

# 一氧化氮处理对采后枸杞鲜果生理效应的影响

冯 美, 张 宁

(宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021)

**摘 要:**以“宁杞1号”为材料,以硝普钠(SNP)为一氧化氮(NO)供体,研究了不同浓度NO对枸杞果实采后生理效应的影响。结果表明:外源NO处理,能有效减少果实失重率和果实腐烂指数,推迟果实可溶性固形物含量下降,抑制果实乙烯的产生和呼吸速率,能增强果实超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性,降低丙二醛(MDA)含量,且以 $0.50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  SNP溶液浸泡处理效果最好。试验表明,适宜浓度的SNP处理可以提高枸杞果实采后保鲜效果。

**关键词:**枸杞;一氧化氮(NO);采后;生理作用

**中图分类号:**S 567.1<sup>+</sup>9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)12-0135-04

枸杞(*Lycium barbarum* L.)属茄科多年生落叶灌木。宁夏枸杞含有多种活性物质,是理想的药食两用植物资源。由于枸杞属于浆果,根据其果实生理特点,采后在常温下极易发生果实腐烂。枸杞鲜果、枸杞原果汁能更好的保存枸杞生物活性物质,不仅作为食品工业生产用原料和辅料,也可以作为保健饮品,其应用市场在不断扩大。LESHEM等<sup>[1]</sup>报道一氧化氮(NO)可能作为一种植物生长调节剂调控植物的成熟和衰老。外源NO处理延缓枸杞鲜果成熟衰老的生理作用研究,对于NO在枸杞贮藏保鲜中的应用具有重要意义。当前有关NO抑制植物衰老成熟方面的研究也是生命科学研究领域的热点,无论跃变型还是非跃变型园艺作物,外源适宜浓度的NO均能抑制其成熟衰老<sup>[2]</sup>。例如外源NO能延长草莓贮藏期<sup>[3]</sup>,在采后肥城桃、香蕉、柿、鳄梨、柑橘、番木瓜等果实上应用也有延迟衰老的作用<sup>[4-7]</sup>。外源NO对延缓枸杞鲜果成熟衰老的作用方面研究的比较少。该试验以“宁杞1号”枸杞为材料,研究室温条件下不同浓度硝普钠(SNP)处理对枸杞果实采后生理效应的影响,以期为NO在枸杞果实贮藏保鲜中的应用提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于2014年7月至2015年7月在宁夏银川南梁农场枸杞园进行,试材为8年生的“宁杞1号”枸杞,

株行距 $1\text{ m}\times 3\text{ m}$ ,管理水平中等。以枸杞红熟期果实为材料,选择无病虫害的果实,采收后立即运回实验室进行处理。NO供体硝普钠(SNP),由北京双鹤药业公司生产。

### 1.2 试验方法

**1.2.1 NO对枸杞果实品质的影响** 根据前期预试验结果,分别用 $0.02$ 、 $0.10$ 、 $0.50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的SNP溶液浸泡果实 $30\text{ min}$ ,每个浓度处理 $1500\text{ g}$ 枸杞,重复3次,以不加SNP处理为对照(CK)。平摊晾干,常温放置,每隔 $1\text{ d}$ 将果实按轻微腐烂、 $1/4$ 腐烂、 $1/2$ 腐烂、 $3/4$ 腐烂和全烂为标准分为 $1\sim 5$ 级,计算腐烂指数;称取各处理样品质量,计算失水率;同时取一定量果实超低温冰箱冷冻,用于可溶性固形物、丙二醛(MDA)含量,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性的测定。腐烂指数 $=\sum[(\text{腐烂级别}\times\text{该级果实数})/(\text{最高腐烂级别}\times\text{总果实数})]\times 100$ ;失水率 $(\%)=[(\text{采收时果实质量}-\text{测定时果实质量})/\text{采收时果实质量}]\times 100$ 。

**1.2.2 NO对枸杞呼吸速率和乙烯产生速率的影响** 试验处理同1.2.1,每个处理 $1300\text{ g}$ 枸杞,重复2次,沥干,放入干燥皿中封口,每隔 $1\text{ d}$ 测定干燥皿中的 $\text{CO}_2$ ,并用注射器抽取 $1\text{ mL}$ 气体,用于乙烯测定。

