

中国西部

生态修复试验 示范研究集成

主 编 程国栋

副主编 傅伯杰 田均良 肖洪浪



科学出版社

内 容 简 介

本书拓展了恢复生态学和试验生态学的理论和方法,在生态恢复理论和实践指导下,建立野外监测-试验-示范平台,构建试验生态学研究方法和流域水-生态-经济系统综合管理的理论框架。试验生态学从野外站点到试验示范区尺度的跨越既是学科的前沿,又是热点,不仅丰富和充实生态学的内涵,而且极大地推动科技与生产实际的结合。本书是集成成果,是自然和人文学科综合集成、理论联系实际的流域尺度科学著作,构建了西部资源环境监测、预测和决策支持平台,为恢复西部地区生态环境、促进协调发展提供了技术支撑和示范样板。

本书主要供地学、生态学、农学、流域管理学等领域科研人员、管理决策者、高等院校相关专业师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国西部生态修复试验示范研究集成/程国栋主编. —北京:科学出版社,2012

ISBN 978-7-03-034430-4

I. ①中… II. ①程… III. ①生态环境-环境治理-研究-西北地区②生态环境-环境治理-研究-西南地区 IV. ①X321.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 104621 号

责任编辑:韩 鹏 卜 新/责任校对:宋玲玲

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

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>

双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012年6月第一次印刷 印张:30 3/4 插页:3

字数:712 000

定价:120.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《中国西部生态修复试验示范研究集成》编委会

主 编 程国栋

副主编 傅伯杰 田均良 肖洪浪

编 委 (按姓名笔画排序)

冯 起 刘 庆 刘国彬 李凌浩 杨永刚

吴 宁 张小雷 陈亚宁 赵文智 徐中民

黄子蔚 韩兴国

前 言

西部地区的社会经济发展和生态环境建设的好坏，事关国家生态环境的安全，事关 21 世纪中国可持续发展目标的实现。为此，中国政府确立面向 21 世纪的西部大开发战略，并将基础设施建设和生态环境建设作为战略重点。在西部生态环境建设中，将现有森林资源的保护和草、灌、乔相结合的植被恢复放到了重要位置，通过调整农牧业产业结构，实行退耕还林还草，减小这一地区生态环境保护的农牧业压力，实现区域社会经济建设与生态环境保护的良性发展。中国西部地区通常是指陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、西藏、内蒙古、广西、云南、贵州、四川和重庆等省（直辖市、自治区）。虽然西部省级行政区只占全国所有省级行政区的约 1/3，但在中国 960 万 km^2 面积中，西部占 661 万 km^2 ，西部人口约 3.55 亿，占全国总人口的 27%。

中国科学院西部行动计划（一期）项目进展顺利，取得了丰硕的科研成果，产生了重要影响，为稳定和培养西部地区人才起到了实质性作用。中国科学院适时启动西部行动计划（二期）工程（2005~2010），深化生态恢复的试验示范研究，新增三峡库区、喀斯特地区和江河源区三个试验示范项目，构建西部资源环境监测、预测与决策支持平台，为恢复西部地区的生态环境、促进区域协调发展提供坚实的技术支撑和示范样板，为西部地区全面建设小康社会、落实科学发展观提供科技决策依据。

本书是集体成果，由《中国西部生态修复试验示范研究集成》编委会完成。此外，刘新民先生对初稿做了整体的审校，并提出具体修改建议。杨永刚和肖生春负责全书编改、修订和绘图等工作。本书的组织、编写和出版得到中国科学院西部行动计划“西部项目五大试区集成研究”课题的资助，同时获得中国科学院科学出版基金资助。在书稿撰写过程中，得到中国科学院内陆河流域生态水文重点实验室、甘肃省黑河生态水文与流域科学重点实

验室的大力支持，特此一并致谢！

试验生态学从野外站点到试验示范区尺度的跨越既是学科的前沿，又是热点，不仅丰富和充实生态学的内涵，而且极大地推动科技与生产实际的结合。尽管已有多年的探索和实践，但仍然有诸多的科学问题和生产问题值得深入研究。《中国西部生态修复试验示范研究集成》编委会成员在总结多年工作的基础上力求各章节协调，保证全书的系统性和科学性，但错误和疏漏之处在所难免，敬请读者不吝指正。

