

赤霉素、水杨酸、柠檬酸和蔗糖对灰毛黄栌叶色变化的影响

郑绪辰^{1,2}, 葛雨萱³, 王丽金^{2,4}, 袁茹玉^{1,2}, 赵阳³, 周肖红³, 王亮生^{2,*}

(¹南京农业大学园艺学院, 南京 210095; ²中国科学院植物研究所北京植物园/资源植物研发重点实验室, 北京 100093; ³北京市香山公园管理处, 北京 100093; ⁴中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 2011 年秋, 选取长势一致的 4 年生灰毛黄栌 (*Cotinus coggygria* var. *cinerea* Engl.) 组培苗, 喷施不同浓度的赤霉素 (GA₃)、水杨酸、柠檬酸和蔗糖水溶液, 研究其对叶色的影响。结果表明, 使用浓度为 0.01 mmol · L⁻¹ 的赤霉素处理可以推迟灰毛黄栌的落叶期, 从而使叶片观赏期平均延后 5 d; 用浓度为 0.5 mmol · L⁻¹ 的水杨酸处理, 会使叶片观赏期平均推迟 7 d, 而浓度为 1.0 mmol · L⁻¹ 的水杨酸处理, 叶片的观赏期平均提前了 3 d; 喷施 4.8 mmol · L⁻¹ 的柠檬酸和 200.0 mmol · L⁻¹ 的蔗糖溶液, 都能显著提高灰毛黄栌叶片中花青素的相对含量, 使叶片更红, 并且使叶片的观赏期分别提前了 6 d 和 9 d。

关键词: 灰毛黄栌; 叶色; 赤霉素; 水杨酸; 柠檬酸; 蔗糖

中图分类号: S 68

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2013) 11-2199-08

The Effects of Several Chemicals on Leaf Color Changes of *Cotinus coggygria* var. *cinerea*

ZHENG Xu-chen^{1,2}, GE Yu-xuan³, WANG Li-jin^{2,4}, YUAN Ru-yu^{1,2}, ZHAO Yang³, ZHOU Xiao-hong³, and WANG Liang-sheng^{2,*}

(¹College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; ²Beijing Botanical Garden/Key Laboratory of Plant Resources, Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; ³Management Department of Beijing Fragrant Hills Park, Beijing 100093, China; ⁴University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The leaf color changes of four-year-old *Cotinus coggygria* var. *cinerea* Engl. trees were studied by treating them with different concentrations of gibberellins (GA₃), salicylic acid, citric acid, and sucrose. The results showed that the application of 0.01 mmol · L⁻¹ GA₃ could prolong the leaf-absent period and extend the ornamental period for average of five days compared with that of control. The ornamental period was delayed for average of one week by treating the trees with 0.5 mmol · L⁻¹ salicylic acid while the treatment of 1.0 mmol · L⁻¹ salicylic acid advanced the ornamental period for three days. Both the application of 4.8 mmol · L⁻¹ citric acid and 200.0 mmol · L⁻¹ sucrose significantly made the ornamental period in advance for six days and nine days, respectively. Meanwhile they increased the relative content of anthocyanins in leaves and deepened the red color of leaves.

收稿日期: 2013-06-05; 修回日期: 2013-09-06

基金项目: 北京市 2011 年科技计划项目 (Z111106073711001)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: wanglsh@ibcas.ac.cn)

Key words: *Cotinus coggygria* var. *cinerea* Engl.; leaf color; gibberellin (GA₃); salicylic acid; citric acid; sucrose

灰毛黄栌 (*Cotinus coggygria* var. *cinerea* Engl.), 为漆树科黄栌属落叶灌木或小乔木, 北京称之为“香山红叶”、“西山红叶”, 其叶秋季变红, 观赏价值很高, 是北京香山公园红叶景观的主要观赏树木。近年来受气候变化及人为活动的影响, 灰毛黄栌(香山红叶)叶色变化不稳定, 部分地区叶片变色效果差甚至不变色, 严重影响了香山红叶景观的形成。影响叶片变色的原因很多, 包括光照、温度、水分、土壤条件等。已有研究表明, 叶绿素含量的下降, 花青素苷含量的增加是黄栌叶片绿色褪去、红色显现的主要原因(葛雨萱等, 2011)。自然强光能促进叶片中花青素的积累, 叶绿素含量的降低, 增强叶片的变色效果(Singh et al., 1999; Nguyen & Cin, 2009)。低温环境有助于美国红栌叶片中花青素的积累, 在 17 °C/9 °C 的昼夜温度循环下, 幼叶和成熟叶中花青素积累量最高(Oren-Shamir & Levi-Nissim, 1997)。但是, 在山区开放的风景林中, 通过调节光照与温度来调控灰毛黄栌的叶色, 还很难实现。

