

红枫春季叶色变化与色素含量的相关性

黄可, 王小德, 柳翼飞, 刘猛

(浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 为探讨红枫 *Acer palmatum* 'Atropurpureum' 的春季叶色变化规律, 发掘红枫叶色表现与叶片色素质量分数之间的内在关联, 通过用分光光度计和叶色扫描测定了红枫春季叶色变化过程中不同叶位的叶绿素、类胡萝卜素和花色素苷与叶色的明度参数 L , 色相参数 a^* 和 b^* 值。结果表明: 随春季时间推移, 各叶位叶片叶绿素质量分数均逐渐上升, 类胡萝卜素质量分数则呈现先上升后下降的变化规律。上位叶和中位叶中花色素苷相对含量先略有上升然后下降, 而花色素苷相对含量与总叶绿素质量分数的比值变化则与下位叶一致, 呈逐渐下降的变化规律。与上位叶相比, 下位叶的叶色红色程度 a^* 值随花色素苷的下降而下降很快, 即叶色转为绿色的时间较早, 影响植株的整体观赏性。图 6 表 1 参 15

关键词: 园艺学; 红枫; 光合色素; 花色素苷; 叶色参数; 相关性

中图分类号: Q946, S682.36 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2012)05-0734-05

Leaf color changes in *Acer palmatum* 'Atropurpureum' and relations to pigment content

HUANG Ke, WANG Xiao-de, LIU Yi-fei, LIU Meng

(School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To determine regular patterns of leaf color change for *Acer palmatum* 'Atropurpureum' in spring and to explore linkages between leaf color expression and leaf pigment, a spectrophotometer and leaf scanning were used to measure the chlorophyll, carotenoids and anthocyanins, as well as the hue value, brightness and purity of leaf color. Results showed that, as time passed, the chlorophyll content for the upper, mid-level and lower leaf positions increased gradually; whereas variation in the carotenoid content first increased and then decreased. Anthocyanin in the upper and mid-level leaves increased slightly at first and then overall decreased. For the lower leaves, change in the ratio of anthocyanin to chlorophyll gradually decreased. Compared with the upper leaves, the a^* value, representing the red color in lower leaves, declined rapidly with the decline of anthocyanin. Thus, leaf color turned green too early, which could affect the ornamental value of the plant. [Ch, 6 fig. 1 tab. 15 ref.]

Key words: horticulture; *Acer palmatum* 'Atropurpureum'; photosynthetic pigments; anthocyanin; leaf color parameter; relations

红枫 *Acer palmatum* 'Atropurpureum', 又名红槭, 是槭树科 Aceraceae 槭树属 *Acer* 鸡爪槭 *Acer palmatum* 的一个栽培品种。其叶掌状深裂, 叶色随季节呈现丰富的变化, 树姿飘逸, 是园林中应用非常普遍的景观树种之一。在春色叶树种中, 红枫以其红艳如火的掌状叶独树一帜, 与春季各类花卉、山石水体、廊亭白墙搭配均相宜^[1]。关于园林植物呈色机制, 相关研究^[2]认为与叶片细胞内色素的种类、质量分数以及在叶片中的分布有关, 其直接原因就是叶片中的色素比例和种类发生了变化。高等植物叶片中的色素属于次生代谢物质^[3], 包括叶绿素、类胡萝卜素等色素。目前, 关于槭树属植物秋季叶色变化的

收稿日期: 2011-10-14; 修回日期: 2011-11-03

作者简介: 黄可, 从事园林植物应用与效益评估研究。E-mail: 123712873@qq.com。通信作者: 王小德, 教授, 博士, 从事园林植物引种与应用、植物造景和生态园林等研究。E-mail: wxd65@zafu.edu.cn

研究较多^[4-7]，但针对红枫春季叶色参数和色素质量分数的变化规律却尚未见有相关报道。因此，本实验从叶绿素、类胡萝卜素、花色苷相对含量等几个方面，对春季红枫不同叶位叶色变化的原因进行了比较研究，并将质量性状数量化，发掘红枫叶色表现与叶片色素质量分数之间的内在关联，为春季植物景观配置多彩化和合理化提供一定的参考，并为红枫的引种栽培和提高红枫的观赏价值提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

