

LED 白光处理对采后油麦菜品质的影响

周福慧^{1,2}, 徐冬颖², 左进华¹, 高丽朴¹, 王清¹, 姜爱丽²

(1.北京农林科学院 蔬菜研究中心, 北京 100097;

2.大连民族大学 生命科学学院生物技术与资源利用教育部重点实验室, 辽宁 大连, 116600)

摘要: **目的** 研究低强度 LED 白光处理对采后油麦菜品质的影响。**方法** 采用光照强度为 $5 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 的 LED 白光于 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ 下持续照射油麦菜 7 d, 以黑暗条件下贮藏的样品为对照, 测定贮藏期间样品的感官评分、腐烂率、呼吸强度, 叶绿素、维生素 C、总酚及丙二醛 (MDA) 含量, 多酚氧化酶 (PPO)、过氧化氢酶 (CAT)、叶绿素降解酶 (叶绿素酶、脱镁螯合酶、叶绿素过氧化物酶、脱镁叶绿素酶) 活性的变化。**结果** 与对照组相比, 在贮藏期间, LED 处理可有效维持油麦菜的感官品质, 抑制其呼吸强度和 MDA 含量的上升, 维持叶绿素、维生素 C 及总酚含量, 提高抗氧化酶活性, 并降低叶绿素降解酶的活性。**结论** LED 处理可通过抑制采后油麦菜的呼吸强度和叶绿素降解速率, 维持非酶抗氧化物质含量和抗氧化酶活性, 保持细胞膜完整性, 从而延缓其采后衰老, 并保持其较好的感官和营养品质。

关键词: 品质; 叶绿素; 抗氧化能力; 细胞膜完整性

中图分类号: TB485.2 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)05-0008-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.05.002

Effects of White LED Irradiation on the Quality of Postharvest *Lactuca Sativa*

ZHOU Fu-hui^{1,2}, XU Dong-ying², ZUO Jin-hua¹, GAO Li-pu¹, WANG Qing¹, JIANG Ai-li²

(1. Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China;

2. Key Laboratory of Biotechnology and Resource Utilization of Ministry of Education,

Dalian Minzu University, Dalian 116600, China)

ABSTRACT: The work aims to study the effect of low-intensity white LED irradiation on quality of postharvest *Lactuca sativa*. The white LED light (light intensity approximates to $5 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) was used to continuously irradiate the *Lactuca sativa* at $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ for 7 days. The samples stored in dark environment were used as control to determine the change of sensory score, decay rate, respiratory rate, content of chlorophyll, vitamin C, malondialdehyde (MDA), activity of polyphenol oxidase (PPO), catalase (CAT), and chlorophyll degrading enzymes (chlorophyllase, Mg-dechelatease, chlorophyll-degrading peroxidase, and pheophytinase). Compared with the control, LED treatment could effectively maintain the appearance quality of *Lactuca sativa*, inhibit the increase of respiratory rate and MDA content, keep the contents of chlorophyll, vitamin C and total phenolics, increase antioxidant enzyme activity, and reduce chlorophyll degrading enzyme activity during storage. LED treatment can delay postharvest senescence and maintain sensory and nutritional quality of *Lactuca sativa* by inhibiting the respiration and chlorophyll degradation rate, maintaining non-enzymatic antioxi-

收稿日期: 2019-08-22

基金项目: 国家大宗蔬菜产业体系建设项目 (CARS-23); 北京市科技计划 (Z19100008619004); 北京市农林科学院协同创新中心建设项目 (KJXC201915); 生物技术与资源利用教育部重点实验室 (大连民族大学) 项目 (KF2018002); 国家自然科学基金 (31772022); 北京市自然科学基金 (6182016); 北京市农林科学院创新能力建设专项 (20180404 和 20180705)

作者简介: 周福慧 (1995—), 女, 大连民族大学硕士生, 主攻采后生物学与技术。

通信作者: 王清 (1979—), 女, 博士, 北京农林科学院副研究员, 主要研究方向为蔬菜采后生理及贮藏、流通保鲜技术。

dant content and antioxidant enzyme activity and keeping cell membrane integrity.

