

臭柏生理生态学特性及 种群恢复与重建

王林和 张国盛 温国胜 李玉灵 吉川賢 等 编著



科学出版社

臭柏生理生态学特性及 种群恢复与重建

王林和 张国盛 温国胜 李玉灵 吉川贤 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是国家自然科学基金项目“毛乌素沙地臭柏适应性机理的研究(39460066)”、“干旱胁迫条件下臭柏的生理生态学适应机理的研究(30240033)”等,国家科学技术部重大基础研究前期研究专项“干旱、半干旱地区臭柏群落恢复和重建的研究(2004CCA03000)”,内蒙古自治区科学技术厅攻关项目“针叶树对干旱沙漠、沙地的水量平衡和环境改善作用的研究”、“臭柏造林及示范推广应用研究”,中日合作研究项目“毛乌素沙地植物固沙机能的研究”的研究成果;主要以课题组成员对毛乌素沙地天然臭柏种群的第一手调查、测定材料为基础,结合研究者以往对毛乌素沙地生态系统研究经验的积累和对国内外相关文献的消化吸收,以臭柏生理生态特性为主题贯穿而成。本书从生理学的角度,研究毛乌素沙地天然臭柏种群的生态适应性。主要内容包括:臭柏群落的天然分布与生境、生物学特性、气体交换与叶绿素荧光特性、水分代谢和蒸腾特性、臭柏灌丛的生长、根系分布与不定根的发生、天然更新、群落土壤特性与水分平衡、群落结构特征、遗传多样性、臭柏的繁殖技术及人工造林等,并对臭柏群落的保护及种群恢复与重建提出了对策。

本书可供从事生态学、林学、植物学和环境科学的研究人员、管理者及大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

臭柏生理生态学特性及种群恢复与重建/王林和等编著. —北京:科学出版社, 2011
ISBN 978-7-03-030947-1

I. 臭… II. 王… III. ①柏科-生理生态学 ②柏科-种群增长 IV. Q949.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 078307 号

责任编辑:韩学哲 贺窑青/责任校对:宋玲玲

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011 年 5 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2011 年 5 月第一次印刷 印张: 20 1/4 插页: 1

印数: 1—1 500 字数: 396 000

定价: 78.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《臭柏生理生态学特性及种群恢复与重建》

编著者名单

(以姓氏笔画为序)

- | | |
|-------|----------------|
| 王 林 和 | 内蒙古农业大学 |
| 王 哲 | 内蒙古科技大学 |
| 王 敏 | 内蒙古鄂尔多斯市粮食局 |
| 刘美珍 | 中国科学院植物研究所 |
| 刘海东 | 中国环境科保护部环境发展中心 |
| 吉川 贤 | 日本冈山大学 |
| 红 雨 | 内蒙古师范大学 |
| 李玉灵 | 河北农业大学 |
| 李红丽 | 山东农业大学 |
| 李春艳 | 辽宁农业职业技术学院 |
| 张小红 | 北京科莫迪投资咨询有限公司 |
| 张国盛 | 内蒙古农业大学 |
| 梁小荣 | 内蒙古赤峰市林木种苗站 |
| 温国胜 | 浙江农林大学 |
| 董 智 | 山东农业大学 |
| 解一凡 | 内蒙古包头市环境保护局 |

前 言

全球的环境变化已经给人类的生存造成了极大威胁,为了使经济、社会可持续发展,使人们的生活有更好的保障,必然在环境方面要投入很多精力,这本身也是人类社会发展的需要。沙漠、沙地、沙漠化是涉及当今世界人口、环境、资源的重要内容之一,而沙区植物群落是固定流沙、防治沙漠化、维持生态系统平衡的主体,使有关退化生态系统中植物群落形成与维持机理的研究就成为种群生态学、群落生态学等研究的前沿议题之一。臭柏(*Sabina vulgaris*),又名叉子圆柏、沙地柏等,属柏科圆柏属,常绿匍匐针叶灌木。其主要分布在温带大陆性干旱、半干旱区,在中国主要分布在青海、新疆、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西等海拔1100~2200 m的山地、黄土丘陵及沙地,是固沙的优良树种,对沙丘的固定和沙漠化的防治起着举足轻重的作用,有沙漠卫士之称。本书荟萃了作者对臭柏生理生态特性及种群恢复与重建的多年研究成果。

在中国西部半干旱地区严重退化的沙漠和沙地生态系统中,对固沙和耐旱能力强的灌木群落的研究,是退化沙地生态系统恢复与重建的重要理论基础。臭柏以其适应范围广、枝叶茂密、萌芽和萌蘖能力强、枝条沙埋或触地后即可萌发不定根等特性,不断扩大群丛;因其能长期适应干旱、半干旱区的环境,成为该地区防风固沙、水土保持的优良树种。臭柏还是一种能源植物、饲料植物、药用植物,也是很好的城市园林绿化树种。然而,天然臭柏种群正面临着退化、被破坏的威胁,其现存面积在不断减少,因此对臭柏群落的保护迫在眉睫。本书的出版对开展天然臭柏种群生理生态学特性的研究,以及实施种群恢复与重建都具有重要的推动作用。

