

中国特有裸子植物巴山榧树的保护生物学研究进展*

高 岚, 吕治平, 乐佳兴, 张 文, 吴焦焦, 田秋玲, 刘 芸

(西南大学 资源环境学院, 重庆 400715)

摘要:【目的】对中国特有裸子植物巴山榧树(*Torreya fargesii*)生物学特性、群落特征、濒危机制、资源保护的研究进展进行综述,为巴山榧树资源保护和合理利用提供参考。【方法】在查阅相关研究文献的基础上,分析巴山榧树的濒危机制,总结巴山榧树的保护措施,并提出今后的研究方向。【结果】1) 巴山榧树濒危的原因主要有:历史气候变化导致巴山榧树数量大规模减少;巴山榧树遗传多样性低,种群间遗传分化程度低;巴山榧树生殖障碍大,种子萌发率低;巴山榧树群落内物种生态位重叠程度高,种群间竞争激烈;人类活动导致了巴山榧树生境的破碎。2) 巴山榧树资源保护策略目前主要有迁地保护、就地保护等,但同时还应全面系统地开展科学研究,建立完善珍稀濒危植物保护法律法规,加强宣传教育。【结论】应深入研究巴山榧树濒危机制,开展巴山榧树繁殖技术和系统地理格局的研究。

关键词: 巴山榧树; 濒危植物; 研究进展; 濒危机制

中图分类号: S791.53; Q16

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2019)02-0127-06

巴山榧树(*Torreya fargesii*)又名紫柏、托杉、铁头枞、球果榧等,隶属红豆杉科(Taxaceae)榧树属(*Torreya*),为常绿乔木,是国家二级保护植物,濒危等级和标准为VU A2c^[1]。巴山榧树是中国特有裸子植物,该树种木材质地坚硬、结构细密,是各种农具、器具和家具的优良用材;种子可用于榨油。因此,巴山榧树是一种非常重要的林木资源。同时,巴山榧树作为榧树属的一种古老孑遗植物,有着重要的经济、生态和科研价值^[2]。巴山榧树作为研究红豆杉科乃至裸子植物系统发育的一个重要种,在研究榧树属的自然分布、古植物区系、第四纪冰期的气候变迁等方面具有重要意义^[3]。

巴山榧树主要分布在中国海拔800~2700 m的中亚热带至北亚热带的中低山地区(东经102°35'~116°21',北纬28°51'~34°26'),集中分布于秦岭、大巴山、邛崃山、大娄山、巫山、武陵山和大别山。该树种的分布地虽跨四川、贵州、陕西、甘肃、湖北、湖南、河南、安徽、重庆等9个省、直辖市,但实际分布区域不大,常散生于针阔叶混交林、灌丛及沟谷地带;分布海拔的最低处位于湖南省石门县和陕西省旬阳县,最高处位于四川省宝兴县;中国的中部地区为巴山榧树良好生长区^[4-5]。然而,随着近些年来人类活动的影响,该树种的生境破碎化严重,生境内物种多样性遭到破坏,以至导致该树种处于易危状态。所以,制定合理有效的巴山榧树保护策略显得尤为重要。为此,本文就近些年来国内外学者对巴山榧树的生物学特性、群落特征等方面的研究进展进行综述,探讨了巴山榧树的濒危机制和保护措施,并对相关研究进行了展望,从而为巴山榧树的资源保护和合理利用提供参考资料。

1 生物学特性

1.1 形态特征

巴山榧树为常绿乔木,高可达12 m。树皮深灰色,不规则纵裂。1年生枝呈绿色,2~3年生枝呈黄绿色或黄色;叶条形,稀条状披针形,先端具刺状短尖头,基部微偏斜,宽楔形,上面无明显中脉,有两条明显的凹槽;叶背面气孔带较中脉带为窄,干后呈淡褐色,绿色边带较宽,约为气孔带的1倍。种子卵圆形,球形或宽椭圆形;假种皮微被白粉;种皮内壁平滑,胚乳向内深皱。巴山榧树寿命长,生长慢,开花结实迟;花期4—5月,种子9—10月

* 收稿日期:2018-06-14 修回日期:2018-09-07 网络出版时间:2019-03-15 07:00

资助项目:重庆市林业重点科技攻关项目(渝林科研2016-7);国家自然科学基金(No. 31370602)

