

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.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2018.01.027

6-苄氨基嘌呤处理对鲜切西兰花品质的影响

刘红艳^{1,2}, 胡花丽¹, 罗淑芬¹, 张雷刚¹, 周宏胜¹, 李鹏霞¹, 肖丽霞²

(1.江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2.扬州大学旅游烹饪学院, 江苏 扬州 225127)

摘要: 在(15±1)℃, 相对湿度 90%~95%条件下, 以 30 mg/L 6-苄氨基嘌呤(6-BA)浸泡的方法研究了 6-BA 处理对鲜切西兰花品质的影响。结果表明, 清水浸泡对照(CK)组鲜切西兰花非常不耐贮藏, 在贮藏第 2 d 即开始黄化, 第 4 d 颜色开始变暗, 之后逐渐失去营养价值而且开始出现发霉和腐烂症状。而 6-BA 处理能显著延缓了鲜切西兰花感官品质下降和色差(明度、色度)变化, 同时抑制了叶绿素降解; 另外, 6-BA 处理能够有效减缓贮藏期间西兰花组织内硫代葡萄糖苷、可溶性糖、可溶性蛋白质、可滴定酸的下降, 防止鲜切西兰表面木质化的发生, 同时也可抑制组织亚硝酸盐的累积。说明 6-BA 处理能有效维持鲜切西兰花的贮藏品质。

关键词: 鲜切西兰花; 6-苄氨基嘌呤; 品质

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2018)01-0186-08

Effects of 6-benzylaminopurine treatments on the quality of fresh-cut broccoli

LIU Hong-yan^{1,2}, HU Hua-li¹, LUO Shu-fen¹, ZHANG Lei-gang¹, ZHOU Hong-sheng¹, LI Peng-xia¹, XIAO Li-xia²

(1. Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. School of Tourism and Culinary Science, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)

Abstract: The effect of 6-benzylaminopurine(6-BA) on quality of fresh-cut broccoli immersed with 30 mg/L 6-BA, stored at (15±1)℃ and 90%~95% relative humidity was investigated. The results showed that the fresh-cut broccoli immersed with water (as the control) was highly resistant to storage, yellowing in the second day, darkening in the fourth day, then gradually losing nutritional value and being moldy and rotten. 6-BA treatment improved the storage quality, significantly slowed the decline in sensory quality and the change of color, inhibited the chlorophyll degradation and kept the commodity value of fresh cut broccoli. Meanwhile, 6-BA treatment effectively slowed the degradation of glucosinolates, soluble sugar, soluble protein, titratable acid, and retarded lignification of fresh-cut broccoli. Additionally, 6-BA treatment inhibited the accumulation of nitrite. These results indicated that 6-BA treatment effectively maintained the quality of fresh-cut broccoli during storage.

Key words: fresh-cut broccoli; 6-benzylaminopurine; quality

鲜切西兰花作为一种新兴的蔬菜轻度加工产品, 因其食用方便、营养丰富、清洁卫生、品质新鲜而

受到广大消费者的欢迎。但鲜切西兰花因切割受到机械伤害, 其生理生化反应加速, 例如乙烯生成率加剧, 呼吸速率提升, 微生物大量滋生, 这些变化可诱导鲜切西兰花组织表面皱缩、风味降低、颜色丧失等现象, 从而加重鲜切西兰花的损耗^[1]。

6-苄氨基嘌呤(6-benzylaminopurine, 6-BA)是第一个人工合成的细胞分裂素, 可通过刺激细胞分裂促进植物生长。该外源性细胞分裂素能延缓果蔬叶绿

收稿日期: 2017-06-21

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(15)1048]

作者简介: 刘红艳(1989-), 女, 山西长治人, 硕士研究生, 主要从事食品贮藏与加工研究。(E-mail) 1243204328@qq.com

通讯作者: 李鹏霞, (E-mail) pengxiali@126.com; 肖丽霞, (E-mail) 1508922022@qq.com

素的降解和衰老^[2]。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^[3]。6-BA 在上海青^[4]、绿芦笋^[5]、蕨菜类^[6]等蔬菜采后贮藏中具有一定的保鲜效果。刘红艳等^[7]的研究结果表明采后西兰花的内源 6-BA 含量随着贮藏时间的延长而下降,外源 6-BA 处理可显著提高贮藏后期西兰花组织中内源 6-BA 水平。但 6-BA 处理对采后西兰花组织内亚硝酸盐及其特有成分硫代葡萄糖苷含量的影响尚不明确。因此,本研究以优秀号西兰花为材料,在分析 6-BA 处理对采后鲜切西兰花营养品质影响的基础上,探究 6-BA 对鲜切西兰花亚硝酸盐和葡萄糖苷含量的调控规律,为 6-BA 在鲜切西兰花保鲜上的应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料

