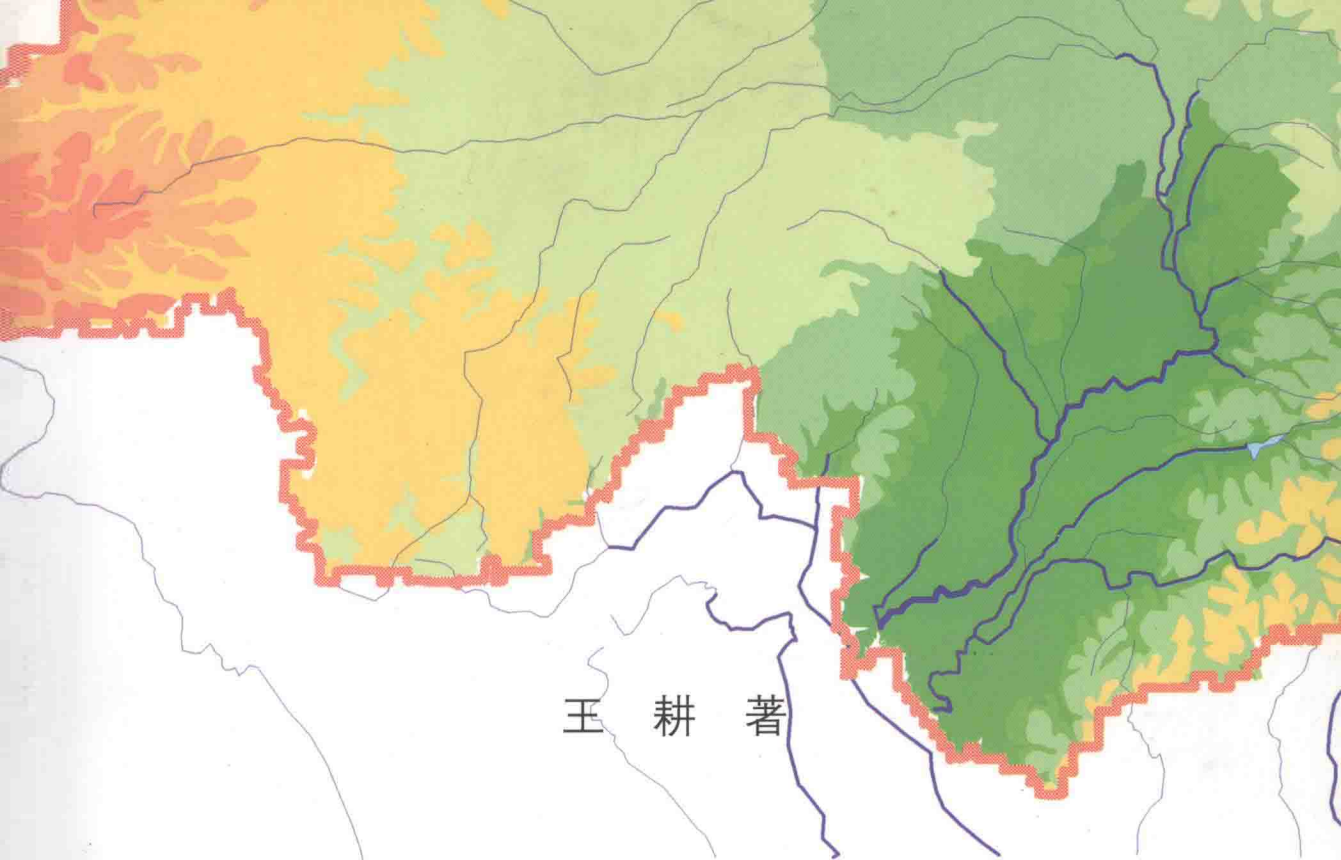




王耕 著

辽河流域

生态安全隐患评价与预警研究

大连海事大学出版社

辽河流域生态安全隐患评价 与预警研究

王 耕 著

大连海事大学出版社

©王 耕 2012

图书在版编目 (CIP) 数据

辽河流域生态安全隐患评价与预警研究 / 王耕著. —大连 : 大连海事大学出版社, 2012. 5

ISBN 978-7-5632-2687-0

I. 辽… II. ①王… III. ①辽河流域—生态安全—研究 IV. ①X321. 23

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 082832 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路 1 号 邮政编码: 116026 电话: 0411-84728394 传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连美跃彩色印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2012 年 5 月第 1 版