第一作者简介:高岚,女,研究方向为植物生态学,E-mail: gaolan199614@163.com;通信作者:刘芸,女,研究员,博士,E-mail: liuyun19970205@163.com

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20190315.0056.012.html>

成熟。巴山榧树材质优良,是优良的用材树种^[6-7]。

1.2 生态学特性

巴山榧树对生长环境的要求与同属其他树种相似:幼年时喜阴凉,高温光照对幼苗发育不利,需要中等高度的乔木为其荫蔽;苗木发育之后喜温凉气候,需要一定充足光照;在开花结实以后为保证花芽正常分化和种子正常的发育,则需要更加充足的光照^[4,8-10]。因此,巴山榧树常生长在海拔较高的山坡林下阴湿处、沟谷溪边及悬崖峭壁岩缝中^[4]。同时,巴山榧树适生于酸性或微酸性的山地黄壤,在土壤深厚肥沃、排水良好的土壤上生长良好,在土层浅薄的环境中也能生长。巴山榧树雄株花芽分化受干旱影响严重,但结实和生长过程受干旱的影响不大,因此成年巴山榧树有较强抗旱性^[4]。

海拔是影响巴山榧树分布的最主要因素^[5]。巴山榧树与榧树属其他种一样,当极端温度不低於-16℃时可以正常生长发育;但如果处于极端低温且持续时间过长,特别是温度低於-20℃,常常会被冻死^[5]。由于海拔每上升 100 m,温度降低 0.6℃,因此巴山榧树分布的海拔高度很大程度是受环境温度的影响。

1.3 所在群落特征

汪建华等人^[11]在金佛山调查发现:巴山榧树所在群落的种类组成以维管束植物为主,其中被子植物相对较多而蕨类植物和裸子植物相对较少,裸子植物仅有巴山榧树、穗花杉(*Amentotaxus argotaenia*)和三尖杉(*Cephalotaxus fortune*);而群落中被子植物种类较多达 58 科,主要有蔷薇科(Rosaceae)、菊科(Compositae)、樟科(Lauraceae)、忍冬科(Caprifoliaceae)等。由此可见,该树种所在群落科、属的组成丰富。

群落外貌特征主要包括了生活型及叶的特征,其中生活型能综合反映植物群落对环境条件的响应^[11-12]。巴山榧树群落的生活型主要由中小型草质、单叶为主的高位芽植物所决定,高位芽植物在区系谱、频度谱和植被谱中所占百分比比较高。叶的特征主要包括叶级、叶型、叶质、叶缘等,是构成群落外貌的重要组成,能够反映了群落的生态和历史^[12],巴山榧树群落中叶的性质多以中型叶、单叶、草质和非全缘为主。

群落结构是群落中的生物成分在空间、时间上的配置状况,主要表现为一定的种类成分、群落外貌及垂直与水平结构等。巴山榧树群落垂直结构可划分为灌木层和草本层。汪建华等人^[11]在金佛山调查发现:巴山榧树群落灌木层的优势种有巴山榧树、异叶花椒(*Zanthoxylum ovalifolium*)、插田泡(*Rubus coreanus*)、棣棠花(*Kerria japonica*)、平枝栒子(*Cotoneaster horizontalis*)等;草本层的优势种为芒(*Miscanthus sinensis*)、白苞蒿(*Artemisia lactiflora*)、蕨(*Pteridium aquilinum*)、冷水花(*Pilea notata*)、三脉紫菀(*Aster ageratoides*)等。尽管巴山榧树在亚热带森林植被中只是伴生种,但在不同地区它的重要值会发生变化,甚至成为优势种。

巴山榧树群落中物种分布常有明显的不均匀性,灌木层物种丰富度大于草本层;在海拔 1 400 m 以上地区物种丰富度较高,而在海拔 1 380 m 以下地区丰富度较低。由此可见,巴山榧树群落灌木层和草本层的种类组成及数量特征受到不同海拔高度的影响,且群落物种丰富度和多样性指数随海拔升高而增加^[11,13]。

2 濒危机制与保护措施

2.1 濒危机制

2.1.1 自然历史原因 巴山榧树的自然分布格局呈岛屿化斑块状,与其他古老孑遗植物相似^[5]。低海拔地区的巴山榧树种群由于第四纪冰川时期强烈的气候变化而呈间断分布,而第四纪冰川后期以来的气候波动又进一步减少了已经片段化的种群数量^[4-5]。因此,谢宗强等人^[14]认为,历史气候的变化可能是巴山榧树大尺度减少的主要原因。

