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

河北省黄连木彩叶种质资源调查与评价

孟馥郁 蒋晓辉 吕曼 张国伟 张磊 李辉 白倩 苏淑钗

Investigation and evaluation of color leaf germplasm resources of *Pistacia chinensis* in Hebei Province of northern China

Meng Fuyu, Jiang Xiaohui, L ü Man, Zhang Guowei, Zhang Lei, Li Hui, Bai Qian, Su Shuchai

引用本文:
孟馥郁, 蒋晓辉, 吕曼, 张国伟, 张磊, 李辉, 白倩, 苏淑钗. 河北省黄连木彩叶种质资源调查与评价[J]. 北京林业大学学报, 2025, 47(9):36–45. doi: 10.12171/j.1000–1522.20250048
Meng Fuyu, Jiang Xiaohui, L ü Man, Zhang Guowei, Zhang Lei, Li Hui, Bai Qian, Su Shuchai. Investigation and evaluation of color leaf germplasm resources of *Pistacia chinensis* in Hebei Province of northern China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(9):36–45. doi: 10.12171/j.1000–1522.20250048

在线阅读 View online: https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20250048

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

雌雄同株黄连木嫁接技术和嫁接树开花结实特性
Grafting technology and flowering and fruiting characteristics of monoecious *Pistacia chinensis*
北京林业大学学报, 2024, 46(8): 87–93. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20230197

基于24个表型性状的中国黄连木优良单株选择
Selection of superior individual *Pistacia chinensis* based on 24 phenotypic traits
北京林业大学学报, 2024, 46(2): 40–50. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20220447

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

板栗种质资源矮化相关形态指标的综合评价
Comprehensive evaluation of morphological indicators related to dwarfism in chestnut germplasm resources
北京林业大学学报, 2025, 47(8): 88–100. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20240383

毛白杨耐寒种质资源遗传鉴定及评价
Genetic identification and evaluation of cold–resistant germplasm resources in *Populus tomentosa*
北京林业大学学报, 2023, 45(12): 59–67. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20220363

美洲黑杨种质资源创制和综合评价
Creation and comprehensive evaluation of *Populus deltoides* germplasm resources
北京林业大学学报, 2024, 46(8): 79–86. https://doi.org/10.12171/j.1000–1522.20220101

DOI:10.12171/j.1000−1522.20250048

河北省黄连木彩叶种质资源调查与评价

孟馥郁[1] 蒋晓辉[2] 吕 曼[1] 张国伟[2] 张 磊[3] 李 辉[2] 白 倩[1] 苏淑钗[1]
（1. 北京林业大学林学院，北京 100083；2. 河北省洪崖山国有林场，河北 保定 074200；3. 石家庄市园林局，河北 石家庄 050011）

摘要:【目的】对河北省黄连木彩叶种质资源进行系统调查与评价，筛选不同色系黄连木优良种质，以期为彩叶黄连木新品种选育奠定基础，为黄连木景观配置提供重要依据。**【方法】**以河北省保定、武安市为研究区，通过实地调查获取黄连木各种质转色期数据，采集复叶样本，分别对叶片、树冠局部、单株或多株黄连木组合景观进行拍照；将叶片与国标色卡进行比对，确定叶片颜色，对其进行色系划分；应用 SBE 美景度评价法对典型叶片、树冠局部、单株或多株黄连木组合景观进行评价研究，筛选出不同色系黄连木优良种质。**【结果】**(1)共有 36 份种质在 10 月 14 日之前(含)已几乎完成整株转色，75 份种质在 10 月 15 日—22 日之间开始转色，9 份种质在 10 月 22 日之后开始转色。(2)本研究将黄连木叶色分为红色系、橙色系、黄色系和复色类 4 类。在叶片的评价中，有 12 份(57%)种质总体美景度为正数，这些种质叶片观赏价值较高，其中得分最高的前两名种质属于红色系，分别是 LGC56 和 LGC53；在树冠局部的评价中，观赏价值相对更高的 5 份种质分别为橙色系 WuC1 和红色系 K85、A14、WuR1、K29；在黄连木景观评价中，排名最高的为单株景观 K47，属于红色系，组合景观中排名最高的对应色系为红−橙−黄，景观编号为 WuRCY。**【结论】**河北省黄连木种质转色期、色系类型多样，红色系种质 LGC56、LGC53、LGC55、K47、WuR1、K29 和橙色系种质 3-1、K91、WuC1 表现出较高的观赏价值。研究结果将为黄连木的优良种质选育与应用推广产业化奠定重要基础，并有望推动乡土彩叶树种的开发，丰富彩叶苗木市场。

关键词：黄连木；彩叶种质；SBE 评价法；种质分类；景观配置
中图分类号：S687 **文献标志码：**A **文章编号：**1000−1522(2025)09−0036−10
引文格式：孟馥郁，蒋晓辉，吕曼，等. 河北省黄连木彩叶种质资源调查与评价 [J]. 北京林业大学学报，2025，47(9)：36−45.
Meng Fuyu, Jiang Xiaohui, Lü Man, et al. Investigation and evaluation of color leaf germplasm resources of *Pistacia chinensis* in Hebei Province of northern China[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2025, 47(9): 36−45.

Investigation and evaluation of color leaf germplasm resources of *Pistacia chinensis* in Hebei Province of northern China

Meng Fuyu[1] Jiang Xiaohui[2] Lü Man[1] Zhang Guowei[2] Zhang Lei[3]
Li Hui[2] Bai Qian[1] Su Shuchai[1]
(1. School of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. Hongyashan State-Owned Forest Farm, Baoding 074200, Hebei, China;
3. Shijiazhuang Municipal Bureau of Landscape Architecture, Shijiazhuang 050011, Hebei, China)

Abstract: [**Objective**] This paper conducts a systematic investigation and evaluation of the colored-leaf germplasm resources of *Pistacia chinensis* in Hebei Province of northern China, and screens superior germplasms of different color series of *P. chinensis*, in order to lay a foundation for the breeding of new colored-leaf varieties of *Pistacia chinensis* and to provide an important basis for the landscape configuration

