光照处理对鲜切薄皮甜瓜货架期品质的影响

王宇滨[1]，冯雨晴[2]，马越[3,4]，和朝军[2]，赵晓燕[1,3]，张超[1,3]

（1.北京市农林科学院蔬菜研究中心，北京 100097）（2.洛阳师范学院食品与药品学院，河南洛阳 471000）（3.果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室，北京 100097）（4.农业农村部蔬菜产后处理重点实验室，北京 100097）

摘要：评价光照处理对鲜切薄皮甜瓜货架期品质的影响。研究以绿宝甜瓜为原料，将鲜切薄皮甜瓜在 5 ℃冷藏柜中光照处理 5 天，将白色光照处理设定为对照组，比较红色、蓝色、绿色光照处理和避光处理对鲜切甜瓜失重率、可溶性固形物含量、可滴定酸含量、丙二醛含量、果肉硬度、褐变度、颜色和风味的影响。结果显示，蓝色光照处理的光源光谱位于 442 nm 的主波长轨迹上，光源纯度接近 100%，强度为(128±17.10) Lux。与对照组样品相比，蓝光光照处理降低鲜切甜瓜褐变程度 10.70%，降低产品的失重率 3.76%，减少果肉细胞的破裂，提高产品硬度 60.60%；并且蓝光光照处理延缓鲜切甜瓜风味劣变。因此，在销售陈列过程中利用蓝光光照处理不仅维持鲜切甜瓜原有质地、颜色等外观特征，还减缓风味的劣变现象，所以蓝光光照处理有利于延长鲜切薄皮甜瓜的货架期。

关键词：鲜切薄皮甜瓜；光照；品质；LED 光照处理；货架期

文章篇号：1673-9078(2019)12-122-129 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.12.016

Effect of Light Treatment on Qualities of Fresh-cut Melon during Shelf Life

WANG Yu-bin[1], FENG Yu-qing[2], MA Yue[3,4], HE Chao-jun[2], ZHAO Xiao-yan[1,3], ZHANG Chao[1,3]

(1.Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing Vegetable Research Center, Beijing 100097, China) (2.College of Food and Drug, Luoyang Normal University, Luoyang 471000, China) (3.Beijing Key Laboratory of Fruits and Vegetable Storage and Processing, Beijing 100097, China) (4.Key Laboratory of Vegetable Postharvest Processing of Ministry of Agriculture and Rural Areas, Beijing 100097, China)

Abstract: The effect of light treatments on qualities of fresh-cut melon during the shelf life was evaluated. The white light treatment was used as the control. The weight loss rate, soluble solids content, titratable acid content, malondialdehyde content, hardness, browning degree, color and flavor of the fresh-cut melon treated by the red, blue, green lights and no light treatments during the shelf life at 5 ℃ were compared. The results showed that the spectrum of the blue light treatment was located on the main wavelength trajectory of 442 nm with the source purity of 100%, and the intensity of 128±17.10 Lux. Compared with the control, the blue light treatment could decrease the browning degree of the fresh-cut melon by 10.70%, reduce the weight loss rate by 3.76%, and raise the hardness of the fruits by 60.60%. Moreover, the blue light treatment retarded the flavor deterioration of the fresh-cut melon. Hence, the blue light treatment maintained the texture, color and retarded the flavor deterioration of the melon during the sales and display. Therefore, the blue light treatment was beneficial to prolong the shelf life of fresh-cut melon.

Key words: fresh-cut melon; irradiation; quality; LED light treatment; shelf life

薄皮甜瓜是葫芦科甜瓜属一年生蔓性草本植物，在国内每年 6~9 月大量上市，薄皮甜瓜不仅品种多样，还因具有独特的风味和清脆的口感倍受人们喜欢。鲜切甜瓜在国内外超市中较多见，但多以哈密瓜等厚皮甜瓜为主，薄皮甜瓜因其果皮较薄，运输及贮藏过程中容易受到机械损伤或品质裂变，所以进行鲜切加工可有效提高薄皮甜瓜的附加值。鲜切果蔬是以新鲜果蔬为原料，经清洗、去皮、切分、修整、包装等一系列处理后制成的即食果蔬加工产品，因其具有“新鲜、营养、方便、安全”等特点，市场需求量逐年增长[1-3]。鲜切产品经切割损伤后会出现果蔬细胞破损、水分损

收稿日期：2019-08-07

基金项目：国家重点研发计划项目（2016YFD0400302）；现代农业产业技术体系资助项目（CARS-25）；北京市自然科学基金项目（6172013）；北京市农林科学院青年基金项目（QNJJ201802）；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：王宇滨（1984-），女，助理研究员，研究方向：农产品贮藏与加工

