

# LED蓝光处理对鲜切草莓贮藏品质的影响

尉磊<sup>1,2</sup>, 王云香<sup>2,3</sup>, 王宝刚<sup>2,3</sup>, 周家华<sup>2,3</sup>, 徐冉冉<sup>2,3</sup>, 常虹<sup>2,3</sup>, 朱璇<sup>1\*</sup>

(1. 新疆农业大学食品科学与药学院, 新疆乌鲁木齐 830000)

(2. 北京市农林科学院农产品加工与食品营养研究所, 北京 100097)

(3. 果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室, 农业农村部蔬菜产后处理重点实验室, 北京 100097)

**摘要:** 为探究发光二极管 (Light-emitting Diode, LED) 照射处理对鲜切草莓贮藏品质的影响。该试验以“红颜”草莓为试材, 在 (4.0±1.0)℃、相对湿度 85%~90% 的冷库条件下, 以 LED 蓝光 [光强为 36 μmol/(m<sup>2</sup>·s)、光照时间为 36 h] 处理鲜切草莓为处理组, 以避光处理鲜切草莓为对照组, 定期测定鲜切草莓硬度、色泽、可溶性固形物、可滴定酸、维生素 C、可溶性蛋白、可溶性糖、总酚、花色苷含量及多酚氧化酶 (Polyphenol Oxidase, PPO)、过氧化物酶 (Peroxidase, POD) 活性等指标。结果表明, 蓝光处理有效延缓了鲜切草莓硬度、可溶性固形物、可滴定酸、可溶性蛋白、可溶性糖、维生素 C 含量的下降, 对照组鲜切草莓花色苷含量无显著变化, 总酚含量、POD 及 PPO 酶活性呈先上升后下降趋势, 蓝光处理显著提高了鲜切草莓花色苷和总酚含量, 提高了 POD 酶活性, 抑制了 PPO 酶活性的上升。贮藏结束时, 蓝光处理的鲜切草莓总酚含量是对照的 1.39 倍、花色苷含量是对照的 1.54 倍、维生素 C 含量是对照的 1.24 倍。因此, LED 蓝光处理有效保持了鲜切草莓的品质, 为鲜切草莓保鲜技术提供一定的理论依据。

**关键词:** 鲜切草莓; 保鲜; LED 蓝光; 营养品质

文章编号: 1673-9078(2025)01-123-129

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.1.1513

## Effect of LED Blue Light Treatment on the Storage Quality of Fresh-cut Strawberries

WEI Lei<sup>1,2</sup>, WANG Yunxiang<sup>2,3</sup>, WANG Baogang<sup>2,3</sup>, ZHOU Jiahua<sup>2,3</sup>, XU Ranran<sup>2,3</sup>, CHANG Hong<sup>2,3</sup>, ZHU Xuan<sup>1\*</sup>

(1.School of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830000, China)

(2.Institute of Agricultural Products Processing and Food Nutrition, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China) (3.Beijing Key Laboratory of Fruit and Vegetable Agricultural Products preservation and Processing, Key Laboratory of Vegetable Postnatal Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100097, China)

**Abstract:** The aim of this study was to investigate the effect of light-emitting diode (LED) irradiation treatment on the storage quality of fresh-cut strawberries. In this experiment, 'Benihope' strawberry was used as the experimental material, the

引文格式:

尉磊,王云香,王宝刚,等.LED蓝光处理对鲜切草莓贮藏品质的影响[J].现代食品科技,2025,41(1):123-129.

WEI Lei, WANG Yunxiang, WANG Baogang, et al. Effect of LED blue light treatment on the storage quality of fresh-cut strawberries [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(1): 123-129.

收稿日期: 2023-12-19

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发计划项目 (2022B02018-2); 北京市农林科学院协同创新基金 (KJ CX201915); 现代农业产业技术体系北京市特色作物创新团队 (BAIC04-2022); 北京市农林科学院青年基金 (QNJJ202228); 现代农业产业技术体系 (CARS-30)

作者简介: 尉磊 (1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 果蔬贮藏及物流工程, E-mail: 1445085513@qq.com