本书是国家自然科学基金项目“毛乌素沙地臭柏适应性机理的研究(39460066)”、“毛乌素沙地臭柏起源与盛衰规律研究的研究(39860065)”、“毛乌素沙地臭柏克隆种群特征及资源共享格局的研究(30060069)”、“干旱、半干旱地区植被恢复与可持续发展的基础研究(30070639)”、“干旱胁迫条件下臭柏的生理生态学适应机理的研究(30240033)”；国家科学技术部重大基础研究前期研究专项“干旱、半干旱地区臭柏群落恢复和重建的研究(2004CCA03000)”；内蒙古自治区科学技术厅攻关项目“阴山地区主要造林树种抗逆性生理生态的研究”、“针叶树对于干旱沙漠、沙地的水量平衡和环境改善作用的研究”、“臭柏造林及示范推广应用研究”；中日合作研究项目“毛乌素沙地植物固沙机能的研究”等研究成果的总结。它主要从臭柏的天然分布与生境、臭柏的生物学特性、臭柏

的气体交换与叶绿素荧光特性、臭柏的水分代谢和蒸腾特性、臭柏灌丛的生长、臭柏根系分布与不定根的发生、臭柏种群的天然更新、臭柏群落土壤特性与水分平衡、臭柏的群落结构特征、遗传多样性、臭柏的繁殖技术及人工造林等方面探讨臭柏群落的适应性机理和人工拓繁技术，以维持臭柏群落的稳定与可持续发展。

本书是课题组成员及有关合作研究者集体努力的结果，是多年辛勤工作的成果。本书的写作框架及学术思想是在王林和教授和张国盛副教授共同主持下完成的。全书由张国盛、温国胜负责统稿。各章节的作者如下：第一章，王林和；第二章，王林和、解一凡；第三章，李春艳；第四章，温国胜；第五章，李玉灵；第六章，董智、李红丽；第七章，张国盛、刘美珍；第八章，张国盛、王哲、吉川贤；第九章，张国盛、刘海东；第十章，张国盛、红雨；第十一章，红雨、张小红、梁小荣；第十二章，张国盛、王敏。

本书的完成得到了有关同仁和协助单位等的大力支持，在此表示感谢。我们特别感谢国家自然科学基金委员会生命科学部、内蒙古自治区科学技术厅、内蒙古农业大学、毛乌素沙地综合整治开发研究中心等单位给予我们的支持与帮助。由于参与本书写作的人员较多，加之成书时间仓促，其中一定有不少缺点和疏漏，敬请各位同仁批评指正。

著 者

2010年12月

目 录

前言

第一章 土地荒漠化与生物防治	1
第一节 中国土地荒漠化的现状	1
第二节 防治土地荒漠化的主要措施	4
第三节 植被建设的关键——水分平衡	6
第四节 植被建设的优良种质——臭柏	9
第五节 臭柏植被建设的可行性分析	11
第二章 臭柏群落的天然分布与生境	13
第一节 毛乌素沙地臭柏生境	13
第二节 浑善达克沙地臭柏的分布和生境的调查	17
第三节 阴山山脉西段臭柏的分布和生境的调查	21
第四节 贺兰山臭柏的分布和生境的调查	24
第五节 臭柏分布区生境条件的分析	26
第三章 臭柏的生物学特性	30
第一节 生物学特性	30
第二节 形态变异	32
第三节 解剖构造	34
第四章 臭柏的气体交换与叶绿素荧光特性	53
第一节 臭柏群落的气体交换与叶绿素荧光特性	53
第二节 切断干扰对臭柏荧光特性的影响	57
第三节 除叶干扰对臭柏气体交换及荧光特性的影响	64
第四节 干旱胁迫条件下臭柏的气体交换与荧光特征	66
第五章 臭柏的水分代谢和蒸腾特性	79
第一节 臭柏幼苗的水分特性	80
第二节 成年阶段臭柏的水分特性	89
第六章 臭柏灌丛的生长	105
第一节 臭柏的生长规律	105
第二节 臭柏的克隆生长与生长格局	136
第三节 干旱胁迫对生长的影响	143
第四节 不同分布区臭柏群落的生长与适应	146

