

珙桐繁殖技术及生长发育研究进展

牛文娟¹, 张涛², 邓东周^{3,*}, 庄文化¹

¹四川大学水利水电学院, 成都610065; ²北川羌族自治县林业局, 四川绵阳622750; ³四川省林业科学研究院, 成都610081

摘要: 珙桐是我国特有的珙桐科植物, 是第三纪古热带植物的孑遗种, 被称为植物界的大熊猫, 在植物界有“活化石”的美称。珙桐具有很高的观赏价值、生态价值和经济价值。但因珙桐自然繁殖率低, 人工增加其数量显得尤为重要。本文综述比较了国内外珙桐繁殖技术, 发现目前主要采用种子育苗、扦插繁殖、组织培养等方法进行人工繁殖。珙桐种子的休眠期长、出苗率低, 使用机械破损种子法、变温处理法、化学试剂处理法、人畜尿液浸泡法来处理种子, 在一定程度上增加了种子的出芽率, 但效果不是很明显; 湿砂层积法处理种子效果较好。通过珙桐的冬芽、根、茎、叶进行组织培养方法进行珙桐人工繁殖的研究正在得到重视。

关键词: 珙桐; 繁殖技术; 发芽; 组织培养

A Review on Reproductive Technology and Growing of *Davidia involucrata* Baill

NIU Wen-Juan¹, ZHANG Tao², DENG Dong-Zhou^{3,*}, ZHUANG Wen-Hua¹

¹College of Water Conservancy and Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China; ²Forestry Bureau of Beichuan Qiang Autonomous County, Mianyang, Sichuan 622750, China; ³Sichuan Provincial Academy of Forestry, Chengdu 610081, China

Abstract: *Davidia involucrata* Baill, the epibiotic species of ancient tropical plants of Tertiary Period, is a peculiar property in China. It's known as the "living fossil" of the plant kingdom like the giant panda of the animal kingdom. *Davidia involucrata* Baill is of great value in observing, ecology and economics. As its natural production rate is very low, it's necessary to increase the population of *Davidia involucrata* Baill by artificial way. At present, common ways of artificial cultivation are seed seeding, cutting reproduction and tissue culture. The seed of *Davidia involucrata* Baill have a long dormancy stage with low germination rate, so seeds are often processed by mechanical damaging, poikilothermic treatment, chemical reagent or urine of people and animals. All these treatments could only improve its reproduction rate to a certain degree without significant effect. A better way is to process the seed by lamination of greensand. Besides, tissue culture by using winter buds, roots, stem or leaves of *Davidia involucrata* Baill can also be a way to increase the quantity.

Key words: *Davidia involucrata* Baill; reproductive technology; burgeon; tissue culture

珙桐(*Davidia involucrata* Baill), 又称为“中国的鸽子树”, 是我国特有的珙桐科植物, 第三纪古热带植物的孑遗种, 全科只有珙桐一种和一个变种。早在几百万年前, 珙桐曾广泛的分布在地球上, 但随着第四季冰川时代的到来, 全球气温急剧降低, 大部分珙桐都被冰川吞没而灭绝(Song和Bao 2006), 我国西南地区由于地形复杂, 有部分珙桐存活下来。自然条件下, 珙桐主要分布在我国西部长江流域的湿润亚热带山地, 陈俊汕(2007)认为, 珙桐适宜生长在气候温凉、湿润、多雨、多雾的山地环境, 大多只占据沟谷两侧山坡中、下部。自1896年, 一位法国人在我国四川首次发现珙桐以来, 1903年首先引种到英国, 珙桐种植风靡一时, 逐渐成为世界闻名的观赏树木。珙桐对生长环境要求苛刻, 生存空间时刻面临着威胁, 同时因为千

花一果、结实率低的原因, 其自然繁殖能力很低, 已成为濒临灭绝的中国特有的植物种。20世纪80年代以来我国学者对珙桐开展了较多的研究, 取得了一些进展。在育苗方面常采用机械破损种子法、变温处理法、化学试剂处理法、人畜尿液浸泡法、湿砂层积法来处理种子; 在组织培养方面, 常取珙桐的冬芽、根、茎、叶进行组织培养。