2012 年 5 月第 1 次印刷

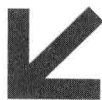
幅面尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 11

字数: 243 千 印数: 1~350 册

责任编辑: 陆 梅 版式设计: 孟 冀

封面设计: 王 艳 责任校对: 史云霞

ISBN 978-7-5632-2687-0 定价: 22.00 元



内容简介

本书在综述国内外关于生态安全概念的各种理解和分析基于 P—S—R 的生态安全评价机理框架局限的基础上,重新认识了生态安全概念,提出基于隐患因素的区域生态安全概念及评价机理。建立了基于五大圈层结构的生态安全隐患因素评价指标体系,利用风险测量度量、隐患度量理论,构建生态安全隐患指数评价模型,同时运用 GIS 网格交互赋值技术对指标因子赋值,利用模糊—熵值法确定指标的权重,通过对风险指数的隐患指数,响应指数的测算,从生活隐患、生产隐患、生存隐患方面对辽河流域各区生态安全最可能状态、最乐观状态和最悲观状态进行综合评价,并且对流域内各区的生态安全状态空间差异进行分析。根据风险预警理论,建立了基于隐患因素的区域生态安全预警系统的概念框架,进行生态安全状态预警与趋势预警,设计与开发了区域生态安全预警系统,并阐明预警应急节点分布与运行模式,同时对辽河流域未来 10 年生态安全灾变态势也做了相应分析。研究成果可以为区域生态安全调控、区域可持续发展决策提供参考与支持。

本书可供环境科学、生态学、地理科学、灾害学和安全科学等学科专业的高年级本科生、研究生以及从事上述相关专业的教学、科研人员学习和参考;同时本书也可作为辽河流域地区政府经济、环保公务人员提供决策参考。

前言

人类的生存发展与生态环境密切相关，人类社会生存发展的基础保障，便是要有稳定而适宜的生态环境。工业革命以来，随着人口的增长和社会经济的飞速发展，人类在享受创造的物质财富和精神财富的同时，对自然环境长期的不合理的开发利用所累积的大量生态安全问题也出现在人类面前，人地矛盾日益加剧。资源过度消耗、环境污染、生态系统遭到严重破坏等问题日益彰显，并引发一系列的全球性生态问题与生态危机，成为制约人类经济可持续发展和社会稳定的因素，威胁人类的未来生存。尽管世界各国在生态环境建设上已取得不小成就，但并未能从根本上扭转环境逆向演化的趋势。由环境退化和生态破坏及其所引发的环境灾害和生态灾难没有得到减缓，全球变暖、海平面上升、臭氧层空洞的出现与迅速扩大，及生物多样性的锐减等全球性的关系到人类本身安全的生态问题，一次次向人类敲响警钟。因此，人类不得不重新思考自己的社会经济行为，并逐步认识到传统的“先污染后治理”的经济发展模式已不再适合当今社会经济的发展，必须寻求一条社会、经济、环境协调发展的道路，既满足当代人的需求而又不损害后代人满足其需求的能力，即走可持续发展道路。生态安全与国防安全、经济安全、金融安全、文化安全等已具有同等重要的战略地位，并构成国家及区域安全的重要组成部分，且成为国防安全、经济安全、金融安全的基础。自然生态系统的破坏不仅对整个人类生存构成威胁，而且对国家的经济、社会生活形成了挑战，对国家的安全稳定构成了严重的威胁。据统计，自“二战”后由领土争端和海洋权益争夺引发的局部战争与冲突，约占“二战”后爆发的200余场局部战争和军事冲突的20%。因此生态安全或者环境安全已被视为非传统的重大安全威胁之一。维护国家安全是每一个国家政府最基本的职能，而生态安全是国家安全的重要组成部分，保障和维护国家和区域生态安全，不仅是生态环境保护的首要任务，也是我们每一个公民义不容辞的责任。在21世纪，保持全球及区域性的生态安全、环境安全、经济可持续发展已成为国际社会和人类的普遍共识，对生态安全的研究现已成为生态学、环境科学、地球科学以及资源科学研究的前沿领域和重要任务。

