

不同光质处理对枫香幼苗叶色的影响

王冬雪^{1,2}, 孙海菁¹, 德永军^{2*}, 史久西^{1*}

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 杭州 311400;

2. 内蒙古农业大学林学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要: [目的] 从生理生化角度揭示不同光质处理对枫香家系叶色变化的影响, 为探索枫香叶色对光质的响应机理提供参考。 [方法] 以2个枫香家系的1年生幼苗为试验材料, 测定其在不同光质处理下叶片叶绿素、类胡萝卜素、花青素、可溶性糖、类黄酮和苯丙氨酸解氨酶的含量并分析其相关性。 [结果] 结果表明: 试验后2个枫香家系叶色较处理前有一定程度的变化。红光处理组枫香幼苗叶片叶绿素含量显著高于其它处理组, 而蓝光处理组叶片叶绿素含量则显著低于其它处理组。蓝光处理后, 2个枫香家系叶片花青素含量较对照有显著提高, 而红光处理则减少了叶片花青素含量。同时蓝光处理能显著提高枫香幼苗叶片类胡萝卜素、可溶性糖和类黄酮含量以及苯丙氨酸解氨酶活力, 红光处理效果较对照无显著差异。方差分析表明, 不同光质处理对枫香幼苗叶片叶绿素含量影响显著, 而对花青素量和类胡萝卜素含量影响不显著。 [结论] 2个枫香家系叶色在光质处理下有相同的变化趋势, 红光处理可以促进枫香幼苗叶片叶绿素合成; 蓝光处理可以促进枫香幼苗叶片积累更多的花青素。

关键词: 枫香; 家系; 光质; 叶色

中图分类号: S718.43

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2019)04-0158-07

光在植物形态建成以及植物生长发育的各个阶段都起到显著作用^[1], 其中, 光质的作用尤为重要。不同单色光对植物生长、叶色变化以及光合特性均会产生不同影响^[2]。由于植物叶片细胞内色素的种类、含量及分布的不同, 使得植物叶色呈现复杂变化^[3]。许多研究表明, 不同光质能调控叶片光合色素的形成^[4], 蓝光和紫外光有利于叶片中花色素苷的产生^[5-6]; 但单色光对色素影响的效果与植物种类有关, 同时也与处理时间有关^[5-7]。

枫香 (*Liquidambar formosana* Hance) 为金缕梅科 (Hamamelidaceae) 枫香属 (*Liquidambar* Linn) 树种, 广泛分布于我国南方各省区, 是南方林区主要森林树种和优良景观生态树种。枫香叶一般在每年10月下旬开始由绿变黄、变红, 整个叶片衰老凋落过程持续到12月底, 部分未落红叶持续到次年1月^[8]。许多学者开展了枫香叶色变化的研究, 大部分工作主要集中于枫香转色期其叶色变化与环境之

间的关系^[9-11], 同时也对不同环境下枫香叶片的解剖结构作了观察^[12]。作者通过野外调查发现, 不同山地条件下枫香叶色变化也不相同。由于不同海拔以及不同坡向光强和光质都会有显著差异, 因此, 推测光质在枫香叶色变化过程中起到重要作用。目前已有学者研究了不同光质对红叶桃 (*Prunus spersica* f. *atropurpurea* Schneid)^[13]、翠云草 (*Selaginella uncinata* (Desv.) Spring)^[14]、红栎 (*Cotinus coggygria* 'Royal Purple')^[15] 等植物叶色变化的影响, 但较少报道光质对枫香叶色变化的影响。因此, 本文应用LED灯模拟不同成分的光质对枫香进行光照处理, 研究不同光质对其叶片呈色的影响, 为探索枫香叶色对光质的响应机理提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

根据前期试验结果, 选择在转色期叶色变化差

收稿日期: 2018-08-26 修回日期: 2019-03-13

基金项目: 国家林业公益性行业科研专项经费项目“美丽城镇森林景观的构建技术与示范”(201404301)

* 通讯作者: 史久西. E-mail: shijiuxi@126.com; 德永军. E-mail: dean6928@sohu.com

异较大的2个枫香家系14号和17号为试验材料,其中,14号家系采集自贵州南明,变色率较小,主要呈暗紫红色;17号家系种子采集自湖南慈利山区,秋冬季大部分叶片呈鲜红色。收集的种子在2015年春季育苗,基质为珍珠岩和泥炭(比例为1:3),采用自动喷雾浇水,待幼苗出土后,适量喷洒营养液以供生长,期间枫香幼苗正常生长,且2个家系枫香幼苗生长无显著差异。2016年11月从中选取生长健壮、高度一致(苗高约60 cm)的无纺布容器幼苗进行试验。

