

西藏高原巨柏的研究进展与展望*

尹金迁 赵垦田

(西藏农牧学院资源与环境学院, 西藏 林芝 860000)

摘要 巨柏 (*Cupressus gigantean*) 是藏东南雅鲁藏布江流域特有的国家一级濒危保护植物, 寿命达 2 000 余年, 是高原地区重要的水土保持和园林绿化树种。通过阅读和实地调查研究, 简要论述了巨柏的生物学特性、起源、地理分布、群落特性、苗木培育、引种驯化、濒危机制与物种保护等方面的研究进展, 分析其中的问题, 提出未来巨柏研究的科学与技术问题。

关键词 巨柏; 研究历程; 展望

中图分类号: S791.41 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2019) 02-0116-07

Research History and Prospect of *Cupressus gigantean* in Tibetan Plateau

YIN Jinqian ZHAO Kentian

(Department of Resources and Environment Tibetan Agricultural and Animal Husbandry College, Linzhi, Xizang 860000, China)

Abstract *Cupressus gigantean* is a unique national endangered plant in Yarlung Tsangpo River Basin Tibet, which has a life span of more than two thousands years. *C. gigantean* is an important species for soil conservation and landscape gardening. Through reading a large number of documents about *C. gigantean*, combined with field investigation, the author briefly discusses and analyzes the biological characteristics, species establishment, origin, geographical distribution, community characteristics, introduction and domestication, and endangered and protected studies of *C. gigantean*. According to the analyzed problems, we put forward the scientific questions concerning *C. gigantean* in future.

Key words *Cupressus gigantean*; research history; expectation

巨柏 (*Cupressus gigantean*) 为柏科 (Cupressaceae) 柏木属 (*Cupressus*) 常绿大乔木, 又名雅鲁藏布江柏木, 藏语称秀柏, 其现代地理分布狭窄, 仅天然分布于藏东南雅鲁藏布江沿江部分河谷和山坡及其支流尼洋河下游, 为西藏特有的国家一级保护植物。巨柏寿命长, 树龄可达两千余年, 被当地藏民视为“神树”加以保护, 是研究藏东南气候变化规律、植被生长与演替的天然实验室和基因库^[1]。巨柏树姿优美, 极具观赏和保护价

值, 且较耐旱, 是藏东南城乡及荒山荒地造林绿化的重要树种。目前, 学术界对其分类特征、分布特性、种群特性、濒危和保护、扩繁等研究较多, 为了更好地深入研究与保护珍稀濒危物种巨柏, 了解和总结前人对巨柏的相关研究十分重要。本文对巨柏生物学特征、现代地理分布、群落特征、苗木培育、引种驯化、濒危机制与保护等研究进行了总结与分析, 提出今后巨柏研究需要关注的问题。

* 第一作者: 尹金迁 (1990—), 女, 硕士研究生, 研究方向为森林培育与自然保护区管理, E-mail: syzjinqianyin@163.com。
通信作者: 赵垦田 (1963—), 男, 教授, 主要从事森林培育与植被恢复研究, E-mail: zhaokt@sina.com。

1 巨柏的生物学特征

1.1 形态特征

巨柏雌雄同株，花期3—4月，雄花为淡黄色棒状，雌花为褐绿色球瓣状，球花单生枝顶，有利于授粉。球果矩圆状球形，直径1.6~2.3 cm，翌年成熟时褐色，宿存；种鳞交互对生，6对，成熟球果失水后种鳞开裂，出数十粒种子；种子三棱状近扁平，两侧具窄翅，外有硬壳，具油脂，轻小，能漂浮于水中^[2]。根据种子这一特点，有学者猜测沿雅鲁藏布江水线分布的巨柏可能与此有关，认为水或水中动物是巨柏沿江向下传播的重要媒介^[3-4]。目前，该观点流行甚广，并得到巨柏遗传多样性研究结果的支持^[5]。

巨柏幼树新叶短针刺状密生于嫩枝上，老鳞叶脱落呈光滑带绿网纹的小圆柱枝状。叶片交叉对生，近基部有1个圆形腺点分泌柏油，这使得人们有时会观察到老鳞叶上有白色的蜡粉结晶。巨柏枝叶几近上延，较利于养分和水的向上运输^[6]，这一特点结合球果形态，被用于区分巨柏和西藏柏木(*Cupressus torulosa*)。

