

沙漠化研究进展*

王 涛

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所 兰州 730000)

摘要 沙漠化(Aeolian desertification)是干旱、半干旱及部分半湿润地区由于人地关系不相协调所造成的以风沙活动为主要标志的土地退化。沙漠化科学是将风沙活动为主导灾害现象的区域作为完整的生态-环境-社会-经济综合体,开展沙漠化过程及其防治研究的科学。本文介绍了国内外沙漠化研究的进展,结合我国在该领域存在的问题,提出了近期沙漠化科学研究的主导学术思路、研究方法和研究重点,以更好地服务于西部大开发战略的进一步实施过程中对北方沙漠化防治、区域社会经济和谐发展和生态环境的修复。

关键词 中国北方,沙漠化,物理与生物过程,防治



王涛研究员

沙漠化是干旱、半干旱及部分半湿润地区由于人地关系不相协调所造成的以风沙活动为主要标志的土地退化,是荒漠化的主要类型之一,在全球干旱和半

干旱区造成土地资源丧失和生存环境恶化,引发社会-经济问题和一些国家的社会动荡与政局不稳。因此,联合国 A/RES/58/211 决议,将 2006 年定为“国际荒漠与荒漠化年(International Year of Deserts and Desertification, 2006)”,这是继 1977 年联合国荒漠化大会(UNICD)和 1994 年联合国防治荒漠化公约(UNCCD)签署以来,国际社会

再次提醒全世界荒漠化问题的重要性和紧迫性。我国是世界上受沙漠化影响最严重的国家之一。

1 国际沙漠化的研究进展

与沙漠化有关的研究最早始于 20 世纪 30 年代的美国,由于对中西部地区大规模的农业开发,引发强烈的土壤风蚀,一些学者开始了土壤风蚀的系统研究,带动了沙漠化过程之风沙动力学的发展。前苏联 20 世纪 30 年代围绕铁路沿线的风沙危害开展了相关研究,创造了工程与生物的防治方法,并在哈萨克斯坦新垦区推行农田防风沙的林带(网)。1949 年,法国植物学家 A. Aubreville 在研究了非洲 Sahel 地区环境从热带雨林演变为沙漠的过程中,第一次使用了“Desertification”一词。60 年代末到 70 年代初,非洲“Sahel”地区沙漠化迅速发展,导致环境恶化、经济停滞、政局动荡,灾难和生态难民问题严重,引起国际社会的广泛关

* 收稿日期:2009 年 2 月 27 日

注,联合国于1975年通过了“向沙漠化进行斗争行动计划(第3337号决议)”,1977年,联合国荒漠化大会后,各国相继开展了沙漠化的专门研究,沙漠化也逐渐成为一门独立的学科,其主要的研究内容包括沙漠化环境背景、沙漠化物理过程(风沙物理学)和生物过程(生物学)、动态监测与评估、沙漠化防治等方面。

沙漠化环境背景研究的热点集中在对沙漠化地区环境形成演化及对沙漠化过程作用的探讨上。欧美科学家率先观测并模拟了非洲 Sahel 地区沙漠化土地随着年际间降水变化的扩张和收缩,初步阐明了气候波动对研究区沙漠化形成和发展的影响。已发现了典型地区千年、百年甚至十年尺度气候变化,尤其中纬度干旱、半干旱区短尺度气候大幅度变化和沙漠化环境的急剧恶化受到国际学术界的重视^[1]。

风沙物理学研究始于20世纪30年代,70年代以后,随着测试分析技术手段的进步,各国学者从不同角度对诸如土壤风蚀、沙尘暴、风沙地貌过程等做了大量研究,建立了沙质地表空气动力学特征、沙粒起动过程和起动风速、输沙量、沙丘形态的形成演变、土壤风蚀量的模型等。目前相关研究注重模拟实验、研究与理论分析的结合,试图提出风沙流动的完整理论模式。

沙漠化的生物学研究起步较早。20世纪30年代美国在其中西部草原沙化地区开展了大规模退耕还草,研究了退化植被恢复演替的过程,并利用生物方法和技术进行沙漠化治理。前苏联也在土库曼斯坦建立了列别捷克沙漠实验站,从事植物固沙技术及其原理的研究。近年随着恢复生态学的发展,沙漠化的生物过程及其恢复机理研究得到重视^[2]。有关沙漠化地区植物种群动态和适应对策、生态过程的尺度转换与耦合、水分平衡与能量转换、退化生态系统恢复重建原