1 种子育苗繁殖

1.1 珙桐生殖特性

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。王伟伟等

收稿 2013-06-13 修定 2013-08-19

资助 北川羌族自治县汶川地震灾后大熊猫等保护及栖息地恢复重建项目试验研究项目和国家自然科学基金(51209153)。

* 通讯作者(E-mail: 280246765@qq.com)。

(2006)实验证明, 珙桐果实出种量平均仅为1.616粒, 出籽率最高仅为1.63%, 对于具有6~10个心室的珙桐种子来说, 种子败育率相当高。珙桐果核壁厚而坚硬, 种子在果核中所占体积和重量均很小, 种子重仅占果核重的6.02%, 远不能与核桃、桃等核果类植物相比。在自然条件下, 珙桐种子随果实成熟脱落后, 要经历长达2~4年的休眠期。在此期间, 珙桐种子能否成功度过休眠期萌发成幼苗, 要经过环境的强烈筛选, 珙桐自身的有性繁殖难以满足种群的发展壮大(Lei等2003)。

1.2 珙桐种子的结构与发育特点

吴代坤等(2010)认为, 珙桐果实为核果, 果核壁高度木质化增厚, 外果皮有着坚硬的角质层, 并且局部有不规则的毛状突起和皮孔, 在角质层的局部可以看到横向裂开, 开裂处有管状结构与中果皮相通。在珙桐种子中果皮的局部可以见到石质化细胞散布, 维管组织少。珙桐种子的内果皮也是高度的石质化, 有明显的维管束结构。罗世家(2002)认为珙桐种子果核分4室~10室、3室~5室发育, 胚的组成部分发育完全, 种子的发育状况、胚的形态结构不是影响珙桐发芽及发芽率的关键因素, 而主要是果皮坚硬而造成的机械阻力的影响。珙桐种子的这种坚硬和高度木质化的结构对种胚具有强烈的机械约束作用, 客观上影响水分的渗透和气体交换, 对珙桐种子萌芽造成阻碍。

1.3 珙桐种子育苗繁殖研究进展

目前推测珙桐种子休眠的原因有两种: 生理休眠、强迫休眠。真正的原因还没有一个肯定的结论。有些学者倾向于珙桐种子中存在抑制物质, 雷泞菲等(2009)利用高效液相色谱(HPLC)测定各阶段种子及其内果皮中ABA(脱落酸)、GA(赤霉素)、KT(细胞分裂素)、IAA(3-吲哚乙酸)4种内源激素含量, 分析其比值动态变化, 并与幼苗阶段进行比较表明, 未破壳种子的内果皮中内源激素含量以ABA最高, 其次是GA、IAA、KT, 随着种子破壳后4种激素含量显著降低。推测珙桐种子的休眠和萌发可能主要受ABA和GA的平衡和拮抗来调控。

珙桐种子具有很长的休眠期, 一般要在湿沙中层积2~3年才能萌发, 并且有隔年萌发的现象。罗世家等(2009)对珙桐繁殖方面的研究的发现, 机

械破损果皮、酸或碱处理果实、人畜尿液浸泡、变温层积等对打破休眠的效果均不显著, 都只能一定程度上使种子提前发芽, 只能或多或少地提高发芽的整齐度, 湿沙层积法效果较好。

1.4 珙桐种子育苗技术

种子的发芽试验已有研究主要从解除果皮的机械阻力、促进胚的形态后熟和生理后熟作用、解除抑制物质的抑制作用等三个方面进行, 总结出了以下几种打破种子休眠的方法:

(1)机械破损种子法。用木棍反复敲打珙桐种子, 使种子开裂, 或用砂轮把种皮磨薄, 可以解除内果皮的机械障碍所引起的休眠。

(2)变温处理法。将吸足水分后的种子放在变温箱里, 先用-5~10℃的低温处理珙桐种子12 h, 再用10~20℃高温处理12 h, 重复处理20~30 d。种子浸水后变温处理, 因膨胀系数不同, 使种子开裂, 可以解除由于珙桐果皮的机械障碍而引起的休眠。

(3)化学试剂处理法。用稀硫酸或稀盐酸浸泡种子1~2 h, 然后用清水冲洗0.5 h, 再水浸48 h, 然后播种, 可起到软化种皮的作用。

(4)人畜尿液浸泡法。将干燥的珙桐果实连同种子用新鲜的人畜粪尿浸泡2个月, 然后用水冲洗, 除去果实部分后播种, 也可促进珙桐种子的发芽。

(5)超声波处理。珙桐种子浸水后用一定剂量的超声波处理, 可以极大地提高种子的发芽率。

(6)湿沙层积法。湿沙层积是解除种子休眠最常用的方法, 很多种子无论是生理休眠、还是被迫休眠都可以用湿沙层积解除。

贺全红和王秋霞(2012)将当年11月采收的成熟种子, 除去果肉, 贮藏在湿沙中, 保温保湿到第3年春天再播种, 既可软化珙桐果皮, 增加透性, 解除种子萌发的机械阻力, 又可以使种子萌发抑制物质的含量下降, GA等激素的含量增加, 完成种子的生理后熟和形态后熟, 且可同时提高了种子的萌发率和整齐度。

