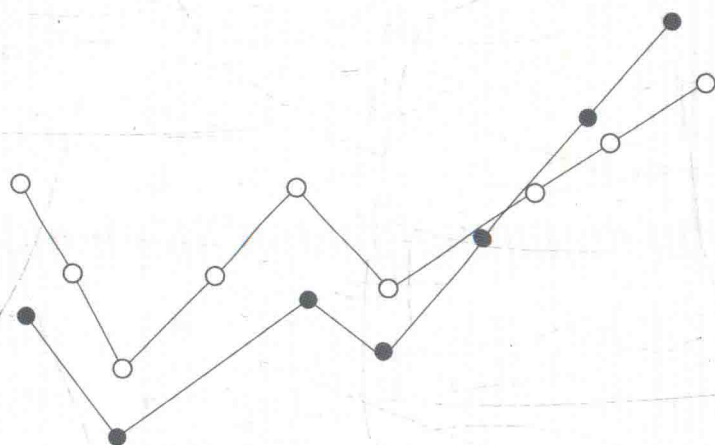


张建国 段爱国◎著

干热河谷主要植被 恢复树种生理生态适应机制研究

STUDIES ON ECOPHYSIOLOGICAL ADAPTABILITY MECHANISM OF MAIN TREES FOR
VEGETATION RESTORATION IN THE DRY-HOT RIVER VALLEY



中国林业出版社

| 张建国 段爱国◎著

干热河谷主要植被 恢复树种生理生态适应机制研究

STUDIES ON ECOPHYSIOLOGICAL ADAPTABILITY MECHANISM OF MAIN TREES FOR
VEGETATION RESTORATION IN THE DRY-HOT RIVER VALLEY



中国林业出版社

内容简介

困难立地区植被恢复已成为我国生态环境治理的重点和难点。西南干热河谷是一种典型的困难立地区。干热河谷特殊的干、热气候与环境决定了区域植被恢复树种的差异性适应机制,只有科学揭示这种适应机制才能进行科学造林,提高植被恢复成效。本书针对这一科学问题,重点研究了干热河谷主要植被恢复树种苗木干热季蒸腾耗水规律、干旱转干热转湿润季野外光合与水分生理生态特性以及不同时空条件下各植被恢复树种的生理生态响应差异,系统评价了植被恢复树种生理生态适应机制。试验数据均来源于著者多年调查、试验、测试结果。

本书可供科研机构、高等院校、企事业单位从事树木逆境生理生态与植被恢复等相关领域的研究及工作人员参考,亦可作为相关研究方向研究生的参考书目。

图书在版编目(CIP)数据

干热河谷主要植被恢复树种生理生态适应机制研究 / 张建国,段爱国著. —北京:中国林业出版社, 2015. 12

ISBN 978-7-5038-8245-6

I. ①干… II. ①张… ②段… III. ①干谷—植被—生态恢复—研究 IV. ①X171.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 263216 号

中国林业出版社·生态保护出版中心

责任编辑:刘家玲

出版:中国林业出版社(100009 北京西城刘海胡同7号)

网址:<http://lycb.forestry.gov.cn> 电话:(010)83143519

印刷:北京中科印刷有限公司

版次:2015年12月第1版

印次:2015年12月第1次

开本:889mm×1194mm 1/16

字数:380千字

印张:12.5

定价:88.00元



前言

P R E F A C E

困难立地区植被恢复已成为我国国土绿化和生态环境治理的重点和难点。困难立地区如干热河谷区、石漠化区、黄土高原侵蚀区、盐碱地、石质山地及沙区、矿区、滩涂等区域的植被恢复工作急需得到科学的理论与技术支撑。这些区域植被恢复的成败直接决定着我国森林面积及覆盖率的持续增长,关系着区域乃至周边人民生活与生产环境的改善。西南干热河谷是一种典型的困难立地区。我国干热河谷的分布主要集中在云南省境内,云南省的金沙江、元江、怒江、南盘江和澜沧江等河流均具有深邃的河谷地区,河谷区总面积约为 13000km^2 。干热河谷生态恶化,植被覆盖率低,水土流失严重。金沙江是长江的上游,河谷水热矛盾尤为突出,是我国长江中上游地区植被恢复的重点地区,该区植被破坏引起的水土流失直接威胁长江生态安全与功能发挥。虽然植树造林一直被作为几乎整个长江上游治理水土流失的首要生物措施,但在金沙江干热河谷区效果并不是很好,常常是“种树不见树,造林不见林”。基于困难立地区生态治理的现实需求,我国于 21 世纪初由国家林业局和科技部相继启动了针对困难立地区植被恢复的系列技术支撑课题,开始基于传统造林学、土壤学、生态学等相关学科专业全面考虑困难立地区生态造林的理论与技术问题。针对干热河谷区,国家林业局于 2002 年度启动了重点科技支撑项目“西南困难立地抗逆性优良乔灌木树种选择及快繁技术试验示范”,首次提出针对干热河谷这一困难立地类型展开树种选择与繁育技术研究,此后由中国林业科学研究院林业研究所主持、资源昆虫研究所协作的支撑项目还有 2011 年启动的林业公益性行业科研专项“干热河谷困难立地区造林关键技术研究”,从树种适应机理与配套土壤改良、栽培技术方面展开深入研究。就如何恢复干热河谷的生态植被,作者总结认为存在这么一个认识过程:①立地综合评价;②可能适宜树种选择与造林;③树种适宜性评价;④适宜树种选择与造林。本书所要探讨的阶段性问题属于第③和④步,即对已造林试验树种展开适宜性评价,并推荐适宜造林树种。树种适宜性评价的关键在于树种自身特性与特定环境相互作用所表现出来的生理生态特性和适应机制研究。干热河谷特殊的干、热气候与环境决定了区域植被恢复树种的差异性适应机制,只有科学揭示这种适应机制才能进行科学造林,提高植被恢复成效。叶片光合作用

