



程立君, 吴银梅, 王磊, 等. 珍稀濒危植物珙桐研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2019(4):157-164.

# 珍稀濒危植物珙桐研究进展

程立君, 吴银梅, 王磊, 杨顺强, 高兴国, 师睿

(昭通学院, 云南 昭通 657000)

**摘要:**珙桐是我国特有的珙桐科单属植物,是国家一级保护植物和世界著名观赏植物,具有极高的观赏价值、特殊的科学研究价值和较高的经济价值。本文对珙桐的自然分布和生物学特性、繁育研究、植物化学成分和分子生物学遗传信息 4 个方面进行了综述,并对未来的研究进行了展望。

**关键词:**珙桐;繁育;化学成分;分子生物学

珙桐(*Davidia involucrate* Baill),别称水梨子和鸽子花树,分类地位上属珙桐科(Nyssaceae)珙桐属(*Davidia*)植物,在第四纪冰川时期,大部分区域的珙桐相继灭绝,只在中国南方的部分地区有存活,是一种孑遗植物,成为植物界的“活化石”,被列为国家一级保护植物<sup>[1]</sup>。珙桐是世界著名的观赏植物,有“中国鸽子树”的美称,开花时,花色纯白,顶生头状花序形似白鸽,繁花盛开时节,就像一群白鸽栖息在绿荫丛中,具有很高的观赏价值。珙桐作为第三纪古热带植物区系的孑遗植物,对研究植被进化和植物分类具有重要的参考价值 and 很高的生态价值<sup>[2]</sup>。此外,珙桐还具有较高的经济价值,其种子和果皮都能榨油,味道清香,既可作为优质的食品油,也可是工业用油;果核中蛋白质含量较高,可提取营养蛋白质;果内皮还可提炼香精;珙桐木材材质优良,可作为家具、建筑和工艺美术的原料;树皮与果皮中可提取拷胶或制备活性炭<sup>[3-4]</sup>。近年来,随着科学技术的发展与珙桐研究的深入,对珙桐自然分布、生物学特性、珙桐繁育、化学成分以及遗传分子生物学等方面的研究工作迅速发展,本文旨在对相关工作的进展进行综述性介绍,以期为珙桐的保护和开发利用提供参考。

## 1 珙桐的自然分布和生物学特性

珙桐是东亚植物区系中国-日本植物亚区华中区系的代表物种<sup>[5]</sup>,分布区多为凉湿型气候,具

有多雨多雾潮湿、夏凉冬寒的特点;分布海拔一般在 700~2 400 m,最高可达 3 150 m,相对湿度 80%以上,土壤多为黄壤土和黄棕壤土,偏弱酸性 pH4.5~6.5,以丘陵和山地峡谷为主,集中分布于山坡沟谷<sup>[6]</sup>。珙桐分布范围较窄,零星散状分布在我国西南地形复杂的深山峡谷地带,地理位置呈不连续水平分布,N27°1'~31°7',E98°6'~111°1',分布区在行政区域上属于湖北西部、湖南的西北部、贵州北部、四川盆地边缘地带和云南的东北部,包括 7 个省区(甘肃、陕西、湖北、湖南、四川、贵州和云南),约 40 多个市县;其中,在四川的卧龙自然保护区和大小凉山分布的数量最多、面积最大,珙桐天然林面积达 65 hm<sup>2</sup>以上<sup>[7]</sup>。近年来,有学者对全国各地珙桐种群的分布格局进行了研究,结果显示由于气候的变化和人类活动的影响,分布在湖南、四川、贵州、湖北、云南等地的珙桐种群分布范围逐渐缩小,以珙桐为主的阔叶林群落大多处于衰退状态,珙桐的生存能力再次受到考验<sup>[7-10]</sup>。根据珙桐的适宜分布地区气候,结合地理信息系统和生态信息软件系统,应用全球气候预测模型 GCM,预测到 2030 年适宜珙桐分布的面积比当前气候条件下适宜珙桐分布的面积约减少 20%<sup>[11]</sup>。利用分类和回归树生态位模型模拟气候变化对珙桐分布的影响结果也表明,珙桐适宜分布范围在模拟时段呈缩小趋势,气候变化将加剧珙桐现有适宜分布区的破碎化程度,气温变化对珙桐分布范围的影响大于降水量的影响<sup>[12]</sup>。

