



中国生态系统研究网络丛书

沙漠化过程中植物的适应 对策及植被稳定性机理

赵哈林 赵学勇 张铜会 周海燕 主 编



海译出版社

中国生态系统研究网络丛书

沙漠化过程中植物的适应 对策及植被稳定性机理

赵哈林 赵学勇 张铜会 周海燕 主 编

海洋出版社

2004 年 · 北京

内 容 提 要

本书是一部系统介绍沙漠化过程中植物适应对策及植被稳定机理的专著。全书共分 10 章。主要在植物群落、种群、个体和细胞四个层面介绍了沙漠化过程中植被的受损特征,从植物繁殖、土壤种子库与植被的关系、种子的萌发与存活、形态结构和生长节律、植物生理生态变化等方面探讨了植物对风沙、干旱环境的响应和适应对策,阐述了沙地植物种群的增长规律和制约因素、及人工植被的稳定性机理。

本书是中国科学院寒区旱区环境与工程研究所承担国家 973 课题“沙漠化的生物过程及植被恢复机理”(编号 TG2000048704)的最新研究成果,是从植物生态学、生理生态学和沙漠学角度对沙漠化的生物过程及其植被恢复机理的一次系统深入的研究。其资料丰富,内容翔实,理论和实际结合紧密,具有较高的理论和应用价值,对于从事植物群落生态学、种群生态学、生理生态学和沙漠化研究的科学工作者及有关高等学校的师生具有重要参考意义,对各级业务部门的管理人员也有一定的参考作用。

图书在版编目(CIP)数据

沙漠化过程中植物的适应对策及植被稳定性机理/赵哈林等主编. —北京:海洋出版社,2004.10

ISBN 7-5027-6237-X

I. 沙… II. 赵… III. ①沙漠化-植物-适应性-研究 ②沙漠化-植被-稳定性-研究 IV. Q948.11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 110092 号

责任编辑:金 炯

责任印制:刘志恒

海洋出版社 出版发行

<http://www.oceanpress.com.cn>

(100081 北京市海淀区大慧寺路 8 号)

兰州中科印刷厂印刷 新华书店经销

2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月兰州第 1 次印刷

开本:787 mm×1092 mm 1/16 印张:22.25

字数:514.1 千字 印数:1~1 000 册

定价:65.00 元

海洋版图书印、装错误可随时退换

《沙漠化过程中植物的适应对策及植被稳定性机理》

编写人员及分工

主 编：赵哈林 赵学勇 张铜会 周海燕

副 主 编：李玉霖 张景光 崔建垣 赵丽娅 马风云 朱志梅 王 静

编写人员 （按姓氏笔画排列）：

马风云 王先之 王迎春 王彦荣 王 静 云建英 刘美玲

朱志梅 李玉霖 杨 持 余 玲 朴顺姬 周海燕 张铜会

张景光 赵学勇 赵哈林 赵丽娅 贾志斌 曾彦军 崔建垣

统稿审稿：赵哈林

编写分工：

第一章 赵哈林 赵丽娅 李玉霖 朱志梅 张景光 马风云 王 静

第二章 朱志梅 赵哈林

第三章 赵学勇 王彦荣 杨 持 赵丽娅 王先之 曾彦军 贾志斌

王迎春 刘美玲

第四章 赵丽娅 李玉霖 赵哈林

第五章 张铜会 崔建垣 赵丽娅 余 玲 曾彦军 马风云 赵哈林

第六章 李玉霖 张铜会 杨 持 贾志斌

第七章 周海燕 崔建垣 赵学勇

第八章 张景光 李玉霖

第九章 王 静 刘美玲

第十章 马风云 赵哈林

植物拉丁名检索(汉拉对照) 云建英

《中国生态系统研究网络丛书》序

中国科学院自 1949 年建院以来,陆续在全国各重要生态区建立了 100 多个以合理利用资源,促进当地农业、林业、牧业和渔业发展,以及观测和研究诸如冰川、冻土、泥土流和滑坡等一些特殊自然现象为目的的定位研究站。在过去几十年中,这些站无论在解决本地区资源、环境和社会经济发展所面临的问题方面,还是在发展生态学方面,都发挥了重大的作用。

自本世纪 80 年代以来,一方面由于地球系统科学的出现与发展,特别是由于国际地圈-生物圈计划(IGBP)的提出与实施;另一方面,由于日益严重的全球性资源、环境问题所造成的压力,使生态学家们提出了以从事长期、大地域尺度生态学监测和研究为目的的国家、区域乃至全球性网络的议题。就是在这种背景下,中国科学院从已有的定位研究站中选出条件较好的农田、森林、草原、湖泊和海洋生态系统定位研究站 29 个(见中国生态系统研究网络生态站分布图),并新建水分、土壤、大气和生物 4 个学科分中心及 1 个综合研究中心,于 1988 年开始了筹建“中国生态系统研究网络(英文名称为 Chinese Ecosystem Research Network,缩写为 CERN)”的工作。目前,中国科学院所属 21 个研究所的千余名科技人员参与了该网络的建设与研究工作。

