

不同颜色光对野菊花色素溶液稳定性及类胡萝卜素含量的影响

申海进^{1,2}, 郭巧生^{1,①}, 李育川³, 房海灵⁴

(1. 南京农业大学中药材研究所, 江苏 南京 210095; 2. 常州卫生高等职业技术学校药理学组, 江苏 常州 213000;
3. 昆明学院, 云南 昆明 650214; 4. 江西省林业科学院, 江西 南昌 330032)

摘要: 在黑暗(对照)、红光、绿光、蓝光、黄光和白光条件下,对来源于野菊[*Dendranthema indicum* (Linn.) Des. Moul.]头状花序乙醚提取物的色素溶液中类胡萝卜素含量及色价和色差的变化进行了研究,并对色价和色差与贮藏时间的相关性进行了分析。结果表明:在不同颜色光照条件下,随贮藏时间(0~50 d)的延长,溶液中类胡萝卜素含量及412、436和468 nm特征波长下溶液的色价均呈逐渐下降的趋势,溶液的色彩参数(L^* 、 a^* 和 b^*)则呈现不同的变化规律。贮藏前后类胡萝卜素含量差异极显著($P<0.01$)且与贮藏时间呈显著负相关;在贮藏至50 d时,在红光、蓝光、白光、黄光、绿光和黑暗条件下类胡萝卜素含量降幅依次为98.97%、98.33%、95.10%、92.30%、80.38%和17.02%。贮藏10~50 d溶液色价均显著小于起始色价($P<0.05$),其中,在黑暗条件下色价的变化均最小且显著高于其他处理组,而在红光照射下色价降幅最大。在黑暗条件下,溶液亮度增加、色彩变化不明显;而在其他颜色光照条件下,色素溶液均由绿转红、由黄向蓝转变,且与对照相比 a^* 值显著增大、 b^* 值显著降低($P<0.05$),但溶液亮度总体上无显著差异($P>0.05$)。在0~50 d的贮藏期内,溶液的色价和色差与储藏时间均呈线性关系,溶液的褪色规律均符合一次降解曲线。研究结果显示:野菊花所含的类胡萝卜素类色素对红光、绿光、蓝光、黄光和白光均较敏感,光照时间越长分解越激烈;在实际应用过程中这类色素应避免光保存。

关键词: 野菊花; 色素溶液; 类胡萝卜素含量; 光照处理; 色价; 色差

中图分类号: Q946.8; S682.1+101 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2013)04-0076-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2013.04.11

Effect of different color lights on stability and carotenoids content in pigment solution from *Dendranthema indicum* flower SHEN Haijin^{1,2}, GUO Qiaosheng^{1,①}, LI Yuchuan³, FANG Hailing⁴
(1. Institute of Chinese Medicinal Materials, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Department of Pharmacy, Changzhou Health College, Changzhou 213000, China; 3. Kunming University, Kunming 650214, China; 4. Jiangxi Academy of Forestry, Nanchang 330032, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2013, 22(4): 76-82

Abstract: Under darkness (the control) and red, green, blue, yellow and white lights, changes of carotenoids content, color value and color difference in pigment solution from ether extracts of capitulum of *Dendranthema indicum* (Linn.) Des. Moul. were studied, and also, correlation of color value and color difference with storage time was analyzed. The results show that under different color lights, carotenoids content in solution and color value of solution under wavelength of 412, 436 and 468 nm all appear the gradual downward trend with prolonging of storage time (0-50 d), while color parameters (L^* , a^* and b^*) of solution have different changing law. There is an obviously significant difference in carotenoids content before and after storage ($P<0.01$), and a significant negative correlation between carotenoids content and storage time. When storage time reaches to 50 d, reduce range of carotenoids content under red, blue, white, yellow and green lights and darkness is in order of 98.97%, 98.33%,

收稿日期: 2013-05-17

基金项目: 国家科技基础条件平台项目(2005DKA21000)

作者简介: 申海进(1981—),男,江苏泰兴人,硕士,讲师,主要从事中药源食品的营养和利用研究。

①通信作者 E-mail: gqs@njau.edu.cn

95.10%, 92.30%, 80.38% and 17.02%. Color value of solution during storage time 10–50 d all is significantly lower than that at the beginning, in which, color value changing under darkness is the smallest and its color value is significantly higher than that under other treatments, while reduce range of color value is the biggest under red light. Under darkness, solution brightness increases and color change is not obvious, while under other color lights, solution color changes from green to red and from yellow to blue, and a^* value increases significantly and b^* value decreases significantly as compared with the control ($P < 0.05$), but solution brightness generally has no significant difference ($P > 0.05$). During storage period of 0–50 d, there is a linear relationship in color value and color difference of solution with storage time, and decoloration regularity of solution is in accordance with the monadic degradation curve. It is suggested that carotenoids pigment in *D. indicum* flower is sensitive to red, green, blue, yellow and white lights, and the longer the illumination time the more sharply the decomposition. And this kind of pigment should be stored under avoiding light during application process.

