光照处理提高鲜切西兰花贮藏品质

詹丽娟[1]，魏国强[2]，乔明武[1]，王慧荣[1]
(1.河南农业大学食品科学技术学院，河南 郑州 450002；2.河南省农业厅土壤肥料站，河南 郑州 450002)

摘 要：为减缓鲜切西兰花贮藏期间品质下降，延长贮藏期，运用分光光度法研究连续光照处理(2000 lx)对鲜切西兰花低温贮藏期间品质变化的影响。结果表明，和黑暗对照相比，光照处理显著减缓鲜切西兰花贮藏期间叶绿素降解和黄化发生率，维持类胡萝卜素、可溶性固形物和抗坏血酸含量，从而使其保持较高的抗氧化力。然而，光照处理显著促进鲜切西兰花鲜质量损失。

关键词：光照；西兰花；品质；鲜切

Quality Improvement of Fresh-Cut Broccoli (*Brassica Oleracea L.*) during Storage by Light Illumination

ZHAN Li-juan[1]，WEI Guo-qiang[2]，QIAO Ming-wu[1]，WANG Hui-rong[1]
(1. College of Food Science and Technology, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China；
2. Station of Soil and Fertilizer, Henan Agricultural Department, Zhengzhou 450002, China)

Abstract：In this study, the effect of continuous light illumination at 2000 lx on the quality of fresh-cut broccoli during 7 days of cold storage was investigated by spectrophotometry. The results indicated that light illumination significantly alleviated chlorophyll degradation and yellowing occurrence during storage, and meanwhile could maintain carotenoids, total soluble solid and vitamin C contents as well as antioxidant capacity of fresh-cut broccoli during storage. However, light illumination also induced more weight loss of fresh-cut broccoli during the whole storage compared with dark storage.

Key words：light illumination；broccoli；quality；fresh-cut
中图分类号：TS255 文献标识码：A 文章编号：1002-6630(2012)14-0296-05

鲜切果蔬作为一种新型果蔬加工产品既保持果蔬原有的脆嫩口感和新鲜状态，又方便、营养和健康，不仅满足当今消费者对新鲜天然、安全方便和营养健康食品的需求，而且满足快餐业、餐饮业、军事后勤供给等特殊需要，逐渐成为果蔬消费的主流，是我国今后果蔬加工业发展的主要方向之一[1-2]。

西兰花又名绿菜花、青花菜，属十字花科芸苔属，其采后极易衰老，整株西兰花在常温条件下贮藏2～3d就开始变黄[3]。鲜切西兰花贮藏期间更容易出现褪绿、黄化、腐烂和品质劣变等问题，主要表现为叶绿素降解而使花球黄化，茎和花蕾失去充盈态而变松散，营养品质下降，保鲜期缩短[4]，难以满足市场需求。为此，学者们研究各种物理方法如臭氧、射线等[3-4]和化学方法如乙醇[5]对鲜切西兰花进行保鲜，并取得了良好的保鲜效果，但这些处理方法往往都存在不足之处，如投资大、能耗高、有化学残留、对环境造成污染等，不能满足现代消费者对廉价安全、环保型食品的需求。因此，寻求成本低廉、安全有效和对环境友好的保鲜方法已成为当前鲜切果蔬研究热点。

光照处理是当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[6-7]。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[8]。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[9]。Noichinda等[6]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。连续光照提高菠菜贮藏期间各种生物活性物质含量[10]。然而，国内外有关光照对鲜切西兰花贮藏期间品质的影响少见报道，因此，本实验以鲜切西兰花为实验材料，研究2000 lx强度的光照处理对其贮藏期间营养品质的影响，以期为控制鲜切西兰花采后衰老黄化、品质下降提供参考依据，也为鲜切西兰花工业实际生产提供新的保鲜方法。

收稿日期：2012-03-14
作者简介：詹丽娟(1978—)，女，讲师，博士，研究方向为果蔬采后贮藏保鲜与加工。E-mail：ljzhan@hotmail.com

