

物流过程加冰处理对西兰花黄化的调控作用

周倩, 张锐, 周鑫, 魏宝东, 程顺昌, 纪淑娟

(沈阳农业大学 食品学院, 沈阳 110866)

摘要: **目的** 研究物流过程中西兰花黄化的调控方式, 以期缓解采后西兰花发生黄化对其贮藏品质和商品价值的影响程度。**方法** 以新鲜采摘的西兰花为实验材料, 对西兰花进行加冰处理 5 h, 分别对西兰花的外观品质、黄化指数、色调角、质量损失率、主要色素含量、抗坏血酸含量以及叶绿素降解关键酶活性进行定期测试。**结果** 在贮藏过程中西兰花由深绿变浅绿, 逐渐黄化, 加冰处理可以有效延缓西兰花的黄化速度和西兰花各叶绿素含量下降的趋势, 抑制叶绿素降解关键酶的活性, 同时加冰处理有效保持了西兰花中抗坏血酸含量。加冰处理有效缓解了西兰花采后贮藏品质的下降, 并延长其贮藏货架期 2~4 d, 缓解了其集中上市的压力。**结论** 在物流过程中对西兰花进行加冰处理, 可以有效延缓采后西兰花的黄化衰老进程, 使西兰花保持较高的贮藏品质和商品价值。

关键词: 西兰花; 采后贮藏; 加冰处理; 物流过程

中图分类号: TS255.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2021)11-0018-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.11.003

Regulation Effect of Icing Treatment on Broccoli Yellowing in Logistics Process

ZHOU Qian, ZHANG Rui, ZHOU Xin, WEI Bao-dong, CHENG Shun-chang, JI Shu-juan

(Food Science College, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

ABSTRACT: The regulation method of broccoli yellowing in the logistics process is studied in order to alleviate the severe impact of the yellowing of broccoli on its storage quality and commodity value at the early picking stage. Fresh broccoli is used as the test material, and the broccoli is treated with ice for 5 h. The appearance quality, yellowing index, hue angle, weight loss rate, main pigment content, ascorbic acid content and chlorophyll degradation key enzyme activity of broccoli are measured regularly respectively. During storage, broccoli changed from dark green to light green and gradually yellowed. Icing treatment could delay the yellowing rate of broccoli and the decreasing trend of chlorophyll content in broccoli, and inhibit the activity of key enzymes in chlorophyll degradation. At the same time, the ice treatment group effectively maintained the ascorbic acid content in broccoli. Icing treatment can effectively alleviate the decline of postharvest storage quality of broccoli and prolong its storage shelf life 2~4 d, thus relieving the pressure of centralized marketing.

KEY WORDS: broccoli; postharvest storage; icing treatment; logistics process

西兰花 (*Brassica olerance L.*) 又名花椰菜, 青花菜, 是十字花科芸薹属, 甘蓝种的一个变种。流行

病学研究表明, 食用西兰花与降低癌症风险有关^[1-2]。西兰花被誉为“蔬菜皇冠”^[3], 其茎叶含有丰

收稿日期: 2021-01-27

基金项目: “十三五”国家重点研发专项 (2018YFD0401303-4)

作者简介: 周倩 (1987—), 女, 博士, 沈阳农业大学副教授, 主要研究方向为果蔬采后生物学与贮运保鲜。

通信作者: 纪淑娟 (1960—), 女, 博士, 沈阳农业大学教授, 主要研究方向为果蔬采后生物学与贮运保鲜。

富的营养物质,且具有很高的营养价值^[4]。采收后的西兰花呼吸代谢水平较高,花球表面缺乏保护层,采收后会迅速萎蔫^[5],严重影响其食用品质和营养价值。西兰花采后的质量损失会影响西兰花的出口,造成经济损失^[6],因此,研究采后西兰花的黄化具有重要的意义。

目前,国内外对西兰花保鲜技术的研究主要包括微波^[7]、光照^[8]、短波紫外线^[9]等物理保鲜技术,乙醇处理^[10]、1-甲基环丙烯处理^[11]等化学保鲜技术,有机物质处理^[12]、植物提取液^[13]等生物保鲜技术。这些技术都能起到保鲜的效果,但是化学技术的安全隐患和生物技术的不确定性日益凸显,物理技术大多存在设备昂贵的缺陷^[14]。在西兰花的物流保鲜过程中,研究一种安全性高、成本低、操作简单的保鲜方式显得尤为重要。实验所采用的加冰处理技术可以较好地解决上述问题,与生物和化学保鲜技术相比其安全性更高,并且加冰处理不需要专门的冷藏设备就能达到一定的保鲜效果^[15],可以有效节约成本。以往的研究大多数是对西兰花冷库预冷处理后再运输,或者把西兰花运至销售地后再进行相应的采后处理,此次实验是在短距离物流运输的过程中对其进行加冰处理,使运输与预冷同时进行,与冷链运输相比操作更加简单,并且可以降低成本,与普通的加冰处理相比可以有效节约时间,延长西兰花的贮藏货架期,缓解其集中上市的压力。文中实验旨在研究采后物流过程中加冰处理对西兰花黄化的影响,以期为西兰花的贮藏保鲜提供理论依据。