收稿日期: 2025−02−19 **修回日期:** 2025−05−11
基金项目: 林草关键技术创新与示范项目(2310094)，北京林业大学“5·5 工程”科研创新团队项目(BLRC2023B08)。
第一作者: 孟馥郁。主要研究方向：经济林。Email：mengfuyu@bjfu.edu.cn 地址：100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学林学院。
责任作者: 白倩，副教授。主要研究方向：经济林木高效栽培理论与技术。Email：baiqian0219@bjfu.edu.cn 地址：同上。苏淑钗，教授，博士生导师。主要研究方向：经济林。Email：sushuchai@sohu.com 地址：同上。
本刊网址: http://j.bjfu.edu.cn；http://journal.bjfu.edu.cn

of *Pistacia chinensis*. [**Method**] With Baoding City and Wu'an City of Hebei Province as the study areas, data on color transition period of various germplasms of *P. chinensis* were obtained through field investigations, and compound leaf samples were collected; photographs were taken of the leaves, partial canopy, and individual or multi-tree combination landscapes of *P. chinensis*; the leaves were compared with the national standard color chart to determine leaf colors, which were classified into color series; the scenic beauty estimation (SBE) method was applied to evaluate typical leaves, partial canopy, and individual or multi-tree combination landscapes of *P. chinensis*, and superior germplasms of different color series of *P. chinensis* were screened. [**Result**] (1) A total of 36 germplasms had almost completed the whole-plant color transition by October 14 (inclusive); 75 germplasms started color transition between October 15 and 22; 9 germplasms started color transition after October 22. (2) In this study, the leaf colors of *P. chinensis* were divided into four categories: red series, orange series, yellow series, and variegated class. In the evaluation of leaves, 12 germplasms (57%) had positive overall SBE scores, indicating these germplasms had relatively high ornamental value in their leaves; the top two highest-scoring germplasms belonged to the red series, namely LGC56 and LGC53. In the evaluation of partial canopy, the five germplasms including WuC1 of the orange series and K85, A14, WuR1, and K29 of red series had relatively higher ornamental values. In the landscape evaluation of *P. chinensis*, the highest-ranked was individual landscape K47, which belonged to red series; among the combination landscapes, the highest-ranked corresponded to the red-orange-yellow colors, with the landscape labeled as WuRCY. [**Conclusion**] The color transition period and color series types of *P. chinensis* in Hebei Province are diverse; the red series germplasms LGC56, LGC53, LGC55, K47, WuR1, and K29, and the orange series germplasms 3-1, K91, and WuC1 exhibit high ornamental values. The research results will lay an important foundation for breeding, application, and industrial promotion of superior germplasms of *P. chinensis*, and are expected to promote the development of native colored-leaf tree species and enrich colored-leaf seedling market.

Key words: *Pistacia chinensis*; colored-leaf germplasm; SBE evaluation method; germplasm classification; landscape configuration

随着人们对环境的要求由绿化向美化、彩化的方向发展，彩叶树种在生态文明、美丽中国建设中发挥着越来越重要的作用。彩叶植物的种质资源收集与品种改良研究最早开始于国外，研究人员通过整合遗传育种、栽培学及分子生物学等技术手段，开展彩叶树种的选育和栽培研究，并应用开发研究的彩叶树种来丰富园林景观，美化环境[1]。典型成果包括北美园林常用的糖槭(*Acer saccharum*)[2]，具有显著秋色叶特征的山毛榉(*Fagus* spp.)[3]、北美槲栎(*Quercus rubra*)[4]等优良彩叶树种。与国外相比，我国对彩叶树种的利用和品种选育研究工作相对滞后，针对我国乡土彩叶树种的研究尤其较少，植被景观比较单调，缺乏彩叶植物。虽然近年来我国从国外引种了北美红枫(*Acer rubrum*)[5]、糖槭[6]等红叶树种在一定程度上缓解了景观需求，但这些树种的适应性和适应范围有限，不能满足我国广大地域的需要，从而导致园林绿化应用中乡土彩叶树种比例低的问题[7]，因此进一步挖掘和应用乡土彩叶树种是十分有必要的。

中国黄连木(*Pistacia chinensis*)原产我国，分布广泛，横跨温带、亚热带和热带地区，属于漆树科(Anacardiaceae)黄连木属的落叶乔木；其树冠开阔、枝繁叶茂，秋季叶色丰富，包括大红、洋红、深红、橙红、橙黄、金黄等，叶色斑斓浓艳，令人赏心悦目，是非常理想的风景林、行道树、城市绿化、庭荫观赏树种，且同一地区不同种质间的转色时期和转色程度存在较大差异，这为多色系彩叶种质的评价提供了丰富的资源[8]。此外，作为彩叶树种，黄连木枝叶自带香味，可带给人们视觉和嗅觉上的双重美好体验，具有广阔的开发利用前景。在我国合肥、南京、武汉、杭州等城市，已成功将秀美的黄连木用作行道树，带状栽植于道路景观带或成片栽植形成小绿岛，产生了良好的造景效果，极大地丰富了城市的景观层次。中国科学院成都生物研究所培育出新品种'华夏红'红叶黄连木，其叶片在秋冬交替时呈现鲜明的红色，观赏性和景观效果远超常见的槭属(*Acer*)植物[9]。然而，其他黄连木彩叶种质目前仍缺乏选育的新品种，且已有的优良品种性状充满不确定性，因此黄连木在绿化中的应用尚处于不完善阶段，无法满足彩叶树种产业的发展需求[10]。若要推进黄连木在景观营造、园林绿化中的广泛应用，对不同叶色类型的黄

连木品种选育工作势在必行。

基于前期课题组初步观测结果，黄连木集中分布在太行山脉地区，且在河北省保定、武安市具有多种不同色系的种质资源。本研究聚焦美丽中国建设需求，针对我国乡土彩叶树种缺乏现状，首次对河北省保定、武安市的彩叶黄连木种质进行系统挖掘与评价，且在研究方法上，创新性地突破前人仅集中在红色种质选育的局限性，对不同转色期及变色类型的种质进行综合调查和评价，以期为黄连木彩叶新品种选育奠定基础，为黄连木多层次景观配置提供重要指导意见。本研究有望推动彩叶黄连木的多元发展，对我国生态、旅游、文化等多方面均具有促进作用。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

保定市，位于河北省中部偏西，太行山东麓，地理坐标介于 38°14′29″～39°57′03″N，113°45′32″～116°19′41″E 之间。属暖温带大陆性季风气候区，主要气候特点为四季分明，春季干燥多风，夏季炎热多雨，雨、热同季，秋季天高气爽，冬季寒冷干燥。多年平均气温 13.4 ℃，年平均日照时数 2 511 h，年平均降水量 498.9 mm。

