

尹攀攀,肖丽霞,胡花丽,等.不同温度条件下6-苄氨基嘌呤对采后西兰花货架寿命的影响[J].江苏农业科学,2017,45(22):225-228.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.22.061

# 不同温度条件下6-苄氨基嘌呤 对采后西兰花货架寿命的影响

尹攀攀<sup>2</sup>,肖丽霞<sup>1</sup>,胡花丽<sup>2</sup>,张雷刚<sup>2</sup>,罗淑芬<sup>2</sup>,李鹏霞<sup>2</sup>

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

**摘要:**分别在10、15、20℃,相对湿度为85%~90%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)浸泡处理10 min对采后西兰花外观品质、色差、叶绿素含量、可溶性蛋白质含量和可溶性糖含量的变化,及组织中内源6-BA含量的影响。结果发现,6-BA处理能有效地减缓采后西兰花的黄化和外观品质的下降,显著延缓西兰花叶绿素的分解,维持其较高的可溶性蛋白质含量及可溶性糖含量;3个温度条件下,6-BA含量的变化均为逐渐上升的趋势;与对照相比,10、15、20℃条件下,6-BA处理可分别将西兰花的保鲜期延长1、3、4 d。结果表明,6-BA处理可延长不同贮藏温度下西兰花的贮藏寿命。

**关键词:**西兰花;6-苄氨基嘌呤;温度;品质

**中图分类号:** S635.309<sup>+</sup>.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)22-0225-04

西兰花(*Brassica oleracea* L.)别称青花菜、花椰菜等,为十字花科芸薹属甘蓝种中以绿色花球为产品的一个变种,富含蛋白质、碳水化合物、维生素等营养素,并具有防癌抗癌的功效,日益受到消费者青睐<sup>[1-2]</sup>。西兰花的食用部分为幼嫩的花球和花梗,采收之后呼吸代谢旺盛,在常温下易黄化、失水萎蔫、开花,严重影响西兰花的品质,对西兰花产业的发展有很大的影响<sup>[3]</sup>。因此,研究西兰花采后保鲜技术具有重要意义。

6-苄氨基嘌呤(6-benzylaminopurine, 6-BA)是一种人工合成的植物生长激素,主要作为促长剂和保鲜剂使用,能够促进与调节植物生长发育,具有抗衰老、保鲜作用<sup>[4]</sup>。Xu等研究表明,200 mg/L 6-BA处理青花菜可显著抑制叶绿素相关降解酶活性,从而减缓叶绿素的降解,保持青花菜的表现颜色,延缓活性成分的下降,维持其营养品质<sup>[5]</sup>。Siddiqui等报道,200 mg/L 6-BA处理后的花菜,能保持较高生物活性成分含量,维持较高的细胞膜透性和抗氧化活性<sup>[6]</sup>。梁凤玲等也报道,25 mg/L 6-BA处理可显著降低青菜贮藏期间的失质量率,减缓维生素C的减少,延缓蔬菜叶片褐变,延长货架期<sup>[7]</sup>。另外,Zhang等研究表明,500 mg/L 6-BA可以防止桃采后软化,降低细胞膜通透性,保护细胞膜免受氧化刺激,保持其良好的外观品质<sup>[8]</sup>。

目前,有关6-BA在西兰花保鲜上的应用已有一些报道<sup>[9-11]</sup>,但是关于不同销售温度下,6-BA处理对西兰花货架寿命的影响研究鲜有报道,关于6-BA处理后西兰花组织

中内源6-BA水平的研究未见相关报道。本试验以新鲜西兰花为材料,探讨6-BA处理对不同销售温度下西兰花货架寿命的影响,同时测定了6-BA处理后西兰花组织中内源6-BA含量的变化规律,旨在为西兰花的货架期保鲜提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料及处理

本试验所用西兰花购买于南京众彩物流市场,1 h内运回江苏省农业科学院果蔬保鲜与加工实验室,选取花球鲜绿、无明显机械损伤、成熟度均匀的西兰花为试验材料。根据预试验的结果,选用30 mg/L 6-BA浸泡处理西兰花10 min,以清水浸泡作为对照(CK)。沥干后,将花球装入21 L乐扣箱中,每箱15个花球,分别于10、15、20℃,相对湿度85%~90%条件下贮藏,处理与对照组分别定义为:6-BA-10℃、CK-10℃,6-BA-15℃、CK-15℃,6-BA-20℃、CK-20℃。定期取样用于各项指标的测定。

