

■ 陈建平 王功文 等著

北京荒漠化演化

模拟与评价

BEIJING HUANGMOHUA YANHUA
MONI YU PINGJIA



地质出版社

中国地质大学(北京)“211 工程”资助出版

北京荒漠化演化模拟与评价

陈建平 王功文 丁火平 著
厉 青 段怡春 冯 春

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书在探讨土地荒漠化研究的成因机制基础上,重点尝试用 3S(GIS、RS 和 GPS)集成技术等高新技术,准确、快速、经济地把握区域土地利用现状、土地利用变化与土地沙漠化变化相互关系,找出导致区域土地荒漠化等生态环境恶化的驱动因子,并在此基础上运用数学模型和地理元胞自动机(Cellular Automata)实现土地利用与土地荒漠化的动态模拟,进而预测研究区土地荒漠化变化的总体趋势。因此,本书的研究对指导北京及邻区的沙土防治,实现地区土地可持续利用及社会、经济、生态环境的可持续发展具有重要意义。

本书可供大专院校相关专业师生及相关领域的科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

北京荒漠化演化模拟与评价/陈建平等著. —北京:
地质出版社, 2004. 6

ISBN 7-116-04104-4

I. 北… II. 陈… III. 沙漠化—研究—北京市
IV. P942.107.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 051607 号

责任编辑:李凯明

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324576(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京中科印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm^{1/16}

印 张:6 图版:4 页

字 数:155 千字

印 数:1—700 册

版 次:2004 年 6 月北京第一版·第一次印刷

定 价:35.00 元

ISBN 7-116-04104-4/X·20

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社出版处负责调换)

序

北京的初春,扬沙飘尘似乎是人们见惯不惊的事了。不过,世纪之交在北京地区的几场强烈沙尘暴引起了市民的普遍关注。于是乎:这沙尘暴到底是怎么回事?沙尘暴会给北京的老百姓造成多大危害?北京地区的沙尘暴还会越演越烈吗?等等,诸如此类问题不仅成为公众讨论的热门话题,而且引起了政府部门和科技工作者的高度重视。在国土资源部科技与国际合作司的支持下,中国地质大学(北京)陈建平教授领导的课题组申请立项,力图通过系统、科学的研究揭示北京地区沙尘暴演化的根本原因。该项目的顺利实施以及所取得的可喜成果为本书的撰写出版奠定了坚实的基础。

从学术上讲,扬沙飘尘这一自然现象的长期发生将直接导致地表土地覆盖类型的变化,这种变化持续恶化的结果就是土地荒漠化。本书在介绍土地荒漠化研究的国内外现状与趋势基础上,提出了土地荒漠化演化机理,借助遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)等高新技术综合分析了土地荒漠化的各种控制因素,建立了荒漠化演化的理论模型,利用元胞自动机(CA模型)建立了定量预测模型并对北京地区土地荒漠化演化进行了预测评价,进而对北京地区土地荒漠化防治提出了相关建议。纵观本书,有以下几方面给我留下了深刻印象。

1) 作者在查阅大量文献和前人的研究成果基础上,系统论述了“土地荒漠化是一个地质事件”的观点。尽管前人也有类似的认识,但以系统、细致的研究工作证实并指导预测评价是本书的一个特色。可以肯定:土地荒漠化不仅在当今亚洲、非洲等地发生发展,在几十亿年的地质历史演化中也曾多次发生,并且中外学者已经从保存下来的痕迹中发现了这种自然现象。尽管对土地荒漠化的认识众说纷纭,譬如:土地荒漠化是人为造成的,土地荒漠化是第四纪以来形成的,等等,但学术上的“百花齐放、百家争鸣”,无疑有利于人类认识自然现象、掌握自然规律。

2) 用“大地学”的观点对“土地荒漠化”开展综合研究,这在以往的研究成果中尚未见到。“风”和“沙”构成了土地覆盖变化的最基本要素,“风”是产生动因,“沙”是物质基础。如果说通过气象学研究可以预报一次具体“扬沙飘尘”的

天气过程的话,那么通过地学综合研究这些过程长期积累在地表产物(地表沙粒)的分布规律就能够预测“土地荒漠化”的演化趋势。谈到“沙源”、“飘尘”问题,就要涉及地质、地貌、地形、地表水、地下水、土壤、植被,当然也要涉及人文因素,所有这些正是大地学综合研究的范畴。

3) 作者在荒漠化演化机理、综合分析和模型预测基础上,认为我国北方的土地荒漠化主峰位于河北康保至内蒙古多伦地区,土地荒漠化总体呈由西向东扩展的趋势,而北京及周边地区始终处于荒漠化边缘并受其影响。由于北京所处特殊的地质地理空间位置,使其发生大规模土地荒漠化的可能性及程度远低于北部周边地区,北京地区近年内不会有突发性流沙入侵和大规模土地荒漠化的危险。这些认识对于北京地区的环境保护、防沙治沙地学研究,乃至北京地区经济与社会的可持续发展均有重要的参考意义。

4) 以地学高新技术为依托,把定量分析与综合评价有机地结合成一个整体是本项研究的特色。谈到“土地荒漠化演化”就是一个动态的分析,不同时相的陆地卫星图像的遥感处理(RS)分析为研究提供了不同时刻地表的真实记录,而地理信息系统(GIS)又为各种信息的存储管理和综合分析提供了方便的平台,全球定位系统(GPS)使得野外实地观测与其他所有信息结合成一个完整的数据集,所有这些技术和信息的集成又为最终元胞自动推理机的定量预测提供了基础保证。如果说,21世纪的地学发展是不断地向“模型化”、“量化”和“可视化”方向发展的话,那么,这种方法学上的创新与发展,对于地学研究的其他领域都具有很好的借鉴意义。

给人印象很深的是:在这项成果评审验收时,有许多媒体和新闻单位都前来参加,相继在电视台、中央人民广播电台、各类报纸、多家网站予以报道,部分成果在国内外学术会议上的发言,也引起了同行的广泛关注与好评。

探索自然奥秘是科学研究的根本,地学研究需要不断开拓创新。愿有志在科学研究的荆棘丛中探索的拓荒者不断寻觅、不断思索、不断耕耘、不断收获。

值此书付梓之际,提笔写了几点为序,以示祝贺之忱!