武安市，位于河北省南部，太行山东麓，介于 36°28′～37°01′N，113°45′～114°22′E 之间，同属温带大陆性季风气候，年平均气温 14.5 ℃，年平均降水量 545.5 mm，年平均日照时数 2 000.3 h。

1.2 彩叶黄连木种质的分类

1.2.1 调查和取样

根据地图寻找目标种质，对每株种质依次进行编号拍照、整株拍照、局部拍照，保留实地背景，并分别记录转色日期、所处变色阶段、树冠变色程度和完全变色后的叶片颜色等，最终共调查 126 株黄连木，120 株来源于保定市，6 株（WuR1、WuR2、WuR3、WuR4、WuC1、WuC2）来源于武安市。拍摄工具为手机自带相机，整株拍摄时的角度最大程度保证完整的树冠和树干同时入镜，局部拍摄时选择具有代表性的接近完全变色的局部树冠外围。

另用高枝剪从每株种质的树冠外围取 7～8 片变色完全、观赏性好的代表性复叶，装入密封袋保存，标记种质编号，共 97 株。回到室内，每份种质取 3 片最大程度保持完整的复叶，将其平铺于黑布上，比色卡、标签放于样品旁侧，标尺置于样品下方，用手机相机拍照。留一片最具代表性的叶片，再次拍照。为避免搁置时间过长导致样品枯黄、霉变发黑，造成色差，拍照均在取样当天进行。

1.2.2 颜色提取与种质分类

将上述 97 株的叶片样品与国标色卡（国家标准 GSB05-1426-2001）进行颜色比对，用目测法按照最大相似原则，确定叶色，记录对应的比色卡号和 RGB 值。

提取颜色过程中需注意不同树种可能受生长区土壤水分条件、小气候等因素的影响而处于不同的变色时期，同一植株上不同部位叶片也可能受光照条件影响而具有多种色彩（刚开始褪绿、过渡期变黄或已经变红）。实际操作时，为削弱非人为因素影响而导致的叶片色彩差异，在进行比色卡对比确认时，统一将叶片上变色程度最大的颜色确定为该种质的最终叶色。

1.2.3 种质分类

用 WPS 表格整理调查数据和叶色提取数据，分别按照转色期早晚和叶色对种质进行划分。

1.3 彩叶黄连木种质的评价和筛选

1.3.1 评价方法

采用美景度评价法（scenic beauty estimation，SBE）分别对黄连木复叶、树冠局部、单株或多株黄连木组合景观进行美景度评判。SBE 法属于心理物理模式的景观质量评价方法，其操作较简单，以前文拍摄照片作为媒介，通过获取大众对受测物心理感受方面的评判，相对客观地计算出受测物的美景度值，进而反映出其实际美学价值[11]。

1.3.2 评价对象与问卷设计

根据彩叶种质分类结果，筛选出不同叶色类型的代表性种质，从拍摄照片中选择各色系典型的复叶照片 21 张、树冠局部照片 20 张、单株或多株黄连木组合景观照片 20 张为评价对象。所有照片不经调色处理、保留背景，以保证评价对象的真实性。

调查问卷评价准则采用 7 级制，按照美观程度从低到高依次为非常差（1 分），很差（2 分）、差（3 分）、一般（4 分）、好（5 分）、很好（6 分）和非常好（7 分）。问卷主要分 3 部分，分别是黄连木叶片美景度评价、树冠局部美景度评价和黄连木景观（单株或多株组合）美景度评价，旨在综合考虑观叶价值、树冠观赏价值和景观观赏价值，从而筛选出观赏性高的优良种质。此外，在问卷最后设置主观题，收集大众对黄连木景观配置的建议（包括色彩搭配、黄连木与其他植物的搭配等）。

本次问卷采用线上发放形式，发放对象来自不同专业、不同年龄阶段和不同性别的群体，共 302 名，确保评价人员涵盖领域广、年龄跨度大，增强评价结果对未来黄连木景观营造的现实意义。问卷前设置对美景度评价的基础解说，并介绍评判的标准，要求

评价者依据自身真实感受对黄连木色彩喜爱程度进行打分，未涉及评价干扰或暗示。

问卷收回后，对问卷进行逐一检查，剔除评价分值无差别的无效问卷，共得到有效问卷 257 份。在专业组成上，园林、林业相关的评判者（专业组）比例约占 64%，非专业组占 36%；在年龄结构上，以 18～40 岁之间的中青年为主，所占比例达到 89%；从性别上看，女性比例约占 63%（表 1）。

1.3.3　数据标准化处理

由于不同个体对景观评判的尺度存在一定的差异，为排除其对评价结果的影响，需对评判者的分值进行标准化处理。本文采用传统的 SBE 标准化方法[12]，分别按种质和人群计算 SBE 标准化值，具体计算公式如下。

$$Z_{ij} = \left(R_{ij} - \overline{R_j}\right) / S_j \tag{1}$$

式中：Z_{ij} 为第 j 评判者对第 i 个受测物的评价标准化值，R_{ij} 为第 j 评判者对第 i 个受测物的评价等级值，$\overline{R_j}$ 为第 j 评判者对同一类受测物的所有评价等级值的平均值，S_j 为第 j 评判者对同一类受测物的所有评价等级值的标准差。

表 1　问卷参与人员统计

Tab. 1　Statistics of survey participants

分类	类别	数量	占比/%
专业	园林林业相关专业	164	63.8
	非园林林业相关专业	93	36.2
年龄	＜18 岁	1	0.4
	18～25 岁	146	56.8
	26～30 岁	29	11.3
	31～40 岁	55	21.4
	41～50 岁	9	3.5
	51～60 岁	16	6.2
	＞60 岁	1	0.4
性别	男	95	37.0
	女	162	63.0

$$\mathrm{SBE}_i = \sum Z_{ij} / N_i \tag{2}$$

式中：SBE_i 为第 i 个受测物的标准化得分值，N_i 为第 i 个受测物的评判人员的数量。

1.3.4　数据分析

采用 WPS 表格处理和分析美景度调查数据，运用软件 SPSS26.0 对专业组和非专业组不同群体的评价结果进行相关性分析，探究不同群体的审美差异。

2　结果与分析

2.1　彩叶黄连木种质的分类

2.1.1　彩叶黄连木的转色期分类

本研究重点对保定市的 120 份种质进行了系统调查，根据实地调查结果，按照转色时间的早晚将黄连木种质分为转色期早、转色期适中和转色期晚 3 大类。转色期早的种质在 10 月 14 日之前（含）已几乎完成整株转色，转色期适中的种质在 10 月 15 日—22 日之间开始转色，转色期晚的种质是 10 月 22 日之后开始转色。具体分类结果见表 2。本研究所调查的大多数黄连木种质的转色期适中，占比 62.5%；转色期早的种质占比 30%；转色期晚的种质仅占 7.5%。

