

文章编号:1001-7380(2019)05-0054-04

## 落羽杉良种选育研究进展

郑纪伟<sup>1,2</sup>, 施士争<sup>1,3</sup>, 黄瑞芳<sup>1,3</sup>, 教忠意<sup>1,2</sup>, 姜开朋<sup>1,2</sup>

(1.江苏省林业科学研究院,江苏 南京 211153; 2.江苏绿宝林业发展有限公司,江苏 南京 211153;  
3.江苏省农业种质资源保护与利用平台,江苏 南京 210014)

**摘要:**该文回顾和总结了落羽杉的引种、种源与家系选择、杂交育种及良种繁育等方面的研究进展,为后续落羽杉良种选育研究和林业生产提供参考。作者认为,目前,落羽杉已选育出了一批生长快、材质优、适应性广的优良材料,发挥着巨大的经济和生态效益。今后,应加强落羽杉抗性(耐盐、耐旱等)方面的研究,为不同立地条件下,特别是沿海滩涂,筛选出更优异造林种质;同时,利用分子标记等现代生物技术从细胞和分子水平上对落羽杉耐盐分子机制和分子标记辅助育种进行研究。

**关键词:**落羽杉;引种;良种选育;繁育技术;研究进展

**中图分类号:**S722.3;S791.34

**文献标志码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2019.05.11

落羽杉 [*Taxodium distichum* (L.) Rich.] 原产美国东南部,分布范围较广,是古老的孑遗植物。它具有干形优、生长速度快、材质优良、病虫害少、耐腐蚀、适应性强等优点,在美国有“永不腐朽之木”之称<sup>[1]</sup>。我国自上世纪初开始引种,最先引种区域为江苏南京,后推广至河南鸡公山、江苏南通及湖北武汉等区域<sup>[2]</sup>,如今,它是我国南方地区低湿滩地农田林网建设和造林的重要树种<sup>[3]</sup>。

我国引种的落羽杉资源主要来自美国的路易斯安那州、密西西比州、阿肯色州等地。近30 a来,中国林业科学研究院和南京林业大学等单位牵头,组织相关地区林业科研机构,开展了较系统的落羽杉种源及家系选择<sup>[4-8]</sup>、木材特性<sup>[9-11]</sup>、杂交育种等方面的研究,杂交选育出一批优良的造林品系<sup>[12-14]</sup>,并探究了落羽杉及杂种优良无性系的繁育技术<sup>[15-16]</sup>,相关单位已在落羽杉良种选育方面取得一定成绩<sup>[13-14]</sup>。随着社会经济快速发展,林业发展更加注重质量和效益,而提高良种化是关键所在。现结合我国落羽杉良种选育研究基础和产业发展实际情况,就提高良种选育效率、加快育种进程进行了初浅探讨。

### 1 引种试验

引种能够丰富区域植物资源、促进林业生产发

展,对种质资源创新和保护也具有重要意义。鉴于落羽杉的优良特性,自19世纪起,全世界有20个以上国家先后引种,用作景观树种栽培或生态造林,但多数仅停留在试种阶段。落羽杉于1917年引入中国南京,1921年推广至江苏南通和河南鸡公山,之后又引入湖北武汉和江西庐山等地<sup>[17]</sup>。目前,我国山东、江苏、浙江、广东等沿海地带,安徽、河南、陕西等中部地区,均有大面积引种造林,普遍作为用材、防护林、道路绿化、农田林网树种,发挥了巨大的经济、社会和生态效益。现东南大学、南京师范大学附属中学校园等处尚存上百年大树,生长健壮,未见明显病虫害。

20世纪70年代以后,我国加强了林木良种工程的建设和投入,全国各地有较大规模的落羽杉引种,开展了多项引种试验。林雪峰等<sup>[18]</sup>对包括落羽杉在内的4个树种或品种开展引种造林试验,结果显示,在含盐量2.7‰以下的盐碱地,落羽杉能够正常生长,而在含盐量5.7‰以下的盐碱地,其生长受到限制;与其他3个树种相比,落羽杉耐水湿能力最强,生长速度大于墨西哥落羽杉和池杉,但小于中山杉。胡建等<sup>[19]</sup>从上海农垦集团海湾国家森林公园有限公司引进6年生落羽杉、墨西哥落羽杉、中山杉等3个树种,在蓟县南部青甸洼区进行试验造林,结果落羽杉造林成活率达77.44%。

