

殷丽丽, 张美玲, 韩曼丽. 外源6-BA对黄花菜贮藏及生理代谢的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(6): 699-705.

YIN Lili, ZHANG Meiling, HAN Manli, et al. Effects of exogenous 6-BA on preservation and physiological metabolism of *Hemerocallis citrina* Baroni[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(6): 699-705.

## 外源6-BA对黄花菜贮藏及生理代谢的影响

殷丽丽<sup>1</sup>, 张美玲<sup>2</sup>, 韩曼丽<sup>1</sup>

(1. 山西大同大学 农学与生命科学学院, 山西 大同 037009; 2. 北京市农林科学院 林业果树研究所, 北京 100093)

**摘要:**为明确6-BA对黄花菜贮藏和生理代谢的影响,以大同黄花菜为试验材料,喷施不同浓度6-BA(5, 10, 15 mg·L<sup>-1</sup>)后进行贮藏,定期取样检测贮藏期内黄花菜的好花率、失重率、叶绿素含量和呼吸强度,筛选出黄花菜贮藏的最佳6-BA浓度,并定期检测该浓度6-BA处理对黄花菜相对电导率、丙二醛、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>及抗氧化酶SOD和POD活性的影响,通过相关性分析明确6-BA影响黄花菜生理代谢的机理。结果表明:不同浓度的6-BA处理可降低黄花菜的呼吸强度和失重率,保持较高的好花率,并抑制叶绿素的降解,且10 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA处理对黄花菜的保鲜效果更佳;与对照相比,外施10 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA可降低黄花菜的相对电导率、丙二醛和H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含量,提高SOD和POD酶活性;相关性分析表明黄花菜在衰老过程中,H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的积累诱发丙二醛的产生,导致细胞膜通透性增加,即相对电导率增加,而抗氧化酶SOD和POD有效地抑制H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>含量的增加,减少H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>对黄花菜的伤害;6-BA处理后抗氧化酶SOD和POD的活性增加,减少H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的积累,从而降低了黄花菜在贮藏期间的丙二醛含量和相对电导率。因此,10 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA可延缓采后黄花菜的衰老,达到一定的贮藏保鲜效果,试验结果可为黄花菜贮藏保鲜技术的发展和保鲜机理的研究提供理论依据。

**关键词:**黄花菜;6-BA;贮藏;保鲜;生理代谢

中图分类号: S682.19

文章编号: 1000-1700(2024)06-0699-07

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Effects of Exogenous 6-BA on Preservation and Physiological Metabolism of *Hemerocallis citrina* Baroni

YIN Lili<sup>1</sup>, ZHANG Meiling<sup>2</sup>, HAN Manli<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy and Life Sciences, Shanxi Datong University, Datong Shanxi 037009, China; 2. Institute of Forestry and Pomology, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100093, China)

**Abstract:** In order to investigate the effect of 6-BA on storage and physiological metabolism of daylily, Datong Daylily was used as experimental material and was sprayed with different concentrations of 6-BA (5, 10 and 15 mg·L<sup>-1</sup>) before storage. Indicator including the good flower rate, weight loss rate, chlorophyll content and respiratory intensity of Datong Daylily were investigated at certain time interval during the storage to select the optimal 6-BA concentration. Moreover, physiological indicators including the relative conductivity, malondialdehyde, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, SOD and POD were investigated. The mechanism of 6-BA affecting the physiological metabolism of daylily was clarified through correlation analysis. The results showed that exogenous 6-BA treatment could reduce the respiratory rate and weight loss rate of daylily, maintain a higher good flower rate, and inhibit the degradation of chlorophyll. Moreover, 10 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA treatment has a better preservation effect than other treatments. Compared with the control, application of 10 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA could decrease the relative conductivity, malondialdehyde and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> contents, and increase the activities of SOD and POD enzymes. Correlation analysis showed that the accumulation of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> induced the production of malondialdehyde during the storage of daylily,

收稿日期: 2024-09-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(32102340); 山西大同大学产学研专项研究项目(2021CXZ8)

第一作者: 殷丽丽(1987-), 女, 博士, 副教授, 从事植物逆境生理和果蔬贮藏保鲜研究, E-mail: yll2016406@163.com

leading to the increase of cell membrane permeability and relative conductivity. The antioxidant enzymes SOD and POD effectively inhibited the increase of  $H_2O_2$  content, which reduced the damage of  $H_2O_2$  to daylily. After 6-BA treatment, the activity of antioxidant enzymes SOD and POD increased, which reduced the accumulation of  $H_2O_2$ , and thus decreased the malondialdehyde content and relative conductivity of daylily during storage. Therefore, exogenous 6-BA treatment could delay the aging of postharvest daylily and achieve certain preservation effect. This study can provide theoretical basis for the development of storage technology and preservation mechanism of daylily.

