

# LED 光照处理对鲜切生菜品质和风味的影响

时月<sup>1</sup>, 张慧君<sup>2</sup>, 袁伟杰<sup>1,2</sup>, 丁真真<sup>1,3</sup>, 马越<sup>1,4</sup>, 王宇滨<sup>1,4</sup>, 赵晓燕<sup>1,5</sup>, 张超<sup>1,5</sup>

(1. 北京市农林科学院蔬菜研究中心, 北京 100097) (2. 淮北师范大学生命科学学院, 安徽淮北 235000)  
(3. 喀什大学生命与地理科学学院, 新疆喀什 844000) (4. 果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室, 北京 100097) (5. 农业部蔬菜产后处理重点实验室, 北京 100097)

**摘要:** 针对鲜切生菜在货架陈列期失水萎蔫和黄化的问题, 开展 LED 光照处理对其品质和风味影响的研究。研究在 4 ℃ 货架陈列期间, 将鲜切生菜分别使用白光、蓝光、绿光和红光 LED 光源处理和避光处理 5 d, 以白光处理样品作为 CK 组, 比较样品失重率、可溶性固形物含量、叶绿素含量、气味和褐变度等指标。结果发现使用红光处理波长为 620~650 nm, 光谱纯度为 77.91%, 照度强度为 (385.2±45.4) Lux 5 d, 鲜切生菜的失重率仅为 8.89%, 比 CK 处理组降低了 38.3%; 红光处理减缓鲜切生菜叶片中叶绿素降解, 其叶绿素含量显著高于蓝光和绿光处理组; 红光处理提高了鲜切生菜的氧自由基吸收能力 (ORAC) 值, 比 CK 组提高了 24.8%; 电子鼻对比发现红光处理组的风味与 CK 组没有显著性影响。因此, 红光处理有利于减缓鲜切生菜失水萎蔫和黄化, 维持其原有品质和风味。

**关键词:** 鲜切生菜; 红光处理; 细胞损伤; ORAC; 风味; 叶绿素

文章编号: 1673-9078(2019)05-102-108

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.5.015

## Effect of LED Light Treatment on Qualities and Aroma of Fresh-cut Lettuce

SHI Yue<sup>1</sup>, ZHANG Hui-jun<sup>2</sup>, YUAN Wei-jie<sup>1,2</sup>, DING Zhen-zhen<sup>1,3</sup>, MA Yue<sup>1,4</sup>, WANG Yu-bin<sup>1,4</sup>, ZHAO Xiao-yan<sup>1,5</sup>, ZHANG Chao<sup>1,5</sup>

(1. Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing Vegetable Research Center, Beijing 100097, China)  
(2. Huaibei Normal University, Huaibei 235000, China) (3. College of Life and Geographic Sciences, Kashi University, Kashi 844000, China) (4. Beijing Key Laboratory of Fruits and Vegetable Storage and Processing, Beijing 100097, China) (5. Key Laboratory of Vegetable Postharvest Processing of Ministry of Agriculture, Beijing 100097, China)

**Abstract:** The effect of LED light treatments on qualities of fresh-cut lettuce was evaluated to inhibit their wilting and yellowing. The white, blue, green, and red LED light treatments and no light treatment were used to irradiate the fresh-cut lettuce for 5 days during the shelf display at 4 ℃. The weight loss, soluble solid content, chlorophyll content, aroma, and browning degrees were compared with the white light treatment as the control. The red LED light with the maximum emissions of 620~650 nm, purity of 77.91%, and intensity of (385.2±45.4) Lux effectively retarded the quality deterioration of the fresh-cut lettuce. After the treatment for 5 d, the weight loss of the red light treatment was 8.89%, which was lower than that of the control (38.3%). The red light treatment maintained the chlorophyll content of lettuce, being significantly higher than that of the blue and green light treatments. The red light treatment raised the oxygen radical absorbance capacity value for 24.8% comparing with that of the control; the electric nose analysis showed that no significant difference between the red light treatment and the control. Hence, the red light treatment was beneficial to maintain the original quality and aroma of fresh-cut lettuce.

**Key words:** fresh-cut lettuce; red light treatment; cell damage; ORAC; aroma; chlorophyll

生菜, 属菊科莴苣属, 为一年生或二年生草本植

收稿日期: 2018-12-17

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0400302-5); 现代农业产业技术体系资助 (CARS-25); 北京市自然科学基金资助项目 (6172013); 果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室资助项目 (Z141105004414037)

作者简介: 时月(1991-), 女, 研究方向: 农产品加工

通讯作者: 张超(1978-), 男, 博士, 研究员, 研究方向: 果蔬深加工

物, 主要食用部位是叶片。生菜中含有甘露醇等有效成分, 常食用生菜具有镇痛催眠、降低胆固醇、促进血液循环、辅助治疗神经衰弱等功效<sup>[1,2]</sup>。目前, 生菜的主要食用方法是生食, 是西餐蔬菜色拉的当家菜<sup>[3]</sup>。