1.2 试验方法

试验于2016年11月22日至2017年1月10日在中国林业科学研究院亚热带林业研究所温室大棚内进行。整个生长过程保证除处理因素外其它栽培条件一致。

11月份枫香生长基本停止时开始进行人工光照处理,利用LED灯模拟不同成分的光质。研究表明,植物对红光和蓝光吸收较多,因此,本研究分别设置红光(T1)、蓝光(T2)2种不同的光源处理,其中,红光波长范围620~750 nm,蓝光波长476~495 nm,同时设置自然光(白光)为对照(CK)。每个光质处理组以及对照组均设置3个重复,每个重复包含枫香幼苗10株。不同光质试验组分别用遮荫网搭建组成暗室,每个暗室分别安装8盏具有相同光质的LED灯,使每株苗均接收相同的光照,每天光照时间为12 h,光强为 $120 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。室内温度保持在8~15℃。在试验开始和结束时,从每株苗同一朝向中部采集2片功能叶片,每个重复共采集20片叶片样品,测定色素含量、可溶性糖、类黄酮和苯丙氨酸解氨酶(PAL)活力。

1.3 光合色素含量测定

将所采集叶片擦净后,称取鲜质量0.2 g,加10 mL 80%丙酮研磨提取,再转入试管中,室温下于避光处浸泡提取24 h。用TU-1810紫外分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司)测定470、645、663 nm波长处的吸光度,以此计算叶片叶绿素a、叶绿素b和类胡萝卜素含量^[16]。

花青素含量采用1%盐酸甲醇法测定^[17]。

1.4 可溶性糖含量测定

可溶性糖含量采用蒽酮法测定^[18]。

1.5 类黄酮含量测定

叶片样品烘干至恒质量,粉碎,过40目筛之后,

称取0.1 g样品,加入2.5 mL 60%乙醇提取液,用超声波法进行提取,提取30 min后,12 000 rpm,25℃,离心10 min,取上清液。用提取液定容至2.5 mL,待测。采用植物类黄酮检测试剂盒(南京建成生物工程研究所)进行类黄酮含量的测定。