网络筹建阶段的中心任务,是完成 CERN 的总体设计。在 1988~1992 年的 5 年间,在中国科学院、国家计委、财政部和国家科委的领导与支持下,来自我院各有关所的科技人员,详细研究了生态学的最新发展动向,特别着重研究了当代生态学对生态系统研究网络所提出的种种新的要求;了解了世界上已有的或正在筹建的各个以长期生态学监测和研究为目标的网络的设计和执行情况,特别是分析了“美国长期生态学研究网络(英文名称为 U. S. Long-Term Ecological Research Network,缩写为 U. S. LTER Network)”的发展过程,注意吸取了它们的经验和教训;同时,结合我国的具体情况,经过反复推敲,集思广益,于 1992 年底完成了网络的设计工作,并开始建设。

与其他网络相比较,CERN 的设计有如下特征:在整个网络的目的性方面,强调网络的整体性和总体目标,强调直接服务于解决社会、经济发展与资源、环境方面的问题;在观测方面,强调观测仪器、设备和观测方法的标准化,以便取得可以互比的数据;在数据方面,强调数据格式的统一和数据质量的控制、数据共享和数据的综合与分析;在研究方法上,强调包括社会科学在内的多学科参与的综合研究,强调按统一的目标和方法进行的,有多个站参与的网络研究。

几年来,通过国内、外专家的多次评议,肯定了上述设计的先进性和可行性,这为 CERN 的总体目标和各项任务的实现奠定了可靠的基础。

CERN 的长期目标是以地面网络式观测、试验为主,结合遥感、地理信息系统和数学模型等现代生态学研究手段,实现对我国各主要类型生态系统和环境状况的长期、全面的监测和研究,为改善我国的生存环境,保证自然资源的可持续利用及发展生态学做

贡献。它的具体任务是：

(1) 按统一的规程对我国主要类型农田、森林、草原、湖泊和海洋生态系统的重要生态学过程和水、土壤、大气、生物等生态系统的组分进行长期监测；

(2) 全面、深入地研究我国主要类型生态系统的结构、功能、动态和持续利用的途径和方法；

(3) 为各站所在的地区提供自然资源持续利用和改善生存环境的优化经营样板；

(4) 为地区和国家关于资源、环境方面的重大决策提供科学依据；

(5) 积极参与国际合作研究，为认识并解决全球性重大资源、环境问题做贡献。

为了及时反映该网络所属各生态站、分中心和综合研究中心的研究成果，CERN 科学委员会决定从 1994 年起设立出版基金，资助出版《中国生态系统研究网络丛书》。我们希望该丛书的问世，将对认识我国主要类型生态系统的基本特征和合理经营的途径，对促进我国自然资源的可持续利用和国家、地区社会经济的可持续发展，以及对提高生态学的研究水平发挥积极作用。



1995 年 4 月 16 日

前 言

在我们这个地球上,自然界是丰富多彩、复杂多变的。每一地区的生态环境都各不相同,所孕育的生命形式更是多种多样。复杂多样的生态环境和多姿多彩的生命形式为人类营造了一个色彩斑斓的世界,也给人们提出了一个科学命题,即为什么不同的环境下所造就的生命有所不同。数百年来,人类为解开这个科学之迷进行了大量的研究,并已取得了一些成果,但更深入的探索尚在进行之中。近年来,我们在承担国家重大基础研究计划(973)项目“沙漠化的生物过程及其恢复机理”(TG2000048704)中,就有这方面的研究内容。

我国现有沙漠、戈壁和沙漠化土地 166.9 万 km^2 , 约占国土总面积的 17.4%, 主要分布于北方干旱半干旱地区。在这些地区, 以风沙和干旱为基本特征的生态环境, 对于生命, 尤其是对于植物来说, 属于一种极端严酷的环境。在这种环境中, 干旱、风蚀、沙埋、沙粒打磨无时不在的威胁着植物的生命活动, 那些适应性差的物种或弱小植株随时经历着严峻环境的考验和选择。而长期生存于这种环境中的植物, 为了生存和繁衍, 也在不断改变着形态、结构、生理特征或生存、繁衍方式, 以适应恶劣环境的胁迫。中国有句古话, 叫做适者生存。这与后来达尔文提出的自然选择是一个道理, 是一个问题的两个方面。前者讲的是生命对环境的主动适应, 后者则强调生命受到环境的被动选择。而社会与自然的进化, 则是在自然选择和生命适应的互馈过程中不断发展的。植物与环境的这种自然选择与主动适应的长期发展, 造就了风沙干旱区特有的植被景观和植物生存繁衍方式。研究这些地区, 尤其是这些地区的土地沙漠化过程中, 风沙干旱环境对植物的影响和植物所形成的适应对策, 对于阐明极端环境条件下植物与环境的互动关系和植物的进化发展具有重要科学意义, 对于这些地区沙漠化的生物防沙和植被管理也具有重要指导意义。

