

叶面喷施水杨酸对3种色系榉树秋季叶片呈色的影响

张亚平^{1,2}, 曾艳¹, 刘晓玲¹, 邢文¹, 金晓玲^{1,*}

¹中南林业科技大学风景园林学院, 长沙410004

²贵州农业职业学院农艺工程系, 贵阳551400

摘要: 以秋季转色期叶色表现为红色、黄色、绿色的3种色系榉树叶片为材料, 通过不同浓度水杨酸叶面喷施处理, 测定并分析其叶片的颜色参数及花青素、叶绿素等色素含量的变化。结果表明: 喷施0.5 mmol·L⁻¹水杨酸能促进红色系榉树叶片花青素的合成, 加速其叶绿素的降解, 加深叶片红色程度; 喷施0.5 mmol·L⁻¹水杨酸延长黄色系榉树的绿色期, 推迟变色期; 喷施1.0 mmol·L⁻¹水杨酸能使黄色、绿色系榉树叶片变黄, 提前变色期。

关键词: 榉树; 水杨酸; 叶色; CIEL*a*b*

榉树为榆科(Ulmaceae)榉属高大落叶乔木, 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三类: 叶片呈红色、叶片呈黄色、以及叶片基本保持绿色, 直至落叶前迅速干枯脱落(罗雪梅2012)。榉树虽季相变化丰富, 但影响其叶色的原因众多, 叶色变化不稳定, 直接影响其应用及观赏价值。目前, 国内外关于榉树叶色方面的研究较少, 刘雪梅等(2014a, b)研究了3类色系榉树叶色表达期色素含量的变化规律及其生长特性, 认为红色、黄色、绿色系榉树的叶色表达分别与花青苷含量、叶绿素与类胡萝卜素的比值、较高的叶绿素含量密切相关。张敏等(2015)研究了3种不同色系榉树叶片中的色素、矿质元素含量、碳水化合物及其相关性, 认为秋季榉树叶色变化的原因是色素比例和成分发生了变化, 且其重要的内外因子是温度、糖分、矿质元素等。目前暂时未有研究探寻调控榉树叶色的方法。

水杨酸是重要的植物生长调节剂, 对植物许多生理代谢都有直接或间接的影响(唐艳萍等2015)。已有研究表明, 低浓度水杨酸能提高青蒿叶片叶绿素和类胡萝卜素含量(Aftab等2010), 高浓度水杨酸则会降低向日葵叶绿素和类胡萝卜素含量(Janda等2012)。郑绪辰等(2013)在研究中发现, 1.0 mmol·L⁻¹水杨酸可以促进灰毛黄栌叶色变红, 而0.5 mmol·L⁻¹水杨酸则推迟黄栌叶片变红且变红程度降低。因此推测, 不同浓度水杨酸处理对红色、黄色和绿色3种色系榉树叶色变化有影响。

本试验研究不同浓度水杨酸对红色、黄色和绿色3种不同色系榉树叶色变化的影响, 寻找改善

榉树叶色的有效途径, 探索人工调控榉树叶色的方法。

1 材料与方法

1.1 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、黄色和绿色的一年生榉树(*Zelkova schneideriana* Hand.-Mazz)嫁接苗为试验材料, 使用不同浓度(0.5、1.0和2.0 mmol·L⁻¹)水杨酸对其进行叶面喷施处理, 每处理4株, 对照组4株, 对照组采用清水处理。

从2015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喷施一次, 持续30 d, 10月20日结束。于榉树变色期(10月1日至11月6日), 每6 d采样一次, 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, 进行叶绿素和花青素含量的测定。

1.2 方法

1.2.1 叶色测定

试验采用国际照明委员会(International Commission on Illumination, 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CIEL*a*b*色系

收稿 2017-06-05 修定 2017-11-28

资助 中央财政林业科技推广项目([2015]XT008)、国家林业局重点学科资助项目(林人发[2016]21号)和湖南省“十二五”重点学科(风景园林学)(湘教发[2011]76号)。

* 通讯作者(jxl0716@hotmail.com)。

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, $+a^*$ 是红色方向, $-a^*$ 是绿色方向, a^* 值越大, 表明颜色越红, 反之, 则颜色越绿。色相 b^* 值表示从蓝色到黄色的变化, $+b^*$ 是黄色方向, $-b^*$ 是蓝色方向, b^* 值越大, 表明颜色越黄, 反之, 则颜色越蓝(Korifi等2013)。