珙桐为落叶大乔木,一般高达 10~25 m,最高可达 30 m 以上。树皮深褐色或灰黄色,当年生枝紫绿色、无毛,多年生枝深褐色或深灰色。叶互生,纸质,宽卵形或近圆形,常长 9~15 cm,宽 7~12 cm,阔卵形先端渐尖,基部心脏形,边缘有

收稿日期:2018-10-25

基金项目:云南省教育厅科学研究基金重大专项(ZD2015018)。

第一作者简介:程立君(1986-),男,硕士,讲师,从事森林保护学研究。E-mail:chenglijun224@163.com。

通讯作者:王磊(1966-),男,学士,教授,从事生物学研究。E-mail:2448606209@qq.com。

尖端锐尖的粗锯齿;叶柄圆柱形,长4~5 cm。头状花序近球形,直径约2 cm,由数枚雄花与1个雌花或两性花组成,着生在幼枝顶端。花序基部长有2~3枚椭圆状卵形花瓣状的苞片,长7~15 cm,宽3~5 cm,最初为淡绿色,后变乳白色,之后变棕黄色脱落。果实为核果,长卵圆形,紫绿色表面有黄色斑点,外果皮薄,中果皮肉质,内果皮骨质坚硬。花期为4月下旬或5月上中旬,开花期的早晚由气温高低来决定,气温高花开的早,反之则晚,花期40~50 d,果期5至10月<sup>[13]</sup>。

珙桐的代表性形态特征之一在于其花序基部长有2枚对生的椭圆状卵形花瓣状的苞片<sup>[14]</sup>,在后来的考察研究中发现了两种形态特征比较特殊的珙桐,一种是苞片数量增加,发现还有3个苞片和4个苞片的珙桐,通常珙桐苞片为2枚<sup>[13]</sup>;另一种是叶片特征上的差异,可分为毛叶珙桐和光叶珙桐(*Davidia involucrate* var. *vilmoriniana*)两种,光叶珙桐资源非常稀少,仅分布在我国湖北西部、贵州、四川和云南等省的部分山区<sup>[15]</sup>。两者在形态学层面的差异主要在叶下表皮,毛叶珙桐叶下表皮密生有灰白色软毛,长2~5 mm,而光叶珙桐叶下表皮常无毛,或仅幼时叶背面叶脉上被疏生短柔毛;同时在种子外部形态上,珙桐种子较光叶珙桐种子细长,种子外壳裂纹较深,且珙桐种子的千粒重也高于光叶珙桐<sup>[16-17]</sup>。

## 2 珙桐的繁育研究

珙桐具有观赏、科研、经济等多种价值,因此开展珙桐的繁育工作一直以来是一项重要研究内容。珙桐繁育方式主要分为有性繁殖和无性繁殖。珙桐有性繁殖困难,一是因为种子败育率相当高,珙桐结实存在大小年的特性,早期落果严重,且有千花一果、结实率低的现象,珙桐果实出种量平均仅为1.616粒,出籽率最高仅为1.63%<sup>[18]</sup>。另外,珙桐种壳坚硬,透水透气性差,种子休眠期较长,用种子繁殖珙桐幼苗难度较大<sup>[3]</sup>。许多学者都对珙桐种子休眠原因做了研究,目前主要认为有以下几种原因:一是内果皮骨质坚硬,机械阻力是影响种子发芽的重要原因之一,有研究通过物理方法和化学方法对珙桐种子处理后提高了种子的发芽率<sup>[19]</sup>;二是种仁和种壳中都含有大量发芽抑制物质,而且低温层积一年再变温层积120 d后,内果皮及种子中的抑制物仍然具有活性<sup>[20]</sup>;三是珙桐种子存在形态后熟和生理后熟,在种子层积过程中种子和胚轴的长度、

