



典型脆弱区 生态环境综合评价

曹春香 主编

非外借



科学出版社

典型脆弱区 生态环境综合评价

曹春香 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以生态脆弱区为研究对象,基于多源遥感数据协同反演的生态环境因子以及社会经济统计指标等构建生态环境综合评价指标体系,在中国典型脆弱区开展生态环境综合评价应用示范。全书共6章。第1章为绪论,系统概述生态脆弱区的概念、基本特征及空间分布,所面临的主要问题、成因及压力及中国生态脆弱区保护现状。第2章为典型脆弱区选取与综合评价的数据准备内容,在此基础上,第3章进一步详述基于多源遥感数据的脆弱区生态环境参数的遥感反演,以及所采用的多源遥感数据融合、数据同化、多源遥感协同反演等关键技术。第4章主要介绍典型脆弱区环境综合评价技术指标体系的构建及验证。第5章为脆弱区生态环境综合评价技术系统集成。第6章为脆弱区生态环境综合评价展望。

本书可供气候变化、生态安全、环境健康、生态治理与脆弱区管理、定量遥感等学科领域的科研人员以及环保、农林、生态等行业部门的管理人员和技术人员参考阅读,也可作为高等院校生态环境类与遥感类专业本科生及研究生教材。

图书在版编目(CIP)数据

典型脆弱区生态环境综合评价/曹春香主编. —北京:科学出版社,2017.12
ISBN 978-7-03-054309-7

I. ①典… II. ①曹… III. ①区域生态环境—环境生态评价—中国
IV. ①X826

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 214040 号

责任编辑:彭胜潮 赵 晶/责任校对:韩 杨
责任印制:肖 兴/封面设计:铭轩堂

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017 年 12 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017 年 12 月第一次印刷 印张:12 1/4

字数:290 000

定价:158.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《典型脆弱区生态环境综合评价》

编 委 会

主 编 曹春香

副主编 徐 敏 陈 伟 何彬彬 陈秀万

编著者 倪宝森 张 颢 李文秀 卓泽凡

卢祎霖 虢建宏 刘 晶 肖 汉

万 玮 全兴文 官雨薇 行敏锋

鄢帮有 方 豫 葛劲松 鲁子豫

汪小钦 陈芸芝 崔胜辉 徐礼来

何祺胜 许允飞 朱再春 郑 盛

陈雪鹃 田海静 田 蓉 刘 诚

杨 斌 方 舟 刘 迪 项海兵

序

生态脆弱区是全球变化响应的敏感区，其生态系统稳定性低，波动性强，自我修复能力弱，对生态环境因素变化敏感。生态脆弱区一般均是不同类型的生态系统交叉过渡地带，如北方农牧交错带、南方红壤丘陵地区、青藏高原复合侵蚀生态区等，这些区域生态环境本身抗干扰能力较弱，加之近年日益频发的多维度人为因素及自然灾害干扰，其面临的威胁与日俱增，进一步退化的形势严峻。因此，急需对脆弱区生态环境状况进行适时遥感诊断，为实现生态文明建设和环境保护提供科学支撑。

面对我国生态脆弱区的环境污染和生态健康问题，我国各级政府部门致力于寻找积极有效的解决办法，相关领域的专家学者也都群策群力。2012年11月，党的“十八大”报告将“美丽中国”建设、“生态文明”建设写入党章，凸显了决策层对生态环境保护的重视已上升到一定的高度。“十八大”后关于生态建设规划与政策的出台，标志着生态环境保护进入了以生态环境评价与建设为主导的新一轮快速发展期。在国家科技管理信息系统公布的2016年国家重点研发计划中，“典型脆弱生态修复与保护研究”是生态与环境领域重点支持的六大领域方向之一，表明了国家从科技层面加强了对典型脆弱区生态环境保护研究工作的支持。近年来，飞速发展的遥感、地理信息系统等空间信息技术为脆弱区生态环境遥感诊断提供了实时有效的观测模式与技术手段。随着高分卫星、激光雷达、合成孔径雷达等传感器的在轨运行以及无人机的广泛应用，遥感技术的多时相、多尺度、多波段、多模式以及低成本、能重复、可反演、高效率的优势，被科学地引入到了对生态环境状况的定性分析与定量诊断。部分新载荷的预研研究也为深入探究脆弱区特征及其时空演化机制、科学客观地预测生态脆弱区域的环境状况起到重要作用。基于国产遥感卫星数据，利用环境健康遥感诊断指标体系及模型等为区域、国家乃至全球尺度的生态环境诊断和保护规划提供有效的科学支撑和决策服务。