西兰花(品种优秀号)购买于江苏省南京市众彩物流批发市场。采购后 0.5 h 内运回江苏省农业科学院农产品加工研究所果蔬保鲜与加工实验室,及时挑选大小均匀、成熟度基本一致、无机械损伤、颜色翠绿的西兰花为样品,然后用消毒过的小刀将西兰花分切成小花头。

1.2 仪器与设备

主要仪器与设备有 CR-400 全自动测色色差计,数字手持折射仪 PAL-1(日本),PD-501 型 pH/

电导率/离子综合测试仪,天平(METTLER TOLEDO PL202-L),高速冷冻离心机(Sigma 3K15),液氮研磨器(IKA A11BS25)。

1.3 6-BA 溶液浸泡西兰花处理

在前期试验中,我们分析了不同浓度(0 mg/L、10 mg/L、20 mg/L、30 mg/L、40 mg/L、50 mg/L、60 mg/L、200 mg/L和 500 mg/L)6-BA 处理对西兰花采后衰败的影响,结果表明 10 mg/L和 20 mg/L 6-BA 处理的效果较差,30 mg/L、40 mg/L、50 mg/L和 60 mg/L 6-BA 处理效果相当,200 mg/L和 500 mg/L 6-BA 处理效果最好。尽管 200 mg/L和 500 mg/L 6-BA 处理效果更好,但是综合考虑经济和安全因素,在本研究中我们选择 30 mg/L处理浓度。具体处理方法为:将切好的西兰花小花头浸入 30 mg/L 6-BA 中 10 min,以蒸馏水处理为对照(CK),沥干后置于 4.5 L 带孔塑料盒中,在(15±1)℃下贮藏。所有处理设置 8 个重复,每个重复包括 3 盒西兰花,每盒约 20 个小花头。贮藏期间每天按对角线方法取花球周边 4 点以及中间部位 1 点的花蕾样品,并迅速用液氮冷冻,置于-70℃冰箱中用于各项指标的测定。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 感官评分 参照 Rizzolo 等^[8]的方法,稍作修改,挑选经过培训的 30 人(男、女各半)分别对每个花球的 6 项指标(表 1)进行感官评价,取平均值。评价在 20℃、空气无异味、光线充足的感官评价室进行,每个处理取 10 个花球分别置于纯白 A4 纸上。

表 1 西兰花感官评分标准

Table 1 Standard for sensory evaluation of broccoli

指标	评分			
	≤10.0 且>7.5	≤7.5 且>5.0	≤5.0 且>2.5	≤2.5 且>0
色泽	整个花球鲜绿,视觉效果良好	个别花蕾发黄,视觉效果下降	局部发黄	整体开始变黄
气味	西兰花特有清香	无清香也无异味	轻微异味	严重异味
花球组织状态	花球结构紧凑	花球略散	局部开始松散、掉粒	组织结构严重松散,掉粒严重
霉变程度	新鲜、无腐败	无腐败但不新鲜	<30%腐败变质	30%以上腐败变质
茎部脆度	硬度大、脆度大	脆度硬度降低、开始枯塌	切口向内凹陷、表皮组织变良	整体萎缩、褶皱
整体水嫩程度	花球饱满	个别花蕾萎蔫、茎切口开始失水	花球小面积萎蔫失水、茎部切口部位失水严重	严重脱水、褶皱严重

1.4.2 亚硝酸盐含量测定 采用盐酸萘乙二胺法^[9]。称取 2.0 g 西兰花样品,经液氮研磨后置于 50 ml 试

管中,加 5 ml 饱和硼砂溶液,搅拌均匀,再加入 5 ml 蒸馏水,于沸水浴中加热 15 min,取出后冷却至室温,

然后一面转动,一面加入 2 ml 亚铁氰化钾溶液,摇匀,再加入 2 ml 乙酸锌溶液,以沉淀蛋白质,摇匀,放置 30 min 后,以 10 000 r/min 离心,取上清(即为样品处理液)备用。吸取 2.5 ml 上述提取液(即为测定用样液)于 25 ml 带塞比色管中,另吸取 0 ml、0.20 ml、0.40 ml、0.60 ml、0.80 ml、1.00 ml、1.50 ml、2.00 ml、2.50 ml 亚硝酸钠标准使用液(相当于 0 μg 、1 μg 、2 μg 、3 μg 、4 μg 、5 μg 、7.5 μg 、10 μg 、12.5 μg 亚硝酸钠)分别置于 25 ml 带塞比色管中且用蒸馏水都补充到 2.5 ml。于标准管与试样管中分别加入 2 ml 对氨基苯磺酸溶液,混匀,静置 3~5 min 后各管加入 1 ml 盐酸萘乙二胺溶液,混匀,静置 15 min,用 1 cm 比色杯,以零管(即没有加入亚硝酸钠的标准管)调节零点,于波长 538 nm 处测定吸光度,绘制标准曲线,同时做试剂空白。计算亚硝酸盐含量(X): $X = m' / (m \times V_2 / V_1)$,式中, m 为样品质量(g), m' 为测定用样液中亚硝酸盐的质量(μg), V_1 为样品处理液总体积(ml), V_2 为测定用样液总体积(ml)。