理等研究在各国相继开展。同时,沙漠化土壤的生物恢复过程及修复机理研究更加得到重视,如沙地植被的滞尘作用、灌丛的肥岛效应、植被对退化土壤及土壤微生物的修复机制、土壤碳氮含量增加对土壤质量和环境的调节能力及植被恢复进程的影响、土壤碳氮输入与植被类型的关系等都已有了不少研究报道。研究趋势已从定性描述和概念模型转向定位、定量的试验研究和建立过程模拟模型阶段。

开展大范围沙漠化动态监测与评估的国家不多,究其原因是受沙漠化影响严重的国家大多数为欠发达国家,政府的资金和精力用于人民现实生存问题,无暇顾及社会环境的长远发展。发达国家的研究者对原殖民地、特别是非洲地区的沙漠化动态监测仅限于局部和较小分辨率数据及图像的对比研究^[3]。

沙漠化防治方面,在西亚和北非沙漠化地区能源基地和交通线治沙工程中使用了多种防风固沙的方法^[4]。从单纯强调治理和恢复自然到强调适度开发,研究土地的承载力和环境的容忍量,提出“中度干扰理论”和“生态系统持续管理”原则等,形成沙漠化恢复生态学和保育生物学等边缘学科。在非洲的 Sahel 地区,一项由多国参与的草地退化机理和退化生态系统恢复与重建途径研究项目正在进行之中。

当前国际上研究的总趋势是:把沙漠化看作是一个严重的环境与社会-经济问题,联合自然、社会、经济等科学领域进行全方位综合性的研究^[5]。

2 我国沙漠化研究的进展

我国沙漠化研究始于20世纪50年代初,为了治理东北平原西北部的风沙危害,在彰武县章古台地区进行了樟子松引种实验和农田防护林网建设研究和实践。50年



中国科学院



代末中科院治沙队(原兰州沙漠所)在开展大规模沙漠科学考察的同时,对沙区自然条件与环境、风沙运动规律、农田草场防风固沙、沙区水土资源合理开发利用等方面开展了比较系统的研究,围绕穿越腾格里沙漠的包-兰铁路沙坡头段的防沙工程,开展了防风固沙试验研究和防护体系的建设。

1977年联合国荒漠化大会之后,原中科院兰州沙漠所组织了北方沙漠化的综合研究,到20世纪90年代后期,初步形成了沙漠化科学的理论框架和研究方法,取得了一批研究成果;沙漠化研究队伍已初具规模;建立了一批定位研究示范试验站,带动了不同生物气候区沙漠化的防治;开展了广泛的国际合作交流,一些研究成果已被国际同行认可和应用^[6,7]。

进入21世纪,沙漠化研究又进入到了一个新的发展时期。以《国家重点基础研究发展规划》“973”“中国北方沙漠化过程及其治理研究(G2000048700)”项目(2000—2005)为主,联合国家基金委重大和面上项目及部门沙漠化防治工程,紧紧围绕我国北方沙漠化过程及其防治的基础理论和工程实践中的问题,开展了多学科综合研究,取得了一些创新性成果,完善了我国沙漠化学科的理论体系和方法论,提升了科学水平,推动了学科的发展,研究成果的推广也产生了较好的生态、社会和经济效益^[8];并使我国沙漠化科学在国际同类领域中占有重要的

地位。现将项目取得的主要成果分述如下。

2.1 沙漠化过程的自然与人文背景

确定了过去2000年以来重点沙漠化地区水系和古绿洲迁移与土地覆盖变化格局,恢复了历史时期沙漠化的基本过程、格局和演变序列,阐明了历史时期沙漠化发展的驱动机制;气候变化主导着千年和百年尺度的环境变化,而人类活动影响着百年和数十年尺度的土地退化,尤其是晚近沙漠化的主导因素。

2.2 沙漠化动力学过程及其调控

建立了单宽输沙率实验值处理精度的完整法则、随机粒-床碰撞模型与反演方法;给出了沙粒起动风速的计算公式;建立了土壤风蚀容忍量(T值)模型,制定了风蚀控制的T值方案。

运用¹³⁷Cs技术系统地研究了土壤风蚀与干旱区环境示踪和沙尘暴的沙尘源;给出了中国北方干旱、半干旱区的风蚀率在600—8000t/km²·a或0.4—5.3mm/a之间的定量结果。