2004年3月30日

前 言

随着世界经济、社会 and 科学技术的发展,地质学延拓为地球科学,不仅研究矿产资源的富集,也注重生态环境及气候变化、生命起源和演化等研究,受到了各国政府和社会各界更深层的关注。与此相应,地质调查和资源评价的内涵、方式、成果和服务对象也都发生了重大变化。人口、资源、环境作为社会与经济可持续发展的重大问题,已成为地学研究的前沿课题。沙漠化是当前世界上最重要的生态环境问题之一。全球 2/3(100 多个)国家和地区不同程度地受到沙漠化危害,9 亿多人口受到沙漠化影响;全球陆地面积的 1/4 受沙漠化威胁,尤其值得注意的是,全球沙漠化正以每年 $50000 \sim 70000 \text{ km}^2$ 的速度扩展;全球由于沙漠化造成的直接经济损失每年达 423 亿美元。联合国环境规划署宣称,若按目前趋势发展下去,不久将会引发全球性的大灾难。中国是世界上受沙漠化影响最为严重的国家之一,全国沙漠化土地面积达 161 万平方公里,占国土面积的 16%,而且自 20 世纪 90 年代以来仍以每年 2460 km^2 的速度扩展,由于沙漠化造成的直接经济损失每年达 45 亿元人民币,给国民经济和社会的可持续发展带来极大的不利。

在这种背景下,开展有关北京及邻区荒漠化演化研究更是显得意义重大。其一,首都北京无论作为对外的窗口,还是作为对内经济发展的辐射中心,在研究区域方面的优势十分明显。其二,在荒漠化演化的研究方面,该区域由于自身的生态脆弱性及人类活动的加剧(包括滥垦草原、过度放牧、乡镇企业占地、土壤污染、地下水超采、人口增长和城市扩张等),导致了该区域生态环境的恶化(包括河道断流、地面下沉、旱灾加剧、土地沙化、降尘增加及气温升高等严重的生态灾害),而区域生态环境的恶化又影响着该区域土地利用及人类的经济活动。近几年来,北京及邻区荒漠化(沙质荒漠化)现象日趋严重,如被称为天漠的地区在 20 世纪 70 年代还是一片绿洲,由于受土地利用不合理的影响,每年要降下数十万立方米的黄沙,形成近 1 km^2 的沙丘,而且,沙丘正以 10 m/a 的速度逼近北京。河北省丰宁县的荒漠化情况也相当严重,该县面积一半以上出现水土流失,13% 已变成沙漠,沙漠化每年正以 3.5 km 的速度接近北京。由于上述原因,北京 2000、2001 年春天受黄沙袭击的次数和规模都远超过 20 世纪 90 年代的总和。严峻的现实面前,我们不禁发问:

- ①荒漠化演化是否会影响北京举办 2008 年奥运会?
- ②未来 50 年内中国是否会因为自然原因而面临迁都?
- ③200 年内北京是否会变成第二个“楼兰古城”?

正因为如此,北京及邻区荒漠化的问题一直受到我国党和国家领导人的高度重视。2000 年 5 月,朱总理受江总书记的委托赴河北、内蒙古实地考察防沙、治沙,并指出:改善我国生态环境,特别是防沙治沙问题,迫在眉睫,今后要加大工作力度,提高防沙治沙的科技含量,提高防沙治沙的科技水平。李岚清副总理也召集有关部门负责同志和专家开会研究科

技防沙治沙问题。2001年7月,全国人大常委会委员长李鹏及副委员长邹家华、蒋正华出席了全国人大环境与资源保护汇报会。任阵海等六位环境保护专家做了有关空气质量、水污染、西部生态环境保护、“十五”环保目标及措施建议等方面的汇报。

土地利用的方式和程度是荒漠化发展或逆转的重要因素。人类经济活动强度的增加和范围的扩大,造成大面积土地利用方式的改变和地表植被覆盖的减少,使得以风沙活动为主导营力的荒漠化过程得以发展。本次研究的目的是针对经济可持续发展中的实际问题,运用先进技术开展的北京及邻区荒漠化演化的一项探索性研究。该项目旨在研究如何利用信息技术、3S集成技术等高新技术,准确、快速、经济地把握区域土地利用现状及土地利用变化与土地沙漠化变化相互关系,找出导致区域土地沙漠化等生态环境恶化的驱动因子,并在此基础上运用数学模型实现土地利用与土地沙漠化的动态模拟,进而预测土地沙漠化变化的总体趋势。因此,本研究对指导北京及邻区的沙土防治,实现地区土地可持续利用及社会、经济、生态环境的可持续发展具有十分重要的意义。

本研究自2000年进入资料研究新阶段,通过消化资料和反复论证,确定了实施的详细研究计划;2001年全面开展了野外和室内的各项研究工作;2002年12月,本研究工作完成。全书共分6章,各章编写的分工为:前言由陈建平、王功文编写;第一章由段怡春、王功文、郭福生编写;第二章由王功文、厉青、冯春、李斌编写;第三章由王功文、厉青编写;第四章由丁火平、王功文、厉青、郭福生编写;第五章由王功文、丁火平、陈建平编写;第六章由陈建平、王功文编写。最终稿由陈建平修改定稿。

通过本项研究,取得了以下主要成果:

1) 本项研究在探讨土地荒漠化演化成因机制的基础上,力求以“3S”(GIS、RS、GPS)技术集成与二次开发实现不同时相的遥感信息计算机自动提取。对研究区不同时期土地荒漠化程度做出了定量分析和评价,取得了满意的结果。通过多时相、多波段、多平台的遥感(RS)图像解译,结合地理信息系统技术(GIS)和全球定位系统技术(GPS),对研究区不同时期土地荒漠化程度做出了定量分析和评价,取得了满意的结果。研究结果表明:研究区从1987年到2000年土地荒漠化面积和程度都在逐步增加,研究区土地荒漠化仍在发展。土地荒漠化面积由1987年的 5200.968km^2 增加到1996年的 7340.543km^2 ,增加了 2139.575km^2 ,年递增率为3.28%;到2000年为 7933.225km^2 ,比1996年增加了 592.682km^2 ,年递增率为1.87%。重度土地荒漠化面积占研究区总面积的百分比由1987年的1.65%增加到1996年的2.24%,到2000年增加到2.9%。

2) 在研究方法上实现了研究区荒漠化多元信息的定量化分析,对所收集的研究区大量地质、遥感、地理、气象、水文、社会人文等多元综合信息,运用层次分析法、主成分分析法等多种数理统计分析方法实现了多元信息的定量化分析,确定了土地荒漠化的主要驱动因子,探讨了研究区土地荒漠化演化的综合机理及近期发展趋势。

3) 我们首次将元胞自动机CA(Cellular Automata)模型运用到研究区土地荒漠化动态分析与评价中,并在ARCVIEW和ARCINFO地理信息系统软件平台上,运用AML语言实现了土地荒漠化模拟系统(GeoCA-Desertification),并用此模型对该区土地荒漠化的演化趋势进行了分析和评价。

4) 在理论上,我们认为土地荒漠化是地球演化过程中的一个地质事件,是岩石圈与大气圈、生物圈和水圈强烈作用在地壳表层特殊(异常)的复杂的地质现象,即荒漠化是综合因

素的产物。这种演化具有长期性和周期性,既可以发生在人类历史时期,也可以发生在地质历史时期。本项研究通过多源信息的定量统计分析,提出了自然作用在荒漠化演化中占主导地位(详见第二章的权重分析),其中,气候变化是荒漠化演化的关键因素,地质作用控制的水文条件、地表风化作用和地形地貌是控制大规模荒漠化演化分布的重要因素,而人类活动只是有限加速或缓解荒漠化演化的局部因素,但其在荒漠化与生物圈的相互作用中占据重要地位。

在此,特别感谢孔德坊教授对本书的出版及成果所付出的辛勤劳动!在本项研究初期的研究思路、研究内容以及技术方法等方面,给予了大量指导和帮助。在书稿最后成文时,又在百忙中抽出时间认真审阅全书,提出多方面的宝贵意见并对书稿进行了详细的修改。学术前辈的渊博学识,以及严谨治学和敬业精神永远是我们学习的楷模。

在本文的研究过程中,得到中国地质大学校长赵鹏大院士,以及中国地质大学(北京)叶荣副教授、肖荣阁教授、罗照华教授、张长厚副教授、彭润民副教授的支持与帮助。同时,国土资源部科技与国际合作司黄宗理司长、崔岩副司长、高萍处长、白星碧处长,以及中国地质大学(北京)的有关领导和科技与外事处、地球科学与资源学院、国土资源与高新技术研究中心等相关部门,北京市重点实验室——国土资源信息研究开发实验室,国土资源部非传统矿产资源开放研究实验室,国家气象总局,中国地质调查局遥感中心,中国科学院遥感技术应用研究所等单位及专家为本项研究的实施提供了方便和帮助,在此一并表示衷心的感谢!

本书的出版,得到中国地质大学(北京)“211 工程”二期建设项目的资助。

陈建平
2003 年 11 月

目 录

序

前 言

第一章 荒漠化研究的国内外现状与趋势	(1)
第一节 全球土地荒漠化理论问题	(1)
第二节 国内土地荒漠化类型划分研究现状	(7)
第三节 荒漠化土地类型划分的原则及分类系统	(8)
第四节 我国土地荒漠化类型及分布特征	(8)
第二章 土地荒漠化演化综合机理分析	(12)
第一节 荒漠化演化机制分析	(13)
第二节 地质背景与地形地貌因素分析	(15)
第三节 土壤因素分析	(19)
第四节 气象与水文因素分析	(27)
第五节 人文因素分析	(33)
第六节 土地荒漠化的时间特征	(35)
第三章 土地荒漠化信息的遥感解译分析与评价	(39)
第一节 卫星遥感技术在土地荒漠化研究中的优势	(41)
第二节 工作方法与流程	(42)
第三节 土地荒漠化影像解译标志研究	(43)
第四节 研究区土地荒漠化程度遥感分析与评价	(48)
第五节 研究区地貌景观与荒漠化图像特征分析	(49)
第六节 典型地区——多伦地区土地荒漠化影像分析	(50)
第四章 基于 GIS 和元胞自动机的荒漠化动态分析与模拟模型	(52)
第一节 元胞自动机 (CA) 理论基础	(52)
第二节 CA 与 GIS 的集成用于时空动态建模分析	(56)
第三节 GeoCA-Desertification 模型表述	(57)
第四节 CA 模型在地理学中应用的不足与局限性	(59)
第五节 CA 模型在地理学中应用的可行性和合理性	(60)
第六节 模型构建与实现	(62)
第七节 小结	(69)
第五章 土地荒漠化动态模拟与预测分析	(71)
第一节 数据准备和预处理	(71)
第二节 模型参数的确定与调整	(76)
第三节 模型运行与结果分析	(76)
第六章 结论与建议	(77)
一、结论	(79)
二、研究中存在的问题	(80)
三、土地荒漠化防治建议	(81)
参考文献	(83)
彩 图	(86)