2.1.2 物种自身因素 马俊等人^[15]运用 PCR 产物直接对巴山榧树 10 个地理种群的 *trnL-trnF* 序列进行测定,发现其中只有 34 个变异位点和 1 个信息位点,说明巴山榧树种群间遗传分化程度较低。由于巴山榧树遗传多样性水平很低,同时基因流受阻、近交现象严重,加之生态适应幅很窄,故该树种的适应能力持续下降。马俊等人^[15]认为,遗传多样性的进一步丧失加剧了巴山榧树濒危程度。

巴山榧树的生殖障碍大,种子萌发率低。江波等人^[16]研究发现,巴山榧树种子萌发周期长且萌发率低。在该项研究中:巴山榧树 3 个种群的种子经过湿沙层积 70~77 d 后开始萌发;91~126 d 周为种子萌发高峰期;182~399 d 周为种子萌发停滞期;直至 406~469 d 周还有少数种子萌发;平均萌发率为 31.53%。因此,种子萌发率过低导致巴山榧树天然种群中幼苗稀少,种群更新困难。

此外,巴山榧树群落内的优势木本植物种群间生态位重叠程度较高,生态位分化不明显^[17]。当生境中资源

不足时,种群间竞争激烈,从而使该树种分布区逐渐变狭窄,这也是导致巴山榧树濒危的一个因素^[18]。

巴山榧树种群更新困难还受其他因素影响。巴山榧树群落内物种丰富,它在幼苗时期常生长于乔木下,在生长后期又由于乔木的荫蔽导致长期光照不足而死亡^[4],这些表明巴山榧树具有林窗更新的特点。然而,群落中即使出现林窗,也会因巴山榧树自身结实率低、种子萌发率低、幼苗少等特点,使得该树种丧失利用林窗的机会,导致不合理的年龄结构。这成为了巴山榧树种群更新的一大瓶颈,进而导致该种群衰退^[19]。此外,巴山榧树天然种群中结实植株的种子有早落现象,种子成熟数量少^[16]。这同样是导致巴山榧树萌芽率低、种群衰退的一个原因。

2.1.3 外部因素 调查研究表明^[10],过度砍伐、盲目毁林开荒、过度放牧等人类活动导致了巴山榧树赖以生存的环境被破坏,这是巴山榧树濒危的重要原因。此外,巴山榧树种子成熟脱落后,由于种质鲜美而遭到林间动物取食,也加剧了巴山榧树种群的濒危^[5,19]。

2.2 保护措施

2.2.1 迁地保护 迁地保护又称易地保护,是指为了保护物种多样性,把生存和繁衍受到严重威胁的物种迁出原地从而进行特殊的保护和管理的一种措施^[20]。迁地保护主要有两种手段,其一是建立植物园(树木园),然后将濒危植物或稀有植物引种栽培在植物园内进行保护;其二是将濒危植物的种子保存,或者取器官、组织离体保存,在人工控制下能够最大程度的保留基因,避免物种灭绝。因此,可以将巴山榧树迁移到一个更安全并且有利于生长繁殖发育的地方,同时开展巴山榧树的栽培和繁育相关研究^[20]。

2.2.2 就地保护 就地保护是建立各种类型的自然保护区,通过保护野生植物的生存环境,从而起到保护植物多样性的作用,并达到保护珍稀濒危植物分布区的目的^[20]。因此,也可以通过建立自然保护区来减少人类活动对巴山榧树生境的影响,从而促进巴山榧树种群的发展。

2.2.3 全面系统开展科学研究 可以通过科学研究,开展巴山榧树保护原理的研究,同时还可以控制胚胎发育过程中的基因表达,然后应用转基因技术,以此改变胚胎发育过程;开展巴山榧树迁地保护原理、致濒机制、濒危物种的脱濒技术、物种恢复技术等创新性研究^[20];最后,还应积极开展巴山榧树扦插繁殖研究、无性繁殖试验,例如组织培养等,从而扩大巴山榧树种苗生产规模^[17]。

