

# 美洲黑杨新品种全红杨叶片色素含量 与叶色的对比研究

杨淑红

(河南省林业科学研究院, 河南 郑州 450008)

**摘要:** 为研究全红杨叶片内在色素与外在色相的特性及其关系, 探讨全红杨的呈色机制, 比较分析了生长季不同时期全红杨、中红杨和 2025 叶片中色素含量和叶色参数的差异。结果表明, 全红杨叶片含有较多的光合色素(叶绿素 a、b 和类胡萝卜素)和非光合色素(花色素苷), 尤其是花色素苷含量显著高于中红杨和 2025, 三者叶色差异明显。全红杨色相  $a^*$  值和色光值始终为正值, 色相  $b^*$  值为较小的正值, 叶色始终以红色为主; 中红杨色相  $a^*$  值和色光值由正值变为负值, 色相  $b^*$  值为正值并逐渐变大, 叶片红色转淡, 出现返绿现象; 2025 杨色相  $a^*$  和色光值为较低的负值, 色相  $b^*$  为较高的正值, 叶片始终呈现黄绿色或绿色。此结果与叶片色素比例的变化对叶色的影响结果相一致。

**关键词:** 全红杨; 色素; 叶色; 色差仪

中图分类号: S792.11 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2012)12-0131-07

## Comparison Analysis of Chromatism Value and Anthocyanin Contents of *Populus × euramericana* ‘Quanhong’ Leaves in Different Periods

YANG Shu-hong

(Henan Academy of Forestry, Zhengzhou 450008, China)

**Abstract:** In order to study on inner pigment and external hue characteristic of *Populus × euramericana* ‘quanhong’ leaves and their relationship, the coloration mechanism of *Populus × euramericana* ‘quanhong’, the differences in photosynthetic characteristics, and pigment contents between *Populus × euramericana* ‘zhonghong’ and *Populus linn* 2025 were analyzed. The results showed that the leaves of *Populus × euramericana* ‘quanhong’ contained more photosynthetic pigment (chlorophyll a, b and carotenoid) and non photosynthetic pigment (Anthocyanin), especially the anthocyanin content significantly higher than that of *Populus × euramericana* ‘zhonghong’ and *Populus linn* 2025, and the three leaf color differed significantly. When the hue  $a^*$  value of *Populus × euramericana* ‘quanhong’ leaf and the color value were always positive and hue  $b^*$  value were smaller positive with red leaf color; when the hue  $a^*$  value of *Populus × euramericana* ‘zhonghong’ leaf and the color value changed from positive to negative and hue  $b^*$  were positive value and increases, with leaf red to light and appearing to return to green; when the hue  $a^*$  value of phenomenon; *Populus linn* 2025 leaf and the color value for the lower were negative value and hue  $b^*$  was high positive, the blade always appeared yellowish green or green. The result was in line with the change of the pigment leaves ratio related to the influence of color.

**Key words:** *Populus × euramericana* ‘quanhong’; pigment; leaf color; colorimeter

收稿日期: 2012-06-08

基金项目: 国家林业局推广项目(2010TK35)

作者简介: 杨淑红(1975-), 女, 黑龙江同江人, 高级工程师, 主要从事城市园林植物研究工作。E-mail: yangshh0315@163.com

中红杨 (*Populus × euramericana* ‘zhonghong’) 为美洲黑杨派杨树 2025 的芽变品种, 是国内外最早用于园林观赏的彩色杨树品种。全红杨 (*Populus × euramericana* ‘quanhong’) 是在中红杨的基础上选育出的色泽更为纯正浓厚的又一彩叶芽变新品种。全红杨叶片从芽期至 6 月底为深紫红色, 7—10 月为紫红色, 10 月中下旬至落叶前为橙红色; 叶柄、叶脉始终为紫红色。全红杨枝叶色泽亮丽诱人, 持久稳定, 是杨树家族中难得的具高品质园林观赏性的彩叶品种。彩叶植物的叶色表现是遗传因素和外部环境共同作用的结果, 彩叶植物呈现彩色的直接原因就是叶片中的色素种类和比例发生了变化<sup>[1]</sup>。已有一些研究表明, 多种彩叶植物如变叶木的斑斓叶色和四季橘花斑叶片都是光合色素(叶绿素 a、b 和类胡萝卜素) 和非光合色素(花色素苷) 的比例变化的结果<sup>[2-3]</sup>。其中, 花色素苷和其他类黄酮类色素是植物体内的一类次生代谢物质, 在细胞质和内质网膜内合成运输到液泡, 以糖苷的形式存在, 具有吸光性而表现出粉色、紫色、红色及蓝色等<sup>[4]</sup>。目前色差仪法已经广泛应用于植物研究领域, 可以对样品颜色的色系和亮度进行量化反映, 如对植物叶片颜色、花颜色及果实颜色的研究<sup>[5-10]</sup>等。本试验以全红杨为研究对象, 以中红杨和 2025 为对照, 比较全红杨与二者叶片色素含量和叶色参数的差异变化, 探讨全红杨的呈色机制, 为全红杨优良性状评定及实际应用提供理论指导。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况及供试材料

