北京林业大学学报
JOURNAL OF BEIJING FORESTRY UNIVERSITY

8种槭属植物转色期叶片表型特征及转色规律

史佳卉 何新平 吴浩琳 马健 樊海荣 杨秀云

Leaf phenotypes and color transition patterns of eight *Acer* species during autumn coloration

Shi Jiahui, He Xinping, Wu Haolin, Ma Jian, Fan Hairong, Yang Xiuyun

引用本文:
史佳卉, 何新平, 吴浩琳, 马健, 樊海荣, 杨秀云. 8种槭属植物转色期叶片表型特征及转色规律[J]. 北京林业大学学报, 2026, 48(2):165–176. doi: 10.12171/j.1000–1522.20250265
Shi Jiahui, He Xinping, Wu Haolin, Ma Jian, Fan Hairong, Yang Xiuyun. Leaf phenotypes and color transition patterns of eight *Acer* species during autumn coloration[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2026, 48(2):165–176. doi: 10.12171/j.1000–1522.20250265

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20250265

您可能感兴趣的其他文章
Articles you may be interested in

紫雨桦杂交子代苗期生长及叶色性状的变异
Variation of growth and leaf color traits of *Betula pendula* ‘Purple Rain’ hybrid offsprings at seedling stage
北京林业大学学报, 2022, 44(9): 62–71. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210133

河北省黄连木彩叶种质资源调查与评价
Investigation and evaluation of color leaf germplasm resources of *Pistacia chinensis* in Hebei Province of northern China
北京林业大学学报, 2025, 47(9): 36–45. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20250048

北京园林树木秋色盛期的空间异质性及其对热环境差异的响应
Spatial heterogeneity in leaf coloring date and the phenological response to thermal environment variations of Beijing landscape trees
北京林业大学学报, 2024, 46(1): 119–130. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210546

典型黑土区不同水土保持树种的非结构性碳水化合物特征及种间差异
Non–structural carbohydrate allocation and interspecific differences of different soil and water conservation tree species in typical black soil region
北京林业大学学报, 2021, 43(10): 1–8. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210233

浙江舟山群岛彩化植物资源调查及其园林应用评价
Investigation of colorful plant resources and their landscape application evaluation of Zhoushan Archipelago in Zhejiang Province of eastern China
北京林业大学学报, 2022, 44(9): 127–136. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210284

北京市区国槐表型差异及综合评价研究
Phenotypic difference and comprehensive evaluation of *Sophora japonica* in Beijing urban area
北京林业大学学报, 2022, 44(6): 23–33. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20210013

DOI:10.12171/j.1000−1522.20250265

8 种槭属植物转色期叶片表型特征及转色规律

史佳卉[1]　何新平[2]　吴浩琳[1]　马　健[3]　樊海荣[1]　杨秀云[1]
（1. 山西农业大学林学院，森林资源高效培育山西省重点实验室，山西 晋中 030801；2. 中国公路工程咨询集团有限公司，北京 100089；3. 山西省太行山国有林管理局景尚林场，山西 晋中 045400）

摘要:【目的】研究中国原产 8 种槭属植物转色期的叶片表型特征与色素含量变化，揭示其叶片表型和转色动态的种间差异，为挖掘槭属植物种间差异的遗传基础提供精准的表型和色素含量的数据支撑，为筛选出转色期启动时间早、持续时间长、色彩鲜艳的良种选育提供科学依据。**【方法】**将槭属植物叶片转色期分为 6 个阶段（t1 ～ t6，叶片转色率分别为 0%、5%、30%、50%、80% 和 100%），对其 21 个叶片质量性状进行主成分分析，8 个叶片数量性状进行方差分析，测定叶色参数和色素含量，并进行相关性分析。**【结果】**（1）21 个质量性状经主成分分析提取出 5 个主成分，反映了 8 种槭属植物转色期叶表型的种间差异主要体现在叶色、叶裂与锯齿结构、叶凹缺等方面，可作为区分槭属物种的关键形态依据。8 种槭属植物转色期叶片的叶长、叶宽、叶裂长、叶裂宽、叶柄长、叶基角等数量性状存在丰富的种间差异。（2）紫花槭最早 9 月中旬进入转色期，最佳观赏时期较长（12 d）；细裂槭和色木槭转色期持续时间最长（40 d 以上），能提供持久稳定的秋叶景观。（3）8 种槭属植物叶片的叶色参数和色素含量存在明显的种间差异，元宝槭和色木槭转色后期叶色特征较明显，色彩鲜艳。8 种槭属植物的叶色参数和光合色素含量之间存在多样化的相关关系，推测花青素和叶绿素含量的动态变化是不同槭属植物叶色变化的主要内在调控机制。**【结论】**8 种槭属植物转色期叶片表型特征和转色规律存在显著种间差异，紫花槭较早进入转色期，且叶色表现多样，细裂槭和色木槭转色期持续时间最长，元宝槭转色后期叶色特征明显，景观优秀，建议作为华北地区园林绿化的秋季景观树种。

关键词：槭属植物；转色期；表型特征；转色规律；种间差异；彩叶树种
中图分类号：S792.35　**文献标志码：**A　**文章编号：**1000−1522(2026)02−0165−12
引文格式：史佳卉，何新平，吴浩琳，等. 8 种槭属植物转色期叶片表型特征及转色规律［J］. 北京林业大学学报，2026，48(2)：165−176. Shi Jiahui, He Xinping, Wu Haolin, et al. Leaf phenotypes and color transition patterns of eight *Acer* species during autumn coloration［J］. Journal of Beijing Forestry University, 2026, 48(2): 165−176.

Leaf phenotypes and color transition patterns of eight *Acer* species during autumn coloration

Shi Jiahui[1]　He Xinping[2]　Wu Haolin[1]　Ma Jian[3]　Fan Hairong[1]　Yang Xiuyun[1]
(1. College of Forestry, Shanxi Key Laboratory of Efficient Cultivation of Forest Resources, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030801, Shanxi, China;
2. China Highway Engineering Consulting Group Co., Ltd., Beijing 100089;
3. Jingshang Forest Farm, Taihang Mountain State-owned Forestry Administration, Shanxi Province, Jinzhong 045400, Shanxi, China)

Abstract:［**Objective**］This research investigated the leaf phenotypic traits and pigment content dynamics during autumn coloration in eight native *Acer* species in China. The study aimed to reveal interspecific differences in leaf phenotype and color transition patterns, provide precise phenotypic and pigment content

收稿日期: 2025−07−10　**修回日期:** 2025−09−15
基金项目: 中国公路工程咨询集团有限公司科研项目公路绿化碳汇关键技术研究（2024-GSGL-01），山西省自然科学研究面上项目（202103021224144），山西农业大学生物育种工程项目（YZGC138）。
第一作者: 史佳卉。主要研究方向：园林植物生理生态研究。Email: shijiahui0035@163.com　地址：030801 山西省晋中市太谷区山西农业大学林学院。
责任作者: 杨秀云，教授。主要研究方向：园林植物生理生态研究。Email: xyyang2002@yeah.net　地址：同上。
本刊网址: https://j.bjfu.edu.cn; https://journal.bjfu.edu.cn

data to explore the genetic basis of interspecific variation in *Acer* species, and offer scientific basis for selecting superior cultivars with early initiation and extended duration of color transition and vibrant foliage colors. [**Method**] The leaf autumn coloration was divided into six stages (t1−t6), with leaf coloration rates of 0%, 5%, 30%, 50%, 80%, and 100%, respectively. Principal component analysis (PCA) was conducted on 21 leaf qualitative traits, and variance analysis was performed on eight leaf quantitative traits. Leaf color parameters and pigment contents were measured, followed by correlation analysis. [**Result**] (1) PCA of the 21 qualitative traits extracted five principal components, indicating that interspecific differences in leaf phenotype during autumn coloration were mainly reflected in leaf color, leaf lobe and serration structure, and leaf sinus depth. These traits can serve as key morphological criteria for distinguishing *Acer* species. Diverse interspecific variation was observed in quantitative leaf traits, including leaf length, leaf width, lobe length, lobe width, petiole length, and leaf base angle, during autumn coloration across the 8 *Acer* species. (2) *Acer pseudosieboldianum* entered the color transition period earliest (in mid-September) and had extended optimal ornamental period (12 days). *A. pilosum* var. *stenolobum* and *A. pictum* had the longest coloration period (over 40 days), providing a sustained and stable autumn landscape. (3) There were significant interspecific differences in leaf color parameters and pigment contents among the eight *Acer* species. *A. truncatum* and *A. pictum* exhibited particularly distinct and vibrant leaf coloration during the late autumn coloration. Correlation analysis revealed various relationships between leaf color parameters and photosynthetic pigment contents across the eight species, suggesting that the dynamic changes in anthocyanin and chlorophyll contents serve as the primary intrinsic regulatory mechanism driving the variation in leaf coloration among different *Acer* species. [**Conclusion**] Significant interspecific differences were observed in leaf phenotypic characteristics and color transition patterns among 8 *Acer* species. *A. pseudosieboldianum* entered the coloration period earlier and exhibited diverse foliage colors, *A. pilosum* var. *stenolobum* and *A. pictum* had the longest coloration period, *A. truncatum* during the late autumn coloration exhibits distinct foliage coloration and demonstrates excellent ornamental value, making them recommended as autumn landscape tree species for horticultural greening in northern China.

