

罗淑芬, 胡花丽, 周宏胜, 等. 不同温度条件下薄膜包装对西兰花采后品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(2): 420-428.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2019.02.024

不同温度条件下薄膜包装对西兰花采后品质的影响

罗淑芬¹, 胡花丽¹, 周宏胜¹, 张雷刚¹, 李鹏霞^{1,2}

(1. 江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏 南京 210014; 2. 江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 江苏 南京 210014)

摘要: 为探讨不同温度条件下薄膜包装对西兰花采后品质的影响, 以品种优秀西兰花为研究对象, 通过在 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 和 80%~90% 相对湿度下, 采用 5 种薄膜[聚偏二氯乙烯(P1)、高密度聚乙烯(P2)、聚乙烯(P3)、聚氯乙烯(P4)、纳米银薄膜(P5)]对西兰花进行包装, 以感官评价为指标筛选出最适宜西兰花包装的薄膜; 再以此最适薄膜材料于 $(10 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、 $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 温度下分别对西兰花进行包装, 研究不同温度条件下薄膜包装对西兰花品质、营养成分、抗氧化酶活性及采后菌落总数的影响。结果表明: 以感官评价为指标筛选出的最适宜西兰花包装的薄膜为 P5; 与对照组相比, 纳米银薄膜袋在 $(10 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、 $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$ 、 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 条件下, 皆可有效降低西兰花的呼吸速率, 延缓失水及叶绿素降解, 维持其组织较高的 V_c 和可溶性蛋白质含量, 并有效抑制其细胞膜透性及丙二醛含量的增加, 同时不同程度地保持西兰花组织较高的二苯基苦基苯肼(DPPH)、 $\cdot\text{OH}$ 、 O_2^- 等的清除率和超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性; 此外纳米银薄膜袋有效抑制了西兰花组织过氧化物酶(POD)活性, 并通过抑制其表面菌落生长以减少组织亚硝酸盐的生成, 从而防止西兰花的腐烂。因此, 纳米银薄膜袋有利于不同温度下西兰花采后品质的保持。

关键词: 西兰花; 薄膜包装; 贮藏; 品质

中图分类号: TS255.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2019)02-0420-09

Effects of packaging films on postharvest quality of broccoli at different temperatures

LUO Shu-fen¹, HU Hua-li¹, ZHOU Hong-sheng¹, ZHANG Lei-gang¹, LI Peng-xia^{1,2}

(1. Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China)

Abstract: To investigate the effects of different packaging films on postharvest quality of broccoli at different storage temperature, the Youxiu broccolis were selected as experimental materials. The fresh broccolis were packaged with five packaging films, including polyvinylidene chloride (P1), high density polyethylene (P2), polyethylene (P3), polyvinyl chloride (P4), films containing nano-Ag (P5) at $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ and the relative humidity of 80%~90%. The packaging of P5 showed the best effect on keeping the freshness of broccoli by evaluating the sensor quality of the sample. Then, the broccolis were packaged with P5 at different temperatures, including $(10 \pm 1)^\circ\text{C}$, $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$ and $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, and the effects of packaging films on quality, nutrient composition, antioxidant enzyme activity and postharvest colony count of broccoli were studied. Compared

收稿日期: 2018-06-01

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(18)2028]; 苏北科技发展计划——科技富民强县项目(SZ-XZ2017001)

作者简介: 罗淑芬(1988-), 女, 江西宜春人, 硕士, 助理研究员, 主要从事果蔬采后生理生化研究。(E-mail) luoshufen666@126.com

通讯作者: 李鹏霞, (E-mail) pengxiali@126.com

with control, the nano-Ag packaging film could significantly inhibit the respiration rate, degradation of chlorophyll and weight loss, and keep the contents of vitamin C and soluble protein at different temperatures. In addition, the nano-Ag packaging film delayed the increase of cell membrane permeability and malondialdehyde content in broccoli, and maintained the scavenging rates of diphenylpicryl phenyl-

hydrazine (DPPH), $\cdot\text{OH}$ and $\text{O}_2^{\cdot-}$, as well as the activities of superoxide dismutase (*SOD*) and catalase (*CAT*) at different temperatures. What's more, the peroxidase (*POD*) activity was increased and the growth rate of bacterial colonies at the surface of broccoli was inhibited by the nano-Ag packaging film, thus, resulted in less production of nitrite and alleviated decay of broccolis. Therefore, the nano-Ag packaging film can effectively maintain the postharvest quality of broccolis at different temperatures.

Key words: broccoli; packaging films; storage; quality

西兰花 (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) 又名青花菜、嫩茎花椰菜等, 十字花科芸苔属甘蓝种^[1], 富含蛋白质、脂肪、糖、多种维生素和矿物质, 还含有硫代葡萄糖苷及其衍生物萝卜硫素等具有抗癌解毒、延缓衰老等作用的成分, 具有很高的营养保健价值。西兰花采后呼吸代谢十分旺盛, 其组织幼嫩, 几乎无保护组织, 在贮运中极易受机械损伤及病菌侵染, 耐贮性极差, 常温下极易失水萎蔫、黄化, 采后 2~3 d 即失去商品价值^[2]。因此, 西兰花的贮藏保鲜问题已成为当前的研究热点。