2.2.4 建立完善珍稀濒危植物保护法律法规 目前,中国已初步形成了野生植物保护的管理体系。在行政管理方面,明确了野生植物的行政主管部门为国务院林业和农业行政主管部门;同时,国家林业局设有野生植物的管理机构,并配有专门的管理人员;此外,中国科学院还成立了中华人民共和国濒危物种科学委员会,能够科学地为濒危物种进出口管理等解疑答惑^[20]。

中国对于野生植物保护管理方面的法律法规也较为完善。已有《环境保护法》、《野生植物保护法》、《森林法》、《森林法实施条例》、《草原法》、《野生药材资源保护管理条例》、《自然保护区条例》等法律法规用于保护中国的野生植物^[20]。为了使巴山榧树资源的管理和保护合法化,还有必要加紧制定法律法规,强调巴山榧树保护的紧迫性和必要性,落实可行的实施步骤和措施。

2.2.5 加强宣传教育 目前,中国对于珍稀濒危植物保护的法律法规较为完善,但大众仍然较为缺乏对于保护植物多样性重要性的意识,特别是不了解植物多样性减少的后果。因此,应通过多种途径进行巴山榧树资源保护的宣传教育,突出巴山榧树资源保护的意义,提高在巴山榧树分布区生产生活的群众和外来人员的保护意识,最终达到对巴山榧树资源的有效保护的目的。

3 研究展望

3.1 濒危机制的深入研究

乔琦等人^[21]的研究表明,植物濒临灭绝的内部因素有很多,包括遗传力低下、繁殖力低下、生活力低下、对环境适应力逐渐衰竭等方面。生态解剖学、繁殖生物学、遗传多样性、小种群等研究能够解释威胁植物生长繁衍而导致其濒危的机理^[20]。目前国内对于巴山榧树的研究仍然十分薄弱,对制约巴山榧树生存和发展的主要因子和环节尚不清楚,难以深刻揭示具体的濒危机制,也很难提出有针对性的科学有效的保护措施。

巴山榧树处于濒危状态,不仅是人为因素影响的结果,同时还受到植物本身内部因素、历史气候变迁以及外部因素的影响^[3,22-23]。其中又主要包括巴山榧树种群的进化历史、所处生态环境、繁育系统特点以及种群遗传结构。目前,关于巴山榧树的遗传研究大多只涉及局部地区的遗传多样性和遗传分化,并未考虑遗传学上的濒危

因素。因此,后续研究应该从分子水平上分析巴山榧树自然分布区域内的种群遗传多样性和遗传结构^[3],这类研究对于巴山榧树种群进化有指导意义。

巴山榧树的生殖力问题是关系到巴山榧树种群发展的重大问题。众多学者都指出巴山榧树开花结实率低,但并未深究其中原因,巴山榧树的雌雄配子比例、雌雄株生长特性等可能是导致其开花结实率低的重要原因。雌雄异株的性系统在木本植物中普遍存在,多年生的雄株适应逆境条件的结构特征更为明显,雌株则反应敏感^[24]。中国幅员辽阔,植物资源丰富,雌雄异株植物种类齐全,但有关雌雄配子的研究却较少,相关研究主要集中在沙棘(*Hippophae rhamnoides*)^[25]、连香树(*Cercidiphyllum japonicum*)^[26]、黄连木(*Pistacia chinensis*)^[27]、火炬树(*Rhus typhina*)^[28]等植物。因此巴山榧树的雌、雄配子比例以及雌雄株生长特性对于生殖的影响有必要进行深入的研究。

3.2 繁殖技术研究

研究巴山榧树的育苗繁殖技术对保护巴山榧树物种资源、促进巴山榧树种群扩大繁殖具有重要意义。繁殖技术主要有种子育苗技术、扦插育苗技术、嫁接育苗技术、组织育苗技术等。在正确认识巴山榧树种子结构和发育特点的基础上,研究最科学有效的育苗技术是目前的研究方向,这对于该树种的资源保护是不可或缺的一步。然而,目前尚没有学者研究出巴山榧树在生长发育各阶段具体的营养需求和培育标准。其中,微量元素在植物生长发育过程中不可缺少和替代。虽然微量元素在植物体内含量极少,但在植物的生长发育过程中起着至关重要的作用^[29],并且植物体自身不能合成微量元素,必须从环境中例如土壤、化肥中吸收^[30]。因此,外部营养培育问题的解决对于巴山榧树种质资源保护和种群恢复而言有着重大意义。

