

干热河谷植被恢复研究进展与展望

杨振寅^{1,2}, 苏建荣^{1*}, 罗 栋¹, 李正红¹, 陈晓鸣¹

(1. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 云南 昆明 650224; 2 中国林业科学研究院, 北京 100091)

摘要:干热河谷因自然环境条件恶劣而成为我国生态建设的难点,且一直是生态恢复的热点区域。本文从干热河谷的气候、植被等自然环境特点、植被恢复历史、恢复目标、植被种类筛选、恢复技术、人工植被生态评价等方面概括总结了干热河谷植被恢复研究的进展与现状,并对存在的一些问题进行评述,提出未来研究应予重视或优先研究的方向。

关键词:干热河谷;植被恢复;进展;展望

中图分类号: S728.2 **文献标识码:** A

Progress and Perspectives on Vegetation Restoration in the Dry-hot Valley

YANG Zhen-yin^{1,2}, SU Jian-rong¹, LUO Dong¹, LI Zheng-hong¹, CHEN Xiaom-ing¹

(1. Research Institute of Resource Insects, CAF, Kunming 650224, Yunnan, China; 2 Chinese Academy of Forestry 100091, Beijing, China)

Abstract: The ecological environment in dry-hot valley is quite vulnerable. The vegetation restoration in this area is a difficult problem having not been solved. The previous studies on dry-hot valley are reviewed from the aspects of the special natural conditions such as climate and vegetation, the history of vegetation restoration, the optimal vegetation types for rebuilding, the species choose, the techniques and the ecological evaluation of vegetation restoration. The common problems in the research of vegetation restoration in this area are also assessed. Priority is pointed out for further researches on vegetation restoration in dry-hot valley.

Key words: dry-hot valley; vegetation restoration; progress; perspectives

干热河谷俗称“干坝子”,分布在横断山脉的怒江、澜沧江、金沙江及其支流雅砻江和大渡河、岷江、元江、白水河的深切河谷,总长 1 123 km,总面积 4 840 km²^[1]。长期以来,干热河谷被认为是世界上环境最恶劣的地区,其植被恢复一直深受重视。经长期努力,该区植被恢复在物种筛选、恢复模式、营造技术、人工植被的生态评价等方面的研究进展迅速,已筛选出一批树(草)种,营建了大面积的试验示范林。虽然部分研究已取得重大突破与进展,但干热河谷植被恢复依然还是尚未攻克的难题。鉴于此,本文系统回顾干热河谷及其植被恢复的研究,评

述当前干热河谷植被恢复研究中存在的问题,提出未来应予重视或优先研究的方向,以为干热河谷植被恢复的研究与实践提供参考。

1 干热河谷的环境特点

1.1 气候特点

“既热又干”是干热河谷的基本环境特点。在“干”方面应有干旱至半干旱的气候,前者的全年蒸发量应大于降水量的 3~6 倍,后者则在 1~3 倍;在“热”方面应具热与半热的气候,前者应有年均温 > 20℃, >10 年积温 >7 000℃ 的水平,后者应有年

收稿日期: 2007-03-16

基金项目: 国家林业局“948 项目(2003-C01)和云南省省院省校合作项目(2003ZFCFD00C060)的部分内容

作者简介: 杨振寅(1974—),男,云南富源人,在读博士生,主要从事恢复生态学研究。

* 通讯作者

均温 16~19℃, >10℃年积温 5 500~7 000 的水平^[2]。高蒸发、低降水,干湿季明显、降水高度集中,高、低温双重致害是干热河谷的气候特点^[3]。

1.2 自然植被特点

干热河谷植被具有独特的群落外观与区系组成,系世界植被中萨王纳植被的干热河谷残存者,属河谷型萨王纳植被(Savanna of valley type),所以是我国珍稀濒危的植被类型之一^[2]。