收稿日期:2019-07-10;修回日期:2019-08-30

基金项目:江苏省重点研发(现代农业)项目“适于平原林网更新的泡桐和落羽杉优质材新品种选育”(BE2015371)

作者简介:郑纪伟(1986-),男,河南洛阳人,工程师,硕士。主要从事林木遗传育种、园林工程绿化等方面研究。E-mail: zjw932333@163.com。

落羽杉是我国引种最成功的树种之一,现已开展了多项引种造林试验方面的相关研究,但总体来讲,试验目的较单一,缺乏多样性,今后应将其生长特性同抗性指标等相结合进行系统深入研究,选育出适合不同区域造林的优异种质。

## 2 种源及家系选择研究

种源试验可以阐明种源变异模式,解释其与生态环境和进化因素的关系,还可为林木基因资源的发掘和保存,构建育种群体提供科学依据<sup>[20]</sup>。落羽杉分布广,种源变异丰富,开展种源试验对落羽杉科学造林具有重要意义。自1991年起,落羽杉属优良资源选育被作为重点研究课题,落羽杉苗期、林期的生长特性、材性等方面得到了系统研究。

黄利斌等<sup>[3]</sup>以19个落羽杉(美国6个州)种源为试验材料,以河南鸡公山落羽杉(CK<sub>1</sub>)和池杉(CK<sub>2</sub>)作为对照,进行造林试验。结果显示,各生长指标(树高、胸径和材积)在种源间有显著变异;种源生长变异地理趋势不明显。在落羽杉种源林期性状比较研究方面,柳学军等<sup>[4]</sup>对16个落羽杉(12 a)种源的多项生长指标进行测定,发现各生长指标的差异在种源间达显著水平;筛选出的5个种源可作为我国相似区域优良的观赏、造林和用材种质。在落羽杉家系选择方面,曹福亮等<sup>[5]</sup>对34个落羽杉家系(美国6个州11个产地)的种子特性和苗期生长指标进行测定,发现遗传基础和丰产潜力最优的是路易斯安那州种源。胡绪森等<sup>[6]</sup>发现胸径、树高和材积在落羽杉家系间的遗传力均高于59%,其中,胸径家系遗传力最高,达79.82%;从15个家系中初选生长优势突出的6个家系,可作为优良种质材料开发利用。而汪企明等<sup>[7]</sup>结合了落羽杉属种源、家系及无性系,从苗期和幼林期生长量、保存率、生物量及其分配进行了系统研究,结果表明,所有指标在落羽杉种源间、家系间、家系内均存在显著的性状变异,其中,种源、家系间变异系数最大;综合多个性状指标,筛选出鸡公山种源落羽杉、中山杉及落羽杉种源号分别为304号、401号、502号、701号和1600号这7个优良种源、家系或无性系。黄利斌等<sup>[8]</sup>对落羽杉种源和家系间的扦插繁育生根能力进行研究,发现嫩枝扦插自15 d开始生根,生根率、发根数、不定根总长等6个性状在种源和家系间均存在显著或极显著差异;筛选出生根能力强和生长势突出的4个(1600号、401号、502号和鸡

公山种源)优良种源或家系。

在落羽杉材性研究方面,2006年,柳学军等<sup>[9]</sup>对16个落羽杉种源的木材密度进行研究,发现木材基本密度、气干密度和全干密度在3个种源(3号、4号和5号)中均较高;木材基本密度在基干至顶部不同位置有显著差异。2007年,汪贵斌等<sup>[10]</sup>对16个落羽杉种源人工林(14 a)的木材纤维丝角、木材纤维形态,木材纤维丝角、木材纤维长度和宽度进行了测定,根据2个材性指标,选出2号和30号为优良种源,适合用作纤维工业原料用材。2009年,汪贵斌等<sup>[11]</sup>发现16个落羽杉种源(14 a)的木材纤维素相对结晶度、总纤维素含量、木素含量等均存在显著差异;主干不同高度处木材纤维素相对结晶度含量在种源间达到极显著差异。

