

LED 复合光处理对西兰花低温保鲜效果的影响

李 宁¹, 阎瑞香², 张 娜²

(1. 天津农学院 园艺园林学院, 天津 300384; 2. 国家农产品保鲜工程技术研究中心 农业部农产品采后生理与贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384)

摘要:为研究不同 LED 复合光处理对西兰花保鲜效果的影响。以新鲜西兰花为材料,通过测定 4 ℃ 低温条件下,西兰花的感官品质、维生素 C 含量、叶绿素含量、乙烯生成速率等各项指标,研究 LED 红蓝、LED 红绿复合光处理对西兰花保鲜效果的影响。结果表明,与无光处理方式相比,LED 红蓝复合光处理效果显著,不仅延长了西兰花保鲜期 10~15 d 左右,而且较好地保持了西兰花原有的外观品质,阻止了西兰花贮藏期间重要营养物质 Vc 含量的快速流失,延缓了贮藏期间乙烯释放量峰值和呼吸跃变出现的时间,显著降低了呼吸跃变的峰值,减少了膜脂过氧化对西兰花造成的损伤。

关键词:LED 复合光;西兰花;贮藏;质量控制

中图分类号:S635.9 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2015)01-0188-06

doi:10.7668/hbxb.2015.01.032

Effect of LED Composite Light on Preservation of Broccoli during Cold Storage

LI Ning¹, YAN Rui-xiang², ZHANG Na²

(1. College of Horticulture and Landscape, Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384, China; 2. National Engineering and Technology Research Center of Agricultural Products Freshness Protection, Key Laboratory of Postharvest Physiology and Storage of Agricultural Products, Ministry of Agriculture, Tianjin 300384, China)

Abstract: In order to study on effect of different treat of LED composite light on preservation of broccoli, fresh broccoli was used as the main materials. By measuring the indicators at 4 ℃ low temperature conditions, such as sensory quality, vitamin C content, chlorophyll content and broccoli ethylene production rate, effect of LED composite light on preservation for broccoli was determined. The results showed that treatment with LED composite of red and blue was better for the quality of broccoli compared with non-light treatment. The former could extend storage time by 10-15 d. Meanwhile, it could get a higher score of sensory evaluation, prevented the rapid decline in important nutrient substance vitamin C content of broccoli, delayed the time of the evolution of ethylene and the appearance of respiration peak, decreased the respiration variable peak, and reduced membrane lipid peroxidation damage of broccoli during storage.

Key words: LED composite light; Broccoli; Storage; Quality control

西兰花,又名花椰菜、绿菜花、青菜花,属芸薹属甘蓝的一个变种^[1-2]。西兰花不仅具有良好的口感、丰富的营养物质如蛋白质、维生素、纤维素、胡萝卜素和多种矿物质,而且具有显著的抗癌功效^[3-4]。由于西兰花采后呼吸代谢旺盛、花蕾容易开花、松散、叶绿素快速降解等引起的萎蔫、黄化,营养成分下降问题制约了西兰花产业发展^[5-9]。

目前,市场上对于西兰花的贮藏方法主要是低温贮藏,一般情况下,采后西兰花在室温条件下,第2天花蕾就开始变黄;而在低温条件下,最多可以贮藏30 d,而且营养成分流失严重,远远达不到市场的需求。为此,中外学者们探索利用多种物理方法如射线、臭氧等^[10-12]和化学方法如乙醇^[13]对鲜切西兰花进行保鲜,并取得了一定的保鲜效果,但上述处

收稿日期:2014-12-11

基金项目:天津市科技计划项目(13ZCZDNC01500)