通讯作者: 朱璇 (1971-), 女, 博士, 教授, 研究方向: 果蔬贮藏及物流工程, E-mail: 13999877961@126.com

fresh-cut 'Benihope' strawberries were stored at  $(4.0 \pm 1.0)^\circ\text{C}$  and a relative humidity of 85%~90% and treated with blue LED light (light intensity:  $36 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ; time: 36 h), which served as the experimental group, and the fresh-cut fruits stored at dark were used as the control group. Regular assessments were conducted to measure various quality indicators of fresh-cut strawberries, such as firmness, colour, content of soluble solids, titratable acidity, ascorbic acid content, soluble protein content, soluble sugar content, total phenolic content, and content of anthocyanins, and the activities of polyphenol oxidase (PPO) and peroxidase (POD). The results showed that the blue light treatment effectively delayed the decline in firmness and contents of soluble solids, titratable acid, soluble protein, soluble sugar and ascorbic acid in fresh-cut strawberries. In the control group, no significant change was observed in anthocyanin content, whilst a trend of initial increase following decrease was observed in its total phenol content and POD and PPO activities. Notably, the blue light treatment increased significantly the anthocyanin and total phenolic contents and POD activity while inhibiting the PPO activity. At the end of storage, the blue light treatment of fresh-cut strawberries made the total phenolic, anthocyanin, and ascorbic acid contents becoming 1.39-, 1.54-, and 1.24-fold, respectively, those of the control strawberries. Thus, blue LED light treatment could effectively maintain the quality of fresh-cut strawberries, which provides a certain theoretical basis for the preservation of fresh-cut strawberries.

**Key words:** fresh cut strawberry; preservation; light-emitting diode blue light; nutritional quality

草莓属于蔷薇科 (Rosaceae) 草莓属, 是世界上种植最多的浆果之一<sup>[1]</sup>。2022 年的最新数据显示, 草莓产量约为 900 万 t, 种植面积达到了 38 万  $\text{hm}^2$  以上<sup>[2]</sup>。草莓因其诱人的外观, 独特的风味而广受消费者喜爱。草莓含有丰富的有机酸, 抗坏血酸、花色苷和酚类等, 多食用草莓对控制心血管和心脏代谢疾病方面有较好的预防作用<sup>[3]</sup>。近年来, 随着人们对于便捷食品需求的增加, 鲜切果蔬市场需求量逐渐变大。而草莓经切分处理后, 易软化、边缘褐变、切面白化、营养流失等问题制约着鲜切草莓产业的发展。Li 等<sup>[4]</sup>研究发现, UV-C 处理能保持鲜切草莓贮藏品质, 提高酚类物质含量。Avalos-liano 等<sup>[5]</sup>发现, 脉冲光结合抗坏血酸-乳酸钙浸泡处理能抑制贮藏期间真菌的发生, 对鲜切草莓的整体品质产生较好影响。以上研究表明, 光处理可能是保持鲜切草莓贮藏品质的保鲜方法。

发光二极管是指将电能转化为电磁辐射的一种半导体发光器具。LED 灯具有体积小、能耗低、环保、耐用、无污染、无残留等特点<sup>[6]</sup>。近年来, LED 灯在鲜切果蔬上应用广泛。朱凯等<sup>[7]</sup>发现, LED 蓝光结合 UV-C/B 处理鲜切杏鲍菇能有效保持总酚含量, 延缓抗坏血酸含量的下降和多酚氧化酶活性的上升。时月等<sup>[8]</sup>用 LED 红光照射鲜切生菜, 发现 LED 红光能提高鲜切生菜抗坏血酸含量。王宇滨等<sup>[9]</sup>研究发现, LED 蓝光处理能延缓鲜切甜瓜硬度下降, 保持鲜切甜瓜品质。Wang 等<sup>[10]</sup>研究发现, LED 红光促进了花色苷含量的积累, 经红光照射的草莓上调了参与花色苷生物合成的基因表达。这些结果表

明, LED 光处理可能是一种有效的果蔬采后保鲜策略。但 LED 光处理在鲜切草莓中应用较少, 因此本试验用 LED 蓝光处理鲜切草莓, 研究 LED 蓝光处理对鲜切草莓贮藏品质的影响, 以期鲜切草莓保鲜提供技术思路与理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

试验材料“红颜”草莓, 采自北京市昌平区。

供试试剂: 氢氧化钠、硫代巴比妥酸、邻苯二酚、愈创木酚 (均为分析纯), 天津市精科精细化工研究所提供;  $\text{H}_2\text{O}_2$  溶液、盐酸、甲醇、葱酮、无水乙醇、考马斯亮蓝、硫酸、福林酚 (均为分析纯) 试剂, 均购于北京拜尔迪生物技术有限公司。

### 1.2 仪器与设备

LED 灯 (型号: 神牛 PLC120, 功率: 12 W, 色温自主可调), Centrisart D-16c 高速冷冻离心机, sartorius 公司; SpectraMax iD3 酶标仪, 美谷分子仪器 (上海) 有限公司; 809 型自动电位滴定仪, 瑞士万通中国有限公司; MDF-382F 超低温冰箱, 日本松下三洋公司; TAXTPlus 质构仪, 厦门超技仪器设备有限公司; 高效液相色谱仪, Waters 公司。

### 1.3 试验方法

将鲜切室温度控制在  $(4 \pm 1.0)^\circ\text{C}$ , 将所用刀具、菜板、包装盒以及鲜切室提前用次氯酸喷洒消毒, 然后用紫外灯消毒 2 h。

