

刘召华. 秤锤树属(*Sinojackia* Hu)植物研究进展[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(13): 11–15.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.13.003

# 秤锤树属(*Sinojackia* Hu)植物研究进展

刘召华

(江苏省徐州市张集中等专业学校, 江苏徐州 221114)

**摘要:**秤锤树属是我国特有的珍稀濒危植物, 全属片段化分布于我国北亚热带各省(区)。本文从系统进化和演化、地理分布、细胞学、孢粉学、快繁技术、化学成分及遗传多样性和保护生物学等方面对本属植物近年来的研究进展进行了综述。

**关键词:**秤锤树属; 地理分布; 种子休眠; 快速繁殖; 化学成分; 细胞学; 孢粉学; 遗传多样性

**中图分类号:** Q949.99 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)13-0011-05

秤锤树(*Sinojackia xylocarpa* Hu)别称杰克木、秤砣树, 为安息香科(Styracaceae)秤锤树属(*Sinojackia* Hu)的统称, 由胡先骕根据秦仁昌于 1927 年在南京幕府山采集的模式标本而定名, 是我国植物学家发表的第 1 个新属<sup>[1]</sup>, 也是我国特有的少种属; 该属共有 5 个种, 除秤锤树外, 还有狭果秤锤树(*S. rehderiana* Hu)、棱果秤锤树[*S. henryi* (Dummer) Merr.]、长果秤锤树(*S. dolichocarpa* C. J. Qi)、肉果秤锤树(*S. sarcocarpa* L. Q. Lou)<sup>[2]</sup>。秤锤树属植物广泛且呈间断分布, 为我国北亚热带气候区特有树种, 分布范围从东部的浙江省、江苏省到西南部的四川省<sup>[3]</sup>, 其分类学标准主要是基于果实形状上的异同。目前, 秤锤树、长果秤锤树已被列为国家 2 级保护植物<sup>[4]</sup>, 肉果秤锤树、狭果秤锤树被《中国物种红色名录

第一卷 红色名录》收录<sup>[5]</sup>。实际上, 由于其种子的顽拗性造成秤锤属植物种群天然更新极其困难, 该属所有植物都应该被列为保护物种<sup>[6]</sup>。因此, 近年来对于秤锤树属的研究大多集中在保护生物学、繁殖技术研究等方面。本文将对该属近年的研究进展作一简要综述。

## 1 秤锤树属种类划分及系统进化演化研究

胡先骕于 1928 年以秤锤树为模式种创建秤锤树属后, 在 1930 年再次发现了狭果秤锤树<sup>[7]</sup>; Merrill 在 1937 年将 Dummer 于 1913 年发现的棱果秤锤树从白辛树属(*Pterostyrax* Sieb. et Zucc.)调整到秤锤树属<sup>[8]</sup>; 祁承经则于 1981 年在湖南石门发现了长果秤锤树<sup>[9]</sup>。以上 4 种树均被 1987 年出版的《中国植物志》收录<sup>[2]</sup>。陈涛则根据长果秤锤树果实和花等形态特征将其上升为 1 个独立的属——长果安息香属(*Changiostyrax* C. T. Chen), 并改定名为长果安息香(*C. dolichocarpa*)<sup>[10]</sup>。尽管 Fritsch 等关于叶绿体 trnL(UAA)内含

收稿日期: 2017-03-01

作者简介: 刘召华(1970—), 女, 江苏徐州人, 高级讲师, 从事观赏植物种质资源收集与改良研究。E-mail: liuzhaohua4@126.com。

[29] 张开梅, 沈羽, 方类明, 等. 三叶鬼针草的化感作用研究: 对并栏边草配子体光合作用的影响[C]//现在与未来: 中国植物学会第十五届会员代表大会暨八十周年学术年会论文集, 2013.

[30] 王晓丽, 曹子林, 朱霞. 旱冬瓜水提液对云南松种子萌发化感效应的生理机理研究[J]. 安徽农业科学, 2012(5): 2739–2741.

[31] Fang C X, Xiong J, Qiu L, et al. Analysis of gene expressions associated with increased allelopathy in rice (*Oryza sativa* L.) induced by exogenous salicylic acid[J]. Plant Growth Regulation, 2008, 57(2): 163–172.

[32] Sripinyowanich S, Klomsakul P, Boonburapong B, et al. Exogenous ABA induces salt tolerance in indica rice (*Oryza sativa* L.); the role of *OsP5CS1* and *OsP5CR* gene expression during salt stress[J]. Environmental and Experimental Botany, 2013, 86: 94–105.

[33] 王亚麒, 陈丹梅, 袁玲. 黄连须根浸提液对莴苣、绿豆和白菜的化感效应[J]. 草业学报, 2015, 24(6): 142–149.

[34] 王红, 杨镇, 肖军, 等. 两种植物内生真菌的醇提取物对水稻根部基因表达谱的分析[J]. 作物杂志, 2014(2): 48–52.

[35] 张志忠, 孙志浩, 陈文辉, 等. 甜瓜化感自毒作用响应基因的 cDNA-AFLP 分析[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(11): 1514–1520.

