

不同外源补充对西兰花采后贮藏品质的影响

普红梅¹, 王海丹¹, 杨芳¹, 帅良², 于丽娟¹, 李雪瑞¹, 李宏^{1*}

(1. 云南省农业科学院农产品加工研究所, 云南昆明 650000)

(2. 贺州学院食品与生物工程学院, 食品科学与工程技术研究院, 广西贺州 542899)

摘要: 为探索外源补充对采后西兰花保鲜的作用效果, 本文以清水为对照, 分别采用 200 mg/L 赤霉素 (GA)、200 mg/L 赤霉素 (GA) + 无机盐营养液、50 mg/L 6-苄基腺嘌呤 (6-BA)、无机盐营养液、50 mg/L 6-苄基腺嘌呤 (6-BA) + 无机盐营养液等 5 种处理, 通过对西兰花贮藏期外观 (色差)、营养物质 (维生素 C、可溶性固形物、叶绿素、水分活度) 及其他生理生化指标 (质量损失率、相对电导率、丙二醛含量) 的比较分析, 结果表明: 与 CK 相比, 西兰花采后外源补充可以有效抑制质量损失率、延缓相对电导率和丙二醛含量的上升, 抑制叶绿素降解, 有利于西兰花采后保持较高的水分、维生素 C 含量和可溶性固形物含量。200 mg/L 赤霉素 + 无机盐营养液处理的西兰花, 贮藏 28 d 时维持最高的 TSS 含量 (7.27%) 和 Vc 含量 (27.53 mg/100 g Fw), 较高的叶绿素含量 (5.57 mg/100g Fw), 最低的 MDA (15.31 nmol/g Fw), 是 5 种外源补充中最好的西兰花采后保鲜方法。

关键词: 西兰花; 采后; 外源补充; 保鲜

文章编号: 1673-9078(2022)10-162-169

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.10.1412

Effects of Different Exogenous Supplements on the Quality of Stored Broccoli

PU Hongmei¹, WANG Haidan¹, YANG Fang¹, SHUAI Liang², YU Lijuan¹, LI Xuerui¹, LI Hong^{1*}

(1. The Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650000, China) (2. College of Food and Biological Engineering, Institute of Food Science and Engineering Technology, Hezhou University, Hezhou 542899, China)

Abstract: This study tested the effects of five exogenous supplement treatments on the preservation of harvested broccoli. Treatments included 200 mg/L gibberellic acid (GA), 200 mg/L GA + inorganic salt nutrient solution, 50 mg/L 6-benzylaminopurine (6-BA), inorganic salt nutrient solution, and 50 mg/L 6-BA + inorganic salt nutrient solution, with water as the control. The appearance (color change), nutrient content (vitamin C, total soluble solids, chlorophyll, and water activity), and other physiological and biochemical characteristics (mass loss rate, relative conductivity, and malondialdehyde content) of broccoli samples in different treatment groups were analyzed and compared over the storage period. The exogenous supplements effectively inhibited increases in mass loss rate, relative conductivity, and malondialdehyde content, as well as suppressed chlorophyll degradation and maintained higher water, vitamin C, and total soluble solid content. In particular, the treatment consisting of 200 mg/L GA + inorganic salt nutrient solution maintained the highest total soluble solid (7.27%) and vitamin C (27.53 mg/100 g fresh weight [Fw]) contents, a high chlorophyll content (5.57 mg/100 g Fw), and the lowest malondialdehyde content (15.31 nmol/g Fw) after 28 days of storage; hence, it is recommended as the best preservation method among the five tested treatments.

Key words: broccoli; postharvest; exogenous supplement; preservation

引文格式:

普红梅,王海丹,杨芳,等.不同外源补充对西兰花采后贮藏品质的影响[J].现代食品科技,2022,38(10):162-169

PU Hongmei, WANG Haidan, YANG Fang, et al. Effects of different exogenous supplements on the quality of stored broccoli [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(10): 162-169

收稿日期: 2021-12-15

基金项目: 农产品加工创新团队培育 (202102AE090036-13); 云南省“绿色食品品牌”打造科技支撑行动 (精深加工) 专项 (2021-2023)

作者简介: 普红梅 (1986-), 女, 硕士研究生, 助理研究员, 研究方向: 农产品加工及贮藏保鲜, E-mail: huamei.dali@163.com

通讯作者: 李宏 (1974-), 男, 研究员, 研究方向: 农产品加工, E-mail: lihong@yaas.org.cn

西兰花 (*Brassica oleracea*L. var. *Italica* Piench), 又名青花菜、绿菜花、嫩茎花椰菜, 属于十字花科芸苔属甘蓝的一个变种^[1], 原产于意大利, 20 世纪初传入中国, 有“蔬菜皇冠”的美誉, 其 Vc 含量是菜花的 3 倍, 番茄的 4 倍^[2]; 可消除自由基^[3]和致癌物^[4], 并在延缓衰老、提高免疫力、预防心血管疾病以及促进矿质元素吸收方面有重要的作用, 是一种集营养保健和观赏于一体的高档蔬菜。