采摘时挑选无病虫害,无损伤,大小均一、七成熟(3/4红)为实验果,于当天运回实验室,在10℃冷库中去除田间热。将预冷后的草莓沿着纵向切开为两瓣,切面朝上均匀的摆放在包装盒里,每盒装10个,最后用保鲜膜封口。将装有草莓的包装盒放置在(4.0±1.0)℃、相对湿度85%~90%的冷库中,以光质为LED蓝光、光强为36 μmol/(m<sup>2</sup>·s)、光照时间为36 h处理鲜切草莓为处理组,以避光处理鲜切草莓为对照组,并每隔2 d取样一次,测定相关指标。

## 1.4 指标测定

### 1.4.1 色泽和花色苷含量的测定

色泽采用CR-400色差仪测定鲜切草莓切面 $a^*$ 值。参照曹建康的方法测定花色苷含量<sup>[11]</sup>。

### 1.4.2 硬度、可溶性固形物、可滴定酸含量的测定

鲜切草莓的硬度用质构仪测定,在草莓切面的赤道部位选取位置进行测定,结果取其平均值。具体参数设定如下:测前速度、测试速度和测后速度分别为5、1和5 mm/s,位移为6 mm,触发力为5 g,单位为g。

可溶性固形物含量使用PAL-1手持式折光仪进行测定,结果以%表示。

可滴定酸含量采用标准型自动电位滴定仪测定,结果以%表示。

### 1.4.3 可溶性糖、可溶性蛋白含量的测定

参考李文砚等<sup>[12]</sup>的方法测定鲜切草莓中可溶性糖的含量,结果以%表示。可溶性蛋白含量测定参照Jiang等<sup>[13]</sup>的方法并稍作修改,结果以mg/g表示。

### 1.4.4 维生素C、总酚含量的测定

维生素C含量采用高效液相色谱法<sup>[14]</sup>测定,结果以mg/100 g表示。总酚含量采用福林酚法测定<sup>[15]</sup>,结果以mg/100 g表示。

### 1.4.5 多酚氧化酶和过氧化物酶活性的测定

多酚氧化酶和过氧化物酶活性采用比色法<sup>[11]</sup>测定。

## 1.5 数据分析

每个试验数据的结果用平均值±标准差来表示,使用Excel 2010进行基础数据汇总,使用SPSS Statistics 26软件,通过采用Duncan's法进行多重差异显著性差异分析,其中\*表示具有显著差异( $P<0.05$ )。使用Graphad Pism 9.5进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 LED蓝光处理对鲜切草莓色泽、花色苷含量的影响

色泽是影响消费者对果蔬接受度的一个基本质量参数<sup>[16]</sup>。 $a^*$ 值是红绿色差指标,正值越大表示红色越深<sup>[17]</sup>。由图1a可知,蓝光处理组 $a^*$ 值显著上升。贮藏6 d时,蓝光处理组 $a^*$ 是对照组的1.95倍,在整个贮藏期间,蓝光处理组 $a^*$ 显著大于对照组( $P<0.05$ )。 $a^*$ 值升高的原因可能是光照射使花色苷含量增加,而草莓中的呈色物质主要是花色苷<sup>[18]</sup>。

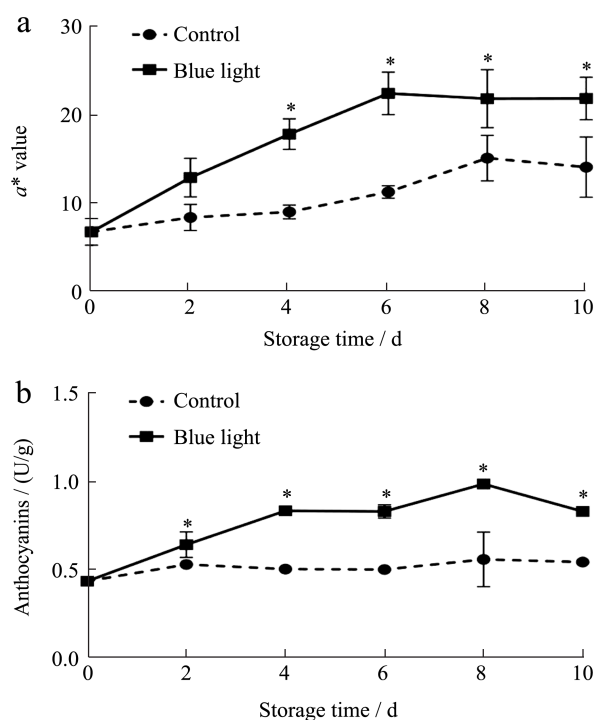


图1 LED蓝光处理对鲜切草莓 $a^*$ 值(a)、花色苷含量(b)的影响

Fig.1 Effect of LED blue light treatment on the  $a^*$  value (a) and anthocyanins content (b) of fresh-cut strawberries

