

3种卫矛属植物叶片秋冬季转色期 生理生化特征研究

宋鹏, 丁彦芬*, 卓启苗, 李涵, 王亚楠, 徐子涵, 蔡慧

(南京林业大学 风景园林学院, 南京 210000)

摘要:以疏花卫矛(*Euonymus laxiflorus*)、丝棉木(*E. maackii*)和卫矛(*E. alatus*)3种卫矛属植物为试验材料,测定叶片转色期叶色参数和相关生理生化指标,探讨各项指标的变化规律和内在联系,为优良色叶植物的筛选提供依据。结果表明:(1)转色期,疏花卫矛的明亮度参数 L^* 和色素参数 b^* (黄/蓝)呈上升趋势,色素参数 a^* (红/绿)变化不大;丝棉木的 L^* 和 b^* 呈先上升后下降的单峰曲线, a^* 呈上升趋势;卫矛的 L^* 和 b^* 变化不大, a^* 呈上升趋势。(2)3种植物的叶绿素含量在转色期呈明显下降趋势;疏花卫矛的花色素苷相对含量、花色素苷/叶绿素的值较为平稳,类胡萝卜素/叶绿素的值呈上升趋势;丝棉木和卫矛的花色素苷相对含量、花色素苷/叶绿素的值均呈上升趋势,类胡萝卜素/叶绿素的值保持平稳。(3)3种植物苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性呈下降趋势,查尔酮异构酶(CHI)活性呈先上升后下降的单峰曲线;卫矛的过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)活性保持平稳,疏花卫矛和丝棉木的POD活性呈上升趋势,疏花卫矛的PPO活性保持平稳,丝棉木的PPO活性呈下降趋势。(4)疏花卫矛和卫矛的可溶性糖和淀粉的质量分数呈先上升后下降的单峰曲线,丝棉木的可溶性糖和淀粉的质量分数呈上升趋势。(5)相关性分析显示,疏花卫矛呈现黄色主要是因为叶绿素的分解,丝棉木和卫矛呈现红色是因为花色素苷的合成,可溶性糖、淀粉、CHI对花色素苷的合成有一定作用,POD对叶片呈现红色有促进作用,PAL和PPO活性对花色素苷的合成无显著影响。

关键词:卫矛属;转色期;叶片;叶色参数;生理生化指标

中图分类号:Q945.79

文献标志码:A

Physiological and Biochemical Characteristics of Leaves during the Color Change Period of Three Species of *Euonymus* in Autumn and Winter

SONG Peng, DING Yanfen*, ZHUO Qimiao, LI Han, WANG Ya'nan, XU Zihan, CAI Hui

(College of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210000, China)

Abstract: With the perennial cutting seedling of *Euonymus laxiflorus*, *E. maackii* and *E. alatus* as experimental materials, we determined the leaf color parameters and related physiological and biochemical indexes of the leaves during the color change period. The changing rules and internal relations of various indicators were discussed, with a prospect to provide a scientific basis for selecting excellent color leaf plants. The results showed that: (1) the values of L^* (Gloss brightness) and b^* (Yellow/Blue) of *E. laxiflorus* showed an upward trend, and the value of a^* (Red/Green) did not change much. The values of L^* and b^*

收稿日期:2019-01-03;修改稿收到日期:2019-03-01

基金项目:国家林业局“948”项目(2013-4-30);江苏高校品牌专业建设工程(PPZY2015A063)

作者简介:宋鹏(1995-),男,硕士研究生,主要从事园林植物应用。E-mail:280882216@qq.com

*通信作者:丁彦芬,副教授,硕士生导师,主要从事园林植物应用及栽培等研究工作。E-mail:1281569022@qq.com

of *E. maackii* increased first and then decreased and the value of a^* is on the rise. The values of L^* and b^* of *E. alatus* did not changed much and the value of a^* is on the rise. (2) The chlorophyll content of the 3 species showed a significant downward trend during the color change period. The relative content of anthocyanins and the value of anthocyanin / chlorophyll of *E. laxiflorus* were relatively stable while its value of carotenoid/chlorophyll increased. The relative content of anthocyanin and the value of anthocyanin/chlorophyll of *E. maackii* and *E. alatus* increased, and their value of carotenoid/chlorophyll remained stable. (3) The phenylalanine ammonia lyase (PAL) activity of the three species showed a downward trend, and the activity of chalcone isomerase (CHI) increased first and then decreased. The activities of peroxidase (POD) and polyphenol oxidase (PPO) of *E. alatus* remained stable. The POD of *E. laxiflorus* and *E. maackii* increased. The PPO of *E. laxiflorus* remained stable and the PPO of *E. maackii* showed a downward trend. (4) The mass fraction of soluble sugar and starch of *E. laxiflorus* and *E. alatus* increased first and then decreased. The mass fraction of soluble sugar and starch of *E. maackii* increased. (5) According to the correlation analysis, the yellow color of *E. laxiflorus* was mainly due to the decomposition of chlorophyll. The red color of *E. maackii* and *E. alatus* were mainly due to the synthesis of anthocyanins. Soluble sugar, starch, CHI had a certain effect on the synthesis of anthocyanins. POD promoted the appearance of red leaves. PAL and PPO had no significant relationship with the synthesis of anthocyanins.

