

贮藏温度对采后上海青叶片衰老及活性成分的影响

安容慧^{1,2}, 陈皖豫³, 胡花丽², 李鹏霞¹

(1.沈阳农业大学 食品学院, 沈阳 110866; 2.江苏省农业科学院农产品加工研究所, 南京 210014;

3.扬州大学 食品科学与工程学院, 江苏 扬州 225127)

摘要: **目的** 为了探究不同贮藏温度对采后上海青叶片衰老及活性成分的影响。**方法** 以上海青为实验材料, 分别在 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 °C 下贮藏, 对上海青叶片的感官品质、色差、叶绿素含量、丙二醛 (MDA) 含量、类胡萝卜素含量、叶黄素含量、叶酸含量和亚硝酸盐含量的变化进行分析。**结果** 与 20, 25, 30 °C 相比, 在 10 °C 和 15 °C 下贮藏可减缓上海青叶片 L^* 值、 b^* 值、MDA 含量和亚硝酸盐含量的增加, 以及 $|a^*|$ 值、叶绿素含量、类胡萝卜素含量、叶黄素含量和叶酸含量的降低; 与 10 °C 和 15 °C 贮藏条件相比, 在 0 °C 和 5 °C 下贮藏可显著抑制上海青叶片 L^* 值、 b^* 值、MDA 含量和亚硝酸盐含量的增加, 以及 $|a^*|$ 值、叶绿素含量、类胡萝卜素含量、叶黄素含量和叶酸含量的降低, 减缓上海青叶片的黄化衰老进程, 从而维持上海青良好的外观品质。在贮藏温度为 20, 25, 30 °C 时, 上海青的最大贮藏期不超过 4 d; 贮藏温度为 10 °C 和 15 °C 时, 最大贮藏期分别不超过 9 d 和 7 d; 贮藏温度为 0 °C 和 5 °C 时, 最大贮藏期分别不超过 40 d 和 15 d。**结论** 在低温条件下贮藏, 尤其是在 0 °C 下贮藏可最大限度地减缓采后上海青叶片的衰老进程, 可维持其较高的活性成分, 并抑制其组织中亚硝酸盐的积累, 显著延长上海青的贮藏期。

关键词: 上海青; 叶片; 贮藏温度; 品质

中图分类号: TS255.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)09-0007-10

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.09.002

Effects of Storage Temperature on Senescence and Contents of Active Components in Postharvest Leaves of Pakchoi (*Brassica Chinensis* L.)

AN Rong-hui^{1,2}, CHEN Wan-yu³, HU Hua-li², LI Peng-xia¹

(1.School of Food Science, Shenyang Agriculture University, Shenyang 110866, China;

2.Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China;

3.School of Food Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)

ABSTRACT: The work aims to investigate the effects of different storage temperature on senescence and contents of active components of postharvest pakchoi. Pakchoi was used as the test material and stored at temperature of 0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30 °C, respectively. Then, the changes in sensory quality, color difference, and contents of chlorophyll, MDA, carotenoid, lutein, folic acid, and nitrite in pakchoi were analyzed. Storage temperature of 10 °C and 15 °C could slow down the increase of L^* value, b^* value, and MDA level, and the decrease of $|a^*|$ value, chlorophyll, carotenoid, lutein and folic acid contents in pakchoi when compared to 20, 25 °C, and 30 °C. The storage temperature of 0 °C and 5 °C could

收稿日期: 2019-11-05

基金项目: 江苏省现代农业面上项目 (BE2018383)

作者简介: 安容慧 (1994—), 女, 沈阳农业大学硕士生, 主要研究方向为果蔬加工贮藏。

通信作者: 李鹏霞 (1976—), 女, 研究员, 沈阳农业大学硕导, 主要研究方向为果蔬保鲜与加工。

significantly inhibit the increase of L^* value, b^* value, and MDA level and the decrease of $|a^*|$ value, chlorophyll, carotenoid, lutein and folic acid contents, and delay the yellowing and senescence process, thereby maintaining the good appearance quality of pakchoi in comparison to 10 °C and 15 °C. The maximum storage time of pakchoi did not exceed 4 days at the storage temperature of 20, 25 °C, and 30 °C, 9 days and 7 days at storage temperature of 10 °C and 15 °C and 40 days and 15 days at storage temperature of 0 °C and 5 °C. Low temperature storage conditions, especially 0 °C, can alleviate the senescence process, maintain the high level of active components, and inhibit the accumulation of nitrite, thus significantly prolonging the storage period of pakchoi.

KEY WORDS: pakchoi; leaf; storage temperature; quality

上海青 (*Brassica chinensis* L.), 又称小白菜, 属于十字花科芸薹属芸薹种白菜亚种的一个变种, 是一种重要的青菜。该青菜产量巨大, 营养价值丰富, 含有多种维生素和矿物质, 其中还含有抗癌成分(硫苷及其降解产物), 因而深受消费者的喜爱^[1]。由于上海青采用切割式采收方式, 加之其具有叶表面积大的特性, 其在采后贮藏和货架销售过程中很容易失水、萎蔫, 会缩短其货架寿命。常温下, 上海青的货架期一般为 1~2 d, 之后便会出现黄化现象, 失去商品价值, 因而解决采后上海青叶片的黄化问题是维持其营养品质、提高其商品性的关键。

为此, 许多研究关注了控制上海青采后黄化、延长其保鲜期等问题, 主要集中在气调包装、薄膜包装和保鲜剂等方面。例如, 郭鑫等^[2]研究表明, 在温度为 1~3 °C 和相对湿度为 90%~95% 条件下, 经 $O_2(3\%)+CO_2(4\%)+N_2(93\%)$ 处理, 有利于维持采后青菜的贮藏品质; 薄膜包装自发形成的气体条件亦可延长低温贮藏青菜的保鲜期^[3]。另有研究显示, 臭氧水和臭氧气处理在控制采后青菜的衰老方面也有一定的作用^[4]。值得注意的是, 无论是气调处理, 还是外源激素、杀菌剂处理, 只有结合低温条件, 才能更好地达到延长上海青贮藏期的目的。

黄化是上海青叶片衰老的外在表现, 其与组织营养品质的变化密切相关, 常作为评价上海青货架期的重要指标。与贮藏环境因素中的气体成分和相对湿度相比, 温度条件对采后上海青叶片黄化的影响更加明显, 是促使组织黄化的重要因素。目前, 也有学者评价了温度因素对上海青贮藏效果的影响。例如, 曹菲等^[5]研究显示, 与 20 °C 贮藏条件相比, 在 10 °C 下贮藏可有效减轻青菜的黄化, 抑制其营养成分的损失; 杜传来等^[6]比较了 4 °C 下冷藏和 9 °C 下采用人工气候箱贮藏对青菜品质变化的影响, 结果显示, 4 °C 贮藏条件更有利于提高青菜的保鲜效果; 刘晓丹等^[7]的研究结果也显示, 与室温相比, 在 2~3 °C 下贮藏, 显著延长了青菜的贮藏时间。可以看出, 已有的报道仅分析了个别温度/温度范围对上海青采后品质变化的影响, 对备受消费者关注的亚硝酸盐, 以及上海青叶片中叶黄素和叶酸变化的报道甚少。由此, 文中研究针对上海青从采收、运输到贮藏可能经历的温度条

