄]的带橡胶塞的 20 mL 小瓶中, 于 30 ℃保温 20 min, 抽取 2.5 mL 样品气体测定乙烯浓度。重复 3 次, 结果以 nmol C₂H₄/ (g·h) 表示。计算公式:

$$ACO\text{活性}(\text{nmol}/(\text{ggh})) = \frac{N}{S} \times n \times V \times \frac{1}{t} \times \frac{1}{22.4 \times W}$$

式中: N 为 1.0 mL 样品乙烯的峰面积; S 为 1.0 mL 标准乙烯的峰面积; n 为稀释倍数; c 为标准乙烯的浓度 (nL/mL); V 为反应容器的体积 (mL); t 为密闭时间 (h); W 为测定样品的鲜重 (g)。

1.5 数据处理方法

所有数据均平行测定 3 次, 数据取平均值±标准差表示, 所有数据用 SPSS 20.0 软件进行分析, 显著性采用 ANOVA 进行邓肯氏多重差异分析, $p<0.05$ 表

示差异显著。

2 结果与讨论

2.1 鲜莲蓬适宜 NO 处理浓度的筛选

2.1.1 不同浓度 NO 处理对莲蓬及莲子表型的影响

由图 1 表型可知, 贮藏 6 d 时, 莲蓬和莲子均发生不同程度的褐变, 0.10 mmol/L 和 1.00 mmol/L 的外源 NO 处理与 CK 组相比无显著差异, 而 0.25 mmol/L 和 0.50 mmol/L 的 NO 处理莲子外观品质较 CK 好, 其中 0.25 mmol/L NO 处理的莲子外观品质更好。

2.1.2 不同浓度 NO 处理对莲子表皮 a^* 和 b^* 值得影响

由表 1 测定结果可知, 贮藏 6 d 后, 与初始值相比, CK 组莲皮 a^* 变化最大, 其次为 0.10 mmol/L 和 1.00 mmol/L 组, 但与 CK 组差异不显著, 而 0.25 mmol/L 和 0.50 mmol/L 的 NO 处理组的莲皮色差与 CK 组呈显著差异, 其中 0.25 mmol/L 的 NO 处理组明显低于 0.50 mmol/L 的 NO 处理组。同样, 莲皮的 b^* 值结果也呈现了相似的结果, 0.25 mmol/L 和 0.50 mmol/L 的 NO 处理组有效保持了莲皮的 b^* 值, 且显著高于 CK 组, 而其他处理与 CK 组差异不显著。结合莲蓬及莲子表型结果可知, 0.25 mmol/L 的 NO 处理浓度较适宜鲜莲蓬的处理。

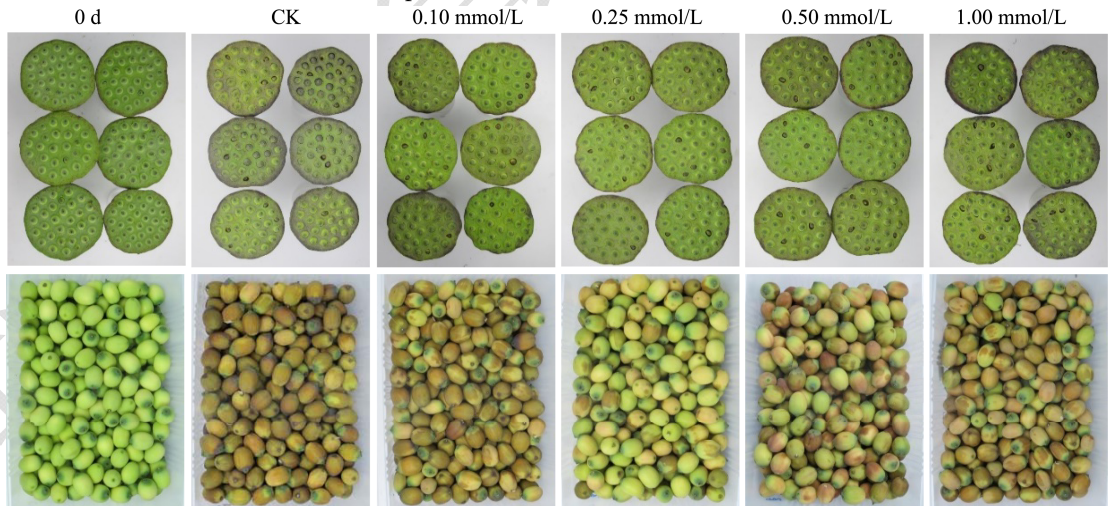


图 1 不同浓度 NO 处理对鲜莲蓬及莲子的贮藏效果

Fig.1 The preservation effect of different concentrations of NO on fresh lotus pods and seeds