鲜切生菜是将新鲜生菜经过分拣、清洗、消毒、包装等步骤生产的一种即食产品, 非常适用于调配西餐的沙拉。但是, 生菜由于受到切割和低温等外界环

境胁迫,会产生失水萎蔫和黄化等现象。研究者发现在生产过程中,通过配置保鲜液、设置不同真空预冷压力、控制贮藏温度等方式可有效延长鲜切生菜叶的货架陈列期<sup>[4-9]</sup>,已经均取得不错的效果。而鲜切生菜在流通过程中,需要陈列于商场或超市的4℃冷藏柜中,陈列过程中受白色日光灯管照射,会进一步出现失水萎蔫和黄化等现象。光照处理是采用特定波长的光源对产品进行照射。目前,该领域的大部分的研究集中于紫外光或荧光辐照,研究显示紫外光照射可以降低鲜切蔬菜中的菌落总数、褐变度,维持产品原有的新鲜品质<sup>[10-13]</sup>;另一方面,荧光照射可以延缓鲜切西兰花的衰老过程,使其内源葡萄糖含量显著上升,黄化指数显著下降<sup>[14]</sup>。但是,紫外光和荧光会对人体有一定伤害<sup>[15]</sup>,无法应用于销售期间的商品照明。可见光在这个方面具有明显的优势,而且已有的研究显示可见光照射处理对维持果蔬货架期期间的品质具有积极作用,包括在降低鲜切木瓜中微生物数量<sup>[16]</sup>、提高鲜切西兰花的品质<sup>[17]</sup>、降低果蔬的褐变和水渍化损伤<sup>[18]</sup>、维持豇豆的水分、可溶性固形物含量<sup>[19]</sup>等方面效果显著。

因此,本研究以鲜切生菜为原料,在货架陈列期间,设置白光、红光、绿光、蓝光和避光处理组,并以白光处理组作为CK组比较样品在货架期失重率、颜色和风味等特征的变化规律,以期建立适用于鲜切生菜叶的冷藏柜陈列环境,为延长鲜切生菜叶货架期提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设备

生菜,北京果香四溢水果超市;磷酸二氢钾、磷酸氢二钾、钼酸铵、草酸-EDTA、5%硫酸、偏磷酸-乙酸缓冲液、三氯乙酸、硫代巴比妥酸、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、丙酮、次氯酸钠、荧光素钠、抗坏血酸、APPH、TROLOX等化学试剂均为分析纯。

商用陈列柜,北京二商福岛机电;红、绿、蓝、白LED灯带NVC-3528,惠州雷士光电科技有限公司;电子鼻,德国Airsense分析仪器有限公司;UV-1800紫外分光光度计,日本岛津;EOS450D型数码相机,日本佳能;分析天平,梅特勒-托利多仪器有限公司;飞利浦手持式搅拌机,飞利浦香港电子有限公司;分光辐射照度计CL-500A,日本柯尼卡美能达科技有限公司;数字手持式折射仪PAL-1,日本ATAGO公司。

### 1.2 鲜切生菜的生产

将新鲜生菜去除破损和萎蔫部分,切去根部和主茎,切分得到生菜叶片,长12~18cm,宽5~10cm。使用流动超纯水冲洗生菜叶片表面污渍,然后将生菜叶片按照1:500的料液比,浸泡于100mg/L,pH6.5的次氯酸钠溶液中2min,然后使用纯水漂洗2次,使用离心脱水机在100r/min离心3min。使用无色透明的聚乙烯袋(23cm×16cm,5μm,未打孔)进行包装,装载量为25~35g/袋,上述生产过程在环境温度为10℃的洁净空间进行。

### 1.3 光照处理

本试验共设置5个处理组,分别是CK、红光、蓝光、绿光和避光处理组。

将包装好的鲜切生菜水平放置于4℃的双开门冷藏柜中,冷藏柜共有5层,从上到下分别设置白色、红色、蓝色、绿色LED灯和无灯光,层与层之间放置隔板避免光污染,冷藏柜外面维持30Lux的基础照明。冷藏柜中的样品从上至下依次为白光、红光、蓝光、绿光和避光处,分别命名为CK、红光、蓝光、绿光和避光处理组。其中,避光处理是进一步将样品包裹于黑色塑料袋中。将包装好的样品放入冷藏柜后,每12h将样品翻面一次,在贮藏的第5d测定样品的性质。

### 1.4 照射特性测定

使用照度计对光源进行测定,将照度计探头置于保鲜袋内部,与样品的实际高度和温度保持一致。照度的颜色使用Yxy空间表示,Y表示亮度,x和y是从3刺激值XYZ中计算出来的色度值,见计算公式(1)。照度的纯度为白点和样品的距离除以白点和光谱点之间的距离。

