

引用格式: 杜文志, 常詠, 刘庆华, 尹春英, 薛联芳. 岷江柏(*Cupressus chengiana*)生存现状及保护策略研究进展[J]. 山地学报, 2024, 42(5): 640-647.

DU Wenzhi, CHANG He, LIU Qinghua, YIN Chunying, XUE Lianfang. Research progress on the survival status and conservation strategies of *Cupressus chengiana* in China [J]. Mountain Research, 2024, 42(5): 640-647.

## 岷江柏(*Cupressus chengiana*)生存现状及 保护策略研究进展

杜文志<sup>1,2,3</sup>, 常詠<sup>1</sup>, 刘庆华<sup>2</sup>, 尹春英<sup>2\*</sup>, 薛联芳<sup>1</sup>

(1. 水电水利规划设计总院, 北京 100120; 2. 中国科学院成都生物研究所 a. 中国科学院山地生态恢复与生物资源利用重点实验室; b. 生态恢复与生物多样性保育四川省重点实验室, 成都 610041; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 岷江柏(*Cupressus chengiana*)是国家二级重点保护植物,具有生态、经济和美学价值,是川西干旱河谷地区的维持生态平衡的主力植物物种之一。了解岷江柏生存现状并制定相应保护策略刻不容缓。本文采用文献检索与综合分析的方法,总结岷江柏的生存状态、潜在的致危因素及其保护现状,并在此基础上提出相应的保护策略。文献分析表明:(1)岷江柏的生存面临诸多干扰因素,其中人为干扰是最主要的因素,包括生态污染、非法砍伐等。此外,种子繁育特性、气候变化、栖息地恶化及遗传变异等因素,也是岷江柏面临的主要威胁。(2)岷江柏的保护措施不足,应采取以就地保护为主,适度进行迁地保护,并辅以生态修复以改良栖息地环境的保护策略。(3)扩建岷江柏保护区、人工移栽、采种育苗结合入库保存等方式,均能有效保护岷江柏种群资源。(4)另外,还应研发岷江柏木人工繁育技术,制订相关法律法规并加大对民众的科普力度。本文可为岷江柏及该区域其他珍稀植物的保护提供理论依据和实践指导。

**关键词:** 岷江柏; 致危因素; 保护策略

**中图分类号:** Q948.1

**文献标志码:** A

岷江柏(*Cupressus chengiana*), 柏科柏木属乔木,主要分布于甘肃南部的白龙江流域、四川的岷江流域和大渡河流域<sup>[1]</sup>。作为国家二级重点保护植物、珍稀濒危植物以及川西干旱河谷的特有植物,岷江柏具有重要的生态和经济价值。因其出色的水土保持能力,岷江柏一直以来都是川西高山峡谷区生态修复的首要植物物种之一<sup>[2]</sup>,其生存现状一直备受关注<sup>[3]</sup>。

岷江柏根系分布深,可通过提高水分获取能力、降低水分蒸发、增加光合产物消耗、保护热耗散的光

合器官等策略,适应当地干旱寒冷的环境,展现出极强的抗逆性<sup>[4]</sup>。岷江柏材质坚硬、致密并带有独特的香气,是建筑、家具和器具领域的优选材料。岷江柏树枝和叶子可用于提取柏木油和香料<sup>[3]</sup>。此外,岷江柏四季常绿、枝叶繁茂,具有极高的美学价值,是公园、庭院和道路旁的理想植物之一。

川西干旱河谷由于独特的地理和气候条件,生态系统脆弱。由于道路、水电站建设等山区经济建设持续推进,该区域遭受着高强度人类活动的影响,导致生态系统退化加剧<sup>[5]</sup>,森林生态系统群落甚至

收稿日期(Received date): 2024-03-06; 改回日期(Accepted date): 2024-10-14

基金项目(Foundation item): 水电水利规划设计总院科技项目(ZS-KJHB-20220014)。[Technology Project of China Renewable Energy Engineering Institute (ZS-KJHB-20220014)]

作者简介(Biography): 杜文志(2001-),男,江西赣州人,硕士研究生,主要研究方向:植物生态学。[DU Wenzhi (2001-), male, born in Ganzhou, Jiangxi Province, M. Sc. candidate, research on plant ecology] E-mail: duwz@cib.ac.cn

\* 通讯作者(Corresponding author): 尹春英(1977-),女,博士,研究员,主要研究方向:植物生态学。[YIN Chunying (1977-), female, Ph. D., professor, specialized in plant ecology] E-mail: yincy@cib.ac.cn

发生逆向演替<sup>[6]</sup>,岷江柏生存空间不断被挤压<sup>[7]</sup>。了解岷江柏生存现状并制定相应保护策略刻不容缓。然而,关于岷江柏的研究主要聚焦于其生理和遗传特性方面,在种群保护方面的研究较少,且未见岷江柏致危因素的相关总结分析。本文采用文献检索与综合分析的方法,总结岷江柏的生存状态、潜在的致危因素及其保护现状,并在此基础上提出相应的保护策略,以期岷江柏及该区域其他珍稀植物的实际保护工作提供政策依据和实践指导。