表 1 不同浓度 NO 处理对莲子皮的色差的影响

Table 1 Effects of different concentrations of NO on chromatic aberration of lotus seed case

色差	初始值	CK	0.10 mmol/L	0.25 mmol/L	0.50 mmol/L	1.00 mmol/L
a^*	-17.12±0.43 ^d	0.85±0.70 ^a	-1.83±0.70 ^b	-9.98±1.45 ^c	-9.08±1.25 ^c	-2.55±0.78 ^b
b^*	40.82±0.22 ^b	33.18±1.15 ^c	41.55±0.90 ^b	48.88±0.95 ^a	47.11±0.84 ^a	41.17±1.17 ^b

注: 同一行色差值中不同字母代表 0.05 水平上有显著差异。

2.2 NO 处理对鲜莲蓬及莲子品质的影响

2.2.1 NO 处理对鲜莲蓬及莲子外观品质的影响

NO 是一种高反应活性的气体自由基分子, 适宜浓度的 NO 可有效延缓植物采后成熟衰老。图 2 表型显示, 在贮藏期间莲蓬和莲子均发生不同程度的褐变,

在 4 d 时, CK 与 NO 组莲蓬无明显变化, 但 CK 组莲子出现明显褐变, 而 NO 处理组莲皮颜色只是轻微变黄; 到 6 d 时, CK 组莲蓬与莲子均出现明显褐变, 而 NO 处理组莲蓬和莲子只出现轻微褐变; 到 8 d 时, CK 组莲蓬和莲子褐变严重, 已失去商品价值, 而 NO 处理组莲蓬及莲子褐变程度则相对更轻微, 整体上保持了较好的品质。

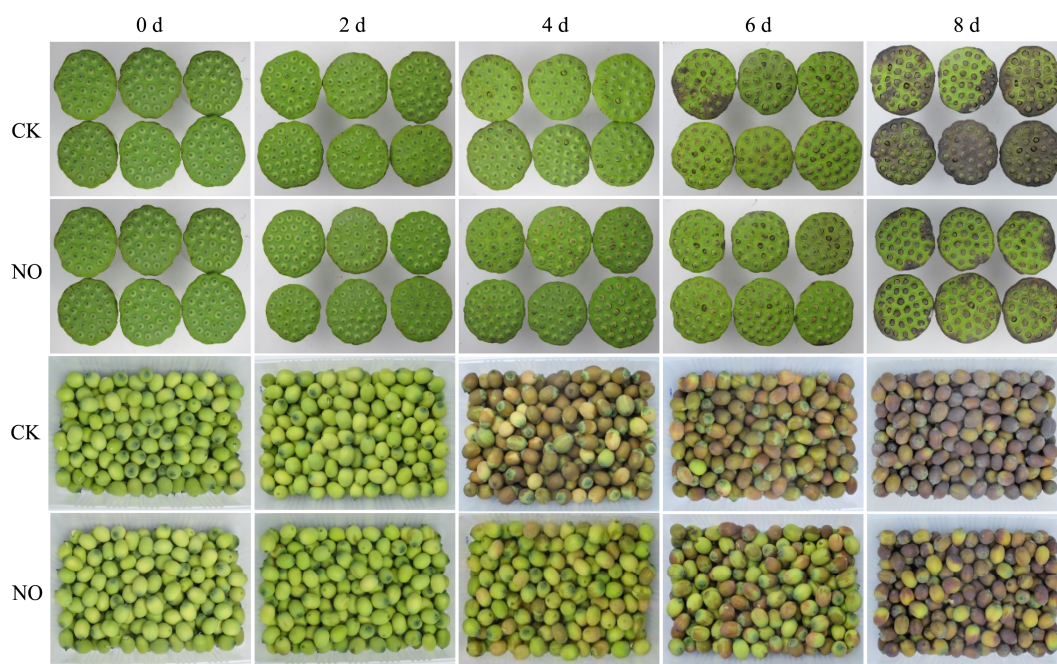


图 2 NO 处理对鲜莲蓬及莲子的外观品质的影响

Fig.2 Effect of NO treatment on the visual qualities of fresh lotus pods and seeds

