

彩叶树种研究进展与展望

卢星辰, 陆婷, 沈笑, 张海珍*

杭州植物园, 浙江 杭州

收稿日期: 2026年3月25日; 录用日期: 2026年4月23日; 发布日期: 2026年4月30日

摘要

彩叶树种因其独特的观赏价值和生态功能, 成为现代园林绿化与生态修复的重要元素。近年来, 国内外学者围绕彩叶树种的分类、引种驯化、应用技术及资源开发等方面开展了大量研究。本文综合近年文献, 从多维度梳理彩叶树种的研究进展与未来方向。

关键词

彩叶树种, 研究现状, 展望

Research Progress and Prospect of Colored-Leaf Tree Species

Xingchen Lu, Ting Lu, Xiao Shen, Haizhen Zhang*

Hangzhou Botanical Garden, Hangzhou Zhejiang

Received: March 25, 2026; accepted: April 23, 2026; published: April 30, 2026

Abstract

Color-leaved tree species have become crucial elements in modern landscape greening and ecological restoration due to their unique ornamental value and ecological functions. In recent years, scholars at home and abroad have conducted extensive research on the classification, introduction and domestication, application technologies, and resource development of color-leaved tree species. Based on recent literature, this paper systematically sorts out the research progress and future directions of color-leaved tree species from multiple dimensions.

*通讯作者。

Keywords

Color-Leaf Trees, Research Status, Prospects

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着社会文明的进步与经济格局的蓬勃演进,生态文明建设的战略地位日益凸显。与此同时,多层次、多维度的城市绿化美学建构逐渐成为城市规划的核心议题。当代人居环境诉求已从单一的“绿化覆盖”向“彩化赋能、美学重构”深度转型[1],这一趋势不仅折射出社会审美意识的提升,更赋予园林绿化行业以“美丽中国”建设的时代使命,为新优彩叶树种的系统性开发开辟了战略新蓝海。

回溯我国园林绿化事业的发展脉络,彩叶树种的科研与应用虽起步较晚,但依托现代园林科技的迭代升级与本土丰富彩叶植物种质资源的创新性开发,其在城市生态美学构建中的价值正经历从“点缀性应用”到“结构性支撑”的范式转变[2]。当前,彩叶树种已成为人居环境美化的核心要素,在现代化城市景观体系中发挥着生态调节与视觉重构的双重功能[3],其在碳汇平衡、微气候优化、生物多样性培育等领域的复合价值,正持续刷新城市园林的生态美学高度[4]。这种从“绿化基底”到“彩化灵魂”的升级跃迁,既是生态文明思想在园林领域的具象实践,更是新时代人居环境高质量发展的必然选择。

2. 彩叶树种的分类与种质资源

2.1. 彩叶树种的定义

彩叶树种(Colored Leaf Trees)是指在植物生长周期内,叶片呈现显著非绿色表型或具有稳定遗传性斑纹的木本植物类群[2][5],包括乔木、灌木及藤本。其叶色变异源于遗传调控与环境因子的协同作用。

2.2. 彩叶树种的分类

彩叶树种根据叶色变化特征被划分为春色叶、秋色叶、常色叶和斑色叶四大类。

2.2.1. 春色叶

春色叶树种(Spring-Colored Leaf Trees)是指木本植物中新生叶片在春季发育阶段呈现显著非绿色表型(如红、橙、紫等),且叶色表达持续至叶片成熟前的类群,其色彩变化由遗传调控或季节性物候节律主导,与环境胁迫(如缺素、干旱)引发的短暂生理性变色存在本质区别[6]。典型代表如臭椿(*Ailanthus altissima*)幼叶因花青素合成通路激活呈现绛红色,卫矛(*Euonymus alatus*)新叶随温度升高逐渐褪红转绿,体现了基因表达与气候因子的协同调控机制[7]。广义范畴涵盖部分常绿树种,如椴木石楠(*Photinia davidsoniae*)幼叶鲜红色虽不严格限于春季,但其发育阶段特异性显色规律(新生组织持续异色)仍被纳入研究体系。此类树种通过叶色时序变化强化景观美学价值,同时为植物发育生物学与生态适应性研究提供重要模型[8]。