Key words: *Acer* species; autumn coloration; phenotypic characteristics; color transition patterns; interspecific differences; color foliage species

我国自然分布槭属(*Acer*)植物有 150 余种，约占世界槭属植物总数的 75%，其应用领域广泛[1−2]。五角槭(*Acer pictum* subsp. *mono*)、元宝槭(*A. truncatum*)、条纹槭(*A. pensylvanicum*)、羽扇槭(*A. japonicum*)常广泛应用于园林景观营造[3]，元宝槭在医用[4]、油料[5]等方面表现优异，茶条槭(*A. tataricum*)常用于工艺品制作，具有较高的经济价值[6]。鸡爪槭(*A. palatum*)的人工培育品种已达 400 余个，相关研究可以延伸至分子对接[7]、抗菌活性[8]等方面。糖槭(*A. saccharum*)的汁液可制成枫糖特产，为产区带来显著的经济效益[9−10]。

作为重要的秋季彩叶树种，叶片表型是槭属植物关键的观赏性状，通过性状分析可以确定其同属植物叶片的差异性和变化规律[11]。多种色素组分的协同与拮抗作用影响着叶色变化，其中叶绿素、类胡萝卜素和花青素三者的比例变化是叶色改变的主要原因，并与叶色参数相互影响[12−14]。赵东辉等[15]在紫花槭(*A. pseudosieboldianum*)秋季叶色研究中表明，叶片呈现红色与花色素苷含量的增加密切相关。陈转香等[16]发现元宝槭叶色变化是由于花青素含量的积累。杨晓童等[17]对五角槭秋季叶片呈色生理及代谢规律研究表明，类胡萝卜素与叶绿素比值升高是导致其叶片黄化的主要原因。

目前，针对槭属植物的研究多集中于单一物种的形态或生理变化，而对多种槭属植物在秋季转色期间的种间差异尚缺乏系统对比分析。深入探究多槭属物种在转色期的差异性与景观表现，对其彩叶景观林精准营造具有科学指导意义。以叶裂特征为筛选标准[18]，本研究选取三角槭(*A. buergerianum*)、五角槭、紫花槭、细裂槭(*A. pilosum* var. *stenolobum*)、元宝槭、色木槭(*A. pictum*)、长柄槭(*A. longipe*)和小青槭(*A. serrulatum*)8 种槭树作为研究对象，系统监测其转色期叶片表型特征与转色动态，并通过相关性分析和差异分析，解析这 8 种槭属植物叶片转色规律及种间差异，以期为槭属彩叶树种的科学配置、色彩管理提供生理生态依据，并为构建叶色预

测模型与精准养护技术体系奠定前期理论基础。

1　研究区概况与研究方法

1.1　研究区概况

研究区位于山西省寿阳景尚林场（37°53′24″N，113°10′12″E），为国家级槭属种质资源圃，位于太行山中间的沟壑地区，海拔在 1 000～1 400 m 之间，土壤母质有显著垂直发育特征，属温带大陆性气候，年平均温度为 7.6 ℃，最低温度可达−29.4 ℃，最高温度可达 39.7 ℃，年平均降雨量为 475.6 mm，集中在 7—9 月，占全年降水量的 63%。无霜期 140 d。

1.2　研究方法

1.2.1　样株选择

本研究对依据叶裂特征[18]筛选出的 8 种槭属植物（三角槭、五角槭、紫花槭、细裂槭、元宝槭、色木槭、长柄槭、小青槭）采用普遍调查与标准株调查相结合的方法，选出长势良好、无病虫害的植株，每种槭属植物选取 3 株作为采样标准株。

1.2.2　转色期确定与叶片采集

本试验采样时间自 8 种槭属植物开始变色时（2024 年 9 月上旬）至叶片最终凋落为止（2024 年 11 月中旬）。为了明确槭属植物转色期叶色变化进程，探究槭属植物转色规律，依据前人研究结果[19−20]，本研究将转色期最佳观赏期设为植株整体颜色明显且叶片转色率达到 50%～80%。为保证样本的可比性，以当年生枝条基部向上第 3 片颜色健康的叶片为标准采样部位，对所采叶片叶色观测记录。共 6 次采样，时期分别记为 t1、t2、t3、t4、t5、t6（t1 时期叶片转色率 0%，t2 时期叶片转色率 5%，t3 时期叶片转色率 30%，t4 时期叶片转色率 50%，t5 时期叶片转色率 80%，t6 时期叶片转色率 100%），每阶段从标准株上采集新鲜叶片，采样后立即投入液氮中快速冷冻，带回实验室进行分析测定。

1.2.3　转色期叶片质量性状测定

依据翟艺兰等[18,21]对 27 种槭属植物表型研究中植物性状分类方法，对本研究采集的 8 种槭属植物转色期叶片的叶型、单叶裂片数、单叶叶形等 21 个质量性状采用最小信息熵准则进行数值化表征。对于二元性状通过逻辑变量赋值实现数据归一化处理（0 为否定状态或相对状态，1 为肯定状态或相对状态），多态性状采取递增数列表征形态连续系统统计（0、1、2、3……），编制出性状编码表（表 1），进行主成分分析，以确定不同槭属树种关键区分性状，并揭示种间差异。

1.2.4　转色期叶片数量性状测定

为揭示不同槭属植物转色期叶片数量性状的种间差异，本研究对 8 种槭属植物叶片的叶长、叶宽、叶裂长、叶裂宽、叶形指数（叶长与叶宽比值）、叶裂形指数（叶裂长与叶裂宽比值）、叶基角、叶柄长度 8 个数量性状进行测定，当天采集的叶片用叶片扫描仪记录图像，用 Image J 测量数量性状，各性状测定重复 3 次，取其平均值，进行单因素方差分析。

表 1　二元性状和多态性状分类与编码表

Tab. 1　Classification and coding table for binary traits and polymorphic traits

性状	叶表型特征分类与编码情况说明
叶型	0，单叶；1，3小叶；2，羽状复叶
单叶裂片数	0，不裂；1，3裂；2，3～5裂
单叶叶形	0，圆形；1，椭圆形；2，卵形；3，掌形
叶缘锯齿类型	0，无；1，单锯齿；2，重锯齿
叶缘锯齿数	0，无；1，少；2，多
叶缘锯齿形态	0，无；1，钝圆；2，锐尖
叶质地	0，纸质；1，革质
叶尖	0，钝；1，渐尖；2，急尖
叶基	0，心形；1，截形；2，楔形；3，圆形
叶凹缺	0，无；1，锐尖；2，钝
叶凹缺深度	0，无；1，深达基部；2，2/3；3，中段；4，1/3
腹部叶脉被毛	0，无毛；1，有毛
背部叶脉被毛	0，无毛；1，脉腋有毛；2，有毛
腹部叶色	0，绿色；1，淡紫绿色；2，深绿色；3，紫红色
背部叶色	0，银白色；1，淡绿色；2，黄绿色；3，绿色；4，紫红色
叶被白粉	0，无；1，有
叶腹部被毛	0，无；1，疏；2，中等；3，密
叶背部被毛	0，无；1，有
叶柄颜色	0，绿色；1，紫绿色；2，紫色；3，紫红色；4，红色
叶柄被毛	0，无；1，疏；2，中等；3，密
叶片颜色	0，绿色；1，黄色；2，橙黄色；3，橙红色；4，紫红色；5，暗红色；6，黄绿色