**Key words:** *Hemerocallis citrina* Baroni; 6-BA; storage; fresh-keeping; physiological metabolism

黄花菜(*Hemerocallis citrina* Baroni)属百合科萱草属植物,其花可食用、根茎可入药,为药食同源蔬菜<sup>[1]</sup>。黄花菜富含蛋白质、脂类、膳食纤维和多种微量元素,在《本草纲目》中曾提到黄花菜具有安神醒脑、平肝养血、抗菌消炎等的功效<sup>[2]</sup>。研究表明,黄花菜具有多种生物活性物质,包括多糖、黄酮和多酚类物质<sup>[3-4]</sup>,因此,黄花菜具有抗抑郁<sup>[5-6]</sup>、增强意识<sup>[7]</sup>、延缓衰老和抗氧化等功效<sup>[8-9]</sup>。

目前,黄花菜已发展成为地方特色产业,被作为一种潜在性功能食品引发人们的高度关注,但黄花菜可食用部分是花蕾,花蕾的采摘正是高温、多雨之季,采摘后仍具有呼吸作用和蒸腾作用,因此,鲜黄花菜极不耐贮藏,容易发生萎蔫腐烂的现象,影响了黄花菜的营养价值和商业价值,这也是黄花菜功能产品开发急待解决的问题<sup>[10]</sup>。因此,需要采用一定措施延长黄花菜的保鲜期。近年来,已报道的黄花菜贮藏保鲜方法包括化学、物理及生物保鲜法<sup>[11]</sup>。化学方法是通过化学试剂处理来延缓蔬菜衰老,但存在影响黄花菜风味等问题。韩志平等<sup>[12]</sup>的研究发现,室温下用  $250 \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$  的果蔬保鲜剂 1-MCP 熏蒸黄花菜后可使其贮藏期延长到 7 d。物理保鲜方法主要是通过改变黄花菜的贮藏环境降低其生理代谢强度来延长保鲜期,但成本较高。研究发现在低温( $0\sim 1\text{ }^\circ\text{C}$ )贮藏黄花菜时,其采后 30 d 时的花率仍高达 95%<sup>[13]</sup>。高建晓等<sup>[14]</sup>研究发现,利用  $32.7 \mu\text{m}$  聚乙烯袋可形成高浓度的  $\text{CO}_2$  和低浓度  $\text{O}_2$  的微环境,有效延迟了黄花菜的腐烂,增加了贮藏时间。郑贤利等<sup>[15]</sup>研究发现低剂量  $^{60}\text{Co}\gamma$  射线 ( $0\sim 8 \text{ kGy}$ ) 照射配合低温可延长黄花菜的保鲜期。生物方法是利用植物生长调节剂或基因工程手段延缓蔬菜衰老,且具有用量少、不易残留的特点<sup>[16]</sup>。6-苄氨基腺嘌呤(6-BA)是一种植物生长调节剂,具有保鲜及延缓衰老的功能。研究表明,6-BA 处理可抑制猕猴桃中叶绿素的降解,保持膜细胞完整性,较好地保持果实硬度和可溶性固形物含量<sup>[17]</sup>。但 6-BA 对黄花菜贮藏保鲜的研究鲜有报道,因此,本研究以黄花菜为试验材料,分析不同 6-BA 浓度对黄花菜贮藏和采后生理的影响,为黄花菜保鲜生产提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

大同黄花菜:采自山西省大同市云州区黄花基地,挑选大小成熟度一致,颜色呈黄绿色、无损伤的黄花菜用于试验。

### 1.2 试验方法

将黄花菜平铺于桌面上,用清水(CK)和不同浓度( $5, 10, 15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )的 6-BA 喷施黄花菜,喷洒后装于聚乙烯包装袋,贮藏于  $4\text{ }^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 60%~70% 的环境中,喷洒量为  $50 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{FW}$ ,每个处理重复 3 次。