金振洲等^[2]研究表明,干热河谷植被多为“稀树灌木草丛”,以中草和禾草草丛为背景构成大片草地植被,在草丛之上散生 2~5 m 为主的稀疏乔木和 0.5~2 m 为主的稀疏灌木,人为干扰下可成为“稀树草丛”、“稀灌草丛”和草丛外貌。群落结构上,多数分乔、灌、草 3 层或灌、草 2 层。群落种类多为热带性或热带起源的耐旱种类,热带种、温带种和中国特有种分别占 47.59%、14.88% 和 37.42%,具有长期适应干热河谷的群落特征种或区系标志种。优势或常见种多数为生态适生种或耐干热种类。草丛优势种如扭黄茅(*Heteropogon contortus*(L.) Beauv.)、孔颖草(*Bothriochloa pertusa*(L.) A. Camus)、双花草(*Dichanthium annulatum*(Forsk.) Stapf)等,稀树灌木如滇榄仁(*Terminalia franchetii* Gagnep.)、石山羊蹄甲(*Bauhinia camosa* Craib)、坡柳(*Dodonaea viscosa* Jacq.)、疏序黄荆(*Vitex negundo* L. f. var. *laxipaniculata* Pei)等。

1.3 干热河谷历史演化

干热河谷的形成、演化过程漫长。以元谋为例,在 10×10⁴ a. B. P. 的更新世,封闭型盆地开始形成,孢粉资料^[4]显示植被中的木本、草本、蕨类植物各占 1/3。木本种类主要有云杉(*Picea* spp.)、铁杉(*Tsuga* spp.)、栎树(*Quercus* spp.)、胡桃(*Juglans* spp.)等,草本的优势种为蒿(*Artemisia* spp.)类,兼有少量伞形科(Umbelliferae)、禾本科(Gramineae)植物,表明当时气候已经明显偏干。据新石器时代的出土文物考证,3000年前元谋的气候已与现在相似,低山丘陵区为灌草占据,山地密布的常绿硬叶阔叶栎类林表现为矮栎类乔林和灌丛^[5]。

元江河谷近 500 a 来环境变迁的分析表明,原有热带沟谷季雨林的破坏促使热带稀树灌丛及相应的干热气候发展、演化^[6]。1638年徐霞客记述的元谋干热河谷植被已与现在的稀树灌丛景观相差无几^[2]。Mosley Roberta K等^[7]发现,在过去约 150 a 间,干旱河谷植被范围并没有显著变化,垂直方向上

没有向较高海拔扩展。调查资料表明,1957年元谋干热河谷区植被已为稀树灌草丛^[8]。

关于干热河谷形成演变原因存在几种观点。原生论认为该区气候变热变干在地史期间就已形成目前的格局和现象。次生论认为现代干热河谷是受人为干扰、砍伐原生森林植被后引发环境突变形成。次生论强调河谷环境从湿热向干热转变过程中森林的影响,但忽略了干热自然气候的作用。双生论从自然环境的整体性出发,强调区域气候环境并将人为干扰因素纳入^[9]。

2 干热河谷植被恢复历史回顾

干热河谷植被恢复研究起步较早。1995年,中国林业科学研究院资源昆虫研究所就结合紫胶寄主林培育开始干热河谷造林技术方面的研究。1972—1985年,云南省营林勘察大队等单位在元谋、东川等地开展树种筛选、造林节令、整地、播种、育苗基质的研究。“八五”、“九五”期间,原林业部连续组织国家重点攻关课题进行干热河谷造林技术的综合研究与示范。在中国科学院成都山地所、西南林学院、中国林科院资源昆虫研究所、云南省林科院等科研单位的共同努力下,树种筛选、立地划分、育苗技术、造林技术方面进展显著,桉树(*Eucalyptus* spp.)、相思(*Acacia* spp.)等筛选成功,并大面推广。“十五”期间,国家有关部委和省份继续支持该区的生态恢复研究,并在生态经济型植物筛选、人工植被生态、经济评价等方面取得较大进展。