KEY WORDS: quality; chlorophyll; antioxidant capacity; cell membrane integrity

油麦菜 (*Lactuca sativa* L.) 又名莬麦菜, 为一年生草本植物, 菊科莬苣属, 其茎叶均可食用, 质地脆嫩, 且富含大量维生素和人体不可或缺的微量元素, 是生食蔬菜中的上品。由于油麦菜采后呼吸和蒸腾作用旺盛, 耐贮性降低, 极易萎蔫、黄化、腐烂, 并伴随营养快速流失, 大大降低其商品价值, 会造成巨大经济损失^[1-2], 因此寻找一种科学有效的保鲜手段来延长采后油麦菜货架期具有重要意义。

光作为重要调节因子, 可调控园艺作物生长和发育过程中的植物化学成分^[3]。近年来, 发光二极管 (Light Emitting Diode, LED) 处理技术因具有体积小、使用寿命长和热能输出低等优点, 被广泛应用于园艺产品保鲜领域^[4-6]。有研究发现, 不同颜色和光强度 LED 处理对采后园艺产品品质均会产生较大影响, 例如低强度白色 LED 处理可显著延长生菜的贮藏时间, 并保持其较好品质^[5,7], 白-蓝 LED 光照射在储存和运输过程中能提升甘蓝营养物质含量^[8], 绿光^[3]和红光^[8]LED 处理对西兰花品质均有维持作用。目前, 对于 LED 光照处理油麦菜的研究尚为缺乏, 鉴于此, 文中选取应用最为普遍的白色 LED 光源连续照射油麦菜, 通过观察其生理代谢的变化, 研究 LED 白光处理对采后油麦菜品质的影响。

1 实验

1.1 材料与仪器

主要材料: “更香”油麦菜, 采收于张北县农场, 选取叶色嫩绿、无机械损伤及病虫害的油麦菜作为实验材料; 丙酮、愈创木酚、 H_2O_2 、邻苯二酚、三氯乙酸等试剂, 均购自天津科密欧化学试剂有限公司; 叶绿素 A, 购自上海源叶生物科技有限公司。

主要仪器: M20 研磨机, 德国 IKA; TGL-20M 高速台式冷冻离心机, 湖南湘仪离心机仪器有限公司; DK-S26 恒温水浴锅, 上海精宏实验设备有限公司; UV-9200 紫外-可见分光光度计, 北京瑞利分析仪器有限公司; ALP-01 光子通量密度 PPFD 测试仪, 上海和晟仪器科技有限公司。

1.2 方法

1) 实验在 LED 果蔬保鲜货架 (见图 1) 中进行。为避免外界光干扰, 货架四周均采用锡箔纸密封。LED 灯管水平放置于样品架上方, 距离为 0.4 m。样品架表面共设有 4 个光子通量检测点, 每次实验开始前, 需保证 4 个检测点光强度一致。

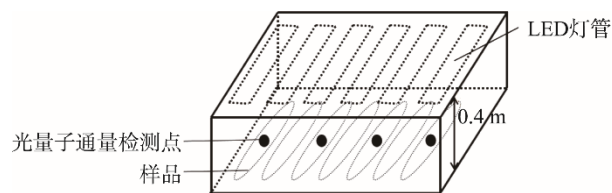


图 1 LED 果蔬保鲜实验货架

Fig.1 LED fruit and vegetable fresh-keeping test shelf

2) 样品处理。将油麦菜随机分为 2 组, 每组约 2.5 kg, 每 150 g 装入一个聚乙烯袋中 (0.03 mm) 封口包装。对照组直接置于黑暗中贮藏。处理组样品平铺放置于货架表面, 在整个贮藏期间均接受 LED 白光照射, 2 个实验组的贮藏温度、相对湿度均分别为 20 °C 和 90%。分别于贮藏 0, 1, 3, 5, 7 d 后进行取样测定。每个指标重复 3 次实验。LED 白光光强度为 $5 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (预实验结果发现相较于更高的光强度, $5 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 强度的光处理保鲜效果更好)。LED 灯其它参数: 红光与蓝光比为 0.87, 红光与远红光比为 9.51, 峰值波长 (380~780 nm) 为 448 nm, 主波长 (380~780 nm) 为 488 nm, 相关色温为 6221, 输出电压和功率分别为 24 V 和 15 W。

3) 感官评分和腐烂率。参照郑丽静等^[2]的感官品质评价标准, 根据油麦菜颜色、光泽, 萎蔫、腐烂程度及气味进行综合评分。腐烂率 = (腐烂棵数/总棵数) $\times 100\%$ 。

4) 呼吸速率。参照姜爱丽等^[9]的方法, 采用 GC-2010 型气相色谱仪测定油麦菜呼吸代谢释放的 CO_2 含量, 从而计算其呼吸速率。

5) 叶绿素、维生素 C、总酚和 MDA 含量。采用 Wang 等^[10]的方法测定叶绿素、维生素 C 和 MDA 含量, 参照 Shi 等^[11]的方法测定总酚含量。

6) PPO, CAT 活性。PPO, CAT 活性的测定参照 Shi 等^[11]的方法, 酶活力用 U 表示, 分别为: $U(\text{PPO}) = \Delta\text{OD}_{460\text{nm}}/(\text{min} \cdot \text{g})$, $U(\text{CAT}) = \Delta\text{OD}_{240\text{nm}}/(\text{min} \cdot \text{g})$ 。