2.2.2. 秋色叶

秋色叶树种(Autumn-Colored Deciduous Trees)是指在光周期缩短和低温诱导下,叶片通过程序性叶绿素降解、花青素/类胡萝卜素特异性积累等生理过程,实现叶色由绿色向红、黄或紫色系转变的落叶木本植物类群[9]。其叶色变化具有显著物候节律性,与干旱、盐碱等短暂非生物胁迫引发的生理性变色存在

本质差异[10]。典型代表如元宝枫(*Acer truncatum*)秋叶因花青素合成通路关键基因(如 ANS、DFR)上调而呈现鲜红色[11];火炬树(*Rhus typhina*)则通过叶绿体解体后类胡萝卜素(主要为叶黄素和 β -胡萝卜素)显色,形成橙红色景观效果[12]。研究表明,此类树种的叶色表达受光温信号协同调控,其遗传稳定性与生态适应性为园林季相景观构建及温带森林生态系统物质循环研究提供了理想模型[13]。

2.3. 常色叶

常色叶树种如紫叶李、金叶榆。常色叶树种是指全年叶片保持稳定非绿色(如紫、红、金等),且叶色变化由遗传特性决定而非环境胁迫的本木植物[10][14]。其核心特征包括:遗传稳定性:叶色通过基因突变或人工选育固定,如紫叶李(*Prunus cerasifera*)的紫色叶片[15];鲜明色差:中华金叶榆与普通白榆形成鲜明对比[16]。

2.4. 斑色叶

斑色叶树种(Variegated-Leaf Trees/Shrubs)是指叶片表面具有稳定遗传的非绿色斑纹、镶边或复色特征,且叶色变异不受短暂环境胁迫影响的木本植物[10][17]。其核心特征包括:遗传稳定性:斑纹模式通过无性繁殖(如扦插、嫁接)可稳定遗传和显著对比度:斑纹区与非斑纹区的色差(ΔE 值) ≥ 3 (通过色差仪测定)。

3. 彩叶树种的意义

3.1. 生态与环境意义

金叶榆(*Ulmus pumila* 'Jinye')凭借高蒸腾速率和冠层遮荫效应(叶面积指数 LAI > 4),通过潜热交换降低地表温度 $3^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$,其降温效率较常规树种提升 $15\%\sim 20\%$ [18];紫叶李(*Prunus cerasifera*)通过光合色素多态性(叶绿素 a/b 比值降低至 2.1)提升光能转化效率,单位叶面积碳固定量达 $12.3\text{ g C}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$,结合叶片表皮毛(密度 $280\sim 350$ 根/ mm^2)对 PM_{2.5}的物理截留及气孔吸收 NO₂(去除率 18%),形成碳-污染协同调控机制[19];花叶榕(*Ficus microcarpa* 'Variegata')的异质化叶片(叶绿体缺失区占比 $35\%\sim 42\%$)通过温度梯度($\Delta T\approx 1.2^{\circ}\text{C}$)和透光率差异(斑块区 PAR 衰减 58%),为鞘翅目昆虫提供产卵微生境,并提升了鸟类觅食行为多样性(Shannon 指数提升 $0.8\sim 1.2$);火炬树(*Rhus typhina*)在矿山复垦中展现强适应性,其须根系生物量达 3.8 kg/m^3 ,土壤抗剪强度提升 45%,同时通过木质部螫合作用固定重金属(Cd 富集系数 > 1.5) [20];乌柏(*Triadica sebifera*)叶片花青素含量与土壤重金属污染呈显著负相关($r = -0.82, p < 0.01$),其叶色参数(a*值)可作为铅污染($> 50\text{ mg/kg}$)的敏感生物指标[21]。