1.2.2 花青素相对含量的测定

参照郑绪辰等(2013)的方法略有改动。称取0.1 g左右鲜叶粉末, 加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双光束紫外分光光度计(SP-756P)测定530 nm处的吸光度值(OD)。以每克鲜叶在5 mL提取液中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)。

1.2.3 叶绿素含量的测定

称取0.1 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, 用 $3\ 000 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速度离心10 min。参照郑绪辰等(2013)的方法, 以80%丙酮水溶液为对照, 用UV-Vis双光束紫外分光光度计(SP-756P)测定上清液在470、646和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 (Chla)、叶绿素 b (Chlb)浓度($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)。Chla含量= $12.21\times\text{OD}_{663}-2.81\times\text{OD}_{646}$; Chlb含量= $20.13\times\text{OD}_{646}-5.03\times\text{OD}_{663}$, Chla与Chlb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($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)=[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)。

2 实验结果

2.1 水杨酸对3种色系榉树叶片色相的影响

2.1.1 水杨酸对3种色系榉树色相 a^* 值变化的影响

在整个变色期, 对3种色系榉树色相 a^* 值进行测定, 结果见图1。不同浓度水杨酸处理下, 红色、黄色系榉树色相 a^* 值随着时间的延长整体呈上升趋势, 而绿色系榉树整体变化相对平稳。

红色系榉树在 $0.5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理下, 其 a^* 值在整个变色期都显著大于对照组, 且在10月25日达到最大值, 为对照的2.38倍。1.0和 $2.0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理的红色系榉树 a^* 值在前期均受到不同程度的抑制; 在10月13日后, $1.0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理下的红色系榉树 a^* 值显著增大, 且呈现逐步上升趋势, 并显著高于对照。说明通过叶面喷施 0.5 、 $1.0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸能加深红色系榉树叶片的红色程度, 且 $0.5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸比 $1.0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸见效更快, 持续效果更稳定; 而 $2.0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸则抑制红色系榉树变红。黄色系榉树在 0.5 、 1.0 和 $2.0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理下, a^* 值在喷施期间均低于对照组, a^* 值增大受到一定的抑制, 但在停止喷施水杨酸后(10月25日), 1.0 、 $2.0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理下的黄色系榉树 a^* 值迅速回升。说明 0.5 、 1.0 和 $2.0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸在一定程度上能延长黄色系榉树的绿色期, 使叶片维持绿色, 变色期推迟, 且 $0.5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸较其它浓度持续时间更长、效果更为稳定。绿色系榉树在水杨酸处理下, 色相 a^* 值变化不显著。

2.1.2 水杨酸对3种色系榉树色相 b^* 值变化的影响

在不同浓度水杨酸处理下, 红色系榉树 b^* 值整体呈下降趋势, 黄色系榉树 b^* 值整体呈“下降-上

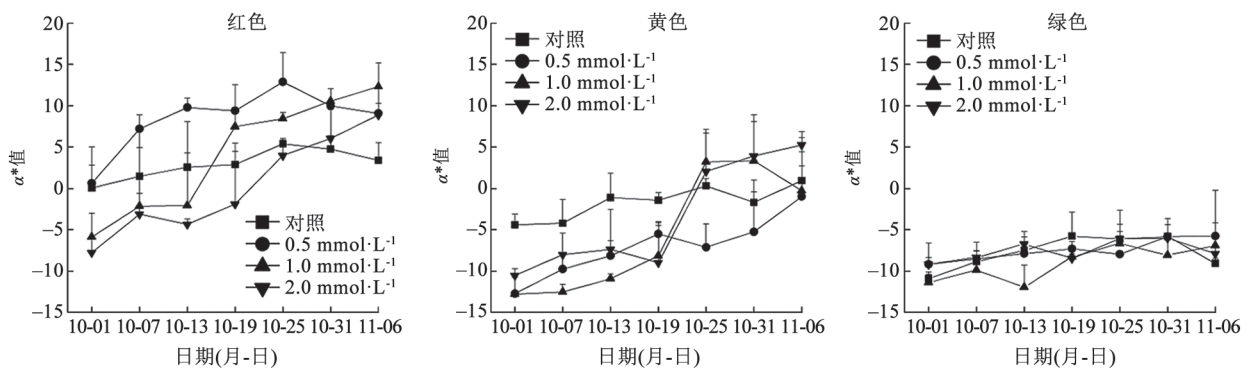


图1 水杨酸对不同色系榉树色相 a^* 值的影响

Fig.1 Effects of salicylic acid on a^* value in different colour types of *Z. schneideriana*