Key words: *Dendranthema indicum* (Linn.) Des. Moul. flower; pigment solution; carotenoids content; light treatment; color value; color difference

在日常生活中,人们首先通过颜色特征辨别食品质量,并最终决定是否接受该种食品^[1],因而,色泽优劣对食品的可售性和消费者的接受度都有较大影响^[2]。为了补偿或改善加工与储藏过程中食品天然色泽的损失,人们常将着色剂添加到食品中以获得所需的表观颜色^[3]。

野菊花为菊科(Asteraceae)野菊[*Dendranthema indicum* (Linn.) Des. Moul.]的头状花序,属于可用于保健食品的植物制品,其乙醚提取物被证明是一种具有一定抗氧化能力^[4]且安全无毒的植物提取物^[5];该提取物色彩艳丽、色调自然,是与文献[6–7]记载的野菊花黄酮类黄色素截然不同的一类色素,其主要呈色物质为类胡萝卜素成分^[4–5]。类胡萝卜素常显黄色、橙色及红色等颜色^[8],是食品与化妆品制造过程中常用的色素之一^[9]。类胡萝卜素在植物体内较为稳定^[10],但从植物体内提取出来后易发生褪色、褐变、沉淀和降解等变化。

在日常生活中商品销售者会使用不同颜色的灯光照射以衬托食品的颜色,以期激发消费者的购买欲望。而研究表明:光照是类胡萝卜素异构和自氧化的一个重要影响因素^[11]。那么,灯光对野菊花中的类胡萝卜素类色素是否有影响?不同颜色光的影响程度是否有差异?目前尚未有相关的研究报道。

为此,作者以野菊花为研究对象,对不同颜色光照(红光、绿光、蓝光、黄光和白光)处理后野菊花乙醚提取物的色价和色差的变化及其中的类胡萝卜素含量的动态变化进行了分析,探讨这类色素的稳定性,以期对野菊花乙醚提取物作为食品或药品用色素的开发利用提供实验依据。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 野菊花的采集及色素提取 于2007年10月份至11月份在安徽省金寨县采集野菊的头状花序,经南京农业大学郭巧生教授鉴定。采后30 min内将野菊花置于105℃杀青3 min,并于40℃条件下通风干燥后于-20℃密封贮藏备用。

将干燥的野菊花粉碎后过100目筛,粉末用乙醚振荡提取至无色,提取液合并过滤并于40℃条件下旋转蒸发回收溶剂,再经冷冻浓缩,即得深黄色膏状油脂,于-18℃黑暗环境中密封贮藏、备用;提取物的得率为2.15%。供试所有提取物均为同一批次提取获得。

1.1.2 光照处理装置的设置 在自制的正方形暗盒内(40 cm×40 cm×40 cm)悬挂三基色电子节能灯(新世纪牌,双U型、光源功率均为9 W,广东江门天普照明电器厂生产),得到红色(波长范围620~700 nm)、绿色(波长范围490~580 nm)、蓝色(波长范围450~490 nm)、黄色(波长范围580~600 nm)和白色(波长范围400~720 nm)光源。用德图545照度计(德国Testo公司)测定暗盒内各处的光照度,每次各测5点,在实验期间连续测定5次。红色、绿色、蓝色、黄色和白色光源的光照度分别为(130±11)、(518±12)、(141±21)、(374±25)和(338±15) lx,光照度的变化幅度分别为123~143、509~531、121~162、359~402和324~353 lx。实验期间应尽量保持各光源光照度的基本稳定,使暗盒内各点的光照度基本相近。

1.2 方法

1.2.1 光照处理 野菊花乙醚提取物先用乙醚预溶,然后用体积分数60%乙醇配制成质量体积分数0.05%的样品溶液;将样品溶液密封于玻璃瓶中,置于上述暗盒内于不同颜色灯光下接受照射处理,对照则置于黑暗环境中。环境温度为20℃~27℃,每隔10d取样测定类胡萝卜素含量,所有处理均设3次重复。

1.2.2 色素溶液中类胡萝卜素含量测定方法 样液于4℃、6500 r·min⁻¹离心5min;取上清液,用美国PerkinElmer公司产Lambda 25型紫外/可见分光光度计测定波长450nm处的吸光值。以β-胡萝卜素(批号76K70511,纯度≥95%,购自Sigma公司)为标准品,采用外标法对样液中的类胡萝卜素含量进行定量。