在实践方面,20世纪 50—70年代以松树为主进行撒播、点播和飞播造林。由于树种选择和营造方法不当,造林效果极不理想,郁闭的思茅松(*Pinus kesiya* Royle ex Gord var. *langbianensis*(A. Chev.) Gaussen)、云南松(*P. yunnanensis* Franch)和马尾松(*P. massoniana* Lamb)幼林也随时间推移而退化为疏林或散生木,最后成为稀树草丛。90年代初,中国林科院资源昆虫研究所在元谋营造大面积人工林成功,推动了干热河谷的植被恢复工作。“十五”以来,生态经济型植物的引种受到高度重视。中国林科院资源昆虫研究所成功引入印楝(*Azadirachta indica* A. Juss)、木豆(*Cajanus cajan* L.)等建成特色鲜明的生态经济恢复模式,并在干热河谷区大面积推广。90年代以来,恢复模式逐渐向乔、灌、草结合的多层次立体恢复模式过渡,植被恢复取得较好效果。在此过程中,“长江中上游防护林体系建设工

程”、“长江中上游水土保持工程”、“天然林资源保护工程”和“退耕还林(草)工程”等重大生态工程发挥了巨大的推动作用。

3 干热河谷植被恢复研究现状

3.1 恢复目标研究

恢复什么样的植被类型是干热河谷生态建设面临的首要问题。“八五”以前以重建森林植被的目标被直接表述为“造林绿化”。“八五”以后,关于干热河谷植被恢复的目标认识逐渐丰富。张信宝等^[10,11]根据元谋岩土类型的水分异质性及试验群落的生长情况提出,阶地泥石层丘陵适宜恢复森林植被、片岩和半成岩砂砾岩低山坡地适宜恢复疏林灌木草植被、泥岩低坡山地仅适宜恢复稀树灌草植被,继而划分出恢复森林的适宜区、较适宜区、不适宜区、较不适宜区和极不适宜区。周麟^[12]认为,干热河谷具多元顶极群落,只要采取正确的造林技术与适宜的树种,无论是在砾石层阶地、土石山地和泥岩山地都可以营造成林乔木。金振洲等^[2]指出,干热河谷植被恢复应以绿化荒山,改变生态环境为主,不应强求成林成材,能林则林,能灌则灌,能草则草。柴宗新等^[13]提出,干热河谷种植乔木会因树冠蒸腾耗水量大,旱季或旱年土壤水分严重缺乏而枯死,强烈的蒸发使乔木丧失水源涵养功能,加剧深层土壤干旱,因而只能恢复草灌植被。费世民^[14]则认为,应根据立地异质性进行“板块镶嵌”式适度造林,宜乔则乔、宜灌则灌、宜草则草、宜荒则荒。郎南军^[15]通过恢复植被的演替动力学分析指出,营造大面积人工林并不现实,应将目标定在恢复干扰前的状态。

3.2 恢复物种筛选研究

1972—1985年,云南省林业勘察大队等单位对23科61种乡土树种和外来树种进行了筛选,从保存率达76%以上的坡柳、山毛豆(*Tephrosia candida* DC.)、苦刺(*Sophora davidii* (Franch.) Skeels)、黄荆(*V. negundo* L.)、杭子梢(*Camptolotris macrocarpa* Schindl)、山合欢(*Albizia kalkora* (Roxb.) Prain)、余甘子(*Phyllanthus emblica* L.)、新银合欢(*Leucaena leucocephala* (Lam.) Dewit)、台湾相思(*A. confusa* Merr)、赤桉(*E. camaldulensis* Dehuh)、柠檬桉(*E. citricolora* Hook)和托里桉(*E. torelliana* F. Muell)中辅以生物量指标选出山毛豆、台湾相思、新银合欢、苦刺、坡柳等适宜树种。