王战义等(2009)发现喷施赤霉素能促进烟草叶绿素、类胡萝卜素和多酚类的降解, 而喷施水杨酸和乙烯利则促进叶绿素和多酚类的降解, 减缓类胡萝卜素的降解。Ducamp-Collin等(2008)研究发现, 喷施柠檬酸使荔枝果皮中的花青素更稳定, 储藏 3 周后果皮依然不褪色。在旱莲木(*Camptotheca acuminata*)的悬浮细胞培养基中添加蔗糖, 能促进细胞中花青素的合成(Pasqua et al., 2005)。而唐前瑞等(2006)发现, 可溶性糖对红檫木叶片中花青素的积累有明显促进作用, 杨秋生等(2006)给遮荫条件下的牡丹品种‘洛阳红’喷施蔗糖, 显著地提高了其花瓣中花青素的含量, 花色加深。周肖红等(2009)发现在灰毛黄栌的变色过程中, 花青素的积累和叶绿素的降解是叶色变红的重要因素, 但研究喷施各种化学物质对其秋季叶色的影响报道较少。

根据研究, 推测喷施蔗糖、柠檬酸、赤霉素、水杨酸和乙烯利可能对灰毛黄栌的叶片变红有促进作用。周肖红等(2009)通过对比发现 500 mg · L⁻¹ 的乙烯利对灰毛黄栌的叶色改善具有很好的效果, 但是人体直接接触乙烯利可能导致皮肤刺激等症状, 也可能具有潜在的诱癌和致畸危险(赵敏等, 2008), 不宜在景区内大面积使用。因此, 本研究选择了赤霉素、水杨酸、柠檬酸和蔗糖这 4 类无害或毒性较低的化学物质, 分别研究其不同浓度处理对灰毛黄栌叶片变色的影响, 寻找其中能有效改善其变红效果或能影响观赏期的化学物质及其最佳浓度, 探索人工调控灰毛黄栌叶色的方法。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

选取栽植在北京市香山公园实验苗圃长势一致的 4 年生灰毛黄栌为试验材料, 使用赤霉素(GA₃)、水杨酸、柠檬酸和蔗糖水溶液进行叶面喷施处理, 每处理 4 株, 对照组 4 株。其施用浓度(单位均为 mmol · L⁻¹)如下: 赤霉素为 0.01、0.001 和 0.0001, 水杨酸为 0.5、1.0 和 2.0, 柠檬酸为 4.8、9.6 和 14.4, 蔗糖为 200.0、400.0 和 600.0。对照组采用清水处理。

从 2011 年 9 月 20 日开始喷施处理, 用小型喷壶均匀喷施在叶片两面, 每 5 d 喷施 1 次, 持续 30 d。于灰毛黄栌变色期(10 月 7 日至 11 月 3 日), 每 3 d 的第 1 天下午采样 1 次, 随机采集植株上、中、下部枝条的成熟叶片, 放入自封袋中带回实验室进行叶色测定, 之后剔除叶片主叶脉, 立即用液氮研磨, 置于 -40 °C 冰箱保存备用。

1.2 叶色测定

利用国际照明委员会 (International Commission on Illumination, CIE) 表色系进行叶色测定。将采集到的鲜叶擦净后, 用分光色差计 (NF333 spectrophotometer, 日本电色工业株式会社) 在 $C/2^\circ$ 光源下测定叶色, 每片叶测定 3 个部位。在 CIE $L^*a^*b^*$ 表色系中, L^* 值表示明度的大小, 色相 a^* 值表示从绿色到红色的变化; 而色相 b^* 值表示从蓝色到黄色的变化 (葛雨萱 等, 2008, 2011; 张往祥 等, 2013)。

1.3 花青素的相对含量测定

参照周肖红等 (2009) 的方法, 称取约 0.5 g 鲜叶粉末, 加入 5 mL $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸水溶液提取, 置于 32°C 水浴中提取 4 h, 过滤后取上清液, 用 UV-vis 双光束分光光度计 (UV-4802, UNIC) 测定 530 nm 处的吸光度值 (OD)。以每克鲜叶在 5 mL 提取液中的 OD 值为 0.1 时的花青素浓度为 1 个色素单位, 花青素的相对含量 (色素单位) = [测得的 OD 值/0.1]/样品鲜样质量 (g)。

1.4 叶绿素的含量测定

称取 0.2 g 左右鲜叶粉末, 加入 80% 丙酮水溶液 5 mL 提取, 置于 4°C 冰箱中避光浸提 24 h, 每 8 h 震荡摇匀一次, 中速滤纸过滤后取上清液供分析用 (Cox et al., 2004)。参照 Lichtenthaler (1987) 的方法, 以 80% 丙酮水溶液为对照, 用 UV-vis 双光束分光光度计 (UV-4802, UNIC) 测定上清液在 470、646、663 nm 处的吸光度值 (OD), 将得到的吸光度值代入公式计算出叶片中的叶绿素 a (Chl.a)、叶绿素 b (Chl.b) 浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)。Chl.a = $12.21\text{OD}_{663} - 2.81\text{OD}_{646}$; Chl.b = $20.13\text{OD}_{646} - 5.03\text{OD}_{663}$, Chl.a、Chl.b 之和为总叶绿素的浓度。最后根据下式计算出叶片单位鲜样质量的总叶绿素含量。总叶绿素含量 ($\text{mg}^{-1} \cdot \text{g}$) = [总叶绿素浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$) \times 提取液体积 (L) \times 稀释倍数]/样品鲜样质量 (g)。

