

“温控箱+蓄冷剂”包装对油麦菜贮藏品质的影响

苏娟¹, 张鹏², 贾晓昱², 吴迪^{3,4}, 李春媛², 李江阔^{2*}

(1.沈阳农业大学 食品学院, 沈阳 110866; 2.天津市农业科学院农产品保鲜与加工技术研究所
a.国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津) b.农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室
c.天津市农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384; 3.浙江大学 农业与生物
技术学院, 杭州 310058; 4.浙江大学中原研究院, 郑州 450000)

摘要: **目的** 探究不同包装方式对油麦菜贮藏品质的影响。**方法** 以油麦菜为实验材料, 采后分别装入泡沫箱(CK)、泡沫箱+蓄冷剂(T1)、温控箱(T2)、温控箱+蓄冷剂(T3), 每隔5 d测定油麦菜的营养成分、生理生化指标和抗氧化酶活性, 同时监测箱内的温度。**结果** CK、T1、T2、T3组温度分别为(4.06±0.07)°C、(3.61±0.05)°C、(3.72±0.04)°C、(3.49±0.03)°C, 与其他处理相比, T3组温度较低, 且波动范围最小; 此外, T3处理组能够减缓质量损失率上升、抑制Vc氧化和叶绿素降解、延缓MDA积累、抑制PPO活性升高、维持POD、SOD、CAT活性, 有效提高了油麦菜的贮藏品质, 并延长了货架期。**结论** “温控箱+蓄冷剂”的包装方式能较好地维持油麦菜的采后贮藏品质。

关键词: 油麦菜; 温控箱; 蓄冷剂

中图分类号: TB485 文献标志码: A 文章编号: 1001-3563(2024)03-0117-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.03.014

Effect of "Temperature Control Box + Coolant" Packaging on the Storage Quality of *Lactuca sativa*

SU Juan¹, ZHANG Peng², JIA Xiaoyu², WU Di^{3,4}, LI Chunyuan², LI Jiangkuo^{2*}

(1. School of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China; 2. a. Tianjin Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, b. Key Laboratory of Storage of Agricultural Products, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, c. National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products (Tianjin), Institute of Agricultural Products Preservation and Processing Technology, Tianjin Academy of Agricultural Sciences, Tianjin 300384, China; 3. College of Agriculture & Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 4. Zhejiang University Zhongyuan Institute, Zhengzhou 450000, China)

ABSTRACT: The work aims to explore the effect of different packaging methods on the storage quality of *Lactuca sativa*. *Lactuca sativa* was used as experimental material and packed into foam box (CK), foam box + coolant (T1), temperature control box (T2), temperature control box + coolant (T3). The nutritional composition, physiological and biochemical indexes and antioxidant enzyme activities of the *Lactuca sativa* were measured every 5 days. At the same time, the temperature inside the box was also measured. The temperature of CK, T1, T2 and T3 groups was (4.06±0.07) °C, (3.61±0.05) °C, (3.72±0.04) °C, (3.49±0.03) °C. Compared with other treatment groups, the temperature of T3 group was lower and the fluctuation range was the smallest. In addition, T3 treatment group was able to slow down the

收稿日期: 2023-07-24

基金项目: 甘肃省科技计划重大项目(21ZD4NA016); 贵阳市科技计划项目(筑科合同[2022]5-22号)

*通信作者

increase of weight loss rate, inhibit the oxidation of Vc and degradation of chlorophyll, and delay the accumulation of MDA, inhibit the increase of PPO activity and maintain the activities of POD, SOD and CAT, which effectively improved the storage quality of *Lactuca sativa* and prolonged its shelf life. The packaging method of "temperature control box + coolant" can better maintain the postharvest storage quality of *Lactuca sativa*.

KEY WORDS: *Lactuca sativa*; temperature control box; coolant

油麦菜 (*Lactuca sativa* L.) 属菊科莴苣种^[1], 其营养价值高, 市场需求大, 具有很好的产业化发展前景^[2-3]。油麦菜在采后贮藏运输过程中, 由于自身营养物质被大量消耗, 其产生较多的呼吸热, 加快了其衰老进程, 导致叶片黄化、失水萎蔫, 严重降低了商品价值。因此, 探索油麦菜采后合理的贮藏方式对保持其品质具有重要意义。

目前, 油麦菜常见的物理保鲜方式主要为低温贮藏^[4]和气调贮藏^[5]。温度是影响果蔬贮藏的重要因素之一。王海丹等^[6]研究油麦菜在不同温度下的贮藏品质变化, 结果发现低温能更好地维持油麦菜的营养品质。郑丽静等^[7]研究了 4 °C 和 22.5 °C 2 种温度对油麦菜保鲜效果的影响, 结果表明 22.5 °C 下贮藏期为 5 d, 4 °C 下贮藏期延长至 15 d。刘玉军等^[8]探讨了不同温度对叶菜类贮藏品质的影响, 结果表明 4 °C 下贮藏能有效减缓外观品质的变化, 减少营养成分的损失, 并延长货架期。

温控箱由聚丙烯塑料制成, 保温效果较好。薛友林等^[9]研究了 2 种包装方式 (泡沫箱和精准温控箱) 下黄花菜贮藏品质的差异, 结果表明精准温控箱内温度为 (0.6±0.1) °C, 变化范围较小且维持黄花菜贮藏品质更佳。蓄冷剂是将冷能蓄存到物理介质中, 并在需要时释放出大量冷量, 使其温度处于适宜的低温环境下, 确保果蔬产品的安全^[10]。蓄冷剂材料可分为有机化合物和无机化合物^[11-12]。高凯等^[13]研究蓄冷剂对油麦菜保鲜效果的影响, 结果表明蓄冷剂不仅可以提高油麦菜的食用价值还能保持箱内处于较低的温度。国内还没有将该技术用于油麦菜的保鲜研究。