### 1.3 项目测定

**1.3.1 可溶性固形物、呼吸速率和乙烯产生速率的测定** 可溶性固形物含量采用手持糖量计测定,结果用%表示;呼吸速率采用TELAIRE 7001  $\text{CO}_2$ 测定仪测定,单位为 $\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\text{FW}\cdot\text{h}^{-1}$ ;乙烯产生速率使用Trace GC Ultra色谱仪测定,色谱条件:FID氢火焰离子检测器, $2\text{ m}$ 乙烯不锈钢专用填充柱,柱温 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,进样口温度 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,检测器温度 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,气体流速 $\text{N}_2$ : $40\text{ kPa}$ , $\text{H}_2$ : $35\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,Air: $350\text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ ,单位为 $\mu\text{L}\cdot\text{kg}^{-1}\text{FW}\cdot\text{h}^{-1}$ ,

**第一作者简介:**冯美(1970-),女,硕士,教授,研究方向为果树学栽培与生理。E-mail:13895186355@126.com

**基金项目:**宁夏自然科学基金资助项目(NZ12121)。

**收稿日期:**2016-02-14

1.3.2 MDA 含量及 SOD、CAT、POD 活性测定 采用硫代巴比妥酸法测定 MDA 含量,采用氮蓝四唑法测定 SOD 活性,采用紫外吸收法测定 CAT 活性,采用愈创木酚法测定 POD 活性<sup>[8]</sup>。

#### 1.4 数据分析

采用 SPSS 软件进行数据处理与分析。

### 2 结果与分析

#### 2.1 NO 对采后枸杞果实腐烂率和失水率的影响

由图 1a 可以看出,NO 处理减缓了枸杞果实腐烂指数的增加,对照第 2 天腐烂指数为 5.63,第 8 天高达 89.31。而 NO 各处理腐烂指数均低于对照,均与对照呈极显著差异( $P<0.01$ ),以 0.50 mmol·L<sup>-1</sup> 处理效果最好,第 8 天对照腐烂指数是 0.50 mmol·L<sup>-1</sup> 处理的 1.49 倍。由图 1b 可以看出,水分含量在一定程度上反应果实的新鲜程度,经过 NO 处理过的枸杞其失水率均低于对照,且均达到极显著差异水平( $P<0.01$ ),第 8 天对照失水率是 0.50 mmol·L<sup>-1</sup> 处理的 2.90 倍。

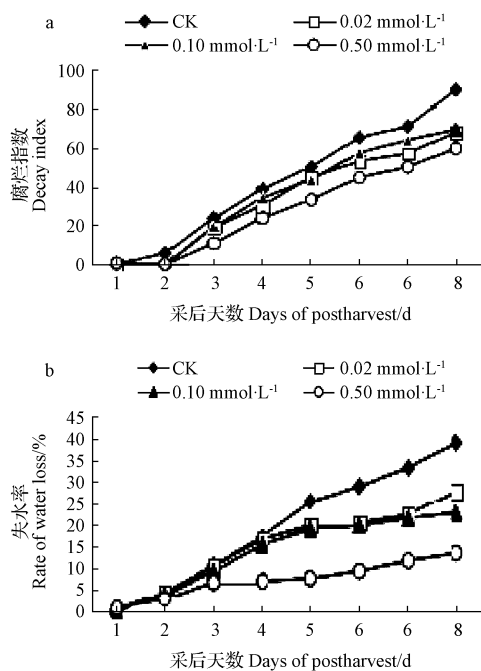


图 1 NO 处理对枸杞腐烂指数和失水率的影响

Fig. 1 Effect of NO on rot parameter and the rate of water loss in *Lycium barbarum* L. fruits

#### 2.2 NO 对采后枸杞果实可溶性固形物含量的影响

由图 2 可以看出,在枸杞贮藏前期,各处理果实可溶性固形物相差不大,随着贮藏天数的增加,NO 处理的可溶性固形物含量高于对照,贮藏后期,0.50 mmol·L<sup>-1</sup> 处理的可溶性固形物含量高于对照和 0.02 mmol·L<sup>-1</sup> 处理,第 8 天 0.50 mmol·L<sup>-1</sup> 处理的可溶性固形物含量是对照的 1.27 倍,是 0.02 mmol·L<sup>-1</sup> 处理的 1.12 倍,0.50 mmol·L<sup>-1</sup> 处理与对照、0.02 mmol·L<sup>-1</sup> 处理