建立了带电沙粒对电磁波传播影响的理论模型,证实了非对称碰撞磨擦导致沙粒带电的推测;实现对多场(风场-温度场-电场-沙粒)耦合和多因素(沙粒带电、混合粒径、脉动效应、空中碰撞等)影响的风沙流的理论模拟,揭示了地表热扩散产生的垂向风场对风沙流发展过程的影响、输沙量沿高度分布的分层结构特征、混合粒径风沙流的特点等。

提出粒-床碰撞随机理论模型和输沙率反演模型,成功地给出具有一定普适意义的沙粒起跃速度概率分布密度函数和击溅函数,其将有助于对沙粒起跃速度分布特性和规律的全面认识;在风洞实验结果的基础

上,考虑蠕移对单宽输沙率的贡献,得到了单宽输沙率的经验公式,为处理风沙流结构的实验测量值提供了简单而有效的途径。

2.3 沙漠化的生物学过程与植被恢复重建机理

给出了随着沙漠化程度的增加,土壤中与沙粒结合的颗粒有机碳和全氮的含量显著降低的量化结果;定量地提出了不同程度沙漠化土地覆盖类型下碳、氮的下降速率。

确定了植被恢复重建对土壤环境和碳截存的影响。研究指出,近 40 余年来,沙漠化土地向大气释放的 CO_2 总量相当于 150 Mt 碳,而植被恢复又显著增加了土壤有机质的输入和有机碳含量,同时截存大气中的碳。测算结果显示,北方当前不同类型沙漠化土地碳的总储存量约为 856 Mt;如果北方所有各程度的沙漠化土地得到治理并都逆转一级,沙漠化土地固存的 CO_2 将达到 236 Mt,因此,我国沙漠化土地的有效治理对改善气候环境、缓解全球气候变化具有重要意义。

研究确定了沙地植被耗水规律,建立了定量估测模型。揭示了沙漠地区降水的人渗速率、荒漠植被的蒸散规律及其制约因素,阐明了半干旱地区主要乔灌木耗水量及水分平衡,提出了沙地主要植物耗水量尺度转换模型,确立了半干旱区不同土地覆盖下的土壤水分变化规律及其承载力指标。

沙漠化防治和生态农业技术的引进、集成和模式建立与推广,仅在科尔沁沙区就累计推广各类新品种 120 余种,总面积 100 余万亩,推广沙漠化治理与沙地农业开发模式近 800 万亩,推动了试验研究区域生态建设和农业经济发展。

2.4 沙漠化综合防治战略与模式

完善了沙漠化土地类型、强度分级系统,开展了动态监测和评估,结果表明,北方沙漠化土地年均发展速率从 20 世纪 50 年代到 70 年代中期的 $1\,560\text{ km}^2$ 提高到 70 年代中期到 80 年代后期的 $2\,100\text{ km}^2$,80 年代后期到 2000 年则增加为 $3\,600\text{ km}^2$ 。到 2000 年沙漠化土地达到了 $38.57 \times 10^4\text{ km}^2$,主要分布在干旱、半干旱雨养农业农牧交错带、绿洲灌溉农业带和草原放牧带。

在定量分析沙漠化过程中人类因素贡献率方面也取得了一定的进展。如在科尔沁沙区的典型研究表明,人类因素对沙漠化贡献率超过 80%,而合理的人类活动和防治措施又可使沙漠化过程逆转。所以说,人为因素对沙漠化的发展与逆转过程都是起着绝对主导作用。

提出了我国沙漠化防治的战略、方针和基本原则。防治的战略:把握西部大开发的有利时机,以全面建设小康社会为目标,协调沙漠化地区自然资源环境与人类活动的关系,建立既能防治沙漠化土地又能保障可持续发展的生态、社会和经济体系。防治的指导方针:保护优先,重点治理,合理利用,协调发展。防治的基本原则:“以防为主,防治并举,突出重点,先易后难”、“因地制宜、扬长避短,统筹规划、综合治理”、“沙漠化防