以浙江农林大学东湖校区内具典型代表的多年生红枫‘两头红’品系为试材。选 3 株树龄相近，长势良好，生长环境一致(地势开敞，光照充足)的植株，取样时采集植株上位叶、中位叶和下位叶 3 个叶位的功能叶片进行测定^[8]。取样时间为 8:00-9:00。实验于 2011 年 4 月初(红枫完全展叶)至 5 月底进行。

1.2 方法

叶绿素、类胡萝卜素的测定参照波钦诺克^[9]的方法，略有改动；花色苷测定参照 Pire^[10]的方法略作修改。叶片色度的测定参照 Wang 等^[11]和白新祥等^[12]的方法，略有改动。采用 Epson perfection 扫描仪对叶片鲜样进行扫描，在 Adobe Photoshop 拾色器中采用 Lab 颜色模式，记录叶尖和叶中心 2 个点、叶柄基部等 5 个点的明度参数 L ，色相参数 a^* 和 b^* 值，取其平均值表示叶片颜色。实验数据测定均为 3 次重复。使用 SPSS 11.5 软件进行数据分析，Microsoft Excel 2003 作图。

2 结果与分析

2.1 春季红枫叶片色素质量分数的变化

2.1.1 叶绿素 由图 1 可看出：春季 4 月初(红枫完全展叶)至 5 月底，红枫各部位叶片中的叶绿素质量分数均呈显著上升的变化趋势，其中叶绿素 b 上升较快，且 3 个叶位存在显著差异($P < 0.05$)。叶绿素总质量分数与叶绿素 a 质量分数的变化趋势较一致，在 4 月上中旬变化达到极显著水平($P < 0.01$)，下旬开始则变化较稳定，且下位叶中叶绿素质量分数略高于中位叶和下位叶，3 个叶位叶绿素质量分数差异性达显著水平($P < 0.05$)。

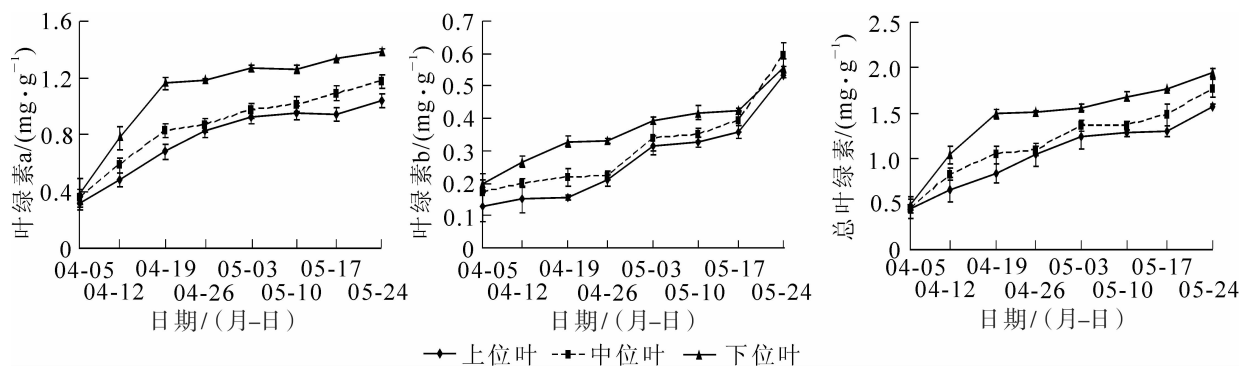


图 1 叶绿素 a，叶绿素 b 及总叶绿素质量分数变化趋势

Figure 1 Variation trends of chlorophyll a, chlorophyll b and chlorophyll a+b contents during spring

2.1.2 类胡萝卜素 由图 2 可知：春季红枫叶片中的类胡萝卜素质量分数呈现先上升后开始下降的趋势。高峰为 5 月中旬，随后开始出现下降。4 月中旬和高峰时期 3 个叶位类胡萝卜素质量分数之间存在显著差异($P < 0.05$)，其间变化则较为稳定。上位叶的类胡萝卜素质量分数相对较低，可能是上位叶叶片受光照充足，叶绿素和类胡萝卜素分解较快。

2.1.3 花色苷 花色苷是一类酚类化合物，它在植物体内通常与糖结合为花色苷，使植物叶片呈现多彩色^[4]。根据图 3 可知：展叶初期，红枫叶片中的花色苷的相对含量非常高，这可能是红枫叶片呈现红艳颜色的一个重要因素。上位叶和中位叶中花色苷相对含量在开始时有缓慢上升的趋势，然后逐渐下降，并且上位叶花色苷相对含量略高于中位叶。分析原因，可能是初期嫩叶中合成的花色苷积累到一定程度，表现为上升趋势，随着叶片成熟，经光照和温度的增加，积累的花色素苷逐渐被分解而相对