1 实验

1.1 材料与试剂

主要材料:供试的西兰花来自辽宁省锦州凌海西兰花基地,选用大小一致、花蕾紧实的深绿色西兰花。采摘后放入规格为 12 L 的白色泡沫箱中,每个泡沫箱中放置西兰花 12 个,对照组不做任何处理,向实验组泡沫箱中加碎冰,使其覆盖每颗西兰花,并布满泡沫箱内所有空隙(包括西兰花之间的间隙),然后将泡沫箱封装严实处理 5 h,运输至沈阳农业大学食品学院实验室。

主要试剂:石英砂、碳酸钙粉末、体积分数为 95%乙醇、磷酸盐缓冲液(PBS,含有 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (0.1 mol/L) 和 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0.1 mol/L))、三氯乙酸(TCA)溶液、85%磷酸溶液、BP(纯度大于 97.0%)、抗坏血酸、氯化铁。

1.2 仪器与设备

主要仪器和设备:CR-400 色差仪,日本 Molta 公司;手持气体分析仪,丹麦 PBI Dansensor 公司;酶标仪,美国,美国 BIOTEK, Eon,检测波长为 200 ~

999 nm, 96 孔;CHLASE ELISA 试剂盒、MDCASE ELISA 试剂盒、PPH ELISA 试剂盒、PAO ELISA 试剂盒,上海酶联生物科技有限公司酶联免疫分析试剂盒;离心机,上海天美科学仪器有限公司;分光光度计,上海鼎科科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 实验设计

将加冰处理后的西兰花放入恒温室(相对湿度为 85%,温度为 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$),贮藏期间每天测定其生理指标的变化。将西兰花分为加冰处理组和对照组 2 个组别,每组设置 3 个平行实验。

1.3.2 指标测定

1.3.2.1 西兰花黄化指数的测定

根据花球的黄化程度对实验样品进行颜色分级,分级标准如下^[16]所述。

- 1) 1 级深绿色。深绿色,清新,紧密的花蕾,不开花。
- 2) 2 级浅绿色。浅绿色,没有绽放的花蕾。
- 3) 3 级黄绿色。花蕾稍微泛黄(黄化花蕾面积 $\geq 30\%$)。
- 4) 4 级绿黄色。花蕾黄化面积为 $30\% \sim 50\%$ 。
- 5) 5 级黄色。花蕾黄化面积 $> 50\%$ 。

$$Y = \sum \frac{Y_m \cdot N_m}{Y_h \cdot N_a}$$

式中:Y 为花蕾黄化指数; Y_m 为单株黄化级数; N_m 为该级株数; Y_h 为最高黄化级数; N_a 为总株数。

测量时每组选取 3 个花球,对花球颜色进行评估。

1.3.2.2 西兰花色调角的测定

使用 CR-400 色差仪,光源:D65(相当于 6500 K 的日光),用标准板校准。测量颜色 L^* (亮度,反映颜色的亮度), a^* 亨特刻度中的 a 轴值,正值表示红色,负值表示绿色), b^* (亨特中的 b 轴值,正表示黄色,负表示蓝色)。每个取样点选取 3 个花蕾,测量每个花蕾的 5 个点,即顶部和周围的 4 个点,用于计算平均值。色调角 $h(^{\circ})$ 由 a^* 和 b^* 计算,数值从 0° 到 360° 连续变化,其中 90° 表示黄色, 180° 表示绿色。

当 $a^* > 0$ 且 $b^* > 0$ 时, h 计算式为 $h = \arctan(b^* / a^*)$;当 $a^* < 0$, $b^* > 0$ 时, h 计算式为 $h = 180 - \arctan(b^* / a^*)$ ^[17-18]。

1.3.2.3 质量损失率的测定

质量损失率 = (贮藏前质量 - 贮藏后质量) / 贮藏前质量 $\times 100\%$

1.3.2.4 抗坏血酸测定

用邻菲罗啉比色法测定,参考果蔬采后生理生化实验指导^[19],并稍作修改。称取 2 g 西兰花花蕾置于研钵中,加入 4 mL 质量浓度为 50 g/L 的 TCA 溶液,

在冰浴条件下研磨成浆状,转入 50 mL 容量瓶中,并用质量浓度为 50 g/L 的 TCA 溶液定容至刻度,混合 TCA 溶液和浆状西兰花,提取抗坏血酸 10 min 后过滤,收集滤液备用。取 1.0 mL 样品提取液于试管中,加入 1.0 mL 质量浓度为 50 g/L 的 TCA 溶液,再按制作标准曲线相同的方法,加入其他成分进行反应测定。用酶标仪在波长 534 nm 处测定吸光度值,重复 3 次。抗坏血酸含量 (mg/g) 计算为:

$$\text{抗坏血酸含量} = \frac{V \times m'}{V_s \times m \times 1000}$$

式中: m' 为由标准曲线求得的抗坏血酸的质量 (μg); V_s 为滴定时所用样品提取液的体积 (mL); V 为样品提取液总体积 (mL); m 为样品质量 (g)。

1.3.2.5 叶绿素总量的测定

根据乙醇提取法^[20]测定叶绿素含量,并稍作修改。取 2 g 西兰花花蕾,加入 1 g 石英砂,1 g 碳酸钙粉末和 5 mL 体积分数为 95% 的乙醇。将混合物研磨,并在 8000g 下离心 10 min,取上清液 800 μL ,加入体积分数为 95% 无水乙醇 7.20 mL。使用体积分数为 95% 乙醇作为空白组,分别在 665, 649, 470 nm 处测吸光度值。叶绿素和类胡萝卜素含量 ($\mu\text{g}/\text{mg}$) 计算式为:

$$\text{叶绿素 a 含量} = 13.95D_{665} - 6.88D_{649}$$

$$\text{叶绿素 b 含量} = 24.96D_{649} - 7.32D_{665}$$

$$\text{总叶绿素含量} = \frac{(\text{叶绿素 a 含量} + \text{叶绿素 b 含量}) \times V}{1000 \times m}$$