2.2.2 NO 处理对莲蓬呼吸速率的影响

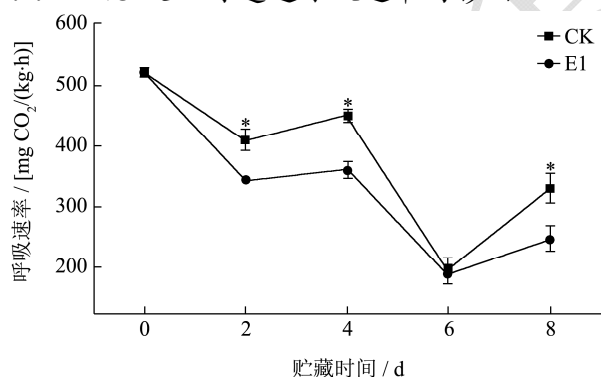


图 3 NO 处理对鲜莲蓬呼吸速率的影响

Fig.3 Effect of NO treatment on respiration rate of fresh lotus pods

注: *代表 0.05 水平上有显著差异。下同。

呼吸作用的强弱是反映果蔬采后成熟与衰老的重要指标之一, 鲜莲蓬采后呼吸极其旺盛, 这导致其采后迅速衰老, 从而失去商品价值, 由图 3 可知, 在贮藏期内, 所有处理组莲蓬的呼吸速率总体均呈下降趋势, 且 NO 处理组的呼吸速率在 2 d、4 d、8 d 时分别仅为 CK 组的 83.96%、80.07%、75.31%。由此说明,

NO 处理可有效抑制莲蓬的呼吸速率。与本实验结果相似, Ren 等^[23]发现 NO 处理可有效抑制芒果的呼吸作用, 从而延长了芒果的贮藏期; 类似地, 程顺昌等^[24]用 1 mol/L NO 处理青椒, 也得出 NO 处理可抑制其呼吸速率, 有效延长了青椒的保鲜期。

2.2.3 NO 处理对莲子可溶性糖和淀粉含量的影响

莲子富含淀粉和可溶性糖, 莲子采后淀粉和可溶性糖的含量直接影响其口感。由图 4a 可知, 在贮藏期间, CK 组与 NO 处理组莲子的可溶性糖含量均为下降趋势, 且经 NO 处理的莲子可溶性糖含量在贮藏期内均高于 CK 组, 并在 6 d、8 d 分别高于 CK 组的 33.07%、19.82%。图 4b 显示, 贮藏期间莲子淀粉含量呈先上升后下降趋势, 且 NO 处理组莲子的淀粉含量在贮藏过程中高于 CK 组, 且在 4~8 d 差异显著 ($p < 0.05$)。

综上, NO 处理可有效保持莲蓬及莲子的感官品质, 并抑制其采后呼吸作用, 和莲子淀粉的降解及可溶性糖消耗, 有利于保持莲子采后的甜度, 从而维持其较好口感。与本实验结果相似, 何秀娟^[25]等也发现

经 NO 处理能有效抑制板栗淀粉的降解, 从而维持板栗的口感。

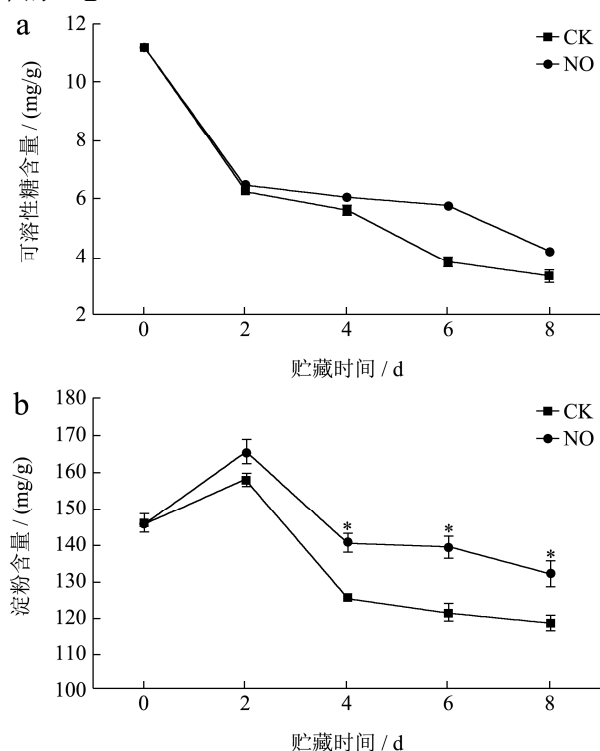


图 4 NO 处理对莲子可溶性糖 (a) 和淀粉含量 (b) 的影响

Fig.4 Effects of NO treatment on soluble sugar (a) and starch content (b) of lotus seeds