作者简介:李 宁(1978-),女,陕西宝鸡人,高级实验师,硕士,主要从事农产品采后生理及防腐保鲜研究。

通讯作者:阎瑞香(1973-),女,河南郑州人,副研究员,博士,主要从事农产品采后生理及保鲜技术研究。

理方法往往都存在投资大、能耗高、化学残留、环境污染等不足之处^[14-17],远不能满足当今消费者对廉价安全、环保型食品的需求。因此,成本低廉、安全有效和环境友好型保鲜方法已成为当前鲜切果蔬研究热点。光照处理是目前一种新兴的应用于果蔬保鲜的非加热物理方法,可有效地保存鲜切果蔬品质和延长货架期^[18-19]。与传统的物理方法和化学试剂处理相比,光照处理具有来源广泛、成本低廉、无毒害、无副产物残留、对环境友好等优点^[20]。有研究表明,在光照条件下,鲜切果蔬尤其是鲜切绿色蔬菜类在贮藏初期会继续进行光合作用,积累营养物质^[21-23]。Lester 等^[24]研究表明,连续光照能提高菠菜贮藏期间各种生物活性物质含量, Noichinda 等^[19]研究发现,光照处理能增加中国芥蓝贮藏期间葡萄糖和果糖含量,阻止抗坏血酸含量下降。LED 作为一种新型能源,具有散发热量少、耗电少,电压范围较宽,控制方便优点,被科学家认为是最有前景的植物照明光源。然而,国内外有关 LED 复合光处理对西兰花保鲜效果的研究尚无报道。本试验以西兰花为材料,研究了不同的 LED 红绿复合光、红蓝复合光处理对西兰花贮藏期保鲜效果的影响,以期

为改善采后西兰花品质,延长货架期提供理论依据,同时为其冷藏贮运和销售提供科学参考。

1 材料和方法

1.1 供试材料

西兰花品种为优秀,购自天津市红旗农贸综合批发市场;供试材料大小一致、成熟度一致、花球紧凑、无损伤、无病虫害。

1.2 试验处理

将西兰花分为 3 组,每组分别进行红蓝 LED 复合光(波长分别为:红光 620 ~ 630 nm,蓝光 460 ~ 470 nm)、红绿 LED 复合光(波长分别为:红光 620 ~ 630 nm,绿光 550 ~ 570 nm)以及黑暗对照处理。所有光照处理采用国家农产品保鲜工程技术研究中心自主研发的 LED 光照装置进行。本研究采用 LED 光强度为 400 lx,进行 12 h 间歇照射,以避免光处理为对照。每处理重复 5 次,所有处理装入 0.02 mm PE 保鲜袋(61 cm × 59 cm),每袋装 10 个,贮藏在 4 ℃ 低温条件下,定期对其感官品质、维生素 C 含量、叶绿素含量、二氧化碳和乙烯浓度、丙二醛含量进行测定。

表 1 贮藏期西兰花感官品质评分标准

Tab. 1 Standard of sensory score for quality of stored broccoli

评分 Score	色泽 Color	气味 Smell	组织状态 Tissue state	腐败情况 Rot condition	花蕾开放程度 Degree of bud opening
9	整个花球鲜绿	特有的清香味	花球组织紧密	无腐烂	花蕾无开放
7	≤ 10% 的小花变黄	轻度清香味	花球中央组织致密,硬挺	≤ 5% 的花蕾出现斑点	< 10 花蕾开放
5	10% ~ 30% 的小花变黄	无清香味	花球外延稍软,中心组织疏松	5% ~ 10% 的花蕾出现斑点	10% ~ 30% 的花蕾开放
3	30% ~ 50% 的小花变黄	轻度异味	花球萎蔫 > 50 以上	10% ~ 20% 的花蕾出现斑点	30% ~ 50% 的花蕾开放
1	> 50% 的小花变黄	明显腐臭味	花球全部萎蔫	> 20% 的花蕾出现斑点	> 50% 的花蕾开放

1.3 测定指标及方法

1.3.1 感官品质 参考孙树杰等^[25]方法并稍有改进,感官评定标准见表 1。评定的指标包括色泽、气味、组织状态、腐败情况和花蕾开放程度,每项指标最高 9 分,最低 1 分,利用加权法计算总分。每项加权系数 0.2,根据总分评定样品品质。选 10 人建立评分小组,从西兰花色泽、褐变、组织状态等方面设定评分标准,进行评分。

1.3.2 维生素 C 含量的测定 采用碘液滴定法,参照张怡等^[26]方法进行。

1.3.3 叶绿素含量测定 采用比色法,参照高雪等^[1]方法进行。

1.3.4 呼吸强度的测定 参照白宝璋等^[10]方法进

行,略有改进。从 3 组处理中各随机挑取 3 颗西兰花,分别密封在真空干燥器内,低温 4 ℃ 条件密闭 2 h 后,用气体成分测定仪测定共积累的 CO₂ 浓度,每个处理做 3 次重复,取平均值。