含量开始呈下降趋势。下位叶受光照不充足,花色苷的合成受影响,相对含量始终呈下降趋势。各叶位的花色素苷相对含量变化均达到显著水平($P<0.05$)。可见光照强度和花色苷相对含量的变化有明显的相关性。

2.2 花色苷与叶绿素比值变化

由图4可知:红枫叶片中花色苷相对含量与叶绿素质量分数比值均表现为下降的变化规律。4月中旬以前,上位叶中两者的比值下降较快,变化达显著水平($P<0.05$),且与中下叶位差异极显著($P<0.01$)。而4月中下旬开始,3个叶位叶片中花色苷与叶绿素的比值变化趋于平稳,并且差异不显著。

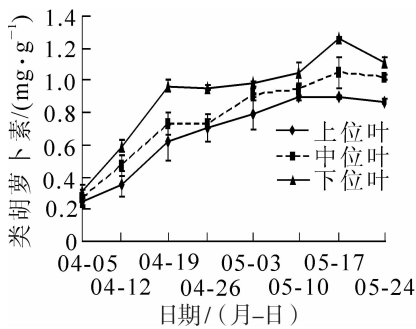


图2 类胡萝卜素变化趋势
Figure 2 Variation trends of carotenoid content in spring

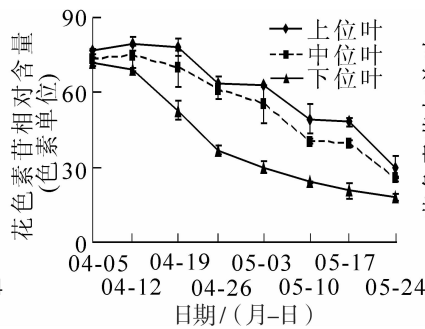


图3 花色苷相对含量变化趋势
Figure 3 Variation trends of anthocyanin content in spring

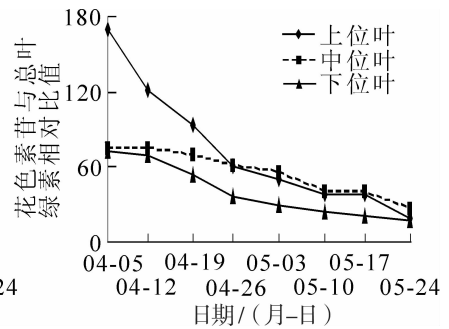


图4 花色苷相对含量与总叶绿素质量分数相对比值变化趋势
Figure 4 Variation trends of ratio of anthocyanin and chlorophyll content in spring

2.3 春季红枫叶色参数的变化

彩叶植物的叶色包括色相、明度和纯度(饱和度)三要素^[13]。笔者主要研究的是叶色的明度和色相两大要素。明度参数 L 表示光泽明亮度,色相参数 a^* 值表示红/绿, a^* 值越大,红色越深, a^* 值越小,绿色越深;色相参数 b^* 值表示黄/蓝,正值表示黄色程度,负值表示蓝色程度。春季红枫叶片的颜色经过由红转淡再逐渐变绿的过程,其 L , a^* 和 b^* 参数动态变化及其叶色变化过程如图5。在叶色变化过程中,上位叶和中位叶的明度参数 L 与色相参数 b^* 变化幅度较小,而色相参数 a^* (图6)呈显著下降趋势($P<0.05$),表现为叶色由红转绿。下位叶的明度参数 L 与色相参数 b^* 呈缓慢上升趋势,即红枫叶片的光泽明亮度、黄色程度逐渐升高,色相参数 a^* 的变化规律与上位叶、中位叶一致,即红色程度降低。经方差分析比较,3个叶位叶片的 L 和 b^* 值差异性未达到显著水平,而下位叶则与上位叶、中位叶叶片的 a^* 值差异达显著水平($P<0.05$)。