在资源环境和遥感科学大数据平台逐步完善的今天，依托“互联网+”技术，以国产卫星数据为主要数据源，在我国典型生态脆弱区开展关键生态环

境要素的主被动遥感协同反演和数据同化,同时进行精度验证和示范应用,既是对遥感技术进一步的有效推动,又是对国产卫星载荷的预研研究及国产卫星数据面向行业部门应用的有力推进,更能为我国生态环境监测和保护、区域经济社会协调可持续发展提供系统的科学数据和信息服务。

作为专门面向生态脆弱区环境评价服务的专业书籍,其对于我国生态脆弱区的保护和管理具有重要的指导意义,同时能够进一步推动环境健康遥感诊断交叉学科的发展和完善。本书既具学术高度,又具实用价值。我作为密切关注国家生态环境健康的一位科研人员,对该书的完成倍感欣慰,并热切期待其能成为我国生态脆弱区环境监测评价与遥感诊断的重要参考书籍,更期待着该书及其作者团队能够在有效服务我国生态文明建设并有力推动中国经济社会与生态环境的健康发展作出更大贡献。

中国科学院院士



2017年3月13日

前 言

中国是世界上生态脆弱区分布面积最大、脆弱生态类型最多、生态脆弱性表现最明显的国家之一。我国生态脆弱区大多位于生态过渡区和植被交错区,处于农牧、林牧、农林等复合交错带,是我国目前生态问题突出、经济相对落后和人民生活贫困区,同时也是我国环境监管的薄弱地区。加强生态脆弱区保护,促进生态脆弱区经济发展,有利于维护生态系统的完整性,实现人与自然的和谐发展。一直以来,国内外陆续出版过许多关于环境监测、环境评价等领域的书籍,各自的侧重和倾向不相同,但是专门面向生态脆弱区的专著很少,尤其是基于遥感技术手段建立综合评价指标体系的专著目前尚无。

本书以中国典型生态脆弱区为研究对象,基于多源遥感数据协同反演的生态环境因子,结合社会经济统计指标等数据构建生态环境综合评价指标体系,搭建系统平台,进而开展脆弱区生态环境综合评价。全书共分6章。第1章为绪论,在简要介绍中国生态环境问题的基础上,系统概述生态脆弱区的概念、基本特征及空间分布,面临的主要问题、成因及压力,综述了中国生态脆弱区保护现状及发展趋势。第2章为典型脆弱区选取与数据处理,依次分别介绍典型脆弱区选取的基本原则及结果、主被动遥感数据的收集及预处理、地表调查及参数测量技术规范 and 结果。所测量的地面参数包括地物反射光谱、微波辐射波谱、植被参数、水体参数、土壤参数、冰雪参数等表征脆弱区生态环境特征的各参数因子。在第2章基础上,第3章则进一步叙述基于多源遥感数据的脆弱区生态环境参数遥感反演,所采用的关键技术包括多源遥感数据融合技术、数据同化技术、多源遥感协同反演技术等,对于遥感反演的结果需要采用分层次多角度的方法开展精度验证。第4章主要说明脆弱区环境综合评价技术指标体系构建及验证。在明确评价范围和对象的基础上,系统阐述典型脆弱区生态环境评价体系的构建依据、构建流程和构建结果,分别计算了5个典型脆弱区生态评价指标体系中各指标权重,建立并优化了评价模型,得到了评价结果,并分别基于地面实测数据及对比已有参考文献中的评价结果进行定性分析和定量验证。第5章为脆弱区生态环境综合评价技术系统集成,通过制定总体集成方案搭建了生态环境综合评价数据库系统、多源数据融合系统、多源数据同化系统、生态环境评价因子综合反演系统以及生态环境综合评价技术应用系统五大子系统。第6章为脆弱区生态环境综合评价展望,首先介绍全国生态脆弱区保护规划的基本原则、规划目标、主要任务和对策措施,然后探讨脆弱区保护规划与国家沙漠公园发展规划的关系,最后展望面向脆弱区的生态环境参数遥感反演关键技术发展、指标体系完善、综合评价示范应用前景,分析了脆弱区生态环境综合评价的经济社会效益。

本书出版得到了国家重点研发计划“地球资源环境动态监测技术”第五课题“地球

资源环境动态监测综合应用示范”(No. 2016YFB0501505)、林业公益性行业科研专项“树流感爆发风险遥感诊断与预警研究”(No. 201504323)、科技部 863 项目“星-机-地综合定量遥感与应用示范”中的“典型应用领域全球定量遥感产品生产体系”课题(No. 2013AA12A302)等项目的资助, 谨此一并致谢!