和蒸腾作用是土壤—植物—大气系统 (SPAC) 中物质与能量运转的关键环节或枢纽, 自然胁迫条件下植物光合与水分生理特征可作为其适应性评价的理论依据。本书研究供试树种在干热逆境胁迫下的生理生态响应机制, 重点揭示其蒸腾作用、光合限制及热耗散等机制问题, 以期在树木抗逆性机制研究领域取得一些有价值的理论与实践信息, 为干热河谷植被恢复提供理论依据, 并参考指导区域适宜树种选择与培育方法。

本书共分 10 章。第一章主要介绍了干热河谷植被恢复研究背景与现状。第二章介绍了研究材料与研究方法。第三章探讨了干热河谷主要植被恢复树种盆栽苗木蒸腾耗水特性, 主要分析了充分供水与干旱胁迫 2 种条件下 29 种苗木蒸腾耗水量及耗水速率的日、季节动态规律, 划分了供试树种苗木蒸腾耗水速率类型与干旱敏感型。第四章是干热河谷主要植被恢复树种光合生理生态适应机制, 重点基于光合作用测定与荧光检测, 揭示了野外生长树种在干热胁迫加深和干热胁迫解除两个先后发生的季节性阶段里光合参数动态及光合限制发生机理与热耗散机制问题。第五章是干热河谷主要植被恢复树种水分生理生态适应机制, 主要分析了供试树种叶水势、蒸腾速率与水分利用效率时空动态变化规律。第六章是干热河谷主要植被恢复树种光合、水分、荧光参数与环境因子的相关性研究。第七章是不同植被恢复措施条件下野外试验树种适应特性研究, 重点揭示了光合作用与蒸腾作用的海拔区域、坡位、混交方式、灌溉及降水效应。第八章是干热河谷主要植被恢复树种生长特性研究。第九章是干热河谷主要植被恢复树种适应性综合评价。第十章是结论与讨论。

本书是作者在 10 余年来承担国家干热河谷植被恢复相关科研项目基础上完成的, 相关数据均源于多年实地采集与检测, 具有一定的参考价值。中国林业科学研究院资源昆虫研究所李昆研究员、崔永忠和张春华助理研究员等在试验过程中提供了许多帮助, 特此致谢! 由于作者水平所限, 书中可能存在许多不足之处, 敬请专家和读者批评指正, 以待今后进一步完善。

著者

2015 年 9 月 9 日

本书以地处长江上游的金沙江干热河谷植被恢复树种为研究对象,从生理生态学的角度,采用盆栽试验与试验林测试相结合的方法,针对干热河谷旱季长且植被生境存在由于旱转向干热再转向湿润的特殊变化,系统深入地探讨了干热河谷主要植被恢复树种在不同环境条件下的蒸腾耗水特性以及光合、水分生理生态特性,进而对树种的生理生态适应机制进行了系统分析,并对不同试验树种的实际生长状况展开了较为全面的调查,构建了基于生理生态指标及生长量的综合评价指数,科学评价了干热河谷植被恢复树种的适应性问题,旨在为该区生态造林提供科学理论与实践依据。主要结论体现在如下几个方面。

(1) 主要植被恢复树种蒸腾耗水特性

本研究采用盆栽称重法首次系统比较分析了金沙江干热河谷区 29 种主要植被恢复树种的苗木蒸腾耗水特性。发现在土壤水分条件良好时,不同种类苗木典型晴天里的蒸腾耗水量及耗水速率的日变化表现为典型的单峰状分布,而随着干旱胁迫加深,苗木蒸腾耗水量及耗水速率的日变化峰值有所提前,且对绝大多数参试树种而言,干旱胁迫降低了蒸腾量的日变化幅度,单峰态类型有向双峰态类型过渡的趋势。苗木白天蒸腾耗水量随土壤含水量及水势的下降而降低,但不同种类苗木下降的速率及幅度不一样;随着土壤干旱胁迫的加深,苗木蒸腾耗水速率逐渐降低,且在干旱胁迫初期下降速率较大,而在干旱胁迫后期下降速率呈递减趋势。