件, 设置从低温到高温共 7 个温度梯度(即 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 °C), 系统分析不同贮藏温度对采后上海青叶片衰老特性、活性成分及亚硝酸盐含量的影响, 以期对采后上海青不同的生产需求提供潜在的技术支持。

1 实验

1.1 材料

上海青购于南京众彩物流批发市场, 采购后 1 h 内运至江苏省农业科学院农产品加工研究所农产品贮藏保鲜研究室。挑选大小一致、色泽鲜艳、无黄叶、无病害的上海青作为实验材料。采用带孔食品袋包装, 分别置于 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 °C, 温度偏差为 ± 1 °C, 相对湿度为 85%~90% 的三洋恒温箱(MIR-254)中贮藏。每袋装 5 颗上海青叶片, 每个处理组设 3 次重复实验。对于在 10, 15, 20, 25, 30 °C 下贮藏的上海青, 每天取样 1 次; 对于 5 °C 下贮藏的上海青, 每 3 d 取样 1 次; 对于 0 °C 下贮藏的上海青, 每 8 d 取样 1 次。每次取样时取外部叶片 4 片, 避开主叶脉, 迅速用液氮速冻, 置于 -80 °C 冰箱中, 用于相关指标的测定。

1.2 仪器

主要仪器: MIR-254 恒温箱, 日本 Sallvo 公司产品; UV-1102 紫外可见分光光度计, 上海天美科学仪器有限公司; CR-400 全自动测色色差仪, 日本柯尼卡美能达公司; A11 Basic 液氮研磨器, 艾卡(广州)仪器设备有限公司; Sigma 3K15 高速冷冻离心机, 美国 Sigma-Aldrich 公司; 1260 高效液相色谱仪, 美国安捷伦科技有限公司; pH 计, 梅特勒-托利多仪器(中国)有限公司。

1.3 指标测定方法

1.3.1 色差的测定

参考纪淑娟等^[8]的方法, 利用 CR-400 全自动测色色差仪在 L^* , a^* 和 b^* 模式下测定上海青叶片的色差。亮度指标为 L^* , 红绿色指标为 a^* , 黄蓝色指标

为 b^* 。每个处理组取 10 颗上海青，每颗上海青取 4 片叶子，避开主叶脉，在叶片中上部对称取 2 个点测定色差。

1.3.2 叶绿素、类胡萝卜素和叶黄素含量的测定

参照李合生等^[9]的方法，采用乙醇浸提法测定叶绿素。取 0.2 g 样品，经液氮研磨后加入体积分数为 95% 的乙醇 10 mL，避光常温浸提 8 h，过滤后取上清液，以体积分数为 95% 的乙醇为空白校零，测定上清液在 470，474，485，642，665 nm 处的吸光度，重复测定 3 次，计算公式如下^[10]：

$$C_1 = 9.99 A_{665} - 0.087 A_{642}$$

$$C_2 = 17.7 A_{642} - 3.04 A_{665}$$

$$C_3 = 4.92 A_{474} - 0.0255 C_1 - 0.225 C_2$$

$$C_4 = 10.2 A_{470} - 11.5 A_{485} - 0.0036 C_1 - 0.652 C_2$$

式中： C_1 为叶绿素 a 的质量浓度 (mg/L)； C_2 为叶绿素 b 的质量浓度 (mg/L)； C_3 为类胡萝卜素的质量浓度 (mg/L)； C_4 为叶黄素的质量浓度 (mg/L)。

1.3.3 丙二醛含量的测定

丙二醛 (MDA) 含量的测定参照李合生等^[9]的方法，并略有改动。称取 1.0 g 样品，加入 4 mL 质量分数为 5% 的三氯乙酸，研磨后所得匀浆在 10 000g 下离心 20 min，取上清液 2 mL，加入 2 mL 质量分数为 0.67% 的硫代巴比妥酸，混合后水浴煮沸 30 min，冷却后离心，分别取上清液测定其在 450，532，600 nm 波长处的吸光度，计算 MDA 含量，用 b_{MDA} ($\mu\text{mol/g}$) 表示。

$$b_{MDA} = \frac{[6.45(A_{532} - A_{600}) - 0.56A_{450}] \times V_1 \times V}{V_2 \times m}$$

式中： V_1 为反应液总量 (mL)； V_2 为反应液中提取液的体积 (mL)； V 为提取液总体积 (mL)； m 为样品质量 (g)。

1.3.4 亚硝酸盐含量的测定

亚硝酸盐含量的测定参照 GB 5009.33—2016^[11]。

1.3.5 叶酸含量的测定

叶酸含量的测定参照张毅^[12]的方法，并略有改动。称取 0.5 g 样品置于 50 mL 离心管中遮光，加入 2.5 mL 0.1 mol/L 的磷酸盐缓冲液 (pH=6.5) 于离心管，置于氮吹仪上吹氮 15 s，之后在 90 °C 下水浴 10 min，取出后在避光条件下放入冰浴中冷却，随后在 10 000g 下离心 15 min，取离心后的上清液过 0.45 μm 无机滤膜。

高效液相色谱条件^[13]：A 相为 0.1 mol/L $\text{KH}_2\text{OH-KOH}$ 溶液 (pH=6.5)，B 相为甲醇；采集数据时间为 22 min；色谱柱为 C_{18} 柱 (250 mm×4.6 mm，5 μm)；柱温为 30 °C；流速为 1 mL/min；检测器为紫外检测；波长为 280 nm；进样量为 20 μL ；梯度洗脱程序 [t (A/B)， v/v]，0 min (0/100) — 3 min (0/100) —

8 min (30/70) — 13 min (30/70) — 17 min (0/100) — 22 min (0/100)。

1.4 数据处理

所有数据均平行测定 3 次，数据采用平均值±标准误差，显著性采用 SPSS 24 软件进行分析 ($P < 0.05$)，Origin 8.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 贮藏温度对采后上海青外观品质的影响

上海青在不同贮藏温度 (即 0，5，10，15，20，25，30 °C) 下外观品质的变化情况见图 1。由图 1 可以看出，随着贮藏温度的降低，上海青的黄化进程变缓。当贮藏温度为 20，25，30 °C 时，3 组上海青的黄化进程与贮藏时间的相关性基本相同，均从第 2 天开始出现黄化现象，第 4 天时黄化严重，失去商品价值；在贮藏温度为 15 °C 时，上海青从第 4 天开始出现轻微黄化现象，在第 7 天时黄化严重，失去商品价值；在贮藏温度为 10 °C 时，上海青从第 5 天开始出现轻微黄化现象，在第 9 天时黄化严重，失去商品价值；在贮藏温度为 5 °C 时，上海青从第 10 天开始出现轻微黄化现象，在第 15 天时黄化严重，失去商品价值；在贮藏温度为 0 °C 时，上海青在第 40 天时才出现轻微黄化现象。

