

文章编号:1001-7380(2019)04-0033-04

黄金枸骨变色期的叶色与叶片光合色素含量关系研究

苏金^{1,2}, 黄婧¹, 周鹏¹, 张敏^{1*}, 孙体如¹

(1. 江苏省林业科学研究院, 江苏 南京 211153; 2. 南京林业大学生物与环境学院, 江苏 南京 2100372)

摘要:为研究黄金枸骨叶色在遮荫下变色的问题,通过盆栽试验,利用人工遮荫使叶色变化,观测叶色转变期的色素变化。结果表明:叶色由黄变绿的过程中,叶色参数 L 、 a 、 b 值显著下降($P<0.05$),花色素苷含量呈显著上升的趋势($P<0.05$);叶色、叶绿素 a 、叶绿素 b 、总叶绿素和花色素苷之间呈显著正相关性($P<0.05$),类胡萝卜素与其他指标为负相关性,说明这些指标的变化最终决定或影响了叶色的变化。通过分析各生理指标的变化情况,发现黄金枸骨叶色转变的根本原因是叶绿素与类胡萝卜素比值的变化,叶片中叶绿素含量增多,提高了叶绿素与类胡萝卜素的比值,使叶色变绿。

关键词:黄金枸骨;叶绿素;类胡萝卜素;花色素苷;色素含量;叶色表现

中图分类号:Q945.11;S792.99

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2019.04.007

Leaf color research during discoloration period of *Ilex × attenuata* ‘Sunny Foster’

Su Jin^{1,2}, Huang Jing¹, Zhou Peng¹, Zhang Min^{1*}, Sun Tiru¹

(1. Jiangsu Academy of Forestry, Nanjing 211157, China;

2. College of Biology and the Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: In order to study the discoloration of the leaf color of *Ilex × attenuata* ‘Sunny Foster’ under artificial shading, pot trials were conducted to observe the change of leaf color, and then the change of pigments during the period of leaf color change was dynamically observed. The results showed that the leaf color parameters L , a and b decreased significantly ($P<0.05$) during the process of yellowing and greening, however the anthocyanin content also increased significantly ($P<0.05$). There was a significant linear relationship among leaf color, chlorophyll a , chlorophyll b and total chlorophyll ($P<0.05$). By the comprehensively analyzing the changes of various physiological indexes, we found the fundamental reason for the change of leaf color of *Ilex × attenuata* ‘Sunny Foster’ was the change of the ratio of chlorophyll to carotenoids, that was, the increase of chlorophyll content in leave caused the ratio increase of chlorophyll to carotenoids and made the leaf color green. This study provided a theoretical basis for its scientific and rational application.

Key words: *Ilex × attenuata* ‘Sunny Foster’; Chlorophyll; Carotenoids; Anthocyanin; Pigment content; Leaf color performance

随着社会进步和经济的发展,我国对生态环境建设越来越重视,城市园林景观对色彩的要求也越来越高,不再满足于单一的绿色,而是逐渐向多姿的彩色转变^[1]。彩叶植物因其丰富的色彩,逐渐受到人们的

青睐,成为城市园林绿化植物的首选。彩叶植物叶片一般在不同发育阶段、不同环境条件下会变色^[2-3]。但在实际应用中,由于彩叶植物存在变色时间推迟、变色期短暂、变色程度较低等问题,植物的变色效果

收稿日期:2019-05-27;修回日期:2019-06-27

基金项目:江苏省林业科技创新与推广项目“北美冬青工厂化育苗技术示范与推广”(LYKJ[2017]34);江苏省重点研发(现代农业)项目“耐盐观赏冬青新品种选育”(BE2018400);江苏省林业科学研究院自主科研项目“冬青叶色变化的细胞分子机制”(BM2018022-6)

作者简介:苏金(1994-),女,硕士研究生。E-mail:2906903821@qq.com。

***通信作者:**张敏(1980-),女,内蒙古人,研究员,博士。主要从事生物技术与林木花卉良种繁育工作。

受到严重影响,继而降低了彩叶树种的观赏价值,所以彩叶植物的变色和呈色问题成为研究热点,多数学者对彩叶植物的超微结构^[4-5]、生理生化^[6-7]、分子调控^[8-9]、引种栽培^[10-11]进行了研究。

