

果糖对西兰花抗氧化性及其品质的影响

汤月昌, 许凤, 董栓泉, 程佑声, 邵兴锋, 王鸿飞

(宁波大学食品科学与工程系, 浙江宁波 315211)

摘要: 为延缓西兰花采后黄化, 采用不同浓度(0、4%、6%、8%、10%、12%、14%、16%)果糖处理西兰花, 并对其抗氧化性和品质指标进行了测定。实验结果发现, 12%果糖处理能有效地延长了西兰花的货架寿命。同时, 果糖处理显著抑制了西兰花色泽角(hueangle, H)值的下降和明度(lightness, L*)值的上升, 降低了叶绿素的降解速率; 与对照组相比, 果糖处理组维持了较高水平的超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)、苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia-lyase, PAL)和抗坏血酸过氧化物酶(ascorbate peroxidase, APX)活性, 较低的过氧化物酶(peroxidase, POD)活性, 并提高了DPPH自由基清除能力、蛋白质含量和总酚含量, 有效的延缓了采后西兰花的衰老, 抑制了其品质的劣变, 为采后西兰花的贮藏保鲜技术提供了理论依据。

关键词: 西兰花; 果糖; 抗氧化酶

文章编号: 1673-9078(2015)4-164-169

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.4.026

Effect of Fructose-treatment on the Quality, Shelf-life, and Antioxidant Capacity of Picked Broccoli

TANG Yue-chang, XU Feng, DONG Quan-quan, CHEN You-sheng, SHAO Xing-feng, WANG Hong-fei

(College of Food Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: This study aimed to delay the yellowing of broccoli florets by treating with fructose at different concentrations (0, 4%, 6%, 10%, 12%, 14%, and 16%); in addition, the antioxidant activity and quality of the fructose-treated broccoli was determined. The results of this analysis revealed that treatment with 12% fructose effectively prolonged the shelf life of broccoli; fructose-treatment notably inhibited the decrease in hueangle (H) and increase in lightness (L^*) values, and reduced the rate of degradation of chlorophyll in broccoli. The fructose-treated broccoli showed lower peroxidase (POD) activity, while retaining higher superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), phenylalanine ammonia-lyase (PAL), and ascorbate peroxidase (APX) activities, compared to the control broccoli. Fructose treatment also enhanced the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazil (DPPH) radical-scavenging activity and total phenolic content of broccoli. In summary, fructose treatment effectively delayed senescence in picked broccoli, and inhibited the deterioration in broccoli quality. These results provide the theoretical basis for a novel technique for the preservation of picked broccoli.

Key words: broccoli; fructose; antioxidant activity

西兰花(*Brassica oleracea var italica*)属十字花科芸苔属 1-2 年生宿根草本植物, 又名青花菜、绿菜花、意大利芥蓝等, 由甘蓝演化而来, 富含蛋白质、糖、脂肪、维生素和胡萝卜素, 具有防癌抗癌的功效^[1-2]。西兰花原产于欧洲, 20 世纪初传入我国, 20 世纪 90 年代以后开始得到我国市场青睐, 主要在南方地区大面

收稿日期: 2014-08-12

基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目(31301574); 宁波市自然科学基金项目(2013A610159); 宁波大学人才引进项目(ZX2012000031);

宁波大学学科项目(xk11344); 宁波大学校科研基金项目(XYL14025)

作者简介: 汤月昌(1990-), 男, 硕士研究生, 研究方向为农产品贮藏加工

通讯作者: 许凤(1983-), 女, 博士, 讲师, 研究方向为农产品贮藏加工;

王鸿飞(1964-), 男, 教授, 从事农产品加工, 食品科学方面的研究

积种植, 但随着城乡居民对蔬菜品种多样化要求的提高以及对外广阔的出口前景和需求, 北方地区西兰花的栽培面积也在逐年扩大。西兰花的食用部分为幼嫩的花球和花梗, 采收之后呼吸代谢十分旺盛, 在常温下极易失水萎蔫、开花和黄化, 在贮运中易受机械损害及病菌侵染, 严重影响西兰花的外观及内在品质, 对西兰花产业的发展有很大的影响。因此, 研究西兰花采后生理及贮藏保鲜技术具有非常重要的现实意义。

