

外源 NO 对采后绿芦笋木质化和抗氧化能力的影响

李鹏霞, 胡花丽, 王毓宁

(江苏省农业科学院, 南京 210014)

摘要: 为探讨 NO 处理对采后绿芦笋木质化合成的调控机理。以 0.2 mmol/L 的硝普钠为一氧化氮供体, 以蒸馏水处理为对照, 研究了 NO 对采后绿芦笋总酚、木质素含量; 木质素合成关键酶 (苯丙氨酸解氨酶、肉桂醇脱氢酶、过氧化物酶、多酚氧化酶); 抗氧化能力 (1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基清除率、超氧阴离子自由基 ($O_2^{\cdot-}$) 清除率、羟基自由基 ($\cdot OH$) 清除率) 及膜透性的影响, 结果表明, 与对照相比, NO 处理可延缓采后绿芦笋木质素含量和膜透性的增加, 抑制肉桂醇脱氢酶和多酚氧化酶活性, 增强抗氧化能力, 诱导过氧化物酶活性增强, 但对苯丙氨酸解氨酶活性和总酚含量的影响不显著。说明 NO 处理是通过抑制肉桂醇脱氢酶和多酚氧化酶活性、提高抗氧化能力而延缓采后绿芦笋的木质化进程。研究结果可为 NO 在绿芦笋保鲜中的应用提供理论依据和技术方法。

关键词: 一氧化氮, 机理, 农产品, 绿芦笋, 硝普钠, 木质化, 抗氧化能力

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.09.043

中图分类号: S662.1; TS255.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-09-0264-06

李鹏霞, 胡花丽, 王毓宁. 外源 NO 对采后绿芦笋木质化和抗氧化能力的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(9): 264-269.

Li Pengxia, Hu Huali, Wang Yuning. Effects of exogenous nitric oxide on lignification and anti-oxidation activity of postharvest green asparagus[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(9): 264-269. (in Chinese with English abstract)

0 引言

绿芦笋 (*Asparagus officinalis* L.) 可食用部分为其嫩茎组织, 芦笋中含有特有的天门冬酰胺, 及多种甾体皂甙物质, 对心血管病、水肿、膀胱炎、白血病均有疗效, 也有抗癌的效果, 是中国传统中药食兼用的高档蔬菜。近年来, 随着药补不如食补理念的增强, 这些药食兼用果蔬的需求量在国内外市场中均与日俱增, 中国绿芦笋的种植面积和产量也呈几何数增长。由于绿芦笋嫩茎质地脆嫩, 含水量较高, 采后呼吸作用强^[1], 采后品质劣变快, 特别突出的问题是表皮和肉质部维管束细胞的木质化进程很快, 保鲜期及货架期极短。因此, 如何控制采后绿芦笋木质化进程是延长绿芦笋采后保鲜期和货架期的核心问题。

据报道, 气调和三阶段减压贮藏可降低采后绿芦笋木质素含量的增加^[2-3]。陈学红等研究了高氧气调包装对绿芦笋木质化的调控机制, 结果表明 80% O_2 +20% CO_2 气调包装处理可抑制苯丙氨酸解氨酶和过氧化物酶活性的上升, 进而降低木质素含量^[4]。谢冰等的研究表明 1-甲基环丙烯、乙醇和低温处理均可显著延缓绿芦笋的木质化进程, 主要与调控苯丙氨酸解氨酶、肉桂醇脱氢酶和过氧化物酶活性有关, 而与总酚和多酚氧化酶的关系

不显著^[5]。Liu 等研究亦表明 1-甲基环丙烯处理可减轻采后绿芦笋的木质化^[6], 但 1-甲基环丙烯处理对绿芦笋木质化的调控效果的结论不完全一致。同 1-甲基环丙烯类同, NO 也是一种可延缓果实衰老的天然植物生长调节物质, 其通过调控乙烯合成酶和乙烯氧化酶活性而有效抑制植物组织内源乙烯的生物合成^[7], 并可对植物组织衰老过程中保护酶系统的酶活性进行调节, 进而延缓组织的衰老^[8]。