### 1.2 方法

1.2.1 叶绿素含量测定 参照李合生等的方法<sup>[12]</sup>,采用乙醇浸提法测定叶绿素。称取样品1 g,加入10 mL 95%乙醇充分研磨后,浸提至组织变成白色。经定容、过滤后,在波长663、646、470 nm处测定吸光度,重复3次测定,计算叶绿素含量。

1.2.2 色差测定 参照纪淑娟等的方法<sup>[13]</sup>,利用CR-400全自动测色色差计测定花球的色度,在 $a^*$ 、 $b^*$ 模式下,平行测定5次。 $a^*$ 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)。

1.2.3 可溶性蛋白质含量测定 参照罗淑芬等的方法<sup>[14]</sup>,称取样品1 g,加10 mL蒸馏水研磨成匀浆后,在4℃下

收稿日期:2016-05-31

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(15)1048]。

作者简介:尹攀攀(1992—),女,硕士研究生,主要从事食品卫生与安全。E-mail:995809636@qq.com。

通信作者:李鹏霞,博士,研究员,主要从事果实流通保鲜与加工研究。E-mail:lp213@126.com。

10 000 r/min 离心 10 min,取上清液 0.05 mL 加入 0.95 mL 蒸馏水和 5 mL 考马斯亮兰 G-250 试剂摇匀,放置 2 min 后在 595 nm 下比色,通过标准曲线查得可溶性蛋白质含量。

1.2.4 可溶性糖含量测定 采用蒽酮法<sup>[15]</sup>测定可溶性糖含量,称取样品 1 g,加 10 mL 蒸馏水研磨成匀浆后,塑料薄膜封口,于沸水中提取 30 min(提取 2 次),提取液过滤入 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 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。

1.2.5 6-BA 含量测定 参照王丽萍等的方法<sup>[16]</sup>,利用高效液相色谱法测定 6-BA 含量。称取 2 g 西兰花样品于 50 mL 离心管中,加入 8 mL 酸化甲醇,常温超声浸提 30 min。10 000 r/min 离心 20 min,取上清;再加入 3 mL 酸化甲醇重复浸提,离心后合并上清。取 5 mL 上清用氮吹仪吹至 1 mL,过 C<sub>18</sub> 小柱,先用 5 mL 水洗去水溶性杂质,再用甲醇将 6-BA 洗出,定容至 5 mL。用 0.45 μm 有机相滤膜过滤用于液相色谱仪(Agilent 1200)测定。液相色谱参考条件:色谱柱 Xbridge C<sub>18</sub>(250 mm×4.6 mm×5.0 μm);流动相:A:甲醇:乙腈=60:5,45%;B:0.1% 乙酸,55%;流速 1.0 mL/min;柱温

30 ℃;进样体积 20.0 μL;测定波长 267 nm。

1.3 数据统计

所有数据均平行测定 3 次,数据采用平均值±标准差表示,采用 Origin 8.5 软件绘制图表,显著性采用 SPSS 16.0 软件进行分析(α=0.05)。

2 结果与分析

2.1 不同温度条件下 6-BA 对西兰花外观品质的影响

在货架期过程中,10、15、20 ℃条件下,6-BA 处理西兰花的外观品质均显著优于 CK(图 1)。例如,20 ℃条件下,6-BA 处理可延迟西兰花黄化 1~2 d;15 ℃条件下,6-BA 处理可延迟西兰花黄化 3~4 d;10 ℃条件下,CK 于 8 d 时黄化明显,而 6-BA 处理于 10 d 时仍能保持西兰花较好的外观品质。

2.2 不同温度条件下 6-BA 对西兰花叶绿素含量的影响

在整个贮藏过程中,不同温度条件下西兰花的叶绿素含量均呈现下降趋势(图 2)。同一温度条件下,处理组西兰花叶绿素的含量均显著高于 CK(P<0.05)。尤其在 10 ℃条件下,贮藏 10 d 时,6-BA 处理组西兰花的叶绿素含量约为 CK 的 5 倍,从而说明 6-BA 具有良好的护绿效果。