有研究表明, 西兰花的抗氧化活性、Vc、酚类等抗氧化性物质含量在采后贮藏中变化很大, 低温、自发气调包装和 1-MCP 是延长西兰花贮藏保鲜时间和保持其品质的有效途径^[3]。糖在植物的生长发育过程

中起着至关重要的作用, 研究指出, 外源蔗糖处理能延缓西兰花衰老^[4], 并能抑制抗坏血酸的下降。蔗糖通过增强花青素和硫代葡萄糖苷的生物合成来改善西兰花芽的营养价值。蔗糖可以水解生成葡萄糖和果糖, 葡萄糖、果糖和蔗糖可能具有相似的效应, 调节植物诸多的生理活动。但很少有报道关于外源果糖处理对延缓西兰花黄化的影响, 本文研究果糖处理对西兰花采后品质和抗氧化性的影响, 以期对西兰花的贮藏保鲜提供新的理论依据、技术方法和参数。

1 材料和方法

1.1 材料与试剂

西兰花原料, 采收于浙江慈溪, 品种为“优秀”。选择花头直径在 15 cm~20 cm 之间、大小一致、达到商业成熟度的西兰花进行采收, 采后 2 h 内运回实验室。

牛血清蛋白, 国药集团化学试剂有限公司; 95% 乙醇, 上海三鹰化学试剂有限公司; 冰乙酸, 上海试剂四厂昆山分厂; 盐酸, 浙江盘龙化工试剂厂; DPPH, 美国 SIGMA 公司, Folin-Ciocalteu 试剂, 国药集团化学试剂有限公司; 愈创木酚, 上海圻明生物科技有限公司; 苯丙氨酸, 美国 SIGMA 公司。

1.2 主要仪器

754 型紫外分光光度计, 上海菁华科技有限公司; CR400 色差仪, 日本 Minolta 美能达公司; DK-S26 电热恒温水浴锅, 上海精宏实验设备有限公司; BPZ11D 分析天平, 德国赛多利斯公司; H2050R 湘仪台式高速冷冻离心机, 湖南长沙湘仪离心机仪器有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品处理

浓度筛选: 将西兰花茎浸入装有质量分数 0、4%、6%、8%、10%、12%、14%、16% 果糖溶液 (含有体积分数 0.05% 的 NaClO) 保鲜盒中, 每隔 24 h 换溶液一次, 花球用 PE 保鲜袋套住, 保鲜盒置于 20 °C 的恒温恒湿培养箱中 (相对湿度 95%) 避光贮藏。每天随机取出四个花球测定其颜色变化, 以花球 30% 黄化时间为货架期, 筛选最佳果糖处理浓度, 试验重复 3 次。

目标浓度样品处理: 将西兰花茎浸入装有质量分数 0、12% 果糖溶液 (含有体积分数 0.05% 的 NaClO) 保鲜盒中, 每隔 24 h 换溶液一次, 花球用 PE 保鲜袋套住, 保鲜盒置于 20 °C 的恒温恒湿培养箱中 (相对湿度 95%) 避光贮藏。每天随机取出四个花球观察其

颜色变化并将花球上的花蕾切下, 用液氮冷冻, 再放置 -20 °C 冰箱内保存用于生理生化指标测定, 至花球 30% 黄化, 停止收集样品。

1.3.2 颜色的测定

西兰花花球采用色差计 (Minolta, CR400) 测定, 测定 CIE-Lab 表色系中的 L* 值 (明度, 反映色泽的明度, 0~100 变化, 0 代表黑色, 100 代表白色), H 值 (色泽角)。每个花球在表面取 5 个点测定, 分别选取顶部和周边 4 点。

1.3.3 叶绿素含量的测定^[5]

叶绿素含量采用比色法, 即称取 0.16 g 样品于研钵中, 用 5 mL 95% 乙醇研磨提取, 匀浆, 在 4 °C 12000 r/min 离心 15 min, 取上清液, 测 OD₆₄₅ 和 OD₆₆₃ 值。以 95% 乙醇作参比, 试验重复 3 次。叶绿素含量以 mg/g FW 表示。