辽河流域同长江流域、黄河流域一样也是文明的发源地，是人类文明的摇篮，但由于人类不合理的活动，辽河流域各区都面临不同程度的生态环境问题。东辽河地区生态状况较好，生态环境问题主要集中于农业发展中地下水与土壤的污染；辽宁省所在的辽河下游地区是东北老工业基地的核心区，工业“三废”造成的环境污染构成本区生态安全最大的威胁；西辽河地区处于科尔沁沙地、东北平原、华北平原的交汇处，生态环境脆弱，又由于本区经济发展长期滞后，无力投资生态环境治理，从而形成生态系统恶性循环，水

土流失、荒漠化等生态问题是本区经济社会发展的重大瓶颈。研究辽河生态安全,改善流域生态环境质量,是国家振兴东北老工业基地政策的响应和实施。

本书以地理学、灾害学和环境科学理论为基础,综合运用 GIS、RS 等现代科学技术,基于隐患因素,从大气圈、水圈、岩石圈、生物圈及人类活动圈层构建了基于五大圈层的生态安全隐患评价指标体系,运用 GIS 网格技术对指标因子赋值,利用模糊—熵值法确定权重,综合测算风险指数、响应指数和隐患指数,实现辽河流域生态安全现状评价,并且对各分区进行对比分析;对流域现状和未来 10 年的生态安全趋势作出预警,构建生态安全预警系统;提出辽河流域生态安全的调控保障措施。

全书共分六章,第一章由王耕、刘晓青编写;第二章由王耕编写;第三章由王嘉丽、王彦双、辛宝桢编写;第四章由王耕、王利编写;第五章由王耕、王方雄、王利、马少君编写;第六章由王耕、王嘉丽编写。全书由王耕负责项目整体设计、大纲制定和审定,并兹统稿工作。在本书撰写过程中,得到大连理工大学博士生导师吴伟教授和辽宁省环保局辽河办、气象局、统计局、国土资源厅等部门的大力协助。此外,还要感谢国家自然科学基金委员会地球科学部对本项目的支持。

本书是我与项目组成员多年来从事环境科学与区域生态安全研究积累形成的,由于时间仓促和水平所限,本书诸多观点和内容都还不很成熟,难以满足读者的要求。本书所遗存的众多不足、缺陷、错误甚至荒谬之处,敬请读者批评、指正和鞭策,以便我们在本书修订、再版以及今后学术研究中不断进步。

王 耕

2011 年 11 月 29 日



目 录

第一章 生态安全研究综述	1
第一节 生态安全研究进展	1
一、国外研究进展	1
二、国内研究进展	2
第二节 生态安全评价研究进展	3
一、生态安全评价指标	3
二、生态安全评价方法	4
三、生态安全评价技术与手段	6
第三节 生态安全预警研究进展	7
一、生态安全预警概念	7
二、生态安全预警类型	8
三、生态安全预警方法	9
第四节 生态安全研究阶段与思考	10
一、生态安全研究阶段	10
二、生态安全研究思考	11
第二章 研究内容与方法	13
第一节 研究内容	13
一、生态安全评价机理研究	13
二、生态安全评价研究	13
三、生态安全预警研究	13
四、生态安全调控研究	14
第二节 研究方法	14
一、GIS 技术方法的应用研究	14
二、RS 技术方法的应用研究	15
三、区域生态安全隐患评价模型	15
第三节 技术路线	15
第三章 辽河流域环境概况	17
第一节 自然环境概况	17
一、流域位置、水系和地形	17