目前,国外在落羽杉耐水、耐盐和耐污等抗性方面研究较多,研究结果表明,落羽杉种源间耐盐能力不同,来自海水种源耐盐能力要强于来自于淡水种源<sup>[21]</sup>。而国内在抗性方面的研究鲜有报道,因此,应加强这方面研究,特别是落羽杉抗旱性研究。考虑到目前对落羽杉种源间的遗传基础了解甚少,建议利用第3代测序技术,对落羽杉种源间的遗传多样性、进化关系、遗传结构等进行研究。

## 3 杂交育种研究

开展杂交育种工作是对落羽杉进行遗传改良的重要手段。国内长期开展大量的落羽杉引种试验,为落羽杉杂交育种工作提供了诸多优良亲本材料。我国对落羽杉属植物的育种工作十分重视,叶培忠教授于1963年就开展了相关研究,选育出的‘东方杉’不仅生长速度快、抗逆性强,且适应性广<sup>[22]</sup>。该属植物杂交育种为中国首创,现已积累了丰富的品种资源。

自上世纪70年代起,江苏省中国科学院植物研究所开展落羽杉(♀)×墨西哥落羽杉(♂)的杂交育种和回交选育研究。现已培育出一批生长速度快、抗逆性强的优良品种,如‘中山杉118’、‘中山杉302’等,并大量应用于林业生产<sup>[23]</sup>。陈永辉等<sup>[12]</sup>从中山杉302(♀)×墨西哥落羽杉(♂)中获得杂种200个以上,从中筛选出12个新品种,其中8个无性系具有较强的耐盐碱能力。

墨西哥落羽杉(♀)×落羽杉(♂)杂种优势潜力巨大,但子代培育难度极大。经6 a试验,从中培育出杂种单株11个,繁育出‘中山杉405’、‘中山杉

406'、'中山杉 407' 和 '中山杉 502' 共 4 个优良无性系;该 4 个无性系苗期在生长量方面具有显著超亲特征,保留了墨西哥落羽杉半常绿的优良特性,且适应性突出,可大量应用于滩涂造林、防护林建设、道路及城乡绿化和农田林网建设等<sup>[13]</sup>。王丹碧等<sup>[24]</sup>以落羽杉、墨西哥落羽杉及其 3 个杂交后代品系(2 年生盆栽扦插苗)为试验材料,对株高和地径的年增长量、总叶面积、株高和地径的增长量动态变化、株高和地径的生长期进行了比较分析,发现秋季 3 个杂交后代品系的地径和株高增长量均高于父母本,具有显著的杂种优势。2016 年,於朝广等<sup>[14]</sup>报道,从中培育出的优良无性系 '中山杉 503' 和 '中山杉 703' 特性优良,且适应性强,在山东、江苏、浙江、安徽、江西、湖北、云南等地均可栽植。中山杉系列品种因兼具速生、耐水湿、耐盐碱、抗风和观赏价值高等优点,已成为湿地造林、沿海防护林和城乡绿化的热点树种。目前,在江苏、浙江、安徽、湖北、重庆和云南等地已建立了中山杉新品种繁育基地,在我国长江流域及周边省市已有大面积推广应用。

目前,已有少数学者利用分子标记技术对落羽杉属植物杂种鉴定<sup>[25]</sup>和落羽杉属树种及其杂交后代亲缘关系进行了研究<sup>[26]</sup>,并建立了中山杉品种及其父母本的指纹图谱<sup>[27]</sup>。总体来看,此部分相关研究不够深入,且所选标记数量有限,效率不高,因此,今后应在开发大量有效标记的基础上进一步深入研究。

#### 4 良种繁殖技术研究

落羽杉通常采用种子、嫩枝或硬枝扦插、嫁接等方式繁殖。对于无性系良种,为保持其优良性状,大多采用嫩枝扦插的方法进行无性繁殖。

王永昌等<sup>[28]</sup>总结出了一套简洁、易操作、经济的落羽杉种子处理技术,使其发芽率在 70% 以上;摸索出了落羽杉无性繁殖方法,于夏初进行嫩枝扦插,以  $500 \times 10^{-6}$  的 NAA 快浸 3 min 后,扦插于河沙(消毒)中,加盖薄膜封闭和黑色遮阳网,结果发现 30—45 d 可生根,扦插成活率在 90% 以上。黄利斌等<sup>[8]</sup>研究结果显示,落羽杉扦插生根能力在种源、家系间均存在显著或极显著差异,以  $500 \times 10^{-6}$  NAA 处理 1 min 可显著提高生根率,最优组合 60 d 时生根率在 90% 以上。与上述仅利用  $500 \times 10^{-6}$  的 NAA 快浸 1, 3 min 和 ABT2 号快浸 3 min 处理不同,吴落