第一章 荒漠化研究的 国内外现状与趋势

荒漠化(desertification)作为一个全球性的生态环境问题,越来越受到国际社会的广泛关注。荒漠化(desertification)一词最早是在1949年由法国学者A. Aubreville(Pickup, 1989)提出。国际上荒漠化评价指标研究始于20世纪70年代。1977年在肯尼亚内罗比召开的联合国防治荒漠化大会(UNCOD)以后,荒漠化研究逐渐成为国际学术界的热点。20世纪80年代初,联合国环境规划署(UNEP)及国际粮农组织(FAO)等在《荒漠化评价和制图方案》中提出了荒漠化现状、评价、危险性的具体定量标准及荒漠化发展程度等级。1992年联合国环境与发展大会发布了《21世纪议程》,其中第十二章是:维护脆弱的生态——与荒漠化和干旱作斗争。根据联合国大会精神,由各国政府组成谈判委员会起草了《国际防治荒漠化公约》(以下简称《公约》),并于1994年在巴黎正式签字生效;至此,防治荒漠化成为全世界的一致行动。1993~1994年,国际防治荒漠化公约政府间谈判委员会(INCD)经多次反复讨论,最后在《防治荒漠化公约》上确定的定义为:“荒漠化是指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的土地退化。”此公约明确了干旱、半干旱和亚湿润干旱区的范围及“土地”和“土地退化”的定义。干旱、半干旱和亚湿润干旱地区是指年降水量与潜在蒸发量之比在0.05~0.65的地区,但不包括极区和副极区。“土地”是指具有陆地生物生产力的系统,由土壤、植被、其他生物区系及该系统中发挥作用的生态和水文过程组成。“土地退化”是指由于使用土地或由于一种营力或数种营力结合致使干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的雨养地、水浇地或草原、牧场、森林和林地的生物或经济生产力和复杂性下降或丧失,其中包括:①风蚀和水蚀致使土壤物质流失;②土壤的物理、化学和生物特性或经济性退化;③自然植被长期丧失。

第一节 全球土地荒漠化理论问题

荒漠化概念的发展反映了国际社会与学术界对这一事物的高度关注与认识上的不断深化。概而言之,荒漠化主要表现为土地生物资源潜力的退化和生态系统的恶化;它既是一种自然科学现象,也是一个社会科学问题;既受自然条件制约,也因人类活动而改变。如何更全面地反映荒漠化概念的合理内涵与科学本质,仍待研讨。

一、荒漠化成因

荒漠化成因既是相关研究的核心所在,也是其中最令人困惑的难题。一方面,任何一项

治沙行动都必须以查明该地区荒漠化发生、发展的具体成因为科学依据,而另一方面,目前对于荒漠化成因的研究却依然众说纷纭,影响了相关研究的深入。其中争论的焦点之一是荒漠化过程究竟有多少是由自然因素所致,多少则是人类活动所为。

一些学者(朱震达等,1989,1992;侯仁之,1973;孙继敏等,1998)以荒漠化只发生在人类历史时期为前提,强调荒漠化的成因是以人类活动为主要因素,人是荒漠化的导致者。例如据史籍记载,毛乌素在十六国至南北朝时期还是一片“水草丰美,景物宜人”“青山绿水”的好地方(侯仁之,1973;朱震达等,1992;孙继敏等,1998;Dregne,1984;史念海,1980),流沙主要是唐代以后大规模开垦等人为活动影响逐渐发展起来的。

荒漠化并不是人类活动的唯一和必然结果。在地质历史时期,荒漠化和沙漠的变迁是一种“纯”自然的过程,即气候-地貌过程;在人类历史时期,自然环境条件的变化仍居首位,即气候变化导致的旷日持久的干旱是荒漠化的主导因素。中国已报道的古代风成沙丘最早见于侏罗系(任明达等,1981),而下白垩统风成砂岩则广泛分布于塔里木盆地西南、鄂尔多斯盆地、甘肃靖远等地(陈荣林等,1994;李孝泽等,1999;佟再三,1989)。可见,中国的沙漠形成和演化,从中生代中期就开始了。上述三地的沙丘岩在层理构造、粒度分布和砂粒表面显微特征等方面表现出惊人的相似性,并与现代内陆沙丘沙特征基本一致。鄂尔多斯志丹群沙丘岩发育大型交错层理,以细砂组分为主,砂粒磨圆度高,分选性好,与现代毛乌素沙漠砂主要特征一致。砂粒表面常见风沙撞击坑,普遍发育褐红色氧化铁被膜。

董光荣等(1992)对鄂尔多斯地区及毛乌素沙地进行第四纪地质调查时,发现数层第四纪古风成沙与黄土及古土壤构成互层沉积系列,其分布范围在鄂尔多斯南缘和东缘均已超出现今沙漠的范围。他认为,鄂尔多斯地区毛乌素荒漠化在有史记载以前第四纪时期就已断续存在,用人为因素难以解释。毛乌素沙漠几经扩张与退缩、活化与固定的正、逆变迁过程,而人类历史时期以来出现的荒漠化,只是沙漠长期演变过程中新近经历的一个发展阶段。

董光荣等(1998)从第四纪不同时间尺度上提出中国北方荒漠化的成因观点:①更新世时期万年以上尺度荒漠化正逆过程的主要原因是地球轨道要素控制的全球气候变化;②全新世时期千年和百年尺度荒漠化正逆过程主要受到气候干湿波动主宰,人类活动在气候变化基础上起着一定的加速、加剧作用;③现代时期数十年至数年尺度的荒漠化正逆过程,则是在脆弱的生态系统与气候干湿波动、人类活动与气候变化、人类活动与荒漠化土地之间复杂的相互反馈作用下形成的。

笔者认为,无论是从地质还是人类时间尺度看,导致荒漠化发生与发展的基本条件:一是气候背景,即干旱气候条件;二是物质基础,即丰富的沙源。理由如下:

1)世界沙漠主要分布在亚热带至温带的干旱、半干旱地区。它们集中分布在北非、亚洲中部、北美中西部、西南非、澳大利亚和南美西南部等6个大区域,分别构成南北两半球的两条近纬向沙漠带。这两条沙漠带或位于南、北纬 $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$ 之间的亚热带干燥气候带,或位于温带内陆地区,如中亚、中国西北和美国西部等。这些地区干旱的原因一般有几方面(Thomas,1997):①在副热带高压下沉气流或大陆气团的控制之下,少雨、炎热、干燥;②深居大陆中心,海洋潮湿气流难以抵达;③因高山屏障,受不到海洋潮湿气流的影响;④大洋寒流作用下的海面低蒸发,导致部分地区少雨。可见气候的作用是不可或缺的。