1.2 结实特征

巨柏寿命长、树形高大、结实时间长，但至今未见巨柏结实的系统研究报道，有关说法多为经验或推测，并散落于一些文献中。关于巨柏种子的成熟期，争议仍然很大。于庆和^[7]、康新^[8]认为种子当年成熟，王景升等^[3]认为翌年3—4月成熟，而张国强等^[9]则认为翌年9—10月成熟。同样，关于巨柏的结实规律，资料多不详尽。结合观察和用生长锥测定的方法，王景升和张国强^[3,9]提出巨柏人工林一般15~20 a开始结实，天然林50~100 a后开始结实，树龄500~1 000 a是结果盛期；于庆和^[7]、康新^[8]认为树龄50 a后巨柏结实量增大。可见，这些问题还需要继续研究。

1.3 生长特征

在巨柏的自然分布区随处可见体型高大（高25~45 m，胸径近6 m）、树干通直、树皮灰褐色纵向开裂的古树，其木材结构细致、均匀，富含油脂，具香气。更称奇的是其开裂干皮与根皮层都呈现梅红色，与红豆杉拉丁名的汁液颜色相同。

巨柏生长环境比较恶劣，在朗县雅鲁藏布江峡谷低海拔半干旱河谷，其生境多样，有水线（靠近丰水期水位）、阶地、山麓坡地、岩石峭壁

等类型，体现了巨柏耐干旱、耐瘠薄的特点，其顽强的生命力令人震撼。

巨柏的支撑根系粗壮发达，常生长于岩石缝隙或壤性较差、砾石含量较多的沙土中。相对于庞大的地上部分，地下根系虽然垂直分布一般只有60~100 cm，但水平分布往往是树高的数倍。巨柏根系在不同的立地条件下，表现出超常的可塑性。边喜丽等首次研究了巨柏根系结构特征^[10]，并对其与环境因子的关系进行了初步分析^[11]，对雅鲁藏布江水电资源开发中巨柏资源的保护、构建巨柏大树迁地移栽技术具有一定意义，但是学术界对巨柏根系的认识仍然很少，尤其是根系在巨柏适应恶劣环境中的作用及机理，还有待进一步研究。

于庆和发现巨柏能进行萌蘖繁殖，树龄100 a以内的巨柏具有较强的萌蘖性，70 a左右树木主干基部常见一些萌生植株，但成年大树周围不见有萌生的幼苗^[7]。据笔者观察，所谓的萌蘖繁殖是巨柏主干或被风沙掩埋或被砍伐后萌生新枝条的现象。

2 巨柏的研究概况

2.1 巨柏的起源

梁红平的核型分析和胡匡祐等核型图研究发现巨柏的染色体为最为对称的1A型，推测巨柏可能是柏科中保存至今较原始的孑遗古柏品种^[12-13]。江洪等的过氧化物酶同工酶研究和兰小中等的细胞色素氧化同工酶研究也认为，巨柏的分布区是柏木属植物的一个现代分化中心，其发生年代大致在早白垩纪更前的侏罗纪，这一物种在雅江流域的三个间断分布区继续进行着居群的分化^[14-15]。

综合相关学科的研究，认为巨柏可能起源于三叠纪的欧亚古陆南部（即古地中海北岸）^[16]，于侏罗纪及白垩纪发展^[2]。在白垩纪以后，由于太平洋隔离分化，逐渐形成喜马拉雅—横断山区的现代分布区和分化中心^[5]。后经过一定时期的发展演化，形成了具有自身特色的巨柏先祖物种。第三纪时，巨柏的先祖物种很可能广泛分布于青藏高原及其周围的大部分地区。上新世晚期或第四纪早期，青藏高原开始剧烈隆升，尤其是青藏高原东南部经过剧烈地壳挤压运动，形成了异常丰富的地质地貌和各种各样的气候地理分化区，其中不能适应寒冷的巨柏祖先种群灭绝，东喜马

拉雅和横断山脉附近地区的适宜气候区尚有遗存^[17]。后来在第四纪冰盖冰川时期,藏东南雅鲁藏布江及其支流的高山峡谷成为了巨柏的最佳避难所。

2.2 巨柏的现代地理分布

巨柏现代地理分布狭窄,文献记载仅天然分布于藏东南雅鲁藏布江中游区域及其支流尼洋河、易贡藏布沿江地段的部分河谷和山坡,但易贡藏布的巨柏在近期多次野外调查中都没有发现过,推测可能已消失或是其他树种的误认。整个分布区具体情况见表1,分布区平均海拔在3 000~3 400 m左右,属高原温带季风气候区,虽然分布区降水较丰富(集中于5—9月),但蒸发量远大于降水量,干燥度较大;年均日照时数长,无霜期短;温度较低^[18]。可见,巨柏生长环境相对比较恶劣。