通讯作者：张超（1978-），男，博士，研究员，研究方向：农产品贮藏与加工

失、营养物质流失、褐变、软化、风味劣变等现象，所以鲜切产品品质保持技术成为大家研究的热点[4,5]。

LED 光照处理是一种新型物理保鲜技术，不仅能源损耗低、节省成本、可控性强，还可通过不同颜色、不同波长强度和不同周期光照处理对果蔬呼吸作用进行调节[6-9]，保持果蔬营养品质，延缓生理代谢[10-12]。目前，研究显示光照处理对维持果蔬货架期期间品质具有积极作用，包括在降低鲜切木瓜中微生物数量[13]、提高鲜切西兰花的品质[14,15]、降低果蔬的褐变和水渍化损伤[16-18]、维持豇豆的水分[19]等方面效果显著。在欧美一些国家早已有丰富的鲜切甜瓜产品，但以国内较受欢迎的绿宝品种为鲜切甜瓜原料的研究还鲜有报道，因此，本研究以绿宝薄皮甜瓜为原料，在货架期陈列期间使用红光、蓝光、绿光处理与现有陈列柜常用的白光处理进行对比，评价鲜切薄皮甜瓜失重率、颜色、风味等特征变化规律，以建立适用于鲜切薄皮甜瓜的冷藏柜陈列环境，为延长鲜切薄皮甜瓜的货架期提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与设备

绿宝甜瓜，购于北京果香四溢水果超市（曙光花园店）；食品级聚乙烯保鲜盒（透明带盖，750 mL），晋江市溶德塑料制品有限公司；氢氧化钠、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠，北京化工厂；三氯乙酸，天津市福晨化学试剂厂；硫代巴比妥酸，西格玛奥德里奇（上海）贸易有限公司；次氯酸钠，福晨（天津）化学试剂有限公司。

表 1 电子鼻电极特性描述

Table 1 Description of electronic nose sensors

阵列序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	对芳香成分灵敏，苯类
2	W5S	对氮氧化合物很灵敏
3	W3C	对芳香成分灵敏，氨类
4	W6S	对氢化物灵敏
5	W5C	对短链烷烃芳香成分灵敏
6	W1S	对甲基类灵敏
7	W1W	对硫化物灵敏
8	W2S	对醇类、醛酮类灵敏
9	W2W	对芳香成分、有机硫化物灵敏
10	W3S	对长链烷烃灵敏

T8 分体型白、红、蓝、绿 LED 灯管（规格 1.2 m，18 W），中山市蓝鲨照明有限公司；TA-XT plus 质构分析仪，英国 Stable Micro System 公司；PEN-3 电子鼻，德国 Airsense 分析仪器有限公司（传感器阵列由 10 个金属氧化物传感器组成，传感器特性及名称如表 1 所示）；UV-1800 紫外分光光度极，日本岛津；EOS450D 型数码相机，日本佳能公司；ME204 分析天平，梅特勒-托利多仪器有限公司；手持式搅拌机，飞利浦香港电子有限公司；TES-1339R Data Logger 光通量，中国台北德生电器有限公司；D500 照度计，日本美能达科技有限公司；阿贝折光仪，广州爱宕科学仪器有限公司；商用陈列柜，北京二商福岛机电；ZDJ-5B-D 自动滴定仪，上海雷磁公司。

1.2 鲜切薄皮甜瓜的制备

绿宝甜瓜购买后，先存放于 10 ℃冷柜中预冷半天，然后用清水冲洗后以 1:400 的料液比浸泡于 100 mg/L、pH 6.5 的次氯酸钠溶液中浸泡 2 min，再使用相同比例纯水漂洗两次，置于 10 ℃无菌操作间晾干，随后将甜瓜削皮、去籽及不可食部分，切成 3 cm×2 cm 块状（绿宝甜瓜果肉较薄，不另做要求）放在聚丙烯保鲜盒中，称重后置于冷藏柜中。

1.3 LED 光照处理

光照处理分别是白光、红光、蓝光、绿光和避光，以白光为对照组。将包装好的鲜切甜瓜置于 5 ℃的冷藏柜中，冷藏柜共设 4 层，从上到下分别设置蓝色、绿色、红色和白色，层与层之间放置隔板避免光污染，冷藏柜外面维持 30 Lux 的基础照明。将样品放入冷藏柜后，在贮藏的第 5 d 测定样品的相关理化指标。

1.4 光照特性测定[18]

光源光谱和颜色使用照度计进行测定，将照度计探头置于聚乙烯保鲜盒内部，与样品的实际高度和温度保持一致。光源的光谱的采集 360~780 nm 范围内。光源的颜色使用 *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。

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

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。

光源强度使用将光通量仪测定。将光通量仪置于聚乙烯袋内部，与样品的实际高度和温度保持一致测定光源强度。

1.5 指标测定

1.5.1 失重率

样品贮藏前后的质量差与贮藏前质量之比。

1.5.2 可溶性固形物

取少量样品用搅拌器搅拌 10 s 即得匀浆样品（以下均称为匀浆样品），用 4 层纱布过滤，取滤液作为待测液，用阿贝折光仪测试。重复取样 6 次测量取平均值，注意气泡。

1.5.3 色差和褐变度[20,21]

利用色差计对样品颜色进行测定。其中 L^*表示亮度，值越大，亮度越大；a^*表示绿色到红色的变化程度（由负到正），b^*表示蓝色到黄色的变化程度（由负到正），$\triangle E^*$表示总色差值，值越大，果实颜色变化越大；h°色度角和 C^*饱和度由 a^*和 b^*计算得到。测定时共取 9 块，每块随机选取 3 个取样点，结果为 27 次试验的平均值。

