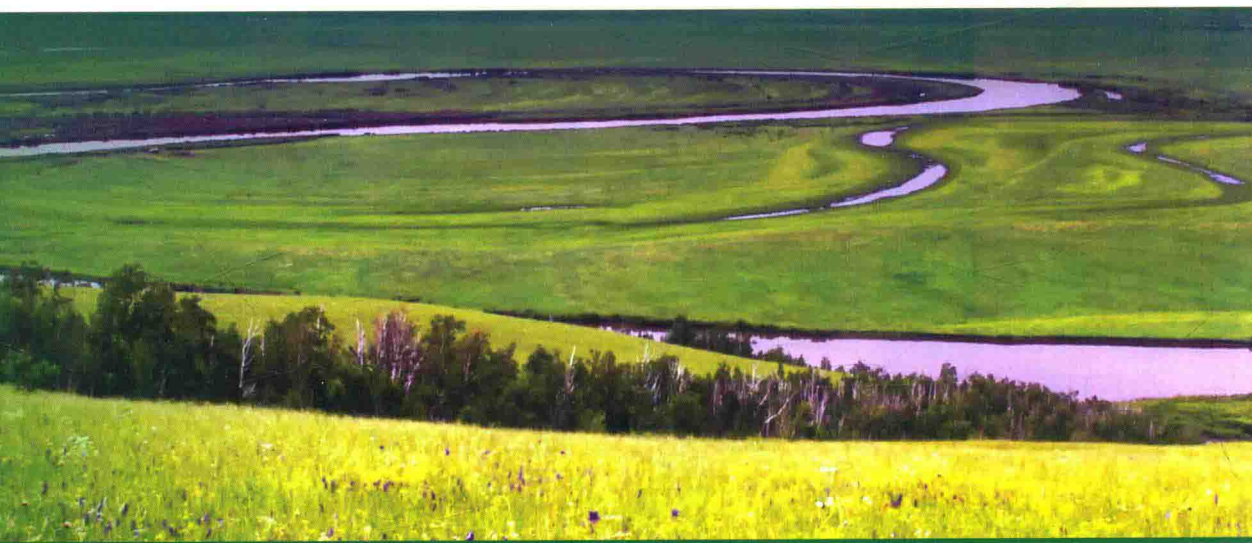


# 退化草地恢复水土保持 关键技术

何京丽 邢恩德 等 著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

# 退化草地恢复水土保持 关键技术

何京丽 邢恩德 等 著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

• 北京 •

## 内 容 提 要

本书主要依据水利部公益性行业科研专项经费项目“退化草地恢复重建水土保持关键技术研究”(项目编号: 201301049)的试验和研究成果著作而成。主要内容包括北方典型研究区域概况、锡林河流域草地水土流失时空特征、基于“3S”技术的退化草地土壤侵蚀现状分析、退化草地水土流失阻控技术、基于边坡植被需水与稳定的灌水调控技术、植被快速建植土壤保育技术、退化草地人工建植稳定技术、生产建设项目影响区草地水土保持生态补偿机制、退化草地恢复重建水土保持综合防治模式等。

本书可供从事牧区草地生态环境恢复与重建技术研究与推广的科技人员和高等院校相关专业师生参考阅读。

## 图书在版编目(CIP)数据

退化草地恢复水土保持关键技术 / 何京丽, 邢恩德等著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2016. 11  
ISBN 978-7-5170-4892-3

I. ①退… II. ①何… ②邢… III. ①退化草地—水土保持—生态恢复 IV. ①S812.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第273091号

|      |                                                                                                                                |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 退化草地恢复水土保持关键技术<br>TUIHUA CAODI HUIFU SHUITU BAOCHI GUANJIAN JISHU                                                              |
| 作 者  | 何京丽 邢恩德 等 著                                                                                                                    |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)<br>网址: www.waterpub.com.cn<br>E-mail: sales@waterpub.com.cn<br>电话: (010) 68367658 (营销中心) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心(零售)<br>电话: (010) 88383994、63202643、68545874<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                   |
| 排 版  | 中国水利水电出版社微机排版中心                                                                                                                |
| 印 刷  | 北京纪元彩艺印刷有限公司                                                                                                                   |
| 规 格  | 184mm×260mm 16开本 16.25印张 388千字 2插页                                                                                             |
| 版 次  | 2016年11月第1版 2016年11月第1次印刷                                                                                                      |
| 印 数  | 0001—1000册                                                                                                                     |
| 定 价  | 78.00元                                                                                                                         |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

## 本书编委会名单

主    编    何京丽    邢恩德

参    编    珊    丹    梁占岐    荣    浩    崔向新  
            李锦荣    郭建英    刘艳萍    田秀民  
            尹瑞平    杨志勇    葛    楠    王    颖  
            李艳茹    张铁钢    刘铁军    刘    静  
            张    欣    吴永胜

草原是我国北方最重要的天然生态屏障，在发展畜牧业、保护生物多样性、保护水土资源和维护生态平衡方面具有重要的战略地位。由于草原生态环境脆弱，土壤质地疏松，抗蚀能力低，加之一些地区过度放牧及大面积的开发建设，使地表裸露，遇到强度大的降雨或大风时，极易造成水土流失，导致草地生态环境逐渐恶化，威胁国家生态安全。据统计，全国牧区由于水蚀引起的水土流失面积为 33.7 万  $\text{km}^2$ ，占全国水土流失面积的 24%，风蚀引起的草场沙退化面积为 120 万  $\text{km}^2$ ，占全国草地面积的 30%。