从 2000 年 11 月开始, 我们承担了国家 973 项目“沙漠化的生物过程及其恢复机理研究”课题。在这个项目中, 我们沿水分梯度在我国北方半干旱农牧交错带自东向西从科尔沁沙地腹地的奈曼旗、浑善达克沙地南缘的多伦县、腾格里沙漠南缘的中卫县、巴丹吉林沙漠南部的临泽县、民勤县及其北侧的额济纳旗布设了 6 个实验区, 开展了不同地带植被的沙漠化受损过程、植物的适应对策、植被的恢复机理研究。主要目的是希望通过这些研究, 阐明我国北方地区土地沙漠化过程中的植被变化过程及其动因, 揭示植物对风沙干旱胁迫的适应对策, 探讨天然植被的恢复演替规律和人工植被稳定性机理, 为我国沙漠化的防治提供理论依据。经过几年的努力, 已经获得了一大批成果。这部专著的出版就是其中成果之一。

本专著共分 10 章。第一章为绪论, 主要概括地介绍了我国沙漠化的现状、沙区环境特征及其对植被的影响、国内外相关研究动态; 第二章从土壤环境、植物群落、植物种群和植物个体四个层面, 介绍了植被的沙漠化受损过程; 第三章从植物的繁殖方式、开花结实规律、物质能量的繁殖分配比例、生产特性等方面, 介绍了我国荒漠、荒漠草原、草原和森

林草原植物的繁殖对策;第四章从种子的形态特征、种子的散布格局、土壤种子库结构、封育对土壤种子库的影响等方面,介绍了沙地植物的土壤种子库特征及其与植被的关系;第五章分析了不同埋深、温度、水分和盐分胁迫下一些植物种子的活力、萌发存活规律、根系生长特性及其对幼苗越冬率的影响,讨论了沙地植物种子的萌发对策;第六章从植物的比叶面积、叶片叶绿素、碳、氮和干物质含量变化等方面,介绍了不同生境中植物叶片的生长分异,枝条的生长节律和分配比例、生长模型等生长对策;第七章介绍了不同地区不同演替阶段一些主要植物种的光合作用、水分生理、渗透调节物质、保护酶活性的变化,探讨了沙漠化过程中植物对风沙干旱胁迫的生理生态适应对策;第八章以一年生植物小画眉草和沙米为对象,介绍了沙地植物种群生活史对策;第九章在群落特征、种群变化、生理生态响应、遗传变异四个层面上,综合论述了作为我国草原区主要优势植物种的冷蒿对不同放牧强度的反应和适应机理;第十章分析了沙坡头地区近50年来人工植被的演替规律,讨论了沙地人工植被演替的主要制约因素,评价了不同营造时期人工植被的稳定性。本专著从植物生态学、生理生态学和沙漠学的角度,对沙漠化过程中的植物适应对策及植被的稳定性机制进行了一次较为系统的论述,资料丰富,内容翔实,理论与实际结合紧密,具有较高的理论应用价值。

本专著的出版得到了国家973项目“沙漠化的生物过程及植被恢复重建机理”(编号TG2000048704)课题和中国生态系统研究网络出版基金的资助。《中国沙漠》编辑部的金炯研究员和孙良英、郝美玲同志为本书的出版在编辑、制图、排版、校对等方面做了大量的工作。中国科学院寒区旱区环境与工程研究所的移小勇、李玉强、刘新平、左小安、岳广阳和黄刚等同志帮助校对了部分书稿。在此表示衷心的感谢。