供试树种全天的蒸腾耗水量按大小可分为 4 类:黑荆、蓝桉>大叶相思、新银合欢、干香柏、黄花槐>杞木、赤桉、墨西哥柏、尾叶桉、聚果榕、木麻黄、车桑子、苏门答腊金合欢、圆柏、大叶女贞、余甘子、夹竹桃、滇刺枣>马占相思、山毛豆、久树、山合欢、攀枝花、云南松。依据苗木白天蒸腾耗水速率与土壤水势的数量关系,应用系统聚类法将 29 种供试苗木分为高、亚高、亚低及低蒸腾耗水速率等 4 类:①高蒸腾耗水速率中度干旱敏感型树种:木麻黄、滇刺枣、聚果榕及黄花槐;②亚高蒸腾耗水速率弱度干旱敏感型树种有攀枝花、山毛豆、车桑子、金合欢、山合欢、印楝及木豆;③亚低蒸腾耗水速率树种,包括中度干旱敏感型树种和弱度干旱敏感型树种,其中中度干旱敏感型树种有云南松、酸角、马占相思、干香柏和余甘子,弱度干旱敏感型树种有赤桉和久

树；④低蒸腾耗水速率树种，包括强度干旱敏感型树种、中度干旱敏感型树种及弱度干旱敏感型树种，其中强度干旱敏感型树种有夹竹桃、蓝桉、黑荆、尾叶桉和杞木，中度干旱敏感型树种有新银合欢、墨西哥柏、大叶女贞、大叶相思和圆柏，弱度干旱敏感型树种有小桐子。

供试苗木的蒸腾耗水量与耗水速率的“午睡”现象受土壤水分状况控制，当土壤水分胁迫发生时，“午睡”现象适时出现，与大气干旱胁迫与否无关。

无论干热或湿润季节，印楝树干液流密度昼夜变化的规律性较强，呈明显的单、宽峰曲线，在由于干热季节转向湿润季节时，印楝树干液流密度降低，5年生印楝在5、7及10月的典型晴天里树干液流密度日变化最大值分别达到27.21、21.61和19.35 $\text{cm}^3/(\text{cm}^2\cdot\text{h})$ ，平均值分别为12.11、7.48和6.90 $\text{cm}^3/(\text{cm}^2\cdot\text{h})$ 。干热季节里植株蒸腾耗水具有相当的被动性，而在湿润季节植株蒸腾耗水则表现出主动性和平衡性。

(2) 主要植被恢复树种的适应机制

通过探讨供试树种在干季、干热季节以及湿润季节的光合作用规律，本书探讨了不同海拔区域、不同坡位、不同混交方式、不同水分条件对供试树种叶片光合作用发生的影响。主要植被恢复树种叶水势在不同季节的日变化曲线均具有一个明显的峰值，绝大多数呈单峰凹状分布；在干旱胁迫转向干热胁迫阶段，大多数供试树种净光合速率的日变化峰值有所提前，光合“午睡”减弱或转向不明显，在干热胁迫解除、湿润环境来临阶段，多数供试树种又呈现出比较典型的单峰或双峰曲线；供试树种的蒸腾速率日变化进程与净光合速率十分吻合；大部分树种在3月干季的水分利用效率WUE日进程都表现为一条双峰或多峰曲线，干热胁迫的加深明显促进了WUE日变化峰值的提前出现，亦使WUE更早地受到抑制而下降，这一规律与净光合速率的响应特征一致；与树种、季节无关，光化学效率 F_v/F_m 的日动态总是表现为先下降后上升的变化特征，PS II有效光化学效率 F_{mv}/F_{ms} 对环境条件改变的响应较 F_v/F_m 更为灵敏，非光化学淬灭系数NPQ与 F_{mv}/F_{ms} 恰好相反，一般表现为先上升后下降的凸状分布特征，表明启动热耗散机制是干热河谷植被恢复树种光合机构自我保护的一种常见策略。

元谋县供试树种叶水势在干热的5月水势最低，干热胁迫的加深加剧了树种间水势的进一步分化，而雨季后干热胁迫的解除能降低分化的程度；干热胁迫降低了大多数供试树种的净光合速率及气孔导度；供试树种蒸腾速率、水分利用效率随季节变化具有不同程度的改变，树种在不同季节里的控制失水能力存在很大差别。树种蒸腾速率的季节性变化方向与气孔导度的变化方向存在不一致的现象，树种蒸腾速率的季节性增减可能表现为气孔因素为主与非气孔因素为主两种控制形式的作用结果。与旱季相比，供试树种固定荧光 F_o 在湿润季节时的日变化幅度较小，这说明湿润季节有利于光合机构处于一个良好的反应状态，从而提高光合生产力，这与供试树种在湿季表现出更高的净光合速率的现象一致；湿润环境有利于减轻干热河谷区植被恢复树种由强光所导致的“光抑制”。