第七章 臭柏根系分布与不定根的发生	151
第一节 天然臭柏根系分布的剖面特征.....	151
第二节 臭柏灌丛不定根的发生.....	159
第三节 臭柏根面积分布特征.....	162
第四节 臭柏细根内生 (VA) 菌根菌感染率	165
第八章 臭柏种群的天然更新	166
第一节 臭柏群落的种子产量、种子库.....	166
第二节 天然臭柏居群有性更新幼苗动态.....	174
第三节 天然臭柏种群有性更新的微生境特征.....	179
第九章 臭柏群落土壤特性与水分平衡	192
第一节 毛乌素沙地土壤的机械组成.....	192
第二节 臭柏群落土壤养分.....	197
第三节 臭柏群落的浅层水位动态.....	209
第四节 臭柏群落水分平衡.....	215
第十章 臭柏的群落结构特征	225
第一节 物种组成.....	225
第二节 群落的结构.....	227
第三节 臭柏群落动态.....	231
第十一章 臭柏群落的遗传多样性	244
第一节 内蒙古地区天然臭柏种群的遗传多样性.....	246
第二节 毛乌素沙地臭柏种群在不同群落内的遗传多样性.....	254
第三节 毛乌素沙地臭柏种群更新发育阶段的遗传多样性.....	267
第十二章 臭柏的繁殖技术及人工造林	282
第一节 无性繁殖.....	282
第二节 播种育苗.....	289
第三节 容器苗培育.....	291
第四节 人工造林及推广.....	292
主要参考文献	299
彩图	

第一章 土地荒漠化与生物防治

人类的足迹已遍及全球，目前全球人口达 57 亿，而且每年仍以 9000 万人的速度在递增。人类为了生存，将大部分的自然生态系统改造成城镇和农田，致使原有的生态系统结构及功能退化，有的甚至已失去了生产力。随着人口的持续增长，对自然生态系统的胁迫也在增加，能源枯竭、环境污染、植被破坏、土地退化、水资源短缺问题日趋严重，加之气候变化，全球生物多样性不断丧失，人类生存环境不断恶化。

全球的环境变化已经给人类的生存造成了极大威胁，为了使经济、社会可持续发展，人们的生活有更好的保障，必然在环境方面要投入很多精力，这本身也是人类社会发展的必然。在几百年前或更长远的时间，人类的生存应该说主要是依赖环境，哪儿环境好，人就迁移到哪儿去住。后来随着人类社会的发展，人类有了一定的能力，就要求有更好的生活条件，人们就去干预环境的发展、干预环境的变化，甚至提出了“人定胜天”。但科学发展到现在，人类社会发展到今天，对于环境的变化人类又有了新的认识，那就是不能太多地干预环境，或者去改造环境，而要顺应自然和适应环境，要与环境的发展保持协调，不能再走为发展人类社会经济而破坏环境的老路。

中国是发展中国家，又是世界人口最多的国家，加之科学技术欠发达，使有些地方在发展经济的同时没有注意环境，走了过去一些发达国家先污染后治理的老路。因此，中国正面临着如何合理恢复、保护、利用和开发自然资源的挑战，修复和重建已经被破坏的环境成为当务之急。

第一节 中国土地荒漠化的现状

中国是世界上沙漠和荒漠化土地较多的国家之一，根据 2004 年第三次全国荒漠化和沙化监测普查结果，全国荒漠化土地面积为 263.62 万 km^2 ，约占国土总面积的 27.46%，其中干旱区荒漠化土地面积为 115 万 km^2 ，半干旱区荒漠化土地面积为 97.18 万 km^2 ，亚湿润区荒漠化土地面积为 51.44 万 km^2 ，涉及北京、天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、山东、河南、海南、四川、云南、西藏、陕西、新疆、青海、甘肃、宁夏 18 个省（自治区、直辖市）的 498 个县（旗、市）（余新晓等，2005）。由于该地区气候干旱、风沙活动频繁、植被稀疏，生态系统具有先天的脆弱性，加之人口增长迅速，以及滥垦、滥牧、滥

伐、滥采、滥用水资源、滥开矿等不合理的经济活动,造成区域生态环境日益恶化,具体表现为风蚀沙化剧烈,水土流失严重,沙尘暴频繁,植被大面积破坏、退化或死亡,生物多样性下降等。土地荒漠化的发展使区域内本来就十分尖锐的人口-资源-环境-经济矛盾进一步激化,限制了地区生态环境的改善、经济发展和人民生活水平的提高。

第三次全国荒漠化和沙化监测结果表明,全国荒漠化土地比1999年减少了37 924 km²、年平均减少了7585 km²;沙化土地减少了73.93 km²,由年平均扩展3436 km²转变为1283 km²,新中国成立56年来首次出现了历史性的转变。浑善达克、科尔沁、毛乌素等沙地植被明显恢复,生态环境明显改善,中国土地荒漠化程度明显减轻,重度、极重度荒漠化土地分别为43.3万 km²和58.6万 km²,比第二次监测结果分别减少3.2万 km²和1.4万 km²。总体来看已从20世纪90年代末的“破坏大于治理”转变到“治理与破坏相持”,荒漠化和沙化整体扩展的趋势得到初步遏制,但局部地区仍在扩展,荒漠化和沙化整体扩展的形势仍然是很严峻的(余新晓等,2005)。