内蒙古草原总面积近 86.7 万  $\text{km}^2$ ，居我国五大草原之首，占全国草原面积的 22%，占内蒙古自治区土地总面积的 76.5%，是欧亚大陆草原的重要组成部分。内蒙古草原不仅是我国最大的天然牧场和畜牧业生产基地，也是我国重要的天然生态屏障。其中锡林郭勒草原既是世界四大天然草原之一，也是我国唯一被列入联合国人与生物圈保护网络的国家级草原自然保护区，更是华北乃至全国的重要生态屏障之一。近年来锡林郭勒草原退化、沙化和盐碱化面积已达到可利用草原面积的 64%，草原生态环境恶化已十分严重。

目前，草原生态环境正面临着由“结构性破坏”到“功能性紊乱”的演变态势，草地生产力和植被盖度大幅度下降，涵养水源功能减弱，水土流失加剧，形势十分严峻。同时随着经济社会的不断发展，人们对水土资源的需求和生态环境的要求也越来越高，更加剧了水土资源的需求矛盾。因此，如何从水利、生态、经济、社会等多视角，系统地研究退化草地水土保持与生态恢复重建，如何科学利用和合理保护好区域水土资源，实现经济和社会、生态环境的可持续发展已成为一个十分紧迫和必要的问题。

近几十年以来，国家相继实施了京津风沙源治理、退耕还林、退牧还草、天然林保护、草原建设与保护、水土保持等一批重点生态建设工程。在北方草原生态恢复重建过程中采取了一系列措施，如围栏封育、划区轮牧、草地补播、草原防护林、飞播、家庭草库仑建设、饲草料地建设等，均取得了一定成果。但目前治理过程中的治理模式，缺少以水为中心的技术，而且退化

草地水土流失治理方面的新技术新方法较为缺乏，因此，本书选择退化草地为研究对象，把退化草地生态恢复中已有的单项技术进行组装集成，研发以“水土”为中心的核心技术，配套现有科技成果，进行水土保持与生态恢复重建技术的研究，控制退化草地水土流失，更加科学合理地治理退化草地，解决北方草原退化草地水土保持生态恢复重建技术中的难点和关键技术问题，实现地区经济和社会、生态环境的协调及畜牧业可持续发展。开展退化草地恢复重建水土保持技术研究，对于完善退化草地水土保持生态恢复重建技术体系，提高草地生态环境恢复、草地水土保持技术水平等具有重要的科学意义，对提高我国草地水土流失治理中的科技含量与技术水平，促进我国均衡发展，构筑和谐社会，确保国家生态安全和区域生态、经济可持续发展具有重要战略意义。

本书在分析锡林郭勒草原退化成因以及草原退化对水土流失影响分析基础上，采用野外大量风蚀、水蚀试验数据，从退化草地风速廓线、地表粗糙度、风沙流结构特征以及风蚀强度空间差异以及不同退化程度草地水土流失量等几个方面分析锡林河流域草地水土流失特征。通过对锡林河流域地面调查、地面风蚀水蚀试验，运用“3S”技术〔遥感技术（Remote Sensing, RS）、地理信息系统（Geography Information Systems, GIS）和全球定位系统（Global Positioning Systems, GPS）〕对高分辨率的ZY3卫星数据处理，建立了锡林河流域生态基础数据库，构建了锡林河流域风蚀、水蚀预测模型，并进行了验证与修订。通过植物措施和保水剂相结合的方式开展了水土流失阻控技术研究，分析了不同植被配置施用保水剂后对植被特征的影响、不同植被配置施用保水剂后对降雨产流产沙的影响、同一保水剂施用量对植被产流产沙的影响等试验研究。根据草地小流域降雨、径流、产沙模数以及工程措施配置不应大面积扰动坡面原生土壤及植被的特点，并考虑畜牧业生产中的打草搂草机械的使用，结合当地实际情况，对不同坡度条件下截水沟的适宜间距进行优化设计，并进行了实际应用；通过野外边坡植被建植灌溉试验，采用室内外相结合的试验研究方法，揭示了不同植被的需水特性及人工再塑地貌边坡土壤水分运移规律。分析了不同植被边坡土壤含水量对边坡稳定性的影响，提出边坡稳定性的土壤含水量阈值；评价不同植被建植的适宜灌水方式；提出适宜边坡建植灌水时间、灌水量、灌水周期及灌水年轮的灌水调控技术；在分析排土场边坡不同治理措施水土保持效益基础上，提出再塑地貌边坡工程植物措施相结合的快速建植模式。在分析不同剂量微生物菌肥对矿区土壤和植被生长的影响基础上，提出退化草地恢复植被快速建植技术复

合措施。通过对紫花苜蓿、披碱草、蒙古冰草和无芒雀麦不同种植方式（组合）生长速度、地上生物量、冠层结构、净光合速率、生长年限的动态变化研究分析，利用相对产量总值（Relative Yield Total, RYT）法估测不同混播组合牧草种间相容性与种间竞争能力，提出灌溉条件下，退化草地人工建植稳定性栽植技术及滴灌最优灌溉制度。通过对露天矿建设项目对周边区域草地生态影响的主要因子（土壤水分、植被盖度、生物量、大气降尘以及地下水位变化情况）进行动态监测，分析确定了由于煤矿开采而影响的矿区周边区域生态环境的范围。根据生态补偿理论，提出影响区水土保持生态补偿主体及置换技术。通过分析评价国内外现有草地植被恢复、水土保持措施，结合现有工程及本项研究试验观测结果，根据研究区地貌类型、侵蚀特点，分别提出了由人工草地建设、草地封育改良、防风固沙林建植等构成的以恢复草地植被提高生产力的水土保持生态修复模式；由林草措施、封禁措施、坡面截水沟+柠条带、谷坊+防冲林等措施构成的丘陵草原区小流域水土保持综合治理模式；由栽植灌木+种草、生态袋+种草、微生物菌肥改良土壤、灌溉措施等构成的退化草地工程侵蚀区快速建植水土保持综合防治模式。

