

榉树叶色和色素组成的相互关系研究

张亚平,曾艳,林雪莹,金晓玲*,刘晓玲

(中南林业科技大学 风景园林学院,湖南 长沙 410004)

摘要:探析红色、黄色、绿色3种不同色系榉树叶色形成的化学机制,为选育、培育榉树优良株系提供理论依据。以秋季转色期叶色表现为红色、黄色、绿色的榉树叶片为材料,分析其叶片的颜色参数及花青素、叶绿素、类胡萝卜素等色素含量的变化特点,并分析叶色与色素组成间的相互关系。结果表明:秋季叶片转色期,红色系榉树的色相 a^* 值最高,在10月25日达到最大值,呈现出最佳观赏效果;绿色系榉树 a^* 值较低,且变化趋势相对平缓;在转色后期,黄色系榉树的 b^* 值显著大于红色和绿色系榉树,但其在秋季变色期存在返绿现象。明度 L^* 值、彩度 C^* 值与色相 b^* 值的变化趋势几乎完全一致。不同色系榉树都含有花青素、叶绿素和类胡萝卜素,但不同色系榉树3种色素的含量不同。红色系榉树花青素含量百分比最高,为22.1%~44.6%;绿色系榉树的总叶绿素含量最高,为73.0%~80.5%;黄色系榉树的类胡萝卜素含量最高,为24.7%~35.4%。回归分析结果表明,榉树叶片中,花青素和叶绿素含量与榉树的叶片呈色密切相关。其中花青素含量与 a^* 值呈正相关,与 L^* 、 b^* 、 C^* 呈负相关,说明花青素含量的增加,使叶片红色度增加,同时明度、黄色度和彩度降低;叶绿素含量与 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 均呈负相关,说明叶绿素含量的增加,使叶片的明度、红色度、黄色度以及彩度均降低;类胡萝卜素含量未被引入方程,说明类胡萝卜素含量与叶片颜色参数无显著相关性($P > 0.05$)。分析显示,花青素含量增加,叶绿素含量降低,可以使叶片变红;而花青素含量降低,叶绿素含量增加,叶片将维持绿色;若花青素与叶绿素同时降低,则将使叶片变黄。叶片内叶绿素、类胡萝卜素、花青素的含量及百分比是榉树呈现红色、黄色、绿色3种不同色系的物质基础和根本原因。

关键词: 榉树;叶色;色素;叶绿素;花青素;类胡萝卜素

中图分类号: S792.99 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2017)06-0116-04

Correlation between Leaf Color and Pigments Composition of *Zelkova schneideriana*

ZHANG Yaping, ZENG Yan, LIN Xueying, JIN Xiaoling*, LIU Xiaoling

(College of Landscape Architecture, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: In this study, we investigated the biochemical mechanisms of red, yellow and green-colored leaves of *Zelkova schneideriana* in autumn, to provide theoretical foundation for the breeding and cultivation of fine lines. The leaf color index and the pigment composition, contents of chlorophyll, anthocyanin and carotenoid in red, yellow and green-colored leaves from three types of *Zelkova schneideriana* were investigated, and the correlation between them was analyzed. The results showed that, in autumn, the value of red-colored leaves chroma a^* was the highest and reached the peak on October 25. The value of green-colored leaf chroma a^* was low and the trend kept stable. In the later stage of autumn, the value of yellow-colored leaves chroma b^* was significantly higher than red and green-colored leaves, but there was the phenomenon of returning green. The values of lightness L^* and chroma C^* had the similar trend to the values of chroma b^* . The different colored-leaves all had chlorophyll, anthocyanin and carotenoid, but had

收稿日期:2016-12-25

基金项目:中央财政林业科技推广项目([2015]XT008);湖南省“十二五”重点学科(风景园林学)项目(湘教发[2011]76号)