巨柏的现代分布区,已被明显分割为朗县、米林县、巴宜区(原林芝县)3个居群。朗县居群面积最大,是巨柏种群的现代分布中心,范围是朗县以西至米林甲格,并向东延伸到里龙一带,巨柏主要分布在雅鲁藏布江干旱河谷的低海拔地带,生长在土层较薄较贫瘠的(半)阳坡沙土或岩壁上^[20-21],而有的则沿雅江夏季丰水期水位呈

连续密集分布状。由该中心继续向东沿雅江及支流的湿润河谷蔓延,在干燥山坡、江边漫滩等地段呈间断式零星分布。目前,巨柏米林居群、巴宜(林芝)居群已经成为孤岛。但总的来说,巨柏在干燥山坡的下部分布最为普遍^[9],这可能与该地山坡的沙质土壤有较高的持水力、略高的有机质和全养分含量有关^[22]。

巨柏朗县居群的分布区,虽也为高原温带季风气候,但处于高原半湿润区向半干旱区的过渡地带,日照时数较长,年蒸发量更高。与米林居群、巴宜居群不同,在朗县居群的水平分布范围内,除城镇乡村外,自然界中基本没有其他乔木树种。所以,巨柏也是特殊高原水文气候条件造就的森林向灌丛草原过渡的奇特树种。

目前,人们对巨柏现代分布区如此狭窄的原因产生了浓厚的兴趣。我们认为,巨柏现代分布区是地史时期冰川作用、间冰期环境变化下植被相互作用和高原人类活动等多因素共同作用的结果。其中,巨柏分布区的大格局,即岛状分布格局,是第四季冰川作用塑造的结果;现代巨柏与其它物种的关系,是间冰期环境变化背景下种群间相互作用的结果;而各个孤岛的现状,又受高原人类长期活动的影响。许多事例表明冰期影响

表1 不同巨柏居群生态环境特征比较^[3, 19]

Table 1 Comparison of ecological and environmental characteristics of different *Cupressus gigantean* populations

居群 Population	地理位置 Geographical position	海拔范围/m Altitude range	个体数量 N/hm ² Individual quantity	气候特征 Climatic characteristics	土壤类型 Soil type	植被类型 Vegetation type
朗县 Nang County	29°05'14"~ 29°09'13" N; 93°04'55"~ 93°28'20" E	3 050~3 300	438	年平均气温 8.9 °C, 1月平均气温 -0.3 °C, 7月平均气温 17.1 °C, 极端最高气温 30.7 °C, 极端最低气温 -15.1 °C。年降水量 425 mm, 蒸发量 2 682 mm, 为降水量的 6.5 倍。年日照时数 2 230.2 h, 无霜期 150 d, 属高原温带半湿润-半干旱季风气候区。	沙质土	温带半干旱稀疏灌丛草原
米林县 Mainling County	29°08'12"~ 29°08'33" N; 93°42'10"~ 93°51'50" E	3 000~3 100	155	年平均气温 8.2 °C, 1月平均气温 -0.2 °C, 7月平均气温 15.6 °C, 极端最高气温 28.8 °C, 极端最低气温 -15.8 °C。年降水量 708 mm, 其中 6-9月降水量占全年的 69%。年蒸发量 1 201 mm。年日照时数 1 710.3 h, 无霜期 170 d。	山地棕壤土, 呈中性至微碱性 ^[21]	温带半湿润针叶林
巴宜区 Nyingchi County	29°37'40"~ 29°37'10" N; 94°23'22"~ 94°24'20" E	3 010~3 250	87	年平均气温 8.7 °C, 极端最高气温 31.2 °C, 极端最低气温 -16.3 °C。年降水量 688 mm。年蒸发量 1 792 mm。年日照时数 1 710.3 h, 无霜期 170 d。	沙壤土, 土层较厚	温带半湿润针叶林