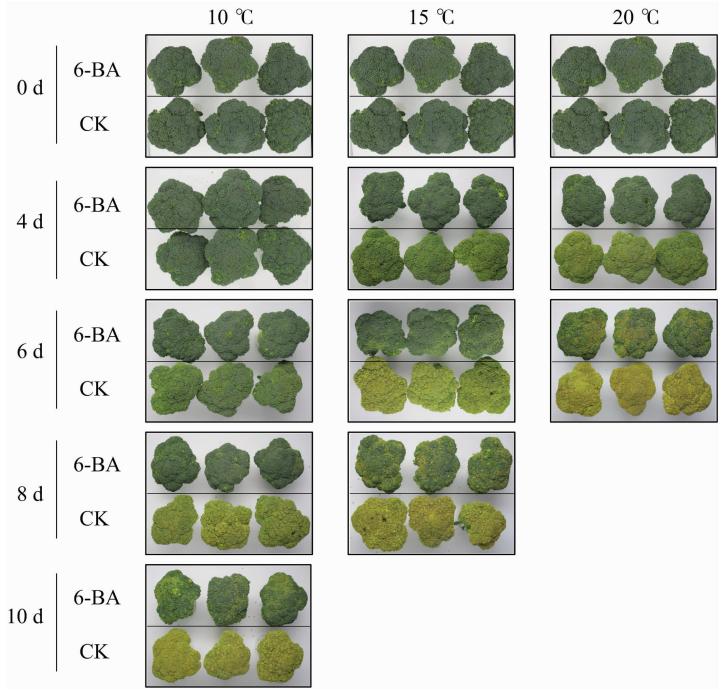


图1 不同温度条件下 6-BA 对西兰花外观品质的影响

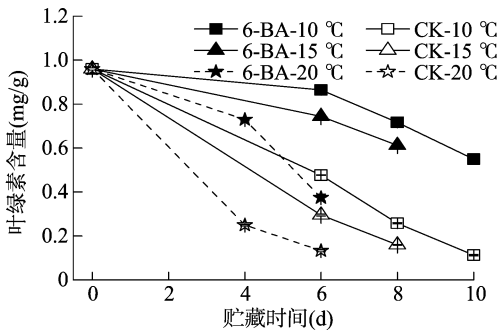


图2 不同温度条件下 6-BA 对西兰花叶绿素含量的影响

2.3 不同温度条件下 6-BA 对西兰花色差的影响

$a^*$  值为负表示绿色,  $b^*$  值为正表示黄色, 正值越大颜色越黄。不同温度条件下, 西兰花花球  $a^*$  值和  $b^*$  值均呈现增大趋势, 表明西兰花花球开始变黄。所有 CK 组西兰花的黄化趋势均显著高于 6-BA 组( $P<0.05$ ), 说明 6-BA 处理能有效减缓采后西兰花的黄化进程。其中, 20 ℃贮藏西兰花的黄化最为显著。例如, 贮藏 6 d 时, CK-20 ℃组  $a^*$  值由初始值 -12.06 增加至 -3.96, 而 6-BA-20 ℃组西兰花  $a^*$  值仅为 -10.40; CK-20 ℃组  $b^*$  值比 6-BA-20 ℃组西兰花  $b^*$  值高 12.37(表 1)。

表 1 不同温度条件下 6-BA 对西兰花花球色差的影响

处理	时间 (d)	10 ℃		20 ℃		15 ℃	
		<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *	<i>a</i> *	<i>b</i> *
6-BA	0	-12.06 ± 0.015e	13.48 ± 0.037g	-12.06 ± 0.015d	13.48 ± 0.037e	-12.06 ± 0.015c	13.48 ± 0.037c
	6	-11.75 ± 0.013d	13.86 ± 0.041f	-11.58 ± 0.021c	19.42 ± 0.052d	-10.40 ± 0.056b	26.40 ± 0.124b
	8	-11.54 ± 0.028c	16.51 ± 0.035e	-10.26 ± 0.113b	24.72 ± 0.026c	—	—
	10	-10.78 ± 0.012b	21.14 ± 0.043c	—	—	—	—
CK	0	-12.06 ± 0.015e	13.48 ± 0.037g	-12.06 ± 0.015d	13.48 ± 0.037e	-12.06 ± 0.015c	13.48 ± 0.037c
	6	-11.42 ± 0.111c	20.93 ± 0.040d	-10.32 ± 0.016b	32.62 ± 0.062b	-3.96 ± 0.025a	38.77 ± 0.155a
	8	-10.76 ± 0.018b	31.89 ± 0.055b	-7.86 ± 0.070a	39.55 ± 0.072a	—	—
	10	-7.65 ± 0.020a	38.75 ± 0.015a	—	—	—	—