Key words: *Euonymus*; color change period; leaf; leaf color parameters; physiological and biochemical indicators

卫矛属植物是理想的园林观赏树种,大部分植株是秋季绝佳的观叶植物,又兼其具有生长速度较快、耐瘠薄和耐修剪等特点,因此被广泛应用于园林绿地建设中^[1]。以往对卫矛属植物的研究多集中于系统分类^[2]、繁殖方法^[3]和药用价值^[4]上,有关该属植物叶色转变机理的研究较少。此外,前人对色叶植物的研究主要集中在叶色参数和叶片色素的变化上,对可溶性糖、淀粉含量以及花色素苷相关酶活性的变化研究不多。一般认为,糖对花色素苷的合成有促进作用^[5],苯丙氨酸解氨酶(PAL)和查尔酮异构酶(CHI)参与花色素苷的合成^[6],过氧化物酶(POD)和多酚氧化酶(PPO)参与花色素苷的分解^[7]。

疏花卫矛(*Euonymus laxiflorus*)主要分布在中国南方各省,叶片光泽洁净,叶色嫩绿,树形优美,秋季叶色转黄,多用作绿篱和整型植株材料。丝棉木(*E. maackii*)是中国西北地区园林绿化的主流树种,秋季橙红色的叶片和粉红色的蒴果均有很高的观赏价值。卫矛(*E. alatus*)是中国东北地区园林绿化的优良乡土树种,枝条上具有显著的木栓翅,秋叶鲜红,蒴果开裂露出的假种皮为橘红色,在冬季也有良好的观赏价值。本研究以这3种卫矛属植物为材料,考察其秋冬季节叶色转变期间叶片的叶色参数、光合色素、花色素苷、可溶性糖、淀粉、花色素苷合成酶和降解酶的变化,并分析叶色参数和叶片色素之间的相关性,探索3种植物的最佳观赏期和叶色变化的规律,以期对卫矛属优良色叶植物的选育

和观赏价值的提高提供科学依据,也为色叶植物在园林绿地中的栽植和应用提供理论基础。

1 材料和方法

1.1 试验地点和材料

试验地点位于江苏省句容市乾景园林苗木有限公司基地,地处N32°5',E118°49',长江中下游平原,属亚热带季风气候,年平均气温15.2℃,无霜期229d,年降雨量1058.8mm。材料为生长健康、长势一致的疏花卫矛、丝棉木和卫矛3年生实生苗,所有苗木均在基地大田里正常栽培管理。

1.2 方法

1.2.1 叶片采集 从2018年10月下旬开始,每种植物选取生长健康、长势一致、无明显病虫害的植株15株,每5株为1个重复,3次重复。每8d采1次样,直至12月初全部叶落。每次采样在上午10:00左右进行,选取树冠向阳面中上部叶位相同、大小一致健康成熟的叶片,每种植物每次采取大约40片叶子。采后用冰盒带回实验室,洗净擦干,剪去中脉,称量完毕后置于-80℃冰箱保存待测。

1.2.2 测量指标和方法 叶色参数(L^* 、 a^* 、 b^*)的测定参照Wang等^[8]的方法;叶绿素和类胡萝卜素含量的测定参照刘儒等^[9]的方法,花色素苷含量的测定采用盐酸甲醇浸提法;可溶性糖和淀粉的提取与测定采用蒽酮比色法;PAL活性的测定参照Assis等^[10]的方法,CHI活性的测定参照Lister

等^[11]方法;POD活性的测定采用愈创木酚法,PPO活性的测定参照宋丽红等^[12]的方法,将每分钟每克鲜重的OD值变化0.01定义为一个酶活单位U。所有指标的测定均为3次重复,取平均值。

1.3 数据分析

采用Excel2007和SPSS17.0软件对数据进行统计分析,并使用Excel2007作图,图中的值均以(平均值±标准差)表示。

2 结果与分析

2.1 3种植物叶色参数随时间的变化特征

叶色参数是利用色差仪来定量表征色彩在三维空间中变化的变量值。首先, L^* 表示光泽明亮度, L^* 值越大,亮度越高。3种植物的 L^* 值随时间的变化趋势不同(图1,A),疏花卫矛 L^* 值逐渐上升,丝棉木 L^* 值表现出先上升后下降的趋势,整体波动较大,卫矛 L^* 值则变化不大,且其在变色期间 L^* 值一直小于前两者,表明卫矛叶片的明亮度在三者中最低。其次, a^* 值表示红/绿, a^* 值越大,红色越深, a^* 值越小,绿色越深。疏花卫矛的 a^* 值在变色期间变化较小,而丝棉木和卫矛的 a^* 值变化较大,