3.3 系统地理格局研究

系统地理学也称为谱系生物地理学和亲缘地理学,是一个运用系统观念、系统理论和系统方法,研究地理事物、地理现象、地理属性、地理过程乃至地理区域的学科。该学科主要是在分析种群遗传结构的基础上来研究近缘种及种内不同种群现有分布格局的形成机制及其演化过程,并通过种群的空间分布格局来验证与之相关的地质事件,追溯和解释种群分化的历史原因^[31]。在生物进化的进程中,由于“分子钟”效应,遗传物质一般按照一定的速率进化,因而研究者可以通过各种遗传标记提供的信息,分析各分类阶元系统发育和地理分布的关系,进而推测物种及更大单元之间的分化时间,从而重现物种系统演化历史^[32]。因此,为了进一步阐明巴山榧树的濒危机理,还应深入研究巴山榧树种群的系统地理格局,以期推断出冰河时期的气候的迁移路线,从而为该树种的资源保护提供科学有效的依据。

参考文献:

- [1] 汪松,解焱.中国物种红色名录,第1卷[M].北京:高等教育出版社,2004.
WANG S,XIE Y. China species red list, volume 1[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004.
- [2] 康宁,汤仲坝.榧属分类学研究[J].植物研究,1995,15(3): 349-362.
KANG N,TANG Z X. Studies on the taxonomy of the genus *Torreya* [J]. Bulletin of Botanical Research, 1995, 15(3): 349-362.
- [3] 李建辉,刘丽丽.中国特有珍稀濒危植物长叶榧的研究进展[J].中国野生植物资源,2016,35(3):31-33.
LI J H, LIU L L. Research progress of *Torreya jackii* a rare and endangered plant endemic to China [J]. Chinese Wild Plant Resources, 2016, 35(3): 31-33.
- [4] 周先容,张薇,何兴金,等.巴山榧树资源及其保护[J].东北林业大学学报,2012,40(2):42-46.
ZHOU X R, ZHANG W, HE X J, et al. Resources and conservation of *Torreya fargesii* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2012, 40(2): 42-46.
- [5] 周先容,余岩,周颂东,等.巴山榧树地理分布格局及潜在分布区[J].林业科学,2012,48(2):1-8.
ZHOU X R, YU Y, ZHOU S D, et al. Geographic distribution and potential distribution of *Torreya fargesii* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(2): 1-8.
- [6] 《中国植物志》编委会.中国植物志[M].北京:科学出版社,1988.
Editorial Committee of Flora of China. Flora of China [M]. Beijing: Science Press, 1988.
- [7] 江波,宋航,周先容,等.巴山榧树营养器官的解剖学研究[J].北方园艺,2018,42(6):74-80.
JIANG B, SONG H, ZHOU X R, et al. Anatomical studies on vegetative organs of *Torreya fargesii* Franch. [J]. Northern Horticulture, 2018, 42(6): 74-80.
- [8] 高兆蔚.我国特有树种长叶榧树的生物学特性与保护问题研究[J].生物多样性,1997,5(3):206-209.
GAO Z W. Study on the biological character and conservation of endemic species *Torreya jackii* [J]. Chinese Biodiversity, 1997, 5(3): 206-209.

