

DOI:10.14188/j.ajsh.20240725001

中国泡桐育种及栽培技术研究进展

李玲^{1,2}, 庞宏东², 黄颖², 王瑞文²

- (1. 黄冈师范学院 经济林木种质改良与资源综合利用湖北省重点实验室/大别山特色资源开发湖北省协同创新中心, 湖北 黄冈 438000;
2. 湖北省林业科学研究院, 湖北 武汉 430075)

摘要: 泡桐是中国重要的速生树种, 广泛应用于生态、工业、农业和绿化方面。综述了中国泡桐在种质资源收集与分类、常规育种、多倍体育种、分子育种等育种技术, 有性繁殖、无性繁殖等繁殖技术及修枝接干、密度控制、施肥等栽培技术方面的研究进展。在此基础上, 提出目前存在种质资源鉴定及评价未成系统, 遗传改良进程缓慢等方面问题, 进一步提出下一步应开展种质资源系统性鉴定和评价、构建核心育种群体和高世代育种群体、建立高效栽培技术体系等方面研究, 以期为中国泡桐产业种质创制及栽培利用提供参考。

关键词: 泡桐; 种质资源; 育种; 栽培技术

中图分类号: S722.3

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2025)01-0030-10

Progress in breeding and cultivation techniques of *Paulownia* in China

LI Ling^{1,2}, PANG Hongdong², HUANG Ying², WANG Ruiwen²

- (1. Hubei Key Laboratory of Economic Forest Germplasm Improvement and Resources Comprehensive Utilization, Hubei Collaborative Innovation Center for the Characteristic Resources Exploitation of Dabie Mountains, Huanggang Normal University, Huanggang 438000, Hubei, China;
2. Hubei Academy of Forestry, Wuhan 430075, Hubei, China)

Abstract: *Paulownia* is an important fast-growing tree species in China, widely used in ecology, industry, agriculture, and greening. This paper reviews the research progress of the collection and classification of the germplasm resources, conventional breeding, polyploid breeding and molecular breeding of the breeding technique, sexual and asexual reproduction of the propagation technique and pruning, density control and fertilization of the cultivation techniques of *Paulownia* in China. On this basis, it is proposed that there are currently problems such as incomplete identification and evaluation of germplasm resources, slow genetic improvement process. It is further suggested that the next step should be to carry out systematic evaluation of germplasm resources, construct core breeding population and high generation breeding population, establish efficient cultivation technology system. This paper provides reference for the development of *Paulownia* industry in China.

Key words: *Paulownia*; germplasm resource; breeding; cultivation technology

0 引言

泡桐 (*Paulownia fortunei*) 为玄参科 (Scrophula-

riaceae) 泡桐属 (*Paulownia*) 落叶乔木。具有速生、材质优良、易繁殖、抗干旱、耐盐碱等特点, 还具有抑

收稿日期: 2024-07-25 修回日期: 2024-11-28 接受日期: 2025-02-12

作者简介: 李玲 (1980-), 女, 副研究员, 研究方向为森林培育, E-mail: 45630761@qq.com

* 通讯联系人: 王瑞文 (1985-), 女, 助理研究员, 研究方向为经济林木育种, E-mail: 258016496@qq.com

基金项目: 经济林木种质改良与资源综合利用湖北省重点实验室, 大别山特色资源开发湖北省协同创新中心开放基金项目 (202140504); 湖北省中央引导地方科技发展专项“优良乡土树种种质创新及应用” (2024CFA019)

引用格式: 李玲, 庞宏东, 黄颖, 等. 中国泡桐育种及栽培技术研究进展 [J]. 生物资源, 2025, 47(1): 30-39.

Li L, Pang H D, Huang Y, et al. Progress in breeding and cultivation techniques of *Paulownia* in China [J]. Biotic Resources, 2025, 47(1): 30-39.

菌、消炎、抗病毒、抗氧化等药用价值^[1],在工、农业和生态绿化方面应用广泛^[2-3]。泡桐作为重要的速生、绿化、生态树种,开展其种质资源利用、良种选育、栽培技术方面研究不仅能丰富泡桐品种类型,促进泡桐产业可持续发展,也能丰富中国生态树种类型。国内学者在泡桐种质资源收集、育种、栽培等方面开展了大量研究,但综述性文章较少。

本文在查阅大量相关文献的基础上,对泡桐种质资源、良种选育、栽培技术等方面的研究成果进行总结比较,并对目前研究中存在的问题和今后研究的重点进行分析与讨论,以期泡桐产业更好发展提供理论基础和参考依据。

1 种质资源

1.1 地理分布及物种分类

泡桐原产中国,后被引种到世界多国。在中国主要分布于北纬20~40°,东经98~125°,分布区遍布23个省(市)、自治区。在海拔1200 m以下,年降水400~500 mm,日均温在24~29 °C的山地、丘陵、岗地、平原生长良好。长江中下游流域为泡桐南、北种的交汇处或汇集区,湖北省鄂西地区是中国泡桐的分布中心、多度中心、多样化中心、次生起源中心^[4]。

高遗传多样性、连续性的性状变异和差异性的种间杂交类群,造成了泡桐种间关系异常复杂。学者对种群划分及种间关系开展了研究。根据不同分类依据,先后将泡桐分成了9种、4变种、4变型及11种、2变种、6变型^[5-6]。对除华东泡桐(*P. kawakamii*)和毛泡桐 [*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud.]外的11个种进行比较分析,表明白花泡桐(*P. fortunei*)、川泡桐(*P. fargesii*)、楸叶泡桐(*P. catalpifolia*)是原始种,南方泡桐(*P. australis*)和台湾泡桐(*P. ahawakamii*)应合为1种并将南方泡桐作为异名^[7]。近年来,在河南和江西泡桐种质资源圃中发现了2个新种^[8]。

泡桐由于分布广泛,分化并产生形态、生理各异的不同种源,加上种间杂交和反复回变,出现了大量表型过渡性杂种群集、变种;同时存在同物异名、名称混乱的问题,泡桐的分类及种间关系还未有定论^[9]。利用分子手段对泡桐属种质资源分类、种间、变种间亲缘关系进行精准鉴定,为泡桐系统分类和遗传育种提供更可靠的理论依据迫在眉睫。