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (1)$$

其中:X、Y和Z分别为样品在CIE-RGB系统的中光谱3刺激值和色度坐标R、G和B的绝对值。

将光通量计置于保鲜袋内部,与样品的实际高度和温度保持一致测定光通量。

### 1.5 失重率、可溶性固形物和Vc含量的测定

失重率:为样品贮藏前后的质量差与贮藏前质量之比。

可溶性固形物:取样品50g,用手持打浆机匀浆,用纱布包裹匀浆,取过滤出来的滤液用折射仪进行测定。

Vc含量:称取10g样品,用手持打浆机匀浆,

用草酸-EDTA 溶液定容至 25 mL, 采用钼蓝比色测定。

### 1.6 叶绿素提取及其含量测定

取样品 50 g, 用手持打浆机匀浆, 准确称取 0.5 g 样品, 于 25 mL 具塞比色管中, 加入 25 mL 丙酮溶液, 取一张滤纸, 折叠后置于漏斗中, 用丙酮溶液润湿, 将提取液倒入漏斗中, 过滤到 50 mL 棕色容量瓶中, 取滤液用分光光度计分别于 645、663 和 652 nm 波长测定其吸光度值, 以丙酮作空白对照试验, 叶绿素含量计算参见公式 2。

$$\text{叶绿素含量}(\text{mg/g}) = \frac{\rho_T \times V}{M \times 1000} \quad (2)$$

式中,  $\rho_T = 20.19A_{645} + 8.05A_{663}$ ;  $V$  表示容量瓶体积/mL;  $M$  表示叶绿素的分子量。

### 1.7 褐变度的测定

随机取样品 50 g, 用手持打浆机匀浆, 准确称取匀浆样品 15 g, 加入提前在 4 °C 冰箱中预冷半小时的硫酸缓冲液 15 mL ( $W:V=1:1$ ) 混匀, 于 4 °C, 10000 r/min 条件下离心 15 min, 取上清液在 410 nm 波长处测定吸光值, 样品褐变度以  $A_{410}$  表示。

### 1.8 丙二醛含量的测定

采用硫代巴比妥酸法测定样品中丙二醛含量。称取 20 g 样品打浆, 准确称取 10 g 样品浆与磷酸缓冲液 20 mL 均匀混合, 在 4 °C 环境下, 13000 r/min 离心 20 min, 取上清液。在 1.5 mL 上清液中加入 2.5 mL 含有 0.5% 硫代巴比妥酸的 5% 三氯乙酸溶液, 沸水水浴 15 min, 冷却, 过滤。取上清液在波长为 532 nm 和 600 nm 下测其吸光值。样品中丙二醛含量计算参见公式 3。

$$\text{MDA} = (\text{OD}_{532} - \text{OD}_{600}) \times 172.04 \quad (3)$$

式中: MDA 表示丙二醛含量, nmol/g;  $\text{OD}_{532}$  表示 532 nm 波长下吸光值;  $\text{OD}_{600}$  表示 600 nm 波长下吸光值。

### 1.9 氧自由基吸收率 (ORAC) 值的测定

吸取荧光素钠稀释液 200  $\mu\text{L}$  于 96 孔板中, 随后加入稀释 40 倍浓度样品溶液 20  $\mu\text{L}$  振荡 5 min, 37 °C 温育 10 min 后迅速加入 2-脒基丙烷液 20  $\mu\text{L}$  启动反应。以激发波长 485 nm, 发射波长 535 nm 进行测定并记录荧光值, 反应过程中每隔 1 min 测定一次荧光值。以测定时间为横坐标, 荧光值为纵坐标绘制样品荧光衰退曲线。测定结果以样品相当于 Trolox 的当量表示。

### 1.10 电子鼻测定

分别称取样品 5 g 置于顶空进样瓶中, 室温 25 °C 下, 平衡 5 min 后将进样针头插入样品瓶, 采用顶空吸气法进行电子鼻分析实验。测定条件: 传感器清洗时间 100 s、传感器归零时间 5 s、样品准备时间 5 s、进样流量 300 mL/min, 检测时间 150 s。完成 1 次检测后系统进行清零和标准化, 然后再进行第 2 次顶空采样。统计分析 10 个不同选择性传感器的  $G/G_0$  值。采用主成分分析表征样品之间的差别。

### 1.11 数据处理与统计

试验重复 3 次, 将 3 次的试验结果计算平均值和标准偏差, 使用统计分析软件 DPS 7.05 进行处理, Duncan's 新复极差法进行显著性分析。采用 Origin 9.1 软件绘制图像。