取匀浆样品 15 g，加入提前在 4 ℃冰箱中预冷半小时的 0.1 M 硫酸缓冲液 15 mL（W:V=1:1）混匀，于 4 ℃，4800 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 $A_{410\,nm}$ 表示。

1.5.4 丙二醛含量的测定[20]

采用硫代巴比妥酸法。取匀浆样品 10 g 与 0.05 mol/L 磷酸缓冲液 20 mL 均匀混合，于 4 ℃、13000 g 条件下离心 20 min，取上清液。取 6 mL 上清液，加入 10 mL 含有 0.5%硫代巴比妥酸的 5%三氯乙酸溶液，混合后沸水浴 15 min，冷却，过滤。滤液在波长为 532 nm 和 600 nm 下读取吸光值。样品中丙二醛含量计算参见公式(2)。

$$MDA=(OD_{532}-OD_{600})\times 172.04 \quad (2)$$

式中：MDA-丙二醛含量，nmol/g；OD_{532nm}-532 nm 波长下吸光值；$OD_{600\,nm}$-600 nm 波长下吸光值。

1.5.5 硬度的测定

采用 TA-XT plus 质构分析仪，使用 P/5 探头。测定参数：测试前的速度 10 mm/s；测试速度 10 mm/s；测试后速度 10 mm/s；下压距离 10 mm；触发力 20.0 g，选择测试过程中平均力的大小表示硬度（N），每次测试位置均匀，每个处理组取 6 块，数据求平均值。

1.5.6 可滴定酸的测定[21]

取匀浆样品 3 g，加入 57 g 水，用（标定过的）0.1 mol/L 氢氧化钠溶液进行电位滴定。

样品中可滴定酸含量参见公式计算公式（3）。

$$可滴定酸含量（\%）=\frac{C\times V\times K}{m}\times 100\% \quad (3)$$

式中：C-标定过的氢氧化钠溶液浓度，moL/L；V-滴定时消耗的氢氧化钠标准溶液的体积，mL；K-换算以柠檬酸克数系数换算（据实验室发现甜瓜中柠檬酸含量较丰富），0.070；m-质量，g。

1.5.7 电子鼻检测

取匀浆样品 5 g 置于顶空进样瓶中，每个处理制样 3 个，在室温 25 ℃环境中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 200 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 个不同传感器响应值变化规律。采用电子鼻数据分析软件进行主成分分析和 Loading 分析。

1.6 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 SPSS 进行处理，Ducan's 新复极差法进行显著性分析；采用 Origin 9.1 软件制图。

2 结果与分析

2.1 光源特性[21]

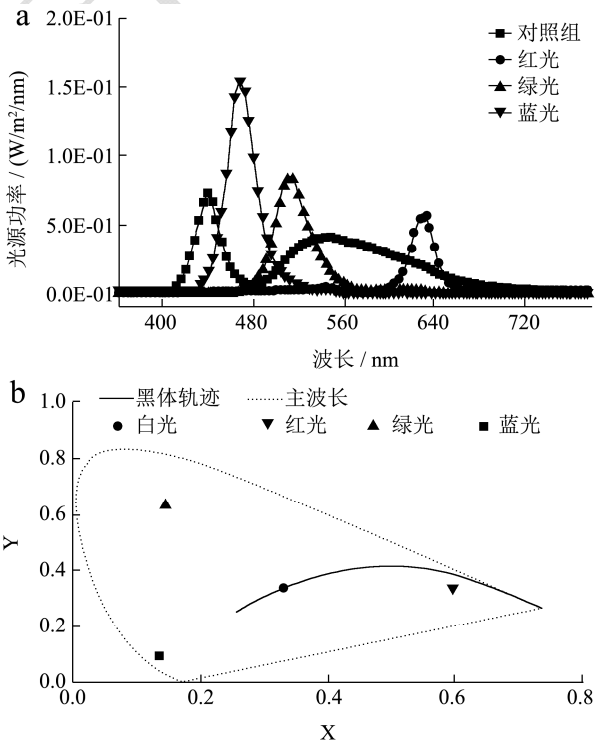

图 1 LED 光源光谱分布图（a）和赫姆霍兹图（b）

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

图 1 显示可见光光照处理中光源的特性。红光、蓝光和绿光处理中光源 80%的能量分别集中于 620~650、450~470 和 510~530 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 77.91%和 66.43%；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；本研究利用光强测定仪测定白光、红光、蓝光和绿光的照度强度分别为(1839±336)、(208±26.40)、(128±17.10)和(747±201) Lux。因此，红光、绿光和蓝光处理具有对产品照明的功能，且光谱特征差异显著，白光处理的光源接近于普通的日光照射，所以将其作为对照组进行研究。