物种分布^[23-24]，可以推测巨柏在地史时期分布可能更广泛，尽管缺少古植物学考古资料的支持。Miehe 等^[5]也认为柏木属可能在古青藏地区曾普遍分布。间冰期环境变化背景下种群间相互作用，可以从巨柏三个居群的环境、植被以及种群关系可见一斑。青藏高原古代人类利用巨柏由来已久。西藏列山古墓的发掘，以对墓葬的棺木、墓室木框架研究^[25]表明，早在松赞干布时期以前高原土著部落就已经开始采伐利用巨柏。巨柏是当地重要的建筑用材，其细枝具香味可供佛教信众煨烟之用。即便在现今巨柏得到严格保护的情况下，也可以从人口增长驱动下的村镇规模增大、人口迁徙、耕地面积扩大，观察到巨柏从村镇周围、易于开垦的阶地和缓坡地逐渐消失。

2.3 巨柏的群落特征

相较于其他树种群落的复杂性，巨柏显得很孤立，几乎不与其他乔木树种共生，野生群落内一般只有巨柏这一种乔木树木，在个别地段偶有与高山松 (*Pinus densata*)、高山栎 (*Quercus semicarpifolia*) 相邻^[26]。这一特性使得巨柏的群落学研究主要聚焦在与之同生的灌木和草本上。郑维列等通过径级结构分析发现，巨柏林芝 (巴宜区) 种群处于老龄化阶段，米林种群也呈现逐渐萎缩的趋势，只有朗县种群基本处于稳定状态^[19]。

仁青曲珍等^[27]通过对巨柏种群不同龄级立木的点格局分析发现，巨柏一般以相邻龄级为依存，即个体大小相近的巨柏一般成群分布。他们认为这是由于同龄巨柏的生存需求和环境适应性较为相似，种内竞争较小，最终导致巨柏的不同龄级间的分布差异性和种群生命活力的差异。不少松杉植物具有化感作用^[28-30]，而巨柏这一树种虽然老树周围有幼小苗木的生长，但几乎没有大树旁生长小树的现象，其原因是否与此相关还有待进一步研究。

2.4 巨柏苗木培育

2.4.1 巨柏种子发芽试验方法 巨柏种子发芽实验最初采用滤纸法^[3]，但由于发芽过程中水分难以保持，于是出现了沙培法测定巨柏种子发芽率的方法^[31]。无论是滤纸法还是沙培法，由于国家至今没有巨柏发芽的统一标准，相关文献的发芽实验条件各异，主要表现为发芽温度和发芽时间多不统一。例如，扎西次仁^[5]在 10℃ 环境中测定种子发芽；康新^[8]在 25~27℃ 条件下用滤纸法测

定巨柏的发芽能力；李永霞等^[31]采用沙培法研究了巨柏种子发芽特性，发现巨柏种子发芽的适宜温度为 25~30℃；幸福梅等^[32]认为巨柏种子最适发芽温度为 12.5~17.5℃。近期，常馨月^[33]完善了沙培法测定巨柏种子发芽率的方法，发现在恒温 25℃ 条件下，发芽测定持续时间以 15 天为宜。

另外，由于巨柏存在较多的不发芽种子，净种问题尚未解决，故文献中供试种子物理指标往往差异比较大，导致不同文献的发芽实验结果基本上没有可比性。综上，巨柏种子及其发芽条件问题仍需要进一步研究。

2.4.2 巨柏种子播前处理 关于巨柏种子休眠，多认为其属于被迫休眠类型。林业生产中巨柏种子播前处理方法有混沙催芽法^[7-8]、温水浸种法^[34-36]，少有 ABT 处理的方法^[37]，其中温水浸种较为普遍。

由于温水浸种法没有规范，故浸种的水温差异很大，40~60℃ 都有。朗县林业局采用温水浸泡 3 天，然后以种子与河沙 1 : 3 的比例混合，沙藏 3~4 天后播种^[8]；陈端^[1]采用 50℃ 温水浸种，扎西次仁认为 60℃ 清水浸种催芽效果好，大布穷用 45℃ 浸种。鉴于现有文献和林业生产实践中温水浸种初始水温差异比较大，常馨月^[33]研究了不浸种、20、30、40、50、60℃ 等 6 种温水浸种方法对巨柏种子吸水及发芽过程的影响，发现浸种温度越高，种子吸水量越大，吸水速率加快，达到平衡的时间越短，巨柏种子温水浸种的适宜温度为 50℃，而 60℃ 浸种虽然不影响种子发芽率但明显降低了种子发芽势^[33]。该研究结果，对制定温水浸种标准有一定现实意义。