1.2.3 色素溶液的色价测定方法 将样品溶液稀释至吸光值0.3~0.8,参照文献[4]的方法,分别在412、436和468nm 3个特征波长下用1cm比色皿测定吸光值,按公式“ $E=A \times f/m$ ”计算溶液色价(式中: E 为样品溶液色价; A 为样品溶液吸光值; f 为样品溶液稀释倍数; m 为深黄色膏状油脂的质量)。

1.2.4 色素溶液的色差测定方法 将样品溶液注入10mm石英槽(自制,比色皿的毛面、底面和上盖均覆盖黑色不透光材料;光面则覆盖白色不透光材料,并在其中一面的中部留1个与仪器扫描口等大的圆孔),采用CR400型色彩色差计(日本Konica Minolta公司)读出溶液色彩的 L^* 、 a^* 和 b^* 值。按公式“ $\Delta E = \sqrt{(L^* - L)^2 + (a^* - a)^2 + (b^* - b)^2}$ ”计算溶液色差(式中: L^* 、 a^* 和 b^* 分别为样品溶液的测定值; L 、 a 和 b 分别为空白液的测定值,分别为43.50、0.93、1.77)。

1.3 数据处理

采用SPSS 17.0统计分析软件进行实验数据的统计和分析。

2 结果和分析

2.1 溶液中类胡萝卜素含量的变化分析

经不同颜色光照处理后野菊花色素溶液中类胡萝卜素含量的动态变化见图1。结果显示:在50d的贮藏期内,在不同颜色光照条件下样液中的类胡萝卜素含量随处理时间的延长均呈逐渐下降的趋势,且类胡萝卜素含量(Y)与贮藏时间(X)呈显著的负相关关

系;在黑暗、红光、绿光、蓝光、黄光和白光条件下相关方程分别为: $Y_{\text{黑}} = -0.253X + 79.126$ ($R = 0.960$)、 $Y_{\text{红}} = -1.637X + 74.994$ ($R = 0.964$)、 $Y_{\text{绿}} = -1.352X + 85.957$ ($R = 0.972$)、 $Y_{\text{蓝}} = -1.590X + 73.744$ ($R = 0.956$)、 $Y_{\text{黄}} = -1.517X + 72.087$ ($R = 0.921$)、 $Y_{\text{白}} = -1.698X + 80.190$ ($R = 0.944$)。

经不同颜色光照处理0和50d,野菊花色素溶液中类胡萝卜素含量均存在极显著差异($P < 0.01$);其中,在红光照射条件下类胡萝卜素含量的降幅最大,达98.97%;在蓝光、白光、黄光和绿光照射下类胡萝卜素含量的降幅依次为98.33%、95.10%、92.30%和80.38%;在黑暗条件下类胡萝卜素含量的降幅最小,仅为17.02%,且处理前后差异不显著($P > 0.05$)。在贮藏达50d时,黑暗与各色光照处理、红光与绿光、红光与黄光、红光与白光、绿光与蓝光、绿光与黄光、绿光与白光、蓝光与黄光、蓝光与白光各处理间的类胡萝卜素含量均有极显著差异($P < 0.01$)。说明不同颜色光照处理对野菊花色素溶液中类胡萝卜素含量有较大影响,在野菊花色素提取过程中应避免光操作。

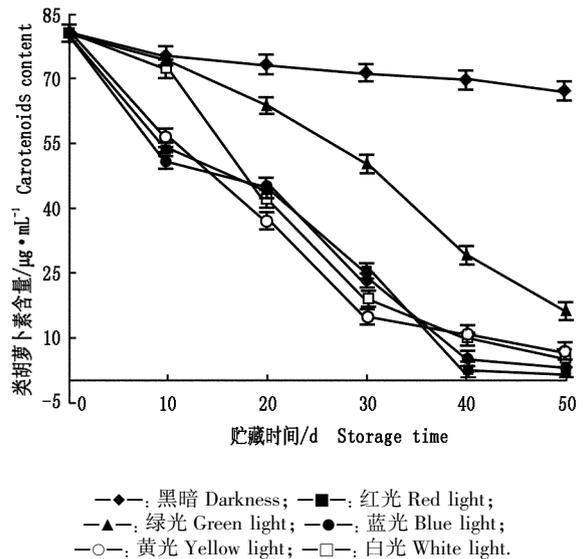


图1 经不同颜色光照处理后野菊花色素溶液中类胡萝卜素含量的动态变化

Fig. 1 Dynamic change of carotenoids content in pigment solution from *Dendranthema indicum* (Linn.) Des. Moul. flower after treated by different color lights