2.2 LED 光照对鲜切薄皮甜瓜失重率的影响

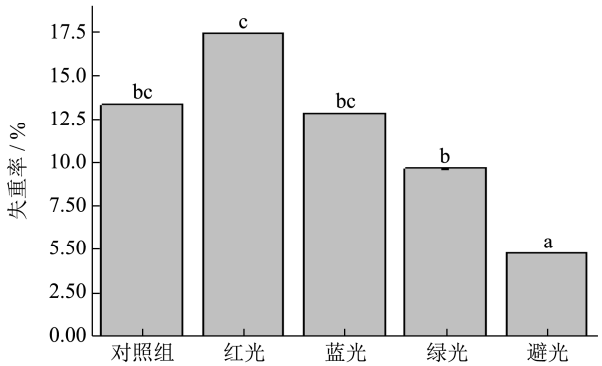

图 2 LED 光照对鲜切薄皮甜瓜失重率的影响

Fig.2 Effect of the LED light treatment on the weight loss rate of fresh-cut melon

鲜切薄皮甜瓜在贮藏过程中重量损失是品质劣变的主要表现之一[22]。如图 2 所示，在陈列第 5 d 时，红光、蓝光、绿光和避光组失重率分别为 17.40%、12.90%、9.64%、4.77%，对照组为 13.40%，红光处理导致重量损失率增加 29.90%，蓝光、绿光和避光组与对照组相比有效降低了 3.67%、27.80%、64.30%。从结果分析可能是鲜切薄皮甜瓜在组织切分时虽然会破坏部分果肉的细胞壁，导致组织液、水分等损失，但是其细胞壁的中胶层和细胞膜有较强的聚合力，未受损的组织细胞壁不易发生严重的破裂和分解；红光和蓝光强度较小，果实中胶层受损后凝集速度较慢，细胞液渗漏较多，所以红光和蓝光处理组失重率较高[23-25]；绿宝甜瓜可食部分为绿色，绿色处理组失重率低于对照组。

2.3 LED 光照对鲜切薄皮甜瓜可溶性固形物含量的影响

可溶性固形物是指组织中存在的可溶性的糖类、氨基酸、维生素、矿物质等，是评价果实品质的重要指标。如图 3 所示，在陈列第 5 d 时，红光、蓝光、绿光和避光组可溶性固形物含量分别为 11.70%、9.55%、11.30%、8.95%，对照组为 9.23%，红光、蓝光与绿光处理分别比对照组提高了 27.10%、3.47%、22.10%，避光组降低了 3.03%。从结果可猜测红光和绿光可以有效保持甜瓜可溶性固形物的损失，有益于可溶性固形物的积累[14]，这与李汴生等使用不同单色光对低温贮藏西兰花可溶性固形物的作用结论相似。

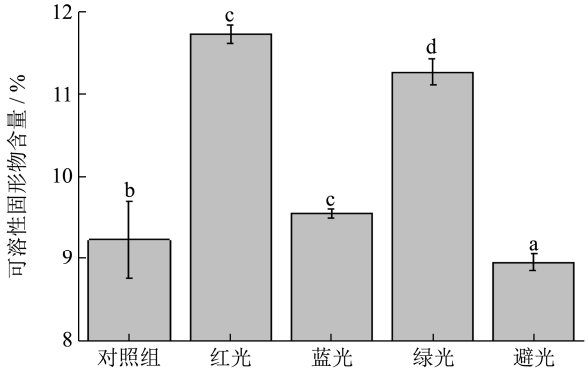

图 3 LED 光照对鲜切薄皮甜瓜可溶性固形物的影响

Fig.3 Effect of the LED light treatment on the soluble solid content of fresh-cut melon

注：不同组间字母不同表示差异显著（$p<0.05$），下同。

2.4 LED 光照对鲜切薄皮甜瓜褐变度的影响

褐变度是鲜切产品感官评价的重要评定因素。果蔬组织破坏后生理代谢紊乱，褐变程度加剧[26,27]。由图 4 所示，在陈列第 5 d 时，不同 LED 光照对鲜切薄皮甜瓜褐变程度的影响差异较大，红光和蓝光处理导致鲜切甜瓜褐变程度降低了 5.36%和 10.70%，绿光和避光处理组增加了 32.10%和 23.20%；蓝光处理抑制褐变程度最显著，绿光处理导致褐变程度最严重的，其原因可能是绿光处理过程中增加了该品种甜瓜的光吸收能力，增加了其褐变速度；红光、蓝光与对照组相比可维持和延缓甜瓜果肉的褐变。

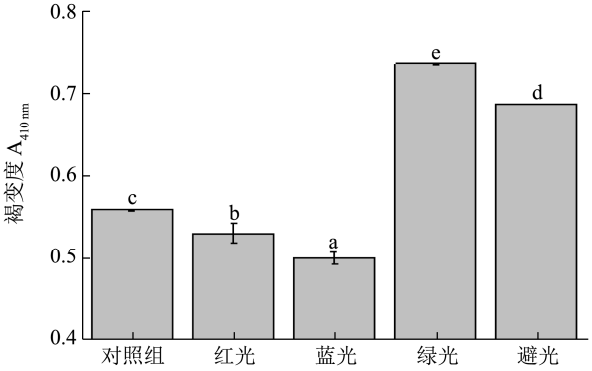

图 4 LED 光照对鲜切薄皮甜瓜褐变度的影响

Fig.4 Effect of the LED light treatment on the chlorophyll content of fresh-cut melon