作者简介:张亚平(1990-),女,湖南邵阳人,在读硕士研究生,研究方向:园林植物与观赏园艺。E-mail:251034064@qq.com

*通讯作者:金晓玲(1963-),女,浙江东阳人,教授,博士,主要从事园林植物生物技术和育种方面的研究。

E-mail:jxl0716@hotmail.com

different pigment composition. The red-colored leaves had the highest anthocyanin content, and reached 22.1%—44.6%. The green-colored leaves had the highest total chlorophyll content, and reached 73.0%—80.5%. The yellow-colored leaves had the highest carotenoid content, and reached 24.7%—35.4%. The multiple liner regression analysis showed that the contents of anthocyanin and chlorophyll played a decisive role in the three different colored leaves of *Zelkova schneideriana*. The content of anthocyanin was positively correlated with chroma a^* , while negatively correlated with chroma L^* , b^* and C^* . It was showed that increase of the anthocyanin content deepened the red color of leaves, meanwhile the lightness, yellow color and chroma of leaves were reduced. The content of chlorophyll was negatively correlated with chroma L^* , a^* , b^* and C^* . It was showed that increase of the chlorophyll content reduced the lightness, red color, yellow color and chroma of leaves. The content of carotenoid had not been introduced to the function, which showed that the carotenoid content was not significantly correlated with the value of leaf color parameters ($P > 0.05$). The results showed that increase of the anthocyanin content and reduction of the chlorophyll content deepened the red color of leaves, reduction of the anthocyanin content and increase of the chlorophyll content kept leaves still green, and reduction of the anthocyanin and chlorophyll content deepened the yellow color of leaves. The content and percentage of chlorophyll, carotenoid and anthocyanin in the leaves were the material foundations and basic reasons for red, yellow and green-colored leaves.

Key words: *Zelkova schneideriana*; leaf color; pigment; chlorophyll; anthocyanin; carotenoid

榉树(*Zelkova schneideriana*)为榆科(Ulmaceae)属高大落叶乔木,其树形优美、叶色季相变化丰富,是优良的观赏树种。根据其在秋季的叶色变化主要分为3类:叶片呈红色、黄色以及基本保持绿色,直至落叶前迅速干枯脱落^[1-2]。目前,关于榉树叶色的研究主要在转色期的叶片结构、叶色分类等方面,叶色及色素组成方面的报道较少。刘雪梅等^[3]、张敏等^[4]测定了不同色系榉树叶中的各类色素含量变化,但均未测定其叶片颜色参数,而叶片呈色的细微变化可由叶片颜色参数体现,通过颜色参数和色素组成可分析叶色和色素组成间的相互关系。本研究选取3种不同色系榉树,分析其叶片的颜色参数及叶绿素、类胡萝卜素、花青素等色素含量变化,并从叶色参数与色素组成间的相关关系来阐明榉树在转色期呈现不同颜色的原因,揭示不同色系榉树形成的化学机制,为选育、培育榉树优良株系提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

在中南林业科技大学苗圃基地,选取长势一致、生长良好、秋季转色后叶色分别为红色和黄色的1年生榉树嫁接苗各12株进行试验,将绿色植株作为对照。从2015年10月1日至11月6日,每6 d采样1次,共采样7次。随机采取植株中部的成熟叶片,放入自封袋中带回实验室进行叶色测定,之后剔除主脉,用液氮研磨,测定叶绿素和花青素含量。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 叶色 采用国际照明委员会(CIE)测色标准进行叶色测定。将采集到的鲜叶擦干净后,用分光色差计(MINOLTA CR-410,日本柯尼卡)在C/2°

光源下测定叶色,每片叶测定3个部位。在CIE L^* a^* b^* 色系中, L^* 值表示明度的大小, 色相 a^* 值表示从绿色到红色的变化, 色相 b^* 值表示从蓝色到黄色的变化, 通过测定明度 L^* 值、色相 a^* 值和 b^* 值, 计算彩度 C^* 值, $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$, C^* 值表示到 L^* 轴的垂直距离, 距离越大, 彩度越大^[5]。

1.2.2 花青素及叶绿素含量 参照郑绪辰等^[6]的方法测定花青素及叶绿素含量。

1.3 数据分析

数据采用Excel 2007和SPSS 19进行分析处理,作图采用Origin 8.0软件。

2 结果与分析

2.1 不同色系榉树的叶色变化

秋季叶片转色期,不同色系榉树的叶色变化如图1所示。从色相 a^* 值的变化来看,红色系榉树的 a^* 值明显大于黄色系和绿色系榉树。红色系榉树的色相 a^* 值从10月1日起逐渐增大,至10月25日达到最大值,呈现出最佳观赏效果,随后逐步下降;绿色系榉树的色相 a^* 值从10月1日起略有上升,至10月31日起开始下降;而黄色系榉树色相 a^* 值从变色初期(10月1日—10月13日)急剧下降而后又上升,随后变化趋势较为平缓,说明黄色系榉树在10月初存在返绿现象。从色相 b^* 值的变化来看,在转色后期,黄色系榉树的 b^* 值显著大于红色系和绿色系榉树。红色系榉树 b^* 值略有下降,绿色系榉树 b^* 值相对较为平稳,而黄色系榉树 b^* 值呈曲折式上升。从明度 L^* 值和彩度 C^* 值的变化来看,不同色系榉树的 L^* 值、 C^* 值的变化趋势与 b^* 值几乎完全一致。