式中: V 为提取物的体积 (mL); m 为样品的质量 (g); D_{649} , D_{665} 和 D_{470} 分别为每种物质在 665, 649 和 470 nm 处的吸光度值。

1.3.2.6 叶绿素降解关键酶活性的测定

取 1 g 西兰花花蕾,加入 10 mL 含有 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (0.1 mol/L) 和 $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0.1 mol/L), pH 值为 7.4 的磷酸盐缓冲液 (PBS) 中预冷匀浆。在 4500g, 4 $^{\circ}\text{C}$ 下离心 20 min 后,取上清液用于测定。根据 ELISA 试剂盒的说明书逐步进行。标准曲线根据说明书计算,并用酶标仪在 A450 (在 450 nm 处测量的吸光度) 测定样品浓度 (U/L)。

1.4 数据处理与分析

使用 Excel 2019 软件进行数据统计与分析,并用 Origin 8.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 加冰处理对西兰花外观品质的影响

如图 1 所示,采后加冰处理可以延缓西兰花的黄化,其中贮藏 0~2 d 时黄化效果不明显,处理组和对照组的差异不明显。贮藏 3~5 d 期间加冰处理可显著延缓西兰花的黄化,贮藏 3 d 对照组部分的花蕾

上有霉斑出现并且发生黄化,处理组的黄化程度小于对照组,但是没有霉斑出现。贮藏 4 d 时,对照组几乎完全黄化,霉斑进一步增多,处理组的黄化程度小于对照组,并且开始出现霉斑。贮藏 5 d 时对照组和处理组都完全黄化,但是对照组霉斑严重,处理组霉斑较少。由此可见,加冰处理组与对照组相比可延长西兰花的货架期 2~4 d,并能有效提高西兰花的采后贮藏品质。

2.2 加冰处理对西兰花黄化指数的影响

由图 2 可知,贮藏前和贮藏 1 d 时对照组和处理组的西兰花均未发生黄化。对照组从贮藏 2 d 开始黄化,指数逐渐增大,其中贮藏 2 d 和 3 d 只有部分花蕾发生黄化,贮藏 3 d 的黄化程度大于贮藏 2 d;贮藏 4 d 和 5 d 西兰花黄化指数达到最大。处理组黄化指数从贮藏 3 d 开始逐渐增大,到贮藏 5 d 时达到最大,贮藏 4 d 西兰花的黄化程度大于贮藏 3 d。总体来说,西兰花的黄化程度随着贮藏期的延长而逐渐变大,在同等条件下对照组西兰花的黄化指数显著大于处理组 ($P < 0.05$),因此,加冰处理能显著抑制采后西兰花黄化指数的升高,延缓西兰花采后黄化衰老进程。

2.3 加冰处理对西兰花色调角的影响

西兰花的颜色变化是评估其品质变化的一个重要指标^[21],当西兰花从绿色逐渐变为黄色时,西兰花的营养价值和商品价值都会逐渐降低,色调角 h 是评估西兰花颜色变化的一个重要指标,当 h 为 90° 时颜色呈黄色, 180° 时呈绿色。当色泽由绿色转变为黄色时,西兰花的色调角下降。由图 3 可知,在贮藏过程中西兰花的色调角值呈逐渐下降的趋势,对照组的色调角值显著小于加冰处理组的色调角值。贮藏 4, 5 d 时标准差较大,可能是后期西兰花呼吸作用变大,部分花蕾与泡沫箱壁接触其呼吸及蒸腾作用产生大量水分聚集,有利于微生物生长,使西兰花部分花蕾发生霉变现象导致。

2.4 加冰处理对西兰花质量损失率的影响

果蔬在贮藏期间水分因呼吸作用和蒸腾作用而损失,导致质量损失率增加^[22]。西兰花质量损失率的变化是影响西兰花品质变化的重要因素之一,质量损失率也反映了采后果蔬品质的变化,质量损失率越高表明西兰花品质下降越严重^[23]。由图 4 可知,对照组西兰花质量损失率的增速在贮藏 0~4 d 时比较平稳,在贮藏 4~5 d 明显加快。处理组西兰花质量损失率的增速在贮藏 0~3 d 比较平稳,从 3~4 d 开始明显加快。在贮藏 4~5 d 对照组和处理组西兰花质量损失率的增速均达到最大。总的来看,西兰花的质量损失率随着贮藏时间的延长而逐渐增大,处理组西兰花的质量损失率在多数情况下小于对照组。实验表明,加冰处理能更好地保持西兰花的水分,显著抑制其营养成分的损失。