## 1 岷江柏的生存现状

### 1.1 种群分布

从全国范围来看,岷江柏主要分布在大渡河、岷江和白龙江三大流域。关于岷江柏种群相关研究多见于大渡河和岷江流域<sup>[8]</sup>。岷江柏作为干旱河谷地带的主要乔木物种,一般生长于河谷到山体的中部,其生长海拔范围为 1050 ~ 2800 m。岷江柏分布区气候类型为高原季风气候,寒冷干旱,年均温为 8 °C ~ 14 °C,年降水量为 500 ~ 700 mm;山势陡峭、土层稀薄,土壤类型多为典型褐土和碳酸盐褐土,地表凋落物稀少<sup>[9]</sup>。过去 100 年来岷江柏分布区严重衰退,分布区面积明显减小<sup>[3]</sup>,目前仅常见于茂县、理县、汶川等岷江流域的干旱河谷地区,濒危程度进一步加剧<sup>[10]</sup>。岷江柏的自然栖息地主要集中于山谷地带,这些区域紧邻人类居住区,长期以来遭受了频繁的人为活动干扰与破坏,导致其现存数量较为稀少<sup>[2]</sup>。

### 1.2 群落结构

岷江柏群落结构相对简单,层次分明,草本和灌木主要有金花小檗(*Berberis wilsoniae*)、中华胡枝子(*Lespedeza chinensis*)、矛叶荩草(*Arthraxon prionodes*)、蒿(*Artemisia* spp.)等,基本没有苔藓、地衣及其他附生植物<sup>[9]</sup>。岷江柏凋落物被土壤动物分解后可供给随后生长季植株的生长<sup>[11]</sup>;岷江柏根系与土壤中丛枝菌根真菌形成共生关系,不仅能更有效地吸收水分和营养,还能通过调节土壤酶活性来调节土壤养分转化<sup>[12]</sup>。

## 2 岷江柏致危因素分析

### 2.1 繁殖特性与种子萌发

岷江柏的雌雄花为同株异枝,主要依靠风媒传

粉,一般 3—4 月授粉,5 月形成球果,9—10 月成熟<sup>[3]</sup>。尽管受到自然或人为干扰(比如砍伐)后,岷江柏可通过无性萌生来繁殖,但要实现种群的扩大和更新,主要依赖有性繁殖。现存的岷江柏种群结构以幼龄林和过熟林居多,且岷江柏生长较为缓慢。袁志忠<sup>[13]</sup>等调查对川西北五县岷江柏种群后,发现幼苗占比超半数,且天然的岷江柏群落基本上为单优势种群群落。由于幼龄和老龄的岷江柏结实能力较差,且种子败育现象严重、种子空粒率高、萌发率低,严重阻碍了种群的更新,导致群落结构极不稳定<sup>[8]</sup>。另外,在高海拔或生境恶劣地区,岷江柏会减少对种子的投入,导致种子质量不高<sup>[14]</sup>。徐峥静茹<sup>[15]</sup>等研究不同种源地岷江柏种子发芽情况,发现发芽率总体较低:马尔康的发芽率为 34%;汶川、小金、文县的种子几乎不发芽。关于岷江柏古树种子萌发的研究发现,岷江柏古树结实量少、种子质量低且存在大量的空粒和涩粒,从而导致其萌发能力弱<sup>[10]</sup>。

### 2.2 遗传因素及栖息地

评估岷江柏的遗传多样性水平和分布可为其保护和管理提供科学依据。岷江柏的叶绿体基因组测序研究<sup>[16]</sup>发现,其结构为双链环状,长度为 128 151 个碱基对,包含 119 个基因,其中 83 个编码蛋白质,31 个 tRNA 基因和 4 个核糖体 RNA 基因。群体规模和群体间的基因流动是影响遗传多样性的重要因素。Lu<sup>[17]</sup>等研究了中国四种柏树的遗传多样性,发现岷江柏的有效种群规模最大、遗传多样性适中。岷江柏的遗传结构和进化历史非常复杂,其遗传多样性可能是通过杂交和基因流的方式形成的。岷江柏主要分布于大渡河流域、岷江流域和白龙江流域,在许多年前是该地区的主要树种之一,而今其分布地域却较为隔离,零散分布在十余个区县内<sup>[3]</sup>。其遗传分化明显,被划分为两个进化重要单元:一个位于岷江和大渡河,另一个位于白龙江<sup>[18]</sup>。近年来,由于人类的砍伐和放牧等活动,岷江柏的自然种群数量和分布范围已经大大缩小。栖息地的破碎化、遗传漂变和近亲交配等因素可能增加了种群间的遗传差异<sup>[19]</sup>。甘肃和四川两个省份的岷江柏种群之间存在明显的遗传分化,可能是两地间地理距离导致的<sup>[20]</sup>。干旱河谷作为岷江柏栖息地的主要类型,由于水土流失和植被破坏,退化程度较为严重<sup>[21]</sup>。

青藏高原及其邻近地区自早中新世以来的多次隆升,形成了高山屏障,将深谷分隔开来,这促进了岷江柏的异域分化,限制了基因流,并在地理上孤立的种群中固定了本地特有的单倍型<sup>[22]</sup>。