1.2.5　叶色参数测定

为具体量化 8 种槭属植物转色期叶片的转色进程，并与色素分析共同验证槭属植物转色动态规律，本研究对 8 种槭属植物转色期叶片的叶色参数进行测定。选取 3～5 片各时期完整叶片，用相机对其近距离拍照，后在 Photoshop 中采用 Lab 模式处理。*L** 表示叶片的光泽亮度与色素含量，*L**值升高表明叶片亮度升高；*a**值表示叶片中红/绿的色相程度，*a**值从小到大表示叶色由绿色转为红色；*b**值表示黄/蓝的颜色表现程度，*b**值升高表明叶色逐渐由蓝色转变为黄色[22]。每片叶片需避开主脉、侧脉以及叶缘、叶尖和叶基部等颜色和厚度易变化的区域，在叶片中部主脉两侧选取具有代表性、颜色均一的圆形区域，从中选取 3～4 个观测点测其叶色参数并取其

平均值，进行趋势分析和色素相关性分析。

1.2.6 叶片色素含量测定

采用乙醇浸取法[23−24]测定叶绿素和类胡萝卜素的含量，采用盐酸甲醇浸取法[25]测定花青素含量，通过分析转色期这 3 种色素含量的动态变化，以进一步量化槭属植物转色进程。

1.2.7 相关性分析

为进一步明确不同槭属植物转色期的种间差异，探究转色规律的生理机制，采用 SPSS27.0 对 8 种槭属植物转色期叶色参数和色素含量进行相关性分析。

1.3 数据处理

采用 Excel 软件进行数据处理和统计，通过 Origin2024 绘图，使用 SPSS27.0 软件进行单因素方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 转色期叶片质量性状主成分分析

为揭示 8 种槭属植物转色期叶片的种间差异和关键形态依据，对其质量性状进行主成分分析。其中，叶型、叶质地和背部叶色 3 个性状在物种间无明显差异，故未纳入后续统计。对剩余 18 个质量性状进行主成分分析，依据特征值大于 1 的原则提取出 5 个主成分，累计方差贡献率达 93.88%，表明这 5 个主成分可有效代表性状的变异信息（表 2）。其中，PC1 方差贡献率 38.43%，特征值最高，在叶缘锯齿特征、叶基、叶凹缺、叶尖、叶被白粉、叶腹部被毛及叶片颜色方面载荷较高。PC2 方差贡献率 25.12%，主要关联叶基、单叶裂片数、单叶叶形、叶尖形态、腹部叶色、叶被白粉及叶表被毛情况。PC3 方差贡献率 15.47%，与单叶裂片数、叶凹缺深度、叶背部被毛、叶柄颜色及叶柄被毛相关。PC4 方差贡献率为 8.74%，与单叶叶形、叶柄颜色及背部叶脉被毛相关。PC5 方差贡献率为 6.11%，与叶片凹缺特征、叶背部被毛及腹部叶脉被毛相关。综上所述，5 个主成分涵盖了 18 个性状的主要信息，初步表明 8 种槭属植物在转色期叶片表型特征的种间差异主要集中体现在叶色、叶裂与锯齿结构、叶凹缺等方面，这些性状的组合可被视为区分槭属物种的关键形态依据。

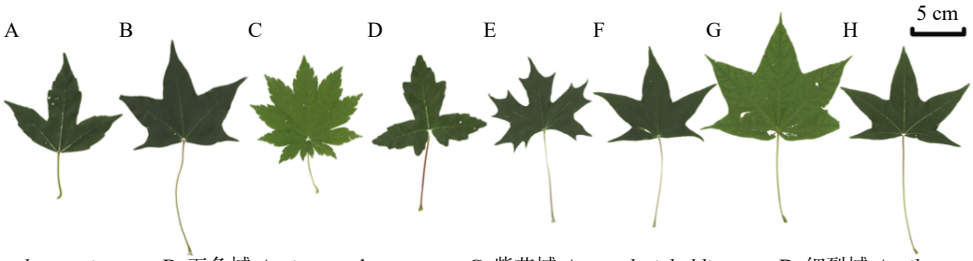
2.2 转色期叶片数量性状分析

8 个数量性状的统计分析（图 1，表 3）表明：8 种槭属植物转色期叶片的叶长、叶宽、叶裂长、叶裂宽、叶柄长、叶基角存在较大的种间差异。在叶长和叶宽方面，长柄槭显著最高，细裂槭最低；在叶形指数方面，8 种槭属植物均小于 1，表明叶片均呈扁圆形；

表 2 8 种槭属植物表型性状的主成分分析

Tab. 2 Principal component analysis of phenotypic traits of 8 *Acer* species

指标	主成分1	主成分2	主成分3	主成分4	主成分5	综合得分系数	权重/%
特征根	6.918	4.522	2.785	1.573	1.100		
方差解释率/%	38.43	25.12	15.47	8.74	6.11		
叶缘锯齿类型	0.984	−0.114	0.026	0.084	0.053	0.179	5.12
叶缘锯齿数	0.864	−0.383	0.233	−0.078	0.106	0.218	6.21
叶缘锯齿形态	0.984	−0.114	0.026	0.084	0.053	0.179	5.12
叶基	0.754	0.580	−0.040	0.288	−0.052	0.218	6.23
叶凹缺	−0.788	0.130	0.021	−0.086	0.496	0.178	5.08
单叶裂片数	−0.347	−0.628	0.486	−0.387	0.122	0.217	6.19
单叶叶形	−0.340	0.764	−0.011	−0.482	−0.212	0.199	5.67
叶尖	−0.679	0.688	0.228	0.053	−0.088	0.224	6.39
叶凹缺深度	−0.250	−0.122	0.842	0.014	0.443	0.166	4.73
腹部叶色	−0.679	0.688	0.228	0.053	−0.088	0.224	6.39
叶背部被毛	−0.149	0.018	0.839	−0.053	−0.449	0.140	3.99
腹部叶脉被毛	0.202	0.733	−0.002	0.032	0.447	0.153	4.38
叶柄颜色	0.531	0.125	0.635	−0.447	0.091	0.199	5.69
叶柄毛被	−0.160	−0.614	0.481	0.337	−0.329	0.195	5.56
背部叶脉被毛	−0.391	−0.217	0.314	0.775	0.195	0.188	5.38
叶被白粉	0.552	0.734	0.337	0.193	−0.037	0.228	6.50
叶腹部被毛	0.552	0.734	0.337	0.193	−0.037	0.228	6.50
叶片颜色	0.833	−0.043	0.113	−0.287	0.065	0.171	4.89



A. 三角槭 *Acer buergerianum*；B. 五角槭 *A. pictum* subsp. *mono*；C. 紫花槭 *A. pseudosieboldianum*；D. 细裂槭 *A. pilosum* var. *stenolobum*；E. 元宝槭 *A. truncatum*；F. 色木槭 *A. pictum*；G. 长柄槭 *A. longipes*；H. 小青槭 *A. serrulatum*

图 1　8 种槭属植物叶片形态

Fig. 1　Leaf morphology of 8 *Acer* species

表 3　8 种槭属植物叶片数量性状分析

Tab. 3　Analysis of leaf quantitative trait of 8 *Acer* species

槭属植物	叶长/cm	叶宽/cm	叶形指数	叶裂长/cm	叶裂宽/cm	叶裂形指数	叶基角/(°)	叶柄长/cm
三角槭	7.583 ± 0.584b	8.883 ± 0.788de	0.85	5.333 ± 0.408ab	2.750 ± 0.418a	1.94	197.500 ± 12.942a	3.667 ± 1.032c
五角槭	7.000 ± 1.702bc	8.916 ± 1.393de	0.78	3.833 ± 0.816cd	2.250 ± 0.612ab	1.70	171.667 ± 11.254b	7.416 ± 2.107b
紫花槭	7.083 ± 1.685bc	8.167 ± 1.632de	0.86	3.083 ± 0.491d	1.583 ± 0.204b	1.95	60.000 ± 18.973e	3.667 ± 1.402c
细裂槭	4.916 ± 1.068d	7.083 ± 1.114e	0.69	4.000 ± 1.048cd	2.333 ± 1.251ab	1.72	139.167 ± 11.583c	5.500 ± 2.323bc
元宝槭	5.333 ± 0.516cd	7.916 ± 0.376de	0.67	3.750 ± 0.418cd	2.750 ± 0.524a	1.36	130.833 ± 19.083c	7.083 ± 0.664b
色木槭	7.000 ± 0.894bc	9.667 ± 1.211d	0.72	4.500 ± 0.632bc	1.916 ± 0.204ab	2.34	170.000 ± 17.606b	6.416 ± 1.241bc
长柄槭	9.416 ± 0.376a	11.583 ± 0.861c	0.81	5.667 ± 0.258a	2.833 ± 0.258a	2.00	104.000 ± 5.656d	5.833 ± 1.834bc
小青槭	7.167 ± 0.605b	9.750 ± 0.418d	0.73	5.083 ± 0.584ab	1.833 ± 0.258ab	3.17	173.333 ± 4.082b	7.916 ± 1.357b