2.4.3 巨柏实生苗培育 目前，巨柏繁育主要采用种子播种育苗，而营养繁殖法少见^[38-39]。巨柏实生苗培育有大地床式播种育苗、大地营养袋育苗、温室床式播种育苗等^[34-38]，其中大地床式育苗最为普遍。

当前，无论采取何种育苗方式，巨柏苗木培育是粗放的，其根本原因是巨柏苗木生长发育规律等生物生态学特点的认识有限，一般只局限在对苗木生长速生期的认识上^[36, 40]。近期，为了提高苗木培育的质量，更好地保护巨柏资源，西藏农牧学院进一步深化了巨柏苗木生物生态学特征的认识。司琳杰研究了巨柏实生苗不同组织器官的生长发育规律、根系结构特征，发现二 a 生

苗木在4-5月和8月存在根再生的高峰；而移栽时根系失水能够抑制巨柏苗木新根再生和生长，降低根系活力及苗木地上部分生长，导致成活率下降^[41]。赵家顺^[42-43]采用盆栽控水法研究了土壤基质和水分对巨柏种子萌发和幼苗生长的影响，发现巨柏种子的出苗在河沙基质中最好，但对于巨柏苗木的长期生长来说还是适度的干旱和较富含营养的土壤更适宜。尹金迁^[44-45]研究了不同土壤基质（沙土、农田土、混合土）和温度（常温、10、15、20、25℃）对巨柏苗木移栽初期根再生的影响，发现巨柏苗木在沙土中的新根再生更快，农田土略次，混合土最差；不同土壤的苗木新根数量、长度、总表面积、总体积等都在25℃达到最大。

从有限的巨柏育苗研究来看，虽然巨柏苗木扩繁的一般技术已经基本解决，但对于提高苗木质量还有许多苗木生理生态学问题有待研究。

2.5 巨柏的引种驯化

巨柏的引种可分为三类：一是上世纪八十年代国家重点科技项目（国内外重要造林树种的引种驯化）开展的大规模引种；二是中国科学院植物研究所持续开展的引种工作；三是援藏干部将巨柏引回所在省份，如李乾振等在福州的引种。

1984年中国林业科学研究院热带林业实验中心李运兴等在广西凭祥市郊开展柏类引种试验，发现巨柏成活率高达94.3%，10 a后保存率为11.4%^[46]。1983年，原江苏省林业科学研究所汪企明等开展巨柏等多种柏木属植物的引种试验，研究种子和扦插育苗技术，营造试验林并进行生长调查。8年的试验结果表明，巨柏从高海拔引种到低海拔，与柏木属其它树种相比，幼林初期生长慢，需进一步观察^[39, 48]。1999年，福建省林业科学研究院李乾振将巨柏引种到福州市北郊，发现巨柏在苗期生长较快，并认为闽北、闽西引种巨柏具有可能^[49]。遗憾的是由于培育近十年的试验林被破坏，故长期引种效果不得而知。

在西北，1983年甘肃省小陇山林业实验局林科所裴会明等^[50]在天水市引种5 a生巨柏苗获得成功，目前巨柏树龄40余年，保存率高，长势良好。

1996年，中国科学院植物研究所唐宇丹等^[51]认为巨柏等青藏高原特有野生观赏植物可作为中国北方园林绿化与生态建设的新树种，并成功将

巨柏引种到北京房山县的东灵山和山东省青岛市藏马山。

总之，巨柏在离开高原后，在北方部分地区引种已经获得成功，但在气候炎热的两广地区没有成功，这与巨柏的生态适应性有关。巨柏作为濒危物种不同于一般的狭域分布种，其现代自然分布区的生态环境并不是最适宜的。目前，巨柏在秦岭以南、南岭以北的广阔区域，除江苏、福建省外，多没有开展过引种工作，但有理由相信，巨柏在这一区域的一些地方引种能够获得成功。

2.6 巨柏保护与濒危机制

从二十世纪七十年代末八十年代初开始，人们关注巨柏的保护问题。1979年，任宪威教授提议对巨柏加强保护。1980年，刘永春教授呼吁建立巨柏天然保护区。在他们的共同呼吁下，1982年巨柏成为国家二级保护植物，次年，西藏自治区人民政府划定林芝巴结巨柏保护区（点），1985年正式建立了林芝巴结巨柏自然保护区。1987年，《中国珍惜濒危保护植物名录》将巨柏列为国家二级保护植物。1992年原国家林业部公布第一批《国家珍贵树种名录》。1999年，巨柏被《国家重点保护野生植物名录（第一批）》确定为国家一级保护植物。2003年建立的工布自然保护区，包括了大部分巨柏分布区（点）。