### 2.3 人为干扰

人类活动是导致岷江柏稀有的主要原因之一<sup>[19]</sup>。岷江干旱河谷区域是多个少数民族的主要居住地,也是当地生态保护、经济增长和社会发展的核心区域。由于人口增加和过度开发,例如工业和生活废弃物所造成的污染<sup>[5]</sup>、水利水电工程建设土方开挖与水库淹没<sup>[23]</sup>,该区生态系统遭受频繁干扰。此外,长期以来由于过度砍伐、放牧活动等人为干扰,加之岷江柏自然更新缓慢的生物学特性,致使其自然分布面积逐渐缩小,成片林分非常罕见,多以零星分布于人少路稀的地方,如陡岩峭壁以及峡谷两旁<sup>[8]</sup>。岷江柏天然分布范围较小,加之长期的过度砍伐,导致其天然种群的不连续性,阻碍了不同地区岷江柏种群间的基因交流,在一定程度上促进了种间表型变异<sup>[14]</sup>。袁志忠<sup>[24]</sup>等绘制了川西地区岷江柏种群生命表,发现其生长过程中有两个阶段死亡率较高:一是幼苗向幼树的过渡期,光照不足是幼苗高死亡率的主要原因;另一个为中龄向老龄过渡的阶段,人为砍伐及树体间对阳光、水分和养分的竞争造成了较高的死亡率。

### 2.4 气候变化

气候变暖导致的栖息地丧失是对生物多样性的主要挑战,尤其对受威胁的物种而言<sup>[25]</sup>。气候变化改变了植物物种的分布范围,迫使其寻找更适宜的环境或逐渐减少分布范围<sup>[26]</sup>。Li<sup>[20]</sup>等发现青藏高原的隆起和气候变化可能导致了岷江柏的种群分化和遗传多样性的形成。Xu<sup>[22]</sup>等认为岷江柏的种内多样性水平较低,可能源于反复出现的不利气候以及最近人类活动对物种分布的负面影响。气候变化还会影响植株个体的生长<sup>[27]</sup>。岷江柏适合在温暖、降水充沛、干燥系数小、光照强的环境生存。蒸发量和干燥系数是影响岷江柏生长的主要因素,而年均温、年降雨量对岷江柏种群多样性和重要值影响显著<sup>[28]</sup>。郭明明<sup>[29]</sup>等发现升温突变后,岷江柏和岷江冷杉的径向生长对温度的响应会由正相关转为负相关,表现出“响应分异现象”。

## 3 岷江柏保护现状与策略

### 3.1 保护现状

植被保护策略主要分为就地保护和迁地保护。就地保护方面,目前仅四川省阿坝州的马尔康市建立了岷江柏保护区(州级),其他地区没有建立任何保护站点,且该保护区未能达到良好的保护效果<sup>[2]</sup>。迁地保护方面,目前常见的迁地保护方式是通过设立植物园以进行引种栽培保存,以及建立利用低温技术进行离体保存的种质库<sup>[30]</sup>。某些岷江柏分布区内植株数量少,甚至呈单株分布,加之当地生境恶劣,就地保护策略难以实现野外种群自我恢复,因此需要依托人工移栽、繁育、种质资源保护等迁地保护方式进行保护<sup>[31]</sup>。由于岷江柏种子败育现象严重,建立其种子库也是有效的保护方式之一。目前有关建立岷江柏种子库的报道不多,仅在四川大渡河双江口水电站建设过程中采取了入库保存的方式,共采集了当地六个岷江柏居群的 620 个球果储存到中国西南野生生物种质资源库<sup>[32]</sup>。岷江柏的规模化育苗、移栽和造林工作,为岷江柏种群恢复奠定了基础。常誥<sup>[33]</sup>等移栽了 272 株个体株高均小于 3 m 的岷江柏幼苗至气候条件相似的金川县,总体成活率达到 99.26%。此研究发现移栽初始株高对岷江柏生长状况有显著影响。短期内适当地延长光照时长和降低土壤含水量,可促进移栽后岷江柏生长恢复。移栽的岷江柏种群具有较高的遗传多样性,且种群间无遗传分化,基因交流频繁<sup>[7]</sup>。然而也有移栽失败的案例:林勇<sup>[32]</sup>等移栽了 216 株马尔康市天然岷江柏个体(初始树高均 $\leq 3$  m),一年后成活率仅 3.7%。移栽失败主要归因于须根较少、土壤贫瘠、移植施工的直接伤害及环境差异影响。目前移栽的案例多发生在较小的岷江柏苗木上,而对于树龄较老、体型较大的岷江柏个体,使用人工移栽的方式恐难以达到良好的保护效果。

### 3.2 岷江柏保护策略

#### 3.2.1 扩建自然保护区,并加强管理和监测

根据岷江柏种群分布现状,至少应扩建 1 个保护区,即大渡河上游岷江柏保护区,从现有马尔康境内的自然保护区扩大至金川集沐乡、河东乡、丹巴县以及小金河流域的三个乡<sup>[3]</sup>。并将岷江柏现存的

林地划定为禁伐区,制定相应的法律法规加以保护,对于年代久远的古树可以进行挂牌保护与宣传,对零星散生的单株岷江柏划为母树进行保护<sup>[13]</sup>。此外,应建立监测体系,周期性地对野生岷江柏资源进行监测和调查,方便及时了解物种分布和数量情况和受威胁程度,为科学管理野生岷江柏种群提供数据支持<sup>[34]</sup>。