2.1.2　彩叶黄连木的色系分类

本研究对保定市唐县、武安市管陶乡的 126 份彩叶黄连木种质进行实地调查，共得到 97 份种质的复叶样品。根据提取到的色卡颜色和实地调查时肉眼所见的叶色，将彩叶黄连木叶色分为红色系、橙色系、黄色系和复色类 4 大类。其中，红色系种质最多（47 份），橙色系种质次之（42 份），黄色系（3 份）和复色类（5 份）种质比较稀少。色系划分结果见表 3。红、橙两色系 RGB 取值范围有较多重合，这是由于有一部分黄连木叶片的色彩往往介于红色和橙色之间，在确定这一类种质的色系归属时，本研究还考虑了实地调查时肉眼所见的整株树的色彩。比如，某些叶片偏红的种质，若整株树呈现偏橙色，也将其划分为橙色系。而复色类叶片色彩组成均为 1 个主颜

表 2　黄连木转色期分类

Tab. 2　Color transition period classification of *Pistacia chinensis*

转色时期	种质编号	数量	占比/%
早	3, LGC2, 63, 64, LGC34, 2-1, 2-2, 2-3, 3-1, 5-n, 6-n, LGC30, CH1, LGC27, LGC35, LGC61, G19, LGC57, H11, J1, K29, K36-2, K49, K50, K80-1, LGC53, LGC56, LGC59, K91, LGC5, Lb11-5, LGC28, LGC58, R1, W2, LGC9	36	30.0
适中	LGC60, LGC1, LGC6, LGC7, LGC9, LGC12, LGC3, LGC20, LGC29, LGC22, 56, 57, LGC23, LGC32, 69, 70, 13-25, 13-26, 15-1, 16-20, 16-21, 16-23, 16-24, 16-25, 16-26, 16-31, 16-32, 18-7, LGC24, LGC26, C3, LGC25, LGC52, LGC54, LGC36, LGC62, G22, LGC67, LGC45, LGC50, H2, J2, J3, K1, LGC63, LGC42, LGC44, K28, LGC43, LGC40, LGC37, LGC38, LGC39, LGC47, LGC51, LGC65, K4, K45, LGC46, K50-2, LGC31, K7, LGC33, LGC66, K81-1, LGC6, LGC55, Lb12-3, LGC10, LGC18, LGC19, LGC48, LGC49, LGC41, LGC4	75	62.5
晚	LGC8, LGC14, LGC11, LGC15, LGC16, LGC17, LGC13, LGC21, 52	9	7.5

表 3 彩叶黄连木色彩分类

Tab. 3 Color classification of color-leaf *P. chinensis*

色系	种质编号	标准色号	颜色	RGB(红，绿，蓝)
红色系	R1，LGC53，WuR1	c3001	信号红	155，36，35
	LGC54，LGC55	c3004	紫红	107，28，35
	Lb1 1-5	c3005	酒红	89，25，31
	LGC11，LGC34，G22，K28，K29，LGC37，K36-2，LGC66	c3009	氧化红	109，52，45
	LGC43，LGC51，W2	c3011	棕红	121，36，35
	69，LGC36，K7-d，LGC60	c3013	番茄红	151，46，37
	LGC16，H1	c4002	红紫	141，60，75
	WuR3，WuR4	c62r03	大红	200，17，21
	LGC44，LGC1，LGC12，LGC61，LGC56，LGC10，LGC58，LGC3，52，LGC23，LGC32，16-26，LGC27，LGC57，LGC38，LGC39，K4，K80-1，LGC28，WuR2	c61r02	朱红	193，63，65
	LGC30	c63r04	紫红	139，59，68
	LGC67	c64r01	铁红	119，70，68
橙色系	LGC15，LGC21，LGC25，LGC42	c2001	红橙	186，72，27
	LGC14	c2004	纯橙	226，83，3
	K91	c3000	火焰红	167，41，32
	LGC24，C3，LGC63，LGC31	c3016	珊瑚红	166，61，47
	16-32，3-1，LGC59，LGC5，Lb1 2-3	c3028	纯红	204，44，36
	LGC8，70，19-7，2-3，CH1，H2，J1，J2，J3，LGC40，LGC47，K49，K81-1	c3031	东方红	166，52，55
	LGC6，WuC1	c59yr04	桔黄	224，100，62
	LGC18，LGC4，LGC7，LGC20，56，LGC26，K1，LGC65，K50-2，LGC48，G19	c60r05	桔红	198，81，64
	WuC2	c2011	深橙	226，110，14
黄色系	LGC19	c1018	锌黄	250，202，48
	K50	c2000	黄橙	218，110，0
	LGC29	c1037	太阳黄	240，146，0
复色类	13-29	c3000	火焰红	167，41，32
	LGC17	c3031	东方红	166，52，55
	57	c60r05	桔红	198，81，64
	LGC22，K45	c62r03	大红	200，17，21

色加零星斑块的黄色和绿色，因此仅选取主颜色进行比对并记录。

2.2 彩叶黄连木种质评价与筛选

以全部评价者的 SBE 标准值为统计指标，分别对黄连木不同色系种质的叶片、树冠局部以及单株或多株黄连木组合景观进行美景度排序。

2.2.1 叶片美景度排序

考虑到叶片变色程度，以及保证样本涵盖的颜色尽可能丰富，本研究最终选取了 21 份种质的叶片代表照片作为叶片美景度调查的对象。其中 7 份红色系种质，8 份橙色系种质，3 份黄色系种质，3 份复色类种质。具体评价结果见表 4。其中，11 份(52%)种质叶片的总体美景度为正数，说明这部分种质黄连木叶片的观赏价值较高。得分最高前 4 名种质分别属于红色系和橙色系，分别是 LGC56、LGC53、3-1、K91。总体美景度为正数的 11 份种质如图 1 所示，涵盖 4 类色系，叶色均鲜艳明亮。总的来说，叶片观赏价值较高的种质以红色、橙色色系为主，且颜色艳丽，而排名靠后的种质颜色偏暗沉。由此可见，大众对黄连木的喜爱程度既与色系偏好有关，也与其颜色是否鲜亮有关。