唐晓军(2002a)采用的露天低温催芽法使种子出芽时间缩短在一年以内, 发芽率达98%以上, 且温度越低发芽率越高。将采收下来的珙桐毛种(包括中果皮、外果皮)不作任何处理, 直接置于冬天寒冷的露天环境中, 并于次年3月直接播入土中。测定毛种堆放地气温, 在6.9℃时, 发芽率约为

98.3%, 在-2.5 °C时, 发芽率可达99.3%。

刘昌美等(2009)用10 cm河沙埋藏种子60~90 d后, 氨水浸泡30 d, 再进行变温处理, 置于-5 °C冰柜内12 h, 再取出放入25 °C恒温箱12 h, 如此反复处理30 d, 3月份播种, 10月份出芽率达到了95%。

珙桐种子发芽率对温度和湿度有严格的要求(Wu等2000)。刚出苗时, 在阴湿、排水不良情况下, 根、茎、子叶都易腐烂, 死亡率高(唐晓军2002b)。真叶出现前须用托布津1 000倍液或代森锌500倍液喷洒苗木, 真叶出现后可施用低浓度农家肥, 长出3对真叶后, 适当施用0.5%的碳酸氢铵等化肥, 苗长得快。

在病虫害防治工作方面, 衡勇等(2008)认为, 可用40%氧化乐果乳剂200倍液喷洒在苗行间, 或用50%杀螟松乳油800~1 000倍液喷雾, 防治地下害虫及食叶害虫。用代森锌60%~70%可湿性粉剂500~1 000倍液雨季前每10~15 d喷洒1次, 连续2~3次, 或用福尔马林200倍液于出苗后每周喷雾1次, 连续2~3次就可以防治叶枯病、叶斑病、菌核性根腐病等病害。

2 组织培养

2.1 冬芽组培

冬芽是珙桐组培中使用频率最高的外植体, 用冬芽增殖培养成苗有利于保护植物的遗传稳定性, 从而达到快速繁殖和物种保存的目的。毕世荣等(1983)采用冬芽经过愈伤诱导, 分别形成了根、芽和小苗, 虽然对激素的最适浓度、增殖倍数等未作明确说明, 但为后人的科研工作奠定了基础。邹利娟(2009)等以珙桐冬芽为外植体, 采用两种不同的方法(冬芽直接诱导形成丛生芽和冬芽诱导-带芽茎段-腋芽增殖)诱导丛生芽产生, 均取得了良好的效果, 直接诱导成苗周期更短, 增殖系数高, 接种到移栽时间约为100 d。Jin等(2007)采用正交实验设计研究出珙桐冬芽组培的最佳培养基, 采用MS和WPM基本培养基, 添加植物生长调节剂6-苄基腺嘌呤(6-BA)、玉米素(ZT)和萘乙酸(NAA)后发现增殖的最有效的培养基为WPM基本培养基添加2 mg·L⁻¹ 6-BA和0.1 mg·L⁻¹ NAA, 诱导率高达92.3%。

2.2 种子组培

珙桐种子的结构及生理后熟等特点给珙桐种

子组培带来了很大的阻碍。试验发现, 珙桐种子低温浸泡时间的长短很重要。低温浸泡时间过短或过长都会使污染率和褐化率较高。李月琴等(2007)通过试验测得珙桐种子低温处理7 d较为合适, 表面灭菌用10%次氯酸钠灭菌15 min的效果最好, 生根培养基的最佳配方为: 1/2MS+0.8 mol·L⁻¹ IBA+0.2 mol·L⁻¹ NAA。余阿梅等(2009)首次采用均匀设计和回归分析方法对影响珙桐胚萌发的3种因素(基本培养基、赤霉素和活性炭)进行优化, 并利用萌发胚建立了珙桐的高效再生体系。利用回归方程得出胚萌发的最优条件为: 在含有0.5 mol·L⁻¹ IBA和1 mol·L⁻¹ 6-BA的1/2MS培养基中添加2.85 mol·L⁻¹ GA₃和0.25 mol·L⁻¹ 活性炭。萌发率为87.72%。最优的芽诱导与增殖条件为: 添加0.1 mol·L⁻¹ NAA和2.0 mol·L⁻¹ 6-BA的WPM培养基, 增殖系数为4.34。在生根培养基中增殖的芽生根率高达90%, 移栽成活率为71%。