鲜重和含水率均出现增加<sup>[21]</sup>;四是珙桐种子的休眠和萌发受脱落酸(ABA)和赤霉素(GA)的平衡和拮抗来调控,种子在未破壳时脱落酸(ABA)含量最高<sup>[22]</sup>;五是休眠基因的控制,有研究者构建了休眠期珙桐种子的cDNA文库,获得了一些新的序列<sup>[23]</sup>。但总的说来珙桐种子休眠的原因还没有彻底研究清楚,推测可归结为强迫休眠与生理休眠两方面共同作用的结果<sup>[1]</sup>。

由于利用种子进行有性繁殖很困难,其无性繁殖是珙桐人工繁殖的一条重要途径。无性繁殖的途径之一是营养繁殖,对于珙桐的营养繁殖,研究者们做了很多努力,如扦插、压条、嫁接等营养繁殖方式,但效果均不理想。从珙桐茎的解剖结构上来看,珙桐是比较容易扦插成活的物种<sup>[24]</sup>,但通过对扦插过程中愈伤组织的形成进行细胞组织学研究结论却表明珙桐扦插生根困难<sup>[25]</sup>,大量埋根育苗和扦插试验都没有生根或生根率低<sup>[26-27]</sup>,也证明了珙桐无性繁殖有存在困难。

无性繁殖的另一途径是组织培养,随着组织培养技术的发展,珙桐组织培养也得到了很大进展,相关报道不断出现,研究内容主要集中在对外植体的选择、培养基及植物生长调节剂选择等方面。珙桐组织培养主要选取冬芽、种子胚、茎、叶等为外植体,进行愈伤组织的诱导<sup>[28]</sup>、种胚离体培养<sup>[29]</sup>、丛生芽的诱导<sup>[30]</sup>等培养方式。如:夏晗等<sup>[31]</sup>利用冬芽进行愈伤组织诱导,首次获得珙桐完整植株,邹利娟等<sup>[32]</sup>将组培苗移栽成活率提高到80%。李月琴<sup>[33]</sup>和吴俊长等<sup>[34]</sup>利用珙桐种子的胚为材料进行组织培养,生根培养得到完整的植株。此外,董社琴等<sup>[35]</sup>采用珙桐细根根尖进行愈伤组织诱导,诱导率为98%;陈蕤坤等<sup>[36]</sup>采用珙桐花药进行愈伤组织诱导,诱导率为91.3%。

## 3 珙桐的化学成分研究

珙桐的化学成分和药理活性的研究报道较少,据相关珙桐植物化学成分报道统计,从珙桐中分离鉴定的化学成分大约70余种,主要包括三萜、甾体、黄酮、鞣花酸、生物碱、木脂素、酚酸及其相应的甙体<sup>[37]</sup>。向桂琼等<sup>[38]</sup>首次对从珙桐枝条中分离得到的6中化合物进行了报道,经化学和光谱分析,分别鉴定为蒲公英萜酮(D<sub>1</sub>)、蒲公英萜醇(D<sub>2</sub>)、 $\beta$ -谷甾醇(D<sub>3</sub>)、3,4-O, O-次甲基-3'-O-甲基鞣花酸(D<sub>4</sub>)、3,3', 4-O-三甲基鞣花酸(D<sub>5</sub>)、

鞣花酸( $D_4$ )。欧阳明安等<sup>[39-43]</sup>通过分离鉴定得到共 60 余种化合物,其中五环三萜类化合物 45 个、咖啡酸类化合物 5 个、黄酮类化合物 6 个、木脂素类 5 个、没食子酸类化合物 2 个、其他化合物 4 个,在这其中水溶性的 16 个,脂溶性成分 44 个。杨建波等<sup>[44]</sup>从光叶珙桐中分离得到 7 个化合物,其中  $2\alpha$ 、 $3\alpha$ 、 $19\alpha$ 、 $23$ -tetrahydroxyurs-12-en-28-oic acid-28-O- $\beta$ -D-glucopyranosyl ester 和短叶苏木酚酸乙酯(ethyl brevifolincarboxylate)为珙桐中新分离发现,并报道变种光叶珙桐体内有抗癌、抗病毒等生物活性化合物。目前已从珙桐近缘物种喜树、紫树中分离得到了几十种具有抗癌、抗病毒活性的天然化合物,部分得到广泛应用,使得珙桐体内的化合物成分和药理活性也引起了研究者的关注,现阶段从珙桐中发现的槲皮素、山奈酚等黄酮类化合物,也具有抗衰老、抗肿瘤、提高免疫力等药理作用<sup>[45]</sup>。

