

金沙江干热河谷造林树种混交配置与抗旱性研究

严晶 李有冬

元谋县林业和草原局

DOI:10.32629/eep.v9i4.3143

[摘要] 金沙江干热河谷是我国西南生态安全屏障的重要组成部分,也是典型的生态脆弱区。该区域“干热共生、旱涝交替”的气候特征与土壤贫瘠化加剧了造林困难,单一树种纯林模式因适应性不足而普遍存在生长衰退与死亡问题。本文以云南元谋干热河谷为典型研究区,系统梳理了主要造林树种的抗旱性生理机制与生态适应策略,分析了混交配置对土壤水分、养分循环及林分生产力的促进效应,探讨了“乔-灌-草”复层结构建设中树种组合与空间配置的关键技术路径。研究表明:乡土树种在抗旱性上具有独特优势,以“深根乔木+固氮灌木+乡土草本”为核心的混交模式是提升林分稳定性的有效途径;混交配置通过资源互补与微环境改善,能够系统提升困难立地条件下的造林成效。

[关键词] 金沙江干热河谷; 造林树种; 混交配置; 抗旱性

中图分类号: S725 **文献标识码:** A

Study on Mixed Plantation Configuration and Drought Resistance of Afforestation Tree Species in the Dry Hot Valleys of the Jinsha River

Jing Yan Youdong Li

Yuanmou County Forestry and Grassland Bureau

[Abstract] The Jinsha River dry hot valley is an important component of the ecological security barrier in southwestern China and a typical ecologically fragile area. The climate characteristics of "coexistence of dry heat and alternating drought and flood" in this region, coupled with soil impoverishment, have exacerbated the difficulty of afforestation. The single tree species pure forest model generally suffers from growth decline and death due to insufficient adaptability. This article takes the Yuanmou Dry Hot Valley in Yunnan Province as a typical research area, systematically sorts out the physiological mechanisms of drought resistance and ecological adaptation strategies of major afforestation tree species, analyzes the promoting effects of mixed configuration on soil moisture, nutrient cycling, and forest productivity, and explores the key technical path of tree species combination and spatial configuration in the construction of the "tree shrub grass" layered structure. Research has shown that native tree species have unique advantages in drought resistance, and the mixed mode with "deep rooted trees+nitrogen fixing shrubs+native herbs" as the core is an effective way to improve forest stability; Mixed allocation can systematically enhance afforestation effectiveness under difficult site conditions through resource complementarity and microenvironment improvement.

[Key words] Jinsha River dry hot valley; Tree species for afforestation; Mixed configuration; Drought resistance

引言

金沙江干热河谷位于我国长江上游,是连接青藏高原与云贵高原的生态过渡带,也是长江上游生态安全屏障的关键区段。区域气候特征是“干湿季分明、旱季漫长”——年降雨量仅600~800毫米,而蒸发量高达2500~3500毫米,干燥度大于3.5,“干”“热”叠加形成典型的生态逆境。加之地形破碎、土壤贫瘠、水土流失严重,该区域被学界公认为我国西南生态恢复难度最大的地区之一。

元谋县是干热河谷的典型代表和科研热点地区。这里年均

气温21.9℃,极端高温达42℃,旱季长达7~8个月,植被以稀树灌木草丛为主,原生植被破坏后自然恢复极为困难。自“八五”攻关以来,元谋干热河谷陆续开展了大量造林试验,但“年年造林不见林”的现象长期困扰着生态工程实践。

干热河谷造林的“卡脖子”因子是水分。土壤含水量被认为影响造林成败及林分生产力的关键限制性因子。旱季长达半年以上,表层土壤含水量常降至凋萎湿度以下,新造林苗木根系难以触及深层水源,导致大面积死亡。

1 干热河谷主要造林树种及其抗旱性

1.1 常用造林树种筛选历程

干热河谷造林树种选择经历了从“引进为主”到“乡土兼顾”的认识深化。早期筛选集中于速生、耐旱的外来树种,主要试种种类包括:

乔木层: 赤桉、新银合欢、大叶相思、山合欢、川楝、印楝、黑黄檀、印度黄檀等。

灌木层: 车桑子、山毛豆、木豆、小桐子、苏门答腊金合欢等。

研究表明,在轻度退化区,珍贵用材树种具有较好的发展前景;而在重度退化区,新银合欢凭借速生、耐瘠薄的特性仍扮演“先锋树种”角色。然而,近年来极端干旱频发,部分外来树种出现大面积枯萎,乡土树种的价值重新受到关注。

1.2 抗旱性评价指标体系

树种抗旱性评价逐步从单一形态指标向多维度整合发展。主要评价指标包括:

形态适应: 深根系是干热河谷树种的重要抗旱特征。研究表明,植株高度与根系深度呈正相关,高大植物凭借深层根系获取水分,在干旱期存活率显著高于矮小个体。叶片习性同样关键——常绿树种比落叶树种具有更高的水力安全阈值,抗旱能力更强。

生理生化: 脯氨酸作为渗透调节物质,在干旱胁迫下积累以维持细胞膨压,其含量与树种抗旱性呈正相关。此外,叶绿素荧光参数、脱落酸信号通路关键基因的表达水平等也被用于抗旱性评价。

分子机制: 最新研究通过InVEST-MaxEnt耦合模型,预测了乡土树种在干热河谷的适生区分布,发现温度和降水量是主导因子。以红椿为模式树种的转录组分析,鉴定出多个与抗旱相关的关键基因和转录因子家族,并通过WGCNA筛选验证了10个枢纽基因,为抗旱育种提供了分子靶点。

1.3 抗旱性研究的范式转变

综合来看,干热河谷树种抗旱性研究正经历“现象描述→机制解析→预测建模”的范式跃迁。早期研究侧重于造林成活率等宏观指标的比较,现阶段已深入到水力结构、渗透调节、基因表达网络等微观机制。更值得关注的是,研究视角从“静态评价”转向“动态预测”——通过物种分布模型预测气候变化背景下乡土树种的适生区变迁,为前瞻性树种配置提供依据。这一转变的核心价值在于:将抗旱性从树种“固有属性”重新定义为“环境互作的动态过程”,为混交配置提供了理论支点。

2 混交配置的林学基础与生态效应

2.1 混交配置的理论依据

干热河谷混交造林的核心逻辑是“以多样性提升稳定性”。物种丰富的混交林能够在资源利用上实现“时空互补”:不同树种的根系构型差异可在垂直方向上分层汲取水分与养分;不同物候期则在时间上调节光热水分的分配格局。

从群落生态学视角看,混交林通过构建“乔-灌-草”复层结

构,产生多重生态效应:林冠层截留降水、减少地表径流;灌草覆盖降低土壤蒸发、抑制杂草竞争;枯落物分解改善土壤结构、促进养分循环。这一机制的核心是由结构复杂性驱动功能稳定性。

2.2 典型混交模式及其成效评估

基于元谋等地的长期定位试验,干热河谷已形成若干相对成熟的混交模式:

“豆科乔木+桉树”模式:赤桉与新银合欢混交是最经典的组合之一。研究表明,新银合欢凭借固氮能力改善土壤氮素供给,其混植显著促进了赤桉的生长;与赤桉纯林相比,混交林对提高土壤肥力效果显著。但需注意配比——合欢比例过低则改良效果有限,过高则竞争加剧。

“相思+银合欢”模式:在元谋干热河谷恢复区,相思与银合欢混交对昆虫多样性的恢复效果优于赤桉+相思及赤桉+银合欢组合,被认为是较好的先锋群落配置模式。这一发现提示:生态功能恢复应与植被恢复同步考量,而非造林后才“附带产生”。