薄膜包装是一种简单实用的自发气调保鲜技术, 常用的聚乙烯 (PE) 和聚丙烯 (PP) 薄膜已被成功应用于西兰花的贮藏保鲜上^[3-7]。在此基础上, 通过对 PP 材质的物理性能改性, 敖静等^[6]发现双向拉伸聚丙烯薄膜 (PP) 可进一步提高西兰花叶绿素、可溶性糖、维生素 C 等营养品质的保持效果。而 Lucera 等^[8]和杨静等^[9]皆发现, 适宜孔径及孔数的 PP 微孔膜可有效保持西兰花的品质; Jia 等^[10]认为两侧各打一个 750 μm 微孔的 PE 袋对西兰花的保鲜效果较无孔袋差, 而闫凯亚等^[11]采用的蓄冷剂结合 PE 微孔袋 (孔径: 280 μm) 对西兰花的保鲜效果则较单独 PE 袋更佳。此外, 万哲等^[12]成功制得胺基载体选择性渗透膜, 并发现其与低密度 PE 薄膜相比, 对控制西兰花呼吸作用的效果更佳。

纳米包装膜是通过纳米技术对产品包装薄膜进行纳米合成、添加、改性, 使其具有某一特性或功能的纳米薄膜。例如, 纳米银薄膜具有较好的抗菌作用, 近年来被广泛应用在果蔬采后保鲜中。Shi

等^[13]研究发现含纳米银的薄膜材料与普通聚乙烯薄膜相比, 可进一步缓解金针菇的褐变、萎蔫、开伞等问题, 并有效抑制其组织纤维化、蛋白质氧化和活性氧积累。Kumara 等^[14]将壳聚糖、明胶和纳米银复合制备成可生物降解的膜, 并成功用于红葡萄的保鲜, 有效抑制了其采后腐烂。而 Wang 等^[15]将纳米银、二氧化钛、凹凸棒石和二氧化硅粒子的复合材料应用于大米包装, 发现其同时具有很好的抗菌和保持袋内低 O_2 和高 CO_2 环境的效果。此外, 纳米银薄膜材料还被广泛应用于番茄、南丰蜜桔、双孢菇、卷心菜和生菜等果蔬的采后保鲜^[16-19]。目前, 有关西兰花的薄膜包装研究主要集中于控制生理代谢方面, 但薄膜包装的西兰花极易被病菌侵染, 尤其在常温货架条件下易产生腐烂的问题仍未得到很好的解决, 有关同时控制西兰花采后生理代谢和病菌侵染的薄膜材料报道仍较少。

本试验采用纳米银薄膜对西兰花进行包装, 同时与市场上常规的薄膜包装进行对比, 研究不同温度下薄膜包装对西兰花贮藏品质及抗氧化活性的影响, 以期对西兰花的贮藏保鲜提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

西兰花购自江苏省南京市众彩物流市场, 品种为优秀, 采购后 1 h 内运回江苏省农业科学院农产品贮藏保鲜研究室预处理实验室。挑选花球紧密鲜绿, 无明显机械损伤和病虫害, 大小均匀, 成熟度基本一致的西兰花为试验材料。试验用薄膜包装材料及相关参数见表 1。

表 1 薄膜材料的具体参数

Table 1 The parameters of the packaging films

包装袋	编号	材质	O_2 渗透系数 [$\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{MPa})$]	CO_2 渗透系数 [$\text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{MPa})$]	厚度 (μm)
食品级妙洁增厚保鲜袋	P1	聚偏二氯乙烯	5 479.97	16 755.93	12.0
食品级超市连卷袋	P2	高密度聚乙烯	8 767.24	24 867.29	10.0
食品级 CO_2 富集保鲜袋	P3	聚乙烯	1 309.73	3 705.70	40.5
食品级 PVC 保鲜袋	P4	聚氯乙烯	7 665.31	18 756.74	10.5
食品级纳米保鲜袋	P5	纳米银薄膜	1 481.00	4 668.89	29.5

1.2 仪器与设备

MIR254 控温箱,日本 Sallvo 公司产品;TU-1810 紫外可见分光光度计,北京普析通用仪器公司产品;Sigma 3K15 高速冷冻离心机,美国 Sigma-Aldrich 公司产品;A11BS25 液氮研磨器,艾卡(广州)仪器设备有限公司(IKA 中国)产品;PL202-L 天平,Mettler Toledo 公司产品;Agilent Technologies 7820A 气相色谱仪,美国安捷伦科技公司产品;SW-SJ-1B 超净工作台,苏州净化设备有限公司产品;THZ-82 气浴恒温振荡器,金坛市医疗仪器厂产品;SYQ-DSX-280B 高压灭菌锅,上海申安医疗器械厂产品。

1.3 试验处理与设计

用 5 种不同薄膜袋(P1~P5,规格 25 cm×35 cm)对西兰花进行包装处理,以不包装为对照。包装方式为单朵包装,每种薄膜袋包装 5 组。于(20±1)℃、相对湿度 80%~90%条件下贮藏 5 d,对西兰

花进行感官评价,通过表型观察及感官评分,筛选出对西兰花保鲜效果最佳的薄膜袋。

以最佳薄膜袋对西兰花进行包装处理,分别置于(10±1)℃、(15±1)℃、(20±1)℃,相对湿度 80%~90%条件下贮藏。每种温度包装 54 组(单朵包装为 1 组),并分别设置对照。每隔 2 d 对西兰花拍照,称质量,测定呼吸速率后取样,取样部位为花蕾。部分花蕾鲜样用于测定相对电导率及菌落总数,剩余部分用液氮进行速冻,置于-20℃保存,用于各项生理指标测定。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 感官评价 参考王宏延等^[20]的方法进行感官评定,采用 10 分制评分法。根据色泽、气味、质地及腐烂程度共 4 项指标对西兰花进行评价,各项指标均采用 5 级标准打分方法(表 2)。