试验地点位于河南林业科学研究院试验林场(虞城), 地处北纬  $33^{\circ}43' \sim 34^{\circ}52'$ , 东经  $114^{\circ}49' \sim 116^{\circ}39'$ , 属黄淮海平原, 暖温带季风气候, 年平均气温  $13.9 \sim 14.3^{\circ}\text{C}$ , 年平均日照时数  $2\,204.0 \sim 2\,427.6\text{ h}$ , 无霜期  $207 \sim 214\text{ d}$ , 土壤为黄潮土<sup>[11]</sup>。材料为生长健康、长势一致的全红杨(QHY)、中红杨(ZHY)和 2025 当年生嫁接苗, 株高约为  $1.2\text{ m}$ 。测定时间为 2009 年 5—10 月, 每月月中旬测定 1 次(根据天气预测可向前或向后调动  $1 \sim 2\text{ d}$ )。

### 1.2 测定项目与方法

1.2.1 叶色的测定 用便携式日本原装进口柯尼卡美能达色差仪 CR-400 测定叶片明亮度  $L^*$  值、色相  $a^*$  值和  $b^*$  值。 $L^*$  反映颜色的明亮度, 当  $L^*$  值从 0 到 100 时, 明亮度逐渐变强, 即由黑变白; 参数  $a^*$  值反映红、绿属性的色相, 由负值变为正值, 表示绿色减弱, 红色增强; 参数  $b^*$  值反映黄、蓝属性的色

相, 由负值变正值时, 意味着蓝色逐渐减退, 黄色增强。通过测得的色相  $a^*$  值、 $b^*$  值和明亮度  $L^*$  值, 计算出彩度  $C^*$  值和色光值,  $C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ <sup>[12]</sup>, 色光值  $= 2000 \cdot a^*/L^* \cdot (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ <sup>[13]</sup>。在完全模拟自然的条件下, 按全红杨、中红杨、2025 的顺序,  $10:00$  测定顶芽下第 3~5 片叶子, 由上到下的顺序测定  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值, 重复 3 次, 取平均值。

1.2.2 色素含量的测定 叶绿素(TCH)、类胡萝卜素(TAC)含量测定根据张宪政<sup>[14]</sup>的方法; 花色素苷(TA)含量测定根据何奕昆等<sup>[1]</sup>、于晓南<sup>[15]</sup>的方法。叶色测定后, 取枝条顶端往下第 3~5 片叶采样共计 12 片, 冰盒保存带回郑州试验室, 当日下午立即进行色素含量测试。

### 1.3 数据处理

使用 Excel 软件和 SPSS 软件进行数据处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 生长季不同时期全红杨、中红杨与 2025 叶片色素含量的变化

2.1.1 叶绿素含量的变化 由图 1 可知, 5 月 14 日至 9 月 15 日全红杨叶片中叶绿素 a 含量依次高于中红杨和 2025, 三者变化趋势均呈“N”字形起伏变化, 全红杨变化相对稳定, 在  $1.823\,5(8\text{月}14\text{日})$  和  $2.101\,1\text{ mg/g}(6\text{月}11\text{日})$  之间浮动, 月变化绝对值小于  $0.188\text{ mg/g}$ ; 10 月 14 日全红杨叶片中叶绿素 a 含量达到最低水平 ( $0.887\,4\text{ mg/g}$ ), 低于中红杨 ( $1.002\text{ mg/g}$ ), 与 2025 ( $0.880\text{ mg/g}$ ) 相当。中红杨和 2025 叶片中叶绿素 a 含量在 5—6 月上升和 9—10 月下降的幅度较大。6 月 11 日, 全红杨叶片中叶绿素 a 含量比中红杨增加  $2.06\%$ , 差异最小; 10 月 14 日全红杨比 2025 增加  $0.83\%$ , 差异最小; 5 月 14 日全红杨叶片叶绿素 a 含量分别比中红杨、2025 增加  $29.92\%$ 、 $100.62\%$ , 差异均为最大。

生长季不同时期全红杨、中红杨和 2025 叶片中叶绿素 b 含量明显低于叶绿素 a 含量。全红杨叶片中叶绿素 b 含量始终高于中红杨和 2025, 变化趋势也各不相同, 全红杨叶片叶绿素 b 含量变化趋势为“降—升—降—升—降”, 中红杨为“升—降—升—降”, 2025 为“升—降”(7—10 月)。由图 1 可见, 不同时期全红杨叶片中叶绿素 b 含量在  $0.685\,0(8\text{月}14\text{日})$  和  $0.739\,9\text{ mg/g}(5\text{月}14\text{日})$  之间浮动, 差值小于  $0.064\text{ mg/g}$ , 变化非常稳定; 中红杨叶片中叶绿素 b 含量的变化与叶绿素 a 含量的变化趋势基本一致; 2025 叶片中叶绿素 b 含量先是快速上升, 6 月