升-下降”的趋势,而绿色系榉树 b^* 值变化相对平稳(图2)。

在水杨酸处理下,红色系榉树色相 b^* 值变化不显著。在 $1.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理下,黄色系榉树色相 b^* 值均高于对照组,其黄色程度显著增加,到10月25日达到峰值,为对照的1.56倍。在 $2.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理下,黄色系榉树 b^* 值在10月13日后均高于对照,且呈逐渐上升趋势,在10月31日后却急剧下降。 $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸对黄色系榉树影响不显著。这说明通过喷施 1.0 和 $2.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸能加深黄色系榉树黄色程度,且 $1.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸整体效果优于 $2.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸,而 $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸对黄色系榉树影响较小。绿色系榉树在 $1.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理下,其黄色程度 b^* 值在试验期均显著高于其他处理。说明通过喷施 $1.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸在一定程度上能使绿色系榉树叶片变黄。

2.2 水杨酸对3种色系榉树花青素相对含量的影响

由图3可以看出,在转色期间,3种色系榉树的

花青素相对含量随着喷施时间的延长均呈逐渐上升趋势。

红色系榉树在 $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理下,其花青素相对含量较对照组显著升高,在11月6日达到峰值,为对照的1.65倍。 $1.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理下,红色系榉树在10月13日后,花青素大量合成,且呈上升趋势,叶片中的花青素相对含量也高于对照,但不及 $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸。 $2.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸对红色系榉树的影响不大,甚至在转色前期有一定的抑制作用。说明低浓度水杨酸能促进红色系榉树花青素的合成,随着水杨酸浓度的增加,促进作用降低,甚至出现抑制现象。

黄色系榉树在 $2.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理下,其花青素相对含量在试验期间均高于对照组,且呈逐渐上升趋势。 0.5 和 $1.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸对黄色系榉树的影响不大。说明高浓度水杨酸能促进黄色系榉树花青素的合成,随着浓度的降低,促进作用逐渐减弱。

绿色系榉树在不同浓度水杨酸处理下,其花

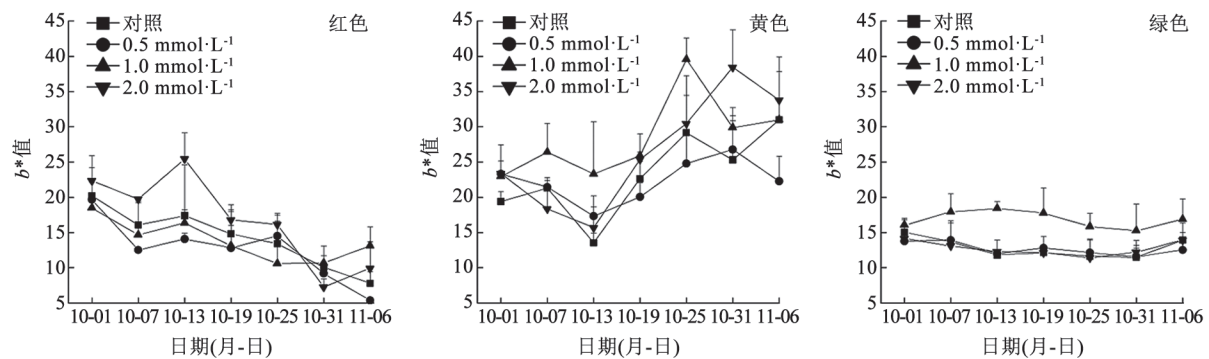


图2 水杨酸对不同色系榉树色相 b^* 值的影响

Fig.2 Effects of salicylic acid on b^* value in different colour types of *Z. schneideriana*