由于时间仓促,加之作者水平有限,书中错讹、疏漏之处定有不少,竭诚希望读者予以批评指正。

作 者

2004年7月于兰州

目 次

第一章 绪论	(1)
第一节 沙区环境特征及其对植被的影响	(1)
第二节 相关国内外研究现状	(5)
第三节 主要研究方法简介	(26)
第四节 研究区自然概况	(31)
第二章 植物的沙漠化受损过程	(38)
第一节 沙漠化过程中土壤环境的变化	(38)
第二节 沙漠化过程中植物群落的受损过程	(41)
第三节 植物个体和种群的受损过程	(46)
第四节 沙漠化对植物生理过程的影响	(56)
第三章 植物的繁殖对策	(71)
第一节 荒漠植物的繁殖特性	(71)
第二节 荒漠草原植物的繁殖对策	(75)
第三节 草原植物的繁殖分配对策	(79)
第四节 森林草原植物的繁殖对策	(82)
第四章 土壤种子库特征及与植被的关系	(91)
第一节 沙地植物种子特征及其生态意义	(91)
第二节 沙地植物种子的散布格局	(96)
第三节 沙地种子库特征及与植被的关系	(99)
第四节 沙质草甸土壤种子库及与植被的关系	(109)
第五节 封育对退化草地种子库及植被的影响	(116)
第五章 种子萌发与根系生长的适应对策	(124)
第一节 干旱区种子萌发对策	(124)

第二节	干旱区幼苗的成活与越冬·····	(131)
第三节	半干旱区种子萌发对策·····	(136)
第四节	半干旱区幼苗存活及根系生长特性·····	(141)
第六章	植物生长适应对策·····	(147)
第一节	不同生境植物叶片性状的趋异特征·····	(147)
第二节	不同生境植物生长特性比较·····	(154)
第三节	不同草原带共有植物种的生长对策·····	(160)
第七章	植物生理生态适应对策·····	(167)
第一节	几种灌木植物生理生态适应对策·····	(167)
第二节	不同地区两种半灌木生理生态适应性比较·····	(180)
第三节	不同植被演替阶段优势植物生理生态适应对策·····	(188)
第八章	植物的种群增长与环境制约·····	(201)
第一节	干旱区植物种群的生活史对策·····	(201)
第二节	半干旱区植物种群对降水的响应·····	(213)
第九章	冷蒿种群对放牧干扰的响应·····	(224)
第一节	冷蒿形态结构对放牧的响应·····	(224)
第二节	冷蒿种群对放牧的生理响应·····	(233)
第三节	放牧干扰下冷蒿种群遗传多样性的变化·····	(251)
第十章	人工植被的稳定性机理·····	(260)
第一节	沙坡头地区人工植被的主要特征·····	(260)
第二节	环境变化对植被的影响·····	(268)
第三节	人工固沙植被的稳定性评价·····	(284)
参考文献 ·····		(297)
植物拉丁名检索(汉拉对照) ·····		(339)

Contents

1. Introduction	(1)
1.1 Environmental characteristics and effects on vegetation in sandy areas	(1)
1.2 Literature review	(5)
1.3 Main research methods	(26)
1.4 Natural conditions in study areas	(31)
2. Damaged processes of plant and vegetation	(38)
2.1 Changes of soil environment in the desertification processes	(38)
2.2 Damaged process of plant community	(41)
2.3 Damaged process of plant individuals and populations	(46)
2.4 Plant physiological changes in land desertification processes	(56)
3. Plant reproductive strategies	(71)
3.1 Plant reproductive characteristics in the desert	(71)
3.2 Plant reproductive strategies in the desert steppe	(75)
3.3 Plant reproductive allocation in the steppe	(79)
3.4 Plant reproductive strategies in the forest steppe	(82)
4. Soil seed bank and its relation with vegetation	(91)
4.1 Seed characters and its ecological significance in sandy land	(91)
4.2 Soil seed dispersing patterns in sand dune	(96)
4.3 Soil seed bank and its relation with vegetation in sandy dune	(99)
4.4 Soil seed bank and its relation with vegetation in sandy meadow	(109)
4.5 Effects of enclosure to soil seed bank and vegetation	(116)
5. Strategies of seed germination and root growth	(124)
5.1 Seed germination strategies in arid regions	(124)

5.2	Plant seedling survival and over-wintering in arid regions	(131)
5.3	Seed germination strategies in semi-arid regions	(136)
5.4	Plant seedling survival and root growth in semi-arid regions	(141)
6.	Adaptive strategies of plant growth	(147)
6.1	Divergence of plant leaf properties in different habitats	(147)
6.2	Comparison on plant growth characteristics in different habitats	(154)
6.3	Growth strategies of common plant species in different steppe zones	(160)
7.	Plant eco-physiological strategies	(167)
7.1	Comparison of eco-physiological strategies among several shrubs	(167)
7.2	Comparison of eco-physiological adaptation between two sub-shrubs	(180)
7.3	Eco-physiological strategies of dominant species in vegetation successions	(188)
8.	Plant population growth and environmental constraints	(201)
8.1	Life history strategies of plant population in arid regions	(201)
8.2	Responses of plant population to rainfall in semi-arid regions	(213)
9.	Response of <i>Artemisia frigida</i> to grazing disturbance	(224)
9.1	Morphological structure of responses to grazing	(224)
9.2	Physiological responses to grazing	(233)
9.3	Variations of the genetic diversity under grazing disturbance	(251)
10.	Mechanism of stability for artificial vegetation	(260)
10.1	Main characteristics of artificial vegetation in Shapotou region	(260)
10.2	Effects of environmental changes on the vegetation	(268)
10.3	Evaluation of stability for artificial sand-fixation vegetation	(284)
References		(297)
Plant Species Names		(339)