本研究以油麦菜为对象, 研究“温控箱+蓄冷剂”包装对油麦菜冷藏期间保鲜效果的影响, 为油麦菜采后保鲜提供参考。

1 实验

1.1 实验材料与设备

主要材料: 油麦菜, 采自天津市西青区, 选择大小均匀、无病虫害的油麦菜; 泡沫箱 (59.50 L), 600 mm×451 mm×230 mm, 壁厚为 30 mm, 四川包工坊电子商务有限公司; 温控箱 (62.23 L), 595 mm×400 mm×250 mm, 壁厚为 30 mm, 上海佳寰实业有限公司; 带孔包装袋, 20 cm×65 cm, 美式顿厂家; 蓄冷剂 (onset 温度为 -4.81 °C^[14]), 国家农产品保鲜工程技术研究中

心 (天津)。

主要仪器: 温湿度记录仪 (179-UTH), 艾普瑞 (上海) 精密光电有限公司; KF-568 电子秤, 中国·凯丰集团; PAL-1 便携式手持折光仪, 日本爱宕公司; DDS-307A 电导率仪, 上海仪电科学仪器股份有限公司; 紫外分光光度计 (TU-1810), 北京普析通用仪器有限责任公司; SOD 试剂盒, 南京建成生物工程研究所。

1.2 方法

1.2.1 样品处理

挑选无腐烂、病害的油麦菜装入包装袋中, 每袋约为 150 g, 共 21 袋, 贮藏于温度 4 °C 冷库中。处理如下: CK 组, 将油麦菜装入泡沫箱中; T1 组, 将 12 个蓄冷剂平铺于泡沫箱的底部, 表面放三四层泡沫垫, 油麦菜置于泡沫垫之上; T2 组, 将油麦菜装入温控箱中; T3 组, 将 12 个蓄冷剂平铺于温控箱的底部, 表面放三四层泡沫垫, 油麦菜置于泡沫垫之上。

1.2.2 指标测定

温度监测: 在箱内 4 个底角放置温度记录仪, 每 15 min 记录一次; 感官评价参考郑丽静等^[7]方法; 质量损失率采用称重法进行测定; 可溶性固形物采用手持折光仪进行测定; Vc 采用钼蓝比色法^[15]测定; 叶绿素参考张怡等^[16]方法测定; MDA 采用硫代巴比妥酸法^[17]测定; 相对电导率参考董树刚等^[18]方法测定; 多酚氧化酶 (PPO)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 采用曹建康等^[17]的方法进行测定; 超氧化物歧化酶 (SOD) 采用试剂盒 (羟胺法) 进行测定。

1.3 统计分析

采用 Excel 2021 进行数据汇总处理与分析, SPSS 26.0 进行差异显著性分析 ($P < 0.05$ 代表差异显著), Origin2021 对试验数据进行图表绘制。

2 结果分析

2.1 不同包装方式下贮藏环境温度的变化

由图 1 可以看出, 在整个贮藏期间内, CK、T1、T2、T3 组内温度分别为 (4.06±0.07) °C、(3.61±0.05) °C、(3.72±0.04) °C、(3.49±0.03) °C, 表明在贮藏环境中温控箱的平均温度要低于泡沫箱的。当加入蓄冷剂后,

在贮藏的过程蓄冷剂释放冷量, 导致箱内温度下降。其中, “温控箱+蓄冷剂”处理箱内的温度波动幅度最小, 保持在平稳状态。

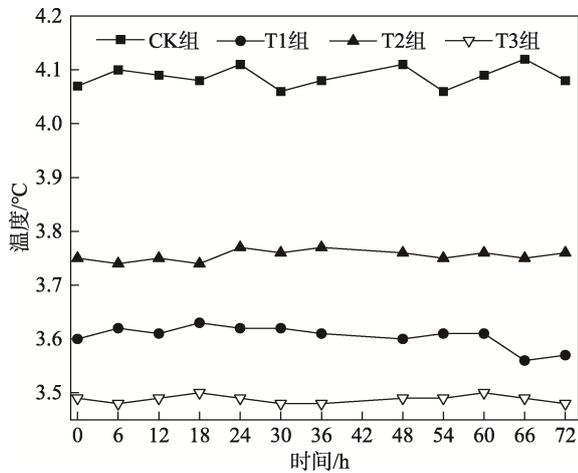


图 1 箱内温度的变化
Fig.1 Change of temperature inside the box

2.2 不同包装方式对油麦菜感官品质的影响

2.2.1 外观品质

如图 2 可以看出, 新鲜的油麦菜叶片硬挺、色泽鲜亮、具有特殊的香味。在贮藏 15 d 时, CK 组油麦菜发生了较为明显的萎蔫现象, 处理组外观表现良好, 未出现任何明显变化。在贮藏 30 d 时, CK 组叶片边缘发黄严重, T1 和 T2 组叶片出现掉叶的现象, 叶片卷曲严重, T3 组整体出现轻微的萎蔫现象。综上所述, 油麦菜外观品质最好的为 T3, 其次为 T2 和 T1, 最差为 CK。

2.2.2 感官评价

从表 1 可以看出, 贮藏 20 d 时, CK 组叶片发黄、卷曲褶皱、无香味, 商品价值较低; 处理组叶片开始发黄、微现卷曲、气味减弱, 商品价值较高。贮藏 25 d 时, CK 组叶片出现黄化现象并伴有异味, 失去了商品价值; 处理组叶片发黄严重, 气味减弱, 商品价值较差, 处理组的感官评分显著高于 CK 组的 ($P < 0.05$)。