本书得到水利部公益性行业科研专项经费项目——退化草地恢复重建水土保持关键技术研究（201301049）的资助，在此表示感谢。本书汇集了作者近几年对退化草地水土保持方面的相关研究成果，并参考引用了一些相关专家和学者的研究成果以及文献资料，同时在撰写过程中得到了各位专家、学者的参与和帮助，在此一并表示感谢。本书第1章由何京丽、邢恩德、珊丹负责完成；第2章由邢恩德、何京丽、田秀民负责完成；第3章由刘艳萍、郭建英、刘铁军负责完成；第4章由李锦荣、何京丽、刘静负责完成；第5章由崔向新、王颖、葛楠负责完成；第6章由梁占岐、郭建英、张欣负责完成；第7章由珊丹、郭建英、吴永胜负责完成；第8章由何京丽、田秀民、李艳茹负责完成；第9章由邢恩德、何京丽、张铁钢负责完成；第10章由荣浩、何京丽、尹瑞平、杨志勇负责完成；第11章由何京丽负责完成。全书由邢恩德、何京丽负责文字和格式编排以及统稿，审定终稿。本研究得到了内蒙古大唐国际锡林浩特矿业有限公司工作人员的大力支持和热情帮助，在此表示感谢。感谢中国水利水电出版社王梅编辑为本书的编辑和出版付出的辛勤劳动。

由于时间短促，限于作者水平，书中的错误和不足之处在所难免，恳请读者惠予批评指正。

作者

2016年5月

# 目录

## CONTENTS

### 前言

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第1章 概述                    | 1   |
| 1.1 研究背景和意义               | 1   |
| 1.2 锡林郭勒草原退化成因及对水土流失的影响   | 2   |
| 1.3 国内外研究现状               | 7   |
| 1.4 北方退化草地水土保持研究发展趋势      | 18  |
| 第2章 北方典型研究区域概况            | 20  |
| 2.1 自然环境状况                | 20  |
| 2.2 锡林河流域行政区划及社会经济状况      | 23  |
| 2.3 锡林河流域水土流失概况           | 27  |
| 第3章 锡林河流域草地水土流失时空特征       | 30  |
| 3.1 退化草地风蚀特征分析            | 30  |
| 3.2 退化草地水蚀特征分析            | 42  |
| 3.3 小结                    | 46  |
| 第4章 基于“3S”技术的退化草地土壤侵蚀现状分析 | 47  |
| 4.1 风蚀影响因子数据库的构建及各类因子分析   | 47  |
| 4.2 基于指数模型的锡林河流域风蚀现状分析    | 60  |
| 4.3 水蚀影响因子数据库的构建及各类因子分析   | 63  |
| 4.4 小结                    | 75  |
| 第5章 退化草地水土流失阻控技术          | 77  |
| 5.1 不同植被配置以及保水剂对降雨产流产沙的影响 | 77  |
| 5.2 坡面截水沟、中小规格穴状整地定位配置研究  | 100 |
| 5.3 小结                    | 109 |
| 第6章 基于边坡植被需水与稳定的灌水调控技术    | 110 |
| 6.1 露天矿排土场边坡植被需水规律及灌水调控   | 110 |
| 6.2 自然降雨和人工灌溉条件下边坡稳定分析    | 121 |
| 6.3 边坡植被的灌水年轮调查研究         | 133 |
| 6.4 小结                    | 134 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第 7 章 植被快速建植土壤保育技术          | 136 |
| 7.1 植被快速建植优化配置技术研究          | 136 |
| 7.2 土壤保育技术研究                | 154 |
| 7.3 小结                      | 169 |
| 第 8 章 退化草地人工建植稳定技术          | 171 |
| 8.1 牧草光合蒸腾特性分析              | 171 |
| 8.2 牧草生长模式                  | 177 |
| 8.3 灌溉制度的制定                 | 182 |
| 8.4 小结                      | 188 |
| 第 9 章 生产建设项目影响区草地水土保持生态补偿机制 | 190 |
| 9.1 生产建设项目影响区内草原生态影响因素变化    | 190 |
| 9.2 草地水土保持生态补偿机制            | 200 |
| 9.3 小结                      | 208 |
| 第 10 章 退化草地恢复重建水土保持综合防治模式   | 209 |
| 10.1 恢复草地植被提高生产力水土保持生态修复模式  | 209 |
| 10.2 丘陵草原区小流域水土保持综合治理模式     | 215 |
| 10.3 草原工程侵蚀区水土保持综合防治模式      | 223 |
| 10.4 小结                     | 235 |
| 第 11 章 结论                   | 236 |
| 参考文献                        | 239 |
| 部分试验照片                      | 249 |

## 1.1 研究背景和意义

草原是我国面积最大的陆地生态系统, 占国土总面积的 41.7%, 是我国北方最重要的天然生态屏障, 在发展畜牧业、保护生物多样性、保护水土资源和维护生态平衡方面具有重要的战略地位。近年来, 由于受气候、土壤、植被等自然因素和人为因素的影响, 我国草原生态环境持续恶化, 荒漠化不断加剧, 水土流失十分严重, 沙尘暴等自然灾害频繁发生, 已经直接威胁到国家的生态安全和国民经济的可持续发展。目前, 我国 90% 的天然草原不同程度地退化, 其中严重退化的草原近 180 万  $\text{km}^2$ 。由于草原生态环境脆弱, 土壤质地疏松, 抗蚀能力低, 加之一些地区过度放牧及大面积的开发建设, 使植被退化严重, 地表裸露, 强度践踏和开采严重破坏了表层土壤结构, 遇到强度大的降雨或大风时, 极易造成水土流失, 导致草地生态环境逐渐恶化, 威胁国家生态安全。据统计, 全国牧区由于水蚀引起的水土流失面积为 33.7 万  $\text{km}^2$ , 占全国水土流失面积的 24%, 风蚀引起的草场沙退化面积为 120 万  $\text{km}^2$ , 占全国草地面积的 30%。