西兰花凭借清爽的口感、丰富的营养价值及广泛的保健作用受到人们的青睐。近年来消费需求和出口量不断增加, 促使我国的种植规模和种植面积不断扩大。西兰花食用部分为幼嫩的花蕾和小花茎, 采后代谢旺盛。但在西兰花采后, 维持其正常代谢所必需的水分、养分不能及时得到补充, 导致营养流失, 功能减退^[5-7], 出现黄化、褐变、褪色、老化等问题, 常温下一般 2~3 d 就会失绿转黄, 严重限制了其销售。目前, 西兰花采后主要贮藏和保鲜技术包括物理保鲜技术 (光照处理、气调处理、低温保鲜与气调相结合、热处理、微真空处理、减压冷藏、涂膜保鲜)、化学保鲜技术 (乙醇处理、臭氧处理、1-甲基环丙烯处理)、生物保鲜剂 (生物素、植物提取液) 等^[8]。这些方法可以在一定程度上延长西兰花的保鲜期, 但是不能实现减少贮藏过程中营养物质损失, 以及保持原有外观和口感的目的。

李军生等^[9,10]研究的植物组织培养保鲜法, 即在采后补充必需的水分、养分及必要的植物生长调节剂, 弥补采后水分、养分损耗, 以达到延长保鲜期的目的。姚迪^[11]的研究表明, 蔗糖处理延缓了青花菜花球的黄化, 提高了青花菜的抗氧化能力, 保持了青花菜较高的营养品质。陈双颖等^[12]的研究表明, 赤霉素 (GA) 和 6-苄基腺嘌呤 (6-BA) 可有效延缓采后青花菜的衰老进程。项目组前期采用浸泡无机盐营养液进行西兰花保鲜, 发现无机盐营养液补充能显著改善西兰花采后黄化问题, 但由于西兰花采摘切口较大, 长时间浸泡无机盐营养液后腐烂严重, 因此西兰花采后不宜长时间浸泡无机盐营养液。为探索西兰花高效保鲜方法, 文章在前期实验和姚迪^[11]、陈双颖等^[12]前人实验的基础上, 以清水为对照, 分别采用 200 mg/L GA、200 mg/L GA+无机盐营养液、50 mg/L 6-BA、无机盐营养液、50 mg/L 6-BA+无机盐营养液等 5 种外源补充方案, 通过西兰花贮藏期外观 (色差)、营养物质 (Vc、

TSS、叶绿素、水分活度) 及其他生理生化指标 (质量损失率、相对电导率、MDA 含量) 的比较分析, 以期获得较好的西兰花采后保鲜方法, 为西兰花产业的发展提供科技支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

西兰花: 选择大棚栽培的“强悍”品种, 实验当天采摘自嵩明伟诚蔬菜种植有限公司基地, 选择大小均匀、无病虫害、无机械伤的植株。

主要仪器设备: ATAGO (爱拓) PR-101 α 型数字式糖度仪, 广州市爱宕科学仪器公司; 柯尼卡美能达 CM-5 色差计, 柯尼卡美能达 (中国) 投资有限公司; 雷磁 DDS-307 型电导率仪, 上海仪电科学仪器股份有限公司 (原上海精科雷磁); 美谱达 UV-1800 紫外可见分光光度计, 上海美谱达仪器有限公司;

实验试剂: $w=99.5\%$ 草酸、 $w=99\%$ 钼酸铵、 $\rho=5\%$ 硫酸、 $\rho=99.5\%$ 醋酸、 $w=38\%$ 偏磷酸、 $\rho=95\%$ 乙醇, 天津市风船化学试剂科技有限公司; 62.2~66.7 度蔗糖, 上海源叶生物科技有限公司; $w=98\%$ L-精氨酸 (食品级), 江苏奥福生物科技有限公司; $w=99\%$ 硫酸镁 (食品级), 南通英瑞达生物科技有限公司; $w=99.5\%$ 氯化钾 (食品级), 山东鲁源药业有限公司; 6-BA, 纯度 99%, sigma 公司; GA, 纯度 >90%, 上海伯奥生物科技有限公司; MDA 试剂盒, 苏州科铭生物技术有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 实验处理

原料处理: 西兰花采收以后放入装有冰袋的泡沫箱中进行预冷, 并及时运回实验室。选择花球大小 12~15 cm 的西兰花, 剔除老叶, 保留 3~5 个外叶, 5 cm 左右花茎。

实验设计: 首先, 在参考前人的基础上^[2,12,13], 以黄化、萎蔫和腐烂为指标, 进行观测实验, 初步筛选出效果较好的处理; 然后选择效果较好的外源补充 (详见表 1) 进行浸泡处理 10 min 后, 取出晾干表明水分, 用 PE 保鲜袋单颗包装以后放入冷库中进行贮藏, 每个处理分为观察组 (15 颗) 和取样组 (30 颗), 分别进行三次重复, 每周进行指标观测, 研究西兰花贮藏期感官品质以及理化成分的变化情况。