1.2 种质资源收集

种质资源调查是泡桐基础研究的重要组成部分,系统地收集、评价及利用各地泡桐资源,能为泡

桐资源保护、优株选育、杂交育种提供丰富资源。

河南农学院、中国林科院林研所于20世纪70年代从全国100多个县、市共收集种质资源3000多份,选出优树885株,建立6处异地种质资源保存林,在不同气候区建立5个大型泡桐基因库。据相关报道,近年来中国科学院广西植物研究所共收集并离体保存分布在广西的白花泡桐100多个株系。中国林业科学研究院经济林在原阳、孟州两个长期科研基地保存包括泡桐种质资源在内的经济林木资源5000余份,审(认)定经济林泡桐良种70余个。安徽、湖北分别营建了铜陵泡桐种质资源库和钟祥市盘石岭林场泡桐省级林木种质资源库。

1.3 种质资源利用

近年来,研究人员利用随机扩增多态性DNA (random amplified polymorphic DNA, RAPD)、限制性内切酶片段长度多态性 (restriction fragment length polymorphism, RFLP)、简单序列间重复 (inter-simple sequence repeat, ISSR)、扩增片段长度多态性 (amplified fragment length polymorphism, AFLP) 及荧光扩增片段长度多态性 (FISH-AFLP) 等分子标记对泡桐属种质资源开展了遗传测定及分类方面研究。利用RAPD、ISSR、FISH-AFLP技术对泡桐属不同种质资源进行遗传多样性分析及测定,多态性在70.79%~98.89%^[10-12]。利用RFLP对泡桐叶绿体DNA进行分析,可将泡桐材料分成南方泡桐、毛泡桐和白花泡桐3个组^[13]。利用UPGMA法可将泡桐属21份种、变种及变型材料分成毛泡桐组、白花泡桐组和川泡桐组3大组,地理分布较近的种质聚类在一起,亲缘关系密切。白花泡桐的遗传基础较宽,遗传变异主要来源于种源内的个体间,种源间的遗传距离与地理距离相关性不显著,这与其他学者利用AFLP对白花泡桐种源遗传多样性的分析结果一致^[14-15]。以上研究结果不尽相同,虽不能很好地解决泡桐属内部深层次的系统发育关系,但也可为泡桐分子标记辅助育种奠定基础。

2 育种研究

2.1 常规育种

中国泡桐良种选育始于21世纪70年代,主要以优树选择、天然实生苗选优及杂交育种为主。优树选择方面,福建省在90年代选出抗性强、生长快、干形好的T001、T002和T003三个优良无性系。从白花泡桐种源中筛选出广西南宁种源、湖南常德种源、湖南邵阳种源、湖南张家界种源和广西梧州种源5个优良种源和13株优良单株^[16]。利用多性状指数

方程,筛选出适宜在南方低山丘陵区栽植的白花泡桐优良无性系3个^[17]。利用白花泡桐、兰考泡桐(*Paulownia elongata* S. Y. Hu)优树根段扩繁成无性系,选出了速生、抗病性强、自然接干率高、材质优良的BH14、ZH65无性系^[18]。依据生长量、分枝长与分枝角3个性状选育出C001-2、毛白-1两个适用农田林网造林的泡桐优良无性系^[19]。

杂交领域的研究主要集中在杂交策略、子代表型变异、遗传多样性、无性系选育等方面。毛泡桐种源1~2年生时的胸径可预测9年生各观测性状的育种值,最佳线性预测、最佳线性无偏预测方法都可预测育种值^[20]。北方桐区主要进行毛泡桐×白花泡桐杂交,结合实生选种,选育出了‘豫杂1号’‘桐杂一号’‘陕桐3号’‘陕桐4号’‘苏桐19号’‘毛白33’等毛白F₁杂种无性系。南方桐区以优树实生选种和优树无性系利用为主,以种内类型、种源间杂交为辅选育优良无性系。另外从白花泡桐天然杂交种选育出‘豫选一号’‘豫林一号’‘桐选一号’‘桐优1号’‘C001’‘苏桐70’等优良无性系;从毛泡桐天然杂交种中选育出‘C161’优良无性系^[21]。

影响12年生毛白杂种F₁代优良无性系杂种优势的主要因素是接干因子;毛泡桐×白花泡桐杂种无性系干形遗传改良的关键和瓶颈是通直度性状的遗传改良^[22]。白×兰和毛×白2个杂交组合的杂交子代在杂交优势、遗传变异系数、自然接干、广义遗传力遗传增益等方面没有本质性差别,2个杂交组合具有同等重要的杂交育种意义^[23]。毛泡桐×兰考泡桐F₁无性系的适应性优于毛泡桐×白花泡桐F₁无性系^[24]。泡桐不同种间杂交后代花序长、花序宽及花序分枝角度等诸多花性状受遗传控制较强。花序和果实特征可以作为泡桐杂种分析的主要因素^[25]。

2.2 多倍体育种

多倍体植株具有抗逆能力强、生物量增加、巨大性、不育性等优点。在泡桐多倍体诱导方面,国内学者利用化学、物理方法处理种子、叶片及组培苗,成功获得了兰考泡桐、毛泡桐、白花泡桐、南泡桐(*Paulownia australis* Gong Tong)、9501泡桐、豫杂一号同源四倍体^[26-30]。用不同质量浓度的秋水仙素处理楸叶泡桐组培叶片、毛泡桐、9501泡桐叶片均可获得四倍体,四倍体诱导率最高达21.2%。同源四倍体幼苗叶片及其单气孔器较二倍体变大,气孔密度变小,叶绿素含量和超氧化物歧化酶(SOD)活性升高,过氧化物酶(POD)、丙二醛(MDA)降低^[31-32]。5年生四倍体毛泡桐截干再生苗能很好地保持其多倍

体倍性,气孔增大,光合速率增大^[33]。四倍体泡桐叶片的净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)等光合因子的日变化规律相同,材积与胸径正相关性显著,与树高相关性不显著^[34]。四倍体泡桐丰富了泡桐种质资源,扩大了泡桐的遗传背景,为培育更多更好泡桐新品种和泡桐产业快速发展奠定了坚实基础。