内蒙古自治区在全国经济社会发展和边疆繁荣稳定大局中具有重要战略地位。内蒙古草原总面积近 86.7 万  $\text{km}^2$ , 居我国五大草原之首, 占全国草原面积的 22%, 占自治区土地总面积的 76.5%, 是欧亚大陆草原的重要组成部分。内蒙古草原不仅是我国最大的天然牧场和畜牧业生产基地, 也是我国重要的天然生态屏障, 其中锡林郭勒草原既是世界四大天然草原之一, 也是我国唯一被列入联合国人与生物圈保护网络的国家级草原自然保护区, 更是华北乃至全国的重要生态屏障之一, 然而近年来锡林郭勒草原退化、沙化和盐碱化面积已达到可利用草原面积的 64%, 草原生态环境恶化已十分严重。

多年来, 我国水土保持与生态恢复重建研究主要集中于黄河上中游、长江上中游、西南石漠化地区、南方红壤区及东北黑土区等重点区域, 而对草原区退化草地的水土保持植被修复与重建研究报道较少。目前, 草原生态环境正面临着由“结构性破坏”到“功能性紊乱”的演变态势, 草地生产力和植被盖度大幅度下降, 涵养水源功能减弱, 水土流失加剧, 形势十分严峻。同时随着经济社会的不断发展, 人们对水土资源的需求和生态环境的要求也越来越高, 更加剧了水土资源的需求矛盾。因此, 如何从水利、生态、经济、社会等多视角, 系统地研究退化草地水土保持与生态恢复重建, 如何科学利用和合理保护好区域水土资源, 实现经济和社会、生态环境的可持续发展已成为一个十分紧迫和必要的问题。

我国水土保持与生态恢复重建从理念的提出到实践也不过十几年时间,而退化草地水土保持与生态恢复重建无论是理论研究还是技术体系都还几乎处于起步探索阶段。近些年来,针对北方草原生态恢复重建采取了一系列措施,如围栏封育、划区轮牧、草地补播、草原防护林、飞播、家庭草库仑建设、饲草料地建设等,均取得了一定成果。但目前治理过程中多为单项技术的简单组合治理模式,缺少以水为中心的技术,而且退化草地水土流失治理方面的新技术新方法较为缺乏,对大型生产建设项目水土保持研究也甚少,因此,现急需针对上述问题,以退化草地为研究对象,把已有的单项技术进行组装集成,研发以“水”为中心的核心技术,配套现有科技成果,进行水土保持与生态恢复重建技术的研究与示范,控制退化草地水土流失,更加科学合理地治理退化草地,解决北方草原退化草地水土保持生态恢复重建技术中的难点和关键技术问题,实现地区经济和社会、生态环境的协调及畜牧业可持续发展。改善长期以来我国典型草原区退化草地利用方式比较落后的局面,对促进典型草原区退化草地保护利用的可持续发展具有十分重要的意义和广阔的应用前景。

开展退化草地恢复重建水土保持关键技术研究,对于完善退化草地水土保持生态恢复重建技术体系,提高草地生态环境恢复、草地水土保持技术水平等具有重要的科学意义。草地生态系统退化已成为目前迫切需要解决的关键科学问题和各界人士共同关注的焦点。为保护草地资源、保障国家边疆生态安全,迫切需要开展退化草地生态恢复重建关键技术和综合示范,建立不同类型区退化草地生态治理及修复技术示范,提高我国草地水土流失治理中的科技含量与技术水平,加快贫困地区的水土流失治理,对促进我国均衡发展,构筑和谐社会,确保国家生态安全和区域生态、经济可持续发展具有重要战略意义。

## 1.2 锡林郭勒草原退化成因及对水土流失的影响

### 1.2.1 草地退化原因

我国有 400 万 km<sup>2</sup> 不同类型的草地,其中 90% 以上处于不同程度退化中。草地退化已是限制我国草地生态功能发挥、生产力提高的重要因素。科学家们认为,草地退化是草地生态系统在其演化过程中,结构特征和能流与物质循环等功能的恶化,即生物群落(植物、动物、微生物群落)及其赖以生存环境的恶化。它既包括“草”的退化,也包括“地”的退化;不仅反映在构成草地生态系统的非生物因素上,也反映在生产者、消费者、分解者 3 个生物组成上,因而草地退化是整个草地生态系统的退化。

#### 1.2.1.1 自然因素对草原退化的影响

##### 1. 气温

气温升高能够导致土壤水分快速流失,影响草原植被的生长环境。从气温资料中可以看出,20 世纪 60 年代锡林郭勒盟年均气温为 1.96℃,70 年代为 2.31℃,比 60 年代上升了 0.35℃;80 年代年均气温为 2.46℃,90 年代为 3.25℃,比 80 年代升高 0.79℃;到 21 世纪的前 10 年,年均气温为 3.76℃,比 90 年代又上升了 0.51℃。其中,上升幅度最高的是 20 世纪 90 年代。

锡林郭勒草原地区温度一共出现了 5 个波峰, 分别在 1961 年、1975 年、1989 年、1998 年和 2007 年, 年均气温分别为  $3.0^{\circ}\text{C}$ 、 $3.4^{\circ}\text{C}$ 、 $3.6^{\circ}\text{C}$ 、 $4.5^{\circ}\text{C}$  和  $4.6^{\circ}\text{C}$ , 后一个波峰值都高于前一个波峰值, 平均升幅为  $0.4^{\circ}\text{C}$ , 间隔周期在 9~14 年, 并呈现间隔周期越来越短的趋势。同时也出现了 5 个波谷, 分别在 1969 年、1985 年、1993 年、2000 年和 2010 年, 年均气温分别为  $1.1^{\circ}\text{C}$ 、 $1.3^{\circ}\text{C}$ 、 $2.4^{\circ}\text{C}$ 、 $2.9^{\circ}\text{C}$  和  $3.1^{\circ}\text{C}$ , 后一个波谷值也高于前一个波谷值, 平均升幅为  $0.5^{\circ}\text{C}$ , 间隔周期在 7~16 年, 也呈现出间隔周期缩短的趋势。这些资料说明, 在全球气温变暖的大趋势下, 锡林郭勒盟的气温也在不断升高, 气温升高, 会加剧草原土壤水分的流失, 导致区域干旱化, 进而加速该区域草原的退化进程。