军<sup>[15]</sup>对浸泡所用的不同激素种类与浓度、不同浸泡时间进行了系统研究,结果表明:(1)生根率、生根数、平均根长等在落羽杉种源间均具有极显著差异;(2)扦插生根的最佳配比为 ABT ( $200 \times 10^{-6}$ 、6 h)、IBA ( $150 \times 10^{-6}$ 、6 h)、IBA ( $100 \times 10^{-6}$ 、6 h)、NAA ( $100 \times 10^{-6}$ 、4 h);(3)嫩枝扦插采用中上段枝条效果最好。

扦插是中山杉重要繁殖方式之一。韩路弯等<sup>[16]</sup>发现 '中山杉 118' 在重庆万州区当地腐土与沙土对半混合的基质中扦插生根率最高,扦插的最佳时机为 6 月。而张忠镇等<sup>[29]</sup>发现 '中山杉 302' 与 '中山杉 118' 半木质化插穗的扦插最佳生根基质各组成成分比例为  $V_{\text{泥炭}} : V_{\text{珍珠岩}} : V_{\text{园土}} = 3 : 3 : 1$ ,扦插的平均生根率分别达到 50.33% 和 73.27%。有研究表明,对中山杉扦插生根率的影响中,植物生长调节物质质量浓度处理显著高于激素种类处理和 处理时间;NAA 处理在提高中山杉扦插生根率方面效果显著<sup>[30]</sup>,但 NAA (2 000 mg/L) 和 IAA (2 000 mg/L) 等体积混合处理效果最佳<sup>[31]</sup>。然而,受扦插繁殖系数低和季节的影响,目前苗木市场出现中山杉供不应求的现象。为进一步提高中山杉的繁殖效率,近年来,中山杉组织培养育苗技术也有相关报道<sup>[32]</sup>。总体来看,落羽杉良种繁育技术存在研究不够系统、效率不高等问题,应加强嫩枝扦插繁育技术研究,同时应加快落羽杉组织培养技术研究进程,满足林业市场苗木需求。

#### 5 小结

伴随着我国国民经济的快速发展,我国学者从落羽杉苗期和林期的生长特性、木材特性、耐盐性等入手,开展了大量的落羽杉种源与家系选择、杂交育种研究,为造林生产提供了优良的种质材料,对我国国土绿化和美化起到了重要作用。落羽杉已成为我国南方平原地带造林的一道亮丽风景线,对于改善环境、满足广大群众对美好生活的追求起着不可估量的作用。

作为我国引种最成功的树种之一,虽然前期已经选育了一批生长快、耐盐、耐淹的良种,但从今后对落羽杉造林质量不断提高的要求分析,现有良种远不能满足要求。为了提高落羽杉育种效率,要不断完善育种策略。首先,选育目标要由单一性向多样性转变,既要追求林木品质、产量,又要改良抗性。其次,要重视和加强育种群体建立,确保落羽

杉育种工作可持续进行,为林业生产提供更优良的种质。还应将分子标记辅助育种、转基因育种等现代生物技术与传统育种方法有机高效结合,缩短育种周期,大大提高育种效率,加快落羽杉育种进程。