1.4.3 色差测定 参考纪淑娟等^[10]的方法,利用 CR-400 全自动测色色差计测定花球的色度,在 L^* 、 a^* 、 b^* 模式下,平行测定 15 次。 L^* 表示亮度, a^* 表示绿色和红色(或品红色)之间的转变程度(负值表示为绿色,正值表示颜色为红色或品红色), b^* 表示黄色和蓝色之间的转变程度(负值表示蓝色,正值表示黄色)。

1.4.4 叶绿素和类胡萝卜素含量测定 参考崔勤等方法^[11],取 0.5 g 西兰花样品,经液氮研磨后加入 95% 乙醇 30 ml,避光常温浸提 8 h。过滤后取上清液,以 95% 乙醇为空白调节零点,测定在 665 nm、649 nm、470 nm 处的吸光值。计算叶绿素 a 浓度 C_a (mg/L)、叶绿素 b 浓度 C_b (mg/L) 和类胡萝卜素浓度 C_{x+c} (mg/L)。 $C_a = 13.95D_{665} - 6.88D_{649}$, $C_b = 24.96D_{649} - 7.32D_{665}$, $C_{x+c} = (1\,000.00D_{470} - 2.05C_a - 114.80C_b) / 245$ 。

1.4.5 总硫代葡萄糖苷含量测定 参照 Heaney 等^[12]方法,采用苯酚-硫酸法测定,以葡萄糖制作标准曲线。

1.4.6 可溶性糖含量测定 采用蒽酮法^[13]测定,称取 0.5 g 样品,经液氮研磨碎后置于 25 ml 带塞比色管中,加 10 ml 蒸馏水,用橡胶塞封口,于沸水中提取 30 min(提取 2 次)。提取液过滤至 25 ml 容量瓶中,反复冲洗试管及残渣,定容至刻度。吸取 0.5 ml 提取液依次加入 1.5 ml 蒸馏水、0.5 ml 蒽酮乙酸乙酯、5.0 ml 浓硫酸,充分混匀后放入沸水浴中保温 1

min。取出后自然冷却至室温,于 630 nm 下比色,通过标准曲线查得可溶性糖含量。

1.4.7 可滴定酸含量的测定 可滴定酸含量测定参照刘红锦等^[14]方法。

1.4.8 可溶性蛋白质含量测定 采用 Bradford^[15]的方法。称取 2.0 g 西兰花样品,加 10 ml 50 mmol/L 磷酸缓冲液(pH 7.2)和 10 ml 蒸馏水充分研磨,浸提 2 h 后离心取上清。取 0.1 ml 西兰花样品上清液与 5 ml 考马斯亮蓝进行反应,于 595 nm 处测定吸光值。样品可溶性蛋白质含量换算为 1 g 鲜样中牛血清蛋白的含量(mg/g)。

1.4.9 粗纤维含量测定 粗纤维含量采用张志良^[16]的方法测定。

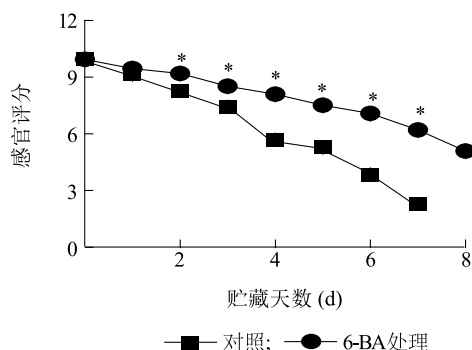
1.5 数据处理及分析

所有数据采用 SPSS 18.0 软件进行统计处理,用 t 检验进行单因素分析($P < 0.05$)。用 Origin 8.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 6-BA 处理对鲜切西兰花感官品质的影响

由图 1、图 2 可看出,贮藏期间 6-BA 处理的鲜切西兰花感官品质明显优于对照($P < 0.05$)。对照组鲜切西兰花品质下降较快,在贮藏至第 2 d 时个别花蕾就开始发黄,视觉效果下降,花球略散;4 d 时整体变黄,局部松散;7 d 时组织结构严重松散,花蕾脱落严重。然而 6-BA 处理组西兰花在 0~7 d 一直保持较好的品质。贮藏至第 7 d 时,6-BA 处理组西兰花的感官得分为对照的 2.74 倍。可见,30 mg/L 6-BA 处理可有效减缓贮藏期间鲜切西兰花感官品质的下降。