2.3 分子育种

基于筛选到的单核苷酸多态性(single nucleotide polymorphism, SNP)位点对由毛泡桐和白花泡桐为亲本,连同正反交获得的181个F₁代个体构成的作图群体进行基因型分析,构建了高密度的连锁遗传图谱^[35]。利用基于酶切的简化基因组(restriction-site associated DNA tags, RAD)测序技术构建了一张含20个连锁群的泡桐F₂群体高密度遗传连锁图谱^[36]。基于全基因组重测序技术(western graduate research scholarship, WGRS)开发的SNP标记测算出泡桐11个桐种种间的遗传距离为0.15~0.59,毛泡桐与白花泡桐的遗传距离最大为0.59,宜昌泡桐(*P. ichangensis*)与山明泡桐(*P. lamprophylla*),鄂川泡桐(*P. albiphloea*)与山明泡桐的遗传距离最小,均为0.15^[37]。利用把基因序列分成大小为k的短片段(k-mer)分析的方法,估算出兰考泡桐、山明泡桐、鄂川泡桐、南方泡桐川泡桐、白花泡桐、毛泡桐、台湾泡桐和楸叶泡桐的基因组大小范围为552~1 017 M^[38]。

泡桐丛枝病(PaWB)是一种严重的泡桐病害,会导致泡桐幼树死亡、大树生长缓慢。学者们从分子机理方面对丛枝病开展了一些系列研究。利用全甲基化测序技术系统分析了泡桐丛枝病发生过程中甲基化的变化情况,并通过DNA甲基化和转录组关联分析,筛选出与泡桐丛枝病发生相关的关键调控基因^[39]。运用生物信息学方法全面分析了白花泡桐核酸结合寡聚结构域样受体(NLR)家族成员,筛选出与抗丛枝病相关的基因^[40]。丛枝病树的枝和根中均含有植原体,但只有地上部表现出丛枝病症状^[41]。抗丛枝病母树与子代苗期叶毛特征具有相关性,根据这一点选择抗病苗木直接造林或采集抗丛枝病母树的部分根繁殖成无性系,大大缩短了育种周期^[42]。以上研究从分子水平上探究泡桐属植物性状遗传、抗病性等生物学问题并提供重要基础数据。

3 繁殖技术

20世纪七八十年代,泡桐主要繁殖方式为实生苗繁殖,但实生苗存在个体间分化严重、低产植株比例大等问题。为了保证优良性状的稳定遗传,1972

年开始,国内开展了泡桐茎插、根繁、组培等无性繁殖技术的深入研究^[43]。

国内学者针对泡桐扦插及嫁接生根率、成活率、老龄化问题开展了一系列研究。2年生楸叶泡桐树冠嫩枝扦插,30 d时生根率不高,只有50%左右^[44]。用ABT1号生根粉处理白花泡桐优树嫩枝1 h,生根率仅为29.23%;处理‘毛白33’泡桐一年生带顶芽嫩枝,插穗生根率、成活率可达85.2%和77.8%^[45-46]。老龄优树材料成熟化效应是泡桐优树无性繁殖面临的问题,反复平茬可以减弱成熟效应。用一年生泡桐反复平茬获得的嫩枝进行扦插,生根率、成活率达到80%和70%以上^[47]。用‘毛白33泡桐’反复平剪获得的当年生嫩枝为插穗,在控温控湿条件下,生根率、成活率可分别达84%、90%,但对温度湿度要求比较高,不能大面积推广^[48]。泡桐嫁接方面的研究较少。早春采用劈接方式嫁接,嫁接成活率、成苗率分别达95%及90%以上,但受老龄的成熟化效应影响,在生长指标及干性方面与实生苗仍存在较大差异^[49]。以上研究成果一定程度上提高了泡桐扦插生根率和成活率,但是规模化繁殖技术还未成熟,老龄树进行嫩枝扦插、嫁接仍面临成熟效应的问题,这些都在一定程度上限制了泡桐产业的发展。

泡桐组培的技术路线大部分以茎段、叶片为外植体,诱导愈伤组织再诱导丛生芽再诱导生根。‘9501泡桐’、毛泡桐、兰考泡桐、白花泡桐初代诱导培养基常以MS为基本培养基附加6-苄基腺嘌呤(6-BA)、细胞分裂素(BA)、萘乙酸(NAA),不同品种不同外植体所适合的生长调节物质不同。目前以毛泡桐、兰考泡桐、白花泡桐、9501泡桐、楸叶泡桐的茎段和叶片为材料,建立其器官高效再生系统^[50-52]。毛泡桐、白花泡桐叶片的体细胞胚胎发育能力均高于茎段^[53]。白花泡桐老龄优树组培,受成熟化效应影响,难度很大。以33年树龄的‘白优2号’白花泡桐外植体初代培养萌发的嫩芽为接穗,‘建始桐3号’为砧木,进行劈接嫁接,再进行继代、增殖,可缓解老龄优树组培的成熟化效应^[54]。

四倍体组培方面,摸清了四倍体兰考泡桐、白花泡桐幼苗叶片愈伤组织诱导和愈伤组织芽诱导的最适培养基^[55]。甲基磺酸甲酯(MMS,DNA甲基剂)和5-氮胞苷(5-Aza,DNA去甲基剂)对同源四倍体毛泡桐叶片体外植株再生有抑制作用,质量浓度升高时,MMS对叶片芽和根诱导的抑制作用均小于5-Aza^[56]。24 h的光照可促进泡桐叶片芽的诱导;不适宜的光周期对白花泡桐和毛泡桐幼芽生根的抑制