1.6 苯丙氨酸解氨酶(PAL)活力测定

称取植物叶片鲜质量0.1 g,液氮研磨后,采用苯丙氨酸解氨酶检测试剂盒(南京建成生物工程研究所)进行PAL活力测定。

1.7 数据分析

试验数据采用统计软件SPSS 22.0进行方差分析和差异显著性分析。采用OriginPro 9.3软件作图,数据采用平均值±标准误。

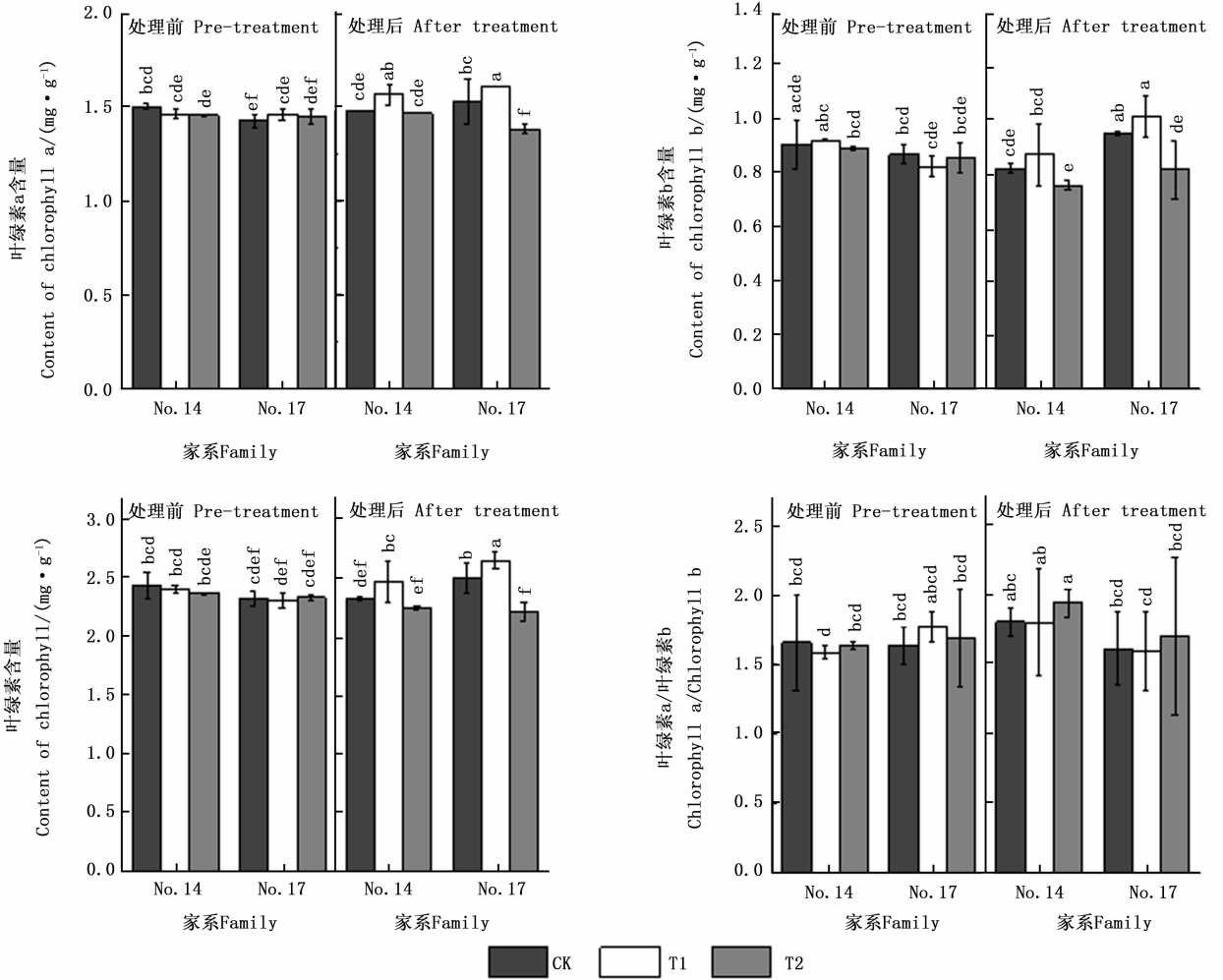
2 结果分析

2.1 不同光质对叶片叶绿素含量的影响

不同光质处理前后,枫香叶片叶绿素含量变化见图1。处理前枫香叶绿素含量为 $2.317 \sim 2.443 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。试验后,红光处理组2个家系叶绿素含量较处理前有一定程度增加;同时17号家系对照组叶绿素含量也较处理前增加,而蓝光处理组叶绿素含量则较处理前有一定程度减少。相同光质处理下,2个家系叶绿素含量变化存在一定差异,其中,17号家系叶绿素含量普遍高于14号家系(蓝光处理组除外)。试验后,红光处理组2个家系的叶绿素a含量都较试验前显著增加($P < 0.05$);而对照组处理和蓝光处理组叶绿素a含量在2个家系间有不同的表现,其中,17号家系在蓝光处理下叶绿素a含量由 $1.454 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 减少到 $1.383 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,对照组叶绿素a含量则由 $1.432 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 增加到 $1.531 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。14号家系试验前后叶绿素a含量在这2个处理组则有相反的变化趋势,但变化幅度较17号家系小。14号家系叶绿素b含量较试验前有减少,而17号家系叶绿素b含量则较试验前有不同程度增加(蓝光处理组除外)。试验后,14号家系叶片叶绿素a/叶绿素b值较试验前增加,其中,蓝光处理组比值最高,为1.934;17号家系叶片叶绿素a/叶绿素b值则有不同程度的降低(蓝光处理组除外),其中,红光处理组比值最低,为1.589。

2.2 不同光质对叶片类胡萝卜素含量的影响

不同光质处理前后,枫香叶片类胡萝卜素含量见图2。试验后不同光质处理组枫香叶片经红光和



注:不同字母表示不同家系在不同处理下含量差异显著($P < 0.05$),下同。

Note: Different letters denote statistically significant difference among families for different treatments ($P < 0.05$), the same below.