2.2.2 树冠局部美景度排序

根据不同变色阶段(变色中和完全变色)，从红、橙、黄 3 个色系中挑选具有代表性的树冠局部照片，复色类种质不区分变色阶段。其中，红色系有 7 份种质(5 份完全变色，2 份处于变色中)，橙色系有 5

表 4　叶片美景度值排名

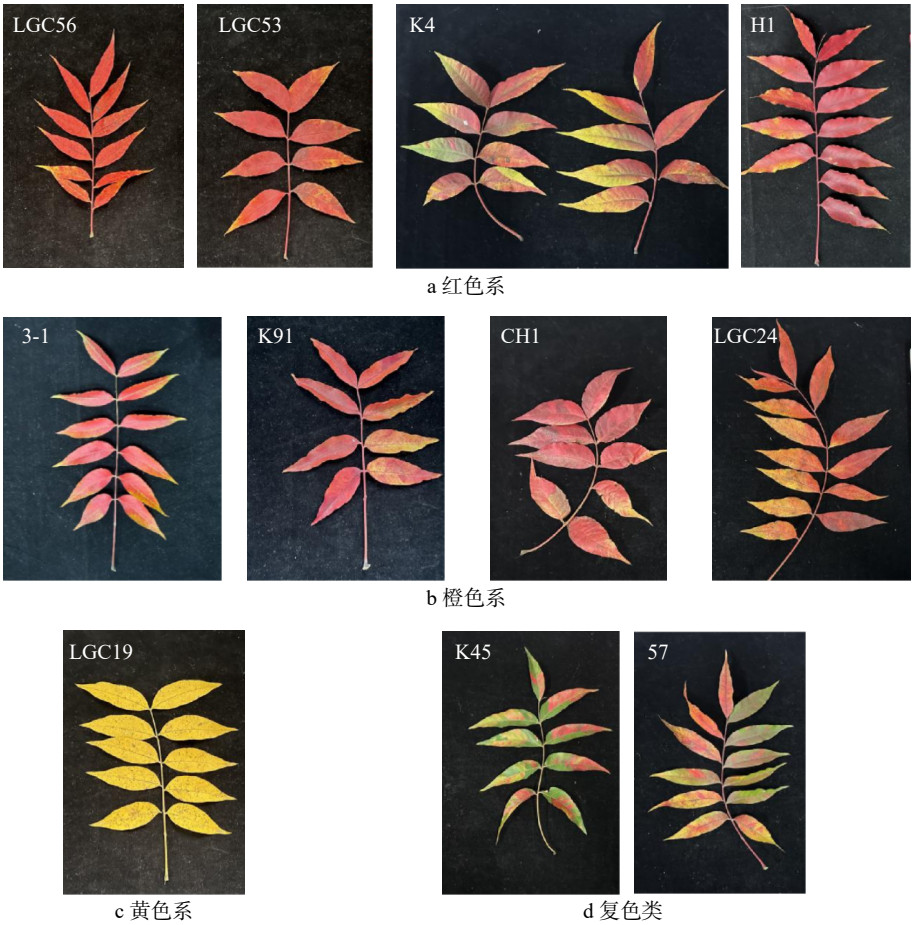
Tab. 4　Ranking of leaf beauty values

排名	种质编号	总体SBE值	颜色	色系
1	LGC56	0.971 3	朱红	红
2	LGC53	0.817 4	信号红	红
3	3-1	0.721 5	纯红	橙
4	K91	0.459 7	火焰红	橙
5	LGC19	0.410 5	锌黄	黄
6	K4	0.317 1	朱红	红
7	H1	0.298 3	红紫	红
8	CH1	0.164 4	东方红	橙
9	57	0.152 7	桔红	复色
10	LGC24	0.101 6	珊瑚红	橙
11	K45	0.083 0	大红	复色
12	K50	−0.045 3	黄橙	黄
13	LGC6	−0.155 8	桔黄	橙
14	LGC22	−0.185 2	大红	复色
15	LGC18	−0.185 4	桔红	橙
16	LGC29	−0.316 3	太阳黄	黄
17	LGC25	−0.440 5	红橙	橙
18	LGC60	−0.535 6	番茄红	红
19	LGC67	−0.791 4	铁红	红
20	K50-2	−0.914 3	桔红	橙
21	LGC66	−0.927 7	氧化红	红

份种质(4 份完全变色，1 份处于变色中)，黄色系有 3 份种质(2 份完全变色，1 份处于变色中)，复色类有 5 份种质。具体排名如表 5 所示。其中，8 份(40%)种质树冠局部的总体 SBE 值为正数，均属于红色系和橙色系，其余 12 份种质(60%)为负数，均为复色类和黄色系。树冠局部观赏价值排名前 5 的种质有橙色系的 WuC1，红色系的 LGC55、K47、WuR1、K29，具体形态照片如图 2 所示，其颜色均鲜艳明亮。在红色系中，SBE 值较高的种质树冠局部既有已经完全变色的，还有正处于变色中的，仍有未褪绿的部分；在橙色系中，SBE 值为正数的种质树冠局部均处于完全变色阶段。综上，类似于叶片美景度排序结果，树冠局部观赏价值较高的种质也以红色、橙色色系为主。

2.2.3　单株或多株黄连木组合美景度排序

根据不同变色阶段(变色中和完全变色)，从红、橙、黄 3 个色系中挑选具有代表性的单株景观照片，复色类单株不区分变色阶段。其中，红色系单株有 5 份(3 份完全变色，2 份处于变色中)，橙色系单株有 5 份(3 份完全变色，2 份处于变色中)，黄色系单株有 2 份(1 份完全变色，1 份处于变色中)，复色类



a 红色系　b 橙色系　c 黄色系　d 复色类

图 1　总体美景度值为正数的各色系种质叶片

Fig. 1　Germplasm leaves of various color series with overall beauty values being positive