2.2 贮藏温度对采后上海青叶片色差的的影响

由图 2 可知，在同一贮藏温度下，随着贮藏时间的延长，上海青叶片的亮度值 (L^*) 增加 (见图 2a—b)，绿色值 ($|a^*|$) 降低 (见图 2c—d)， a^* 绝对值越大表示绿色越深，黄色值 (b^*) 增加 (见图 2e—f)。在 20，25，30 °C 下贮藏，上海青叶片的 L^* 值和 b^* 值均呈显著增加的趋势， $|a^*|$ 值呈显著下降的趋势；在 10 °C 和 15 °C 下贮藏时，上海青叶片的 L^* 值和 b^* 值亦呈上升趋势，但上升的幅度低于 20，25，30 °C 下贮藏组， $|a^*|$ 值则直线下降，与 20，25，30 °C 条件相比，15 °C 条件下贮藏减缓了组织 $|a^*|$ 值的下降幅度；与 15 °C 条件相比，10 °C 条件下贮藏亦减缓了组织 $|a^*|$ 值的下降幅度。与上述温度条件相比，在 0，5 °C 下贮藏显著减缓了上海青叶片 L^* 值和 b^* 值的上升幅度， $|a^*|$ 值出现波动的变化特点，但在贮藏后期也是低于其它温度条件。可见，随着贮藏温度的升高， L^* 值和 b^* 值上升加快， $|a^*|$ 值下降加快；低温可以抑制上海青叶片亮度的上升，减缓上海青叶片黄化进程，有利于保持上海青良好的外观品质，延长上海青的货架期。

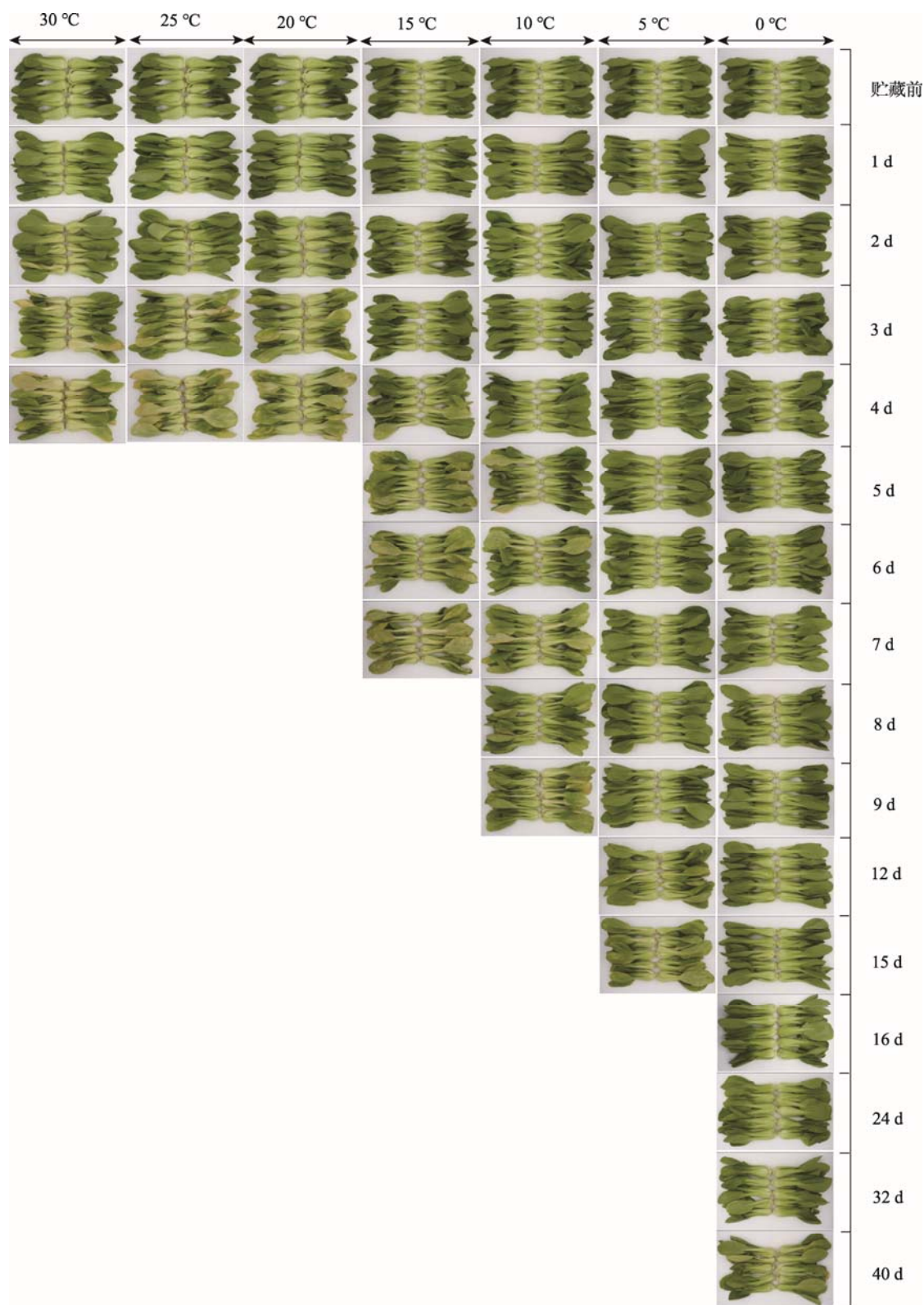


图 1 贮藏温度对上海青外观品质的影响

Fig.1 Effects of storage temperature on the phenotypes quality of pakchoi

2.3 贮藏温度对采后上海青叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量的影响

由图 3 可知, 在 20, 25, 30 °C 下贮藏上海青叶片

的叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素等含量均呈显著下降趋势; 在 10 °C 和 15 °C 下贮藏上海青叶片的叶绿素 a、b 和总叶绿素的含量亦呈下降趋势, 但下降幅度明显低于其在 20, 25, 30 °C 下贮藏的结果; 与上述温度条件相

比, 在 0℃和 5℃下, 尤其是 0℃贮藏条件显著延缓了上海青叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量的下降。上海青在 20, 25, 30℃下贮藏第 2 天时, 叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素的损失率均约为 50%, 第 4 天时的损失率约为 70%; 在 10, 15℃条件下, 上海青叶片在第 4 天的质量损失率才接近 50%, 相当于延长了 2 天的货架期。在 5℃贮藏条件下, 上海青叶片在贮藏后期叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素的损失率均低于 50%; 相比之下, 叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量在 0℃条件下损失率均低于 25%。可见, 低温贮藏可维持上海青叶片较高的叶绿素含量, 从而减缓上海青叶片变黄的速率, 维持其较好的色泽品质。