随着土地荒漠化的扩展和加速,突发性风沙灾害——强沙尘暴的发生频率越来越高。据统计,中国北方20世纪发生大范围强沙尘暴灾害50年代5次,60年代8次、70年代13次、80年代14次、进入90年代达23次。沙尘暴直接危害西北地区和华北地区,并影响到中国南方和整个东亚,成为东北半球一个重要的环境问题。特别是2000年春季,北京地区遭受12次沙尘暴袭击,沙尘暴出现时间之早、发生频率之高、影响范围之广、强度之大近年罕见,不仅造成大规模的污染环境,也危害到北京的经济活动,使首都的形象受损,而且殃及天津、上海、南京等地,并引起邻国的恐慌。荒漠化的发生与发展对该区域的生态环境、资源、社会经济发展和人民群众的生活等造成了严重的危害与威胁。土地沙漠化导致土壤肥力下降,地表植被被破坏,生物多样性减少和丧失,生态系统结构和功能下降。

20世纪50年代以来,中国就开展了防治土地沙漠化的治理与研究工作,尽管对局部地区土地沙漠化有所减缓,甚至逆转。但20世纪末期,全国范围内沙漠化土地仍在扩大,治理的速度赶不上破坏的速度。50~70年代,沙漠化土地平均每年扩大1560 km²,80年代每年达到2100 km²,90年代以来更扩大到每年2460 km²。以河西走廊地区为例,该地区由于耕地面积的扩大,农业用水量增加,造成地下水位不断下降,面积为724万 hm²的维护绿洲的沙生植被中有70%以上呈现衰退的趋势,已枯梢死亡的占12%,植被覆盖度由50年代的44.8%下降到15%以下,草地也从原来的草甸植被逐步向旱生和超旱生系列演化,湿生植被为白刺群落所替代。新中国成立后人工营造7.7万 hm²人工林,由于造林树种选择不当,林木对水分的大量需求,造成地下水位大幅下降,沙枣林

和梭梭林目前已有 67% 衰退, 41.2% 沙枣林已枯梢或死亡; 50 年代封育面积为 7.07 万 hm^2 白刺灌丛已有 64% 退化。植被的衰亡, 使原本已固定的沙丘重新活化, 民勤县沙埋农田达 5200 hm^2 以上。由于上游过量用水导致额济纳绿洲土地沙漠化加速发展, 天然绿洲面积从 60 年代的 49 万 hm^2 下降到现在的 32 万 hm^2 , 绿洲面积缩小 17 万 hm^2 。随着地表水量减少, 居延绿洲的胡杨林从 40 年代的 50 万 km^2 锐减到现在的 23 km^2 , 减少了 53.3%; 红柳林从 50 年代的 15 万 km^2 减少到现在的 10 万 km^2 , 减少了 33.3%; 梭梭林从 50~60 年代的 133 万 hm^2 减少到现在的 47 万 hm^2 , 梭梭林分布线向后退缩 10 km。由于草本植被、草甸的沼泽植被的严重衰退, 单位面积草产量, 由 50 年代的 225~300 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 减至 90 年代的 150 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 植被覆盖度降低到 30%~60%。土地退化不仅在干旱区发生, 在半干旱区, 甚至湿润区也有发生。黄土高原由于沟壑纵横、坡度陡峭、植被稀疏、降雨集中, 造成该区流失面积目前已达 43 万 km^2 , 占其总面积的 79.6%。

此外, 长江中上游地区、赣江流域上游地区、南方山地丘陵地区、鲁中南山地及中国东部湿润区都有水土流失发生。总之, 中国各省区, 几乎所有的流域都有不同程度的水土流失发生, 造成土地生产力下降。从中国目前生态环境退化的特点、现状和分布来看, 最基本也最为关键的问题是森林、草地等自然生态系统的退化。因此, 要改善中国的生态环境, 在保护中国现有天然林的同时, 恢复和重建中国已退化的生态系统势在必行。

生态恶化最明显的表现为植被退化, 而植被的长期破坏、退化与丧失是生态环境恶化、土地荒漠化最直接的原因。荒漠化的发生与发展将导致地表植被盖度、高度和多样性的减少和降低。恢复和重建生态环境就必须从促进自然植被恢复和加速人工植被培育两个途径入手, 通过人工干预, 增强林草植被保护建设, 是生态环境建设的重点。

荒漠化给生态环境、经济和社会的发展带来了极大危害: 一是破坏生态平衡, 使环境恶化和土地生产力严重衰退, 危及沙漠化区域人民的生存发展, 加重了贫困程度, 有的地方已经出现了成批的生态难民; 二是导致大面积可利用土地资源的丧失, 缩小了人类的生存空间, 中国每年因沙漠化的扩展导致损失一个中等县的土地面积; 三是严重威胁村镇、交通、水利、工矿设施及国防基地的安全, 影响工农业生产。荒漠化土地面积的扩张, 不仅对生产建设造成了极大的危害, 甚至严重威胁人类的生存。