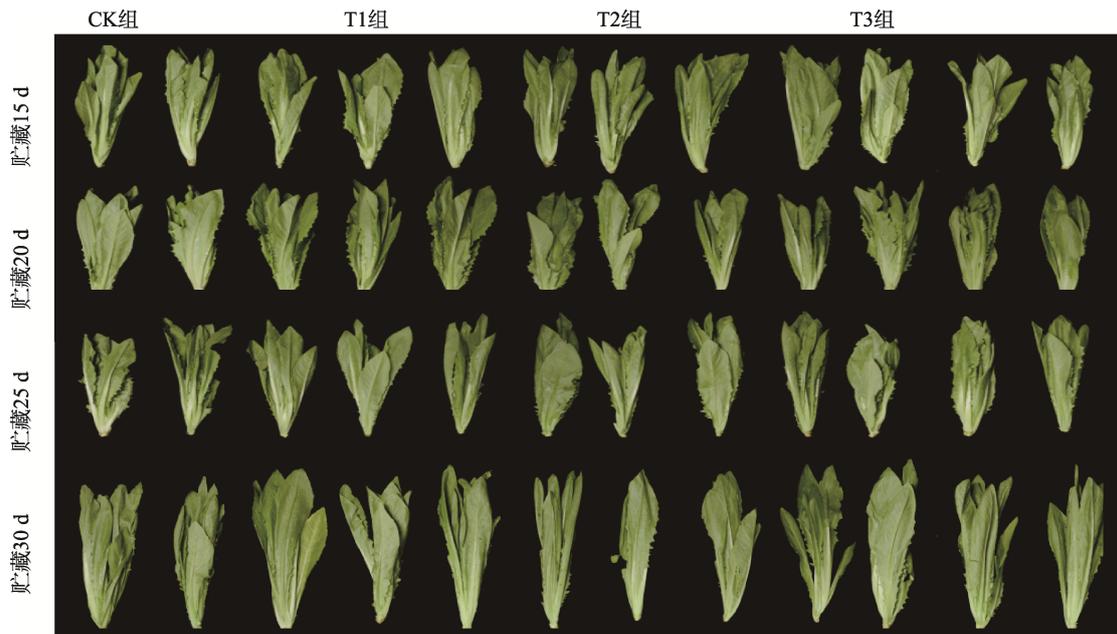


图 2 不同包装对油麦菜外观品质的影响
Fig.2 Effect of the various packaging on appearance quality of *Lactuca sativa*

表 1 不同包装下油麦菜的感官评价结果
Tab.1 Sensory evaluation results of *Lactuca sativa* in various packaging

处理组	贮藏天数/d						
	0	5	10	15	20	25	30
CK	10.00±0.00 ^a	9.85±0.16 ^a	9.40±0.34 ^a	7.20±0.10 ^a	6.60±0.16 ^a	4.90±0.10 ^c	4.40±0.09 ^c
T1	10.00±0.00 ^a	9.75±0.32 ^a	9.50±0.22 ^a	8.40±0.21 ^a	7.00±0.25 ^a	6.05±0.29 ^b	5.20±0.14 ^b
T2	10.00±0.00 ^a	9.80±0.20 ^a	9.60±0.14 ^a	8.60±0.09 ^a	7.80±0.08 ^a	6.60±0.24 ^b	5.40±0.08 ^b
T3	10.00±0.00 ^a	9.85±0.25 ^a	9.70±0.10 ^a	8.80±0.09 ^a	8.00±0.08 ^a	7.20±0.37 ^a	6.40±0.14 ^a

注: 不同小写字母表示每一列数据差异显著性, $P < 0.05$ 。

贮藏 30 d 时, T3 组油麦菜感官评价最高, 感官评分为 6.40, CK 组油麦菜感官评分为 4.40。综上, T3 组感官评价最高。

2.2.3 质量损失率

质量损失率是影响油麦菜感官品质的重要指标之一^[19]。如图 3 可以看出, 随着贮藏时间的增加, 油麦菜的质量损失率逐渐上升。在贮藏 30 d 时, CK、T1、T2、T3 组的质量损失率分别为 5.59%、4.21%、4.50%、4.08%, CK 组的质量损失率与处理组的差异显著 ($P < 0.05$)。结果表明, “温控箱+蓄冷剂”包装延缓了油麦菜质量损失率的增加, 与张鹏等^[14]报道的精准温度控制可以降低枸杞鲜果贮藏期间质量损失率的结果相一致。

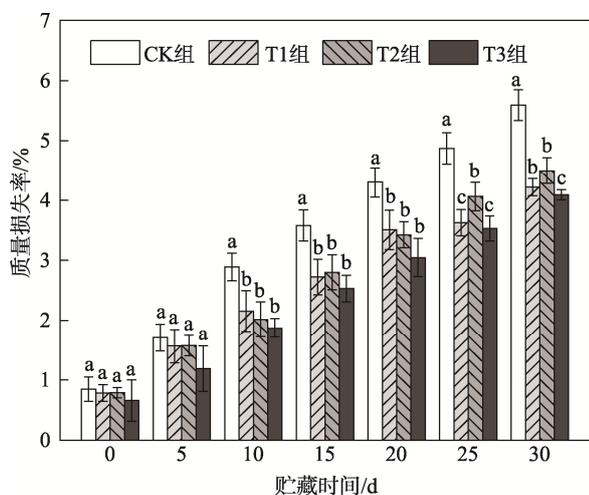


图3 不同包装下油麦菜质量损失率的变化
Fig.3 Changes in weightlessness of *Lactuca sativa* in various packaging

2.3 不同包装方式对油麦菜营养品质的影响

2.3.1 可溶性固形物含量

如图 4 可以看出, 在贮藏前期油麦菜中可溶性固形物含量先有小幅度的升高然后逐渐下降, 并在贮藏第 5 天到达最高值。原因可能是采收后的油麦菜结构及生理生化过程发生改变, 碳水化合物代谢加强, 导致糖类物质持续积累^[20]。随着果实不断成熟和老化, 其底物被不断被消耗, 从而使可溶性固形物含量逐渐下降。在贮藏 30 d 时, 不同包装的可溶固形物含量由高到低为 T3 (4.43%)、T1 (4.23%)、T2 (4.15%)、CK (4.05%)。这说明不同包装方式延缓了油麦菜贮藏期间糖类消耗, 其中“温控箱+蓄冷剂”包装最佳。