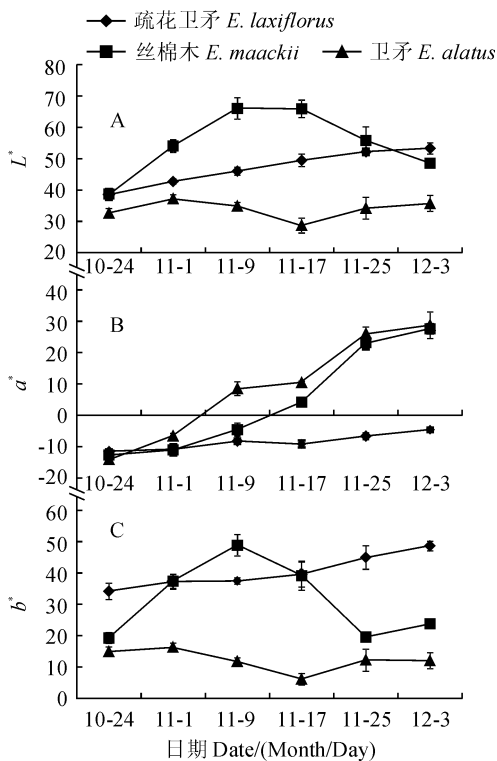


图1 转色期3种卫矛属植物叶色参数 L^* 、 a^* 、 b^* 值随时间的变化

Fig. 1 The changes of leaf color parameter L^* , a^* and b^* in three *Euonymus* species

两者均呈明显的上升趋势,且在11月17日至11月25日上升最迅速(图1,B)。另外, b^* 值表示黄/蓝, b^* 值越大,黄色越深, b^* 值越小,蓝色越深。疏花卫矛的 b^* 值随时间推移呈上升趋势,且上升幅度较大,12月3日比10月24日上升了50%,原因是其叶色是由绿变黄;丝棉木和卫矛的 b^* 值变化没有表现出一定规律,丝棉木叶色是由绿变黄再变红, b^* 值波动较大,卫矛 b^* 值波动较小(图1,C)。总体来说,3种植物 L^* 值和 b^* 值的变化趋势较为相似,原因可能是叶色变黄导致叶色明亮度变大。

2.2 3种植物叶片光合色素、花色素苷含量及其比值的变化特征

植物的光合色素主要分为叶绿素和类胡萝卜素,叶绿素又可分为叶绿素a和叶绿素b。由图2知,3种植物的叶片叶绿素含量在转色期间表现出明显的下降趋势,主要是因为叶绿素a下降较多而叶绿素b下降较少,疏花卫矛、丝棉木和卫矛的叶绿素含量在10月24日至11月9日期间分别下降了53%、77%和50%。原因可能是叶绿素对温度的适应性较差,长时间的低温和光照时间的缩短加速了叶绿素的分解,同时又限制了新叶绿素的合成。3种植物叶片的类胡萝卜素含量变化的幅度差异较大,疏花卫矛叶片的类胡萝卜素含量在12月3日时比10月24日下降了50%,而同期丝棉木和卫矛的类胡萝卜素含量则分别下降了90%和86%。同时,丝棉木和卫矛叶片的花色素苷含量都呈上升趋势,增幅分别达到57%和195%,两者的变化趋势与叶色参数中 a^* 值的变化趋势相似,推测可能是花色素苷的合成使叶片呈现红色;疏花卫矛花色素苷含量较为稳定,总体变化不大(图2,D)。

另外,整个变色期疏花卫矛的叶片由绿变黄,其类胡萝卜素/叶绿素比值显著高于其余两者,并呈上升趋势(图3,A),原因可能是类胡萝卜素比叶绿素分解较慢,这表明类胡萝卜素与叶色变黄有直接关系;而丝棉木和卫矛的类胡萝卜素/叶绿素比值总体呈下降趋势,这表明类胡萝卜素对叶色变红没有直接关系。随着花色素苷的合成和叶绿素的分解,丝棉木和卫矛的花色素苷/叶绿素的值不断升高,特别是在变色后期迅速升高,此时花色素苷大量合成,大部分叶绿素已经被分解;而同期疏花卫矛的花色素苷/叶绿素的值基本保持稳定(图3,B)。