### 3.2.2 迁地保护

人工移栽是迁地保护中的一项重要手段,能有效保护岷江柏种群资源。移栽目的是确保原生地工程建设项目的顺利进行,同时又能保护岷江柏珍贵的种质资源<sup>[32]</sup>。但由于目前有关苗木对生态环境的适应性认识不够,成效并不高,需要在生态适应性评估的基础上加强对移栽与培育技术体系的研究。若要对岷江柏进行人工栽培,宜选择干暖河谷地带为造林地,一般在春天播种,播种密度为 12 ~ 15 g/m<sup>2</sup>。播种过大约一个月后,种子就会发芽生长,当生长到约 20 cm 高时,便可在雨季进行造林。于岷江干旱河谷建造岷江柏林时,应根据不同坡位建造不同功能林。例如造生态防护林宜选上坡位,造生态经济林宜选下坡位,中坡位可以适当补种一些喜光、耐旱的当地植物,以提高群落的物种多样性<sup>[35]</sup>。若移栽成活率较低,可考虑采取采种育苗,并结合入库保存的方法。尽管入库保存能够最大限度地保障岷江柏种质资源基因的完整性和多样性,但由于受到场地限制,保存数量通常有限,无法在短期内实现物种数量的大规模扩繁。因此,采集天然岷江柏种子进行育苗繁殖并与入库保存相结合的方法,有助于实现种群数量大规模扩繁<sup>[32]</sup>。

### 3.2.3 生态修复

生态修复的主要目标是保护、恢复和重建生态系统,以促进生态系统本身的正向演替<sup>[36]</sup>。通过生态修复来改善岷江柏的栖息地环境是重要的保护策略。研究表明改善栖息地土壤养分状况能够有效地提高岷江柏的抗逆性,有助于其种群更好地发展。例如,适当增加生境土壤中氮含量可降低岷江柏的蒸腾速率,提高其净光合速率和瞬时水分利用率,进而提高其幼苗的抗旱性<sup>[37-38]</sup>。在干旱河谷中的生态修复中,养分添加促进了幼苗定植和结构稳定<sup>[8]</sup>。因此利用生态修复手段恢复和增强岷江柏的栖息环境有利于岷江柏树种资源的保护。例如,栽植抗面覆盖、使用保水剂等方法可改善土壤水分

状况;种植绿肥、施肥等方式可改善土壤养分状况<sup>[5]</sup>。在干旱河谷的生态修复过程中,应当减少人为干扰,选择当地的灌木和草本作为目标物种,通过促进自然植被的生长发育,提高植被盖度,改善土壤质量,最终实现良好的生态修复效果<sup>[40]</sup>。

### 3.2.4 其他保护策略

微繁殖体系是一种通过利用植物的组织培养和再生能力实现大规模繁殖和无性繁殖的方法。虽然目前未见有关岷江柏微繁殖体系的相关研究,但对于同属柏科的丝柏(*Cupressus sempervirens*)和刺柏属(*Juniperus* L.)已有通过微繁殖体系进行大规模繁殖的报道<sup>[41-42]</sup>。岷江柏是否能通过微繁殖体系来达到种群繁衍和保护的目的是未来研究的方向。用有益微生物接种柏树幼苗可以通过更好地吸收营养和水分来改善水分胁迫条件下的整体生长和建立。水在决定幼苗成功建立方面起着关键作用,尤其是在干旱和半干旱气候中。Aalipour<sup>[43]</sup>等发现用菌根和根际细菌共同接种同为柏属的亚利桑那柏树(*Cupressus arizonica*)幼苗,显著提高了幼苗的生物量、水分利用效率和养分吸收,并提高了对水分胁迫的耐受性,同时显著降低了重金属毒性影响<sup>[44]</sup>以及因水分亏缺引起的叶片中过氧化氢和丙二醛的含量<sup>[45]</sup>。其次,还有研究发现根际微生物可以通过分泌胞外糖<sup>[46]</sup>、调节植物激素水平<sup>[47]</sup>、改变植物渗透性能<sup>[48]</sup>等方式提高植物的抗旱性。而通过接种有益微生物对岷江柏进行迁地保护(提高岷江柏移植成活率)、生态修复的研究较为缺乏,亟需加强相关研究,以便为更好地保护岷江柏种群资源提供理论支撑。

人类活动干扰是岷江柏的主要致危因素,因此加强民众对野生岷江柏的保护意识尤为重要。应宣传保护珍稀濒危植物的观念,激发当地民众自发的保护意识。还可设立禁伐区来保护现有的岷江柏林,同时制定相关规章制度,对零星分布的岷江柏个体进行单独保护或将其归为母树进行保护。此外,应深入研究岷江柏的繁育技术,加强人工造林力度,扩大其分布区域,以实现更全面的保护和可持续利用<sup>[13]</sup>。

## 4 结论与展望

(1)作为中国珍稀濒危植物,岷江柏受到了来

自多因素的胁迫,包括种子繁育特性、栖息地丧失、气候变化、遗传多样性丧失以及人为干扰(最主要因素)。今后的研究可着眼于其种子败育的机理研究和体外繁殖技术的突破、有关气候变化下岷江柏物种分布范围大小的变化和地理变迁以及应用分子生物学技术研究天然岷江柏种群的遗传多样性。