#### 4 珙桐的遗传多样性研究

随着分子生物学技术在珙桐研究中的应用,珙桐育种、遗传多样性、亲缘关系等方面都得到明显发展。

通过珙桐的遗传多样性研究,可以揭示其进化历史,为进一步分析其濒危原因、进化潜力和未来的发展提供重要资料,为珙桐遗传资源保护策略制定提供种群遗传学基本信息。在等位酶水平的研究显示,珙桐种群内的遗传变异大于种群间的遗传变异<sup>[46]</sup>,光叶珙桐的遗传多样性水平比原变种珙桐的遗传多样性水平要高<sup>[47]</sup>。分别采用 RAPD 标记(用随机扩增多态技术)<sup>[48]</sup>、ISSR 标记(简单重复序列间扩增)<sup>[49]</sup>、AFLP 标记(扩增片段长度多态性)<sup>[50]</sup>和基于 cpDNA 单倍型分析<sup>[51]</sup>等分子生物学技术对不同地区的珙桐种群遗传多样性研究结果都表明,珙桐种群具有丰富的遗传多样性,遗传变异以种群内为主,种群内的遗传变异大于种群间的遗传变异,但群体间的差异明显。根据 Meffe 等<sup>[52]</sup>的理论,生物物种或居群的遗传多样性大小是长期进化的产物,遗传变异的大小与其进化速率成正比。一个居群或物种遗传多样性越高或遗传变异越丰富,对环境变化的适应能力就越强,容易扩展其分布范围和开拓新的环境。因此,导致遗传多样性较高的珙桐种群逐渐消退和分布区缩小的主要原因是外部因素。

针对珙桐与其变种光叶珙桐叶下有毛和无毛

表型分子水平深入研究发现,两者间没有未找到的差异标记,没有遗传上的分化,叶毛被类型在珙桐中是典型的过渡性状<sup>[51]</sup>。

生物技术的广泛应用,基因表达分析在发现新基因及其功能和基因表达调控的复杂网络等研究中日趋重要,珙桐相关基因表达等分子生物学机理研究也陆续开展。为探讨珙桐含有的特有种属基因,房学爽<sup>[53]</sup>构建了珙桐叶片组织全长 cDNA 文库,齐刚等<sup>[23]</sup>构建了休眠期珙桐种子 cDNA 文库。季红春等<sup>[54]</sup>从珙桐 cDNA 文库中获得一个低温诱导膜蛋白相关基因(DiRCI);刘美等<sup>[55]</sup>从珙桐种子 cDNA 文库中获得热休克蛋白 18(HSP18)核苷酸序列,并对该蛋白的结构和功能进行了预测;雷泞菲等<sup>[56]</sup>克隆了珙桐脂肪酸脱饱和酶基因 DiFad2;任锐<sup>[57]</sup>克隆了珙桐 CAC 基因,并对其进行相关生物信息学分析,为揭示珙桐苞片发育的分子机制提供基础。以珙桐 cDNA 文库为基础,戴鹏辉等<sup>[58-59]</sup>获得了转录组数据,筛选到一个与珙桐逆境胁迫、花青素合成和种子发育过程相关的基因(*DiMYB1*),该基因编码一个珙桐 MYB 转录因子,并进一步分析了该基因的生物学信息;熊亚丽等<sup>[60]</sup>筛选到珙桐种子败育相关基因 *CesA*(c43681\_graph\_c0),在珙桐生殖器官中调控纤维素合成的关键基因,为解析珙桐种子败育的分子机制提供了基础。

#### 5 展望

珙桐起源古老,为第三纪古热带植物区系的孑遗种,对研究古植物区系和系统发育有重要科学价值,同时具有药用价值和观赏价值,但是近年来由于气候变化和人类活动干扰珙桐种群数量不断减少,分布范围也日益缩小,各地区群落分布多呈倒金字塔型,有被其他阔叶树种更替的危险。自 20 世纪 80 年代以来,学者们对珙桐开展了大量的研究,覆盖了珙桐的生物学、生态学、人工繁殖技术及引种栽培、生理生化以及分子生物学和遗传多样性等多个方面,并取得了一些进展,为挽救这一珍稀濒危物种奠定了良好的基础。但在珙桐繁殖技术、植物化学成分、分子和遗传等研究方向上还需更深层次的发展,同时加大其资源的保护力度。