表1 不同外源补充实验设计

Table 1 Different exogenous supplement experimental treatments

项目	处理	说明
处理1	CK	蒸馏水
处理2	200 mg/L GA	称取 1 g GA 用少许 $\varphi=95\%$ 乙醇溶解以后, 用蒸馏水定容至 5 L。
处理3	200 mg/L GA+无机盐营养液	称取 1 g GA 用少许 $\varphi=95\%$ 乙醇溶解以后, 用无机盐营养液定容至 5 L。
处理4	50 mg/L 6-BA	称取 0.2 g 6-BA 用少许 $\varphi=95\%$ 乙醇溶解以后, 用蒸馏水定容至 4 L。
处理5	无机盐营养液	按照以下浓度配置 5 L: 0.2 mmol/L L-精氨酸、 $w=6\%$ 蔗糖、 $w=0.2\%$ 硫酸镁、 $w=0.1\%$ Vc、 $w=0.02\%$ KCl、 $w=0.04\%$ 山梨酸钾。
处理6	50 mg/L 6-BA+无机盐营养液	称取 0.2 g 6-BA 用少许 $\varphi=95\%$ 乙醇溶解以后, 用无机盐营养液定容至 4 L。

1.2.2 指标测定

1.2.2.1 色差测定

参照周鑫^[14]的方法, 用色差仪分别测定每颗西兰花花球上的五点(顶点以及周围四个点), 记录每个点 L^* 、 a^* 、 b^* 值, 求平均值表示色差值。

1.2.2.2 质量损失率

参照普红梅等^[15]的方法, 采用称重法。分别测定待测花球贮藏起始质量与贮藏中第 n 次取样测定的质量。

$$S = \frac{M_0 - M_n}{M_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

S ——质量损失率, %;

M_0 ——花球贮藏起始质量, g;

M_n ——贮藏中第 n 次取样测定的质量, g。

1.2.2.3 TSS 测定

称取适量样品, 研磨成浆, 使用 ATAGO (爱拓) PR-101 α 型数字式糖度仪进行测定。

1.2.2.4 Vc 含量测定

采用 2,6-二氯酚法, 称取 50 g 西兰花, 加入 50 mL $w=2\%$ 草酸, 匀浆机打碎后, 八层纱布过滤, 取 10 mL 滤液, 用 0.05% 2,6-二氯酚进行测定。

1.2.2.5 相对电导率

准确称取 1.00 g 西兰花, 放入带刻度的离心管中, 用蒸馏水清洗 3 次, 震荡后静置 10 min。用 DDS-307 型电导仪测定电导率 P_1 。再在沸水中煮 20 min 后, 冷却至室温后, 测定电导率 P_2 。每处理 3 次重复, 以平均值表示该处理相对电导率值。

$$D = \frac{P_1}{P_2} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

D ——相对膜透性, %;

P_1 ——沸水煮前电导率;

P_2 ——沸水煮后电导率。

1.2.2.6 MDA 含量的测定

参照郝建军等^[16]的方法, 采用硫代巴比妥酸法(试剂盒)测定。

1.2.2.7 叶绿素采用分光光度计法测定

参照林本芳^[17]的方法, 称取打浆的西兰花 1 g 置于 100 mL 的三角瓶中, 加入 20 mL 混合液(无水乙醇和丙酮 1:1), 放在黑暗处 24 h, 过滤测定 645、663 nm 处的吸光度值, 并计算叶绿素含量。

$$H = \frac{(20.0A_{645} + 8.02A_{663}) \times V}{1000 \times W} \quad (3)$$

式中:

H ——叶绿素含量;

A_{645} ——645 nm 处的吸光度;

A_{663} ——663 nm 处的吸光度;

V ——稀释倍数;

W ——样品质量, g。

1.2.2.8 感官评分

邀请经过培训的感官评定人员 5 人, 参照孙树杰等^[18]和等 Jacxsens^[19]的方法, 采用 10 分制评分法进行贮藏中感官评分。首先对不同处理的鲜切西兰花根据气味、色泽、腐败情况、质地(硬度和脆度)共 4 项指标分别进行评价, 各项指标均按 5 级标准打分方法, 各级分值依次为 9~10、7~8、5~6、3~4、1~2 分; 以气味、色泽、腐败情况、质地 4 个感官评定指标评定分数的平均数表示测定结果, 5 人平均值表示最终感官分数。其具体评分标准见表 2。

1.2.3 数据处理

采用 Excel 2010 进行数据统计, SPASS 22 进行数据显著性分析(多重比较), Origin 2017 绘图。

表2 西兰花感官评分标准表

Table 2 Sensory scoring standard of broccoli

指标	9~10分	7~8分	5~6分	3~4分	1~2分
颜色	目测不到花蕾变黄或黄化面积小于整个花球的5%	5%<黄化面积占整个花球的面积<25%	25%<黄化面积占整个花球的面积<50%	50%<黄化面积占整个花球的面积<75%	75%<黄化面积占整个花球的面积
花球组织状态	花球结构紧凑花蕾饱满	花球略散或花球小面积萎蔫失水	局部开始松散、掉粒或严重脱水	外部小花束明显与中心分散, 整棵花球掉粒	组织结构严重松散, 掉粒严重
茎部质地	硬度大、脆度大	脆度硬度降低、开始枯竭	切口向内凹陷、表皮组织变软	整体萎缩、褶皱	腐烂, 变软
霉变腐烂程度	新鲜、无腐败	无腐败, 有较为明显的失水黄化现象	无腐败, 但失水严重, 不新鲜	<30%腐败变质	30%以上腐败变质