2)气候干旱虽是沙漠形成的必要条件,但干旱气候区不一定都会有沙漠,形成沙漠还

要有丰富的沙物质来源。中国塔克拉玛干沙漠的形成,普遍认为是第三纪末和第四纪初青藏高原隆升,昆仑山和天山强烈隆起,形成了目前的塔里木盆地格局;同时第四纪冰期,山地冰川发育,冰水汇集众多河流,将大量山地风化剥蚀碎屑搬运到盆地堆积,形成广大的洪积扇和冲积平原。正是这些疏松的砂砾碎屑沉积,为沙漠的形成与发展提供了丰富的沙源。在干旱气候条件的耦合作用下,经风蚀及其他自然风化作用、搬运、堆积,形成了大小各异的沙丘,并最终形成了沙漠。

具备上述基本条件后,在荒漠化的具体发展过程中还会参与诸多复杂因素的约束,其中不应排除人类活动的作用。实际上包括人类活动在内的这些因素的影响,也就是地球表层各圈层耦合过程的反映。因此,考虑荒漠化的成因,不能不进一步考虑这些圈层的各自影响和综合效应。

二、地表圈层对荒漠化的影响

地表圈层对荒漠化的影响是极为复杂的动力学过程,相互作用,相互制约,互为因果。但各圈层又具有相对的独立性,对荒漠化的影响各具特点。

1. 大气圈与荒漠化

气候的干湿变化是控制荒漠化正逆过程的首要因素。持续干旱是荒漠化正过程的必要气候背景。按照地球系统科学观点,可以将气候对荒漠化的影响分为千-万年尺度和十-百年尺度的两类过程来讨论。

数千年至数万年时间尺度的古气候重建主要通过树木年轮、冰心、黄土、湖泊沉积、古植被、孢粉、深海沉积岩心、珊瑚、古土壤、历史记载等进行(张志强等,1999),这为研究地质时期以来荒漠化的演变提供了气候背景证据。高尚玉等(2000)运用地层年代学、沉积相、古气候等分析研究了我国季风区西北边缘末次冰期和全新世时期的沙漠演化过程。认为末次冰期该地区以万年尺度的冷干期为主,沙漠得以持续发展和快速扩张,沙漠范围达到晚近地质时期的最大规模。此时期我国的沙漠发展与全球沙漠扩张大体同步。全新世作为万年尺度的暖湿期,沙丘固定,沙漠规模缩小,区内各沙漠经历了不同程度的草原逆转过程。全新世晚期至现代,沙区规模虽有扩大,但范围仍不及末次冰期之大,尽管该时期人类活动加速了荒漠化进程。

对于数十至数百年尺度的全球气候变化的研究更为深入。温室气体(GHGs)的增加导致全球气候变暖已是无可否认的事实,研究结果表明(Piltz, 1998; Unep, 2000), 19 世纪末以来的 0.1ka 中,全球平均气温上升了 $0.3 \sim 0.6^{\circ}\text{C}$, 由同期全球升温引起的全球海平面上升为 $10 \sim 25\text{cm}$ 。预计到 2100 年,全球气温将上升 $1 \sim 3.5^{\circ}\text{C}$, 平均气温增加 2°C 。这将是过去 10ka 以来最暖时期。届时海平面将上升 $15 \sim 95\text{cm}$, 平均上升 50cm 。气候变暖意味着全球气候系统发生重大调整,降水与蒸发随之改变,从而影响荒漠化的正逆演化过程与速率。慈龙骏用 GCM 模型及 Thornthwaite 计算方法预测了中国到 2030 年干旱区面积扩大的趋势。如果大气中 CO_2 含量倍增,气温上升 1.5°C , 干旱区总面积将增加 $18.8 \times 10^4\text{km}^2$, 平均每年递增 2200km^2 。这无疑将加剧荒漠化进程。

荒漠化的加剧反过来又会影响气候变化(Unccd, 2000)。因为荒漠化地区的湿度小,很少的水分可供太阳能蒸发,多余的太阳能只有通过加热地表和低层大气达到辐射平衡。与此同时,荒漠化地区大气中的浮尘及扬沙吸收太阳能或反射太阳能,使得大气层垂向温差减

小,导致降雨减少而进一步加剧干旱的趋势。这表明荒漠化过程中地表与气候系统之间存在着双向耦合的关系,气候的变化与沙漠的进退在一定程度上是互相制约的。

近 20 余年来,厄尔尼诺与南方涛动(ENSO)事件成为全球变化研究的重点之一。ENSO事件是年际尺度气候变化/波动的重要现象,它与东太平洋赤道附近的海水温度升降有关。当 ENSO 发生时,整个赤道太平洋的大气状况都发生改变,进而影响正常的大气环流状况而改变气候格局。ENSO 事件在 20 世纪 80 年代及 90 年代早期尤为频繁,且伴随而来的是南部非洲大面积的干旱(Middleton, 1986)。叶笃正等(2000)认为 2000 年我国华北沙尘天气剧增是因为处于反厄尔尼诺事件(也称拉尼娜事件)的高峰期所致。在反厄尔尼诺事件的发生年,东亚冬季风加强,大风日数增多,导致了沙尘天气频发。

2. 生物圈与荒漠化

荒漠化的表现之一是生物资源的退化和破坏。因此许多人在对荒漠化进行评价时,将生物变化特征作为评价指标体系中的重要内容(王涛等, 2001),主要包括植被覆盖率、生物生产量、关键植物种的分布、土地利用状况、农作物产量、牲畜种类与产量以及人类各种经济活动的投入等。其中植被覆盖率是荒漠化评价最直接的生物表征,人类活动则是现代荒漠化的主导因素之一。