11 日达到最高值,随后逐渐下降,10 月 14 日达到最低值。由此,8 月 14 日全红杨叶片中叶绿素 b 含量比中红杨增加 10.37%,差异最小;6 月 11 日比

2025 增加 3.11%,差异最小;10 月 14 日全红杨叶片中叶绿素 b 含量分别比中红杨、2025 增加 115.59%、180.79%,差异均为最大。

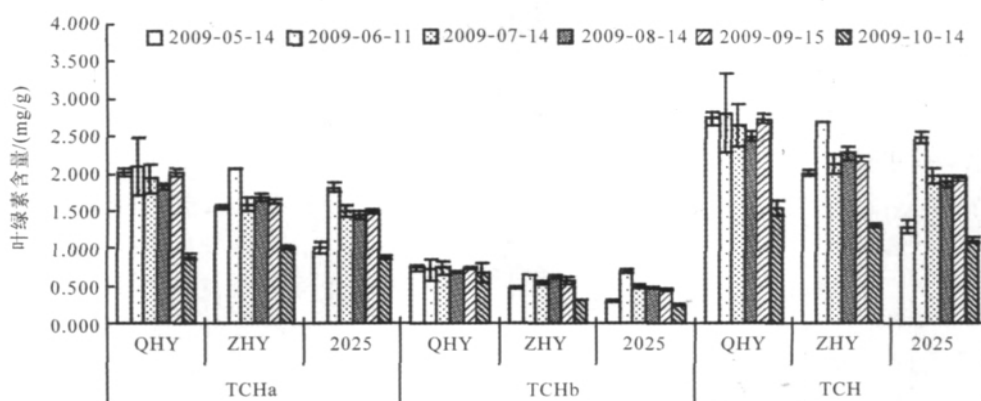


图 1 生长季不同时期 3 个杨树品种叶片叶绿素含量的变化

植物叶片中总叶绿素含量是叶绿素 a 和叶绿素 b 累加的结果,不同时期全红杨叶片叶绿素含量是中红杨的 1.04~1.36 倍,2025 的 1.12~2.12 倍。5 月 14 日为叶片生长初期,三者叶绿素含量差异最大,全红杨叶片中叶绿素含量为 2.754 6 mg/g,较中红杨和 2025 分别高 36.31%和 112.25%;6 月 11 日三者叶片中叶绿素含量均达到最高值,中红杨和 2025 叶片叶绿素含量上升幅度大于全红杨,这可能是由于全红杨叶片叶绿素在生物合成途径过程中受到了某种抑制,全红杨叶绿素含量为 2.818 0 mg/g,较中红杨高 4.18%,较 2025 高 12.15%,差异最小;由于叶绿素对温度的适应性较差,低温加速了叶绿素的分解,而且限制了新叶绿素的合成,10 月 14 日三者叶绿素含量均有明显下降,尤其是全红杨叶片中叶绿素 a 含量的急速下降,致使全红杨叶片叶绿素含量大幅下降,与中红杨和 2025 差异变小。

2.1.2 类胡萝卜素含量的变化 全红杨、中红杨和 2025 叶片中类胡萝卜素含量均相对较低。由图 2 可见,不同时期全红杨叶片中类胡萝卜素含量均依次高于中红杨和 2025,全红杨叶片类胡萝卜素含量是中红杨的 1.01~1.38 倍,2025 的 1.15~2.12 倍,并且变化的趋势与叶绿素的变化趋势基本一致,出现峰值的时期也基本相同,这是由于叶绿素与类胡萝卜素均为光合色素,且叶绿素与类胡萝卜素呈正相关<sup>[16]</sup>。5 月 14 日,三者叶片中类胡萝卜素含量差异最大,全红杨叶片中类胡萝卜素含量为 0.784 9 mg/g,较中红杨高 37.98%,较 2025 高 112.09%;6 月 11 日—9 月 15 日三者叶片中类胡萝卜素含量起伏变化,9 月 15 日全红杨叶片中类胡萝卜素含量达到最高值 0.785 8 mg/g;10 月 14 日,三者类胡