干热胁迫的持续与加深增强了元谋与鹤庆这2个不同海拔区域的相同试验树种净光合速率及蒸腾速率间的差异。随着干热胁迫的加深，不同树种受海拔区域高低的影响程度具有较大的变化。相对高的坡位，低的坡位有利于各树种叶水势、净光合速率及蒸腾

速率维持在一个相对高的水平,但这种低坡位的光合增益效应因树种而异;坡位的光合增益效应在干热季节表现更为明显。与新银合欢混交时,印楝具有最高的净光合速率,而与大叶相思混交时叶水势最高。在干热河谷区适度的遮阴有利于印楝光合能力及光合效率的提高,而过度的被压则不利于或会限制印楝正常的生理活动。灌溉有利于缓解或解除5月极度干热所形成的水分胁迫,能显著减轻或解除供试树种在干热季节的光合抑制。干季降水增大了多数供试树种在干季的净光合速率、蒸腾速率及水分利用效率,但亦因树种的不同而具有很大差异,干季降水对植被恢复树种的选择及生理活动具有重要意义。

在干旱胁迫转向干热胁迫阶段,大多数供试树种光合限制增早、增强;在干热胁迫解除、湿润环境来临阶段,净光合速率受限程度减轻或消失。12个供试树种在干季里的光合作用在一天当中均存在气孔限制与非气孔限制两种主导因素。干热胁迫的加深导致了气孔限制的更早发生,亦导致了非气孔限制的更多发生。总的来看,在干热胁迫加深和干热胁迫解除两个先后发生的季节性阶段里,供试树种经历了光合作用气孔限制减少和气孔限制增多两种过程。叶肉细胞光合活性的增强可能是树种上午净光合速率上升的主要因素。高温显然是引起了以非气孔限制为主导因素的光合限制的发生。

(3) 主要植被恢复树种适应性综合评价

生理特征综合指数与生长量综合指数具有较好的相关关系,由净光合速率、水分利用效率、蒸腾速率及内禀光能转化效率构成的生理特性综合指数能对干热河谷植被恢复树种的适应性做出合理的评价,其中水分利用效率具有良好的指示性。

关键词: 干热河谷; 蒸腾耗水; 光合作用; 生长; 适应性

Taking tree species for vegetation in Jinsha River dry-hot river valley locating the up segment of Changjiang River as study object, in the view of ecophysiology, this paper deeply studied the characteristics of water consumption by transpiration, photosynthesis and water physiology of the main tree species through potted plant trial and plantation survey. Aiming at the special environment that changes from dry to dry and hot then to wet weather in one year, this paper systematically analyzed adaptation mechanism of ecophysiology for tested tree species. The practical growth condition of tested tree species was surveyed. Based on the index of ecophysiology and growth, the comprehensive index was built to scientifically evaluate the adaptation quality of tree species for vegetation restoration, and provide theoretical and practical base for ecological forestation in the Valley. The main conclusions were below.

(1) Characteristics of water consumption by transpiration of main tree species for vegetation restoration

Characteristics of water consumption by transpiration of 29 tree species for vegetation restoration in Jinsha River dry-hot river valley were firstly systematically analyzed through potted plant weight method. Under the normal water condition, the daily changes of water consumption by transpiration and transpiration rate of different seedlings presented typical single peak distribution, and with the drought stress getting deep, the peaks of water consumption by transpiration and transpiration rate moved up. For the absolutely most tree species, the dry and hot stress make the range of daily change of water consumption by transpiration get smaller, and one-peak types have the trend of transition to two-peaks type. The water consumption by transpiration in day time of seedlings decreased with the decline of soil water content and water potential, but the rate and extent of decline was different for different seedlings. With the soil drought stress getting deep, transpiration rate of seedlings gradually decreased, and at the early stage of drought stress, the rate of decreasing was more big, then had the trend of degression during the anaphase.

According to the quantity of water consumption by transpiration in whole day, the tested tree species could be classified to four sorts: *Acacia mearnsii* De. Wild., *Eucalyptus globulus* Labill.