植被对荒漠化的影响具有直接与间接两方面。其直接作用是防风固沙,遏制沙漠的扩展;其间接影响是通过气候-植被相互作用,实现对气候干湿变化的调节。植物在进行光合作用时可消耗大量的 CO_2 ,这无疑对缓解温室效应,减缓全球气候变暖速率具有重要意义。从某种程度上讲,荒漠化的生物学过程主要是植被的退化演替过程,而植被演化阶段往往与荒漠化程度互为前提(吴薇, 1997),故植被的退化既是荒漠化的原因又是荒漠化的后果。

人类活动会影响荒漠化的这一认识,主要基于人类在土地利用过程中对土地覆盖的改变及对植被破坏的事实。人类不合理利用土地主要表现为过度开垦、过度放牧、过度砍伐和滥用水资源(Middleton, 1986)。地面研究及卫星数据资料表明,人类活动已经改变了几乎所有的地球表面景观,包括植被、生物多样性,直至整个生态系统。自约 8ka 以前出现农业活动以来,地表被开垦用于农业生产的面积一直在扩大。世界森林和林地面积为此减少了 1/3 以上。中国在远古时代,森林覆盖率曾达 49%,到 20 世纪 80 年代初,因过量砍伐而降至 12% 以下,损失森林达 3/4(毛永文, 1993)。森林急剧减少的结果同时造成了土地退化和气候系统失衡,从而加剧了现代荒漠化的发展趋势。

大气圈与生物圈之间的相互作用还可能对荒漠化产生间接的影响。如气候变暖会导致生物的迁移,改变生态结构和生物多样性,而人类活动特别是工业化以来的人类活动,则已经成为影响气候变化的重要因素。因此,大气圈-生物圈-人类活动相互作用对荒漠化过程的影响机理及其具体特征和规律究竟如何,仍然是一个值得深入探索的重大课题。

3. 岩石圈与荒漠化

岩石圈对荒漠化的影响最突出地表现在地壳运动对沙漠及荒漠化发生发展演化格局的控制。构造运动塑造了沙漠盆地的宏观格局,包括形态、走向和规模。地壳的升降控制着沙漠形成过程中的剥蚀、搬运与沉积作用,决定着沙漠内部河流水系、冲积平原或洪积扇等地貌景观。从这一意义上讲,构造运动对沙漠形成具有奠基性作用。

Rendell(1997)把世界上的沙漠划分五种构造类型:克拉通型、活动大陆边缘及新生代造山带型、古老造山带型、克拉通之间或造山带之间型、被动大陆边缘型。如澳大利亚沙漠

属克拉通型,而中国的几大沙漠主要是古老造山带型。

地壳运动不仅直接控制沙漠的分布演化,还通过影响气候系统而间接地影响荒漠化进程。青藏高原的隆升对东亚乃至世界的气候格局带来重大影响(施雅风等,1998)。刘晓东认为新生代以来中亚和北非之所以都经历了长期的干旱化过程,主要是由于青藏高原隆升造成的,特别是高原隆升的晚期,地形的差异增加导致干旱化程度明显加剧。我国塔克拉玛干沙漠正是在青藏高原隆升的构造背景下,受构造-气候系统的耦合作用发育形成的一个典型范例(吴正,1997)。

岩石圈对荒漠化的作用不只是表现在地质历史时期的沙漠形成演化过程中,现代地壳活动对荒漠化的影响仍然存在。这是因为地球作为一个开放的自组织系统,各个圈层自身运动变化的同时,彼此发生物质与能量的交流(高庆华等,2001),而且这种相互作用从未间断过。马宗晋在研究地震与干旱定向迁移现象的相似关系及其机制时指出:发生在大气圈的现象和发生在岩石圈的现象并不是彼此无关的,两类现象存在共同的动力源。他认为这种动力源来源于地球深部热流体,热流体上涌使地温升高,进而影响大气环流异常,影响气候导致一些地区干旱。与之类似,汤懋苍也认为短期气候变化的根本原因在地球的固体部分,地壳上升中心区是地热流的密集区,气候变化与地壳内部物质运动和变化有关。这说明岩石圈在全球变化和荒漠化过程中可能具有根本性的作用与意义。

4. 水圈与荒漠化

在地球各圈层的影响中,水圈对生态系统的影响是最直接的(卢耀如,1999)。陆表水持续亏损是造成荒漠化的根本原因之一。在干旱、半干旱地区,陆表水资源主要由地下水和地表水组成,其中地下水对荒漠化的进程具有更加重要的控制作用。

水的影响首先表现为潜水面对风蚀作用的制约。Nash(1997)在研究地下水与风沙作用过程时指出,由于孔隙水的表面张力作用,靠近潜水面附近的湿润沙粒黏合力增大,不易被风力吹移。贺大良等(1988)所作的风洞试验也表明,只有在沙的含水率小于1%时,沙粒才能起动。而在这种情况下,风总是先吹干地面,再将沙粒吹离地面产生迁移。另外,较高的潜水面在强蒸发作用下,有助于胶结物聚集形成胶结硬化层,抵御风蚀作用。因此,潜水面也是沙漠区的风蚀基准面。

潜水位埋深对植物生长的影响(崔亚莉等,2001),也会进而影响荒漠化进程。不同植物种群对土壤含水率的要求各异,草本植物一般要求土壤含水率在8%以上,而沙生植物对土壤含水率只要求在3%以上。在我国西北地区,当土壤含水率 $<7\%$ 时,天然植被开始退化,土地开始沙化;当土壤含水率 $<5\%$ 时,植被退化,土地沙化明显;当土壤含水率 $<3\%$ 时,基本无植被生长,土地严重沙化。另一方面,植物需要有适宜其自身生长的地下水位,其最低水位称为凋萎水位。一般沙生植物的适生水位深度为1~5m。一旦地下水位下降到低于凋萎水位,植物即发生枯死,这是土地荒漠化的主要原因之一。如塔里木河流域由于上游灌区引水量大幅度增加,下游沿岸地下水位下降,由20世纪50年代的3m下降为8~12m,下游胡杨林带大面积枯死,生态环境急剧恶化,荒漠化以每年0.25%的速度扩展至今。