[36] Li Z F, Zhang Z G, Xie D F, et al. Positive allelopathic stimulation and underlying molecular mechanism of achyranthe under continuous

monoculture[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2011, 33(6): 2339–2347.

[37] Zhao J, Wang B B, Wang X Q, et al. iTRAQ-based comparative proteomic analysis of embryogenic and non-embryogenic tissues of prince rupprecht's larch (*Larix principis-rupprechtii* Mayr)[J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2015, 120(2): 655–669.

[38] 陈本莉, 叶华江, 余亚圣, 等. 不同生境及木麻黄浸提液影响下的青皮幼苗叶片差异蛋白质组分析[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(6): 25–32.

[39] Li X, Xi H C, Sun X D, et al. Comparative proteomics exploring the molecular mechanism of eutrophic water purification using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*)[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2015, 22(11): 8643–8658.

[40] Weston L A, Alsaadawi I S, Baerson S R. Sorghum allelopathy—from ecosystem to molecule[J]. Journal of Chemical Ecology, 2013, 39(2): 142–153.

[41] 邓天福, 王建华, 高扬帆, 等. 番茄化感物质对几种蔬菜幼苗生长的影响[J]. 贵州农业科学, 2010, 38(8): 43–44, 47.

[42] Zhang T T, Wang L L, He Z X, et al. Growth inhibition and biochemical changes of cyanobacteria induced by emergent macrophyte *Thalia dealbata* roots[J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2011, 39(2): 88–94.

子、trnL-F 和核基因的内转录间隔区 (ITS) 测序<sup>[11-12]</sup>、简单重复序列 (SSR) 分析标记以及形态学性状分支分析<sup>[13]</sup> 和化学分类学<sup>[14]</sup> 均支持这一观点, 但是《Flora of China》仍将其归为秤锤树属<sup>[2]</sup>。另外,《Flora of China》又新增了罗利群于 1992 年在四川乐山发现的肉果秤锤树<sup>[15]</sup>。近年来, 本属陆续有新的种类 (变种) 被发现: Chen 等于 1997 年在浙江建德发现了细果秤锤树 (*S. microcarpa*)<sup>[16]</sup>; 1998 年, Chen 等在湖南怀化发现了怀化秤锤树 (*S. oblongicarpa*)<sup>[17]</sup>, 罗利群在对其考证后认为应将其并入肉果秤锤树<sup>[18]</sup>; Yao 等于 2007 年在湖北黄梅发现了黄梅秤锤树 (*S. huangmeiensis*)<sup>[19]</sup>; 2005 年, 罗利群在四川乐山发现了乐山秤锤树 (*S. xylocarpa* var. *leshanensis*)<sup>[20]</sup>。至此, 秤锤树属已有 7~8 种 1 变种。

关于秤锤树属的进化、演化及种间的亲缘关系, ITS 序列分析发现, 本属与同科银种花 (*Halesia carolina*) 具有较近的亲缘关系; 在进化的过程中分化为 2 个分支: 一支进化为狭果秤锤树、细果秤锤树和黄梅秤锤树, 另一支进化为肉果秤锤树、秤锤树和怀化秤锤树; 属内种间肉果秤锤树与秤锤树亲缘关系表现最近, 与细果秤锤树亲缘关系最远<sup>[21]</sup>。Yao 等根据 DNA 序列分析 (trnL、trnL-F 和 ITS) 发现, 除长果秤锤树外, 其他种类均聚在一起, 而且支持率达 100%; SSR 分子标记对长果秤锤树的分析结果与 DNA 序列分析相同, 但对种间亲缘关系的结论与 ITS 分析结果不同, 即细果秤锤树处于分支基部, 而其他种构成另一个分支, 且支持率达 98%, 狭果秤锤树、秤锤树分支与怀化秤锤树、肉果秤锤树、黄梅秤锤树分支形成姐妹群; 另外该拓扑结构也揭示怀化秤锤树与肉果秤锤树为姐妹种 (支持率为 83%), 秤锤树与狭果秤锤树亲缘关系相近 (支持率较高 84%), 虽然黄梅秤锤树与怀化秤锤树、肉果秤锤树聚在一起, 但是支持率较低 (仅为 62%)<sup>[12]</sup>。

## 2 秤锤树属地理分布

秤锤树属分布的地理位置为 31°25′~32°09′N, 年平均气温 5℃以上, 海拔 200~800 m。姚小洪等对野生种群的资源调查发现, 本属的主要分布区域北起河南省, 东至浙江省, 南到四川省<sup>[6]</sup>。模式种秤锤树曾在南京幕府山二台洞、江浦老山和句容宝华山有广泛的分布<sup>[1]</sup>, 在南京燕子矶也曾发现有其野生种群的分布。但是, 由于自然环境的恶化, 加上采石开矿等人为破坏, 目前在南京市已很难找到大面积的野生秤锤树种群分布。但作为珍稀濒危植物, 南京中山植物园、武汉植物园、杭州植物园和上海植物园等国内知名的植物园及南京林业大学、武汉大学等高校对多个秤锤树种进行了引种保护, 这也为秤锤树属的回归引种 (reintroduction) 工作奠定了基础<sup>[6]</sup>。