- [9] 程晓健,黎章矩,喻卫武,等.榧树的资源分布与生态习性[J].浙江林学院学报,2007,24(4):383-388.
CHENG X J, LI Z J, YU W W, et al. Distribution and ecological characteristics of *Torreya grandis* in China [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2007, 24(4): 383-388.
- [10] 程晓健,黎章矩,戴文圣,等.香榧的生态习性及其适生条件[J].林业科技开发,2009,23(1):39-42.
CHENG X J, LI Z J, DAI W S, et al. Ecological characteristics of *Torreya grandis* "Merrillii" and its suitable site conditions [J]. China Forestry Science and Technology, 2009, 23(1): 39-42.
- [11] 汪建华,周先容,尚进,等.金佛山喀斯特山地灌丛巴山榧树群落特征[J].四川师范大学学报(自然科学版),2014,37(3):389-395.
WANG J H, ZHOU X R, SHANG J, et al. Characteristics of the *Torreya fargesii* community of the karst mountain shrub in the Jinfo mountains [J]. Journal of Sichuan Normal University (Natural Science), 2014, 37(3): 389-395.
- [12] 江洪.东灵山植物群落生活型谱的比较研究[J].植物学报,1994,36(11):884-894.
JIANG H. Study on life-form spectrum of plant community in Dongling mountain [J]. Acta Botanica Sinica, 1994, 36(11): 884-894.
- [13] 于倩,谢宗强,熊高明,等.神农架巴山冷杉(*Abies fargesii*)林群落特征及其优势种群结构[J].生态学报,2008,28(5):1931-1941.
YU Q, XIE Z Q, XIONG G M, et al. Community characteristics and population structure of *Abies fargesii* forests in Shennongjia national nature reserve [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(5): 1931-1941.
- [14] 谢宗强,陈伟烈.中国特有植物银杉的濒危原因及保护对策[J].植物生态学报,1999,23(1):1-7.
XIE Z Q, CHEN W L. The endangering causes and preserving strategies for *Cathaya argyrophylla*, a plant endemic to China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 1999, 23(1): 1-7.
- [15] 马俊,陈发波,周先容,等.不同地理种群巴山榧树及近缘种叶绿体 *trnL-trnF* 序列的分析[J].基因组学与应用生物学,2014,33(5):1053-1058.
MA J, CHEN F B, ZHOU X R, et al. Sequences analysis and comparison of *trnL-trnF* of geographical populations of *Torreya fargesii* (Taxaceae) and its closely related species [J]. Genomics and Applied Biology, 2014, 33(5): 1053-1058.
- [16] 江波,周先容,龚练,等.巴山榧树种子特性与幼苗生长规律[J].种子,2016,35(10):14-18.
JIANG B, ZHOU X R, GONG L, et al. Research on seed characteristics and seedling growth law of *Torreya fargesii*, an endangered plant in China [J]. Seed, 2016, 35(10): 14-18.
- [17] 汪建华,周先容,尚进,等.金佛山巴山榧树灌丛群落主要木本植物种群生态位特征[J].生态学杂志,2014,33(5):1135-1141.
WANG J H, ZHOU X R, SHANG J, et al. Niche characteristics of dominant woody plant populations in a *Torreya fargesii* shrub community in the Jinfo mountains [J]. Chinese Journal of Ecology, 2014, 33(5): 1135-1141.
- [18] 李俊敏,何平,林永慧,等.缙云山特有植物缙云黄芩种群生态位研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2004,29(3):451-456.
LI J M, HE P, LIN Y H, et al. Niche studies on populations of *Scutellaria tsinyunensis* of endemic species from Mt. Jinyun of Chongqing [J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2004, 29(3): 451-456.
- [19] 江波,周先容,尚进,等.中国特有植物巴山榧树的种群结构与动态[J].生态学报,2018,38(3):1016-1027.
JIANG B, ZHOU X R, SHANG J, et al. Population structure and dynamics of *Torreya fargesii* Franch., a plant endemic to China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(3): 1016-1027.
- [20] 吴小巧,黄宝龙,丁雨龙.中国珍稀濒危植物保护研究现状与进展[J].南京林业大学学报(自然科学版),2004,28(2):72-76.
WU X Q, HUANG B L, DING Y L. The advance on the study of protection of rare and endangered plants in China [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2004, 28(2): 72-76.
- [21] 乔琦,刑福武,陈红锋,等.中国特有珍稀植物伯乐树的研究进展和科研方向[J].中国野生植物资源,2011,30(3):4-8,13.
QIAO Q, XING F W, CHEN H F, et al. Research progress and direction in *Bretschneidera sinensis*, a rare endemic plant in China [J]. Chinese Wild Plant Resources, 2011, 30(3): 4-8, 13.
- [22] 蒋志刚,马克平,韩兴国.保护生物学[M].杭州:浙江科学技术出版社,1997.
JIANG Z G, MA K P, HAN X G. Conservation biology [M]. Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press, 1997.
- [23] 祖元刚,张文辉,阎秀峰.濒危植物裂叶沙参保护生物学[M].北京:科学出版社,1999.
ZU Y G, ZHANG W H, YAN X F. Conservation biology of endangered plant *Adenophora lobophylla* [M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [24] 翟飞飞,孙振元.木本植物雌雄株生物学差异研究进展[J].林业科学,2015,51(10):110-116.
ZHAI F F, SUN Z Y. Progress in Study on sexual differences of woody dioecious plants [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2015, 51(10): 110-116.