5. 荒漠化灾害事件——沙尘暴

沙尘暴是一种与荒漠化密切相关的沙尘天气类型。我国《气象观测规范》将沙尘天气分为三类:浮尘、扬沙、沙尘暴。浮尘是指悬浮在大气中的沙尘粒子,使水平能见度小于10km;扬尘是由于风力将地面沙尘吹起,使空气相当混浊,水平能见度在1~10km;沙尘暴则指强

风将地面沙尘卷起,空气特别混浊,水平能见度小于 1km。

沙尘主要是来源于干旱、半干旱地区沙漠沉积中的微小颗粒,或飘浮在空中或沉降于地表(Pewe, 1981; Prospero, 1981)。Bagnold(1941)认为沙尘粒径一般小于 0.08mm,传输距离在数公里至 100km 的沙尘粒径则小于 0.02mm,而 Jackson 等人认为在 0.002~0.01mm,这种沙尘能在对流层中以气溶胶状态悬浮数天甚至一周以上。叶笃正等认为中国北方沙尘颗粒粒径多在 0.063~0.002mm 之间。沙尘粒径与风力性质有关。有趣的是,许多学者发现了大粒径沙尘远距离传输的事例。如 Betzer 等在夏威夷 Oahu 岛收集到大量粒径大于 0.075mm 的石英沙尘,这些沙尘源自于 10000km 以外的中国塔克拉玛干沙尘暴。这种大粒径沙尘长距离传输,飞越大洋的现象很难用现有的大气传输动力学理论解释,其原因至今还是个未解之谜。

地面沙尘的起动取决于风、土壤或沉积物性质以及地表障碍等要素。土壤的泥沙比、湿度、沉积物的压实程度以及表面板结程度均影响沙尘的起动。最有利于起尘的地表层当然是荒芜、松散、沙多泥少的沉积层。从地貌单元来看,洪积平原、干河谷、干盐湖、活动沙丘、黄土等地带往往是沙尘的重要源区。Goudie(1983)长期观察研究发现在一些地区降水量与沙尘暴之间有一定的对应关系,年平均降水量在 100~200mm 的地区沙尘暴发生的频率明显偏高,而年均降水量小于 100mm 的地区沙尘暴发生频率反而减少,可能是降水太少不利于水蚀风化作用及沙尘的形成。这一现象还需深入研究。

对沙尘传输的研究手段比较多。卫星图像分析是最直观清晰的方法,中国自 1993 年开始使用气象卫星云图监测沙尘暴。此外还有气象雷达、矿物学成分分析、同位素分析、沙尘显微结构分析等研究手段。沙尘传输距离受多种因素影响,主要包括风速和涡流,尘粒性质及沉降速率。对不同地区的大气混浊度进行监测可以研究沙尘传输过程,在强沙尘暴时,空气沙尘含量(浓度)可从 $100 \sim 100000 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (Middleton, 1986) (空气质量预报称之为污染指数)。1992 年韩国学者监测结果表明,从中国吹到韩国的沙尘造成浮尘天气,其浮尘浓度达 $1105 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$,空气被严重污染。因此,通过建立沙尘监测网以研究沙尘传输路径与传输沉降机理,有利于掌握沙尘天气发生、发展、衰减、消亡的动态演变全过程。

(1) 沙尘暴源区及沙尘物质源地的界定

沙尘暴的形成必须满足地表疏松细粒物质和风力搬运的动力这两个条件。当动力条件满足时,沙尘暴的发生发展就随不同的地表条件而定,有植被保护的地表和未耕作的耕地抗风蚀力强,难以成为沙尘暴物质源地,而无植被覆盖或植被覆盖度低的裸露疏松细粒物质的地表都可以是潜在的沙尘暴物质源地。西北地区的几大山系由于气候较湿,植被覆盖好,土壤风蚀小,为非沙尘源区,除此以外的其他地区由于气候干旱、植被稀疏都有可能为沙尘暴源区,存在大量沙尘暴物质源地。

(2) 在沙尘暴源区内沙尘暴物质源地判定的依据

在土地资源类型中,裸岩、水体和建设用地都不具备提供细粒物质的条件,构不成沙尘暴物质源地。林地和中高覆盖度草地由于植被覆盖度高,地表物质在植被保护下难以被风蚀,也不具备构成沙尘暴物质源地的条件。耕地由于地表植被覆盖率在年内变化与农事活动有极高的一致性,耕地是否是沙尘暴物质源地是由种植制度和农事活动特点决定的,每年的 11 月至第二年的 3 月为休耕期,降水少,耕作后的土壤破坏了地表植被和土壤持结力,抗风蚀力弱,成为强沙尘暴物质源地。据风洞实验研究翻耕与未翻耕土壤风蚀量在 7~12 级

风力之间相差 13.8 倍(董光荣等,1992)。从 4 月初至 5 月底,为旱地作物播种及发芽出苗期,虽植被覆盖度低,但由于灌溉土壤含水量高土壤抗风蚀力较强,为弱沙尘暴物质源地;从 5 月初至 10 月底,作物生长旺盛期,降水丰富,地表覆盖率高,此期间耕地属于非沙尘暴物质源地。干旱区的低覆盖度草地由于植被稀疏难以对地表土壤进行有效保护和阻止土壤细颗粒物被风蚀,属于弱沙尘暴物质源地。戈壁由于砾石间夹有细粒沙土,也属于弱沙尘暴物质源地。

(3) 沙尘物质源地专题信息的提取方法

本研究基于遥感与地理信息系统技术结合,利用在全数字方式下建立的 2000 年土地利用现状空间数据库和地理环境背景数据库,主要采用知识挖掘的方法经过以下技术路线提取沙尘暴物质源地的专题信息。

1) 确定沙尘暴源区:有可能为沙尘暴提供物质的地表必须满足地表具有细粒沙土和土壤质地疏松且黏结力小而无植被保护两个条件。西北地区能够产生细粒物质的土壤质地有黏质、壤质、砂质及砾质,而半干旱、干旱及极干旱区的这种性质的土壤由于含水量低,质地疏松,植被稀疏又难以保护地表免受风蚀。因此,从地理环境背景数据库中从以干燥度为指标的湿润度层面提取半干旱、干旱和极干旱气候区,即是沙尘暴源区。