珙桐的有性繁殖和无性繁殖都很困难,组织培养繁殖是解决珙桐种苗来源、扩大珙桐种植面积的重要途径,尽管研究者进行了多种途径的尝试,但目前组织培养的效率仍不尽如人意,存在

器官再生途径方面成功率低、褐化率高、变异严重等问题,因此进一步发展珙桐组培育苗技术,改善培养条件,实现工业化生产是重点研究方向之一。

珙桐作为一种古老的植物,其植物体内很可能存在很多未知的化学成分和生物活性成分,以及未能开发的药用价值,为了能够在创新药物上获得突破,有必要对珙桐的化学成分及生物活性物质开展更广泛和深入的研究。目前成功开发的对人体卵巢癌、小细胞肺癌和结肠癌疗效显著的 药物中,有两种是从珙桐近缘物种喜树、紫树中提取的化学成分为先导化合物开发的,分别是伊立替康(irinotecan, CPT-11)和拓扑替康(Topotecan)<sup>[47]</sup>,但珙桐的药用价值还未能完全体现出来。

现阶段珙桐遗传多样性研究结果表明,影响珙桐种群消退的主要原因是外部因素即地质变迁、气候变化、人为干扰等,因此建议加强珙桐原产地的就地保护,尽量推广种子繁殖有效保护珙桐的遗传多样性。同时为进一步指导珙桐种群保护和遗传育种,应加快有关珙桐遗传分化、生理发育分子机理及相关分子生物学等方面的理论研究进展,并将成果积极推广到实践保护中。

#### 参考文献:

- [1] 胡进耀,苏智先,黎云祥.珙桐生物学研究进展[J].中国野生植物资源,2003,22(4):15-19.
- [2] 陈俊汕.植物活化石——珙桐[J].中国林业,2007(4A):30-33.
- [3] 程立君,刘健君,王世敏,等.光叶珙桐内生真菌的分离及其多样性研究[J].现代园艺,2018(1):3-4.
- [4] 唐晓军.珙桐的特性与价值[J].西南园艺,2002,30(3):54-55.
- [5] 吴征镒.论中国植物区系的分区问题[J].植物分类与资源学报,1979,1(1):3-22.
- [6] 张家勋,李俊清.珙桐的天然分布和人工引种分析[J].北京林业大学学报,1995(1):25-30.
- [7] 刘海洋,金晓玲,沈守云,等.湖南珍稀濒危植物——珙桐种群数量动态[J].生态学报,2012,32(24):7738-7746.
- [8] 张望,操国兴,刘光华,等.四川省喇叭河自然保护区珙桐种群结构与分布格局[J].浙江农林大学学报,2008,25(4):451-457.
- [9] 喻理飞.贵州柏箐喀斯特台原区珙桐群落特征研究[J].贵州科学,2002(3):44-47.
- [10] 马宇飞,李俊清.湖北七姊妹山珙桐种群结构研究[J].北京林业大学学报,2005,27(3):12-16.
- [11] 张清华,郭泉水,徐德应,等.气候变化对我国珍稀濒危树种——珙桐地理分布的影响研究[J].林业科学,2000,36(2):47-52.
- [12] 吴建国,吕佳佳.气候变化对珙桐分布的潜在影响[J].环

境科学研究,2009,22(12):21-31.