2.3 3种植物叶片花色素苷合成酶和降解酶的变化特征

PAL和CHI在花色素苷合成的途径中发挥重

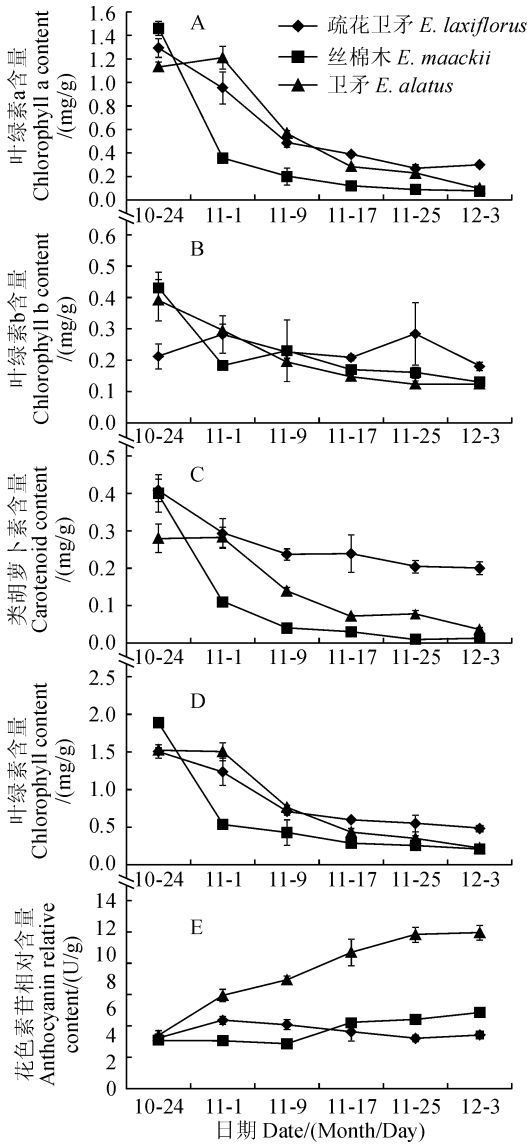


图2 转色期3种卫矛属植物叶片光合色素含量和花色素苷相对含量的变化

Fig. 2 The changes in photosynthetic pigment content and anthocyanin relative content in leaves of three *Euonymus* species

要作用,而 POD 和 PPO 参与花色素苷的降解。其中,3种植物叶片的 PAL 活性在转色期均呈现下降的趋势(图 4,A),据此推测 PAL 活性的大小并不是花色素苷合成的单一调控因素。丝棉木和卫矛叶片 CHI 活性在转色期呈先上升后下降的单峰曲线,但两者峰值分别出现在 11 月 25 日和 11 月 1 日;疏花卫矛叶片 CHI 活性呈现出降-升-降的变化趋势,并在 11 月 9 日达到最大值 340U(图 4,B)。疏花卫矛叶片的 POD 活性明显高于其余 2 种植物,在大部分时间都呈上升趋势,末期有所下降,而丝棉木的 POD 活性略有上升,卫矛的 POD 活性变化较为平稳(图 4,C),据此推测 POD 降解花色素苷的机制比较复杂。丝棉木和卫矛叶片的 PPO 的变化相对平稳(图 4,D),但均显著高于疏花卫矛,又因为丝棉木和卫矛的叶色变红、疏花卫矛叶色变黄,据此推测 PPO 活性的大小可能与叶色变红有较大关系而与叶色变黄关系不大。

2.4 3种植物叶片可溶性糖和淀粉质量分数的变化特征

卫矛属 3 种植物叶片的渗透调节物质含量在转色期均发生较大变化(图 5)。其中,疏花卫矛和卫矛叶片的可溶性糖质量分数变化趋势为单峰曲线,两者的峰值分别出现在 11 月 9 日和 11 月 1 日,之后呈现下降趋势,与 3 种植物 CHI 活性的变化趋势有些相似,原因可能是可溶性糖作为花色素苷合成的物质基础,先于花色素苷的合成;但是,丝棉木叶片的可溶性糖质量分数呈现持续上升趋势,说明不同植物可溶性糖大量合成的时期有所差别(图 5, A)。3 种植物叶片淀粉含量的变化趋势与可溶性糖的变化趋势大致类似(图 5, B),疏花卫矛和卫矛淀粉的含量总体上呈现先升后降的变化趋势,丝棉木的淀粉含量呈上升趋势。可见,卫矛属 3 种植物

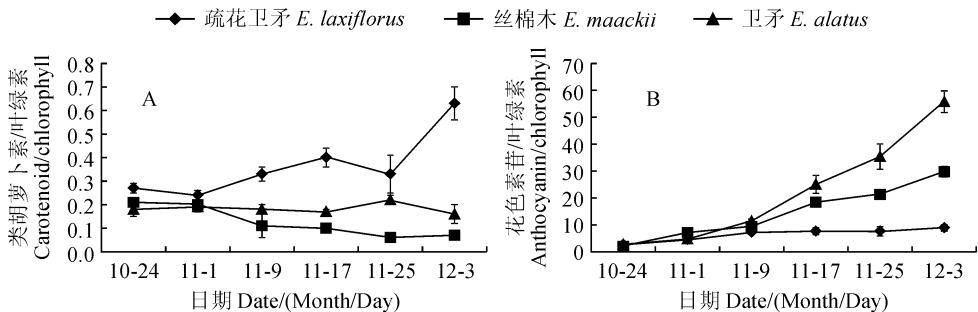


图3 转色期3种卫矛属植物叶片类胡萝卜素/叶绿素和花色素苷/叶绿素比值的变化

Fig. 3 The changes in carotenoid/chlorophyll and anthocyanin/chlorophyll in leaves of three *Euonymus* species

可溶性糖和淀粉合成积累对叶色的转变具有一定的促进作用。

2.5 3 种植物转色期叶色参数与叶片色素含量的相关性分析

相关分析结果(表 1)表明,在秋季叶片转色期,疏花卫矛叶片的 L^* 值与叶绿素和类胡萝卜素含量呈极显著负相关,说明叶绿素和类胡萝卜素的分解

会使叶片的明亮度变大。疏花卫矛叶片的 a^* 值与叶绿素和类胡萝卜素含量呈极显著负相关,卫矛的 a^* 值与叶绿素和类胡萝卜素含量呈显著负相关,说明叶色变红在的同时,叶绿素和类胡萝卜素都在不断分解。丝棉木和卫矛的 a^* 值与花色苷相对含量呈极显著正相关,说明叶色变红是因为叶片中合成了大量的花色苷。