注：不同小写字母表示同一指标不同槭属植物种间存在显著性差异（$P < 0.05$）。

在叶裂长和叶裂宽方面，长柄槭最高，紫花槭最低；在叶裂形指数方面，小青槭最大，且 8 种槭树均大于 1，表明叶裂片均具有亚线状裂片特征；在叶基角方面，三角槭最大，其次分别是小青槭、五角槭、色木槭、细裂槭、元宝槭、长柄槭，紫花槭叶基角最小；在叶柄长方面，小青槭最长，其次分别是五角槭、元宝槭、色木槭、长柄槭、细裂槭，三角槭叶柄最短。

2.3　叶片转色进程

8 种槭属植物转色期启动时间、持续时间、变色进程存在种间差异（表 4）。紫花槭转色时间最早（9 月 13 日），三角槭、元宝槭、色木槭、长柄槭、小青槭集中在 9 月 27 日，五角槭和细裂槭启动最晚（9 月 30 日）。色叶观赏期大于 40 d 的有细裂槭和色木槭，30 ~ 35 d 观赏期的有小青槭、三角槭、元宝槭和长柄槭，小于 30 d 观赏期的有五角槭和紫花槭。此外，元宝槭、长柄槭、小青槭在 10 月中旬进入最佳观赏期（50% ~ 80% 变色），三角槭、五角槭、色木槭、细裂槭在 10 月下旬进入最佳观赏期，紫花槭的最佳观赏期在 9 月底—10 月初。综上，8 种槭属植物的变色进程模式可分为 4 类：“快速启动，缓慢收尾”型，以

表 4　8 种槭属植物秋季叶片变色进程

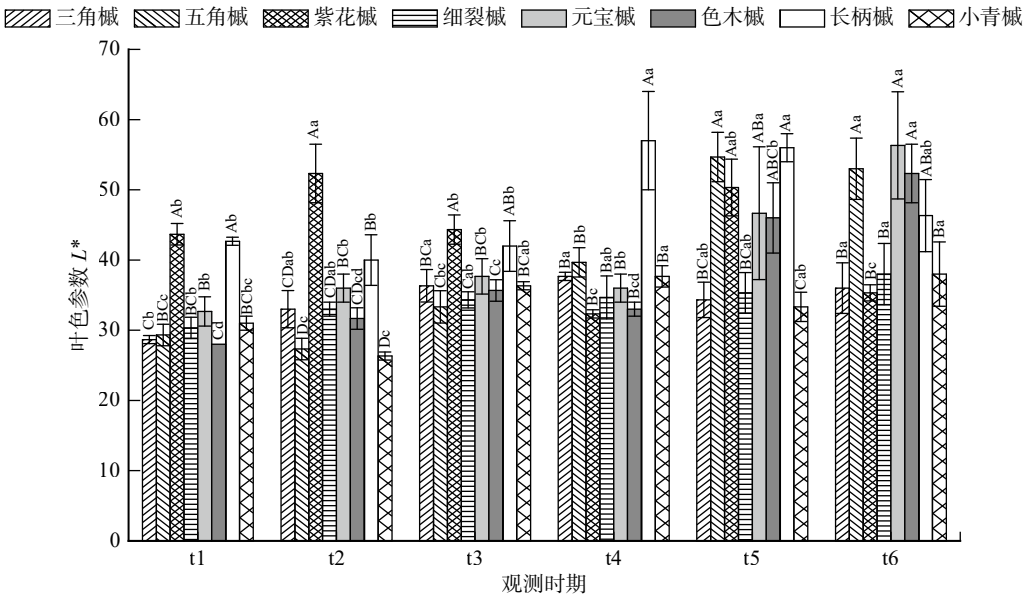
Tab. 4　Discoloration process of autumn leaves of 8 *Acer* species

槭属植物	叶片变色进程（月−日）					变色时间/d
	5%变色	30%变色	50%变色	80%变色	100%变色	
三角槭	09−27	10−09	10−22	10−30	11−01	33
五角槭	09−30	10−09	10−22	10−27	11−01	30
紫花槭	09−13	09−20	09−27	10−09	10−15	27
细裂槭	09−30	10−09	10−22	11−10	11−15	45
元宝槭	09−27	10−09	10−15	10−22	11−01	33
色木槭	09−27	10−15	10−22	10−30	11−10	43
长柄槭	09−27	10−09	10−15	10−22	10−30	33
小青槭	09−27	10−09	10−15	10−22	11−01	34

紫花槭为代表，从 5% 到 50% 变色仅需 14 d，但从盛期到叶落尽需 18 d，有较长时间欣赏其全红状态；“缓慢启动，快速收尾”型，以三角槭和五角槭为代表，进入盛期较慢，但一旦进入盛期，叶子在 10 d 左右就迅速落尽，最佳观赏期相对短暂；“匀速稳定”型，以元宝槭、长柄槭、小青槭为代表，各阶段时长比较均衡，变色进程稳定可预测；“超长待机”型，以细裂槭和色木槭为代表，不仅总时长较长，且从盛期到落尽的过程也长达 19 ~ 24 d，能提供非常持久稳定的秋叶景观。8 种槭属植物通过不同的变色启动时间和进程速度，在自然界中形成了不同时序观赏的巧妙格局。

2.4 转色期叶色参数变化规律

为探究不同槭属植物转色规律的生理机制及种间差异，量化转色进程，对 8 种槭属植物转色期采集叶片进行叶色参数 *L**、*a**、*b**测定，结果表明，8 种槭属植物转色期内叶色参数变化存在明显的种间差异（图 2 ~ 图 4）。其中，三角槭、五角槭、细裂槭、元宝槭、色木槭、小青槭的 *L**值总体呈现上升趋势，表明这些树种的叶绿素呈降解趋势，叶绿素含量减少，



t1 ~ t6 时期分别对应叶片转色率为 0%、5%、30%、50%、80% 和 100%。不同大写字母表示同一时期不同树种间存在显著差异（$P < 0.05$）；不同小写字母表示同一树种不同时期存在显著差异（$P < 0.05$）。下同。