表 5 树冠局部美景度值排名

Tab. 5 Ranking of local beauty values of tree canopy

排名	种质编号	总体SBE值	变色阶段	色系
1	WuC1	0.881 3	完全变色	橙
2	LGC55	0.881 2	完全变色	红
3	K47	0.868 5	变色中	红
4	WuR1	0.755 6	完全变色	红
5	K29	0.649 5	完全变色	红
6	A10	0.377 3	完全变色	橙
7	LGC39	0.112 3	变色中	红
8	CH1	0.099 3	完全变色	橙
9	57	−0.022 9		复色
10	LGC60	−0.050 9	完全变色	红
11	LGC22	−0.072 0		复色
12	H1	−0.208 1	完全变色	红
13	15-n	−0.234 6		复色
14	WuC2	−0.250 6	完全变色	黄
15	LGC24	−0.285 5	变色中	橙
16	LGC4	−0.370 0	变色中	黄
17	K45	−0.592 4		复色
18	K50	−0.612 3	完全变色	黄
19	G19	−0.708 8	完全变色	橙
20	13-29	−1.216 9		复色

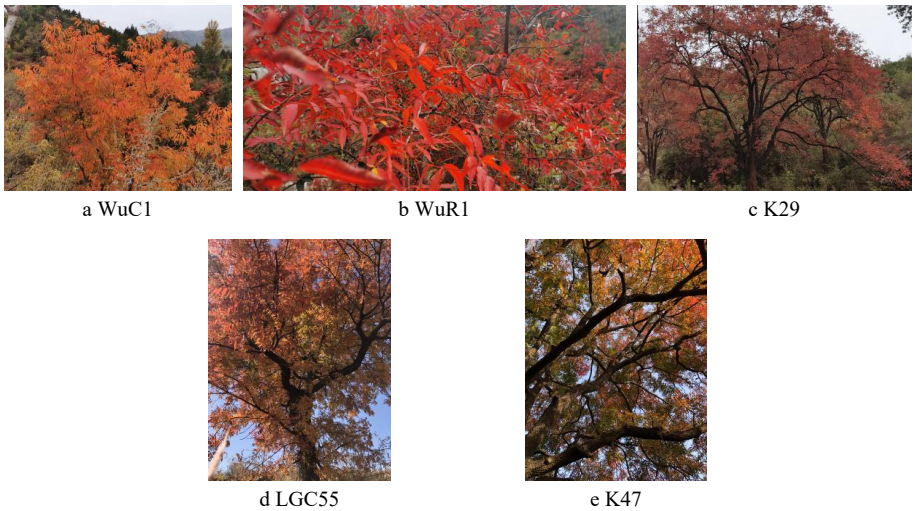
有 2 份。根据不同色彩搭配，挑选了 6 张黄连木组合景观照片，分别有红−红搭配、橙−橙搭配、红−橙搭配和红−橙−黄搭配。具体排序结果如表 6 所示。其中，共有 11 个单株或多株组合景观的总体美景度值为正数，占比 55%，表明这部分黄连木单株或多株组合景观观赏价值较高。对于总体 SBE 值为正数的单株景观，其对应的色系有红、橙、黄，既有已经完全变色的，也有正处于变色中的，其中排名最高的单株景观 K47(图 3a)属于红色系，已经完全变色；复色类单株景观 SBE 值均为负数，观赏价值低。对于总体 SBE 值为正数的多株组合景观，其对应的色彩搭配有红−红搭配和红−橙−黄搭配，排名最高的是 WuRCY(图 3b)，为红−橙−黄搭配，其余搭配组合观赏价值均较低。

2.2.4 黄连木种质综合评价

综合叶片、树冠局部以及整体景观 3 个维度的评价，红色系和橙色系黄连木表现出较高的观赏价值。从叶片观赏性评价结果来看，观赏性较好的种质有红色系的 LGC56、LGC53，橙色系的 3-1、K91。对于树冠局部观赏性，观赏性较高的种质有红色系的 LGC55、K47、WuR1、K29，橙色系的 WuC1。在整体景观评价中，观赏性最好的单株景观为红色系的 K47，最好的景观颜色搭配为红−橙−黄。综合上述结果，共筛选出观赏价值较高的红色系种质 6 份，分别是 LGC56、LGC53、LGC55、K47、WuR1、K29；橙色系种质 3 份，分别是 3-1、K91、WuC1。

2.2.5 不同人群审美差异分析

本研究选取专业组、非专业组群体分别对黄连木叶片、树冠局部、单株或多株组合景观评判结果进行相关性分析。一般认为，相关系数 $r > 0.95$，呈显著性相关；$r = 0.8$，呈高度相关，$0.5 < r < 0.8$，呈中度相关；$0.3 < r < 0.5$，为低度相关，$r < 0.3$，为不相关[13]。本研究在对叶片和树冠局部的评价中，专业组与非专业组群体的审美是呈显著性相关的，在单株或多株组合景观评价中则呈高度相关(表 7)。综上，专业组和非专业组对于色彩的审美存在普遍的一致性。这也进一步支撑了本研究的问卷群体设置的科学性和结果的可靠性。



a WuC1 b WuR1 c K29

d LGC55 e K47

图 2 总体美景度值前 5 名种质的树冠局部

Fig. 2 Partial canopies of the top five germplasms ranked by overall beauty values

表 6　单株或多株黄连木景观美景度值排名

Tab. 6　Ranking of landscape beauty values of single or multiple plants of *P. chinensis*

排名	种质编号	总体SBE值	变色阶段	色系组合
1	K47	0.829 2	完全变色	红
2	WuRCY	0.686 0		红−橙−黄
3	R1	0.362 8	完全变色	红
4	CH1	0.325 6	完全变色	橙
5	WuRR	0.236 2		红−红
6	LGC59	0.220 8	完全变色	橙
7	LGC57	0.188 5	变色中	红
8	LGC24	0.071 0	变色中	橙
9	K44	0.030 2	变色中	黄
10	T-RCY	0.018 1		红−橙−黄
11	LGC67	0.009 1	完全变色	红
12	K80-1	−0.095 6	变色中	红
13	T-C1	−0.112 0	变色中	橙
14	T-CC	−0.121 5		橙−橙
15	K45	−0.202 9		复色
16	T-RC1	−0.279 8		红−橙
17	J1	−0.451 9	完全变色	橙
18	K50	−0.462 9	完全变色	黄
19	T-RC2	−0.483 2		红−橙
20	15-n	−0.767 7		复色



a K47　　b WuRCY

图 3　优质景观

Fig. 3　High quality landscape

表 7　不同群体对黄连木审美的相关性分析

Tab. 7　Correlation analysis of aesthetic perception of *P. chinensis* among different groups