注: \*表示相同贮藏时间不同组别之间存在显著差异( $P<0.05$ ),以下各图同。

贮藏期间花色苷含量的变化影响着草莓果实色泽<sup>[19]</sup>。由图1b可知,对照组在贮藏过程中花色苷变化幅度不明显,但蓝光处理组的花色苷含量呈上升趋势且始终高于对照组。蓝光处理组在贮藏第8天时达到最大,是对照组的1.77倍。在第10天时,蓝光处理组略有下降,但仍是对照组的1.54倍。蓝光处理显著提高了花色苷含量( $P<0.05$ )。Shi

等<sup>[20]</sup>、Kokalj 等<sup>[21]</sup>在 LED 蓝光处理的杨梅、樱桃中也发现花色苷含量较对照组显著增加。花色苷含量增加可能是光照射上调了参与花色苷生物合成的基因表达,激活了花色苷的生物合成途径<sup>[10]</sup>。

## 2.2 LED 蓝光处理对鲜切草莓硬度、可溶性固形物、可滴定酸含量的影响

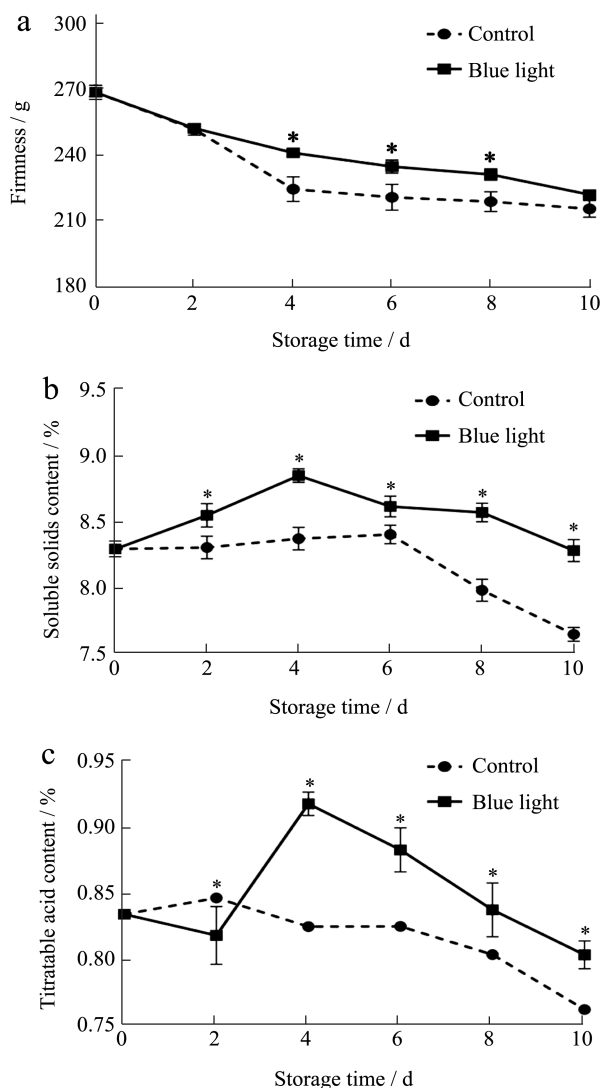


图2 LED 蓝光处理对鲜切草莓硬度 (a)、可溶性固形物含量 (b)、可滴定酸含量 (c) 的影响

Fig.2 Effect of LED blue light treatment on the firmness (a), soluble solid content (b), and titratable acid content (c) of fresh-cut strawberries

硬度是衡量鲜切果蔬品质的重要特征之一,由图 2a 可知,鲜切草莓硬度在贮藏过程中呈缓慢下降趋势,第 2 天时处理组和对照组无显著变化,在贮藏 2 d 后,蓝光处理组的硬度显著高于对照组。蓝光处理能延缓鲜切草莓硬度的下降。王宇滨等<sup>[9]</sup>、Shi 等<sup>[20]</sup>也研究发现 LED 蓝光处理能延缓鲜切甜

瓜、杨梅硬度的降低。果实硬度下降的主要原因可能是聚半乳糖醛酸酶等水解酶导致的细胞壁降解,导致果胶降解。研究发现,LED 光照射处理抑制了细胞壁降解相关酶活性,从而延缓了鲜切草莓果实的软化<sup>[22]</sup>。

