

6-苄氨基嘌呤对采后空心菜品质及其活性氧代谢的影响

芦 航^{1,2}, 高建晓^{1,2}, 胡花丽¹, 李鹏霞^{1,*}

(1.江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2.南京农业大学食品科技学院, 江苏 南京 210095)

摘 要:以大叶空心菜为材料, 在 $(10 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、相对湿度为90%~95%条件下进行货架模拟, 以清水处理为对照, 研究了30 mg/L 6-苄氨基嘌呤(6-benzylaminopurine, 6-BA)处理对采后空心菜品质及活性氧代谢的影响。结果表明: 30 mg/L 6-BA处理维持了采后空心菜较高的叶绿素含量, 提高了超氧化物歧化酶的活性, 降低了贮藏4 d和8 d时抗坏血酸过氧化物酶的活性, 但其对空心菜过氧化物酶的活性无显著影响; 同时, 6-BA处理显著推迟了采后空心菜内源性抗氧化物质含量的下降, 如还原型抗坏血酸和还原型谷胱甘肽含量的下降; 此外, 6-BA处理还减缓了空心菜组织中 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 生成速率及 H_2O_2 、丙二醛含量的增加。这些结果表明30 mg/L 6-BA处理可延缓采后空心菜的衰老, 从而维持其品质。

关键词: 空心菜; 6-苄氨基嘌呤; 品质; 活性氧代谢

Effect of 6-Benzylaminopurine Treatment on Postharvest Quality and Reactive Oxygen Species Metabolism of *Ipomoea aquatica*

LU Hang^{1,2}, GAO Jianxiao^{1,2}, HU Huali¹, LI Pengxia^{1,*}

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

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

Abstract: Large-leafed *Ipomoea aquatica* was pretreated with 0 (as the control) and 30 mg/L 6-benzylaminopurine (6-BA), and then stored at $(10 \pm 1)^\circ\text{C}$ with 90%~95% relative humidity. Changes in the reactive oxygen species (ROS) metabolism and quality of *Ipomoea aquatica* were assessed. The results showed that treatment with 30 mg/L 6-BA maintained higher content of chlorophyll, increased the activity of superoxide dismutase, and decreased the activity of ascorbate peroxidase in *Ipomoea aquatica* after 4 and 8 days of storage. However, no difference in peroxidase activity was observed between 6-BA treatment and the control. Meanwhile, 6-BA treatment significantly delayed the decrease in endogenous antioxidants of postharvest *Ipomoea aquatica*. For example, the decline in the contents of ascorbic acid and glutathione was slowed down. Moreover, compared to the control sample, the increase in the production of superoxide anion radicals, and the contents of hydrogen peroxide and malonaldehyde in 6-BA-treated samples were mitigated. These results suggested that 6-BA treatment could alleviate the senescence of postharvest *Ipomoea aquatica*, thereby maintaining its quality.

Key words: *Ipomoea aquatica*; 6-benzylaminopurine; quality; active oxygen metabolism

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201604048

中图分类号: S636.9

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2016) 04-0266-06

引文格式:

芦航, 高建晓, 胡花丽, 等. 6-苄氨基嘌呤对采后空心菜品质及其活性氧代谢的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(4): 266-271.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201604048. <http://www.spkx.net.cn>

LU Hang, GAO Jianxiao, HU Huali, et al. Effects of 6-benzylaminopurine treatment on postharvest quality and reactive oxygen species metabolism of *Ipomoea aquatica*[J]. Food Science, 2016, 37(4): 266-271. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201604048. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2015-06-12

基金项目: 江苏省自主创新项目 (CX (15) 1048)