2.3 NO 处理对鲜莲蓬及莲子乙烯代谢的影响

2.3.1 NO 处理对莲子乙烯释放量和 ACC 含量的影响

NO 作为植物信号转导系统中的重要成员, 其可通过介导乙烯代谢来影响果蔬的采后衰老进程。乙烯是促进果实成熟与衰老的关键物质, 它能促进果实提前进入成熟期, 加快果实的衰老进程。本实验中 NO 处理的莲子乙烯释放量总体呈上升趋势, 但 CK 组上升速度较 NO 处理组快, 且在整个贮藏期内差异显著 ($p < 0.05$) (图 5a)。由此说明, NO 处理可有效抑制莲子乙烯生成。

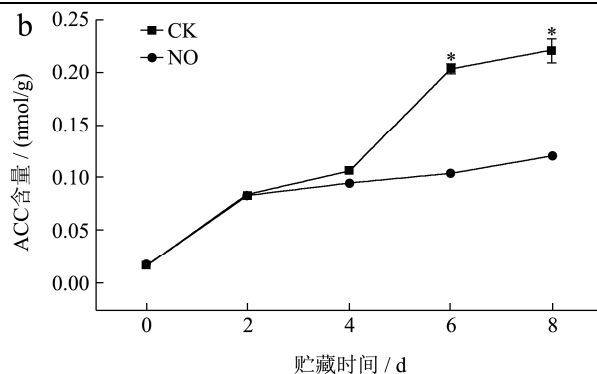
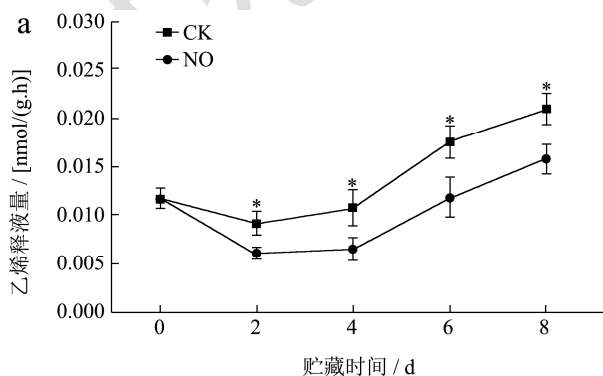


图 5 NO 处理对莲蓬乙烯释放量 (a) 和莲子 ACC 含量 (b) 的影响

Fig.5 Effect of NO treatment on ethylene release (a) of lotus pods and ACC content (b) of lotus seeds

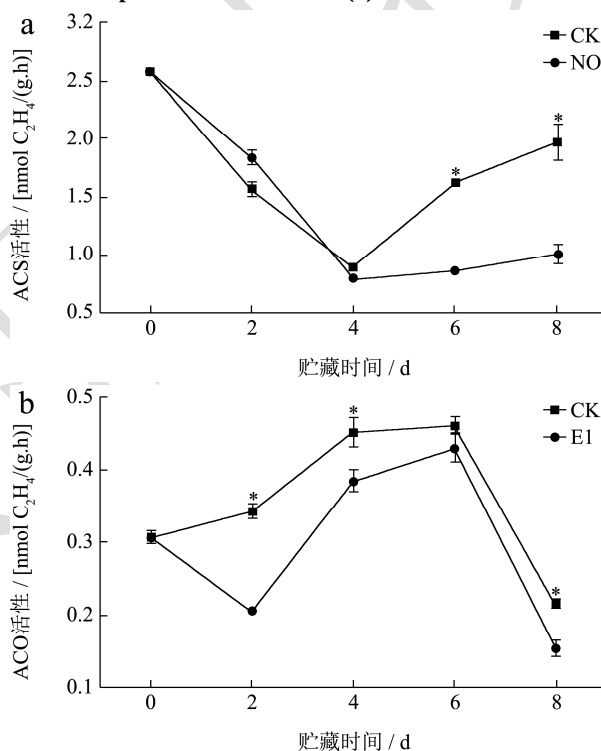


图 6 NO 处理对鲜莲子 ACS 活性 (a) 和 ACO 活性 (b) 的影响

Fig.6 Effect of NO treatment on ACS (a) and ACO activities (b) of fresh lotus seeds