- [13] 张家勋,李俊清,廉秀荣.珙桐的形态和生物学特性[J].北京林业大学学报,1994(4):33-37.
- [14] 张征云,苏智先,申爱英.中国特有植物珙桐的生物学特性、濒危原因及保护[J].淮阴师范学院学报(自然科学版),2003,2(1):66-69.
- [15] 汪正祥,刘胜祥,雷耘,等.湖北后河国家级自然保护区光叶珙桐群落物种多样性特征[J].华中师范大学学报(自然科学版),2000,34(1):84-87.
- [16] 孙彬,李柏年,林璋德,等.两种珙桐叶片结构的观察[J].西北植物学报,1993(3):198-202.
- [17] 程芸.珙桐与光叶珙桐的生物学特性及群落结构研究[D].北京:北京林业大学,2008.
- [18] 万朝琨.珙桐种子休眠的解剖学研究[J].中南林业科技大学学报,1988(1):35-39.
- [19] 张家勋,李俊清,周宝顺,等.珙桐繁殖和栽培技术研究[J].北京林业大学学报,1995(3):24-29.
- [20] 钱存梦,江周,周健,等.珙桐种子层积过程中抑制物活性的变化[J].南京林业大学学报(自然科学版),2016,40(3):188-192.
- [21] 洪健.珍稀濒危植物珙桐种子萌发特性研究[D].恩施:湖北民族学院,2016.
- [22] 雷泞菲,彭书明,牛蓓,等.珍稀濒危植物珙桐种子休眠萌发过程中内源激素的变化[J].广西植物,2009,29(1):66-69.
- [23] 齐刚,苏智先,李劲涛,等.休眠期珙桐种子 cDNA 文库构建及 EST 分析[J].林业科学,2009,45(10):69-73.
- [24] 黎明,苏金乐.珙桐营养器官解剖学研究[J].河南农业大学学报,1999,33(4):357-359.
- [25] 易咏梅,罗世家.珙桐茎的解剖构造及愈伤组织形成的研究[J].湖北民族学院学报(自然科学版),2000(3):4-6.
- [26] 陈坤荣,李桐森,田广红,等.珙桐繁殖的生物学特性[J].西南林学院学报,1998,18(2):68-73.
- [27] 徐华.千家坪林区珙桐分布及其培育技术研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2008.
- [28] 毛艳萍,苏智先,胡进耀,等.濒危植物珙桐愈伤组织的诱导及悬浮细胞培养初探[J].武汉植物学研究,2010,28(4):510-515.
- [29] 余阿梅,苏智先,王立强,等.珍稀濒危植物珙桐胚的萌发与快速繁殖[J].植物学报,2009,44(4):491-496.
- [30] 金晓玲,吴安湘,沈守云,等.珍稀濒危植物珙桐离体快繁技术初步研究[J].园艺学报,2007,34(5):1327-1328.
- [31] 夏晗.珙桐组织培养技术体系研究[D].成都:四川农业大学,2003.
- [32] 邹利娟,苏智先,胡进耀,等.濒危植物珙桐的组织培养与植株再生[J].植物研究,2009,29(2):187-192.
- [33] 李月琴,雷泞菲,林莎,等.濒危植物珙桐的组织培养技术研究[J].安徽农业科学,2007,35(18):5369-5370.
- [34] 吴俊长,李萌,曹福祥,等.珙桐种子快速繁殖技术的研究[J].中南林业科技大学学报,2016,36(2):66-70.
- [35] 董社琴,李冰雯.天然提取物对珙桐茎诱导愈伤组织的影响[J].安徽农业科学,2007,35(29):9176-9177.
- [36] 陈蕤坤,吴鹏飞,何青霞,等.珙桐花药诱导愈伤组织的初