图 2 叶片转色期叶色参数 *L**的变化趋势

Fig. 2 Change trend of the leaf color parameter *L**during autumn coloration

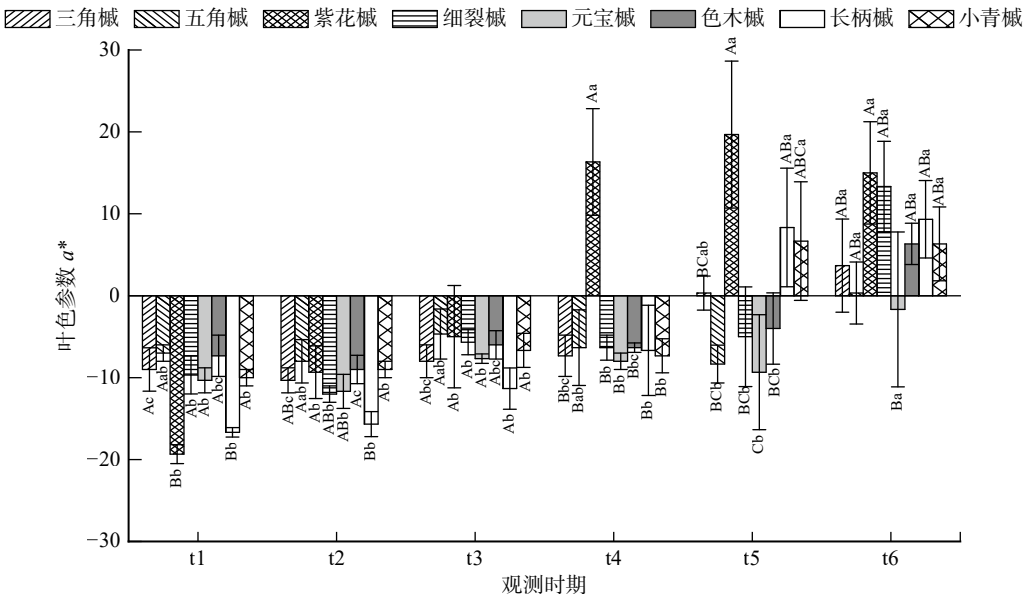


图 3 叶片转色期叶色参数 *a**的变化趋势

Fig. 3 Change trend of the leaf color parameter *a** during autumn coloration

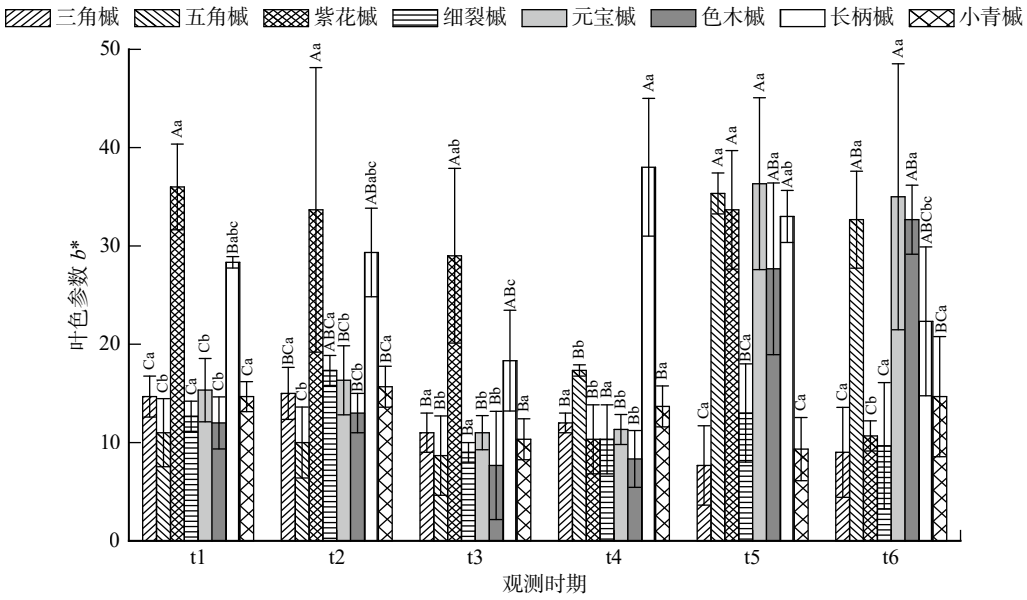


图 4　叶片转色期叶色参数 *b**的变化趋势

Fig. 4　Change trend of the leaf color parameter *b** during autumn coloration

从而影响叶色变化。紫花槭和长柄槭的 *L**值整体呈现先上升后下降的趋势，但峰值抵达的时间点不同，紫花槭 *L**值在 t2（9 月中旬）达到最大值，长柄槭的 *L**值在 t4（10 月中旬）最大（图 2），表明紫花槭叶绿素的降解要早于长柄槭。元宝槭和色木槭转色后期（t5、t6）*L**值相对较高，表明这两种槭属植物后期叶色特征较明显，具有较好的景观效果。除五角槭外，其余 7 种槭树 *a**值整体呈上升趋势，即随着转色期时间推进，叶片慢慢变红。紫花槭的 *a**值在 t4（9 月下旬）显著大于其他 7 种槭树（$P < 0.05$，图 3），叶色特征更加明显。转色期间，8 种槭属植物的 *b**值出现不同的变化特征，三角槭、紫花槭的 *b**值整体呈下降趋势，五角槭、元宝槭和色木槭的 *b**值整体呈现上升趋势，尤其是转色后期（t5、t6）*b**相对较高，即叶片黄化明显，叶色鲜艳，细裂槭和小青槭的 *b**值整体平稳，长柄槭的 *b**值整体呈现先上升后下降的趋势，在 t4（10 月中旬）达到最大值，且显著大于其他 7 种槭树（$P < 0.05$）（图 4）。8 种槭属植物的叶色参数丰富的变化特征解释了其转色期及叶片颜色的种间差异。