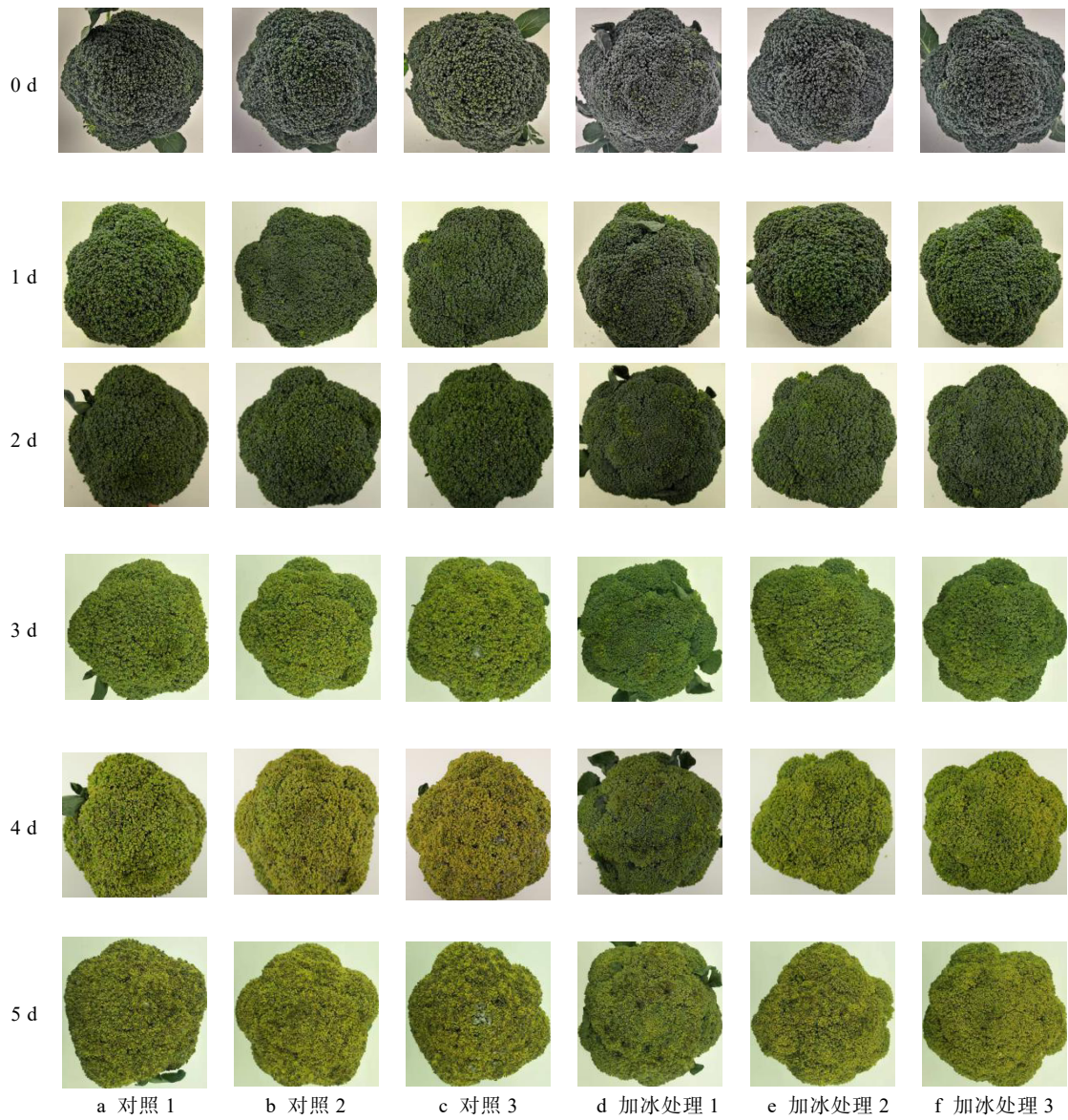


图 1 加冰处理对西兰花外观品质的影响
Fig.1 Effect of icing treatment on appearance quality of broccoli

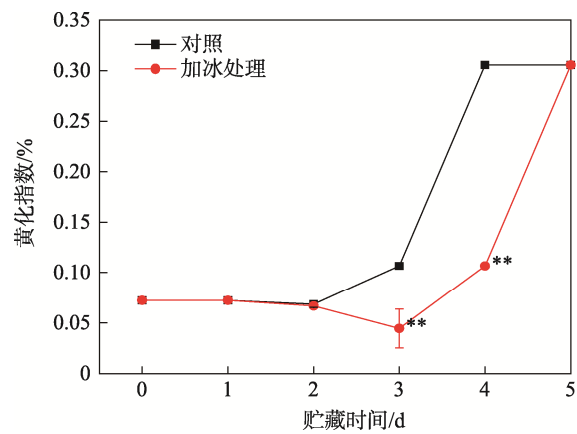


图 2 加冰处理对西兰花贮藏期间黄化指数影响
Fig.2 Effect of icing treatment on yellowing index of broccoli during storage

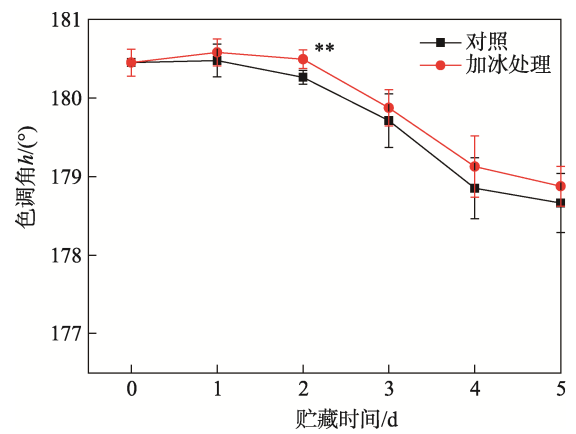


图 3 加冰处理对西兰花贮藏期间色调角的影响
Fig.3 Effect of icing treatment with ice on the angle of broccoli during storage