呼吸强度公式: $X = (V \times K \times N) / (M \times H)$

式中: X 为呼吸强度 (mg / (kg · h)); V 为容器体积 (干燥器体积 - 果实体积); K 为换算系数 19.77; N 为 CO₂ 浓度 (%); M 为试样质量 (kg); H 为放置时间 (h)。

1.3.5 乙烯生成速率 用 GC-7890 气相色谱仪测定,参考程顺昌等^[27]方法,略有改进。从 3 组处理中各随机挑取 3 颗西兰花,分别密封在真空干燥器内,4 ℃ 条件密闭 2 h 后,用气相色谱仪测定乙烯生

成速率,空气压力 0.3 kPa,氢气压力 0.3 kPa,氮气压力 0.7 kPa,柱温箱温度 120 ℃,WBI 温度 150 ℃,FID 温度 150 ℃,每个处理做 3 次重复,取其平均值。

$$X = (V \times N) / (M \times H)$$

式中: X 为乙烯的生成速率 ($\mu\text{L}/(\text{kg} \cdot \text{h})$); V 为容器体积(干燥器体积 - 果实体积)单位(L); N 为乙烯的体积分数(%); M 为试样质量(kg); H 为放置时间(h)。

1.3.6 丙二醛含量测定 参照高雪等^[1]方法进行,略有改进。称取西兰花 1 g,加入 10 mL 质量分数为 10% 三氯乙酸溶液,研磨至匀浆,低温 10 000 r/min 下离心 10 min;取上清液 3 mL(对照加 3 mL 三氯乙酸溶液),加入 3 mL 质量分数为 0.6% 硫代巴比妥酸(TBA)溶液,混匀后沸水浴上反应 15 min,迅速冷却后再离心。取上清液测定 450,532,600 nm 波长下的吸光度。每个处理重复 3 次,取其平均值。

按下式计算 MDA 的含量(%): $CI = 11.71 \times A_{450}$; $C2 = 6.45 \times (A_{532} - A_{600}) - 0.56 \times A_{450}$; $C = C2 \times N/W$ 。

式中: CI 为可溶性糖的浓度(mmol/L), $C2$ 为 MDA 浓度($\mu\text{mol/L}$); C 为 MDA 质量摩尔浓度($\mu\text{mol/g}$); N 为提取液体积(mL); W 为植物组织鲜质量(g); A_{450} 、 A_{532} 、 A_{600} 分别代表 450,532,600 nm 波长下的吸光度值。

1.4 数据处理

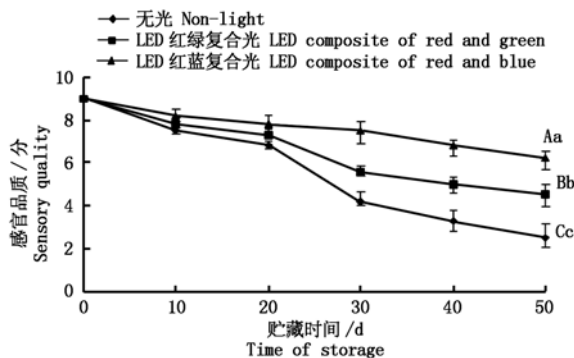
采用 SPSS 10.0 软件和 Excel 2003 进行数据处理,对数据进行 P 在 0.05 水平上和 0.01 水平上的邓肯氏(Duncan)新复极差法检验。

2 结果与分析

2.1 LED 复合光对贮藏期西兰花感官品质的影响

在试验过程中,当感官品质评分低于 5.0 时,西兰花商品价值开始逐渐下降,有效贮藏期结束。由图 1 可以看出,3 组光照处理条件下,西兰花的感官品质均呈现下降趋势。在贮藏的前 20 d 内,各处理感官品质分值均在 7 分以上,在贮藏 30 d 时,无光处理下的花球开始变为黄绿色,发生轻微的褐变,外观品质低至 4.2 分;而 LED 红绿复合光处理下,花球依然保持绿色,没有发生褐变;LED 红蓝复合光处理下,花球品质保持完好,十分新鲜。贮藏的第 40 天,无光处理下花球的黄化、褐变严重,并且开始出现轻微的腐烂;LED 红绿复合光处理下花球开始褪绿,出现少量褐变和轻微腐烂;LED 红蓝复合光处理下,花球仅出现少量褪绿,品质比较完好。贮藏的第 50 天时,无光处理下的西兰花黄化、褐变严重,