作者简介: 芦航 (1989—), 女, 硕士研究生, 研究方向为果蔬保鲜。E-mail: luhangmaomao@126.com

*通信作者: 李鹏霞 (1976—), 女, 副研究员, 博士, 研究方向为果蔬保鲜与加工。E-mail: pengxiali@126.com

空心菜 (*Ipomoea aquatica* Forsskal) 又名蕹菜、竹叶菜、藤菜、通菜, 是旋花科一年生或多年蔓生草本植物, 因其梗中空而得名, 它是一种生长在夏季和秋季的叶菜类蔬菜^[1]。中医学认为, 空心菜具有清热、解毒、凉血、利尿作用^[2]。目前我国空心菜采后多以简单捆绑成束进入流通、销售环节, 但因空心菜具有叶表面积大、含水量高、组织脆嫩等特点, 所以在流通和销售过程中常发生机械损伤、失水萎蔫、黄化和腐烂等问题, 从而致使其在采后流通中的损耗十分严重^[3], 并且其货架寿命也常被缩短。因此, 研究空心菜采后保鲜技术具有重要意义。

6-苄氨基嘌呤 (6-benzylaminopurine, 6-BA), 是通过刺激细胞分裂促进植物生长的第一个人工合成细胞分裂素, 研究发现这种外源性细胞分裂素可以延缓果蔬叶绿素的降解和衰老^[4]。Wu Xuexia等^[5]研究表明, 1 $\mu\text{mol/L}$ 6-BA可减轻锌对茄子的氧化损伤。Massolo等^[6]的结果也表明, 1 mmol/L 6-BA可以延缓采后西葫芦细胞壁的降解, 提高其贮藏品质。另外, 龚吉军等^[7]也报道, 10 mg/L 6-BA处理能够提高黄花菜中的超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 的活性, 同时能抑制黄花菜中超氧阴离子自由基、丙二醛 (malonaldehyde, MDA) 的生成、抑制过氧化物酶 (peroxidase, POD) 和过氧化氢酶活性的提高, 从而延缓采后黄花菜的衰老。此外, 高建晓等^[8]研究表明, 15 mg/L 6-BA处理可以有效地减缓采后上海青的黄化和感官品质的下降, 减轻其质量损失现象, 显著抑上海青的呼吸强度、叶绿素分解和MDA的生成。综合前人的研究结果发现, 6-BA在果蔬采后保鲜中应用的质量浓度范围为2~225 mg/L。目前, 6-BA已被美国环境保护署认证作为植物生长调节剂, 并且在国际现行标准中, 6-BA被豁免最大残留限量, 因而可作为生物防腐保鲜剂在食品领域应用^[9]。

然而, 有关6-BA对空心菜采后品质及活性氧代谢的影响鲜见相关报道。因此, 本研究用6-BA对采后的空心菜进行浸泡处理, 通过测定其叶绿素含量、活性氧代谢过程中的相关物质以及酶, 旨在探讨6-BA对空心菜采后品质及活性氧代谢的影响, 以为空心菜的采后保鲜研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大叶空心菜于2014年8月采自江苏省农业科学院六合种植基地, 采后在15 $^{\circ}\text{C}$ 条件下预冷2 h, 1 h内运回江苏省农业科学院果蔬保鲜与加工实验室, 摘去老叶, 切去茎基部, 保留嫩茎长度16~17 cm, 挑选无机械伤、无病害的空心菜作为实验材料。

6-BA、甲硫氨酸、核黄素、二硫苏糖醇 上海瑞永生物科技有限公司; 乙醇、三氯乙酸 (trichloroacetic acid, TCA)、抗坏血酸、30%过氧化氢、愈创木酚、

2-乙烯吡啶、2,2-二联吡啶、5-磺基水杨酸磷酸、邻苯三酚、硫代巴比妥酸、四唑氮蓝 国药集团化学试剂有限公司; 乙二胺四乙酸二钠 (ethylenediaminetetraacetic acid, EDTA- Na_2) 西陇化工股份有限公司; 还原性辅酶II、谷胱甘肽还原酶 北京索莱宝科技有限公司。

1.2 仪器与设备

TU-1810紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限公司; 7280A气相色谱仪 美国安捷伦科技公司。