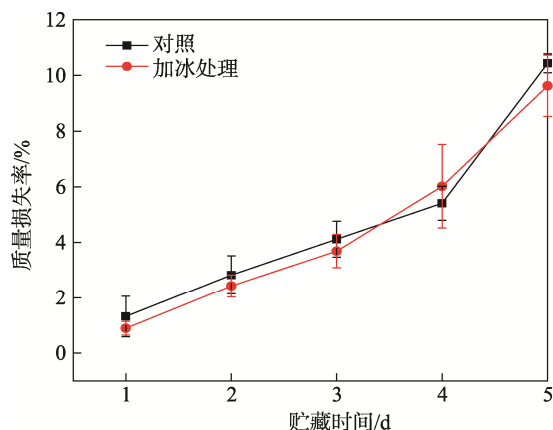


图4 加冰处理对西兰花贮藏期间质量损失率的影响
Fig.4 Effect of icing treatment on weight loss rate of broccoli during storage

2.5 加冰处理对西兰花叶绿素含量的影响

由图5可知,总体叶绿素呈现先缓慢上升后下降的趋势,这和贮藏期间前2天叶绿素继续合成,后期随着后熟叶绿素降解有关。叶绿素a呈蓝绿色,西兰花在贮藏期间叶绿素a在叶绿素酶的作用下发生降解。在贮藏的过程中叶绿素a的含量呈波动下降的趋势,在2~4d呈迅速下降的趋势,这可能是2~4d西兰花由深绿变成浅绿色的原因。叶绿素b呈现黄绿色,在贮藏的过程中总体呈现下降的趋势,在3~4d呈迅速下降的趋势,这可能是这个过程中西兰花由绿色转变成黄色的原因。总叶绿素呈现下降的趋势,这与贮藏过程中西兰花的成熟衰老有关。总体来看,加冰处理组各叶绿素的下降趋势小于对照组,并且在同一时间加冰处理组的叶绿素含量显著高于对照组 ($P<0.05$),因此,加冰处理对西兰花的叶绿素含量有明显的保护作用。

2.6 加冰处理对西兰花抗坏血酸含量的影响

由图6可看出,在贮藏0~5d过程中西兰花的抗坏血酸含量呈波动上升趋势,在采摘初期处理组西兰花抗坏血酸含量显著高于对照组 ($P<0.05$)。这可能与采摘初期西兰花的呼吸作用和蒸腾作用旺盛,贮藏过程中花蕾大量失水而使单位质量的花蕾干物质大量增多有关,因此其抗坏血酸含量有一定的上升。

2.7 加冰处理对西兰花中叶绿素降解关键酶活性的影响

叶绿素降解是导致西兰花黄化的主要原因^[24],相关研究表明叶绿素的降解途径有3步,第1步是在植物叶绿素酶(Chlase)的作用下脱去植醇生成脱脂基叶绿素a(Chlide a);第2步是在植物脱镁螯合酶(MDCase)或脱镁螯合物的作用下,Chlide a脱去镁离子生成脱镁叶绿酸a;第3步是在植物脱镁叶绿酸a氧化酶(PAO)的作用下生成初级荧光叶绿素分解代谢物使叶绿素颜色消失^[25-27]。如图7所示,在贮

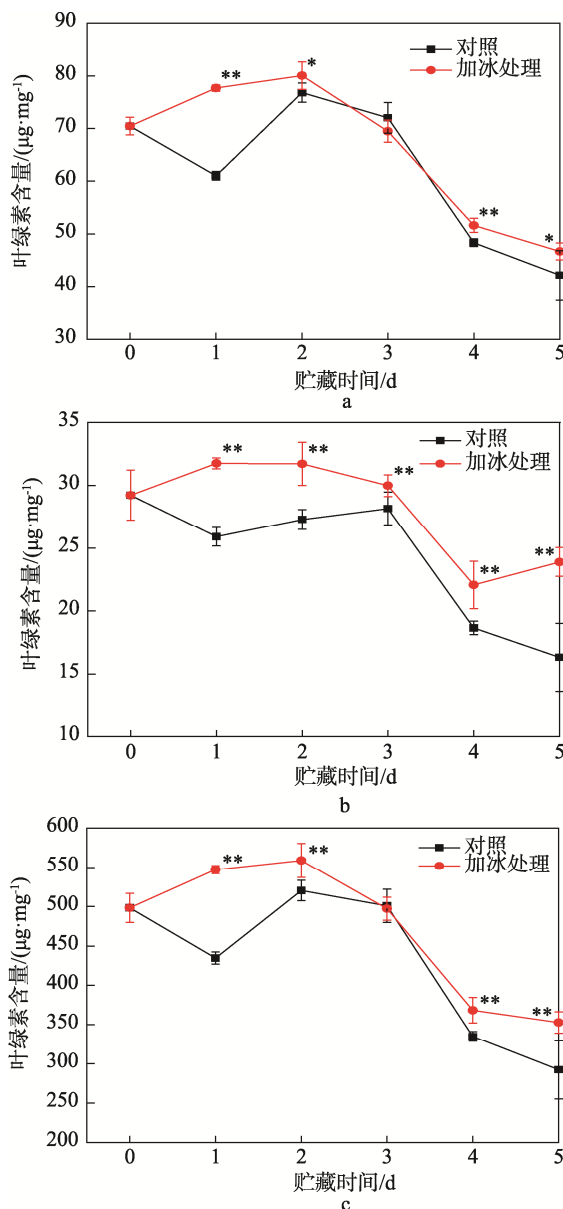


图5 加冰处理对西兰花贮藏期间叶绿素含量的影响
Fig.5 Effect of icing treatment on chlorophyll content of broccoli during storage