1 材料与方法

1.1 材料及处理

新鲜西兰花(*Brassica oleracea* L. var. *italica*)购于当地蔬菜批发市场，购买后立即运至实验室，挑选无病虫害、成熟度、大小一致的花球，去除老化花茎等不可食用部分，清洗后沥干水分，用锋利的刀将其切分成直径3～4cm的小花球。切分后的小花球，用0.02mL/100mL的次氯酸钠溶液浸泡消毒1min沥干。沥干后的材料约300g单层平铺在用次氯酸钠溶液消毒过塑料托盘中，再用厚度为0.04mm的聚乙烯薄膜包装后热封口。封口后的样品随机放入冷藏柜中进行光照处理。光照条件的设置通过增加冷藏柜中荧光灯数量和调整样品离荧光灯距离，使到达样品表面的光照强度为(2000 ± 2)lx，光照周期为连续，以黑暗条件(0.2 lx)为对照，贮藏温度为4℃，分别在贮藏前(0d)和贮藏后的1、3、5、7d取样分析测定相关参数。

1.2 试剂与仪器

丙酮、2,6-二氯靛酚、硫酸亚铁 河南省华丰化学试剂有限公司；TPTZ(三吡啶三丫嗪) 海源叶生物科技有限公司。

科美瑞冷藏柜 郑州科美瑞商用冷柜有限公司；台湾泰仕照度计-TES1332A 郑州金扬光仪器设备有限公司；T6新世纪紫外可-见分光光度计 北京普析通用仪器有限责任公司；台式高速冷冻离心机 力康发展有限公司。

1.3 方法

1.3.1 色素含量的测定

叶绿素和类胡萝卜素含量测定采用丙酮提取法，称取50g新鲜样品，低温匀浆后取1g匀浆，加入50mL 80mL/100mL丙酮溶液，低温避光提取过夜，至材料完全变成无色。提取液过滤后分别在662、645nm和470nm波长测定其吸光度，根据Lichtentaler等[11]方法计算叶绿素和类胡萝卜素含量。结果鲜质量中叶绿素和类胡萝卜素质量表示，单位mg/100g。总叶绿素含量为叶绿素a与叶绿素b之和。

1.3.2 黄化指数的测定

黄化指数的测定参照Olarte等[12]颜色评价标准和Peng等[13]褐变指数计算方法略有改动。

黄化指数＝Σ(黄化级别×黄化样品数目百分比)

式中：黄化级别的判断为：0为深绿色，颜色一致，无黄化；1为绿色，点黄化(点黄化是每个大花球上约有5～10处黄点，每个黄点有2～4个小花蕾变黄，所有点黄化面积之和小于总花球面积的1/10)(＜1/10)；2为轻微黄化(1/10～1/5)；3为中度黄化(1/5～1/4)；4为中度-严重黄化(1/4～1/2)；5为严重黄化(＞1/2)；黄化指数大于2的样品被认为黄化程度比较严重，为市场不可接受。

1.3.3 可溶性固形物含量

将样品研磨成汁液后，取汁液滴于手持折光仪测定其可溶性固形物含量。

1.3.4 维生素含量的测定

VC用2,6-二氯靛酚滴定法，结果以mg/100g表示。

1.3.5 抗氧化力测定

参照Benzie等[14]的方法，称取50g新鲜样品，匀浆后取3g匀浆液，加入10mL甲醇，超声波提取60min，4℃、10000×*g*离心10min，收取上清液，剩余残渣按照相同方式和条件提取两次，合并上清液。取50μL上清液加入1.95mL TPTZ(三吡啶三丫嗪)工作液(由0.3mol/L醋酸缓冲液25mL、10mmol/L TPTZ溶液2.5mL、20mmol/L $FeCl_3$溶液2.5mL组成)，混匀后37℃反应10min，测定593nm处吸光度，以100～1000μmol/L $FeSO_4$为标准样品，抗氧化力值用达到同样吸光度所需的$FeSO_4$微摩尔数表示。

1.3.6 质量损失率的测定

质量损失率测定采用称量法。

$$\text{质量损失率}/\% = \frac{\text{贮藏前质量} - \text{贮藏后质量}}{\text{贮藏前质量}} \times 100$$

1.3.7 光照条件

以上提取测定除特殊说明外，都在实验室光照条件下(约200 lx)下进行。

1.4 统计分析

实验数据采用SPSS(版本11.0)进行单因素方差分析，在0.05水平上进行差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 光照对色素含量的影响