2.5 LED 光照处理对鲜切薄皮甜瓜丙二醛含量的影响

丙二醛是脂肪氧化作用的主要产物之一，是判断样品细胞膜衰老和破裂的程度的重要指标。由图 5 所示，在陈列第 5 d 时，红光、蓝光处理组比对照组丙二醛含量增加了 21.10%和 36.80%，绿光处理组与避光组相近，丙二醛含量降低了 50.20%和 50.40%，说明红光、蓝光对鲜切甜瓜果实表面的组织细胞膜损伤影响较大，产生了较高的丙二醛，进而导致失重率下降明显；绿光可有效抑制膜脂过氧化作用，减少丙二醛的产生[28]。

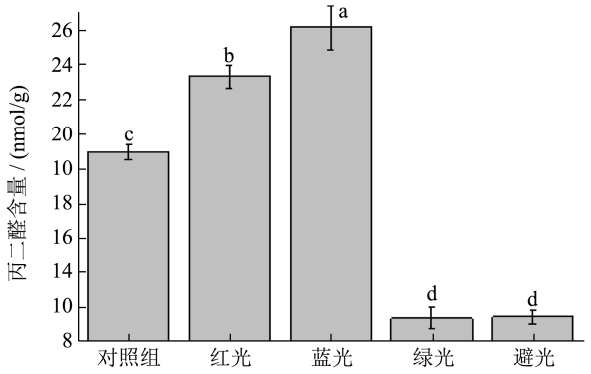

图 5 LED 光照对鲜切薄皮甜瓜丙二醛含量的影响

Fig.5 Effect of the LED light treatment on the malondialdehyde content of fresh-cut melon

2.6 LED 光照处理对鲜切薄皮甜瓜硬度的影响

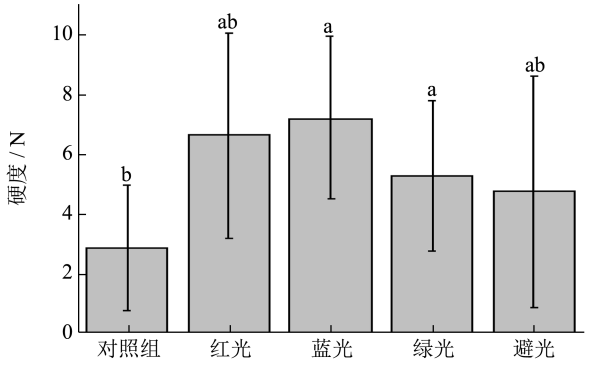

图 6 LED 光照处理对鲜切薄皮甜瓜硬度的影响

Fig.6 Effect of the LED light treatment on the firmness of fresh-cut melon

硬度是评价贮藏期品质的重要指标，甜瓜的硬度越大，贮藏效果越好。如图 6 所示红光、蓝光、绿光和避光处理硬度分别为 6.63、7.22、5.28 和 4.76 N，对照组为 2.85 N。红光、蓝光、绿光和避光处理分别比对照组增加了 57.10%、60.60%、46.10%和 40.20%。研究认为甜瓜软化可能与其贮藏过程中水溶性果胶含量增加、螯合剂可溶性果胶和碳酸钠可溶性果胶含量降低、初生壁和中胶层分解有关[29]。蓝光处理组的硬度最高，证实蓝光处理有利于细胞壁胞间层与初生壁内物质保存，保持果肉硬度。

2.7 LED 光照处理对鲜切薄皮甜瓜可滴定酸的影响

可滴定酸度是评价果实风味的重要因素。由图 7 所示，红光、蓝光、绿光和避光处理可滴定酸含量为 0.26%、0.13%、0.15%、0.11%。与对照组相比，红光处理提高了 44.40%，蓝光、绿光和避光处理分别降低了 28.80%、18.90%和 37.70%。因此，红光处理导致鲜切薄皮甜瓜可滴定酸含量增加，蓝光可也以延缓鲜切甜瓜可滴定酸含量的增加，有利于果实原有酸度。

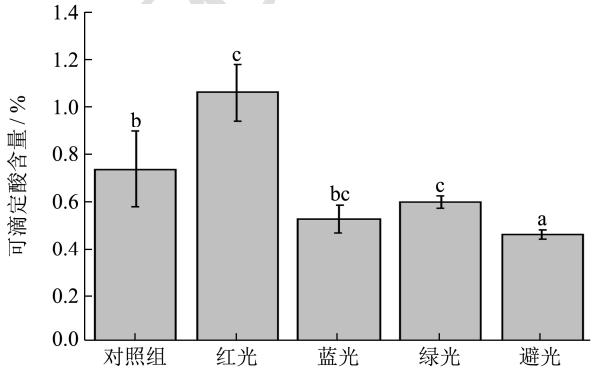

图 7 LED 光照处理对鲜切薄皮甜瓜可滴定酸含量的影响

Fig.7 Effect of the LED light treatment on the titratable acidity of fresh-cut melon