作用大于兰考泡桐^[57]。

4 栽培技术

泡桐存在顶芽不能越冬、冠大干低、干性差等问题,针对上述问题国内学者集中开展了泡桐顶芽的耐寒性、人工接干、栽培密度等方面研究。

温度控制在18℃以上、24 h连续光照可以实现泡桐连续高生长^[58]。温度是影响顶芽失水率的主要因子,10月下旬至11月下旬对兰考泡桐苗木平埋40 cm以下,顶芽不裸露可以保护顶芽越冬^[59]。泡桐生长过程中牺牲顶芽与侧芽1是为了延长生长期,而不是由于冬季寒冷冻死的结果。因此不能通过保护顶芽越冬来实现泡桐的自然接干,生产上应主要利用泡桐侧芽进行人工接干^[60]。中国泡桐栽培种由于树干低矮、尖削度大,结巴多、出材率低等问题,桐材干长2~3 m的占80%,达不到桐材工艺规格要求的标准。人工接干是培育泡桐无节疤高干良材的主要方法。据文献报道,人工接干可以提高泡桐光合效率,提高木材产量,减小木材尖削度,桐树高生长均比自然接干的桐树提前一年^[61-62]。在高密度粗放管理条件下,个体间竞争加剧,毛白33泡桐自然接干率高^[63]。地径处截干相较于留干和移栽处理,扩大了根库容量,促进了植株的生理活性、生物量积累和地上部分的生长^[64]。2/3截干促进泡桐侧芽萌发抽枝成冠,扩大树冠,促进根系生长,增大根冠比,扩大根碳储量,使翌年平茬接干达到最大化^[65]。1次接干能促进3年生泡桐幼树的高生长,2次接干能促进4年生泡桐幼树的高生长,施肥能促进1次接干的泡桐幼树的高生长^[66]。在高密度林分的接干单株中,接干侧芽的对生侧芽萌发不利于接干枝高生长,会降低接干形率^[67]。

丘陵岗地发展泡桐,造林初始密度建议为3 m×3 m,后期间伐的合适密度变为3 m×6 m。栽植密度低的地块树木胸径和单株材积明显优于高密度林分^[68]。造林密度影响泡桐的胸径、树高、枝下高、冠幅及材积和蓄积量,泡桐幼林的合理造林密度在1 111~1 666株/hm²^[69]。

不同种源白花泡桐幼林期树高、胸径与其地理起源具有一定关系,树高与种源地理经度和纬度都呈负相关^[70]。在生长初期进行修枝、平茬、接干、施肥等综合性技术措施,可提高单位面积产量,其中施肥对胸径、树高、材积方面的影响最大^[71]。泡桐专用肥能提高土壤肥料贡献率、土壤部分养分含量及泡桐蓄积量^[72]。白花泡桐幼龄期N、P、K最佳施肥量和配比分别为每株28 kg、12 kg、30 kg^[73]。白花泡桐

一年生种根育苗,在6月—7月施N、P肥各10 g/(株·月),8月—9月单施P肥15 g/(株·月),可提高光合效率,增加着叶数和着叶面积,可生产更多的光合产物,肥效最佳^[74]。

南方丘陵山区泡桐人工林立地质量总体上处于中等以上水平,阴坡低石砾含量、半阴半阳坡低石砾含量和半阴半阳坡较石砾含量这3个立地类型生产潜力最高,最适宜作为培育泡桐大径材林的立地类型^[75]。坡向、坡位影响土壤养分的空间分布,从而影响泡桐生长,因此在栽植时还应考虑到坡向、坡位^[76]。泡桐是最适于农田林网造林的树种之一。桐农间作可以提高土壤含水量、增加土内放线菌、灰色菌丝群,增强泡桐在干热风和干旱严重年份的抵抗力^[77]。

5 问题与建议

虽然中国泡桐种质资源收集、良种选育、栽培管理已取得了一些进展,但还存在种质资源分类、鉴定、评价未成系统,分子技术手段在遗传改良中的应用相对较少等问题。综上所述,建议泡桐在种质资源利用、良种选育、高效栽培上面应着重开展如下几个方面的工作:

1) 对已保存泡桐种质资源开展系统性鉴定和评价。加强泡桐种质资源特征、特性数据的采集和处理,建设基础数据库;通过表型鉴定与分子鉴定相结合,深入研究泡桐遗传多样性及遗传结构、挖掘特异性状的关联基因、建立泡桐种质资源DNA指纹图谱数据库及结构基因组数据库等,发掘和利用优异基因;结合SSR、SNP和功能基因位点等分子生物学信息,研究重要性状早期精准评价方法,建立早期选择技术体系。

2) 构建核心育种群体和高世代育种群体,实现泡桐新品种创制。开展生长、材性、水养利用和寒冷/干旱逆境抗性等重要目标性状的遗传测定及其重要遗传参数的估算:依据定向育种目标,开展表型、基因型等遗传分析,分育种区构建核心育种群体和高世代育种群体;利用多世代分子谱系分析和全基因组多位点扫描,结合全域多年份生长、材性、抗逆等数据,解析骨干亲本分子生物学基础,筛选重要骨干亲本。通过远缘杂交、基因嫁接、基因累加等手段创造生产上急需的抗旱、抗病虫害及集观赏、干材、药用于一体的新种质,实现突破性育种。

3) 建立高效栽培技术体系。开展高效林分结构调控、地力可持续维护、优质目标材形成、全周期林农高效复合经营等关键技术研究,阐明泡桐人工

林的水养利用规律,解析不同林分空间结构、抚育措施对泡桐大径级优质目标材形成品质的影响;构建林分结构调整、精准施肥、复合经营等精准高效培养技术体系。

参考文献

- [1] 邢雅丽, 毕良武, 赵振东, 等. 泡桐植物资源分布及化学成分研究进展[J]. 林产化学与工业, 2013, 33(6): 135-140.
Xing Y L, Bi L W, Zhao Z D, et al. Research progress in plant resources and chemistry of *Paulownia* [J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2013, 33(6): 135-140.
- [2] 沈慧. 泡桐叶在养殖中的应用[J]. 当代畜禽养殖业, 2011(1): 53.
Shen H. Application of *Paulownia* leaves in aquaculture [J]. Modern Animal Husbandry, 2011(1): 53.
- [3] 贾朝, 侯先槐, 王俊堂, 等. 泡桐叶消除恶臭污染研究[J]. 中国科技教育, 2011(3): 21-23.
Jia C, Hou X H, Wang J T. Study on eliminating odor pollution by *Paulownia* leaves [J]. Student Projects, 2011(3): 21-23.
- [4] 龚彤. 中国泡桐属植物的研究[J]. 植物分类学报, 1976, 14(2): 38-50.
Gong T. Research progress of *Paulownia* plants in China [J]. Acta Phytotaxonomica Sinica, 1976, 14(2): 38-50.
- [5] 蒋建平. 泡桐栽培学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1990.
Jiang J P. *Paulownia* cultivation [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1990.
- [6] 李芳东, 乔杰, 王保平, 等. 中国泡桐属种质资源图谱[M]. 北京: 中国林业出版社, 2013.
Li F D, Qiao J, Wang B P, et al. The maps of *Paulownia* germplasm resources in China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2013.
- [7] 陈志远, 姚崇怀, 胡惠蓉, 等. 泡桐属的起源、演化与地理分布[J]. 武汉植物学研究, 2000, 18(4): 325-328.
Chen Z Y, Yao C H, Hu H R, et al. The origin phylogeny and distribution of *Paulownia* [J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2000, 18(4): 325-328.
- [8] 范永明. 泡桐科植物形态变异及其新分类系统[D]. 郑州: 河南农业大学, 2018.
Fan Y M. Morphological variation of *Paulownia* and its new classification system [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2018.
- [9] 李芳东, 袁德义, 莫文娟, 等. 白花泡桐种源遗传多样性的ISSR分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 31