可溶性固形物含量是影响果蔬感官品质的重要指标之一。由图 2b 可知,处理组的可溶性固形物含量呈先上升后下降趋势,而对照组呈下降趋势。在贮藏期间,蓝光处理组的可溶性固形物含量始终显著大于对照组 ( $P < 0.05$ )。LED 蓝光照射延缓了鲜切草莓可溶性固形物含量的下降。Wang 等<sup>[10]</sup>也发现,经 LED 红光照射延缓了草莓可溶性固形物含量的降低。在整个贮藏期间,LED 蓝光处理组的可溶性固形物含量显著高于对照组。可能是光照射处理诱导了果蔬的光合作用,促进了碳水化合物的生成,从而降低了呼吸作用导致的有机物消耗<sup>[23]</sup>。

由图 2c 可知,在贮藏初期,对照组可滴定酸含量变化不大,贮藏 2 d 后处理组迅速上升而后缓慢下降。贮藏结束时,蓝光处理组的可滴定酸含量是对照组的 1.10 倍。蓝光处理能延缓鲜切草莓可滴定酸含量的下降。贮藏 2 d 后 LED 蓝光处理鲜切草莓中的可滴定酸含量迅速上升,可能是 LED 蓝光照射有利于合成果实可滴定酸含量<sup>[24]</sup>。

## 2.3 LED 蓝光处理对可溶性糖、可溶性蛋白含量的影响

LED 蓝光处理对鲜切草莓贮藏中的可溶性糖含量的影响如图 3a 所示,随着贮藏时间的变化,处理组和对照组均呈先上升后下降的趋势。贮藏前 6 d,处理组的可溶性糖含量高于对照组,在第 2 天时,处理组可溶性糖含量是对照组的 1.12 倍。这和 Shi 等<sup>[25]</sup>的结论相似,而出现这种情况的原因可能是光照促进了鲜切草莓的可溶性酸向糖分的转化,同时在酶的作用下使其他成分分解为糖类<sup>[26]</sup>。贮藏 6 d 后蓝光处理组可溶性糖含量低于对照组,可能是鲜切草莓在不同时期消耗与产生可溶性糖的速率不同造成的<sup>[7]</sup>。

可溶性蛋白含量是果蔬品质和营养的重要评价指标之一,由图 3b 可知,在贮藏期间,可溶性蛋白含量先上升后下降,蓝光处理组始终高于对照。第 4 天时,蓝光处理组是对照组的 1.30 倍。贮藏结束时,蓝光处理组可溶性蛋白含量是对照组的 1.21 倍。说明 LED 蓝光处理能有效延缓鲜切草莓可溶性蛋白含量的下降。有研究表明,光照会胁迫果蔬产

生抗逆性相关的蛋白质, 延缓可溶性蛋白发生非酶褐变<sup>[7]</sup>。

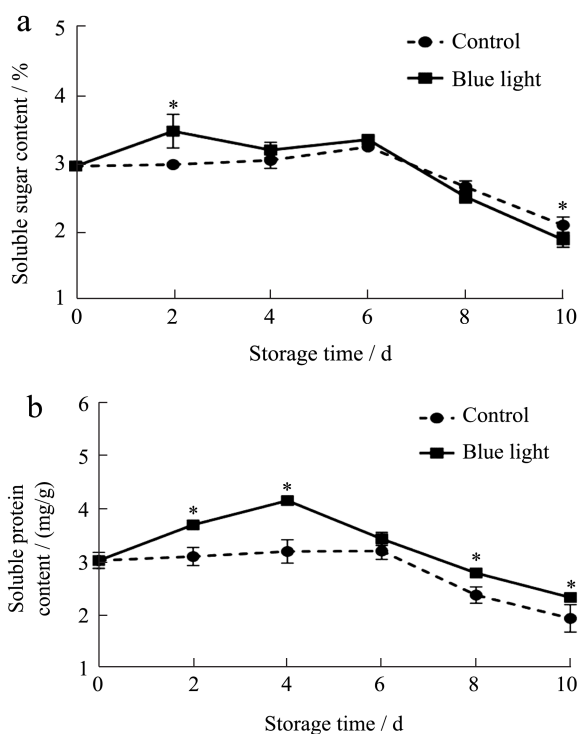


图3 LED 蓝光处理对鲜切草莓可溶性糖含量 (a)、可溶性蛋白含量 (b) 的影响

Fig.3 Effect of LED blue light treatment on the soluble sugar content (a) and soluble protein content (b) in fresh-cut strawberries