1.3 方法

1.3.1 样品处理

前期分析0、15、30、45 mg/L 6-BA处理对空心菜后表型及叶绿素含量的影响, 结果发现30 mg/L 6-BA处理可以减缓采后空心菜的衰老进程, 并具有明显的保绿效果。因此, 在本次实验中, 进一步以清水浸泡为对照, 采用30 mg/L的6-BA溶液 (微量乙醇助溶于水) 分别对空心菜进行浸泡15 min后, 沥干, 每 (300 \pm 10) g为1捆进行整理, 进行封口包装, 每个保鲜袋孔数为4个 (直径1 cm)。每种处理重复3次, 置于 (10 \pm 1) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度90%~95%的条件下贮藏, 每隔2 d取样一次, 取样时去掉每株空心菜顶端幼嫩叶片和底端较小叶片, 选择中间部位长度一致的叶片进行相关理化指标的测定。

1.3.2 叶绿素含量的测定

参考赵世杰等^[10]的方法

1.3.3 SOD活性的测定

采用氮蓝四唑光还原法^[11]。

1.3.4 抗坏血酸过氧化物酶 (ascorbate peroxidase, APX) 活性的测定

APX活性测定参考Nakano等^[12]的方法并改进。酶促反应体系依次加入1.5 mL 50 mmol/L pH 7.0的磷酸反应缓冲液 (含0.1 mmol/L EDTA- Na_2 、0.3% Triton X-100、4% 聚乙烯吡咯烷酮) 和0.2 mL的酶提取液, 最后加入1 mL 2 mmol/L H_2O_2 溶液, 0.6 mL 0.5 mmol/L抗坏血酸启动酶促反应, 从启动后15 s开始记录每30 s反应体系在290 nm波长处的吸光度, 连续测定3 min。以每分钟反应体系吸光度变化0.01定义为1个酶活性单位 (U), APX活性单位以U/g表示。重复3次。

1.3.5 POD活性的测定

采用愈创木酚法^[13], 略有改动。取2 g样品, 加入25 mL 50 mmol/L pH 7.0 (含0.01 g/mL聚乙烯吡咯烷酮) 磷酸缓冲液, 在4 $^{\circ}\text{C}$ 条件下10 000 r/min离心20 min, 上清液即为POD粗提液。将0.5 mL粗酶提取液加入2 mL 0.05 mol/L愈创木酚中, 在30 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中平衡5 min, 然后加入1 mL 0.2% H_2O_2 混匀。在470 nm波长条件下, 以每分钟吸光度变化0.01为表示1个过氧化物酶活性单位, 计算POD活性。

1.3.6 还原型抗坏血酸含量的测定

还原型抗坏血酸含量测定参照Ren Yalin等^[14]的方法并改进。反应体系包括6%提取液10 mL、0.2 mol/L的磷

酸缓冲液 (pH 7.4) 0.8 mL、10% TCA溶液1 mL、42% 磷酸溶液0.8 mL、2% 2,2-联吡啶溶液 0.8 mL、3% 氯化铁溶液0.4 mL、6 mmol/L二硫苏糖醇溶液0.2 mL、0.4% *N*-乙酰马来酰亚胺溶液0.2 mL。反应混合液37℃温浴60 min后,于525 nm波长处测其吸光度。标准曲线用 *L*-抗坏血酸标定。抗坏血酸含量以mg/g表示。

1.3.7 还原型谷胱甘肽 (glutathione, GSH) 含量的测定

GSH含量的测定参考Brehe等^[15]的方法。

1.3.8 O_2^- 生成速率的测定

参考高俊凤等^[16]方法。

1.3.9 H_2O_2 含量的测定

参考韩浩章等^[17]方法。

1.3.10 MDA含量的测定

参照李合生^[18]的方法。

1.4 数据统计

所有数据均平行测定3次,数据采用“ $\bar{x} \pm s$ ”,显著性采用SPSS 18.0软件进行分析 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 6-BA对空心菜叶绿素含量的影响