表3 感官评定结果

Table 3 The results of sensory evaluation (score)

项目	贮藏时间/d				
	0	7	14	21	28
CK	10.00±0.00 ^a	7.54±0.33 ^a	5.19±0.63 ^b	4.42±0.20 ^c	3.98±0.15 ^b
200 mg/L GA	10.00±0.00 ^a	7.84±0.09 ^a	5.95±0.13 ^b	5.13±0.23 ^{bc}	4.83±0.10 ^a
200 mg/L GA+无机盐营养液	10.00±0.00 ^a	8.03±0.12 ^a	7.78±0.37 ^a	6.67±0.27 ^a	5.12±0.38 ^a
50 mg/L 6-BA	10.00±0.00 ^a	7.64±0.54 ^a	5.42±0.22 ^b	4.48±0.51 ^c	4.00±0.42 ^b
无机盐营养液	10.00±0.00 ^a	7.74±0.48 ^a	5.66±0.39 ^b	4.75±0.49 ^c	4.24±0.07 ^b
50 mg/L 6-BA+无机盐营养液	10.00±0.00 ^a	7.68±0.20 ^a	6.72±0.08 ^b	5.49±0.48 ^b	4.24±0.28 ^b

注: 相同字母表示同一列数值之间差异不显著 ($p < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同外源补充对贮藏中西兰花感官评分的影响

感官评价可辅助判断果蔬的货架期。贮藏初期西兰花颜色翠绿、花球紧实、质地脆嫩。由表3可见, 西兰花的感官评分随着贮藏时间的延长而不断降低, 相同贮藏时间条件下, 外源补充的各个处理感官评分均高于CK处理, 说明添加外源补充利于西兰花采后保鲜。CK处理的西兰花在贮藏的14d花球已出现明显的退绿变黄, 完全失去商品价值。200 mg/L GA、50 mg/L 6-BA和无机盐营养液处理的西兰花在贮藏的14d花球整体出现轻微黄化和失水, 基本失去商品性; 200 mg/L GA+无机盐营养液和50 mg/L 6-BA+无机盐营养液处理, 贮藏至14d时花球顶部出现部分黄化, 花球大部分仍呈淡绿色, 尚有一定商品价值。表明外源补充生长素和无机盐营养液可延缓西兰花的退绿黄化进程, 提高西兰花的感官品质, 其中200 mg/L GA+无机盐营养液处理和50 mg/L 6-BA+无机盐营养液处理西兰花保鲜效果最好。

2.2 不同外源补充对贮藏中西兰花色差的影响

L^* 值表示明暗度, 从大(100)到小(0)由白色向黑色渐变。由图1可见, 随着贮藏时间的延长, 贮藏中西兰花的 L^* 值呈现先升高后降低的趋势, 贮藏前14d的 L^* 值不断上升, 14d时各个处理的 L^* 值最高, CK、200 mg/L GA、200 mg/L GA+无机盐营养液、50 mg/L 6-BA、无机盐营养液、50 mg/L 6-BA+无机盐营养液处理的 L^* 值分别为47.42、45.56、46.27、48.49、47.97和46.31, 各个处理之间无显著差异 ($p < 0.05$)。14d以后各个处理的 L^* 值下降, 说明西兰花贮藏14d以后亮度降低, 这可能是由于贮藏中西兰花失水, 导致花球表明光泽度降低。14d后随着贮藏时间的延长, 各个处理之间的 L^* 值差异逐渐增加, 但各个处理之间无显著差异 ($p < 0.05$), 说明外源补充对西兰花采后贮藏中 L^* 值影响较小。

a^* 值表示红绿值, +表示偏红, -表示偏绿; 色度 b^* 值表示黄蓝, +表示偏黄, -表示偏蓝。

由图2可见, 西兰花的初始 a^* 值为-7.20, 表示新鲜西兰花的颜色为绿色, 随着贮藏时间的延长, a^* 值不断增加, 上升趋势由低到高依次为: 200 mg/L GA、200 mg/L GA+无机盐营养液、50 mg/L 6-BA+无机盐营

养液、无机盐营养液、CK 和 50 mg/L 6-BA, 200 mg/L GA 处理的西兰花 a^* 值上升最为缓慢。28 d 时, 200 mg/L GA 和 200 mg/L GA+无机盐营养液处理的 a^* 值显著低于 CK 处理, 其余各个处理与 CK 无显著差异 ($p < 0.05$), 说明 200 mg/L GA 和 200 mg/L GA+无机盐营养液处理能有效抑制西兰花采后黄化, 较好的维持西兰花采后的绿色。