2.2 溶液色价的变化分析

经不同颜色光照处理后在3个特征波长(412、436和468nm)下野菊花色素溶液色价的变化见表1。由表1可知:在不同颜色光照条件下,野菊花色素溶

液的色价均随贮藏时间的延长呈逐渐下降的趋势,贮藏10~50 d色素溶液的色价均显著小于溶液的起始色价($P<0.05$),表明色素溶液受光照射时间越长,光化分解越激烈,从溶液外观上看则显示黄色溶液变浅。在黑暗(对照)条件下,3个特征波长下色素溶液的色价变化均最小,与其他颜色光照处理有显著差异($P<0.05$);在绿光和蓝光照射下色素溶液色价的降

幅也均较小;但在红光照射下其色价降幅最大,其次为白光,溶液褪色明显;在黄光照射下色素溶液的色价降幅也较大且溶液褪色并浑浊。由表1还可见:在3个特征波长下,随波长减小色素溶液的色价升高;其中,在黑暗条件下,在412 nm波长下色素溶液的色价均最高且降幅最小。

表1 经不同颜色光照处理后在不同波长下野菊花色素溶液色价的变化($\bar{X}\pm SD, n=3$)¹⁾

Table 1 Change of color value of pigment solution from *Dendranthema indicum* (Linn.) Des. Moul. flower after treated by different color lights under different wavelengths($\bar{X}\pm SD, n=3$)¹⁾

处理时间/d Treatment time	经黑暗处理后在不同波长下的色价 Color value under different wavelengths after treated by darkness			经红光处理后在不同波长下的色价 Color value under different wavelengths after treated by red light		
	412 nm	436 nm	468 nm	412 nm	436 nm	468 nm
0	87.8±2.2aA	71.1±2.1aA	48.6±4.3aA	87.8±2.2aA	71.1±2.1aA	48.6±4.3aA
10	86.0±1.2abB	69.7±1.9abA	47.1±2.5aA	41.8±2.3bE	32.1±2.1bD	21.6±2.9bD
20	85.2±0.8bcA	68.8±1.1abcA	46.9±1.4aA	32.6±1.6cE	24.8±1.8cE	15.9±1.4cE
30	83.4±0.7cdA	68.3±1.2bcA	46.2±2.7aA	27.4±1.6dD	19.9±1.4dE	13.2±0.9cdC
40	82.5±0.5dA	67.2±0.7bcA	46.2±3.6aA	25.6±1.8deD	19.7±1.7dD	12.7±2.2cdC
50	81.9±1.0dA	66.8±1.3cA	45.3±1.6aA	22.5±1.8eD	16.8±1.3dD	10.1±1.0dD

处理时间/d Treatment time	经绿光处理后在不同波长下的色价 Color value under different wavelengths after treated by green light			经蓝光处理后在不同波长下的色价 Color value under different wavelengths after treated by blue light		
	412 nm	436 nm	468 nm	412 nm	436 nm	468 nm
0	87.8±2.2bA	71.1±2.1aA	48.6±4.3aA	87.8±2.2aA	71.1±2.1aA	48.6±4.3aA
10	93.9±2.8aA	71.9±2.3aA	48.1±2.0aA	80.5±3.2bC	61.7±2.5bB	42.9±2.9bB
20	78.1±3.5cB	60.9±1.5bB	43.0±1.5bB	65.8±2.8cC	53.6±1.7cC	39.2±1.0bcC
30	67.7±1.8dB	53.8±1.5cB	39.4±1.6bcB	58.8±2.7dC	49.9±1.7dC	40.2±0.8bcB
40	63.4±2.3deB	53.1±4.1cB	38.6±1.7cB	52.8±1.8eC	45.7±1.6eC	37.2±1.0cB
50	61.3±2.7eB	50.2±1.6cB	37.7±1.9cB	49.7±2.4eC	43.2±1.4eC	32.5±1.8dC

处理时间/d Treatment time	经黄光处理后在不同波长下的色价 Color value under different wavelengths after treated by yellow light			经白光处理后在不同波长下的色价 Color value under different wavelengths after treated by white light		
	412 nm	436 nm	468 nm	412 nm	436 nm	468 nm
0	87.8±2.2aA	71.1±2.1aA	48.6±4.3aA	87.8±2.2A	71.1±2.1aA	48.6±4.3aA
10	55.1±1.5bD	39.8±2.6bC	25.8±0.8bC	55.3±1.8bD	39.4±2.2bC	26.1±0.6bC
20	38.4±1.8cD	27.9±1.6cD	19.0±1.0cD	35.2±1.5cDE	25.5±1.1cDE	15.8±0.7cE
30	31.5±3.1dD	23.7±1.4dD	15.5±1.2cdC	27.6±1.7dD	20.6±2.3dE	14.2±0.9cE
40	28.3±2.0dD	21.0±2.8dD	14.1±1.2dC	27.2±1.0dD	21.6±2.3dD	13.7±1.4cE
50	22.1±2.5eD	15.8±1.9eD	10.2±1.1eD	23.5±0.8eD	18.1±1.0dD	12.3±1.7cD

¹⁾同行中不同的大写字母表示经不同颜色光处理后同一处理时间在同一波长下色价差异显著($P<0.05$) Different capitals in the same row mean the significant difference of color value in the same treatment time under the same wavelength after treated by different color lights ($P<0.05$); 同列中不同的小写字母表示在同一波长下不同处理时间色价差异显著($P<0.05$) Different small letters in the same column mean the significant difference of color value among different treatment times under the same wavelength ($P<0.05$).