## 2. 降水量

降水量是影响草原植被变化的主要气候因素, 决定了草原植被的空间分布。有研究资料指出, 水分条件对草地植被生长及产量影响较大, 在牧草生长期降水每减少  $0.1\text{cm}$ , 将会使牧草产量减少  $15750\text{kg}/\text{km}^2$ 。

锡林郭勒盟的地理位置、地形结构及气候特点决定了其四季降水分布十分不均。锡林郭勒盟春季降水量大部分在  $1\sim 8\text{cm}$ , 占全年降水量的 15% 左右, 夏季降水量大部分在  $14\sim 25\text{cm}$ , 占全年降水量的 60% 以上。从春季和夏季年均降水量趋势来看, 也没有十分明显的变化规律。将春季降水量按 10 年为一周期做统计, 从 20 世纪 60 年代到 21 世纪前 10 年的降水量平均值分别为  $3.92\text{cm}$ 、 $3.6\text{cm}$ 、 $3.29\text{cm}$ 、 $4.04\text{cm}$  和  $4.67\text{cm}$ , 从 80 年代以后春季降水量呈现比较明显的上升趋势。将夏季降水量按 10 年为一周期做统计, 从 20 世纪 60 年代到 21 世纪前 10 年的降水量平均值分别为  $18.62\text{cm}$ 、 $18.52\text{cm}$ 、 $19.32\text{cm}$ 、 $20.48\text{cm}$  和  $15.23\text{cm}$ , 前 40 年基本呈上升趋势, 但近 10 年降水量下降趋势明显。降水量的这些变化对草原植被的生长产生了重要的影响。据气象资料统计, 1999—2001 年, 锡林郭勒盟中部草原 3 年间夏季降水量普遍较往年减少, 导致发生严重干旱灾害, 对草原植被的密度、盖度和天然牧草的产量影响极大。其中, 天然牧草平均高度较往年低  $8\sim 14\text{cm}$ , 天然牧草生物量较往年减产  $25650\sim 91950\text{kg}/\text{km}^2$ , 天然牧草覆盖度较往年降低  $7\%\sim 32\%$ 。综合以上分析, 锡林郭勒草原近 50 年气温呈逐渐升高趋势, 降水量呈逐渐减少趋势, 尤其是近二三十年干旱成为了锡林郭勒盟地区发生频率极高的主要气候灾害。在锡林郭勒盟近几十年的气象灾害记录中, 干旱记录就有 47 年, 占统计年数的 94%; 其中, 严重干旱有 19 年, 占 38%。连续干旱对草原植被产生的危害极大, 导致干燥度明显增加, 使得土壤水分耗损增大, 加剧土地的沙化, 进而增大了沙尘暴发生的概率, 而沙尘暴对草原植被和草原生态环境的破坏力很大, 会进一步加剧草原植被的退化。

## 3. 鼠虫害等自然灾害

随着草地资源的退化, 鼠虫害等自然灾害的频繁发生也加剧了草原退化进程。鼠类直接破坏草场, 挖洞和食草根破坏了牧草根系, 导致牧草成片死亡, 害鼠挖的土被推出洞外形成许多洞穴和土丘, 土压植被也会引起牧草成片死亡, 成为次生裸地。20 世纪 80 年代以来, 锡林郭勒草原鼠害爆发频繁, 发灾面积达  $13.3\text{万 km}^2$ , 造成草场退化面积达  $4.83\text{万 km}^2$ , 占草原总面积的 24.5%。20 世纪 90 年代以后, 蝗虫大规模发生, 虫口密度不断加大, 成灾面积逐年扩大, 特别是 21 世纪初, 发生了严重干旱灾害的同时, 蝗虫灾害变得越发严重, 成灾面积达到  $6\text{万 km}^2$ 。2003 年锡林郭勒盟爆发了有记录以来最严重的一

次蝗灾，成灾面积 4.67 万 km<sup>2</sup>，其中严重成灾面积 2 万 km<sup>2</sup>。蝗虫啃食过的草原，牧草等植被基本不存在，造成草原地表裸露，水土流失严重，加剧了草原的退化沙化。

1.2.1.2 人为因素对锡林郭勒草原退化的影响

1. 人口增长

人口增长过快一直被认为是导致草原退化的重要原因，主要体现在人口增长超过了自然资源尤其是草原资源的增殖，即草原的可承载能力。草地资源的增量远远不能满足人口日益膨胀的需求，必然会促使人们加大对草原资源的开发利用，从而造成进一步开垦草原、过度放牧等。为了维持收入不降低，人们除了增加放牧外，还要从草原上攫取其他的生产和生活所需资源，比如获取薪柴和草药等，使草场得不到休养生息，草原更新能力下降，从而加剧草原的退化。