1.3.4 抗氧化酶活性的测定

考马斯亮蓝 G250 法测定蛋白质含量^[5]: 取样品 1.000 g, 加水和石英砂研磨成匀浆, 定容至 5 mL, 然后在 4000 r/min 离心 20 min, 取上清液 0.1 mL 加入 0.9 mL 蒸馏水和 5 mL 考马斯亮蓝 G250 试剂摇匀, 五分钟后在 595 nm 下比色, 试验重复 3 次, 通过标准曲线计算蛋白质含量。

苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 测定^[6]: 称取 1 g 样品, 冰浴固定研磨, 然后用 0.1 mol/L 硼酸缓冲液 (pH 8.8) 提取, 4 °C 12000 r/min 离心得粗酶液, 反应液总体积 5 mL (内含 0.1 mol/L 硼酸缓冲液 (pH 8.8), 120 μmol/L L-苯丙氨酸, 粗酶液 1 mL) 30 °C 反应 60 min, 加 0.2 mL 6 mol/L HCl 终止反应, 290 nm 测 OD 值, 试验重复 3 次, 以 OD 值变化 0.01 为一个酶活性单位。

超氧化物歧化酶 (SOD) 测定: 采用氮蓝四唑 (NBT) 光化还原法^[7], 即 3 mL 反应液中分别含有 0.05 mol PBS (pH 7.8)、130 mmol L-Met、750 μmol NBT、100 μmol EDTA、20 μmol 核黄素及 100 μL 酶提取液。在 4000 Lux 日光灯下反应 20 min, 测定 OD₅₆₀。以 PBS 作参比, 试验重复 3 次。SOD 活性以 U/mg pro 表示, 将抑制 50% NBT 还原所需的酶体积定义为 1 个酶活单位 (U)。

过氧化物酶 (POD) 测定^[8]: 采用愈创木酚法, 即 5 mL 反应液中分别含有 0.05 mol PBS (pH 7.8)、0.05 mol 愈创木酚、2% H₂O₂ 及 50 μL 酶提取液。连续测定 OD₄₇₀ 值, 试验重复 3 次。酶活性以 U/mg pro 表示。以 OD₄₇₀ 变化 0.01 作为一个酶活单位 (U)。

过氧化氢酶 (CAT) 活性的测定^[8]: 称取样品 1 g 于研钵中, 加入 5 mL pH 7.0 PBS, 匀浆, 在 4 °C 下 12000 r/min 离心 10 min, 取上清液。吸取 0.2 mL 上清

液, 0.2mL H₂O₂, 2.6 mL PBS, 测 5~35 s 内 240 nm 处吸光值, 试验重复 3 次。

抗坏血酸过氧化物酶(APX) 测定: 称取(鲜重)1 g, 加 2.5 mL 酶提取液(50 mmol/L PBS, pH 7.0), 冰浴研磨, 冷冻离心 12000 r/min 20 min, 上清液作酶活性分析用。APX 活性测定按徐朗莱^[7]的方法, 连续记录室温下 A₂₉₀ 的变化, 试验重复 3 次。

1.3.5 1,1-二苯基苦基苯肼自由基 (DPPH) 清除能力测定^[9]

称取 0.5 g 西兰花样品于研钵中, 用 5 mL 体积分数 50% 乙醇研磨提取, 匀浆后在 4 °C 下 12000 r/min 离心 20 min, 收集上清液。取上清液 0.1 mL, 与 1.9 mL DPPH 溶液混匀, 避光, 常温保存 20 min, 用比色皿在 517 nm 波长(自由基强吸收峰)处, 测定其吸光度值, 试验重复 3 次, 根据标准曲线计算 DPPH 的摩尔浓度, 从而计算出 DPPH 的清除率。

1.3.6 总酚含量的测定^[5]