2.3 溶液色差的变化分析

色素溶液的色差可由3个色彩参数 L^* 、 a^* 和 b^* 计算获得。经不同颜色光照处理后野菊花色素溶液的3个色彩参数的变化见表2。由表2可知:随贮藏时间的延长,经红光和白光照射后色素溶液的亮度均有所增加,而经黑暗、绿光和蓝光照射后色素溶液的

亮度也均有所增加,在黄光照射下色素溶液的亮度变化不大,且各处理组色素溶液的亮度总体上无显著差异($P>0.05$)。

根据色素溶液的 a^* 和 b^* 2个参数可见:在黑暗条件下,随处理时间的延长色素溶液的绿色和黄色均逐渐降低但变幅很小。而在其他颜色光照条件下,色

素溶液均由绿转红、由黄向蓝转变;其中,经蓝光照射后溶液向红转变的幅度最大,经绿光处理后溶液向红转变的幅度也较大,而经黄光处理后溶液向红转变的幅度最小;经蓝光照射后溶液黄色降幅最小、经绿光处理后溶液的黄色降幅也较小,而经白光、红光和黄光照射后溶液的黄色均明显降低。与对照(黑暗)相

比,不同颜色光照处理条件下野菊花色素溶液的 a^* 值显著增大、 b^* 值显著降低($P < 0.05$)。此外,在 0 ~ 50 d 的贮藏过程中,在 0 ~ 20 d 期间各处理组色素溶液的 a^* 和 b^* 值变幅相对较大,而在 30 ~ 50 d 期间色素溶液的 a^* 和 b^* 值相对稳定。

表2 经不同颜色光照处理后野菊花色素溶液色彩参数的变化($\bar{X} \pm SD, n=3$)¹⁾

Table 2 Change of color parameter of pigment solution from *Dendranthema indicum* (Linn.) Des. Moul. flower after treated by different color lights($\bar{X} \pm SD, n=3$)¹⁾

处理时间/d Treatment time	经黑暗处理后的色彩参数值 Color parameter value after treated by darkness			经红光处理后的色彩参数值 Color parameter value after treated by red light		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
0	42.11±2.09abA	-2.82±0.10dA	16.92±0.41aA	42.11±2.09aA	-2.82±0.10dA	16.92±0.41aA
10	42.35±1.87abAB	-2.67±0.18dD	17.23±0.33aA	42.87±1.41aA	0.34±0.04cC	5.12±0.30bD
20	42.55±1.29aAB	-2.30±0.16cD	17.13±0.35aA	42.91±0.72aAB	0.43±0.08bcC	4.90±0.35bcD
30	40.82±0.98abAB	-2.04±0.30bcD	16.78±0.25aA	42.83±1.03aA	0.49±0.10abcC	4.41±0.09cdE
40	40.80±1.01abAB	-1.89±0.10abD	15.50±0.19bA	42.96±0.94aA	0.63±0.15aC	4.37±0.11dD
50	39.36±1.70bCD	-1.61±0.10aD	14.06±0.16cA	44.12±3.89aA	0.52±0.06abC	4.41±0.26cdD

处理时间/d Treatment time	经绿光处理后的色彩参数值 Color parameter value after treated by green light			经蓝光处理后的色彩参数值 Color parameter value after treated by blue light		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
0	42.11±2.09aA	-2.82±0.10fA	16.92±0.41aA	42.11±2.09aA	-2.82±0.10eA	16.92±0.41aA
10	40.05±1.11aBC	0.57±0.05eB	10.86±0.19dC	41.43±1.64aABC	2.10±0.15dA	11.60±0.22cB
20	41.64±1.78aAB	1.98±0.42dB	11.24±0.42cdC	41.05±1.38aB	3.45±0.05cA	11.93±0.44bcB
30	39.32±1.63aBC	2.52±0.26cB	11.30±0.14cdC	38.47±0.75bC	4.06±0.27bA	12.38±0.41bB
40	39.23±0.86aB	3.09±0.09bB	11.85±0.26bC	39.97±0.71abB	4.44±0.25aA	12.27±0.28bB
50	40.19±1.11aBCD	3.59±0.09aB	11.61±0.17bcC	38.19±1.11bD	4.53±0.06aA	12.47±0.08bB