2.3 根、茎、叶组培

董社琴和李冰雯(2007)采用一到两年生珙桐的根尖为外植体, 愈伤组织的诱导率高达98.83%, 经过诱导后可以形成不定芽和不定根。毛艳萍等(2010)以珙桐无菌苗的下胚轴为外植体, 以LSD分析和正交设计为主要研究方法, 诱导和筛选愈伤组织, 进行悬浮培养, 初步建立了珙桐悬浮培养体系, 选出最佳愈伤组织诱导培养基为WPM+1.0 mol·L⁻¹ KT+0.5 mol·L⁻¹ 2,4-D+1.0 mol·L⁻¹ 维生素C; 悬浮细胞培养中, 接种量和Ca²⁺浓度是影响生物量的主要因素, 最佳接种量为25 g·L⁻¹, 最佳Ca²⁺浓度为标准WPM培养基中Ca²⁺浓度的2倍。罗世家(2006)以茎、叶、芽为外植体, 采用正交设计的方法研究了不同培养基、激素配比对愈伤诱导的影响, 证明了不同的外植体最适宜的培养基也不同。相比较而言, 芽比茎和叶更容易诱导出愈伤组织。

杨锋利等(2008)以珙桐带芽茎段为外植体, 采用不同的消毒方式, 通过正交设计研究了基本培养基、6-BA、NAA以及培养温度对珙桐初代培养的影响, 选择出初代培养的最佳组合为: 在15 °C下选用WPM+2.0 mol·L⁻¹ 6-BA+0.1 mol·L⁻¹ NAA。

3 影响珙桐生长发育的环境条件

3.1 气候

珙桐、尤其是珙桐幼苗对生长条件的要求较

高, 干旱胁迫将破坏幼苗的光反应系统, 并降低其水分利用效率, 过高或过低的光照强度都会改变珙桐幼苗叶绿素含量及组成, 最终导致光合效率的降低。陈艳和苏智先(2011)认为, 以光照对幼苗和幼树生长的影响最为显著, 光强和光质影响了幼苗的形态建成和光合效率, 适度遮荫有利于生长, 红光和黄光对生长最为不利。

吴建国和吕佳佳(2009)利用分类和回归树生态位模型, 模拟分析了气候变化对珙桐分布的影响, 结果表明, 气候变化后, 珙桐目前适宜分布范围将减小, 其中最适宜分布范围减少60%~80%, 一般适宜分布范围减少50%~80%。新适宜及总适宜分布范围增加, 在1991~2020年较大, 之后减小; 宜、新适宜及总适宜分布范围中最不适宜范围增加, 不适宜分布范围在1991~2020年较大, 之后减小。张清华等(2000)认为, 从目前预测的时间尺度上看, 珙桐的变化可能跟不上气候的迅速变化以保持平衡。

3.2 土壤

珙桐成土母岩以中生代侏罗纪沙页岩和泥质叶岩为主, 土壤为酸性褐色棕壤、黄壤和黄棕壤, pH值为4.5~6.5。珙桐对土壤适应性较强, 山地黄壤、黄棕壤、棕壤及红黄壤均能生长, 但在腐殖质层厚、湿润、疏松、肥沃、排水良好、团粒结构的偏酸性土壤上生长较好。

杨敬天等(2010)为正确评价珙桐林的土壤酶活性对土壤有机质的影响程度, 运用途径分析的方法研究了绵竹白云山原始珙桐林土壤有机质与酶活性的关系。结果表明, 脲酶活性对土壤有机质的直接途径系数和决定系数值均较大, 成为5种土壤酶中影响土壤有机质的最主要因素, 过氧化氢酶、酸性磷酸酶和蛋白酶对土壤有机质的显著相关性主要是通过脲酶活性的间接影响。因此, 珙桐林土壤脲酶活性可以表征土壤有机质的含量状况, 可作为评价土壤肥力的一个重要指标。

肖开煌等(2007)为探讨珙桐生长的最适海拔高度及其与土壤性质的关系, 研究了四川卧龙自然保护区白泥岗地带不同海拔高度的珙桐群落的植物多样性及其根际土壤性质, 相关分析表明, 速效磷、速效钾和pH值与群落物种多样性无显著相关性, 只有淀积层有机质、腐殖质层含水量与群