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )。

## 2.4 不同温度条件下 6-BA 对西兰花可溶性蛋白质含量的影响

可溶性蛋白质的含量随货架期时间的增长而降低。不同温度条件下,可溶性蛋白质降低速率不同,温度越高其下降速率越快。20 ℃ 条件下,西兰花可溶性蛋白质下降速率最快,与 0 d 相比,在贮藏 6 d 时,处理组和 CK 西兰花可溶性蛋白质含量分别下降了 4.89、8.85 mg/g;而贮藏 6 d 时,6-BA-10 ℃ 组西兰花的可溶性蛋白质含量仅下降了 0.40 mg/g(图 3)。

## 2.5 不同温度条件下 6-BA 对西兰花可溶性糖含量的影响

西兰花的可溶性糖含量随着货架期时间的延长持续下降,在整个贮藏期间,所有处理组西兰花的可溶性糖含量均显著高于 CK( $P < 0.05$ )。10 ℃ 条件下,在贮藏 8、10 d 时,6-BA 处理组西兰花的可溶性糖含量分别比 CK 高出 1.93、1.38 mg/g(图 4)。可见,6-BA 处理能显著延缓西兰花贮藏期间可溶性糖含量的下降( $P < 0.05$ )。

## 2.6 不同温度下 6-BA 对西兰花内源 6-BA 含量的影响

基于 6-BA 对西兰花采后保鲜的上述有益影响,进一步分析了不同温度贮藏下 6-BA 处理对西兰花组织内源

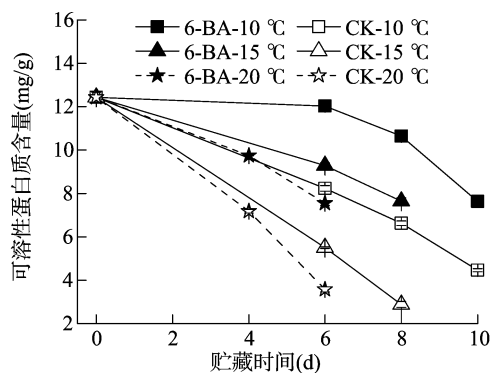


图 3 不同温度条件下 6-BA 对西兰花可溶性蛋白质含量的影响

6-BA 含量的影响。不同贮藏温度条件下,所有西兰花组织中的 6-BA 含量均逐渐上升(图 5)。在贮藏前 6 d,10、15、20 ℃ 这 3 个温度条件下,处理组与 CK 的内源 6-BA 含量之间无显著差异;在贮藏结束时,不同温度条件下,处理组与 CK 的内源 6-BA 含量出现差异( $P < 0.05$ )。同时测定了贮藏于 10 ℃ 10 d 时,西兰花煮熟后组织中的 6-BA 含量变化,通过熟制可降低约 85% 的内源 6-BA 含量(图 6)。