7) 叶绿素降解相关酶活性。参考 Shi 等^[12]的方法分别在 667, 686, 668, 667 nm 下测定叶绿素酶、脱镁螯合酶 (MD) 叶绿素过氧化物酶 (Chl-POX) 脱镁叶绿素酶 (PPH) 活性。

1.3 统计方法

用 SPSS 22.0 软件分析数据及相关性。采用 LSD 检验分析对照组与处理组之间的差异, $P < 0.05$ 表示差异显著性。采用 Origin 8.0 软件进行绘图, 图 1—6 中*表示两实验组间差异显著 ($P < 0.05$)。使用 HemI 软件制作热图 (见图 7)。

2 结果与分析

2.1 感官评分和腐烂率

随着贮藏时间的延长,油麦菜会出现萎蔫、黄化、褐变及腐烂等现象,大大降低其品质。由图 2a 可知,采后油麦菜感官评分随时间的延长呈逐渐下降趋势,LED 处理组样品感官评分在贮藏 1 d 后高于同期对照组,且在贮藏 5 d 后差异显著 ($P < 0.05$)。贮藏过程中,采后油麦菜腐烂率逐渐上升(图 2b),对照组蔬菜的腐烂率在贮藏 1 d 后高于 LED 处理组,且贮藏 5 d 后差异显著 ($P < 0.05$)。这说明 LED 处理可有效延缓采后油麦菜的衰老速率,并维持其较好的感官品质。

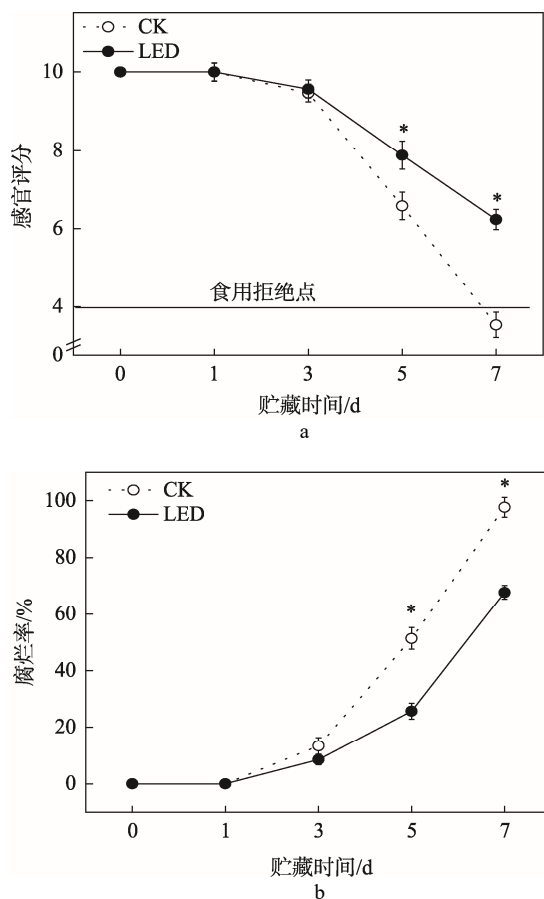


图2 LED处理后油麦菜感官评分及腐烂率的变化
Fig.2 Changes in sensory score and decay rate of *Lactuca sativa* treated with LED

2.2 呼吸速率

呼吸速率是反应采后蔬菜衰老的重要指标。在贮藏期内,油麦菜的呼吸速率呈上升趋势(见图 3)。在整个贮藏期间内,对照组油麦菜的呼吸速率均高于同期 LED 处理组,且贮藏 5 d 后差异显著 ($P < 0.05$)。在贮藏末期(7 d),对照组油麦菜的呼吸速率是 LED 处理组的 1.45 倍,表明 LED 处理可以有效抑制采后

油麦菜的呼吸速率,延缓其组织衰老。

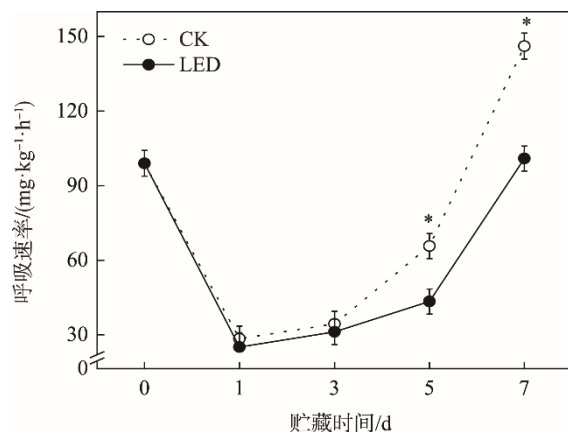


图3 LED处理后油麦菜呼吸速率的变化
Fig.3 Changes in respiration rate of *Lactuca sativa* treated with LED