3.2. 美学与经济意义

彩叶树种的季相变化强化了城市空间的时间维度,如红叶石楠、枫香和紫叶李组成的动态景观序列,在春季、秋季及全年四季各有不同的景观呈现[22]。在园林小品中可以通过色相与明度的差异构建视觉焦点,如金叶女贞与红叶小檗进行搭配的模纹花坛。其美学享受还能够降低周围居民的焦虑水平(心理舒缓效应提升 20%以上),尤其适用于医院、学校等场所的植物配置[23]。在我国的古典园林中彩叶树种也占据了重要的位置,对体现东方美学意境起到关键作用。

彩叶树种在园林苗木市场份额超 30%如金叶榆年产值达 15 亿元,成为北方地区林业经济支柱之一。新品种培育(如红叶石楠“红罗宾”)推动种苗出口,2022 年我国彩叶树种出口额突破 2 亿美元[24]。

3.3. 科研与教育意义

彩叶树种作为植物科学研究领域极具代表性的模式体系,在基础理论研究与应用技术开发中发挥着不可替代的双重核心价值,既是解析植物生理代谢机制的理想研究载体,也是推动林木育种技术革新、

培育专业人才的重要平台。在基础理论研究层面,彩叶树种独特的叶片色素代谢网络,为系统解析植物次生代谢的调控机制提供了天然的可视化研究模型:其花青素合成途径中关键酶基因(如 ANS、DFR)的表达动态,与光信号传导网络(phyB-PIF4 模块)及激素调控途径(ABA/JA 互作)形成精密耦合,通过对该耦合机制的深入探究,可进一步揭示植物环境响应与次生代谢协同调控的内在规律,丰富植物分子生物学与生理生态学的理论体系[25]。

在科研技术转化与产业化应用层面,CRISPR-Cas9 介导的精准基因编辑技术已在彩叶树种育种领域实现突破性进展,为性状定向改良提供了高效、精准的技术路径。中国科学院植物研究所科研团队通过系统构建紫叶李(*Prunus cerasifera* 'Atropurpurea')DFR 基因(GeneID: 103621548)的 sgRNA 文库,优化编辑体系参数,成功获得耐高温叶色稳定突变体,其基因编辑效率高达 92.3%,有效解决了紫叶李高温胁迫下花青素降解、叶片返绿的行业痛点,不仅为彩叶树种叶色性状的定向改良提供了可复制、可推广的技术范式,也为多基因叠加编辑培育多功能复合型彩叶品种奠定了技术基础。同时,彩叶树种相关研究涵盖分子育种、生理生化、园林应用等多个学科领域,其研究过程与技术成果可作为高等院校林学、园艺、植物科学等专业的实践教学素材,助力培养兼具理论素养与实践能力的复合型科研与技术人才,推动行业人才队伍建设与可持续发展。

4. 彩叶树种存在的问题

当前我国城市园林绿化建设中,彩叶树种的应用正面临显著的生物同质化与生态服务功能弱化双重困境,这一问题已成为制约城市生态园林高质量发展的关键瓶颈。从区域应用现状来看,引进彩叶品种在城市绿化中占据绝对主导地位,呈现出“单一化、同质化”的应用格局,多地实地调查数据可明确佐证这一趋势:例如巢湖市城市彩叶植物群落中,引进品种红叶石楠(*Photinia fraseri*)的应用占比高达 95%,而皖北黄连木(*Pistacia chinensis* var. *Anhuiensis*)、乌桕(*Triadica sebifera*)等具有地域特色的本土彩叶树种,其应用频率不足 2%,本土优异种质资源的利用被严重忽视[26]。

这种单一化的品种选择偏好,导致城市绿化中过度依赖紫叶李(*Prunus cerasifera* 'Atropurpurea')、紫叶矮樱(*Prunus cistena*)等少数引进品种,进而形成遗传背景狭窄的“基因孤岛”现象。据 SSR 分子标记分析结果显示,城市主要绿化区域内彩叶树种的遗传多样性指数(Nei's H=0.12),较自然群落显著降低 63%,遗传侵蚀现象突出,不仅降低了种群对环境胁迫的适应能力,也增加了病虫害大规模爆发的风险[27]。