图1 不同光质处理下枫香叶片叶绿素含量

Fig.1 The content of chlorophyll of *L. formosana* seedlings under different spectrum lights treatments

蓝光处理后,类胡萝卜素含量之间存在显著差异($P < 0.05$),其中,蓝光处理对枫香叶片类胡萝卜素含量影响最大。试验后,蓝光处理组2个枫香家系叶片类胡萝卜素含量较对照组分别提高20.5%和19.4%。红光处理不能增加枫香叶片类胡萝卜素含量,且2个家系之间无显著差异。

2.3 不同光质对叶片花青素含量的影响

不同光质处理后,3个处理组的2个枫香家系叶片花青素含量较试验前有所增加(图3)。蓝光处理后,2个枫香家系叶片花青素含量较对照组有一定程度增加,同时较处理前也显著增加($P < 0.05$);而红光处理后枫香叶片花青素含量较对照组减少,但无显著差异;17号枫香家系叶片花青素含量在同

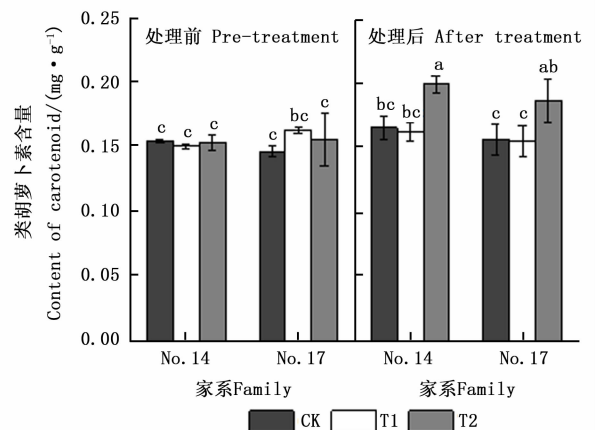


图2 不同光质处理下枫香叶片类胡萝卜素含量

Fig.2 The content of carotenoid of *L. formosana* seedlings under different spectrum lights treatments

一处理下高于14号家系(图3)。

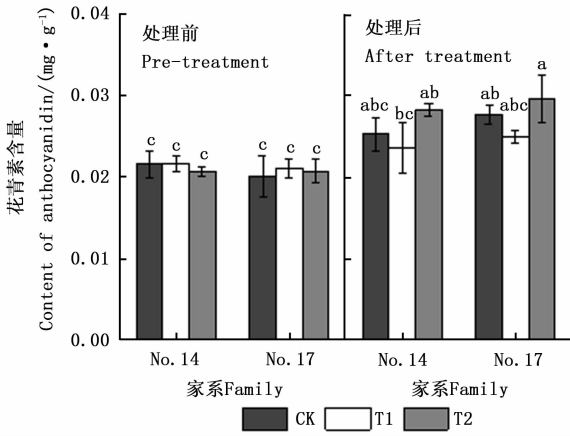


图3 不同光质处理下枫香叶片花青素含量

Fig. 3 The content of anthocyanin of *L. formosana* seedlings under different spectrum lights treatments

2.4 不同光质对叶片可溶性糖含量的影响

不同光质处理后,2个枫香家系叶片可溶性糖含量见图4。2个枫香家系叶片可溶性糖含量在不同处理组均较试验前显著增加,其中,蓝光处理组效果最好;与对照组相比,蓝光处理组2个枫香家系叶片可溶性糖含量也显著增加($P < 0.05$);而红光处理组2个枫香家系叶片可溶性糖含量则显著低于相应对照组。除蓝光处理组外,其余各处理组17号枫香家系叶片可溶性糖含量显著高于14号家系($P < 0.05$);同时红光处理组17号枫香家系叶片可溶性糖含量较对照组的下降幅度大于14号家系。

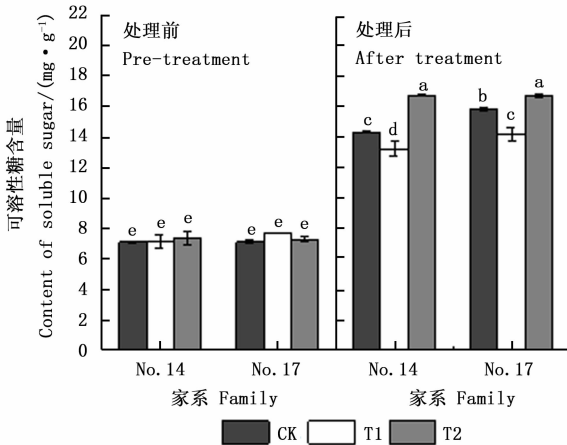


图4 不同光质处理下枫香叶片可溶性糖含量

Fig. 4 The concentration of soluble sugar of *L. formosana* seedlings under different spectrum lights treatments

2.5 不同光质对叶片类黄酮含量的影响

与叶片可溶性糖含量表现相似,试验后2个枫香家系叶片类黄酮含量都较试验前显著增加(图5),且蓝光处理效果最好,其叶片类黄酮含量分别为2.15和2.27 $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$,高于其它处理组。与对照组相比,红光处理后2个枫香家系叶片类黄酮含量均有一定程度下降,但无显著差异。