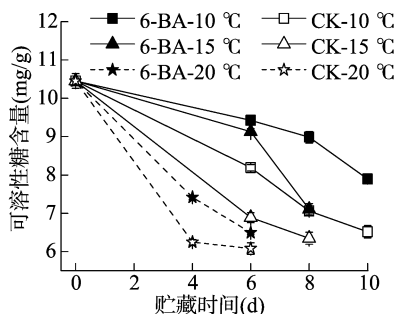


图 4 不同温度条件下 6-BA 对西兰花可溶性糖含量的影响

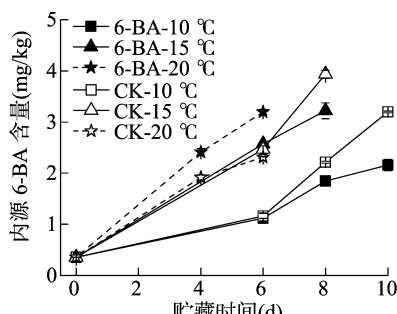


图 5 不同温度下 6-BA 对西兰花内源 6-BA 含量的影响

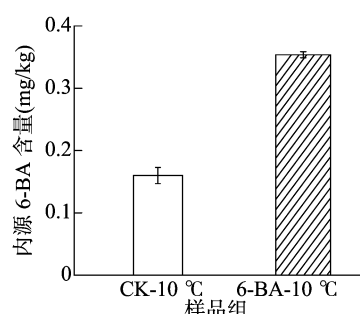


图 6 贮藏 10 d 西兰花熟制后内源 6-BA 含量

## 3 讨论与结论

### 3.1 不同温度条件下 6-BA 处理对西兰花外观品质的影响

西兰花头部为颗粒状致密排列的小花,采收时呼吸代谢旺盛,在室温条件下极易褪绿、黄化,耐贮性差<sup>[17]</sup>。本试验表明,在 10、15、20 ℃ 贮藏条件下,西兰花外观品质的主要变化为褪绿、黄化,6-BA 处理可有效延缓这 3 种温度贮藏下西兰花组织的黄化,保持其较好的外观品质。在西兰花采后贮藏过程中,叶绿素含量的下降是其衰老的重要标志<sup>[18]</sup>。本研究表明,6-BA 处理可有效减缓西兰花叶绿素含量的降低。

Clarke 等研究也表明,  $2.21 \times 10^{-4}$  mol/L 6-BA 能延缓西兰花叶绿素降解<sup>[19]</sup>。汪峰等研究也显示,15 mL/L 6-BA 处理能保持食荚豌豆较高的叶绿素含量<sup>[20]</sup>。6-BA 处理对组织叶绿素降解的这种抑制可能与其抑制叶绿素酶、脱镁螯合酶和叶绿素降解相关过氧化物酶活性有关<sup>[21-22]</sup>。同时,我们观察到,西兰花组织叶绿素含量的下降导致其花蕾由深绿色变为亮黄色,色差分析表明其组织的  $a^*$  值和  $b^*$  值均增加。林本芳等的研究也表明,在贮藏期间西兰花的  $b^*$  值呈上升的趋势<sup>[23]</sup>。岳本芳等的研究也发现,在西兰花贮藏过程中其叶绿素会逐渐分解,同时  $a^*$  值上升<sup>[24]</sup>,本研究结果与之类似。

### 3.2 不同温度条件下 6-BA 处理对西兰花可溶性蛋白质及可溶性糖含量的影响

蛋白质的降解是果蔬组织衰老的重要标志之一,可溶性蛋白质含量可以间接地衡量西兰花体内蛋白质的代谢活动情况<sup>[25]</sup>。本研究发现,整个贮藏期内处理组和对照组的可溶性蛋白质含量均表现出下降趋势(图 3),与陶炜煜等所进行的乙醇处理对最小加工西兰花蛋白质含量的变化规律<sup>[26]</sup>类似。可见,6-BA 处理能够延缓西兰花可溶性蛋白质的降解。

通常,可溶性糖可作为评价西兰花的风味和营养价值的一个重要指标。本研究结果表明,随着贮藏时间的延长,西兰花组织中的可溶性糖含量下降,这与敖静等不同薄膜自发气调包装对西兰花的保鲜效果的研究<sup>[27]</sup>类似。伍新龄等研究也证明,在贮藏期间西兰花可溶性总糖含量逐渐降低<sup>[28]</sup>。

### 3.3 外源 6-BA 处理对采后西兰花内源 6-BA 含量变化的影响

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<sup>[29-30]</sup>。尽管如此,本试验分析了不同贮藏温度下,西兰花组织内源 6-BA 含量的变化规律。研究发现,在整个贮藏过程中,不同温度条件下,6-BA 含量的变化均为逐渐上升的趋势;熟制过后,能有效降低西兰花内源 6-BA 水平。

综上所述,6-BA 处理可以更有效地减缓采后西兰花的黄化和外观品质的下降,显著减缓西兰花叶绿素分解,维持其较高的可溶性蛋白质及可溶性糖含量,因此延缓了西兰花贮藏品质的下降。总之,较对照相比,10、15、20℃条件下,6-BA 处理可使西兰花的保鲜期分别延长 1、3、4 d。