Cheng 等^[26]也发现 NO 可通过抑制香蕉的乙烯生成量, 和乙烯合成前体物质 ACC 含量及乙烯合成关键酶来延长其贮藏期。同样, 本实验 ACC 结果 (图 5b) 显示, 莲子 ACC 含量在整个贮藏期内逐渐增加, 且 CK 组 ACC 含量始终高于 NO 处理组, 在 6 d 和 8 d 时, CK 组 ACC 含量分别是 NO 处理组的 1.94 倍和 1.84 倍 ($p < 0.05$)。由此表明, NO 处理可以有效抑制莲子中 ACC 的积累, 由此有效抑制了莲子乙烯的生成。

2.3.2 NO 处理对莲子 ACS、ACO 活性的影响

ACS 和 ACO 是植物组织中乙烯合成的关键酶。有报道称无花果和芒果的 ACS 和 ACO 活性可被乙烯受体抑制剂 1-MCP 有效控制,由此其组织的乙烯产量得到明显降低,从而达到了延长无花果和芒果保鲜期的目的^[27,28]。在本试验中,图 6a 可得出,贮藏期内,ACS 活性呈先下降后上升的趋势,NO 处理组 ACS 活性在贮藏 4 天后受到显著抑制 ($p<0.05$),在 6 d、8 d 时分别低于 CK 组 46.91% 和 48.97%。而 ACO 的结果显示图 6b,在贮藏期内,NO 处理组莲子的 ACO 活性在贮藏期内显著低于 CK 组 ($p<0.05$),在 2 d 和 4 d 时分别低于 CK 组 41.17%、15.56%。以上分析表明,NO 处理可以有效抑制贮藏期内莲子的 ACS 和 ACO 活性,由此抑制莲子乙烯的合成,这与本实验的乙烯和 ACC 结果一致。与本实验结果相似,郭芹等^[13]发现 NO 可通过抑制 ACS 的活性来抑制 ACC 的合成,从而降低番木瓜乙烯的转化率。

2.3.3 NO 处理对莲子 SAM、Met 含量的影响

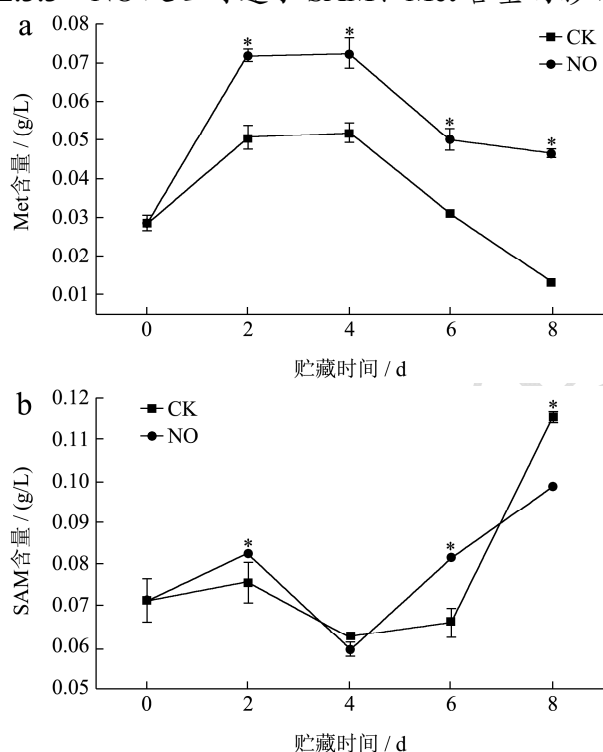


图 7 NO 处理对鲜莲子 Met 含量 (a) 和 SAM 含量 (b) 的影响
Fig. 7 Effect of NO treatment on SAM (a) and Met contents (b) of fresh lotus seeds