目前, NO 已广泛用于果蔬的保鲜中^[9-11]。最近研究发现, NO 可减低绿芦笋采后的呼吸速率, 降低抗坏血酸及可溶性蛋白的下降^[12]。笔者前期以 0.01、0.05、0.1、0.2、0.4、0.6 mmol/L 硝普钠 (sodium nitroprusside, SNP) 为 NO 供体, 研究了 NO 对绿芦笋叶绿素、感官品质的影响, 结果表明 NO 可降低采后绿芦笋叶绿素的降解, 维持组织的脆度, 其中 0.2 mmol/L SNP 处理的效果最好^[13]。而绿芦笋采后的木质化是影响其脆度的主要原因。但 NO 处理如何调控采后绿芦笋的木质化, 以及绿芦笋木质化与其自身抗氧化能力之间的关系等问题仍不明确。因此, 在前期适宜 NO 浓度摸索研究的基础上, 本研究以 0.2 mmol/L SNP 为 NO 供体, 通过研究 NO 对绿芦笋木质素含量、木质素合成前体、相关酶活性及抗氧化能力的影响, 探讨 NO 对绿芦笋采后木质化的调控机理, 为 NO 处理技术在绿芦笋保鲜中的应用提供理论指导依据。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

供试绿芦笋 (品种为 GL-308) 采自上海绿芦笋种植专业合作社, 选择无虫害、无机械损伤、成熟度一致,

收稿日期: 2011-06-25 修订日期: 2011-10-09

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目 (cx (09) 629)

作者简介: 李鹏霞 (1976-), 女, 陕西西安人, 副研究员, 主要从事果蔬保鲜与加工研究。南京 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 210014。

Email: jsnky203@163.com

去根后长度为 15~20 cm、直径 1.0~1.5 cm 的嫩茎为试验材料。NO 供体为硝普钠 (sodium nitroprusside, SNP)。在预试验的基础上^[13], 取约 3 kg 绿芦笋用 0.2 mmol/L SNP 溶液浸泡 5 min; 对照 (CK) 在蒸馏水中浸泡同样的时间, 沥干后, 用 0.03 mm 厚带孔聚乙烯薄膜袋包装。目前, 冷链末端展示柜的温度主要集中在 4~7℃。因此将包装后的处理置于 4~7℃控温箱内贮藏, 以模拟绿芦笋在销售端的品质变化, 每个处理重复 3 次。每 4 d 取样一次, 每次处理取 30 株绿芦笋用于各项指标的测定。

1.2 方法

1.2.1 木质素含量的测定

根据芮怀瑾的方法测定木质素含量^[14], 结果以质量分数表示。

1) 总酚含量的测定参照文献^[15]的 Folin-酚法。

2) 肉桂醇脱氢酶活性(cinnamyl-alcohol dehydrogenase, CAD)的测定参考文献^[16]。

3) 苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia-lyase, PAL)活性的测定参考文献^[17]。

4) 多酚氧化酶(polyphenol oxidase, PPO)活性的测定参考文献^[17]。

5) 过氧化物酶(peroxidase, POD)活性的测定

参考文献^[15], 以每分钟 ΔOD_{470} 变化 0.01 表示一个酶活性单位 (U/(g·min))。

6) 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼 (1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical 2,2-Diphenyl-1-(2,4,6-trinitrophenyl)hydrazyl, DPPH) 清除率的测定

参考文献^[18]。根据以下公式计算 DPPH 清除率(%)。

$$\text{DPPH 清除率} (\%) = \left(1 - \frac{A_i - A_j}{A_0}\right) \times 100$$

式中, A_i 为 2.5 mL 6.5×10^{-5} mol/L DPPH 液+0.5 mL 样品反应所得 OD 值; A_j 为 2.5 mL DPPH 液溶剂+0.5 mL 样品反应所得 OD 值; A_0 为 2.5 mL 6.5×10^{-5} mol/L DPPH 液+0.5 mL 试样溶剂反应所得 OD 值。

1.2.2 超氧阴离子自由基 ($O_2^{\cdot-}$) 清除率的测定

参考唐巧玉^[19]的方法, 根据下公式计算 $O_2^{\cdot-}$ 清除率 (%)。

$$O_2^{\cdot-} \text{清除率} (\%) = \frac{A_2 - A_1}{A_2} \times 100$$

式中, A_2 为不加待测试样时的 OD 值, A_1 为加待测试样时的 OD 值。

1.2.3 羟基自由基 ($\cdot OH$) 清除率的测定

参考文献^[20], 略有修改, 在试管中分别加入 2 mL pH 值为 7.4 的磷酸缓冲液, 0.3 mL 5 mmol/L 的邻二氮菲溶液, 充分混匀后, 加入 0.2 mL 7.5 mmol/L $FeSO_4$ 溶液, 每加一管后立即混匀。再加入 0.1 mL 提取液, 混匀, 再加入 1 mL 质量分数为 0.02% 的 H_2O_2 最后补充体积至 8 mL。另取 2 支试管, 1 支试管中加 1 mL 质量分数为 0.02% H_2O_2 , 另 1 支不加 H_2O_2 , 最后补充体积至 8 mL。于 37℃ 下保温 1 h, 于 510 nm 处测定 OD 值, 根据下公式计算 $\cdot OH$ 清除率 (%)