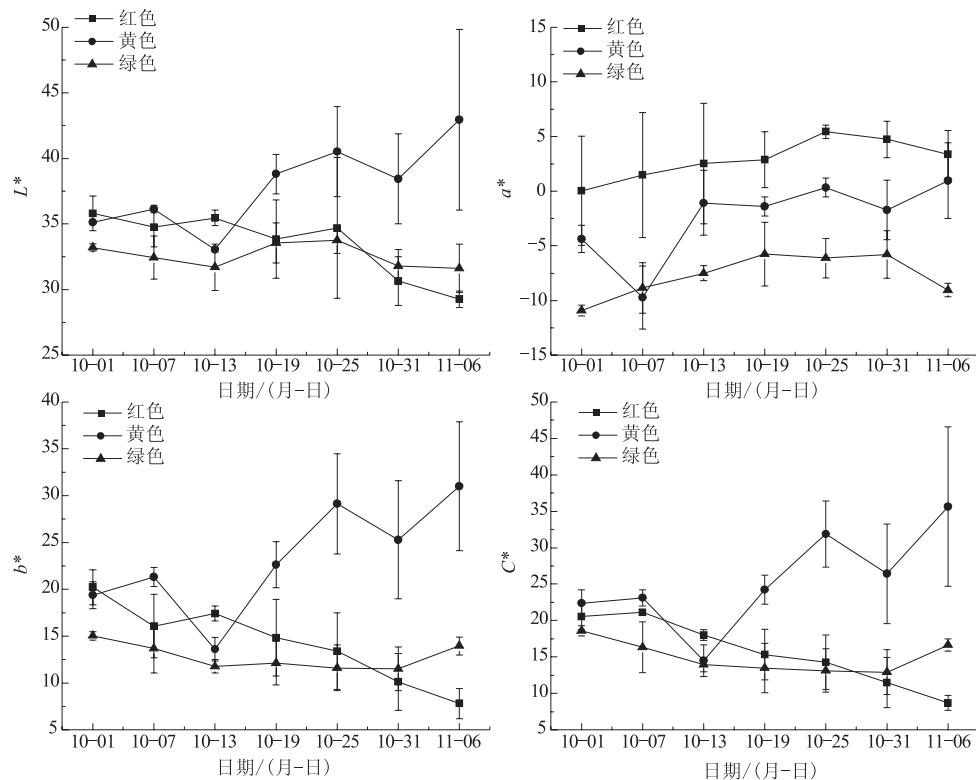


图 1 不同色系榉树的叶色参数变化

2.2 不同色系榉树的色素含量变化

在转色期,不同色系榉树的色素含量变化如图 2 所示。红色系榉树花青素含量最高,且呈现逐步上升趋势;绿色系榉树的总叶绿素和叶绿素 a 含量较高,其中总叶绿素含量与叶绿素 a 含量变化趋势

一致,叶绿素 b 含量变化平稳,说明较高含量的叶绿素 a 是榉树呈现绿色的原因;黄色系榉树花青素和总叶绿素含量均较低。在变色期间,3 种色系榉树的类胡萝卜素含量均相对稳定。