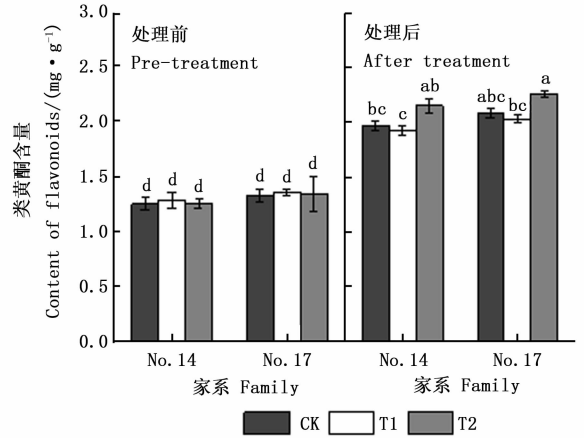


图5 不同光质处理下枫香叶片类黄酮含量

Fig. 5 The concentration of flavonoid of *L. formosana* seedlings under different spectrum lights treatments

2.6 不同光质对叶片PAL活力的影响

试验后,2个枫香家系叶片PAL活力均较试验前显著提高(图6, $P < 0.05$);蓝光处理后,2个枫香家系叶片PAL活力均高于其它处理组;红光处理后,2个枫香家系叶片PAL活力均较对照组下降,其中,17号家系下降幅度较大。

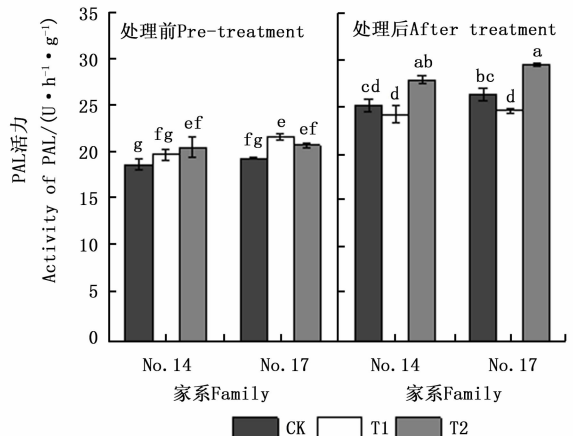


图6 不同光质处理下枫香叶片PAL活力

Fig. 6 The concentration of PAL of *L. formosana* seedlings under different spectrum lights treatments

2.7 各指标方差分析和相关分析

由表 1 可知:叶绿素、叶绿素 a 及叶绿素 b 含量在处理间存在显著差异,同时家系效应对叶绿素 b 含量以及处理时间效应对叶绿素 a 含量有显著影响。方差分析也表明:家系和处理效应均对类胡萝卜素含量、花青素含量无显著影响。可溶性糖含量、PAL 活力以及类黄酮含量在处理时间、家系以及处

理(类黄酮含量除外)间均存在显著差异。除叶类胡萝卜素含量和花青素含量外,处理时间和处理的交互效应对各指标有显著影响,但处理时间与家系交互效应仅对叶绿素含量、叶绿素 b 含量和可溶性糖含量有显著影响。家系与处理的交互作用以及三因素的交互作用均对各指标无显著影响(叶绿素 a 含量除外)。

表 1 枫香 2 个家系、3 个光质处理 6 个指标的三因素方差分析

Table 1 Summary of three-way ANOVA analysis of 6 indices among treatment time, family and treatment

项目 Item	自由 度 <i>df</i>	叶绿素 Chlorophyll	叶绿素 a Chlorophyll a	叶绿素 b Chlorophyll b	类胡萝卜素 Carotenoid	花青素 Anthocyanin	可溶性糖 Soluble sugar	类黄酮 Flavonoid	PAL
处理时间 Treatment time	1	1.647	9.854 **	0.259	10.767 **	28.753 ***	59.364 ***	41.083 ***	32.411 ***
家系 Family	1	0.319	0.647	1.711 *	1.110	0.236	9.470 **	6.687 *	9.349 **
处理 Treatment	2	12.542 ***	12.199 ***	5.035 *	2.769	1.270	29.678 ***	3.066	19.597 ***
时间×家系 Time×Family	1	12.663 **	1.014	15.829 ***	3.608	1.355	4.281 *	0.177	0.035
时间×处理 Time×Treatment	2	11.253 ***	10.184 ***	4.794 *	2.417	2.088	31.997 ***	4.210 *	15.084 ***
家系×处理 Family×Treatment	2	0.791	1.871	0.237	0.328	0.006	2.795	0.006	0.045
时间×家系×处理 Time×Family×Treatment	2	2.923	4.346 *	1.070	0.605	0.150	1.812	0.001	1.631