“乔+灌+草”立体配置:针对不同退化程度,元谋生态站提出了分级配置方案:轻度退化区采用“黑黄檀/印度黄檀+山毛豆/木豆”乔灌混交;中度退化区采用“大叶相思/山合欢+车桑子/山毛豆”;重度退化区则以“新银合欢+车桑子/小桐子”为先导组合,辅以撩壕整地或鱼鳞坑整地。这一“分级施策”的思路,体现了退化程度→胁迫因子→树种耐性→配置方式的逻辑链条。

2.3 混交对土壤-水分-养分系统的改良效应

混交配置对林地生境的改善已获多项研究证实。在土壤水分方面,采用水平沟整地并混交山毛豆、木豆等灌木,可在一定程度上提高林地土壤含水量,从而提高造林保存率。山毛豆纯林自然寿命短且缺乏更新能力,不宜单独造林,但作为混交组分时能有效发挥“保育”功能。

在土壤养分方面,混交林对提高有机质、全氮、速效磷等指标效果显著。豆科树种的固氮作用是关键驱动力。此外,枯落物分解速率的种间差异也影响养分归还格局——混交林通常比纯林形成更“稳健”的养分循环节律。

然而,混交效应并非天然成立。部分混交组合因种间竞争激烈(尤其是对水分的竞争)导致效应为负。这说明:树种搭配与比例配置是技术关键,而非简单的“多种类堆砌”。

3 不同退化程度下的配置策略与实证

3.1 分级配置技术体系

元谋干热河谷生态重建示范基地依据水土流失程度和植被覆盖度,将退化地划分为轻、中、重三级,分级配置的核心逻辑是“因灾施策”:轻度退化区可引入经济价值较高的珍贵树种,兼顾生态与经济效益;重度退化区则以耐旱、耐瘠薄的先锋树种“开路”,待生境改善后再引入更多样化组分。这一体系体现了从“植被恢复”到“生态系统重建”的递进式思路。

3.2 典型配置实证:以川楝、车桑子等为例

川楝是干热河谷退耕还林的重要树种。研究表明,采用水平沟整地并混交木豆、山毛豆等灌木,可显著提高川楝的保存率和生长量。这一案例揭示了混交配置中“整地方式→土壤水分→保存率”的因果链。

车桑子是干热河谷灌木层的“奠基种”之一。早期混播试验表明,车桑子、山毛豆、银合欢组合在造林3~4年后可形成多种、多层次的林分环境,是最成功的混播组合之一。车桑子的价值在于:耐旱、耐瘠薄、能形成密集灌丛,有效覆盖地表、减少水土流失,为乔木生长创造“缓冲微环境”。

3.3 乡土树种回归的战略意义

近年研究对乡土树种的关注明显升温。红椿、毛红椿、锥连栎等乡土树种具有更好的长期适应性。物候学观测表明,乡土树种对本地旱雨季季节律的匹配度更高——“发芽避旱、生长赶雨”的策略比外来树种更精准。当前,乡土树种研究的瓶颈在于苗木繁育技术不成熟、生长速度偏慢,限制了其在工程中的规模化应用。

4 混交配置的抗旱机制与生态功能整合

4.1 水分竞争与互补

混交林的土壤水分动态是种间关系的“晴雨表”。从资源分化视角分析,不同根系构型的树种可实现“生态位分化”——深根性树种汲取深层水分,浅根性树种利用表层降水,减少直接竞争。目前元谋的研究对此已有初步探索,但定量刻画不同混交组合的水分竞争/互补阈值仍有欠缺——而这恰是配置方案从“经验型”走向“精准型”的必经之路。

4.2 生物多样性的正反馈效应

混交林的生态效应不仅限于“树木之间”,更体现为对整个生态系统的“自上而下”调控。元谋干热河谷昆虫多样性研究显示,植物群落组成是影响昆虫群落多样性的关键因子。混交林中昆虫物种丰富度显著高于纯林,生境更趋湿润化。昆虫多样性的恢复进一步促进授粉、种子传播、枯落物分解等生态过程,形成“植被恢复→生境改善→生物多样性提升→植被稳定性增强”的正反馈循环。