土地荒漠化造成可利用土地资源减少、质量下降, 使农牧业减产甚至绝收。荒漠化加剧了农牧民的贫困程度, 据统计中国荒漠化地区有国贫县 101 个, 占该地区总县数的 21.4%, 占全国 592 个贫困县总数的 17.1%。中国西部是中华民族的发祥地之一, 这里曾经水草丰盛、林木繁茂、经济繁荣。但长期以来, 由于

人口不断增加,落后且传统的农牧经营,经济、社会发展滞后等方面的原因,加剧了西部地区原本脆弱的生态环境的恶化,尤其是森林植被遭到长期的、连续性的破坏,许多富饶的地方已成为不毛之地,广大农牧民失去了生产和生存的基本条件。目前,全国水土流失面积达 360 万 km^2 ,西部地区约占 80%。全国 $15^\circ \sim 25^\circ$ 的坡耕地面积 0.13 亿 hm^2 , 25° 以上的坡耕地达 606.7 万 hm^2 ,其中西部地区占 70% 以上。全国每年新增荒漠化土地也大都分布在中国西部地区,影响着近 4 亿人口的生产和生活。荒漠化和贫困的长期困扰以及与发达地区经济差距过大,直接影响到民族团结和社会安定。因此,加强荒漠化防治、改善区域的生态环境,对加速西部地区的经济发展、帮助农牧民脱贫致富、缩小与其他地区的经济差距具有十分重要的意义(张新时,1993;李克让,1996)。

生态环境问题在当今社会越来越引起人们的重视,在日常生活及报纸杂志上经常论。爱惜资源、保护生态环境等生态学方面的问题已提到有关全球战略的高度,如生态环境的恶化、自然资源的枯竭、能源的短缺、人口的增加及土地荒漠化等。土地荒漠化造成环境的退化和经济的贫穷,已经成为威胁人类生存的十大环境问题之首,也是目前中国最为严重的环境问题。

第二节 防治土地荒漠化的主要措施

中国《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十个五年计划的建议》提出,加强生态建设,遏制生态恶化,是可持续发展的一个战略重点,“十五”期间,要大力植树种草,推进“三北”防护林体系建设,抓好长江上游、黄河上中游等天然林保护工程,提高国土森林覆盖率;加大防沙治沙力度,加快小流域治理,减少水土流失;加强草原建设,防止超载过牧,遏制草原退化和荒漠化;广泛开展城市绿化;加强自然保护区和生态示范区建设,保护陆地和海洋生物多样性。

日益恶化的生态环境,不仅极大地制约着中国西部地区的经济和社会发展,而且严重威胁着全国的经济、生态和社会的可持续发展。2000 年春天,来自西部地区的沙尘暴十数次袭击北京,曾引起世界的关注。长江上游、黄河中上游地区毁林毁草开荒,林草植被破坏严重,水土流失加剧,每年因上游水土流失进入长江、黄河的泥沙量达 20 多亿吨,导致江河湖库不断淤积抬高,不仅使南方地区水患加剧,湖库险情频繁,而且使北方地区旱情加重,黄河断流一年甚于一年且断流长度历史罕见,水资源短缺日益突出,给国民经济和人民生活带来巨大影响。可见,西部地区生态环境恶化状况如果得不到有效遏制和显著改善,经济建设重点逐步向西部转移的战略就会受到严重影响。只有尽快恢复林草植被,防治水土流失,不断改善生态环境,才能为西部地区的开发建设提供必要的保证,也

才能有效地减轻长江、黄河的洪涝灾害,促进全国经济和社会的持续发展。因此必须因地制宜地进行植树造林种草,再造一个山川秀美的西北地区,切实把西部地区生态环境的保护和建设作为实施西部大开发的切入点。

中国政府一直关注西部地区的生态环境建设,21世纪把改善生态环境建设视为关系中华民族生存和发展的长远大计,是防御旱涝等自然灾害的根本措施。把黄河和长江上游地区、风沙区和草原区作为全国生态建设的重点,大力植树种草,实行封山育林,加快小流域综合治理,加强水土保持和防御风沙的功能,改变江河泥沙严重淤积、草原沙化的状况。可见干旱、半干旱地区的生态环境建设任务十分艰巨,加强西部干旱、半干旱区生态环境保护与建设也是东部地区经济发展的重要保障。中国的地理地貌特征决定了重要江河都起源于西部地区,东部地区的粮食生产和社会经济发展很大程度上依赖于西部地区水资源的支撑。几千年的社会发展和变革形成了以黄河和长江流域为主线的东西走向的两大经济带、城市群和粮食生产基地。不仅如此,西部地区受大陆性季风气候的影响,冬春季经常沙尘天气,不但加速了该地区的土地荒漠化过程,也直接危害东部地区的生产与生存。因此,保障东部地区的经济发展同样也是西部生态建设的重要目的之一。