遗传多样性是判断物种濒危的一项重要依据，遗传多样性水平决定了物种应对环境变化的进化潜力，同时遗传多样性相关研究为保护珍稀生物资源提供了重要依据，揭示其居群动态、受威胁程度和原因，为推断现有遗传结构与青藏高原及毗邻地区环境变迁历史和人为活动等因素的关系，度量物种之间的基因交流，确立有效保护管理单元、制定完善保护策略提供有效的理论依据和技术支撑，为遗传资源有效保护和合理利用提供理论依据。而造成物种的濒危原因却多种多样，主要是冰川进退、火山爆发、地质运动等生态环境剧烈变化，人类的生态破坏和物种资源不合理利用活动，物种本身的遗传繁育习惯等^[5, 52]。

关于巨柏濒危的机制，一直是科学家所关注的重要问题。王景升等发现巨柏的濒危不仅与其生长的恶劣自然环境相关，还与种子品质相关^[3]。兰小中等对朗县、林芝、米林3个巨柏居群的细胞色素氧化酶同工酶变异分析发现他们的个体植株酶谱均存在一定的相似性，表现出个体间一定

的遗传同质性, 3个居群具有一定的亲缘关系^[15]。扎西次仁采用分子标记(AFLP)技术检测巨柏和西藏柏木的遗传多样性, 揭示巨柏居群间和居群内的基因流遗传变异式样, 发现巨柏在雅鲁藏布江上游的居群遗传多样性水平比下游高, 巨柏居群间基因交流的间接估计值相当高, 且居群间的遗传距离和地理距离存在显著相关性, 高比例的遗传变异存在于雅鲁藏布朗县县城附近峡谷、巴结保护点和列当曲河口的西藏巨柏居群中^[5]。徐海燕采用SSR分子标记监测岷江柏木、干香柏、巨柏和柏木四种植物的遗传多样性分布规律, 发现巨柏的遗传多样性最低, 种内遗传分化差异最小, 拥有自己独特的基因型族(基因流渐渗)和地理分布区。上述科学探索为巨柏的濒危提供一些可能的解释, 但不足以全面揭示巨柏濒危的机制, 还需要进一步加大研究力度^[52]。

基于分子遗传学研究结果, 科学家建议在保护原有居群的基础上, 应当对分布区上游和雅鲁藏布江与其支流汇合处的居群进行优先保护; 要通过人工培育扩大现存居群规模, 但应控制林木的年龄比例; 也可以考虑迁地引种保护, 但实施过程中要注意涵盖各现存居群的遗传多样性^[52]。

3 研究展望

对巨柏的科学认识, 起始于郑万钧和傅立国先生对巨柏的正式定名。从1975年至今, 学术界对巨柏的研究已经有近45年的历史, 研究领域不断拓展, 认识不断深入。但是, 巨柏作为西藏特有的国家珍贵树种、一级保护植物, 尽管具有重要的科研价值, 并应用于城乡园林绿化、植被恢复等方面, 但由于其分布区极其狭窄, 仅限于藏东南地区, 故长期以来学术界对此关注度不高, 研究相对较少。近年来, 随着藏东南水电能源基地开发的提出, 巨柏保护等环境问题引起了社会关注^[53]。当前, 无论是为了揭示巨柏自然规律, 还是服务林业建设、环境保护, 围绕巨柏需要解决的问题还很多, 部分上文已经提及。

关于巨柏的科学问题, 其濒危机制和适应机理是重要的科学问题之一。巨柏是国家一级珍稀濒危物种, 尽管有学者对其濒危机制开展了研究, 但还没有完全揭示其濒危原因, 进一步探索巨柏濒危机制, 对巨柏物种保护具有重要意义。另外, 巨柏虽然分布狭窄, 但生境类型多样, 研究巨柏

如何适应环境变化, 对认识树木从半湿润向半干旱环境过渡的适应机制, 具有重要的科学价值。

基于围绕园林绿化、植被恢复以及藏东南水电能源基地开发的巨柏保护需要, 当下需要解决巨柏扩繁和迁地保护问题。虽然巨柏苗木扩繁的一般技术已经基本解决, 可以培养出巨柏实生苗、营养苗, 但缺少高质量发展的支撑, 需要进一步研究巨柏结实、良种、种苗生理生态、种苗检测技术、定向培育等问题。对于巨柏大树的迁地保护, 难题更多, 挑战更大, 其中巨柏生根机理与促进生根的方法、养根与调控地上地下平衡, 是构建大树移栽技术体系的关键。