## 2 结果与讨论

### 2.1 光源特性

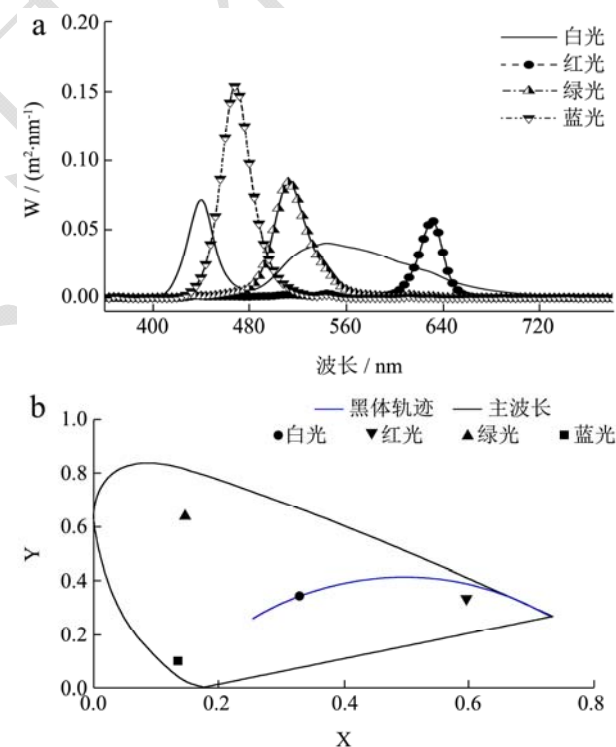


图1 光源光谱分布图 (a) 和赫姆霍兹图 (b)

Fig.1 Spectral distribution (a) and Helmholtz map (b) of light source

图1显示可见光光照处理中光源的特性。红光、绿光和蓝光处理中光源 80% 的能量分别集中于 620~650、510~530 和 450~470 nm, 无重合部位, 而白光 80% 的能量与红光、绿光和蓝光均有重合部位, 4 种光源的特征性差别显著; 赫姆霍兹图显示出蓝光位于 442 nm 的主波长轨迹上, 纯度接近 100%, 而红

光和绿光的补充波长分别位于 630 nm 和 520 nm, 纯度为 77.9%和 66.4%; 与红光、绿光和蓝光不同, 白光位于黑体轨迹上, 显示出日光光谱特征; 白光、红光、绿光和蓝光的照度强度分别为(2187.9±264.4)、(385.2±45.4)、(1411.1±86.9)和(473.9±44.0) Lux。因此, 红光、绿光和蓝光处理的光谱特征差别显著, 具有对产品照明的功能; 白光处理的光源接近于普通的日光照射, 强度高于目前商场和超市冷藏柜的照明强度。

## 2.2 光照处理对鲜切生菜失重率和可溶性固形物含量的影响

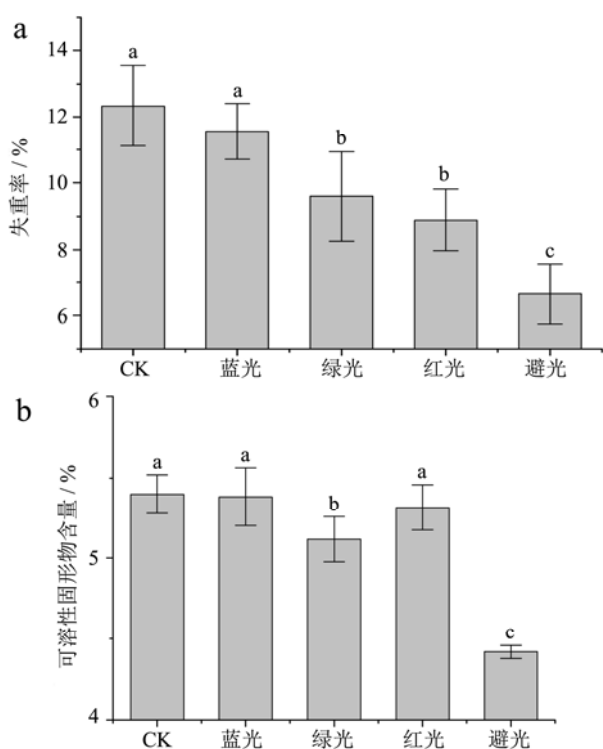


图2 光照对鲜切生菜失重率 (a) 和可溶性固形物含量 (b) 的影响

Fig.2 Effect of light treatments on weight loss ratio (a) and soluble solid content (b) of fresh-cut lettuce

注: 具有不同上标的数据之间具有显著性差别,  $p \leq 0.05$ 。

图2显示光照处理对鲜切生菜失重率和可溶性固形物含量的影响。在货架陈列期间, CK和蓝光处理组的失重率最大, 分别为12.4%和11.6%, 其次是绿光和红光处理组的失重率分别为9.60%和8.89%, 而避光处理组的失重率最小, 为6.65%。可以发现红光和避光处理组的失重率比CK处理组分别降低了38.3%和86.4%, 与本项目组前期结果相近<sup>[20]</sup>。原因可能在于白光光谱范围最宽, 能量最高, 而避光处理减少鲜切生菜接收的环境能量, 降低水分蒸发速率。因此, 红光处理组的失重率比CK处理组降低了38.3%。