2.8 LED 光照处理对鲜切薄皮甜瓜颜色和外观的影响

鲜切产品的外观表现是给消费者最直观的呈现，色调角和饱和度是评价产品颜色的重要参数，色调角越大，颜色越深，饱和度越高，颜色强度越亮。

由图 8 所示，在陈列 5 d 时，红光与对照组色调角相近，分别是 36.60 和 36.80，蓝光和绿光略高于对照组，分别是 39.50 和 37.90，避光低于对照组，色调角为 35.20；结合图 9 对比发现，对照组饱和度最高，较其他处理组果肉颜色明显变浅，表面失水严重，略微出现白化现象；蓝光和绿光处理色调角略大，果肉颜色相对于其他处理和对照组要更深一些，可能因为 LED 照射可导致果蔬采后仍然进行光合作用，合成新的营养物质和色素，从而补充贮藏期的色素降解和颜

色变化，而避光条件下，由于缺乏光照无法进行光合作用而颜色变浅甚至变黄。所以证实蓝光和绿光有利于保持鲜切绿宝甜瓜的颜色。

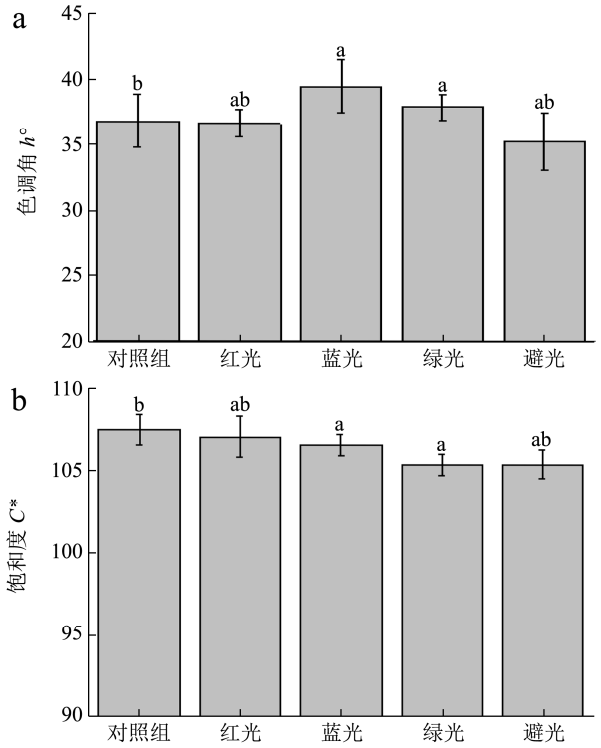

图 8 LED 光照处理对鲜切甜瓜色调角（a）和饱和度（b）的影响

Fig.8 Effect of the LED light treatment on the hue angle and chroma of fresh-cut melon

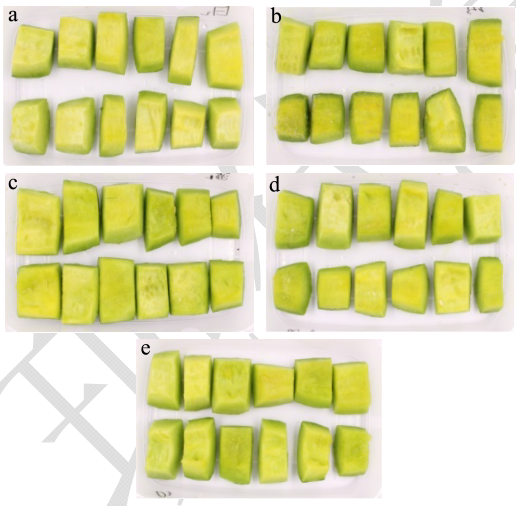

图 9 LED 光照处理对鲜切甜瓜外观情况

Fig.9 The Appearance of the LED light treatment on the performance of fresh-cut melon

注：a：对照组；b：红光；c：蓝光；d：绿光；e：避光。

2.9 光照处理鲜切薄皮甜瓜风味的影响

主成分分析(principal component analysis，PCA)是运用降维方式将多指标转化为少数综合性指标的统计方法，本研究利用 PCA 方法将电子鼻 10 个传感器数据进行降维转化进行主成分和载荷分析，体现不同 LED 光照处理对鲜切薄皮甜瓜风味的影响。由图 10a 所示，第一主成分(PC1)的贡献率为 98.55%，第二主成分(PC2)的贡献率为 1.32%，总贡献率为 99.87%，表明 PC1 和 PC2 的总贡献率包含了样品风味的所有信息，且数据间存在显著差异（$p<0.05$），从数据分布情况可以看出，对于第一主成分，蓝光、避光组与对照组最接近，其次是绿光组，红光处理组风味差异最大。传感器 Loading 分析可以进一步得出每个传感器在 PCA 分析中的贡献大小，由图 10b 所示，W1W（硫化物）距离零点最远，对第一主成分贡献最大，说明 W1W 传感器在风味识别中的作用最大，是判定鲜切薄皮甜瓜风味的主要依据 [21]。由此证明电子鼻检测鲜切薄皮甜瓜，可以用 W1W 传感器作为主要评价参数。