2.4 贮藏温度对采后上海青叶片丙二醛 (MDA) 含量的影响

由图 4 可知, 随着贮藏时间的延长, 不同温度条件下上海青叶片的 MDA 含量呈现出不同的变化趋势, 但在贮藏后期均出现升高。贮藏温度为 20, 25, 30℃时, MDA 含量呈显著增加趋势; 贮藏温度为 0, 5, 10, 15℃时, 上海青叶片的 MDA 含量呈波动升高趋势, 其中在 0, 5, 15℃贮藏条件下, 叶片组织中的 MDA 含量呈先升高、后降低、再升高的趋势, 而 10℃下贮藏组织的 MDA 含量呈先升高、再降低、再升高、再降低的趋势。与 20, 25, 30℃相比, 10℃

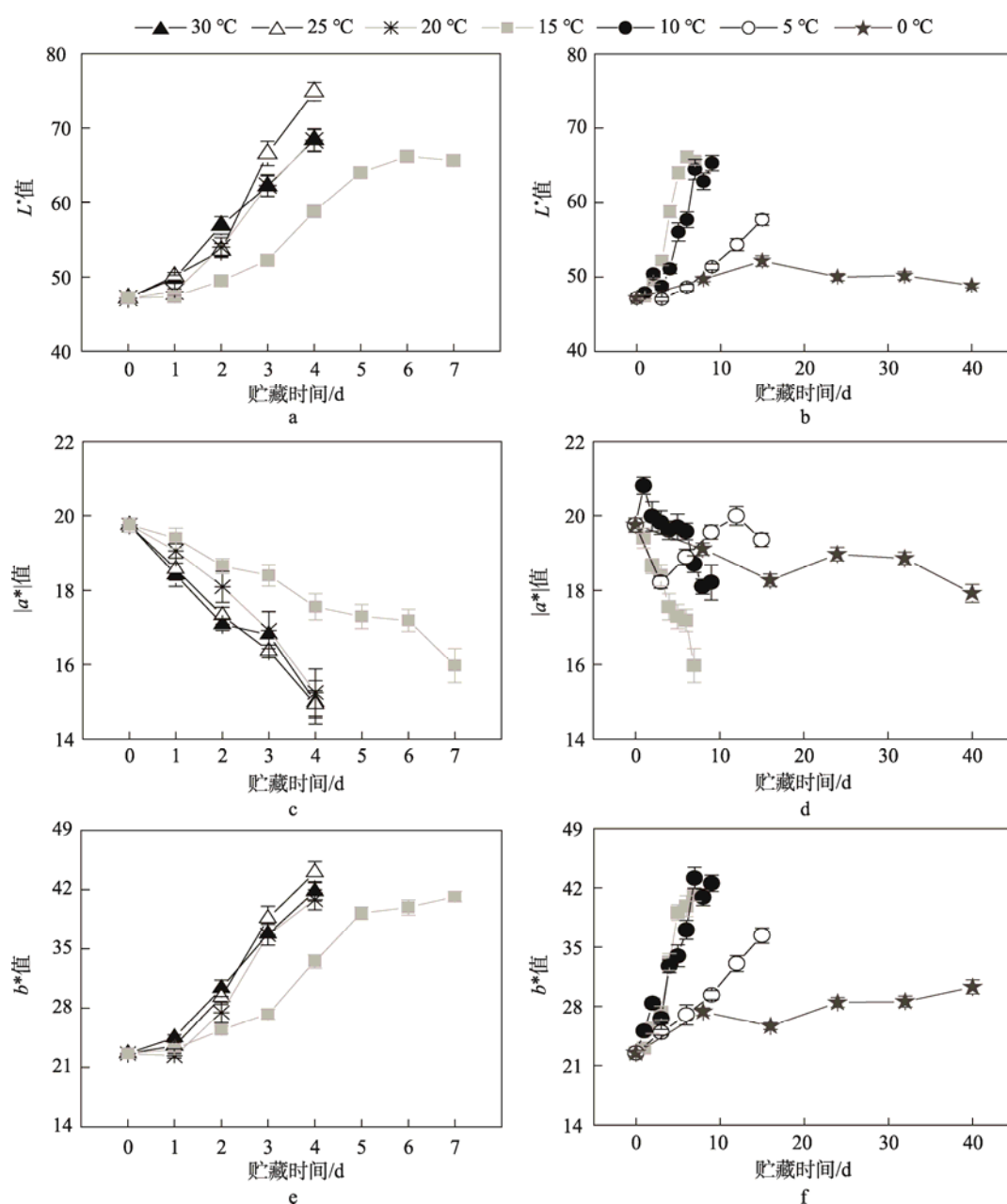


图 2 贮藏温度对上海青叶片 L^* 值、 $|a^*|$ 值和 b^* 值的影响

Fig.2 Effects of storage temperature on the values of L^* , $|a^*|$ and b^* of pakchoi leaves