### 1.3 检测指标

1.3.1 好花率和失重率的测定 好花率:指正常无腐烂的黄花菜数量占总数的百分比<sup>[18]</sup>。

$$\text{失重率}(\%) = (\text{贮藏前重量} - \text{贮藏后重量}) / \text{贮藏前重量} \times 100$$

1.3.2 生理相关指标的测定 采用静置法测定呼吸强度<sup>[19]</sup>,叶绿素含量、丙二醛(MDA)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化物酶(POD)活性和相对电导率含量的测定均参照《植物生理学实验指导》完成<sup>[20]</sup>,利用上海研启生物科技有限公司的  $\text{H}_2\text{O}_2$  试剂盒测定  $\text{H}_2\text{O}_2$  含量。

## 1.4 数据处理

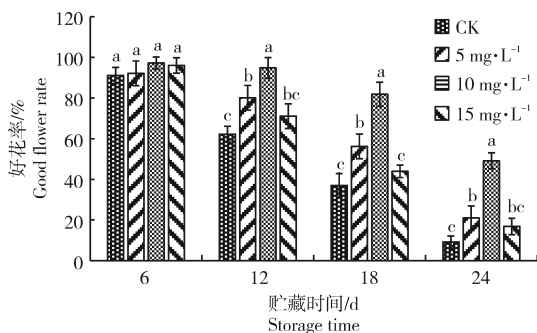
采用GraphPad Prism7.04对数据进行整理及绘图,相关性分析利用SPSS 24.0软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度6-BA对黄花菜保鲜效果的影响

**2.1.1 不同浓度6-BA对黄花菜好花率的影响** 由图1可知,黄花菜在贮藏过程中好花率下降,在贮藏前期(6 d),各处理和对照组间无显著性差异,之后,处理组和对照组间出现差异,且 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  6-BA处理组的好花率显著高于其他组( $p<0.05$ ),在整个贮藏期间 $15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  6-BA处理组的好花率与对照组之间无显著性差异,推测高浓度的6-BA可能会影响黄花菜采后的生理代谢。因此,6-BA处理可影响黄花菜的好花率,且 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  6-BA处理后的好花率最高。

**2.1.2 不同浓度6-BA对黄花菜失重率的影响** 由图2可知,在贮藏过程中对照组黄花菜的失重率明显高于处理组( $p<0.05$ ),在贮藏18 d时,不同处理组间的失重率差异不显著,在贮藏至24 d时, $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  6-BA处理组的失重率显著低于对照组、 $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  6-BA处理组( $p<0.05$ )。因此,6-BA处理能够显著降低黄花菜在贮藏过程中质量的损失。



同一贮藏时间中不同小写字母表示差异显著( $p<0.05$ ),下同  
Different lowercase letters at the same storage time indicate significant  
different at 0.05 level, the same below

图1 外源6-BA对黄花菜好花率的影响

Figure 1 Effect of exogenous 6-BA on the good flower rate of *Hemerocallis citrina* Baroni

**2.1.3 不同浓度6-BA对黄花菜呼吸速率的影响** 呼吸强度直接影响果蔬采后的贮藏期。由图3可知,黄花菜在贮藏至6 d时,呼吸速率最大,可能是由于胁迫导致了贮藏物的氧化代谢加强,随着贮藏时间的延长呼吸速率逐渐下降。贮藏期间,对照组的呼吸速率显著高于各处理组( $p<0.05$ );贮藏至24 d时,对照组的呼吸速率为 $(248.94\pm 14.84) \text{ mg CO}_2\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ,与 $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  6-BA处理组差异不显著,但显著高于 $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  6-BA处理组。因此,6-BA处理可以降低黄花菜的呼吸速率,有利于黄花菜的贮藏。

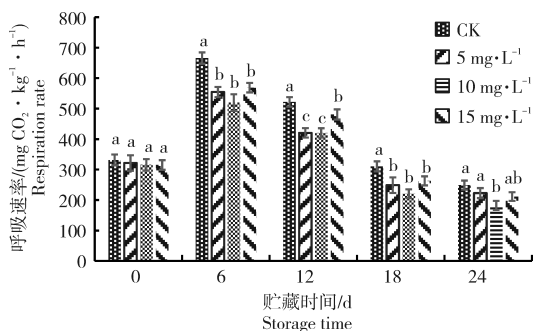


图3 外源6-BA对黄花菜呼吸速率的影响

Figure 3 Effect of exogenous 6-BA on the respiration rate of *Hemerocallis citrina* Baroni