中国科学院

治与脱贫致富相结合”和“宣传教育、政策引导与农民自愿相结合”。基于对北方沙漠化土地的现状及其发展趋势的认识,提出沙漠化4大区29个小区的防治区划。

把沙漠化治理与农村经济发展,劳动力产业转移有机结合起来,提出了沙漠化防治的生态经济模式,如内陆河流域的生态-经济耦合发展模式、典型沙漠-绿洲地区的特色产业发展战略、农牧交错区基于农户的生态-经济发展模式等。还提出了沙漠化治理的产权制度、激励制度、投资制度、水资源管理制度等制度安排。

3 对我国沙漠化科学发展的建议

沙漠化科学是将风沙活动为主导灾害现象的区域作为完整的生态-环境-社会-经济综合体,开展沙漠化过程及其防治研究的科学。50多年来,我国的沙漠化科学从无到有,以其创新性和系统性的理论进展和经济、社会与环境效益的实践成果,在推动学科发展的同时,又为北方地区社会经济发展和生态环境保护建设做出了突出的贡献,取得了包括“国家科技进步奖特等奖”在内的一大批科研成果和150亿元以上的直接经济效益。形成了以中科院和国家林业局有关研究所为主体的国家级沙漠化研究机构和一支优秀的研究队伍。但是,与其他传统和经典学科不同,作为一门仅有几十年历史的沙漠化研究学科,无论在学科的理论基础、研究范围与内容、方法与技术手段、防治实践等诸多方面都还需要我们更多的努力。随着国家西部大开发战略的进一步实施和对北方干旱半干旱区社会经济和谐发展、生态环境修复、区域生态安全和社会稳定提出更高的要求,

沙漠化科学必将面临着更好的发展机遇和更大的挑战。因此,要清醒地认识到沙漠化科学还存在的一些关键问题就显得非常必要了:

(1)缺乏明确的战略研究和前沿方向:如何瞄准国际地理学和其他相关学科的发展趋势,开展本科学发展的战略研究,以确定前沿领域的创新研究方向;

(2)在推进沙漠化过程等研究的同时,如何定位其他研究方向及其相互关系,如:风沙土(壤)、沙漠植物分类、沙漠植物生理、沙漠动物、沙漠形成演变与全球变化、实验风沙地貌等;

(3)缺乏真正的地学、生物学、生态学、数理科学、社会经济学和人文科学的系统交叉与综合;

(4)沙漠化科学创新队伍素质和水平与可比较的传统或经典学科相比仍然有相当的差距;

(5)在新技术的引入与应用、科技平台建设、野外定位试验研究站(网)的完善与持续的支持等方面均缺乏统筹安排。

因此,我们应当顺应国际地理学和生态学发展的趋势,在以下各方面推进沙漠化学科的发展:

(1)前沿:通过对本学科国际前沿领域和最新发展方向的及时认识和把握,适时调整沙漠化科学的战略和方向,突出一个“新”字;



(2)领域:研究的领域和各分支学科应向更广和更深推进;

(3)内容:研究内容要强调综合、交叉、系统和集成;

(4)任务:研究任务既要着重科技创新,更要面向国家需求;

(5)技术与方法:引进、吸收和研发先进的仪器和方法,为科研创新创造条件;

(6)趋势:要坚持沙漠化过程的长期动态监测、研究与评估,推进成果的量化;

(7)范围:立足国内合作交流,推动科技活动的国际化。

由此,建议近期沙漠化科学研究的主导学术思路、研究方法和研究重点如下。

3.1 主导学术思路

将科学前沿与国家需求紧密地相结合,以沙漠化过程研究为纽带,深入研究土壤-植物-大气系统中各组成部分的相互作用过程,以及这些过程在人类干扰逐渐增强情况下偏离自然状态的幅度、规律和机理,探讨沙漠化过程的调控对策和途径;在主要类型区依靠试验示范基地,集成研究成果,开展沙漠化防治模式和技术体系研究与试验示范,实现从对“沙漠化过程认识”到对“沙漠化过程调控”的科学与国家目标。

3.2 主导研究方法

以人-地关系为主线,在时间序列上,将沙漠化环境背景的形成演化、沙漠化现代过程及其在全球变化格局下的发展趋势的研究系统化,以揭示沙漠化的形成与演变;在空间结构上,将沙漠化地区的生态环境退化过程与区外乃至全球的大气环流格局视为统一的环境动力系统进行研究,以揭示沙漠化空间分异及其对环境和社会经济的影响。通过定量认识自然过程与人类活动影响,进一步明确沙漠化演变规律及其调控的理论依据和技术途径。