结果显示，在整个贮藏期间，光照处理样品中叶绿素a含量显著高于黑暗对照样品，表明光照能够有效保存鲜切西兰花贮藏期间叶绿素a含量(图1A)。在光照处理的样品中，叶绿素a含量在贮藏初期迅速上升，以后随着贮藏时间的延长，其含量几乎保持恒定。而在黑暗贮藏的样品中，叶绿素a含量随着贮藏时间的延长显著下降，贮藏7d后，其含量下降了19.3%。和叶绿素a变化不同，叶绿素b含量在光照和黑暗条件下都显著下降，光照处理显著减缓叶绿素b含量下降。在贮藏末期，光照处理的样品中叶绿素b含量下降了26.6%，而在黑暗贮藏的样品中，叶绿素b含量下降了59.5%(图1B)。总叶绿素含量是叶绿素a与叶绿素b含量之和，总叶绿素含量与叶绿素a变化相似，在整个贮藏期间，光

照处理样品中总叶绿素含量显著高于黑暗处理的样品，可能主要由叶绿素 a 含量的增加所致。在光照处理的样品中，总叶绿素含量在贮藏的第 1 天、第 3 天显著增加，以后几乎保持不变，而在黑暗贮藏的样品中，总叶绿素含量显著下降，在贮藏末期，其含量下降了 32.5%(图 1C)。光照显著影响鲜切西兰花中类胡萝卜素含量(图 2A)。在光照条件下，随着贮藏时间的延长，类胡萝卜素含量保持不变。而黑暗贮藏条件下，类胡萝卜素含量在贮藏第 3 天显著降低。

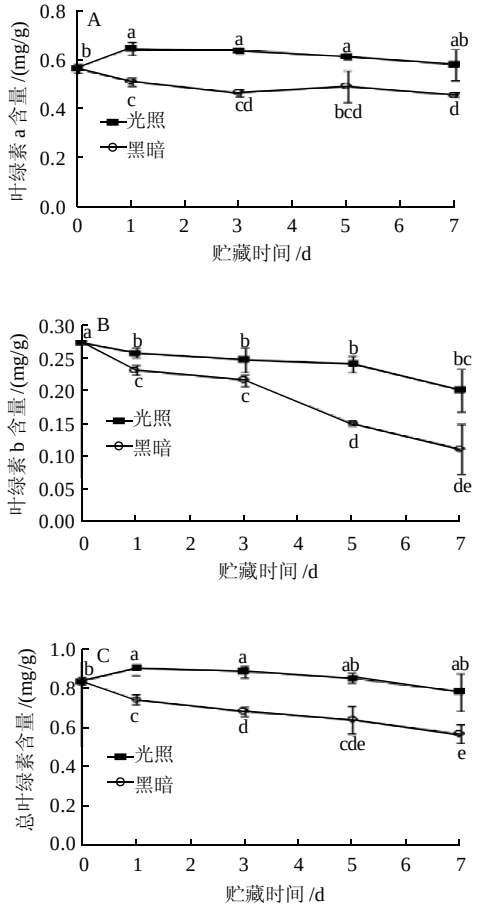

图 1 光照处理对鲜切西兰花叶绿素 a(A)、叶绿素 b(B)和总叶绿素(C)含量的影响

Fig.1 Effect of light illumination on chlorophyll a (A), chlorophyll b (B) and total chlorophyll (C) contents of fresh-cut broccoli during 7 days storage

颜色是鲜切果蔬主要感官品质之一，也是消费者选择鲜切产品的主要标准。鲜切西兰花主要食用部分为其幼嫩花蕾，其在贮藏过程中极易衰老退绿，其主要原因是叶绿素降解所致。本研究结果表明，和黑暗处理相比，2000 lx 光照处理显著减缓鲜切西兰花色素尤其是叶绿素 a 和总叶绿素含量下降，较好地保存了产品的颜色。相似的结果在中国羽衣甘蓝中也见报道[7]。这可能是由于光照条件下，幼嫩的花蕾在一段时间内仍然进行光和作用，合成一定量色素，从而补充因贮藏衰老而降解的色素。此外，增加的叶绿素 a 含量还可能来至于叶绿素 b 降解转化，因为叶绿素 b 在降解过程中，先转化成叶绿素 a[15-16]。