- [25] 高丽,杨劼,刘瑞香. 不同土壤水分条件下中国沙棘雌雄株叶片形态结构及生理生化特征[J]. 应用生态学报, 2010,21(9):2201-2208.
GAO L, YANG J, LIU R X. Leaf morphological structure and physiological and biochemical characteristics of female and male *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* under different soil moisture condition[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(9): 2201-2208.
- [26] 陶应时,廖咏梅,黎云祥,等. 连香树雌雄株叶片形态及生理生化指标比较[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(3): 18-19.
TAO Y S, LIAO Y M, LI Y X, et al. Morphological characteristics and physiological-biochemical indexes of male and female *Cercidiphyllum japonicum* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2013, 41(3): 18-19.
- [27] 马丽媛,齐国辉,李保国,等. 黄连木雌、雄株内源植物激素和 POD 同工酶的比较[J]. 植物科学学报, 2013, 31(3): 297-303.
MA L Y, QI G H, LI B G, et al. Content of endogenous phytohormones and isoenzymes of peroxidase in male and female *Pistacia chinensis* plants Bunge leaves[J]. Plant Science Journal, 2013, 31(3): 297-303.
- [28] 张明如,温国胜,张瑾,等. 火炬树雌雄母株克隆生长差异及其光合荧光日变化[J]. 生态学报, 2012, 32(2): 528-537.
ZHANG M R, WEN G S, ZHANG J, et al. Differences in clonal growth between female and male plants of *Rhus typhina* Linn. and their diurnal changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(2): 528-537.
- [29] 胡丽娜. 微量元素对植物的作用[J]. 现代农业, 2014(7): 25.
HU L N. The effect of trace elements on plants[J]. Modern Agriculture, 2014(7): 25.
- [30] 孙先良. 从植物微量元素营养需求来发展微肥[J]. 化工进展, 2001(11): 5-7.
SUN X L. Development of micro-fertilizer[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2001(11): 5-7.
- [31] AVISE J C, ARNOLD J, BALL R M, et al. Intraspecific phylogeography the mitochondrial DNA bridge between population genetics and systematics[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1987, 18: 489-522.
- [32] 王静,李明,魏辅文,等. 分子系统地理学及其应用[J]. 动物分类学报, 2001, 26(4): 431-439.
WANG J, LI M, WEI F W, et al. Molecular phylogeography and applications[J]. Acta Zootaxonomica Sinica, 2001, 26(4): 431-439.

Research Progress of Conservation Biology on *Torreya fargesii*, a Rare and Endangered Plant Endemic to China

GAO Lan, LÜ Zhiping, YUE Jiaying, ZHANG Wen, WU Jiaojiao, TIAN Qiuling, LIU Yun

(College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: [Purposes] The biological characteristics, community characters, endangered mechanism and resources conservation of *Torreya fargesii*, an endemic gymnosperm in China, were reviewed to provide a basis for other studies in this area. [Methods] On the basis of consulting relevant research studies, the endangered mechanism of *T. fargesii* were analyzed, the protection measures were summarized, and the future research directions were proposed. [Findings] 1) The main reasons for the endangerment of *T. fargesii* are as follows: firstly, changes in historical climate led to a large-scale reduction in the number of *T. fargesii*. Secondly, low genetic diversity and low degree of genetic differentiation among populations of *T. fargesii* further aggravated the endangered degree of *T. fargesii*. Thirdly, *T. fargesii* has high reproductive barrier and low seed germination rate. Fourthly, niche overlap in *T. fargesii* community is high and competition among populations is intense. Lastly, human activities have exacerbated habitat fragmentation of *T. fargesii*. 2) At present, the conservation strategy of *T. fargesii* mainly includes *ex-situ* conservation and local protection. At the same time, scientific research should be carried out in a comprehensive and systematic way, the laws and regulations on the protection of rare and endangered plants should be established, and propaganda and education should be strengthened. [Conclusions] 1) A comprehensive scientific study should be conducted to further summarize the endangered mechanism of *T. fargesii*. 2) Breeding technology research should be carried out to artificially propagate the *T. fargesii*. 3) Study on the systematic geographical pattern of *T. fargesii* resources should be carried out as well.

Keywords: *Torreya fargesii*; endangered plants; research progress; endangered mechanism