西部地区地域辽阔,地区间生态环境差异很大,所以,生态环境建设必须认真贯彻因地制宜的方针,宜林则林、宜草则草、宜乔则乔、宜灌则灌,不能违背自然规律,否则就会蒙受重大经济损失。例如,黄土高原大部分地区属于半干旱草原地带,部分为半湿润森林草原地带,退耕后应以种草为主,只有少量沟谷、阴坡适宜造林。

生态环境的破坏主要起因于人类不合理的活动,其后果影响到大气、地貌、水文、土壤、植被和生物资源等许多方面,其中植被破坏是关键所在,因为其他多方面的变化都与植被状况密切相关。反过来说,要恢复改善生态环境,植被又处在关键的地位,因为植被能对近地小气候起重要的调节作用,又是控制大气中温室气体浓度的重要手段,是一系列污染物质的吸收者和积存所;植被能缓冲地表受外营力冲击,防风固沙,涵养水源,保持水土,改良土壤;植被还是一切陆地生物种群的贮藏库、避难所。只有恢复建设好植被,才能使生态环境中各个方面协调起来进入良性循环。植被建设居于生态环境建设中的关键地位是毋庸置疑的。植被建设包括森林、灌丛、草原、荒漠植被、湿地植被等各种类型的植被建设,其中森林植被建设应处于主导地位。这不仅因为森林是体量最高大、结构最完备的生态系统,具有最大的生物量(因而是最巨大的碳库)和对环境最强的影响力,而且还因为在广大湿润半湿润地区以及干旱半干旱地区中的高山地带,森林是最适生、最稳定的植被类型。进行植被建设意味着全国半数以上的地方要以森林植被建设为主,而在另一小半地方的森林植被和带块状林木也在与其他植被结合之中起着关键作用。森林植被建设应包括天然林的保护、无林地的封育、人

工林的营建以及不良森林植被的改造和更替等内容。退耕还林(草)对植被建设作出了有力的推动。

植被建设,尤其是其中的森林植被建设与水资源的保护和利用的关系,要以森林生态系统中的水分循环机理作为其基本理论依据。大气降水通过森林的林冠层和林下灌草层被部分截持并分别通过干流和穿透方式下降到地面,再被林下枯枝落叶层、腐殖质层及底土层逐层吸持、分流(成地表径流及壤中流)及下渗(补给地下水及河川),部分截持在植物表面及吸持在土壤中的水分又通过物理蒸发和植物蒸腾(统称为蒸发散)返回大气。森林生态系统水分循环的各个过程的水量大小和比例关系决定于降水量和降水过程的特点、降水前期的状况、森林的组成和结构、林地土壤和地貌地质状况等多项因素。尽管森林的水文作用因许多变量因素的存在而有很大的变动,但由于森林具有体量大、结构复杂、地表粗糙度大以及林下土壤(包括枯枝落叶层)渗透性强、树根固土能力强等特点,其水文作用较之其他植被类型及裸露地具有很大优越性(沈国舫,2003)。植被建设是干旱、半干旱地区防治荒漠化的根本性措施,也是最为有效、最经济、最持久的措施。中国近50年来为防治荒漠化投入了大量的人力、物力和财力,并取得了举世瞩目的成就。尤其在植被建设方面积累了丰富的经验,取得了极大的成就。例如,“三北”防护林建设工程、平原绿化工程、防沙治沙工程、太行山绿化工程、黄河中上游绿化工程等,这些工程的实施不仅提高了绿化面积和植被覆盖率,而且防治了区域的风蚀沙化、水土流失,改善了生态环境,同时对区域社会经济的持续发展起了重要作用。但同时也要看到,目前我们所取得的初步和阶段性的成绩是植被刚刚进入恢复阶段,一年生草本植物的比例还较大,植物群落的稳定性还比较差,生态状况还很脆弱,植物群落恢复到稳定状态还需要较长的时间(余新晓等,2005)。

第三节 植被建设的关键——水分平衡

干旱缺水是土地荒漠化的自然基础,但在长期的自然历史演变过程中,已经形成与干旱、半干旱地区的自然条件相适应的植被类型,如半干旱地区的草原植被,干旱地区的荒漠植被和盐渍地植被,以及内陆河流滩地的森林植被(胡杨、沙枣、怪柳林等)。干旱地区高山上的森林植被(以云杉林为主)及草甸植被与此不同性质,不在此讨论。这些植被本来是干旱半干旱地区的自然环境处于相对平衡状态,不会引起明显的土地荒漠化扩张。现代条件下土地之所以产生荒漠化(扩张)现象,主要是人类长期不合理活动(过垦、过牧、乱挖、过度樵采、不合理开发建设等)的后果。要防治荒漠化,首先就要消除这些引起土地荒漠化的动因,保护和恢复原有植被,造林种草,所有这些措施都与水资源的利用有密