#### 2.4 LED蓝光处理鲜切草莓对维生素C、总酚含量的影响

维生素C是果蔬组织中主要的营养成分之一。由图4a可知, 处理组维生素C含量呈先上升后下降趋势, 对照组一直呈下降趋势, 第2天蓝光处理组的维生素C含量是对照组的1.19倍, 对照组维生素C含量从0d的67.54 mg/100 g下降到38.44 mg/100 g, 降低了43.09%, 而蓝光处理组降低了29.58%。在第10天时, 蓝光处理组的维生素C含量是对照组的1.24倍, LED蓝光处理能延缓鲜切草莓维生素C含量的降低。Zhan等<sup>[27]</sup>也发现, 暴露在光照下的样品可能比在黑暗中贮藏的样品含有更多的维生素C。在鲜切芹菜中也得到了光照对维生素C含量的类似影响<sup>[28]</sup>。LED蓝光处理延缓了鲜切草莓维生素C含量的下降, 这可能是可溶性糖是抗坏血酸生物合成的碳源, 光照射使可溶性糖含量升高, 导致处理组的维生素C含量高于对照组<sup>[29]</sup>。

果蔬中存在着大量的酚类物质, 对人体健康有着重要作用。由图4b可知, 总酚含量先上升后下降, 在第4天时, 蓝光处理组的总酚含量最高, 达到了193.61 mg/100 g, 而后缓慢下降。在整个贮藏期间, 蓝光处理组的总酚含量一直高于对照组, 贮藏结束时, 蓝光处理组的总酚含量是对照组的1.39倍。研究发现蓝光在增加总酚类物质方面具有积极作用<sup>[30]</sup>。詹丽娟等<sup>[31]</sup>发现, 西兰花中总酚含量在光照下显著增加, 在贮藏的鲜切杏鲍菇中也观察到较高的总酚含量<sup>[7]</sup>。LED蓝光处理显著提高了鲜切草莓总酚含量。这可能是光通过促进丙二酰辅酶A和香豆酰辅酶A的产生来提高酚含量<sup>[32]</sup>。

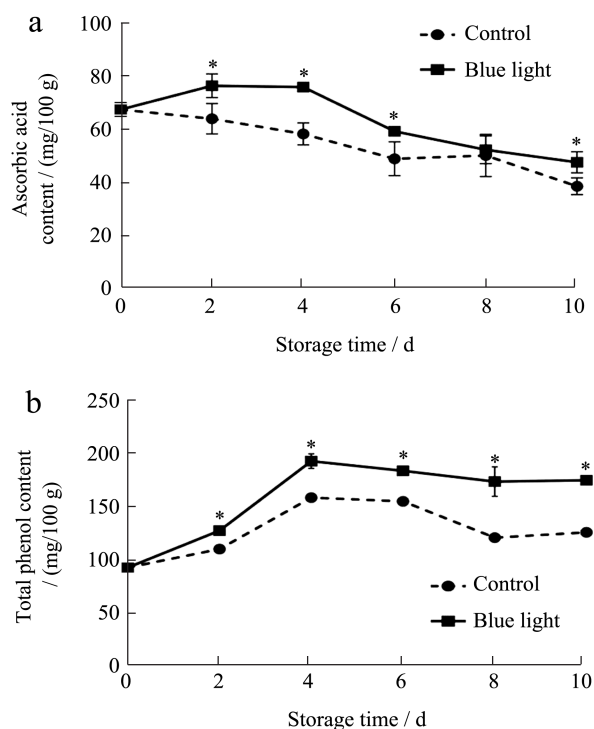


图4 LED 蓝光处理对鲜切草莓维生素C含量 (a)、总酚含量 (b) 的影响

Fig.4 Effect of LED blue light treatment on vitamin C content (a) and total phenolic content (b) of fresh-cut strawberries

#### 2.5 LED蓝光处理对鲜切草莓多酚氧化酶、过氧化物酶活性的影响

多酚氧化酶与果蔬的酶促褐变和组织衰老密切相关。由图5a可知, 鲜切草莓PPO活性在贮藏过程中呈先上升后下降的趋势。贮藏2d后, 蓝光处理组的PPO活性始终低于对照组, 贮藏8d时, 对照组的PPO活性是蓝光处理组的2.18倍, 说明蓝光处理组降低了PPO的活性, 有效保持了鲜切草莓的品质。草莓经鲜切处理后会使其表面细胞造成损

伤,较大程度上对细胞内部的膜结构造成破坏,导致 $H_2O_2$ 不断积累,而POD在体内起着清除活性氧的作用。由图5b可知,POD活性整体呈先上升后下降趋势,且蓝光处理组始终高于对照组,鲜切草莓在贮藏第6天时,蓝光处理组是对照组的2.20倍。蓝光处理能显著提高鲜切草莓的POD活性,有效清除鲜切草莓体内 $H_2O_2$ ,从而达到较好的贮藏效果。Wen等<sup>[33]</sup>发现LED蓝光照射鲜切马铃薯抑制了PPO酶活性、提高了POD酶活性。蒋汉蓉<sup>[34]</sup>、Bhavya等<sup>[35]</sup>也研究发现,LED光处理可以提高果实的抗氧化能力,减少丙二醛含量的积累。