编 者

2009 年秋

目 录

前言

绪论	1
0.1 中国西部生态建设及西部大开发背景	1
0.2 中国科学院西部行动计划	1
0.3 五大试区目标和任务简介	1
第1章 塔里木河中下游荒漠化过程与输水生态响应	4
1.1 塔里木河下游生态退化过程分析	4
1.1.1 塔里木河下游生态受损与荒漠化	4
1.1.2 塔里木河中下游荒漠河岸林分布、演替和退化的环境解释	15
1.1.3 塔里木河下游断流河道输水与生态响应	27
1.2 塔里木河中下游退耕土地的转化利用与保护技术	38
1.2.1 土地利用现状评价	38
1.2.2 土地退耕适宜性评价及退耕土地空间分布特征	41
1.2.3 退耕还林还草综合效益分析	45
1.2.4 塔里木河中下游退耕土地的转化与保护利用技术	55
1.3 绿洲农业可持续发展关键技术	67
1.3.1 棉花高产与有害生物防治技术	67
1.3.2 绿洲农业节水关键技术	78
1.3.3 复合型生态农业建设关键技术	81
1.4 绿洲生态系统管理模式	87
1.4.1 绿洲生态经济协调发展模式	87
1.4.2 优势产业发展与绿洲型城镇体系发展模式	95
参考文献	103
第2章 锡林郭勒草地生态系统恢复重建与适应性管理	107
2.1 浑善达克沙地植被恢复重建与风沙环境治理	108
2.1.1 自然环境特征	108
2.1.2 植被演化与环境变迁	109
2.1.3 重要物种的综合适应对策	111
2.1.4 群落生态学研究	116
2.1.5 生理生态学研究	121
2.1.6 恢复生态学研究	123
2.2 锡林郭勒草地改良与适应性生态系统管理	129
2.2.1 研究区域自然概况	129

2.2.2	内蒙古典型草原群落生产力形成与稳定性维持机制	130
2.2.3	典型草原生态系统水分特征	131
2.2.4	典型草原氮素循环过程	134
2.2.5	内蒙古典型草原植物营养物质贮藏特性	138
2.2.6	典型草原对全球变化的响应	139
2.2.7	典型草原生态系统适应性放牧管理	141
2.2.8	羊草生殖生态学研究	146
2.3	京北农牧交错区生态保育原理与农牧耦合技术	146
2.3.1	京北农牧交错区概况	146
2.3.2	京北农牧交错区生态保育原理	148
2.3.3	生态保育技术与优化生态-生产范式	172
	参考文献	175
第3章	黑河流域生态修复技术与模式	180
3.1	黑河流域概况	180
3.1.1	气候与水文状况	180
3.1.2	流域主要生态系统	184
3.1.3	试验示范区建设概要	192
3.2	黑河流域生态水文过程与水环境变化	194
3.2.1	黑河流域生态水文过程	194
3.2.2	黑河流域水环境变化	205
3.3	黑河流域生态修复技术与模式	212
3.3.1	上游生态-经济系统综合管理试验示范	212
3.3.2	节水型绿洲农业及防护体系试验示范	223
3.3.3	下游生态保护与河岸林恢复模式	240
3.3.4	基于数字流域的蒸散发和第一性生产力的遥感估算	257
3.4	流域科学研究展望	265
3.4.1	学科前沿与需求	265
3.4.2	近期流域科学的主要方向	267
	参考文献	269
第4章	岷江上游山地退化生态系统的恢复重建	272
4.1	岷江上游地区的生态环境及社会经济	272
4.1.1	岷江上游地区自然环境概况	272
4.1.2	社会、文化及经济特征	283
4.2	岷江上游山地退化生态系统研究	288
4.2.1	高山林草交错带的生态退化及驱动因素	288
4.2.2	亚高山针叶林人工恢复的生态学过程	295
4.3	岷江上游山地退化生态系统的恢复重建技术	308
4.3.1	高山林草交错带的生态恢复技术	308

4.3.2 中山低效林改造技术试验及其生态效应	317
4.3.3 干旱河谷区复合生态农业模式和技术	337
4.3.4 山地灾害综合防治技术	351
4.4 岷江上游山地退化生态系统的恢复重建研究展望	368
4.4.1 现状及存在问题	368
4.4.2 恢复重建的途径与展望	369
参考文献	371
第5章 黄土高原水土保持与生态建设试验示范研究	375
5.1 研究区资源环境特征	375
5.1.1 自然环境概况	375
5.1.2 土壤侵蚀概况	381
5.1.3 土地资源特征	384
5.1.4 水资源与利用	392
5.2 黄土高原植被恢复的生态学基础及途径	394
5.2.1 土壤水分特征	395
5.2.2 自然植被的土壤养分特征	404
5.2.3 延安研究区的植被属性与演替特性	407
5.2.4 延安研究区植被恢复和植被建设的途径	418
5.3 生态经济建设模式及技术研究试验示范	433
5.3.1 模式建设的需求与基本条件	433
5.3.2 生态农业模式的基本特征	437
5.3.3 生态农业建设模式配置与关键技术	444
5.3.4 主要生态经济模式建设的环境效应及健康评价	470
5.4 黄土高原退耕还林(草)前景展望	473
5.4.1 现状与问题	473
5.4.2 效益与前景	476
5.4.3 措施与建议	477
参考文献	479
彩图	479