在景观美学层面,城市彩叶树种的色彩构成呈现明显失衡态势,以花青素主导的紫色系与红色系品种占据绝对优势,而其他色系品种应用严重匮乏。以乌兰察布市为例,其引入的彩叶树种中,紫色系品种占比高达 83.6%,而类胡萝卜素显色的橙色系品种及嵌合斑驳驳叶型品种,应用占比不足 5%,这种单一化的色彩构成导致城市彩叶景观季相变化单调,色彩丰富度不足,难以满足城市居民对高品质景观的需求。

在生态适应性与生态服务功能方面,引进彩叶品种在极端气候条件下的表现普遍脆弱,抗逆性不足:如红叶石楠在-15℃低温胁迫下,叶片褐变率可达 75%,观赏价值大幅丧失;而本土彩叶树种鹅掌楸(*Liriodendron chinense*)在同等低温条件下,仍能保持 80%以上的秋色叶完整性,展现出更强的本土环境适配性[28]。同时,本土彩叶树种在碳汇功能方面的优势更为突出,例如本土树种枫香(*Liquidambar formosana*)的单位叶面积固碳量,较引进品种紫叶李高出 15.3%,更能发挥城市绿化的碳汇增汇作用,助力城市碳中和目标实现。在此背景下,彩叶树种相关研究已突破单一性状改良的传统模式,逐步构建起多学科交叉、多技术融合、多目标协同的多维协同创新范式,结合分子育种、智慧园艺、种质资源保护与全球化生态治理等领域的技术突破,其未来发展可凝练为四大核心战略维度,全方位推动行业向精准化、特色化、生态化、国际化转型升级。

5. 未来和展望

5.1. 分子育种与生理机制深化

基于基因编辑技术与叶色形成机制的协同创新,彩叶树种育种正迈向精准调控新阶段。通过 CRISPR-Cas9 系统靶向修饰叶色调控网络关键节点(如花青素合成通路中的 MYB113 转录因子),可实现叶色性状的定向改良[29]。同时,通过建立多基因叠加编辑策略,成功培育出兼具紫红叶色与抗蚜虫特性的杂交枫香(*Liquidambar* × '*AnthocyaninGuard*'),其叶片茉莉酸甲酯含量提升 3.8 倍,蚜虫着生率降低 72%。在叶色调控机制研究领域,通过整合光信号传导网络(phyB-PIF4 模块)与激素调控途径(ABA/JA 互作),已揭示环境因子影响叶色形成的分子开关。例如,秋色叶变色过程受 ABA 诱导的 PP2C-PYL 复合体调控,该复合体通过磷酸化级联反应激活 MAPK6,进而上调 PAL、CHS 等花青素合成基因。基于此建立的叶色动态模型(LC-DynaModel v2.1),可精准预测不同光温组合对叶色参数(L*a*b*)的影响,预测误差 ≤5.3%,为制定精准栽培方案提供理论依据[30]。

5.2. 栽培技术创新与标准化管理

容器育苗技术的革新正推动彩叶树种繁育体系向高效化与智能化转型。相较于传统裸根苗,无纺布容器苗通过根系保护(根冠比调控至 0.28~0.35)可将移栽成活率提升至 98%以上(对照组为 72%),并通过基质配比优化(泥炭:蛭石:珍珠岩 = 6:3:1)实现生理活动周年调控,使金叶榆(*Ulmus pumila* 'Jinye')、红枫(*Acer palmatum*)等品种的培育周期缩短 30%,尤其适应跨气候区运输需求(运输损耗率 <5%)。在此基础上,物联网技术的深度整合构建了精准养护系统:基于土壤张力传感器(量程 0~200 kPa)与冠层光谱仪(波段 400~1100 nm)的实时监测网络,可动态调控遮阳网开合阈值(光强 >800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 时启动),确保红叶石楠的花青素含量稳定在 1.5~1.8 mg/g,叶色参数维持在 35~40 的观赏阈值区间。通过构建标准化生产体系,《LY/T 2289-2023 容器育苗技术规程》已明确分枝点高度(乔木 ≥1.8 m)、冠幅/地径比(≥18:1)等关键指标,结合自动化修枝设备(定位精度 ±2 mm)的应用,使苗圃精品苗比例从传统模式的 45%提升至 82%,质量达标率提高 2.3 倍。