差异均达到显著水平( $P<0.05$ ),与 0.10 mmol·L<sup>-1</sup> 处理无显著差异,说明 0.10、0.50 mmol·L<sup>-1</sup> 处理均能较好地保持枸杞果实的品质。

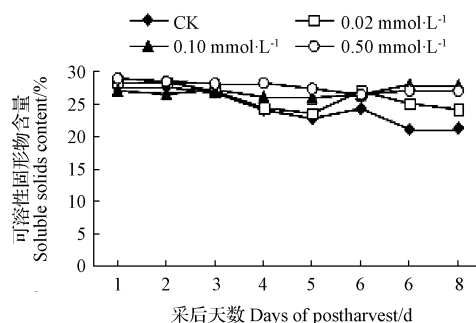


图 2 NO 处理对可溶性固形物含量的影响

Fig. 2 Effect of NO on the content of soluble solids in *Lycium barbarum* L. fruits

#### 2.3 NO 对采后枸杞果实呼吸速率和乙烯产生速率的影响

由图 3a 可知,在枸杞贮藏前期,各处理果实呼吸速率相差不大,随着贮藏天数的增加,NO 处理的呼吸速率低于对照,且均达到极显著差异水平( $P<0.01$ ),NO 处理明显抑制室温下果实的呼吸作用,从而延缓枸杞果实衰老。第 8 天对照的呼吸速率是 0.50 mmol·L<sup>-1</sup> SNP 处理果实的 1.35 倍,可以明显看出,0.50 mmol·L<sup>-1</sup> SNP 处理对枸杞采后的呼吸作用抑制程度最大。枸杞果实采后贮藏无明显的呼吸高峰,这与枸杞属于非跃变

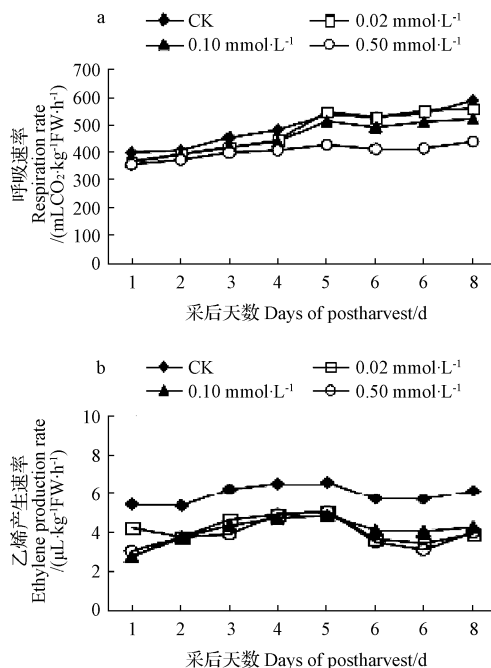


图 3 NO 处理对呼吸速率和乙烯产生速率的影响

Fig. 3 Effect of NO on respiration rate and ethylene production rate in *Lycium barbarum* L. fruits

型果实特性符合,由于贮藏后期果实开始腐烂,各处理第8天呼吸速率均出现了上升的趋势。由图3b可知,在贮藏过程中,枸杞果实乙烯释放量各处理变化稳定,无明显的高峰,且与呼吸速率变化趋势类似,NO各处理的乙烯产生速率均低于对照,均与对照达到差异显著水平( $P<0.05$ ),NO各处理间无显著性差异,对照果实乙烯释放量在采后第8天开始上升,是 $0.50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  SNP处理果实的1.54倍左右,NO处理明显抑制了枸杞乙烯的生成。

## 2.4 NO对采后枸杞果实MDA含量和SOD、CAT、POD活性的影响

MDA含量的增加是膜脂过氧化加剧和膜损伤加剧衰老的表现,其含量高低可反映细胞膜脂过氧化的程度。由图4a可知,对照的MDA含量随贮藏时间增加而迅速升高,这是细胞膜结构被破坏的结果。NO处理的MDA含量的变化趋势与对照一致,但 $0.50$ 、 $0.02\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的MDA含量极显著低于对照( $P<0.01$ ),说明NO处理能减轻细胞膜损伤,减缓细胞膜结构破坏,延缓枸杞浆果腐烂。