20世纪90年代以来,植物种类的筛选更受重

视。高洁、张尚云等^[16,17]采用主分量分析、生理生态指标结合栽培试验综合筛选出赤桉、柠檬桉、绢毛相思(*A. holosericea* A. Conn ex G Don)、马占相思(*A. mangium* Willd)、大叶相思(*A. auriculiformis* A. Cunn ex Benth)、新银合欢、木豆、山毛豆、车桑子和大翼豆(*Macroptilium lathyroides* (L.) Urban)等种类。李昆等^[18]对大叶相思、绢毛相思、赤桉和乡土种坡柳的生理抗旱特性研究表明乡土种的适应性更强。杨忠等^[19]通过对比栽培试验筛选出新银合欢、刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)、余甘子、龙舌兰(*Agave Americana* L.)等25种植物。樊国盛等^[20]通过评价干热河谷区46科97属111种非结瘤植物指出,余甘子、木棉(*Banbax malabaricum* DC.)、滇刺枣(*Ziziphus mauritiana* Lam.)、坡柳、赤桉、柠檬桉(*E. citricolora* Hook f)、短命树(*Trema orientalis* (L.) Bl)、疏序黄荆、膏桐(*Jatropha curcas* L.)、假杜鹃(*Barleria cristata* L.)为干热河谷强适应性植物。周蛟等^[21]以生长量为指标,筛选出赤桉、柠檬桉、窿缘桉(*E. exserta* F. Muell)、山黄麻(*T. tenetosa* (Roxb.) Hara)、厚荚相思(*A. crassicaarpa* ex Benth)、肯氏相思(*A. cunninghamii* Hook)、大叶相思为适宜造林树种。刘娟等^[22]通过引种试验,筛选出的适宜乔木有桉树、相思、山合欢、山黄麻、刺槐、印楝、久树(*Schleichera oleosa* (Lour.) Oken)和牛肋巴(*Dalbergia obtusifolia* (Baker) Prain);灌木有木豆、山毛豆、车桑子、余甘子、滇刺枣和苏门答腊金合欢(*A. sumatra* Buch-Ham. ex Wall);草本有芨芨草(*Achnatherum splendens* (Trin.) Nevski)、香根草(*Veliveria zizanioides* (L.) Nash)和大翼豆。张建平^[23]提出毛叶枣(*Z. mauritiana* Lam.)、小枣(*Z. jujuba* Mill cv. Jinsixiaozao)、香蕉(*Musa* spp.)、芒果(*Mangifera indica* L.)、葡萄(*Vitis vinifera* L.)、龙眼(*Dimocarpus longan* Lour.)、酸角(*Tamarindus indica* L.)、番木瓜(*Carica papaya* L.)、石榴(*Punica granatum* L.)、油梨(*Persea Americana* Mill)等为适宜的经济林果。张春华等^[24]在金沙江干热河谷上段筛选出墨西哥柏(*Cupressus lusitanica* Mill)、圆柏(*Sabina chinensis* (L.) Ant)、山合欢、黑荆、木豆及苦楝(*Melia azedarace* L.)较适宜退耕还林区造林。此外,黑荆树(*A. meamsii* (L.) Beauv. ex Roem. et Schult)、西蒙得木(*Simmopsis chinensis* L.)、甜酸角、加勒比松(*P. caribaea* Morelet)、百喜草(*Paspalum notatum* Flugge)等先后被引种试种。

3.3 植被恢复技术的研究

3.3.1 立地划分 张尚云^[25]以土层厚度、坡向和土壤速效磷为主导因子,划分出 6 个立地类型,并提出它们的恢复配置模式。张信宝等^[12,13,26]、通过不同岩土类型坡地降水入渗能力导致土壤含水量差异的研究提出,以岩土类型指示立地土壤水环境划分出 4 种立地类型,并提出各类立地的恢复配置模式。

3.3.2 整地 云南省营林勘察大队比较不整地、块状整地和带状水平沟整地的造林效果后认为带状水平沟整地效果较好。张尚云等^[17]提出,10—12 月份进行环山水平撩壕整地或大空整地较好,整地挖出土壤曝晒几个月后,于雨季来临前回填。

3.3.3 育苗 杨忠等^[19]认为应适时育苗,桉树、相思、新银合欢、金合欢、余甘子等乔灌木应采用容器育苗,营养袋规格以 8 cm × 12 cm 为宜,营养土用腐殖质土、农家肥、锯末、复合肥配制,比例为 30 30 40 1。木豆、山毛豆、车桑子等灌木和大翼豆等草本植物直播即可,定植乔木与灌木苗龄宜控制在 60 ~ 80 d,草本苗苗龄 40 ~ 60 d 为宜。

3.3.4 定植时间 云南省营林勘察大队认为,7 月中旬至 8 月初造林较好。张尚云等^[17]提出 6 月下旬或 7 月上旬造林成活率较高。杨忠等^[19]进一步总结,定植时间一般在 6 月下旬到 7 月中上旬,原则上以降雨持续时间 > 6 h,雨量达 20 ~ 30 mm,浸润定植沟内土层深度为 20 ~ 40 cm 时定植;木豆、山毛豆、车桑子等灌木宜在雨季初期直播。