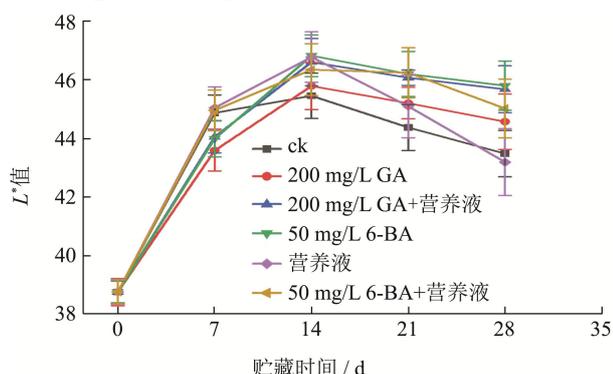


图1 不同处理对贮藏中西兰花 L^* 值的影响

Fig.1 Effect of different treatments on the L^* value of broccoli in storage

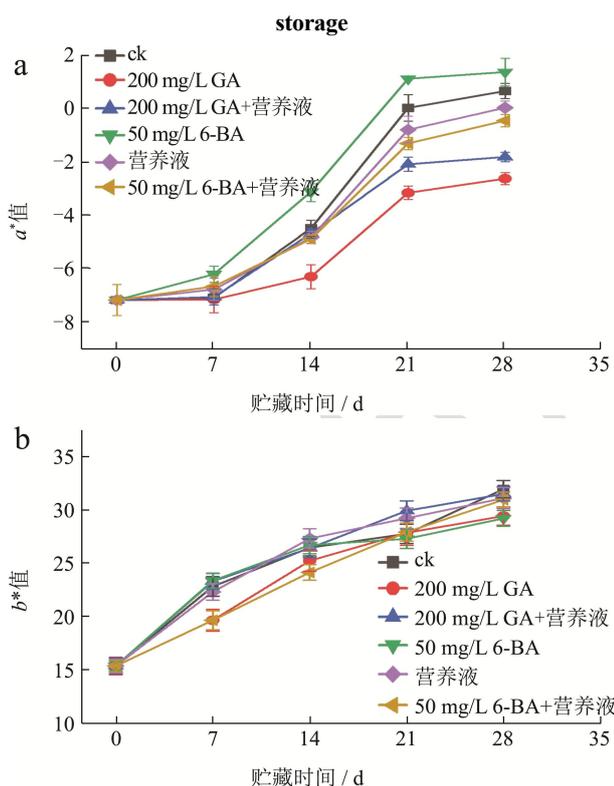


图2 不同处理对贮藏中西兰花 a^* 值和 b^* 值的影响

Fig.2 Effect of different treatments on the a^* and b^* value of broccoli in storage

西兰花贮藏中 b^* 值不断升高, 表示西兰花贮藏中不断变黄。本实验中西兰花初始 b 值为 15.29, 贮藏到 28 d 时 CK、200 mg/L GA、200 mg/L GA+无机盐营养液、50 mg/L 6-BA、无机盐营养液、50 mg/L 6-BA+无机盐营养液处理的 b 值分别为 31.94、29.41、30.49、29.18、31.09

和 30.94, 各个处理之间无显著差异 ($p < 0.05$), 说明不同营养配方对贮藏中西兰花 b^* 值影响较小。

2.3 不同外源补充对贮藏中西兰花质量损失率的影响

由图 3 可见, 贮藏中西兰花的质量损失率随着贮藏时间的延长不断增加, 且随着贮藏时间的延长, 不同处理间质量损失率差距逐渐增大。由图 3 可见, 外源补充处理的质量损失率低于 CK 处理, 说明外源补充可以抑制西兰花的质量损失率。贮藏到 28 d 时, 50 mg/L 6-BA 处理的质量损失率 1.32% 最高, 其次为 200 mg/L GA+无机盐营养液的 1.29% 和无机盐营养液处理的 1.24%, 且三个处理之间无显著差异 ($p < 0.05$), 但显著高于 50 mg/L 6-BA+无机盐营养液 (1.03%)、CK (1.05%) 和 200 mg/L GA (0.96%) 处理 ($p < 0.05$); 200 mg/L GA (0.96%)、50 mg/L 6-BA+无机盐营养液 (1.03%) 和 CK (1.05%) 三者之间也无显著差异 ($p < 0.05$)。CK 处理的质量损失率最低, 原因可能是 CK 处理只补充蒸馏水, 所以西兰花的组织活性较补充了生长素和无机盐营养液的要低, 因此代谢消耗较慢。在几种外源补充中, 200 mg/L GA 和 50 mg/L 6-BA+无机盐营养液处理较有利于延缓西兰花贮藏中的质量损失。

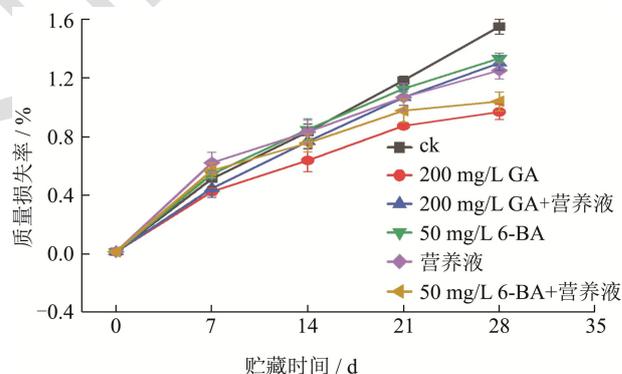


图3 不同处理对贮藏中西兰花质量损失率的影响

Fig.3 Effect of different treatments on the quality loss rate of broccoli in storage