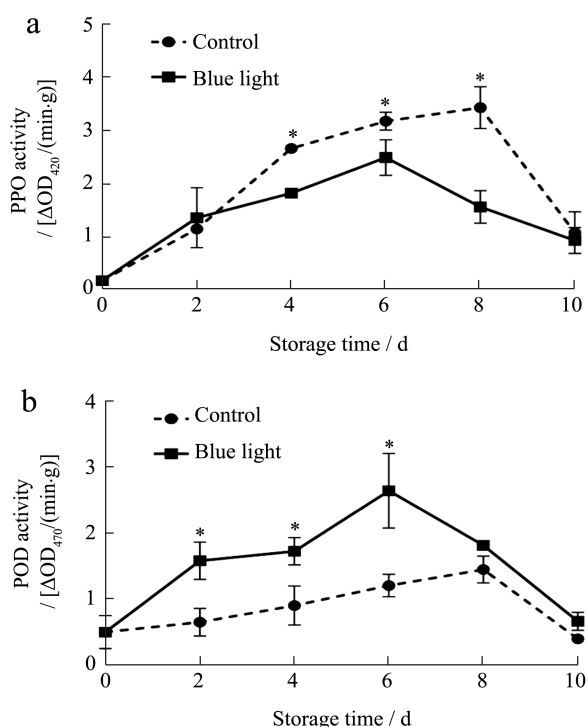


图5 LED蓝光处理对鲜切草莓多酚氧化酶(a)、过氧化物酶(b)活性的影响

Fig.5 Effect of LED blue light treatment on the activity of PPO (a) and POD (b) in fresh-cut strawberries

### 3 结论

本文研究了LED蓝光处理对鲜切草莓贮藏品质的影响。结果表明,在光质为LED蓝光、光强为 $36 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、光照时间为36 h的条件下,LED蓝光处理鲜切草莓延缓了可溶性固形物、硬度、可滴定酸、可溶性蛋白的下降,显著提高了总酚、花色苷含量,提高了POD酶活性,抑制了PPO酶活性的上升,有效保持了鲜切草莓的品质,很好的解决了鲜切草莓切面白化,易软化等问题。此外,LED二极管的使用满足了节能和减少环境影响的需

求。因此,LED技术可能是传统化学保鲜方法的环保替代方法,有很好的研究和应用前景。

### 参考文献

- [1] DE BRUMO A, GATTUSO A, RITORTO D, et al. Effect of edible coating enriched with natural antioxidant extract and bergamot essential oil on the shelf life of strawberries [J]. *Foods*, 2023, 12(3): 488.
- [2] 刘帆.磁场对草莓果实冷藏品质和生理代谢的影响[D].无锡:江南大学,2023.
- [3] 曹立好,陈澄,周治,等.羧甲基壳聚糖/氧化羧甲基纤维素/姜黄素复合膜的制备及其在草莓涂膜保鲜中的应用[J]. *现代食品科技*,2022,38(12):247-254.
- [4] LI M, LI X, HAN C, et al. UV-C treatment maintains quality and enhances antioxidant capacity of fresh-cut strawberries [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2019, 156: 110945.
- [5] AVALOS-LIANOK R, MARTIN-BELLOSO O, SOLIVA-FORTUNY R. Effect of pulsed light treatments on quality and antioxidant properties of fresh-cut strawberries [J]. *Food Chemistry*, 2018, 264(10): 393-400.
- [6] 张勤涛,梁社往,曹嘉芮,等.不同光强LED黄光对滇重楼生长、光合特性和皂苷含量的影响[J]. *现代食品科技*, 2018,34(3):178-183.
- [7] 朱凯,吴俊杰,房祥军,等.发光二极管蓝光结合紫外线处理对鲜切杏鲍菇贮藏品质的影响[J]. *食品科学*,2022, 43(9):223-231.
- [8] 时月,张慧君,袁伟杰,等.LED光照处理对鲜切生菜品质和风味的影响[J]. *现代食品科技*,2019,35(5):102-108,267.
- [9] 王宇滨,冯雨晴,马越,等.光照处理对鲜切薄皮甜瓜货架期品质的影响[J]. *现代食品科技*,2019,35(12):122-129.
- [10] WANG L, LUO Z, YANG M, et al. The action of RED light: Specific elevation of pelargonidin-based anthocyanin through ABA-related pathway in strawberry [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2022, 186: 111835.
- [11] 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.
- [12] 李文砚,韦持章,孔方南,等.蒽酮法测定木奶果果实中可溶性糖含量的研究[J]. *中国园艺文摘*,2015,31(12):7-8,28.
- [13] JIANG K, KUANG Y, FENG L, et al. Molecular hydrogen maintains the storage quality of Chinese chive through improving antioxidant capacity [J]. *Plants (Basel, Switzerland)*, 2023, 10(6): 1095.
- [14] 胡志群,王惠聪,胡桂兵.高效液相色谱测定荔枝果肉中的糖、酸和维生素C[J]. *果树学报*,2005,5:582-585.
- [15] 徐辉艳,孙晓东,张佩君,等.红枣汁中总酚含量的福林法测定[J]. *食品研究与开发*,2009,30(3):126-128.