2.5　转色期叶片色素含量变化

对 8 种槭属植物转色期采集叶片进行叶绿素、类胡萝卜素和花青素的含量测定（图 5 ~ 图 7），结果表明，转色期叶片色素含量存在明显种间差异。转

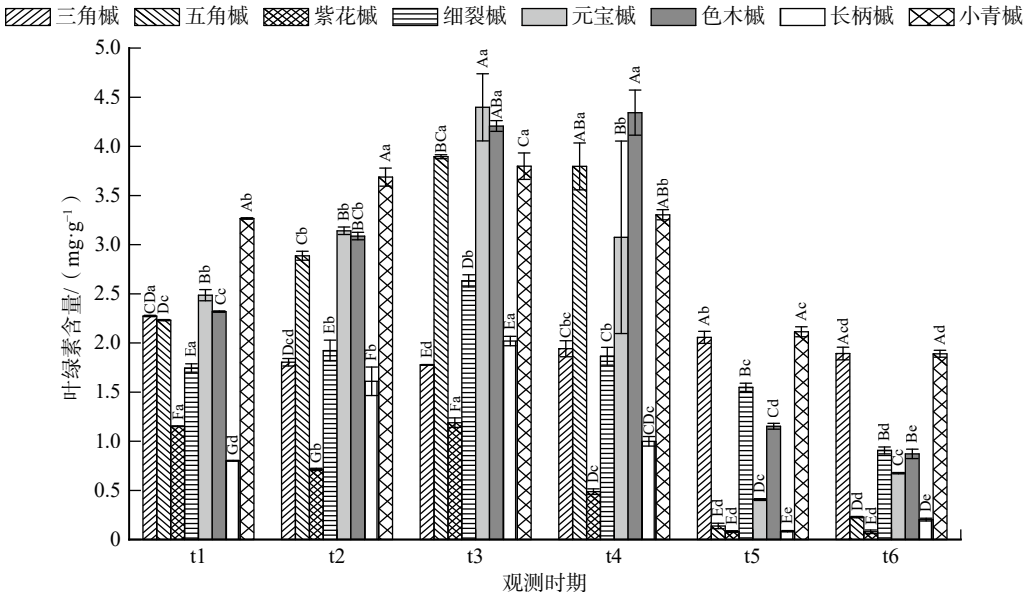


图 5　叶片转色期叶绿素含量的变化

Fig. 5　Changes in chlorophyll content during autumn coloration

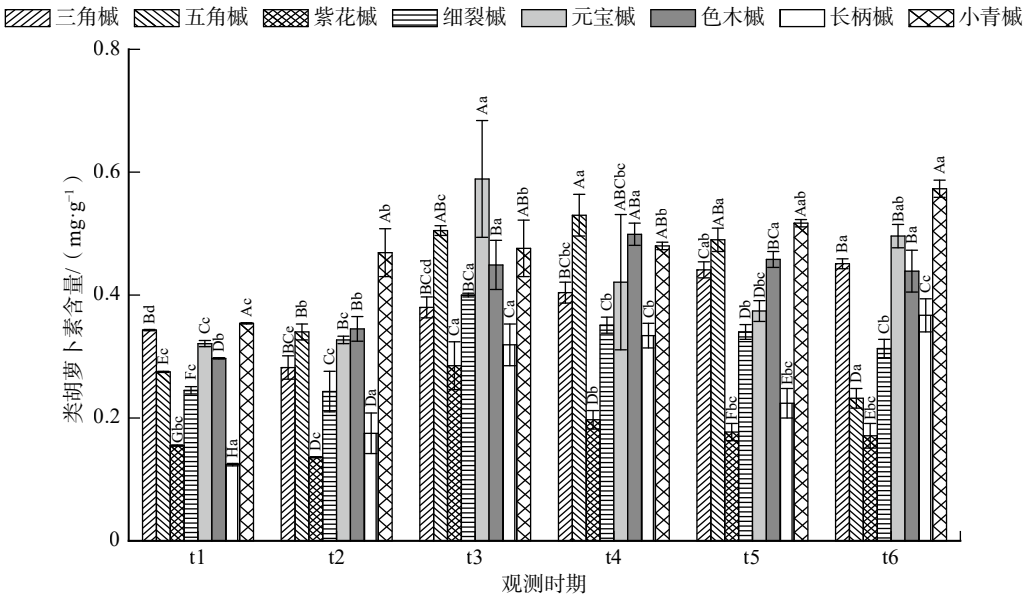


图 6 叶片转色期类胡萝卜素含量的变化

Fig. 6 Changes in carotenoidl a content during autumn coloration

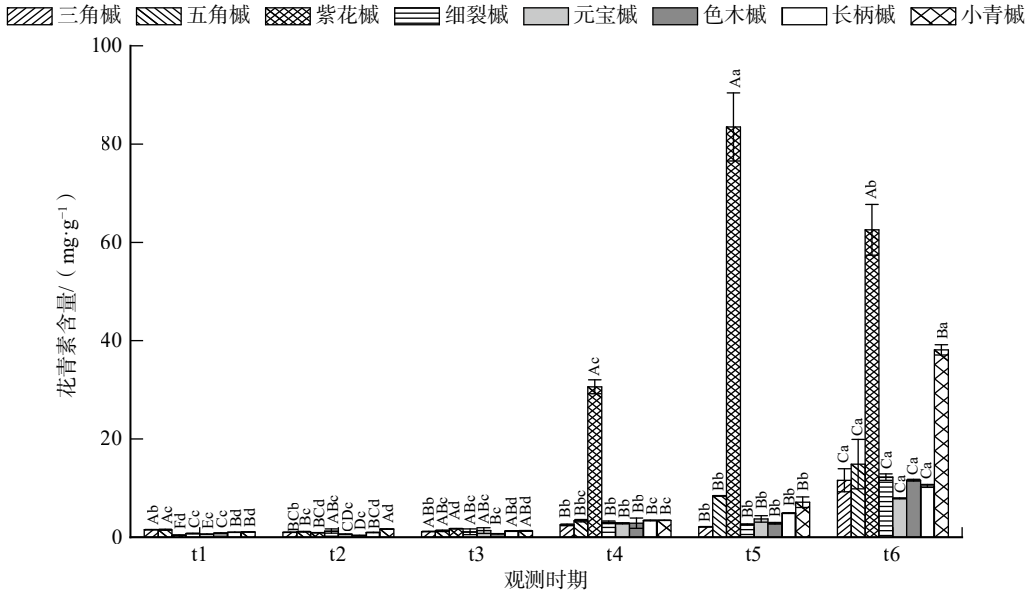


图 7 叶片转色期花青素含量的变化

Fig. 7 Changes in anthocyaninl a content during autumn coloration

色期 8 种槭属植物叶片叶绿素含量整体呈先升后降趋势，紫花槭的叶绿素总含量最低，符合紫花槭最先变色特性；元宝槭和色木槭在转色期前阶段（t1 ~ t4）叶绿素含量较高，表明两者变色较晚，但转色后期（t5、t6）叶绿素含量相对较低，类胡萝卜素含量保持较高的水平，叶色特征较为鲜艳；小青槭的叶绿素含量降速最慢，其次是三角槭，且二者类胡萝卜素较为平稳，符合小青槭和三角槭最晚变色特性（图 5、图 6）。8 种槭属植物的花青素含量总体均呈上升的趋势，其中，紫花槭花青素含量在 t4 ~ t6 阶段显著大于其余 7 种槭树（$P < 0.05$，图 7），表明紫花槭在转色期中后期叶色特征明显，具有优秀的景观效果。

2.6 叶色参数和色素含量的相关性分析

相关性分析（表 5）显示：转色期内叶色参数与色素含量间存在复杂的相关关系。其中，在五角槭中，*b**值与叶绿素的含量呈显著负相关，与花青素的含量呈极显著正相关，*L**值与花青素的含量呈显著负相关（$P < 0.05$）；在紫花槭和小青槭中，*a**值与叶绿素的含量呈显著负相关，与花青素的含量呈显著正相关；推测这 3 种槭树的叶色改变主要源于叶绿素和花青素的共同调控，叶绿素和花青素含量的动态改变可能是三者叶色转变的主要原因。在细裂槭和长柄槭中，*a**值与花青素的含量均显著正相关，推测花青素的合成可能是这两种槭树转色期叶色改变的

表 5　转色期 8 种槭属植物叶片色素含量与叶色参数的相关性分析

Tab. 5　Correlation analysis between leaf pigment content and leaf color parameters of 8 *Acer* species during autumn coloration

槭属植物	叶绿素			类胡萝卜素			花青素		
	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**	*L**	*a**	*b**
三角槭	−0.668	0.018	0.121	0.285	0.529	0.807	0.443	−0.195	0.691
五角槭	−0.774	−0.273	−0.875*	−0.740	−0.351	−0.725	0.906*	0.637	0.919**
紫花槭	0.184	−0.871*	0.477	−0.021	−0.625	0.092	−0.093	0.842*	−0.372
细裂槭	−0.486	−0.693	−0.018	0.287	−0.251	−0.497	0.458	0.973**	−0.373
元宝槭	−0.758	−0.392	−0.946**	−0.599	0.247	−0.806	0.880*	0.734	0.785
色木槭	−0.705	−0.649	−0.930**	−0.474	−0.461	−0.769	0.470	0.423	0.413
长柄槭	−0.571	−0.776	−0.336	−0.214	−0.172	−0.444	0.287	0.855*	−0.178
小青槭	−0.377	−0.932**	0.166	−0.209	−0.534	0.178	0.540	0.820*	0.357

注：**表示在 0.01 水平上相关性极显著，*表示在 0.05水平上相关性显著。

主要影响因子。在元宝槭和色木槭中，*b**值与叶绿素的含量呈极显著负相关，推测二者叶色改变的主要原因可能为叶绿素的降解。叶绿素和花青素含量的动态变化可能是 8 种槭属植物叶色丰富变化的主要内在调控机制。

3　讨　　论

槭属植物作为彩叶植物中的代表性树种，具有重要的应用价值和意义，国内外对槭属植物的应用十分广泛，在生理功能、生态学意义、环境因子影响、分子机制方面均有研究[26–29]。本研究综合 8 种槭属植物转色期叶片的表型特征和转色规律，揭示槭属植物种间差异性和景观表现的系统动态，以期为槭属植物的实际配置应用提供生理生态依据，为彩叶植物的园林应用发展提供科学理论支撑。

3.1　槭属植物叶片表型性状

翟艺兰等[18]对 27 种槭属植物表型多样性进行分析，结果表明槭属植物种质资源具有丰富的表型遗传多样性。崔珺等[30]对不同采集地枫香叶片进行表型性状分析，结果表明不同采集地枫香的叶柄长度、叶片长度、叶片宽度、中裂片宽度、叶形指数和叶片比叶面积存在极显著差异。周结松[31]对不同种源枫香叶片表型性状进行研究，结果表明不同种源地枫香叶片的表型性状存在极显著差异（$P < 0.01$）。本研究中，8 种槭属植物秋季转色期叶片表型特征同样呈现出明显的种间差异性。8 种槭属植物秋季转色期叶片的 18 个质量性状在提取的主成分中具有明显差异载荷值，这表明叶片表型多样性程度高，主要区分性状为叶色、叶裂与锯齿结构、叶凹缺特征，且数量性状存在丰富的种间差异。上述表型差异可能源于性状表型分化及种源遗传变异，后续研究可聚焦于不同种源背景下性状表型分化与遗传变异的关联机制。在园林应用方面，可依据槭属植物的关键鉴别性状进行树种筛选与配置，以构建不同的景观。