#### 参考文献:

- [1] 陈永辉,王名金,伍寿彭,等.落羽杉属树木速生耐碱类型的杂交选育[C]//南京中山植物园研究论文集.南京:江苏科学技术出版社,1987:92-98.
- [2] 陈永辉,王名金,伍寿彭.落羽杉属的引种和选育[J].江苏林业科技,1988,15(2):43-47,49.
- [3] 黄利斌,李晓储,张定瑶,等.落羽杉地理种源变异与选择[J].林业科学研究,2007,20(4):447-451.
- [4] 柳学军,曹福亮,汪贵斌,等.落羽杉优良种源选择[J].南京林业大学学报,2006,30(2):47-50.
- [5] 曹福亮,方升佐,唐罗忠,等.美国落羽杉种源试验初报[J].南京林业大学学报,1995,19(1):65-70.
- [6] 胡绪森,丁次平,张言平,等.江汉平原湖区落羽杉优良家系早期选择[J].安徽农业科学,2012,40(14):8171-8172,8174.
- [7] 汪企明,吕祥生,江泽平,等.落羽杉属种源研究:种子和苗期变异[J].江苏林业科技,1993,20(1):1-4,8.
- [8] 黄利斌,汪企明,李晓储,等.落羽杉属种源研究:扦插生根能力变异[J].江苏林业科技,2000,27(1):1-6.
- [9] 柳学军,曹福亮,汪贵斌,等.不同落羽杉种源木材密度的变异[J].南京林业大学学报,2006,30(4):51-54.
- [10] 汪贵斌,曹福亮,柳学军,等.落羽杉种源木材微纤丝角和纤维形态的变异[J].林业科学,2007,43(6):117-122.
- [11] 汪贵斌,曹福亮,柳学军,等.不同落羽杉种源木材化学性质的变异[J].南京林业大学学报,2009,33(6):15-19.
- [12] 陈永辉,伍寿彭,李永荣,等.落羽杉中山杉系列新品种选育初报[J].江苏林业科技,2006,33(4):1-5.
- [13] 於朝广,徐建华,殷云龙.落羽杉属4个新品种[J].林业科学,2011,47(5):181-182.
- [14] 於朝广,徐建华,殷云龙.落羽杉新品种‘中山杉503’和‘中山杉703’[J].林业科学,2016,52(12):156.
- [15] 吴落军.落羽杉的扦插繁殖技术与生根机理研究[D].南京:南京林业大学,2007.
- [16] 韩路弯,华建峰,刘江,等.不同基质和扦插时间对‘中山杉118’插条生根的影响[J].亚热带植物科学,2015,44(2):150-153.
- [17] 张应麟.回首广东的落羽杉[J].广东园林,2002(增刊):3-11.
- [18] 林雪峰,邱智敏,张丽君,等.4个落羽杉属树种引种造林试验[J].防护林科技,2013,117(6):28-30.
- [19] 胡建,贾玉玲,李海岚,等.名贵观赏树种落羽杉的引种试验初报[J].天津农林科技,2012,228(4):1-3.
- [20] 刘德栋.我国红松良种选育研究进展[J].防护林科技,2017,162(3):96-99.
- [21] 汪贵斌,曹福亮.落羽杉抗性研究综述[J].南京林业大学学报,2002,26(6):78-82.
- [22] 张建军,潘士华,沈烈英,等.东方杉的树种特征与生态价值[J].上海农业学报,2003,19(3):56-59.
- [23] 杨美凌,殷云龙,方炎明,等.落羽杉属种类、栽培变种及杂种的外部形态变异及亲缘关系研究[J].植物资源与环境学报,2010,19(2):40-47.
- [24] 王丹碧,余华,凌子然,等.落羽杉与墨西哥落羽杉3个杂交后代品系的生长和杂种优势分析[J].植物资源与环境学报,2017,26(1):55-62.
- [25] 於朝广,殷云龙,徐建华.用SRAP标记鉴定落羽杉属植物杂种[J].林业科学,2009,45(2):142-146.
- [26] 李涵,殷云龙,徐朗莱,等.落羽杉属树种及其杂交后代亲缘关系的RAPD分析[J].林业科学,2007,43(2):48-51.
- [27] 王紫阳,於朝广,华建峰,等.23个中山杉品种及其父母本的指纹图谱构建[J].分子植物育种,2018,16(4):1222-1228.
- [28] 王永昌,张新勇,张继凡,等.美国落羽杉育苗、造林技术研究[J].江苏林业科技,1999,26(3):14-19.
- [29] 张忠镇,李倩茹,张树军,等.中山杉嫩枝扦插繁育技术研究[J].山东林业科技,2015,219(4):50-53.
- [30] 李兆玉,程留根,田学书,等.中山杉扦插育苗技术研究[J].江苏林业科技,1994,21(2):33-35.
- [31] 王紫阳,徐建华,李火根,等.中山杉优良无性系302,118,405扦插生根能力比较[J].浙江农林大学学报,2015,32(4):648-654.
- [32] 黄志伟,曹剑.中山杉组织培养中无菌体系建立的初步研究[J].浙江林业科技,2018,38(5):61-66.