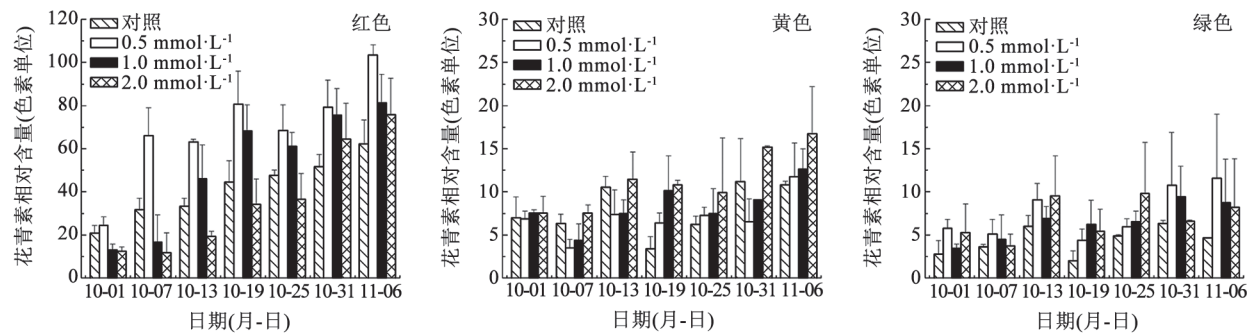


图3 水杨酸对不同色系榉树花青素相对含量变化的影响

Fig.3 Effects of salicylic acid on anthocyanin relative content in different colour types of *Z. schneideriana* types

青素相对含量均有所上升,且 $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸优于其他处理。说明水杨酸能促进绿色系榉树花青素的合成,随着浓度的增加,促进作用逐渐减弱。

水杨酸对3种色系榉树花青素的合成均有一定的促进作用,低浓度水杨酸对红色、绿色系榉树促进作用较好,随着浓度的增加,促进作用减弱;而高浓度对黄色系榉树花青素的合成有较好的促进作用,浓度越低,促进作用越弱。

2.3 水杨酸对3种色系榉树叶片中总叶绿素含量的影响

不同浓度水杨酸均能加速红色系榉树叶绿素的降解(表1)。在 $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理下,红色系榉树总叶绿素含量与对照间差异显著,叶片内叶绿素含量显著减少。 1.0 和 $2.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理下,叶绿素的降解较 $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理的减缓。说明低浓度水杨酸能促进红色系榉树叶绿素的降解,浓度越高,促进作用减弱。

在不同浓度水杨酸处理下,黄色系榉树在试验初期(10月1日)叶绿素含量与对照组差异达显著水平,但后期各处理间均无显著差异。

不同浓度水杨酸处理对绿色系榉树总叶绿素含量的影响不明显。

喷施水杨酸能促进红色系榉树叶绿素的降解,其中 $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸效果最佳,不同浓度水杨酸对黄色、绿色系榉树叶片叶绿素的作用不明显。

3 讨论

已有研究表明, $1.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸能提升灰毛黄栌变红效果(郑绪辰等2013)。本研究中,喷施 $0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸能促进红色系榉树叶片花青素的合成,加速其叶绿素的降解,加深红色系榉树叶片红色程度,但延长黄色系榉树的绿色期,使变色期推迟;喷施 $1.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸能使黄色和绿色系榉树叶片变黄,提前变色期。郑绪辰等(2013)认为, $1.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸处理提升灰毛黄栌变红的原因可能是低浓度水杨酸会引起叶片中乙烯含量的增加,进而促进花青素合成,提升变红效果。而杨琳等(2014)却在综述中表示,植物激素乙烯能显著抑制花青素的合成。因此,水杨酸使叶片变红的真正原因有待进一步研究,且为什么同一浓度($0.5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)水杨酸对红色系榉树叶片变红有促进作用,而对黄色系榉树叶片变色却有抑制作用,其机理仍待进一步揭示。

本试验中,喷施 $1.0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸能使黄色、绿色系榉树叶片变黄,但是不同浓度水杨酸处理后的黄色系榉树其黄色程度 b^* 值达到最大值后均急剧下降。可能是因为在10月末、11月初,黄色系榉树叶片开始呈枯焦状态,叶色颜色变深、变“黑”,黄色程度 b^* 值降低;也有可能是因为10月20日以后未持续喷施水杨酸,水杨酸对黄色系榉树叶片作用的时效性不长,导致叶片黄色程度 b^*

表1 水杨酸对不同色系榉树总叶绿素含量变化的影响

Table 1 Effects of salicylic acid on total chlorophyll content in different colour types of *Z. schneideriana*