$$\cdot OH \text{清除率} (\%) = \frac{S_2 - S_1}{S_0 - S_1} \times 100$$

式中, S_0 为不加 H_2O_2 的吸光值; S_1 为加 H_2O_2 的吸光值; S_2 为加样品提取液和 H_2O_2 的吸光值。

1.2.4 膜透性的测定

采用电导率仪测定 (瑞士梅特勒-托利多 METTLER TOLEDO 电导率仪)^[21]。

1.3 数据分析

所有数据用 SPSS 15.0 软件进行统计处理, 采用 ANOVA 进行邓肯氏多重差异分析 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 外源 NO 处理对采后绿芦笋木质素和总酚含量的影响

由图 1 可看出, 在贮藏过程中, NO 处理和对照绿芦笋的木质素含量均持续增加, 但经 NO 处理绿芦笋的木质素含量显著低于对照 ($P < 0.05$)。酚类物质是木质素合成的前体, 但在整个贮藏过程中, NO 处理对绿芦笋总酚含量的影响不显著 ($P > 0.05$)。

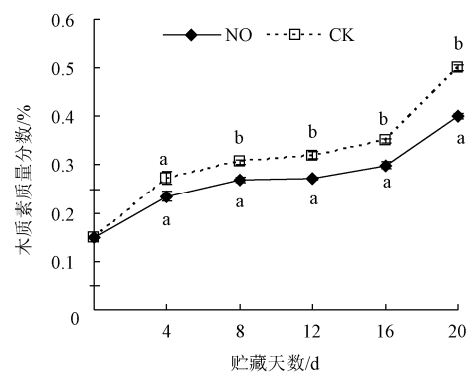


图 1 外源 NO 处理对采后绿芦笋木质素含量的影响

Fig.1 Effects of nitric oxide treatment on the lignin content of postharvest green asparagus

2.2 外源 NO 处理对绿芦笋木质化过程中肉桂醇脱氢酶 (CAD) 和苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 活性变化的影响

由图 2 可看出, 贮藏 0 d 时, 绿芦笋的 CAD 活性为 0.3524 U/(g·min), 贮藏至 4 d 时 NO 处理绿芦笋的 CAD 活性较贮藏 0 d 相比增加了 15.9%, 而在之后的贮藏期内, NO 处理绿芦笋 CAD 活性的变化未达到显著差异 ($P > 0.05$), 说明在贮藏 4~20 d 内, NO 处理控制了绿芦笋 CAD 活性的增加。但对照绿芦笋的 CAD 活性在贮藏 8 d 时出现峰值, 且在贮藏 4 和 8 d 时显著高于 NO 处理; 贮藏 16~20 d 时, 对照绿芦笋的 CAD 活性再次增加 (图 2b), 这可能是由于贮藏后期绿芦笋机体除表皮细胞木质化外, 肉质部维管束细胞亦发生木质化, 因而诱导了绿芦笋中 CAD 活性的增强, 但在这一时期 NO 处理显著降低了绿芦笋的 CAD 活性, 有利于抑制绿芦笋组织的木质化进程, 这与图 1 的结果一致。另外, 试验发现在整个贮藏过程中, NO 处理和对照绿芦笋的 PAL 活性之间无显著差异 ($P > 0.05$)。

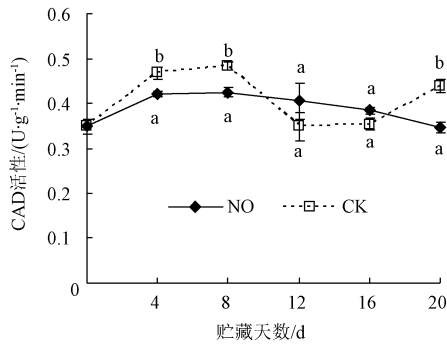


图2 外源NO处理对采后绿芦笋肉桂醇脱氢酶(CAD)活性变化的影响

Fig.2 Effects of exogenous nitric oxide treatment on activities of CAD of postharvest green asparagus