第一章 绪 论

沙漠化是荒漠化的主要类型之一,它是以风蚀风积为主要特征,以空气动力为主要自然营力叠加在人类活动的条件下所造成的土地退化过程。在这一过程中,不仅造成土地生产力的下降和土地资源的丧失,最终还会导致地表类似沙漠景观的出现。由于沙漠化主要发生于干旱、半干旱地区,风沙活动给生存于这一地区的生物,尤其是植物带来了严重危害,导致植被退化,土地沙化。为了生存和繁衍后代,在长期适应风沙干旱环境的情况下,植物在形态特征、解剖结构、生理代谢和生长习性等方面也逐步形成了一些适应机制。本专著将介绍我们在实施国家 973 项目“沙漠化的生物过程及植被恢复机理”(编号 TG 2000048704)课题过程中,有关沙漠化过程中植物对风沙干旱环境的适应对策及其人工植被稳定性研究的一些最新成果。

为了加深读者对这些研究成果的认识,本章首先介绍一些我国沙漠化地区植被的特征、国内外有关植物对风沙干旱适应对策的研究动态,以及相关研究方法和研究区自然概况。

第一节 沙区环境特征及其对植被的影响

掌握沙漠化过程中环境的变化及其对植物影响的途径,是研究植物的适应对策及植被稳定性的前提条件。本节将对我国沙漠化土地和沙区植被的分布及其基本特点,以及沙漠化过程中环境的变化及其对植物的影响途径作一简要介绍。

一、沙漠、沙漠化土地的分布规律及其特征

我国现有沙漠、沙地、戈壁和沙漠化土地 166.87 万 km^2 , 约占国土总面积的 17.38%, 主要分布于北方干旱、半干旱地区。其中, 沙漠 58.1 万 km^2 , 沙地 10.3 万 km^2 , 戈壁 59.9 万 km^2 , 沙漠化土地 38.57 万 km^2 , 分别占其总面积的 34.8%、6.2%、35.9% 和 23.1%。

1. 沙漠、沙地的分布规律及其环境特征

我国的沙漠、戈壁和沙地主要分布于新疆维吾尔自治区、青海省、甘肃省、宁夏回族自治区、内蒙古自治区、陕西省、辽宁省、吉林省和黑龙江省, 介于 $35^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 、 $75^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$ 之间。沙漠主要分布于贺兰山以西的干旱荒漠区, 沙漠、戈壁面积 117.9 万 km^2 , 占全国沙漠、戈壁、沙地总面积的 92.0%。而沙地主要分布于贺兰山以东的半干旱地区, 沙地面积 10.3 万 km^2 , 占全国沙漠、戈壁、沙地总面积的 8.0%。

我国的沙漠多深居大陆内陆、远离海洋, 受大陆性气候和局地水土环境的影响, 形成

了独特的沙漠和沙地自然特征:

(1) 气候干旱、风沙频繁 我国绝大部分沙漠、沙地的降水量都在 400 mm 以下,干燥度 1.5 以上。其中内蒙古自治区东部和东北西部的沙地降水量在 350~400 mm,宁夏、甘肃和内蒙古自治区西部的降水量在 50~150 mm,再往西降水量低于 50 mm。干燥度从东部的 1.5 左右,向西至贺兰山升至 4.0。贺兰山以西的干燥度均高于 4.0,新疆东部及塔里木盆地的干燥度高达 20~60。我国沙漠(沙地)地区风力强劲,全年起沙风次数都在 400~600 次以上。加之地表多为疏松的沙物质,所以在冬、春季受大风吹扬,造成风沙弥漫,沙暴频繁。如新疆塔克拉玛干沙漠南缘风沙日常达 120 天以上,甘肃民勤一年最多风沙日达 148 天。但我国沙漠地区热量资源较好,一般日照时数都在 2 500~3 000 h, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温在 3 000~5 000 $^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 沙物质沉积深厚,沙源丰富 我国的沙漠、沙地除一小部分分布于内陆高原外,其余全部分布于内陆盆地之中。如塔克拉玛干沙漠位于塔里木盆地,古尔班通古特沙漠位于准噶尔盆地。这些盆地边缘沙质沉积物厚度一般都在 200~400 m。位于西辽河下游冲积平原的科尔沁沙地,其第四纪疏松沙层厚度也可达 130 m。这些疏松深厚的沙物质在风力的作用下,极易成为沙漠形成的丰富沙源。而且在地质时期及后来的历史时期,由于自然和人类活动的作用,这些地区的风沙活动已经使地表被各种沙丘所覆盖,尤其在干旱的沙漠地区,绝大部分是被流动半流动沙丘覆盖,已经形成了特殊的沙丘地貌景观和沙漠气候。