* 表示在 0.05 水平上差异显著。

图 1 6-BA 处理对鲜切西兰花的感官评分的影响

Fig.1 Effect of 6-BA treatment on the sensory quality of fresh-cut broccoli

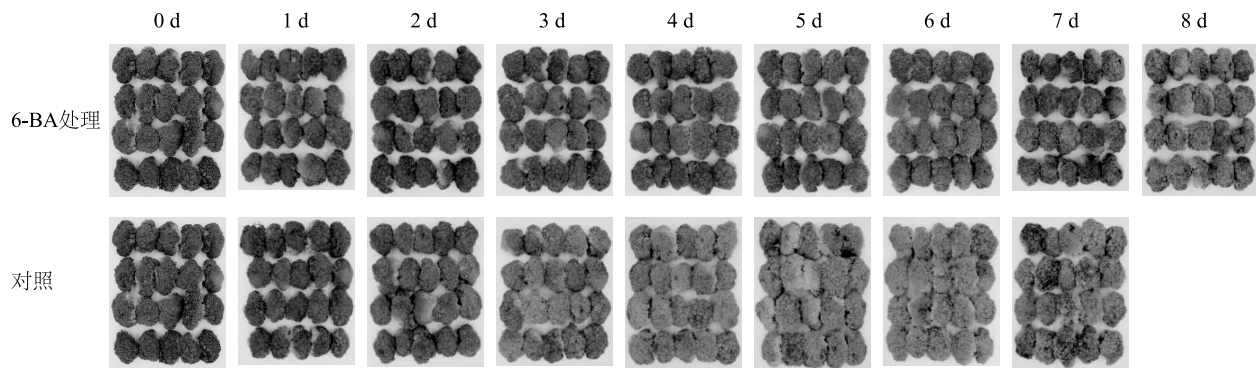
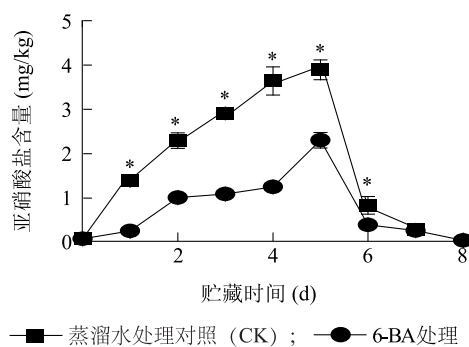


图2 6-BA 处理对鲜切西兰花贮藏效果的影响

Fig.2 Effect of 6-BA treatment on the storage of fresh-cut broccoli

2.2 6-BA 处理对鲜切西兰花亚硝酸盐含量的影响

由图3可看出,蒸馏水处理(CK)和6-BA处理西兰花中亚硝酸盐含量的变化趋势大体一致,在贮藏初期(0~5 d),西兰花组织中亚硝酸盐不断累积,在第5 d达到高峰,分别为3.89 mg/kg (CK)、2.30 mg/kg (6-BA处理)。整体看,在贮藏前6 d,6-BA处理的亚硝酸盐含量显著低于对照。在贮藏1、2、3、4、5、6 d时,亚硝酸盐含量分别是CK的18.70%、44.15%、37.59%、34.31%、59.13%、47.32%;在7~8 d,两处理西兰花中亚硝酸盐含量趋于一致。



* 表示在 0.05 水平上差异显著。

图3 6-BA 处理对鲜切西兰花亚硝酸盐含量的影响

Fig.3 Effect of treatment of 6-BA on nitrite content in fresh-cut broccoli

2.3 6-BA 处理对鲜切西兰花色差的影响

由图4可知,在贮藏过程中,对照组 L^* 、 b^* 值变化趋势一致都是先上升(0~6 d)后下降(6~7 d), a^* 值表现为先下降(0~2 d)后上升(2~7 d);6-BA处理组 L^* 、 a^* 、 b^* 值的变化趋势也一