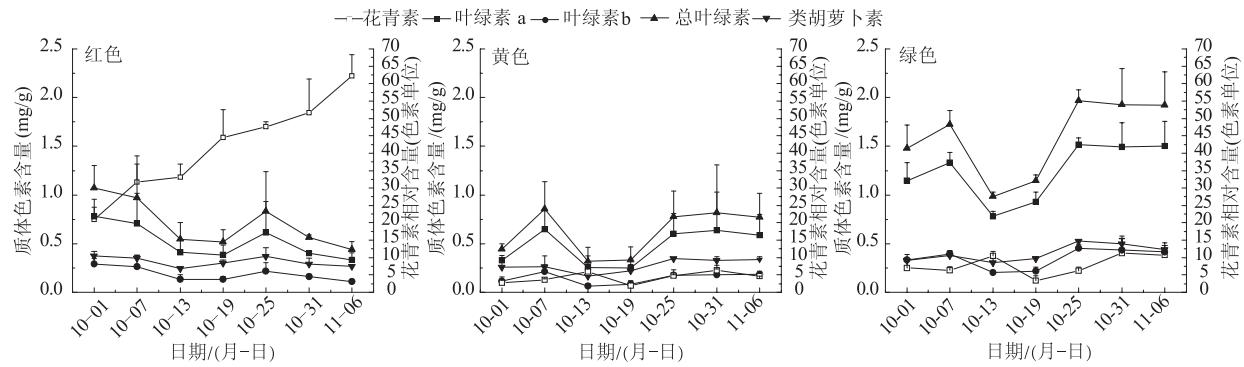


图 2 不同色系榉树的色素含量变化

2.3 不同色系榉树的色素含量百分比变化

为了更好地反映不同色系榉树在不同时期的叶色与各色素含量的关系,首先计算出各色素在单位鲜质量叶片中的含量百分数,然后绘成柱形图。由于花青素的单位(色素单位)与质体色素的单位(mg/g)不同,故将花青素含量缩小 100 倍,再计算各类色素在叶片中的含量百分比^[7]。从图 3 可以看出,花青素百分比最大的是红色系榉树,达到 22.1% ~ 44.6%,因此叶片呈现红色,表现出花青素的颜色;总叶绿素百分比最大的是绿色系榉树(73.0% ~ 80.5%),因此叶片在转色期仍维持绿

色;而类胡萝卜素百分比最大的是黄色系榉树(24.7% ~ 35.4%),因而叶片呈现黄色。

2.4 不同色系榉树叶叶片色素组成和叶片色相的关系

以叶色参数 L^* 、 a^* 、 b^* 和 C^* 作为因变量,叶片中的花青素(A_n)、总叶绿素(C_{a+b})和类胡萝卜素(C_k)含量作为自变量,进行多元逐步线性回归分析(MLR - Stepwise),变量引入的显著水平设置为 0.05,探讨榉树叶叶片中色素组成与叶色之间的关系。结果如下(共 252 个样):

$$L^* = 42.022 - 0.12A_n - 4.514C_{a+b} (R = 0.609),$$

$$a^* = -6.204 + 0.198An - 2.138C_{a+b} \quad (R=0.725),$$

$$b^* = 29.364 - 8.34C_{a+b} - 0.183An \quad (R=0.600),$$

$$C^* = 29.953 - 7.361C_{a+b} - 0.167An \quad (R=0.556).$$

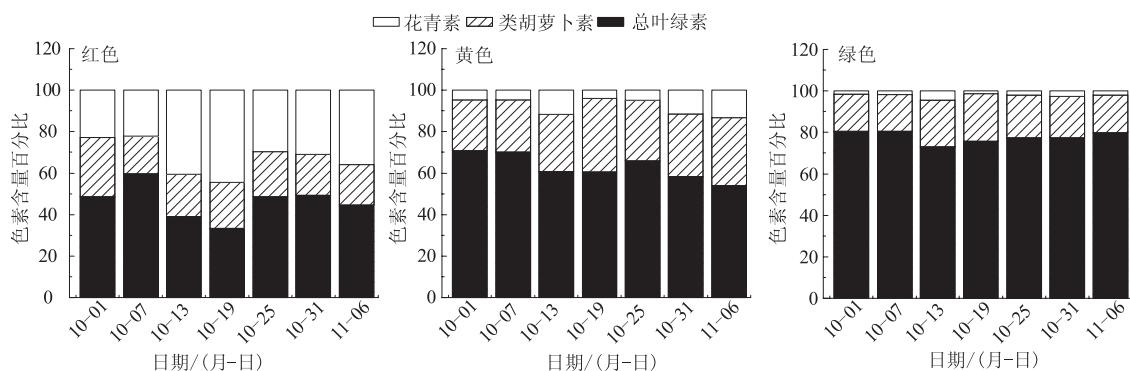


图3 不同色系榉树的色素含量百分比

回归分析表明,榉树叶中的花青素、总叶绿素含量与榉树的叶片呈色密切相关。其中,花青素含量与 a^* 值呈正相关,与 L^* 、 b^* 、 C^* 值呈负相关,说明花青素含量的增加,使叶片红色增加,同时明度、黄色度和彩度降低;总叶绿素含量与 L^* 、 a^* 、 b^* 、 C^* 值均呈负相关,说明总叶绿素含量的增加,使叶片的明度、红色度、黄色度以及彩度均降低;类胡萝卜素含量未被引入方程,说明类胡萝卜素含量与叶片颜色参数无显著相关性($P > 0.05$)。分析显示,花青素含量增加,总叶绿素含量降低,可以使叶片变红;而花青素含量降低,叶绿素含量增加,叶片将维持绿色;若花青素与总叶绿素同时降低,则将使叶片变黄。