- [16] 张雅欣,李旋,胡佳星,等.水果及其制品滋味特征及调控方法研究进展[J].食品科学,2024,45(14):299-311.
- [17] 张祖姣,刘宏辉,沈玉平.银杏叶提取物处理对采后南丰蜜橘果实保鲜效果和品质的影响[J].江苏农业学报,2023,39(6):1403-1413.
- [18] 杨肖芳,张豫超,苗立祥,等.LED补光对不同设施栽培草莓品种营养生长与果实品质的影响[J].浙江农业科学,2023,64(4):864-869.
- [19] 高尚,晋莹莹,张妍妍,等.外源Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>对甜查理草莓果实品质的影响[J].东北农业科学,2023,48(4):99-94.
- [20] SHI L, CAO S, CHEN W, et al. Blue light induced anthocyanin accumulation and expression of associated genes in Chinese bayberry fruit [J]. Scientia Horticulturae, 2014, 179: 98-102.
- [21] KOKALJ D, ZLATI E, CIGI B, et al. Postharvest light-emitting diode irradiation of sweet cherries (*Prunus avium* L.) promotes accumulation of anthocyanins [J]. Postharvest Biology and Technology, 2019, 148: 192-199.
- [22] PATRICIA S TANADA-PALMU, GROSSO C R F. Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality [J]. Postharvest Biology and Technology, 2005, 36(2): 199-208.
- [23] 王雨萌,曹文浩,刘玉鑫,等.短波紫外线结合发光二极管红光辐照对香椿保鲜效果的影响[J].食品安全质量检测学报,2023,14(4):65-73.
- [24] 吴根良,郑积荣,李许可.不同LED光源对设施越冬辣椒果实品质和产量的影响[J].浙江农林大学学报,2014,31(2):246-253.
- [25] SHI Y, WANG Y, MA Y, et al. Red light exposure delays appearance and aroma deterioration of fresh-cut watermelon during retail display [J]. Journal of Food Quality, 2020, 1: 1-9.
- [26] 吴主莲,周会玲,任小林,等.不同机械伤对苹果果实贮藏效果的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(1):190-196.
- [27] ZHAN L J, HU J Q, AI Z, et al. Light exposure during storage preserving soluble sugar and l-ascorbic acid content of minimally processed romaine lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *longifolia*) [J]. Food Chemistry, 2013, 136(1): 273-278.
- [28] ZHAN L J, HU J Q, PANG L Y, et al. Effects of light exposure on chlorophyll, sugars and vitamin C content of fresh-cut celery (*Apium graveolens* var. *dulce*) petioles [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2014, 49(2): 347-353.
- [29] TOLEDO M E A, UEDA Y, IMAHORI Y, et al. L-ascorbic acid metabolism in spinach (*Spinacia oleracea* L.) during postharvest storage in light and dark [J]. Postharvest Biology and Technology, 2003, 28(1): 47-57.
- [30] KIM M J, KIM P, CHEN Y, et al. Blue and UV-B light synergistically induce anthocyanin accumulation by co-activating nitrate reductase gene expression in anthocyanin fruit (Aft) tomato [J]. Plant Biology (Stuttgart, Germany), 2021, 23(S1): 210-220.
- [31] 詹丽娟,魏国强,乔明武,等.光照处理提高鲜切西兰花贮藏品质[J].食品科学,2012,33(14):296-300.
- [32] QIAN H, LIU T, DENG M, et al. Effects of light quality on main health-promoting compounds and antioxidant capacity of Chinese kale sprouts [J]. Food Chemistry, 2016, 196(4): 1232-1238.
- [33] WEN B, CUI S, SUO X, et al. Stress response of fresh-cut potatoes to laser irradiation before processing can prevent discoloration and maintain overall quality [J]. Postharvest Biology and Technology, 2023, 197(3): 112213.
- [34] 蒋汉蓉,陈于陇,陈飞平,等.LED蓝色光照结合气调包装不同品种荔枝采后品质的比较[J].现代食品科技,2023,39(8):103-111.
- [35] BHAVYA M L, SHEWALE S R, RAJORIYA D, et al. Impact of Blue LED illumination and natural photosensitizer on bacterial pathogens, enzyme activity and quality attributes of fresh-cut pineapple slices [J]. Food and Bioprocess Technology, 2021, 14(2): 362-372.