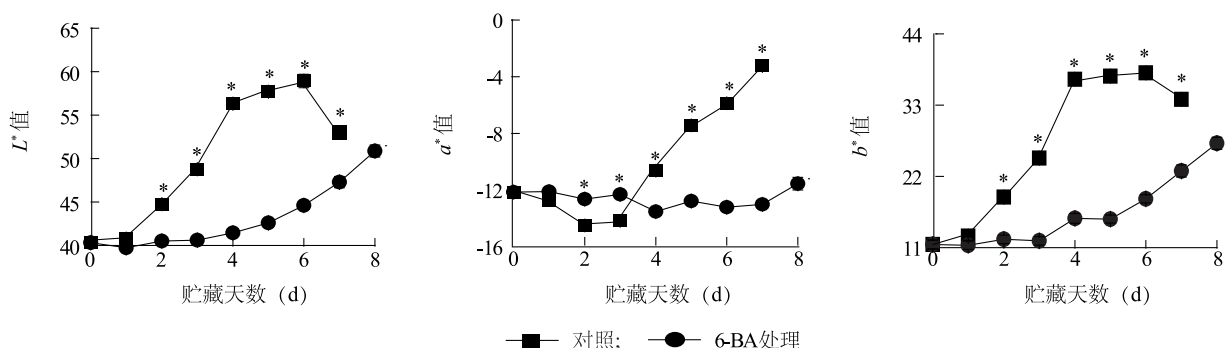
致,均表现为增加。6-BA处理对亮度影响较大,其 L^* 值均低于对照,且贮藏2~6 d差异显著($P < 0.05$)。在贮藏过程中对照鲜切西兰花花蕾由绿变红,贮藏后期(4~7 d)变化速度显著高于6-BA处理($P < 0.05$)。随着贮藏时间的延长,对照鲜切西兰花花蕾黄化程度越来越高, b^* 值由0 d的13.91变化为第6 d的38.44,而6-BA处理第6 d的 b^* 值仅为20.42,黄化程度显著低于对照($P < 0.05$)。综上所述,6-BA处理可以有效延缓鲜切西兰花色差(亮度、色度)变化,对鲜切西兰花具有较好的护色效果。

2.4 6-BA 处理对鲜切西兰花叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

西兰花组织中,叶绿素a含量最高,叶绿素b次之,类胡萝卜素含量最低(图5)。CK和6-BA处理组中叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量变化趋势基本一致,都随着贮藏时间的延长不断下降。与CK相比,6-BA处理显著延缓了叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素的下降。但6-BA对类胡萝卜素含量的影响不稳定,贮藏前期(0~3 d)6-BA处理显著延缓了类胡萝卜素含量的下降,后期(4~7 d)6-BA处理组类胡萝卜素含量又显著低于对照组。

2.5 6-BA 处理对鲜切西兰花总硫代葡萄糖苷含量的影响

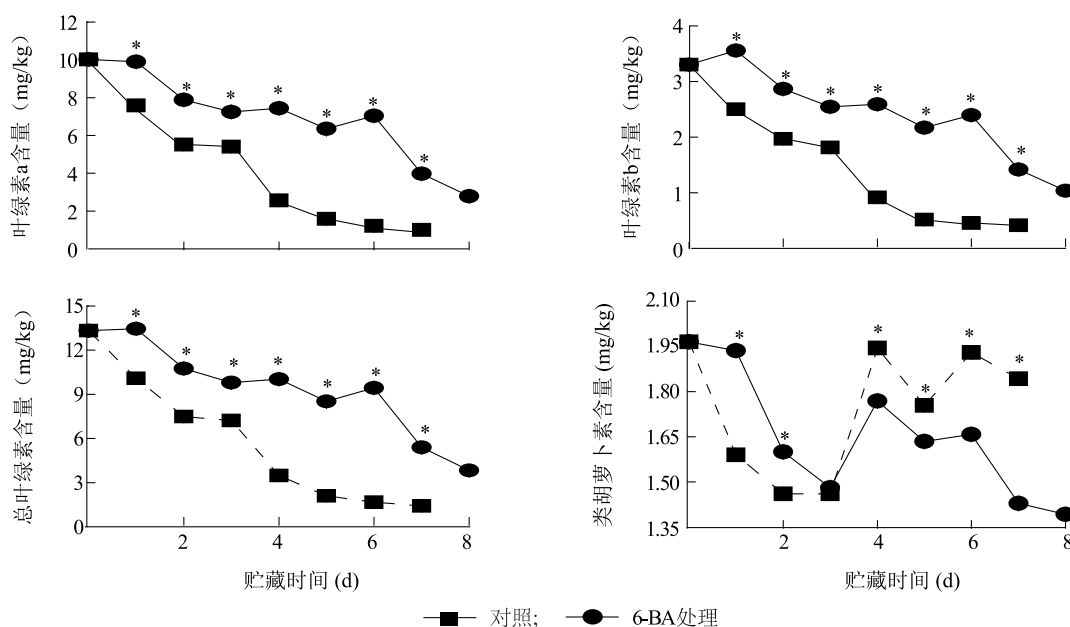
硫代葡萄糖苷是西兰花中最重要的活性成分。由图6可以看出,鲜切西兰花组织中硫代葡萄糖苷含量呈先上升后下降的变化趋势,与CK相比,6-BA保鲜处理可显著($P < 0.05$)延缓西兰花硫代葡萄糖苷含量的下降速率。



* 表示在 0.05 水平上差异显著。

图 4 6-BA 处理对鲜切西兰花色差的影响

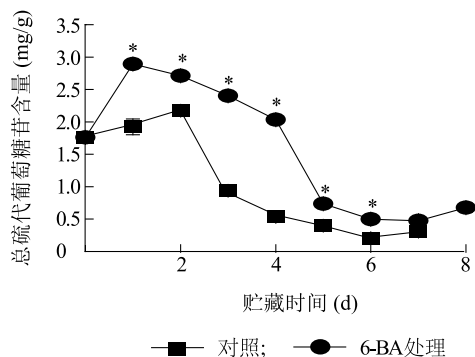
Fig.4 Effect of treatment of 6-BA on chromatic aberration in fresh-cut broccoli