绪 论

0.1 中国西部生态建设及西部大开发背景

东西部地区发展差距是一个长期困扰中国经济和社会健康发展的全局性问题。实施西部大开发战略，是确保现代化建设第三步战略目标胜利实现的重大部署，是促进各民族共同发展和富裕的重要举措，是保障边疆和巩固国家安全的必要措施。到 21 世纪中叶全国基本实现现代化时，在根本上改变西部地区相对落后的面貌，努力建成一个山川秀美、经济繁荣、社会进步、民族团结、人民富裕的新西部。

新中国成立后，我国推动三次西部大开发：第一次西部大开发高潮是 20 世纪 50 年代。第二次西部大开发是 20 世纪 60 年代的“三线”建设。20 世纪末，在我国现代化建设即将全面实现第二步战略目标并开始向第三步战略目标迈进的时候，党的十五届四中全会明确提出，“国家要实施西部大开发战略”，开始第三次西部大开发。第三次西部大开发强调进一步加快基础设施建设、切实加强生态环境保护和建设、积极调整产业结构、大力发展科技和教育四个方面。

2007 年 3 月，国务院正式批复《西部大开发“十一五”规划》，全面贯彻十六大精神和“三个代表”重要思想，落实中央关于西部大开发的战略部署、政策措施和总体规划，着力解决西部地区发展中存在的突出问题，把生态环境保护和建设放在首位，不断开创西部大开发的新局面。党的十七大第一次明确提出，把生态文明建设作为一项重大战略任务。

0.2 中国科学院西部行动计划

中国科学院西部行动计划是中国科学院参加国家西部大开发的具体行动，也是中国科学院知识创新工程的重要内容。2000 年，中国科学院围绕国家西部大开发的需求，结合国家西部生态环境建设重点工程项目和西部基础设施的总体部署，针对代表区域的生态环境重大科学问题和关键技术，在西部生态环境演变规律理论研究、生态环境建设试验示范、高新技术产业化等方面先后启动 8 项院级重大项目。依托中国科学院在西部建立的野外工作站和试验示范区，遴选塔里木河中下游、浑善达克沙地与京北农牧交错区、黑河流域、岷江上游山地、黄土高原，设立生态环境建设试验示范区，称为“五大试区”。这是中国科学院西部行动计划的主要部分。

0.3 五大试区目标和任务简介

塔里木河中下游荒漠化防治与绿洲生态系统管理试验示范项目（KZCX1-08）由

中国科学院新疆生态与地理研究所主持完成。塔里木河是我国最长的内陆河。长期以来,水土资源的无序开发导致生态环境恶化,国家投资上百亿元,实施“塔里木河流域近期综合治理规划”工程。该项目以提高水资源利用效率为核心,致力于:退耕还林还草优化模式试验示范及其林种、草种选择,林带结构,需水量和可持续管理技术;节水高效复合型绿洲农业建设试验示范、生态畜牧业试验示范推进产业化;塔里木河下游“绿色走廊”保护恢复与沙漠化防治试验示范;优化塔里木河中下游水资源利用,研究区域发展模式与对策,分析生态经济模式下对水资源的需求、新产业培育的经济技术。

浑善达克沙地与京北农牧交错区生态环境综合治理试验示范研究项目(KSCX1-08)由中国科学院植物研究所主持完成。研究区是我国北方典型草原,由于过度利用和管理不当,不仅造成草地退化,而且影响周围地区的环境质量。该项目旨在阐明浑善达克沙地与京北农牧交错区生态环境综合治理的对策、途径和优化模式,将生态治理与农牧业经济可持续发展有机地结合起来,展开该区域生态环境综合治理试验示范研究与示范区设计,开发研制出经济有效的沙地植被恢复重建、退化草地改良和受损农业生态系统修复的集成技术,为该区域的生态环境治理提供理论指导、技术支撑和典型样板,带动区域生态环境建设和社会经济的可持续发展。

黑河流域水-生态-经济系统综合管理试验示范项目(KZCX1-09)由中国科学院寒区旱区环境与工程研究所主持完成。黑河流域是我国第二大内陆河,其水、生态、环境与发展的问题在国内外有较好的代表性。“十五”期间,投入25亿元,实施“黑河流域近期治理规划”国家工程。该项目以流域为单元,合理配置生态、生产、生活水量,完成流域水资源管理决策支持系统,阐明6000年以来中下游水环境时空演变过程;试验示范山地-绿洲-荒漠生态系统耦合与调控的途径,引导人工绿洲区逐步调整产业结构,流域内的农牧业单方水产值提高20%~30%;提出流域生态安全极限需水和经济发展适用水分配原则,直接服务国家黑河工程,为干旱区内陆河流域的可持续发展提供理论依据和技术体系。