2.3 叶绿素、维生素 C、总酚、丙二醛含量

叶绿素是影响绿叶蔬菜颜色的重要物质,其含量的下降将直接导致叶片黄化,降低蔬菜品质^[13]。采后油麦菜叶绿素含量在贮藏 1 d 时达到峰值后下降(见图 4a)。整个贮藏期间内,LED 处理组油麦菜含量均高于同期对照组,且在贮藏第 3 天和第 7 天时差异显著 ($P < 0.05$),说明 LED 处理可有效保持叶绿素含量,这是其抑制黄化的主要原因。

维生素 C 是蔬菜中重要的营养物质,具有抗氧化作用^[10]。整个贮藏过程中,两处理组的维生素 C 含量均呈下降趋势(图 4b),而 LED 处理组的维生素 C 含量高于同期对照组,且在贮藏 5 d 后差异显著 ($P < 0.05$)。

蔬菜中的酚类物质不仅具有较强的抗氧化活性,还是酶促褐变反应的底物^[11, 14]。由图 4c 所示,随着贮藏时间的延长,对照组总酚含量呈下降趋势,而 LED 处理组总酚含量变化略有波动,LED 处理组的总酚含量在整个贮藏期间均显著高于同期对照组 ($P < 0.05$)。上述结果表明,LED 处理可以有效保持采后油麦菜非酶抗氧化物质含量。

丙二醛(MDA)是植物细胞膜膜脂过氧化产物,是反应细胞膜完整性的关键指标^[15]。贮藏期内,2 个处理组的 MDA 含量总体呈逐渐上升趋势(见图 4d),LED 处理组油麦菜的 MDA 含量显著低于同期对照组 ($P < 0.05$),这表明,LED 处理可保持油麦菜细胞膜完整性,从而延缓其采后衰老速率。

2.4 PPO 和 CAT 活性

多酚氧化酶(PPO)活性与多种植物的颜色和衰老有关,并且是参与酶促褐变的主要酶类。由图 5a 可知,两处理组的 PPO 活性在整个贮藏期间均呈上升趋势,LED 处理组油麦菜的 PPO 活性显著低于同

期对照组,说明 LED 处理可以抑制 PPO 活性,保持油麦菜的感官品质。

过氧化氢酶 (CAT) 是植物中关键的抗氧化酶,可以消除机体产生的过量的活性氧 (ROS) [16]。对照组油麦菜 CAT 活性在贮藏期间呈先上升后下降趋势,而 LED 处理组 CAT 活性呈波动趋势 (见图 5b)。整个贮藏过程中,LED 处理组的 CAT 活性均显著高于对照组 ($P < 0.05$),说明 LED 处理可保持采后油麦菜机体的抗氧化能力。

2.5 叶绿素降解相关酶活性变化

叶绿素含量的下降主要与叶绿素分解代谢有关,其中叶绿素酶、脱镁螯合酶、叶绿素降解过氧化物酶和脱镁叶绿素酶起主要作用[17]。叶绿素降解的初始过程包括叶绿素酶催化叶绿素 a 转化为脱植基叶绿素 a,并且通过脱镁螯合酶的作用脱去叶绿素和脱植基叶绿素中的 Mg^{2+} ,从而生成脱镁叶绿素和脱镁叶绿酸[18—20]。由图 6a 可知,LED 处理组的叶绿素酶活性