2.3.2 Vc 含量

如图 5 所示, 油麦菜中 Vc 含量会逐渐降低, 其中 T3 组 Vc 含量降低速度较慢。在贮藏 30 d 时, T1、T2、T3 处理组 Vc 含量分别为 0.11、0.10、0.14 mg/g, 分别是 CK 组的 1.27 倍、1.24 倍、1.57 倍, “温控箱+

蓄冷剂”包装方式维持较高的 Vc 含量。朱军伟等^[21]研究表明 4 °C 下叶菜类中 Vc 含量的降解速率慢于 9 °C 下的, 低温能有效维持 Vc 含量, 与本文研究结果一致。

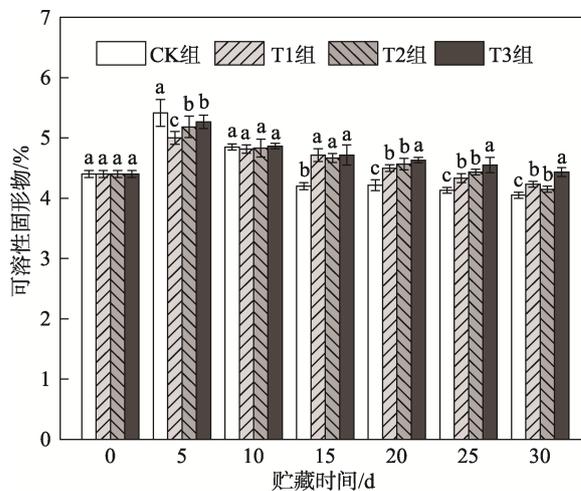


图4 不同包装下油麦菜可溶性固形物含量的变化
Fig.4 Changes of the different packaging on soluble solid content of *Lactuca sativa*

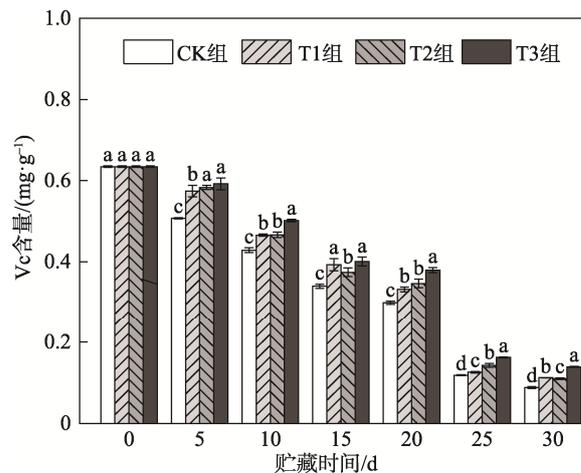


图5 不同包装下油麦菜 Vc 含量的变化
Fig.5 Changes of the different packaging on the Vc content of *Lactuca sativa*

2.3.3 叶绿素含量

色泽是影响蔬菜感官品质的一个重要指标^[22]。如图 6 可以看出, 油麦菜中叶绿素含量呈降低的趋势, 其叶片出现萎蔫发黄, 色泽度降低。在贮藏第 5 天时, 处理组中叶绿素含量显著高于 CK 组 ($P < 0.05$), 说明不同包装对油麦菜中叶绿素含量起到保护作用。贮藏 30 d 时, CK、T1、T2、T3 组叶绿素含量由最初 1.70 mg/g 下降到 0.93、1.10、1.15、1.21 mg/g。由此可见, “温控箱+蓄冷剂”包装延缓了油麦菜中叶绿素的下降, 可为温控箱提供相对稳定的低温条件, 进而抑制了叶绿素的降解, 这与冰温和相温组保持了较高的西兰花叶绿素的研究结果^[23]相一致。

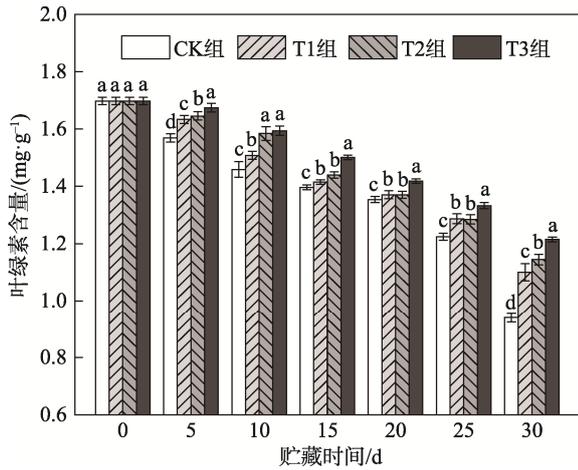


图 6 不同包装下油麦菜叶绿素含量的影响
Fig.6 Effect of the different packaging on chlorophyll content of *Lactuca sativa*

2.4 不同包装方式对油麦菜衰老指标的影响

2.4.1 MDA 含量

丙二醛 (MDA) 含量反映了果实细胞衰老和劣变程度^[24]。如图 7 所示, 油麦菜中 MDA 含量呈上升趋势。在贮藏 30 d 时, T1、T2、T3 组油麦菜中 MDA 含量分别为 0.369、0.366、0.341 nmol/g, 与 CK 组相比分别降低了 3.06%、3.85%、10.51%, T3 组显著低于 T1 和 T2 组 ($P<0.05$)。结果表明, 不同包装方式抑制了油麦菜丙二醛含量的增加, 减缓了膜脂过氧化作用, 延迟了衰老进程, 其中“温控箱+蓄冷剂”处理组的效果最优。