处理时间/d Treatment time	经黄光处理后的色彩参数值 Color parameter value after treated by yellow light			经白光处理后的色彩参数值 Color parameter value after treated by white light		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
0	42.11±2.09aA	-2.82±0.10dA	16.92±0.41aA	42.11±2.09abA	-2.82±0.10dA	16.92±0.41aA
10	42.81±0.70aA	0.19±0.03cC	5.38±0.17bD	39.36±1.12bC	0.27±0.02cC	5.06±0.17bD
20	43.31±1.03aAB	0.35±0.05bC	5.15±0.23bcD	44.46±2.63aA	0.34±0.03bcC	4.91±0.20bD
30	42.89±1.14aA	0.47±0.02aC	4.92±0.16cdD	42.79±1.37aA	0.49±0.02aC	4.37±0.13cE
40	42.60±2.16aA	0.42±0.09abC	4.67±0.25deD	42.77±1.41aA	0.44±0.08abC	4.37±0.14cD
50	42.11±1.12aABC	0.40±0.01abC	4.40±0.10eD	43.64±1.71aAB	0.47±0.02aC	4.35±0.05cD

¹⁾ L^* : 亮度轴,0 指示黑色、100 指示白色 Brightness axis, 0 indicates black and 100 indicates white; a^* : 红绿轴,正值指示红色、负值指示绿色、0 指示中性色 Red-green axis, positive value indicates red, negative value indicates green and 0 indicates neutral color; b^* : 黄蓝轴,正值指示黄色、负值指示蓝色,0 指示中性色 Yellow-blue axis, positive value indicates yellow, negative value indicates blue and 0 indicates neutral color. 同行中不同的大写字母表示经不同颜色光处理后同一处理时间同一参数差异显著($P < 0.05$) Different capitals in the same row mean the significant difference of the same parameter in the same treatment time after treated by different color lights ($P < 0.05$); 同列中不同的小写字母表示同一参数在不同处理时间差异显著($P < 0.05$) Different small letters in the same column mean the significant difference of the same parameter among different treatment times ($P < 0.05$).

2.4 溶液色价和色差与贮藏时间的相关性分析

在 0 ~ 50 d 的贮藏期内,经不同颜色光照处理后野菊花色素溶液的色价和色差与贮藏时间的相关方程及相关系数见表 3。由表 3 可知,在 0 ~ 50 d 的贮藏期内,野菊花色素溶液的色价变化与贮藏时间均呈线形回归方程,各处理条件下溶液的褪色规律都符合

一次降解曲线,其中在黑暗和蓝光条件下相关系数均最高($R^2 = 0.974, R^2 = 0.962$)。在 0 ~ 50 d 的贮藏期内,溶液色差变化与贮藏时间也均呈线形回归方程,但各处理条件下溶液的色差与贮藏时间的相关系数均不显著,其中,在黑暗条件下色差与贮藏时间的相关系数最大($R^2 = 0.746$),在蓝光条件下色差与贮藏

时间的相关系数最小($R^2=0.076$)。此外,对野菊花色素溶液的色价与色差进行相关分析,结果显示:在红光条件下色素溶液的色价与色差的相关系数最高

($R^2=0.976$)、绿光下最低($R^2=0.321$),在白光、黄光、黑暗和蓝光条件下色素溶液色价与色差的相关系数依次为0.976、0.927、0.782和0.397。

表3 经不同颜色光照处理后野菊花色素溶液色价和色差与贮藏时间的回归方程¹⁾

Table 3 Regression equation between color value and color difference with storage time of pigment solution from *Dendranthema indicum* (Linn.) Des. Moul. flower after treated by different color lights¹⁾

光照处理 Light treatment	色价(Y)与贮藏时间(X)的回归方程 Regression equation between color value (Y) and storage time (X)			色差(Y)与贮藏时间(X)的回归方程 Regression equation between color difference (Y) and storage time (X)		
	方程 Equation	R^2		方程 Equation	R^2	
黑暗 Darkness	$Y=-0.087X+68.782$	0.974		$Y=-0.050X+16.298$	0.746	
红光 Red light	$Y=-0.877X+52.038$	0.679		$Y=-0.193X+9.903$	0.482	
绿光 Green light	$Y=-0.466X+71.010$	0.894		$Y=-0.056X+12.655$	0.220	
蓝光 Blue light	$Y=-0.541X+66.933$	0.962		$Y=-0.029X+12.848$	0.076	
黄光 Yellow light	$Y=-0.937X+56.511$	0.809		$Y=-0.187X+10.040$	0.479	
白光 White light	$Y=-0.911X+55.208$	0.750		$Y=-0.210X+10.661$	0.588	

¹⁾ 色价数值为412、436和468 nm波长下色价的平均值,色差数值由色差公式计算获得 Color value is the average value in 412, 436 and 468 nm wavelengths, color difference is calculated by the color difference formula.