2.3 外源NO处理对绿芦笋木质化过程中多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)活性变化的影响

由图3a可看出,在采后贮藏过程中,NO处理和对照绿芦笋多酚氧化酶(PPO)活性的变化趋势类似,均在贮藏0~8d内出现增强,贮藏至第8天时达到峰值。贮藏20d时,NO处理绿芦笋的PPO活性略有下降,而对照绿芦笋的PPO活性略有增强,但这种变化未达到差异显著水平($P>0.05$)。说明在贮藏12~20d期间,NO处理和对照绿芦笋的PPO活性均维持在一个稳定的水平。但在整个贮藏期内,NO处理可显著降低绿芦笋的PPO活性($P<0.05$)。

由图3b可看出,在采后贮藏过程中,NO处理和对照绿芦笋POD活性的变化趋势亦类同,均有一定的波动状上升,在贮藏8和16d出现峰值,但NO处理激发了绿芦笋POD的活性。

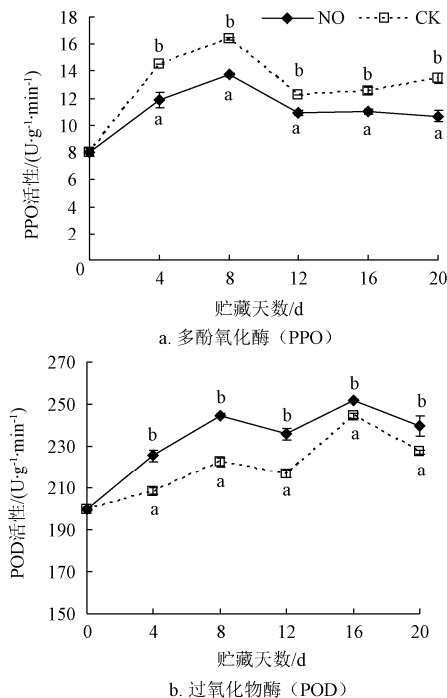


图3 外源NO处理对采后绿芦笋多酚氧化酶(PPO)和过氧化物酶(POD)活性变化的影响

Fig.3 Effects of exogenous nitric oxide treatment on activities of PPO and POD of postharvest green asparagus

2.4 外源NO处理对绿芦笋DPPH清除率及O₂⁻清除率的影响

由图4a可看出,贮藏0d时,绿芦笋清除DPPH的能力为79.91%,随着贮藏时间的延长,NO处理和对照绿芦笋清除DPPH的能力均明显下降。与对照相比,在贮藏4、8、12、16和20d时,NO处理可使采后绿芦笋清除DPPH的能力分别提高8.37%、5.09%、6.25%、6.03%和3.00%,说明NO处理可减缓采后绿芦笋清除DPPH能力的下降。

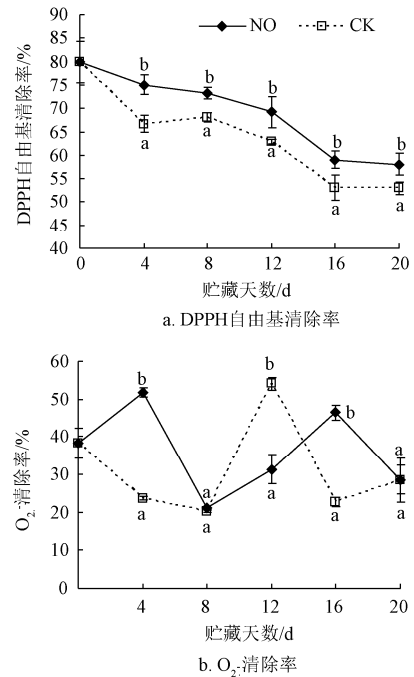


图4 外源NO处理对采后绿芦笋DPPH清除率和O₂⁻清除率变化的影响

Fig.4 Effects of exogenous nitric oxide treatment on DPPH radical scavenging activity and superoxide radical scavenging of postharvest green asparagus

由图4b可看出,在采后贮藏过程中,NO处理绿芦笋对O₂⁻的清除能力呈现倒“W”型折线,分别在贮藏4和16d时出现峰值,相应清除能力分别为51.68%和46.47%;对照绿芦笋对O₂⁻的清除能力呈类似“W”型折线,在贮藏12d时出现峰值,此时的清除能力为54.03%,且显著高于NO处理绿芦笋对O₂⁻的清除能力($P<0.05$),这可能是因贮藏4d时对照绿芦笋中无足够的抗氧化体系清除机体所产生的O₂⁻,以至于在其组织内积累了大量O₂⁻自由基,而这一信号激活了机体内的氧化应激反应所致。在贮藏8和20d时NO处理和对照绿芦笋对O₂⁻清除能力的影响无显著差异($P>0.05$)。总体看来,在采后贮藏过程中NO处理绿芦笋清除O₂⁻的能力较好。