榉树 色系	水杨酸浓度/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	总叶绿素含量/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$						
		10-01	10-07	10-13	10-19	10-25	10-31	11-06
红色	对照	0.46 ^a	0.86 ^a	0.32 ^a	0.44 ^a	0.78 ^a	0.52 ^a	0.77 ^a
	0.5	0.30 ^b	0.44 ^b	0.12 ^b	0.21 ^b	0.11 ^c	0.33 ^b	0.48 ^b
	1.0	0.45 ^a	0.65 ^{ab}	0.27 ^a	0.33 ^b	0.36 ^b	0.37 ^b	0.17 ^c
	2.0	0.42 ^a	0.59 ^{ab}	0.27 ^a	0.30 ^b	0.49 ^b	0.28 ^b	0.12 ^c
黄色	对照	1.07 ^{ab}	0.97 ^a	0.55 ^a	0.52 ^a	0.83 ^a	0.56 ^a	0.44 ^b
	0.5	0.71 ^{bc}	0.83 ^a	0.75 ^a	0.74 ^a	0.30 ^a	0.57 ^a	0.65 ^a
	1.0	1.18 ^a	0.99 ^a	0.60 ^a	0.58 ^a	0.37 ^a	0.37 ^a	0.53 ^{ab}
	2.0	0.67 ^c	0.87 ^a	0.52 ^a	0.49 ^a	0.59 ^a	0.58 ^a	0.39 ^b
绿色	对照	1.48 ^{ab}	1.72 ^a	0.98 ^a	1.14 ^b	1.97 ^a	1.93 ^b	1.92 ^a
	0.5	1.09 ^b	1.11 ^b	0.99 ^a	1.08 ^b	1.06 ^c	1.95 ^b	1.65 ^{ab}
	1.0	1.26 ^b	1.07 ^b	0.96 ^a	1.26 ^b	1.21 ^{bc}	1.59 ^b	1.34 ^b
	2.0	1.70 ^a	1.62 ^a	0.93 ^a	1.83 ^a	1.70 ^{ab}	2.45 ^a	1.95 ^a

不同小写字母表示同一色系不同浓度水杨酸处理在0.05水平上差异显著。

值在未受到持续处理后急剧下降。因此,水杨酸对榉树作用的最佳喷施时间与效果持续时间均有待研究。

外源水杨酸不仅对叶色有影响,还能提高植物对干旱(谭龙涛等2016;可静等2015)、盐渍(刘广明等2016;黄玉梅等2015)、重金属(曹林等2015;张喜峰等2015)、高温(孙军利等2014)、低温(徐晓昀等2016)等逆境胁迫的抗性,且能诱导植物对病毒、细菌、真菌等病害产生抗性(张庆雨等2014;汪尚等2016),提高植物对环境的适应能力。在实际生产和应用中,可在喷施农药或营养液时加入相应浓度水杨酸,以调控榉树叶色,增强观赏效果,但在大面积栽培和推广中可能受到阻碍。已有研究发现,根施和叶面喷施水杨酸两种处理方式对喜树幼苗铝胁迫的缓解效果为叶面喷施优于根施(王俊霖等2014),因此,是否有更为方便实施且有效的处理方式仍需进一步探究。合理的水杨酸浓度是调控榉树叶色的重要条件,在实际生产和应用中,应当根据需求,有目的地调节水杨酸浓度,以达到调控榉树叶色的最佳观赏效果。

参考文献(References)