二、气象、水文和泥沙	19
三、水资源概况	20
四、地质、矿产资源和土壤	20
第二节 社会经济概况	21
一、社会概况	21
二、经济概况	21
第三节 生态安全概况	21
一、资源胁迫	21
二、环境污染	23
三、灾害频繁	24
第四章 生态安全隐患评价	27
第一节 区域生态安全评价框架	27
一、区域生态安全概念	27
二、区域生态安全特点	27
三、生态安全评价框架	29
第二节 评价原则与流程	30
一、评价原则	30
二、评价流程	31
第三节 生态安全隐患评价指标体系	31
一、指标确立原则	31
二、指标体系构建	32
第四节 辽河流域 GIS 数据库建立	35
一、GIS、RS 技术与应用	35
二、辽河流域 GIS 数字化	36
三、指标因子数据采集	37
四、评价因子 GIS 数据库建立	38
第五节 生态安全隐患评价模型	44
一、指标赋值与量化	45
二、模糊—熵值权重法	45
三、隐患指数度量	47
四、专题地图生成	50
五、模型实现	51
第六节 生态安全隐患评价结果	51
一、隐患指数计算	51
二、制图与分析	65

第五章 区域生态安全预警研究	69
第一节 生态安全预警框架与意义	69
一、生态安全预警系统概念框架	69
二、生态安全预警系统建立意义	71
第二节 生态安全预警方法	71
一、隐患评价与预测	71
二、预警分析	73
三、决策响应	74
第三节 生态安全预警结果与分析	74
一、生态安全状态预警	74
二、生态安全趋势预警	77
第四节 生态安全预警系统设计与实现	78
一、系统设计原则	78
二、软件开发框架	79
三、软件功能设计	80
四、数据库设计	83
五、三维地形可视化功能实现	84
第五节 生态安全预警应急体系构建	92
第六章 生态安全调控研究	95
一、东辽河地区	95
二、辽河中下游地区	95
三、西辽河地区	96
参 考 文 献	98
附录 A 辽河流域生态安全隐患评价过程中数据与结果	109
附录 B 辽河流域生态安全隐患评价与预警相关专题地图	151

第一章 生态安全研究综述

第一节 生态安全研究进展

近几十年来,由局部环境污染、生态破坏事件,发展到目前的全球性生态环境问题,严重威胁人类的生存和国家的发展,人类如何调整自身生产生活活动,来维护自身的安全,成为被广泛关注的焦点。生态安全研究已成为举世瞩目的全球性热点问题之一,国内外专家学者已经开展了一系列关于生态安全的研究,并且取得一定的成就。

一、国外研究进展

早在 20 世纪 40 年代,国外就初步开展了生态安全方面的研究。学者 Aldo Leopold 于 1941 年提出土地健康的概念并将其应用于土地健康的评价中,在此之后涉及环境安全和生态系统问题的研究逐渐开展起来。经济合作与发展组织(OECD)在 1990 年,开始了对生态环境指标的研究,首次提出“压力—状态—响应”的模型框架。1992 年联合国在巴西的里约热内卢召开环境与发展会议,102 位国家元首或政府领导人到会讲话,对危害人类及全球生态安全的环境问题进行了专题研究,且通过了相关的公约和会议宣言。1993 年美国成立了环境安全办公室,并从 1995 年起每年向总统和国会提交关于环境安全的年度报告。1996 年美国发表的《国家安全科学和技术战略》中指出由于环境压力所引发的区域冲突或国家内部冲突,都可能会使美国卷入军事干预、维护和平或者人道主义等代价高昂而且危险性大的活动中来。1999 年 9 月,美国环保局提交了《环境安全:通过环境保护加强国家安全》的报告。2000 年在美国马里兰大学召开的全球化与生态安全会议(Conference on Globalization and Ecological Security),更是将全球生态安全作为会议的中心议题,将“长期持续发展与生态安全研究”(Long Term Sustainability and Ecological Security)作为主要研究课题之一。2001 年 3 月英国召开了“环境安全与冲突预防”(Environmental Security and Conflict Prevention)国际研讨会。2002 年 9 月联合国在南非约翰内斯堡再次召开环境与发展高峰会议,对关系到全球的生态安全问题进行了讨论。2005 年亚洲开展国际河流跨境水与生态安全合作研究,提出跨境生态安全问题。2009 年中国国际问题研究基金会和国际生态安全合作组织共同主办全球国际生态安全合作年启动仪式,展开了国际生态安全合作研究。2010 年国际生态安全合作组织与亚洲政党国际议会、柬埔寨王国皇家政府在柬埔寨金边市共同主办首届世界生态安全大会,来自 60 多个国家的政党、议会、政府代表团出席了会议,与会者围绕“和平发展与生态安全”这一大会主题展开了深入讨论,并通过了《吴哥议定书》。