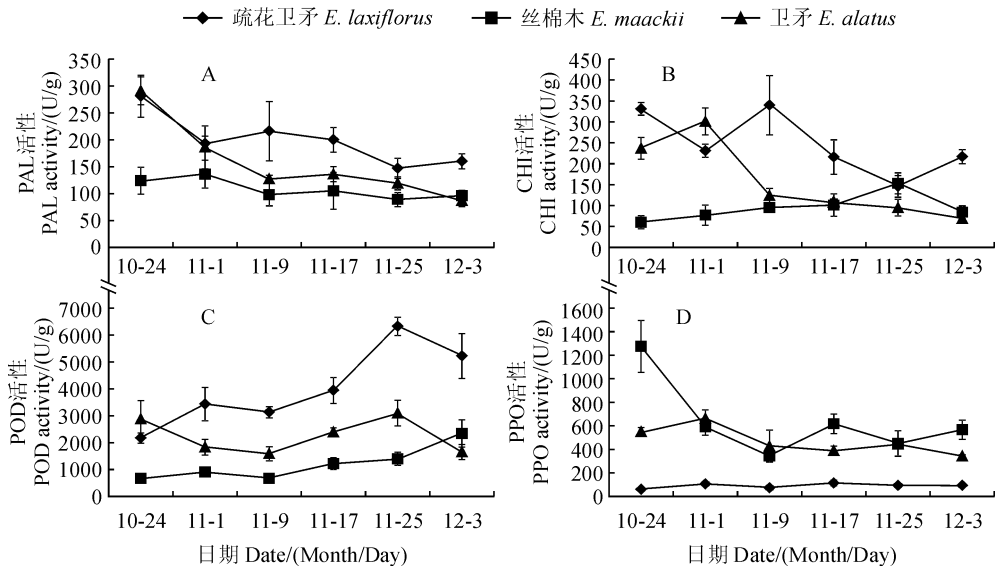


图 4 转色期 3 种卫矛属植物叶片花色苷合成酶和降解酶活性的变化

Fig. 4 The changes of activities of anthocyanin synthase and degrading enzyme in leaves of three *Euonymus* species

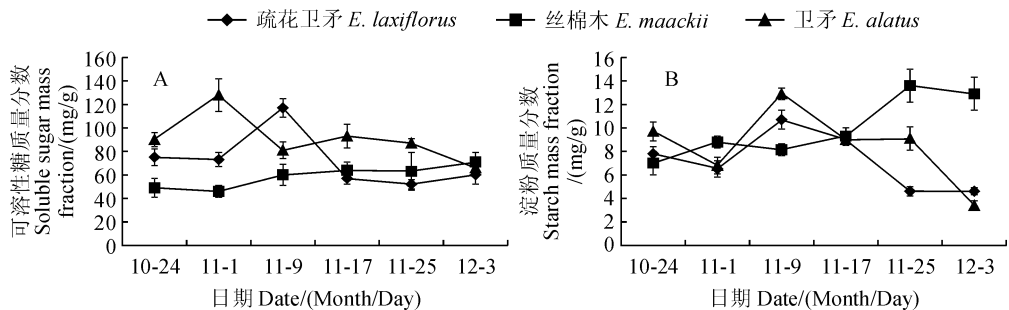


图 5 转色期 3 种卫矛属植物叶片可溶性糖和淀粉质量分数的变化

Fig. 5 The changes of soluble sugar and starch mass fraction in leaves of three *Euonymus* species

表 1 转色期 3 种卫矛属植物叶片色素含量与叶色参数的相关分析

Table 1 The correlation coefficients between leaf color parameters and contents of chlorophyll, carotenoids and anthocyanins in three *Euonymus* species

种 Species	叶色参数与叶绿素 Leaf color parameter and chlorophyll			叶色参数与类胡萝卜素 Leaf color parameter and carotenoid			叶色参数与花色苷 Leaf color parameter and anthocyanin		
	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*
疏花卫矛 <i>E. laxiflorus</i>	-0.959**	-0.874*	-0.796	-0.935**	-0.845*	-0.802	-0.292	-0.328	-0.389
丝棉木 <i>E. maackii</i>	-0.713	-0.628	-0.368	-0.733	-0.647	-0.370	-0.040	0.928**	-0.473
卫矛 <i>E. alatus</i>	0.244	-0.953**	0.703	0.289	-0.930**	0.745	-0.046	0.961**	-0.560

注: * 和 ** 分别表示相关系数达到 0.05 和 0.01 的显著水平

Note: * and ** denote correlation coefficients are significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively

3 讨论

彩叶植物叶色表现是内部遗传因素与外部环境因素共同作用的结果,通过改变植物叶片内所包含的各种色素种类、分布、含量以及含量比例关系,使植物叶片呈现不同的颜色。一般情况下,绿叶植物的叶片中叶绿素和类胡萝卜素的比值大约为3:1。许多学者认为秋季植物叶色变化,是因为低温和干旱的环境加速了花色素苷的合成^[13],类胡萝卜素的合成或分解以及叶绿素的分解,形成酚类的暗氧化产物^[14]。叶绿素合成的最适温度为20~30℃,最低温度为2~4℃,早春和秋季的低温限制了叶绿素的合成,所以此阶段叶片表现为非绿色。前人对榉树^[15]、紫薇^[16]和欧洲卫矛^[17]的研究均指出叶片色素比例的改变是叶色变化的直接原因,当叶片中花色素苷或类胡萝卜素占比例较高时,叶片分别会呈现红色或黄色。本研究发现,丝棉木和卫矛叶片的花色素苷/叶绿素的比值在秋季转色期显著提高,使叶色变红,进一步通过相关性分析可知,花色素苷的合成是叶色变红的主要原因;疏花卫矛的类胡萝卜素/叶绿素的比值在转色期显著增高,使叶色变黄,通过相关性分析可知,叶绿素的分解是叶色变黄的主要原因。

PAL是苯丙烷类代谢的关键酶和限速酶,对植物的细胞分化、色素形成、黄酮类化合物合成和增强抗逆性都有重要作用^[18]。目前大部分研究认为植物叶片由绿变红时期,PAL活性逐渐升高,不同种植物PAL活性的升高幅度不一致^[19]。元宝枫PAL活性的升高先于花色素苷的含量升高,这表明PAL有利于花色素苷含量的积累^[20]。但荔枝果皮中的PAL活性随花色素苷含量的升高而降低^[21],本研究结果与之类似,据此推测PAL不是3种卫矛属植物花色素苷合成的关键酶。PAL为多种物质的合成提供前体,只有在前体较少的情况下,花色素苷的合成才与PAL活性有关^[22]。CHI是类黄酮类化合物生物合成中起主要作用的酶之一。紫叶李叶片中CHI活性与花色素苷合成之间没有明显关系^[23],‘红枝短叶’卫矛的CHI活性在转色期先上升后下降^[24],与本试验的结果类似,推测CHI活性的大小对3种植物的花色素苷合成有一定作用,但在叶片转色中期因为自身的反馈机制而活性降低。

植物体内花色素苷的降解主要受到POD和PPO这两种酶的调控,这2种酶本身不会引起花色素苷的降解,都必须依赖其他物质来降解花色素苷,

但也有学者认为POD可以促进花色素苷的合成^[25]。鹅耳枥红叶植株叶片的花色素苷含量与POD活性呈极显著正相关,其花色素苷含量和POD活性均高于绿叶植株^[26]。本试验中疏花卫矛和丝棉木的叶片POD活性在转色期呈上升趋势,同期卫矛的叶片POD活性保持平稳,据此推测POD对植物叶片呈现红色有一定的促进作用,但呈现黄色的疏花卫矛POD活性最高,说明POD活性的大小受到很多其他因素的影响。PPO主要存在于植物和昆虫中,是一种能够与铜离子结合的金属蛋白酶,许多植物发生褐变就是PPO导致的^[27]。欧洲卫矛的PPO活性在转色期呈上升趋势,本试验中丝棉木PPO活性在转色初期下降很多,之后保持平稳,疏花卫矛和卫矛PPO的活性保持平稳,进一步相关性分析知,花色素苷含量和PPO活性无明显关系,可能是PPO降解花色素苷的途径比较复杂。

大部分研究认为可溶性糖的质量分数影响到花色素苷的合成^[28]。可溶性糖既是花色素苷的必需组分,又可能参与了其合成途径的基因表达调控^[29]。李属的4种彩叶植物可溶性糖含量与花色素苷之间呈现显著的正相关^[30]。但郭卫珍发现在山茶冬季叶色变化前期,可溶性糖含量不断上升,叶色变红之后可溶性糖含量明显下降,并指出花色素苷含量的积累与可溶性糖含量之间存在着极显著的负相关^[31]。本研究结果与这两者都有相似的地方,疏花卫矛和卫矛叶片的可溶性糖和淀粉质量分数都呈现先上升后下降的趋势,上升的原因可能是可溶性糖和淀粉为花色素苷的合成提供能量和骨架,下降的原因可能是外界环境发生较大变化,植物生长代谢发生改变。秋冬季节植物叶片衰老、气孔关闭,光合产物减少,植物为适应这种不利环境,可能将更多的营养资源分配给了根和茎,导致叶片的可溶性糖和淀粉含量降低。但丝棉木的可溶性糖和淀粉的含量在转色期均呈上升趋势,可能不同植物合成花色素苷所需求的可溶性糖和淀粉含量不同所致。