鉴于作者水平和时间所限, 书中可能会存在一些不足和疏漏之处, 恳望读者批评指正!

作 者

2017 年 4 月

目 录

序

前言

第 1 章	绪论	1
1.1	中国生态环境问题	1
1.2	生态脆弱区的概念	1
1.3	生态脆弱区基本特征及空间分布	1
1.3.1	生态脆弱区的基本特征	1
1.3.2	生态脆弱区的空间分布	2
1.4	生态脆弱区的主要压力	4
1.4.1	生态脆弱区的主要问题	4
1.4.2	生态脆弱区的成因及压力	5
1.5	中国生态脆弱区保护现状及发展趋势	6
1.5.1	中国生态脆弱区保护现状	6
1.5.2	中国生态脆弱区保护发展趋势	6
1.6	小结	7
第 2 章	典型脆弱区选取与数据处理	8
2.1	典型脆弱区选取	8
2.1.1	选取原则	8
2.1.2	选取结果	8
2.2	遥感数据及预处理	8
2.2.1	被动遥感数据	8
2.2.2	主动遥感数据	9
2.3	指标参数测量与反演	10
2.3.1	地物反射光谱	10
2.3.2	微波辐射波谱	12
2.3.3	植被参数	13
2.3.4	水体参数	16
2.3.5	土壤参数	16
2.3.6	冰雪参数	19
2.3.7	地表温度	22
2.3.8	地表反照率	23
2.3.9	地形因子	24
2.4	小结	24

第3章 脆弱区生态环境参数遥感反演	25
3.1 多源遥感数据融合算法	25
3.1.1 IHS 融合算法	25
3.1.2 PCA 算法	26
3.1.3 LS-GIF-WC 算法	28
3.1.4 MTF 融合算法	28
3.1.5 约束最小二乘法和联合非负矩阵分解方法	30
3.2 多源遥感数据同化技术	31
3.2.1 基于集合卡尔曼滤波的高原湿地植被叶面积指数时序模拟	31
3.2.2 基于傅里叶算法 MODIS LST 数据质量改进	39
3.2.3 结合 GNSS-R 和 MODIS 数据的时空连续土壤湿度提取	46
3.3 多源遥感协同反演关键技术	51
3.3.1 基于机载 LiDAR 和光学影像协同反演叶面积指数及森林覆盖率	51
3.3.2 基于光学、星载激光雷达和 SAR 数据协同反演森林生物量	59
3.3.3 基于简化核驱动模型的反射率及地表反照率反演	71
3.3.4 基于 HJ-1B 和 MODIS 数据协同反演地表温度	83
3.3.5 基于三波段生物光学模型协同反演水体叶绿素浓度	88
3.3.6 基于 MODIS 数据和 AMSR-E 数据的协同反演冰雪信息	91
3.3.7 基于 GPS-R 数据和光学数据协同反演土壤含水量	98
3.3.8 基于 RTK 与地面激光雷达混合测量提取地形相关因子	104
3.4 生态环境因子遥感反演评价与验证	108
3.5 小结	109
第4章 脆弱区环境综合评价技术指标体系构建及验证	111
4.1 评价范围和对象	111
4.2 典型脆弱区生态环境评价体系构建依据	111
4.3 典型脆弱区生态评价指标体系构建流程	112
4.4 典型脆弱区生态评价指标体系	113
4.5 典型脆弱区生态评价指标权重	124
4.6 典型脆弱区生态环境评价模型	129
4.7 典型脆弱区生态环境评价结果及验证	130
4.8 小结	140
第5章 脆弱区生态环境综合评价技术系统集成	141
5.1 系统总体集成方案	141
5.1.1 需求分析	141
5.1.2 运行环境	141
5.1.3 设计原则	142
5.1.4 系统功能结构	145
5.2 生态环境综合评价数据库系统	148