## 3 秤锤树属秤锤树的细胞学研究概况

徐炳声等通过试验证实, 秤锤树的染色体数  $2n=24$ , 染色体基数很可能为  $x=12$ , 核型公式为  $2n=24=20m+4sm$ , 全组染色体总长度为 191.90  $\mu\text{m}$ , 平均长度为 15.98  $\mu\text{m}$ , 按照 Stebbins 的核型分类标准, 其核型属于 1A 型, 与同科的银钟花属 (*Halesia* L.) 和白辛树属相同, 但与安息香属 (*Styrax* L.) 的  $x=8$  不同, 因此推测, 秤锤树属在起源和进化过程中可能经历了多倍体化的过程<sup>[22-23]</sup>。王恒昌等通过对秤锤树种子有丝分裂、减数分裂的细胞学特征研究发现, 秤锤树核型

属于较为原始的 ZA 型, 在减数分裂中期秤锤树种子具有 12 对正常的二价体, 但后期 I、后期 II 均有染色体异常现象发生<sup>[24]</sup>。统计断片、落后染色体、染色体桥出现的比例发现, 它们与花粉粒败育性比例比较一致, 因此认为秤锤树的小孢子在发生和发育过程中较高频率的败育现象可能存在一定的细胞学原因, 这一现象也可能直接造成秤锤树种子最终发育不完全、深度休眠及发芽率低等问题。

## 4 秤锤树属的孢粉学研究概况

秤锤树属的花粉近球形至亚扁球形, 极面观为钝三角形或四边形; 花粉粒大小 (28  $\mu\text{m} \times 32 \mu\text{m}$ ) ~ (34  $\mu\text{m} \times 38 \mu\text{m}$ ), 具 3/4 孔沟, 沟中间宽, 孔大而明显, 呈长方形, 长轴纵向, 或沟呈溢缩状, 边缘不平整; 花粉粒外壁厚 1.5~2.0  $\mu\text{m}$ , 表面纹饰近似细网状, 在扫描电镜下为明显的小颗粒紧密结合在一起组成高低的层次, 中间有小穴。本属植物的花粉形态和安息香科其他属非常相似, 表明它们之间有着很近的亲缘关系, 推测本属可能通过安息香属衍生而起源<sup>[25]</sup>。雌雄配子体的发育研究表明, 其特征有以下几点: 秤锤树的花药由 4 个花粉囊组成, 小孢子四分体呈四面体形排列, 小孢子母细胞减数分裂时, 胞质分裂属于同时型; 2 胞花粉粒, 花药壁的分化过程为双子叶植物型, 成熟时, 药室内壁和部分表皮细胞的细胞壁上出现微弱的条状纤维加厚; 腺质绒毡层; 3 心皮雌蕊, 开放型花柱, 子房内含多枚倒生胚珠; 单珠被, 薄珠心; 大孢子四分体多呈线形; 蓼型胚囊; 受精前, 2 个极核相互靠拢; 反足细胞较小, 寿命似较长<sup>[26]</sup>。

## 5 秤锤树属的繁殖技术

### 5.1 种子的萌发特性

秤锤树属果实形似秤砣, 外果皮肉质, 但不开裂; 中果皮木栓质; 内果皮木质; 种皮硬骨质<sup>[2]</sup>。秤锤树种子萌发极其困难, 一般要经过 2~3 年的时间才能陆续发芽, 这可能是导致其天然种群更新速度慢而濒危的重要原因之一。为加快秤锤树属种子的萌发速度, 提高萌发率, 许多学者开展了相关研究: 一方面, 采用物理或化学方法, 使其种壳极大限度地变小、变薄, 提高果皮、种皮的透水性, 增强种胚的透气性; 另一方面, 研究是否存在抑制种子萌发的抑制。徐本美等认为, 秤锤树种子外部结构虽然坚硬, 但透水性良好, 因此对于秤锤树种子的萌发不存在透水性问题; 但是, 经浓硫酸蚀+裂口处理+赤霉素 ( $\text{GA}_3$ ) 处理种子, 室外低温层积 1 冬, 发芽率也仅为 40% 左右<sup>[27-29]</sup>。因此, 黄致远等认为, 秤锤树属种子发芽困难的原因不是来自果皮的阻力, 可能由于胚的发育不完全或受某种物质的抑制, 导致其种子深休眠, 需要长时间的发育或解除抑制的过程, 而果皮是一种保护物质, 在一定条件下, 可以保证这一漫长过程的顺利完成<sup>[30]</sup>。许多研究证实, 秤锤树属果肉、内果皮和种仁中均存在脂溶性抑制物, 果肉中的含量比较高, 并且果肉中还含有一定量的水溶性抑制物, 这些抑制物可以抑制白菜 (*Brassica pekinensis*) 种子的萌发及根、幼苗的生长<sup>[31-33]</sup>。