3.3.5 节水技术 地下地膜隔水墙节水造林技术效果很好,成活率明显提高,林木生长良好^[27]。径流塘—草网络技术具有固土稳水功能,可增强乔木的微区环境土壤抗蚀性能,改善以有机质为主的养分条件及乔木根区的土壤水分条件^[28]。保水剂能使干热河谷新植苗木根际土壤含水量提高 0.7% ~ 15.4%、造林成活率和保存率提高 1.1% ~ 72.4%^[29]。

3.4 人工植被生态评价研究

3.4.1 生产力 杨忠等^[30]对不同岩土组成坡地上桉树的生物量比较表明,立地间的株高和茎粗差异显著。王克勤^[31]对赤桉林的生长规律研究表明,林分密度制约着林木的生长,密度较小的林分生长状况较好,单位面积蓄积量、树高、胸径和叶面积均居首位,赤桉造林密度应控制在 3 333 株 · hm⁻² 以内。

3.4.2 水土保持功能 刁阳光^[32]对新银合欢林地和未造林地连续 4 a 的监测表明,新银合欢林的保

持水土、改良土壤作用十分明显。李昆等^[33]研究表明,4 年生的山毛豆、新银合欢、苏门答腊金合欢、马占相思、赤桉林的土壤均得到不同程度改良。李昆^[34]对赤桉、新银合欢混交林、赤桉、苏门答腊金合欢混交林、苏门答腊金合欢纯林、新银合欢纯林、赤桉纯林和柠檬桉、新银合欢混交林的研究结果表明,不同人工林地的土壤肥力均有提高,尤其小叶型豆科树种及其与非豆科树种的混交林,对干热河谷退化土壤生态系统的恢复具有重要作用。陈奇伯等^[35]对蓝桉乔木林和扭黄毛草被的研究表明,乔木林和草被都有良好的改善土壤物理性能、化学特性和土壤入渗能力的效应,且对上层土壤的改良效果好于下层;乔木林对土壤物理性能的改良优于草被;草被对土壤化学特性的改良优于乔木林;草被改善土壤入渗性能的作用优于乔木林。王克勤等^[36]对人工植被水环境的监测发现,现有乔木林地明显表现出“土壤干化”特点;坡柳灌木林同层土壤含水率比乔木林高 42.68%;自然草坡的土壤水分明显优于乔木和灌木林,分别高 34.36% 和 22.22%。

3.4.3 群落小气候 傅美芬等^[37]对不同人工林小气候效应的研究表明,植被恢复和发展后,对于旱季节林内近地层有明显的调温、增湿、减小温度日较差、降低风速等作用。王克勤等^[38]对人工生态林的林分环境分析表明,它们的林分微环境较差,赤桉林内光照辐射、日平均气温、地表土壤温度比林外的下降幅度并不大;人工林地各层土壤含水量反而低于扭黄茅群落。

3.4.4 多样性与稳定性 王克勤^[39]分析人工赤桉林的群落结构、物种多样性以及生长量、生物量后认为,其密度普遍偏高,结构比较简单,群落稳定性较差,应降低乔木层密度以增加群落稳定性。刘新龙等^[40]分析印楝林下物种多样性后指出,印楝盖度是影响林下物种多样性的主要因子,盖度 < 40% 时影响不明显,反之明显。马姜民等^[41]对不同人工林林下植物的多样性研究表明,人工林层次单一,林下植物种类较少,且低于荒山荒地的植物种数。

3.4.5 更新 沈有信等^[42]研究表明,恢复方式对地表植被和土壤种子库的影响巨大,物种组成与密度都发生变化,高密度合欢恢复方式的种子组成从原来喜光耐旱为主变为耐荫型为主,而以马桑恢复方式(参照稀灌草丛设计)的主成分性质未改变。罗辉等^[43]研究表明,植被恢复区土壤种子库和地上植被的密度、丰富度、多样性、均匀度和生物量均高