- Aftab T, Masroor M, Khan A, et al (2010). Salicylic acid acts as potent enhancer of growth, photosynthesis and artemisinin production in *Artemisia annua* L. *J Crop Sci Biotechnol*, 13 (3): 183–188
- Cao L, Wu YH, Zhang Y, et al (2015). Effect of exogenous salicylic acid on photosynthetic characteristics and aluminum tolerance of *Helianthus tuberosus* under aluminum stress. *J Soil Water Conserv*, 29 (4): 260–266 (in Chinese with English abstract) [曹林, 吴玉环, 章艺等(2015). 外源水杨酸对铝胁迫下菊芋光合特性及耐铝性的影响. *水土保持学报*, 29 (4): 260–266]
- Huang YM, Zhang YX, Liu QL, et al (2015). Effects of salicylic acid on seed germination and seedling physiological characteristics of *Zinnia elegans* under salt stress. *Acta Pratac Sin*, 24 (7): 97–105 (in Chinese with English abstract) [黄玉梅, 张杨雪, 刘庆林等(2015). 水杨酸对盐胁迫下百日草种子萌发及幼苗生理特性的影响. *草业学报*, 24 (7): 97–105]
- Janda K, Hidge E, Szalai G, et al (2012). Salicylic acid may indirectly influence the photosynthetic electron transport. *J Plant Physiol*, 169 (10): 971–978
- Ke J, Li J, Li YJ (2016). Physiological responses of *Lycium ruthenicum* seedlings on exogenous salicylic acid under the drought stress. *Plant Physiol J*, 52 (4): 497–504 (in Chinese with English abstract) [可静, 李进, 李永洁(2016). 干旱胁迫下黑果枸杞幼苗对外源水杨酸的生理响应. *植物生理学报*, 52 (4): 497–504]
- Korifi R, Dreau YL, Francois AJ, et al (2013). CIEL*a*b* color space predictive models for colorimetry devices-analysis of perfume quality. *Talanta*, 104: 58–66
- Liu GM, Li JB, Wang XP, et al (2016). Effect of extraneous salicylic acid mitigating salt stress on ryegrass (*Lolium perenne*) seedlings. *Acta Pedol Sin*, 53 (4): 995–1002 (in Chinese with English abstract) [刘广明, 李金彪, 王秀萍等(2016). 外源水杨酸对黑麦草幼苗盐胁迫的缓解效应研究. *土壤学报*, 53 (4): 995–1002]
- Liu XM, Hu XJ, Luo XM, et al (2014a). Color change types and growth characteristics of *Zelkova schneideriana* leaves in autumn. *Nonwood For Res*, 32 (1): 121–125 (in Chinese with English abstract) [刘雪梅, 胡希军, 罗雪梅等(2014a). 榉树秋季叶色变化类型和生长特性. *经济林研究*, 32 (1): 121–125]
- Liu XM, Jin XL, Wang XL, et al (2014b). Studies on the pigment content change rule in the leaf color expression period of 3 groups of leaf color *Zelkova schneideriana*. *J Henan Agric Univ*, 48 (5): 596–601 (in Chinese with English abstract) [刘雪梅, 金晓玲, 汪晓丽等(2014b). 3类色系榉树叶色表达期色素含量变化规律研究. *河南农业大学学报*, 48 (5): 596–601]
- Luo XM (2012). The research on the growth characters of different strains and the tissue culture and rapid propagation techniques of yellow strain of *Z. schneideriana* Hand.-Mazz (dissertation). Changsha: Central South University of Forestry & Technology (in Chinese with English abstract) [罗雪梅(2012). 不同榉树品系的生长特征及黄色品系组培快繁技术研究[学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学]
- Sun JL, Zhao BL, Yu SL (2014). Study of exogenous salicylic acid (SA) on the heat tolerance in grape seedlings under high temperature stress. *J Soil Water Conserv*, 28 (3): 290–299 (in Chinese with English abstract) [孙军利, 赵宝龙, 郁松林(2014). 外源水杨酸(SA)对高温胁迫下葡萄幼苗耐热性诱导研究. *水土保持学报*, 28 (3): 290–299]
- Tan LT, Yu CM, Chen P, et al (2016). Effects of exogenous salicylic acid on physiological characteristics and yield of ramie under drought stress and re-watering. *J Nucl Agric Sci*, 30 (2): 388–395 (in Chinese with English abstract) [谭龙涛, 喻春明, 陈平等(2016). 外源水杨酸对干旱胁迫及复水下苧麻生理特性和产量的影响. *核农学报*, 30 (2): 388–395]
- Tang YP, Wen T, Sun X, et al (2015). Research progress on the impact of salicylic acid on plant photosynthesis. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 35 (8): 1701–1708 (in Chinese with English abstract) [唐艳萍, 文涛, 孙歆等(2015). 水杨酸对植物光合作用影响的研究进展. *西北植物学报*,