2.5 外源NO处理对绿芦笋·OH清除率和膜透性变化的影响

由图5a看出,在整个贮藏期内,NO处理和对照绿芦笋中·OH清除率的变化趋势有些类似。在贮藏8d时,NO处理和对照绿芦笋中·OH清除率分别为6.47%和2.46%,且差异显著($P<0.05$)。贮藏12d时NO处理

和对照绿芦笋中 $\cdot\text{OH}$ 清除率均达到峰值, 值分别为 18.48% 和 10.00%。可见, 在贮藏 4~12 d 内, NO 处理绿芦笋清除 $\cdot\text{OH}$ 的能力显著高于对照 ($P < 0.05$)。在贮藏 16~20 d 内, 对照绿芦笋清除 $\cdot\text{OH}$ 的能力急剧下降,

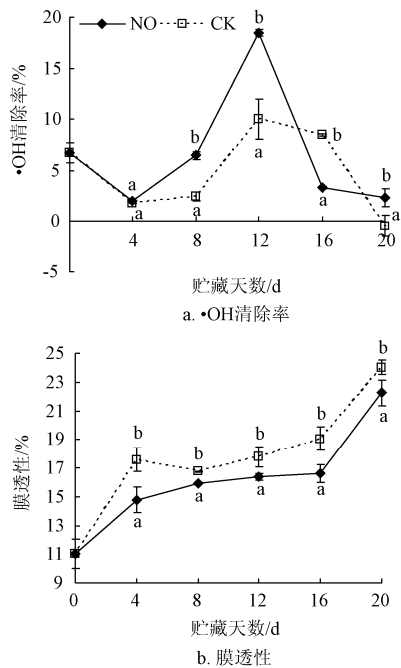


图 5 外源 NO 处理对采后绿芦笋 $\cdot\text{OH}$ 清除率和膜透性变化的影响

Fig.5 Effects of exogenous nitric oxide treatment on hydroxyl radical scavenging activity and membrane permeability of postharvest green asparagus

至贮藏 20 d 时, 对照绿芦笋清除 $\cdot\text{OH}$ 的能力仅为 0.001%, 近乎丧失了清除 $\cdot\text{OH}$ 的能力, 而此时 NO 处理绿芦笋对 $\cdot\text{OH}$ 的清除率仍维持在 2.32%。

由图 5b 可看出, 在整个贮藏过程中, NO 处理和对照绿芦笋的膜透性均随着贮藏时间的延长而增加, 这属组织衰老的表现, NO 处理可减缓绿芦笋膜透性的增加, 说明 NO 处理可延缓绿芦笋采后的衰老进程。

3 讨论

木质素是植物细胞主要组分之一, 植物的初生和次生细胞壁的木质化部位均有木质素的存在。PAL 活性的增强可促进绿芦笋绿芦笋木质素的生物合成^[6], 但本研究发现, 在整个贮藏期内, NO 处理对采后绿芦笋 PAL 活性的影响不大, 然 Yang 等以竹笋为研究对象发现, NO 处理延缓竹笋木质化进程与其抑制 PAL 活性有关^[22], 这说明 NO 对 PAL 活性是否有显著的抑制作用, 与其作用对象的生理特性有关。

CAD 是苯丙烷类代谢中催化木质素前体香豆醛向香豆醇转化, 它是木质素代谢途径中的一个重要环节, CAD 活性的增加, 促进了枇杷果肉木质素的生成^[23]。PPO 通过参与酚类物质的氧化过程, 催化香豆酸向咖啡酸转化, 为木质素的合成提供前体, 从而促进木质素的合成。本研究结果表明, 与对照相比, NO 处理总体上降低了绿芦

笋的 PPO 和 CAD 活性, 但诱导了 POD 活性的增加。1-MCP 处理诱导了采后绿芦笋 PAL 和 PPO 活性的增加, 降低了 CAD 活性, 在贮藏前期亦可降低 POD 活性, 而在贮藏后期则可减缓 POD 活性的下降^[5], 可见 NO 处理对采后绿芦笋木质化的调控与 1-MCP 不同。