由图4b可知,NO处理对枸杞SOD活性的作用与采后贮藏时间有关。 $0\sim3\text{ d}$ 内,NO处理的SOD活性均低于对照,第3天后NO处理的SOD活性均极显著高于对照( $P<0.01$ ),在第8天, $0.02$ 、 $0.10$ 、 $0.50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的SOD活性分别是对照的1.14、1.24、1.46倍。

由图4c可知,POD活性的变化趋势是先降低后上升。对照的POD活性均低于SNP处理的活性,处理与对照之间均有极显著性差异( $P<0.01$ )。而 $0.10$ 、 $0.50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理SNP处理无显著差异。第8天 $0.10$ 、 $0.50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理POD活性分别是对照的1.37、1.60倍。

由图4d可知,NO处理也增加了CAT的活性,处理与对照之间均有极显著性差异( $P<0.01$ ),处理后第6天开始,对照和 $0.02\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的果实CAT活性开始下降,而 $0.10$ 、 $0.50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的CAT活性继续维持较高水平,贮藏第8天CAT活性分别为对照的1.67、1.84倍,减轻过氧化氢积累引起的伤害,延缓了果实衰老。

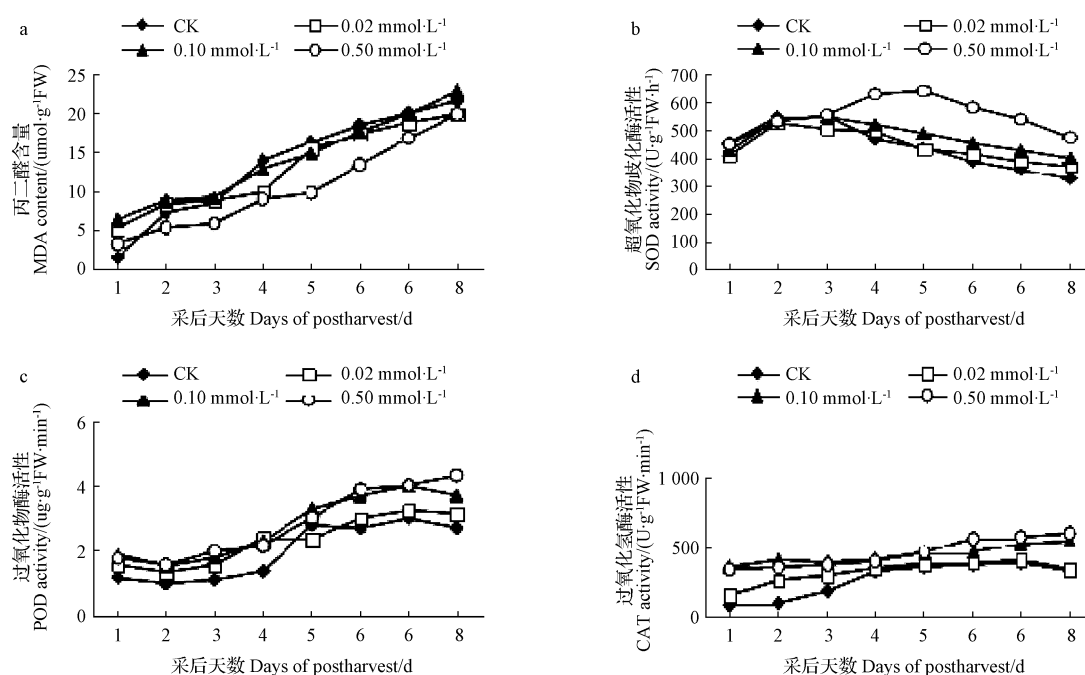


图4 NO处理对枸杞MDA含量、SOD、POD和CAT活性的影响

Fig. 4 Effect of NO on the MDA content and SOD, POD and CAT activities in *Lycium barbarum* L. fruits

## 3 讨论与结论

果实可溶性固形物含量、水分含量、腐烂指数是决定果实品质的几个重要因子,该试验结果与张少颖<sup>[9]</sup>用硝酸钠溶液浸泡绿芦笋的结果类似,NO处理后抑制了采后失重和腐烂,延缓了可溶性固形物含量的降解,NO也能降低枸杞果实呼吸和乙烯释放,说明NO可能通过

抑制枸杞果实内源乙烯的释放来延缓室温下枸杞的衰老腐烂。

MDA是膜脂氧化的主要产物之一,其含量的大小与膜脂氧化程度呈正相关。许多研究表明,膜脂过氧化是引起果实衰老的重要原因之一<sup>[10]</sup>。NO处理后MDA含量极显著低于对照,说明外源NO处理显著地