标准曲线的绘制: 称取 0.139 g 焦性没食子酸, 少量水溶解, 加蒸馏水定容到 500 mL, 取 6 支带有塞子的试管, 分别加入 0、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4 mL 的没食子酸标准液, 用水稀释至 10 mL, 各加 1 mL Follin 试剂及 1 mL 碳酸钠, 在沸水中加热 1 分钟, 冷却并稀释至 20 mL, 室温放置 30 分钟, 测定其在 765 nm 处的吸光值, 制作标准曲线, 试验重复 3 次。

称取 1 g 西兰花样品于研钵中, 用 80% 的丙酮(含 0.2% 甲酸) 研磨提取, 匀浆后在 4 °C 下 12000 r/min 离心 20 min, 收集上清液。吸取上清液 80 μL, 蒸馏水 120 μL Follin 试剂 1 mL, 碳酸钠 1 mL, 混匀, 30 °C 保温 1 h, 测其在 765 nm 处的吸光值, 试验重复 3 次。

1.3.7 数据分析

采用 SPSS 19.0 软件对试验数据进行统计分析, P < 0.05 为差异显著, P < 0.01 为差异极显著, origin 8.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同浓度果糖处理对西兰花货架期的影响

由图 1 可知, 果糖处理组的西兰花货架期明显长于对照组, 不同浓度果糖处理效果不一, 12% 果糖处理的效果最好。与对照组相比, 12% 果糖处理组有效延长了西兰花货架期 1.1 d, 因此我们选择 12% 的果糖浓度作为目标浓度进行试验。

2.2 果糖处理对西兰花颜色参数的影响

果糖处理对西兰花颜色参数的影响如图 2 所示。

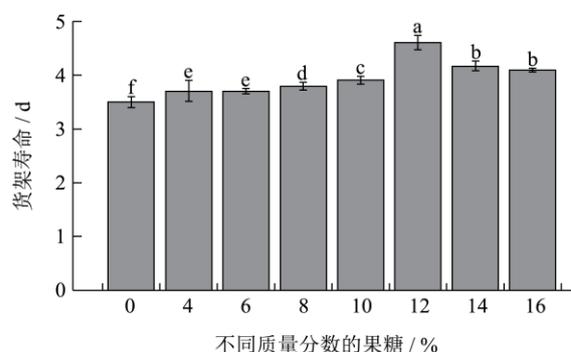


图 1 不同质量分数葡萄糖处理对青花菜货架寿命的影响

Fig.1 The effect of glucose treatment at various mass fractions on the shelf life of broccoli

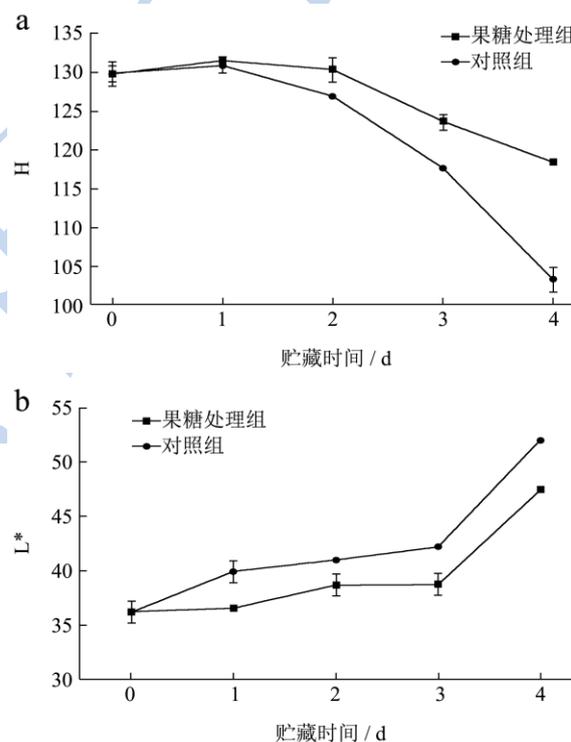


图 2 果糖处理对西兰花颜色参数 L* 值和 H 值的影响

Fig.2 The effect of fructose treatment on the color parameters (lightness, L*; and hue angle, H) of broccoli