岷江上游典型退化生态系统恢复与重建试验示范研究项目(KSCX-07)由中国科学院成都生物研究所、中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所主持完成。岷江是长江上游最重要的支流之一,是国家生态治理的重点区域之一。该地区在自然景观和文化积淀上形成举世瞩目的旅游资源,是国家“天然林资源保护工程”和“退耕还林(草)工程”等生态建设工程的重要实施区。该项目致力于:岷江上游生态屏障建设,开展自然与人工恢复的比较生态学研究,建立高山峡谷区生态恢复重建指标体系;提高植被覆盖率,减少水土流失,构建流域生态恢复综合配套技术体系;建立具有显著生态防护功能的植被恢复试验示范区,并通过与国家生态建设工程的结合进行辐射推广。

黄土高原水土保持与生态环境建设试验示范研究项目(KZCX1-06)由中国科学院水利部水土保持研究所主持完成。黄土高原是中国北方水土流失最严重的地区,是国家退耕还林的重要工程区。该项目以科学实施退耕还林(草)、封山绿化、加速植被建造的生态环境建设为核心,以土地利用结构调整及相关产业培育为重点,研究解决中尺度

区域退耕还林（草）的科学途径、支撑条件，集科学研究、技术集成、试验示范于一体，科研单位与地方政府、示范区农民相结合，院地联合，共同建立中尺度生态环境建设及经济可持续发展适度超前的试验示范基地，为加速黄土高原综合治理，为生态环境建设提供科学依据、技术支撑与示范样板。

第 1 章 塔里木河中下游荒漠化过程 与输水生态响应

1.1 塔里木河下游生态退化过程分析

1.1.1 塔里木河下游生态受损与荒漠化

1. 生态受损过程

生态环境脆弱的地区，某一环境要素出现波动，如变化频繁或变幅较大，将引起整个生态系统的演变，甚至造成灾害（刘祥等，2000）。植被是环境梯度的一个相当可靠的指示者，植被的动态变化可以作为环境条件变化的可见标志（曲仲湘，1982），甚至仅包含最贫乏的种类和最小的群落，也会在其数量组成的变动中指示生境的生态条件。塔里木河下游的“绿色走廊”在抑制沙漠化和保护生物多样性等方面有着重要的生态意义（陈亚宁等，2003a），由于不同植物种类在利用环境资源方面能力的差异，环境的变化常引起植物群落在种类、盖度及结构等方面发生变化，环境要素的较大波动最终导致河岸植被受损。也就是说，塔里木河下游“绿色走廊”的受损与物种对环境变化的适应性及干扰引起环境因子变化有密切关系，其受损过程体现在物种多样性、植被盖度、群落类型与结构等方面。植物群落的受损过程可通过其自身的生态特征随环境梯度的变化反映出来。

1) 物种多样性的受损过程

物种多样性受地下水位影响的受损过程如图 1.1 所示。随着地下水位的下降，草本与木本植物的物种丰富度都呈递减趋势，而且在地下水位大于 4m 时草本植物丰富度出现大幅度的下降。当地下水位大于 8m 时，除偶见骆驼刺外，群落中已无其他草本植物。木本植物则是在地下水位大于 6m 之后出现较大变化 [图 1.1 (a)]。在地下水位大于 6m 之后，草本植物丰富度明显低于木本植物。从群落全部物种的丰富度变化趋势来看，群落物种丰富度变化趋势与草本植物丰富度变化趋势相同。物种丰富度较高的区段是地下水位 1~2m、2~4m 处；随着地下水埋深的增加，物种的丰富度减少（陈亚宁等，2005）。

物种多样性随地下水位的下降趋势与物种丰富度相似 [图 1.1 (b)]。地下水位大于 4m 时，草本植物的多样性明显低于木本植物。地下水位 6~8m 时，草本植物多样性持续下降，直至降为 0。也就是说，草本植物多样性受损是在地下水位大于 4m 时。当地下水位大于 8m 时，草本植物种类锐减，直至无草本植物。地下水位 2~6m 时，木本植物的多样性呈略微增长的趋势，其多样性显著受损是在地下水位大于 8m 时。

当地下水位为 2~6m 时,草本植物、木本植物以及群落全部物种的均匀度都没有较大的变化 [图 1.1 (c)]。当地下水位大于 6m 时,因为一部分物种的丢失而使现存物种的均匀度有所增加。当地下水位大于 8m 时,随着植物种类的减少,物种间变得稀疏,最终导致物种均匀度下降。由此可知,在环境受到损害的情况下,物种分布的均匀程度与物种多样性一样会降低。木本植物的均匀度随着草本植物的减少而有所增加,但其物种丰富度并没有增加。当地下水位大于 4m,不适宜草本植物生长时,部分根蘖性木本植物会有所发展,增加其分布的均匀性。