项目	组别	专业组	非专业组
叶片	专业组	1	0.964
	非专业组		1
树冠局部	专业组	1	0.974
	非专业组		1
单株或多株景观	专业组	1	0.888
	非专业组		1

3　讨　　论

彩叶树种在城乡园林绿化与生态景观建设中发挥着日益重要的作用，其季相变化不仅能丰富景观层次，还能提升生态服务的文化价值和美学价值。黄连木作为我国乡土树种，不仅具有适应性强、抗逆性好的特点，还在秋色叶中表现突出，是开展彩叶树种选育的理想材料。然而，目前对黄连木彩叶性状的系统评价和种质筛选的研究仍较为缺乏，尤其在转色期物候规律、色彩分类与观赏性综合评估方面。因此，本研究立足于彩叶树种资源开发的实际需求，通过系统调查彩叶黄连木种质资源的转色特性、叶色性状及观赏价值，筛选具有优良观赏特性的单株，以期为后续品种选育、遗传改良及园林应用提供理论依据和材料基础。这一工作不仅有助于深化对黄连木色彩形成机制的理解，也将为同类彩叶树种的评价与选育提供可借鉴的方法路径。

3.1　彩叶黄连木种质的分类

在转色期方面，本研究将黄连木转色期分为早、中、晚 3 类，园林绿化可利用转色期差异，延长景观的观赏期。本研究所调查的大多数种质的转色期属于中间状态，调查中发现生长在山坡上的种质要比山脚下的种质更早进入转色期，而山坡海拔相对高，气温相对低。这与谢光园等[14]研究中气温越高，叶始变期越晚的观点相符合。

在色系分类中，本研究将彩叶黄连木叶色分为了 4 大类，分别是红色系、橙色系、黄色系和复色类，反映出黄连木在色素代谢途径上的多样性。研究表明，秋季叶片呈现出不同颜色，主要是受叶片中叶绿素、花青素和类胡萝卜素的含量以及各自占比所控制，叶绿素含量占主导时叶片呈绿色，花青素占主导呈红色，类胡萝卜素占主导则呈黄色或橙色[15−16]。其色彩形成的生理生化机制值得在后续研究中结合代谢组学进行深入解析。

3.2　彩叶黄连木种质的评价与筛选

从观赏性评价结果来看，部分黄连木的观赏价值较高。叶片评价中，排名较高的叶片颜色均鲜艳明亮，主色调以红、橙色系为主，排名靠后的叶片所对应的颜色则偏暗沉。树种叶部的观赏性是彩叶植物应用中最重要的考虑因素，而叶色对叶片观赏性的影响最大[17]。因此，本研究对叶片美景度进行评价是非常有意义的。在树冠局部评价中，观赏价值排名前 5 的种质有橙色系的 WuC1，红色系的 LGC55、K47、WuR1 和 K29，同样表明红色系和橙色系种质表现出更高的观赏价值。研究发现在橙色系种质中，树冠的观赏价值除了受色彩鲜艳度的影响，也受到

变色阶段的影响，其最佳观赏时期是完全变色后。由此说明着色均匀度与色彩饱和度均是影响彩叶树种观赏性的关键性状。在景观评价中，红色系的 K47 是观赏性最好的单株景观，其色彩鲜艳夺目，而观赏性最好的组合景观颜色搭配为红−橙−黄，并且各色系植株转色期一致。这说明在黄连木景观营造层面，色彩对比强烈、转色同步性高的种质更易于形成视觉焦点，观赏价值高，适用于孤植或群植配置。这与施燕[18]提出的观点相符合，其建议在草坪景观中，选择树形高大优美、颜色鲜艳的黄连木孤植，可以打造出强烈的视觉对比，形成引人注目的独特景观。

3.3 彩叶黄连木种质的应用

对两个具有不同教育背景的群体进行审美态度的相关性分析，发现专业组和非专业组对于色彩的审美存在普遍的一致性，张祺祺[19]在研究中也得出了同样的结果。同时也侧面说明，本研究筛选出的优良种质在不同人群中均较受欢迎，因此具有较高的观赏价值及应用前景。结合问卷调查者的建议，本研究总结彩叶黄连木景观配置建议如下：孤植时，建议选取树形优美、树冠开阔、颜色鲜艳的红色系种质，和草坪景观、矮灌丛景观搭配，可以与周围景观形成强烈的色彩对比。并且基于黄连木自身转色特性，在转色中期会呈现出“彩虹树”的观赏效果，能够大大提升孤植景观的观赏性。团状栽植中，首先建议红−橙−黄 3 色搭配，并保证转色期一致，可在秋季完全变色期呈现出五彩斑斓、层林尽染的群体景观效果。其次也可选择同色系、转色期一致的种质，营造单色系景观效果。

本研究通过多维度观赏性状的综合评价，有效地筛选出观赏价值高的彩叶黄连木种质，为优良品种选育和园林景观应用提供了科学支撑。然而，本研究仍存在一定局限性，如样本来源地理范围有限，未能全面涵盖不同生态区的种质；此外，色彩性状的遗传机制及环境调控效应尚未深入探讨。未来研究可结合分子标记辅助选择与多年多点试验，进一步验证优良种质的稳定性与适应性，同时开展色彩形成机理研究，为实现精准育种与高效开发提供理论支持。

4 结　　论

本研究针对彩叶黄连木种质资源评价体系不完善、优良观赏种质缺乏系统筛选等问题，首次对其转色期、色系分类及多维度观赏性状进行了综合评价与筛选研究。研究发现河北省黄连木种质转色期、色系类型多样，建立了基于转色期(早、中、晚型)和色系(红、黄、橙等)的彩叶黄连木种质分类体系，并从叶片、树冠局部和景观营造 3 个维度开展了观赏性综合评价，筛选出一批观赏价值高的优良种质，如红色系种质 LGC56、LGC53、LGC55、K47、WuR1、K29 和橙色系种质 3-1、K91、WuC1，最后总结并提出了彩叶黄连木在孤植或群植景观中的配置建议。研究结果填补了黄连木在彩叶性状评价方面的空白，将为彩叶黄连木的品种选育、遗传改良及园林景观应用提供科学依据和实践支撑。未来可结合分子标记辅助选择与多年多点试验，深入解析色素代谢机制及基因调控网络，推动乡土彩叶树种精准育种与产业化开发。

参 考 文 献

[1] 何梅, 王华, 胡玉安, 等. 彩叶树种研究与开发利用现状 [J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(6): 1134−1144.
He M, Wang H, Hu Y A, et al. Research status, development and utilization of color-leaf trees[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2018, 40(6): 1134−1144.