注: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$, 下同。 Note: $p < 0.05$; $p < 0.01$; *** $p < 0.001$, the same below

由表 2 可知:叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总量与其它 5 个指标均呈负相关,其中,类胡萝卜素与叶绿素 b 和叶绿素、类黄酮与叶绿素 a、可溶性糖与叶绿素 a 和叶绿素、PAL 与叶绿素 a、b 及叶绿素均呈显著负相关。除叶绿素外,类胡萝卜素与其它指标

均呈正相关,其中与 PAL 和可溶性糖呈显著正相关。花青素则与可溶性糖、类黄酮以及 PAL 呈显著正相关。可溶性糖、类黄酮以及 PAL 3 个之间均呈极显著正相关。

表 2 色素含量、可溶性糖含量与内含物变化的相关性

Table 2 Correlation among pigment content, soluble sugar content and inclusions

	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素	类胡萝卜素	花青素	类黄酮	可溶性糖	PAL
叶绿素 a	1							
叶绿素 b	0.598 **	1						
叶绿素	0.873 ***	0.913 ***	1					
类胡萝卜素	-0.317	-0.809 ***	-0.654 **	1				
花青素	-0.389	-0.035	-0.219	0.086	1			
类黄酮	-0.515 *	-0.229	-0.401	0.456	0.581 *	1		
可溶性糖	-0.620 **	-0.372	-0.542 *	0.492 *	0.537 *	0.757 ***	1	
PAL	-0.768 ***	-0.491 *	-0.690 **	0.553 *	0.407 *	0.798 ***	0.844 ***	1

3 讨论

光在植物生长发育和形态建成等方面起到重要作用^[19]。本研究中,不同光质处理对枫香幼苗生长无显著影响,这可能是因为整个试验期间是枫香生长逐渐趋于休眠阶段。不同光质处理下,枫香幼苗叶片叶色变化表现出一定差异,其中,蓝光处理组 2 个枫香家系叶片颜色大部分转为暗红色,少量叶片

颜色为浅红色(17 号家系);而其它处理组只有少量叶片颜色转为暗红色。这种现象与植物体内 3 种色素含量、比值的变化有关^[20-22]。如本研究中,蓝光处理组枫香叶片叶绿素含量较低,而花青素含量较其它处理组高;同时蓝光处理组花青素/叶绿素含量比值较处理前以及其它处理组高(17 号家系, $P < 0.05$),这可能是 2 个家系叶色变化效果有差异的原因。此外,有研究证实,枫香叶片 pH 值的下降是导

致其叶色变红、变深的一个主要原因^[9]。本研究中,叶片 pH 值下降幅度的不同可能也是导致蓝光处理下 2 个家系叶色效果有差异的原因,将在进一步的研究中进行验证。蓝光处理下,枫香叶片叶绿素含量减少,花青素含量增加的现象与已有研究相似^[23-24],但也有研究表明,增加蓝光比例可提高叶绿素含量^[25],这可能是由于植物体内的不同色素系统对不同波长范围的光具有吸收特异,从而使不同植物对不同光质的诱导响应存在差异^[13]。叶绿素 a/ 叶绿素 b 值反映了植物对光能利用的程度,本研究中,蓝光处理下叶绿素 a/ 叶绿素 b 值较对照有增加的趋势,表明该处理下枫香幼苗光能利用效率提高,具有阳生植物的生长特点^[26]。前人研究表明,红光处理可促进叶绿素合成,降低叶绿素 a/ 叶绿素 b 值^[26],本研究中枫香幼苗叶片在红光处理下也有类似表现,但不显著。

研究也发现,光质处理对 2 个枫香家系参试材料叶色变化的影响也不相同。如 17 号家系叶片颜色较处理前无显著变化,叶色主要以绿色为主(蓝光处理组除外);14 号家系叶片颜色在红光处理下无显著变化,对照处理下叶片颜色较处理前有一定程度变化,主要以黄绿色为主。造成这种现象的原因可能与这 2 个参试材料来自不同地区有关。17 号家系种子采自湖南慈利山区,而 14 号家系采自贵州南明的平坦地区,可能 2 个参试材料接收的太阳辐射量存在差异,导致其在进化过程中形成了不同的需光特性^[13]。同时在转色期,两个地区平均气温以及昼夜温差均有较大差异,因此,这种外部环境的差异也可能导致 2 个参试材料有不同的光合色素代谢合成途径,因而在相同光质处理下其叶色有不同的表现。