据统计，锡林郭勒盟总人口从 1949 年的 20.52 万人增加到 2008 年的 98.74 万人，增加了 4.8 倍；其中农牧民人口从 18.64 万人增加到 44.9 万人。农牧民人口从 1949 年开始增长很快，到 1991 年最高，达到 60.21 万人。20 世纪 90 年代农牧民人口数比较稳定，增速放缓，从 2000 以后，农牧民的人口数逐年下降。从整体上看，锡林郭勒盟人口自然增长率并不高，主要的增长来源于外来人员的迁入。草原地区本身就属于生态脆弱地带，其人口的承载能力远不及内地及沿海地带。锡林郭勒地区的草原以典型草原为主，资料显示典型草原的人口承载力大概为 5~7 人/km<sup>2</sup>，但一直以来，锡林郭勒盟主要的草原牧区实际承载人口都超出该地区人口承载量的 50% 以上。

2. 超载放牧

我国的天然草原普遍存在着超载放牧的现象，2011 年全国草原监测报告显示，我国天然草原牧区的超载率为 28%，其中牧区牲畜超载率为 39%，半农半牧区超载率为 46%。随着人口数量的增加及利益的驱使，农牧民会盲目增加牲畜的数量，导致超载放牧。牲畜数量远远超过草原的承载能力，会导致草原植被的品质和生产力降低，同时草原载畜能力随之降低，不能满足大量牲畜的饲料要求，牧民就会加大放牧强度，两者之间互相影响，进而加剧草原的进一步退化。长期以来，盲目追求牲畜数量的增长，使牲畜平均占有草地面积急剧减少，草畜矛盾十分突出。锡林郭勒草原的超载放牧现象非常严重，据测定，锡林郭勒盟大多数牧区草场超载率一般在 50% 以上。锡林郭勒盟的牲畜总头数从 1979 年到 2008 年，基本呈增长的趋势，尤其是 2000 年以前，增长趋势非常明显，从 1979 年的 643.8 万头（只）达到 2000 年的 1808.3 万头（只）。其中，小畜数占牲畜总数量的比例不断增加，2000 年左右达到最高，接近于 95%，20 年间增长了 15%。小畜对草原植被的破坏极为严重，尤其是山羊直接啃食草根，对草原植被的破坏可以说是毁灭性的。20 世纪 60 年代锡林郭勒草原载畜量为 2500 万个羊单位，到 2000 年减少到 1040.2 万个羊单位，而当时实际载畜量却达到 2450.9 万个羊单位，同期，锡林郭勒盟可利用草原的面积却减少了 4000 多 km<sup>2</sup>，可见，超载过牧成为了锡林郭勒盟草原退化的最主要因素。

3. 垦草种粮

随着人口不断增长，人们为了生存，必须获取大量的粮食，不得不进行土地开发以扩

大耕地面积。草原牧区居民不顾环境条件,只为眼前的利益,无计划地乱垦,造成草原植被破坏。从新中国成立到改革开放,内蒙古地区共出现3次开荒高潮,第一次1958—1959年,第二次20世纪60年代初,第三次1966—1976年,三次共开垦草原2.47万 $\text{km}^2$ ,并且开垦的都是优良草场。

在锡林郭勒盟的各个不同历史阶段,人们为了获取更多的粮食及经济利益,曾经将大量草原开垦为耕地,使草原受到大面积破坏。20世纪50年代后期到60年代初提出了“以粮为纲”的口号,锡林郭勒盟大办农业,开垦草原997 $\text{km}^2$ 。进入70年代又提出了“牧民不吃亏心粮”致使又开荒种地600 $\text{km}^2$ 。20世纪80年代后期,受粮食价格上涨的影响,部分人又大面积开荒种地,使草原再一次被开垦。1949—1998年,锡林郭勒盟耕地面积由1414 $\text{km}^2$ 增加到2943 $\text{km}^2$ ,增加了1529 $\text{km}^2$ 。近年来,政府采取了一系列草场保护和恢复措施,耕地面积有所减少,截至2007年,锡林郭勒盟耕地面积降低到1975 $\text{km}^2$ ,但是,大面积的撂荒耕地,如果得不到及时的治理,将进一步加剧草原的退化。

#### 4. 无序开采矿产等资源

锡林郭勒盟地处华北板块和西伯利亚板块交汇地带,地质成矿和赋存条件好,矿产资源十分丰富,已发现矿种80余种,其中探明储量的有30余种,煤、钨、铜等储量都很大。其中,煤炭探明储量1448亿t,探明加预测储量超过2600亿t,居内蒙古自治区第2位,褐煤总储量居全国第1位。为了促进锡林郭勒盟本地经济的快速发展,当地政府不断开采矿物资源,锡林郭勒盟煤层埋藏较浅,大多采用剥离土层的方法进行开采,大面积草场被连根拔起,致使地表裸露,引起并加速了矿区周围草原的退化与沙化。同时,在开采运输过程中,由于草原上没有固定道路,大量的运输车辆对草原任意碾压,大面积占用草地,极大地破坏了草原植被,严重影响了草原植被的生长。同时,这些企业在生产过程中排放大量的工业“三废”和生活垃圾,对大面积的草场造成了严重污染,牲畜因饮用工业排放废水中毒死亡事件时有发生;而且,企业用水大多是抽取地下水,造成草原地下水位下降,河流干涸,导致草原干旱化、沙漠化,这些行为极大地破坏了草原生态环境,使得草原治理恢复起来极为困难。

#### 5. 樵采过度

在牧区和半牧区,广大农牧民主要依靠野生植物作为燃料,为了解决薪柴等问题,只能大量采伐草原乔木、灌木、半灌木等草本植物,使大面积草原植被遭到破坏。内蒙古草原区出产甘草(*Glycyrrhiza uralensis* Fisch)、草麻黄(*Ephedra sinica*)等多种药材,人们为了增加经济收入,从而大规模、频繁地挖掘。由于缺乏完善的监督管理,农牧民只顾眼前利益,不断从草原采挖草药,却不懂得培育,造成中草药的质量和产量大幅下降。同时草原被挖出许多的坑穴,造成草原退化。发菜(*Nostoc commune*)是一种珍贵的食用菌,锡林郭勒盟草原盛产发菜,在草地上搂发菜极大地破坏了草地的植被。目前,锡林郭勒盟仅搂发菜就破坏草原达3000 $\text{km}^2$ ,其中2000 $\text{km}^2$ 严重沙化。樵采及挖掘药材等不适当的人为活动,直接破坏草原植被,使土地失去了保护层,地表裸露,容易加剧水土流失。