在物种多样性受损的过程中, β 多样性指数可以反映出群落受损与地下水位的关系。由图 1.2 (a) (Liu et al., 2005) 可知,群落物种多样性的变化与地下水位变化呈线性关系,且相关性较高,表明物种多样性的受损与地下水位的变化有密切联系,而木本植物多样性的变化呈二次曲线关系,说明群落多样性受损速率要比木本植物多样性受损速率快,这主要是由于草本植物多样性在地下水位梯度上变化较大引起的。

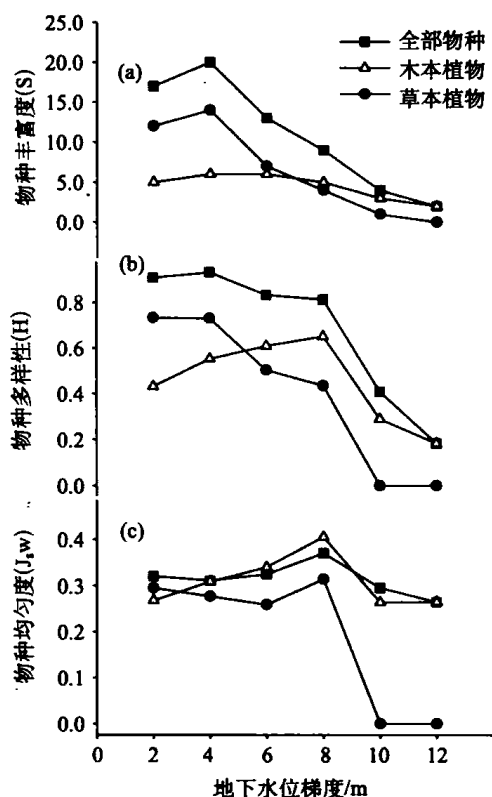


图 1.1 地下水位梯度上的物种多样性

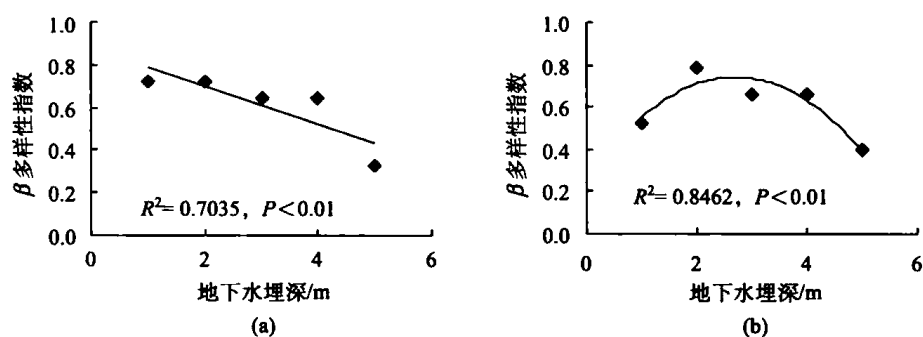


图 1.2 群落与木本植物的 β 多样性

(a) 群落; (b) 木本植物

2) 植被盖度受损过程

植被盖度是表征植被特征的基本数量指标。地表植被盖度的不断减少是生态退化的具体表现。植被盖度于地下水埋深大于 4m 时开始出现明显下降趋势 (图 1.3), 当地下水位大于 6m 时, 草本植物盖度趋于 0, 此时的植被盖度几乎等于木本植物盖度。可以得出, 植被盖度受损是在草本植物盖度受损的基础上发展的。草本植物盖度明显受损是

在地下水埋深大于 4m 时，木本植物盖度受损是在地下水埋深大于 6m 时，植被盖度在地下水埋深大于 4m 时已出现较强递减趋势。故可以说，植被总盖度受损是在地下水埋深大于 4m 时。