L* 值, 明度, 反映色泽的明度, 0~100 变化, 0 代表黑色, 100 代表白色; H 值, 色泽角, 是颜色的基本特征, 在 0°~360° 之间连续变化: 0° 或 360° 指红色, 90° 是黄色, 180° 绿色, 以及 270° 蓝色。L* 值和 H 值的变化体现了青花菜感官颜色的变化。

从图 2 中看出, 随着贮藏时间的增长, H 值逐渐下降, 与对照组相比, 果糖处理显著 (P < 0.05) 抑制了 H 值的下降, 使得处理组的 H 值高于对照组; L*

值逐渐上升,与对照组相比,果糖处理显著抑制了 L^* 值的增加, L^* 值的增大表明花球的颜色亮度由深开始变浅,尤其第三天 L^* 增幅较大,说明此时花球黄花非常明显。郭香凤^[5]等研究表明6-BA对最小加工西兰花的处理也能延缓西兰花的组织黄化和腐烂,与本文研究结果相似。

2.3 果糖处理对西兰花叶绿素含量的影响

花球颜色是西兰花重要的品质指标之一,而叶绿素含量与花球颜色关系密切,果糖处理组对西兰花叶绿素含量的影响见图3。

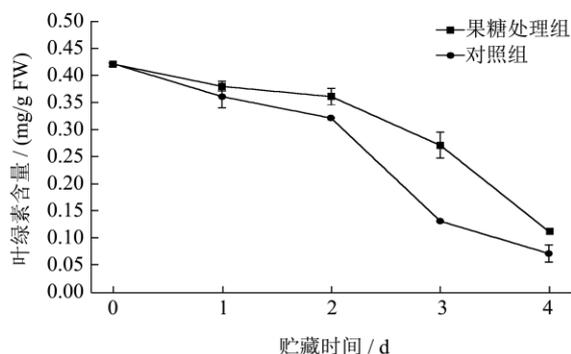


图3 果糖处理对西兰花叶绿素含量的影响

Fig 3 The effect of fructose treatment on the chlorophyll content in broccoli

图3显示,20℃贮藏期内两种处理条件下,西兰花中的叶绿素含量持续下降。与对照组相比,果糖处理组叶绿素含量较高,说明果糖能有效地延缓叶绿素的降解,维持西兰花的绿色。郭香凤等^[5]研究表明6-BA处理能有效的抑制叶绿素和类胡萝卜素的降解,纪淑娟等^[10]研究表明1-MCP和CO₂两种处理均可显著延缓西兰花中叶绿素含量下降速度,结合现有的研究成果和叶绿素代谢的途径,推测果糖处理能显著抑制叶绿素的降解,可能是与抑制叶绿素相关降解酶活性有关。

2.4 果糖处理对西兰花可溶性蛋白含量的影响

由图4可见,整个贮藏期内处理组和对照组的蛋白质含量均表现出下降趋势。贮藏开始时,处理组和对照组西兰花的蛋白质含量都为4.23 mg/g·FW,但贮藏至4 d时,两个试验组的蛋白质含量分别为2.36 mg/g FW和2.58 mg/g FW,相应减少了44.1%和39.0%。与陶炜煜等^[11]所进行的乙醇处理对最小加工西兰花蛋白含量的影响类似。可见,果糖处理能够减缓蛋白质的降解。

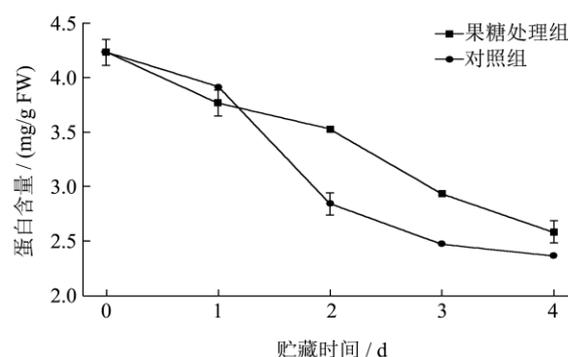


图4 果糖处理对西兰花蛋白含量的影响

Fig 4 The effect of fructose treatment on the protein content in broccoli

2.5 果糖处理对西兰花抗氧化能力的影响

SOD是一种自由基清除剂,它可以清除细胞内超氧阴离子自由基(O₂⁻),通过歧化反应生成无毒的O₂和毒性较低的H₂O₂,起到保护细胞的作用。不同处理对西兰花SOD活性的影响如图5a所示:果糖处理组的西兰花SOD活性先上升后下降,对照组的西兰花SOD活性一直下降,在整个贮藏过程中处理组SOD活性均高于对照组。