### 5.2 秤锤树的扦插快繁技术

由于种子萌发困难, 扦插成为秤锤树属快速繁殖的有效途径, 也为其推广应用奠定了基础, 从而促进该濒危树种的利用。秤锤树属的扦插分嫩枝扦插、硬枝扦插等。聂东玲认为,

秤锤树扦插易生根,春、夏、秋季均可进行,春插、秋插最好采用一年生老枝(充分木质化)作插穗,而夏插则用半木质化的嫩枝效果比较好<sup>[34]</sup>。黄致远等分别于 1992 年秋、1993 年夏进行硬枝(1 年生枝)、嫩枝的扦插,成活率均在 60% 以上,其中嫩枝扦插成活率略高;取于实生苗的插穗,成活率更高,可达 77% 以上<sup>[30]</sup>。官庆华等用 500 mg/L 萘乙酸(NAA)速蘸插条基部后扦插在中粗河沙: 砻糠灰: 珍珠岩 = 1: 1: 1(体积比)混合基质中,在全光照自动间歇喷雾条件下,树龄 5 年的当年生嫩枝扦插的生根率最高,可达 90.56%,树龄 60 年的当年生嫩枝扦插的生根率只有 59.98%,可见插穗来源对扦插成活率影响明显<sup>[35]</sup>。王杰青等认为,在促进秤锤树嫩枝扦插生根效果方面,吲哚丁酸(IBA)效果显著好于 NAA; 200 mg/L IBA 浸泡插条基部 1 h 后,经过 50 d 的人工培养,生根率可达 86.67%,平均最长根长 5.77 cm,平均根数 23.96 条;在低浓度植物激素处理下,木质化程度较高的嫩枝更易成活<sup>[36]</sup>。顾永华等研究发现,全光照自动间歇喷雾条件下,500 mg/L IBA 浸泡插条基部 2 h 后,1 年生嫩枝扦插的生根率最高,可达到 87.78%<sup>[37]</sup>。甘玉英等认为,20% NAA 对秤锤树 3~5 年生半木质化枝条扦插生根的作用(66.36%)好于 ABT6(55.14%)<sup>[38]</sup>。贾水果等以 5 年生硬枝作插穗,用 1 000 mg/L IBA 速蘸插条基部,扦插在河沙: 珍珠岩: 泥炭 = 1: 2: 2(体积比)的混合基质中,发现扦插生根率最高,可达 90.34%<sup>[39]</sup>,略高于一年生硬枝扦插的生根率(83.33%)<sup>[37]</sup>。

由于插穗扦插前在木质部、韧皮部、形成层以及皮层等部位都不存在潜伏根原基,根据生根类型的划分,秤锤树属不定根应属于诱生根原始体。不定根根原基可由形成层细胞、愈伤组织细胞分化而来,逐渐突破皮层,伸向外部<sup>[40]</sup>。嫩枝扦插期间,在愈伤组织诱导期和形成期、根原基诱导阶段,插穗内吲哚乙酸氧化酶(IAAO)、多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)活性升高,但是上升幅度不一样,在幼根伸长时,酶活性逐渐下降。生根剂 ABT6 处理能抑制插穗 IAAO 活性,提高 POD、PPO 的活性<sup>[41-42]</sup>。在生根过程中,POD 同工酶特异带种类、数量也在不断变化<sup>[43]</sup>。对扦插期间插穗中激素含量的变化研究发现,2 年生母树插穗内的吲哚乙酸(IAA)、玉米素(ZR)含量高于 10 年生母树插穗,利于生根;10 年生母树的插穗内脱落酸(ABA)含量大于 2 年生母树的,表现出对生根的抑制作用;在春夏季扦插 IAA/ABA 值呈下降趋势,但在生根关键阶段,处理组的值高于对照组,表现出对生根的促进作用<sup>[44]</sup>。此外,愈伤组织、不定根的形成过程中,嫩枝插穗内的可溶性糖、蛋白质、磷含量也出现明显下降<sup>[45]</sup>。以上研究在一定程度上揭示了秤锤树扦插生根的机制。

### 5.3 秤锤树属的组培快繁概况

组织培养快繁是植物无性繁殖的另一个有效途径。研究表明,以 5 年生秤锤树腋芽、顶芽为外植体,以 MS 为基本培养基,添加 1.0 mg/L 6-BA、0.05 mg/L TDZ、0.05 mg/L IBA、50 mg/L 维生素 C 是芽增殖最佳配方;添加 0.5 mg/L 6-BA、0.05 mg/L TDZ、0.1 mg/L IBA、50 mg/L 维生素 C 最适宜壮苗生长;最适宜生根培养基为 1/2MS,添加 0.5 mg/L IBA、0.3 mg/L NAA、维生素 100 mg/L C,并将蔗糖的含量由 3% 降至 2%;生根的试管苗移栽于蛭石: 珍珠岩: 泥炭 = 6: 3: 1(体积比)的混合基质中,控制温度 20~30℃,相对湿度