3.3 研究重点

(1)沙漠化过程对全球变化和人类活动的响应:探讨历史时期(特别是近2 000年)和近50年来北方沙漠化的发展过程中对气候环境与人类活动的响应;

(2)沙漠化动力学过程:通过对不同尺度风沙运动的力学建模及转换关联,揭示沙漠化动力过程的物理机制;建立不同土壤类型的风蚀模型和定量评价指标体系;

(3)沙漠化的生物学过程:沙漠化过程中土壤碳、氮衰减规律及生态效应,沙地植物种群的抗干扰机理及适应对策,植物从个体到种群对沙漠化过程中环境变化的响应;

(4)沙漠化的逆转过程:不同下垫面和土壤物理-化学性质变化过程中风沙运动规律、逆转过程中风沙活动规律的综合评价与预报模型、退化植被恢复蔓延过程及恢复演替的主要特征和规律;

(5)沙漠化综合防治战略与模式:动态监测和评估沙漠化现状及其发展趋势;未来沙漠化地区土地覆盖与配置的最佳模式和植被建设的生态密度,沙漠化地区人-地关系协调发展的途径和措施,改进沙漠化综合防治区划;提出适合不同区域沙漠化土地治理和修复的新模式与新技术及政策建议,为国家沙漠化防治提供决策依据、理论依据和技术支撑。

主要参考文献

- 1 Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L *et al.* Biological feedbacks in global desertification. *Sciences*, 1990, 247: 1 043-1 048.
- 2 Tucker C J, Dregne H E, Newcomb W W. Expansion and contraction of the Sahara desert from 1980 to 1990. *Science*, 1991, 253: 299-301.
- 3 朱震达,王涛. 中国沙漠化研究的理论与实践. 第四纪研究, 1992, 2: 97-106.
- 4 Reynolds J F, Smith D M, Lambin E F *et al.* Global



中国科学院

- eesertification: building a science for dryland development. *Sciences*, 2007, 316 (11): 847-251.
- 5 Babaev G. Desert problems and desertification in Central Asia. Springer, 1999, 49.
- 6 Le Houerou H N. Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments*. 1996, 34: 133-185.
- 7 石玉林主编. 西北地区土地荒漠化与水土资源利用研究. 北京: 科学出版社, 2004, 444.
- 8 王涛, 陈广庭, 赵哈林等. 中国北方沙漠化过程及其防治研究的新进展. *中国沙漠*, 2006, 26(4): 507-716.

The Progress of Research on Aeolian Desertification

Wang Tao

(Key Laboratory of Desert and Desertification, CAS;

Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS 730000 Lanzhou)

Aeolian desertification is land degradation mainly characterized by wind erosion in arid, semiarid and sub-humid regions resulting from the excessive human activities on natural resources. The Aeolian Desertification Science is the science which studies aeolian desertification processes, taking the areas where sand-blown activities are the dominant disaster phenomena as the whole Ecology-Environment-Society-Economy complex. In this paper the author firstly introduces the advances on aeolian desertification research both at home and abroad; then combining the existing problem in this research field in China, brings forward the leading academic train of thought, research methods and research priorities for the aeolian desertification research in the near future, with a view to better serve the further implementation of the grand western development program of China, i.e., more effectively preventing and controlling aeolian desertification, promoting the harmonious development of regional socio-economy, and restoring the ecological environment to a greater extent, and so on.

Keywords the north of China, aeolian desertification, physical and biological processes, control

王涛 中科院寒区旱区环境与工程研究所所长, 中科院沙漠与沙漠化重点实验室主任。国际沙漠研究协会(IDRA)主席、联合国环境规划署-国家环境保护部-中国科学院“国际沙漠化治理研究与培训中心”(ICRTDC/ UNEP-MEP-CAS)主任、中国治沙暨沙业学会副理事长、中国地理学会沙漠分会主任。1959年11月出生。主要从事沙漠环境与沙漠化研究。作为首席科学家主持完成了国家“973”之“中国北方沙漠化过程及其防治研究”项目(2000—2005), 现主持国家“973”项目“干旱区绿洲化、荒漠化过程及其对人类活动、气候变化的响应与调控”(2009—2013)。已发表学术论文90余篇, 专著5本。以第一获奖者获国家科技进步奖二等奖、甘肃省科技进步奖一等、二等奖各1项。E-mail:wangtao@lzb.ac.cn