综合分析发现,疏花卫矛、丝棉木和卫矛叶色的变化是因为色素的比例发生了改变;叶片可溶性糖和淀粉在秋冬转色初期积累,有利于花色素苷的合成;叶片PAL和PPO活性与花色素苷的合成无显著关系,CHI活性与花色素苷的合成有一定的关系,POD对叶片呈现红色有促进作用。此外,3种植物叶片的结构特征^[32]和生长环境^[33]对叶色也有一定影响,某些酶活性的大小对叶片色素的合成或降解的影响等问题还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 左云娟. 卫矛属彩叶植物品种资源及其在园林绿化中的应用[J]. 园艺与种苗, 2013, (5): 53-55, 59.
ZUO Y J. Colored-leaf variety resources of *Euonymus* (Celastraceae) and its landscape utilization [J]. *Horticulture & Seed*, 2013, (5): 53-55, 59.
- [2] 李研南. 中国卫矛属(*Euonymus* L.) 的系统发育和演化研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [3] 赵天鹏, 丁彦芬, 陈舒博. 欧洲卫矛嫁接技术[J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(7): 1-3.
ZHAO T P, DING Y F, CHEN S B. Grafting techniques for *Euonymus europaea* [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2016, 44(7): 1-3.
- [4] BAEK N I, LEE Y H, PARK J D, et al. Euonymoside a: a new cytotoxic cardenolide glycoside from the bark of *Euonymus sieboldianus* [J]. *Planta Medica*, 1994, 60(1): 26-29.
- [5] 郭衍银, 徐 坤. 矿质营养与植物病害机理研究进展 [J]. 甘肃农业大学学报, 2003, 38(4): 385-393.
GUO Y Y, XU K. Research progress on the mechanism of plant disease related to mineral nutrition [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2003, 38(4): 385-393
- [6] DUBOS C, LE G J, BAUDRY A, et al. MYBL2 is a new regulator of flavonoid biosynthesis in *Arabidopsis thaliana* [J]. *The Plant Journal*, 2008, 55: 940-953.
- [7] OREN-SHAMIR M. Does anthocyanin degradation play a significant role in determining pigment concentration in plants [J]. *Plant Science*, 2009, 177(4): 310-316.
- [8] WANG L S, HASHIMOTO F, SHIRAIISHI A, et al. Coloration and pigmentation of tree peony cultivars of the northwest of China [J]. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*, 2000, 69(2): 233.
- [9] 刘 儒, 原勤勤, 袁小平, 等. 不同枫香家系叶片色素含量变化及其与叶色变化的关系 [J]. 南方林业科学, 2017, 45(4): 46-49.
LIU R, YUAN Q Q, YUAN X P, et al. The relationship with change of pigment content in leaves of different *Liquidambar formosana* families and change of leaf color [J]. *South China Forestry Science*, 2017, 45(4): 46-49.
- [10] ASSIS J S, MALDONADO R, MUNOZ T, et al. Effect of high carbon dioxide concentration on PAL activity and phenolic contents in ripening cherimoya fruit [J]. *Postharvest Biotechnology*, 2001, 23: 33-39.
- [11] LISTER C E, LANCASTER J E. Developmental changes in enzymes of flavonoid biosynthesis in the skins of red and green apple cultivars [J]. *Journal of Science of Food Agriculture*, 1996, 71: 313-320.
- [12] 宋丽红, 曹帮华. 光叶柃扦插生根的吡啶乙酸氧化酶、多酚氧化酶、过氧化物酶活性变化研究 [J]. 武汉植物学研究, 2005, (4): 347-350.
SONG L H, CAO B H. Studies on activities of indoleacetic acid oxidase, polyphenol oxidase and peroxidase in cuttings of *Broussonetia papyrifera* during rooting process [J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2005, (4): 347-350.
- [13] HARBORNE J B. Recent advances in chemical ecology [J]. *Natural Product Reports*, 1986, 3: 323-344.
- [14] MATILE P. Biochemistry of Indian summer: physiology of autumnal leaf coloration [J]. *Experimental Gerontology*, 2000, 35(2): 145-158.
- [15] 张亚平, 曾 艳, 林雪莹, 等. 榉树叶色和色素组成的相互关系研究 [J]. 河南农业科学, 2017, 46(6): 116-119.
ZHANG Y P, ZENG Y, LIN X Y, et al. Correlation between leaf color and pigments composition of *Zelkova schneideriana* [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2017, 46(6): 116-119.
- [16] 冯 露, 吴际洋, 鞠易倩, 等. 紫叶紫薇呈色生理及光合特性研究 [J]. 北京林业大学学报, 2017, 39(12): 93-101.
FENG L, WU J Y, JU Y Q, et al. Leaf color characteristics and photosynthetic characteristics of purple-leaved *Lagerstroemia indica* 'Ebony Ember' [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2017, 39(12): 93-101.
- [17] 卓启苗, 丁彦芬, 余 慧, 等. 欧洲卫矛秋冬转色期叶色变化的生理机制 [J]. 西北植物学报, 2018, 38(6): 1 072-1 079.
ZHUO Q M, DING Y F, YU H, et al. Physiological characters of *Euonymus europaea* leaves during the color-changing period in autumn and winter [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2018, 38(6): 1 072-1 079.
- [18] 黄小贞, 赵德刚. 植物苯丙氨酸解氨酶表达调控机理的研究进展 [J]. 贵州农业科学, 2017, 45(4): 16-20.
HUANG X Z, ZHAO D G. Research progress in regulation and control mechanism of phenylalanine ammonia lyase in plants [J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2017, 45(4): 16-20.
- [19] 韩培培. 3 种杉科植物秋季叶色变化的生理生化研究 [D]. 杭州: 浙江农林大学, 2014.
- [20] 王淑娟. 元宝枫秋叶转色期花色苷消长规律及生理机制研究 [D]. 山西晋中: 山西农业大学, 2014.
- [21] JU Z, LIU C, YUAN Y, et al. Coloration potential, anthocyanin accumulation, and enzyme activity in fruit of commercial apple cultivars and their F1 progeny [J]. *Scientia Horticulturae* (Amsterdam), 1999, 79(1-2): 0-50.
- [22] 王惠聪, 黄旭明, 胡桂兵, 等. 荔枝果皮花青苷合成与相关酶的关系研究 [J]. 中国农业科学, 2004, (12): 2 028-2 032.
WANG H C, HUANG X M, HU G B, et al. Studies on the relationship between anthocyanin biosynthesis and related enzymes in Litchi pericarp [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, (12): 2 028-2 032.
- [24] 冯立娟. '红叶短枝' 卫矛变色期叶片中花青苷含量及其合成相关酶活性变化的研究 [C] // 中国园艺学会观赏园艺专业委员会, 张启翔. 中国观赏园艺研究进展 2012. 北京: 中国林业出版社, 2012: 5.
- [25] 史宝胜. 紫叶李叶色生理变化及影响因素研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2006.
- [26] 吴帆帆, 于 萍, 祝遵凌. 春季不同叶色鹅耳枥叶片生理生化特性的研究 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(5): 120-126, 132.