5.3	多源数据融合系统	152
5.4	多源数据同化系统	157
5.5	生态环境评价因子综合反演系统	161
5.6	生态环境综合评价技术应用系统	165
5.7	小结	175
第 6 章	脆弱区生态环境综合评价展望	176
6.1	全国生态脆弱区保护规划	176
6.1.1	基本原则	176
6.1.2	规划目标	176
6.1.3	主要任务	177
6.1.4	对策措施	178
6.2	综合评价技术指标体系发展完善	179
6.3	脆弱区生态环境综合评价示范应用前景	179
6.4	脆弱区生态环境综合评价的经济社会效益	180
参考文献		181

第1章 绪 论

中国是世界上生态脆弱区分布面积最大、脆弱生态类型最多、生态脆弱性表现最明显的国家之一。中国生态脆弱区大多位于生态过渡区和植被交错区，处于农牧、林牧、农林等复合交错带，是我国目前生态问题突出、经济相对落后和人民生活贫困区，同时也是我国环境监管的薄弱地区。加强生态脆弱区保护，增强生态环境监管力度，促进生态脆弱区经济发展，有利于保持生态系统的完整性，维护国家生态安全，并实现人与自然的和谐发展(环境保护总局，2007；环境保护部，2008，2013)。

1.1 中国生态环境问题

健康的生态环境是保障国家生态安全的基础，是建设生态文明的重要支撑(Costanza et al., 1992；曹春香，2013)。近几十年来，中国飞速的经济社会发展也带来了诸多的环境健康问题，其中以自然生态环境问题为甚(国务院新闻办公室，2006)。全球气候变暖、土地沙化、乱砍滥伐和森林退化、江河湖海的严重污染等生态环境恶化问题日益突出，气候和生态环境变化又加剧了许多自然和人为灾害(如地震、泥石流、干旱、洪涝、海啸、雾霾等)的发生及各种流行病(如疟疾、血吸虫病、鼠疫、霍乱、H1N1等)的爆发。生态环境问题已经成为人类面临的最严重问题之一，它不仅全面影响着我们自身的健康，而且危害子孙后代的生存环境，进而危及人类的生存与发展(Rapport, 1998；Akanda et al., 2012；Hanson et al., 2004a, 2004b)。

1.2 生态脆弱区的概念

根据2008年环境保护部颁布的《全国生态脆弱区保护规划纲要》，生态脆弱区也称生态交错区(ecotone)，是指两种不同类型生态系统交界过渡区域。这些交界过渡区域生态环境条件与两个不同生态系统核心区域有明显的区别，是生态环境变化明显的区域，已成为生态保护的重要领域。

1.3 生态脆弱区基本特征及空间分布

1.3.1 生态脆弱区的基本特征

生态脆弱区主要包括以下基本特征。

(1)系统抗干扰能力弱。生态脆弱区生态系统结构稳定性较差，对环境变化反应相对敏感，容易受到外界的干扰发生退化演替，而且系统自我修复能力较弱，自然恢复时间较长。

(2)对全球气候变化敏感。生态脆弱区生态系统中,环境与生物因子均处于相变的临界状态,对全球气候变化反应灵敏。具体表现为气候持续干旱,植被旱生化现象明显,生物生产力下降,自然灾害频发等。

(3)时空波动性强。波动性是生态系统的自身不稳定性在时空尺度上的位移。在时间上表现为气候要素、生产力等在季节和年际间的变化;在空间上表现为系统生态界面的摆动或状态类型的变化。

(4)边缘效应显著。生态脆弱区具有生态交错带的基本特征,因处于不同生态系统之间的交接带或重合区,是物种相互渗透的群落过渡区和环境梯度变化明显区,具有显著的边缘效应。

(5)环境异质性高。生态脆弱区的边缘效应使区内气候、植被、景观等相互渗透,并发生梯度突变,导致环境异质性增大。具体表现为植被景观破碎化、群落结构复杂化、生态系统退化明显、水土流失加重等。

1.3.2 生态脆弱区的空间分布

我国生态脆弱区主要分布在北方干旱-半干旱区、南方丘陵区、西南山地区、青藏高原区及东部沿海水陆交接地区,行政区域涉及黑龙江、内蒙古、吉林、辽宁、河北、山西、陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆、西藏、四川、云南、贵州、广西、重庆、湖北、湖南、江西、安徽等省(自治区、直辖市)。主要类型包括以下8个。