(2) 扩建岷江柏保护区、人工移栽、采种育苗结合入库保存等方式,均能有效保护岷江柏种群资源。然而,当前对岷江柏的保护工作力度不够,收效甚微,这些措施的实施效果有限,不足以起到良好的保护和推广效果。后续应进一步加强移植可行性专项研究,探究环境因素对岷江柏人工移栽效果的影响及其机制。此外,一些有益微生物有利于植物幼苗的定植<sup>[49]</sup>可在未来岷江柏保护工作中进行尝试。

(3) 岷江柏的保护策略应以就地保护为主,促进天然更新;适当进行迁地保护,并辅以生态修复以达到恢复种群的目的<sup>[8]</sup>。技术上,应提升岷江柏木人工繁育技术;政策上,应制订相关法律法规、加大宣传力度和文化保护<sup>[8]</sup>。

## 参考文献(References)

- [1] 袁志忠,何丙辉. 岷江柏种群现状及研究进展[J]. 山区开发, 2003(6): 34-35. [YUAN Zhizhong, HE Binghui. Current situation and reaserch progress of *Cupressus chengiana* [J]. Mountain Development, 2003(6): 34-35]
- [2] 李东胜,罗达,史作民,等. 四川理县杂谷脑干旱河谷岷江柏造林恢复效果评价[J]. 生态学报, 2014, 34(9): 2338-2346. [LI Dongsheng, LUO Da, SHI Zuomin, et al. Assessing effects of *Cupressus chengiana* plantations in the dry valley of Zagunao River, Li County of Sichuan Province [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(9): 2338-2346] DOI: 10.5846/stxb201306091496
- [3] 包维楷,庞学勇,李芳兰,等. 干旱河谷生态恢复与持续管理的科学基础[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 460-590. [BAO Weikai, PANG Xueyong, LI Fanglan, et al. The scientific basis for ecological restoration and sustainable management of arid river valleys [M]. Beijing: Science Press, 2012: 460-590]
- [4] 李登峰,魏仕军,陈静,等. 岷江上游干旱河谷岷江柏的光合与水分生理特征干湿季对比研究[J]. 生态学报, 2022, 42(18): 7381-7389. [LI Dengfeng, WEI Shijun, CHEN Jing, et al. Comparative study on photosynthetic physiological and water physiological characteristics of *Cupressus chengiana* in wet and dry season, the upper Minjiang River dry valley [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(18): 7381-7389] DOI: 10.5846/stxb202109092538
- [5] 朱林海. 岷江干旱河谷整地造林植被恢复的长期效果评价[D]. 重庆: 西南大学, 2009: 1-62. [ZHU Linhai. Evaluation on long-term effects of vegeaion restoration by afforestation with site-preparation in the dry valley of Minjiang River, Southwestern China [D]. Chongqing: Southwest University, 2009: 1-62]
- [6] 马吉才,冯杰. 岷江杂谷脑河9种典型植被群落的水源涵养能力与价值评估[J]. 四川林业科技, 2017, 38(2): 110-113. [MA Jicai, FENG Jie. A study of water conservation capacity and value evaluation of 9 kinds of typical vegetation community in the Zagunao River of the Minjiang River [J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2017, 38(2): 110-113] DOI: 10.16779/j.cnki.1003-5508.2017.02.021
- [7] 常二梅,刘建锋,黄跃宁,等. 岷江柏野生居群和迁地保护居群的遗传多样性比较[J]. 植物研究, 2022, 42(5): 772-779. [CHANG Ermei, LIU Jianfeng, HUANG Yuening, et al. Comparison of genetic diversity between wild and ex-situ conservation populations of *Cupressus chengiana* [J]. Bulletin of Botanical Research, 2022, 42(5): 772-779] DOI: 10.7525/j.issn.1673-5102.2022.05.008
- [8] 魏海龙. 白龙江流域岷江柏木种群结构特征分析及更新研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2018: 1-48. [WEI Hailong. Structural analysis and regeneration of *Cupressus chengiana* population in the Bailong River Basin [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018: 1-48]
- [9] 刘鑫,包维楷. 我国岷江柏林分类及群落特征[J]. 广西植物, 2011, 31(5): 608-613+640. [LIU Xin, BAO Weikai. Community classification and structure of *Cupressus chenegiana* forest [J]. Guihaia, 2011, 31(5): 608-613+640] DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2011.05.009
- [10] 徐峥静茹,龚良春,蔡蕾,等. 珍稀濒危植物岷江柏古树种子形态及萌发特性[J]. 四川林业科技, 2023, 44(6): 110-116. [XU Zhengjingru, GONG Liangchun, CAI Lei, et al. Seed morphology and germination characteristics of rare and endangered plant *Cupressus chengiana* [J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2023, 44(6): 110-116] DOI: 10.12172/202303160001
- [11] PENG Yan, YANG Wanqin, LI Jun, et al. Contribution of soil fauna to foliar litter-mass loss in winter in an ecotone between dry valley and montane forest in the upper reaches of the Minjiang River [J]. Plos One, 2015, 10(4): e0124605. DOI: 10.1371/journal.pone.0124605
- [12] ZHANG Miaomiao, LIU Shun, CAO Xiangwen, et al. The effects of ectomycorrhizal and saprotrophic fungi on soil nitrogen mineralization differ from those of arbuscular and ericoid mycorrhizal fungi on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Frontiers in Plant Science, 2023, 13: 1069730. DOI: 10.3389/fpls.2022.1069730
- [13] 袁志忠. 岷江柏种群结构及其特征研究[J]. 贵州农业科学, 2009, 37(10): 167-169. [YUAN Zhizhong. Study on population structure and characteristics of *Cupressus chengiana*