85%~90%,保湿 15~20 d,其间适当遮阴,35 d 后成活率达 92% 以上<sup>[46-47]</sup>。黄致远等以幼枝作外植体来组培幼苗,培养 30 d,大约 80% 的外植体形成了芽<sup>[30]</sup>。伸长的芽转移到培养基中 29 d 后,有 87% 的芽生根;小植株转移到珍珠岩、泥炭混合培养基上,幼苗成活率达 75%。从培养时间上看,秤锤树愈伤组织诱导的最佳取材月份是 4 月<sup>[48]</sup>; 2.0 mg/L 2,4-D + 0.25~2.00 mg/L KT 诱导的愈伤组织致密、呈颗粒状、生长快,为最佳激素组合<sup>[49]</sup>。

### 6 秤锤树属的化学成分研究概况

除了花、果实的观赏价值外,秤锤树属枝叶中还含有多种活性成分,如生物碱、有机酸类、酚类、还原糖、多糖、苷类、甾体及三萜类、强心苷、萜醌、挥发油等有机成分<sup>[50]</sup>。周泽斌采用硅胶柱色谱法从肉果秤锤树叶乙醇提取物中分离得到了 7 个化合物,分别为熊果酸(I)、胡萝卜苷(II)、 $\beta$ -谷甾醇(III)、齐墩果酸(IV)、3-13-乙酰基齐墩果酸(V)、豆甾-4-烯-6p-醇-3-酮(VI)I、正二十八烷醇(VII)<sup>[51]</sup>。提取溶剂采用 95% 乙醇、料液比 1 g: 8 mL、超声法是肉果秤锤树叶中熊果酸提取的最佳工艺<sup>[52-53]</sup>。秤锤树叶各级提取物如总浸液、正丁醇萃取液、乙酸乙酯萃取液等均具有抑菌作用,其逐级提取物的富集物的抑菌活性逐渐增强,其中乙酸乙酯提取物具有广谱抗菌作用<sup>[54]</sup>。除此之外,秤锤树属植物叶片的蜡质还含有丰富的烷烃,其中长果秤锤树 33 碳烷烃含量丰富,而其余种类 31 碳烷烃含量较高<sup>[14]</sup>。

### 7 秤锤树属的遗传多样性和保育生物学研究概况

秤锤树属植物地理分布虽然比较广,但是基本上呈间断式分布,且居群的数量、大小均很小。由于生境的破坏,部分种类的分布地域渐渐萎缩,如秤锤树、狭果秤锤树在其模式标本采集地灭绝;棱果秤锤树在过去近 70 年内没有采到过标本,推测该物种可能存在同物异名现象或已经灭绝;细果秤锤树居群规模正急剧下降;肉果秤锤树、怀化秤锤树呈零星分布且个体数量很少,处于极濒危状态<sup>[6]</sup>。因此可见,本属植物的遗传多样性、保育生物学研究显得尤为重要。罗梦婵等采用邻接格子法、直接计数法对湖北省黄梅秤锤树的种群数量及分布格局进行调查研究发现,该种群呈集群分布;目前湖北省秤锤树属资源总量为 456 株,比 2005 年发现的数量有所增加<sup>[55]</sup>。采用新型的微卫星标记评估其遗传多样性和构建核心种质,用迭代聚类法建立了由 18 个个体组成的核心种质,该核心种质可以代表黄梅秤锤树的遗传多样性,核心种质的建立将有利于其种质的保护<sup>[56]</sup>。微卫星标记对同一居群内不同生活史阶段植株的遗传多样性、小尺度空间遗传结构(spatial genetic structure,简称 SGS)、种子传播距离和式样的研究表明:不同年龄阶段植株的遗传多样性无显著差异;居群出现显著的杂合子缺失,可能是由近交造成的;在 10 m 以内成年个体、幼树、幼苗植株均呈现出显著的空间遗传结构,说明种子扩散限于母树周边;种子雨重叠少、有限的基因流、自疏以及近亲繁殖是造成各年龄阶段出现空间遗传结构的主要原因。建议在采集迁地保护材料时,个体间距离应超过 10 m,以降低采样个体的遗传相似性;在就地保护时需要人为促进基因流,以降低近交风险<sup>[57]</sup>。但是,部分自交亲和可