3 结论与讨论

3.1 不同色系榉树色素含量的变化

叶片呈色是遗传因素和外部环境共同作用的结果,色素种类、比例和分布是导致叶色变化的直接原因^[7]。桃的变色过程中,叶片中花青素的大量积累是叶色变红的重要因素^[8];叶绿素a含量的相对稳定^[4]、花青苷含量急剧下降是叶片呈现绿色的关键因素^[9];在转色期叶绿素大量降解,类胡萝卜素比例提高使叶片呈现黄色^[10-11]。本研究中,不同色系榉树的色素含量及其百分比均存在明显差异。在转色期,红色系榉树的花青素含量明显大于黄色系和绿色系,绿色系榉树的总叶绿素含量和叶绿素a含量明显大于红色系和黄色系,3种色系榉树类胡萝卜素均相对平稳。

3.2 榉树叶色与色素间的关系

不管是叶片的色相还是色素含量,均随着时间的不同呈现出动态变化。通过将叶色用 CIE $L^* a^* b^*$ 色彩系统表示,实现叶色表达数字化,并将叶色参数和色素含量通过多元逐步回归分析,建立叶色色相与叶片内各色素之间的相互关系,从而明确榉树在转色期呈现不同颜色的原因。

榉树叶内色素含量变化及多元线性回归分析结果表明,表示绿到红颜色变化的色相 a^* 值与花青

素含量呈正相关,与叶绿素含量呈负相关,说明榉树秋季转色过程中,花青素大量合成,叶绿素含量下降,是榉树叶呈现红色的主要原因,相反,花青素含量降低,叶绿素含量增大,使得榉树即使在秋季也维持绿色;而表示蓝到黄颜色变化的色相 b^* 值与叶绿素、花青素均呈负相关,说明虽然类胡萝卜素含量相对稳定,但是花青素、叶绿素含量的降低,使得类胡萝卜素在叶片色素中的百分比增大,从而使榉树叶呈现出黄色,同时, b^* 值的变化趋势与明度 L^* 值、彩度 C^* 值几乎完全一致,说明叶片黄色度的增加,将会导致叶片的明度、彩度同时增加。

参考文献:

- [1] 黄利斌,汪企明,樊丛梅,等.榉树半同胞家系苗期形态变异的研究[J].江苏林业科技,2001,28(6):1-3.
- [2] 罗雪梅.不同榉树品系的生长特征及黄色品系组培快繁技术研究[D].长沙:中南林业科技大学,2012.
- [3] 刘雪梅,金晓玲,汪晓丽,等.3类色系榉树叶色表达期色素含量变化规律研究[J].河南农业大学学报,2014,48(5):596-601.
- [4] 张敏,黄利斌,周鹏,等.榉树秋季转色期叶色变化的生理生化[J].林业科学,2015,51(8):44-51.
- [5] Wang L S, Hashimoto F, Shiraishi A, et al. Chemical taxonomy in Xibei tree peony from China by floral pigmentation[J]. Journal of Plant Research, 2004, 117(1):47-55.
- [6] 郑绪辰,葛雨萱,王丽金,等.赤霉素、水杨酸、柠檬酸和蔗糖对灰毛黄栌叶色变化的影响[J].园艺学报,2013,40(11):2199-2206.
- [7] 唐前瑞,陈德富,陈友云,等.红櫟木叶色变化的生理生化研究[J].林业科学,2006,42(2):111-115.
- [8] 谢智华.不同呈色类型的桃叶色变化生理机制与光合特性研究[D].南京:南京农业大学,2012.
- [9] 周肖红,葛雨萱,王亮生,等.黄栌叶片变色期生理变化及植物生长调节剂对叶色的影响[J].林业科学,2009,45(7):59-62.
- [10] 袁明,万兴智,杜蕾,等.红花櫟木叶色变化机理的初步研究[J].园艺学报,2010,37(6):949-956.
- [11] 刘雪梅,胡希军,罗雪梅,等.榉树秋季叶色变化类型和生长特性[J].经济林研究,2014,32(1):121-125.