多处发生腐烂;LED 红绿复合光处理下,花球为黄绿色,有少量褐变,无腐烂;LED 红蓝复合光处理下,花球出现少量黄化,品质尚可。在贮藏结束时,无光处理下的西兰花距离市场要求相差甚远,而 LED 红绿、红蓝复合光处理下的西兰花依然可以达到市场商品要求,且 LED 红蓝复合光处理品质最佳。综上所述,LED 光处理对于贮藏期西兰花的感官品质有较好的效果,以 LED 红蓝复合光处理效果最佳。



小写字母代表是在 0.05 水平下比较,差异显著;大写字母代表是在 0.01 水平下比较,差异极显著。图 2~6 同。

Small letters represented at the 0.05 level, the difference was significant; Capital letters represent the comparison at the 0.01 level, the difference was significant. The same as Fig. 2~6.

图 1 LED 复合光对贮藏期西兰花感官品质的影响

Fig. 1 Effect of LED composite light on sensory quality of broccoli during storage

2.2 LED 复合光对贮藏期西兰花维生素 C 含量的影响

Vc 是西兰花中含量丰富的营养成分之一,但其在贮藏期间易遭到破坏而损失,进而会影响西兰花的营养价值和食用价值。由图 2 可以看出,3 组处理下,西兰花的维生素 C 含量都呈现下降趋势。在贮藏至 30 d 时,对照组的 Vc 含量迅速下降;在贮藏 30~40 d 内,LED 红绿复合光处理的 Vc 含量也开始明显下降,而 LED 红蓝复合光处理的 Vc 含量一

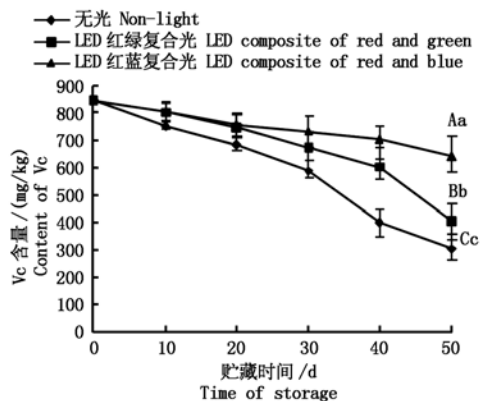


图 2 LED 复合光对贮藏期西兰花维生素 C 含量的影响

Fig. 2 Effect of LED composite light on vitamin C content of broccoli during storage

直处于缓慢下降的趋势;贮藏至 50 d 时,对照处理的西兰花 Vc 含量仅为 303.0 mg/kg,较初始值降低了 64.1%,而 LED 红绿复合光处理的 Vc 含量为 406.0 mg/kg,显著高于对照处理($P < 0.05$),LED 红蓝复合光处理的 Vc 含量为 643.0 mg/kg,极显著高于对照处理($P < 0.01$)。由此可以看出,LED 复合光处理可以有效抑制贮藏期西兰花中 Vc 的含量的损失,尤其以 LED 红蓝复合光处理效果最为显著。

2.3 LED 复合光对贮藏期西兰花叶绿素含量的影响

西兰花中富含叶绿素,在贮藏过程中,叶绿素含量的下降是西兰花衰老的重要标志^[28]。如图 3 所示,在常规的低温贮藏中随着贮藏时间的延长,西兰花的叶绿素含量呈不断下降趋势,但是经过 LED 复合光处理后,在西兰花的贮藏中前期(10~20 d),西兰花的叶绿素含量有一个短暂的上升,LED 红蓝复合光处理效果最佳,这可能与 LED 复合光提供了西兰花光合作用所需的光源,刺激西兰花体内叶绿素的合成有关,随着贮藏时间的延长,叶绿素含量呈现下降趋势。但在下降过程中,LED 复合光处理的叶绿素含量下降速率低于无光处理,贮藏至 50 d 时,无光处理的叶绿素含量为 0.06 mg/g,LED 红绿复合光处理的叶绿素含量为 0.07 mg/g,与无光处理比差异不显著($P > 0.05$),LED 红蓝复合光处理的叶绿素含量为 0.11 mg/g,与无光处理比差异极显著($P < 0.01$)。由此可以看出,LED 红蓝复合光处理对抑制叶绿素含量的下降具有极显著效果。