3 讨论和结论

类胡萝卜素是脂溶性色素,其色泽取决于分子结构中的共轭双键系统^[12];而光照是脂肪族色素褪色的主要诱因^[13]。光对类胡萝卜素有2种作用:一是形成顺反双键,使电磁波谱蓝移2~10 nm;二是加速类胡萝卜素链氧化,使载体降解断裂,导致光谱向紫外区漂移并失去颜色。已有的研究文献显示:不仅菊科植物金盏菊(*Calendula officinalis* Linn.)^[14]、万寿菊(*Tagetes erecta* Linn.)^[15]和非洲菊(*Gerbera jamesonii* Bolus)^[16]所含的类胡萝卜素类黄色素在光照条件下很不稳定,光对非菊科植物柑橘(*Citrus reticulata* Blanco)果皮中类胡萝卜素的稳定性也有较大影响^[17-18]。在本研究中,经绿光和蓝光照射后溶液的白色逐渐降低、显示出较明显的红色,可能因为绿蓝光催化色素自动氧化,促进自由基形成及自由基链反应,导致分子结构中环重排或变型等降解反应的进行,引起色素变色直至逐渐褪色。在50 d的贮藏期内,在不同颜色光照射下野菊花色素溶液中类胡萝卜素含量和色价随贮藏时间的变化趋势均高度符合一次降解曲线,而在红光、绿光、黄光和白光条件下类胡萝卜素含量与贮藏时间的相关系数均大于色价与贮藏时间的相关系数,可能与测定方法的差异有关。

在不同颜色光照条件下,贮藏至第10天时野菊花色素溶液色彩已经发生了急剧变化,而在其后的

40 d中色素溶液的色彩变化幅度均较小(见表2)。对第10天至第50天色素溶液的色差与贮藏时间进行回归分析,结果显示:在黑暗、红光、绿光、蓝光、黄光和白光条件下野菊花色素溶液色差(Y)与贮藏时间(X)的相关方程分别为 $Y_{黑}=-0.069X+16.989$ ($R^2=0.879$)、 $Y_{红}=-0.020X+3.567$ ($R^2=0.806$)、 $Y_{绿}=0.034X+9.340$ ($R^2=0.727$)、 $Y_{蓝}=0.056X+9.742$ ($R^2=0.814$)、 $Y_{黄}=-0.018X+3.848$ ($R^2=0.938$)、 $Y_{白}=-0.060X+5.153$ ($R^2=0.693$),相关性均大于整个贮藏期色差与贮藏时间的相关性。说明在贮藏的前10 d中,溶液的呈色成分已经发生剧烈变化,至第10天时随类胡萝卜素含量的降低色素溶液的降解反应速率逐步转缓。但光照时间与野菊花色素溶液中类胡萝卜素含量变化的相关性还需要进一步研究。

研究结果表明:野菊花色素溶液中包含的类胡萝卜素类色素对红、绿、蓝、黄和白5种颜色的光均较敏感,且随光照时间的延长褪色越明显。提示在野菊花类胡萝卜素类色素的实际应用过程中应尽量避免长时间处于光照环境中。但如能对其中的主要呈色成分类胡萝卜素进行分子修饰、以增加其耐光性,这类色素有可能成为一种潜在的中药源植物色素。

参考文献:

- [1] NOONAN J E. Chapter 14: Color additives in food[M]//FURIA T E. CRC Handbook of Food Additives. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 1972.