碳水化合物在花色素苷合成中起到重要作用^[22,27]。可溶性糖是花色素苷结构的组分之一,可以显著促进植物花色素苷的积累^[28]。本研究中,花青素含量同样与可溶性糖含量呈显著正相关。有研究表明,高等植物的碳水化合物的代谢可受光质调控^[19]。本试验也表明,蓝光处理下的可溶性糖含量最高,有效促进了枫香叶片的碳代谢,从而为花青素的大量合成提供了原料,这与枫香家系在不同光质处理下的叶色变化相一致。目前的研究已经明确了植物花色素苷的代谢途径^[29],研究表明花色素苷及其它类黄酮生物合成的直接前体为苯丙氨酸。因此,苯丙氨酸解氨酶在植物代谢途径中显得尤为重要。本研究表明,苯丙氨酸解氨酶与花青素以及类

黄酮等均呈极显著正相关,表明随着苯丙氨酸解氨酶酶活性的增加,促进了花青素的合成和积累,同时也促进了类黄酮物质的代谢,从而增加植物的抗逆性,这与董春娟等研究结果相似^[29]。研究也表明,光质对枫香的次生代谢产物类黄酮的积累有一定影响,这与谢宝东等研究结果相似,即长波光质不利于黄酮的积累,而短波光质有利于黄酮类物质的积累^[30]。

4 结论

研究表明,在秋冬季转色期,红光处理可以促进枫香幼苗叶片叶绿素合成;蓝光处理可以促进枫香幼苗叶片积累更多的花青素。同时,枫香幼苗叶片的可溶性糖含量、类黄酮含量以及苯丙氨酸解氨酶活性都较试验前有显著提高,蓝光处理能进一步促进这些物质的合成,这也表明蓝光处理可促进枫香幼苗叶片的呈色效果。

参考文献:

- [1] 刘敏玲,苏明华,潘东明,等. 不同 LED 光质对金线莲生长的影响[J]. 亚热带植物科学, 2013, 42(1): 46-48.
- [2] 余 意. 三种叶色生菜人工光水培氮营养及光质条件优化研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2012.
- [3] 王振兴,于云飞,陈 丽,等. 彩叶植物叶片色素组成、结构以及光合特性的研究进展[J]. 植物生理学报, 2016, 52(1): 1-7.
- [4] 郑 洁,胡美君,郭延平. 光质对植物光合作用的调控及其机理[J]. 应用生态学报, 2008, 19(7): 1619-1624.
- [5] 高 飞,柯 斌,金 韬,等. 光照对植物合成花色素苷的影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2014, 30(34): 6-10.
- [6] 占丽英. 光质对紫色小白菜生长和花青苷合成基因表达的影响[D]. 福州:福建农林大学, 2016.
- [7] 姜卫兵,徐莉莉,翁忙玲,等. 环境因子及外源化学物质对植物花色素苷的影响[J]. 生态环境学报, 2009, 18(4): 1546-1552.
- [8] 罗紫东,关华德,章新平,等. 枫香叶片衰老过程中光合能力的变化[J]. 应用生态学报, 2016, 27(10): 3129-3136.
- [9] 胡敬志,田 旗,鲁心安. 枫香叶片色素含量变化及其与叶色变化的关系[J]. 西北农林科技大学学报, 2007, 35(10): 219-223.
- [10] 李效文,陈秋夏,郑 坚. 枫香秋叶色素变化及与环境因子的关系[J]. 浙江农业科学, 2011, (2): 279-282.
- [11] 陈秋夏,李效文,施娟娟,等. 枫香秋季叶色与其遗传间相关性的研究[J]. 林业科技, 2014, 39(5): 20-23.
- [12] 王 荣,郭志华. 不同光环境下枫香幼苗的叶片解剖结构[J]. 生态学杂志, 2007, 26(1): 1719-1724.
- [13] 张斌斌,蔡志翔,沈志军,等. 光质对红叶桃叶片呈色的影响[J]. 果树学报, 2013, 30(4): 602-607.
- [14] 张水木,彭媛媛,李 林. 不同光质处理对翠云草叶色变化的影响[J]. 北方园艺, 2016, 40(12): 75-79.
- [15] 张 超. 不同光质对美国红栎叶色表达的影响[J]. 山西林业