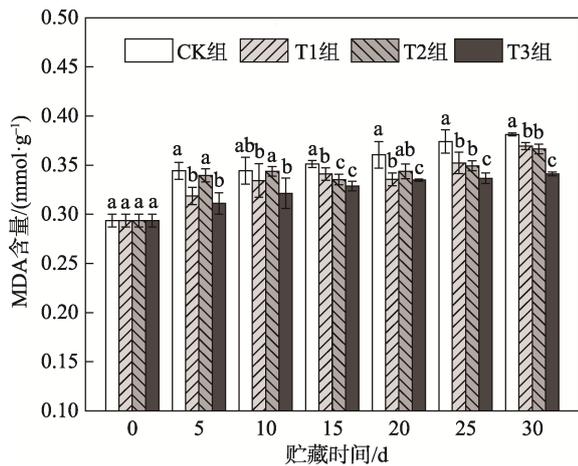


图 7 不同包装下油麦菜 MDA 含量的变化
Fig.7 Changes in MDA content of *Lactuca sativa* in various packaging

2.4.2 相对电导率

当植物受到逆境或其他机械伤害时, 其细胞膜容易被破坏, 从而导致胞质的胞液流出, 使相对电导率值增大^[25]。如图 8 所示, CK 组的相对电导率显著高于处理组的 ($P<0.05$); 在贮藏 30 d 时, T1、T2 和

T3 组的相对电导率分别为 10.75%、10.53%、9.60%, 其中 T3 组显著低于 T1、T2 组, 差异显著 ($P<0.05$)。表明“温控箱+蓄冷剂”包装方式能抑制油麦菜相对电导率的上升, 延缓细胞的衰老。

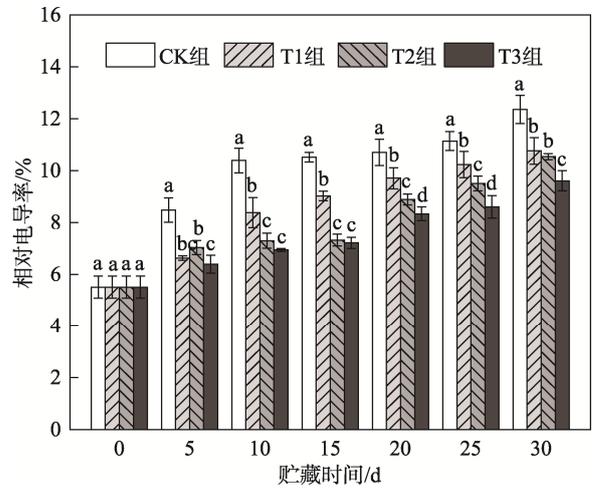


图 8 不同包装下油麦菜相对电导率的变化
Fig.8 Changes in relative conductivity of *Lactuca sativa* in various packaging

2.5 不同包装方式对油麦菜抗氧化酶的影响

2.5.1 多酚氧化酶活性

多酚氧化酶 (PPO) 在氧气存在的条件下催化邻苯二酚氧化成褐色或黑色的多聚物醌类物质。如图 9 所示, 在贮藏前期, 油麦菜中 PPO 活性表现出先上升再下降的趋势, T3 组 PPO 活性上升幅度最大, T1 组 PPO 活性上升幅度最小, 可能是贮藏环境中温度较低, 油麦菜组织细胞通过升高 PPO 活性来保护其不遭受损害^[26-27]。这与蕨菜^[28]、芦笋^[29]、黄牛肝菌^[30]的 PPO 活性变化规律一致。在贮藏 30 d 时, CK 组的 PPO 活性为 1.61 U/g, T1、T2、T3 组的 PPO 活性分别为 1.05、1.06、0.936 U/g, T3 组 PPO 活性

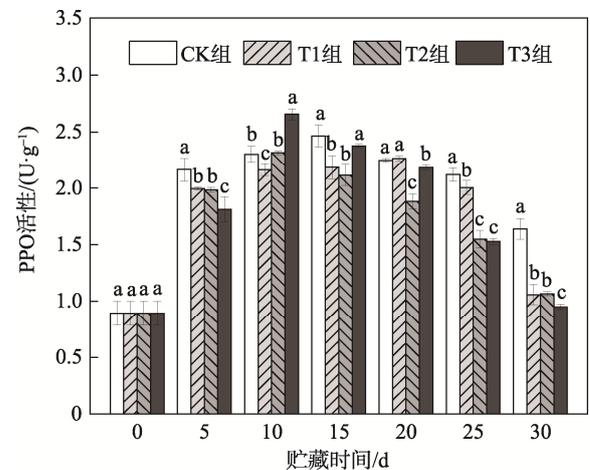


图 9 不同包装下油麦菜多酚氧化酶活性的变化
Fig.9 Changes of polyphenol oxidase activity in *Lactuca sativa* in various packaging

与CK组之间差异显著 ($P < 0.05$)。表明“温控箱+蓄冷剂”包装方式能够有效抑制油麦菜中PPO活性, 延缓油麦菜组织的老化褐变。

2.5.2 POD、SOD 和 CAT 活性

过氧化物酶(POD)是酶促防御系统的关键酶之一^[31], 与超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)协同作用, 清除体内过剩的自由基, 从而提高植物的抗逆能力^[32]。