在植物组织乙烯代谢中, Met 是植物体内合成乙烯的重要前体物质, 乙烯的合成从 Met 开始, Met 经 SAM 合成酶催化生成 SAM, 再经过 ACS 催化生成 ACC, 最终经 ACO 催化生成乙烯^[29]。本试验得出, 在贮藏期内, 莲子的 Met 含量均呈先上升再下降趋势 (图 7b), 且 NO 处理组 Met 含量在贮藏期内均显著高于 CK 组, 两组 Met 含量均在 4 d 达到峰值, 此时

NO 处理组 Met 含量是 CK 组的 1.40 倍。而莲子的 SAM 结果显示 (图 7a), 在贮藏期内, SAM 的含量在贮藏期内先略微下降后迅速升高, 在 2 d、6 d 时, NO 处理组 SAM 含量显著高于 CK 组 ($p<0.05$); 但在第 8 d 时 NO 处理组 SAM 含量却显著低于 CK 组 ($p<0.05$)。由此, NO 处理对莲子贮藏期间的 SAM 含量影响不稳定。这可能是由于 NO 处理有效抑制了 ACS 和 ACO 的活性, 由此抑制 SAM 向 ACC 的转化速率, 以及 ACC 合成乙烯的转化效率, 由此造成了 SAM 的波动变化和 ACC 的生成和转化的不平衡。

2.3.4 乙烯、乙烯代谢相关物质及酶活性之间的相关性

表 2 NO 处理莲子的乙烯代谢相关物质之间的相关性分析

项目	乙烯	ACC	ACO	ACS	Met	SAM
乙烯	1.00					
ACC	0.76**	1.00				
ACO	0.43	0.22	1.00			
ACS	-0.17	-0.11	-0.34	1.00		
Met	-0.60*	-0.48	-0.78	-0.54	1.00	
SAM	0.49	0.45	-0.75*	0.24	-0.48	1.00

Note: ** means significance at 0.01; * means significance at 0.05.

由表 2 可知, 经 NO 处理的莲子其乙烯释放量与 ACC 含量极显著正相关 ($p<0.01$) 与 Met 含量呈显著负相关 ($p<0.05$); 此外, ACO 活性与 SAM 的含量之间呈显性负相关 ($p<0.05$)。以上结果表明, 莲子的乙烯合成直接受 ACC 含量的影响。

3 结论

本文研究结果表明, 在 $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 条件下, 0.25 mmol/L NO 处理可有效抑制鲜莲蓬的呼吸速率, 以及鲜莲子可溶性糖和淀粉含量下降, 保持莲子较好的品质; 此外, NO 处理延缓了莲子 ACC 的积累和 ACO 和 ACS 活性的升高, 保持了莲子较高的 Met 含量, 从而抑制了莲子乙烯的合成, 其中 NO 处理直接通过抑制 ACC 的积累来延缓乙烯的合成, 由此延缓莲蓬及莲子采后衰老。本研究结果可为鲜莲蓬和莲子采后贮藏保鲜提供理论与技术支持。

参考文献

- [1] Luo H L, Liu X X, Huang X Y, et al. Chemical deterioration of lotus seeds during storage [J]. Journal of Food Quality, 2016, 39(5): 496-503