落物种多样性显著相关, 母质层速效氮和淀积层、母质层含水量甚至与群落物种多样性显著负相关。

3.3 海拔

珙桐在700 m以下的低山沟谷到2 000~3 000 m的云贵高原都有分布, 但其分布方式是不连续和零星状的。钟小翠等(2010)通过试验结果表明随着海拔的升高, 珙桐叶片的气孔密度呈先升高后下降趋势。在低海拔区, 珙桐的气孔密度逐渐升高, 对珙桐的光合作用产生积极的影响; 在高海拔区, 土壤湿度降低, 为了降低蒸腾作用, 气孔密度呈下降趋势。海拔1 500~1 700 m珙桐的气孔密度最大, 在此海拔范围内, 珙桐适应性较好。

3.4 人为因素

珙桐树姿优美, 观赏性高, 用途广泛。在利益的驱使下, 人类采摘、采伐和采挖现象严重。珙桐受人类活动影响严重, 导致其自然种群更新非常困难, 是造成珙桐的遗传多样性降低并濒于灭绝的最重要原因(Farwig等2008)。研究证实人类活动对珙桐的种群结构和更新已造成严重的影响。而珙桐的生存对外界环境变化非常敏感, 环境变化易造成珙桐天然更新困难, Luo等(2011)通过对珙桐的遗传多样性进行简单重复序列标记, 发现珙桐最适合就地保护。

4 结论

综上所述, 珙桐自然繁殖对环境因素、人为因素等极为敏感, 再加上珙桐自身的生长特性和种子结构特征使得珙桐的数量逐年减少, 自然繁殖极为困难。近二十年来, 研究者们对珙桐的繁殖技术做了大量的研究。通过对珙桐种子内部结构的分析和种子萌发阶段激素的研究推测, 珙桐繁殖困难的主要原因可能是激素抑制引起的生理休眠和种壳坚硬引起的强迫休眠。打破珙桐种子休眠的育苗技术主要有机械破损种子法、变温处理法、化学试剂处理法、人畜尿液浸泡法、湿沙层积法等, 实践证明, 湿沙沉积法是提高珙桐种子萌发整齐度的最有效方法, 但萌发期长, 与变温处理等其他方法结合, 综合使用效果最好。

珙桐组织培养繁殖是解决濒危植物珙桐种苗来源、扩大珙桐种植面积的重要途径。许多研究者用成熟胚和冬芽作为外植体均成功获得了珙

桐的组培苗,但分化率低、褐化、变异严重等问题依然存在。许多有关方面的研究还处在起步试验阶段,距珙桐组培工业化生产还有一定的距离。可以进一步扩大外植体的选择范围,找出适宜的培养基种类、最佳的激素种类与配比以及适宜无机盐浓度、光照强度和温度,建立珙桐快速繁殖体系。同时,应结合珙桐其他相关方向的研究成果,结合生物技术方法改良珙桐的品质,以增加珙桐的数量,推进工厂化珙桐组培育苗。

尽管人们找到了很多增加珙桐数量的繁殖育苗方法,但仍没有改变珙桐濒危的自然状况,以后还要在就地保护和迁地保护方面做更多的努力以减少人为因素对珙桐群落的破坏,尽人类最大的努力去保护美丽的“鸽子树”。