2) 沙尘暴物质源地:将沙尘暴源区范围层面与土地利用现状层面叠加,提取能提供沙尘暴物质的土地利用类型,即可获取沙尘物质源地分布的专题信息。

综上所述,我们可以看到:一方面,沙漠系统类似一个生命非线性动力系统,它有自身的演化规律,能对外界环境的激励与扰动产生反响和适应。另一方面,从全球变化的角度看,荒漠化的发生与发展受控于地球表层系统各圈层之间复杂的相关与耦合作用。如果分开来看,可以认为气候变化是控制荒漠化进退的首要因素,陆表水持续亏损则是导致干旱、半干旱地区荒漠化发展的直接原因。岩石圈构造运动塑造了不同的地形地貌单元,也就奠定了荒漠化演化的地理格局。而由于人类的不当活动引起的土地覆盖的破坏及生物生产力的衰退则加速了现代荒漠化的进程。

应该看到,荒漠化研究历史毕竟不长,许多问题尚有待深入探索。缘于国际社会的关注,近年来,荒漠化的研究进展不仅体现在对实际资料的搜集和分析上,更表现为科学观念的深化和变革、研究焦点的延拓和迁移。如从荒漠化定义的单一内涵,到荒漠化的多成因学说;从荒漠化的孤立发展,到相关地质背景和生态环境的协同变迁;从偶然、个别的灾变事件到地球系统、特别是地球表层系统的必然和整体演化;从各系统相对独立的作用过程到地球各圈层之间的耦合与反馈;从荒漠化直接诱因的讨论到荒漠化复杂系统动力学过程的探索;从荒漠化的静态分析与评价,到荒漠化的动态预测和工程防治等。这种趋势使荒漠化问题的研究深度和广度随之扩展,使一揽子解决问题的设想变得更为复杂和困难。故迄今为止,相应探索仍方兴未艾,使之成为地学中又一个生机盎然且富于挑战的领域。

第二节 国内土地荒漠化类型划分研究现状

根据目前国内外的研究,荒漠化类型划分有多种方法。其中,联合国环境规划署公布的全球荒漠化土地是以土地利用类型为主划分土地荒漠化类型的。关于我国土地荒漠化类型

的划分,朱震达等(1989)曾对北方地区的土地荒漠化进行探索和论述,关于南方土地荒漠化类型,李斌、罗德富等(1989)作过初步探讨;刘玉平(1998)认为按照土地利用类型来划分较为可行,边界较易确定,有利于遥感判读,并将土地荒漠化划分为草场荒漠化、灌溉耕地荒漠化、雨养耕地荒漠化,同时以营力过程为依据将荒漠化划分为风蚀荒漠化、水蚀荒漠化、植被退化、盐渍化等。董光荣等以风成地表形态结合植被、土壤等环境要素的变化为指征,将青海省共和盆地土地荒漠化按发展程度划分为四类:① 潜在荒漠化土地;② 正在发展中的荒漠化土地;③ 强烈发展中荒漠化土地;④ 严重荒漠化土地。朱震达先生在《中国土地退化(荒漠化)防治国家行为方案预研究》中,以营力为主,将土地荒漠化划分为风力作用下的荒漠化、流水作用下的荒漠化以及物理化学作用下的荒漠化,同时又单独划分出工矿型荒漠化,此外根据地表物质还划分出沙质荒漠化和石质荒漠化。目前,我国尚无一个大家所公认的土地荒漠化分类系统。

第三节 荒漠化土地类型划分的原则及分类系统

据《21 世纪议程》和《荒漠化防治国际公约》的定义“荒漠化是由于气候变异和人类活动在内的种种因素综合作用而导致干旱、半干旱和具有干旱灾害的半湿润地区的土地退化。”1994 年 3 月 7~9 日,亚太经社会 and 联合国环境署在曼谷召开的荒漠化防治国际公约亚太区域执行附件讨论会上重申了 1992 年 11 月在德黑兰亚太经社会荒漠化防治网络会上提出的观点,荒漠化还应包括“湿润半湿润地区由于人为活动引起的环境向着类似荒漠景观的变化过程”(ESCAP/UNEP, 1994)。朱震达等(1992)结合我国和亚太地区的实际情况,给土地荒漠化的定义为:“土地荒漠化是由于人类不合理的经济活动和脆弱生态环境相互作用而造成的土地生产力下降直至土地资源丧失,地表呈现类似荒漠化景观的土地资源衰退演变过程”。从上述各家给荒漠化所赋予的定义可以看出,不论国际或国内的专家,对荒漠化所作出的定义,都包含了三个部分:① 提出荒漠化发生的环境背景,即干旱、半干旱和具有干旱灾害的半湿润地区以及生态环境脆弱带;② 土地荒漠化的发生是由于外部因素对土地产生的作用,即气候变异和不合理的经济活动;③ 土地本身的蜕变,即土地退化。土地荒漠化类型的划分应该根据上述的含义,对荒漠化的土地进行客观的、科学的分类,使其能反映出土地荒漠化发生、发展及时空分布的规律,为荒漠化土地的治理提供科学依据。

从系统论的观点分析,荒漠化按其规模可划分为:大尺度、中尺度和小尺度三种类型。大尺度具有全球性特征,如北半球中纬度带荒漠化;中尺度以区域性为特征,面积约在 10000km² 以上。小尺度以局部荒漠化为特征,面积约在 100km²。本研究区位于东经 113.5°~117°和北纬 39.5°~42°之间,总面积约为 76225km²,位于北半球中纬度大尺度荒漠化南部边缘带、脆弱带,隶属中尺度荒漠化研究范畴。

第四节 我国土地荒漠化类型及分布特征

我国土地辽阔,生态环境类型及人类社会经济活动地域差异明显,土壤侵蚀作为全球和