表 2 西兰花感官评分标准

Table 2 Sensory evaluation standard of broccoli

感官指标	分值(分)				
	9~10	7~8	5~6	3~4	1~2
色泽	鲜绿色	绿色,失去光泽	<20%花蕾黄化	20%~50%花蕾黄化	50%以上花蕾黄化
气味	清香,固有气味,无异味	固有气味,无异味	固有气味,轻度腐败味	无固有气味,腐败气味	明显腐败,变质异味
质地	硬度大,脆度大,花球组织致密	硬度、脆度降低,开始枯塌,花球中心组织致密	花球开始松软,枯塌	花球松软,硬度、脆度较低	脆度及硬度极低,明显软烂
腐烂	新鲜,无腐败	无腐败但不新鲜	<20%腐败变质	20%~50%腐败	50%以上腐败

1.4.2 呼吸速率的测定 参照高建晓等^[21]的方法。

1.4.3 失重率的测定 采用质量法。用电子秤称量西兰花样品质量,重复测定 3 次,计算失重率。失重率=[(贮藏前质量-测定时质量)/贮藏前质量]×100%。

1.4.4 叶绿素含量的测定 采用乙醇浸提法^[22],称取西兰花粉末样品 1.0 g,加入 20 ml 95%乙醇充分混合,浸提至组织变白,过滤。用无水乙醇调零,于 665 nm、649 nm 波长处测定吸光值,计算叶绿素含量(mg/g)。

1.4.5 V_c 含量的测定 V_c 含量采用 2,6-二氯酚法^[22]测定。称取 1 g 西兰花粉末样品,加 20 ml 2%草酸溶液,离心(10 000 r/min,20 min,4℃)后取上清液备用。取上清液 2 ml,用 1%草酸溶液稀释至 25 ml,混匀,取 20 ml 滤液,置于 50 ml 三角瓶中,用

已标定的 2,6-二氯酚染料溶液滴定,直至溶液呈微红色,且 15 s 内不褪色为滴定终点,重复 3 次。同时,以 20 ml 2%草酸溶液为空白对照,用同样方法进行滴定,计算 V_c 含量。

1.4.6 可溶性蛋白质含量的测定 可溶性蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝 G-250 染色法^[22]。称取 1.0 g 西兰花粉末样品,加入 10 ml 0.1 mol/L 磷酸缓冲液(pH 7.2)混匀,于 4℃浸提 2 h,离心(10 000 r/min,20 min,4℃)后取上清液 1 ml,加入 5 ml 考马斯亮蓝 G-250 试剂,充分混合,测定 595 nm 波长下吸光值。以牛血清蛋白为标准物制作标准曲线,计算西兰花组织中蛋白质含量。

1.4.7 可溶性糖含量的测定 参考硫酸蒽酮法^[23]测定可溶性糖含量。

1.4.8 相对电导率的测定 参考林本芳等^[24]的方

法,略有改动。称取 1.0 g 西兰花样品,用 10 ml 去离子水冲洗 3 次后,置于 50 ml 试管中,加去离子水 20 ml,25 ℃ 平衡 30 min 后,用 PD-501 电导率仪测定电导率 P_1 ,然后沸水浴保温 10 min,冷却后补水至原刻度,测定电导率 P_2 ,计算相对电导率。相对电导率 $= (P_1/P_2) \times 100\%$ 。

1.4.9 丙二醛(MDA)含量的测定 参照李合生^[22]的方法测定丙二醛含量。

1.4.10 DPPH 清除率的测定 参考 Dong 等^[25]的方法,略有改动。称取 1.0 g 样品,加 20 ml 95%乙醇充分研磨,4 ℃ 下浸提 5 h,离心(10 000 r/min,20 min,4 ℃)后取上清液备用。反应液为 0.5 ml 2×10^{-3} mol/L DPPH 溶液和 2.3 ml 上清液,对照管中以 0.5 ml 95%乙醇代替上清液,各管均用蒸馏水定容至 5 ml。于 517 nm 波长测定吸光度,重复测定 3 次,计算 DPPH 清除率。

1.4.11 羟基自由基($\cdot OH$)清除率的测定 样品提取同方法 1.4.10。首先,于试管中依次加入 2.0 ml 0.15 mol/L 磷酸缓冲液(pH 7.4)、0.3 ml 5 mol/L 邻二氮菲溶液、0.2 ml 7.5 mol/L 硫酸亚铁溶液,混合混匀,加入 0.5 ml 上清液,混合均匀,加入 1.0 ml 0.02% H_2O_2 至 6.0 ml,于 37 ℃ 水浴 1 h 后,在波长 510 nm 处测定吸光值,计算清除率。

1.4.12 超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot -}$)清除率的测定 样品提取同方法 1.4.10。取 2.5 ml 0.05 mol/L Tris-HCl 缓冲液(pH 8.2),置于 25 ℃ 水浴 20 min,分别加入 0.5 ml 上清液和 0.5 ml 25 mmol/L 邻苯三酚溶液,混匀,记录 6 min 内 OD_{425} 的变化。以提取液代替上清液为对照组,计算清除率。

1.4.13 过氧化物酶(POD)活性的测定 采用愈创木酚法测定 POD 活性^[22]。

1.4.14 超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定 参照赵世杰等^[23]的方法测定 SOD 活性。