参考文献

- 毕世荣,何立明,孔凡伦,徐正兰,苏成端(1983). 珙桐组织培养. 植物生理学通讯, 4: 43~44
- 陈俊油(2007). 植物活化石——珙桐. 中国林业, (11): 30~33
- 陈艳,苏智先(2011). 中国珍稀濒危孑遗植物珙桐种群的保护. 生态学报, 31 (19): 5466~5474
- 董社琴,李冰雯(2007). 珙桐离体根培养的研究. 北方园艺, 12: 206~207
- 贺全红,王秋霞(2012). 珙桐播种育苗技术. 湖北林业科技, 179: 80~81
- 衡勇,吴松,何银玲,李永梅(2008). 珙桐的生物学特性与繁殖技术. 现代农业科技, 1: 36~37
- 雷泞菲,彭书明,牛蓓,周嘉峪,苏智先,陈放(2009). 珍稀濒危植物珙桐种子休眠萌发过程中内源激素的变化. 广西植物, 29 (1): 66~69
- 李月琴,雷泞菲,林莎,秦小波,徐莺,陈放(2007). 濒危植物珙桐的组织培养技术研究. 安徽农业科学, 35 (18): 5369~5370
- 刘昌美,付甫永,王安良(2009). 珙桐种子处理试验. 中国农村小康科技, 9: 43
- 罗世家(2002). 珙桐种子的解剖研究. 湖北民族学院学报(自然科学版), 20 (4): 18~19
- 罗世家(2006). 珙桐组织培养研究. 林业科技, 31 (4): 4~6
- 罗世家(2009). 珙桐繁殖技术研究. 湖北民族学院学报(自然科学版), 27 (3): 264~266
- 毛艳萍,苏智先,胡进耀,陈艳,钟小翠(2010). 濒危植物珙桐愈伤组织的诱导及悬浮细胞培养初探. 武汉植物学研究, 28 (4): 510~515
- 唐晓军(2002a). 珙桐的繁育及引种栽培技术. 四川林勘设计, 1: 50~63
- 唐晓军(2002b). 珙桐的引种繁殖技术. 林业科技开发, 16 (3): 51~53
- 王伟伟,苏智先,胡进耀,雷泞菲,朱利君,张亚爽(2006). 珍稀濒危植物珙桐不同采收期的种子特性研究. 广西植物, 26 (2): 178~182
- 吴代坤,戴应金,李双龙,牟仁斌(2010). 珙桐繁殖技术研究现状. 四川林业科技, 31 (5): 118~120
- 吴建国,吕佳佳(2009). 气候变化对珙桐分布的潜在影响. 环境科学研究, 22 (12): 1371~1381
- 肖开焯,苏智先,张素兰,黎云祥,文国琴,程志平(2007). 不同海拔珙桐群落乔木物种多样性与土壤因子关系研究. 云南大学学报(自然科学版), 29 (4): 408~413
- 杨锋利,苏智先,杜保国,胡进耀,邹丽娟(2008). 珍稀濒危植物珙桐初代培养影响因素研究. 江苏农业科学, 6: 83~84
- 杨敬天,苏智先,胡进耀,吴庆贵,贺静(2010). 珙桐林土壤有机质与酶活性的通径分析. 应用与环境生物学报, 16 (2): 164~167
- 余阿梅,苏智先,王立强,方志荣,邹利娟(2009). 珍稀濒危植物珙桐胚的萌发与快速繁殖. 植物学报, 44 (4): 491~496
- 张清华,郭泉水,徐德应,阎洪(2000). 气候变化对我国珍稀濒危树种——珙桐地理分布的影响研究. 林业科学, 36 (2): 47~52
- 张巧仙(2005). 我国种子发芽生理的研究进展. 山西农业大学学报, 4 (5): 104~106
- 钟小翠,吴庆贵,贺静,王君蓉,杨敬天(2010). 海拔对珙桐叶片比叶面积和气孔密度的影响. 绵阳师范学院学报, 29 (2): 76~78
- 邹利娟,苏智先,胡进耀,吴庆贵,苏瑞军,余阿梅(2009). 濒危植物珙桐的组织培养与植株再生. 植物研究, 29 (2): 187~192
- Farwig N, Braun C, Böhning-Gaese K (2008). Human disturbance reduces genetic diversity of an endangered tropical tree, *Prunus africana* (Rosaceae). *Conserv Genet*, 9 (2): 317~326
- Lei NF, Su ZX, Chen JS, Guo JH (2003). Germination inhibitors in fruit of rare and endangered *Davidia involucrata*. *Chin J Appl Environ Biol*, 9 (6): 607~610
- Luo SJ, He YH, Ning GG, Zhang JQ, Ma GY, Bao MZ (2011). Genetic diversity and genetic structure of different populations of the endangered species *Davidia involucrata* in China detected by inter-simple sequence repeat analysis. *Trees*, 25: 1063~1071
- Jin XL, Zhang HY, Wu AX, Zhang RQ, Wu YT (2007). *In vitro* regeneration of *Davidia involucrata* Baill. In: *Acta Horticulturae*. 27th International Horticultural Congress on Plant Biotechnology, Seoul, South Korea, 2006. 764: 307~317
- Song CW, Bao MZ (2006). Genetic diversity of RAPD mark for natural *Davidia involucrata* populations. *Front For China*, 1 (1): 95~99
- Wu G, Xiao H, Li J, Ma KM (2000). Relationship between human activities and survival of rare and endangered species *Davidia involucrata*. *J Appl Ecol*, 11 (4): 493~496