以为该物种适应生境片段化提供一定的生殖保障及进化潜力<sup>[58]</sup>。对江西永修狭果秤锤树种群径级结构、空间分布格局进行调查、分析发现,该种群年龄结构总体呈现“反 J”形,即增长型;群落个体的存活曲线大致为 Deevey I 型,即凸形曲线,说明该种群中的年幼个体比成年个体更容易存活。但是静态生命表显示,个体的死亡率变化规律不明显,种群明显呈现集群分布特征。从年龄结构和空间分布特点来看,种群生存状况受人类活动影响大,减少人类活动对其影响是保护该物种的重要措施之一<sup>[59-60]</sup>。对狭果秤锤树的小尺度空间遗传结构、遗传多样性的研究显示,与黄梅秤锤树相似<sup>[61]</sup>。罗利群对四川乐山肉果秤锤树的群落调查发现,虽然该群落属增长型种群,但是极其脆弱,个体数量少且集中,遗传多样性受到严重的威胁,亟须采取相应的措施加以保护<sup>[62]</sup>。对浙江临安、建德细果秤锤树的调查表明,该种目前资源总量仅 235 株,比 2000 年减少了 817 株,进行迁地或就地保护已刻不容缓<sup>[63]</sup>。叶其刚等对湖南石门长果秤锤树种群调查后发现,其种群呈倒金字塔结构,呈现出衰老的结构特征<sup>[64]</sup>。但简单重复序列区间( ISSR) 分子标记则检测到了长果秤锤树居群间高水平的遗传分化,这可能与长果秤锤树的自交的生殖系统和种群隔离有关,基于这种较强的遗传分化, Gao 等建议长果秤锤树遗传变异的保护应涉及到每一个居群<sup>[65]</sup>。SSR 标记研究则表明,长果秤锤树居群存在相对较高的遗传多样性,但遗传分化较低;生境的片段化严重限制了其基因流,使其存在灭绝的风险,亟须采取就地保护和迁地保护的措施保护其遗传多样性<sup>[66]</sup>。SSR 分子标记研究结果表明,秤锤树迁地保护居群仍保持中等水平的遗传多样性,且遗传多样性水平与居群大小显著相关,杂合子显著过剩则意味着异交是其有性生殖的主要方式<sup>[67-68]</sup>。这些研究结论为秤锤树属的回归引种提供了理论依据。由于秤锤树属不同种类花期相遇,并且拥有共同的传份媒介——昆虫,因此存在种间杂交的风险;而且秤锤树、细果秤锤树的人工杂交获得了种子,意味着在迁地保护不同种类时仍须注意空间的隔离<sup>[69]</sup>。

## 8 秤锤树属的资源开发和综合利用

秤锤属均为落叶小乔木,枝叶繁茂,叶色苍翠浓绿,初夏盛开白色小花,洁白可爱,秋季叶落后宿存的悬挂果实,宛如秤锤,颇具野趣,“春花秋实”兼而有之,是一种优良的观赏树种。该树适合于山跛、林缘和窗前栽植,也可盆栽制作成盆景赏玩,是一类观赏价值极高的小乔木<sup>[70]</sup>。但特殊的种子结构导致其种子深休眠,影响了其繁衍和传播,也极大地限制了其在园林绿化中的应用。扦插快繁、组培快繁技术体系的建立解决了其繁殖方面的问题;近年来也有在北京等地成功引种栽培秤锤树的报道<sup>[27]</sup>,但是栽培地仍仅限于植物园或大学。因此,我们一方面需要加大野生秤锤树种群的保护力度,最大限度地保护秤锤树属种质资源的遗传多样性;另一方面,应建立高效的快繁技术体系,积极推广秤锤树属在园林绿化中的应用,扩大这一特有树种的种群,使其尽快脱离濒危的境地。

## 参考文献:

[1] Hu H H. *Sinojackia*, a new genus of Styracaceae of Southeastern China[J]. J Arnold Arbor, 1928, 9(2/3): 130-131.

[2] Hwang S, Grimes J. Styracaceae [M]//Flora of China. Beijing: Science Press, St. Louis: MGB Press, 1996, 15: 253-271.

[3] 吴容芬, 黄淑美. 中国植物志 [M]. 北京: 科学出版社, 1987: 143-147.

[4] 傅立国. 中国植物红皮书稀有濒危植物(第一册) [M]. 北京: 科学出版社, 1992.

[5] 汪松, 解炎. 中国物种红色名录: 第一卷 红色名录 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 412.

[6] 姚小洪, 叶其刚, 康明, 等. 秤锤树属与长果安息香属植物的地理分布及其濒危现状 [J]. 生物多样性, 2005, 13(4): 339-346.

[7] Hu H H. Notulae systematicae ad floram sinensem, II [J]. J Arnold Arbor, 1930, 11: 224-228.

[8] Merrill E D. *Miscellanea sinensia* [J]. Sunyatsenia, 1937 (3): 246-262.

[9] 祁承经. 湖南安息香科一新种 [J]. 植物分类学报, 1981, 19(4): 526-528.

[10] 陈涛. 中国安息香科一新属——长果安息香属 [J]. 广西植物, 1995(15): 289-292.

[11] Fritsch P W, Morton C M, Chen T, et al. Phylogeny and biogeography of the Styracaceae [J]. International Journal of Plant Science, 2001, 162 (S6): S95-S116.

[12] Yao X H, Ye Q G, Fritsch P W, et al. Phylogeny of *Sinojackia* (Styracaceae) based on DNA sequence and microsatellite data: implications for taxonomy and conservation [J]. Annals of Botany, 2008, 101(5): 651-659.

[13] 姚小洪. 秤锤树属与长果安息香属植物的保育遗传学研究 [C]. 武汉: 中国科学院武汉植物园, 2005.

[14] Li J, Huang J, Ge J, et al. Chemotaxonomic significance of n-alkane distributions from leaf wax in genus of *Sinojackia* species (Styracaceae) [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2013, 49(49): 30-36.

[15] 罗利群. 四川秤锤属一新种 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 1992, 31(4): 78-79.