1.4.15 过氧化氢酶(CAT)活性的测定 采用过氧化氢法测定 CAT 活性^[22]。

1.4.16 菌落总数的测定 参照国家标准 GB478 9.2-2010^[26]测定西兰花组织的菌落总数,所有操作均在无菌室及超净工作台上完成。

1.4.17 亚硝酸盐含量的测定 参考盐酸萘乙二胺法^[27]测定亚硝酸盐含量。

1.5 数据统计与分析

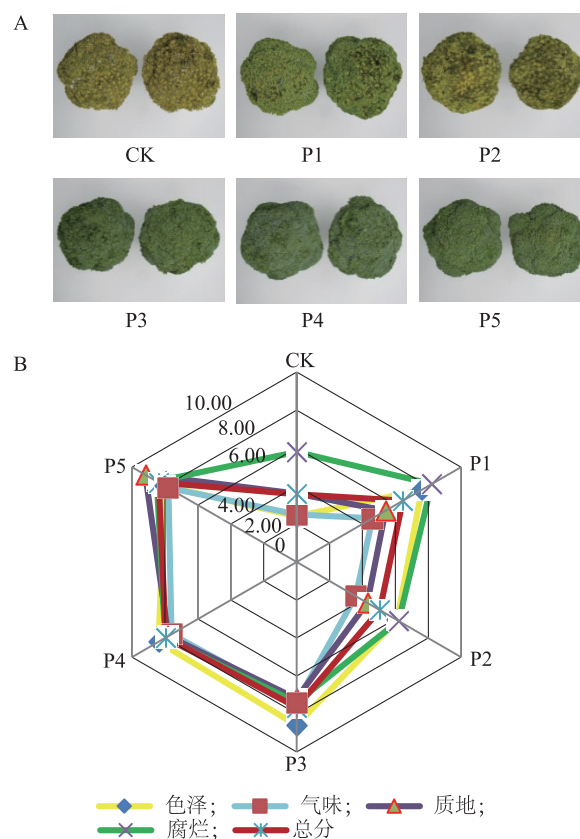
所有测定均平行 3 次,数据采用平均值 \pm 标准

差表示。采用 Origin 8.5 软件绘制图表,采用 SPSS 18.0 软件进行邓肯氏差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同薄膜包装材料对西兰花的保鲜效果

由图 1 可知,贮藏第 5 d 时,P1 组西兰花虽色泽优于对照,但已明显腐烂;P2 组西兰花品质最差,与对照无差异;P3、P4 组外观保持鲜绿,得分显著高于对照($P < 0.05$),但散发明显腐烂气味,且两者间无显著差异;P5 组西兰花外观鲜绿,无明显气味及腐烂现象,得分显著高于其他处理($P < 0.05$)。说明 P5 处理最适宜西兰花贮藏,因此选择 P5 薄膜研究不同温度条件下薄膜包装对西兰花贮藏品质影响。



P1~P5: 薄膜包装材料,见表 1。

图 1 不同薄膜包装材料对西兰花的保鲜效果 (A) 及其感官评分 (B) 的影响

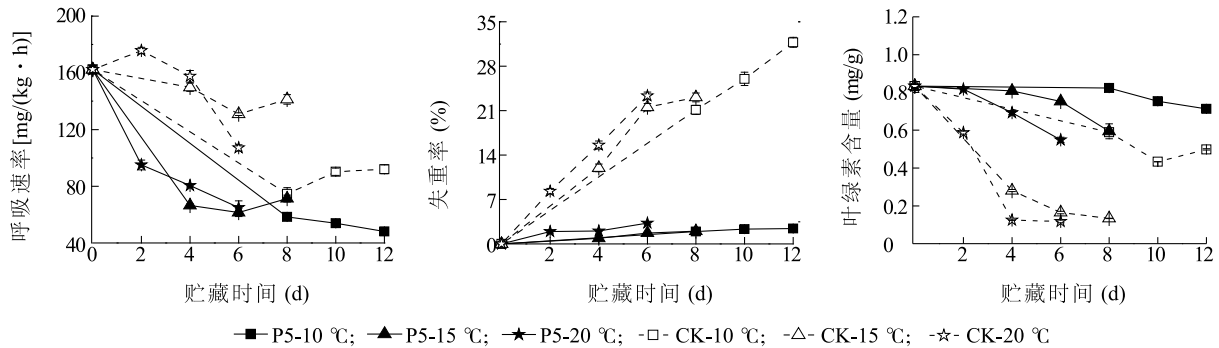
Fig.1 Effect of different packaging films on the preservation effect (A) and sensory evaluation (B) of broccoli

2.2 不同温度条件下薄膜包装对西兰花贮藏品质的影响

由图 2 可看出,贮藏期间,不同温度条件下西兰

花的呼吸速率皆整体呈下降趋势,且在整个贮藏期间,各温度下薄膜包装处理皆显著低于相应的对照 ($P<0.05$)。对照西兰花的失重率达到相应薄膜包装处理的4.28~13.18倍 ($P<0.05$)。在贮藏期间,各组西兰花叶绿素含量变化趋势一致,且温度越高

叶绿素降解越快,而薄膜包装对各温度下西兰花叶绿素含量的下降都起到了显著的抑制作用 ($P<0.05$)。可见,不同温度条件下薄膜包装对抑制西兰花呼吸速率、失重及叶绿素的降解都具有较好的效果。