(3) 缺乏地表径流,但普遍存在浅层地下水 在雨量稀少、蒸发强烈的沙漠地区,由于地表沙物质渗透性强,几乎很少有地表径流的发生,更谈不上由当地地表径流形成的河流。部分沙漠、沙地仅有过境河流经过。但大多数沙漠、沙地虽然地表水缺乏,却普遍分布有潜水或承压水。这是因为这些沙漠、沙地大部分分布于盆地之中,盆地的地貌和疏松的河流冲积或湖积相可以汇集和储存地下水。尤其是沙漠边缘山前平原的潜水、沙漠内部河谷冲积层的潜水及承压水,对于滋养生物、维系沙漠植被起到了重要作用。

2. 沙漠化土地的分布规律及其环境特征

我国的沙漠化土地是在干旱、半干旱的脆弱自然环境背景下,由于人类活动过度干扰,造成生态平衡失调后所形成的。因此,我国的沙漠化土地主要分布于我国北方的干旱、半干旱地区。其中,呈片状集中分布的区域位于我国北方长城沿线及其周边地区。这一区域北起呼伦贝尔草原,东界大致沿大兴安岭南下至科尔沁沙地东缘,向西沿冀辽山地、大马群山、长城、黄河南下,然后沿白于山西挺,包括甘肃省环县,西接西北干旱区。行政区划涉及内蒙古、辽宁、吉林、河北、山西、陕西、宁夏、甘肃的 93 个旗(县)和市,沙漠化总面积 201 326 km^2 ,占全国沙漠化土地总面积的 52.2%。我国干旱地区的绿洲周围也是沙漠化土地的主要分布区。这些地区的沙漠化土地虽然沿绿洲边缘或河流两岸成环状或带状分布,且宽度不大。但由于地区广阔,沙漠化面积加在一起达 122 000 km^2 ,占全国沙漠化总面积的 31.4%。另外,在我国东部半湿润地区的各河流泛滥平原上、西南高寒地区的河谷平原上,也分布着一定数量的沙漠化土地。这些地区的沙漠化土地面积总计为 6.24 万 km^2 ,占全国沙漠化总面积的 16.4%。

半干旱沙漠化地区的环境特点主要为:①有一定的降水,但不稳定,易出现春旱,沙漠化的发展与区域性连续干旱密切相关;②土壤结构简单,土质疏松,易侵蚀沙尘含量高,一旦植被遭到破坏,土壤极易发生风蚀;③地下水浅而丰富,大部分地区水质较好,部分地区具有发展灌溉农业的条件;④气候条件多为旱作农业下限和草地畜牧业的上限,因而该区大部分为农牧交错区;⑤风季主要发生于地表植被凋萎、裸露的春季,也是农耕的主要季节,因而该区是我国土地沙漠化风险最大的地区。

西部干旱区的沙漠化土地成带状分布于绿洲的周围。其生态环境既受绿洲的影响,也受荒漠的影响。一方面气候干旱、蒸发强烈、风沙活动频繁、土壤风蚀严重、沙丘入侵迅速,不利于植物或作物生长;另一方面,由于有地下潜水或灌溉余水的滋润,部分地区具有良好的植被覆盖,可有效地抑制土地沙漠化的发展。但是,如果地下水位降至植物可利用的生态水位以下,其土地沙漠化将不可逆转地迅速发展。

二、沙区天然植被的分布规律及其特征

我国沙区包括广义的沙漠、戈壁、沙地和沙漠化发展地区。其分布范围东起大兴安岭两侧的呼伦贝尔沙地、嫩江沙地,向西延伸到新疆与俄罗斯、吉尔吉斯斯坦等国交界的边陲地区,北部起于中蒙边界,向南可以延伸到长城以南。行政区划涉及我国三北地区的11个省217个旗(县)、市。行政区域总面积308.1万 km^2 ,占国土总面积的32.1%。沙区现有天然草地植被1.34亿 hm^2 ,占全国天然草地植被的34.14%。其中可利用的天然草地1.11亿 hm^2 ,占其天然草地总面积的82.8%。