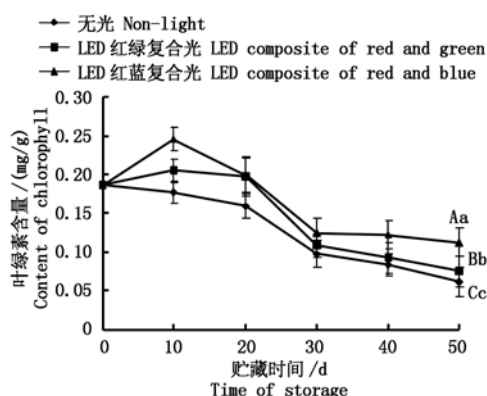


图 3 LED 复合光对西兰花低温贮藏期间叶绿素含量的影响

Fig. 3 Effect of LED composite light on chlorophyll content of broccoli during storage

2.4 LED 复合光对贮藏期西兰花呼吸强度的影响

呼吸作用是果蔬采后进行的重要生理活动,呼吸强度可以衡量呼吸作用的强弱,呼吸强度越大则果蔬衰老越快,缩短果蔬的贮藏期。由图 4 可以看出,在整个贮藏初期,西兰花呼吸强度急剧下降,在随后的贮藏期间呼吸强度保持在较低水平,无光处理在贮藏至 30 d 时,出现一个新的呼吸高峰,呼吸

强度为 76.88 mg/(kg·h),而 LED 复合光处理的呼吸高峰出现在贮藏 40 d 左右,表明 LED 复合光处理可以延迟西兰花贮藏期间的呼吸高峰出现时间;而且在贮藏至 40 d 时,LED 红绿复合光呼吸峰值为 74.56 mg/(kg·h),LED 红蓝复合光呼吸峰值为 50.56 mg/(kg·h),贮藏至 50 d 时,无光处理的呼吸强度为 55.67 mg/(kg·h),LED 红绿复合光处理的呼吸强度为 45.87 mg/(kg·h),与无光处理相比差异显著($P < 0.05$)。LED 红蓝复合光处理的呼吸强度为 35.67 mg/(kg·h),与无光处理相比,差异极显著($P < 0.01$)。由此可以看出,LED 复合光处理不但可以延迟西兰花贮藏期间呼吸高峰出现的时期,还可以降低贮藏期的呼吸强度,减少西兰花的呼吸消耗。

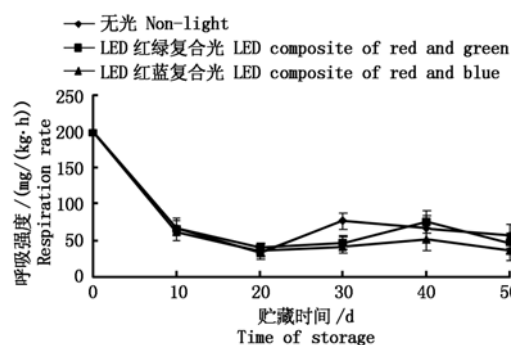


图 4 LED 混合光对贮藏期西兰花呼吸强度的影响

Fig. 4 Effect of LED composite light on respiration rate of broccoli during storage

2.5 LED 复合光对贮藏期西兰花乙烯含量的影响

乙烯是一种气态的植物激素,能促进果蔬的成熟和衰老过程。果蔬贮藏过程中,乙烯释放量是重要的检测指标^[1]。由图 5 可以看出,在整个贮藏期间,西兰花乙烯含量呈先上升后下降的趋势;无光处理乙烯含量的峰值出现在贮藏 20 d 时,经过 LED 复合光处理的乙烯含量峰值出现在贮藏 30 d 时;贮藏至 50 d 时,LED 红绿复合光处理的乙烯含量为 16.78 $\mu\text{L}/(\text{kg}\cdot\text{h})$,LED 红蓝复合光处理的乙烯含

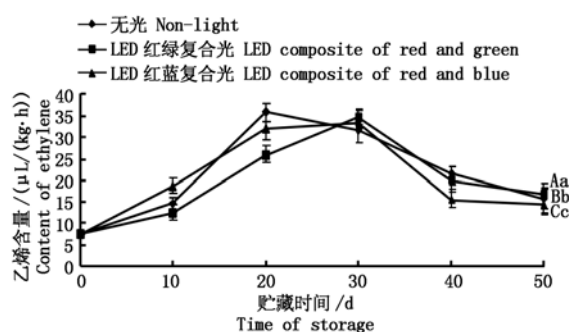


图 5 LED 混合光对贮藏期西兰花乙烯含量的影响

Fig. 5 Effect of LED composite light on ethylene content of broccoli during storage