[16] Chen T, Li G Y. A new species of *Sinojackia* Hu (Styracaceae) from Zhejiang, east China [J]. Novon A Journal for Botanical Nomenclature, 1997, 7(4): 350.

[17] Chen T, Cao T R. A new species of *Sinojackia* Hu (Styracaceae) from Hunan, south central China [J]. Edinburgh J Bot, 1998, 55(2): 235-238.

[18] 罗利群. 秤锤树属(安息香科)的一个新异名 [J]. 植物分类学报, 2005, 43(6): 561-564.

[19] Yao X H, Ye Q G, Ge J W, et al. A new species of *Sinojackia* (Styracaceae) from Hubei, central China [J]. Novon A Journal for Botanical Nomenclature, 2007, 17(1): 138-140.

[20] 罗利群. 乐山秤锤树——四川秤锤树属(安息香科)一新变种 [J]. 植物研究, 2005, 25(3): 260-261.

[21] 范晶, 罗永富, 黄明远, 等. 四川濒危肉果秤锤树 rDNA-ITS 分子鉴定、种子形态学及繁育分析 [J]. 基因组学与应用生物学, 2015, 34(11): 2483-2491.

[22] 徐炳声, 翁若芬, 栗田子郎. 东亚植物区系中若干双子叶植物的染色体新计数及其系统学和进化意义 [J]. 植物分类学报, 1994, 32(5): 411-418.

[23] 伏秦超, 张西玉, 吴三林, 等. 肉果秤锤树染色体核型分析 [J]. 乐山师范学院学报, 2011, 26(12): 23-24.