1) 东北林草交错生态脆弱区

该区主要分布于大兴安岭山地和燕山山地森林外围与草原接壤的过渡区域,行政区域涉及内蒙古呼伦贝尔市、兴安盟、通辽市、赤峰市和河北省承德市、张家口市等部分县(旗、市、区)。生态环境脆弱性表现为:生态过渡带特征明显,群落结构复杂,环境异质性大,对外界反应敏感等。重要生态系统类型包括北极泰加林、沙地樟子松林、疏林草甸、草甸草原、典型草原、疏林沙地、湿地、水体等。

2) 北方农牧交错生态脆弱区

该区主要分布于年降水量为300~450 mm、干燥度为1.0~2.0的北方干旱-半干旱草原区,行政区域涉及内蒙古、吉、辽、冀、晋、陕、宁、甘等省(自治区)。生态环境脆弱性表现为:气候干旱,水资源短缺,土壤结构疏松,植被覆盖度低,容易受风蚀、水蚀和人为活动的强烈影响。重要生态系统类型包括典型草原、荒漠草原、疏林沙地、农田等。

3) 西北荒漠绿洲交接生态脆弱区

该区主要分布于河套平原及贺兰山以西,新疆天山南北广大绿洲边缘区,行政区域涉及新、甘、青、内蒙古等地区。生态环境脆弱性表现为:典型荒漠绿洲过渡区,呈非地带性岛状或片状分布,环境异质性大,自然条件恶劣,年降水量少、蒸发量大,水资源极度短缺,土壤瘠薄,植被稀疏,风沙活动强烈,土地荒漠化严重。重要生态系统类型包括高山亚高山冻原、高寒草甸、荒漠胡杨林、荒漠灌丛,以及珍稀、濒危物种栖息地等。

4) 南方红壤丘陵山地生态脆弱区

该区主要分布于我国长江以南红土层盆地及红壤丘陵山地, 行政区域涉及浙、闽、赣、湘、鄂、苏等省。生态环境脆弱性表现为: 土层较薄, 肥力瘠薄, 人为活动强烈, 土地严重过垦, 土壤质量下降明显, 生产力逐年降低; 丘陵坡地林木资源砍伐严重, 植被覆盖度低, 暴雨频繁、强度大, 地表水蚀严重。重要生态系统类型包括: 亚热带红壤丘陵山地森林、热性灌丛及草山草坡植被生态系统, 亚热带红壤丘陵山地河流湿地水体生态系统。

5) 西南岩溶山地石漠化生态脆弱区

该区主要分布于我国西南石灰岩岩溶山地区域, 行政区域涉及川、黔、滇、渝、桂等省市。生态环境脆弱性表现为: 全年降水量大, 融水侵蚀严重, 而且岩溶山地土层薄, 成土过程缓慢, 加之过度砍伐山体林木资源, 植被覆盖度低, 造成严重水土流失, 山体滑坡、泥石流灾害频繁发生。重要生态系统类型包括: 典型喀斯特岩溶地貌景观生态系统, 喀斯特森林生态系统, 喀斯特河流、湖泊水体生态系统, 喀斯特岩溶山地特有和濒危动植物栖息地等。

6) 西南山地农牧交错生态脆弱区

该区主要分布于青藏高原向四川盆地过渡的横断山区, 行政区域涉及四川阿坝、甘孜、凉山等州, 云南省迪庆、丽江、怒江以及黔西北六盘水等 40 余个县市。生态环境脆弱性表现为: 地形起伏大、地质结构复杂, 水热条件垂直变化明显, 土层发育不全, 土壤瘠薄, 植被稀疏; 受人为活动的强烈影响, 区域生态退化明显。重要生态系统类型包括亚热带高山针叶林生态系统、亚热带高山峡谷区热性灌丛草地生态系统、亚热带高山高寒草甸及冻原生态系统、河流水体生态系统等。

7) 青藏高原复合侵蚀生态脆弱区

该区主要分布于雅鲁藏布江中游高寒山地沟谷地带、藏北高原和青海三江源地区等。生态环境脆弱性表现为: 地势高寒, 气候恶劣, 自然条件严酷, 植被稀疏, 具有明显的风蚀、水蚀、冻蚀等多种土壤侵蚀现象, 是我国生态环境十分脆弱的地区之一。重要生态系统类型包括: 高原冰川、雪线及冻原生态系统, 高山灌丛化草地生态系统, 高寒草甸生态系统, 高山沟谷区河流湿地生态系统等。