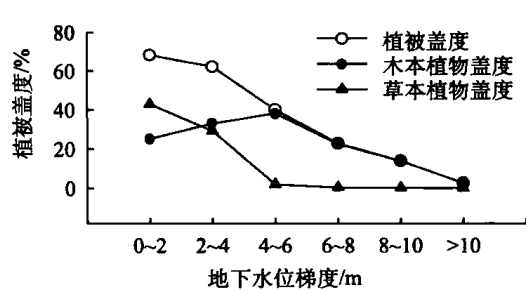


图 1.3 地下水埋深梯度上的植被盖度

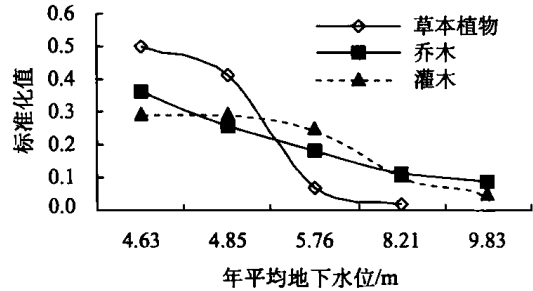


图 1.4 年平均地下水位低于 4m 时的植被盖度

同一生活型的物种，不但体态相似，而且其适应特点也是相似的。但又因不同物种对环境变动的耐受性不同，从而存在较为复杂的相互关系和空间动态变化规律。为了对不同生活型植被盖度进行统计分析，将乔木、灌木、草本植物盖度值相加得到综合植被盖度，以年平均地下水位为横坐标（图 1.4）。通过分析年平均地下水位大于 4m 时的植被盖度特征差异，可以得出乔木、灌木与草本植物的盖度受损变化过程。在植被盖度受损过程中，不同生活型植物群落的相对盖度变化也不相同。其中，乔木植物——胡杨在地下水位下降环境退变的过程中，其相对盖度逐渐减小，在图 1.4 中表现为缓慢下降的趋势。灌木植物相对盖度随着生态系统的退化呈现出略升高后逐渐降低的变化，这种变化与柽柳植物自身的生理生态学特征有关，其自身具有抗旱、耐盐及防沙埋的特性，适应多种生态变异环境，且成年植株的柽柳植物根系较深，对环境资源利用能力较强，因此，当地下水位降至部分草本植物难以生存时，柽柳植物尚能生存与发展，因种间竞争减小，其相对盖度有所增大，但地下水位的继续下降最终影响其生长发育，所以在图 1.4 中最终呈递减趋势。在草本植物中，芦苇、甘草、罗布麻、花花柴等为优势种，在环境退变的初期，其相对盖度呈现出衰减趋势，在地下水埋深下降至 8m 以下时，草本植物的相对盖度呈锐减趋势，除根系较深的草本或局部生境条件较好的地段尚有极少量草本植物能勉强维持生命外，大量草本植物死亡，在地下水位不断下降、环境条件不断恶化的情况下，其在塔里木河荒漠河岸林群落中最先消失，盖度趋于 0。

3) 群落结构受损过程

不同植物群落的空间分布不相同，群落的种类组成（图 1.5）与群落中木本植物所占比例（图 1.6）也不相同，从而形成不同的群落外貌：垂直的和水平的结构。简要描述如下：

(1) 芦苇群落。

此类群落主要分布在阿克墩断面，距离大西海水库较近，地下水位较高，群落的种类组成主要有芦苇、柽柳、黑果枸杞、骆驼刺、甘草、猪毛菜、地肤等。其中，芦苇是群落的优势种，受水分与盐分影响，芦苇多为矮生与匍匐状态，在样地内的平均盖度达

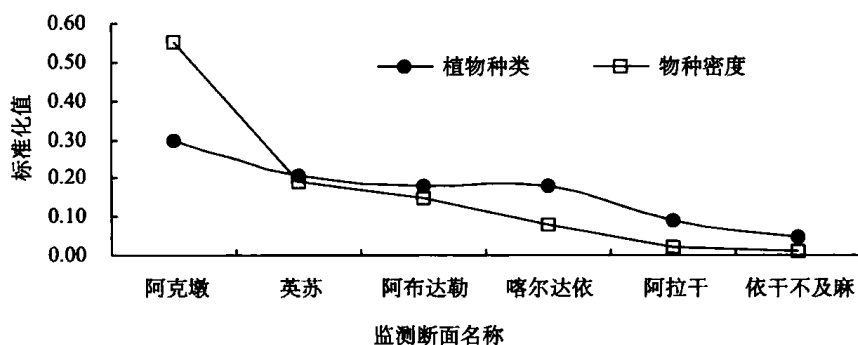


图 1.5 塔里木河下游植物种类与物种密度空间分布状况

到 78.57%，而怪柳、黑果枸杞、骆驼刺、甘草、猪毛菜等可谓伴生种，长势都较好。该断面的植被类型表现为以芦苇为优势种的盐生草甸，在水平结构上，不同地点种类组成又有差异。

(2) 胡杨+怪柳群落。

此群落主要分布于英苏和阿布达勒断面的部分地段。在该群落的种类组成中，乔木主要是胡杨，灌木主要有多枝怪柳、刚毛怪柳、黑果枸杞、铃铛刺，草本植物有甘草、罗布麻、骆驼刺、芦苇，另外还有数量较少的花花柴与猪毛菜。其中，胡杨与怪柳植物是该群落的优势种，在样地相对盖度的平均值分别达 50.53% 和 54.57%。从群落的垂直结构来看，可划分为乔木层、灌木层、草本层三个结构层次，但在不同断面，各层次在群落整体中的相对密度、相对盖度各不相同。而从群落的水平结构来看，群落内植株间生长稀疏，草本植物分布多呈零散状，且沿河道向下在种类、数量上有减少趋势。