量为 $14.36 \mu\text{L}/(\text{kg}\cdot\text{h})$, 两处理分别与无光处理 $15.87 \mu\text{L}/(\text{kg}\cdot\text{h})$ 相比, 差异不显著 ($P > 0.05$), 这说明, LED 复合光处理可以延缓乙烯含量峰值出现的时间, 但在贮藏结束时, 3 个处理差异不显著。

2.6 LED 复合光对贮藏期西兰花丙二醛含量的影响

丙二醛 (MDA) 是生物膜系统脂质过氧化的产物之一, 其含量可以反映脂质过氧化强度和膜系统伤害程度。MDA 含量增加也是果蔬衰老的重要标志^[1]。从图 6 可以看出, 在整个贮藏过程中, 3 组处理下的西兰花 MDA 含量都呈现上升趋势, LED 红蓝复合光处理的 MDA 含量低于无光处理, LED 红绿复合光处理与无光处理变化趋势基本一致; 在贮藏至 50 d 时, 对照处理的 MDA 含量为 $9.21 \mu\text{mol/L}$, LED 红绿复合光的 MDA 含量为 $8.95 \mu\text{mol/L}$, 略低于无光处理, 但与无光处理相比差异不显著 ($P > 0.05$), LED 红蓝复合光的 MDA 含量为 $7.65 \mu\text{mol/L}$, 与无光处理相比差异显著 ($P < 0.05$)。由此可以看出, LED 红蓝复合光处理可以减缓 MDA 含量的产生, 有效抑制西兰花贮藏过程中的膜脂过氧化进程。

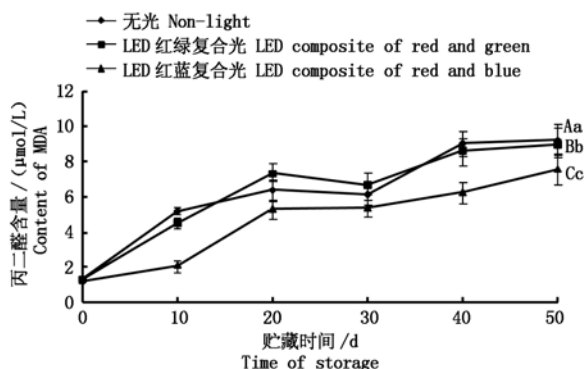


图 6 LED 复合光对西兰花低温贮藏期间 MDA 含量的影响

Fig. 6 Effect of LED composite light on malondialdehyde content of broccoli during storage

3 讨论与结论

光是植物光合作用和获取能量的主要环境因子, 是植物光合产物形成的基础, 决定植物的光合产物和生理变化^[29]。植物对光可吸收的波长主要集中在蓝紫光 (450 nm) 和红橙光段 (波长 660 nm), 但不同植物适应的光质都不尽相同。西兰花喜欢光照充足, 要求中等光照强度^[30], 本研究发现间歇式 LED 红蓝复合光处理有助于保持西兰花外观品质, 防止叶绿素含量的快速下降, 无光处理的叶绿素含量下降速度较快可能是因为西兰花在没有光条件下, 体内叶绿体发育不良, 叶绿素快速降解, 导致叶绿素含量降低, 西兰花对外表现失绿、黄化。LED 红绿复合光处理的叶绿素含量下降速度低于无光处理而

高于 LED 红蓝复合光处理, 可能是因为 LED 红绿复合光处理下, 西兰花光合作用所需要有效光质较弱, 从而使西兰花利用光的能力下降, 光合作用虽然有所进行, 但速度明显降低, 从而影响体内叶绿素含量下降, 本研究采用的 LED 红蓝复合光与西兰花光合作用可吸收波长的光质和光能要求相符, 从而使西兰花在较大程度上继续光合作用和生理作用, 减缓了光合物质含量的下降速度, 从而与无光处理相比表现出更好的外观品质。