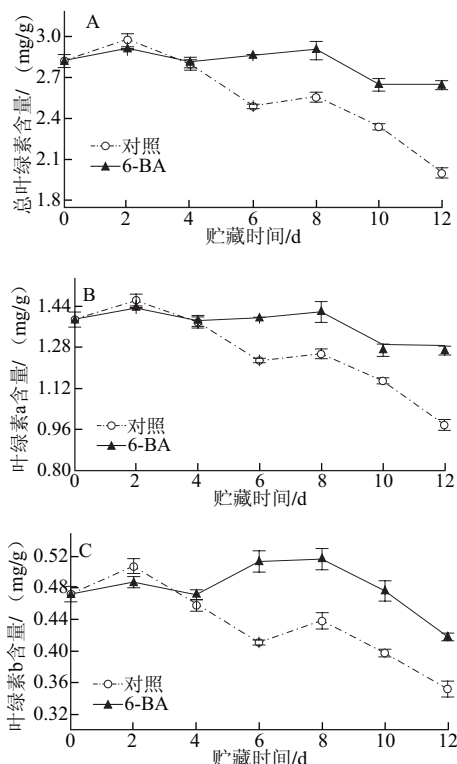


图1 6-BA对空心菜总叶绿素(A)、叶绿素a(B)、叶绿素b(C)含量的影响

Fig.1 Effect of 6-BA on the contents of total chlorophyll (A), chlorophyll a (B), and chlorophyll b (C) in *Ipomoea aquatica*

由图1A可知,在整个贮藏期间,对照的总叶绿素含量逐渐下降,30 mg/L 6-BA处理空心菜的总叶绿素含量在0~8 d一直维持在一个相对稳定(变化在4%以内)的状态,贮藏8~12 d期间,6-BA处理空心菜的总叶绿素含量尽管也开始下降,但其下降幅度(0.149 2 mg/g)显著低于对照(0.530 3 mg/g)。叶绿素a(图1B)、叶绿素b(图1C)含量也表现出与总叶绿素相同的变化趋势。同样,30 mg/L 6-BA处理减缓了采后空心菜中叶绿素a、b含量的下降。

2.2 6-BA对空心菜中SOD、APX和POD活性的影响

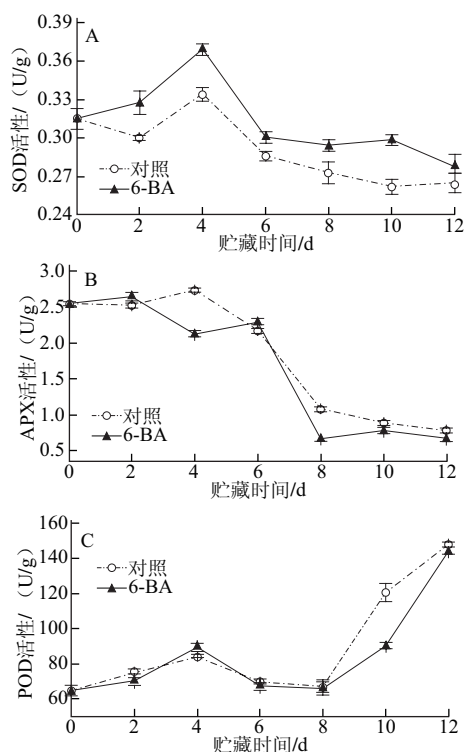


图2 6-BA对空心菜中SOD(A)、APX(B)和POD(C)活性的影响
Fig.2 Effect of 6-BA on the activities of SOD (A), APX (B) and POD (C) in *Ipomoea aquatica*

由图2A可知,所有空心菜样品中的SOD活性在0~4 d逐渐上升,至第4天达到高峰,之后不断下降,分析表明,30 mg/L 6-BA处理显著延缓了空心菜中SOD活性的下降。例如在贮藏第2、4、6、8、10、12天时,6-BA处理空心菜中的SOD活性较对照分别提高了8.4%、10.8%、9.3%、2.7%、6.6%和4.5%。