- 步研究[J]. 四川大学学报(自然科学版), 2012, 49(5): 1137-1142.
- [37] 谭庆伟. 珙桐化学成分研究进展[J]. 武夷科学, 2012, 28(1): 133-137.
- [38] 向桂琼, 卢馥荪. 中国特有植物珙桐化学成分研究[J]. 植物学报, 1989, 31(7): 540-543.
- [39] Ouyang M A, Huang J. Neolignan and lignan glycosides from branch bark of *Davidia involucrata* [J]. Journal of Asian Natural Products Research, 2007, 9(6-8): 487-492.
- [40] Ouyang M A, Zhou J N, Wang S B. New caffeoyl derivatives from the leaves of *Davidia involucrata* [J]. Natural Product Research, 2008, 22(6): 471-476.
- [41] Wu Z J, Ouyang M A, Wang S B. Two new phenolic water-soluble constituents from branch bark of *Davidia involucrata* [J]. Natural Product Research, 2008, 22(6): 483-488.
- [42] Tan Q W, Ouyang M A, Gao B. Three new ring-A modified ursane triterpenes from *Davidia involucrata* [J]. Molecules, 2014, 19(4): 4897-4906.
- [43] Tan Q W, Ouyang M A, Chen Q J, et al. Five new taraxerene-type triterpenes from the branch barks of *Davidia involucrata* [J]. Molecules, 2014, 19(11): 17619-17631.
- [44] 杨建波, 吉腾飞, 王爱国, 等. 光叶珙桐化学成分的研究[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(7): 777-779.
- [45] 张学军. 珙桐叶水溶性化学成分的分离与结构鉴定[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
- [46] 李建强, 张敏华, 黄宏文, 等. 珙桐的等位酶位点变异分析[J]. 武汉植物学报, 2000, 18(3): 247-249.
- [47] 彭玉兰, 胡运乾, 孙航. 光叶珙桐的等位酶分析及其生物地理学意义[J]. 植物分类与资源学报, 2003, 25(1): 55-62.
- [48] 宋丛文, 包满珠. 天然珙桐群体的 RAPD 标记遗传多样性研究[J]. 林业科学, 2004, 40(4): 75-79.
- [49] 关萍, 张玉晶, 石建明, 等. 濒危植物珙桐种群遗传多样性分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015(9): 71-76.
- [50] 李雪萍, 李在留, 贺春玲, 等. 珙桐遗传多样性的 AFLP 分析[J]. 园艺学报, 2012, 39(5): 992-998.
- [51] 杜玉娟. 孑遗植物珙桐的群体遗传学和谱系地理学研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [52] Meffe G K. Human population control: The missing awareness[J]. Conservation Biology, 1994, 8(1): 1-3.
- [53] 房学爽. 珙桐叶片 cDNA 文库构建[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2008.
- [54] 季红春, 苏智先, 杨军, 等. 珙桐中一个与低温相关基因的克隆及其表达研究[J]. 植物分类与资源学报, 2010, 32(2): 150-157.
- [55] 刘美, 苏智先, 齐刚, 等. 珙桐热休克蛋白序列分析及功能预测[J]. 光谱实验室, 2011, 28(1): 36-40.
- [56] 雷泞菲, 彭书明, 唐琳, 等. 珍稀濒危植物珙桐脂肪酸脱饱和酶基因 DiFad2 克隆与表达[C]// 中国化学会. 中国化学会第 26 届学术年会化学生物分会场论文集, 北京, 2008.
- [57] 任锐, 戴鹏辉, 曹福祥, 等. 珙桐 CAC 基因的克隆及其作为内参基因的评价[J]. 生物技术通报, 2017, 33(4): 119-129.
- [58] 戴鹏辉, 任锐, 曹福祥, 等. 珙桐 MYB 转录因子 *DiMYB1* 基因的克隆及表达分析[J]. 植物生理学报, 2016(8): 1255-1262.
- [59] 戴鹏辉, 任锐, 董旭杰, 等. 珙桐转录因子 *DiMYB1* 基因的生物信息学分析[J]. 北方园艺, 2017(2): 112-116.
- [60] 熊亚丽, 曹福祥, 刘志明, 等. 珙桐种子败育相关基因 *CesA* 的克隆及表达分析[J]. 植物生理学报, 2016(10): 1481-1490.

## Research Progress of Endangered Plant *Davidia involucrata*

CHENG Li-jun, WU Yin-mei, WANG Lei, YANG Shun-qiang, GAO Xing-guo, SHI Rui

(Zhaotong University, Zhaotong 657000, China)

**Abstract:** *Davidia involucrata* is a unique single genus of Davidiaceae in China. It is a national first-class protected plant and world-famous ornamental plant. It has high ornamental value, special scientific research value and high economic value. In this paper, the natural distribution and biological characteristics of *Davidia involucrata*, breeding research, plant chemical composition and genetic information of molecular biology were reviewed, and future research was prospected.

**Keywords:** *Davidia involucrata*; breeding; chemical composition; molecular biology

欢迎关注本刊微信公众号