萝卜素含量均有明显下降,全红杨叶片胡萝卜素含量下降幅度最大,降为 0.432 9 mg/g,较中红杨高 1.01%,较 2025 高 17.09%,差异最小。

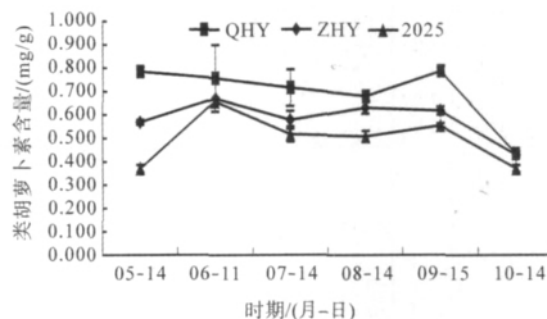


图 2 生长季不同时期 3 个杨树品种叶片类胡萝卜素含量的变化

2.1.3 花色素苷含量的变化 由图 3 可见,生长季不同时期全红杨叶片中花色素苷含量显著高于中红杨和 2025,全红杨叶片花色素苷含量是中红杨的 1.60~3.86 倍,是 2025 的 4.45~13.73 倍。变化趋势均为先降后升,但变化幅度和出现峰值时间不同。5 月 14 日,全红杨、中红杨叶片花色素苷含量均为最高值,而 2025 叶片花色素苷含量非常低,全红杨叶片中花色素苷含量为 2.551 0 mg/g,较中红杨高 71.30%,较 2025 高 1 041.39%;随后三者叶片中花色素苷含量均呈下降趋势,6—7 月中红杨叶片中花色素苷含量较全红杨下降更为迅速,7 月 14 日,全红杨叶片花色素苷含量降为 1.774 5 mg/g,较中红杨高 285.83%,较 2025 高 978.18%,此时全红杨与中红杨差异最大,中红杨与 2025 差异最小;8—10 月由于气温逐渐下降,昼夜温差变大可以诱导植物体内花色素苷的合成和积累<sup>[17-20]</sup>,因此,中红杨和 2025 叶片中花色素苷含量最低水平出现在 8 月 14 日,分别为 0.457 1、0.126 2 mg/g,之后二者叶片花

色素苷含量均呈明显上升趋势。全红杨叶片花色素苷含量 8 月 14 日降为 1.643 6 之后变化甚微, 9 月 15 日为最低水平(1.627 8 mg/g), 10 月 14 日较 9 月 15 日仅上升 0.01 mg/g, 此时全红杨与中红杨和 2025 叶片中花色素苷含量差异最小, 较中红杨高 59.78%, 较 2025 高 344.54%。这可能是由于全红杨叶片本身含有较高的花色素苷, 气温下降对其合成和积累花色素苷的影响并不明显。

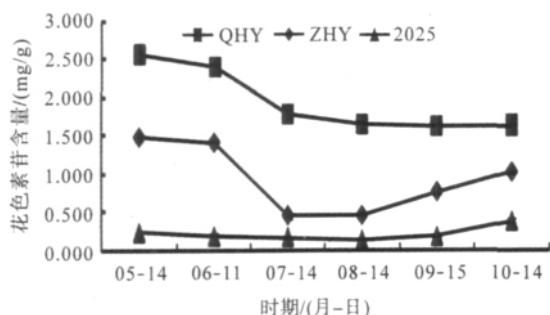


图 3 生长季不同时期 3 个杨树品种叶片花色素苷含量的变化

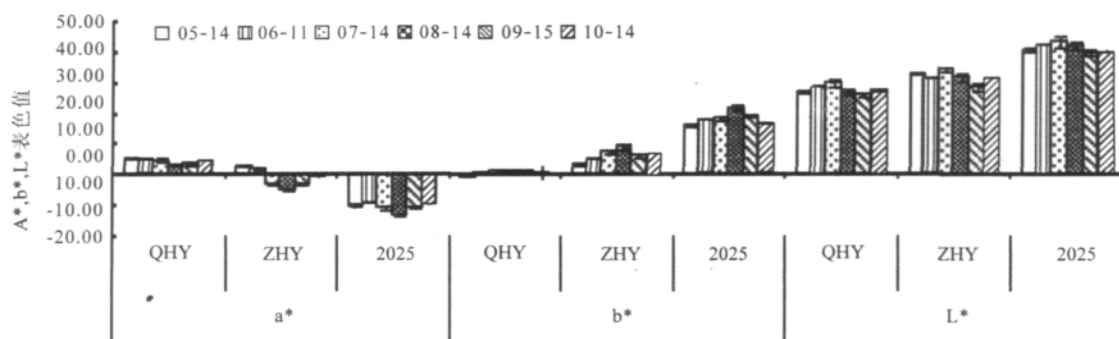


图 4 生长季不同时期 3 个杨树品种叶色  $a^*$ 、 $b^*$ 、 $L^*$  值的变化

全红杨、中红杨和 2025 叶色参数  $b^*$  始终都为正值, 意味着三者叶片黄、蓝色相均在黄色色度内。由图 4 可见, 变化趋势均为先增大后减小, 出现峰值的时间也都在 8 月 14 日, 变化动态分别为全红杨: 0.25(5 月 14 日)→1.432(8 月 14 日)→0.767(10 月 14 日); 中红杨: 3.364(5 月 14 日)→9.246(8 月 14 日)→6.060(10 月 14 日); 2025: 15.856(5 月 14 日)→21.520(8 月 14 日)→16.210(10 月 14 日)。不同时期三者叶色参数  $b^*$  值均为:  $|b_{\text{全红杨}}^*| < |b_{\text{中红杨}}^*| < |b_{\text{2025}}^*|$ 。