于未恢复区,恢复区植被地上生物量远大于未恢复区;孔颖草和扭黄茅是土壤种子库和地上植被的两大优势种;土壤种子库和地上植被相似性较高,并随恢复程度加深而增高。马姜民等^[44]发现,苏门答腊金合欢林内大于 3 年生的幼苗或幼树数量较多,新银合欢林的更新不太理想,前者天然更新优于后者。

4 存在的问题

经 40 余年的努力,干热河谷植被恢复在理论、技术和实践方面都取得了重大突破和长足发展,为未来的工作积累了丰富的经验和知识。但是,以下几个问题制约着干热河谷植被恢复的发展。

4.1 植被恢复重建目标不明确

多年来,干热河谷的植被恢复策略一直以造林为主,旨在恢复或部分恢复森林植被。该目标以现有植被起源于受人为干扰的原生森林植被或以局部地区种植林木生长状况为依据。从目前看,该目标既不科学,也不可行。干热河谷人工林在结构、土壤等方面均表现出明显的退化特征,而水土保持等生态功能并不优于自然植被。因此,不合理的恢复目标不但难以达到恢复生态功能的目的,而且还造成人力、物力和财力的巨大浪费。虽然干热河谷恢复目标的构建缺乏相应的理论、方法与技术手段,但构建科学合理的恢复目标依然是十分迫切的任务。

4.2 植被恢复研究缺乏尺度观

干热河谷植被恢复研究的时间尺度较短。这在树种筛选、自然植被和人工植被的演替、动态方面特别突出。大部分树种的长期生长状况、能否天然更新、它们构建的人工植被的动态、演替及其能否自然维持等均没有或还不具备开展条件。从空间尺度看,较大尺度的研究报道鲜见。许多研究主要通过小尺度、点研究或单一技术研究获得,已有植被恢复技术或成果由点至面的尺度转化过程准确性缺乏,而不能大量被采纳和推广,个别成功案例推广放大后难以适应而失败。自然植被与人工植被景观的结构、动态、功能和相互作用的资料缺乏,它们的适应性难以判断。研究尺度偏小也是恢复目标难以确定,恢复效果难以评价的重要原因之一。

4.3 对乡土植物和封育措施研究重视不够

干热河谷植被恢复的主体是围绕外来树种进行植被建设,出现了较大面积的桉树、印楝、加勒比松、新银合欢、台湾相思人工植被,部分树种分化严重、适应性差,结构退化,土壤干化明显,生物入侵特性

有所表现,而对乡土植物的研究重视不够。另一方面,以造林为主的恢复策略,忽视了封山、禁伐、禁牧等简单、有效恢复干扰前状态的技术手段。

5 研究展望

5.1 干热河谷植被形成演化研究

摸清干热河谷自然植被的演化过程,全面认识和评价干热河谷植被形成的动力和原因,是制订恢复策略、设计恢复技术路线的前提。研究揭示无人干扰、轻微人为干扰状态下干热河谷植被的结构、功能,为干热河谷退化生态系统的评价建立参照系统,为植被恢复的目标构建提供理论依据。其研究内容至少应包括干热河谷古植被重建、人为干扰在干热河谷植被结构、功能变化中的作用与地位两个方面。

5.2 干热河谷植被恢复理论研究

干热河谷植被恢复重建的理论和方法方面的研究虽已有所积累,但是其理论体系和技术体系尚未形成,有关干热河谷的植被承载力、恢复的目标、恢复的生态过程和机理、恢复产生的生态影响、恢复的效果评价体系等基本问题有待探索、研究。

5.3 长期生态定位观测研究

虽然已在干热河谷建成中国科学院东川泥石流观测研究站、中国科学院成都山地所元谋水土保持生态试验站、中国科学院宁南生态点,但是在规模、人员、研究积累、技术手段等方面与中国科学院华南小良热带人工林生态系统定位研究站、鹤山丘陵综合试验站、中国科学院西双版纳热带植物园等长期站台都存在着相当大的差距。