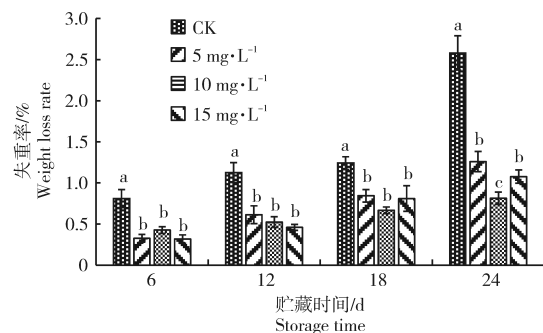


图2 外源6-BA处理对黄花菜失重率的影响

Figure 2 Effect of exogenous 6-BA on the weight loss rate of *Hemerocallis citrina* Baroni

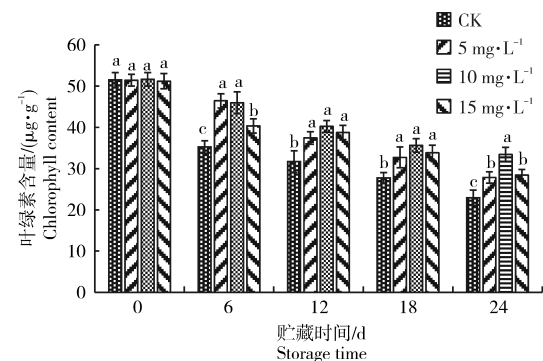


图4 外源6-BA对黄花菜叶绿素含量的影响

Figure 4 Effect of exogenous 6-BA on the chlorophyll content of *Hemerocallis citrina* Baroni

2.1.4 不同浓度6-BA对黄花菜叶绿素含量的影响 叶绿素含量可反映黄花菜在贮藏过程中的衰老程度。研究表明,黄花菜叶绿素含量在贮藏过程中逐渐下降(图4),在贮藏6 d时,对照组的叶绿素含量较贮藏前下降31.54%,下降速度最快,在贮藏24 d时,对照组叶绿素含量最低,其次是 $5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA处理组, $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA处理组的叶绿素含量最高。结果表明,6-BA处理能抑制叶绿素的降解,对黄花菜保鲜效果略优。

综上结果,认为 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA可较好地保持好花率,降低失重率和呼吸强度,抑制叶绿素的降解,因此, $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA处理对黄花菜的保鲜效果更佳。

## 2.2 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 6-BA对黄花菜生理指标的影响

2.2.1  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA对黄花菜相对电导率的影响 相对电导率可反映果蔬在贮藏过程中细胞膜受损的程度。由图5可知,与对照相比, $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA处理后的相对电导率显著降低。当贮藏至24 d时, $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA处理组的相对电导率为 $(30.96 \pm 2.98)\%$ ,对照组的相对电导率为 $(37.64 \pm 1.72)\%$ ,因此, $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA处理可减缓黄花菜在贮藏过程中相对电导率的增加,降低细胞膜的损伤。

2.2.2  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA对黄花菜丙二醛含量的影响 丙二醛是膜脂氧化的主要产物,反映膜脂被氧化的程度。由图6可知,在贮藏前,黄花菜中丙二醛含量为 $(5.10 \pm 0.21) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,贮藏至24 d,6-BA处理组中丙二醛含量为 $(7.15 \pm 0.29) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,上升40.19%,对照组在贮藏24 d时丙二醛含量为 $(9.33 \pm 0.36) \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ,上升82.94%。因此,6-BA处理可降低丙二醛的含量,减弱膜脂氧化程度,从而降低黄花菜在贮藏过程中受到的损伤。

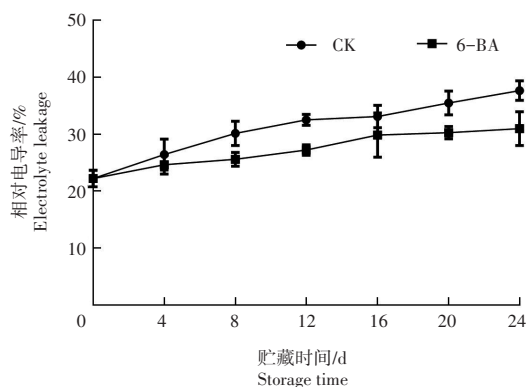


图5  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA对黄花菜相对电导率的影响

Figure 5 Effect of  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA on the electrolyte leakage of *Hemerocallis citrina* Baroni