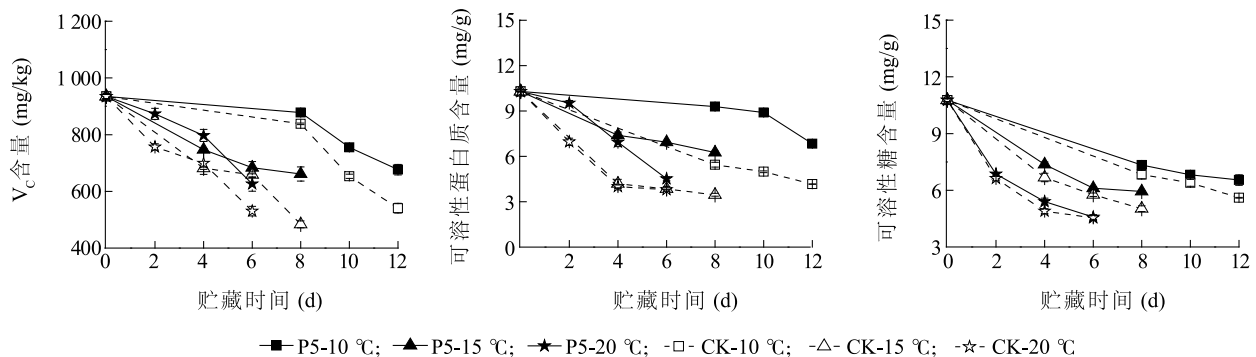
P5 见表 1。

图 2 不同温度条件下薄膜包装对西兰花呼吸速率、失重率和叶绿素含量的影响

Fig.2 Effect of packaging film on respiration rate, weight loss rate and chlorophyll content of broccoli at different temperatures

图 3 显示,西兰花的 V_c 、可溶性蛋白质和可溶性糖含量皆呈现逐渐下降趋势,且对照组的三者含量下降速度皆较相应薄膜包装组快,但仅 V_c 含量和可溶性蛋白质含量在整个贮藏期间呈显著差异 ($P<0.05$)。而对照组可溶性糖含量仅在 10 °C 贮藏第

12 d, 15 °C 贮藏 8 d, 20 °C 贮藏 4 d 显著低于薄膜包装组 ($P<0.05$)。可见,薄膜包装在不同温度条件下可有效地保持西兰花 V_c 和可溶性蛋白质含量,但对抑制可溶性糖含量下降的效果不明显。



P5 见表 1。

图 3 不同温度条件下薄膜包装对西兰花 V_c 、可溶性蛋白质和可溶性糖含量的影响

Fig.3 Effect of packaging film on vitamin C, soluble protein and soluble sugar contents of broccoli at different temperatures

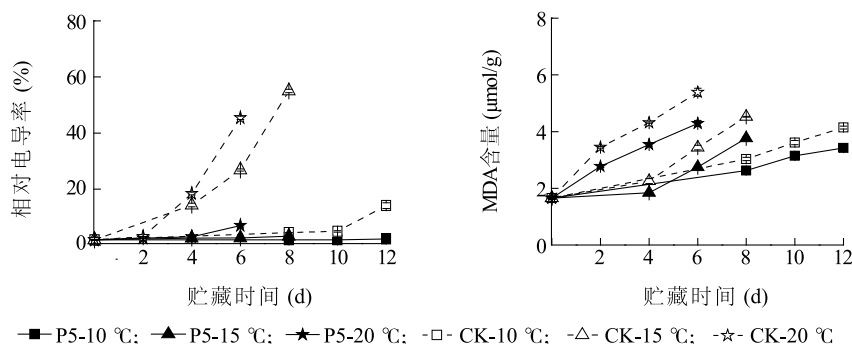
细胞膜透性可反映细胞损伤和果蔬衰老程度,其大小用相对电导率衡量,其值越高,细胞膜透性越大。图 4 显示,整个贮藏期间,不同温度条件下薄膜包装组西兰花的相对电导率均显著低于相应对照 ($P<0.05$),至贮藏终点时,10 °C、15 °C 和 20 °C 下薄膜包装组分别仅为相应对照的 6.30%、5.85% 和 1.55%。随着贮藏时间的延长,不同温度条件下西兰花 MDA 含量均逐渐升高,且在整个贮藏期间,薄

膜包装组 MDA 含量均显著低于对照 ($P<0.05$)。说明薄膜包装在不同温度条件下皆可有效抑制西兰花的细胞膜透性及 MDA 含量增加。

图 5 表明,在贮藏前期,西兰花 DPPH 清除率趋于平稳,且各温度条件下薄膜包装组与对照组无差异;贮藏后期,各温度下对照组明显下降,且 10 °C、15 °C、20 °C 下分别在贮藏第 10~12 d、8 d、6 d 时处理组与对照组出现显著差异 ($P<0.05$)。贮藏期间,

不同温度条件下薄膜包装组西兰花 $\cdot\text{OH}$ 清除率均高于相应对照组 ($P<0.05$)。此外,西兰花 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除率在贮藏期间先上升后迅速下降,且薄膜包装组均高于相应对照组,其中尤以 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下差异最为明显 ($P<0.05$),至 6~8 d 时,高出对照约 15%。由此