切的关系。

荒漠化防治工作必须适应干旱半干旱地区水资源不足这个限制因子，主要保护好天然植被，利用好天然降水，需要时选择适合当地干旱条件的树种（含灌木）和草种，建设起能充分覆盖土地、抵挡风沙推进的各类植被。在这个地区植被在改善近地小气候、减少水分物理蒸发的同时，也不可避免地要耗用一部分水资源。需要采取应用乔灌木合理搭配的防沙固沙措施，根据当地水资源状况量力而行。生态环境的恢复后重建也需要一定的地表水及地下水支持。总之，荒漠化防治要求对现有水资源进行合理的分配和利用。对水资源极为宝贵的干旱、半干旱地区来说，这也是需要认真安排和考虑的。

生态环境用水（也可简称为生态用水）正在越来越引起人们的注目，从广义上讲，维持全球生物地理生态系统水分平衡所需用的水，包括水热平衡、生物平衡、水沙平衡、水盐平衡等所需用的水都是生态用水。在水资源短缺的干旱半干旱地区及季节性干旱的亚湿润地区，生态用水的保证成了严重问题，保证生态用水问题提到了议事日程。在这里，人们特别关注的正是在干旱半干旱地区为改善生态环境所作的各种努力需用的水量，这是需要探讨的重点。

在生态用水中，首先要保证干旱半干旱地区保护和恢复自然植被及生态环境所需的水。在干旱、半干旱及干旱的亚湿润地区，在水土保持范围之外的其他林草植被建设，包括水源涵养林、新封育的林草植被、防风固沙林、绿洲农田防护林、人工草场建设等也需要一定量的生态用水（沈国舫，2003）。

1999年 Baird 与 Wilby 的《生态水文学》一书，标志着交叉学科——生态水文学的形成，此书对干旱地区的生态水文研究进行了论述，但其干旱地区只指地中海地区和美洲西南地区，生态水文学重点研究生态系统与水文过程之间的相互作用关系，以揭示水文过程对生态系统的影响和作用以及生态系统对水文过程的影响。土壤是植物与各种水分的联系纽带，由于水分短缺干旱地区生态环境十分脆弱，其植物常处于非充分供水状态，因而供水量的变化极易引起植被的变化，进而影响脆弱的生态系统的变化。在干旱地区对生态水文过程的了解很关键，因为干旱地区水分供应是绝对控制植物生长和生存的因素，且大部分干旱地区可获得的水分造就了植物变化的特征。植被生态用水是生态水文学的一个难点，干旱地区生态用水的研究为维持干旱地区现状生态环境和已恶化的生态环境的恢复提供科学依据，为确定干旱地区生态需水量提供基础数据。研究表明，干旱区的某些植物具有水分补偿能力，即利用冬季（低强度）降水补偿夏季干旱用水，冬季干旱就以夏季降水来补偿，这大概是灌木在这种环境中得以与一年生植物竞争的一种手段。另外，在干旱区，植物为了适应荒漠环境，具有许多生理结构上的变化。国外学者 Ewenari 把荒漠植物分为两类：一类是随水变植物，这类植物对极端干旱具有许多生理上的适应性；另一类也是大多数植物，属于恒水植物，这些

植物对干旱有许多适应机制。也有人把植物对干旱的适应分为躲避（短命植物）、忍耐（耐旱植物）和抵抗（抗旱植物），表明他们对水分需求的不同。不同植物的水分利用效率、对水分亏缺的生理响应机理等研究，将对植被建设和恢复提供强有力的理论支持。干旱区植被最显著的特点就是低覆盖度。研究表明，如果干燥度系列从 $P/E_p > 1$ （降水量与潜在蒸发量的比值）降到 < 0.3 ，潜在植被就会从全面覆盖经一系列破碎的植被冠层到植被处于斑块状分布状态。近期研究表明，在黑河下游，随着上游来水的减少，不同景观类型的面积、数目和优势植被发生了很大的变化。在干旱区，胡杨、怪柳的空间分布普遍呈紧缩分布现象，当干旱程度有所减缓时，植被在空间上的分布相对较为分散。在防止土壤侵蚀的人工植被建设方面，由于只考虑植被覆盖度和高度，忽视了斑块格局及其配置方式，出现了北方人工植被土壤旱化、稳定性低的问题。以上说明水分动态影响植被的分布格局，但这种分布格局如何响应水文过程的变化，它的生态学意义何在、植被的这种自然分布格局能否指导干旱区植被恢复等均有待研究。在干旱地区，植被多呈斑块状分布，这种分布对改变水分径流的路径、减缓水蚀，提高斑块内的土壤水分含量等都具有重要意义。尽管对植被斑块的丛生状况有所认识，近年来理论方面的研究和模拟方面的研究也有助于了解这一过程，但对这种现象的生态机理却知之甚少。这种斑块分布格局如何影响径流，这种格局的生态学意义何在，都是值得探讨的问题。另外，应加强大时空尺度上的植被格局和水文过程的关系研究。分析干旱植物在水分胁迫下的群落组成结构、分布格局与演变过程，始终是干旱区生态水文科学研究的重要领域，迄今为止，关于这方面的研究未能取得突破性进展，尤其是群落演变的生态机理仍然处于未知阶段。近年来，关于干旱区植物分布如何影响径流和水分分布，以及如何调节干旱区侵蚀等问题的研究受到广泛重视，同时，大尺度土壤—植被—大气传输的相互作用以及干旱区植被随气候变化的演化也是目前生态学家和水文学家共同感兴趣的话题（夏军，1999）。