APX是以抗坏血酸为基质将 H_2O_2 转变成 H_2O 的酶。由图2B可以看出,空心菜中APX活性在0~6 d有轻微的下降,在6~8 d急剧下降,在8~12 d达到较为稳定的状态,整体呈下降趋势。30 mg/L 6-BA处理空心菜的APX活性在贮藏第4、8天分别显著低于对照 ($P < 0.05$),但在贮藏后期(8~12 d),6-BA处理的APX活性虽然低于对照,但差异不显著。

由图2C可知,无论是6-BA处理还是对照空心菜,POD活性在0~8 d变化均较为缓慢(变化在1.6%以内),然而在贮藏8~12 d期间,POD活性均急剧上升。差异分析表明,除在贮藏第10天,30 mg/L 6-BA处理空心菜的POD活性显著低于对照($P<0.05$),在整个贮藏期间,6-BA处理对空心菜的POD活性无显著差异。

2.3 6-BA对空心菜中还原型抗坏血酸含量的影响

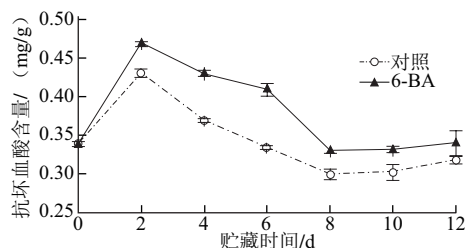


图3 6-BA对空心菜抗坏血酸含量的影响

Fig.3 Effect of 6-BA on AsA content of *Ipomoea aquatica*

抗坏血酸是植物体内普遍存在的一种抗氧化剂,可直接清除 O_2^- 和 H_2O_2 等活性氧自由基。由图3可看出,空心菜中抗坏血酸含量先急剧上升后下降,均在第2天达到峰值,此时对照和30 mg/L 6-BA处理样品中的抗坏血酸含量分别为 (0.426 ± 0.01) mg/g和 (0.464 ± 0.01) mg/g;贮藏2~8 d期间,随着叶片的衰老,处理组和对照组样品中的抗坏血酸不断被氧化;之后在贮藏8~12 d期间,抗坏血酸的水平在处理组和对照样品中趋于稳定。然而,相比而言,在整个贮藏过程中,30 mg/L 6-BA处理显著延缓空心菜中抗坏血酸含量的损失。

2.4 6-BA对空心菜中GSH含量的影响

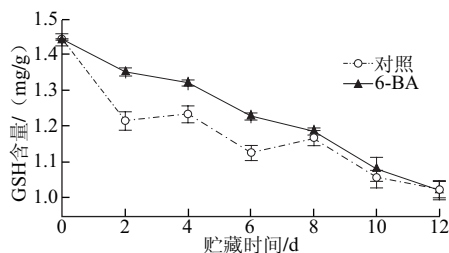


图4 6-BA对空心菜GSH含量的影响

Fig.4 Effect of 6-BA on GSH content of *Ipomoea aquatica*

由图4可知,空心菜的GSH含量随着贮藏时间的延长持续下降,在贮藏0~8 d内,30 mg/L 6-BA处理空心菜中的GSH含量显著高于对照($P<0.05$)。然而,贮藏8~12 d期间,6-BA对空心菜GSH含量的影响无显著差异。说明30 mg/L 6-BA处理对空心菜GSH含量的影响主要表现在前中期。