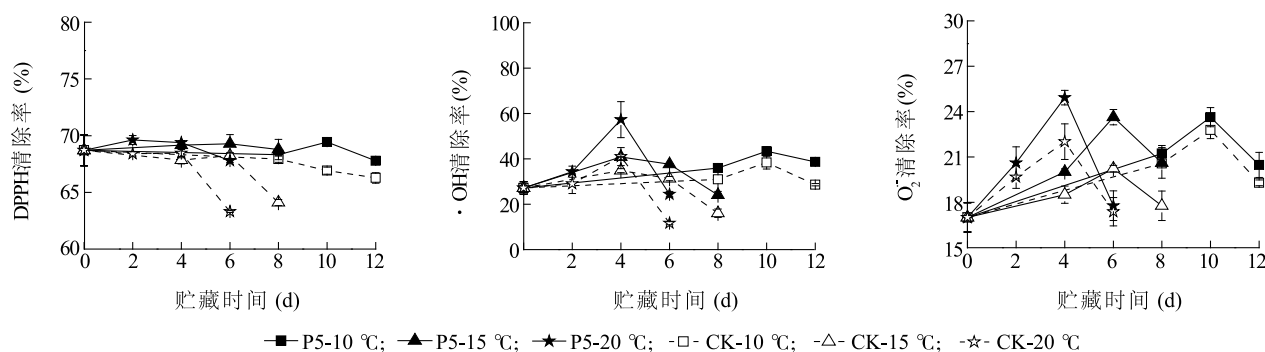
可见,不同温度条件下,薄膜包装对 DPPH、 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除率的保持效果不一致,其中对 $\cdot\text{OH}$ 效果最好,而对 DPPH 清除率则因温度不同而有所差异,对 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除率则仅在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下效果明显。



P5 见表 1。

图 4 不同温度条件下薄膜包装对西兰花相对电导率和 MDA 含量的影响

Fig.4 Effect of packaging film on relative electric conductivity and MDA content of broccoli at different temperatures



P5 见表 1。

图 5 不同温度条件下薄膜包装对西兰花 DPPH、 $\cdot\text{OH}$ 、 $\text{O}_2^{\cdot-}$ 清除率的影响

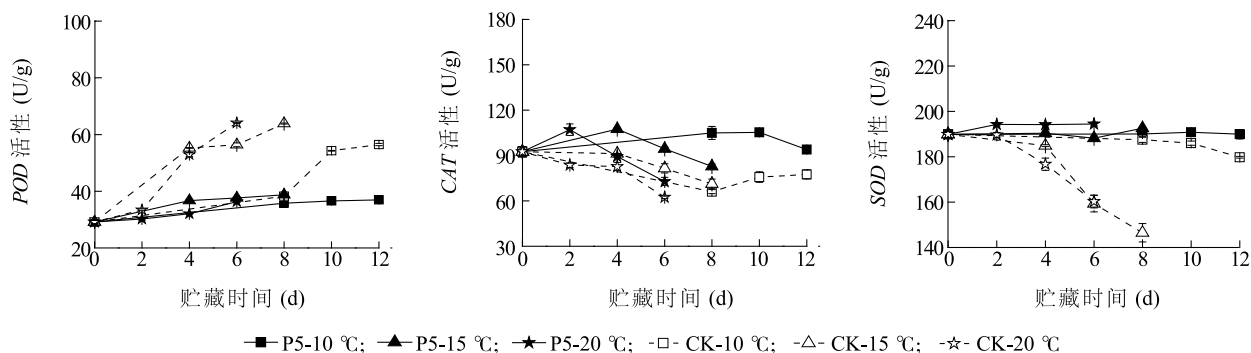
Fig.5 Effect of packaging film on scavenging rate of DPPH, $\cdot\text{OH}$ and $\text{O}_2^{\cdot-}$ in broccoli at different temperatures

由图 6 可看出,西兰花中 POD 活性在贮藏期间呈上升趋势,且对照组上升速率均高于相应薄膜包装组,至贮藏末期,高出相应薄膜包装组 50% 以上;而在整个贮藏过程中,西兰花 CAT 活性整体趋于平稳,但薄膜包装组 CAT 活性均显著高于相应对照组 ($P<0.05$);薄膜包装组西兰花 SOD 活性在贮藏期间比较平稳,至贮藏终点时,各温度下对照组 SOD 活性均有不同程度降低,其中尤以 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下最为明显,分别下降至相应薄膜包装组的 73.15% 和 84.72%。由此可见,不同温度条件下薄膜包装可有效保持西兰花 SOD 和 CAT 的活性,但对其 POD 活性却有抑制作用。

随着贮藏时间的延长,西兰花的菌落总数逐渐上升(图 7)。在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下,薄膜包装组

的菌落总数及生长速率在整个贮藏期间均显著低于相应对照组 ($P<0.05$),尤其 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下薄膜包装组的菌落总数在 6 d 时比对照组低约 1 个数量级,而在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下薄膜包装组与对照仅在贮藏末期呈显著差异 ($P<0.05$)。