数据采用 Excel 2007 和 PASW Statistics 18 进行分析处理, 作图采用 SigmaPlot 11.0 软件。

2 结果与分析

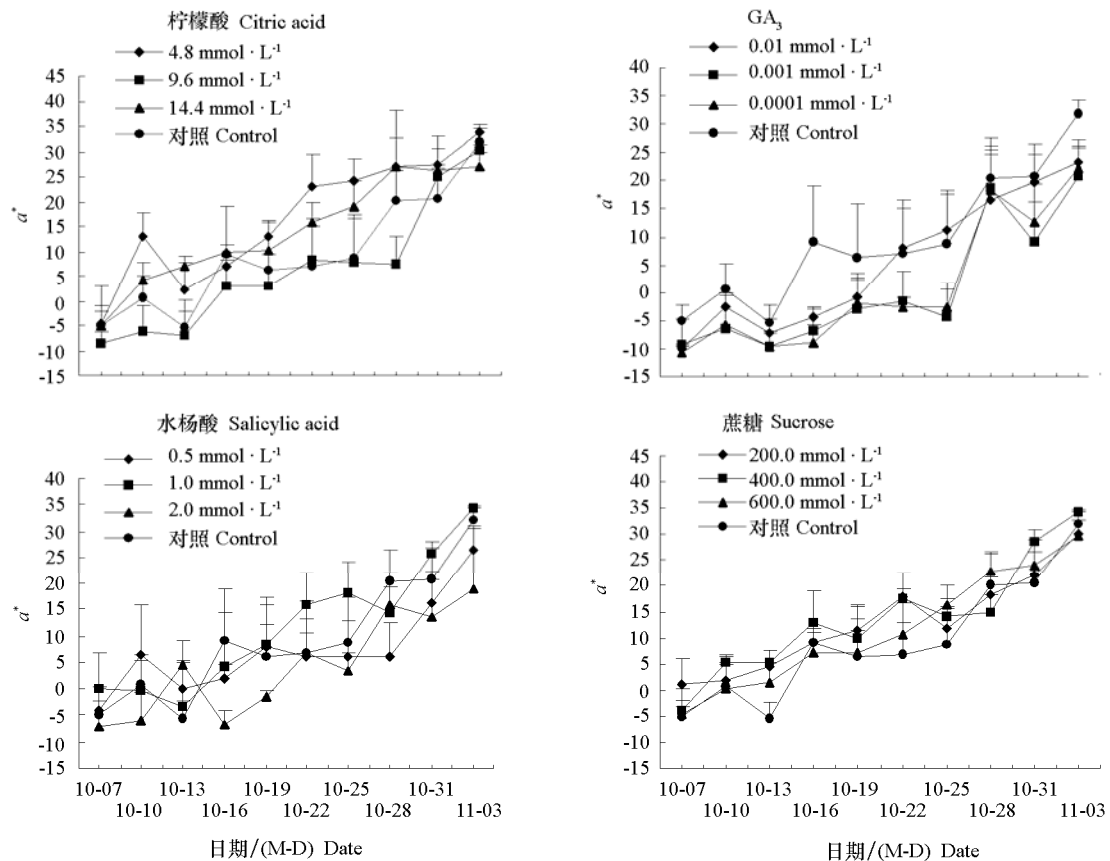
2.1 不同处理对灰毛黄栌叶片色相的影响

灰毛黄栌叶片的色相 a^* 值从变色初期 (10 月 7 日) 开始逐渐增大。赤霉素处理组中 (图 1), 喷施 0.001 和 $0.0001 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的赤霉素, 灰毛黄栌叶片色相 a^* 值在整个变色期都小于对照组, 且这两组处理的色相 a^* 值在 10 月 27 日以后才达到 10 以上, 叶片观赏期推迟了 2 d。喷施浓度为 $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的赤霉素, 灰毛黄栌叶片色相 a^* 值变化不显著。

用 0.5 和 $2.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水杨酸喷施灰毛黄栌后, 叶片的色相 a^* 值, 分别在 10 月 26 日和 29 日以后达到 10 以上, 比对照组晚了 1 d 和 4 d, 而 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水杨酸处理组, 叶片的色相 a^* 值比对照组提前 3 d 达到 10 以上 (图 1)。