减轻了枸杞果实贮藏过程中的膜脂过氧化过程,延缓活性氧自由基累积引起MDA的大量产生以及细胞的脂膜氧化进程。果实采后衰老褐变时,其体内自由基和自由基清除系统平衡失调,导致自由基积累,引起果实衰老腐烂。SOD是存在于植物细胞中清除自由基的首要物质。POD和CAT也是果实内清除 $H_2O_2$ 的主要保护酶。只有SOD、CAT和POD这3种保护酶协调一致,才能使果实内的活性氧自由基维持在较低水平,减少自由基对果实的毒害,延缓果实的衰老,从而延长果实的贮藏寿命<sup>[11]</sup>。

该研究中的外源NO处理与对照相比,NO处理后枸杞果实保持了高SOD、CAT、POD活性,降低了膜脂过氧化程度,能更好地保持膜结构的稳定和完整,从而延缓果实衰老。但外源NO对SOD、CAT、POD的活性变化具有不同的作用效果,贮藏后期,SOD活性有降低趋势,CAT、POD活性有升高趋势,这可能与NO信号传递有关,也可能与SOD、CAT和POD在膜脂过氧化中产生的不同调节机理有关。

NO作为一种气体保鲜剂,可以通过抑制乙烯产生来延长园艺产品贮藏时间,具有极大的应用价值。该试验研究发现,适宜浓度的SNP处理对枸杞果实具有良好的保鲜作用,其中 $0.50\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SNP处理效果最好。

#### 参考文献

[1] LESHEM Y Y, HARAMATY Z. The characterization and contrasting

effects of the nitric oxide free radical in vegetative stress and senescence of *Pisum sativum* Linn. foliage[J]. Plant Physiology, 1996, 148: 258-263.

[2] 刘孟臣,朱树华,周杰. 植物体内一氧化氮生理作用研究进展[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2007, 35(3): 457-492.

[3] 朱树华,周杰,束怀瑞,等. 一氧化氮延缓草莓成熟衰老的生理效应[J]. 中国农业科学, 2005, 38(7): 1418-1424.

[4] 朱树华,刘孟臣,周杰. 一氧化氮熏蒸对采后肥城桃果实细胞壁代谢的影响[J]. 中国农业科学, 2006, 39(9): 1878-1884.

[5] 郭芹,吴斌,王吉德,等. NO处理对番木瓜采后贮藏性的影响[J]. 食品科学, 2011, 32(4): 227-231.

[6] SINGH S P, ZORA SINGH E E, SWINNY. Postharvest nitric oxide fumigation delays fruit ripening and alleviates chilling injury during cold storage of Japanese plums (*Prunus salicina* Lindell) [J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 53: 101-108.

[7] ZHU S H, SUN L N, ZHOU J. Effects of nitric oxide fumigation on phenolic metabolism of postharvest Chinese winter jujube (*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao) in relation to fruit quality[J]. Food Science and Technology, 2009, 42: 1009-1014.

[8] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 1999: 46-78.

[9] 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.

[10] LURIE S, KLEIN J D, ARIE R B. Prestorage heat treatment delays development of superficial scald on Granny Smith apple[J]. Hort Science, 1991, 26(2): 16, 167.

[11] 张海新,宁久丽. 果实采后品质和生理变化研究进展[J]. 河北农业科学, 2010, 14(2): 54-56.

## Physiological Effect of Nitric Oxide on Postharvest Fresh Fruits of *Lycium barbarum* L.

FENG Mei, ZHANG Ning

(Agriculture School, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

**Abstract:** Taking *Lycium barbarum* L. 'Ningqi No. 1' as material, SNP as donor of NO, the physiological effects of nitric oxide (NO) on postharvest fresh fruits of *Lycium barbarum* L. were studied. The results showed that exogenous NO could depress the weight loss rate and decay rate, delay the decrease of content of soluble solids, inhibit ethylene production rate and respiration rate, increase the activities of SOD, CAT and POD, reduce MDA content. The  $0.50\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  SNP treatment was the best. The experiment indicated that the exogenous nitric oxide could improve preservation effect of *Lycium barbarum* L. after harvest.

**Keywords:** *Lycium barbarum* L.; nitric oxide; postharvest; physiological effect