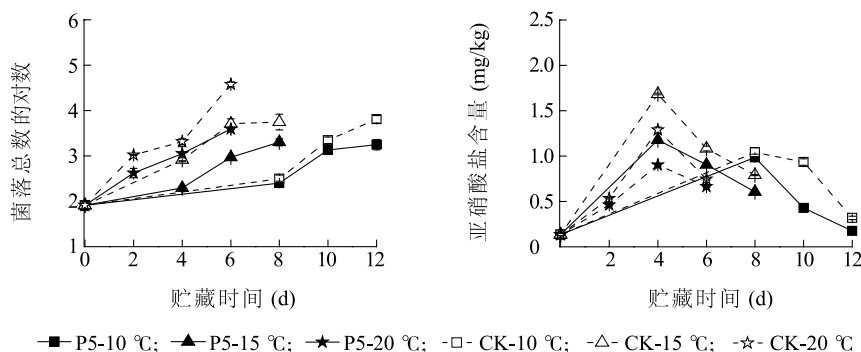
由图 7 可知,在不同温度条件下,各组西兰花组织中亚硝酸盐含量的变化趋势基本一致,表现为先上升后下降。在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下,西兰花中亚硝酸盐含量均在第 4 d 达到峰值,且在整个贮藏过程中,对照组皆显著高于薄膜包装组 ($P<0.05$);而在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,薄膜包装组在 8 d 后才显著低于对照组 ($P<0.05$)。可见,薄膜包装在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下对西兰花的菌落总数及亚硝酸盐的增长具有较好的抑制效果,而在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下,薄膜包装仅在贮藏末期显示较好的效果。



P5 见表 1。

图 6 不同温度条件下薄膜包装对西兰花 POD、CAT 和 SOD 活性的影响

Fig.6 Effect of packaging film on POD, CAT and SOD activity of broccoli at different temperatures



P5 见表 1。

图 7 不同温度条件下薄膜包装对西兰花表面菌落总数和亚硝酸盐含量的影响

Fig.7 Effect of packaging film on total number of bacterial colonies and nitrite content of broccoli at different temperatures

3 讨论

薄膜包装通过果蔬的呼吸作用和材料对 O_2 和 CO_2 的渗透性能使包装袋内形成稳定的气体微环境,从而降低果蔬的呼吸速率^[28]。王亚楠等^[29]采用 32.7 μm 的 PE 薄膜袋有效降低了桑葚的呼吸强度。西兰花的呼吸速率是影响其采后衰老的关键因素,本试验采用的纳米银薄膜袋有效抑制了不同温度下西兰花的呼吸速率,同时减缓了其花蕊黄化和水分损失,从而有效地保持了西兰花的感官品质。这与 De 等^[7]采用高密度 PE 袋 (20 μm) 对西兰花包装所得的结果相似。敖静等^[6]发现双向拉伸 PP 袋不仅可有效抑制采后西兰花的呼吸作用、黄化和失水,还对保持其组织的 V_c 、可溶性糖、可溶性蛋白质等营养物质含量具有较佳的效果。与其相似,本试验采用的纳米银薄膜袋也有效地保持了西兰花的营养品质。有研究者还发现纳米银薄膜袋在保持番

茄和卷心菜组织酚和黄酮等抗氧化物质含量上具有很好的效果^[19]。

植物在衰老过程中会产生 O_2^- 和 H_2O_2 等活性氧,当活性氧生成加快,膜脂过氧化和细胞膜透性随之增加,由此造成 MDA 的积累,若果蔬自由基清除能力下降,体内活性氧生成和清除代谢平衡被打破,则会加速果蔬的衰老进程^[30-31]。本试验结果显示,纳米银薄膜袋对保持西兰花各温度下 $\cdot OH$ 和 DP-PH 清除率,及 15 $^{\circ}C$ 下的 O_2^- 清除率效果较佳,有效抑制了不同温度下其组织细胞膜透性及 MDA 含量的增加。类似地,Shi 等^[13]也发现纳米银薄膜可有效保持包装袋内金针菇组织较低的活性氧水平。此外,可清除植物体内活性氧的抗氧化酶系^[32],例如 SOD 和 CAT 等,在纳米银薄膜袋包装的西兰花组织中维持了较高水平,这进一步证实不同温度条件下纳米银薄膜袋可使西兰花保持活性氧生成和清除代谢平衡的较佳状态。史君彦等^[33]也发现,纳米银薄

膜可显著抑制西兰花 MDA 的积累和 *POD* 和 *CAT* 活性的下降。Hu 等^[34]将纳米银薄膜应用于猕猴桃包装,也得到类似结果。但我们发现,纳米银薄膜袋抑制了西兰花组织 *POD* 的活性,原因可能为纳米银薄膜袋具有一定的抑菌作用,而 *POD* 作为抗病酶参与了西兰花组织抗病防御当中^[35]。

果蔬表面的微生物对其货架期有直接影响,而且果蔬具有的硝酸还原酶会将硝酸盐转变为亚硝酸盐^[36]。本研究发现纳米银薄膜袋可有效抑制西兰花表面菌落总数,使其组织中亚硝酸盐含量始终低于国家安全食用标准(4 mg/kg)^[37]。Wang 等^[15]采用纳米银、二氧化钛、凹凸棒石和二氧化硅粒子的复合材料包装大米,也得到同样的结果。