[24] 王恒昌, 何子灿, 李建强, 等. 秤锤树的核型研究及其减数分裂

- 过程的观察[J]. 武汉植物学研究,2003,21(3):198-202.
- [25] 梁元徽,喻诚鸿. 安息香科的花粉形态研究及其在分类上的意义[J]. 植物分类学报,1985,23(2):81-90.
- [26] 徐汉卿,黄清渊. 秤锤树雌雄配子体发育的研究[J]. 植物分类学报,1989,27(4):241-246.
- [27] 徐本美,孙运涛,郭琛,等. 北京地区秤锤树繁殖和栽培的研究[J]. 种子,2008,27(7):19-23.
- [28] 徐本美,冯桂强,史华,等. 从秤锤树种子的萌发论酸蚀处理效应[J]. 种子,1999(5):45-47.
- [29] 史晓华,黎念林,金铃,等. 秤锤树种子休眠与萌发的初步研究[J]. 浙江林学院学报,1999,16(3):228-233.
- [30] 黄致远,朱小毅. 秤锤树生态地理分布、生物学特性与繁殖的初步研究[J]. 江苏林业科技,1998,25(2):15-18.
- [31] 刘超,伏秦超,罗正敏,等. 肉果秤锤树核果中萌发抑制物质的初步研究[J]. 北方园艺,2013(4):20-24.
- [32] 贾书果,沈永宝,吴薇. 秤锤树种子甲醇浸提液的生物测定[J]. 林业科技开发,2010,24(1):104-107.
- [33] 姚青菊,汪琼,王贞,等. 秤锤树种子中发芽抑制物初步研究[J]. 江苏林业科技,2008,35(5):24-26.
- [34] 聂东玲. 珍稀濒危植物扦插繁殖技术研究[J]. 经济林研究,1999(2):32.
- [35] 宫庆华,蒋泽平,窦全琴,等. 秤锤树全光雾嫩枝扦插技术研究[J]. 江苏林业科技,2008,35(1):15-17.
- [36] 王杰青,何晓飞,蔡平,等. 秤锤树嫩枝扦插繁殖研究[J]. 江苏农业科学,2011,39(3):243-244.
- [37] 顾永华,杨军,何云,等. 秤锤树扦插繁殖技术[J]. 林业科技开发,2007,21(1):34-36.
- [38] 甘玉英,严培海. 秤锤树引种及扦插繁育技术[J]. 现代农业科技,2006(10):51-52.
- [39] 贾书果,吴薇,于晓萍,等. 秤锤树硬枝扦插繁育技术研究[J]. 北方园艺,2012(5):91-93.
- [40] 徐丽萍,喻方圆,上官新晨. 秤锤树插穗生根的解剖学观察[J]. 林业科技开发,2009,23(1):58-60.
- [41] 徐丽萍,上官新晨,喻方圆. 秤锤树嫩枝扦插过程中几种酶活性变化研究[J]. 江西农业大学学报,2009,31(2):274-277.
- [42] 徐丽萍,胡文杰,喻方圆,等. 秤锤树硬枝插穗内过氧化物酶活性研究[J]. 井冈山学院学报(自然科学版),2008,29(1):21-22.
- [43] 徐丽萍,喻方圆,上官新晨. 秤锤树插穗过氧化物酶活性及其同工酶的变化[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2008,32(4):143-146.
- [44] 徐丽萍,喻方圆,上官新晨. 扦插过程中秤锤树插穗内激素含量的变化[J]. 林业科技开发,2012,26(1):21-25.
- [45] 徐丽萍,上官新晨,喻方圆. 秤锤树嫩枝扦插过程中营养物质含量的变化[J]. 江西农业大学学报,2012,34(1):50-53.
- [46] 蒋泽平,梁珍海,刘根林,等. 秤锤树离体培养和植株再生[J]. 园艺学报,2005,32(3):537-540.
- [47] 蒋泽平,梁珍海,吴纲,等. 秤锤树的组织培养和快速繁殖[J]. 植物生理学通讯,2005,41(2):191.
- [48] 夏清,吴雅静,邵晨,等. 秤锤树愈伤组织诱导和生长的初步研究[J]. 中国农学通报,2014,30(15):105-111.
- [49] 曹昆,李霞. 不同激素种类和配比对秤锤树愈伤组织诱导的影响研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(32):15694-15696.
- [50] 张智锦,任正超,陈封政. 肉果秤锤树化学成分的预试及生物碱含量的测定[J]. 西南农业学报,2011,24(2):538-540.
- [51] 周泽斌. 肉果秤锤树叶的化学成分研究[J]. 乐山师范学院学报,2010,25(5):40-42.
- [52] 刘素君,周泽斌,唐梅. 正交试验法提取肉果秤锤树叶中熊果酸的工艺研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(25):12171-12172.
- [53] 刘素君,周泽斌,唐梅. 反相高效液相色谱法测定肉果秤锤树叶中的熊果酸[J]. 食品科学,2010,31(4):236-238.
- [54] 刘素君,周泽斌. 肉果秤锤树叶提取物的抑菌作用研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(22):9599-9600.
- [55] 罗梦婵,石巧珍,杨俊杰,等. 湖北省珍稀濒危植物黄梅秤锤树种群现状研究[J]. 安徽农业科学,2016,44(23):67-68.
- [56] Zhao J, Tong Y Q, Ge T M, et al. Genetic diversity estimation and core collection construction of *Sinojackia huangmeiensis* based on novel microsatellite markers [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2016, 64: 74-80.
- [57] 阮咏梅,张金菊,姚小洪,等. 黄梅秤锤树孤立居群的遗传多样性及其小尺度空间遗传结构[J]. 生物多样性,2012,20(4):460-469.
- [58] 张金菊,叶其刚,姚小洪,等. 片断化生境中濒危植物黄梅秤锤树的开花生物学、繁育系统与生殖成功的因素[J]. 植物生态学报,2008,32(4):743-750.
- [59] 徐惠明,谢国文,王业磷,等. 狭果秤锤树种群年龄结构和空间分布格局研究[J]. 广东农业科学,2016,43(8):51-57.
- [60] 谢国文,王惟荣,何静欣,等. 濒危植物狭果秤锤树所在群落的区系特征[J]. 广州大学学报(自然科学版),2012,11(4):18-24.
- [61] Yao X H, Zhang J J, Ye Q G, et al. Fine-scale spatial genetic structure and gene flow in a small, fragmented population of *Sinojackia rehderiana* (Styracaceae), an endangered tree species endemic to China [J]. Plant Biol, 2011, 13(2):401-410.
- [62] 罗利群. 极危树种——肉果秤锤树的生态特性[J]. 生态学报, 2005, 25(3):575-580.
- [63] 苏小菱,马丹丹,李根有,等. 浙江省珍稀濒危植物细果秤锤树的种群数量监测报告[J]. 浙江林学院学报,2009,26(1):142-144.
- [64] 叶其刚,王诗云,徐惠珠,等. 长果秤锤树保护现状的初步研究[J]. 生物多样性,1996,4(3):135-138.
- [65] Cao P J, Yao Q F, Ding B Y, et al. Genetic diversity of *Sinojackia dolichocarpa* (Styracaceae), a species endangered and endemic to China, detected by inter-simple sequence repeat (ISSR) [J]. Biochem Syst Ecol, 2006, 34(3):231-239.
- [66] Yao X H, Huang H. Microsatellite analysis reveals interpopulation differentiation and gene flow in the endangered tree *Changiostyrax dolichocarpa* (Styracaceae) with fragmented distribution in central China [J]. New Phytologist, 2007, 176(2):472-480.
- [67] Zhang J J, Ye Q G, Yao X H, et al. Microsatellite diversity and mating system of *Sinojackia xylocarpa* (Styracaceae), a species extinct in the wild [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2010, 38(2):154-159.
- [68] Yao X, Ye Q, Kang M, et al. Characterization of microsatellite markers in the endangered *Sinojackia xylocarpa* (Styracaceae) and cross-species amplification in closely related taxa [J]. Molecular Ecology Notes, 2006, 6(1):133-136.
- [69] Ye Q G, Yao X H, Zhang S J, et al. Potential risk of hybridization in ex situ collections of two endangered species of *Sinojackia* Hu (Styracaceae) [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2006, 48(7):867-872.
- [70] 汤瑾,汤榕,陈超. 秤锤树的栽培技术及应用[J]. 现代园艺,2015(20):49-50.