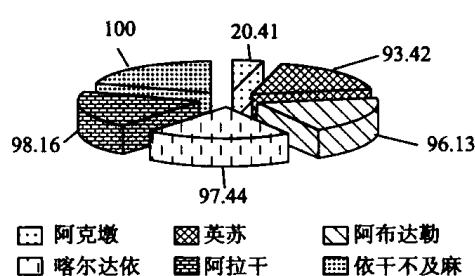


图 1.6 塔里木河下游木本植物所占比例

(3) 单一胡杨群落。

此类群落主要分布在阿布达勒的部分断面以及喀尔达依、依干不及麻、阿拉干断面，群落的种类组成主要为胡杨与怪柳，还伴生有黑果枸杞、少量铃铛刺。由于地下水埋深较深，草本植物稀少，除偶见深根系的骆驼刺外，几乎无其他草本植物，且植被多呈衰败状态，植被类型以荒漠化怪柳灌丛、怪柳灌丛、荒漠化胡杨林为主。在群落的水平结构上，整个群落呈现出复合性的分布特征，即以胡杨、胡杨+怪柳和怪柳三种类型组成形式，呈复合型分布。

(4) 单一怪柳群落。

单一怪柳群落主要分布在依干不及麻以下以及考干河段，地下水位更低，植被严重退化，植被类型为荒漠化怪柳灌丛以及裸露的流动沙丘。考干至台特玛湖河段已成为湖积盐土平原（梁匡一，刘培君，1990），地表植被无几。为客观地分析群落衰退动态、群落类型的变化，了解植物群落的现状与植物群落的衰退演替起点很重要。结合历史资料分析（孙万忠，周兴佳，1983；胡智育，1983），塔里木河在历史上先后经历了五次改道，第四次改道流入台特玛湖，第五次改道的最终归宿是大西海水库。塔里木河下游

植被衰退的起点应该为第五次改道前，据历史资料推测，当时的群落类型是胡杨群落、胡杨+怪柳群落以及以芦苇为优势种的芦苇群落等（胡智育，1983；梁匡一，刘培君，1990）。其中，胡杨群落是依干不及麻以北河段的主要群落类型，按照生长型，胡杨林群落一般有乔木层、灌木层、草本层三个垂直结构层次，考干至台特玛湖河段以芦苇群落为主要群落。随着水量的逐年减少，群落逆行演替发生，此两种群落便是群落衰退演替的起点。其中，芦苇群落在其衰退演变过程中，出现了优势种的更替，随着地下水位的下降，喜湿的浅根系草本首先衰退，耐盐、抗旱的灌木（怪柳）与部分耐旱的深根系草本（骆驼刺、甘草等）植物得到发展，形成以灌木（怪柳）为主，外加旱中生草本（骆驼刺、甘草等）的怪柳群丛。随着地下水位不断下降，最终形成荒漠化单一衰败的怪柳灌丛（如考干河段的植物群落）（图 1.7）。

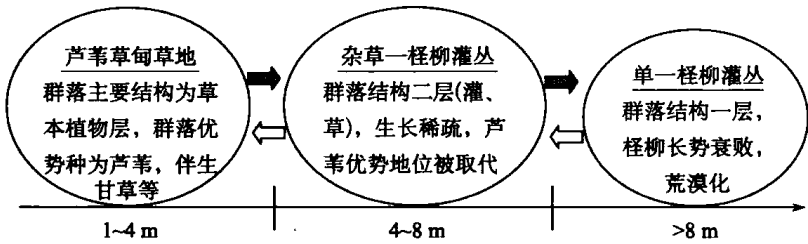


图 1.7 塔里木河下游芦苇群落衰退演替示意图

在依干不及麻河段以北的胡杨林群落（林下有草本、盐生灌木）或禾草—怪柳—胡杨林的衰退演变过程中，胡杨在群落中的优势地位没有变化，林下物种的减少，只是由于立地条件变干所致。随着地下水位的下降，林下大部分草本植物退化消失，群落逐渐演变为怪柳—胡杨林（林下草本主要为甘草、骆驼刺、花花柴等，且数量减少）或盐生灌丛胡