- 35 (8): 1701–1708]
- Wang JL, Yan XR, Shen XY, et al (2014). Exogenous treatment with salicylic acid alleviates aluminum toxicity in *Camptotheca acuminata* seedlings. *China For Sci Technol*, 28 (6): 54–58 (in Chinese with English abstract) [王俊霖, 严晓茹, 沈晓云等(2014). 不同水杨酸处理方式对喜树幼苗铝胁迫的缓解效应. *林业科技开发*, 28 (6): 54–58]
- Wang S, Xu LQ, Zhang YX, et al (2016). Recent advance of salicylic acid signaling in plant disease resistance. *Plant Physiol J*, 52 (5): 581–590 (in Chinese with English abstract) [汪尚, 徐鹭芹, 张亚仙等(2016). 水杨酸介导植物抗病的研究进展. *植物生理学报*, 52 (5): 581–590]
- Xu XY, Yu JH, Xie JM, et al (2016). Effects of exogenous salicylic acid and brassinolide on photosynthesis of cucumber seedlings under low temperature stress. *Chin J Appl Eco*, 27 (9): 3009–3015 (in Chinese with English abstract) [徐晓昀, 郁继华, 颀建明等(2016). 水杨酸和油菜素内酯对低温胁迫下黄瓜幼苗光合作用的影响. *应用生态学报*, 27 (9): 3009–3015]
- Yang L, Wang Y, Yang JF, et al (2014). Research advances on negative regulators of anthocyanin accumulation. *Acta Horti Sin*, 41 (9): 1873–1884 (in Chinese with English abstract) [杨琳, 王宇, 杨剑飞等(2014). 花青素积累相关负调控因子的研究进展. *园艺学报*, 41 (9): 1873–1884]
- Zhang M, Huang LB, Zhou P, et al (2015). Physiological and biochemical changes in *Zelkova serrata* leaves during leaf color transformation in autumn. *Sci Silva Sin*, 51 (8): 44–51 (in Chinese with English abstract) [张敏, 黄利斌, 周鹏等(2015). 榉树秋季转色期叶色变化的生理生化. *林业科学*, 51 (8): 44–51]
- Zhang QY, Liu FC, Duan K, et al (2014). Effects of salicylic acid on the expression of *FaNBS20* gene responsive to *Colletotrichum gloeosporioides* infection in *fragaria*×*ananassa*. *Acta Horti Sin*, 41 (1): 53–62 (in Chinese with English abstract) [张庆雨, 刘芳春, 段可等(2014). 水杨酸对草莓炭疽病相应基因*FaNBS20*表达的影响. *园艺学报*, 41 (1): 53–62]
- Zhang XF, Zhang HX, Guan TX, et al (2015). Alleviating effect and mechanism of seed soaking with salicylic acid on reactive oxygen species production induced by cadmium in the roots of two legume species. *Plant Physiol J*, 51 (10): 1669–1677 (in Chinese with English abstract) [张喜峰, 张红晓, 关天霞等(2015). 水杨酸浸种对镉诱导两种豆科植物根活性氧产生的缓解及其机理. *植物生理学报*, 51 (10): 1669–1677]
- Zheng XC, Ge YX, Wang LJ, et al (2013). The effects of several chemicals on leaf color changes of *Cotinus coggygia* var. *cinerea*. *Acta Horti Sin*, 40 (11): 2199–2206 (in Chinese with English abstract) [郑绪辰, 葛雨萱, 王丽金等(2013). 赤霉素、水杨酸、柠檬酸和蔗糖对灰毛黄栌叶色变化的影响. *园艺学报*, 40 (11): 2199–2206]

Effects of foliage spray of salicylic acid on leaf color in three leaf-color types of *Zelkova schneideriana* in autumn

ZHANG Ya-Ping^{1,2}, ZENG Yan¹, LIU Xiao-Ling¹, XING Wen¹, JIN Xiao-Ling^{1,*}

¹College of Landscape Architecture, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China

²Department of Agricultural Engineering, Guizhou Vocational College of Agriculture, Guiyang 551400, China

Abstract: Using foliar spray of different concentrations of salicylic acid, we analyzed the pigments composition and the contents of anthocyanin and chlorophyll in three different leaf color (red, yellow or green) types of *Zelkova schneideriana*. The results showed that in red leaf type of *Z. schneideriana*, 0.5 mmol·L⁻¹ SA could promote the anthocyanin synthesis, accelerate the degradation of chlorophyll, and enhance red degree of leaves. And in yellow leaf type of *Z. schneideriana*, 0.5 mmol·L⁻¹ SA prolonged the green period and delayed leaf color change. 1.0 mmol·L⁻¹ SA could make leaves turn yellow, the color phase in advance in both yellow and green types of *Z. schneideriana*.

Key words: *Zelkova schneideriana*; salicylic acid; leaf color; CIEL *a*b*

Received 2017-06-05 Accepted 2017-11-28

This work was supported by the Central Fiscal Forestry Science and Technology Extension Project ([2015]XT008), the Key Disciplines of State Forestry Administration Funded Projects ([2016]21), and the Twelfth Five-Year Key Subjects (Landscape Architecture) of Hunan Province ([2011]76).

*Corresponding author (jxl0716@hotmail.com).