* 表示在 0.05 水平上差异显著。

图 5 6-BA 处理对鲜切西兰花叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

Fig.5 Effect of treatment of 6-BA on the content of chlorophyll and carotenoid in fresh-cut broccoli



* 表示在 0.05 水平上差异显著。

图 6 6-BA 处理对鲜切西兰花总硫代葡萄糖苷含量的影响

Fig.6 Effect of treatment of 6-BA on the total glucosinolate content in fresh-cut broccoli

2.6 6-BA 处理对鲜切西兰花可溶性糖、可滴定酸、可溶性蛋白质和粗纤维含量的影响

鲜切西兰花花蕾中可溶性糖含量随着贮藏时间的延长而逐渐下降(图 7)。在贮藏第 7 d 时,CK 与 6-BA 处理可溶性糖含量分别为 $4.55 \mu\text{g/g}$ 、 $6.01 \mu\text{g/g}$,与 0 d 时相比分别下降了 51.00%和 33.00%,且在整个贮藏期内(第 1 d 除外)6-BA 处理可溶性糖含量显著高于 CK。可见,6-BA 处理有效降低了西兰花组织中可溶性糖含量的下降速度。

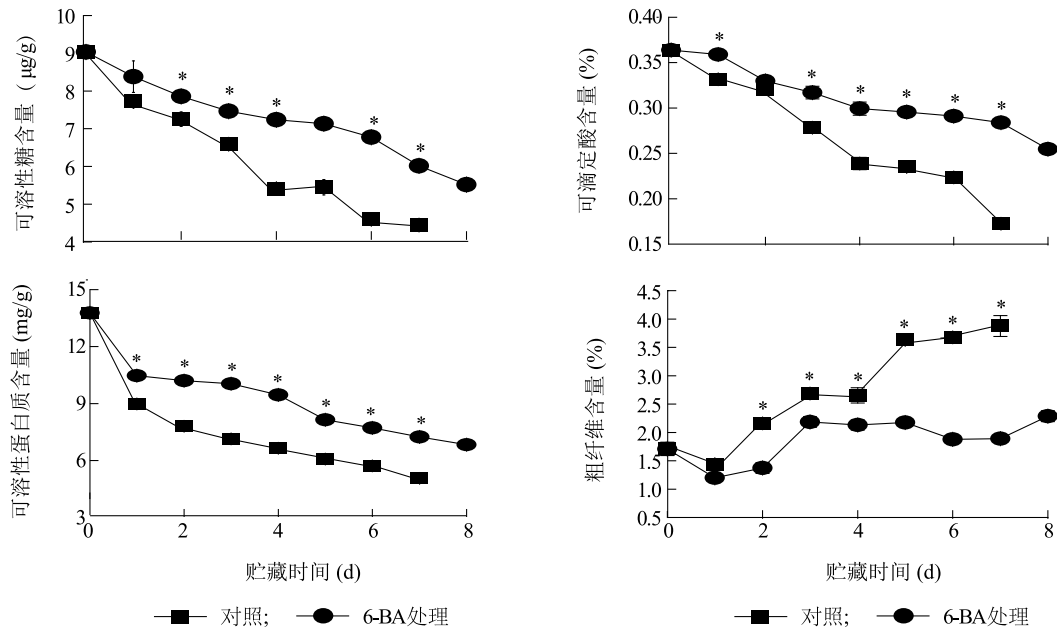
西兰花的风味受其可滴定酸含量的影响。贮藏期间对照与 6-BA 处理组鲜切西兰花组织可滴定酸含量均呈下降趋势,但 6-BA 处理可滴定酸含量均

高于对照,贮藏第8 d时可滴定酸的保持率可达贮藏初期的77.77%,而对照在7 d时仅为初期的47.22%。可见6-BA处理可以有效延缓可滴定酸含量的下降。

贮藏过程中西兰花组织中可溶性蛋白质不断降解(图7)。贮藏开始时,处理组和CK西兰花的蛋白质含量都为13.77 mg/g,但贮藏至7 d时,处理组

和CK蛋白质含量分别为7.24 mg/g和5.06 mg/g,分别减少了39.00%和44.10%。可见,6-BA处理能够减缓蛋白质的降解。

鲜切西兰花花蕾中粗纤维含量变化呈波动上升趋势。CK中粗纤维含量上升速度较快且始终显著高于6-BA处理组,可见6-BA处理显著抑制了西兰花组织中粗纤维的合成。



* 表示在 0.05 水平上差异显著。

图7 6-BA处理对鲜切西兰花可溶性糖、可滴定酸、可溶性蛋白质和粗纤维含量的影响

Fig.7 Effect of treatment of 6-BA on the content of soluble sugar, titratable acid, soluble protein and rude fiber in fresh-cut broccoli