如图10a所示, 在贮藏第5天时, T1、T2、T3组

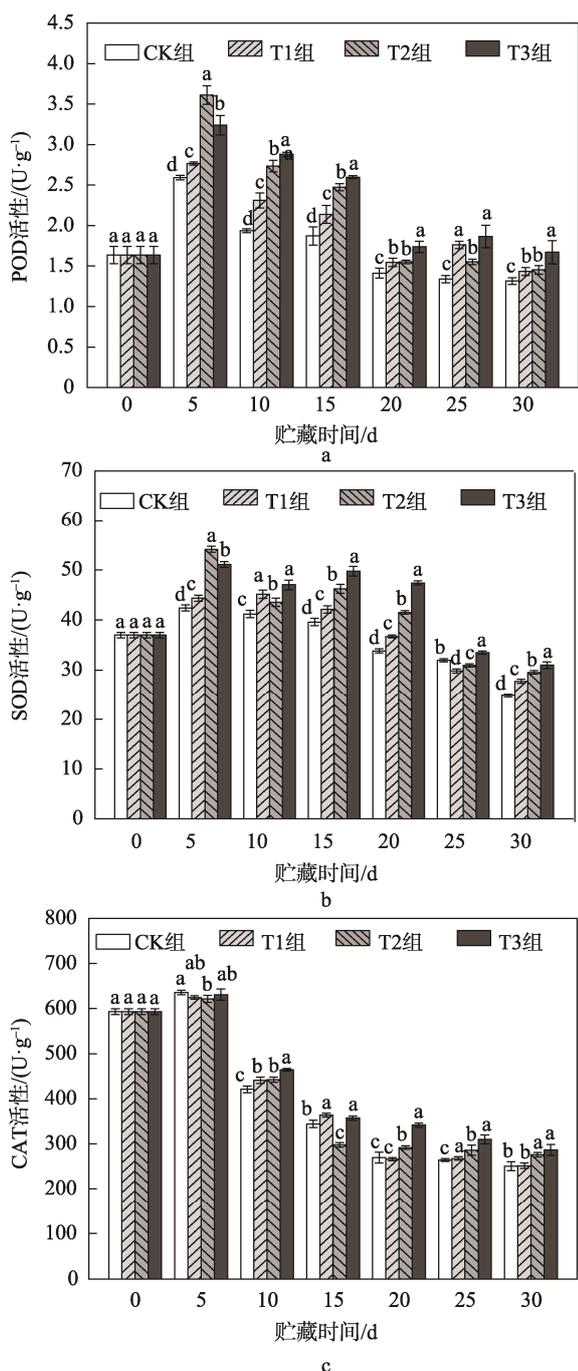


图10 不同包装下油麦菜 POD (a)、SOD (b) 和 CAT (c) 活性的变化

Fig.10 Changes of the different packaging on POD(a), SOD(b) and CAT(c) activities in *Lactuca sativa*

油麦菜的 POD 活性到达了峰值, 分别为 2.76、3.61、3.23 U/g, 显著高于 CK 组 ($P < 0.05$), 可能是油麦菜的应激反应导致的。在贮藏 30 d 时, T1、T2、T3 组的 POD 活性分别为 1.43、1.45、1.66 U/g, 分别是 CK 组的 1.09、1.10、1.26 倍, T3 组 POD 活性显著高于其他处理组 ($P < 0.05$)。以上结果说明, “温控箱+蓄冷剂”的包装方式使 POD 活性维持在较高的水平, 降低了活性氧积累、延缓了膜脂过氧化作用。

如图 10b 所示, 在贮藏 5 d 时, CK、T2、T3 组的 SOD 活性达到了峰值, 分别为 42.38、54.11、51.09 U/g, 而在贮藏第 10 天时, T1 组的 SOD 活性达到了峰值, 为 45.12 U/g, 随后呈现下降的趋势。在贮藏 30 d 时, T1、T2、T3 组的 SOD 活性分别为 27.74、29.52、30.97 U/g, 是 CK 组的 1.12 倍、1.19 倍、1.25 倍。结果表明, 不同包装方式均可以维持较高的 SOD 活性, 其中“温控箱+蓄冷剂”维持效果最佳。

如图 10c 所示, 在贮藏第 5 天时, T1、T2、T3 处理组的 CAT 活性到达了峰值, 分别 624.63、621.51、630.91 U/g, 差异不显著 ($P > 0.05$)。在贮藏 15 d 时, 与贮藏 0 d 相比, 各个处理组的 CAT 活性下降速率由高到低为 T2 (49.80%)、CK (42.00%)、T3 (39.82%)、T1 (38.65%), T2 组下降速率较快。贮藏 30 d 后, 处理组 CAT 活性分别高出 CK 组 0.49%、10.32%、14.53%。结果表明, “温控箱+蓄冷剂”保持了较高的 CAT 活性。

3 讨论

蓄冷剂在贮藏和运输的过程中会持续地释放出冷量, 使周围的环境在一段时间内处于较低的温度, 以满足果蔬保鲜对低温环境的需求。张鹏等^[33]将蓄冷剂应用于葡萄保鲜中, 以模拟物流过程, 对葡萄保鲜效果进行研究。结果表明, 加入蓄冷剂能够将葡萄的货架期延长至 2 d。油麦菜采收后, 其呼吸作用较旺盛, 其叶片易出现失水萎蔫现象, 在蓄冷剂短时间营造的低温环境下, 能够有效抑制水分子的运动, 降低生理代谢相关酶的活动。温控技术采用蓄冷剂和温控箱形成了一个相对稳定的恒温贮藏环境, 具有温度波动小且精准的特点, 可大大降低保鲜成本, 更利于推广应用。赵薇等^[34]研究温度波动对板栗和番茄贮藏保鲜效果的影响, 结果发现, 温度波动越小, 其贮藏品质越好。本实验将蓄冷剂与泡沫箱和温控箱进行结合, 结果表明, CK、T1、T2、T3 组的温度分别为 $(4.06 \pm 0.07)^\circ\text{C}$ 、 $(3.61 \pm 0.05)^\circ\text{C}$ 、 $(3.72 \pm 0.04)^\circ\text{C}$ 、 $(3.49 \pm 0.03)^\circ\text{C}$, T3 组贮藏环境温度波动范围小。此外, T3 组可以延缓油麦菜质量损失率的增加, 减少贮藏期间糖类的消耗, 缓解 Vc 含量和叶绿素含量的下降, 有效抑制 PPO 活性的升高, 保持了 POD、CAT 和 SOD 较高的活性, 延缓了相对电导率的增加, 从而保护了细胞膜结构功能的完整性。

4 结语

温控箱的保温材料更具有稳定性,当蓄冷剂的加入提供一个冷源,使得“温控箱+蓄冷剂”的贮藏环境温度波动范围为(3.49±0.03)℃,温度保持相对平稳状态。贮藏30d时油麦菜中TSS、Vc、叶绿素含量分别为4.43%、0.14 mg/g、1.21 mg/g。与其他处理组相比,“温控箱+蓄冷剂”延缓了相对电导率的增加,减少了MDA积累,保持了较高的POD、SOD、CAT活性,降低了贮藏期间油麦菜的黄化程度,维持了油麦菜采后贮藏品质。综上所述,“温控箱+蓄冷剂”的包装方式对油麦菜的保鲜效果更好,是一项全新的研究方向。