2.4 不同外源补充对贮藏中西兰花相对电导率的影响

贮藏过程中随着贮藏时间的延长, 果皮细胞膜的完整性被破坏, 电解质外渗, 导致电导率值增大, 因此可以用相对电导率反映果皮细胞膜的完整程度。由图 4 可见, 随着贮藏时间的延长西兰花相对电导率值不断增加, 且贮藏时间越长, 各个处理之间的相对电导率差异越大。由图可见 14 d 为分界点: 14 d 以前,

所有处理的相对电导率值较低, 14 d 时 200 mg/L GA+无机盐营养液处理的相对电导率值显著低于 CK 处理, 其余处理与 CK 之间无显著差异 ($p < 0.05$)。14 d 以后相对电导率值增加较快, 且各个处理之间的差异不断加大。28 d 时, 200 mg/L GA、CK、无机盐营养液、50 mg/L 6-BA+无机盐营养液和 50 mg/L 6-BA 五个处理之间无显著差异 ($p < 0.05$), 均显著高于 200 mg/L GA+无机盐营养液处理, 说明 200 mg/L GA+无机盐营养液处理有利于西兰花细胞膜完整性最好。

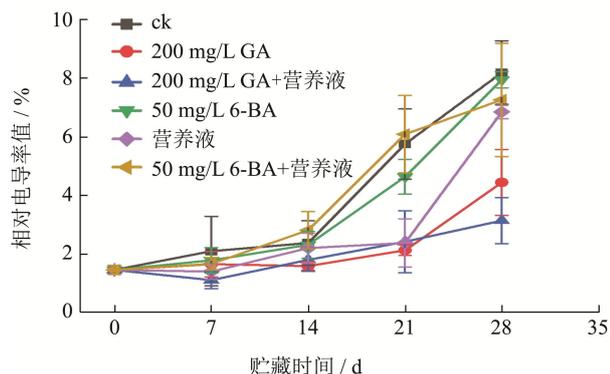


图 4 不同处理对贮藏中西兰花相对电导率的影响

Fig.4 Effect of different treatments on the relative conductivity

of broccoli in storage. 2.5 不同外源补充对贮藏中西

兰花叶绿素含量的影响

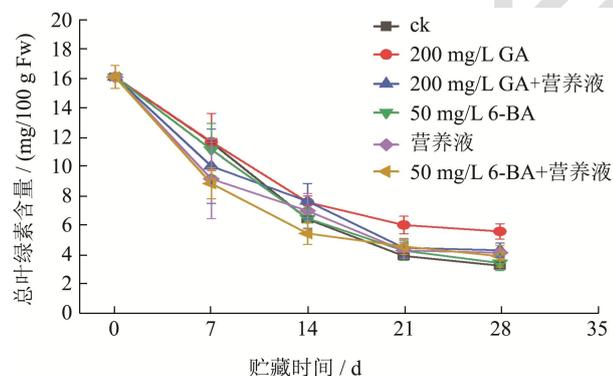


图 5 不同处理对贮藏中西兰花叶绿素含量的影响

Fig.5 Effect of different treatments on the chlorophyll content of broccoli during storage

叶绿素含量是评定蔬菜营养价值的重要参数, 可反映蔬菜的黄化程度。由图 5 可见, 西兰花初始叶绿素含量为 16.10 mg/100 g Fw, 贮藏中叶绿素含量逐渐下降, 其中 200 mg/L GA 处理的叶绿素含量下降最慢。贮藏 28 d 时, 叶绿素含量由高到低分别为 200 mg/L GA 处理 (5.57 mg/100 g Fw)、200 mg/L GA+无机盐营养液处理 (4.28 mg/100 g Fw)、无机盐营养液处理 (4.12 mg/100 g Fw), 50 mg/L 6-BA+无机盐营养液处理 (3.88 mg/100 g Fw)、50 mg/L 6-BA 处理

(3.41 mg/100 g Fw) 和 CK 处理 (3.23 mg/100 g Fw), 其中 200 mg/L GA 处理的叶绿素含量显著高于其余处理 ($p < 0.05$)。

6-BA 具有抑制植物叶内叶绿素降解, 保绿防老的作用。尹攀攀等^[20]的研究表明 6-BA 处理能显著延缓西兰花叶绿素的分解, 而本实验中添加了 GA 处理的西兰花叶绿素含量保持更高, 其中 200 mg/L GA 处理效果最显著。

2.6 不同外源补充对贮藏中西兰花 Vc 含量的

影响

Vc 是果蔬品质的一个重要指标, 也是一种重要的营养成分, Vc 还能有效抑制酶促褐变的发生, 故 Vc 含量的变化可作为果蔬贮藏品质变化的指标之一。由图 6 可见西兰花的初始 Vc 含量为 56.16 mg/100 g Fw, 随着贮藏时间的延长西兰花的 Vc 含量快速下降, 且前 7 d 下降速率较快, 7 d 后缓慢下降。28 d 时, 200 mg/L GA 处理的 Vc 含量 26.18 mg/100 g Fw 显著高于其余处理 ($p < 0.05$), 其次是 200 mg/L GA+无机盐营养液 (23.43 mg/100 g Fw)、50 mg/L 6-BA+无机盐营养液 (22.98 mg/100 g Fw)、无机盐营养液处理 (19.72 mg/100 g Fw), 均显著高于 CK 处理 (17.95 mg/100 g Fw) ($p < 0.05$), 50 mg/L 6-BA 处理 (14.31 mg/100 g Fw) 显著低于 CK 处理 ($p < 0.05$)。说明添加无机盐营养液有利于延缓贮藏中西兰花 Vc 的降解, 其中 200 mg/L GA 处理的效果最显著。