可溶性固形物主要由生菜的营养物质组成, 是评价生菜品质的综合指标<sup>[6,9]</sup>。在货架陈列期间, 绿光和避光处理组的可溶性固形物含量显著性低于CK组, 而蓝光和红光处理组与CK组相似。该现象原因在于在货架陈列期间, 鲜切生菜的光合作用和呼吸作用还在进行, 进一步合成的有机质, 从而引起可溶性固形物含量的提高, 而避光处理组因为无法进行光合作用, 进而可溶性固形物含量较低, 另一方面, CK、红光、蓝光和绿光处理组的失重率均高于避光组, 该现象意味着CK、红光、蓝光和绿光处理组散失了更多的水分, 从而其可溶性固形物含量会增高。因此, CK组、蓝光和红光处理组的可溶性固形物含量较高。

## 2.3 光照处理对鲜切生菜叶绿素含量的影响

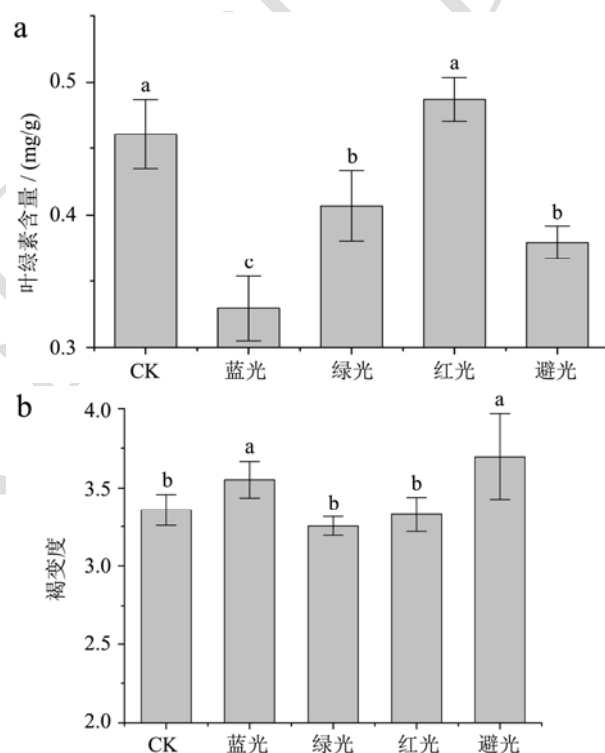


图3 光照对鲜切生菜叶绿素含量 (a) 和褐变度 (b) 的影响

Fig.3 Effect of light treatments on chlorophyll content (a) and browning degree (b) of fresh-cut lettuce

注: 具有不同上标的数据之间具有显著性差别,  $p \leq 0.05$ 。

图3显示光照处理对鲜切生菜叶绿素含量和褐变度的影响。在货架陈列5 d后, 红光处理组的叶绿素含量与CK组相似, 而蓝光、绿光和避光处理组鲜切生菜叶绿素含量均显著性低于CK组。叶绿素也表征了鲜切生菜的绿色度, 与其黄化现象息息相关, 因此, 红光和避光处理减缓鲜切生菜叶绿素含量降低, 减缓其黄化现象发生。

在货架陈列5 d后, 蓝光和避光处理组的褐变度比CK组显著性提高, 而绿光和红光处理组的褐变度

与CK组相似。原因可能在于贮藏过程中,PPO和POD协同作用促进酚类物质转化为醌类化合物,褐变度提高,这与项雯慧<sup>[21]</sup>的结果相似。因此,红光和绿光处理均有利于延缓生菜的褐变发生。

## 2.4 光照处理对鲜切生菜中MDA含量和Vc含量的影响

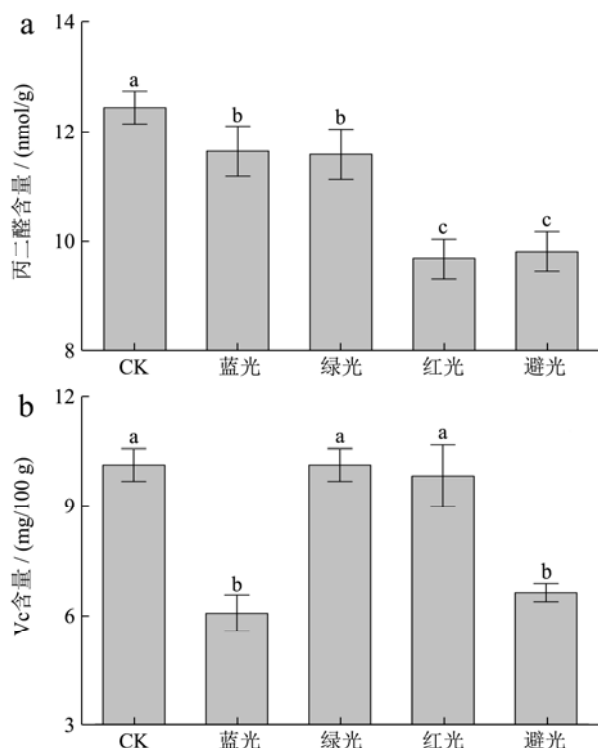


图4 光照处理对鲜切生菜中MDA含量(a)和Vc含量(b)的影响

Fig.4 Effect of light treatments on MDA content (a) and Vc content (b) of fresh-cut lettuce