POD 活性与植物组织的许多生理生化进程相关, 可导致植物组织成熟衰老过程中的质变和量变, POD 除了在 H_2O_2 参与下催化木质素单体聚合成木质素, 提高组织木质化程度外, 还参与组织抗性生理活动。另外, 自由基积累导致的衰老亦可诱导 POD 活性的升高, 结合 NO 处理和对照抗氧化活性的变化可知, NO 处理绿芦笋中 POD 活性的增强并非自由基积累诱导的结果; 再比较 NO 处理和对照木质素含量的变化可知, POD 活性的增强并未促使 NO 处理绿芦笋木质素含量增加, 这说明 NO 处理对绿芦笋木质化进程的调控与 POD 关系不大, NO 处理绿芦笋 POD 活性的增强可能与其参与清除 H_2O_2 有关。

本研究结果还表明在贮藏 4 和 16 d 时, NO 处理显著提高了绿芦笋 O_2^- 的清除率, 结合 NO 处理对绿芦笋木质素含量变化的影响, 说明 O_2^- 的代谢参与了绿芦笋木质化的进程。Liu 等研究了 O_2^- 和 H_2O_2 含量与绿芦笋木质化合成的关系, 研究结果亦表明调节 O_2^- 的代谢可调控木质化进程^[6]。但在贮藏 12 d 时 NO 处理绿芦笋对 O_2^- 的清除能力不及对照, 可见 O_2^- 对绿芦笋木质化的作用还受贮藏时间的影响。由于在植物组织中多种抗氧化剂参与 O_2^- 的清除过程。因此下一步需要对绿芦笋中 O_2^- 产生及防御系统的变化进行综合分析, 以阐明导致绿芦笋 O_2^- 清除率变化的根本原因。另外, NO 处理可降低采后绿芦笋中 DPPH 和 $\cdot\text{OH}$ 清除率的下降, 这可降低绿芦笋中 DPPH 和 $\cdot\text{OH}$ 自由基的积累, 抑制木质素单体之间的氧化交联反应, 结合 NO 处理和对照木质化进程, 亦可间接证明降低自由基的含量利于减缓绿芦笋木质化的合成。另外, 植物体内清除自由基能力的下降, 会导致自由基大量产生, 促进衰老^[24]。由图 5b 可看出, NO 处理减缓了绿芦笋膜透性的增加, 这说明 NO 处理在延缓绿芦笋木质化的同时, 也有减缓绿芦笋衰老的作用, 与 Rocio 的研究结果一致^[25]。这些研究结果为利用 NO 处理控制绿芦笋采后品质下降提供了理论依据。

另外, 据联合国粮农组织的有关统计资料, 中国是芦笋主要生产国之一, 但因芦笋采后的衰老较快, 在运输和贮藏期间品质极易劣变, 这限制了保鲜绿芦笋的销售范围, 因此绿芦笋采后保鲜技术的成熟并完善, 就可以缓解这种局面。NO 是生物活性分子, 在人体内都有一定浓度 (一般在 1 mmol/L) 的 NO 存在, 本研究采用的 NO 浓度均显著低于人体内的内源 NO 浓度, 且 NO 的供体硝普钠价格低廉、使用方便。因此可在生产中应用。

4 结论

1) 0.2 mmol/L 硝普钠释放的 NO 处理可抑制采后绿芦笋木质素含量的上升及膜透性的增加, 保持绿芦笋的新鲜品质。因此, NO 处理可成为一种维持采后绿芦笋品质

质的理想方法。

2) 0.2 mmol/L 硝普钠释放的 NO 处理对采后绿芦笋木质化进程的调控主要与其抑制多酚氧化酶 (PPO) 和肉桂醇脱氢酶 (CAD) 活性有关, 对总酚、苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 和过氧化物酶 (POD) 活性的影响不显著 ($P > 0.05$)。另外, 该处理可显著提高采后绿芦笋对 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼自由基 (DPPH) 和羟基自由基 ($\cdot\text{OH}$) 的清除能力 ($P < 0.05$), 表明采后绿芦笋木质化的发生与其清除自由基能力的下降密切相关。

[参 考 文 献]