2.2 光照对黄化指数的影响

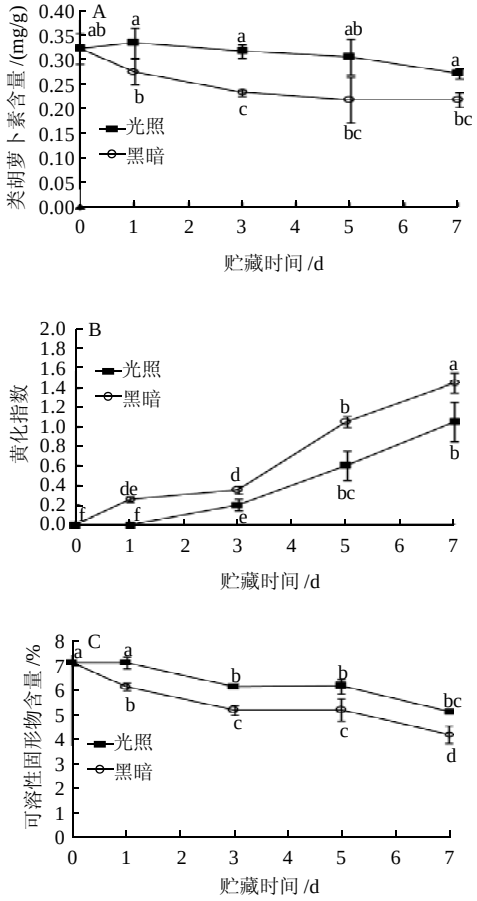

图 2 光照处理对鲜切西兰花类胡萝卜素(A)、黄化指数(B)和可溶性固形物(C)的影响

Fig.2 Effect of light illumination on carotenoids(A), yellowing index (B) and total soluble solid content (C) of fresh-cut broccoli during 7 days storage

由图 2B 知，和黑暗贮藏条件相比，光照处理显著降低鲜切西兰花黄化指数。光照条件下，鲜切西兰花在贮藏的第 1 天未见任何黄化现象(黄化指数为 0)，这和 2.1 节中所测定的叶绿素含量变化结果一致。以后随着贮藏时间的延长，黄化指数显著上升。而在黑暗贮藏的样品黄化指数在贮藏第 1 天就显著增加，表明样品在贮藏初期就出现黄化现象，以后随着贮藏时间的延长，黄化指数显著上升。在贮藏末期，黑暗贮藏样品的黄化指数达到 1.45，是光照贮藏条件下样品黄化指数的 1.38 倍，因此，贮藏期间适当的光照处理有利于鲜切西兰花颜色的保存，延缓其黄化发生。

2.3 光照对可溶性固形物含量的影响

可溶性固形物是果蔬中所有溶解于水糖、酸、维生素、矿物质等的化合物的总称。光照和黑暗贮藏条件下，鲜切西兰花中可溶性固形物含量均显著下降，但光照处理显著减缓其含量下降(图 2C)。贮藏在光照条件下样品中可溶性固形物含量在贮藏第 3 天显著下降，而黑暗条件下贮藏样品中可溶性固形物含量在贮藏第 1 天显著下降。在贮藏末期，光照和黑暗处理的样品中可溶性固形物含量由最初的 7.1% 下降到 5.1% 和 4.2%，分别下降了 28.2% 和 40.8%。可溶性固形物是果蔬呼吸代谢的主要底物，光照处理能降低离体西兰花呼吸强度，减缓其呼吸代谢[17]，因此减少呼吸底物的消耗，从而导致较高的可溶性固形物含量。此外，在贮藏初期，光照处理可能导致绿色蔬菜进行光合作用，积累 VC，糖类等营养物质[7]，这些营养物质可直接导致可溶性固形物含量的增加。