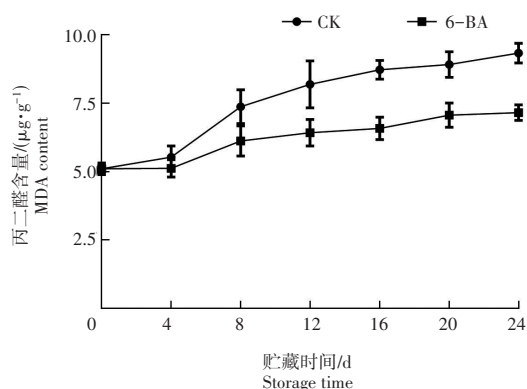


图6  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA对黄花菜丙二醛含量的影响

Figure 6 Effect of  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA on the MDA content of *Hemerocallis citrina* Baroni

2.2.3  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA对黄花菜 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量的影响 黄花菜在贮藏过程中 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量呈上升的趋势(图7)。贮藏前4 d时,处理组和对对照组之间 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量无显著差异,推测可能在贮藏前期,自由基还没有歧化生成 $\text{H}_2\text{O}_2$ ,贮藏至16 d时二者开始出现差异,当贮藏至24 d,对照组的 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量显著高于 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA处理组( $p < 0.05$ )。因此,6-BA处理可抑制黄花菜在贮藏过程中 $\text{H}_2\text{O}_2$ 的积累,从而延缓黄花菜的衰老。

2.2.4  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA处理对黄花菜SOD和POD酶活性的影响 SOD和POD可清除植物体内的活性氧和自由基,减少其对植物体的伤害。由图8可知,在贮藏前期稍有下降,随后迅速升高,接着又下降,这可能是由于贮藏前期,自由基含量较低,自由基的不断产生激活了SOD酶活性,随后,有害物质的积累导致SOD值下降。当贮藏至8 d时,对照组与 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA处理组的SOD活性差异不显著,在贮藏后期(12~24 d)出现差异( $p < 0.05$ )。对照组在贮

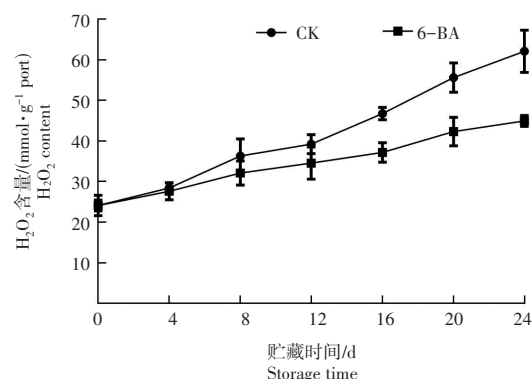


图7  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA对黄花菜 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量的影响

Figure 7 Effect of  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  6-BA on the  $\text{H}_2\text{O}_2$  content of *Hemerocallis citrina* Baroni

藏8 d时SOD值最大,6-BA处理组在贮藏12 d时SOD值最大(图8),当贮藏至24 d时,对照组的SOD活性为 $(14.27\pm 0.87) \text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ ,处理组的SOD活性为 $(16.34\pm 0.79) \text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ ,比对照组高14.51%。因此,6-BA处理后黄花菜的SOD活性较高,可减轻自由基的毒害。

由图9可知,POD在贮藏过程中的变化趋势与SOD一致。在贮藏24 d时,处理组的POD活性为 $(6.69\pm 0.69) \text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ ,而对照组为 $(5.32\pm 0.34) \text{ U}\cdot\text{g}^{-1}$ ,显著高于对照组( $p<0.05$ ),因此,6-BA处理组中POD降低了 $\text{H}_2\text{O}_2$ 对植物组织造成的伤害。综上结果,表明6-BA处理可提高抗氧化酶SOD和POD的活性,降低活性氧和自由基对黄花菜组织的毒害作用。