3.2　槭属植物转色期叶片转色规律

研究[22, 32]表明，不同槭属植物的观赏期存在差异，种植不同种类槭树可形成交错的景致。本研究的 8 种槭属植物转色期启动时间、持续时间、变色进程持续存在时间差异，紫花槭虽然转色期持续时间最短，但转色期启动时间最早，最佳观赏期较长，叶色表现优秀，细裂槭和色木槭虽然转色进程较晚，但转色持续时间长，景观效果稳定，元宝槭转色期后期转色进程较快，叶色变化明显，景观效果优秀。相关性分析表明，8 种槭属植物转色期叶色参数和色素含量变化之间存在明显种间差异和丰富的相关关系。五角槭、紫花槭和小青槭叶色变化的主要原因可能是叶绿素和花青素的共同调控，细裂槭和长柄槭这两种槭树转色期叶色改变的主要成因可能是花青素的合成，元宝槭和色木槭的叶色改变主要成因是叶绿素的降解。不同槭属植物秋季叶色的丰富表现主要受花青素的合成积累与叶绿素的降解两个过程的动态平衡和内在调控，该内在调控可能受上游种特异性的转录调控网络及环境信号应答差异所控制。郭萍等[33]在叶色变化机制研究中发现，植物叶色受色素调控且持续表达；许志钊[34]的研究表明色素含量变化是叶片变色的物质基础，可溶性糖、矿质元素氮和磷含量共同促进花青素合成，进而对叶色产生影响。在园林应用中可根据实际情况选择转色期合适的树种或者混合栽植不同转色期的树种以丰富和延长其景观效果。

槭属植物转色期的差异性也与环境因子密切相关。陈馨等[28]的研究结果表明，早变色的槭树多分布于温带寒冷地区，晚变色的种类可能更适应较温暖地区，这种差异反映了槭属植物对温度、光照等环

境因子的精准适应。傅誉等[35]研究发现，三角槭较晚进入转色期，其净光合速率、气孔导度、水分利用效率显著高于加拿大糖槭，本研究中三角槭晚变色的原因可能与此相似。不同槭属植物转色期的差异是其响应环境因子、维持生态平衡的适应发展，这种时间差异分化减少了同域分布的槭树对光资源的直接竞争，形成生态位互补和错峰竞争格局[36]。此外，转色期早晚差异还能影响种间关系，红叶类槭树通过鲜艳色彩吸引鸟类传播种子，而黄叶类可能依赖风力传播，这种分化降低了繁殖资源竞争[37]。本研究中紫花槭转色期早，虽持续时间短，但景观效果优秀，细裂槭和色木槭虽然转色较晚但持续时间长，元宝槭 t3 时期叶绿素和类胡萝卜素含量最大，叶色明显且丰富，景观效果优秀，这几种槭属植物均可作为华北地区园林绿化的秋季景观树种。在园林实际应用中，可混合种植不同槭属植物以延长观赏期、增加景观效果、增强生态群落的稳定性，如混合种植紫花槭和元宝槭以增加色彩丰富度，或混合种植紫花槭和色木槭以延长其观赏性。今后研究中可开展环境因子调控、转录组和代谢组叶色调控机制等以完善槭属植物转色期相关内容，进一步为彩叶植物的景观应用提供实际科学参考。

4 结　　论

本研究针对 8 种槭属植物秋季转色期叶片表型特征、叶色参数和色素含量变化规律进行研究，得到如下研究结论。

（1）8 种槭属植物表型特征间存在丰富的种间差异，主要体现在叶色、叶裂与锯齿结构、叶凹缺等方面，可作为区分槭属物种的关键形态依据。

（2）8 种槭属植物转色期时序差异明显，紫花槭最早 9 月中旬进入转色期，最佳观赏时期较长（12 d），细裂槭和色木槭转色期持续时间最长（40 d 以上），元宝槭转色后期叶色特征明显，景观效果优秀，建议作为华北地区园林绿化的秋季景观树种。

（3）8 种槭属植物叶片的叶色参数和色素含量存在明显的种间差异且两者有丰富的相关关系，不同槭属植物叶色变化主要成因是花青素和叶绿素含量的动态变化。

研究结果可为槭属植物在园林绿化中的科学配置提供基于叶片表型特征和转色动态的生理生态依据，对彩叶植物的园林应用提供科学理论支撑，未来可进一步结合环境因子与栽培调控，建立其叶色表现的预测模型与精准养护技术体系。

参 考 文 献

[1] 耿丽丽. 东北地区槭树类彩叶乡土树种良种选育与高效繁育技术 [J]. 南方农业, 2024, 18(8): 220−223.
Geng L L. Breeding and efficient breeding technology of *Acer* native tree species in Northeast China [J]. South China Agriculture, 2024, 18(8): 220−223.

[2] 王永臻, 唐凌凌, 潘森, 等. 槭属植物主要研究概述 [J]. 江苏林业科技, 2018, 45(4): 45−49.
Wang Y Z, Tang L L, Pan S, et al. Overview of the main research of *Acer* plants [J]. Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology, 2018, 45(4): 45−49.

[3] 赵东辉, 高玉福, 刘继生, 等. 两种观赏槭树秋季叶片色素和可溶性糖含量的变化 [J]. 延边大学农学学报, 2018, 40(4): 32−37.
Zhao D H, Gao Y F, Liu J S, et al. Changes of pigment and soluble sugar contents in autumn leaves of two ornamental maples [J]. Agricultural Science Journal of Yanbian University, 2018, 40(4): 32−37.

[4] 孟若楠. 元宝枫种子中抑制乙酰胆碱酯酶活性成分的高效发现及其作用机理研究 [D]. 贵州: 贵州大学, 2024.
Meng R N. Efficient discovery of inhibition of acetylcholinesterase active components in *Acer truncatum* seeds and its mechanism of action[D]. Guizhou: Guizhou University, 2024.

[5] Li X, Li T, Hong X Y, et al. *Acer truncatum* seed oil alleviates learning and memory impairmentsof aging mice [J]. Frontiers in Cell and Developmental Biology, 2021, 9: 680386.

[6] 舒钰, 孔文汇, 王钰婷. 黑龙江省茶条槭群落特征及物种多样性研究 [J]. 林业科技, 2025, 50(3): 45−53.
Shu Y, Kong W H, Wang Y T. Study on the community characteristics and species diversity of *Acer tataricum* in Heilongjiang Province [J]. Forestry Science & Technology, 2025, 50(3): 45−53.

[7] Sazak C, Attar A, Yilmaz A, et al. Biofabrication of *Acer palmatum*-mediated multifunctional cuo nanoparticles for dye removal, antibacterial-antifungal activity and aolecular docking [J]. ACS Omega, 2023, 8(40): 36835−36844.

[8] Kozhevnikov A E, Kozhevnikova Z V, Kwak M et al. Illustrated flora of the Southwest Primorye. Russian Far East National Institute of Biological Resources; Incheon[M]. Korea: Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 2015.

[9] Delendick T J. Reconsideration of two infraspecific taxa of the fullmoon maple, *Acer japonicum* (Aceraceae) [J]. Brittonia, 1984, 36(1): 49−58.

[10] 袁家梁, 迟天淇, 李秧秧. 16 种城市园林落叶树种光合耐热性及其与叶形态、解剖结构的关系 [J]. 生态学杂志, 2023, 42(7): 1561−1567.
Yuan J L, Chi T Q, Li Y Y. Leaf photosynthetic thermotolerance in 16 urban tree species and its relationship with leaf morpho-anatomical structure [J]. Chinese Journal of Ecology, 2023, 42(7): 1561−1567.

[11] Hu X, Gu T, Khan I, et al. Research progress in the

interconversion, turnover and degradation of chlorophyll [J]. Cells, 2021, 10(11): 3134.

[12] Wang X, Huang J Q, Yin Z Y, et al. Carotenoid components and their biosynthesis in a bud mutant of Shiranui mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) with citrine flavedo [J]. Journal of Zhejiang University-Science B (Biomedicine & Biotechnology), 2023, 24(1): 94−100.

[13] Han T, Wu W, Li W. Transcriptome analysis revealed the mechanism by which exogenous ABA increases anthocyanins in blueberry fruit during veraison [J]. Frontiers in Plant Science, 2021, 12: 758215.

[14] 宋鹏, 丁彦芬, 卓启苗, 等. 3 种卫矛属植物叶片秋冬季转色期生理生化特征研究 [J]. 西北植物学报, 2019, 39(4): 669−676.
Song P, Ding Y F, Zhuo Q M, et al. Physiological and biochemical characteristics of leaves during the color change period of three species of *Euonyums* autumn and winter [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2019, 39(4): 669−676.