[2] Junker L V, Ensminger I. Relationship between leaf optical properties, chlorophyll fluorescence and pigment changes in senescing *Acer saccharum* leaves[J]. Tree Physiology, 2016, 36(6): 694−711.

[3] Koch J L, Carey D W, Mason M E. Use of microsatellite markers in an American beech (*Fagus grandifolia*) population and paternity testing[J]. Silvae Genetica, 2010, 59(2−3): 62−69.

[4] Bumgarner M L, Salifu K F, Mickelbart M V, et al. Effects of fertilization on media chemistry and *Quercus rubra* seedling development under subirrigation[J]. Hortscience, 2015, 50(3): 454−460.

[5] Yan Y Y, Liu Q, Yan K, et al. Transcriptomic and metabolomic analyses reveal how girdling promotes leaf color expression in *Acer rubrum* L.[J]. BMC Plant Biology, 2022, 22(1): 498.

[6] 李静, 任杰, 杨帆, 等. 不同季节加拿大糖槭光合特性研究 [J]. 中国农学通报, 2013, 29(28): 9−13.
Li J, Ren J, Yang F, et al. Study on photosynthesis of *Acer saccharum* Marsh in different seasons[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2013, 29(28): 9−13.

[7] Zhang Y, Wang Z, Qi S, et al. In vitro tetraploid induction from leaf and petiole explants of hybrid sweetgum (*Liquidambar styraciflua* × *Liquidambar formosana*)[J]. Forests, 2017, 8(8): 264.

[8] 龙雪蓉, 贾黎明, 蒋晓辉, 等. 中国黄连木 (*Pistacia chinensis* Bunge) 资源价值及其开发利用前景 [J/OL]. 中国油脂, 2023. [2023−12−28]. DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.230093.
Long X R, Jia L M, Jiang X H, et al. Values, development and utilization prospect of *Pistacia chinensis* Bunge resource[J/OL]. China Oils and Fats, 2023. [2023−12−28]. DOI: 10.19902/j.cnki.zgyz.1003-7969.230093.

[9] 吕树. 红叶乔木新品种: ‘华夏红’ 红叶黄连木 [J]. 中国花卉园艺, 2014(4): 57.

Lü S. A new variety of red-leaved tree - ‘Huaxia Hong’ red-leaved *Pistacia chinensis* Bunge[J]. China Flowers & Horticulture, 2014(4): 57.

[10] 张国兵, 杨娟, 周瑾, 等. 黄连木在城市道路绿化空间的配置 [J]. 林业科技通讯, 2023(7): 77−80.
Zhang G B, Yang J, Zhou J, et al. Plant disposition of *Pistacia chinensis* in urban district’s roads[J]. Forest Science and Technology, 2023(7): 77−80.

[11] 赵旭凯, 秦倩, 王永薇, 等. 基于 SBE 法的苏州大学校园秋季植物景观美学评价 [J]. 林业世界, 2021, 10(2): 71−81.
Zhao X K, Qin Q, Wang Y W, et al. Aesthetic evaluation of plant landscape in autumn of Soochow University based on SBE method[J]. World Journal of Forestry, 2021, 10(2): 71−81.

[12] 李效文, 贾黎明, 郝小飞, 等. 森林景观 SBE 评价方法 [J]. 中国城市林业, 2007, 5 (3): 33−36.
Li X W, Jia L M, Hao X F, et al. The application procedures of scenic beauty estimation method in evaluation of forest landscapes[J]. Journal of Chinese Urban Forestry, 2007, 5 (3): 33−36.

[13] 孙逸敏. 利用 SPSS 软件分析变量间的相关性 [J]. 新疆教育学院学报, 2007(2): 120−123.
Sun Y M. Using SPSS software to analyze the correlation between variables[J]. Journal of Xinjiang Education Institute, 2007(2): 120−123.

[14] 谢光园, 赵富群. 衡阳市常见彩叶树种物候期对气候变化的响应 [J]. 安徽农业科学, 2023, 51(12): 181−184.
Xie G Y, Zhao F Q. Response of phenological period of common colored-leaf tree species to climate change in Hengyang City[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2023, 51(12): 181−184.

[15] Song X, Guo H, Liu Y, et al. Effects of salicylic acid and sucrose on pigment content in *Pistacia chinensis* leaves[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 259: 108783.

[16] 郭欢欢, 刘勇, 姚飞, 等. 不同种源黄连木秋季色素含量与叶色参数的关系 [J]. 西北植物学报, 2017, 37(10): 2003−2009.
Guo H H, Liu Y, Yao F, et al. Relationship between pigment contents and leaf color parameters of *Pistacia chinensis* Bunge of different provenances in autumn[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2017, 37(10): 2003−2009.

[17] 赵楠, 梁倩雨, 郭丽丽, 等. 基于 AHP 的榆林市木本彩叶植物综合评价 [J]. 陕西农业科学, 2023, 69(3): 110−116.
Zhao N, Liang Q Y, Guo L L, et al. Comprehensive evaluation of woody color-leafed plants in Yulin based on AHP[J]. Shanxi Journal of Agricultural Sciences, 2023, 69(3): 110−116.

[18] 施燕. 彩叶树在园林绿化中不同的配置方式及应用 [J]. 建材与装饰, 2020 (20): 52, 56.
Shi Y. Different configuration methods and applications of color-leaved trees in landscaping[J]. Construction Materials & Decoration, 2020 (20): 52, 56.

[19] 张祺祺. 杭州地区典型彩叶树种呈色物候研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2022.
Zhang Q Q. Study on the coloring characteristics of typical colord leaf tree species in Hangzhou[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2022.

（责任编辑　赵田芸
责任编委　马履一）