- [2] Xu L, Fu H Y, Cai C B, et al. Quality degradation of chinese white lotus seeds caused by dampening during processing and storage: rapid and nondestructive discrimination using near-infrared spectroscopy [J]. Journal of Analytical Methods in Chemistry, 2015, 2015: 1-7
- [3] 周宏胜,孙凤杰,罗淑芬,等.氯吡苯脲处理对采后莲蓬保鲜效果的影响[J].食品科学,2018,580(15):235-242
ZHOU Hong-sheng, SUN Feng-jie, LUO Shu-fen, et al. Effect of 1-(2-Chloropyridin-4-yl)-3-phenylurea (CPPU) treatment on the postharvest quality of lotus pods [J]. Food Science, 2018, 580(15): 235-242
- [4] 王建辉,靳娜,刘永乐,等.低温处理对湘莲采后生理变化的影响[J].食品科学,2014,35(18):209-213
WANG Jian-hui, JIN Na, LIU Yong-le, et al. Effects of low-temperature treatment on postharvest physiological changes in xianglian [J]. Food Science, 2014, 35(18): 209-213
- [5] 隋棠,李志文,张瑛,等.箱式气调对鲜食莲蓬贮藏品质和生理的影响[J].保鲜与加工,2018,6:31-38
SUI Tang, LI Zhi-wen, ZHANG Ying, et al. Effects of box-type air conditioning on storage quality and physiology of fresh lotus seeds [J]. Preservation and Processing, 2018, 6: 31-38
- [6] 吴少福,蒋艳,沈勇根,等.壳聚糖低温保鲜去壳青裸莲子的研究[J].江西农业大学学报, 2004, 26(2): 259-262
WU Shao-fu, JIANG Yan, SHEN Yong-gen, et al. Research on low-temperature preservation of chitosan and hulled barley lotus seeds [J]. Journal of Jiangxi Agricultural University, 2004, 26(2): 259-262
- [7] 高建晓,王毓宁,李鹏霞,等.漆蜡涂膜对鲜莲蓬采后褐变的影响[J].食品科学,2016,37(18):275-282
GAO Jian-xiao, WANG Yu-ning, LI Peng-xia, et al. Effects of lacquer wax coating on postharvest browning of fresh lotus [J]. Food Science, 2016, 37(18): 275-282
- [8] Liu H Y, Hu H L, Luo S F, et al. 6-Benzylaminopurine alleviates the senescence of fresh-cut broccoli through inhibiting the production of ethylene [J]. Food Science, 2016, 137(24): 313-321
- [9] 朱雁青,胡花丽,郭峰,等.不同薄膜包装对鲜莲蓬褐变的影响[J].食品与发酵工业,2014,40(10):97-102
ZHU Yan-qing, HU Hua-li, GUO Feng, et al. Effects of different film packaging on browning of fresh lotus [J]. Food and Fermentation industry, 2014, 40(10): 97-102
- [10] Lan J M, Tang C D, Liang C X, et al. The preservation of lotus seeds by irradiation technique [J]. China Nuclear Science and Technology Report, 1990(00): 393-404
- [11] Sun D Z, YANG H S, PENG J, et al. Effects of exogenous salicylic acid and nitric oxide on growth, photosynthesis, and ion distribution in tomato seedlings under NaCl stress [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(13): 3519-3528
- [12] 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,2013,6:1157-1161
ZhU Li-qin, LI Bin, ZHANG Wei, et al. Effect of NO on fruit preservation after harvest [J]. Journal of Jiangxi Agricultural University, 2013, 6: 1157-1161
- [13] 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 postharvest papaya fruits [J]. Guangdong Agricultural Science, 2013, 40(3): 75-78
- [14] 刘孟臣,宋卫红,朱树华,等.一氧化氮和外源乙烯处理对肥城桃果实乙烯生物合成的影响[J].中国农业科学,2007, 40(11):2582-2586
LIU Meng-chen, SONG Wei-hong, ZHU Shu-hua, et al. Effects of nitric oxide and exogenous ethylene treatment on biosynthesis of peach fruit ethylene in feicheng [J]. Chinese Journal of Agricultural Sciences, 2007, 40(11): 2582-2586
- [15] 刘红艳,胡花丽,罗淑芬,等.6-苄氨基嘌呤处理对鲜切西兰花品质的影响[J].江苏农业学报,2018,34(1): 186-193
LIU Hong-yan, HU Hua-li, LUO Shu-fen, et al. Effect of 6-benzylaminopurine treatment on quality of fresh cut broccoli [J]. Jiangsu Agricultural Journal, 2018, 34(1): 186-193
- [16] 李向红.菱角淀粉理化特性的研究及其改性淀粉的开发[D].长沙:湖南农业大学,2004
LI Xiang-hong. Study on physical and chemical properties of water chestnut starch and development of modified starch [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2004
- [17] 高建晓,刘丹,古荣鑫,等.6-苄氨基嘌呤处理对上海青贮藏品质的影响[J].食品科学,2015,36(4):247-253
GAO Jian-xiao, LIU Dan, GU Rong-xin, et al. Effects of 6-benzylaminopurine treatment on silage quality in Shanghai silage collection [J]. Food Science, 2015, 36(4): 247-253
- [18] 徐涛.采后ASM处理对“玉金香”甜瓜乙烯代谢及挥发性物质释放的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2014
XU Tao. Effect of ASM treatment on ethylene metabolism and volatile matter release of jade incense melon [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2014
- [19] Egea M I, Martinez-madrid M C, Sanchez-bel P, et al. The