参考文献

- [1] 陈瑞. 西藏巨柏的研究现状与前景[J]. 西藏科技, 1995(2): 7-11.
- [2] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志(第一卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 100-101.
- [3] 王景升, 郑维列, 潘刚. 巨柏种子活力与濒危的关系[J]. 林业科学, 2005, 41(4): 37-41.
- [4] 吴兴, 赵南先, 段代祥, 等. 西藏特有珍稀植物巨柏的研究进展与展望[J]. 福建林业科技, 2005, 32(3): 160-164.
- [5] 扎西次仁. 西藏巨柏的遗传多样性与精油化学成分变异及其保护生物学意义[D]. 上海: 复旦大学, 2008.
- [6] 兰小中, 廖志华, 王景升. 西藏高原濒危植物西藏巨柏光合作用日进程[J]. 生态学报, 2005, 25(22): 3272-3275.
- [7] 于庆和. 西藏巨柏林生长特性的初步研究[J]. 西藏科技, 1983(2): 79-83.
- [8] 康新. 巨柏的生物生态特性、群落类型及其保护[D]. 北京: 中国科学院植物研究所, 1993.
- [9] 张国强, 罗大庆, 王景升. 西藏濒危植物巨柏的生物学与生态学特性研究[J]. 林业科技, 2006, 31(2): 1-5.
- [10] 边喜丽, 杨小林, 马和平, 等. 藏东南巨柏根系结构特征分析[J]. 西部林业科学, 2017(4): 107-112.
- [11] 边喜丽, 杨小林, 李永霞, 等. 藏东南巨柏根系结构特征与环境因子分析[J]. 四川大学学报, 2018, 55(4): 848-852.
- [12] 梁红平. 巨柏的核型分析[J]. 植物学报, 1990, 32(8): 653-656.
- [13] 胡匡祐, 苏万芳, 李予孝, 等. 西藏巨柏核型的图象自动分析与识别的研究[J]. 生物物理学报, 1993, 9(2): 328-332.
- [14] 江洪, 王琳. 柏木属植物过氧化物酶同工酶的研究[J]. 四川林业科技, 1985(Z1): 9-15.