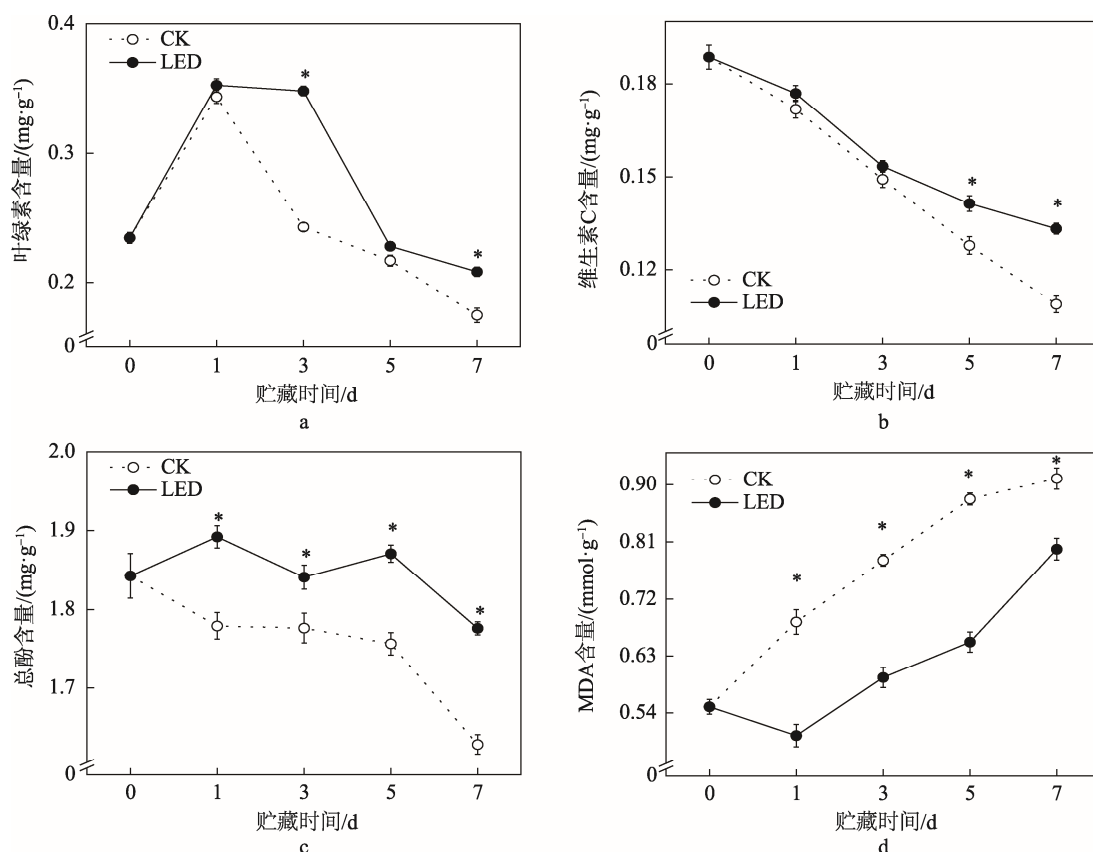


图 4 LED 处理后油麦菜叶绿素、维生素 C、总酚及 MDA 含量的变化

Fig.4 Changes in chlorophyll, vitamin C, total phenolics and MDA content of *Lactuca sativa* treated with LED