黄金枸骨属于冬青科冬青属常绿灌木、小乔木,拉丁名为 *Ilex × attenuata* ‘Sunny Foster’。初期黄金枸骨的小苗是绿色,只要放在阳光下,新生长的叶片就会变成黄色,且光照越强,越金黄,而在遮荫的环境下叶片又会变成绿色。黄金枸骨因为它独特金黄的颜色,与其他叶色系列树种搭配,色彩对比鲜明,如与红叶石楠搭配,具有很高的观赏价值。目前对于黄金枸骨叶色变化研究甚少,因此,本研究对提高黄金枸骨的观赏价值和叶色选育等研究具有很大的理论和实践意义。本试验拟通过人工遮荫的方法,使黄金枸骨叶片从黄色变为绿色,在此过程中分 6 个时期对叶色和生理指标进行观测分析,以探究黄金枸骨在光下呈金黄色,而在遮荫下呈绿色的原因,以及黄金枸骨的呈色机理。为黄金枸骨的育种和科学管护,以及彩叶树种的景观培育提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 研究材料

试验时间:2018 年 9—10 月。试验地点:江苏省南京市江宁区江苏省林业科学研究院温室大棚。选择生长良好且长势一致的 1 年生黄金枸骨苗木,移栽至塑料容器中,容器规格:20 cm×20 cm,内有人工营养土,每盆 1 株,共 30 盆。利用黑色遮荫网进行人工 4 面遮荫处理。利用手持式光量子计 3415F 测量,遮荫前光照为 1 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,遮荫后光照为 150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。常规管理。在其叶色变绿的过程中,分 6 个时期采样:时期 1—全黄、时期 2—遮荫后 6 d、时期 3—遮荫后 15 d、时期 4—遮荫后 22 d、时期 5—遮荫后 29 d、时期 6—全绿。每个时期进行 3 次重复试验,每个重复随机选取 3 株黄金枸骨。对样品进行处理后测定相关指标。采样时间为 9 月 23 日至 10 月 29 日。

1.2 研究方法

1.2.1 叶色测定 参照白新祥等^[12]的方法用数字化扫描仪(Expression 10000XL 1.0)对新采集叶片进行扫描,将扫描的叶片在 photoshop 拾色器中采用 lab 颜色模式,记录 L, a, b 值表示叶片颜色。其中 L 值表示明亮度, L 值越大,亮度越高;色相 a (绿色-红色

轴),负值表示色泽为绿,负值越小,绿色越深,正值表示色为红,正值越大,红色越深;色相 b (蓝色-黄色轴),正值表示黄色程度,负值表示蓝色程度。

1.2.2 色素含量测定 叶绿素含量测定参照 Arnon (1949)的方法,略有改动。取叶片 0.1 g,加少量石英砂和碳酸钙粉及 2—3 mL 80% 丙酮,研成匀浆,转入 10 mL 棕色容量瓶中,加 80% 的丙酮水溶液定容至 10 mL,避光浸提。将色素提取液倒入比色杯内。以 80% 丙酮为对照,在波长 645,663 和 440 nm 处测定吸光值,并计算叶片的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a/b、总叶绿素和类胡萝卜素含量。

花色素苷含量测定参照王英典^[14]的盐酸乙醇浸提法,在 0.2 g 新鲜样品中加入 10 mL 0.1 mol/L 盐酸乙醇溶液(8.3 mL 浓盐酸加 95% 乙醇稀释至 1 L),暗提取 24 h,过滤得上清液,利用分光光度计在波长 535 nm 处测定吸光度。将在每克鲜样 10 mL 提取液中改变 0.1 个 OD 值当作一个色素单位,计算花色素苷含量。

1.3 数据处理

对上述测定或统计的各指标,采用 SPSS 13.0 软件进行显著性检验(LSD 法)和相关性分析,利用 EXCEL 2010 和 Adobe Photoshop 进行数据运算和图表处理。