2.5 6-BA处理对空心菜 O_2^- 生成速率和 H_2O_2 含量的影响

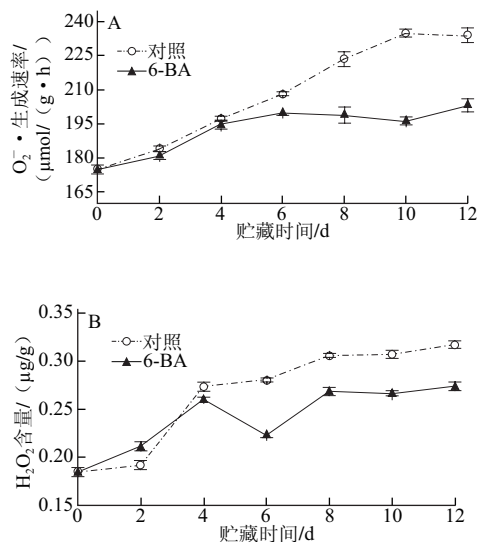


图5 6-BA对空心菜中 O_2^- 生成速率(A)和 H_2O_2 含量(B)的影响

Fig.5 Effect of 6-BA on superoxide anion radical generation rate and H_2O_2 content of *Ipomoea aquatica*

由图5A可知,在整个贮藏过程中,30 mg/L 6-BA处理和对照的 O_2^- 生成速率均呈明显上升趋势。与对照相比,30 mg/L 6-BA处理显著减缓了样品中 O_2^- 的快速积累($P<0.05$)。由图5B可知,在整个贮藏过程中,各处理样品中的 H_2O_2 含量整体均呈上升趋势。在4~12 d期间,30 mg/L 6-BA处理的 H_2O_2 含量显著低于对照,尤其在贮藏的第6、8天时,6-BA处理空心菜中的 H_2O_2 比对照分别降低了26.2%和13.9%。可见,30 mg/L 6-BA处理可以显著延缓空心菜中 H_2O_2 的积累。

2.6 6-BA对空心菜中MDA含量的影响

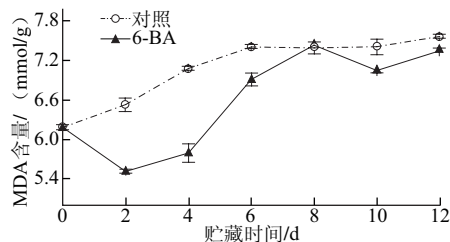


图6 6-BA对空心菜中MDA含量的影响

Fig.6 Effect of 6-BA on MDA content of *Ipomoea aquatica*

由图6可知,随着贮藏时间的延长,所有空心菜样品中的MDA含量整体呈逐渐上升的趋势,贮藏至12 d时,较贮藏初期(0 d)相比,对照和6-BA处理空心菜的MDA含量分别增加了18.28%和15.9%。同时可以看出,在整个贮藏期间,除第8天以外,30 mg/L 6-BA处理空心菜中的MDA含量显著低于对照($P<0.05$)。

3 讨论与结论

叶绿素的降解是叶片衰老初期最明显的特征^[19]。本实验表明, 30 mg/L 6-BA处理可有效减缓采后空心菜中叶绿素含量的下降。An Jianshen等^[20]的研究也表明, 20 mg/L 6-BA处理可显著延缓绿采后绿芦笋在贮藏中后期的叶绿素水平的下降, 有效地延缓了绿芦笋的衰老。另外, Clarke等^[21]的研究也发现, 2.21×10^{-4} mol/L 6-BA能延缓花椰菜叶绿素的降解。这些结果说明6-BA可抑制采后蔬菜中叶绿素的降解, 并且6-BA的这种作用因蔬菜种类的不同而异。6-BA对采后蔬菜的这种保绿作用, 可能与6-BA具有抑制与叶绿素分解有关的蛋白质降解有关^[22]。