### 参考文献:

- [1] 林本芳,鲁晓翔,李江阔,等. 1-MCP 处理结合冷藏对西兰花品质的影响[J]. 食品科技,2012(12):34-39.
- [2] 李 宁,阎瑞香,张 娜. LED 复合光处理对西兰花低温保鲜效果的影响[J]. 华北农学报,2015(1):188-193.
- [3] 李晓旭,李家政. 西兰花采后生理及保鲜技术研究进展[J]. 北方园艺,2013(14):196-199.
- [4] 黄少文,杨 婕,孙远明,等. 6-苄基腺嘌呤对黄豆芽生长的影响及其残留量测定[J]. 南方农业学报,2015(2):255-259.
- [5] Xu F, Yang Z, Chen X, et al. 6-Benzylaminopurine delays senescence and enhances health-promoting compounds of harvested broccoli[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(1):234-240.
- [6] Siddiqui M W, Singh J P, Nayyer M A, et al. 6-Benzylaminopurine affects lipid peroxidation and membrane permeability and thereby preserves curd quality and antioxidants during storage of cauliflower[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2015, 37(5):1-8.
- [7] 梁凤玲,王 武,杨 妍,等. 青菜贮藏保鲜工艺研究[J]. 食品工业科技,2012,33(13):342-345.
- [8] Zhang Y, Zeng L, Yang J, et al. 6-Benzylaminopurine inhibits growth of *Monilinia fructicola* and induces defense-related mechanism in peach fruit[J]. Food Chemistry, 2015, 187:210-217.
- [9] 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(6):1243-1246.
- [10] 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.
- [11] 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·学刊,2008(8):11-16.
- [12] 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,2000:134-137.
- [13] 纪淑娟,熊振华,程顺昌,等. 1-MCP 和 CO<sub>2</sub> 自发释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.
- [14] 罗淑芬,胡花丽,陈筱艳,等. 气调包装对刀豆贮藏品质及抗氧化酶活性的影响[J]. 食品科学,2015,36(22):260-265.
- [15] 赵世杰,史国安,董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,1998:84-85.
- [16] 王丽萍,闫 林,范 睿,等. 高效液相色谱法测定胡椒叶片中 6-BA 与 GA3 激素含量[J]. 热带农业科学,2012,32(9):60-63.
- [17] 程顺昌,魏宝东,熊振华,等. 西兰花采后贮藏保鲜技术研究进展[J]. 食品科学,2014,35(7):270-275.
- [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(6):1243-1246.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] Costa M L, Civello P M, Chaves A R, et al. Effect of ethephon and 6-benzylaminopurine on chlorophyll degrading enzymes and a peroxidase-linked chlorophyll bleaching during post-harvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.) at 20 degrees C[J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 35(2):191-199.
- [22] Büchert A M, Civello P M, Martínez G A. Chlorophyllase versus pheophytinase as candidates for chlorophyll dephytylation during senescence of broccoli[J]. Journal of Plant Physiology, 2011, 168(4):337-343.
- [23] 林本芳,鲁晓翔,李江阔,等. 不同出库方式对西兰花货架期品质的影响[J]. 食品工业科技,2012,33(24):378-381.
- [24] 岳本芳,周莎莎,李文香,等. 微真空贮藏对西兰花采后品质的影响[J]. 食品研究与开发,2012,33(10):183-187.
- [25] 孙树杰,谢小雷,李文香,等. 山豆根、肉豆蔻及其复合提取液对西兰花保鲜效果的影响[J]. 现代食品科技,2013,31(2):256-260.
- [26] 陶炜煜,韩俊华,牛天贵,等. 乙醇处理对最小加工西兰花生理和品质的影响[J]. 食品科技,2006,31(4):43-46.
- [27] 敖 静,张昭其,黄雪梅. 不同薄膜自发气调包装对西兰花的保鲜效果[J]. 广东农业科学,2015,42(2):77-81.
- [28] 伍新龄,张 娜,张晓洁,等. LED 红蓝复合光间歇照射对西兰花贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工,2015(5):6-10.
- [29] 张志恒,胡桂仙,汪 雯,等. 豆芽中 6-苄基腺嘌呤残留的膳食风险评估[J]. 农药学报,2016,18(1):77-85.
- [30] 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,2015,42(3):70-73,78.