不同时期全红杨、中红杨和 2025 叶片明亮度  $L^*$  均为  $L_{\text{全红杨}}^* < L_{\text{中红杨}}^* < L_{\text{2025}}^*$ , 变化趋势各不相同但变化幅度均较小, 全红杨明亮度  $L^*$  在 29.28(7 月 14 日)和 25.61(9 月 15 日)之间起伏变化, 月变化幅度小于 2.65; 中红杨明亮度  $L^*$  在 33.850(7 月 14 日)和 28.156(9 月 15 日)之间起伏变化, 月变化幅度小于 3.21; 2025 明亮度  $L^*$  在 42.600(7 月 14 日)和 38.860

## 2.2 生长季不同时期全红杨、中红杨和 2025 叶色的变化

2.2.1 叶色参数  $a^*$ 、 $b^*$ 、 $L^*$  的变化 由图 4 可知, 全红杨叶色参数  $a^*$  始终为较大的正值, 叶片红、绿色相显红色。变化趋势为先减小再增大, 即: 5.432(5 月 14 日)→3.458(8 月 14 日)→4.500(10 月 14 日)。中红杨叶色参数  $a^*$  5 月 14 日至 6 月 11 日为正值, 7 月 14 日至 10 月 14 日变为负值, 说明叶片由红色逐渐转为绿色, 变化趋势与全红杨相同, 即: 2.902(5 月 14 日)→-4.742(8 月 14 日)→-0.387(10 月 14 日)。2025 叶色参数  $a^*$  始终为很大的负值, 表明叶片始终呈现为绿色, 变化趋势与全红杨、中红杨略有不同: -9.814(5 月 14 日)→-8.953(6 月 11 日)→-13.005(8 月 14 日)→-9.257(10 月 14 日)。三者叶色参数  $a^*$  值除 8 月 14 日为:  $|a_{\text{全红杨}}^*| < |a_{\text{中红杨}}^*| < |a_{\text{2025}}^*|$ , 其他时期均为:  $|a_{\text{中红杨}}^*| < |a_{\text{全红杨}}^*| < |a_{\text{2025}}^*|$ 。

(10 月 14 日)之间起伏变化, 月变化幅度小于 2.09。说明不同时期全红杨、中红杨和 2025 叶片明亮度基本相对稳定, 2025 叶片明亮度最高, 中红杨次之, 全红杨叶片明亮度最低。

2.2.2 叶片彩度  $C^*$  值与色光值的变化 由图 5 可见, 三者彩度  $C^*$  值和色光值的变化曲线似呈镜像对称, 但略有不同。  $C^*$  值表示叶片彩度,  $C^*$  值越大, 叶片彩度越深。由公式可知, 彩度  $C^*$  值大小由叶色参数  $a^*$  值和  $b^*$  值的多少共同决定。全红杨叶色参数  $b^*$  值相对较小, 因此全红杨彩度  $C^*$  与  $a^*$  值非常相近, 叶片彩度  $C^*$  中含  $a^*$  值比例最高达 95.6% 以上(5 月 14 日), 最低也在 70.7% 以上(8 月 14 日), 也就是说全红杨叶片红绿色相  $a^*$  几乎决定了叶片的彩度  $C^*$ 。而中红杨和 2025 叶片彩度  $C^*$  值都明显高于  $a^*$  值或  $b^*$  值的绝对值。由图 5 可见, 全红杨叶片彩度  $C^*$  变化趋势与中红杨和 2025 正好相反, 全红杨为先降后升, 中红杨和 2025

为先升后降。5 月 14 日全红杨叶片彩度  $C^*$  值略高于中红杨,而明显低于 2025,其他时期全红杨叶片彩度  $C^*$  值依次低于中红杨和 2025。8 月 14 日,全红杨叶片彩度  $C^*$  降为最低值 3.743,此时中红杨和 2025 叶片彩度  $C^*$  上升为最高值,分别为 10.391 和 25.144,差异最大。