注:具有不同上标的数据之间具有显著性差别, $p \leq 0.05$ 。

MDA是膜脂过氧化作用的主要产物之一,反映样品细胞膜衰老和破裂的程度<sup>[22]</sup>,MDA含量提高表示样品的细胞壁破裂程度提高,表示细胞的衰老。图4显示CK处理组的MDA含量最高,为12.4 nmol/g,各处理组的MDA含量均显著性低于CK组,其中,红光和避光处理组的MDA含量分别为9.63、9.81 nmol/g,显著性低于CK组、蓝光和绿光处理组。由此可以推断CK处理组显著性引起鲜切生菜细胞衰老,而红光和避光处理有助于延缓细胞的衰老过程,维持鲜切生菜的原有品质。

Vc是天然的抗氧化物质之一,在清除体内自由基等方面具有重要作用<sup>[23]</sup>。在冷藏柜陈列5d后,绿光和红光处理组的Vc含量与CK处理组相似,而蓝光和避光处理组的Vc含量显著性低于CK处理组。研

究显示在植物逆境过程中,会出现含量增高的现象<sup>[24,25]</sup>。生菜在经历切割、低温和光照环境胁迫下,Vc含量上升,而白光等的光谱范围广,能量相对较高,因而Vc含量升高比较明显。因此,红光和绿光有利于鲜切生菜中Vc含量的提高。

## 2.5 光照处理对鲜切生菜抗氧化能力的影响

ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity)是氧自由基吸收能力的缩写,是测试食品中抗氧化物的含量的国际通用标准单位。ORAC的含量越高,抑制自由基的抗氧化能力就越强。该方法已经成为行业内评价产品抗氧化能力公认的方法<sup>[26]</sup>。图5显示光照处理对鲜切生菜叶抗氧化能力的影响。绿光和红光处理组的ORAC值分别为515和533  $\mu\text{M}/100\text{g}$ ,分别比CK组提高了20.6%和24.8%,并显著性高于蓝光和避光处理组。该现象的原因可能在于切割、低温以及光照处理对鲜切生菜均属于逆境应激,由此生菜自身代谢产生清除自由基的次级代谢产物<sup>[27,28]</sup>。因此,绿光和红光处理提高鲜切生菜叶抗氧化能力。

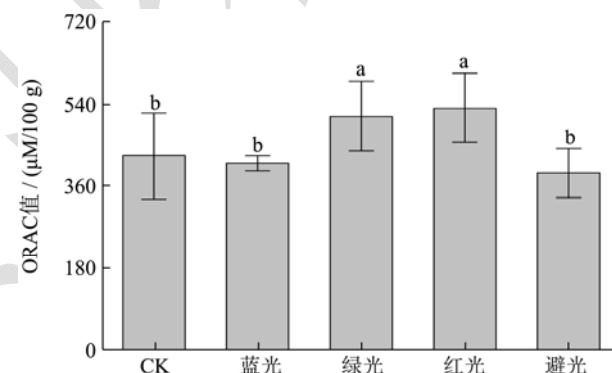


图5 光照处理对鲜切生菜ORAC值的影响

Fig.5 Effect of light treatments on ORAC value of fresh-cut lettuce

注:具有不同上标的数据之间具有显著性差别, $p \leq 0.05$ 。

## 2.6 光照处理对鲜切生菜风味的影响

电子鼻常用来辨别样品风味之间的区别,研究者已经使用该设备对青椒的新鲜度进行区分,取得了较好的区分度<sup>[24,25]</sup>。图6显示光照处理对鲜切生菜风味的影响。主成分1和主成分2的方差分别为99.33%和0.55%,因此,主成分1和2对鲜切生菜风味的贡献率达到99.88%,可以表征样品之间的风味差别。各处理组在主成分1的投影具有一定区分度,其中红光、绿光和蓝光处理组与CK处理组相似,而避光处理组与CK组有显著性差别;在主成分2上,CK组与各组处理之间均有重叠部分,差异不大。因此,红光处理对鲜切生菜风味变化为产生显著性影响。