- [J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2009, **37**(10): 167–169]
- [14] 冯秋红, 史作民, 徐峥静茹, 等. 岷江柏天然种群种实表型变异特征[J]. 应用生态学报, 2017, **28**(3): 748–756. [FENG QiuHong, SHI Zuomin, XU Zhengjingru, et al. Phenotypic variation in cones and seeds of natural *Cupressus chengiana* populations in China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, **28**(3): 748–756] DOI: 10.13287/j.1001-9332.201703.001
- [15] 徐峥静茹, 汪清平, 冯秋红, 等. 温度对不同种源地岷江柏种子发芽的影响[J]. 西部林业科学, 2017, **46**(2): 107–112. [XU Zhengjingru, WANG Qingping, FENG QiuHong, et al. Effect of temperature on the germination of *Cupressus chengiana* S. Y. Hu seeds from different provenances [J]. Journal of West China Forestry Science, 2017, **46**(2): 107–112] DOI: 10.16473/j.cnki.xblykx1972.2017.02.019
- [16] ZHANG Zilong, MA Liying, YAO Hongbin, et al. The complete chloroplast genome of *Cupressus chengiana* [J]. Conservation Genetics Resources, 2017, **9**(3): 347–349. DOI: 10.1007/s12686-016-0675-z
- [17] LU Xu, XU Haiyan, LI Zhonghu, et al. Genetic diversity and conservation implications of four *Cupressus* species in China as revealed by microsatellite markers [J]. Biochemical Genetics, 2014, **52**(3–4): 181–202. DOI: 10.1007/s10528-013-9638-1
- [18] LI Jialiang, MILNE R I, RU Dafu, et al. Allopatric divergence and hybridization within *Cupressus chengiana* (Cupressaceae), a threatened conifer in the northern Hengduan Mountains of western China [J]. Molecular Ecology, 2020, **29**(7): 1250–1266. DOI: 10.1111/mec.15407
- [19] HAO Bingqing, LI Wang, MU Linchun, et al. A study of conservation genetics in *Cupressus chengiana*, an endangered endemic of China, using ISSR markers [J]. Biochemical Genetics, 2006, **44**(1–2): 29–43. DOI: 10.1007/s10528-006-9011-8
- [20] XU Tingting, WANG Qian, OLSON M S, et al. Allopatric divergence, demographic history, and conservation implications of an endangered conifer *Cupressus chengiana* in the eastern Qinghai-Tibet Plateau [J]. Tree Genetics & Genomes, 2017, **13**(5): 100. DOI: 10.1007/s11295-017-1183-3
- [21] PANG Xueyong, BAO Weikai, ZHANG Yongmei. Evaluation of soil fertility under different *Cupressus chengiana* forests using multivariate approach [J]. Pedosphere, 2006, **16**(5): 602–615. DOI: 10.1016/S1002-0160(06)60094-5
- [22] XU Tingting, ABBOTT R J, MILNE R I, et al. Phylogeography and allopatric divergence of cypress species (*Cupressus* L.) in the Qinghai-Tibetan Plateau and adjacent regions [J]. BMC Evolutionary Biology, 2010, **10**: 194. DOI: 10.1186/1471-2148-10-194
- [23] 陈刚, 刘四华. 大渡河流域水电开发环境保护研究与实践 [J]. 水力发电, 2010, **36**(6): 29–32. [CHEN Gang, LIU Sihua. Environment protection study and practice for hydropower development in Dadu River basin [J]. Water Power, 2010, **36**(6): 29–32]
- [24] 袁志忠, 包维楷, 何丙辉. 川西地区岷江柏种群生命表与生存分析[J]. 云南植物研究, 2004, **26**(4): 373–381. [YUAN Zhizhong, BAO Weikai, HE Binghui. Life table and survival analysis of *Cupressus chengian* population in the western of Sichuan, China [J]. Acta Botanica Yunnanica, 2004, **26**(4): 373–381]
- [25] YANG Heng, LI Jialiang, MILNE R I, et al. Genomic insights into the genotype-environment mismatch and conservation units of a Qinghai-Tibet Plateau endemic cypress under climate change [J]. Evolutionary Applications, 2022, **15**(6): 919–933. DOI: 10.1111/eva.13377
- [26] GEBREWAHID Y, ABREHE S, MERESA E, et al. Current and future predicting potential areas of *Oxytenanthera abyssinica* (A. Richard) using MaxEnt model under climate change in Northern Ethiopia [J]. Ecological Processes, 2020, **9**(1): 6. DOI: 10.1186/s13717-019-0210-8
- [27] LI Shuai, DONG Shikui, FU Yongshuo, et al. Air or soil temperature matters the responses of alpine plants in biomass accumulation to climate warming [J]. Science of the Total Environment, 2022, **844**: 157141. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157141
- [28] 庞学勇, 包维楷. 岷江柏各地理居群生长状况及气候因子分析[J]. 生态环境, 2005, **14**(4): 466–472. [PANG Xueyong, BAO Weikai. Analysis of growth condition and climate factors in different geographical population of *Cupressus chengiana* [J]. Ecology and Environment, 2005, **14**(4): 466–472] DOI: 10.16158/j.cnki.1674-5906.2005.04.003
- [29] 郭明明, 张远东, 王晓春, 等. 升温突变对川西马尔康树木生长的影响[J]. 生态学报, 2015, **35**(22): 7464–7474. [GUO Mingming, ZHANG Yuandong, WANG Xiaochun, et al. Effects of abrupt warming on main conifer tree rings in Markang, Sichuan, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, **35**(22): 7464–7474] DOI: 10.5846/stxb201404140715
- [30] 周桔, 杨明, 文香英, 等. 加强植物迁地保护, 促进植物资源保护和利用[J]. 中国科学院院刊, 2021, **36**(4): 417–424. [ZHOU Ju, YANG Ming, WEN Xiangying, et al. Strengthen Ex Situ conservation of plants and promote protection and utilization of plant resources [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, **36**(4): 417–424] DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.20210225101
- [31] 蒋亚芳, 田静, 刘增力, 等. 全国重点保护野生植物资源现状及保护策略[J]. 林业资源管理, 2023, **52**(4): 1–10. [JIANG Yafang, TIAN Jing, LIU Zengli, et al. The resource status and conservation strategies of national key protected wild plants in China [J]. Forest Resources Management, 2023, **52**