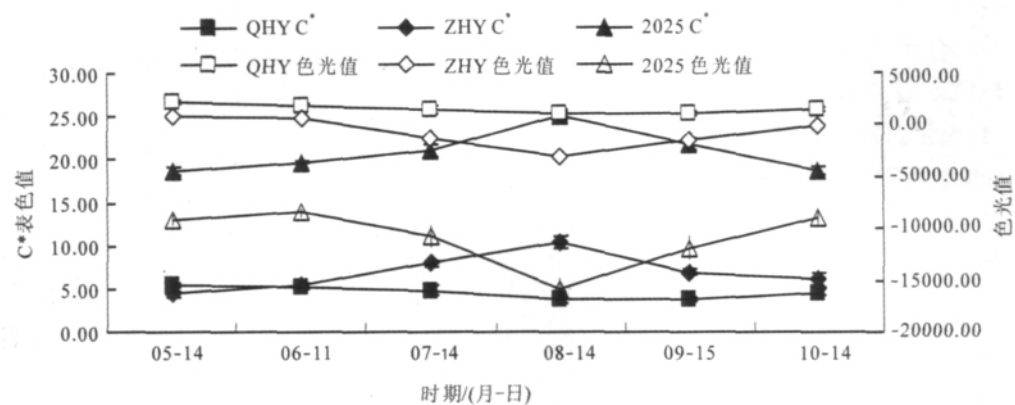


图 5 不同时期叶片彩度  $C^*$  值、色光值的变化

色光值是综合反映叶片表面色彩和明亮度的值,色光值与  $a^*$  值和  $C^*$  值成正相关,而与  $L^*$  值成负相关。色相  $a^*$  值的正负对色光值正负起着决定性作用,因此,色光值为正值时,叶片颜色在红色色度内,值越大红色色泽越强;同样色光值为负值时,叶片颜色在绿色色度内,值越大绿色色泽越强。不同时期全红杨、中红杨和 2025 色光值变化趋势基本相同,总体趋势均为先降后升。全红杨叶片色光值始终为正值;中红杨 5 月 14 日至 6 月 11 日为正值,7 月 14 日至 10 月 14 日变为负值;2025 始终为负值。全红杨变化平缓,变幅最小,中红杨次之,2025 变化幅度最大。5 月 14 日全红杨和中红杨色光值为最高值,分别为 2 209.59 和 792.19,6 月 11 日 2025 色光值为最高值(−8 460.40),此时全红杨与中红杨和 2025 色光值差异均为最小;8 月 14 日全红杨、中红杨和 2025 色光值都降到最低值,分别为 972.03、−3 147.73 和 −15 832.61,三者色光值差异最大;之后随着三者色光值逐步升高差异又逐渐

变小。

2.3 生长季不同时期全红杨、中红杨和 2025 叶片色素比例及叶色

由表 1 可见,生长季不同时期全红杨和中红杨叶片色素中所占比例较高的为花色素苷和叶绿素 a,说明花色素苷和叶绿素 a 是影响全红杨和中红杨叶色的主要色素,并且全红杨叶片中花色素苷所占色素比例明显高于中红杨。6 月 11 日至 9 月 15 日,全红杨和中红杨叶片中花色素苷所占色素比例均有下降,中红杨最为显著,此时全红杨叶色由深紫红色转为鲜艳的紫红色,而中红杨叶片红色转淡,出现返绿现象。10 月 14 日,全红杨叶片叶绿素 a 比例急速下降至低于中红杨水平,而叶绿素 b 含量相对稳定,由于叶绿素 a 的颜色为蓝绿色,叶绿素 b 的颜色为黄绿色<sup>[16,21]</sup>,这也是 10 月份之后部分植物叶片变黄,而全红杨叶片逐渐变为橙红色的原因之一。2025 叶片中始终含有较高比例的叶绿素 a,因此不同时期叶色呈现为黄绿色或绿色。

表 1 生长季不同时期全红杨、中红杨和 2025 叶片色素比例(%)及叶色

树种	项目	时期(月-日)					
		05-14	06-11	07-14	08-14	09-15	10-14
QHY	TA:TCHa:TCHb:TAC	41.9:33.1:12.1:12.9	40.2:35.2:12.0:12.7	34.4:37.4:14.3:13.9	34.0:37.7:14.2:14.1	31.6:39.0:14.2:15.2	45.2:24.5:18.4:11.9
	叶片颜色	深紫红色	深紫红色	紫红色	紫红色	紫红色	橙红色
ZHY	TA:TCHa:TCHb:TAC	36.5:38.0:11.5:13.9	29.6:43.0:13.5:14.0	14.5:50.0:17.2:18.2	13.5:49.5:18.4:18.6	21.6:45.1:15.9:17.4	37.1:36.2:11.2:15.5
	叶片颜色	紫红色	红绿色	暗绿色	深绿色	橙绿色	橙黄色
2025	TA:TCHa:TCHb:TAC	11.8:53.1:15.5:19.6	5.2:54.3:20.8:19.6	6.2:56.3:18.1:19.4	4.9:56.6:18.5:19.9	6.3:56.0:16.9:20.7	19.8:47.4:12.8:19.9
	叶片颜色	黄绿色	黄绿色	绿色	绿色	绿色	黄绿色

由图 4 和图 5 可知,全红杨叶片  $a^*$  值和色光值始终为正值, $b^*$  值为较小的正值,说明在内部因素与外界因素共同影响下全红杨叶片颜色变化比较稳定,始终以红色为主,略带黄色色相,明亮度弱;中红杨叶片  $a^*$  值和色光值在 6 月 11 日—7 月 14 日由正值转变为负值, $b^*$  值始终为正值,叶色也由红色逐