从宏观上看,国外生态安全研究主要围绕概念与理念、生态安全与国家安全、军事战略、社会经济可持续发展及全球化之间的关系展开。从微观上看,国外研究主要集中在基

因工程生物的生态（环境）安全、化学农药的施用对农田生态系统的影响。通过长期的国际合作与研究，对于生态安全在以下几方面形成了普遍的认识：①由于全球人口特别是发展中国家人口的持续快速增长，使得生产生活消费量和污染量不断增多，越来越多的冲突和灾害是由环境压力引起的。这种现象主要体现在发展中国家和处于贫困和边缘化的国家。②自然资源数量和质量在不断减少、变差，不公正的自然资源获得，可能引发冲突并增加面对灾害的脆弱性，从而影响到社会、经济和政治，这种冲突通常发生在国内而不是国家与国家之间。③生态安全应该从不同层面上加以考虑，而不能仅停留在国家层面上，小至地方，大到全球，目前生态安全的研究已进入到深层次的内部关系研究，不仅考虑外部的压力，而且注意到系统自身的脆弱性，强调环境压力与安全的关系不是因果（cause-and-effect relation）而是“共振”关系（resonance）。④环境保护和发展的成就在一定程度上遭到了冲突和灾害的破坏，对生态安全的策略应涉及经济活动、社会结构、机构机制和组织规章，以便减少受环境变化的影响。

二、国内研究进展

我国在 20 世纪 90 年代开始关注生态安全研究，2000 年底颁布了《中华人民共和国生态环境保护纲要》，明确将“国家生态环境安全”提到战略的高度，并对生态安全的定义、研究框架和方法进行了探讨。2001 年的两会代表和委员们关注的热点问题之一就是环境保护和生态建设。2004 年由全国政协委员会和中国发展研究院决定共同举办的“保护长江万里行”活动，以其强大的宣传力度，唤起了更多人的生态安全意识。我国生态安全的研究以 2000 年为界，2000 以前我国在生态安全研究方面，以小尺度某一局部问题为研究对象，成果不突出，且受发达国家影响较大。2000 年以后对于生态安全的研究不论是在范围还是在深度上都有显著进步，主要成果包括生态安全概念的界定、内涵的分析、生态安全的重要性、生态安全的评价分析。2005 年以来生态安全研究重点在生态安全的监测预警、生态安全的管理和保障等方面。目前，在我国生态安全已成为生态学、环境科学、地球科学以及资源科学研究的热点问题之一。而且由于近几年的环境问题日益突出，我国对生态安全的意识也逐渐增强。我国学者在借鉴国外研究方法与技术的基础上，对生态安全研究进行了富有成效的探索。曲格平对生态安全的定义进行了深入的探讨，分析了对我国造成影响的一些生态安全问题，并提出了我国确保生态安全的措施；介绍了影响我国的生态安全问题及其特点，并提出我国生态安全的战略重点和措施。俞孔坚等通过实例研究，提出在自然保护区中物种多样性保护的理论、技术和方法。程漱兰论述了国家生态安全的概念、特点和衡量标准，探讨了实现国家生态安全的条件和机制。肖笃宁等以干旱内流区为例，对绿洲景观的生态安全和内陆河流域的生态安全进行了分析，对生态安全的定义、生态安全研究的主要内容、区域生态安全研究特点、评价标准、生态安全预警与设计等做了探讨。左伟探讨了区域生态安全评价的指标体系和评价标准，并对 P—S—R 框架模型作了扩展，制定了区域生态安全评价指标体系概念框架，据此建立了区域生态安全评价指标体系。部分学者还对生态安全的预警与维护体系提出了框架。总的来看，我国生态安全由于起步较晚，开展时间较短，目前取得的成果主要是生态安全理论、概念和评价