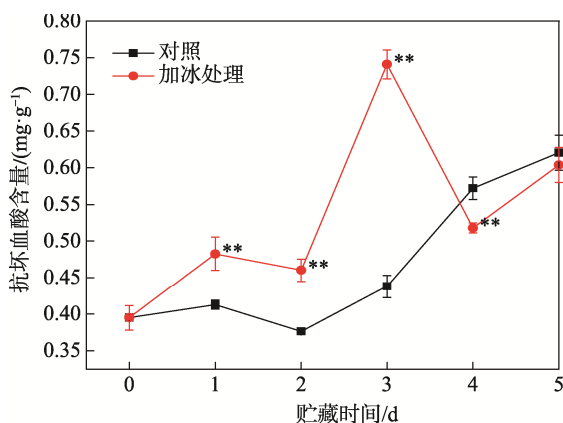


图6 加冰处理对西兰花贮藏期间抗坏血酸含量的影响
Fig.6 Effect of icing treatment on ascorbic acid content in broccoli during storage

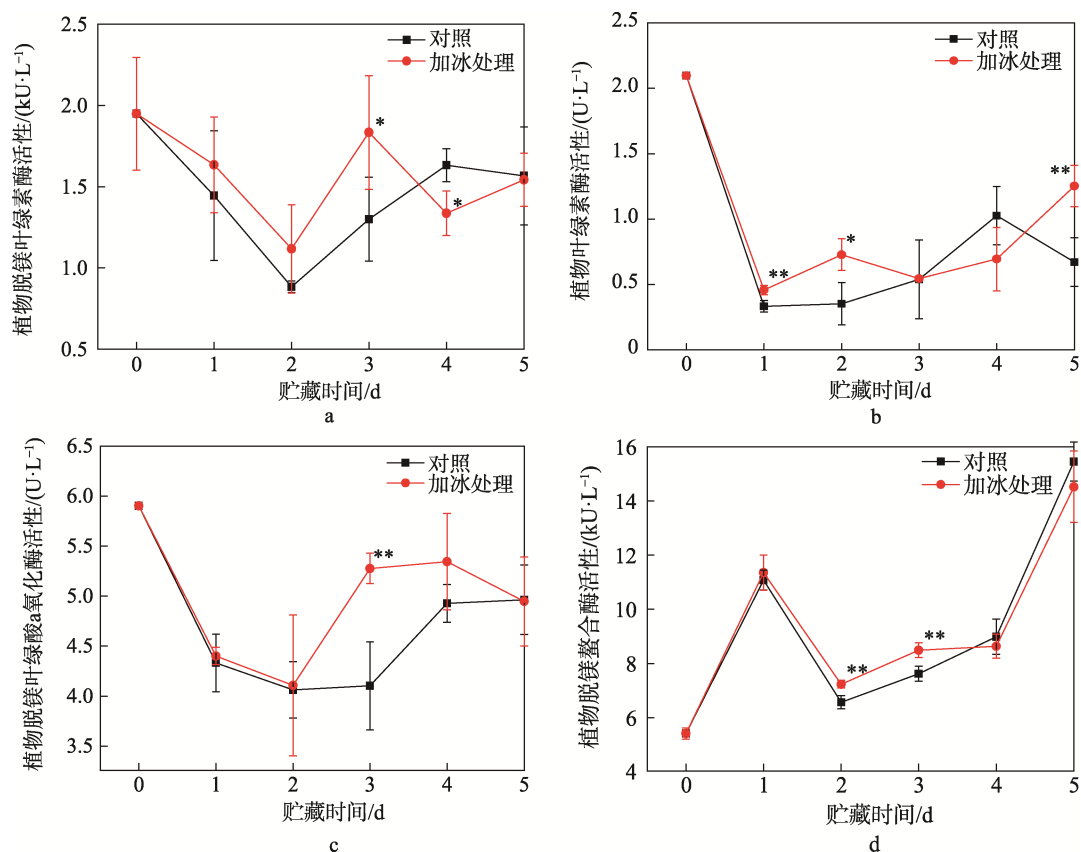


图 7 加冰处理对西兰花贮藏期间叶绿素降解关键酶活性的影响

Fig.7 Effect of key activities of chlorophyll degradation in broccoli during storage with icing treatment

藏初期, 加冰处理组 4 种酶的含量均高于对照组。Chlase、MDCase 和 PAO 的酶活性呈波动式上升的趋势, 且 MDCase 上升的幅度比较明显。采摘初期西兰花呼吸作用、光合作用旺盛, Chlase 和 PAO 活性较高, PPH 可使叶绿素发生脱镁反应, 其活性受抑制, 采收后第 1 天由于失去光照, Chlase 与 PAO 活性迅速下降, 而 MDCase 使西兰花的叶绿素发生脱镁反应, 其活性迅速增高。由于成熟衰老作用, Chlase 活性呈现上升趋势, 此时叶绿体中作为叶绿素酶底物的叶绿素 a、叶绿素 b 含量大量减少。植物脱镁叶绿素酶 (PPH) 含量波动性较大, 且实验结果误差较大, 基本呈现先下降后波动上升的趋势, 且贮藏后期加冰处理组酶活性显著小于对照组 ($P < 0.05$)。