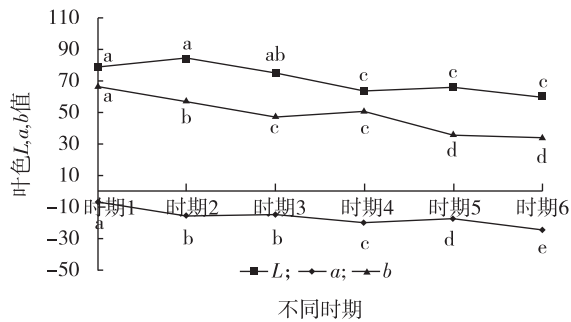
2 结果与分析

2.1 黄金枸骨的叶色变化

黄金枸骨叶片 L, a, b 值如图 1 所示。叶色由黄变绿的过程中 L 值呈显著下降趋势($P<0.05$),全黄(时期 1)和全绿(时期 6)分别为 79.222 和 60.889,下降了 23.1%,说明在时期 1 叶色表现最亮; a 值也呈现出显著下降趋势($P<0.05$),全黄(时期 1)和全绿(时期 6)分别为 -6.889 和 -24.444,下降了 254.8%,说明叶色再逐渐变绿; b 值同样呈现出显著下降趋势($P<0.05$),在时期 4 有上升趋势,但差异不显著,全黄(时期 1)和全绿(时期 6)分别为 67.333 和 34.222,下降了 49.2%,说明叶色黄色逐渐变浅,叶色呈现绿色。

2.2 叶色变化过程中色素含量的变化

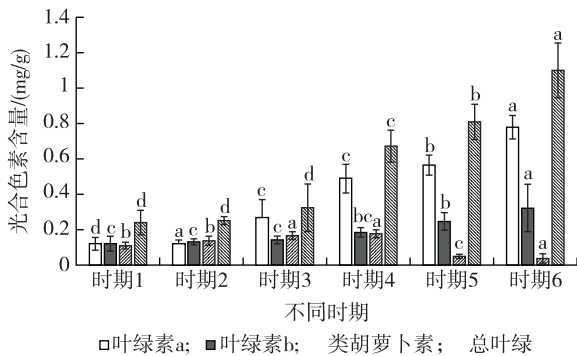
由图 2 可以看出,黄金枸骨叶色由黄变绿的过程中(时期 1—时期 6)叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素都成显著上升的趋势($P<0.05$),都在时期 6 达到了最大值,叶绿素 a 在时期 3 出现显著改变,叶绿素 b 和总叶绿素在时期 4 出现显著改变,叶绿素 a 含



不同小写字母表示不同时期各个叶色参数值之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

图1 黄金枸骨不同时期叶色 L, a, b 值

量从 0.119 mg/g 上升到 0.779 mg/g, 增幅达 554.6%; 叶绿素 b 含量从 0.121 mg/g 增加到 0.321 mg/g, 增幅为 165.3%; 总叶绿素含量从 0.240 mg/g 上升到 1.100 mg/g, 增幅达 358.3%。类胡萝卜素在由黄变绿的过程中呈现先上升后下降的趋势, 在时期 4 达到最大值, 叶色变绿后 (时期 5—时期 6) 含量显著下降 ($P < 0.05$)。色素含量的变化与叶色的改变过程相一致, 说明在黄金枸骨由黄变绿的过程中叶绿素更是起到主导作用, 叶色变绿叶绿素含量显著增加 ($P < 0.05$), 类胡萝卜素显著下降 ($P < 0.05$)。



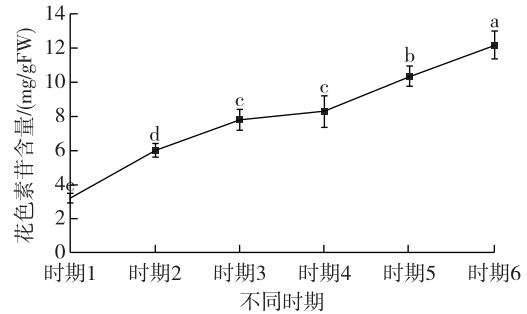
不同小写字母表示不同时期光合色素含量之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