### 1.2.2 草原退化对水土流失的影响

一般地说,草地土壤侵蚀可分为水蚀和风蚀两种类型,土壤水蚀是由于降雨本身和

地面径流造成的，雨滴的冲击和径流使土壤颗粒脱离并被带往下坡地的下端。土壤风蚀是由于气候干旱、缺少植被、地面平滑、风速大引起的。在草原地区，风蚀和水蚀同时存在。冬春以风蚀为主，夏秋以水蚀为主。土壤侵蚀虽然是不可避免的自然过程，但土壤侵蚀的程度（减弱或加剧）决定于地面植被的多少。国内外科学家对植被，特别是牧草在保持水土、改善生态环境方面的作用进行了大量的研究和报道，归纳起来植被有以下功能：

（1）拦截雨滴，缓和雨滴的冲击作用。雨滴降落时具有一定的速度和能量，如果落在裸地上，雨滴就直接打击地面的土块，它的动能成为侵蚀力，使土粒分散、飞溅，形成溅蚀作用。在植物生长茂盛的草地，植物的地上部分能够拦截降雨，使雨滴不直接打击地面，速度减小，因而能有效地削弱雨滴对土壤的破坏作用。

（2）阻挡水的流动，减缓径流速度。在植物生长良好的草地，一般都有一层枯枝落叶，它对保护土壤起着重要的作用。枯枝落叶层增加了地面的糙率，从而起到阻挡和分散径流、减缓流速以及促进拦淤等作用，并能像海绵一样吸收雨水，使水分慢慢渗入土壤下层，减少径流的产生。

（3）固结土壤，防止土壤冲刷和吹蚀。一般地说，植被地下部分（根系）的生长量要大大超过地上部分的生长量。植物的根系对土体有良好的穿插、缠绕、网络、固结作用。由于各种植物根系分布深度不同，所以在良好的草地，植物根系与土壤密集交织在一起，形成生草土一样的土壤，这样便加强了固持土体的能力，减少土壤受冲刷和吹蚀的可能性。

（4）增加土壤有机质，改良土壤结构。土壤有机质的多少和土壤结构的好坏都会影响到土壤侵蚀的程度。土壤有机质有利于土壤团聚体的形成，并可增加土壤的孔隙度。植物根系腐烂后，为水的渗透留下了通道，因此，良好结构的土壤，更有利于水的渗透，从而减少径流的形成。

草原上植被的覆盖率和植物群落的种类成分对保持水土最为重要，植被覆盖是自然因素中对防止水土流失起积极作用的主导因素，几乎在任何条件下都有阻止水蚀和风蚀的作用。据 Trimble 和 Mendel (1995) 报道，在美国密苏里州裸地的土壤损失量比有草皮的土壤多 132 倍，而有草皮的土壤损失量少于  $10\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ；在犹他州和蒙大拿州，由于地表覆盖从 100% 减少为 1% 以下，因而使侵蚀速率增加 200 倍。我国的许多研究也表明，黄土高原种草的坡地比不种草的坡地地面径流减少 47%，冲刷量减少 77%。在一般情况下，草地比裸地的土壤含水量高 20% 以上，在大雨情况下，草地可使陡坡地面径流减少 47%~60%，泥土冲刷量减少 75%。许志信等 (2001) 在内蒙古自治区东乌旗草甸草原上进行的放牧强度模拟试验结果也表明，利用强度大的草地，由于草层盖度小，地上生物量少，因而水土流失量要比轻度利用的草地大得多。内蒙古草地植被与风蚀程度的关系：森林草原的植被盖度最大，草层高度最高，植物密度最大，风蚀程度最轻，而典型荒漠的植被情况最差，风蚀最为严重。草原退化最明显的特征是草群的种类成分发生变化，丛生禾草数量减少，且草群的盖度变小，地面裸露面积大，因此，草原退化为土壤侵蚀的发生提供了内部条件（敖特根，2001）。

## 1.3 国内外研究现状

### 1.3.1 退化草地恢复重建研究

草地退化是指由于人为活动或不利自然因素所引起的草地（包括植物及土壤）质量衰退，生产力、经济潜力及服务功能降低，环境变劣以及生物多样性或复杂程度降低，恢复功能减弱或失去恢复功能（李博，1997）。退化草地恢复是一个庞大复杂的系统工程，不仅涉及草地学、农作物牧草栽培学、土壤学、生态学、水土保持与荒漠化防治等实用技术，而且要求以科学理论作为指导，如恢复生态学、草地资源学和草业生产系统理论等（孟林等，2002）。

对于退化草地的治理与恢复，国际上已有相应的科学理论支撑体系。对退化机理及其恢复途径有过多方面的探索和研究，并取得了良好的效果。对退化的生态系统，主流的理论强调自然恢复，即生态系统在适宜的外界条件下，通过自身调节能力逐步恢复生态平衡，使生态系统由恶性循环步入良性循环的发展过程。美国是世界上最早进行生态恢复研究与实践的国家之一，早在 20 世纪 30 年代就成功恢复了一片温带高草草原。1935 年美国威斯康星大学的教师 Leopold 和他的学生们在学校植物园草场上，开展了较为正规和严密的科学实验，这是已有资料记载的最早的、也是最经典的草地恢复研究。苏联也在 20 世纪 60 年代初开展了草地的改良研究。新西兰等国在 20 世纪初就已开始大面积建植人工草地。美国的退化草原恢复与重建是以有效利用天然降水为核心，结合地区土壤、气候、植被组成等特点，加强保护，适度开发利用，以保持草原畜牧业的可持续发展。畜牧业经济较为发达的澳大利亚、新西兰等国家十分重视天然草场的草畜平衡，在放牧草场既放牧又种草，加强人工草场的建设，使载畜量和草产量同步发展，避免过度放牧而使草原退化（朱显灵，1994）。目前，世界上畜牧业较发达的国家人工草地已占天然草地的 50% 以上或更高，并通过对草地生物量和土壤的动态监测，以草定畜，减少草地退化，实行草地科学化管理和利用。