> *Acacia auriculiformis* A. Cunn. , *Leucaena leucocephala* 'Salvador' , *Cupressus duclouxiana* Hickel. , *Sophora xanthantha* C. Y. Ma > *Carallia longipes* , *Eucalyptus camaldolensia* Dehn. , *Cupressus lusitanica* Mill. , *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. , *Ficus racemosa* L. , *Casuarina equisetifolia* , *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. , *Acacia glauca* (L.) Moelichl , *Sabina chinensis* (L.) Ant. , *Ligustrum lucidum* Ait. , *Phyllanthus emblica* L. , *Nerium indicum* Mill. , *Ziziphus mauritiana* Lam. > *Acacia mangium* , *Tephrosia candida* DC. , *Schleichera oleosa* Iour. , *Albizia kalkora* Roxb. , *Bombax malabaricum* DC. , *Pinus yunnanensis* Franch. According to the mathematical relationship between transpiration rate in day time and soil potential, systematical classification method was applied to divide 29 kinds of tree species into four sorts: ①high transpiration rate and middle drought sensitivity tree species, including *Casuarina equisetifolia* , *Ziziphus mauritiana* Lam. , *Ficus racemosa* L. and *Sophora xanthantha* C. Y. Ma; ②sub-high transpiration rate and weak drought sensitivity tree species, including *Bombax malabaricum* DC. , *Tephrosia candida* DC. , *Dodonaea viscosa* L. , *Acacia glauca* L. , *Albizia kalkora* Roxb. , *Azadirachta indica* A. Juss and *Cajanus cajan* (L.) Mill. ③Sub-low transpiration rate tree species, including middle drought sensitivity type and weak drought sensitivity type, the former have *Pinus yunnanensis* Franch. , *Tamarindus indica* L. , *Acacia mangium* , *Cupressus duclouxiana* and *Phyllanthus emblica* L. , the latter include *Eucalyptus camaldolensia* and *Schleichera oleosa* Iour. ④Low transpiration rate tree species, including strong drought sensitivity type, middle drought sensitivity type and weak drought sensitivity type, in which, strong drought sensitivity type include *Nerium indicum* Mill. , *Eucalyptus globulus* Labill. , *Acacia mearnsii* De. Wild. , *Eucalyptus urophylla* S. T. and *Carallia longipes* , middle drought sensitivity type include *Leucaena leucocephala* 'Salvador' , *Cupressus lusitanica* , *Ligustrum lucidum* Ait. , *Acacia auriculiformis* A. and *Sabina chinensis* (L.) Ant. , *Jatropha curcas* L. belongs to weak drought sensitivity type.

The phenomenon of "sleep at noon" of water consumption by transpiration and transpiration rate of seedlings is controlled by the condition of soil water, while soil water stress takes place, the phenomenon of "sleep at noon" appears at once, which is independent of drought stress from atmosphere.

Whether dry and hot season or wet season, the day and night change of trunk sap flow density of *Azadirachta indica* A. Juss had strong law, and presented one wide peak. When the environmental changes from dry and hot season to wet season, the trunk sap flow density of *Azadirachta indica* A. Juss got decreasing, the maximum of daily changes of sap flow density for five-year-old *Azadirachta indica* A. Juss respectively arrived to 27.21, 21.61 and 19.35 $\text{cm}^3/(\text{cm}^2\cdot\text{h})$, the average values of daily changes respectively were 12.11, 7.48 and 6.90 $\text{cm}^3/(\text{cm}^2\cdot\text{h})$. Water consumption by transpiration of individual stem in dry and hot season had great passivity, however, water consumption by transpiration of individual stem in wet season presented initiative and balance quality.

(2) Adaptation mechanism of main tree species for vegetation restoration

Through discussing the photosynthesis law of tested tree species in dry season, dry and hot

season and wet season, this paper studied the effect of different altitude region, different slope location, different mixture mode and different water condition on photosynthesis of tree species. The daily changes of leaf water potential of main tree species for vegetation restoration all had an obvious peak in different seasons, and absolutely most tree species presented one-peak concavity distribution. At the stage of dry and hot stress, the peak time of daily changes net photosynthesis rate of most tree species moved up, the phenomenon of “sleep at noon” of photosynthesis got weaken or not obvious, while dry and hot stress was relieved and wet season came, most tree species presented typical one-peak or two-peak curve again. The daily changes of transpiration rate of tree species were identical to net photosynthesis rate.

The daily change of water using efficiency (WUE) of most tree species presented a two-peak or mutil-peak curve in dry March, the peak value of daily change of WUE was made come ahead with the dry and hot stress getting deep, which was identical to net photosynthesis rate. Independent of tree species and seasons, the daily changes of photochemistry efficiency F_v/F_m always presented the characteristics of descending first then ascending, available photochemistry efficiency of PS II (F_{mv}/F_{ms}) was more sensitive to environment condition than F_v/F_m , however, non-photochemistry efficiency extinguishment parameter NPQ presented convexity distribution of ascending first then descending, which showed that the startup of heat dissipation mechanism is an ordinary strategy of self-protection of photosynthesis organ for tree species in the dry-hot Valley.

The leaf water potentials of tested tree species in Yuanmou County arrived to the minimum in dry-hot May, with dry-hot stress getting deep, water potentials of different tree species became more diverse, and the diversity could be relieved with the coming of wet season. The net photosynthesis rate and stoma conductance of most tree species were decreased by dry-hot stress. Transpiration rate and water using efficiency of tested tree species had some changes with the conversion of seasons. The control capacity of water losing of tree species had great difference in different seasons. The seasonal change direction of transpiration rate of tested tree species had the inconsistent phenomenon with stoma conductance, so we think the seasonal increasing and decreasing of transpiration rate might be action result of two different controlment form, one was priority to stoma factor, the other was priority to non-stoma factors. Comparing with dry season, the range of daily changes of minimal fluorescence parameter F_o was more small in wet season, which showed that wet environment was benefit to make photosynthesis organ keep a good reaction state, consequently improve photosynthesis production, which was identical with the phenomenon that tree species often had higher net photosynthesis rate in wet season. Wet environment benefited to relieve the photo restrain by light for tree species in dry-hot river valley.