- influence of electron-beam ionization on ethylene metabolism and quality parameters in apricot (*Prunus armeniaca* L., cv Búlida) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40(6): 1027-1035
- [20] Bram V D P, Bulens I, Lagrain P, et al. Determination of S-Adenosyl-L-methionine in fruits by capillary electrophoresis [J]. Phytochem Anal, 2010, 21(6): 602-608
- [21] Kuhnreich R, Holzgrabe U. Impurity profiling of L-methionine by HPLC on a mixed mode column [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2016, 122: 118-125
- [22] Zaharah S S, Singh Z. Mode of action of nitric oxide in inhibiting ethylene biosynthesis and fruit softening during ripening and cool storage of "Kensington Pride" mango [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 62(3): 258-266
- [23] Ren Y, He J, Liu H, et al. Nitric oxide alleviates deterioration and preserves antioxidant properties in 'Tainong' mango fruit during ripening [J]. Horticulture Environment and Biotechnology, 2017, 58(1): 27-37
- [24] 程顺昌,任小林,饶景萍,等.一氧化氮(NO)对采后青椒某些生理生化特性与品质的影响[J].植物生理学报,2005, 41(3):322-324
- CHENG Shun-chang, REN Xiao-lin, RAO Jing-ping, et al. Effects of nitric oxide (NO) on some physiological and biochemical characteristics and quality of postharb green pepper [J]. Acta Phytophysiological Sinica, 2005, 41(3): 322-324
- [25] 何秀娟,邱文明,徐育海.外源一氧化氮对板栗果实贮藏品质的影响[J].中国南方果树,2017,46(6):101-104
- HE Xiu-juan, QIU Wen-ming, XU Yu-hai. Effects of exogenous nitric oxide on storage quality of chestnut fruit [J]. Fruit Trees of Southern China, 2017, 46(6): 101-104
- [26] Cheng G, Yang E, Lu W, et al. Effect of nitric oxide on ethylene synthesis and softening of banana fruit slice during ripening [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(13): 5799-5804
- [27] 王磊,张子德,张晓娜,等.1-MCP 处理对无花果采后乙烯生物合成代谢的影响[J].中国食品学报,2013,13(40):119-124
- WANG Lei, ZHANG Zi-de, ZHANG Xiao-na, et al. Effects of 1-mcp treatment on ethylene biosynthesis in figs after harvest [J]. Chinese Journal of Food Science, 2013, 13(40): 119-124
- [28] 孙炳新,何晓慧,冯叙桥.1-OCp 处理对芒果常温贮藏采后生理的影响[J].中国食品学报,2014,14(10):101-107
- SUN Bing-xin, HE Xiao-hui, FENG Xu-qiao. Effects of 1-ocp treatment on postharvest physiology of mango after storage at room temperature [J]. Chinese Journal of Food Science, 2014, 14(10): 101-107
- [29] Bulens I, Poel B V D, Hertog M L, et al. Protocol: An updated integrated methodology for analysis of metabolites and enzyme activities of ethylene biosynthesis [J]. Plant Methods, 2011, 7(1): 17-17

(上接第 44 页)

- [12] 马忠平,黄健,张志峰,等.L 型钙离子通道阻滞剂贝尼地平对去卵巢小鼠骨代谢的研究[J].中国骨质疏松杂志,2017, 23(8):1026-1029
- MA Zhong-ping, HUANG Jian, ZHANG Zhi-feng, et al. Effects of the L-type calcium channel blocker benidipine on bone formation of ovariectomized mice [J]. Chinese Journal of Osteoporosis, 2017, 23(8): 1026-1029
- [13] 李微微,张伟,张之农,等.碳酸钙联合阿法骨化醇治疗对 2 型糖尿病合并骨质疏松患者血钙、磷代谢及骨密度的影响[J].中国老年学,2017,37(19):4807-4809
- LI Wei-wei, ZHANG Wei, ZHANG Zhi-nong, et al. Effects of calcium carbonate combined with alfa calcitol on serum calcium, phosphorus metabolism and bone density in patients with type 2 diabetes mellitus complicated with osteoporosis [J]. Chinese Journal of Gerontology, 2017, 37(19): 4807-4809
- [14] 谢辉.联合使用固力康和特立帕肽对去卵巢大鼠股骨干骺端骨量、骨强度的影响[J].中国骨质疏松杂志,2017,23(2): 227-230
- XIE Hui. The influence of combined treatment with teriparatide and menatetrenone on bone mass and strength of the metaphysis of femur in OVX rats [J]. Chinese Journal of Osteoporosis, 2017, 23(2): 227-230