渐转为以绿色为主,明亮度较强;2025 叶片  $a^*$  值和色光值始终为负值, $b^*$  值为较大的正值,因此,叶片常年呈现为黄绿色或绿色,明亮度最强。叶片彩度总体上是全红杨<中红杨<2025,而色光值的绝对值为中红杨<全红杨<2025,说明从叶片明亮度和色彩的综合角度上看,2025 叶片色度最高,色泽更为纯正,全红杨次之,中红杨叶片色度最低。此结果与叶片色素比例的变化对叶色的影响结果相一致。

### 3 结论与讨论

植物叶片的呈色是比较复杂的,与叶片色素的种类、含量以及在叶片中的分布有关<sup>[1]</sup>。花色素苷与叶绿素、类胡萝卜素等色素共同决定植物器官的着色,有研究表明,紫叶稠李叶片色素的变化和比例直接影响紫叶稠李叶色的表达,主要取决于花色素和叶绿素的含量<sup>[22]</sup>,花色素苷含量的增多是导致紫叶稠李新梢红色层次不同的主要原因<sup>[23]</sup>。本研究对生长季不同时期全红杨、中红杨和 2025 叶片中各色素含量及变化进行了比较分析,结果表明:除 10 月 14 日全红杨叶片中叶绿素 a 含量低于中红杨和 2025 外,不同时期紫叶全红杨叶片中光合色素(叶绿素 a、b 及类胡萝卜素)和非光合色素(花色素苷)含量均高于红叶中红杨和绿叶 2025。因此可以认为,全红杨叶片全年呈现深紫红色或紫红色、橙红色的直接原因是同时含有较多的光合色素和非光合色素,这不同于那些因为叶绿素合成较少或大量分解而在春季或秋季时间呈现红色的植物。其中花色素苷含量的差异最为明显,不同时期全红杨叶片花色素苷含量是中红杨的 1.60~3.86 倍,是 2025 的 4.45~13.73 倍。而不同时期全红杨叶片叶绿素含量是中红杨的 1.04~1.36 倍,2025 的 1.12~2.12 倍,全红杨叶片类胡萝卜素含量是中红杨的 1.01~1.38 倍,2025 的 1.15~2.12 倍。因此可认为,花色素苷是影响全红杨、中红杨和 2025 叶色差异的主要色素。这与昆亭尼亚(*Quintinia serrata* A. Cunn)红色叶片富含 2 种花色素苷、绿色叶片缺乏花色素苷<sup>[24]</sup>,紫叶桃(*Amygdalus persica*)等 4 种红叶树种的花色素苷含量显著高于绿叶树种油蟠桃(*A. persca*)和玉皇李(*Prunus salicina*),红叶树种花色素苷含量是绿叶树种的 5 倍以上<sup>[25]</sup>等研究结果相一致。

试验还发现,叶片中各色素含量和比例的变化导致叶片颜色及其深浅程度的不同。5 月 14 日到

6 月 11 日全红杨叶片花色素苷含量占色素比例高于 40%,色相  $a^*$  值大于 5,此时叶片为色泽浓亮的深紫红色,观赏效果最佳;7 月 14 日和 10 月 14 日全红杨叶片花色素苷含量高于 34%,色相  $a^*$  值大于 4.5,叶片为靓丽的紫红色或橙红色,观赏效果优秀;8 月 14 日到 9 月 15 日花色素苷含量高于 31%,色相  $a^*$  值大于 3.4,此时全红杨叶片为鲜艳的紫红色,观赏效果良好。此时中红杨叶片花色素苷含量占色素比例低于 29.6%,叶绿素 a 含量占色素比例高于 42%,色相  $a^*$  值由正值变为负值,色相  $b^*$  值逐渐变大,叶片由紫红色转变为暗绿色,观赏效果降低;9 月 15 日至 10 月 14 日,中红杨叶片花色素苷含量比例和色相  $a^*$  值均有所升高,此时叶片为橙黄色,表现出一定的观赏效果。2025 叶片中叶绿素 a 含量占色素比例始终高于 47.4%,花色素苷含量占色素比例非常低,色相  $a^*$  为较低的负值,色相  $b^*$  为较高的正值,叶片始终呈现黄绿色或绿色。这与文献<sup>[24-28]</sup>研究结果一致。

试验表明,全红杨叶色参数  $a^*$  和色光值与花色素苷含量关系密切,色相  $a^*$  和色光值可以很好地反映全红杨的色泽状况,解释全红杨不同时期叶片颜色深浅程度的差异性,可作为全红杨叶色的代表性参数来反映叶片内部花色素苷含量的变化,这与以往对中红杨的研究结果一致<sup>[29-30]</sup>。利用色差仪对植物叶片色泽进行对比,从而选育出优良品系,方法科学可靠、简单方便、省时省力,为进一步对全红杨优株选育及评定打下基础,也为其他彩叶植物品种选育提供了方便可行的方法及可借鉴的量化指标。