8) 沿海水陆交接带生态脆弱区

该区主要分布于我国东部水陆交接地带, 行政区域涉及我国东部沿海诸省(市), 典型区域为滨海水线 500 m 以内, 向陆地延伸 1~10 km 之内的狭长地域。生态环境脆弱性表现为: 潮汐、台风及暴雨等气候灾害频发, 土壤含盐量高, 植被单一, 防护效果差。重要生态系统类型包括滨海堤岸林植被生态系统、滨海三角洲及滩涂湿地生态系统、近海水域水生生态系统等。

1.4 生态脆弱区的主要压力

1.4.1 生态脆弱区的主要问题

中国的生态脆弱区当前面临以下主要问题。

1) 草地退化、土地沙化面积巨大

2005 年我国共有各类沙漠化土地 174.0 万 km^2 , 其中, 生态环境极度脆弱的西部 8 省区就占 96.3%。我国北方有近 3.0 亿 hm^2 天然草地, 其中, 60% 以上分布在生态环境比较脆弱的农牧交错区, 目前, 该区中度以上退沙化面积已占草地总面积的 53.6%, 并成为我国北方重要沙尘源区, 而且每年退沙化草地扩展速度平均在 200 万 hm^2 以上。

2) 土壤侵蚀强度大, 水土流失严重

西部 12 省(自治区、直辖市)是我国生态脆弱区的集中分布区。最近 20 年, 由于人为过度干扰, 植被退化趋势明显, 水土流失面积平均每年净增 3% 以上, 土壤侵蚀模数平均高达 $3000 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 云贵川石漠化发生区, 每年流失表土约 1cm, 输入江河水体的泥沙总量为 40 亿~60 亿 t。

3) 自然灾害频发, 地区贫困不断加剧

我国生态脆弱区每年因沙尘暴、泥石流、山体滑坡、洪涝灾害等各种自然灾害所造成的经济损失约 2000 多亿元人民币, 自然灾害损失率年均递增 9%, 普遍高于生态脆弱区 GDP 增长率。我国《“八七”扶贫计划》共涉及 592 个贫困县, 中西部地区占 52%, 其中, 80% 以上地处生态脆弱区。2005 年全国绝对贫困人口为 2 365 万, 其中 95% 以上分布在生态环境极度脆弱的老少边穷地区。

4) 气候干旱, 水资源短缺, 资源环境矛盾突出

我国北方生态脆弱区耕地面积占全国的 64.8%, 实际可用水量仅占全国的 15.6%, 70% 以上地区全年降水不足 300 mm, 每年因缺水而使 1 300 万~4 000 万 hm^2 农田受旱。西北荒漠绿洲区主要依赖雪山融水维系绿洲生态平衡, 最近几年, 雪山融水量比 20 年前普遍下降 30%~40%, 绿洲萎缩后外围胡杨林及荒漠灌丛生态退化日益明显, 并已严重威胁到绿洲区的生态安全。

5) 湿地退化, 调蓄功能下降, 生物多样性丧失

20 世纪 50 年代以来, 全国共围垦湿地 3.0 万 km^2 , 直接导致 6.0 万~8.0 万 km^2 湿地退化, 蓄水能力降低 200 亿~300 亿 m^3 , 许多两栖类、鸟类等关键物种栖息地遭到严重破坏, 生物多样性严重受损。此外, 湿地退化, 土壤次生盐渍化程度增加, 每年受灾农田约 100 万 hm^2 , 粮食减产约 2 亿 kg。

1.4.2 生态脆弱区的成因及压力

造成我国生态脆弱区生态退化、自然环境脆弱的原因除生态本底脆弱外，人类活动的过度干扰是直接成因。主要表现在以下几方面。

1) 经济增长方式粗放

我国经济增长方式粗放的特征主要表现在重要资源单位产出效率较低，生产环节能耗和水耗较高，污染物排放强度较大，再生资源回收利用率低下，社会交易率低而交易成本较高。2006 年中国 GDP 约占世界的 5.5%，但能耗占 15%、钢材占 30%、水泥占 54%；2000 年中国单位 GDP 排放 CO₂ 0.62 kg、有机污水 0.5 kg，污染物排放强度大大高于世界平均水平；而矿产资源综合利用率、工业用水重复率均高于世界先进水平 15~25 个百分点；社会交易成本普遍比发达国家高 30%~40%。