在西兰花的贮藏期间, 温度、湿度、光照条件和气体成分均会影响果蔬中 V_c 含量的变化, 研究表明, 在相同的贮藏温湿度、气体成分条件下, LED 复合光处理对贮藏期间西兰花 V_c 含量的变化有较大影响, LED 红蓝复合光处理显著抑制了西兰花中 V_c 含量的快速下降, 这可能是因为离体西兰花在 LED 红蓝复合光处理下能继续进行相应的光合作用, 促进了西兰花体内 V_c 合成前体物质——己糖 (例如果糖和葡萄糖) 含量的增加, 从而能进一步促进离体西兰花体内 V_c 含量的合成, 这种推断与詹丽娟等^[30]和 Noichinda 等^[19]的研究结果一致。

本研究中, 西兰花的 MDA 含量呈现不断上升趋势, 说明贮藏期的西兰花组织细胞受到破坏, 内部的多糖、果胶和大分子物质降解, 细胞的膨压减小, 加速了西兰花的衰老^[1]。LED 红蓝复合光处理能有效抑制西兰花体内这些大分子物质的降解, 从而减缓了丙二醛含量的积累, 减少了对西兰花的伤害, 在一定程度上延缓了西兰花的衰老进程。乙烯作为一种植物激素, 能促进果蔬的衰老。西兰花贮藏过程中, 乙烯的释放量呈现先上升后下降的趋势, 其原因可能是西兰花贮藏过程中, 诱发乙烯生物合成加快, 短时间内乙烯释放量迅速上升, 随后逐渐下降, 而 LED 红蓝复合光处理有效抑制了西兰花乙烯的释放量, 推迟乙烯释放量高峰的出现, 延缓果实的衰老。这可能是因为 LED 红蓝复合光处理降低了乙烯合成酶的活性, 从而导致了乙烯释放量的延迟和降低, 这种推断与姜爱丽等^[31]的研究结果一致, 但具体原因还需进一步研究确认。西兰花在常规的低温无光贮藏条件下贮藏至 30 d 左右时会出现呼吸跃变, 从而导致西兰花体内有机大分子物质消耗加快, 加速西兰花的衰老, 缩短其贮藏保鲜期。LED 红蓝复合光处理延迟了西兰花呼吸跃变时间 10 d 左右, 并且降低了呼吸强度的峰值, 这可能与 LED 红蓝复合光处理诱导了呼吸作用前体物质的合成, 减少了呼吸消耗有关。

综合本研究结果可以看出, 采用 LED 红蓝复合

光处理对西兰花贮藏保鲜具有较好的效果,不仅维持了西兰花正常的外观品质,防止了营养物质的快速流失,延缓了西兰花贮藏期间的衰老进程及膜脂过氧化程度,与常规的西兰花低温(5℃)无光处理相比较,可延长西兰花贮藏期 10~15 d 左右。

参考文献:

- [1] 高 雪,杨绍兰,王 然,等.近冰温贮藏对鲜切西兰花保鲜效果的影响[J].中国食品报,2013,13(8):140-146.
- [2] Guo yan-yin, Gao zhao-yin, Li ling, *et al.* Effect of controlled atmospheres with varying O₂/CO₂ levels on the postharvest senescence and quality of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) florets[J]. *Eur Food Res Technol*, 2013, 237: 943-950.
- [3] Qin fei-fei, Wang cheng-rong, Wang ran, *et al.* Regulation of endogenous hormones on post-harvest senescence in transgenic broccoli carrying an antisense or a sense BO-ACO₂ gene[J]. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 2009, 7(2): 594-598.
- [4] 王 蓉,何 磊.西兰花中的抗癌成分及其活性的初步研究[J].食品科学,2009,30(7):243-245.
- [5] Rod B J, John D F, Sonja W. A review of the influence of postharvest treatments on quality and glucosinolate content in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) heads[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2006, 41(1): 1-8.
- [6] Maria L L, Pedro M C, Alicia R C, *et al.* Effect of combined treatment with hot air and UV-C on senescence and quality parameters of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L var *italica*) [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 48(1): 15-21.
- [7] Leja M, Mareczek A, Starzynska A, *et al.* Antioxidant ability of broccoli flower buds during short-term storage[J]. *Food Chemistry*, 2001, 72(2): 219-222.
- [8] Ma gang, Wang ran, Wang cheng-rong, *et al.* Effect of 1-methyl cyclopropene on expression of genes for ethylene biosynthesis enzymes and ethylene receptors in post-harvest broccoli[J]. *Plant Growth Regul*, 2009, 57(3): 223-232.
- [9] Ma gang, Wang ran, Wang cheng rong, *et al.* Effect of 1-methylcyclopropene on the antioxidant enzymes of broccoli flower buds senescencing during storage[J]. *Japan Crop Sci*, 2007, 224(9): 274-275.
- [10] 白宝璋,靳占钟,李德春.植物生理生化测试技术[M].北京:中国科学技术出版社,1995:106-107.
- [11] 徐斐燕,蒋高强,陈健初.臭氧在鲜切西兰花保鲜中应用的研究[J].食品科学,2006,27(5):254-257.
- [12] Zhang li-kui, Lu zhao-xin, Yu zhi-fang, *et al.* Preservation of fresh-cut celery by treatment of ozonated water[J]. *Food Control*, 2004, 16: 279-283.
- [13] 韩俊华,周君一,牛天贵,等.乙醇对鲜切西兰花抗氧化酶及叶绿体超微结构的影响[J].食品科学,2008,29(3):283-287.
- [14] Makhlof J F, Castaigen J, Arul C, *et al.* Long term storage of broccoli under controlled atmosphere[J]. *Hort Science*, 1989, 24(6): 637-639.
- [15] Zhuang H. Packaging influenced total chlorophyll, soluble protein, fatty acid composition and lipoxygenase activity in broccoli florets [J]. *J Food Science*, 1994, 59(10): 1171-1174.
- [16] Ku V V V, Wills R B H. Effect of 1-methylcyclopropene on the storage life of broccoli [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 1999, 17(2): 127-132.
- [17] Guzel-Seydim Z B, Greene A K, Seydim A C. Use of ozone in the food industry[J]. *Lebensm-Wiss u-Technol*, 2004, 37: 453-460.
- [18] Buchert A M, Gomezl M E, Villarreal N M, *et al.* Effect of visible light treatments on postharvest senescence of broccoli (*Brassica oleracea* L.) [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2011, 91(2): 355-361.
- [19] Noichinda S, Bodhipadma K, Mahamontri C, *et al.* Light during storage prevents loss of ascorbic acid, and increases glucose and fructose levels in Chinese kale (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*) [J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2007, 44(3): 312-315.
- [20] Manzocco L, Quarta B, Dri A. Polyphenoloxidase inactivation by light exposure in model systems and apple derivatives[J]. *Innovative Food Scienc Emerging Technologies*, 2009, 10(4): 509-511.
- [21] 石建新,安秀章,张立新,等.采后照光处理对富士苹果着色及贮藏的影响[J].果树科学,2000,17(3): 170-174.
- [22] Martinez-sanchez A, Tudela J A, Luna C, *et al.* Low oxygen levels and light exposure affect quality of fresh-cut Romaine lettuce[J]. *Postharvest Biology and Technology*, 2011, 59(1): 34-42.
- [23] Sanz S, Olarte C, Ayala F. The response to lighting of minimally processed chard: Influence on its shelf life [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2008, 88(9): 1622-1631.
- [24] Lester G E, Makus D J, Hodges D M. Relationship between fresh-packaged spinach leaves exposed to continuous light or dark and bioactive contents: effects of cultivar, leaf size, and storage duration [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2010, 58(5): 2980-2987.
- [25] 孙树杰,王士奎,李文香,等.中草药提取液对鲜切西兰花保鲜效果的影响[J].食品科学,2012,33(6): 283-287.
- [26] 张 怡,关文强,张 娜,等.温度对西兰花抗氧化活性及其品质指标影响[J].食品研究与开发,2011,32(8): 156-161.
- [27] 程顺昌,冷俊颖,任小林,等.不同环丙烯类乙烯抑制剂对苹果常温贮藏保鲜效果的影响[J].农业工程学报,2012,28(6): 269-273.
- [28] 林本芳,鲁晓翔,李江阔,等.冰温贮藏对西兰花保鲜的影响[J].食品工业科技,2012,3(19): 312-316.
- [29] 杨雅婷. LED 光质(R/B)处理对甘薯组培苗品质及节能效果的影响[J].北京:中国农业科学院,2010.
- [30] 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.
- [31] 姜爱丽,马 艳,胡文忠,等.切割伤害对油桃果实后熟软化及乙烯合成的影响[J].食品科学,2010,31(2): 264-268.