叶面喷施 4.8 和 $14.4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的柠檬酸, 使灰毛黄栌叶片色相 a^* 值在 10 月 19 日就达到了 10, 比对照组平均提前了 6 d。而 $9.6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 柠檬酸处理组与对照组没有明显差别, 在 10 月 25 日以后色相 a^* 值才达到 10 (图 1)。

使用 200 和 $400 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 蔗糖溶液处理灰毛黄栌叶片, 叶片色相 a^* 值达到 10 的时间提前到 10 月 16 日, 观赏期提前了 9 d。而 $600 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的蔗糖处理组, 其色相 a^* 值在 10 月 22 日达到 10, 比对照组提前了 3 d (图 1)。

图1 不同处理对黄栌色相 a^* 值的影响Fig. 1 The effects of a^* values in *C. coggyria* var. *cinerea* with different treats

2.2 不同处理对灰毛黄栌叶片中花青素相对含量的影响

对比不同处理组的花青素相对含量和叶片色相 a^* 值变化可以看出, a^* 值达到 10 以上, 灰毛黄栌进入观赏期, 叶片中花青素相对含量普遍在 20 个色素单位以上。葛雨萱等 (2011) 在研究中也发现, 黄栌叶片中花青素相对含量与叶片色相 a^* 值呈正相关。

用 0.01 mmol · L⁻¹ 的赤霉素处理的灰毛黄栌, 叶片中花青素相对含量在 10 月 25 日超过 20 个色素单位, 比对照组推迟了 6 d。而用 0.001 mmol · L⁻¹ 和 0.0001 mmol · L⁻¹ 两种浓度的赤霉素处理灰毛黄栌, 叶片中花青素相对含量在 10 月 31 日才超过 20 个色素单位, 这比对照组平均推迟了 10 d。

叶面喷施 1.0 mmol · L⁻¹ 的水杨酸, 灰毛黄栌叶片中花青素相对含量显著高于对照组, 在 10 月 19 日至 11 月 3 日的 5 次采样中, 平均比对照组高出 16 个色素单位, 在 10 月 31 日达到了 60.3 个色素单位的最高值, 是同期对照组的 1.7 倍。用 0.5 mmol · L⁻¹ 的水杨酸处理, 叶片中的花青素相对含量与对照组没有显著差别。而叶面喷施 2.0 mmol · L⁻¹ 的水杨酸, 叶片中花青素相对含量低于对照组。

叶面喷施柠檬酸的 3 个浓度处理组, 叶片中花青素相对含量均显著高于对照组, 其中 4.8 mmol · L⁻¹ 的柠檬酸处理组, 叶片中花青素相对含量最高, 在 10 月 13 日就超过了 20 个色素单位, 比对照组提前了 6 d, 并且在 10 月 22 日达到了 105 个色素单位的最高值, 是同期对照组的 3.9 倍。

不同浓度的蔗糖处理, 叶片中花青素相对含量都显著高于同时期的对照组, 其中 600 mmol · L⁻¹ 的蔗糖处理组, 叶片中花青素平均相对含量最高。

表 1 不同处理组黄栌叶片变色过程中花青素相对含量的变化
Table 1 The changes of anthocyanins relative contents in *C. coggygia* var. *cinerea* with different treats

试剂 Reagent	浓度/ (mmol · L ⁻¹) Concentration	日期/(M-D) Date						
		10-07	10-13	10-19	10-22	10-25	10-31	11-03
赤霉素 (GA ₃) Gibberellin	0.01	2.5 a	5.8 bc	11.4 b	16.5 b	25.2 bc	31.0 ab	35.5 a
	0.001	6.2 a	8.4 bc	10.4 b	12.1 b	14.7 c	24.2 b	24.0 a
	0.0001	2.4 a	5.8 bc	12.0 b	13.2 b	13.5 c	26.4 b	39.2 a
水杨酸 Salicylic acid	0.5	4.2 a	7.9 bc	25.2 ab	21.1 b	25.9 bc	41.8 ab	54.8 a
	1.0	11.0 a	9.4 bc	35.3 ab	46.5 b	42.9 abc	60.3 ab	43.6 a
	2.0	8.0 a	9.2 bc	10.0 b	13.0 b	18.5 bc	21.9 b	23.6 a
	4.8	3.3 a	24.6 a	58.9 a	105.0 a	74.9 a	90.8 a	64.2 a
柠檬酸 Citric acid	9.6	3.9 a	6.0 bc	21.0 b	31.1 b	29.8 abc	45.0 ab	46.5 a
	14.4	5.4 a	9.8 bc	37.5 ab	57.5 b	52.0 abc	63.8 ab	66.1 a
	蔗糖 Sucrose	200	7.6 a	18.1 abc	29.8 ab	31.0 b	36.1 abc	41.8 ab
对照 Control	400	9.2 a	18.7 ab	37.8 ab	46.0 b	56.7 ab	69.9 ab	28.6 a
	600	4.2 a	11.5 abc	34.1 ab	48.1 b	61.0 abc	65.0 ab	74.4 a
		3.6 a	7.0 bc	24.2 ab	26.9 b	21.9 bc	34.6 ab	37.9 a

注: 采用 Duncan's 法分析, 同一列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$, $n = 4$)。

Note: Analyzed by Duncan's test, the differences in letters of the same column indicate statistically significant differences ($P < 0.05$, $n = 4$).