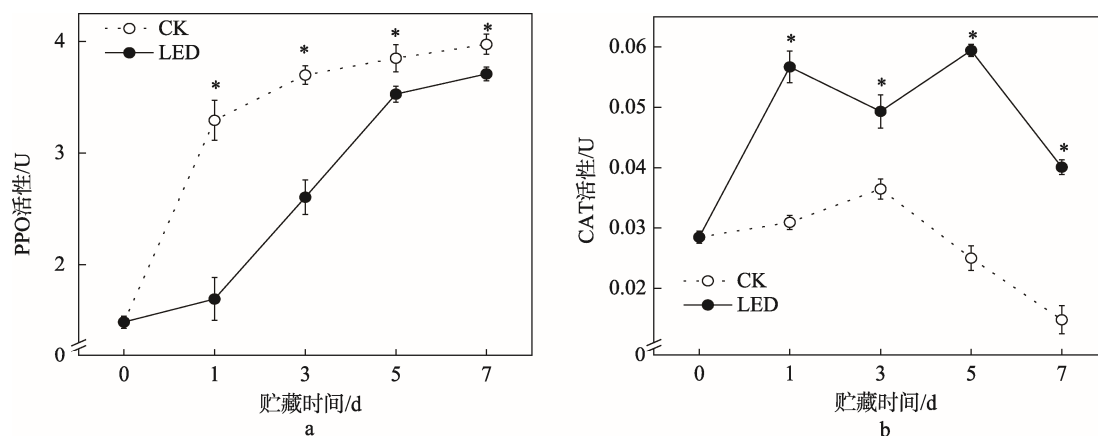


图 5 LED 处理后油麦菜 PPO 和 CAT 活性的变化

Fig.5 Changes in PPO and CAT activity of *Lactuca sativa* treated with LED

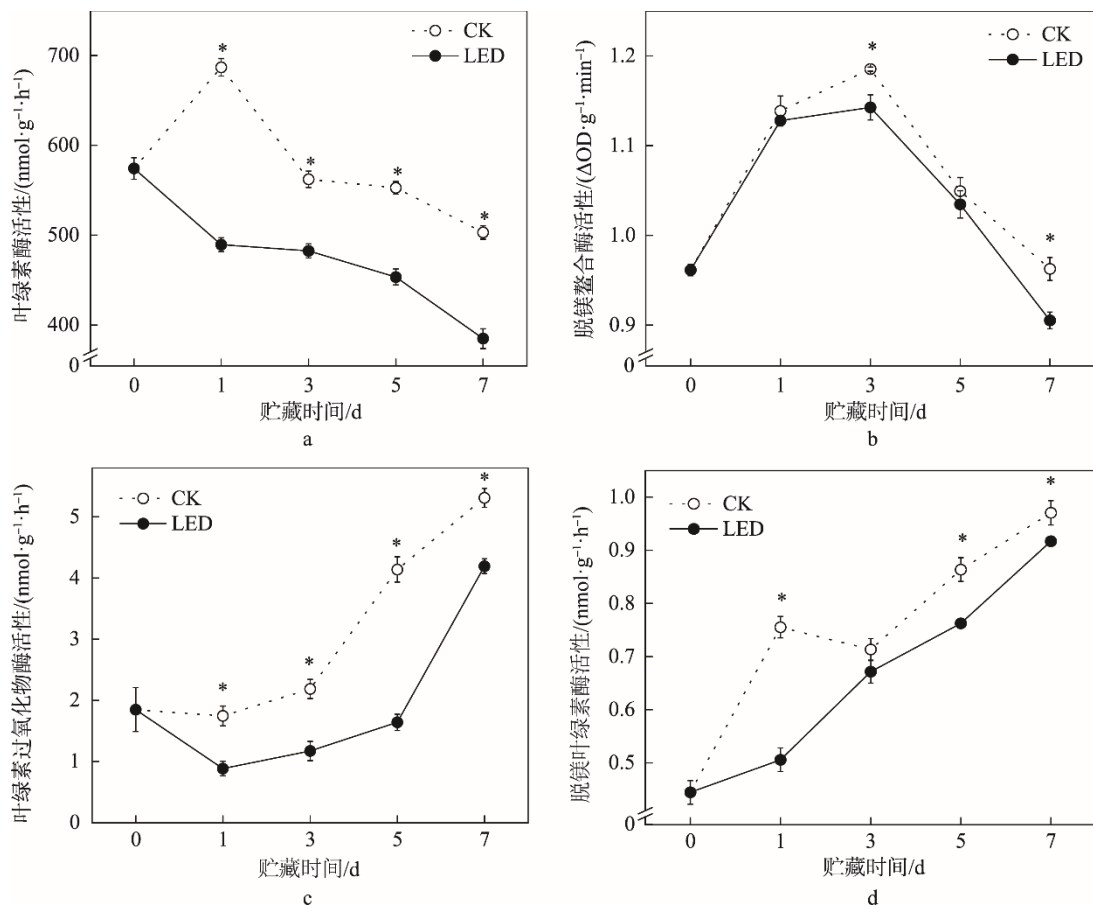
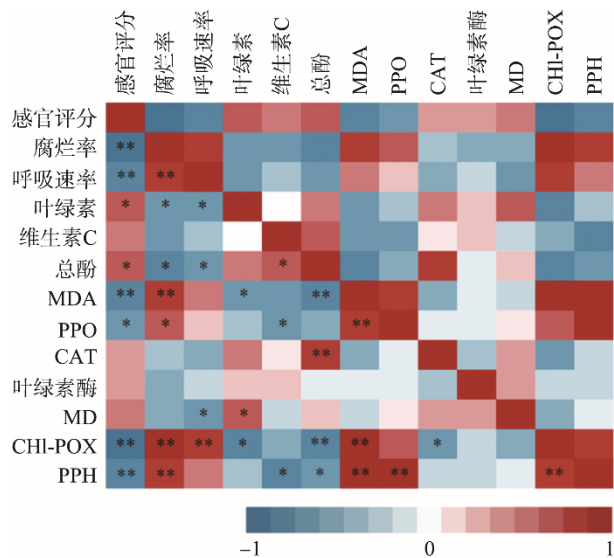


图6 LED处理后油麦菜叶绿素酶、脱镁螯合酶、叶绿素过氧化物酶和脱镁叶绿素酶活性的变化
Fig.6 Changes in chlorophyllase, Mg-dechelate, chlorophyll-degrading peroxidase, and pheophytinase activity of *Lactuca sativa* treated with LED

在整个贮藏期间呈逐渐下降趋势,而对照组叶绿素酶活性在贮藏1 d内上升,随后下降,并且整个贮藏期间对照组叶绿素酶活性均显著高于同期LED处理组($P<0.05$)。两实验组油麦菜的脱镁螯合酶活性均呈先上升后下降趋势(见图6b),于贮藏3 d时达到峰值后下降,整个贮藏时间内,对照组油麦菜的脱镁螯合酶活性均高于同期LED处理组,且在贮藏3 d和7 d时差异显著($P<0.05$)。叶绿素过氧化物酶可将叶绿素降解为无色低分子量化合物^[21-22]。由图6c可知,两处理组的叶绿素过氧化物酶活性均在贮藏1 d内下降,随后逐渐上升。整个贮藏期内,LED处理组的叶绿素过氧化物酶活性均显著低于同期对照组($P<0.05$)。脱镁叶绿素酶参与叶绿素降解,并且随着组织的衰老,其活性会逐渐增加^[12]。由图6d可知,整个贮藏期间,两处理组油麦菜脱镁叶绿素酶活性均呈上升趋势,LED处理组油麦菜的脱镁叶绿素酶活性均低于同期对照组,并且在贮藏1,5和7 d时差异显著($P<0.05$)。上述结果说明,LED处理可有效抑制油麦菜叶绿素降解相关酶活性,这是维持叶绿素含量的重要原因。