2.4 光照对 VC 含量的影响

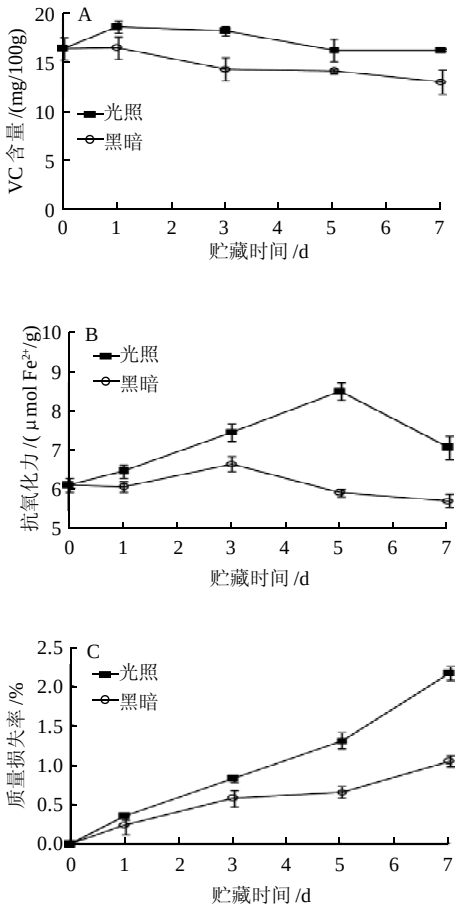

图 3 光照处理对鲜切西兰花 VC(A)、抗氧化力(B)和质量损失率(C)的影响

Fig.3 Effect of light illumination on vitamin C (A), antioxidant (B) capacity and weight loss (C) of fresh-cut broccoli during 7 days storage

在整个贮藏期间，光照处理样品中 VC 含量显著高于黑暗对照样品(图 3A)。在贮藏初期，光照处理显著增加样品中 VC 含量，以后随着贮藏时间的延长其含量保持不变。黑暗贮藏条件下，样品中 VC 含量随着贮藏时间的延长逐渐下降，在贮藏第 5 天显著降低，即由最初的 16.4mg/100g 下降到 14.1mg/100g，下降了约 14%。在贮藏末期，光照处理样品中 VC 含量是黑暗处理样品中的 1.2 倍。VC 是果蔬中对人体有益的重要营养物质之一，人体所需的 VC 90% 以上来源于新鲜的水果蔬菜[18]。而且研究表明，VC 具有清除自由基作用，是很好的抗氧化剂。贮藏期间温度、湿度、光照条件和气体成分等因素都会影响果蔬中 VC 含量的变化[19]。本研究表明贮藏期间光照处理显著阻止鲜切西兰花 VC 含量下降，可能是因为离体西兰花短期内在光照条件仍能继续进行光合作用，合成少量的 VC。这种推测与 Noichinda 等[6]研究结果一致，该研究发现贮藏期间光照处理能维持中国芥蓝 VC 含量，主要原因是光照处理增加 VC 合成前体物质——已糖(例如果糖和葡萄糖)含量。

2.5 光照对抗氧化力的影响

光照处理显著影响鲜切西兰花抗氧化力，光照贮藏条件下，样品中抗氧化力在贮藏 1 天后显著增加，在第 5 天达到最大值，增加了约 40%，以后又显著下降。而黑暗条件下贮藏的样品中抗氧化力几乎保持不变，只在贮藏第 3 天增加约 9%，此后又下降到最初值。在整个贮藏期间，光照处理样品中抗氧化力都显著高于黑暗对照样品(图 3B)。果蔬中抗氧化力主要来源于一些具有生物活性的营养物质，如 VC，类胡萝卜素和多酚等[20]。尤其是十字花科蔬菜富含 VC，类胡萝卜素和多酚，拥有较高的抗氧化力[21]。因此，光照导致鲜切西兰花较高的抗氧化力可能主要因为光照处理使样品保持较高的 VC(图 3A)和类胡萝卜素含量(图 2A)。

2.6 光照对质量损失率的影响

鲜切西兰花随着贮藏时间的延长质量损失率显著升高。和黑暗相比，光照处理从贮藏第 3 天开始显著加速鲜切西兰花质量损失率(图 3C)。在贮藏第 7 天，光照和黑暗处理的样品质量损失率分别上升到 1.8% 和 1.1%。这与 Noichinda 等[7]研究结果一致，该作者发现光照和黑暗处理导致中国芥蓝在贮藏第 10 天质量损失率分别为 3.9% 和 1.8%。Martínez-Sánchez 等[22]研究也表明连续光照处理导致鲜切生菜 0.8% 的质量损失率，而黑暗处理的质量损失率则为 0.4%。一般蔬菜含水量都在 90% 以上，因此即使是少量的失水也会引起蔬菜组织萎蔫，尤其对一些幼嫩的叶菜类和花菜类，超过 2% 的失水会导致产品失去商品价值[23]。鲜切蔬菜质量损失主要是由组织的呼吸作用和蒸腾作用引起的。呼吸作用通过氧化分解呼吸底物，生成二氧化碳和水释放出去，从而导致样品