- (7): 1-7.
- Li F D, Yuan D Y, Mo W J, et al. Studies on genetic diversity of 38 provenances of *Paulownia fortunei* by ISSR marker [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2011, 31(7): 1-7.
- [10] 卢龙斗, 谢龙旭, 杜启艳, 等. 泡桐属七种植物的 RAPD 分析[J]. 广西植物, 2001, 21(4): 335-338.
- Lu L D, Xie L X, Du Q Y, et al. RAPD analysis of seven species in *Paulownia* [J]. Guihaia, 2001, 21(4): 335-338.
- [11] 莫文娟, 傅建敏, 乔杰, 等. 泡桐属植物亲缘关系的 ISSR 分析[J]. 林业科学, 2013, 49(1): 61-67.
- Mo W J, Fu J M, Qiao J, et al. ISSR study on genetic relationship of genus *Paulownia* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2013, 49(1): 61-67.
- [12] 李翰书, 卢妍妍, 李海英, 等. 泡桐属植物遗传多样性的 FISH-AFLP 分析[J]. 河南农业大学学报, 2014, 48(2): 140-144.
- Li H S, Lu Y Y, Li H Y, et al. FISH-AFLP analysis of genetic diversity of genus *Paulownia* plants [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2014, 48(2): 140-144.
- [13] 马浩, 张冬梅, 李荣幸, 等. 泡桐属植物种类的 RFLP 分析[J]. 植物研究, 2001, 21(1): 136-139.
- Ma H, Zhang D M, Li R X, et al. Rflp analysis of *Paulownia* plants [J]. Bulletin of Botanical Research, 2001, 21(1): 136-139.
- [14] 莫文娟, 袁德义, 李芳东, 等. 白花泡桐种源的遗传多样性和遗传分化研究[J]. 植物研究, 2011, 31(5): 585-591.
- Mo W J, Yuan D Y, Li F D, et al. Genetic diversity and genetic differentiation for *Paulownia fortunei* provenances [J]. Bulletin of Botanical Research, 2011, 31(5): 585-591.
- [15] 李海英, 茹广欣, 侯婷, 等. 12 个白花泡桐种源的遗传多样性分析[J]. 河南农业大学学报, 2015, 49(6): 764-768.
- Li H Y, Ru G X, Hou T, et al. Genetic diversity analysis of 12 kinds of *Paulownia fortunei* provenances [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2015, 49(6): 764-768.
- [16] 李康琴, 丁伟, 李婷, 等. 白花泡桐种源早期评价与选择[J]. 南方林业科学, 2018, 46(6): 32-35.
- Li K Q, Ding W, Li T, et al. Evaluation and early selection of *Paulownia fortunei* provenances [J]. South China Forestry Science, 2018, 46(6): 32-35.
- [17] 冯延芝, 乔杰, 王保平, 等. 南方低山丘陵区泡桐无性系主要性状的综合选择[J]. 林业科学研究, 2017, 30(6): 969-976.
- Feng Y Z, Qiao J, Wang B P, et al. Comprehensive selection of main phenotypic characters of *Paulownia* clones in the hilly area of Southern China [J]. Forest Research, 2017, 30(6): 969-976.
- [18] 周忠诚, 毛燕, 鲁从平, 等. 鄂中低丘岗地泡桐优良无性系 BH14 与 ZH65 的筛选[J]. 西部林业科学, 2016, 45(5): 38-43.
- Zhou Z C, Mao Y, Lu C P, et al. Selection of *Paulownia* elite clones based on BH14 and ZH65 [J]. Journal of West China Forestry Science, 2016, 45(5): 38-43.
- [19] 施士争, 王红玲, 黄瑞芳, 等. 适于农田林网造林应用的泡桐优良无性系选择研究: 幼林期选择[J]. 江苏林业科技, 2017, 44(6): 36-39.
- Shi S Z, Wang H L, Huang R F, et al. Study on selection of excellent *Paulownia* clones suitable for farmland forest network afforestation: selection of young forest period [J]. Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology, 2017, 44(6): 36-39.
- [20] 马浩, 张冬梅, 李荣幸, 等. 泡桐属植物育种值预测方法的研究[J]. 林业科学, 2003, 39(1): 75-80.
- Ma H, Zhang D M, Li R X, et al. Study on predicting method of breeding values in *Paulownia* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2003, 39(1): 75-80.
- [21] 王忠信. 我国泡桐育种的成就及发展方向概述[J]. 陕西林业科技, 1992, 16(1): 70-72.
- Wang Z X. Summary of achievements and development direction of *Paulownia* breeding in China [J]. China Ind Econ, 1992, 16(1): 70-72.
- [22] 王楠, 李芳东, 马跃, 等. 泡桐优良无性系“TF33”干材表型性状杂种优势研究[J]. 林业科学研究, 2015, 28(3): 402-408.
- Wang N, Li F D, Ma Y, et al. Heterosis of phenotypic characters of *Paulownia* elite clone stem timber [J]. Forest Research, 2015, 28(3): 402-408.
- [23] 叶金山, 胡伟华, 谢青, 等. 白花泡桐×兰考泡桐和毛泡桐×白花泡桐 F₁ 无性系自然接干性状遗传变异的比较研究[J]. 东北林业大学学报, 2008, 36(10): 1-4, 8.
- Ye J S, Hu W H, Xie Q, et al. Genetic variations of natural stem-join characters of *Paulownia fortunei* × *P. elongata* and *P. tomentosa* × *P. fortunei* hybrid F₁ clones [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2008, 36(10): 1-4, 8.
- [24] 魏安智, 杨途熙, 张晴, 等. 泡桐无性系苗期生长动态分析研究[J]. 西北植物学报, 2000, 20(1): 68-78.
- Wei A Z, Yang T X, Zhang Q, et al. Dynamic analysis of the growth during nursery of *Paulownia* clones [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2000, 20(1): 68-78.