另外, 有研究^[23]表明活性氧可破坏叶绿素4吡咯环, 当4吡咯环受到活性氧攻击后, 可激活碳环双键的裂解, 从而导致卟啉大环裂解, 因而促使叶绿素降解和含量的降低。因此, 在上述研究的基础上, 本实验进一步分析了6-BA处理对采后空心菜SOD、APX、POD活性及GSH、抗坏血酸、 O_2^- 生成速率、 H_2O_2 含量的影响。结果表明, 随着采后空心菜贮藏时间的延长, 空心菜中的SOD活性总体均呈下降趋势, 表明其清除活性氧的能力逐渐下降。与此结果一致, 同时也发现, 随着贮藏时间的延长, 采后空心菜组织内的 O_2^- 生成速率明显增加。然而, 与对照相比, 6-BA处理显著提高了组织中的SOD活性, 因而维持了组织中较低的 O_2^- 生成速率。Chen Bingxia等^[24]的研究也发现, 50 mmol/L 6-BA处理可显著提高黄瓜的SOD活性, 维持较低的 O_2^- 生成速率, 并减缓了组织中的 H_2O_2 含量的上升。本实验的结果也表明, 6-BA处理显著减缓了采后空心菜组织中 H_2O_2 含量的上升; 实验进一步对 H_2O_2 清除有关的酶活测定发现, 6-BA处理对POD活性的影响整体上并不显著; 另外APX活性的测定结果也表明, 6-BA处理降低了该酶在贮藏中后期的活性(除第6天), 因而维持了空心菜组织中较高的抗坏血酸水平; 此外, 6-BA处理维持了贮藏前中期空心菜组织中较高的GSH含量, 通常GSH可在谷胱甘肽过氧化物酶的作用下, 把 H_2O_2 还原成 H_2O 。这些结果说明POD及抗坏血酸和GSH可能并非清除空心菜 H_2O_2 自由基的主要路径。因此, 下一步有必要分析6-BA调控空心菜 H_2O_2 水平的其他可能代谢路径。

目前的研究已证明, 在果蔬衰老过程中, 细胞膜脂发生过氧化作用而导致MDA大量积累, 因而, MDA含量也成为果蔬衰老进程的指示指标。本研究也发现, 6-BA处理明显减缓了空心菜中MDA含量的增加, 表明该6-BA处理有利于延缓采后空心菜组织的衰老。同样, Zhang Yangyang等^[25]的研究也表明, 6-BA处理可显著延缓桃果实中MDA含量的增加。此外, Zhang Xuelian等^[26]也报

道, 6-BA可延缓大白菜叶绿素含量的降解和减缓MDA含量的增加。6-BA对MDA含量的这种影响, 可能与其抑制 O_2^- 和 H_2O_2 的积累有关。

综上所述, 30 mg/L的6-BA处理保持了采后空心菜组织中较高的SOD活性, 并降低了活性氧自由基积累, 进而延缓了膜质过氧化程度, 从而维持了空心菜的品质特性。

参考文献:

- [1] ZHANG Q Z, ACHAL V, XU Y T, et al. Aquaculture wastewater quality improvement by water spinach (*Ipomoea aquatica* Forsskal) floating bed and ecological benefit assessment in ecological agriculture district[J]. Aquacultural Engineering, 2014, 60(11): 48-55. DOI:10.1016/j.aquaeng.2014.04.002.
- [2] 古荣鑫, 胡花丽, 曹宏, 等. 不同薄膜包装对冷藏空心菜采后品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(3): 237-243. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2014.03.047.
- [3] 刘才宇, 朱培蕾, 赵贵云, 等. 叶菜类蔬菜贮藏保鲜技术研究进展[J]. 安徽农业大学学报, 2011, 38(5): 797-800. DOI:10.13610/j.cnki.1672-352x.2011.05.020.
- [4] FELT R L S, BATAL K M, HEATON E K. Broccoli storage: effect of N_6 -benzyladenine, packaging, and icing on color of fresh broccoli[J]. Journal of Food Science, 1983, 48(6): 1594-1597.
- [5] WU X X, HE J, DING H D, et al. Modulation of zinc-induced oxidative damage in *Solanum melongena* by 6-benzylaminopurine involves ascorbate-glutathione cycle metabolism[J]. Environmental and Experimental Botany, 2015, 116: 1-11. DOI:10.1016/j.envexpbot.2015.03.004.
- [6] MASSOLO J F, LEMOINE M L, CHAVES A R, et al. Benzylaminopurine (BAP) treatments delay cell wall degradation and softening, improving quality maintenance of refrigerated summer squash[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 93(3): 122-129. DOI:10.1016/j.postharvbio.2014.02.010.
- [7] 龚吉军, 谭兴和, 夏延斌, 等. 小袋包装气调和6-BA对黄花菜采后生理变化的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(6): 175-178.
- [8] 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, 34(5): 247-253. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201504049.
- [9] 王岚, 林海丹, 徐娟, 等. 国内外植物生长调节剂残留限量标准的对比分析[J]. 广东农业科学, 2015(3): 70-78.
- [10] 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2002: 55-57.
- [11] 陈建勋, 王晓峰. 植物生理学实验[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2006: 74.
- [12] NAKANO Y, ASADA K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts[J]. Plant and Cell Physiology, 1981, 22(5): 867-880.
- [13] 宋松泉, 程红焱, 龙春林, 等. 种子生物学研究指南[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 97-100.
- [14] REN Y L, WANG Y F, BI Y, et al. Postharvest BTH treatment induced disease resistance and enhanced reactive oxygen species metabolism in muskmelon (*Cucumis melo* L.) fruit[J]. European Food Research and Technology, 2012, 23(4): 963-971. DOI:10.1111/j.1365-2621.1983.tb05039.x.
- [15] BREHE J E, BURCH H B. Enzymatic assay for glutathione[J]. Analytical Biochemistry, 1976, 74(1): 189-197.

- [16] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 210-219.
- [17] 韩浩章, 姜卫兵, 费宪进. 葡萄和油桃自然休眠解除过程中 H_2O_2 含量和抗氧化酶活性的变化[J]. 南京农业大学学报, 2007, 30(1): 50-54.
- [18] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 260-261.
- [19] YASUHIITO S, SILVIA S, SO-YON P, et al. STAY-GREEN and chlorophyll catabolic enzymes interact at light-harvesting complex II for chlorophyll detoxification during leaf senescence in Arabidopsis[J]. The Plant Cell Online, 2012, 24(2): 507-518.
- [20] AN J S, ZHANG M, LU Q R, et al. Effect of a prestorage treatment with 6-benzylaminopurine and modified atmosphere packaging storage on the respiration and quality of green asparagus spears[J]. Journal of Food Engineering, 2006, 77(4): 951-957. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2005.08.024.
- [21] CLARKE S F, JAMESON P E, DOWNS C. The influence of 6-benzylaminopurine on post-harvest senescence of floral tissues of broccoli (*Brassica oleracea* var *italica*)[J]. Plant Growth Regulation, 1994, 14(1): 21-27. DOI:10.1007/BF00024137.
- [22] 张石城, 刘祖祺. 植物化学调控原理与技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999: 32-33.
- [23] SHIOI Y, TAYSUMI Y, SHIMOKAWA K. Enzymatic degradation of chlorophyll in chenopodium album[J]. Plant and Cell Physiology, 1991, 32(1): 87-93.
- [24] CHEN B X, YANG H Q. 6-Benzylaminopurine alleviates chilling injury of postharvest cucumber fruit through modulating antioxidant system and energy status[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 93(8): 1915-1921. DOI:10.1002/jsfa.5990.
- [25] ZHANG Y Y, ZENG L Z, YANG J L, et al. 6-Benzylaminopurine inhibits growth of *Monilinia fructicola* and induces defense-related mechanism in peach fruit[J]. Food Chemistry, 2015, 187: 210-217. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.04.100.
- [26] ZHANG X L, ZHANG Z Q, JIN L, et al. Correlation of leaf senescence and gene expression/activities of chlorophyll degradation enzymes in harvested Chinese flowering cabbage (*Brassica rapa* var. *parachinensis*)[J]. Journal of Plant Physiology, 2011, 168(17): 2081-2087. DOI:10.1016/j.jplph.2011.06.011.