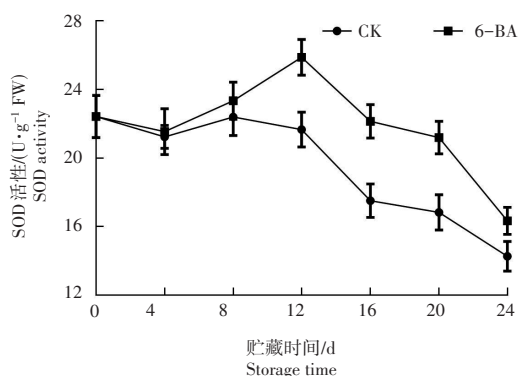


图8 10 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA对黄花菜SOD活性的影响  
Figure 8 Effect of 10 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA on the SOD activity of *Hemerocallis citrina* Baroni

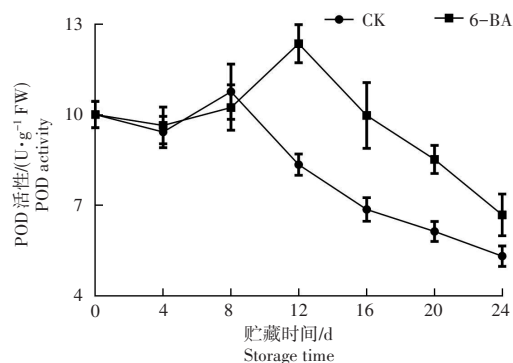


图9 10 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA对黄花菜POD活性的影响  
Figure 9 Effect of 10 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA on the POD activity of *Hemerocallis citrina* Baroni

2.2.5 相关性分析 由表1可知,黄花菜的 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量与MDA含量、相对电导率呈极显著的正相关( $p<0.01$ ),表明黄花菜在贮藏过程中, $\text{H}_2\text{O}_2$ 的积累加速了膜脂氧化程度,从而使丙二醛含量增加,相对电导率增加;而 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量与SOD、POD的活性呈极显著的负相关( $p<0.01$ ),表明SOD和POD可有效抑制 $\text{H}_2\text{O}_2$ 的产生,SOD和POD二者间呈极显著正相关( $p<0.01$ ),表明二者协同抑制了 $\text{H}_2\text{O}_2$ 对黄花菜膜脂氧化程度,延长了黄花菜的贮藏期。

表1 黄花菜在贮藏过程中生理指标的相关性分析

Table 1 The correlation analysis of physiological indicators of *Hemerocallis citrina* Baroni during storage

指标 Index	相对电导率 Relative electrolytic leakage	丙二醛 Malondialdehyde	过氧化氢 Hydrogen peroxide	超氧化物歧化酶 Superoxide dismutase	过氧化物酶 Peroxidase
相对电导率 Relative electrolytic leakage	1				
丙二醛 Malondialdehyde	0.969**	1			
过氧化氢 Hydrogen peroxide	0.960**	0.935**	1		
超氧化物歧化酶 Superoxide dismutase	-0.633*	-0.583*	-0.697**	1	
过氧化物酶 Peroxidase	-0.688**	-0.661*	-0.673**	0.910**	1

注:\*\*表示相关性在 $p<0.01$ 水平显著,\*表示相关性在 $p<0.05$ 水平显著。

Note:\*\* and \* indicate significant correlation at  $p<0.01$  and  $p<0.05$  level, respectively.

### 3 讨论与结论

黄花菜是大同“三黄两白”地理标志之一,黄花菜的食用部分是花蕾,新鲜的花蕾采摘后内部仍然进行一系列生理生化反应,导致其品质下降并逐渐失去商品价值。因此,需要采用一定措施延长黄花菜的保鲜期。好花率是黄花菜贮藏过程中外观评价指标之一,失重率直接反映了黄花菜的萎蔫程度。

本研究结果表明,黄花菜在贮藏过程中,其叶绿素含量和好花率下降,失重率上升,这些直接影响了黄花菜的商品价值。6-苊氨基腺嘌呤是一种人工合成的植物激素,可延迟果蔬采后的保鲜期。本研究发现,6-BA处理可降低黄花菜的呼吸强度和失重率,保持较高的好花率,并抑制叶绿素的降解。黄花菜在贮藏前期(6 d),各处理组间的好花率、失重率和呼吸强度差异不显著,5 mg·L<sup>-1</sup>和10 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA处理组叶绿素含量显著高于15 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA处理组;在贮藏后期(24 d),与其他处理组相比,10 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA处理组的好花率和叶绿素含量最高,失重率和呼吸强度最低,综合以上结果,10 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA处理对黄花菜的保鲜效果最佳。