2.3 不同处理对灰毛黄栌叶片中总叶绿素含量的影响

正常情况下灰毛黄栌叶片中总叶绿素 (total chlorophyll) 含量从 10 月 7 日开始下降, 叶片逐渐变红, 而叶面喷施 0.001 mmol · L⁻¹ 的赤霉素后, 灰毛黄栌叶片中总叶绿素含量在 10 月 25 日后才开始下降, 叶片的绿期变长, 观赏期延后 (图 2)。

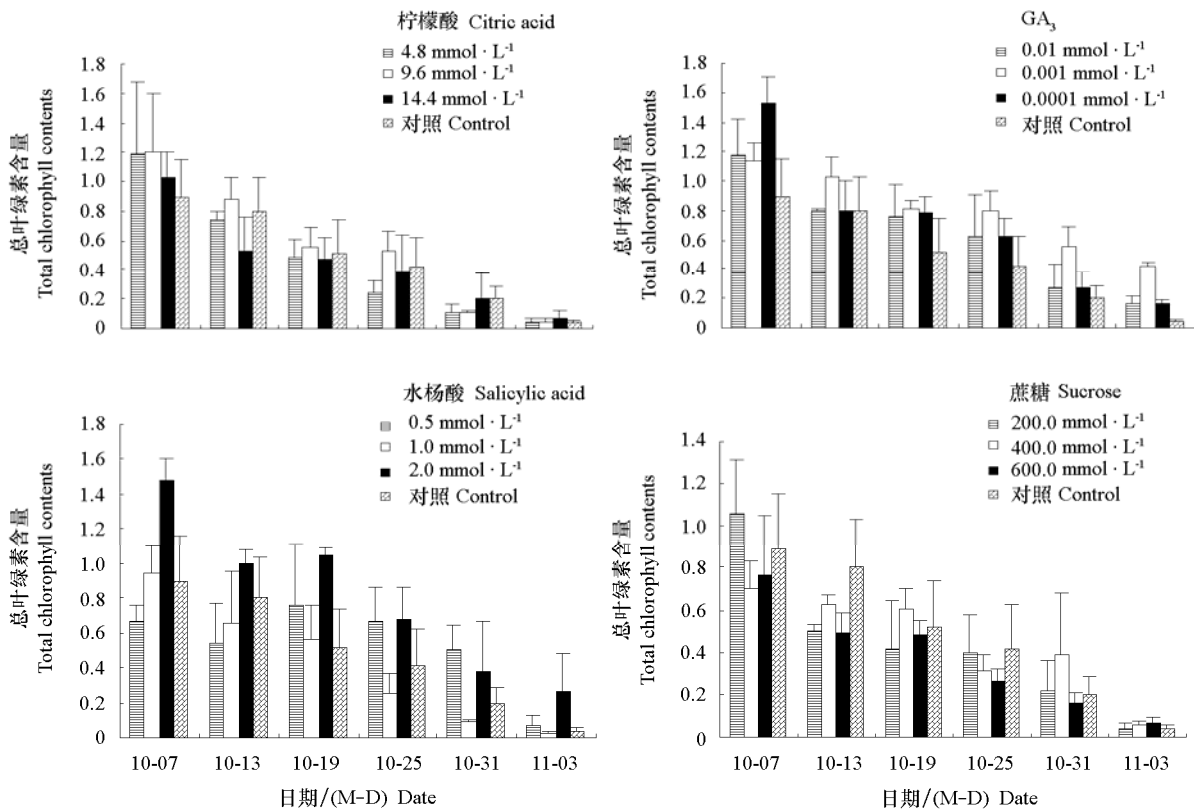


图 2 不同处理对叶片中总叶绿素含量变化的影响

Fig. 2 The effects of total chlorophyll contents in *C. coggygia* var. *cinerea* with different treats

同样,用 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $2.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水杨酸处理后,叶片中总叶绿素含量下降缓慢,在变色后期显著高于对照组(图 2),叶片的变红程度低,观赏期延后。

$1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水杨酸处理(图 2)、 $4.8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的柠檬酸处理(图 2)和 $400 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的蔗糖处理(图 2),叶片中的总叶绿素含量下降较快,观赏期提前。