参考文献:

- [1] 林辰壹,耿文娟,谢军,等.油麦菜与莴苣、菊苣的生物学特性比较[C]//中国园艺学会,中国园艺学会第七届青年学术讨论会论文集,泰安,2006:367-371.
LIN C Y, GENG W J, XIE J, et al. Comparison of Biological Characteristics between Lettuce and Chicory[C]// Chinese Horticultural Society. Proceedings of the 7th Youth Symposium of Chinese Horticultural Society, Taian, 2006: 367-371.
- [2] KIM MJ, MOONY, TOU J, et al. Nutritional Value, Bioactive Compounds and Health Benefits of Lettuce (*Lactuca Sativa L.*)[J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2016(49): 19-34.
- [3] 金玉忠,马艺荞,谭克,等.绿色食品——设施油麦菜生产技术规程[J].吉林菜,2018(9):22-23.
JIN Y Z, MA Y S, TAN K, et al. Green Food—Technical Specification for Production of Protected Rapeseed[J]. *Jilin cuisine*, 2018(9): 22-23.
- [4] 潘怡丹,于曼,过叶青,等.气调冷藏集装箱对蔬菜贮藏的保鲜效果[J].食品工业科技,2021,42(12):313-320.
PAN Y D, YU M M, GUO Y Q, et al. Fresh-keeping Effect of Modified Atmosphere Refrigerated Container on Vegetable Storage[J]. *Technology in the Food Industry*, 2021, 42(12): 313-320.
- [5] 王晓芸,罗帅,孝培培,等.微孔包装对油麦菜贮藏品质的影响[J].北方园艺,2014(24):119-123.
WANG X Y, LUO S, XIAO P P, et al. Effect of Micro-Perforated Packaging on the Quality of Romaine Lettuce during Storage[J]. *Northern Horticulture*, 2014(24): 119-123.
- [6] 王海丹,普红梅,杨芳,等.不同贮藏温度下油麦菜品质变化及其货架期预测[J].食品研究与开发,2022,43(15):38-47.
WANG H D, PU H M, YANG F, et al. Quality Changes and Predictive Modeling of Shelf Life of *Lactuca Sativa* Stored at Different Temperatures[J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(15): 38-47.
- [7] 郑丽静,韦强,叶孟亮,等.不同贮藏温度与包装方式对油麦菜保鲜效果的影响[J].安徽农业科学,2019,47(14):192-196.
ZHENG L J, WEI Q, YE M L, et al. Effects of Different Storage Temperatures and Packaging Methods on the Preservation of *Lactuca Sativa L.*[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, 47(14): 192-196.
- [8] 刘玉军,徐桂燕,王英,等.贮藏温度对叶菜类蔬菜采后品质的影响[J].中国果菜,2021,41(3):1-6.
LIU Y J, XU G Y, WANG Y, et al. Effects of Storage Temperature on Postharvest Quality of Leaf Vegetables[J]. *China Fruit & Vegetable*, 2021, 41(3): 1-6.
- [9] 薛友林,刘英杰,张鹏,等.精准温控保鲜箱对黄花菜冷藏品质的影响[J].包装工程,2021,42(15):1-9.
XUE Y L, LIU Y J, ZHANG P, et al. Effect of Precision Temperature Control Box on Quality of Daylily during Cold Storage[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(15): 1-9.
- [10] 秦威南,何强,祝强,等.相变蓄冷材料研究进展[J].化工新型材料,2021,49(5):1-6.
QIN W N, HE Q, ZHU Q, et al. Progress in Phase Change Thermal Storage Materials[J]. *New Chemical Materials*, 2021, 49(5): 1-6.
- [11] CHANDEL S, AGARWAL T. Review of Current State of Research on Energy Storage, Toxicity, Health Hazards and Commercialization of Phase Changing Materials[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 67: 581-596.
- [12] FARAJ K, KHALED M, FARAJ J, et al. Phase Change Material Thermal Energy Storage Systems for Cooling Applications in Buildings: A Review[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, 119: 1-18.
- [13] 高凯,张娜,杨秀茹,等.蓄冷剂在油麦菜保鲜中的应用研究[J].保鲜与加工,2010,10(3):30-32.
GAO K, ZHANG N, YANG X R, et al. Research of Storage Agent Preservation of Lettuce[J]. *Storage and Process*, 2010, 10(3): 30-32.
- [14] 张鹏,袁兴铃,薛友林,等.精准温度控制对枸杞鲜果贮藏品质和香气成分的影响[J].农业工程学报,2021,37(18):322-330.