- (4): 1–10] DOI: 10.13466/j.cnki.lyzyl.2023.04.001
- [32] 林勇, 刘凯, 张文, 等. 大渡河上游天然岷江柏木移植试验及种质资源保存[J]. 四川林业科技, 2019, **40**(2): 94–98. [LIN Yong, LIU Kai, ZHANG Wen, et al. Transplant experiments and germplasm conservation of natural *Cupressus chengiana* in the upper reaches of the Dadu River [J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2019, **40**(2): 94–98] DOI: 10.16779/j.cnki.1003–5508.2019.02.021
- [33] 常詠, 薛联芳, 刘四华, 等. 移栽岷江柏木生长生理特性及影响因素[J]. 东北林业大学学报, 2023, **51**(9): 15–20+33. [CHANG He, XUE Lianfang, LIU Sihua, et al. Growth and physiological traits of transplanting *Cupressus chengiana* and influencing factors [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2023, **51**(9): 15–20+33] DOI: 10.13759/j.cnki.dlxb.2023.09.008
- [34] 张学慧. 野生植物资源多样性保护的法规体系与应用研究[J]. 分子植物育种, 2023, **21**(22): 7571–7576. [ZHANG Xuehui. Regulatory system and application research on biodiversity conservation of wild plant resources [J]. Molecular Plant Breeding, 2023, **21**(22): 7571–7576] DOI: 10.13271/j.mpb.021.007571
- [35] 贺维, 彭丽君, 杨育林, 等. 岷江干旱河谷岷江柏木人工林群落结构和物种多样性研究[J]. 四川林业科技, 2019, **40**(6): 25–31. [HE Wei, PENG Lijun, YANG Yulin, et al. The structure and species diversity of *Cupressus chengiana* plantation in dry valleys of the Minjiang River area [J]. Journal of Sichuan Forestry Science and Technology, 2019, **40**(6): 25–31] DOI: 10.16779/j.cnki.1003–5508.2019.06.005
- [36] WU Lin, OUYANG Yurong, CAI Ling, et al. Ecological restoration approaches for degraded muddy coasts: Recommendations and practice [J]. Ecological Indicators, 2023, **149**: 110182. DOI: 10.1016/j.ecolind.2023.110182
- [37] 冯秋红, 缪国辉, 徐峥静茹, 等. 施氮对干旱河谷岷江柏木 (*Cupressus chengiana*) 幼苗光合生理特征的影响[J]. 西南农业学报, 2020, **33**(7): 1455–1460. [FENG Qiuhong, MIAO Guohui, XU Zhengjingru, et al. Effects of nitrogen application on photosynthetic physiological characteristics of *Cupressus chengiana* [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2020, **33**(7): 1455–1460] DOI: 10.16213/j.cnki.sejas.2020.7.018
- [38] 邵芳丽, 官澜波, 关灵, 等. 水、氮对岷江柏木幼苗水分利用率及相关因子的影响[J]. 东北林业大学学报, 2011, **39**(9): 26–30. [SHAO Fangli, GONG Yuanbo, GUAN Ling, et al. Effects of different levels of N-fertilizer and water conditions on water use efficiency and related factors of *Cupressus chengiana* Seedlings [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2011, **39**(9): 26–30] DOI: 10.13759/j.cnki.dlxb.2011.09.037
- [39] 胡慧, 杨雨, 包维楷, 等. 干旱河谷微生物环境变化对乡土植物幼苗定植的影响[J]. 植物生态学报, 2020, **44**(10): 1028–1039. [HU Hui, YANG Yu, BAO Weikai, et al. Effects of microhabitat changes on seedling establishment of native plants in a dry valley [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2020, **44**(10): 1028–1039] DOI: 10.17521/cjpe.2020.0216
- [40] 朱林海, 包维楷, 何丙辉. 岷江干旱河谷典型地段整地造林效果评估[J]. 应用与环境生物学报, 2009, **15**(6): 774–780. [ZHU Linhai, BAO Weikai, HE Binghui. Assessment on ecological restoration effect of afforestation with *Cupressus chengiana* seedlings in the dry Minjiang River valley, Southwestern China [J]. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 2009, **15**(6): 774–780] DOI: 10.3724/SP.J.1145.2009.00774
- [41] LABUSOVA J, KONRADOVA H, LIPAVSKA H. The endangered Saharan cypress (*Cupressus dupreziana*): Do not let it get into Charon's boat [J]. Planta, 2020, **251**(3): 63. DOI: 10.1007/s00425–020–03358–6
- [42] HAZUBSKA-PRZYBYL T. Propagation of juniper species by plant tissue culture: A mini-review [J]. Forests, 2019, **10**(11): 1028. DOI: 10.3390/f10111028
- [43] AALIPOUR H, NIKBAKHT A, ETEMADI N, et al. Co-inoculation of Arizona cypress with mycorrhizae and rhizobacteria affects biomass, nutrient status, water-use efficiency, and glomalin-related soil protein concentration [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2021, **60**: 127050. DOI: 10.1016/j.ufug.2021.127050
- [44] AALIPOUR H, NIKBAKHT A, ETEMADI N. Physiological response of Arizona cypress to Cd-contaminated soil inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria [J]. Rhizosphere, 2021, **18**: 100354. DOI: 10.1016/j.rhisph.2021.100354
- [45] AALIPOUR H, NIKBAKHT A, ETEMADI N, et al. Biochemical response and interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth promoting rhizobacteria during establishment and stimulating growth of Arizona cypress (*Cupressus arizonica* G.) under drought stress [J]. Scientia Horticulturae, 2020, **261**: 108923. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108923
- [46] ZHANG Min, YANG Lin, HAO Ruqian, et al. Drought-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria isolated from jujube (*Ziziphus jujuba*) and their potential to enhance drought tolerance [J]. Plant and Soil, 2020, **452**(1–2): 423–440. DOI: 10.1007/s11104–020–04582–5
- [47] GOWTHAM H G, DURAIIVADIVEL P, AYUSMAN S, et al. ABA analogue produced by *Bacillus marisflavi* modulates the physiological response of *Brassica juncea* L. under drought stress [J]. Applied Soil Ecology, 2021, **159**: 103845. DOI: 10.1016/j.apsoil.2020.103845
- [48] WANG Sijia, REN Ying, HAN Lina, et al. Insights on the impact of arbuscular mycorrhizal symbiosis on *Eucalyptus grandis* tolerance to drought stress [J]. Microbiology Spectrum, 2023, **11**(2): 04381–22. DOI: 10.1128/spectrum.04381–22