3 讨论

6-苄氨基嘌呤(6-BA)作为果蔬保鲜剂应用于采后西兰花已有报道。颜福花等^[17]分析了6-BA对西兰花过氧化物酶(*POD*)活性的影响。王丽娇等^[18]分析了苯甲酸钠与6-BA复合处理对西兰花叶绿素、维生素C(V_c)、丙二醛(MDA)含量及多酚氧化酶(*PPO*)和*POD*活性的影响,然而在该试验中缺少单独苯甲酸钠处理,因而在6-BA对上述指标的影响中,不能排除苯甲酸钠的潜在影响。郭香凤等^[19]也报道了6-BA对西兰花生理和品质的影响,分析指标涉及西兰花的失重率、细胞膜透性以及叶绿素、类胡萝卜素、类黄酮、可溶性固形物、蔗糖、 V_c 和丙二醛含量,但未阐明6-BA对西兰花中特有成分硫代葡萄糖苷及备受消费者关注的亚硝酸盐动态变化的影响。另外,该报道中使用的6-BA浓度,在

优秀号西兰花品种上效果甚微。这表明6-BA对采后西兰花品质的影响因品种的不同可能存在差异。因此,在前人研究的基础上,本试验进一步解析了6-BA对西兰花采后品质特性,尤其是对硫代葡萄糖苷、亚硝酸盐、粗纤维的影响规律。

一般以果蔬感官品质直接判断果蔬质量优劣和商品价值。本试验鲜切西兰花的感官评分与外观相吻合,与对照相比,6-BA处理较好地维持了鲜切西兰花的外观品质,这与前人研究结果类似,说明6-BA对鲜切西兰花的品质影响与对整株西兰花的影响相似。另外,鲜切西兰花色差 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值变化规律基本一致,且与叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素的变化趋势相反,但是与类胡萝卜素含量的变化无明显相关性。6-BA处理的鲜切西兰花色度值变化较小,说明6-BA主要是通过抑制叶绿素的降解来延缓鲜切西兰花的黄化和褐变。An等^[5]的研究

结果也表明,20 mg/L 6-BA 处理可显著延缓采后绿芦笋在贮藏中后期叶绿素含量的下降,有效地延缓绿芦笋的衰老。值得注意的是,尽管 6-BA 贮藏前期缓解了类胡萝卜素的分解,但是后期却抑制了类胡萝卜素的合成,其机理还有待探索。

已有报道指出十字花科蔬菜的硝酸盐含量较高^[20]。本研究发现贮藏期间鲜切西兰花亚硝酸盐含量先上升后下降,这与姜雯等^[21]的研究结果相一致。原因可能是在种植西兰花时氮肥施用过多。随着放置时间的延长,亚硝酸盐逐渐积累,但亚硝酸盐还原酶活性的增高,在一定程度上促进了亚硝酸盐向铵盐的转化,从而出现亚硝酸盐含量下降的趋势^[22]。另外,6-BA 抑制了亚硝酸盐的累积,原因可能是 6-BA 处理抑制了鲜切西兰花总呼吸强度从而减弱了组织内硝酸还原酶的活性。但是,在整个贮藏过程中,对照与 6-BA 处理中鲜切西兰花亚硝酸盐含量的测量值均低于国家安全食用标准 4.00 mg/kg^[23]。因此,仅从亚硝酸盐食用安全性考虑,6-BA 可以用于鲜切西兰花保鲜。

可溶性糖含量是评价西兰花风味和营养价值的一个重要指标。本试验中,鲜切西兰花组织中可溶性糖含量随着贮藏时间的延长不断下降,这与薛占军等^[24]的研究结果类似;另外,6-BA 处理显著减少了鲜切西兰花组织中可溶性糖的消耗,这与郭香凤等^[19]的结果一致。我们还发现鲜切西兰花硫代葡萄糖苷含量的变化与可溶性糖含量的变化趋势一致,6-BA 处理显著抑制了西兰花中特有物质硫代葡萄糖苷含量的下降。

粗纤维含量与鲜切西兰花的口感相关。我们发现贮藏期间鲜切西兰花粗纤维含量逐渐增加,而 6-BA 处理抑制了鲜切西兰花粗纤维含量的增加,其含量显著低于对照。6-BA 处理有效防止了鲜切西兰花表面木质化的发生和食用品质的下降,保持了西兰花清脆的口感,这与用 6-BA 和热处理食荚豌豆的结果类似^[25]。