中国干旱、半干旱区水资源贫乏，时空分布不均。降水量从东向西、从南向北逐渐减少，其上限为 400 mm，下限仅为 0~20 mm。因此水分成为干旱、半干旱地区植物生长和植被建设的主要限制因子。分析近 50 年的植被建设可以发现，由于对土壤—植物—大气系统的水分平衡未加考虑或考虑较少，致使新中国成立以来在干旱、半干旱区营造的各种防护林和固沙林表现为造林不成林、成林不成材，形成成片“小老树”林，甚至成片衰退死亡，其后果是造林地的水分环境极度恶化。因植物物种选择不当、造林密度过大或植被配置不合理等造成地下水下降和林地退化问题均可归结为环境水分供给与植被水分需求之间平衡关系的失调而造成的。例如，民勤梭梭林、沙拐枣林因林地水分供需不平衡而造成林分衰退甚至大面积死亡，黄土丘陵区杨树因水分供应不足而生长不良形成“小老

树”(王林和等, 1998a)。区域水分收支平衡是干旱、半干旱区植被建设首要考虑和必须解决的关键问题, 也是植被建设设计与规划的核心。水分问题关系到的水资源状况能否维持植被的生长, 能维持多少植被的生长, 这些植被怎样搭配既省水又保持生态作用的稳定性。由于在植被恢复过程中, 种质材料选择及配置不当, 水分供需严重失调, 造成植被大量耗水, 导致植被因水分饥饿而生长不良以致死亡, 致使已固定的沙地或地面再度活化。因此干旱、半干旱植被建设要突出一个“水”字, 坚持“以水定林, 以水定规模”的原则, 在保证环境水分供应与树种水分需求收支平衡的前提下, 兼顾其生态效益和经济效益。从这个角度考虑, 干旱、半干旱区植被建设应选择耐干旱、抗逆性强、耗水少、生长快、枝叶繁茂、防风固沙、保持水土作用强, 而且可以保持最大生物量和覆盖度的植物种, 使其能在干旱生境中持续健壮生长, 充分发挥其生态效益, 改善恶劣的生态环境。而且该种植物最好同时具备多种功能, 且栽植简单、操作容易(张国盛等, 1998)。

第四节 植被建设的优良种质——臭柏

臭柏(*Sabina vulgaris*)主要分布在欧洲南部、中亚及东亚的部分地区。中国主要分布于新疆阿尔泰山、天山; 宁夏贺兰山、香山及罗山; 甘肃祁连山北坡、古浪、景泰及靖远; 青海乌兰、海晏及共和; 陕西神木县大保当、尔林兔、阿楼大, 榆林红石桥、大河塔、刀兔, 横山县雷龙湾; 内蒙古毛乌素沙地乌审旗图克乡的阿车图、纳林河乡的花尔台、黄特勒盖乡的马尔套塔、伊金霍洛旗纳林塔乡的吉漫沟口及锡林郭勒盟浑善达克沙地等地。此外, 在西藏、四川的松潘、山东的崂山等地也有分布, 分布区的海拔一般在 1000~1500 m。以毛乌素的分布面积最大。仅内蒙古境内毛乌素沙地分布的臭柏面积就达 36 250 hm²。

臭柏在中国有两种地域生态型, 一种生长在多石的向阳山坡、河谷以及岩缝中, 常与针叶树、阔叶树混生, 成团状分布, 生长不旺盛; 另一种在固定、半固定沙丘上连片大面积生长, 长势旺盛, 形成独特的固沙群落。我们的研究发现, 臭柏是毛乌素沙地唯一的天然常绿针叶林树种, 现存植株的年龄大多在 100 年以上, 覆盖度达 70% 以上, 覆盖度最高可达 100%。其蒸腾速率低、耗水少, 表现出非凡的耐旱能力。在毛乌素沙地现有水分和气候条件下, 臭柏生长旺盛, 保持了生长与水分供给的良好平衡。尽管其总面积仅占毛乌素沙地总面积的 0.68%, 但它对区域的荒漠化防治和生态环境的改善发挥了极其重要的作用。即使在降水量最少的干旱年份, 毛乌素沙地的臭柏群落也能郁郁葱葱的生长, 其分布区的降水仅为 350 mm 左右。

中国对臭柏的研究始于 20 世纪 50 年代, 但由于对林木经济效益的过分关