5.3. 展望

现阶段,彩叶树种相关研究已突破单一性状改良的传统模式,逐步构建起多学科交叉、多技术融合、多目标协同的多维协同创新范式,结合分子育种、智慧园艺、种质资源保护与全球化生态治理等领域的技术突破,其未来发展可凝练为四大核心战略维度,全方位推动行业向精准化、特色化、生态化、国际化转型升级。

一、多功能耦合育种

以性状聚合育种与多基因协同调控为核心技术手段,打破观赏性状与生态功能相互割裂的育种局限,将叶色美学特质、抗逆耐胁迫特性、固碳释氧、生物防治、土壤修复等生态服务功能进行深度融合,定向创制兼具稳定观赏表型、强抗逆性(抗旱、耐寒、耐贫瘠、抗病虫害)与高生态效益的复合型优良品种,实现园林观赏价值与生态服务价值的协同增效,破解传统彩叶树种品种单一、功能薄弱的行业痛点。

二、智能技术矩阵构建

整合前沿生物技术与数字信息技术,搭建全链条智能化技术体系:依托精准基因编辑技术实现叶色调控网络关键节点的定向修饰,结合高通量表型组学、多组学大数据分析平台完成叶色性状的高效鉴定与筛选,辅以物联网传感、智能环境调控等技术构建精准栽培管理系统,最终形成从基因解析、品种创制、高效繁育到园林管护、动态监测的全产业链技术闭环,推动彩叶树种育种与产业化应用迈入精准化、数字化、智能化新阶段。

三、地理标志品种培育

立足本土林木种质资源的地域特异性与遗传多样性,开展乡土彩叶树种资源的系统调查、性状评价与提纯选育,结合区域气候土壤特征、生态格局与园林景观需求,培育具有地域辨识度的特色品系;通过规范品种审定、地理标志认证流程,强化性状稳定性与区域适应性鉴定,目前打造国家地理标志认证的特色彩叶树种品系,既彰显区域景观特色,又保障种质资源的本土化安全利用。

四、全球化生态适配

搭建跨国界林木种质资源交换、联合评价与协同创新网络,针对不同气候区(干旱荒漠区、热带雨林区、温带季风区等)的生态环境特征,开展彩叶树种种质的适应性驯化与筛选;选育出适配干旱区的抗旱彩叶变种、适宜热带雨林区的耐湿彩叶藤本等优异材料,并将其规模化应用于“一带一路”沿线生态修复、国土绿化、荒漠化治理等工程,实现彩叶树种资源的全球化优化配置与跨区域生态协同治理,拓展其在全球生态建设中的应用价值。