本研究结果表明,(15±1)℃条件下鲜切西兰花极不耐贮藏,在贮藏第 2 d 就开始黄化,第 4 d 颜色开始变暗,之后逐步失去营养价值并发霉和腐烂。6-BA 处理可以有效维持鲜切西兰花的贮藏保鲜效果,显著延缓鲜切西兰花的外观品质下降和色差(明度、色度)的变化,同时能抑制叶绿素降解,使鲜切西兰花在贮藏 7 d 左右仍具有一定的商品价值。

6-BA 可有效减缓贮藏后期西兰花组织硫代葡萄糖苷、可溶性糖、可溶性蛋白质、可滴定酸含量的下降,防止鲜切西兰花表面木质化的发生,同时也抑制了亚硝酸盐的累积。

参考文献:

- [1] BARRY R C, BEIRNE O D. Quality and shelf-life of fresh cut carrotslices as affected by slicing method[J]. Journal of Food Science, 1998, 63(5): 851-856.
- [2] FELT R L S, BATAL K M, HEATON E K. Broccoli storage: effect of N6-benzyladenine, packaging, and icing on color of fresh broccoli[J]. Journal of Food Science, 1983, 48(6): 1594-1597.
- [3] 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比对分析[J]. 广东农业科学, 2015(3): 70-78.
- [4] 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.
- [5] AN J, ZHANG, LU Q, 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.
- [6] HUANG J, ZHANG Y, JIANG L, et al. Comparative proteomics analysis of differential proteins in response to 6-benzylaminopurine treatment in *Pteridium aquilinum*, senescence[J]. Postharvest Biology & Technology, 2016, 116: 66-74.
- [7] 刘红艳,胡花丽,罗淑芬,等. 6-苄氨基嘌呤减缓鲜切西兰花的衰老机理分析[J]. 食品科学, 2016, 37(24): 313-321.
- [8] RIZZOLO A, GRASSI M, VANOLI M. 1-Methylcyclopropene application, storage temperature and atmosphere modulate sensory quality changes in shelf-life of 'Abbé Fétel' pears[J]. Postharvest Biology & Technology, 2014, 92(92): 87-97.
- [9] 中华人民共和国卫生部. 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定: GB/5009.33-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003: 1-8.
- [10] 纪淑娟,熊振华,程顺昌,等. 1-MCP 和 CO₂ 自发放处理对西兰花常温货架期的保鲜作用[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(2): 202-206.
- [11] 崔 勤,李新丽,翟淑芝. 小麦叶片叶绿素含量测定的分光光度计法[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(10): 2063-2063.
- [12] HEANEY R K, SPINKS E A, Fenwick G R. Improved method for the determination of the total glucosinolate content of rapeseed by determination of enzymically released glucose[J]. The Analyst, 1988, 113(10): 1515-1518.
- [13] 葛 剑,杨翠军,刘贵河,等. 晾晒和添加剂对紫花苜蓿青贮发酵品质和营养成分的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(3): 595-601.
- [14] 刘红锦,胡花丽,李鹏霞,等. 不同气体组合对杏果实贮藏品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(4): 885-889.
- [15] BRADFORD M M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding[J]. Analytical Biochemistry, 1976, 72(1):

- 248-254.
- [16] 张志良. 植物生理学试验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 1990.
- [17] 颜福花,叶荣华,徐象华,等. 6-BA 和不同温度水处理对采后西兰花过氧化物酶活性的影响[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(12): 4852-4853.
- [18] 王丽娇,孙兴丽,岳本芳,等. 微真空条件下复合保鲜剂对西兰花采后衰老的影响[J]. 现代食品科技, 2013, 29(6): 1243-1245.
- [19] 郭香凤,于明,刘洪亮,等. 6-BA 处理对最小加工西兰花生理和品质的影响[J]. 农产品加工, 2008(8): 11-16.
- [20] 王宪泽,程炳嵩,张国珍. 蔬菜中的硝酸盐及其影响因子[J]. 植物学通报, 1991(3): 34-37.
- [21] 姜雯,肖丽霞,邓静娟,等. 不同处理方法对西兰花中亚硝酸盐含量的影响[J]. 扬州大学烹饪学报, 2013, 30(3): 23-27.
- [22] 燕平梅,薛文通,张慧,等. 不同贮藏蔬菜中亚硝酸盐变化的研究[J]. 食品科学, 2006, 27(6): 242-246.
- [23] 中华人民共和国卫生部. 食品中亚硝酸盐限量卫生标准:GB 15198-1994[S]. 北京:中国标准出版社,1994.
- [24] 薛占军,宋永格,王俊玲,等. 低温冷藏对西兰花营养品质和叶绿素荧光特性的影响[J]. 河北农业大学学报, 2016, 39(4): 52-56.
- [25] 汪峰,郑永华. 6-BA 和热处理对食荚豌豆贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2004, 25(11): 314-317.

(责任编辑:张震林)