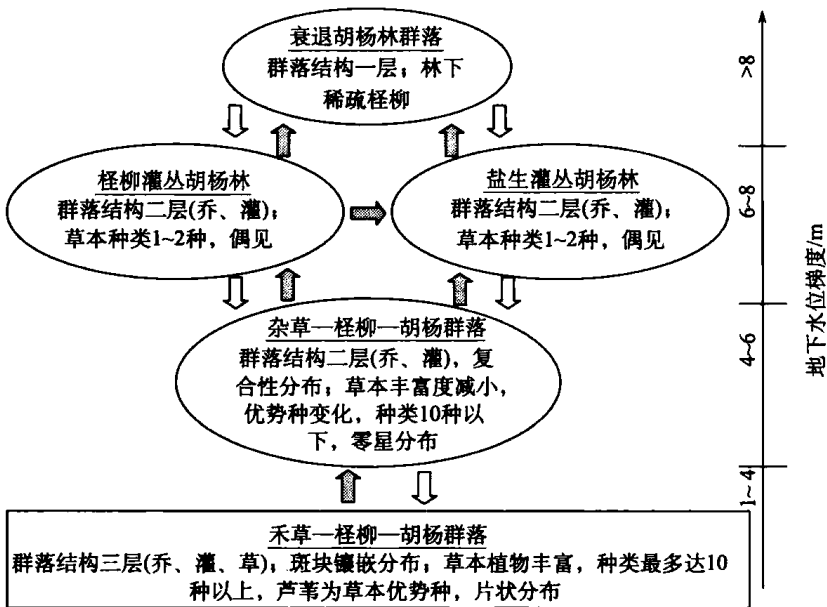


图 1.8 塔里木河下游胡杨林群落衰退演替示意图

杨林（林下灌木有黑果枸杞、怪柳、盐穗木等）。随着地下水位的不断下降，最终形成衰退的单一胡杨林或怪柳灌丛胡杨林（如阿拉干、依干不及麻等河段的植物群落）（图 1.8）。

2. 生态受损机理

1) 干扰与环境的脆弱性

通常生态系统受损与其自身的生态环境变脆弱相联系，正常的生态系统能保持生物与自然环境之间的动态平衡，但如果生态系统的结构与功能发生位移，必将打破原有生态系统的平衡状态，使系统的结构和功能发生变化或障碍，此时生态系统对自然或人为干扰的抵抗性较弱，表现出脆弱性与敏感性，并逐渐发生演变。这种演变过程一方面取决于系统内部的脆弱性，另一方面决定于外在干扰的强弱。

塔里木河流域地处沙漠边缘，生物生态系统规模小、生物过程微弱、稳定性低，是典型的内陆河流域生态脆弱区，而塔里木河下游位于塔克拉玛干沙漠与库鲁克两大沙漠之间，生态条件严峻，物种的饱和度小，暖温带大陆性气候及其变化和长期以来不断加剧的人类活动，深刻地影响着该地区的生态过程。历史上，塔里木河下游先后经历了五次改道，使河流两岸植被结构与功能发生障碍，生态系统敏感而脆弱，加之近 50 年塔里木河上中游以水资源开发利用为核心的高强度人类经济、社会活动的干扰，使该地区的自然生态过程发生了显著变化，绿洲荒漠化程度日益加剧，生态系统严重退化。所以说，“绿色走廊”受损是其自身脆弱的生态基质和外在干扰共同作用的结果。

2) 生态受损的环境主导因子

“绿色走廊”的受损由内、外因素共同所致。20 世纪 50 年代初，塔里木河下游恰拉以南、阿拉干以北的塔里木河、纳肿河、齐文阔尔河沿岸胡杨林茂密，两河之间林带宽达 7~10km，在水分条件控制下，由胡杨、怪柳、芦苇和其他中生植物组成了呈廊道景观分布的自然植被带，随洪水泛滥就地生长，随河流改道而衰退和消亡，而人类干扰更引起了塔里木河流域水资源时空分配严重不均匀，导致下游来水量的不断减少。

据塔里木河流域水文资料研究表明，20 世纪 50 年代中期至 60 年代，三源流河段平均下泄到塔里木河干流年水量为 $51.79 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，到了 90 年代，三源流河段下泄到塔里木河干流年水量仅为 $42.04 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，减少约 $9.75 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，平均每年以 $0.25 \times 10^8 \text{ m}^3$ 速率递减（图 1.9）。分析近 50 年塔里木河径流量变化可见，50~90 年代，三源流来水量变化为 $174 \times 10^8 \sim 194 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。进入 90 年代，由于气温升高，山区冰雪消融补给增加，三源流的山区来水量呈明显增加趋势（图 1.10）。阿克苏河和叶尔羌河的径流量比 50 年代多 $19.0 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，增加约 10.9%。但是，源流区进入塔里木河干流的水量却在不断减少。究其原因，主要是源流区大规模农业开发所致。1958 年以后农垦团场相继建立，垦荒面积扩大、引用的水量不断增加，三源流灌区的人口和灌溉面积分别从 1950 年的 156×10^4 人和 $34.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增加到 2000 年的 395×10^4 人和 $125.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ，三源流灌区用水量从 19 世纪 50 年代的 $50 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 2000 年的 $155 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，用水增长约两倍（陈亚宁等，2003b）。