APX是植物体内清除H₂O₂的关键酶,APX活性的升高有利于植物体内H₂O₂的清除。不同处理对西兰花SOD活性的影响如图5b所示。果糖处理组的西兰花APX活性先上升后下降,对照组的西兰花APX活性一直处于下降状态,果糖处理组的APX活性一直高于对照组。

果实衰老源于活性氧的积累,由于活性氧产生和清除之间的平衡被破坏,使果实衰老加剧。CAT和SOD一样是最主要的活性氧清除剂,它能分解代谢产生的H₂O₂而有效地清除自由基。不同处理对西兰花SOD活性的影响如图5c所示。在贮藏期间,两组西兰花CAT活性都处于一直上升状态,果糖处理组西兰花的CAT活性始终高于对照组。王艳颖等^[8]研究表明,机械损伤的苹果在衰老的过程中CAT含量呈现先下降后上升的趋势,冯晴等^[12]研究表明,小麦在衰老过程中,CAT含量是呈下降趋势的。

POD是植物体内清除过氧化氢的主要酶类之一,能清除果蔬体内过量的活性氧,维持活性氧代谢平衡,保持膜结构完整,延缓果蔬衰老。不同处理对西兰花POD活性的影响如图5d所示。随着贮藏时间的延长,两组西兰花POD活性均上升,在整个贮藏过程中处理组POD活性均高于对照组。

PAL存在于植物及某些真菌中,它催化L-丙氨酸非氧化性脱氨生成反式肉桂酸(CA)。CA是植物一大

类生物活性及功能显著的苯丙烷类次生物质如黄酮、香豆素、木质素及某些酚类的生物合成起始物,因而该酶在植物次生化代谢中具有极重要的位置。果糖处理组西兰花 PAL 活性先上升后下降, 对照组 PAL 活性一直下降, 在整个贮藏过程中果糖处理组 PAL 活性均高于对照组 (图 5e)。有研究表明越嫩部位 PAL 活性越高^[13], 也证明了果糖处理能延缓西兰花的衰老。