#### 参考文献:

- [1] 何奕昆,代庆阳,苏学辉. 雁来红叶色转变与超微结构及色素含量的关系[J]. 四川师范学院学报:自然科学版,1995,16(3):195-198.
- [2] 姜卫兵,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,2005,32(2):352-358.
- [3] Singh S, Singh S O. Photosynthetic and non-photosynthetic pigments in croton varieties[J]. Journal of the Andaman Science Association,1988,4(1):77-78.
- [4] 于晓南,张启祥. 观赏植物的花色素苷与花色[J]. 林业科学,2002,38(3):147-153.
- [5] 萧力争,李勤,谭正初,等. 茶树紫色芽叶分级标准研究[J]. 云南农业大学学报,2008,23(5):668-672.
- [6] 葛雨萱,王亮生,周肖红,等. 香山黄栌叶色和色素组成

- 的相互关系及时空变化[J]. 林业科学, 2011, 47(4): 38-42.
- [7] Tourjee K R, Harding J, Byrne T G. Complex segregation analysis of gerbera flower colour[J]. Heredity, 1995, 74: 303-310.
- [8] 吴峰华, 常银子, 杨虎清. 利用色差计快速测定番茄红素方法的研究[J]. 保鲜与加工, 2008, 8(5): 45-46.
- [9] 国艳梅, 杜永臣, 王孝宣, 等. 利用色差仪估测番茄果实番茄红素含量的研究[J]. 中国蔬菜, 2008(11): 10-14.
- [10] 李春阳, 许时婴, 张红城, 等. 葡萄籽贮藏过程中色差变化的研究[J]. 食品工业科技, 2007(10): 208-210.
- [11] 朱延林, 王新建, 程相军, 等. 中华红叶杨生物学及光合特性的研究[J]. 上海农业学报, 2005, 21(4): 9-12.
- [12] Wang L S, Hashimoto F, Shiraishi A, *et al.* Chemical taxonomy in Xibei tree peony from China by floral pigmentation[J]. Journal of Plant Research, 2004, 117(1): 47-55.
- [13] Richardson C, Hobson G E. Compositional changes in normal and mutant tomato fruit during ripening and storage[J]. J Sci Food Agric, 1987, 40: 245-252.
- [14] 张宪政. 作物生理研究法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986: 148-149.
- [15] 于晓南. 植物叶片中花青素的分析与研究[J]. 现代仪器, 2000(4): 37-38.
- [16] Steward F C. Plant physiology[M]. New York and London: Academic Press, 1960.
- [17] 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: 自然科学版, 2007, 35(10): 219-223.
- [18] Oren S M, Levi N A. Temperature effect on the leaf pigmentation of *Cotinus coggygri* 'Royal Purple'[J]. Journal of Horticulture Science, 1997, 72(3): 425-432.
- [19] Zhang Z Q, Pang X Q. Role of anthocyanin degradation in litchi pericarp browning[J]. Food Chemistry, 2001, 75: 217-221.
- [20] 张启翔, 吴静, 周肖红, 等. 彩叶植物资源及其在园林中的应用[J]. 北京林业大学学报, 1998, 20(4): 126-127.
- [21] 董金一, 程晓舫, 符泰然, 等. 利用吸收光谱确定叶绿素 a 和 b 的颜色[J]. 光谱学与光谱分析, 2008(1): 141-144.
- [22] 李雪飞, 韩甜甜, 董彦, 等. 紫叶稠李叶片色素与氮含量与其光谱反射特性的相关性[J]. 林业科学, 2011, 47(8): 75-81.
- [23] 王庆菊, 李晓磊, 沈向, 等. 紫叶稠李叶片花色苷及其合成相关酶动态[J]. 林业科学, 2008, 44(3): 45-49.
- [24] Gould K S, Markham K R, Smith R H, *et al.* Functional role of anthocyanins in the leaves of *Quintinia serrata* A. Cunn. [J]. Journal of Experimental Botany, 2000, 51: 1107-1115.
- [25] 王庆菊, 李晓磊, 王磊, 等. 桃、李属红叶树种叶片光合特性[J]. 林业科学, 2007, 43(6): 32-37.
- [26] 庄猛, 姜卫兵, 马瑞娟, 等. Rutgers 桃(红叶)与百芒蟠桃(绿叶)光合生理特性的比较[J]. 南京农业大学学报, 2005, 28(4): 26-29.
- [27] 庄猛, 姜卫兵, 宋宏峰, 等. 紫叶李与红美丽李(绿叶)光合特性的比较[J]. 江苏农业学报, 2006, 22(2): 154-158.
- [28] 姜卫兵, 庄猛, 沈志军, 等. 不同季节红叶桃、紫叶李的光合特性研究[J]. 园艺学报, 2006, 33(3): 577-582.
- [29] 李小康. 中红杨叶色变化的生理生化研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2008.
- [30] 张瑞粉. 中红杨叶色变化规律及外施  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  对叶色影响的研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2010.