20 世纪 80 年代以来，我国各级政府相继出台的有关牧区、牧民以及草场政策，极大地调动了农牧民的生产积极性，推动了草原畜牧业经济的迅速发展。但随着牲畜数量的持续增加，我国北方大部分地区的草原出现退化和沙化现象，由此开始，对草原恢复与利用的研究也逐渐开展起来。中国科学院植物研究所于 1979 年在内蒙古锡林郭勒盟设立草原生态定位研究站，并在青海省海北藏族自治州设立了高寒草甸生态系统研究定位站。同时，北京农业大学在承德市后沟牧场，东北师范大学在松嫩草原，甘肃农业大学在河西走廊以及庆阳市，内蒙古农牧科学研究院在达茂旗均设立了草地研究站点，全面开展草地的改良治理研究。王伟、梁存柱、刘钟龄、郝敦元（1996，1998，1999，2002）依据对内蒙古自治区锡林郭勒盟典型草原区过度放牧利用的退化草原群落恢复演替过程的监测资料和数据，对退化草原的基本特征与恢复演替动力、恢复演替时间的进程、草原退化与恢复演替机理和退化群落的性质进行了探讨，同时也对内蒙古草原植被在持续放牧压力下退化演替的模式进行研究分析并提出了诊断方法，并在此基础上对内蒙古草原退化与恢复演替的

机理进行了探讨研究。任继周等（1995）对河西走廊草地退化、次生盐渍化机理及改良进行了大量研究。李建东、郑慧莹（1995）在分析了松嫩平原盐碱植物群落形成的成因、形成过程及演化趋势的基础上，提出了盐碱化草地改良治理措施及其优化模式。周华坤等（2003）认为，围栏封育是当前退化草地恢复与重建的重要手段。闫玉春等（2009）在总结草地群落围封后的演替模式、物种多样性变化以及围封对土壤种子库的影响等方面的研究成果的基础上，认为围封是通过排除家畜践踏、采食、排便等干扰，使植物群落向着一定方向演替，围封只是一种使草地生产与利用之间达到平衡的手段，因此要把握好围封的时间尺度，以充分发挥其在退化草地恢复中的作用，避免由于利用不当而对草地产生负面影响。牛书丽等（2004）在分析了草地生态系统退化的现状、原因及其恢复途径的基础上，提出人工草地的建立是恢复退化天然草地的有效途径，并总结了我国人工草地的研究进展，提出高效型人工草地的建立是缓解草原压力、促进牧区可持续发展的良策；并从高效角度出发，认为种植饲用玉米可以作为建立人工草地的一个有益尝试。何京丽（2003）在分析了我国北方典型草原区基本情况和生态现状的基础上，提出草地水土保持生态修复思路，并提出了北方典型草原水土保持生态修复的主要技术及综合配套措施。

对于退化草地的恢复与重建，诸多学者针对不同地区的自然气候特点、草地利用状况等自然、人为因素，分别从放牧制度、饲草补偿、人工草地建设、政策措施等方面进行了详细的研究，并积累了大量研究成果。退化草地的恢复重建在具体实施过程中，还需要进一步研究如何基于草地退化的演替规律、退化过程中土壤、植被、家畜之间的相互制约机制等理论研究成果，研发一种或多种水土保持技术，并通过技术之间的科学配置，合理应用，使受损的草地生态系统得以恢复，水土流失得到有效控制。

### 1.3.2 水土流失遥感技术

遥感是20世纪初发展起来的对地观测综合技术，20世纪20年代国外就开始利用遥感技术研究土地覆盖，并于第二次世界大战后更广泛更系统地利用航空照片进行区域范围土地调查与制图研究。20世纪70年代美国发射了第一颗人造陆地卫星后，遥感技术的应用进入了大范围土地覆盖和土地利用调查阶段。1973年 Rorse 等探讨了“植被指数”的概念；1979年 Tucker 证明了在所有植被指数中，植被覆盖指数（Normalized Difference Vegetation Index, NDVI）应用最普遍。20世纪80年代后，人们已在洲际范围内利用气象卫星数据进行土地覆盖的研究，并取得了有效成果。1981年开始应用 AVHRR 数据进行全球和洲际尺度的植被变化和土地利用的研究，Tucker 和 Townshend 最早应用多时相 AVHRR 植被指数 NDVI 对非洲和南美洲进行了洲际尺度的土地覆盖研究。Cihar 等研究了 NOAA/AVHRR 数据的多波段组合方案，并对加拿大北方地区土地覆盖进行了分类。20世纪90年代卫星遥感在全球和区域尺度土地覆盖研究与应用方面取得了突破性进展。进入21世纪，全球和区域土地覆盖/土地利用的遥感研究进一步深化（柳海鹰等，2001）。

1927年美国就利用航片进行了全国土壤侵蚀普查（胡广录，1997），欧洲黄土带，由于径流集中而使肥沃土壤被侵蚀，Brgm 和 Inra 采用 SPOT 数据和 GIS 技术对土壤侵蚀区进行了制图，并肯定了遥感在土壤侵蚀中的作用，探索开发了区域性土壤侵蚀模型（Mathieu R 等，1997）。Pickup 和 Marks（2001）利用伽马射线航空遥感数据提取了地表