2) 人地矛盾突出

我国以世界 9%的耕地、6%的水资源、4%的森林、1.8%的石油，养活着占世界人口 22%的人口，人地矛盾突出已是我国生态脆弱区退化的根本原因，如长期过度放牧引起的草地退化，过度开垦导致干旱区土地沙化，过量砍伐森林资源引发大面积水土流失等。据报道，我国环境污染损失约占 GDP 的 3%~8%，生态破坏(草原、湿地、森林、土壤侵蚀等)占 GDP 的 6%~7%。

3) 监测与监管能力低下

我国生态监管机制由于部门分割、协调不力，导致监管效率低下。同时，由于相关政策法规、技术标准不完善，经济发展与生态保护矛盾突出，特别是生态监测、评估与预警技术落后，生态脆弱区基线不清、资源环境信息不畅，难以为环境管理与决策提供良好的技术支撑(宋崇真和周玉华，2011)。

4) 生态保护意识薄弱

我国人口众多，环保宣传和文教事业严重滞后。有的地方政府重发展轻保护思想普遍，有的甚至以牺牲环境为代价，单纯追求眼前的经济利益；个别企业受经济利益驱动，违法采矿、超标排放十分普遍，严重破坏人类的生存环境。不少民众环保观念淡漠，对当前严峻的环境形势认知水平低，而且消费观念陈旧，缺乏主动参与和积极维护生态环境的思想意识，资源掠夺性开发和浪费使用不能有效遏制，生态破坏、系统退化日趋严重。

1.5 中国生态脆弱区保护现状及发展趋势

1.5.1 中国生态脆弱区保护现状

相比世界发达国家,中国的环境健康恶化状况尤其严重(环境保护部,2013),已成为制约我国经济发展、危害公众健康,甚至影响社会安定的一个重要因素。例如,目前我国的荒漠化土地已占国土陆地总面积的27.3%,且还在以每年2 460 km²的速度增长;酸雨覆盖面积已占国土面积的29%;全国城市大气总悬浮微粒浓度的日均值为320 μg/m³,污染严重的城市超过800 μg/m³,高出世界卫生组织标准近10倍;全国七大水系近一半的监测河段污染严重,86%的城市河段水质超标。对15个省市29条河流的监测结果显示,有2 800 km河段几乎没有鱼。淮河流域191条支流中,80%的水体呈黑绿色,一半以上河段的水完全丧失使用价值;地震越发频繁,各种流行病不断爆发、快速传播对公众健康带来严重威胁(Yang and Yan, 2002; Zhang et al., 2016a)。

针对不同类型和地域的生态脆弱区,其面临的问题及保护现状各不相同。如东北大兴安岭西麓山地林草交错生态脆弱区,其面临着天然林面积减小,稳定性下降,水土保持、水源涵养能力降低,草地退化、沙化趋势激烈等问题。而北方农牧交错生态脆弱区中的辽西以北丘陵灌丛草原垦殖退沙化生态脆弱重点区域,则主要受困于草地过垦过牧,植被退化明显,土地沙漠化强烈,水土流失严重,气候干旱,水资源短缺。同一类型脆弱区的鄂尔多斯荒漠草原垦殖退沙化生态脆弱重点区域则主要面临气候干旱,植被稀疏,风沙活动强烈,沙漠化扩展趋势明显,气候灾害频发,水土流失严重等问题。此外,沿海水陆交接带生态脆弱区中的渤海、黄海、南海等滨海水陆交接带及其近海水域目前的主要问题是台风、暴雨、潮汐等自然灾害频发,过渡区土壤次生盐渍化加剧,缓冲能力减弱等(刘燕华和李秀彬, 2001; Lin and Shen, 2007; Adger, 2006)。

1.5.2 中国生态脆弱区保护发展趋势

基于当前中国生态脆弱区的现状,今后生态脆弱区保护和发展的趋势主要体现在以下几方面。

1) 加强生态脆弱区现状调查与基线评估

以地理信息系统(geographical information system, GIS)、遥感(remote sensing, RS)、全球定位系统(global positioning system, GPS)的“3S”技术为主要手段,结合地面生态调查,全面开展全国八大类生态脆弱区资源、环境现状调查与基线评估,建立脆弱区生态背景数据库,明确不同生态脆弱区时空演变动态特征,制定符合中国国情的生态脆弱区评价指标体系,编制符合不同生态脆弱区植被恢复与系统重建的技术规范与技术标准,确定不同生态脆弱区资源、环境承载力阈值(生态警戒线),为脆弱区生态保育奠定科学基础。