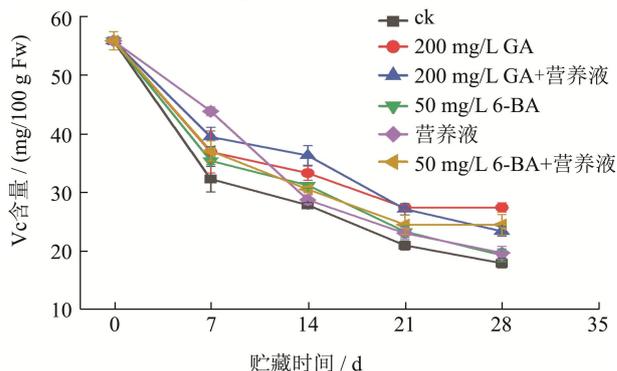


图 6 不同处理对贮藏中西兰花维生素 C 含量的影响

Fig.6 Effect of different treatments on the vitamin C content of broccoli during storage

2.7 不同外源补充对贮藏中西兰花 TSS 含量的

影响

可溶性固形物是果蔬体内所有可溶性化合物的总称, 包括矿物质、糖等。通常, 随着贮藏时间的延长,

果蔬将逐渐衰老, 由于植物组织呼吸作用的消耗, 其 TSS 含量逐渐降低。

由图 7 可知, 西兰花的 TSS 含量随着贮藏时间的延长不断降低, 其中 CK 处理的西兰花 TSS 含量始终最低, 说明外源补充可缓解贮藏中西兰花的 TSS 下降。贮藏中不同处理的西兰花 TSS 含量由高到低依次为: 200 mg/L GA+无机盐营养液处理、50 mg/L 6-BA+无机盐营养液处理、50 mg/L 6-BA 处理、无机盐营养液处理和 200 mg/L GA 处理。28 d 时添加了无机盐营养液的 200 mg/L GA+无机盐营养液处理和 50 mg/L 6-BA+无机盐营养液处理的 TSS 含量显著高于其他处理 ($p < 0.05$), 可能原因是无机盐营养液成分中添加了蔗糖等导致 TSS 含量的增加。刘红艳^[2]研究表明 6-BA 能够有效减缓贮藏期间西兰花组织可溶性糖下降, 本研究中贮藏前 21 d, 50 mg/L 6-BA 和 50 mg/L 6-BA+无机盐营养液处理的西兰花 TSS 含量保持较高, 但 28 d 时快速下降, 说明 6-BA 减缓西兰花 TSS 含量下降作用只在前 21 d 有效, 更长时间无效果。

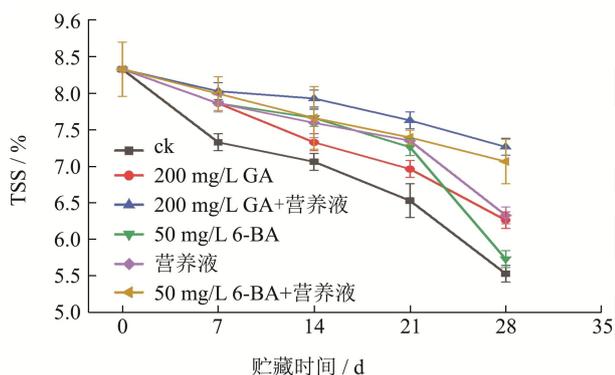


图 7 不同处理对贮藏中西兰花 TSS 含量的影响

Fig.7 Effect of different treatments on TSS content of broccoli in storage

2.8 不同外源补充对贮藏中西兰花 MDA 含量的影响

MDA 是膜脂过氧化作用的产物, 其含量的高低是衡量植物衰老程度的指标之一^[21]。MDA 含量的增加是活性氧代谢失调与积累造成, 测定丙二醛含量可直接反映植物体细胞脂膜过氧化程度, 并且能间接的反应果实的衰老退化程度^[22,23]。

由图 8 可见, 随着贮藏时间的延长, 西兰花 MDA 含量逐渐上升, 不同处理中 CK 处理的 MDA 含量始终保持最高, 其次为 50 mg/L 6-BA+无机盐营养液处理; 200 mg/L GA、200 mg/L GA+无机盐营养液、无机盐营养液和 50 mg/L 6-BA 四个处理之间差异较小。说明补充营养可以延缓 MDA 的生成, 有利于延缓贮藏中西兰

花的衰老, 其中效果最好的为 200 mg/L GA+无机盐营养液。这与许凤^[24]的研究结果 200 mg/L 6-BA 处理显著抑制了青花菜丙二醛 (MDA) 的增长结果一致。