- [25] 茹广欣,袁金玲,明军,等. 泡桐杂种花的形态变异分析[J]. 林业科学研究, 2005, 18(1): 41-46.
Ru G X, Yuan J L, Ming J, et al. Analysis on flowers of morphology variation of *Paulownia* hybrid [J]. Forest Research, 2005, 18(1): 41-46.
- [26] 范国强,杨志清,曹艳春,等. 秋水仙素诱导兰考泡桐同源四倍体[J]. 核农学报, 2006, 20(6): 473-476, 547.
Fan G Q, Yang Z Q, Cao Y C, et al. Autotetraploid induction of *Paulownia elongata* with colchicine [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2006, 20(6): 473-476, 547.
- [27] 范国强,杨志清,曹艳春,等. 毛泡桐同源四倍体的诱导[J]. 植物生理学通讯, 2007, 43(1): 109-111.
Fan G Q, Yang Z Q, Cao Y C, et al. Induction of autotetraploid of *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud. [J]. Plant Physiology Communications, 2007, 43(1): 109-111.
- [28] 范国强,曹艳春,赵振利,等. 白花泡桐同源四倍体的诱导[J]. 林业科学, 2007, 43(4): 31-35, 143.
Fan G Q, Cao Y C, Zhao Z L, et al. Induction of autotetraploid of *Paulownia fortunei* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(4): 31-35, 143.
- [29] 范国强,魏真真,杨志清. 南方泡桐同源四倍体的诱导及其体外植株再生[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2009, 37(10): 83-90.
Fan G Q, Wei Z Z, Yang Z Q. Induction of autotetraploid of *Paulownia australis* and its *in vitro* plantlet regeneration [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2009, 37(10): 83-90.
- [30] 赵振利,何佳,赵晓改,等. 泡桐9501体外植株再生体系的建立及体细胞同源四倍体诱导[J]. 河南农业大学学报, 2011, 45(1): 59-65.
Zhao Z L, He J, Zhao X G, et al. Establishment of *Paulownia* 9501 *in vitro* plantlet regeneration system and its autotetraploid induction from the somatic cells [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2011, 45(1): 59-65.
- [31] 张变莉,王杨,刘荣宁,等. 四倍体楸叶泡桐的诱导及鉴定[J]. 绿色科技, 2019, 21(24): 59-62.
Zhang B L, Wang Y, Liu R N, et al. Induction and identification of tetraploid paulownia catalpa [J]. Journal of Green Science and Technology, 2019 (24): 59-62.
- [32] 范国强,翟晓巧,魏真真,等. 豫杂一号泡桐体细胞同源四倍体诱导及其体外植株再生[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(12): 22-26.
Fan G Q, Zhai X Q, Wei Z Z, et al. Induction of autotetraploid from the somatic cell of *Paulownia tomentosa* × *P. fortunei* and its *in vitro* plantlet regeneration [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2010, 38(12): 22-26.
- [33] 梅辉,王莉,宋兆建,等. 四倍体及二倍体毛泡桐截干再生特性研究[J]. 湖北林业科技, 2011, 40(3): 22-25, 54.
Mei H, Wang L, Song Z J, et al. Study on stumped regeneration tetraploid and diploid *Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud [J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2011, 40(3): 22-25, 54.
- [34] 王晓丹,赵振利,范国强,等. 5种四倍体泡桐生长特性的研究[J]. 西部林业科学, 2014, 43(4): 72-77.
Wang X D, Zhao Z L, Fan G Q, et al. The growth characteristics of 5 different varieties of tetraploid *Paulownia* [J]. Journal of West China Forestry Science, 2014, 43(4): 72-77.
- [35] 李文杨,王娟,赵振利,等. 泡桐高密度分子遗传图谱的构建[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(9): 80-85.
Li W Y, Wang J, Zhao Z L, et al. High-density molecular genetic map construction in *Paulownia fortunei* [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2019, 39(9): 80-85.
- [36] 王娟. 基于RAD-seq技术的泡桐高密度遗传连锁图构建[D]. 郑州: 河南农业大学, 2018.
Wang J. Construction of high-density genetic linkage map of *Paulownia* based on RAD-seq technology [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2018.
- [37] 赵阳,冯延芝,杨超伟,等. 基于全基因组重测序的泡桐属植物遗传关系分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2023, 43(6): 1-10.
Zhao Y, Feng Y Z, Yang C W, et al. Genetic relationship analysis of *Paulownia* species using whole genome re-sequencing [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2023, 43(6): 1-10.
- [38] 张慧源. 九种泡桐基因组重测序及变异位点分析[D]. 郑州: 河南农业大学, 2018.
Zhang H Y. Genome recombination sequencing and mutation site analysis of nine *Paulownia* species [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2018.
- [39] 赵振利,张靖曼,郑秋莉,等. 白花泡桐丛枝病发生过程中全基因组DNA甲基化差异分析[J]. 河南农业大学学报, 2020, 54(3): 400-407.
Zhao Z L, Zhang J M, Zheng Q L, et al. Difference analysis of DNA methylation in the whole genome of *Paulownia fortunei* during the occurrence of PaWB [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2020, 54(3): 400-407.
- [40] 郎雅琴,翟晓巧,曹喜兵,等. 泡桐NLR基因家族分