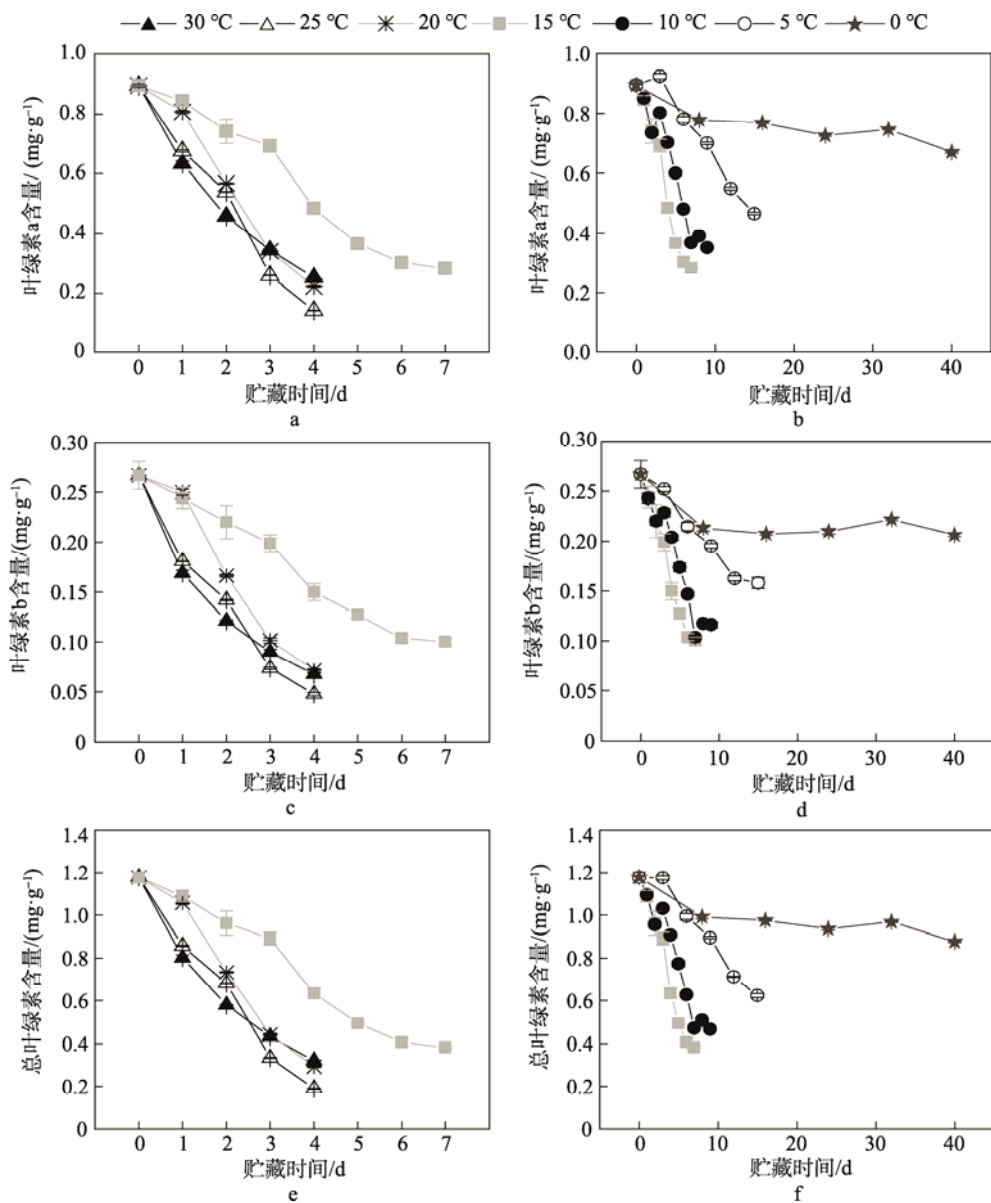


图3 贮藏温度对上海青叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量的影响

Fig.3 Effects of storage temperature on the contents of chlorophyll a,b and total chlorophylls in pakchoi leaves

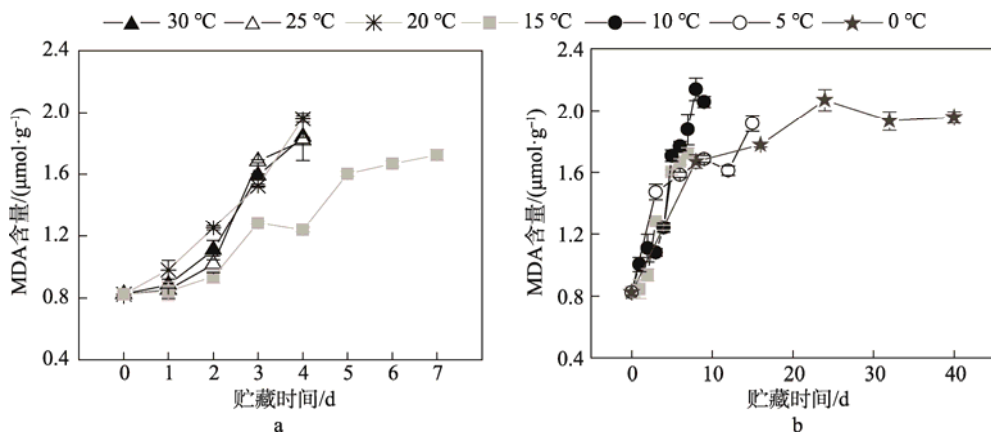


图4 贮藏温度对上海青叶片 MDA 含量的影响

Fig.4 Effects of storage temperature on the content of MDA in pakchoi leaves

和 15 °C 的贮藏条件减缓了上海青叶片 MDA 含量上升的幅度；与 10 °C 和 15 °C 相比，0 °C 和 5 °C 贮藏条件显著减缓了上海青叶片 MDA 含量的积累。可见，温度越低，叶片组织中 MDA 积累得越慢。

2.5 贮藏温度对采后上海青叶片类胡萝卜素和叶黄素含量的影响

由图 5a 可知，在贮藏温度为 20, 25, 30 °C 时，上海青叶片中类胡萝卜素呈显著下降趋势，贮藏到第 4 天时类胡萝卜素损失了 54%~70%；在 10 °C 和 15 °C 条件下，类胡萝卜素呈波动下降的趋势，但下降幅度低于 20, 25, 30 °C 下贮藏，贮藏到第 7 天时，损失率分别为 38%，41%；与上述温度条件相比，0 °C 和 5 °C 贮藏条件显著减缓了类胡萝卜素的降解，5 °C 贮藏上海青叶片的类胡萝卜素在第 15 天时损失率小于 23%，而 0 °C 下贮藏在第 40 天时损失率仅为 3%。

由图 5b 可知，在 20, 25, 30 °C 下贮藏，上海青叶片的叶黄素含量呈下降趋势，贮藏到第 4 天时叶黄素损失了 46%~73%；贮藏温度为 10 °C 和 15 °C 时，上海青叶片叶黄素含量呈波动下降趋势，但下降幅度低于在 20, 25, 30 °C 下贮藏，当贮藏到第 7 天时损失率分别为 34%，40%。在 0 °C 和 5 °C 下贮藏时，上海青叶片的叶黄素含量也呈波动下降趋势，但其下降

量显著低于在 10 °C 和 15 °C 下贮藏。在 5 °C 下贮藏时，上海青叶片的叶黄素在第 15 天时损失率小于 20%，在 0 °C 下贮藏时，上海青叶片的叶黄素在第 40 天时损失率仅为 6%。由此可见，随着贮藏温度的降低，可以有效减缓上海青叶片中类胡萝卜素和叶黄素的降解速度。

2.6 贮藏温度对采后上海青叶片叶酸含量的影响

由图 6 可知，在不同贮藏温度下，随着贮藏时间的延长，上海青叶片中的叶酸含量均有不同程度的损失。在 20, 25, 30 °C 条件下贮藏 2 d 时，上海青叶片中叶酸的损失率分别为 21%，26%，27%；在 10 °C 和 15 °C 条件下贮藏 2 d 时，上海青叶片中叶酸的损失率分别为 6% 和 20%；在贮藏温度为 5 °C 时，贮藏至第 3 天时，上海青叶片中叶酸的损失率为 10%；在贮藏温度为 0 °C 时，贮藏至第 8 天时，上海青叶片中的叶酸损失率仅为 5%。由此可见，低温贮藏可以减缓上海青叶片中叶酸含量的损耗。