The sustaining and deepening of dry-hot stress strengthen the difference of net photosynthesis rate and transpiration between two different altitude region. With the deepening of dry-hot stress, the effect of altitude region on physiological index of different tree species had great change. Comparing with relatively high slope location, lower slope location was in favor of making leaf water potential, net photosynthesis rate and transpiration rate keep a relative high level, but this improved effect from low slope location was affected by tree species and its action was more obvious

in dry-hot season. When mixing with *Leucaena glauca* (L.) Benth., *Azadirachta indica* A. Juss had the highest net photosynthesis rate, while mixing with *Acacia auriculiformis*, *Azadirachta indica* A. Juss had the highest leaf water potential. In dry-hot river valley, adaptive shade was benefit for photosynthesis capacity and efficiency of *Azadirachta indica* A. Juss, excessive press could restrict its formal physiological reaction. Irrigation could relieve the dry-hot stress and photosynthesis restrict of tree species in May. The rainfall in dry season increased net photosynthesis rate, transpiration rate and water using efficiency of most tested tree species, and the effect on different tree species had some difference. Rainfall in dry season had important sense for selection and physiological activity of tree species for vegetation restoration in dry-hot river valley.

At the stage of dry stress turning to dry-hot stress, the photosynthesis restriction of most tree species became more early and strong. While wet season coming, the restriction extent of net photosynthesis rate relieved or disappeared. The photosynthesis of 12 tested tree species simultaneously had two dominant factors of stoma restriction and non-stoma restriction. The strengthening of dry-hot stress led to stoma restriction taking place more early, and presenting more non-stoma restriction. Generally, at the two successive course of dry-hot stress strengthening and relieving, the photosynthesis of tested tree species experienced two courses: stoma restriction decreasing and stoma restriction increasing. The improvement of cell photosynthesis activity might be main factor that caused net photosynthesis rate of tested tree species increased in the morning. High temperature obviously induced the taking place of photosynthesis restriction that took non-stoma restriction as main factor.

(3) Comprehensive evaluation of adaptability of main tree species for vegetation restoration

The comprehensive indexes of physiological characteristics and growth had good correlation, Comprehensive index built by net photosynthesis rate, water using efficiency, transpiration rate and maximal photochemical efficiency of PS II could make a reasonable evaluation for the adaptability of tree species for vegetation restoration. Water using efficiency had good direction.

Keywords: Dry-hot river valley; Transpiration rate; Photosynthesis; Growth; Adaptability