3 讨论

秋季灰毛黄栌叶片变色过程中,由于叶片中花青素大量合成而使其相对含量上升,之后叶绿素开始分解,叶片中总叶绿素含量迅速下降,使得叶片由绿色转变为红色(葛雨萱等, 2011)。3 种不同浓度的赤霉素处理,与对照组相比,叶片中的总叶绿素含量明显偏高,花青素相对含量较少,叶片变红效果较差。其中,喷施 $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的赤霉素,灰毛黄栌叶片的变红效果与对照组差异最小。赤霉素处理组的灰毛黄栌,落叶期最晚,平均比对照组推迟了 5 d。赤霉素作为一种广泛存在的植物生长调节剂,可以延缓叶片的衰老(Poovaiah & Leopold, 1973),这与本试验的结果一致。同时,赤霉素是一种信号物质,也参与调控花青素的合成。但在本试验中,3 种浓度的赤霉素处理,叶片中的花青素相对含量都没有提高,可能是因为花青素生物合成的调节机制比较复杂,需要多种生长调节剂与信号物质共同作用(Loreti et al., 2008),单独用赤霉素处理,不能增强灰毛黄栌叶片中花青素的生物合成能力。依据本次试验结果,在生产中,可以喷施 $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 赤霉素来延迟灰毛黄栌的落叶期,使红叶观赏期延长。但若在后期遇到急剧降温的情况下,叶片可能未能变红就凋落,达不到观赏效果。

姜爱丽等(2009)在研究果实采后贮藏保鲜技术中发现,用 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水杨酸处理采后番茄果实,可以有效降低果实的乙烯释放量和呼吸强度,延迟了果实的转红和衰老;而 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水杨酸处理,则引起果实呼吸作用加强,促进了果实的转红和衰老。还有研究发现,乙烯利可以启动并增强苹果中花青素的合成(Awad & de Jager, 2002),而低浓度的乙烯利能够有效地提高灰毛黄栌叶片中的花青素相对含量,从而改善叶片的观赏效果(周肖红等, 2009)。在本次试验中, $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水杨酸处理组,比对照组提前 3 d 进入观赏期,这可能是因为喷施低浓度的水杨酸引起叶片中乙烯含量的适度增加,进而促进了花青素的合成,从而提升了叶片的变红效果。而 $2.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水杨酸处理,使叶片观赏期延迟。在生产实践中,可以喷施 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水杨酸来提升灰毛黄栌的变红效果,或者喷施 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水杨酸来推迟黄栌叶片变红。此外,水杨酸还可以提高植物的抗病性和对干旱等逆境胁迫的抗性(Malamy et al., 1990; Métraux et al., 1990),这对灰毛黄栌的林地养护也能起到较好的辅助作用。

在杨树‘中红杨’的外施营养液试验中,发现 0.3% 的柠檬酸在不同光照条件下,均使叶片中花青素含量显著提高(李小康, 2008),而用 0.2% 的柠檬酸喷施紫叶碧桃、紫叶李、紫叶矮樱和美人梅,也使叶片中的花青素含量有所提升(吕福梅, 2005)。但柠檬酸引起这些彩叶植物叶片中花青素大量积累的作用机理还不明确,有待进一步研究。本次试验中, $4.8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的柠檬酸能使灰毛黄栌变色期提前,变红效果增强,同时柠檬酸又是一种天然存在的有机酸,对环境的影响较小,因此,可以在实践中利用外施柠檬酸来改善灰毛黄栌的观赏效果。

糖类是花青素合成的信号物质、前体物质和能源物质(Weiss, 2001; Solfanelli et al., 2006)。还有研究证明,糖的积累可以促进叶片的衰老(Wingler et al., 2012),而灰毛黄栌叶片的衰老过程,就伴随着叶片变红。本试验中叶面喷施蔗糖溶液使灰毛黄栌叶片中花青素大量积累,叶片变色期提前,变红效果得到提升,很好地印证了上述结论。在实验过程中发现,虽然 $400.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的蔗糖处理,灰毛黄栌叶片中花青素平均相对含量最高,变红效果提升最明显,但叶片喷施高浓度蔗糖后,

会使叶片表面粘黏灰尘等杂质,影响观赏效果。所以,实际应用中可以喷施 $200.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的蔗糖,促进灰毛黄栌变红,使观赏期提前。

综合以上结果,结合香山红叶的景观特点,可以应用以下方法来调控黄栌林整体的叶色:(1)因为蔗糖溶液对环境和人体的影响最小,所以在游客较多的近景林区,可以喷施 $200.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的蔗糖溶液,促使叶片提前变红,较早进入观赏期;(2)在重要的远景林区,可喷施 $4.8 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的柠檬酸,来使观赏期提前,同时促进叶片变红;(3)在一些干旱、病害多发的黄栌林区,可以喷施 $1.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水杨酸,一方面改善黄栌的变红效果,另一方面提高植株的抗旱能力和抗病性;(4)对于观赏性相对较差的黄栌林区,可以考虑喷施 $0.001 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的赤霉素或 $0.5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水杨酸,使叶片观赏期延后,在主要景区观赏性变差时,能够形成新景点,丰富红叶景观的空间分布域和延长观赏时间。