- [2] CSERHÁTI T, FORGÁCS E, DARWISH Y, et al. Effect of reduced glutathione on the stability of pigments in paprika powders studied by multiwavelength spectrometry and high-performance liquid chromatography[J]. *Journal of Chromatography A*, 2002, 949 (1/2): 269–273.
- [3] HUANG H Y, CHIU C W, SUE S L, et al. Analysis of food colorants by capillary electrophoresis with large-volume sample stacking [J]. *Journal of Chromatography A*, 2003, 995 (1/2): 29–36.
- [4] 申海进, 郭巧生, 房海灵. 野菊花乙醚提取物的理化性质及抗氧化能力[J]. *食品科学*, 2012, 33(15): 43–47.
- [5] SHEN H J, GUO Q S, FANG H L. Toxicological evaluation of carotenoid-type extracts from *Flos Chrysanthemi Indici*[J]. *Journal of Medicinal Plants Research*, 2011, 5(23): 5507–5512.
- [6] 邱业先, 王桃云, 龙月桂, 等. 野菊花黄色素提取工艺研究[J]. *食品与发酵工业*, 2002, 28(3): 31–34.
- [7] 南江, 王星, 黄伟敏, 等. 超声辅助提取野菊花黄色素及其稳定性研究[J]. *食品与发酵工业*, 2011, 37(4): 243–246.
- [8] MILLER R, OWENS S J, RØRSLETT B. Plants and colour: flowers and pollination[J]. *Optics and Laser Technology*, 2011, 43(2): 282–294.
- [9] HURST W J. *Methods of Analysis for Functional Foods and Nutraceuticals*[M]. New York: CRC Press, 2002: 105–106.
- [10] COLLERA-ZÚÑIGA O, JIMÉNEZ F G, GORDILLO R M. Comparative study of carotenoid composition in three Mexican varieties of *Capsicum annuum* L. [J]. *Food Chemistry*, 2005, 90 (1/2): 109–114.
- [11] CALVO M M, SANTA-MARÍA G. Effect of illumination and chlorophylls on stability of tomato carotenoids [J]. *Food Chemistry*, 2008, 107(4): 1365–1370.
- [12] NONIER M, De GAULEJAC N V, VIVAS N, et al. Characterization of carotenoids and their degradation products in oak wood. Incidence on the flavour of wood [J]. *Comptes Rendus Chimie*, 2004, 7(6/7): 689–698.
- [13] AMAN R, SCHIEBER A, CARLE R. Effects of heating and illumination on *trans-cis* isomerization and degradation of β -carotene and lutein in isolated spinach chloroplasts[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2005, 53(24): 9512–9518.
- [14] 胡晓丹, 谢笔钧, 王建中. 金盏菊黄色素的性质研究[J]. *北京林业大学学报*, 2001, 23(5): 35–38.
- [15] 陈利梅, 戴桂芝, 孙小凡. 万寿菊黄色素稳定性的研究[J]. *食品与药品*, 2005, 7(6A): 36–39.
- [16] 刘晓东, 李鹏. 非洲菊黄色素稳定性[J]. *东北林业大学学报*, 2012, 40(5): 67–70.
- [17] 孙明奇, 胡建中, 潘思轶. 柑橘皮类胡萝卜素提取物稳定性研究[J]. *食品科学*, 2007, 28(10): 46–49.
- [18] 孙明奇, 潘思轶, 胡建中, 等. 环境条件对柑橘果皮类胡萝卜素稳定性影响研究[J]. *食品科学*, 2008, 29(6): 127–129.

(责任编辑: 惠红)

欢迎订阅 2014 年《植物资源与环境学报》

全国中文核心期刊 中国科技核心期刊
中国科学引文数据库核心期刊 RCCSE 中国核心学术期刊(A)
“中国期刊方阵”双效期刊 “江苏期刊方阵”优秀期刊

季刊, 单价 20 元, 邮发代号 28–213, 国内统一连续出版物号 CN32–1339/S

《植物资源与环境学报》系江苏省·中国科学院植物研究所、江苏省植物学会等单位联合主办的学术期刊, 国内外公开发行。本刊为 BA、CA、CAB、Elsevier's、中国生物学文摘、中国环境科学文摘、中国科学引文数据库、万方数据——数字化期刊群、中国学术期刊(光盘版)和中文科技期刊数据库等国内外著名刊库收摘, 并被 Ulrich's 期刊指南等所收录。2013 年本刊荣获首届“江苏省新闻出版政府奖——报刊奖”。

本刊围绕植物资源与环境两个中心命题, 报道我国植物资源的考察、开发利用和植物物种多样性保护, 自然保护区与植物园的建设和管理, 植物在保护和美化环境中的作用, 环境对植物的影响以及与植物资源和植物环境有关学科领域的原始研究论文、研究简报和综述等。凡从事植物学、生态学、自然地理学以及农、林、园艺、医药、食品、轻化工和环境保护等领域的科研、教学、技术人员及决策者, 可以从本刊获得相关学科领域的研究进展和信息。

本刊为季刊, 大 16 开本。每期定价 20 元, 全年 80 元, 全国各地邮局均可订阅。若错过征订时间或需补齐 1992 年至 2013 年各期者, 请直接与编辑部联系邮购。1992 年至 1994 年每年 8 元, 1994 年至 2000 年每年 16 元, 2001 年至 2005 年每年 24 元, 2006 年至 2008 年每年 40 元, 2009 年至 2011 年每年 60 元, 2012 年至 2014 年全年 80 元(均含邮资), 如需挂号另付邮挂费。

编辑部地址: 江苏省南京市中山门外 江苏省中国科学院植物研究所内(邮编 210014); 电话: 025–84347016, 84347014; E-mail: zwzy@mail.cnbg.net; QQ: 2219161478. 投稿网址: <http://www.cnbg.net/Tg/Contribute/Login.aspx>。

欢迎订阅! 欢迎投稿!