质量下降。而陈存坤等[17]研究表明光照处理抑制离体西兰花呼吸强度，降低其呼吸代谢作用，因此光照引起鲜切西兰花质量损失率增加可能主要是由蒸腾作用引起的。蒸腾作用主要通过组织表面气孔开张释放水分，研究表明光照处理显著增加果蔬组织表面气孔张开数目，加速鲜质量丢失[22]。Sanz等[24]研究发现光照条件下，新鲜蔬菜质量损失率和其表皮气孔张开数目正相关，因此，我们推测光照加速鲜切西兰花鲜质量丢失可能主要通过诱导其表皮气孔张开，加速水分和气体丢失，但其真正原因和机理还有待于进一步研究。

3 结 论

本实验结果表明，和黑暗对照相比，2000 lx强度光照处理显著保存鲜切西兰花贮藏品质，即维持其叶绿素含量，降低黄化率；同时维持较高的VC、可溶性固形物和类胡萝卜素含量，保持较高的抗氧化力，然而，光照处理导致鲜切西兰花较高的质量损失率。综上，贮藏期间适当强度的光照处理能提高和保持鲜切西兰花贮藏品质，本实验结果对鲜切西兰花贮运保鲜具有重要的现实意义。然而，如果要进行长期贮藏保鲜，还需与其他保鲜方法如气调包装等技术结合起来，以达到令人满意的效果。尤其是要选择适当透性包装材料，增加产品贮藏环境湿度，从而减少水分丢失，保持鲜切产品新鲜度。

参考文献：

[1] 黄光荣. 切割果蔬保鲜[J]. 食品科技, 2000, 25(3): 29-30.

[2] 胡文忠. 鲜切果蔬科学与技术[M]. 北京: 北京化学工业出版社, 2009.

[3] 庄荣福, 胡维冀, 林光荣, 等. 辐照对青花菜生理生化指标及保鲜效果的影响[J]. 亚热带植物科学, 2002, 31(3): 16-18.

[4] 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.

[5] 韩俊华, 周君, 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.

[6] 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.

[7] BÜCHERT A M, GÓMEZ L 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.

[8] 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.

[9] 石建新, 安秀章, 张立新, 等. 采后照光处理对富士苹果增色及贮藏的影响[J]. 果树科学, 2000, 17(3): 170-174.

[10] 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.

[11] LICHTENTHALER H J, WELLBURN A R. Determination of total carotenoids and chlorophyll A and B of leaf in different solvents[J]. Biochemical Society Transactions, 1983, 11: 591-592.

[12] OLARTE C SANZ, S, ECHÁVARRI J F. et al. Effect of plastic permeability and exposure to light during storage on the quality of minimally processed broccoli and cauliflower[J]. LWT- Food Science and Technology, 2009, 42(1): 402-411.

[13] PEN Litao, JIANG Yuming. Effects of chitosan coating on shelf life and quality of fresh-cut Chinese water chestnut[J]. LWT- Food Science and Technology, 2003, 36(3): 359-364.

[14] BENZIE I F F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "Antioxidant Power": the FRAP assay[J]. Anally Biochemistry, 1996, 239(1): 70-76.

[15] TANAKA A. TANAKA Y, TAKABE T, et al. Calcium induced accumulation of apoproteins of the light-harvesting chlorophyll a/b protein complex in cucumber cotyledons in the dark[J]. Plant Science, 1995, 105(2): 189-194.

[16] SCHEUMANN V, SCHOCH S, RÜDIGER W. Chlorophyll b reduction during senescence of barley seedlings[J]. Planta, 1999, 209(3): 364-370.

[17] 陈存坤, 贾凝, 王文生. 不同光照条件对几种类型蔬菜呼吸强度变化的影响[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(6): 29-32.

[18] LEE S K, KADER A A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops[J]. Postharvest Biology and Technology, 2000, 20(3): 207-220.

[19] KLEIN B P. Nutritional consequences of minimal processing of fruits and vegetables[J]. Journal of Food Quality, 1987, 10(3): 179-193.

[20] KALT W. Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants[J]. Journal of Food Science, 2005, 70(1): 11-19.

[21] AHMED S, BEIGH S H. Ascorbic acid, carotenoids, total phenolic content and antioxidant activity of various genotypes of *Brassica oleracea encephala*[J]. Journal of Medicine Biology and Science, 2009, 3(1): 1-8.

[22] MARTÍNEZ-SÁNCHEZ 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] WILEY R C. Minimally processed refrigerated fruits & vegetables[M]. New York: Chapman and Hall, 1997.

[24] 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.