References

- Awad M A, de Jager A. 2002. Formation of flavonoids, especially anthocyanin and chlorogenic acid in 'Jonagold' apple skin: Influences of growth regulators and fruit maturity. *Scientia Horticulturae*, 93 (3): 257 - 266.
- Cox K A, McGhie T K, White A, Woolf A B. 2004. Skin colour and pigment changes during ripening of 'Hass' avocado fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 31 (3): 287 - 294.
- Ducamp-Collin M N, Ramarson H, Lebrun M, Self G, Reynes M. 2008. Effect of citric acid and chitosan on maintaining red colouration of litchi fruit pericarp. *Postharvest Biology and Technology*, 49 (2): 241 - 246.
- Ge Yu-xuan, Wang Liang-sheng, Xu Yan-jun, Liu Zheng-an, Li Chong-hui, Jia Ni. 2008. Flower color, pigment composition and their changes during flowering in *Chimonanthus praecox* Link. *Acta Horticulturae Sinica*, 35 (9): 1331 - 1338. (in Chinese)
- 葛雨萱, 王亮生, 徐彦军, 刘政安, 李崇晖, 贾妮. 2008. 蜡梅的花色和花色素组成及其在开花过程中的变化. *园艺学报*, 35 (9): 1331 - 1338.
- Ge Yu-xuan, Wang Liang-sheng, Zhou Xiao-hong, Gan Chang-qing. 2011. Correlation between the leaf color and pigments composition of *Cotinus coggygia* in Fragrant Hills Park and their temporal and spatial variation. *Scientia Silvae Sinicae*, 47 (4): 38 - 42. (in Chinese)
- 葛雨萱, 王亮生, 周肖红, 甘长青. 2011. 香山黄栌叶色和色素组成的相互关系及时空变化. *林业科学*, 47 (4): 38 - 42.
- Jiang Ai-li, Hu Wen-zhong, Tian Mi-xia, Liu Cheng-hui, Fan Sheng-di. 2009. Effects of salicylic acid treatments on postharvest ripening and senescence of tomato. *Food and Fermentation Industries*, 35 (5): 205 - 209. (in Chinese)
- 姜爱丽, 胡文忠, 田密霞, 刘程惠, 范圣第. 2009. 水杨酸处理对采后番茄果实成熟衰老的影响. *食品与发酵工业*, 35 (5): 205 - 209.
- Lichtenthaler H K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148: 350 - 382.
- Li Xiao-kang. 2008. Study on changes of physiology and biochemistry during its leafcolour transformation of *Populus × euramericana* 'Zhonghong' [M. D. Dissertation]. Zhengzhou: Henan Agricultural University. (in Chinese)
- 李小康. 2008. 中红杨叶色变化的生理生化研究[硕士论文]. 郑州: 河南农业大学.
- Loreti E, Povero G, Novi G, Solfanelli C, Alpi A, Perata P. 2008. Gibberellins, jasmonate and abscisic acid modulate the sucrose - induced expression of anthocyanin biosynthetic genes in *Arabidopsis*. *New Phytologist*, 179 (4): 1004 - 1016.
- Lü Fu-mei. 2005. Study on the characteristics of anthocyanin and photosynthesis in the leaves of four species leaf-colored plants of *Prunus* [M. D. Dissertation]. Tai'an: Shandong Agricultural University. (in Chinese)
- 吕福梅. 2005. 四种李属彩叶树木叶片色素及光合特性研究[硕士论文]. 泰安: 山东农业大学.
- Métraux J, Signer H, Ryals J, Ward E, Wyss-Benz M, Gaudin J, Raschdorf K, Schmid E, Blum W, Inverardi B. 1990. Increase in salicylic acid at the onset of systemic acquired resistance in cucumber. *Science*, 250 (4983): 1004.
- Malamy J, Carr J P, Klessig D F, Raskin I. 1990. Salicylic acid: A likely endogenous signal in the resistance response of tobacco to viral infection. *Science (New York, NY)*, 250 (4983): 1002.
- Nguyen P, Cin V D. 2009. The role of light on foliage colour development in coleus [*Solenostemon scutellarioides* (L.) Codd]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47 (10): 934 - 945.