上, 且对于单一区域如干旱内陆区、内陆河流域、盆地、高寒草原、绿洲、河流三角洲湿地、喀斯特山区等的研究不断增多, 而对于更深层次的生态安全监测、预警及多种自然环境的复合带研究还不够深入。

第二节 生态安全评价研究进展

生态安全研究涉及生态系统健康诊断、区域生态风险分析、景观安全格局、生态安全监测与预警以及生态安全管理与保障等方面。生态安全研究工作中最基础、最重要的部分就是生态安全的评价 (Ecological Security Assessment, ESA), 它是伴随着生态风险评估、生态系统健康评价、生态系统服务功能评价及生态承载力分析的发展而产生的。因为其评价的结果直接影响地区生态安全预测、状态分析、预警规划、决策实施, 因此生态安全评价越来越多地受到人们的关注。由于生态安全评价工作是一项跨学科、跨层次的综合性工作, 它既要求社会科学与自然科学的综合, 又要求决策层、执法层与研究层的结合, 这就对评价工作的组织管理与方法手段提出了特殊的要求。

生态安全的评价是在一定时期的某个区域内的人类开发建设活动对环境、生态及生态系统的影响过程与效应。生态安全评价包括了对“单一因子生态安全”及“综合因子与系统可持续发展”两方面的评价, 而且主要偏重于“系统可持续发展”的生态安全维持水平的评价。区域内的人类活动行为对环境、系统造成的影响是一种累积的影响, 这种累积影响往往不是区域内各项人类活动行为造成的生态、环境安全影响的简单叠加与加和效应, 它们之间可能会出现一些相互作用及交叉效应。

生态安全的评价层次必定是一个多方面的层次结构, 可以从区域、行业及国家水平等三个层次上来进行。区域的生态安全评价主要是对区域内的人类活动 (如农业、工业、城市) 对生物与环境的影响评价, 主要集中于区域土地利用规划、人地关系变化及生态安全与可持续性。行业的生态安全有着其特殊性 (如对于农业部门, 主要是评价农业活动对生物、环境、产业政策的影响)。国家的生态安全评价则体现一国的生态实力与可持续性实现的可能性。

一、生态安全评价指标

指标体系的选择和确定是进行生态安全评价的基础, 直接影响到评价的结果。指标的选取应能够反映区域生态安全的基本情况和主要特征。指标的数量不宜过多, 过多的指标会增加体系的复杂程度和评价难度, 甚至出现指标间不统一或是掩盖关键因子的情况; 指标过少, 则难以客观全面地反映区域生态安全状况。生态评价的指标体系一般包括三个层次: 目标层、准则层、指标层。目标层反映生态安全总态势, 准则层由生态安全的主要因素构成, 指标层是体系中最基本的层面, 由一系列量化的指标值组成。指标体系的内容要综合考虑到经济、社会、环境等方面的内容, 才能全面反映社会—经济—生态的复合系统的安全状态。

由于研究区域的不同特征和状况, 目前国内外不同的研究者建立了不同的指标体

系。国内外学者对生态安全指标体系的选取和建立进行了大量的研究。Seminar 认为,人类社会的安全与生态系统的安全目标是不可能完全一致的,人类只能是尽可能地将这两个目标进行协调,使其在整体上相容。Seminar 并将生态安全指标体系分为自然和人类社会两大指标。国际上有影响力的生态系统安全指标体系有: HAI 指标,即“人类活动强度指标”,是以色列希伯莱大学建立并运用于全球生态安全评价中的指标体系; HDI 指标,即“人文发展指标”,是联合国开发计划署建立并得到了世界各国的赞同的指标体系; P—S—R 指标体系,即“驱动力(压力)—状态—响应概念模型”,是由联合国可持续发展委员会提出,且目前应用较广泛的指标体系。