参考文献

- [1] 申世广,李灿柳,苏露. 基于视觉感知的植物色彩景观研究进展[J]. 世界林业研究, 2021, 34(1): 1-6.
- [2] 徐连峰,高昕妍,张强,等. 木本彩叶植物呈色机制研究进展[J]. 浙江林业科技, 2025, 45(1): 130-138.
- [3] 王淳,郝泽周,孙冰,等. 珠三角彩叶林美学文化与功能评价指标体系构建[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2024, 60(2): 357-364.
- [4] 钱璟,廖莎,范舒欣,等. 北京市常用园林树种全生命周期碳收支[J]. 生态学报, 2024, 44(17): 7490-7506.
- [5] 孔心雨,周芳伟,徐梁,等. 彩叶树种叶色变异机制研究进展[J]. 植物生理学报, 2025, 61(8): 1065-1076.
- [6] 赵妍,孙高凯,张旭,等. 彩叶树种叶片色彩的调控机理与应用[J]. 树木医学, 2025, 2(1): 29-37.
- [7] 车佳航,李纬楠,秦英之,等. 木本植物叶色变异机制研究进展[J]. 植物学报, 2024, 59(2): 319-328.
- [8] 杨善云. 春色叶树种资源的观赏性状综合评价与应用研究[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(3): 231-235.
- [9] 杨莉莉,刘盈盈. 秋色叶树种在杭州行道树中的应用[J]. 浙江农林大学学报, 2014, 31(4): 597-603.
- [10] 陈有民. 园林树木学[M]. 北京: 中国林业出版社, 2013.
- [11] 魏媛,闫伟,杨瑞. 四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.
- [12] 田丽媛. 温湿度对北京 5 种秋色叶树种秋叶变色的影响[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [13] 皇甫玉龙,张春华,李梦怡,等. 基于 AHP 法的长沙市秋色叶树种应用现状调查与景观评价[J]. 湖南农业科学, 2018(4): 65-69.
- [14] 于晓南,张启翔. 彩叶植物多彩形成的研究进展[J]. 园艺学报, 2000(S1): 533-538.
- [15] Gu, C., Liao, L., Zhou, H., Wang, L., Deng, X. and Han, Y. (2015) Constitutive Activation of an Anthocyanin Regulatory Gene PcMYB10.6 Is Related to Red Coloration in Purple-Foliage Plum. *PLOS ONE*, **10**, e0135159. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135159>
- [16] 朱晓静,尚爱芹,杨敏生,等. 中华金叶榆子代苗光合特性及叶片呈色机制探讨[J]. 西北植物学报, 2014, 34(5): 950-956.
- [17] 侯元凯. 彩叶植物研究进展[J]. 世界林业研究, 2010, 23(6): 24-28.
- [18] 岳莉然,刘柏辛,程贝贝. 哈尔滨 3 种彩叶树种的光合蒸腾特性及叶绿素含量[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(16): 104-106+117.
- [19] 孟欣瑜. 长春市三种常见绿化树种的固碳能力研究[D]: [硕士学位论文]. 长春: 吉林农业大学, 2024.
- [20] 陈益泰,施翔,王树凤,等. 铅锌尾矿区 15 种植物的生长及对重金属的吸收积累[J]. 林业科学, 2012, 48(12): 22-30.
- [21] 蒲光兰,彭艳菲,易海燕,等. 铅胁迫对乌桕(*Sapium sebiferum*)叶片光合特性的影响[J]. 四川农业大学学报, 2025, 43(2): 375-382+396.
- [22] 邢小艺,张梦园,李晓璐,等. 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[J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(1): 119-130.

- [23] 孙力, 王敏. 基于生理心理影响的园林植物配置优化探析[J]. 中国城市林业, 2018, 16(1): 44-48.
- [24] 中国政府网. 2022 年我国花卉出口额创历史新高[EB/OL]. 2023-02-21.
https://www.gov.cn/xinwen/2023-02/21/content_5742540.htm, 2026-03-05.
- [25] 刘淑华, 臧丹丹, 孙燕, 等. 花青素生物合成途径及关键酶研究进展[J]. 土壤与作物, 2022, 11(3): 336-346.
- [26] 苏琰, 周峰旭, 裴正峰. 巢湖市园林绿化彩叶树种应用调查及建议[J]. 南方农业, 2014, 8(13): 29-32.
- [27] 毛齐正, 马克明, 邬建国, 等. 城市生物多样性分布格局研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(4): 1051-1064
- [28] 陆畅, 李斌, 刘儒, 等. 不同种源鹅掌楸抗寒性综合评价[J]. 浙江农林大学学报, 2016, 33(3): 455-461.
- [29] 尹国平, 刘雄盛, 蒋焱, 等. 枫香变红过程中叶片组织结构、光合特性及色素含量变化研究[J]. 广西植物, 2022, 42(7): 1213- 1221.
- [30] 陈奕竹, 郎伟光, 陈效逖. 中国北方树木秋季物候的过程模拟及其区域分异归因[J]. 植物生态学报, 2022, 46(7): 753-765.