这一发现值得深思:混交配置的终极目标不是“造出一片林子”,而是“启动一个能够自我维持的生态系统”。当正反馈机制建立后,人工干预才能逐步退出。

4.3 极端干旱下的“保险效应”

极端干旱是检验混交配置生态韧性的“压力测试”。来自元江干热河谷的研究表明:落叶树种相较于常绿树种在极端干旱下面临更高的死亡风险;而群落层面的物种多样性对个体死亡风险的影响微乎其微。这一结果看似与“多样性提升稳定性”的传统认知相悖,实则在逻辑上可以调和——在稀疏的干热河谷生态系统中,种间竞争压力小,决定存活与否的关键是“自身抗性”而非“邻居身份”。换言之,混交林的优势不直接表现为“降低死亡率”,而表现为“死亡后的功能补偿与系统恢复”。

5 问题与展望

5.1 当前研究的局限

尽管干热河谷混交造林研究已取得长足进展,金沙江干热河谷生态修复造林存在树种选择视野窄、乡土树种占比低,且部分年度造林多营造纯林的问题。这导致林分结构单一,稳定性差。仍存在若干关键短板:

树种谱系偏窄:生产上仍过度依赖新银合欢、赤桉等少数速生种,大量乡土树种未得到充分筛选和推广。

长期定位观测缺乏:现有研究多集中于造林后3~5年的短期成效,对10年、20年尺度上的群落演替动态、种间关系变迁关注不足。部分“当年的成功模式”可能演变为“如今的衰退群落”。

气候变化考量不足:极端干旱频率和强度持续增加,但树种筛选与配置方案多基于历史气候数据,对未来气候情景的适应性缺乏前瞻性预测。

5.2 智能化辅助筛选与分子育种

未来研究在技术路径上应关注两大方向:

一是多模型耦合的适生区预测。通过InVEST-MaxEnt等模型,整合气候、土壤、地形因子及树种生理参数,预测不同树种在当前和未来气候条件下的潜在分布区,为树种选择提供“前瞻性地图”。

二是分子标记辅助育种。红椿等乡土树种抗旱关键基因的鉴定开启了分子育种的可能——通过筛选抗旱性突出的种质资源,培育“既乡土又耐旱”的优良品系,从根本上解决“外来种能活但不稳、乡土种稳但不快”的矛盾。

6 结论

金沙江干热河谷造林树种混交配置与抗旱性研究,是生态学基础理论与恢复工程实践深度结合的领域。经过数十年探索,学界已形成若干共识:乡土树种应成为未来造林的“主力军”;混交配置的核心价值在于资源互补与风险分摊;分级施策是实现精准修复的路径保障。面向未来,分子机制解析、长期定位监测与气候变化适应性调控的深度融合,将推动干热河谷生态修复从“经验造林”走向“精准修复”。

[参考文献]

- [1]张斌艳,何光熊,王艳丹,等.不同种植模式对干热河谷坡耕地水土流失的影响[J].水土保持通报,2025,45(01):49-57.
- [2]谢孟,张学星,罗燕,等.基于MaxEnt模型的云南干热河谷适生树种选择[J].生态学报,2024,44(9):3689-3707.
- [3]马焕成,伍建榕,郑艳玲,等.干热河谷的形成特征与植被恢复相关问题探析[J].西南林业大学学报(自然科学),2020,40(03):1-8+197.
- [4]毛崇祯,山克强,龚飞,等.金沙江干热河谷三类地质建造区地表基质结构对植物群落结构的影响[J].中国地质,2025.网络首发时间,2025-10-10.

作者简介:

严晶(1987—),女,汉族,云南元谋人,本科,林业助理工程师,研究方向:森林草原培育和经营方面。