2.6 LED处理对油麦菜品质影响的Pearson相关性分析

由图7可知,采后油麦菜感官评分与PPO呈负



注:*和**表示数值间相关性达到 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平

图7 各指标之间的相关性矩阵

Fig.7 Correlation matrix between indexes

相关 ($P<0.05$), 与腐烂率、呼吸速率、MDA、CHI-POX 和 PPH 呈高度负相关 ($P<0.01$), 与叶绿素、总酚呈正相关 ($P<0.05$)。腐烂率与呼吸速率、MDA、CHI-POX 和 PPH 呈高度正相关 ($P<0.01$)。呼吸速率与叶绿素、总酚、MDA 呈高度负相关 ($P<0.01$)。叶绿素与 MDA 和 CHI-POX 呈负相关 ($P<0.05$)。总酚与 MDA 和 CHI-POX 呈高度负相关, 与 CAT 呈高度正相关 ($P<0.01$)。MDA 与 PPO、CHI-POX、PPH 呈高度正相关 ($P<0.01$)。由此可以说明, CHI-POX 可能是致使油麦菜叶绿素降解的关键酶, 并且采后油麦菜品质与其机体内叶绿素含量、抗氧化能力及细胞膜完整性密切相关。

3 讨论

通常, 蔬菜在采后贮藏、物流运输及家庭冷藏期间均被放置于黑暗条件下, 这将会加快叶绿素降解, 降低蔬菜品质^[5], 因此, 文中研究结合蔬菜自身特点及贮藏和销售环境, 选取低强度 LED 白光处理采后油麦菜, 探究其保鲜机理。油麦菜采后呼吸作用旺盛, 贮藏期间快速衰老变质, 常温下货架期为 2~3 d。文中研究将油麦菜贮藏于 20 °C 下, 对照组在贮藏 7 d 时已经失去食用价值, 而白色 LED 处理组油麦菜仍保持较好品质, 相较于对照组, 其货架期可被延长 2~3 d。

黄化是绿色蔬菜采后衰老的早期现象, 与叶绿素降解密切相关, 在文中研究中发现, LED 可以维持油麦菜叶绿素含量, 其原因可能是 LED 抑制了叶绿素降解相关酶活性。相关性结果发现, MDA 与叶绿素含量呈显著负相关, 这可说明, LED 处理对细胞膜完整性的维持也是保持叶绿素含量的重要原因。植物细胞内具有自身防御系统, 主要包括非酶抗氧化物质和抗氧化酶, 可以清除植物体内过量的 ROS, 从而减少其对机体的伤害^[23]。文中研究发现, LED 处理可以有效保持维生素 C、总酚含量以及 CAT 活性, 说明 LED 处理可以诱导油麦菜体内防御系统, 提升抗氧化能力, 保护机体减少损伤。上述结果与 JIN 等^[3]和 HASPERUE 等^[4, 8]的研究结果一致。

4 结语

与对照组相比, 低强度白色 LED 处理可以有效抑制采后油麦菜呼吸速率、PPO 及叶绿素降解相关酶活性和 MDA 积累, 维持叶绿素、维生素 C 及总酚含量, 保持 CAT 活性。综上所述, LED 处理延缓采后油麦菜衰老进程及保持其品质的主要机制为降低采后呼吸强度, 抑制叶绿素降解, 提升抗氧化能力以及维持细胞膜完整性。

参考文献:

- [1] 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 Xiao-yun, LUO Shuai, XIAO Pei-pei, et al. Effect of Microporous Packaging on Storage Quality of *Lactuca sativa* L[J]. Northern Horticulture, 2014(24): 119—123.
- [2] 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(14): 192—196.
ZHENG Li-jing, WEI Qiang, YE Meng-liang, et al. Effects of Different Storage Temperatures and Packaging Methods on the Preservation of *Lactuca Sativa* L[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2019(14): 192—196.
- [3] JIN P, YAO D, XU F, et al. Effect of Light on Quality and Bioactive Compounds in Postharvest Broccoli Florets[J]. Food Chemistry, 2015, 172: 705—709.
- [4] HASPERUE J H, GUARDIANELLI L, RODONI L M, et al. Continuous White-blue LED Light Exposition Delays Postharvest Senescence of Broccoli[J]. LWT-food Science and Technology, 2016, 65: 495—502.
- [5] KASIM M U, KASIM R. While Continuous White LED Lighting Increases Chlorophyll Content (SPAD), Green LED Light Reduces the Infection Rate of Lettuce during Storage and Shelf-life Conditions[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41: 13266—13272.
- [6] HUANG J Y, XU F Y, ZHOU W B. Effect of LED Irradiation on the Ripening and Nutritional Quality of Postharvest Banana Fruit[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(14): 5486—5493.
- [7] MBONG V B M, AMPOFO-ASIAMA J, HERTOOG M L A T, et al. The Effect of Temperature on the Metabolic Response of Lamb's Lettuce (*Valerianella Locusta*, L, Laterr) Cells to Sugar Starvation[J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 125: 1—12.
- [8] HASPERUE J H, RODONI L M, GUARDIANELLI L M, et al. Use of LED Light for Brussels Sprouts Postharvest Conservation[J]. Scientia Horticulturae, 2016, 213: 281—286.
- [9] 姜爱丽, 周福慧, 胡文忠, 等. 采后茉莉酸甲酯处理对蓝莓果实抗病性的影响[J]. 包装工程, 2018, 39(17): 85—93.
JIANG Ai-li, ZHOU Fu-hui, HU Wen-zhong, et al. Effect of Postharvest Methyl Jasmonate Treatment on Blueberry Fruit Disease Resistance during Storage[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(17): 85—93.
- [10] WANG Y X, ZHOU F H, JIN H Z, et al. Pre-storage Treatment of Mechanically-injured Green Pepper (*Capsicum annuum* L) Fruit with Putrescine Reduces Adverse Physiological Responses[J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 145: 239—246.
- [11] SHI J Y, ZUO J H, ZHOU F H, et al. Low-temperature

- Conditioning Enhances Chilling Tolerance and Reduces Damage in Cold-stored Eggplant (*Solanum Melongena* L) Fruit[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 141: 33—38.
- [12] SHI J Y, GAO L P, ZUO J H, et al. Exogenous Sodium Nitroprusside Treatment of Broccoli Florets Extends Shelf Life, Enhances Antioxidant Enzyme Activity, and Inhibits Chlorophyll-degradation[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2016, 116: 98—104.
- [13] WANG Y Q, ZHANG L J, ZHU S J. 1-Methylcyclopropene (1-MCP)-induced Protein Expression Associated with Changes in Tsai tai (*Brassica Chinensis*) Leaves during Low Temperature Storage[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2014, 87: 120—125.
- [14] LI X A, LI M L, WANG J, et al. Methyl Jasmonate Enhances Wound-induced Phenolic Accumulation in Pitaya Fruit by Regulating Sugar Content and Energy Status[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2018, 137: 106—112.
- [15] ZHANG H, HU S L, ZHANG Z J, et al. Hydrogen Sulfide Acts as a Regulator of Flower Senescence in Plants[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 60(3): 251—257.
- [16] YAN J, SONG Y, LI J, et al. Forced Air Precooling Treatment Enhanced Antioxidant Capacities of Apricots[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2017(3): e13320.
- [17] AIAMLA-OR S, NAKAJIMA T, SHIGYO M, et al. Pheophytinase Activity and Gene Expression of Chlorophyll-degrading Enzymes Relating to UV-B Treatment in Postharvest Broccoli (*Brassica Oleracea* L Italica Group) Florets[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2012, 63(1): 60—66.
- [18] TANG L, FUKUSAKI E K A, OKAZAWA A. Removal of Magnesium by Mg-dechelataase is a Major Step in the Chlorophyll-degrading Pathway in Ginkgo Biloba in the Process of Autumnal Tints[J]. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 2000, 55(12): 923—926.
- [19] HORTENSTEINER S. Chlorophyll Degradation during Senescence[J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2006, 57(50): 55.
- [20] KRAJ W. Chlorophyll Degradation and the Activity of Chlorophyllase and Mg-dechelataase during Leaf Senescence in Fagus Sylvatica[J]. *Dendrobiology*, 2015, 74: 43—57.
- [21] MATILE P. Catabolism of Chlorophyll: Involvement of Peroxidase[J]. *Zeitschrift Für Pflanzenphysiologie*, 1980, 99(5): 475—478.
- [22] YAMAUCHI N, XIA X, HASHINAGA F. Involvement of Flavonoid Oxidation with Chlorophyll Degradation by Peroxidase in Wase Satsuma Mandarin Fruits[J]. *Engei Gakkai Zasshi*, 1997, 66(2): 283—288.
- [23] HARAKOTR B, SURIHARN B, TANGWONGCHAI R, et al. Anthocyanins and Antioxidant Activity in Coloured Waxy Corn at Different Maturation Stages[J]. *Journal of Functional Foods*, 2014, 9(1): 109—118.