5.4 乡土树种的应用研究

干热河谷具有丰富的种类,仅华西南干热河谷地区就有野生植物 1 791 种,按产物和用途可分药用植物、油料植物、纤维植物、树脂和树胶植物、芳香油植物以及淀粉植物六类。乡土植物经过长时期的进化改良具有较好的生态适应性。因此,建议筛选优良的当地植物种类,充分挖掘金沙江干热河谷区内丰富的植物资源,建立适合地方自然条件和经济发展特点的植被恢复模式。

参考文献:

- [1] 张荣祖. 横断山区干旱河谷[M]. 北京:科学出版社, 1992
- [2] 金振洲, 欧晓昆. 元江、怒江、金沙江、澜沧江干热河谷植被[M]. 昆明:云南大学出版社, 2000
- [3] 马焕成, 曾小红. 干旱和干热河谷及其植被恢复[J]. 西南林学院学报, 2005, 25(4): 52~55

- [4] 周国兴, 张兴永. 元谋人 - 云南元谋古人类与古文化图集 [M]. 昆明: 云南人民出版社, 1984: 170 ~ 175
- [5] 张建平, 王道杰, 王玉宽, 等. 元谋干热河谷区生态环境变迁探讨 [J]. 地理科学, 2004, 20(2): 148 ~ 152
- [6] 许再富, 陶国达, 禹平华, 等. 元江干热河谷山地近五百年来植被变迁探讨 [J]. 云南植物研究, 1985, 7(4): 403 ~ 411
- [7] Mosley Roberta K, 唐亚. 云南干旱河谷 150 年来的植被变化研究及其对生态恢复的意义 [J]. 植物生态学报, 2006, 30(5): 713 ~ 722
- [8] 周麟. 云南省元谋干热河谷的第四纪植被演化 [J]. 山地研究, 1996, 14(4): 239 ~ 243
- [9] 何永彬, 卢培泽, 朱彤. 横断山 - 云南高原干热河谷形成原因研究 [J]. 资源科学, 2000, 22(5): 69 ~ 72
- [10] 张信宝, 陈玉德. 云南元谋干热河谷区不同岩土类型荒山植被恢复研究 [J]. 应用与环境生物学报, 1997, 3(1): 13 ~ 18
- [11] 张信宝, 杨忠, 张建平. 元谋干热河谷坡地岩土类型与植被恢复分区 [J]. 林业科学, 2003, 39(4): 16 ~ 22
- [12] 周麟. 云南元谋干热河谷植被恢复初探 [J]. 西北植物学报, 1998, 18(3): 450 ~ 456
- [13] 柴宗新, 范建容. 金沙江干热河谷植被恢复的思考 [J]. 山地学报, 2001, 19(4): 381 ~ 384
- [14] 费世民. 川西南山地生态脆弱区森林植被恢复机理研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2004
- [15] 郎南军. 云南干热河谷退化生态系统植被恢复影响因子研究 [D]. 北京: 北京林业大学, 2005
- [16] 高洁. 元谋干热河谷主要造林植物的耐旱性评估 [J]. 西南林学院学报, 1997, 17(2): 19 ~ 23
- [17] 张尚云, 高洁, 付美芬, 等. 金沙江干热河谷植被恢复与造林技术研究 [J]. 西南林学院学报, 1997, 17(2): 1 ~ 7
- [18] 李昆, 曾觉民. 金沙江干热河谷主要造林树种蒸腾作用研究 [J]. 林业科学研究, 1999, 12(3): 244 ~ 250
- [19] 杨忠, 张信宝, 王道杰, 等. 金沙江干热河谷植被恢复技术 [J]. 山地学报, 1999, 17(2): 152 ~ 156
- [20] 樊宗盛, 邓莉兰, 蔡发江, 等. 云南干热河谷常见非结瘤植物及其适应性研究 [J]. 浙江林学院学报, 1999, 16(2): 135 ~ 140
- [21] 周蛟. 元谋干热河谷引种造林试验及树种选择研究 [J]. 西南林学院学报, 2000, 20(2): 78 ~ 84
- [22] 刘娟, 陈玉德. 元谋干热河谷植被恢复的物种选择与营造技术 [J]. 林业科技开发, 2001, 15(6): 40 ~ 43
- [23] 张建平, 王道杰, 杨忠, 等. 元谋干热河谷区森林消长与生态环境变化研究 [J]. 中国沙漠, 2001, 21(1): 79 ~ 83