- 析及其对植原体的响应[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2024, 44(1): 7-20.
- Lang Y Q, Zhai X Q, Cao X B, et al. Analysis of *Paulownia* NLR gene family and their responses to phytoplasmas [J]. Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences), 2024, 44(1): 7-20.
- [41] 黄静, 李焯桢, 范国强. 泡桐丛枝病对内生真菌群落及其结构的影响[J]. 河南农业大学学报, 2023, 57(5): 776-783.
- Huang J, Li X Z, Fan G Q. Effects of *Paulownia* witches' broom disease on fungal endophytes community and structure [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2023, 57(5): 776-783.
- [42] 杨俊秀, 张刚龙, 王培新, 等. 抗丛枝病泡桐表型单株选择及其育种技术[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(9): 90-96, 102.
- Yang J X, Zhang G L, Wang P X, et al. Single-trunk of a tree selecting for resistance to witches' broom disease of *Paulownia* and breeding technique [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2007, 35(9): 90-96, 102.
- [43] 朱慧. 泡桐快速繁殖技术研究[D]. 南宁: 广西大学, 2020.
- Zhu H. Study on rapid propagation techniques of *Paulownia* [D]. Nanning: Guangxi University, 2020.
- [44] 王志江. 楸叶桐嫩枝扦插育苗试验[J]. 山东林业科技, 1990, 20(2): 44-46.
- Wang Z Q. Cuttage experiment on seedlings of *Paulownia catalpifolia* [J]. Journal of Shandong Forestry Science and Technology, 1990, 20(2): 44-46.
- [45] 邓建军, 李芳东, 乔杰, 等. 白花泡桐优树嫩枝扦插幼化技术[J]. 东北林业大学学报, 2011, 39(8): 5-6, 17.
- Deng J J, Li F D, Qiao J, et al. Tender branch cutting of *Paulownia fortunei* superior trees by plant rejuvenation [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2011, 39(8): 5-6, 17.
- [46] 吴君, 房丽莎, 陈珺肆, 等. 多年生泡桐嫩枝扦插技术优化研究[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2019, 50(6): 954-958.
- Wu J, Fang L S, Chen J Y, et al. Study on the cuttage technical optimization of perennial *Paulownia* spp. twigs [J]. Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition), 2019, 50(6): 954-958.
- [47] 丁风华. 泡桐嫩枝扦插育苗试验[J]. 河北林业科技, 1985(1): 13-15.
- Ding F H. Cuttage experiment on tender branch cutting of *Paulownia fortunei* [J]. The Journal of Hebei Forestry Science and Technology, 1985(1): 13-15.
- [48] 钱家军, 许景亮, 李庆国, 等. 泡桐嫩枝扦插速繁技术研究[J]. 林业实用技术, 2002(10): 10-11.
- Qiang J J, Xu J L, Li Q G, et al. The studies on the technique of rapid reproduction of *Paulownia fortunei* [J]. Practical Forestry Technology, 2002(10): 10-11.
- [49] 李芳东, 邓建军, 张悦, 等. 白花泡桐优树组织培养幼化技术研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(8): 22-28.
- Li F D, Deng J J, Zhang Y, et al. Study on tissue culture rejuvenation technology of the *Paulownia fortunei* superior trees [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2010, 30(8): 22-28.
- [50] 范国强, 翟晓巧, 蒋建平, 等. 不同种泡桐叶片愈伤组织诱导及其植株再生[J]. 林业科学, 2002, 38(1): 29-35.
- Fan G Q, Zhai X Q, Jiang J P, et al. Callus induction from *Paulownia* plant leaves and their plantlet regenerations [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38(1): 29-35.
- [51] 翟晓巧, 王政权, 范国强. 泡桐体外器官直接发生的植株再生[J]. 核农学报, 2004, 18(5): 357-360, 363.
- Zhai X Q, Wang Z Q, Fan G Q. Direct plantlet regeneration via organogenesis of *Paulownia* plants [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2004, 18(5): 357-360, 363.
- [52] 王红玲, 孙倩, 黄瑞芳. 楸叶泡桐杂种无性系9503的组织培养技术研究[J]. 江苏林业科技, 2019, 46(2): 43-45, 52.
- Wang H L, Sun Q, Huang R F. Research of tissue culture in hybrid clone 9503 of *Paulownia catalpifolia* [J]. Journal of Jiangsu Forestry Science & Technology, 2019, 46(2): 43-45, 52.
- [53] 范国强, 翟晓巧, 马新业, 等. 两种基因型泡桐体细胞胚胎发生及植株再生[J]. 核农学报, 2005, 19(4): 274-278, 254.
- Fan G Q, Zhai X Q, Ma X Y, et al. Somatic embryogenesis and plantlet regeneration of different genotypes of *Paulownia* plants [J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2005, 19(4): 274-278, 254.
- [54] 邓建军, 李芳东, 乔杰, 等. 白花泡桐优树试管嫁接幼化及组培快繁技术研究[J]. 林业科学研究, 2011, 24(5): 646-650.
- Deng J J, Li F D, Qiao J, et al. Study on grafted tissue rejuvenation technology and rapid propagation of *Paulownia fortunei* superior trees [J]. Forest Research, 2011, 24(5): 646-650.
- [55] 杨志清, 范国强, 曹艳春, 等. 同源四倍体泡桐体外植株再生系统建立[J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(2): 149-153.
- Yang Z Q, Fan G Q, Cao Y C, et al. Establishment of