进一步考察 10 根电极传感器信号对主成分 1 和主成分 2 的贡献, 可以发现 10 根传感器对主成分 1 均为正向贡献, 其中 W1W 和 W5C 传感器对主成分 1 的贡献较大, 另外 8 根传感器对主成分 1 的贡献相似; W1W、W1S 和 W2S 对主成分 2 的正向贡献值较大, W1S、W1C、W3S、W3C、W5S 和 W6S 贡献可以忽略, 而 W5C 的贡献率为负值。结合主成分 1 和主成分 2 对样品香气的贡献率分别为 99.33%和 0.55%, 可以判定 W1W 和 W5C 传感器是判定鲜切生菜风味变化的主要依据。值得注意的是 W1W 和 W5C 分别对无机硫化物和短链烷烃芳香成分灵敏非常敏感。在鲜切生菜货架期中, 微生物会代谢产生少量硫化物, 这些硫化物会随着微生物的种类和代谢底物的不同而产生不同的化合物, 而硫化物的香气阈值一般都较低, 从而在 W1W 传感器的响应产生差别; 生菜的主要挥发性组分还鲜有报道, 但是从在 W5C 产生响应差别的现象可以推测鲜切生菜的主要挥发性组分属于短链烷烃类化合物。由此证明引起鲜切生菜的风味差别是源于微生物代谢和生菜香气组分自身代谢两方面共同作用结果, 红光处理有利于维持样品原有的香气。

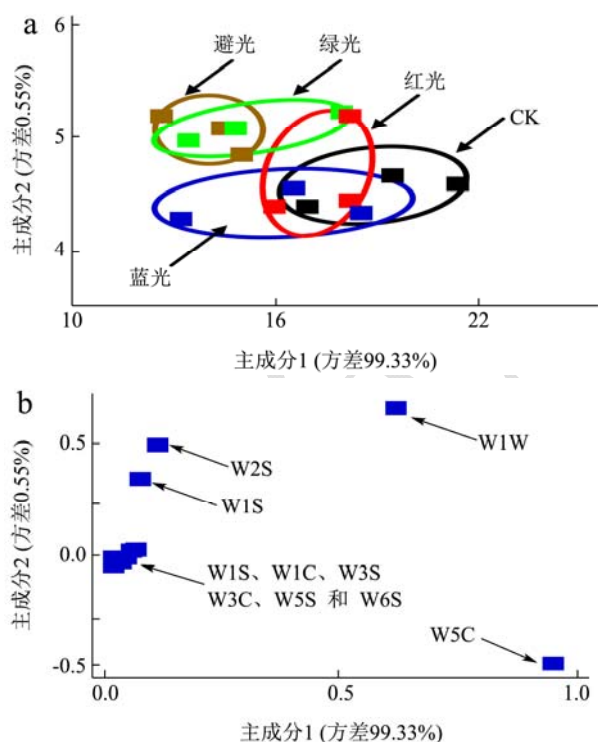


图6 光照处理对鲜切生菜风味 (a) 和电极对主成分贡献 (b) 的影响

Fig.6 Effect of light treatments on aroma of fresh-cut lettuce (a) and contribution of each electrode (b)

### 3 结论

研究以白光处理作为 CK 组, 比较红光、绿光、

蓝光和避光对鲜切生菜叶品质和风味的影响, 结果发现使用波长范围为 620~650 nm, 光谱纯度为 77.91%, 照度强度为 (385.2±45.4) Lux 的红光处理 5 d, 鲜切生菜的失重率仅为 8.89%, 比 CK 处理组降低了 38.3%; 红光处理减缓鲜切生菜叶片中叶绿素降解, 其叶绿素含量显著高于蓝光和绿光处理组; 红光处理将鲜切生菜的 ORAC 值比 CK 组提高了 24.8%; 电子鼻对比发现红光处理组对其风味无显著性影响。红光处理有利于减缓鲜切生菜的品质降低, 维持其原有品质和风味。

### 参考文献

- [1] 王蒙蒙,徐志刚,焦学磊,等.不同光照时间红蓝 LED 光对生菜生长和品质的影响[J].植物资源与环境学报,2017,26(2): 113-115  
WANG Meng-meng, XU Zhi-gang, JIAO Xue-lei, et al. Effects of red and blue LED light on growth and quality of lettuce [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2017, 26(2): 113-115
- [2] Kim M J, Moon Y, Tou J C, 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] Kaliora A C, Batzaki C, Christea M G, et al. Nutritional evaluation and functional properties of traditional composite salad dishes [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(1): 775-782
- [4] 王宏,韩永斌,陆兆新.超市销售条件下贮藏温度对洁净生菜保鲜效果的影响[J].食品研究与开发,2006,27(5):138-140  
WANG Hong, HAN Yong-bin, LU Zhao-xin. Effect of storage temperature on freshness of clean lettuce in supermarket [J]. Food Research and Development, 2006, 27(5): 138-140
- [5] 李素云,纵伟,吴柳柳.不同真空预冷压力对生菜储藏质量的影响[J].真空,2010,47(1):83-85  
LI Su-yun, ZONG Wei, WU Liu-liu. Effects of pressure of the vacuum pre-cooling on the storage quality of lettuce [J]. Vacuum, 2010, 47(1): 83-85
- [6] 郭峰,古荣鑫,胡花丽,等.不同薄膜包装对鲜切芹菜货架期品质的影响[J].江苏农业科学,2014,42(11):297-300  
GUO Feng, GU Rong-xin, HU Hua-li, et al. Effects of packaging material on quality of fresh-cut celery during shelflife [J]. Jiangsu Agricultural Science, 2014, 42(11): 297-300
- [7] 热妮娅.鲜切芹菜保鲜加工关键技术研究[D].哈尔滨:东北