[15] 赵东辉, 高玉福, 荣立苹, 等. 紫花槭秋季叶片呈色生理变化研究 [J]. 经济林研究, 2019, 37(2): 114−119.
Zhao D H, Gao Y F, Rong L P, et al. Study on physiological change of *Acer pseudosieboldianum* leaf color in autumn [J]. Non-wood Forest Research, 2019, 37(2): 114−119.

[16] 陈转香, 王珊, 洪心悦, 等. 元宝枫叶片呈色生理变化特征研究 [J]. 西北林学院学报, 2025, 40(3): 83−92,100.
Chen Z X, Wang S, Hong X Y, et al. Physiological changes of leaf color of *Acer truncatum* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2025, 40(3): 83−92,100.

[17] 杨晓童, 蔡静雯, 任艳君, 等. 五角枫秋季叶片呈色生理及代谢阶段性特征 [J]. 东北林业大学学报, 2024, 52(11): 47−55.
Yang X T, Cai J W, Ren Y J, et al. Physiological and metabolic stage-specific characteristics of coloration in the autumn leaves of *Acer mono* Maxim [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2024, 52(11): 47−55.

[18] 翟艺兰, 张楚磊, 楚爱香, 等. 二十七种槭属植物表型多样性分析 [J]. 浙江农业学报, 2023, 35(11): 2621−2635.
Zhai Y L, Zhang C L, Chu A X, et al. Phenotypic diversity in 27 *Acer* species [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2023, 35(11): 2621−2635.

[19] 李虹, 孙波, 曲彦婷, 等. 3 种槭属植物秋季叶色时序性变化规律 [J]. 中国农学通报, 2023, 39(19): 22−26.
Li H, Sun B, Qu Y T, et al. Leaf color temporal variation of three *Acer* species in autumn [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2023, 39(19): 22−26.

[20] 李佳霖, 高玉福, 翁卓, 等. 5 种观赏槭树叶片形态特征及秋季变色规律 [J]. 延边大学农学学报, 2021, 43(2): 19−24.
Li J L, Gao Y F, Weng Z, et al. Leaf morphological and color change of five ornamental maples in Yanji City [J]. Agricultural Science Journal of Yanbian University, 2021, 43(2): 19−24.

[21] 翟艺兰. 洛阳市槭属植物表型多样性分析及景观价值综合评价 [D]. 洛阳: 河南科技大学, 2023.
Zhai Y L. Phenotypic diversity dnalysis and landscape value comprehensive evaluation of *Acer* plants in luoyang city[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2023.

[22] 王萌, 常格, 王琦, 等. 4 种园林树木叶片秋季变色期的呈色机理 [J]. 林业与生态科学, 2020, 35(1): 93−98.
Wang M, Chang G, Wang Q, et al. The leaf color mechanism of four tree of species with red leaves in autumn color-changeing period [J]. Forestry and Ecological Science, 2020, 35(1): 93−98.

[23] 仇春辰, 胡雨彤, 严涵, 等. 施氮量对羊草叶绿素含量和光合特性的影响 [J]. 湖北农业科学, 2024, 63(11): 141−146.
Qiu C C, Hu Y T, Yan H, et al. Effect of nitrogen application rate on chlorophyll content and photosynthetic characteristics of *Leymus chinensis* [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2024, 63(11): 141−146.

[24] 孙鑫, 崔正勇, 李新华, 等. 不同小麦品种类胡萝卜素含量比较分析 [J]. 农学学报, 2023, 13(6): 1−4.
Sun X, Cui Z Y, Li X H, et al. Carotenoids'contents in different wheat varieties: comparative analysis [J]. Journal of Agriculture, 2023, 13(6): 1−4.

[25] 刘畅, 任爱华, 冷春旭, 等. 秋子梨果实着色过程花青素含量及相关基因表达分析 [J]. 黑龙江农业科学, 2025(3): 39−45.
Liu C, Ren A H, Leng C X, et al. Analysis of anthocyanin content and related gene expression during fruit coloring of *P. autumna*. [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2025(3): 39−45.

[26] 程甜甜, 玄锦, 褚敏, 等. 6 个元宝枫种仁含油率及脂肪酸组分分析 [J]. 山东林业科技, 2024, 54(5): 66−70.83.
Cheng T T, Xuan J, Chu M, et al. Analysis of oil content and fatty acid fractions of six *Acer truncatum* seed kernels [J]. Shandong Forestry Science and Technology, 2024, 54(5): 66−70.83.

[27] 王宁, 丁志鹏, 王红梅. 槭属植物观赏性状及在园林绿化中的应用 [J]. 现代农业科技, 2021(14): 152−154.
Wang N, Ding Z P, Wang H M. Study on ornamental characters of *Acer* plants and its application in landscaping [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2021(14): 152−154.

[28] 陈馨, 肖欣怡, 伍小刚, 等. 基于 Biomod2 组合模型预测气候变化下川渝地区 6 种槭属树种适生区 [J]. 应用与环境生物学报, 2025, 31(6): 859−874.
Chen X, Xiao X Y, Wu X G, et al. Suitable areas of six *Acer* species in the Sichuan-Chongqing regions under climate change based on the Biomod2 ensemble model [J]. Chinese Journal and Applied Environmental Biology, 2025, 31(6): 859−874.

[29] Liu J, Liang S, Qin K, et al. *Acer truncatum* leaves extract modulates gut microbiota, improves antioxidant capacity, and alleviates lipopolysaccharide-induced inflammation in broilers [J]. Poultry Science, 2023, 102(10): 102951.

[30] 崔珺, 周佳佳, 方秀文, 等. 不同采集地枫香叶片表型性状的分析 [J]. 凯里学院学报, 2024, 42(3): 93−98.
Cui J, Zhou J J, Fang W X, et al. Analysis of leaf phenotypic traits

in *Liquidambar formosana* from different collection sites [J]. Journal of Kaili University, 2024, 42(3): 93−98.

[31] 周结松. 不同种源枫香叶片表型性状变异分析及观赏价值评价 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2022.
Zhou J S. Variation analysis of leaf phenotypic characteristics from different provenances and ornamental value assessment of*Liquidambar formosana*[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2022.

[32] 卢梦云. 几种槭树科植物叶色及生理年变化动态 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2016.
Lu M Y. Study on leaves change color and physiological changes in dynamic of the several kinds of *Acer aceae* plants[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2016.

[33] Guo P, Huang Z, Zhao W, et al. Mechanisms for leaf color changes in *Osmanthus fragrans* ‘Ziyan Gongzhu’ using physiology, transcriptomics and metabolomics [J]. BMC Plant Biology, 2023, 23: 453.

[34] 许志钊, 杨秀云, 王祎琛, 等. 黄连木变色期叶片色素变化规律及呈色机理 [J]. 南京林业大学学报 (自然科学版), 2024, 48(2): 97−104.
Xu Z Z, Yang X Y, Wang Y C, et al. Changes in pigment and coloration mechanism of leaves during the discoloration period of *Pistacia chinensis* [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition), 2024, 48(2): 97−104.

[35] 傅誉, 谷明远, 范娟. 三角枫、加拿大糖槭、鸡爪槭叶片形态与光合特性比较 [J]. 园艺与种苗, 2021, 41(7): 9−11,14.
Fu Y, Gu M Y, Fan J. Comparison of leaf morphology and photosynthetic characteristics of *Acer buergerianum, Acer saccharum* and *Acer palmatum* [J]. Horticulture & Seed, 2021, 41(7): 9−11,14.

[36] 范春楠, 张永鑫, 丁易, 等. 吉林露水河阔叶红松林乔木植物群落结构与多样性 [J]. 北华大学学报 (自然科学版), 2021, 22(4): 443−448.
Fan C N, Zhang Y X, Ding Y, et al. Structure and diversity of arbor plant community in broad-leaved korean pine forest in lushuihe town, Jilin Province [J]. Journal of Beihua University (Natural Science), 2021, 22(4): 443−448.

[37] 许银梅. 槭属 (*Acer*) 植物翅果表型性状变异及其分布格局 [D]. 昆明: 云南大学, 2022.
Xu Y M. Patterns of variation and distribution of samara characters in *Acer*[D]. Kunming: Yunnan University, 2022.

（责任编辑 赵田芸
责任编委 马履一）