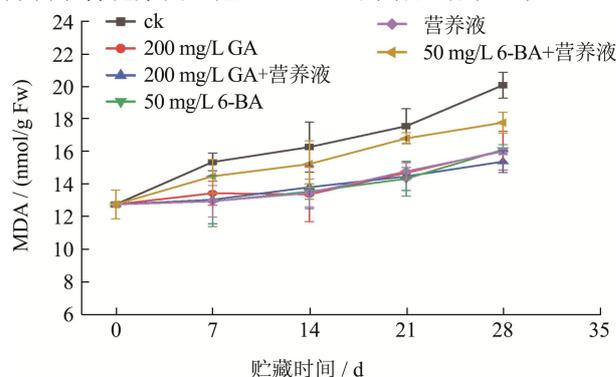


图 8 不同处理对贮藏中西兰花 MDA 含量的影响

Fig.8 Effect of different treatments on the MDA content of broccoli in storage

3 结论

与 CK 相比, 西兰花采后外源补充可以有效抑制质量损失率、相对电导率和 MDA 含量的上升, 抑制叶绿素降解, 有利于西兰花采后保持较高的水分、Vc 含量和 TSS 含量。

200 mg/L GA+无机盐营养液处理使西兰花贮藏 28 d 时维持最高的 TSS 含量 (7.27%) 和 Vc 含量 (27.53 mg/100 g Fw), 较高的叶绿素含量 (5.57 mg/100 g Fw), 最低的 MDA (15.31 nmol/g Fw), 是较好的西兰花采后保鲜方法。

参考文献

- [1] 王顺玉,黄小凤,刘瑶,等.不同预冷方式对西兰花货架期品质的影响[J].食品工业科技,2020,41(20):266-272
- [2] 刘红艳.6-氨基嘌呤对采后鲜切西兰花营养品质及保鲜机理的研究[D].扬州:扬州大学,2017
- [3] 吴广辉,毕韬韬.西兰花营养价值及深加工研究进展[J].农产品加工,2015,21:61-63
- [4] Tilaar W, Ashari S, Yanuwadi B, et al. Synthesis of sulfuraphane during the formation of plantlets from broccoli (*Brassica oleracea* L var *italica*) in vitro [J]. International Journal of Engineering and Technology, 2012, 3: 1-5
- [5] Jones R B, Faragher J D, Winkler S. A review of the influence of postharvest treatments on quality and glucosinolate content in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) heads [J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 41: 1-8
- [6] Ma G, Wang R, Wang C, et al. Effect of 1-methylcyclopropene on expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors in post-harvest

- broccoli [J]. *Plant Growth Regul*, 2009, 57: 223-232
- [7] 徐斐燕,蒋高强,陈健初.臭氧在鲜切西兰花保鲜中应用的研究[J].*食品科学*,2006,5:254-257
- [8] 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
- [9] 李军生,何仁,阎柳娟.植物组织培养原理在果蔬贮藏保鲜中的应用[J].*北方园艺*,2003,4:72-74
- [10] 李军生,何仁,阎柳娟.果蔬插枝保鲜方法的初步探讨[J].*农业科技通讯*,2003,7:36-37
- [11] 姚迪.光照和可溶性糖处理对青花菜保鲜效果及其机理研究[D].南京:南京农业大学,2013
- [12] 陈双颖,赵习姮,刘洪竹,等.GA与6-BA处理对鲜切青花菜抗氧化特性的影响[J].*食品与发酵工业*,2014,40(7):230-234
- [13] 郭衍银,张楠,朱艳红,等.赤霉素处理对青花菜花球矿质元素含量及保鲜效果的影响[J].*农业工程学报*,2008,1:274-278
- [14] 周鑫,张璇,周倩,等.三种保鲜膜包装对西兰花采后花蕾黄化的影响[J].*包装工程*,2021:1-12
- [15] 普红梅,姚春光,李燕山,等.低温贮藏对两个马铃薯品种生理特性的影响[J].*保鲜与加工*,2016,16(5):1-4
- [16] 郝建军,康宗利,于洋.植物生理学实验指导技术[Z].北京:化学工业出版社,2007:65-72
- [17] 林本芳.生物保鲜剂对西兰花贮藏生理及保鲜效果的研究[D].天津:天津商业大学,2013
- [18] 孙树杰,王士奎,李文香,等.中草药提取液对鲜切西兰花保鲜效果的影响[J].*食品科学*,2012,33(6):283-287
- [19] Rojas C M, Esenthil-Kumar M, Etzin V, et al. Regulation of primary plant metabolism during plant-pathogen interactions and its contribution to plant defense [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2014
- [20] 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
- [21] Zheng P, Bai X, Long J, et al. Nitric oxide enhances the nitrate stress tolerance of spinach by scavenging ROS and RNS [J]. *Scientia Horticulturae*, 2016, 213: 24-33
- [22] 崔志宽.不同物理化学处理对凤凰水蜜桃保鲜效果研究[D].南京:南京大学,2014
- [23] Zhu J, Li Y, Liao J. Involvement of anthocyanins in the resistance to chilling-induced oxidative stress in *Saccharum officinarum* L. leaves [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2013, 73: 1-7
- [24] 许凤.采后处理对延缓青花菜衰老的作用及其机理研究[D].南京:南京农业大学,2012