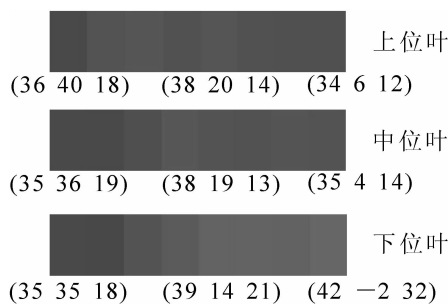


图5 春季红枫叶色参数 L , a^* , b^* 值变化图
Figure 5 Variations of L , a^* , b^* in leaf color of *Acer palmatum* 'Atropurpureum' in spring

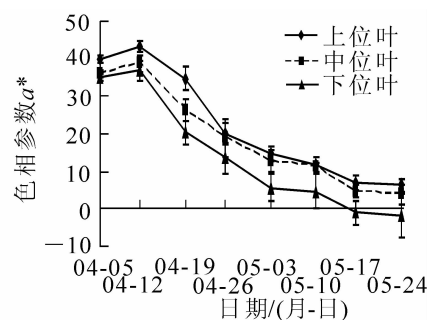


图6 色相参数 a^* 值变化趋势
Figure 6 Variation trends of a^* value in leaf color in spring

2.4 红枫叶片色素含量与其颜色的相关性

由表1可以看出:春季红枫叶色变化过程中,各叶位叶片的叶绿素质量分数与花色苷相对含量的相关性基本一致,均在1%水平上表现为极显著的负相关。而叶色参数与花色苷和叶绿素的相关性则因叶位不同而略显差异,但各叶位的 a^* 值均与花色苷相对含量在1%水平上呈现极显著正相关性,与

叶绿素质量分数在 1%水平上呈现极显著负相关性; L 值与花色素苷和叶绿素的相关性之间, 除了下位叶表现为一定的相关性, 上中叶位均不具有显著相关性; 各叶位的 b^* 值与花色素苷和叶绿素呈现显著相关性。

表 1 红枫春季叶色变化叶绿素与花色素苷及叶色参数的相关系数

Table 1 Correlation coefficients of *Acer palmatum* 'Atropurpureum' between chlorophyll and anthocyanin or color variations during spring

叶位	叶绿素与花色素苷	叶色参数与花色素苷			叶色参数与叶绿素		
		L	a^*	b^*	L	a^*	b^*
上位叶	-0.911**	0.522	0.954**	-0.834**	0.662	0.913**	0.747*
中位叶	-0.914**	0.293	0.935**	0.742*	0.082	0.931**	-0.755*
下位叶	-0.914**	0.979**	0.991**	-0.843**	0.869**	0.906**	0.771*

说明: *表示差异达 5%显著水平, **表示差异达 1%显著水平。

3 结论与讨论

在春季红枫叶色变化过程中, 3 个叶位的叶片中叶绿素质量分数均表现出逐渐上升的趋势, 而类胡萝卜素质量分数则呈现先上升后下降的变化规律。红枫上位叶和中位叶中花色素苷相对含量表现为先略有上升然后下降的趋势, 而花色素苷与叶绿素质量分数的比值变化则与下位叶一致, 呈逐渐下降的变化规律, 2 类色素呈现极显著相关性。这与 Saure 等^[4,6]的研究结果相一致。

红枫上位叶与下位叶中花色素苷存在极显著差异, 并在叶色上表现为红色度高, 颜色鲜艳。通过叶色参数的数值比较及与各类色素的相关性分析可知, 与上位叶相比, 下位叶的叶色红色程度 a^* 值随花色素苷的下降而下降很快, 且与上位叶差异性显著 ($P < 0.05$), 即叶色转为绿色的时间较早, 影响植株的整体观赏性。因此在栽培管理方面, 可培育伸展型品种, 使整株树体充分受光, 以期达到最佳的观赏效果。

关于彩叶植物的叶色变化已有较多的研究, 但多数采用色素测定和感官鉴别等方法, 如采用色差计^[14]、分光光度测量仪^[15]和扫描仪扫描测量^[7]等 3 种方法对叶色量化进行了初步探索, 而有关叶色变化过程的定量模型报道却很少。本实验在采用扫描仪扫描测量的基础上, 在 PhotoShop 软件中应用 Lab 模式, 测得叶色三大要素——明度参数 L , 色相参数 a^* 和 b^* 的值, 将叶色定性描述数量化处理, 从而使量化分析叶色与各色素含量之间的关系成为可能。

参考文献:

- [1] 陈继卫, 沈朝栋, 贾玉芳, 等. 红枫秋冬转色期叶色变化的生理特性[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2010, **36** (2): 181 - 186.
CHEN Jiwei, SHEN Chaodong, JIA Yufang, et al. Physiological changes of maple (*Acer palmatum* 'Atropurpureum') leaves during the color-changing period in autumn and winter [J]. *J Zhejiang Univ Agric & Life Sci*, 2010, **36** (2): 181 - 186.
- [2] 姜卫彬, 庄猛, 韩浩章, 等. 彩叶植物呈色机理及光合特性研究进展[J]. 园艺学报, 2005, **35** (4): 46 - 48, 52.
JIANG Weibing, ZHUANG Meng, HAN Haozhang, et al. Progress on color emerging mechanism and photosynthetic characteristics of colored-leaf plants [J]. *Acta Horti Sin*, 2005, **35** (4): 46 - 48, 52.
- [3] 潘瑞炽, 董愚得. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995: 77 - 79.
- [4] VAKNIN H, BAR-AKIVA A, OVADIA R, et al. Active anthocyanin degradation in *Brunfelsia calycina* (yesterday-today-tomorrow) flowers [J]. *Planta*, 2005, **222**: 19 - 26.
- [5] 梁鸣, 赵大勇, 孙波. 引种紫花槭叶属性的年际变化[J]. 东北农业大学学报, 2009, **40** (12): 29 - 36.
LIANG Ming, ZHAO Dayong, SUN Bo. Annual change of leaf attribute of introduced *Acer pseudo-sieboldianum* [J]. *J Northeast Agric Univ*, 2009, **40** (12): 29 - 36.
- [6] 冯立娟, 苑兆和, 尹燕雷, 等. 美国红枫叶色表达期间相关物质的研究[J]. 山东林业科技, 2008 (4): 9 - 11.
FENG Lijuan, YUAN Zhaohe, YIN Yanlei, et al. Studies on the related substances for color expression in American

- maple during the leaf color transition [J]. *J Shandong For Sci Technol*, 2008 (4): 9 – 11.
- [7] 洪丽. 茶条槭幼树叶色变化的生理特性研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2008.
HONG Li. *The Physiology Charateristic Research of the Leaf Color Changes on the Sapling of the Acer ginnala Maxim* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2008.
- [8] 李萍, 刘晓芳, 黄闽敏, 等. 紫叶矮樱叶片色素测定及动态变化分析[J]. 西北林学院学报, 2007, **22** (5): 23 – 26.
LI Ping, LIU Xiaofang, HUANG Minmin, *et al.* The contents and dynamic changes analysis of pigment in leaves of *Prunus × cistena* [J]. *J Northwest For Univ*, 2007, **22** (5): 23 – 26.
- [9] 波钦诺克 X H. 植物生物化学分析方法[M]. 荆家海, 丁钟荣, 译. 北京: 科学出版社, 1981: 229 – 263.
- [10] PIRIE A, MULLINS M G. Changes in anthocyanin and phenolics content of grapevine leaf and fruit tissues treated with sucrose, nitrate abscisic acid [J]. *Plant Physiol*, 1976, **58**: 468 – 472.
- [11] 王亮生, 橋本文雄, 白石綾, 他. 中国西北ボタン栽培品種群の花色と色素構成について [J]. 園芸学会雑誌, 2000, **69** (2): 233.
WANG Liangsheng, HASHIMOTO F, SHIRAISHI 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.
- [12] 白新祥, 胡可, 戴思兰. 不同测色方法在观赏植物花色测定上的比较[G]//张启翔. 中国观赏园艺研究进展. 北京: 中国林业出版社, 2006: 543 – 548.
- [13] 色彩学编写组. 色彩学[M]. 北京: 科学出版社, 1951: 128 – 129.
- [14] 朱书香, 杨建民, 王中化, 等. 4种李属彩叶植物色素含量与叶色参数的关系[J]. 西北植物学报, 2009, **29** (8): 1663 – 1669.
ZHU Shuxiang, YANG Jianmin, WANG Zhonghua, *et al.* Relationship between pigment contents and leaf color parameters of four leaf-colored species of *Prunus* [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2009, **29** (8): 1663 – 1669.
- [15] 丁廷发. 重庆市5种彩叶植物色素和色彩研究及应用[D]. 雅安: 四川农业大学, 2005.
DING Tingfa. *Study and Application of Pigment and Color of Five Colorful Plants in Chongqing* [D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2005.