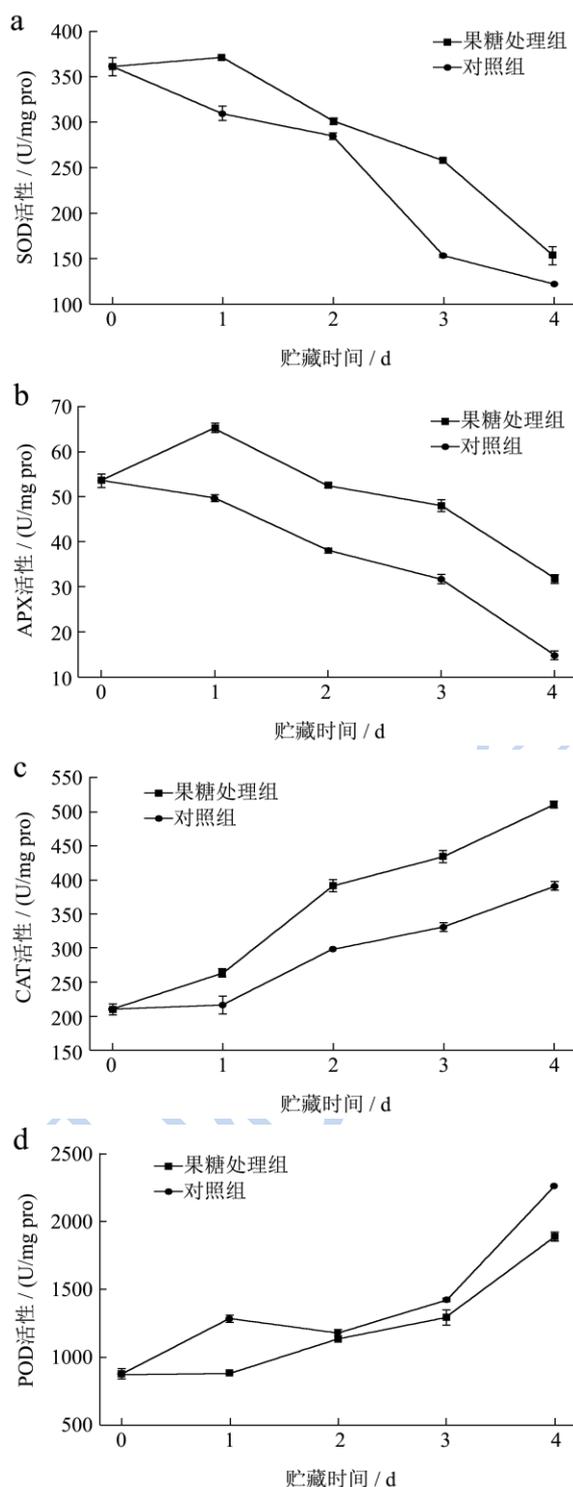


图 5 果糖处理对西兰花抗氧化能力的影响

Fig 5 The effect of fructose treatment on the antioxidant capacity of broccoli

由图 5f 可知, 在贮藏过程中, 果糖处理组西兰花 DPPH 自由基清除率一直上升, 第三天过后, 增幅减小, 而对照组 DPPH 自由基清除率先上升后下降, 可能是因为第三天过后, 对照组西兰花已经衰老, 其抗氧化能力下降。在整个贮藏过程中, 果糖处理组西兰花 DPPH 自由基清除率始终高于对照组, 并且是持续上升, 这说明果糖处理能提高采后西兰花的抗氧化能力, 其 DPPH 自由基清除能力也不断增强。

由上述结果可知, 果糖能有效的维持采后西兰花的 SOD、APX、CAT 和 PAL 的高活性, 较高的 DPPH 自由基清除率, 维持较低的 POD 活性, 从而延缓了西兰花采后的衰老, 与报道的 1-MCP、6-BA 和乙醇处理西兰花也具有相似的结果^[5,10,11]。

2.6 果糖处理对西兰花总酚含量的影响

由图 6 可知, 西兰花在贮藏过程中, 两组的总酚含量均呈上升趋势, 果糖处理组总酚含量始终高于对照组, 这说明果糖处理能有效提高总酚的含量。总酚的含量受多因素影响, 有研究表明总酚含量与苯丙氨酸解氨酶 PAL 活性有关^[14], 结合图 5E 和图 6, 我们推测, 果糖处理可能通过增强 PAL 活性来提高总酚含量。

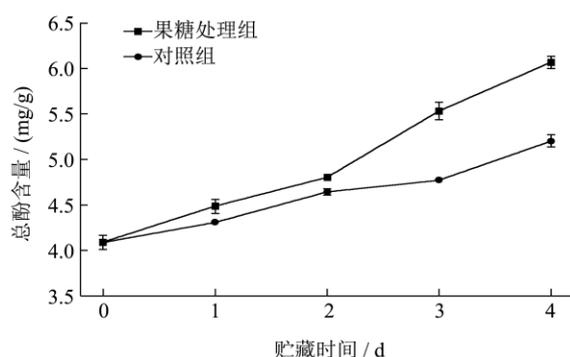


图6 果糖处理对西兰花总酚含量的影响

Fig 6 The effect of fructose treatment on the total phenol content in broccoli

3 结论

质量分数为12%的果糖处理能有效地延长西兰花的货架寿命,抑制L*值的上升、H值和叶绿素的下降,维持较低水平的POD活性。同时,果糖处理显著提高了总酚含量和SOD、CAT、APX、PAL等抗氧化酶活性,使得抗氧化能力增强。这些结果表明外源果糖处理能有效延缓西兰花的衰老与黄化,延长货架期,对研究西兰花采后生理及贮藏保鲜技术具有非常重要的现实意义。