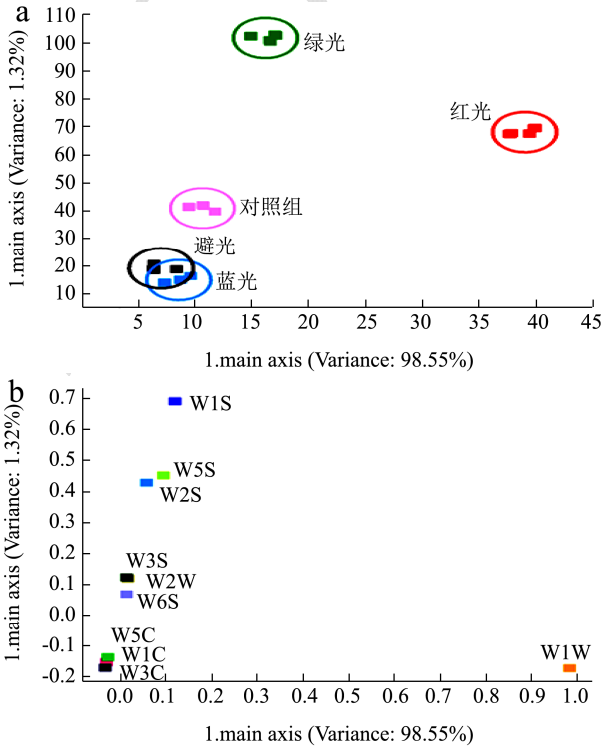

图 10 LED 光照处理的鲜切薄皮甜瓜 PCA 分析图(a)和传感器 Loading 分析图(b)

Fig.10 PCA scatter diagram (a) and Loading analysis (b) of the fresh-cut melon

3 结论

研究结果显示，LED 光照可以有效保持鲜切薄皮甜瓜的品质及风味，且不同 LED 光照对鲜切甜瓜货架期品质和风味的影响差异显著。本文分别研究了红光、蓝光、绿光和避光对鲜切薄皮甜瓜贮藏期的品质，结果表明蓝光处理能够有效的保持鲜切甜瓜质地、颜色等外观品质，还可以延缓随着货架期延长风味的裂变。

蓝光处理可延缓甜瓜褐变，降低褐变程度 10.70%；易于细胞壁胞间层与初生壁内物质保存，提高产品硬度 60.60%；补充色素降解，维持产品原有颜色；保持产品品质，延缓风味劣变。因此蓝光处理可作为鲜切薄皮甜瓜销售陈列期的保鲜方法。

参考文献

[1] 赵晓燕.我国鲜切蔬菜产业中的问题与发展趋势[J].中国蔬菜,2011,17:1-3
ZHAO Xiao-yan. Problems and development trend of fresh cut vegetable industry in China [J]. China Vegetables, 2011, 17: 1-3

[2] 王丹,马越,张超,等.鲜切蔬菜加工技术对产品品质的影响[J].食品科学技术学报,2017,35(6):17-20
WANG Dan, MAYue, ZHANG Chao, et al. Effects of processing technologies on quality of fresh-cut vegetables [J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 35(6): 17-20

[3] Jiang J, Jing L, Luo H, et al. Establishment of a statistical model for browning of fresh-cutlotus root during storage [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014,92: 164-171

[4] Li X, Long Q, Gao F, et al. Effect of cutting styles on quality and antioxidant activity in fresh-cut pitaya fruit [J]. Postharvest Biology and Technology, 2017, 124: 1-7

[5] 李清光.鲜切生产品质控制技术研究进展[J].食品工业,2018,39(12): 226-229
LI Qin-guang. Progress of studies on quality control technologies of fresh-cut lettuce [J]. The Food Industry, 2018, 39(12): 226-229

[6] 黄丹丹,张士秀,贾淑霞,等.LED 补光对番茄光合特性的影响[J].中国农学通报,2014,30(22):102-108
HUANG Dan-dan, ZHANG Shi-xiu, JIA Shu-xia, et al. Influence of illumination supplement used LED light on photosynthesis of tomato [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(22): 102-108

[7] 詹丽娟,马亚丹,张翠翠.发光二极管(LED)照射调控果蔬采后贮藏保鲜研究进展[J].食品与发酵工业,2018,44(4): 264-269,278
ZHAN Li-juan, MA Ya-dan, ZHANG Cui-cui. Research progress on lighting emitting diode (LED) irradiation effect on fresh fruits and vegetables storage [J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(4): 264-269, 278

[8] Kim N Y, Lee D S, Lee H J, et al. Effect of UV-LED irradiation on respiration and ethylene production of cherry tomatoes [J]. The Korean Society of Food Preservation, 2012, 19(1): 47-53

[9] 詹丽娟,李颖.光照技术在果蔬采后贮藏保鲜中的应用[J].食品与发酵工业,2016,42(8):268-272,278
ZHAN Li-juan, LI Ying. Advances in effects of light exposure on fresh fruits and vegetables postharvest storage and preservation [J]. Food and Fermentation Industries, 2016, 42(8): 268-272, 278

[10] 陈科元,陈彦云,贾倩民,等.不同光照对贮藏期间马铃薯块茎多胺含量的影响[J].食品研究与开发,2014,35(24):143-148
CHEN Ke-yuan, CHEN Yan-yun, JIA Qian-min, et al. Effect of different illumination on polyamine content of potato tube during storage [J]. Food Research and Development, 2014, 35(24): 143-148