2.7 贮藏温度对采后上海青叶片亚硝酸盐含量的影响

由图 7 可知，上海青在不同贮藏温度下，亚硝酸盐含量的变化趋势有所不同，在 20, 25, 30 °C 条件

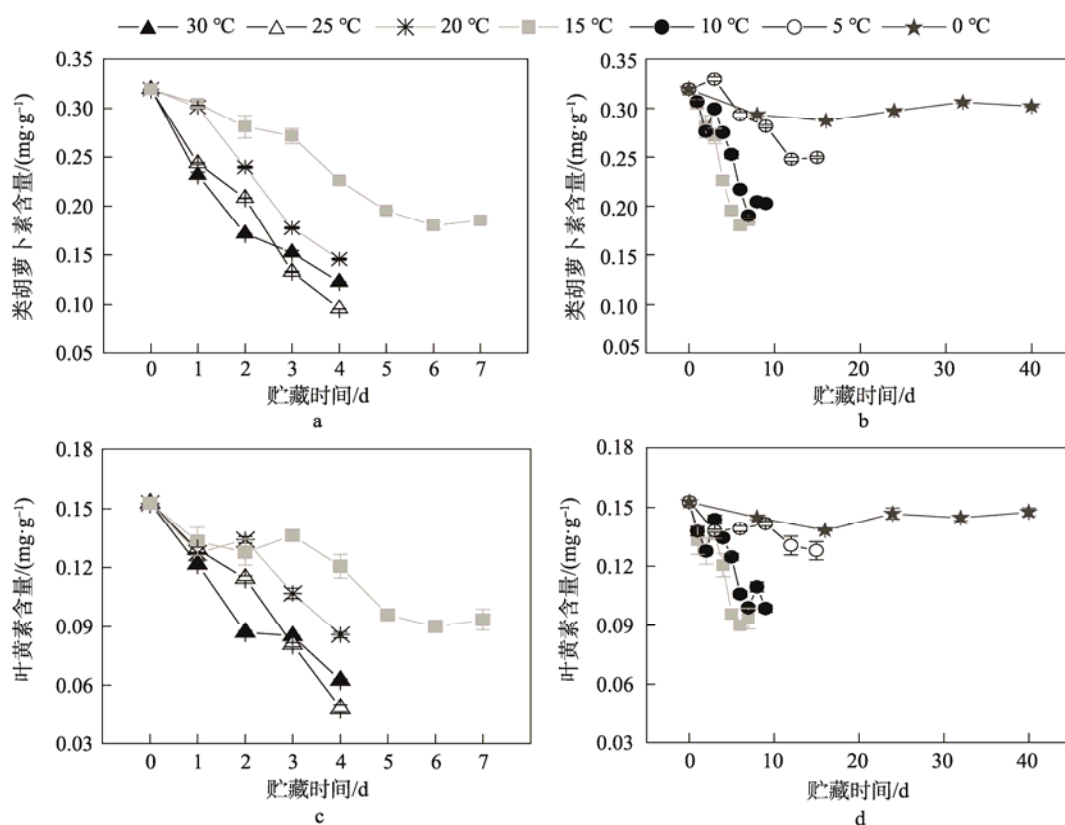


图 5 贮藏温度对上海青叶片类胡萝卜素和叶黄素含量的影响

Fig.5 Effects of storage temperatures on the contents of carotenoid and lutein of pakchoi leaves

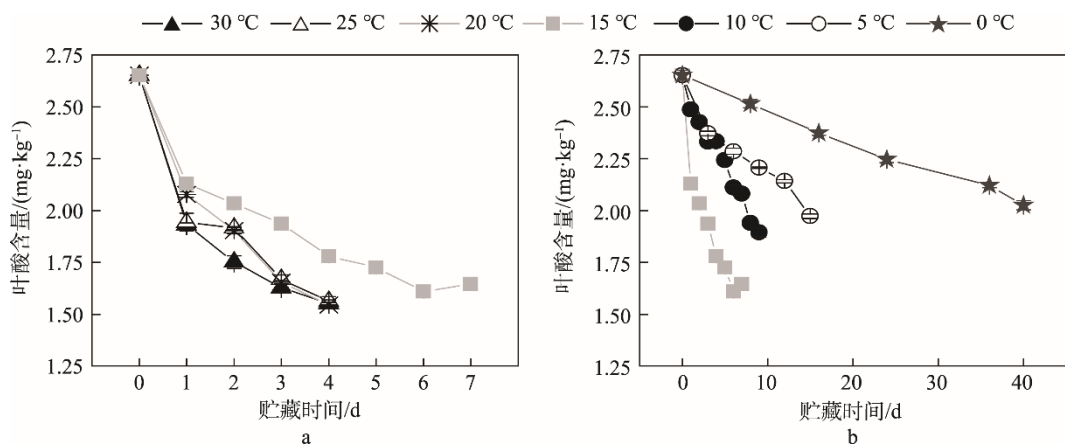


图6 贮藏温度对上海青叶片叶酸含量的影响

Fig.6 Effects of storage temperature on the content of folic acid in pakchoi leaves

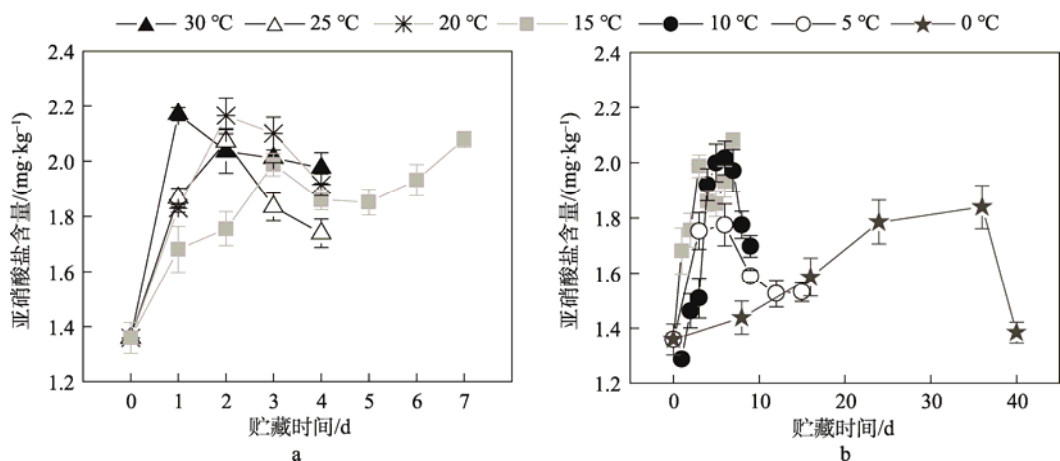


图7 贮藏温度对上海青叶片亚硝酸盐含量的影响

Fig.7 Effects of storage temperature on the content of nitrite in pakchoi leaves

下,亚硝酸盐的含量均呈先升高再降低的趋势,均在贮藏 1~2 d 内显著增加,亚硝酸盐含量达到最高值,随后缓慢下降;在 10 °C 下贮藏时,上海青叶片的亚硝酸盐含量亦为先升高再下降的趋势;在 15 °C 下贮藏时,上海青叶片的亚硝酸盐含量呈先升高、后降低、再升高的趋势,亚硝酸盐含量的变化慢于其在 20, 25, 30 °C 下贮藏时的结果。例如,在 15 °C 条件下,上海青叶片中的亚硝酸盐含量的最高值出现在第 3 天;在 10 °C 条件下,亚硝酸盐含量的最高值约出现在第 6 天;在 0 °C 条件下,亚硝酸盐含量呈缓慢升高再下降的趋势,亚硝酸盐的最高值约出现在第 32 天;在 5 °C 下贮藏时,亚硝酸盐含量呈先升高、后降低、再升高的趋势,亚硝酸盐最高值约出现在 6~9 d。由此可见,低温有利于抑制上海青叶片中亚硝酸盐含量的上升,延缓亚硝酸盐最高值的出现,也降低了亚硝酸盐的最高值。