- 科技, 2011, 40(3):1-3.
- [16] Zhou L Y, Zhao Y, Wang S F, *et al.* Lead in the soil-mulberry (*Morus alba* L.)-silkworm (*Bombyx mori*) food chain: translocation and detoxification[J]. *Chemosphere*, 2015, 128: 171-177.
- [17] 张 超, 高金锋, 李彦慧, 等. 低温对 2 种玉兰花色及相关酶活性的影响[J]. *林业科学*, 2012, 48(7): 56-60.
- [18] 赵世杰, 史国安, 董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 84-99.
- [19] 李慧敏, 陆晓民. 不同光质对甘蓝型油菜幼苗的生长和生理特性的影响[J]. *西北植物学报*, 2015, 35(11): 2251-2257.
- [20] Keskitalo J, Bergquist G, Gardeström P, *et al.* A cellular timetable of autumn senescence[J]. *Plant Physiology*, 2005, 139(4): 1635-1648.
- [21] 赵昶灵, 郭华春. 植物花色苷生物合成酶类的亚细胞组织研究进展[J]. *西北植物学报*, 2007, 27(8): 1695-1701.
- [22] 魏 媛, 闫 伟, 杨 瑞. 4 种秋色叶树种转色期叶色变化的生理特性[J]. *现代园艺*, 2014, (7): 17-19.
- [23] 赵占娟, 李 光, 王秀生, 等. 光质对绿豆幼苗叶片超微弱发光及叶绿素含量的影响[J]. *西北植物学报*, 2009, 29(7): 1465-1469.
- [24] Ohto M, Onai K, Furukawa Y, *et al.* Effects of sugar on vegetative development and floral transition in *Arabidopsis*[J]. *Plant Physiology*, 2001, 127(1): 252-261.
- [25] 李慧敏, 陆晓民, 高青海, 等. 不同光质对黄秋葵幼苗生长、光合色素和气孔特征的影响[J]. *草业学报*, 2016, 25(6): 62-70.
- [26] 闫萌萌, 王铭伦, 王洪波, 等. 光质对花生幼苗叶片光合色素含量及光合特性的影响[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(2): 483-487.
- [27] Schaberg P G, van den Berg A K, Murakami P F, *et al.* Factors influencing red expression in autumn foliage of sugar maple trees [J]. *Tree Physiology*, 2003, 23(5): 325-333.
- [28] 姜 琳, 杨 暖, 姜官恒, 等. 栎属 4 个树种秋冬叶色与生理变化的关系[J]. *中国农学通报*, 2015, 31(19): 13-18.
- [29] 董春娟, 李 亮, 曹 宁, 等. 苯丙氨酸解氨酶在诱导黄瓜幼苗抗寒性中的作用[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(7): 2041-2049.
- [30] 谢宝东, 王华田. 光质和光照时间对银杏叶片黄酮、内酯含量的影响[J]. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2006, 3(2): 51-54.

Change of Leaf Color of *Liquidambar formosana* Seedlings under Different Light Quality Treatments

WANG Dong-xue^{1,2}, SUN Hai-jing¹, DE Yong-jun², SHI Jiu-xi¹

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Hangzhou 311400, Zhejiang, China;

2. Forestry College of Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, Inner Mongolia, China)

Abstract: [Objective] To investigate the physiological and biochemical mechanisms of leaf colorization of two *Liquidambar formosana* families under different light quality to provide reference for exploring the response of leaf color to light quality. [Method] The change of the chlorophyll, carotenoid, anthocyanin, soluble sugar, flavonoid and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) contents in *L. formosana* leaves were assessed. The relationship among all indexes was also discussed. [Result] The leaf color of *L. formosana* was slightly changed from green to red or dark red during the experiment. In addition, the change of leaf color of the 2 *L. formosana* families showed difference. The content of chlorophyll of *L. formosana* in the red light treatment group was significantly higher than that in other treatment groups, while the chlorophyll content in the blue light treatment group was significantly lower compared with that in other treatment groups. The contents of anthocyanin of the 2 *L. formosana* families were significantly improved under blue light treatment, while the contrary trend was observed in red treatment. At the same time, blue light treatment significantly increased the contents of carotenoid, soluble sugar and flavonoids and phenylalanine ammonia enzyme activity. Variance analysis indicated that different light treatments had significant effects on the content of chlorophyll within the *L. formosana* leaves, while the effects on the concentration of anthocyanin and carotenoid were indistinctive. [Conclusion] The change of leaf color of the 2 *L. formosana* families shows the same trend under the different spectrum light treatments, the red light treatment can promote the synthesis of chlorophyll; however, the concentration of anthocyanin in blue light treatment is higher than that in other spectrum light treatments.

Keywords: *Liquidambar formosana*; family; light quality; leaf color