- [15] 兰小中, 王景升, 郑维列, 等. 巨柏细胞色素氧化酶同工酶变异分析[J]. 山地农业生物学报, 2006, 25(4): 297-301.
- [16] RIGGS L A. Conserving genetic resources on-site in forest ecosystems [J]. *Forest Ecology and Management*, 1990, 35(1-2): 45-68.
- [17] 于海彬, 张镜铨. 青藏高原及其周边地区高山植物谱系地理学研究进展[J]. 西北植物学报, 2013, 33(6): 1268-1278.
- [18] 杨宁. 西藏林芝巨柏群落现状与保护[J]. 中南林业调查规划, 2015, 34(2): 52-54.
- [19] 郑维列, 薛会英, 罗大庆, 等. 巨柏种群的生态地理分布与群落学特征[J]. 林业科学, 2001, 43(12): 8-14.
- [20] 中国科学院南京土壤研究所. 中国土壤[M]. 科学出版社, 1978: 405-415.
- [21] 刘永春, 毕守法. 西藏林芝巴结乡巨柏林土壤的研究[J]. 林业科学, 1988, 244: 466-470.
- [22] 赵文智, 李森, 刘玉璋, 等. 西藏雅鲁藏布江中游下段沙地植被研究[J]. 中国沙漠, 1994, 14(1): 68-74.
- [23] 胡菀. 中国亚热带常绿阔叶林3非优势种的比较谱系地理学研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2016.
- [24] 肖月娥. 东亚间断分布植物玉蝉花亲缘地理学及传份互作对其后缘种群维持的作用[D]. 上海: 华东师范大学, 2014.
- [25] 中国社会科学院考古研究所西藏队, 西藏自治区文物管理委员会. 西藏朗县列山墓地的调查与发掘[J]. 考古, 2016(11): 58-66.
- [26] 黄健, 康新. 现代生境与巨柏群落的重建[J]. 西藏科技, 1993(1): 10.
- [27] 仁青曲珍, 郑维列, 卢杰. 西藏巨柏种群不同龄级立木的点格局分析[J]. 农业开发与装备, 2014(2): 85-89.
- [28] 李啸宇, 梁中银, 边秀举, 等. 树木化感效应及应用[J]. 分子植物育种, 2017, 15(12): 4681-4687.
- [29] 袁天天, 赵万义, 徐华林, 等. 广东内伶仃岛马尾松群落和布渣叶群落的演替动态[J]. 广东林业科技, 2015, 31(1): 49-55.
- [30] 沈孝清, 周光益, 赵厚本, 等. 粤北不同林龄马尾松阔叶树混交林群落结构特征[J]. 林业与环境科学, 2018, 34(4): 1-7.
- [31] 李永霞, 张豪, 徐杨. 藏东南巨柏种子发芽及幼苗生长特性研究[J]. 种子, 2017, 36(4): 91-93.
- [32] 幸福梅, 任世强, 普布次仁. 不同处理方法对巨柏种子萌发的影响[J]. 种子, 2017, 36(11): 1-3.
- [33] 常馨月, 赵垦田. 浸种温度对巨柏种子萌发的影响[J]. 种子, 2018, 37(7): 93-95.
- [34] 陈端. 西藏巨柏育苗[J]. 植物杂志, 1992(4): 20.
- [35] 次仁, 拉多, 普布, 等. 西藏几种常绿裸子植物的种子繁殖和育苗[J]. 西藏大学学报, 1998, 13(1): 24-25.
- [36] 大布穷, 普穷, 张昆林, 等. 基于Logistic模型探究西藏巨柏播种苗生长规律[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(8): 4296-4298;4302.
- [37] 王景升, 李衡. 西藏巨柏人工苗木生长研究[J]. 西藏科技, 2005(3): 47-49.
- [38] 德庆措姆, 潘刚, 霍美丽. 西藏林芝地区巨柏育苗与造林试验[J]. 林业调查规划, 2008, 33(6): 139-141.
- [39] 汪企明, 张纪林, 朱薪茹. 几种柏木引种和扦插生根遗传力的初步研究[C]//徐伟英、张培泉. 全国林木遗传育种第五次学术报告会论文汇编. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1986: 153.
- [40] 陈端. 西藏巨柏高径生长的回归分析[J]. 西藏科技, 1996(2): 29-31.
- [41] 司琳杰. 巨柏苗木根系生长与再生能力研究[D]. 拉萨: 西藏大学, 2017.
- [42] 赵家顺. 土壤基质和水分胁迫对巨柏苗木生长的影响[D]. 拉萨: 西藏大学, 2018.
- [43] 赵家顺, 赵垦田, 郑嘉诚, 等. 不同土壤基质和水分对巨柏出苗的影响[J]. 农村经济与科技, 2018, 46(7): 75-77.
- [44] 尹金迁, 赵垦田, 邹林红. 基质和温度对巨柏移植苗根系生长发育特性的影响[J]. 西部林业科学, 2017, 46(5): 87-92.
- [45] 尹金迁. 促进巨柏生根的措施研究[D]. 拉萨: 西藏大学, 2018.
- [46] 李运兴, 唐行. 柏类引种试验研究[J]. 林业科学研究, 1999, 12(3): 304-309.
- [47] 汪企明, 张纪林, 朱薪茹. 几种柏树电热温床扦插育苗技术的研究[J]. 江苏林业科技, 1985(4): 9-13.
- [48] 汪企明, 吴礼才, 余金柱, 等. 柏木属引种研究[J]. 江苏林业科技, 1992(1): 1-7;45.
- [49] 李乾振, 李朝晖. 闽东引种巨柏育苗试验初报[J]. 林业科学, 2003, 39(专刊1): 184-186.
- [50] 裴会明, 屈彩丽. 珍稀濒危植物引种初报[J]. 甘肃林业科技, 1992(4): 38-39.
- [51] 唐宇丹, 李惠, 李锐丽, 等. 青藏高原特有野生观赏植物资源引种驯化[C]//第二届全国城市园林观赏植物培育及景观设计技术交流论坛, 2015: 57-67.
- [52] 徐海燕. 中国柏木属四个物种的遗传多样性研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2011.
- [53] 任东明, 张庆分. 藏东南水电能源基地开发面临的重大问题[J]. 电网与清洁能源, 2011, 27(3): 3-7.