综上所述,不同温度下纳米银薄膜袋可有效降低西兰花呼吸速率、失重率,抑制叶绿素降解,并维持其较高的营养品质,同时不同程度地保持较佳的 DPPH、 $\cdot\text{OH}$ 、 O_2^- 等自由基清除率和 *SOD*、*CAT* 活性以抑制其细胞膜透性和 MDA 含量的上升,从而保持较好的西兰花贮藏品质。此外,纳米银薄膜袋还可抑制西兰花表面菌落总数的增长,有效控制西兰花组织中亚硝酸盐的生成,并抑制 *POD* 活性,具有较好的抑菌效果。因此,纳米银薄膜袋与普通包装袋相比,不仅可有效控制西兰花的采后生理代谢,还可降低其采后病菌侵染速度。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] QIN F F, WANG C G, WANG R, et al. Regulation of endogenous hormones on post-harvest senescence in transgenic broccoli carrying an antisense or a sense BO-ACO2 gene[J]. Journal of Food, Agriculture and Environment, 2009, 7(2): 594-598.
- [3] 周庆红,宋宇,双巧云. 不同薄膜包装方式对青花菜贮藏品质的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 26(18): 251-254.
- [4] 斯跃洲,高佳,李焕秀,等. 包装膜透性对西兰花采后冷藏品质变化的影响[J]. 现代食品科技, 2017, 33(7): 186-191.
- [5] 黎春红,周宏胜,张雷刚,等. 适于桃果实货架保鲜的不同包装材料的筛选[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(20): 215-219.
- [6] 敖静,张昭其,黄雪梅. 不同薄膜自充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.
- [7] DE B T, CROUCH E M. Packaging in the maintenance of postharvest keeping quality of 'Parthenon' broccoli during long term storage and subsequent shelf-life[J]. Acta Horticulturae, 2013, 1007(1007): 65-72.
- [8] LUCERA A, COSTA C, MASTROMATTEO M, et al. Fresh-cut broccoli florets shelf-life as affected by packaging film mass transport properties[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 102(2): 122-129.
- [9] 杨静,张蕾. 打孔包装对西兰花品质的影响[J]. 包装工程, 2012, 33(3): 31-34.
- [10] JIA C G, XU C J, WEI J, et al. Effect of modified atmosphere packaging on visual quality and glucosinolates of broccoli florets[J]. Food Chemistry, 2009, 114(1): 28-37.
- [11] 闫凯亚,何叶子,张敏. 包装方式对西兰花物流保鲜品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 155-159.
- [12] 万哲,卢立新,丘晓琳. 胺基载体选择性渗透膜对西兰花品质的影响[J]. 包装工程, 2017, 38(17): 8-12.
- [13] SHI C, WU Y Y, Fang D L, et al. Effect of nanocomposite packaging on postharvest senescence of *Flammulina velutipes*[J]. Food Chemistry, 2018, 246: 414-421.
- [14] KUMARA S, ANKITA S, BAUL P P, et al. Biodegradable hybrid nanocomposites of chitosan/gelatin and silver nanoparticles for active food packaging applications[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2018, 16: 178-184.
- [15] WANG F, HU Q H, MARIGA A M, et al. Effect of nano packaging on preservation quality of Nanjing 9108 rice variety at high temperature and humidity[J]. Food Chemistry, 2018, 239: 23-31.
- [16] 杨文建,单楠,杨芹,等. 纳米包装材料延长双孢蘑菇贮藏品质的作用[J]. 中国农业科学, 2012, 45(24): 5065-5072.
- [17] 乐攀. 纳米银复合保鲜剂对南丰蜜桔的保鲜研究[D]. 南昌:南昌大学, 2014.
- [18] 马宁,石学彬,方勇,等. 纳米包装材料对生菜保鲜品质的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(18): 281-285.
- [19] SINGH M, SAHAREEN T. Investigation of cellulosic packets impregnated with silver nanoparticles for enhancing shelf-life of vegetables[J]. LWT - Food Science and Technology, 2017, 86: 116-122.
- [20] 王宏延,曾凯芳,贾凝,等. 不同质量浓度臭氧化水对鲜切西兰花贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2012, 33(2): 267-271.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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, 2002.
- [24] 林本芳,鲁晓翔,李江阔,等. 低温驯化结合冰温贮藏对西兰花品质的影响[J]. 食品科学, 2012(20): 299-303.
- [25] DONG T, SHI J, JIANG C Z, et al. A short-term carbon dioxide treatment inhibits the browning of fresh-cut burdock[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 110: 96-102.
- [26] 中华人民共和国卫生部. 食品微生物学检验菌落总数测定: GB 4789.2-2010[S]. 北京:中国标准出版社, 2016.
- [27] 穆华荣,于淑萍. 食品分析[M]. 北京:化学工业出版社, 2006.
- [28] ZOGUL F, POLAT A, ZOGUL Y. The effects of modified atmos-

- phere packaging and vacuum packaging on chemical, sensory and microbiological changes of sardines[J]. Food Chemistry, 2004, 85(1): 49-55.
- [29] 王亚楠,胡花丽,古荣鑫,等. 不同薄膜包装对桑葚采后品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(18): 224-229.
- [30] 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.
- [31] RAO T V R, GOL N B, SHAH K K. Effect of postharvest treatments and storage temperatures on the quality and shelf life of sweet pepper (*Capsicum annum*, L.) [J]. Scientia Horticulturae, 2011, 132(4): 18-26.
- [32] 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.
- [33] 史君彦,高丽朴,左进华,等. 纳米膜和 PVC 膜包装对西兰花贮藏保鲜的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(19): 255-266.
- [34] HU Q, FANG Y, YANG Y, et al. Effect of nanocomposite-based packaging on postharvest quality of ethylene-treated kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) during cold storage[J]. Food Research International, 2011, 44(6): 1589-1596.
- [35] 翟彩霞,马春红,秦 君,等. 植物诱导抗病性的常规鉴定-相关酶活性变化与诱导抗病性的关系[J]. 中国农学通报, 2004, 20(5): 222-224.
- [36] 燕平梅,燕昕仪. 葡萄糖对泡菜甘蓝亚硝酸盐含量的影响[J]. 中国调味品, 2017, 42(10): 45-48.
- [37] 中华人民共和国卫生部. 食品中亚硝酸盐限量卫生标准: GB 2762-2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

(责任编辑:张震林)