3 讨论

上海青组织脆嫩、叶表面积大,采后易出现机械

损伤,导致其在贮藏期易出现叶片衰老黄化、失水萎蔫等症状。在植物衰老过程中会出现细胞膜透性的改变,主要是由膜脂过氧化反应所致。丙二醛(MDA)是膜脂过氧化的主要分解产物,其含量的高低可直接反映组织膜脂过氧化的程度^[14]。绿色蔬菜黄化衰老的主要因素是叶绿素的降解^[15]。文中实验结果显示,与 20, 25, 30 °C 贮藏条件相比,在 10 °C 和 15 °C 下贮藏可减缓上海青叶片 L^* 值、 b^* 值和 MDA 含量的增加,以及 $|a^*|$ 值和叶绿素的下降;与上述温度条件相比,低温 0 °C 和 5 °C 下贮藏更能有效地抑制上海青叶片 L^* 值、 b^* 值和 MDA 含量的增加,以及 $|a^*|$ 值和叶绿素含量的下降。谢晶等^[16]研究显示,在 5, 10, 15, 20 °C 下贮藏上海青,其叶绿素含量整体呈下降趋势,相比之下,在 5 °C 下贮藏上海青时叶绿素下降得较缓慢;颜色参数 L^* (亮度)、 b^* (黄度) 整体也呈上升趋势。对上海青衰老过程的研究也显示,随着衰老进程的发展,上海青叶片组织中的叶绿素呈下降趋势,MDA 含量呈升高趋势^[17]。另有研究表明,与 9 °C 贮藏条件相比,4 °C 贮藏条件更有利于减缓青菜叶绿素的降解和 MDA 的积累,提高青菜的保鲜效果^[6]。

一般情况下,叶片中叶绿素与类胡萝卜素的质量比约为 3:1^[18]。文中研究结果显示,在贮藏初期,叶绿素与类胡萝卜素的质量比为 3.6:1,所以在贮藏初期,上海青叶片呈现绿色,但叶绿素较类胡萝卜素更易降解,所以随着贮藏时间的延长叶片逐渐呈现黄色。例如,在 30℃下贮藏 4 d 时,叶片中叶绿素与类胡萝卜素的质量比约为 2.8:1。除了类胡萝卜素外,叶黄素和叶酸亦属于叶菜中的重要活性成分,在预防心脑血管疾病、保护视力和预防贫血等方面具有重要作用^[19—20]。文中研究发现,在不同贮藏温度下,随着贮藏时间的延长,上海青叶片中类胡萝卜素、叶黄素和叶酸含量均有不同程度的损失。随着贮藏温度的降低,可以减缓这 3 种活性成分的下降。刘红艳等^[21]研究也证实,在 15℃条件下,鲜切西兰花中类胡萝卜素含量随着时间的延长呈下降趋势。叶酸含量随着贮藏时间的延长而下降,低温可有效保持菠菜中叶酸的含量,叶酸损失率在 25%以下^[22]。张毅^[12]的研究同样证实,在 4℃下贮藏青菜,其叶酸含量的变化显著缓于在室温下贮藏的结果。

蔬菜容易富集亚硝酸盐,在贮藏过程中由于硝酸还原酶的作用使硝酸盐转变为亚硝酸盐,人体摄入过高的亚硝酸盐会引起缺氧、中毒、胎儿致畸等问题^[23]。文中实验结果显示,低温有利于抑制上海青叶片中亚硝酸盐含量的积累,可延缓亚硝酸盐最高值的出现,同时也降低了亚硝酸盐的最高值,而且其含量没有高于国家限定的亚硝酸盐含量的标准(4 mg/kg)^[24]。罗淑芬等^[25]研究也表明,在不同温度条件下,西兰花组织中亚硝酸盐含量呈先上升后下降的趋势,与 15℃和 20℃下贮藏的西兰花相比,在 10℃下贮藏的西兰花,其亚硝酸盐含量变化得较为缓慢,且亚硝酸盐含量的最高值低于在 15℃和 20℃下贮藏。李劲峰等^[26]的研究结果也显示,随着贮藏时间的延长,蔬菜中亚硝酸盐的含量基本呈先升高再下降的趋势,有的后期会稍有上升。亚硝酸盐含量的上升主要是由于初期的采摘,诱发了呼吸作用的上升,促使蔬菜体内硝酸还原酶活性增强,从而导致蔬菜体内的亚硝酸盐含量增加,并达到最高值;在贮藏后期,蔬菜组织中亚硝酸盐含量的上升可能与蔬菜发生腐败有关。

4 结语

在不同贮藏温度(0, 5, 10, 15, 20, 25, 30℃)条件下,上海青的最大贮藏期及品质的变化有所不同。高温条件(20, 25, 30℃)不利于上海青的贮藏,贮藏期仅为 3~4 d,在 10℃和 15℃下贮藏(贮藏期为 7~9 d)可减缓上海青叶片 L^* 值、 b^* 值、MDA 和亚硝酸盐含量的增加,以及 $|a^*|$ 值、叶绿素、类胡萝卜素、叶黄素和叶酸含量的降低,由此延缓了上海青叶片黄化和品质劣变的进程;在 0℃和 5℃下贮藏

可进一步延缓上海青叶片的衰老,其中,在 0℃下贮藏可最大限度地维持叶片活性成分,使其处于较高水平,并抑制其组织亚硝酸盐的积累,由此有效减缓采后上海青叶片的衰老,贮藏期达到 40 d。

参考文献:

- [1] ESFANDIARI A, SAEI A, MCKENZIE M J, et al. Preferentially Enhancing Anti-cancer Isothiocyanates over Glucosinolates in Broccoli Sprouts: How NaCl and Salicylic Acid Affect Their Formation[J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2017, 115(4): 343—353.
- [2] 郭鑫, 崔政伟. 青菜气调贮藏保鲜的工艺优化研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(6): 344—348.
GUO Xin, CUI Zheng-wei. Process Optimization of Controlled Atmosphere Storage of Pakchoi[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2013, 34(6): 344—348.
- [3] 林永艳, 谢晶, 朱军伟, 等. 低温及薄膜包装对青菜保鲜效果的影响[C]// 第九届全国食品冷藏链大会暨第六届全国冷冻冷藏产业创新发展年会, 2014: 43—46.
LIN Yong-yan, XIE Jing, ZHU Jun-wei, et al. Effects of Low Temperature and Plastic Membrane Packaged on the Preservation of Greengrocery[C]// The 9th National Refrigerated Food Chain Conference and the 6th National Refrigerated Food Industry Innovation and Development Annual Conference, 2014: 43—46.
- [4] 汪敏, 赵永富, 冯敏, 等. 不同臭氧处理方式对青菜保鲜效果的影响[J]. *食品科学*, 2018(7): 254—256.
WANG Min, ZHAO Yong-fu, FENG Min, et al. Effects of Different Ozone Treatment Methods on Preservation of Green Vegetables[J]. *Food Science*, 2018(7): 254—256.
- [5] 曹菲, 张蕾, 田春燕. 贮藏温度及包装薄膜对青菜品质的影响[J]. *包装工程*, 2004, 25(6): 33—35.
CAO Fei, ZHANG Lei, TIAN Chun-yan. Effect of Store Temperature and Kind of Film on Quality Change of Packaged Greengrocery[J]. *Packaging Engineering*, 2004, 25(6): 33—35.
- [6] 杜传来, 许天亮. 不同贮藏条件和包装方式对几种叶菜保鲜效果的影响[J]. *保鲜研究*, 2009(2): 30—34.
DU Chuan-lai, XU Tian-liang. Effect of Different Storage Conditions and Packaging Model on Preservation of Several Kinds of Vegetables[J]. *Storage Process*, 2009(2): 30—34.
- [7] 刘晓丹, 谢晶, 徐世琼, 等. 预冷方式与贮藏温度对青菜品质变化的影响[J]. *保鲜与加工*, 2005, 29(4): 32—34.
LIU Xiao-dan, XIE Jing, XU Shi-qiong, et al. Effect of Pre-cooling Process and Storage Temperature on Quality of Greengrocery[J]. *Fresh Research*, 2005, 29(4): 32—34.
- [8] 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. Effect of Spontaneous Release 1-MCP and CO₂ on the Quality of Broccoli During Shelf Life[J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(2): 202—206.
- [9] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134—261.
- LI He-sheng. Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 134—261.
- [10] 韦友欢, 黄秋婵, 王慧珏, 等. 阴生植物与阳生植物色素含量的比较分析[J]. 湖北农业科学, 2010, 49(5): 1126—1129.
- WEI You-huan, HUANG Qiu-chan, WANG Hui-jue, et al. Comparative Analysis on Pigment Content of Sun Plants and Shade Plants[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2010, 49(5): 1126—1129.
- [11] GB 5009.33—2016, 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S].
- GB 5009.33—2016, Determination of Nitrite and Nitrate in Food[S].
- [12] 张毅. 叶菜中叶酸含量的 HPLC 测定条件优化及不同处理方式对叶酸保留效果研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016: 10.
- ZHANG Yi. Determination of Foliates in Leafy Vegetables By High-performance Liquid Chromatography(HPLC) and the Effect of Different Processes on Foliates Retention[D]. Yanglin: Northwest Agricultural and Forestry University, 2016: 10.
- [13] 周恒勇, 刘凯政, 刘建文, 等. HPLC-UV 法直接测定蔬菜提取物的叶酸含量[J]. 食品科技, 2017, 42(8): 284—287.
- ZHOU Heng-yong, LIU Kai-zheng, LIU Jian-wen, et al. Quantitative Determination of Folic Acid Extracted from Vegetables by HPLC-UV Directly[J]. Food Science and Technology, 2017, 42(8): 284—287.
- [14] PANAVAS T, RUBINSTEIN B. Oxidative Events during Programmed Cell Death of Daylily (*Hemerocallis* hybrid) Petals[J]. Plant Science, 1998, 133(2): 125—138.
- [15] 隋媛媛, 于海业, 张蕾, 等. 温室黄瓜病虫害的叶绿素荧光光谱分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 32(5): 1292—1295.
- SUI Yuan-yuan, YU Hai-ye, ZHANG Lei, et al. Chlorophyll Fluorescence Spectrum Analysis of Cucumber Pests and Diseases in Greenhouse[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2012, 32(5): 1292—1295.
- [16] 谢晶, 张利平, 苏辉, 等. 上海青叶片蔬菜的品质变化动力学模型及货架期预测[J]. 农业工程学报, 2013, 29(15): 271—277.
- XIE Jing, ZHANG Li-ping, SU Hui, et al. Quality Kinetic Model and Shelf Life Prediction of Green Vegetable (*Brassica rapa* var *chinensis*)[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(15): 271—277.
- [17] 高建晓, 刘丹, 古荣鑫, 等. 6-苜氨基嘌呤处理对上海青叶片贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(4): 247—253.
- GAO Jian-xiao, LIU Dan, GU Rong-xin, et al. 6-Benzyl Aminopurine Treatment Delays the Quality Deterioration of Pakchoi (*Brassica Chinensis* L) during Storage[J]. Food Science, 2015, 36(4): 247—253.
- [18] 李合生. 现代植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012: 101—103.
- LI He-sheng. Modern Plant Physiology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2012: 101—103.
- [19] ZOU Z Y, XU X R, HUANG Y M, et al. High Serum Level of Lutein may be Protective Against Early Atherosclerosis: the Beijing Atherosclerosis Study[J]. Atherosclerosis, 2011, 219(2): 789—793.
- [20] 项斌. 天然色素[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 163—164.
- XIANG Bin. Nature Pigment[M]. Beijing: Chemical Industry Publishing House, 2004: 163—164.
- [21] 刘红艳, 胡花丽, 罗淑芬, 等. 6-苜氨基嘌呤处理对鲜切西兰花品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2018, 34(1): 186—193.
- LIU Hong-yan, HU Hua-li, LUO Shu-fen, et al. Effects of 6-benzylaminopurine Treatments on the Quality of Fresh-cut Broccoli[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2018, 34(1): 186—193.
- [22] 崔娜, 李慧, 王思维, 等. 烹调方式及贮藏条件对菠菜叶酸含量的影响[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(5): 118—122.
- CUI Na, LI Hui, WANG Si-wei, et al. Influence of Cooking Methods and Storage Conditions on Spinach Folic Acid Content[J]. Storage and Process, 2018, 18(5): 118—122.
- [23] 都韶婷, 金崇伟, 章永松. 蔬菜硝酸盐积累现状及其调控措施研究进展[J]. 中国农业科学, 2010, 43(17): 3580—3589.
- DU Shao-ting, JIN Chong-wei, ZANG Yong-song. Current Situations and Research Progress of Nitrate Pollution in Vegetables and Their Regulating Strategies[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(17): 3580—3589.
- [24] GB 2762—2017, 食品中污染物限量[S].
- GB 2762—2017, Limit Contaminants in Food[S].
- [25] 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.
- LUO Shu-fen, HU Hua-li, ZHOU Hong-sheng, et al. Effects of Packaging Films on Postharvest Quality of Broccoli at Different Temperatures[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2019, 35(2): 420—428.
- [26] 李劲峰, 虞贺新. 不同储藏条件下蔬菜硝酸盐及亚硝酸盐的变化[J]. 浙江农业科学, 2008(4): 404—405.
- LI Jin-feng, YU He-xin. Changes of Nitrate and Nitrite in Vegetables under Different Storage Conditions[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2008(4): 404—405.