- ZHANG P, YUAN X L, XUE Y L, et al. Effects of Precision Temperature Control on the Storage Quality and Aroma Components of Lycium Barbarum Fruit[J]. *Agricultural Engineering*, 2021, 37(18): 322-330.
- [15] 李军. 钼蓝比色法测定还原型维生素 C[J]. *食品科学*, 2000, 21(8): 42-45.
- LI J. Study on Molybdenum Blue Method of L-VC Test by Spectrometry[J]. *Food Science*, 2000, 21(8): 42-45.
- [16] 张怡, 关文强, 张娜, 等. UV-C 对西兰花抗氧化活性及相关品质的影响[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(12): 80-84.
- ZHANG Y, GUAN W Q, ZHANG N, et al. Changes of Antioxidant Activity, Compounds and Quality of Broccoli Florets during Different Temperatures[J]. *Food Research and Development*, 2014, 35(12): 80-84.
- [17] 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.
- CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Guidance on Post-harvest Physiological and Biochemical Experiments of Fruits and Vegetables[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [18] 董树刚, 吴以平. 植物生理学实验技术[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2006.
- DONG S G, WU Y P. Experimental Technology of Plant Physiology[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2006.
- [19] 李露露. 不同贮藏温度和包装袋对菜心货架期品质的影响[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- LI L L. Effects of Different Storage Temperatures and Packaging Bags on Shelf-Life Quality of Chinese Cabbage[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2016.
- [20] 孙永梅, 刘丽杰, 冯明芳, 等. 植物在低温胁迫下的糖代谢研究进展[J]. *东北农业大学学报*, 2015, 46(7): 95-102.
- SUN Y M, LIU L J, FENG M F, et al. Research Progress of Sugar Metabolism of Plants under Cold Stress[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2015, 46(7): 95-102.
- [21] 朱军伟, 谢晶, 林永艳, 等. 贮藏温度和包装方法对两种叶菜采后品质的影响[J]. *食品与机械*, 2012, 28(4): 175-178.
- ZHU J W, XIE J, LIN Y Y, et al. Effect of Temperature and Packaging Method on Quality of Two Kinds of Leafy Vegetables[J]. *Food & Machinery*, 2012, 28(4): 175-178.
- [22] 潘文娟. 生菜成熟度识别及采后品质质量研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
- PAN W J. Study on Maturity Identification and Post-harvest Quality of Lettuce[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2015.
- [23] 张鹏, 康丹丹, 贾晓昱, 等. 精准温控贮藏对西兰花采后品质和生理变化的影响[J]. *食品科学技术学报*, 2021, 39(6): 115-125.
- ZHANG P, KANG D D, JIA X Y, et al. Effects of Precise Temperature Control Storage on Postharvest Quality and Physiological Changes of Broccoli[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 39(6): 115-125.
- [24] 金思渊, 谢晶. 蓝光协同茴香精油对鲜切苜菜的保鲜机理[J]. *食品科学*, 2022, 43(17): 290-296.
- JIN S Y, XIE J. Quality Preservation of Fresh-Cut Amaranth(Amaranthus Crispus)by Combined Use of Blue Light and Fennel Essential Oil[J]. *Food Science*, 2022, 43(17): 290-296.
- [25] 普红梅, 杨芳, 张绍智, 等. 不同保鲜袋对意大利生菜的保鲜效果[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(12): 3880-3886.
- PU H M, YANG F, ZHANG S Z, et al. Fresh Keeping Effect of Different Fresh Packing Bags on Italian Lettuce[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(12): 3880-3886.
- [26] 谢雨萱, 包苹, 郭莺, 等. 自然越冬期姜花属植物生理指标变化及抗寒性评价[J]. *热带亚热带植物学报*, 2021, 29(5): 509-518.
- XIE Y X, BAO P, GUO Y, et al. Changes in Physiological Characteristics of Cold Resistance of Hedychium and Evaluation during Natural Overwintering Period[J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2021, 29(5): 509-518.
- [27] 宁密密, 张群, 刘伟, 等. 二氧化硫保鲜剂处理对‘阳光玫瑰’葡萄贮藏期褐变的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2023, 49(8): 75-83.
- NING M M, ZANG Q, LIU W, et al. Effect of Sulfur Dioxide Preservative Treatment on Browning of 'Sunshine Rose' Grape during Storage[J]. *Food and fermentation industries*, 2023, 49(8): 75-83.
- [28] 李振, 张秀玲, 张文涛, 等. 1-甲基环丙烯熏蒸结合茶多酚涂膜处理对蕨菜保鲜效果的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(19): 218-225.
- LI Z, ZHANG X L, ZHANG W T, et al. Effects of 1-Methylcyclopropylene Fumigation Combined with Tea Polyphenol Coating on Fresh-Keeping Effect of Bracken[J]. *Journal of Food Science*, 2019, 42(19):

- 218-225.
- [29] 魏云潇, 韩超, 余作龙, 等. 绿原酸复配水杨酸对采后芦笋冷藏保鲜的影响[J]. 食品工业科技, 2023, 44(9): 354-361.
- WEI Y X, HAN C, YU Z L, et al. Effects of Chlorogenic Acid Combined with Salicylic Acid Treatments on Postharvest Asparagus during Cold Storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(9): 354-361.
- [30] 张皓波, 吴喜庆, 杨蕊, 等. 褪黑素结合气调包装处理对黄牛肝菌保鲜效果影响[J]. 食用菌学报, 2023, 30(3): 68-80.
- ZHANG H B, WU X Q, YANG R, et al. Effects of Melatonin Combined with MAP Treatment on Preservation of Boletus Flavus[J]. ActaEdulis Fungi, 2023, 30(3): 68-80.
- [31] XU F X, LIU S Y, XIAO Z G, et al. Effect of Ultrasonic Treatment Combined with 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on Storage Quality and Ethylene Receptors Gene Expression in Harvested Apple Fruit[J]. Journal of Food Biochemistry, 2019, 43(8): 12967.
- [32] 秦晓杰, 肖红梅, 罗凯, 等. 水杨酸结合拮抗酵母菌处理对冷藏草莓果实的抗性影响[J]. 食品科学, 2013, 34(18): 290-294.
- QIN X J, XIAOH M, LUO K, et al. Effect of Antagonistic Yeastin Combination with Salicylic Acid on Chilling Resistance of Strawberry Fruits during Cold Storage[J]. Food Science, 2013, 34(18): 290-294.
- [33] 张鹏, 袁兴铃, 张鹤, 等. 蓄冷剂在葡萄模拟物流中的应用[J]. 包装工程, 2021, 42(13): 75-84.
- ZHANG P, YUAN X L, ZHANG H, et al. Application of Cool-Storage Agent in Grape Simulation Logistics[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(13): 75-84.
- [34] 赵薇, 王晓东, 李丹丹, 等. 温度波动对板栗贮藏品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(10): 77-82.
- ZHAO W, WANG X D, LI D D, et al. Effect of Temperature Fluctuation on Quality of Castanea Mollissima during Storage Period[J]. Food Research and Development, 2023, 44(10): 77-82.