[49] GHOSH D, GUPTA A, MOHAPATRA S. A comparative analysis of exopolysaccharide and phytohormone secretions by four drought-tolerant rhizobacterial strains and their impact on osmotic-stress

mitigation in *Arabidopsis thaliana* [J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 2019, 35 (6): 90. DOI: 10.1007/s11274-019-2659-0

## Research Progress on the Survival Status and Conservation Strategies of *Cupressus Chengiana* in China

DU Wenzhi<sup>1,2,3</sup>, CHANG He<sup>1</sup>, LIU Qinghua<sup>2</sup>, YIN Chunying<sup>2\*</sup>, XUE Lianfang<sup>1</sup>

(1. China Renewable Energy Engineering Institute, Beijing 100120, China;

2. a. CAS Key Laboratory of Mountain Ecological Restoration and Bioresource Utilization;

b. Ecological Restoration and Biodiversity Conservation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** *Cupressus chengiana*, one of protected plants of national class II, possesses ecological, economic, and aesthetic values. It serves as one of pivotal native species in maintaining ecological balance in the arid river valleys of western Sichuan, China. Understanding the current survival status of *Cupressus chengiana* and formulating corresponding conservation strategies is of utmost urgency.

This paper summarized the survival status, potential threatening factors, and current conservation efforts of *Cupressus chengiana* through literature retrieval and comprehensive analysis, and on this basis, proposed corresponding protection strategies.

(1) The survival of *Cupressus chengiana* faces many interference factors, among which human disturbances are the primary ones, including ecological pollution and illegal logging. In addition, factors such as seed breeding characteristics, climate change, habitat degradation and genetic variation also pose significant threats to *Cupressus chengiana*.

(2) Insufficient conservation measures for *Cupressus chengiana* persist. It is essential to prioritize in situ conservation, supplement with ex situ conservation where appropriate, and couple this with ecological restoration to improve habitat conditions.

(3) Expanding *Cupressus chengiana* reserves, conducting artificial transplantation, and combining seed collection and seedling cultivation with storage in seed banks can effectively protect the population resources of *Cupressus chengiana*.

(4) Furthermore, research and development of artificial propagation techniques for *Cupressus chengiana* should be undertaken, while relevant laws and regulations should be formulated and public education efforts intensified.

This paper provides administration foundations and practical guidance for the conservation of *Cupressus chengiana* and other rare plants in the region.

**Key words:** *Cupressus chengiana*; threatening factor; protecting strategy

(责任编辑 钟雨倩)