- WU Y F, YU P, ZHU Z L. Physiological and biochemical characteristics of *Carpinus turczaninowii* leaves with different colors in spring[J]. *Journal of Northwest A&F University*(Natural Science Edition), 2016, **44**(5): 120-126, 132.
- [27] 陈桂信, 潘东明, 赖钟雄, 等. 园艺植物多酚氧化酶的分子生物学研究进展[J]. 江西农业大学学报, 2003, (1): 107-110.
CHEN G X, PAN D M, LAI Z X, *et al.* Advances in studies on molecular biology of polyphenol oxidase in horticultural plants[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2003, (1): 107-110.
- [28] 王玲平, 戴丹丽, 胡海娇, 等. 不同基因型茄子果实发育过程中色素与可溶性糖的关系[J]. 中国蔬菜, 2010, (22): 41-46.
WANG L P, DAI D L, HU H J, *et al.* Relationship between contents of pigments and soluble sugars during development of eggplant fruits with different genotypes[J]. *China Vegetables*, 2010, (22): 41-46.
- [29] GOLLOP R, FARHI S, PERL A. Regulation of the leucoanthocyanidin dioxygenase gene expression in *Vitis vinifera* [J]. *Plant Science*, 2001, **161**(3): 579-588.
- [30] 朱书香. 李属彩叶植物叶片成色机理的研究[D]. 河北保定: 河北农业大学, 2010.
- [31] 郭卫珍. 五个山茶新品种叶色变化及景观灯对其影响研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [32] 王振兴, 于云飞, 陈丽, 等. 彩叶植物叶片色素组成、结构以及光合特性的研究进展[J]. 植物生理学报, 2016, **52**(1): 1-7.
WANG Z X, YU Y F, CHEN L, *et al.* Advances in leaf pigment composition, structure and photosynthetic characteristics of colored-leaf plants[J]. *Plant Physiology Journal*, 2016, **52**(1): 1-7.
- [33] 吴慧, 王爱波, 潘一展. 彩叶植物叶片色素含量影响因素研究进展[J]. 北方园艺, 2016, (8): 197-200.
WU H, WANG A B, PAN Y Z. Research advance on effect factor of leaf pigment content in colored-leaf plants [J]. *Northern Horticulture*, 2016, (8): 197-200.

(编辑: 裴阿卫)

《西北植物学报》2018 年审稿专家名单

(以姓氏笔画为序)

于卓 于澄宇 尤庆敏 王虹 王卫卫 王冬冬 王军辉 王全喜 王亚琴 王孝安 王振林
王崇英 王得祥 王喆之 尤庆敏 甘立军 田惠桥 叶绍明 巩振辉 阳成伟 吕德国 刘文哲
刘占林 刘巧泉 刘西平 刘全儒 刘家熙 刘德兵 孙广玉 孙玉合 朱仁斌 朱志红 朱相云
朱瑞良 庄静 李敏 李世清 李忠虎 李周岐 李秧秧 李得孝 李登科 李鹏民 初庆刚
杜诚 杜雄明 杨洪强 邱全胜 陈鹏 陈勤 陈兴福 陈贵林 陈昆松 张文辉 张宏利
张宪春 张硕新 张懿铨 房经贵 於丙军 罗建 周明芹 胡银岗 胡胜武 洪棋斌 贺军民
赵桦 赵世伟 赵建成 赵继新 饶广远 饶景萍 郭守玉 郭晓思 唐明 徐炎 徐子勤
高志奎 贾海锋 梁文裕 梁国华 曹建国 常朝阳 龚月桦 韩文炎 赖钟雄 廖文波 黎斌
魏安智 上官周平

以上为《西北植物学报》2018 年的审稿专家, 感谢一年来在百忙之中为本刊把好学术质量关, 在此特向专家们致以最诚挚的谢意, 还望在今后的岁月中继续支持学报的工作。