- 农业大学,2016
- RE Ni-ya. Preservation and processing technologies of fresh-cut celery [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2016
- [8] 王艳颖,刘程惠,田密霞,等.氯化钙处理对鲜切芹菜生理与品质的影响[J].食品安全质量检测学报,2015, 6(7):2458-2463
- WANG Yan-ying, LIU Cheng-hui, TIAN Mi-xia, et al. Effects of calcium chloride treatment on physiology and quality of fresh-cut celery [J]. Journal of Food Safety Quality Detection, 2015, 6(7): 2458-2463
- [9] Buta J G and Moline H E. Methyl jasmonate extends shelf life and reduces microbial contamination of fresh-cut celery and peppers [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1998, 46(4): 1253-1256
- [10] Artés-Hernández F, Robles P A, Gómez P A. Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon [J]. Postharvest Biology and Technology, 2010, 55(2): 114-120
- [11] Alothman M, Bhat R, Karim A A. UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2009, 10(4): 512-516
- [12] Manzocco L, Da Pieve S, Bertolini A, et al. Surface decontamination of fresh-cut apple by UV-C light exposure: Effects on structure, colour and sensory properties [J]. Postharvest Biology and Technology, 2011, 61(2-3): 165-171
- [13] Fonseca J M, Rushing J W. Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon [J]. Postharvest Biology and Technology, 2006, 40(3): 256-261
- [14] 张翠翠,马亚丹,李林杰,等.可溶性糖介导的荧光照射延缓鲜切西兰花(*Brassica oleracea* var. *italica*)衰老黄化研究[J].食品科学,2018,1-13[2018-12-11]
- ZHANG Cui-cui, MA Ya-dan, LI Lin-jie, et al. Soluble sugar-mediated fluorescence irradiation delays senescence and yellowing of fresh-cut broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) [J]. Food Science, 2018, 1-13 [2018-12-11]
- [15] Viau S, Chabrand L, Eap S, et al. Pathogen reduction through additive-free short-wave UV light irradiation retains the optimal efficacy of human platelet lysate for the expansion of human bone marrow mesenchymal stem cells [J]. PloS one, 2017, 12(8): e0181406
- [16] Kim M, Bang W and Yuk H. 405±5 nm light emitting diode illumination causes photodynamic inactivation of *Salmonella* spp. on fresh-cut papaya without deterioration [J]. Food Microbiology, 2017, 62(4): 124-132
- [17] 詹丽娟,魏国强,乔明武.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
- ZHAN Li-juan, WEI Guo-qiang, QIAO Ming-wu. Light treatment enhance storage quality of fresh-cut broccoli [J]. Food Science, 2012, 33(14): 296-300
- [18] Wang Y, Li W, Cai W, et al. Visible light exposure reduces the drip loss of fresh-cut watermelon [J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(5): 1816-1822
- [19] 史君彦,郑秋丽,王清,等.LED 光照处理对豇豆采后贮藏品质和生理特征的影响[J].食品工业科技,2018,39(4):46-52
- SHI Jun-yan, ZHENG Qiu-li, WANG Qing, et al. Effects of LED light treatment on postharvest quality and physiological characteristics of cowpea [J]. Food Industry Science and Technology, 2018, 39(4): 46-52
- [20] 时月,张慧君,马越,等.货架陈列期间红光照射延缓鲜切西瓜的品质劣变[J].中国瓜菜,2018,31(6):83-87
- SHI Yue, ZHANG Hui-jun, MA Yue, et al. Red light retards quality deterioration of fresh-cut watermelon during shelf life [J]. Chinese Melon and Vegetable, 2018, 31(6): 83-87
- [21] 项雯慧,贾瑞芳,刘艳.鲜切生菜贮藏期间产品品质变化及褐变发生规律[J].北方园艺,2017,1:148-154
- XIANG Wen-hui, JIA Rui-fang, LIU Yan. Quality changes and browning of fresh-cut lettuce during storage [J]. Northern Horticulture, 2017, 1: 148-154
- [22] Xing Y, Li X, Xu Q, et al. Effects of chitosan-based coating and modified atmosphere packaging (MAP) on browning and shelf life of fresh-cut lotus root (*Nelumbo nucifera* Gaerth) [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2010, 11(4): 684-689
- [23] Ayala F, Echávarri J F, Olarte C, et al. Quality characteristics of minimally processed leek packaged using different films and stored in lighting conditions [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2009, 44: 1333-1343
- [24] Chen H-Z, Zhang M, Bhandari B, et al. Evaluation of the freshness of fresh-cut green bell pepper (*Capsicum annuum* var. *grossum*) using electronic nose [J]. LWT - Food Science and Technology, 2018, 87: 77-84

(下转第 267 页)