- [1] Hirokik K, Satoru M, Tomoo M, et al. Effects of Storage Temperature on the Postharvest Quality of Three Asparagus Cultivars Harvested in Spring[J]. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 2011, 80(1): 76—81.
- [2] Sothornvit R, Kiatchanapaibul P. Quality and shelf-life of washed fresh-cut asparagus in modified atmosphere packaging[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2009, 42(9): 1484—1490.
- [3] Li Weixiang, Zhang Min. Effect of three-stage hypobaric storage on cell wall components, texture and cell structure of green asparagus[J]. *Journal of Food Engineering*, 2006, 77(1): 112—118.
- [4] 陈学红, 秦卫东, 马利华, 等. 高氧气调包装对绿芦笋木质化的影响[J]. *食品科学*, 2009, 30(22): 350—353.
Chen Xuehong, Qin Weidong, Ma Lihua, et al. Effect of high oxygen modified atmosphere packaging on lignification of green asparagus[J]. *Food Science*, 2009, 30(22): 350—353. (in Chinese with English abstract)
- [5] 谢冰, 寇晓虹, 李磊, 等. 芦笋采后木质化和品质变化的调控[J]. *食品科技*, 2010, 35(7): 44—47.
Xie Bing, Kou Xiaohong, Li Lei, et al. Regulation of different treatments on postharvest lignification and quality changes in asparagus[J]. *Food Science and Technology*, 2010, 35(7): 44—47. (in Chinese with English abstract)
- [6] Liu Zunying, Jiang Weibo. Lignin deposition and effect of postharvest treatment on lignification of green asparagus (*Asparagus officinalis* L.)[J]. *Plant Growth Regulation*, 2006, 48(2): 187—193.
- [7] Zaharah S S, Singh Z. Postharvest nitric oxide fumigation alleviates chilling injury, delays fruit ripening and maintains quality in cold-stored 'Kensington Pride' mango[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 60(3): 202—210.
- [8] Wu Fenghua, Yang Huqing, Chang Yinzi, et al. Effects of nitric oxide on reactive oxygen species and antioxidant capacity in Chinese Bayberry during storage[J]. *Scientia Horticulturae*, 2012, 135: 106—111.
- [9] Xu Maojun, Dong Jufang, Zhang Ming, et al. Cold-induced endogenous nitric oxide generation plays a role in chilling tolerance of loquat fruit during postharvest storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2012, 65: 5—12.
- [10] Zaharah S S, Singh Z. Postharvest fumigation with nitric oxide at the pre-climacteric and climacteric-rise stages influences ripening and quality in mango fruit[J]. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2011, 88(6): 645—653.
- [11] Yang Huqing, Wu Fenghua, Cheng Jiyu. Reduced chilling injury in cucumber by nitric oxide and the antioxidant response[J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(3): 1237—1242.
- [12] 张少颖. 一氧化氮对绿芦笋采后生理及贮藏品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2010, 26(10): 77—81.
Zhang Shaoyin. Effects of nitric oxide on post-harvest physiology and quality of green asparagus[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(10): 77—81. (in Chinese with English abstract)
- [13] 刘红锦, 胡花丽, 李鹏霞. 外源 NO 处理对绿芦笋货架期保鲜效果的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(6): 212—215.
Liu Hongjin, Hu Huali, Li Pengxia. Effects of exogenous nitric oxide treatment on the preservation of green asparagus during shelf-life[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2011, 37(6): 212—215. (in Chinese with English abstract)
- [14] 芮怀瑾, 汪开拓, 尚海涛, 等. 热处理对冷藏枇杷木质化及相关酶活性的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(7): 294—298.
Rui Huaijin, Wang Kaituo, Shang Haitao, et al. Effects of heat treatment on flesh leatheriness and related enzyme activities of loquat fruits during cold storage[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(7): 294—298. (in Chinese with English abstract)
- [15] 胡花丽, 李鹏霞, 王毓宁, 等. O₂ 和 CO₂ 配比对气调贮藏梨采后褐变及相关理化因子的影响[J]. *西北植物学报*, 2010, 30(7): 1441—1448.
Hu Huali, Li Pengxia, Wang Yuning, et al. Postharvest physiological brown of hosui pear stored in different O₂ and CO₂ composition conditions[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2010, 30(7): 1441—1448. (in Chinese with English abstract)
- [16] 吴锦程, 陈群, 唐朝晖, 等. 外源水杨酸对冷藏枇杷果实木质化及相关酶活性的影响[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(7): 175—179.
Wu Jincheng, Chen Qun, Tang Chaohui, et al. Effects of exogenous salicylic acid on lignification and related enzymes activities of loquat during cold storage[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2006, 22(7): 175—179. (in Chinese with English abstract)
- [17] 静玮, 苏子鹏, 朱德明, 等. 茶树油熏蒸处理对香蕉采后炭疽病害的影响[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(5): 378—384.
Jing Wei, Su Zipeng, Zhu Deming, et al. Effects of tea tree oil fumigation on banana postharvest disease *Colletotrichum musae*[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2011, 27(5): 378—384. (in Chinese with English abstract)
- [18] 薛自萍, 曹健康, 姜微波. 枣果皮中酚类物质提取工艺优化及抗氧化活性分析[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(1): 153—158.