图2 不同时期叶片光合色素含量的变化

花色素苷含量变化如图 3 所示, 全黄 (时期 1) 含量最少, 为 3.194 mg/g FW, 随着叶色变绿, 花色素苷含量显著升高 ($P < 0.05$), 在全绿 (时期 6) 达到最大, 为 12.183 mg/g FW, 增幅达 2.8 倍。花色素苷含量也在间接影响黄金枸骨的叶色变化。

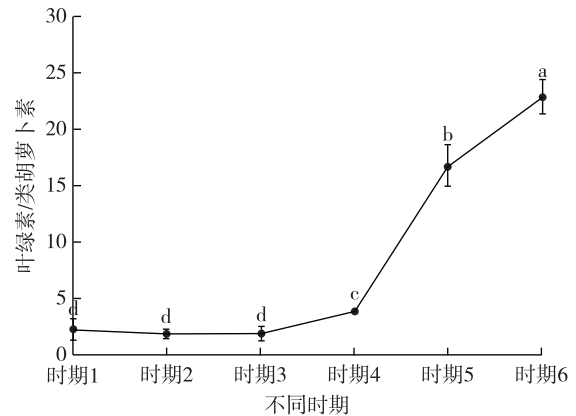
叶色变化中, 叶绿素与类胡萝卜素的比值也是上升的趋势 (如图 4 所示), 在时期 4 出现显著差异,

并在时期 6 达到最大值, 为 22.870, 相比于时期 1, 增幅为 8.9 倍。



不同小写字母表示不同时期花色素苷含量之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

图3 不同时期叶片花色素苷含量的变化



不同小写字母表示不同时期的比值之间存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

图4 不同时期叶片叶绿素与类胡萝卜素比值的变化

2.3 各指标之间的相关性分析

相关性分析 (见表 1) 显示, 叶色、叶绿素 a 、叶绿素 b 、叶绿素总量、花色素苷之间达到显著水平, 有的水平在 0.05, 有的水平在 0.01; 类胡萝卜素与其他指标之间呈负相关关系, 但相关性不显著。因此, 在研究黄金枸骨叶色变化时, 开展这些生理指标的研究具有一定的辅助意义。

表1 黄金枸骨各生理指标的相关性分析

生理指标	叶色	叶绿素 a	叶绿素 b	类胡萝卜素	总叶绿素	花色素苷
叶色	1	0.977 **	0.943 **	-0.556	0.960 **	0.986 **
叶绿素 a		1	0.964 **	-0.592	0.992 **	0.935 **
叶绿素 b			1	-0.760	0.981 **	0.914 *
类胡萝卜素				1	-0.660	-0.525
总叶绿素					1	0.911 *
花色素苷						1

注: ** 表示在 0.01 水平, 相关性显著; * 表示在 0.05 水平, 相关性显著。

3 结论与讨论

叶色是植物观赏价值和园林应用最直接的评价依据。对红花檵木^[15]、风箱果^[15]、鹅耳枥^[17]等木本植物的研究表明,植物体呈现不同叶色是由体内色素种类和外界环境条件综合作用的结果。叶片颜色的转变不仅与构骨体内各种色素的种类、含量、比值相关,也受到外界环境条件的影响。叶绿素和类胡萝卜素是构成植物叶色的主要色素,叶绿素是使叶片呈现绿色的主要色素,类胡萝卜素是使植物呈现橙黄色的主要色素^[1],2者的含量和比例将会直接影响叶片呈现的颜色。本试验研究表明,黄金构骨叶片中叶绿素和类胡萝卜素的比值是影响其叶片呈色改变的主要原因,人工遮荫后叶色转换是由于叶绿素的含量提高,从而提高了叶绿素与类胡萝卜素的比值,使黄金构骨叶片呈现绿色;黄金构骨叶片中花色素苷含量与叶绿素含量的比值越高,叶片红紫色程度就越深。可见叶片内各色素比例的变化将导致叶片出现呈色变化,本试验研究结果与前人^[18]的研究结果一致。同时,全光照下黄金构骨的叶色金黄,观赏性最佳,通过遮荫后,叶色出现“返青”现象,这与低光强下金叶白蜡^[19]、金叶风箱果^[20]等常色叶树种叶绿素增加、叶色“返青”一致。