Chlide a 和脱脂基叶绿素 b (Chlide b) 由 Chlase 产生, 反应底物为叶绿素 a 和叶绿素 b。对比图 5 可知, Chlide b 的含量先增加后减少, 与此同时, Chlide a 的含量逐渐增加。这可能是因为叶绿素 b 部分转化为叶绿素 a, 作为反应的底物。在此期间, Chlase 作用于叶绿素 a 和叶绿素 b, 其活性先降低后波动升高。

3 结语

实验研究结果表明, 加冰处理可以有效保持西兰花的品质, 延缓西兰花的黄化速度, 抑制西兰花营养

成分的损失和其叶绿素的降解。加冰处理组的叶绿素降解关键酶的活性、抗坏血酸含量和色调角要高于同一时期的处理组。综上可知, 加冰处理可以有效延缓西兰花黄化, 延长西兰花采后货架期, 并提高西兰花采后贮藏品质, 从而提高了西兰花的商品价值。此次实验在短距离运输的过程中进行加冰处理, 操作简便, 降低了冷链运输过程中的运输成本, 有效节约了时间, 延长了西兰花的贮藏货架期, 缓解了其集中上市所带来的压力。

参考文献:

- [1] 张锦华, 郭楠, 杨妍, 等. 西兰花副产物中萝卜硫素提取纯化及鉴定 [J]. 食品科学, 2019, 40(8): 248—255.
ZHANG Jin-hua, GUO Nan, YANG Yan, et al. Extraction, Purification and Identification of Sulforaphane from Broccoli Byproducts [J]. Food Science, 2019, 40(8): 248—255.
- [2] ROYSTON K J, TOLLEFSBOL T O. The Epigenetic Impact of Cruciferous Vegetables on Cancer Prevention [J]. Current Pharmacology Reports, 2015, 1(1): 46—51.
- [3] 张雪, 赵明, 王晶, 等. 温度对鲜切西兰花贮藏保鲜

- 的影响[J]. 化学与黏合, 2019, 41(1): 46—48.
- ZHANG Xue, ZHAO Ming, WANG Jing, et al. Effect of Temperature on Storage and Preservation of Fresh-cut Broccoli[J]. Chemical and Adhesion, 2019, 41(1): 46—48.
- [4] LYU Jia-yu, WU Jie, ZUO Jin-hua, et al. Effect of Se Treatment on the Volatile Compounds in Broccoli[J]. Food Chemistry, 2017, 216: 33—225.
- [5] 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.
- CHENG Shun-chang, WEI Bao-dong, XIONG Zhen-hua, et al. Recent Advances in Technologies for Postharvest Storage and Preservation of Broccoli[J]. Food Science, 2014, 35(7): 270—275.
- [6] 张艳艳, 刘斌. 危害分析和关键环节控制点在西兰花冷链物流中的应用研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(15): 6952.
- ZHANG Yan-yan, LIU Bin. The Application of HACCP in Cold-Chain Logistics of Broccoli[J]. Anhui Agricultural Science, 2013, 41(15): 6952.
- [7] 刁春英, 闫洪波, 高秀瑞, 等. 不同微波强度对鲜切西兰花品质的影响[J]. 热带作物学报, 2017, 38(12): 2388—2393.
- DIAO Chun-ying, YAN Hong-bo, GAO Xiu-rui, et al. Effect of Microwave Treatments on Quality of Fresh Cut Broccoli (*Brassica Oleacea L*)[J]. Journal of Tropical Crops, 2017, 38(12): 2388—2393.
- [8] 詹丽娟, 李颖. 光照技术在果蔬采后贮藏保鲜中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(8): 268—272.
- ZHAN Li-juan, LI Ying. Advances in Effects of Light Exposure on Fresh Fruits and Vegetables Postharvest Storage and Preservation[J]. Food and Fermentation Industry, 2016, 42(8): 268—272.
- [9] MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ G B, GÓMEZ P A, PRADAS I, et al. Moderate UV-C Pretreatment as a Quality Enhancement Tool in Fresh-Cut Bimi Broccoli[J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 62(3): 327—337.
- [10] 韩俊华, 周君一, 牛天贵, 等. 乙醇对鲜切西兰花抗氧化酶及叶绿体超微结构的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(3): 283—287.
- HAN Jun-hua, ZHOU Jun-yi, NIU Tian-gui, et al. Effects of Ethanol Vapor Treatment on Antioxidant Enzyme and Chloroplast Ultrastructure of Fresh-cut Broccoli Florets[J]. Food Science, 2008, 29(3): 283—287.
- [11] 汪俏梅, 郭得平, Kyiky Win, 等. 1-甲基环丙烯延缓青花菜衰老的效应及机理[J]. 园艺学报, 2004, 31(2): 205—209.
- WANG Qiao-mei, GUO De-ping, WIN K, et al. Effect and Mechanism of 1-methylcyclopropene on Aging of Broccoli[J]. Journal of Horticulture, 2004, 31(2): 205—209.
- [12] HONDRODIMOU O, KOURKOUTAS Y, PANAGOUE E Z. Efficacy of Natamycin to Control Fungal Growth in Natural Black Olive Fermentation[J]. Food Microbiology, 2010, 28(3): 621—627.
- [13] 何燕文, 韦剑锋. 中草药提取物保鲜果蔬的应用研究概述[J]. 广西农业科学, 2005, 36(1): 85—87.
- HE Yan-wen, WEI Jian-feng. Application of Extracts of Chinese Herbal Medicine for Keeping Vegetable and Fruit Fresh[J]. Guangxi Agricultural Science, 2005, 36(1): 85—87.
- [14] 莫曾梅. 果蔬采后存在问题及贮藏保鲜技术发展[J]. 农产品加工, 2019(7): 78—80.
- MO Zeng-mei. Postharvest Problems of Fruits and Vegetables and Development of Storage and Preservation[J]. Processing of Agricultural Products, 2019(7): 78—80.
- [15] 邹炽导, 陆华忠, 杨松夏. 果蔬公路保鲜运输能耗计算模型探讨[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(7): 199—202.
- ZOU Zhi-dao, LU Hua-zhong, YANG Song-xia. Discussion on Calculation Model of Energy Consumption for Road Fresh-Keeping Transportation of Fruits and Vegetables[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(7): 199—202.
- [16] 任珂, 屠康, 潘磊庆, 等. 青花菜贮藏期间颜色变化动力学模型的建立[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 146—150.
- REN Ke, TU Kang, PAN Lei-qing, et al. Modeling of the Kinetics of Color Change of Broccoli during Storage[J]. Journal of Agricultural Engineering, 2005, 21(8): 146—150.
- [17] XU Feng, TANG Yue-chang, DONG Shuan-quan, et al. Reducing Yellowing and Enhancing Antioxidant Capacity of Broccoli in Storage by Sucrose Treatment[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 112: 39—45.
- [18] DUARTE-SIERRA A, CORCUFF R, ARUL J. Methodology for the Determination of Hormetic Heat Treatment of Broccoli Florets Using Hot Humidified Air: Temperature-Time Relationships[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 117: 118—124.
- [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: 32—34.
- CAO Jian-kang, JIANG Wei-bo, ZHAO Yu-mei. Guidance on Physiological and Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007: 32—34.