[11] Zhan L J, Hu J Q, Ai Z L. Light exposure during storage preserving soluble surgar and L-ascorbic acid content of minimally processed romaine lettuce (*Lactuca sativa* L.) [J]. Food Chemistry, 2013, 136: 273-278

[12] Dhakal R, Baek K H. Short period irradiation of single blue wavelength light extends the storage period of mature greentomatoes [J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 90: 73-77

[13] Kim M, Bang W, Yuk H. 405±5 nm light emitting diodeillumination causes photodynamic inactivation of *Salmonella* spp. on fresh-cut papaya without deterioration [J]. Food Microbiology, 2017, 62(4): 124-132

[14] 李汴生,文雅欣,阮征,等,不同单色 LED 对低温贮藏西兰花的保鲜作用[J].现代食品科技,2019,35(1):137-143,220
LI Bian-sheng, WEN Ya-xin, RUAN Zheng, et al. Preservation of brassica oleracea irradiated by different monochromatic LED light under low-temperature storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(1): 137-143, 220

[15] 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, et al. Quality improvement of fresh-cut broccoli (*Brassica Oleracea* L.) during storage by light illumination [J]. Food Science, 2012, 33(14): 296-300

[16] Zhan L, Li Y, Hu J, et al. Browning inhibition and quality preservation of fresh-cut romaine lettuce exposed to high intensity light [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2012, 14: 70-76

[17] Wang Yubin, Li Wu, Cai Wenqian, et al. Visible light exposure reduces the drip loss of fresh-cut watermelon [J]. Journal of Food Science and Echnology, 2018, 55(5): 1816-

1822

[18] 时月,张慧君,张超,等.货架陈列期红光照射延缓鲜切西瓜品质裂变[J].中国瓜菜,2018,31(6):11-15
SHI Yue, ZHANG Hui-jun, ZHANG Chao, et al. Red light exposure retards quality deterioration of fresh-cut watermelon during shelf display [J]. China Cucurbits and Vegetables, 2018, 31 (6): 11-15

[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, 2018,4:46-52
SHI Jun-yan, ZHENG Qiu-li, WANG Qing, et al. Effect of LED irradiation on storage quality and physiological property of cowpea during postharvest storage [J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 4: 46-52.

[20] WANG Dan, Chen Likun, Ma Yue, et al. Effect of UV-C treatment on the quality of fresh-cut lotus (*Nelumbonucifera Gaertn*) root [J]. Food Chemistry, 2019, 659-664

[21] 时月,张慧君,张超等.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
SHI Yue, ZHANG Hui-jun, ZHANG Chao, et al. Effect of LED Light treatment on qualities and aroma of fresh-cut lettuce [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(5): 102-108

[22] 何念武,杨超.杜仲叶绿原酸对果蔬保鲜作用的试验研究[J].江西农业学报,2018,30(11):71-75
HE Nian-wu, YANG Chao. Experimental study on the effect of eucommiaeucommia on the preservation of fruits and vegetables [J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2018, 30(11): 71-75

[23] 周然,王锡昌,谢晶,等.热水结合果蜡处理抑制振动引起哈密瓜衰老的机理[J].农业工程学报,2014,30(24):318-324
ZHOU Ran, WANG Xi-chang, XIE Jing, et al. Effects of combination of hot water and shellac on reducing ripening changes inhami melons (*Cucumismelo* var. *saccharinus*) induced by transport vibration and its mechanism [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(24): 318−324

[24] 李鹏鹤.乙烯调控后熟甜瓜果实细胞壁代谢及其结构变化[D].郑州:河南农业大学,2015
LI Peng-he. Ethylene regulation fruit cell wall metabolism and its structure change in ripening muskmelon [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2015

[25] 胡国智,熊韬,吴海波等.新疆哈密瓜不同品种果实风味物质分析[J].新疆农业科学,2018,54(7):1232-1238
HU Guo-zhi, XIONG Tao, WU Hai-bo, et al. Analysis of fruit flavor substances of different varieties of Hami melon in Xinjiang [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2018, 54(7): 1232-1238

[26] 谢乐芳,王力,李健,等. 果蔬褐变度的研究进展[J].内蒙古民族大学学报,2017,32(1),24-28
XIE Le-fang, WANG Li, LI Jian, et al. Research progress on Browning degree of fruits and vegetables [J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities, 2017, 32(1): 24-28

[27] 李琪. 鲜切苹果防褐变保鲜技术研究[D]. 天津:天津科技大学,2015
LI QI. Research on anti-browning preservation technology of fresh-cut apples [D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2015

[28] 闫怡. 鲜切青椒和鲜切油豆角保鲜加工关键技术研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2015
YAN Yi. Research on key technologies of fresh-cut green pepper and fresh-cut oil bean [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2015

[29] 张淑杰,胡婷婷,刘红开,等.果蔬采后硬度变化研究进展[J].保鲜与加工,2018,18(4),141-146
ZHANG Shu-jie, HU Ting-ting, LIU Hong-kai, et al. Research progress on hardness changes of fruits and vegetables after harvest [J]. Preservation and Processing, China Agricultural University, 2008, 18(4), 141-146