- [24] 张春华, 李昆, 崔永忠. 金沙江干热河谷上段退耕还林区造林树种选择 [J]. 西南林学院学报, 2005, 25(1): 20 ~ 23
- [25] 张尚云. 元谋干热河谷农宜林地划分立地类型主导因子研究 [J]. 西南林学院学报, 1997, 17(2): 8 ~ 18
- [26] 杨忠, 熊东红, 周红艺, 等. 干热河谷不同岩土组成坡地的降水入渗与林木生长 [J]. 中国科学 (E 辑), 2003, 33(增刊): 85 ~ 93
- [27] 张建平, 张信宝, 杨忠, 等. 云南元谋干热河谷生态环境退化及恢复重建试验研究 [J]. 西南师范大学学报 (自然科学版), 2001, 26(6): 733 ~ 738
- [28] 张映翠, 朱红业, 龙会英, 等. 金沙江干热河谷退化山地径流塘 > 草网络技术研究初报 [J]. 水土保持学报, 2002, 16(4): 30 ~ 33
- [29] 马焕成, Elke Nelles-Swhehn. 保水剂在干热河谷造林中的应用研究 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2004
- [30] 杨忠, 张建平. 元谋干热河谷不同岩土组成坡地桉树人工林生长特征初步研究 [J]. 水土保持学报, 2000, 14(5): 2 ~ 6, 14
- [31] 王克勤, 起家聪. 元谋干热河谷赤桉林生长规律研究 [J]. 西南林学院学报, 2000, 20(2): 67 ~ 73
- [32] 刁阳光. 金沙江干热河谷人工林生态经济功能研究 [J]. 林业科技通讯, 1994(8): 26 ~ 27
- [33] 李昆, 曾觉民. 元谋干热河谷地区不同造林树种对土壤的改良作用研究 [J]. 西南林学院学报, 1999, 19(3): 161 ~ 164
- [34] 李昆, 张昌顺, 马姜明, 等. 元谋干热河谷不同人工林土壤肥力比较研究 [J]. 林业科学研究, 2006, 19(5): 574 ~ 579
- [35] 陈奇伯, 王克勤, 李艳梅, 等. 金沙江干热河谷不同类型植被改良土壤效应研究 [J]. 水土保持学报, 2003, 17(2): 67 ~ 70, 113
- [36] 王克勤, 沈有信, 陈奇伯, 等. 金沙江干热河谷人工植被土壤水环境 [J]. 应用生态学报, 2004, 15(5): 809 ~ 813
- [37] 傅美芬, 高洁, 张尚云, 等. 元谋县长防林不同林分结构小气候效应的初步研究 [J]. 西南林学院学报, 1997, 17(2): 44 ~ 48
- [38] 王克勤, 陈奇伯. 金沙江干热河谷人工生态林的林分微环境分析 [J]. 中国水土保持科学, 2003, 1(1): 74 ~ 79
- [39] 王克勤, 郭逢春, 贺庭荣, 等. 金沙江干热河谷人工赤桉林群落结构 [J]. 中国水土保持科学, 2004, 2(4): 37 ~ 41, 47
- [40] 刘新龙, 王瑞波, 张燕平. 印楝人工林对植物多样性的影响 [J]. 林业科学研究, 2004, 17(2): 147 ~ 153
- [41] 马姜明, 李昆, 郑志新. 元谋干热河谷不同人工林林下物种多样性的研究 [J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(1): 84 ~ 89
- [42] 沈有信, 刘文耀, 张彦东. 东川干热退化山地不同植被恢复方式对物种组成与土壤种子库的影响 [J]. 生态学报, 2003, 23(7): 1454 ~ 1460
- [43] 罗辉, 王克勤. 金沙江干热河谷山地植被恢复区土壤种子库和地上植被研究 [J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2432 ~ 2442
- [44] 马姜明, 李昆, 张昌顺. 元谋干热河谷苏门答腊金合欢、新银合欢人工林天然更新初步研究 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1365 ~ 1369