- [20] 麻明友, 麻成金, 肖桌柄, 等. 猕猴桃叶中叶绿素的提取研究[J]. 食品工业科技, 2006, 27(6): 140—143.
MA You-ming, MA Cheng-jin, XIAO Zhuo-bing, et al. Extraction of Chlorophyll from Leaves of Actinidia Chinensis[J]. Food Industry Technology, 2006, 27(6): 140—143.
- [21] 杨华, 杨性民, 孙金才. 不同干燥方式对西兰花蔬菜粉品质的影响[J]. 中国食品学报, 2013, 13(7): 152—158.
YANG Hua, YANG Xing-min, SUN Jin-cai. Effect of Different Drying Methods on Vegetable Powder Quality of the Broccoli (*Brassica Oleracea*)[J]. Chinese Journal of Food, 2013, 13(7): 152—158.
- [22] 李丹, 陈宇航, 岳凤丽, 等. 不同体积分数乙醇熏蒸对电商物流西兰花保鲜效果的影响[J]. 食品工业, 2019, 40(8): 59—63.
LI Dan, CHEN Yu-hang, YUE Feng-li, et al. Effect of Different Ethanol Concentrations Fumigation on Electronic Commerce Logistics Storage Quality of Broccoli[J]. Food Industry, 2019, 40(8): 59—63.
- [23] 徐春涛, 王瑾. 不同储藏温度条件下臭氧水对鲜切花椰菜保鲜效果的研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2009, 30(3): 41—43.
XU Chun-tao, WANG Jin. Effect of Ozone Water on Fresh-Keeping of Fresh-Cut Broccoli under Different Storage Temperature[J]. Study Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2009, 30(3): 41—43.
- [24] FUKASAWA A, SUZUKI Y, TERAH H, et al. Effects of Postharvest Ethanol Vapor Treatment on Activities and Gene Expression of Chlorophyll Catabolic Enzymes in Broccoli Florets[J]. Postharvest Biology and Technology, 2009, 55(2): 97—102.
- [25] SHEMER T A, HARPAZ-SAAD S, EDUARD B, et al. Citrus Chlorophyllase Dynamics at Ethylene-Induced Fruit Color-Break: A Study of Chlorophyllase Expression, Posttranslational Processing Kinetics, and in Situ Intracellular Localization[J]. Plant Physiology, 2008, 148(1): 108—118.
- [26] SCHELBERT S, AUBRY S, BURLA B, et al. Pheophytin Pheophorbide Hydrolase (Pheophytinase) Is Involved in Chlorophyll Breakdown during Leaf Senescence in Arabidopsis[J]. Plant Cell, 2009, 21(3): 767—785.
- [27] 王绘艳. 小麦叶绿素和脱镁叶绿素酶基因的作用及表达分析[D]. 晋中: 山西农业大学, 2015: 7—8.
WANG Hui-yan. Effects and Expression Analysis of Chlorophyll and De-Magnesium Chlorophyllase Gene in Wheat[D]. Jinzhong: Shanxi Agricultural University, 2015: 7—8.