植物组织在贮藏过程中膜的透性增加,膜的氧化程度加强,从而导致胞质内电解质外渗,相对电导率增加,丙二醛含量升高<sup>[21]</sup>。本研究结果表明黄花菜在贮藏过程中相对电导率和丙二醛含量均呈上升趋势,这与谢鸿林等<sup>[22]</sup>在清脆李的贮藏试验中的研究结论一致,且经6-BA处理后黄花菜的相对电导率和丙二醛含量较对照偏低。超氧自由基是植物体内常见的一种自由基,可被超氧化物歧化酶歧化为过氧化氢和氧气,再由过氧化物酶将细胞内过氧化氢分解为水和氧气,从而减轻自由基造成的伤害。本研究表明黄花菜在贮藏期间,过氧化氢含量升高,因此,自由基的产生是黄花菜衰老的重要原因之一,超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性在贮藏前期间的变化趋势一致,这与张海燕等<sup>[23]</sup>在苹果的采后试验和张莉会等<sup>[24]</sup>在草莓的贮藏试验中得到的结果一致。

相关性分析表明黄花菜的过氧化氢含量与丙二醛、相对电导率呈极显著正相关,过氧化氢含量与超氧化物歧化酶、过氧化物酶活性存在负相关性,超氧化物歧化酶和过氧化物酶之间呈正相关性,因此,在黄花菜采后过程中,黄花菜会产生大量自由基,自由基的积累会损伤细胞膜,为了消除诱发膜脂过氧化的程度,机体激活超氧化物歧化酶和过氧化物酶,随着贮藏时间的延长,有害代谢产物的积累使超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性下降,细胞膜氧化程度加剧,膜的通透性增加,相对电导率增加,最终导致黄花菜腐烂变质。在黄花菜采后贮藏过程中,6-BA处理能保持较高的超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性,清除细胞中的过氧化氢,降低了丙二醛和相对电导率含量,从而降低了自由基对黄花菜组织的损伤。

本研究中6-BA延缓了黄花菜的衰老进程,保持其新鲜度,与化学合成保鲜剂不同,6-BA在正常使用剂量下毒性相对较低,它主要是通过调节植物自身的生理过程来发挥保鲜作用,这种作用机制更具针对性<sup>[25]</sup>,而部分化学合成保鲜剂是靠防止微生物侵染引发的腐烂来保鲜,对于延缓植物自身衰老的作用不大<sup>[26]</sup>。与天然保鲜剂相比,6-BA的成分和性质较为稳定,在适宜条件下,能够持续且稳定地发挥保鲜作用,而天然保鲜剂可能会因自身成分降解等因素,致使保鲜效果逐渐降低,且许多天然保鲜剂发挥作用往往需要一定时间来构建保鲜体系,如部分微生物源的保鲜剂需在产品表面形成有益菌群,以此抑制有害微生物<sup>[27]</sup>,6-BA可直接作用于植物细胞,迅速启动植物的生理调节机制,进而快速延缓其衰老过程。因此,6-BA是一种较好的生物保鲜剂,可用于花卉、水果和蔬菜等的保鲜,但其在生产应用中具有一定的局限性,对于肉类、加工食品等其他非植物性产品基本没有保鲜作用,且6-BA的保鲜效果取决于植物自身的生理反应,不同植物对6-BA的敏感程度不同,有些植物可能对其反应不明显,从而无法实现保鲜目的。

综上所述,6-BA处理可降低黄花菜的呼吸强度和失重率,保持较高的好花率,并抑制叶绿素的降解,10 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA处理对黄花菜的保鲜效果最佳;6-BA处理黄花菜后抗氧化酶的活性增加,减少了过氧化氢的积累,降低了膜脂氧化程度,从而降低了黄花菜在贮藏期间的相对电导率和丙二醛含量,延缓了黄花菜的衰老,是一种很好的保鲜剂。

#### 参考文献:

- [1] 张振贤. 蔬菜栽培学[M]. 北京:中国农业大学出版社,2003.
- [2] 傅茂润,茅林春. 黄花菜的保健功效及化学成分研究进展[J]. 食品与发酵工业,2006,32(10):108-112.
- [3] 南文庆,王勤学,方彩霞. 黄花菜的药用价值[J]. 西部中医药,2021,34(8):159-161.
- [4] 李明玥,刘宏艳,肖静,等. 黄花菜的活性成分、生物活性及加工技术研究进展[J]. 食品工业科技,2022,43(19):427-435.