花色素苷是红叶植物的主要呈色因子,而黄叶植物叶片^[21]的主要呈色因子是类胡萝卜素。本试验数据表明,黄金构骨叶片的花色素苷与叶绿素相关性达到极显著水平($P<0.01$),且黄金构骨叶色金黄时,类胡萝卜素含量最多,花色素苷最少。由此推测黄金构骨的叶色变化,除受到叶绿素与类胡萝卜素比值的调控外,还与花色素苷的降解有关。

本研究动态观测了黄金构骨叶色转变期色素及其生理指标的变化趋势。试验结果表明:黄金构骨在全光照环境下可获得最佳的叶色表达,呈金黄色;在遮荫条件下,叶色逐渐变绿,类胡萝卜素含量下降,叶绿素、花色素苷同步上升是黄金构骨叶色转变的直接原因,叶绿素和类胡萝卜素的比值是叶片变色的根本原因;叶色变绿时,各生理指标间差异显著,相互影响。本试验初步探索了黄金构骨变色期的生理变化,初步掌握其最佳叶色表现和变色原因,为黄金构骨在园林应用中提供理论基础。然而,不同光照对黄金构骨的影响还有待研究,更多相关的生理指标也有待测定。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] HUGHES N M. Winter leaf reddening in 'evergreen' species[J]. New Phytologist, 2011, 190(3):573-581.
- [3] 陈颖卓,黄至欢. 红色幼叶的适应意义探讨[J]. 生物多样性, 2016, 24(9):1062-1067.
- [4] 李卫星,杨舜博,何智冲,等. 植物叶色变化机制研究进展[J]. 园艺学报, 2017, 44(9):1811-1824.
- [5] LI W X, YANG S B, LU Z G, et al. Cytological, physiological, and transcriptomic analyses of golden leaf coloration in *Ginkgo biloba* L. [J]. Horticulture Research, 2018, 5(1):12.
- [6] 张少露. 红叶石楠叶色变化过程中叶结构和生理特征研究[D]. 雅安:四川农业大学, 2017.
- [7] 李利霞. 鸡爪槭叶色变化机制的研究[D]. 重庆:重庆师范大学, 2015.
- [8] SINKKONEN A, SOMERKOSKI E, PAASO U, et al. Genotypic variation in yellow autumn leaf colours explains aphid load in silver birch[J]. New Phytologist, 2012, 195(2):461-469.
- [9] YANG N, GAO C, PENG DL, et al. Grey leaves in an alpine plant: a cryptic colouration to avoid attack? [J]. New Phytologist, 2014, 203:953-963.
- [10] 王德芳. 北京地区彩叶植物引种栽培研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(19):297-302.
- [11] 徐志豪,王桂林. 彩叶植物引种及其园林应用后评价研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(2):194-197.
- [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[C]//中国园艺学会观赏园艺专业委员会年会论文集. 北京:中国林业出版社, 2006: 543-548.
- [13] ARNON D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts Polyphenol-oxidase in *Beta vulgaris* [J]. Plant Physiology, 1949, 24(1): 1-15.
- [14] 王英典. 植物生物学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2011.
- [15] 袁明,万兴智,杜蕾,等. 红花檵木叶色变化机理的初步研究[J]. 园艺学报, 2010, 37(6):949-956.
- [16] 姜新强,宫明雪,朱倩玉,等. 风箱果叶色变化及呈色机理研究[J]. 中国农学通报, 2018, 34(3):76-81.
- [17] 吴驭帆,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.
- [18] 胡永红,秦 俊,蒋昌华,等. 上海地区秋色叶成因的调查与分析[J]. 东北林业大学学报, 2004(5):84-86.
- [19] 陈 芳,李旭新,步绍振,等. 金叶白蜡色素含量与光合生理指标年变化规律研究[C]//中国观赏园艺研究进展, 2013.
- [20] 杨 露,于晓跃,刘煜光,等. 遮荫对2种彩叶风箱果叶色及光合特性的影响[J]. 河北农业大学学报, 2016, 39(5):75-81.
- [21] 王欢利. 黄叶银杏呈色基础及适应性差异[D]. 南京:南京林业大学, 2015.