目 录

C O N T E N T S

前言

摘要

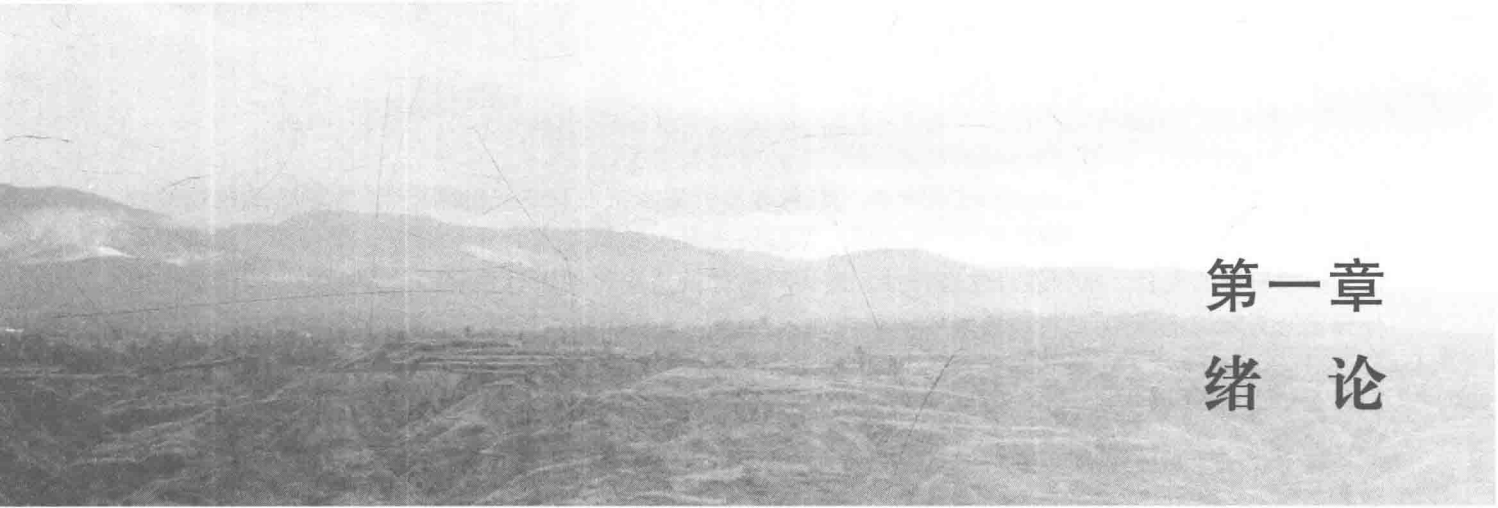
Abstract

第一章 绪 论	1
1.1 引言	1
1.1.1 研究背景	2
1.1.2 研究目的和意义	2
1.2 国内外研究现状与评述	2
1.2.1 国外研究现状	2
1.2.2 国内研究现状	3
1.2.3 研究评述	5
1.3 研究目标和主要研究内容	6
1.3.1 研究目标	6
1.3.2 主要研究内容	6
1.4 研究技术路线	7
第二章 研究材料与方法	8
2.1 试验地概况	8
2.2 盆栽试验材料与方法	9
2.2.1 盆栽试验材料	9
2.2.2 盆栽试验方法	10
2.3 野外试验材料与方法	11
2.3.1 野外试验材料	11
2.3.2 野外试验方法	11
第三章 干热河谷主要植被恢复树种盆栽苗木蒸腾耗水特性研究	12
3.1 充分供水条件下盆栽苗木蒸腾耗水特性	12

3.1.1	苗木蒸腾耗水量与耗水速率的比较	12
3.1.2	苗木蒸腾耗水量与耗水速率的日变化特征及其季节效应	15
3.2	土壤干旱条件下盆栽苗木蒸腾耗水特性	19
3.2.1	苗木土壤含水量与干旱处理天数的关系	19
3.2.2	土壤干旱处理天数对苗木连日蒸腾耗水量的影响	20
3.2.3	土壤干旱胁迫对苗木蒸腾耗水量及耗水速率的影响	23
3.2.4	土壤干旱胁迫对苗木蒸腾耗水量及耗水速率日变化的影响	28
3.2.5	土壤干旱胁迫条件下苗木蒸腾耗水特征的季节差异	32
3.3	小 结	33
第四章	干热河谷主要植被恢复树种光合生理生态适应机制	35
4.1	试验树种光合生理生态特性的季节效应	35
4.1.1	干季时试验树种净光合速率的日变化动态研究	35
4.1.2	干热季节时试验树种净光合速率的日变化动态研究	41
4.1.3	湿润季节时试验树种净光合速率的日变化动态研究	47
4.1.4	净光合速率日变化动态季节效应的综合分析	53
4.2	光合作用气孔限制研究	55
4.2.1	气孔导度的指示性研究	55
4.2.2	细胞间 CO ₂ 浓度的变化规律	55
4.2.3	气孔限制规律研究	55
4.3	人工控制环境条件下光合特性研究	57
4.3.1	光合作用对温度变化的响应	57
4.3.2	苗木光合作用对环境湿度的响应	60
4.4	光合作用的荧光分析	60
4.4.1	光合作用反应中心的状况分析	61
4.4.2	光化学效率分析	61
4.4.3	热耗散机制探讨	68
4.4.4	水分胁迫条件下苗木离体叶片荧光参数的动态变化	69
4.5	野外试验树种的光响应曲线和 CO ₂ 反应曲线	77
4.5.1	14 个野外试验树种的光响应曲线	77
4.5.2	14 个野外试验树种的 CO ₂ 反应曲线	78
4.6	小 结	83
4.6.1	光合作用适应特性	83
4.6.2	光合作用荧光分析	84
第五章	干热河谷主要植被恢复树种水分生理生态适应机制	86
5.1	主要植被恢复树种叶水势时空变化规律研究	86
5.1.1	干热河谷区不同季节典型晴天环境因子变化规律	86
5.1.2	主要植被恢复树种叶水势的日变化和季节变化规律	87
5.1.3	主要植被恢复树种叶水势与气象因子的相关性	90
5.2	干热河谷主要植被恢复树种蒸腾作用及水分利用效率研究	91