- Xue Ziping, Cao Jiankang, Jiang Weibo. Optimization of extraction and antioxidant properties of phenolic compounds in Chinese jujube[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(1): 153—158. (in Chinese with English abstract)
- [19] 唐巧玉, 周毅峰, 朱玉昌, 等. 金橘皮中黄酮类物质的提取及其体外抗氧化活性研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 258—261.
- Tang Qiaoyu, Zhou Yifeng, Zhu Yuchang, et al. Extraction of flavone compounds from Fortunella margarita peel and its antioxidation in vitro[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(6): 258—261. (in Chinese with English abstract)
- [20] 王建华, 张民, 甘璐, 等. 枸杞多糖-2 的抗羟基自由基氧化作用[J]. 食品科学, 2001, 22(1): 11—13.
- Wang Jianhua, Zhang Min, Gan Lu, et al. Study on scavenging effect of lycium barbarum polysacch aride-2 on the oxidation induced by hydroxyl radicals[J]. Food Science, 2001, 22(1): 11—13. (in Chinese with English abstract)
- [21] 胡花丽, 李鹏霞, 王炜, 等. 不同气体成分对丰水梨果实采后品质和耐贮性的影响[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(2): 400—450
- Hu Huali, Li Pengxia, Wang Wei, et al. Effects of controlled atmospheres on postharvest quality and storability of Hosui pear fruit[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2010, 26(2): 400—450. (in Chinese with English abstract)
- [22] Yang H Q, Zhou C S, Wu F H, et al. Effect of nitric oxide on browning and lignification of peeled bamboo shoots[J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 57(1): 72—76.
- [23] 吴锦程, 唐朝晖, 陈群, 等. 不同贮藏温度对枇杷果肉木质化及相关酶活性的影响[J]. 武汉植物学研究, 2006, 24(3): 235—239.
- Wu Jincheng, Tang Chaohui, Chen Qun, et al. The effects of different storage temperatures on lignification and related enzymes activities in loquat pulp[J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2006, 24(3): 235—239. (in Chinese with English abstract)
- [24] 姜爱丽, 孟宪军, 胡文忠, 等. 高 CO₂ 冲击处理对采后蓝莓生理代谢及品质的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 362—368.
- Jiang Aili, Meng Xianjun, Hu Wenzhong, et al. Effects of high CO₂ shock treatment on physiological metabolism and quality of postharvest blueberry fruits[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(3): 362—368. (in Chinese with English abstract)
- [25] Rocio R, Sara J, Antonia H. Mechanical properties of white and green asparagus: changes related to modifications of cell wall components[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004, 84(12): 1478—1486.

Effects of exogenous nitric oxide on lignification and anti-oxidation activity of postharvest green asparagus

Li Pengxia, Hu Huali, Wang Yuning

(Institute of Agricultural Products Processing, Nanjing 210014, China)

Abstract: In order to elucidate the adjustment mechanism of nitric oxide(NO) on the lignification of postharvest green asparagus, using sodium nitroprusside(SNP) of 0.2 mmol/L as a nitric oxide donor, and green asparagus treated with distilled water as controls, the paper investigated the effects of nitric oxide treatment on total phenol and lignin content, the relevant enzymes of lignin synthesis including PAL, CAD, PPO and POD, the anti-oxidation activity including the DPPH radical scavenging activity, and the superoxide radical scavenging activity and hydroxyl radical scavenging activity and membrane permeability. The result showed that NO treatment could delay the increase of lignin content and membrane permeability, inhibit the activities of CAD and PPO, increase the anti-oxidation activity, induce a significant increase in POD activity. However, there was no significant effect on PAL activity and total phenol content compared to control. This proved that NO treatment can delay the lignification of postharvest green asparagus through inhibiting the activities of CAD and PPO and increasing the anti-oxidation activity. The results can provide a theoretical basis and technical method for application of NO in green asparagus storage.

Key words: nitric oxide, mechanisms, agricultural products, green asparagus, sodium nitroprusside, lignification, anti-oxidation activity