由于我国沙区地域广袤,跨越的自然地带多,地形复杂,影响因子多且相互作用、相互交叉,因而,从乔灌木植被到草本植被,从低湿植被、沙地植被到丘陵、山地植被和高寒植被,类型复杂多样。可分为9个植被型和28个植被亚型。由东向西分布序列为:黄淮海沙地处于暖温带阔叶林区域;松嫩沙地处于中温型森林草原区;呼伦贝尔沙地、科尔沁沙地、浑善达克沙地及其周围地区处于中温型典型草原区;以西的乌兰察布-乌拉特草原为中温型荒漠草原区;阴山以南的库布齐沙漠东半部和毛乌素沙地处于暖温带典型草原区;库布齐沙漠西半部和宁夏河东沙地处于暖温带荒漠草原区;贺兰山、乌鞘岭、东祁连山一线往西进入温带荒漠地带,其中乌兰布和、腾格里、巴丹吉林、河西走廊西部等沙漠及柴达木盆地沙漠至北疆古尔班通古特沙漠及周围地区处于中温带荒漠;东疆、南疆的库姆塔格和塔克拉玛干沙漠及其周边地区属于暖温带荒漠;西藏的沙地属于高寒荒漠植被区域。

我国沙区植被的主要特点:

(1) 植被稀疏、低矮 在西部干旱荒漠地区,受干旱气候、地表风沙活动强烈的影响,大部分地区植被以灌木、半灌木为主,植被稀疏低矮。尤其是在风积作用下,形成大小不等的片状灌丛沙堆,造就了西部沙区特殊的植被景观。

(2) 空间分异大,变化梯度明显 在半干旱地区的一部分沙地,由于不同类型沙地共存,造成小尺度空间范围植被分异很大,从固定沙地和半固定沙地到半流动、流动沙地形成很明显的变化梯度。这为采用时空转换方法进行植被演变规律研究提供了良好的环境条件。

(3) 原生植被已经受到破坏,大部分地区植被处于次生演替之中 由于人为的干扰,

沙漠化的发展,我国沙区,尤其是现代土地沙漠化地区,大部分植被受到不同程度的破坏,原生植被已经很难找到。这些受到破坏的植被虽然少数在受到保护之后正在进行恢复演替,但多数尚处于逆行演替过程。

(4) 植被物种组成简单,生物多样性低 沙区大多数植物群落物种组成简单,植物种类多的不过二三十种,一般只有 10 余种,诸如流动沙地群落的物种组成常在 3~5 种,甚至为单种群聚。加之荒漠植物单种优势度明显,并时常呈聚集分布,造成其生物多样性较低。

(5) 荒漠地区的植物区系组成 以菊科、禾本科、豆科、藜科、蒺藜科、蓼科、柽柳科植物为主,它们大多数具有旱生、超旱生结构和生理生态特征,一些沙生植物还具有特殊的喜沙埋生长习性。

(6) 平均产草量低,但区域变异性大 我国北方 11 省区沙质草地的鲜草平均单产为 $1\ 864.0\ \text{kg}/\text{hm}^2$,是 11 省(区)草地生物单产 $581.83\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 的 72.2%。其中,东北沙区的鲜草最高,为 $5\ 016\ \text{kg}/\text{hm}^2$;其次,河北和晋西北为 $3\ 700\sim 4\ 400\ \text{kg}/\text{hm}^2$,内蒙古沙区平均 $2\ 429\ \text{kg}/\text{hm}^2$,甘肃沙区平均产量最低为 $923\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 。

三、沙漠化过程对植物的影响

土地沙漠化的本质是土地的整体退化。但土地沙漠化引起的土地退化与一般的土地退化有所不同。这主要表现在以下三个方面:

一是风蚀风积强烈,地形地貌变化明显。土地沙漠化是以风沙活动为基本特征的,在土地沙漠化过程中,风蚀和风积既是风沙活动的起点,又是终点。随着土壤风蚀和地表风积,地表形态就会发生变化,形成风蚀洼地或片状积沙、灌丛沙堆、沙丘,最终的结果是形成类似沙漠景观的风沙地貌,造成大面积土地资源的丧失。

二是土壤粗化、干旱化和贫瘠化。在沙漠化过程中,土壤中的粘粉含量和有机质含量因风蚀而下降,导致土壤中粗砂比例明显增加,土壤明显粗化。粗化后的土壤,土体向分散的无结构演变,孔隙分布与持水性能变劣,土壤有机质和养分衰退,土壤酶活性和微生物呼吸降低,造成土地生产潜力的急剧下降。