参考文献

- [1] Volden J, Bengtsson B, Wicklundt. Glucosinolates, L-ascorbic acid, total phenols, anthocyanins, antioxidant capacities and colour in cauliflower (*Brassica oleracea* L.ssp.botrytis); effect of long term freezer storage [J]. *Food Chemistry*, 2009, 112(4): 967-976
- [2] Qin Feifei, Wang Chengrong, Wang Ran, et al. Regulation of endogenous hormones on post-harvest senescence in transgenic broccoli carrying an antisense or a sense BOACO2 gene [J]. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 2009, 7(2): 594-598
- [3] Ku V V V, Wills R B H. Effect of 1-methylcyclopropene on the storage life of broccoli [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 1999, 17(2): 127-132
- [4] Gapper N E, Coupe S A. Regulation of harvest-induced senescence in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) by cytokinin, ethylene, and sucrose [J]. *Plant Growth Regulation*, 2005, 24(3), 153-165
- [5] 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
GUO Xiang-feng, YU Ming, LIU Hong-liang, et al. Effects of 6-BA treatment on physiology and quality of minimally processed broccoli [J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2008, (8): 11-16
- [6] 江昌俊, 余有本. 苯丙氨酸解氨酶的研究进展(综述)[J]. *安徽农业大学学报*, 2001,28(4):425-430
JIANG Chang-jun, YU You-ben. Advances of studies on phenylalanine ammonia-lyase [J]. *Journal of Anhui Agricultural University*. 2001, 28(4): 425-430
- [7] 徐朗莱, 叶茂炳. 过氧化物酶活力连续记录测定法. *南京农业大学学报*, 1989,12:82-83
XU Lang-lai, YE Mao-bing. Continuous recording peroxidase activity assay [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1989, 12: 82-83
- [8] 王艳颖, 胡文忠, 庞坤, 等. 机械损伤对富士苹果抗氧化酶活性的影响[J]. *食品与机械*, 2007,23(5):26-30
WANG Yan-ying, HU Wen-zhong, PANG Kun, et al. Effects of mechanical damage on the activities of antioxidant enzymes in fuji apples [J]. *Food and Machinery*, 2007, 23(5): 26-30
- [9] Larrauri J A, Sánchez-Moreno C, Saura-Calixto F. Effect of temperature on the free radical scavenging capacity of extracts from red and white grape pomace peels [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1998, 46(7): 2694-2697
- [10] 纪淑娟, 熊振华, 程顺昌, 等. 1-MCP和CO₂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
JI Shu-juan, XIONG Zhen-hua, CHENG Shun-chang, et al. Effects of spontaneous release 1-mcp and co2 on the quality of broccolis during shelf life [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2014, 40(2): 202-206
- [11] 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
TAO Wei-yu, HAN Jun-hua, NIU Tian-gui, et al. Effects of ethanol vapor treatment on physiology and quality of minimally processed broccoli [J]. *Food Science and Technology*, 2006, 31(4): 43-46
- [12] 冯晴, 徐朗莱, 叶茂炳, 等. 小麦叶片衰老过程中CAT和APX活力及其同工酶谱的变化[J]. *南京农业大学学报*, 1997, 2: 95-99
FENG Qing, XU Lang-lai, YE Mao-bing, et al. Changes of activities and isoenzymic zymogram of CAT and APX during senescence of wheat leaves [J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1997, 2: 95-99
- [13] Rajagopal Subramaniam, et al. Structure, inheritance, and expression of hybrid poplar (*Populus trichocarpa* × *Populus deltoides*) phenylalanine ammonia-lyase genes [J]. *Plant Physiology*, 1993(102): 71-83

- [14] Lemoine M L, Chaves A R, Martn éz G A. Influence of combined hot air and UVC treatment on the antioxidant system of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*) [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2010, 43(9): 1313-1319

现代食品科技