- Oren-Shamir M, Levi-Nissim A. 1997. Temperature effects on the leaf pigmentation of *Cotinus coggygia* 'Royal Purple'. *Journal of Horticultural Science*, 72 (3): 425 - 432.
- Pasqua G, Monacelli B, Mulinacci N, Rinaldi S, Giaccherini C, Innocenti M, Vinceri F F. 2005. The effect of growth regulators and sucrose on anthocyanin production in *Camptotheca acuminata* cell cultures. *Plant Physiology and Biochemistry*, 43 (3): 293 - 298.
- Poovaliah B, Leopold A. 1973. Deferral of leaf senescence with calcium. *Plant Physiology*, 52 (3): 236 - 239.
- Singh A, Selvi M, Sharma R. 1999. Sunlight-induced anthocyanin pigmentation in maize vegetative tissues. *Journal of Experimental Botany*, 50 (339): 1619 - 1625.
- Solfanelli C, Poggi A, Loreti E, Alpi A, Perata P. 2006. Sucrose-specific induction of the anthocyanin biosynthetic pathway in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 140 (2): 637 - 646.
- Tang Qian-rui, Chen De-fu, Chen You-yun, Zhang Hong-zhi, Zhou Pu-hua. 2006. Changes of physiology and biochemistry during leaf color transformation in *Loropetalum chinense* var. *rubrum*. *Scientia Silvae Sinicae*, 42 (2): 111 - 115. (in Chinese)
唐前瑞, 陈德富, 陈友云, 张宏志, 周朴华. 2006. 红榿木叶色变化的生理生化研究. *林业科学*, 42 (2): 111 - 115.
- Wang Zhan-yi, Song Zhao-peng, Dai Li, Gao Yuan, Gong Chang-rong. 2009. Effect of spraying different plant growth regulators on the contents of pigments in cutters of flue-cured tobacco. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 10: 70 - 72. (in Chinese)
王战义, 宋朝鹏, 代丽, 高远, 宫长荣. 2009. 喷施不同植物生长调节剂对烤烟色素的影响. *河南农业科学*, 10: 70 - 72.
- Weiss D. 2001. Regulation of flower pigmentation and growth: Multiple signaling pathways control anthocyanin synthesis in expanding petals. *Physiologia Plantarum*, 110 (2): 152 - 157.
- Wingler A, Stangberg E J, Saxena T, Mistry R. 2012. Interactions between temperature and sugars in the regulation of leaf senescence in the perennial herb *Arabis alpina* L. *Journal of Integrative Plant Biology*, 54 (8): 595 - 605.
- Yang Qiu-sheng, Zhu Li-juan, Lu Ling, Lu Xin-zhou. 2006. Effects of shading and extraneous source sucrose on petal color and the photosynthetic characteristics in *Paeonia suffruticosa*. *Journal of Henan Agricultural University*, 39 (3): 249 - 253. (in Chinese)
杨秋生, 朱丽娟, 路玲, 卢欣周. 2006. 遮荫及蔗糖喷施对牡丹花色及光合特性的影响. *河南农业大学学报*, 39 (3): 249 - 253.
- Zhao Min, Shao Feng-yun, Zhou Shu-xin, Cui Yan-hong. 2008. Safety of plant growth regulators to crops and environment. *Journal of Environment and Health*, 24 (5): 370 - 372. (in Chinese)
赵敏, 邵凤云, 周淑新, 崔彦红. 2008. 植物生长调节剂对农作物和环境的安全性. *环境与健康杂志*, 24 (5): 370 - 372.
- Zhang Wang-xiang, Jiang Zhi-hua, Qiu Liang, Wei Hong-liang, Cao Fu-liang. 2013. Studies on sequence dynamic distribution pattern of flower color parameters of ornamental crabapple. *Acta Horticulturae Sinica*, 40 (3): 505 - 514. (in Chinese)
张往祥, 江志华, 裘靓, 魏宏亮, 曹福亮. 2013. 观赏海棠花色时序动态分布格局研究. *园艺学报*, 40 (3): 505 - 514.
- Zhou Xiao-hong, Ge Yu-xuan, Wang Liang-sheng, Gan Chang-qing. 2009. Physiological changes during leaf color change in *Cotinus coggygia* and effects of growth regulators. *Scientia Silvae Sinicae*, 45 (7): 59 - 62. (in Chinese)
周肖红, 葛雨萱, 王亮生, 甘长青. 2009. 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. *林业科学*, 45 (7): 59 - 62.

征 订

欢迎订阅 2014 年《北方园艺》

全国自然科学(中文)核心期刊; 中国农业核心期刊; 全国优秀农业期刊; 中国北方优秀期刊; 黑龙江省优秀科技期刊; 美国化学文摘社(CAS)收录期刊。主管: 黑龙江省农业科学院; 主办: 黑龙江省农业科学院、黑龙江省园艺学会; 刊号: ISSN 1001-0009, CN 23-1247/S; 邮发代号: 14-150; 半月刊, 每月 15、30 日出版; 单价 7.00 元, 全年 168 元。全国各地邮局均可订阅, 或直接向编辑部汇款订阅。

栏目: 试验研究、研究简报、设施园艺、栽培技术、园林花卉、生物技术、植物保护、贮藏保鲜加工、食用菌、中草药、新品种选育、土壤与肥料、产业论坛、专题综述、经验交流、农业经纬等。

地址: 黑龙江省哈尔滨市南岗区学府路 368 号《北方园艺》编辑部; 邮编: 150086; 电话: 0451-86674276;

网址: bfy.haasep.cn; 信箱: bfybjb@163.com。