三是植被退化速度快,生产力下降明显。地表风沙流的影响,土壤环境的恶化,风沙地貌造成的小环境改变,都直接或间接地危及植物的生存和繁衍,导致植被的急剧退化。而植被的退化意味着对地表保护作用的降低,导致风沙活动的加强,使植被退化和风沙活动进入互动的恶性循环,促进沙漠化的进一步发展。而植被这种快速退化,使其生产力急剧下降。在我国的大部分流动沙地,其生物产量几乎为零。

在土地沙漠化过程中,无论是大气候、微气候,还是土壤环境都在明显恶化。沙漠化过程中,生态环境的整体恶化对植物、植被的影响主要表现在以下几个方面:

(1) 风蚀沙埋 土壤风蚀使土壤颗粒发生移动,导致植物种子被吹蚀,根系裸露,使植物种子正常萌发受阻,根系吸收水分、养分和支撑植物的能力减弱。积沙导致植物种子不能萌发,低矮植物被沙埋,使成片植物或作物失去生存和繁衍的可能。

(2) 风沙的割、打、磨 风沙活动中形成的风沙流,是一种含有较高动能的物质能量两相流。在其运动过程中,所携带的砂砾会对植物叶片和茎秆形成打击、划割或磨擦,造

成植物地上部分的物理损伤,严重时导致植物的死亡。

(3) 沙地表面形成高温,对植物造成灼伤 在夏季,流沙表面温度往往达到 60~70℃,甚至 80℃。这种高温可直接杀死植物幼苗,并造成成年植物基部表皮灼伤。而且,地表热辐射会影响植物的开花受粉和结实率,导致植物繁殖率降低。

(4) 水分养分供给不足,造成植物生长不良 风蚀积沙地,尤其是流动沙地,其土壤水分含量很低,干旱年份或干旱季节其土壤含水量往往低于植物萎蔫系数,导致植物因水分供给不足而发生暂时性萎蔫,影响植物生长。严重时,造成植物永久性萎蔫而死亡。沙漠化土地的养分含量很低,难以保证较多植物生长的需要,也是沙地植物低矮、稀疏和生长不良的原因之一。

第二节 相关国内外研究现状

关于沙漠化过程中生态环境的变化及其对植物的影响,植物对干旱、风沙活动的适应对策,植被的演替规律及其稳定性机制等问题,过去已有大量研究,并取得了一定成果。本节综述了目前国内外与土地沙漠化过程和风沙干旱胁迫相关的土壤环境变化、植物适应对策以及人工植被稳定性机理等方面的研究进展。

一、土地沙漠化与土壤和植被退化

土壤和植被是生态系统中诸多生态过程(如营养物质循环、水分平衡、凋落物分解等)的参与者和载体,土壤结构和养分状况及植被的功能特征是度量生态系统是否健康的关键指标之一。由于土地沙漠化属于一种土地退化类型,因此其土壤环境的恶化和植被的退化研究受到了国内外的广泛重视,已经进行了大量研究报道。

1. 沙漠化与土壤环境变化的研究

土地沙漠化的一个最主要指征就是土壤退化。大量研究表明,土地沙漠化是干旱、半干旱地区气候变化和人为活动干扰所导致的一种以风蚀和积沙活动为主要特征的土地退化形式,而无论风蚀,还是积沙都必然导致土壤退化或沙化。目前,关于土地沙漠化过程中土壤环境的变化研究,主要集中于四个方面:一是土壤物理环境的变化,如土壤的机械组成、容重、团粒体的结构和密度、孔隙度的多少和比例、土壤温度和湿度等。二是土壤化学环境的变化,如土壤主要养分元素氮、磷、钾的含量和比例, pH 值和电导率的变化等。近年来随着世界对全球气候变化研究的重视,沙漠化过程中土壤碳含量的变化正在成为研究的一个热点。三是土壤生物指标的变化,如土壤动物的活动、土壤酶的活性、土壤凋落物的分解速率、土壤呼吸强度等。四是土壤各种因子的相互作用及其与土地沙漠化的关系分析,如土壤物理环境变化与土壤化学环境变化的关系、土壤物理化学环境变化对土壤生物学特性的影响等,这是对土壤环境变化及其发生机制的综合研究,对于阐述土壤质量和肥力的退化机制及其生态效应具有重要意义。

已有研究结果表明,随着沙漠化的发生发展,土壤的粉砂和粘粒含量、有机质和养分含量、土壤含水量趋于下降,至严重沙漠化阶段(流动沙丘沙地)时,土壤粘粒含量一般不