- the system of *in vitro* plantlet regeneration of different autotetraploid *Paulownia* plants [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2007, 41(2): 149-153.
- [56] 董占强, 范国强, 魏真真, 等. 化学诱变剂对同源四倍体毛泡桐体外植株再生的影响[J]. 河南农业大学学报, 2009, 43(1): 44-49, 59.
Dong Z Q, Fan G Q, Wei Z Z, et al. Effect of chemical mutagens on *in vitro* plantlet regeneration of *Paulownia tomentosa* autotetraploid [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2009, 43(1): 44-49, 59.
- [57] 范国强, 董占强, 李峰稳, 等. 光周期对泡桐叶片体外植株再生影响研究[J]. 西北植物学报, 2007, 27(1): 104-109.
Fan G Q, Dong Z Q, Li F W, et al. Effects of photoperiods on *in vitro* plantlet regeneration of *Paulownia* plants leaves [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2007, 27(1): 104-109.
- [58] 王艳梅, 张龙冲, 马天晓, 等. 人工调控对泡桐顶芽生长发育的影响[J]. 林业科学, 2016, 52(8): 53-59.
Wang Y M, Zhang L C, Ma T X, et al. Effect of artificial regulation on terminal bud growth of *Paulownia* spp [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2016, 52(8): 53-59.
- [59] 侯元凯, 翟明普, 聂爱社, 等. 兰考泡桐苗木顶芽水分变化规律研究[J]. 北京林业大学学报, 2001, 23(6): 17-21.
Hou Y K, Zhai M P, Nie A S, et al. Law of water change of top buds of *Paulownia elongata* seedlings [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2001, 23(6): 17-21.
- [60] 刘震, 何松林, 王艳梅, 等. 泡桐顶侧芽休眠发育的温度特性研究[J]. 林业科学, 2004, 40(3): 46-50.
Liu Z, He S L, Wang Y M, et al. Study on the temperature characteristics of dormancy development of terminal and lateral buds in *Paulownia* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(3): 46-50.
- [61] 范贝贝, 梁红艳, 赵佳宝, 等. 不同根库容量泡桐生长与光合特性分析[J]. 河南农业大学学报, 2018, 52(5): 716-720, 743.
Fan B B, Liang H Y, Zhao J B, et al. Growth and photosynthetic characteristics of *Paulownia* with different rootstorage capacity [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2018, 52(5): 716-720, 743.
- [62] 王保平, 李吉跃, 孙志强, 等. 修枝促接干对泡桐枝生长动态影响的研究[J]. 林业科学研究, 2005, 18(5): 609-614.
Wang B P, Li J Y, Sun Z Q, et al. Effects of pruning to promote trunk extension on annual growth dynamic of *Paulownia* branches [J]. Forest Research, 2005, 18(5): 609-614.
- [63] 刘震, 毕会涛, 蒋建平, 等. 泡桐侧芽萌发成枝接干规律[J]. 林业科学, 2005, 41(4): 42-47.
Liu Z, Bi H T, Jiang J P, et al. The laws of branching and trunk extension sprouted from lateral buds in *Paulownia* trees [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(4): 42-47.
- [64] 付梦瑶. 不同根库容量对泡桐生长生理特征的影响差异[D]. 郑州: 河南农业大学, 2017.
Fu M Y. Effects of different root bank capacity on growth physiological characteristics of *Paulownia* [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2017.
- [65] 耿晓东, 陈叙仲, 蔡齐飞, 等. 截干对泡桐根冠协同生长及平茬接干的影响[J]. 河南农业大学学报, 2022, 56(4): 568-578.
Geng X D, Chen X Z, Cai Q F, et al. Effect of cutting trunk on root-crown synergistic growth and trunk elongation by stumping in *Paulownia* [J]. Journal of Henan Agricultural University, 2022, 56(4): 568-578.
- [66] 范国强, 王安亭, 王国周, 等. 接干和施肥对不同初植苗高泡桐幼树主干生长影响的研究[J]. 林业科学研究, 2000, 13(6): 628-633.
Fan G Q, Wang A T, Wang G Z, et al. Effect of grafting and fertilizing on the main trunk growth of young *Paulownia* trees from different height seedlings [J]. Forest Research, 2000, 13(6): 628-633.
- [67] 刘晨, 耿晓东, 蒋建平, 等. 泡桐下侧芽萌发成枝与上侧芽萌发接干间关系[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(5): 65-69.
Liu C, Geng X D, Jiang J P, et al. Relationship between branching sprouted by lower lateral buds and trunk extension sprouted by upper lateral buds in *Paulownia* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2005, 27(5): 65-69.
- [68] 谢经荣, 徐梁, 柯尊发, 等. 湖北太子山兰考泡桐引种栽培试验[J]. 林业科技开发, 2012(4): 110-112.
Xie J R, Xu L, Ke Z F, et al. Introduction and cultivation of *Paulownia elongata* S. Y. Hu in taizi mountain [J]. China Forestry Science and Technology, 2012(4): 110-112.
- [69] 毛碧辉, 吕成群, 黄宝灵, 等. 不同造林密度对泡桐幼林生长和林分蓄积量的影响[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(20): 102-105.
Mao B H, Lü C Q, Huang B L, et al. Effects of different planting densities on saplings growth and stand volume of *Paulownia* [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, 46(20): 102-105.
- [70] 吕志海. 不同种源白花泡桐幼林期生长特性研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2013.
Lü Z H. Study on growth characteristics of *Paulownia*

- fortunei* from different provenances in young forest period [D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2013.
- [71] 刘俊龙, 吴中能, 于一苏, 等. 丘陵冈地泡桐栽培经营技术研究[J]. 安徽林业科技, 2017, 43(4): 21-24.
Liu J L, Wu Z N, Yu Y S, et al. Study on cultivation and management techniques for *Paulownia fortunei* in hillock areas [J]. Anhui Forestry Science and Technology, 2017, 43(4): 21-24.
- [72] 涂佳, 甘卫祥, 付宇佳, 等. 长期施肥对第四纪红壤泡桐林蓄积量及基础地力的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2016, 36(11): 14-21.
Tu J, Gan W X, Fu Y J, et al. Effect of long-term fertilization on volume and basic soil productivity in the fourth red clay soil under *Paulownia fortunei* [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2016, 36(11): 14-21.
- [73] 卢漫, 吴立潮, 吴建平, 等. 泡桐幼龄林配方施肥的初步研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2010, 30(6): 55-59.
Lu M, Wu L C, Wu J P, et al. Study on the fertilization effect of young *Paulownia* forest [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2010, 30(6): 55-59.
- [74] 蔡齐飞, 李小顺, 陈叙仲, 等. 生长季节不同配方施肥对白花泡桐埋根苗的影响[J]. 河南科学, 2024, 42(4): 508-515.
Cai Q F, Li X S, Chen X Z, et al. Effect of different formula fertilizations in growth season on *Paulownia fortunei* root buried seedlings [J]. Henan Science, 2024, 42(4): 508-515.
- [75] 庞宏东, 李玲, 杨代贵, 等. 南方丘陵山地泡桐人工林立地类型划分与质量评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2022, 42(8): 40-47.
Pang H D, Li L, Yang D G, et al. Site classification and quality evaluation of *Paulownia* plantation in the hilly area of South China [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2022, 42(8): 40-47.
- [76] 张顺平, 乔杰, 王保平, 等. 低山丘陵区坡向、坡位对泡桐幼龄林生长的影响[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(12): 1-4.
Zhang S P, Qiao J, Wang B P, et al. Influence of aspect and position of slope on growth of young *Paulownia* plantations in lower hilly region [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2013, 41(12): 1-4.
- [77] 高椿翔, 高杰, 邓国胜, 等. 林粮间作生态效果分析[J]. 防护林科技, 2000(3): 97-98.
Gao C X, Gao J, Deng G S, et al. Analysis on ecological effect of forest-grain intercropping [J]. Protection Forest Science and Technology, 2000(3): 97-98.

□

(编辑: 杨晓翠)