5.2.1 蒸腾作用及水分利用效率的日、季节变化规律	91
5.2.2 光照强度对蒸腾速率及气孔导度的影响	105
5.3 印楝树干液流密度变化特征研究	108
5.3.1 树干液流测定条件及数学计算公式	108
5.3.2 印楝树干液流密度日动态变化规律	109
5.3.3 印楝树干液流密度季节动态变化规律	109
5.4 小 结	110
5.4.1 叶水势	110
5.4.2 蒸腾作用和水分的利用效率	110
5.4.3 树干液流特征	111
第六章 干热河谷主要植被恢复树种光合、水分、荧光参数与环境因子的相关性研究	112
6.1 3月干季里的参数相关性分析	112
6.2 5月干热季节里的参数相关性分析	113
6.3 10月湿润季节里的参数相关性分析	114
6.4 不同季节的参数相关性综合分析	115
6.5 小 结	117
第七章 不同植被恢复措施条件下野外试验树种适应特性研究	118
7.1 野外试验树种适应特性的海拔区域效应	118
7.1.1 光合生理生态特性的海拔区域效应	118
7.1.2 水分生理生态特性的海拔区域效应	128
7.2 野外试验树种适应特性的坡位效应	132
7.2.1 光合生理生态特性的坡位效应	132
7.2.2 水分生理生态特性的坡位效应	138
7.3 野外试验树种适应特性的混交模式效应	140
7.3.1 不同混交方式试验树种光合作用差异分析	140
7.3.2 不同混交方式试验树种水分生理生态特性差异分析	140
7.4 野外试验树种适应特性的灌溉效应	142
7.4.1 灌溉对供试树种光合作用的影响分析	142
7.4.2 灌溉对植被恢复树种水分生理生态特性的影响	151
7.5 野外试验树种适应特性的降水效应	153
7.5.1 干季降水的光合生理生态效应	153
7.5.2 干季降水对蒸腾作用及水分利用效率的影响	154
7.6 小 结	156
7.6.1 海拔区域效应	156
7.6.2 坡位效应	156
7.6.3 混交模式效应	156
7.6.4 灌溉效应	161
7.6.5 降水效应	161

第八章 干热河谷主要植被恢复树种生长特性研究	162
8.1 试验树种生长量比较分析	162
8.2 坡位对印楝生长的影响	165
8.3 整地方式对印楝生长的影响	165
8.4 不同混交方式对印楝生长的影响	166
8.5 小 结	167
第九章 干热河谷主要植被恢复树种适应性综合评价	168
9.1 试验树种生理生态适应性综合评价	168
9.2 小 结	171
第十章 结论与讨论	172
10.1 结 论	172
10.1.1 苗木蒸腾耗水规律	172
10.1.2 主要植被恢复树种的适应机制	173
10.1.3 光合限制	175
10.2 讨 论	176
10.3 展 望	177
参考文献	179
附录	183
附录 I 符号索引及说明	183
附录 II 野外试验树种科属分类及生物学特性	184



第一章 绪论

1.1 引言

目前,我国生态环境恶化的基本趋势仍然没有得到抑制。为了从根本上遏制我国生态环境继续恶化的趋势,我国先后启动了六大林业生态环境治理工程建设项目。随着工程建设步伐的进一步加快,生态环境的治理区域已开始向环境更为恶劣的特殊立地区或典型的生态脆弱区转移,如北方半干旱农牧交错地区、北方干旱绿洲—沙漠过渡地区、南方石灰岩山地地区、西南山地干热河谷地区以及藏南山地地区。目前特殊立地区的治理技术已成为制约六大工程建设质量的技术瓶颈,成为工程建设急需的技术。根据分析,在困难立地环境治理和植被恢复过程中,存在的问题主要是缺乏适应范围广、抗逆性强、生长速度快的优良乔、灌木植物品种,而且良种繁育速度远远满足不了工程建设的需要,极大地限制了工程建设的质量和进度。

干热河谷的概念最早来源于云南当地所称的“干坝子”或“干热坝子”^[1]。有关干热河谷的明确论定是由中国科学院青藏高原综合考察队横断山山区河谷综合考察组在1981年至1984年的考察后提出的^[2]。在综合了不同气候特点的基础上将干旱河谷分为3种类型:干热、干暖和干温3种亚类型。我国干热河谷的分布主要集中在云南省境内。云南干热河谷是镶嵌在云南高原亚热带湿润与半湿润区中的高热多光照干旱河谷区,其河谷的水平分布是不连续,呈散点状不规则的“岛屿”分布。云南省的金沙江、元江、怒江、南盘江和澜沧江等河流均具有深邃的河谷地区,河谷区总面积约为13000km²^[3]。干热河谷生态恶化,植被覆盖率低,水土流失严重,已经成为我国典型的生态脆弱区和造林困难地带,是全国生态环境建设的重点。

金沙江是长江的上游,金沙江干热河谷主要分布在四川省攀枝花市的金江街至云南省巧家县的对坪河谷段,海拔1600m以下地区,它全长802km。金沙江干热河谷水热矛盾尤为突出,是我国长江中上游地区植被恢复的重点和难点地区。该区植被一旦遭到破坏,便极难恢复重建^[4]。以往的科学研究工作一定程度上促进了干热河谷地区的森林植被恢复,但由于各项研究缺乏系统的分析论证,尤其是对干热河谷区特定生境条件下恢复造林树种的适生机制缺乏足够的探讨,对该区造林树种自身生理生态特性及其适应干热区环境的生理生态反应机制缺乏系统深入的研究,致使该区缺乏科学的理论来指导具体的营造林工作,难以制定科学有效的造林规划,亦使至目前为止,累积造林成活率不足40%。只有在对各树种生理生态习性完全掌握的基础上,遵循适地适树的客观规律,才能避免重复造林及年年造林不见林的不良现象,实现区域生态植被的良性恢复和可持续发展。