- [5] GRANATO D, BARBA F J, BURSAĆ KOVAČEVIĆ D, et al. Functional foods: Product development, technological trends, efficacy testing, and safety[J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2020, 11: 93-118.
- [6] LIN S H, CHANG H C, CHEN P J, et al. The antidepressant-like effect of ethanol extract of daylily flowers (*jīn zhēn huā*) in rats[J]. Journal of Traditional and Complementary Medicine, 2013, 3(1): 53-61.
- [7] XU P, WANG K Z, LU C, et al. Antidepressant-like effects and cognitive enhancement of the total phenols extract of *Hemerocallis citrina* Baroni in chronic unpredictable mild stress rats and its related mechanism[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2016, 194: 819-826.
- [8] 敬美莲, 伍卫红, 米健国, 等. 不同品种黄花菜中黄酮类化合物的提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 广东化工, 2022, 49(4): 16-18.
- [9] GUO A H, LI S, YANG Y, et al. Lecithin extraction optimisation and synthesis in *Hemerocallis citrina* Baroni[J]. Scientia Horticulturae, 2022, 293: 110682.
- [10] 武珍珍, 洪沙沙, 吕虹瑞, 等. 黄花菜保鲜贮藏及后处理加工技术研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(22): 334-340.
- [11] 李江阔, 李雪, 张新锋, 等. 不同保鲜剂对黄花菜冷藏品质和酶活性的影响[J]. 食品科技, 2022, 47(4): 26-32.
- [12] 韩志平, 陈志远, 黄蕊, 等. 1-MCP对黄花菜贮藏保鲜效果的研究[J]. 山西大同大学学报(自然科学版), 2012, 28(6): 49-51.
- [13] 张欣, 李坤, 马明, 等. 黄花菜不同温度贮藏保鲜研究[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(4): 150-152.
- [14] 高建晓, 古荣鑫, 胡花丽, 等. 不同薄膜包装对黄花菜贮藏品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(2): 255-258, 259.
- [15] 郑贤利, 屈国普, 谢红艳, 等. 不同剂量辐照黄花菜保鲜研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(11): 5032-5033.
- [16] 姚亚明. 黄花菜的保鲜方法及2,4-表油菜素内酯对其生理代谢的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- [17] 臧建磊, 李明月, 万如意, 等. 6-BA处理对猕猴桃贮藏保鲜的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(20): 187-191, 199.
- [18] 姚亚明, 彭菁, 刘檀, 等. 壳聚糖处理结合纳米包装对黄花菜贮藏品质及生理的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(20): 282-286.
- [19] 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: 48.
- [20] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2003: 62-72.
- [21] 杨曙光, 钱骅, 陈斌, 等. 减压处理对水蜜桃保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(5): 321-324.
- [22] 谢鸿林, 朱钱程, 杨爽, 等. 茶多酚和1-MCP处理对冷藏青脆李生理特性和贮藏品质的影响[J]. 东北农业大学学报, 2023, 54(12): 41-51.
- [23] 张海燕, 康三江, 曾朝珍, 等. 碱性钙对‘秦冠’苹果块贮藏品质及生理特性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(4): 41-49.
- [24] 张莉会, 乔宇, 周颖, 等. 硅藻土负载丁香酚缓释对草莓的保鲜作用[J]. 现代食品科技, 2019, 35(8): 98-106, 90.
- [25] 尹攀攀. 不同温度下6-BA及薄膜包装对西兰花保鲜效果的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2017.
- [26] 祝佳斯, 张珊珊. 天然食品防腐剂在食品中的应用研究进展[J]. 现代食品, 2023, 29(12): 109-111.
- [27] 路飞, 顾孟清, 朱轶群, 等. 天然保鲜剂的抗菌机理及在肉制品中的应用[J]. 沈阳师范大学学报(自然科学版), 2023, 41(5): 419-426.

[责任编辑 李薇]