我国学者也对生态安全评价体系进行了许多方面的探讨。如杨京平将生态安全指标体系分为环境、生物与生态系统安全性指标,并建立了各自的评价指标。因为区域生态安全涉及资源、环境、社会经济多个方面,为了保证在评价时指标体系相对的科学性、完备性和有效性,门可佩等从资源、环境和社会经济出发,选取了森林覆盖率等 21 个指标,建立了一个包含三个层次的区域生态安全指标体系。张建龙等以塔里木河流域中游段为研究对象,提出构建多层次、多尺度的生态安全评价指标体系,即农业生态安全、绿洲城市生态安全、基于干旱区流域体系的流域生态安全的三个不同层次的生态安全评价指标体系。张百平等认为完整的区域生态安全指标体系应包括地面指标(例如严重退化草地面积、森林覆盖率等)、社会经济发展水平指标(如单位面积产量、人均耕地面积、人均 GDP 等)以及相关的政策指标(如土地政策、林业政策等)。驱动力—P—S—R 概念框架,扩展了 P—S—R 框架中压力模块的概念含义,与原框架中狭义的压力比较,其含义更加广泛。既有来自自然界方面的,如自然灾害压力等,又有来自人文社会方面的,如人口数量增长压力等。此框架着重提取满足人类需求的反映生态环境系统服务功能的指标因子,来建立区域生态安全评价指标体系。部分学者又对此模型进行了改进,例如钟振宇等采用“驱动力—压力—状态—影响—风险”框架构建洞庭湖生态安全评价指标体系。

二、生态安全评价方法

经过国内外学者的探讨,生态安全的评价方法有定性和定量两大类。目前,生态安全评价采用的方法大致包括综合指数方法、生态模型方法、景观生态学方法、区域生态安全承载力的评价方法。

(一) 综合指数方法

综合指数法是在生态安全评价中使用最广泛的方法,是在确定一套合理的指标体系的基础上,对各项指标个体指数加权平均,计算出指标综合值,用以综合评价生态状况的一种方法。即将一组相同或不同指数值通过统计学处理,使不同计量单位、性质的指标值标准化,最后转化成一个综合指数,以准确地评价区域生态安全的综合水平。该方法便于横向与纵向的对比分析。此方法要考虑多个影响因子之间的协同效应,即多个影响因子同时存在时将会加重影响程度。另外,此方法中的各影响因子对综合指数的贡献相等,即各影响因子在相同危害及安全程度下的指数相等。指数法简明扼要,且符合人们所熟悉的环境污染及环境影响评价思路,其不足之处在于如何明确建立表征生态环境质量的标准体系,

而且难以赋权与准确计量。该方法包括综合指数法、模糊综合法、主成分分析法。近年来,国际社会上兴起一种基于模糊决策分析原理的生态安全评价方法(FDA),并在区域尺度的许多典型地理区域得到广泛应用。如美国农业部森林局和美国土地管理局在1996年组织实施了哥伦比亚河盆地生态评价,获取了关于该区的生态系统管理框架和综合科学评价等成果。

(二) 生态模型方法

近年来,将生态模型运用到生态安全问题研究的方法,越来越得到国内外专家的认可,是今后生态安全评价最具活力的方向。针对不同尺度的评价对象,生态模型主要有个体与群落上的、生态系统尺度上的、区域及景观尺度上的。生态模型法的代表性方法是生态足迹法,生态足迹法最早由加拿大生态经济学家 William Ree 等于1992年提出,并由其博士生 Wackernagel 等于1996年加以完善的一种测量人类对自然资源生态消费的需求(生态足迹)与自然所能提供的生态供给(生态承载力)之间的差距的方法。生态足迹(ecological footprint, EF)就是能够持续地提供资源或消纳废物的、具有生物生产力的地域空间(biologically productive areas),其含义就是要维持一个人、地区、国家或者全球的生存所需要的或者能够容纳人类所排放的废物的、具有生物生产力的地域面积。生态足迹估计要承载一定生活质量的人口,需要多大的可供人类使用的可再生资源或者能够消纳废物的生态系统,又称之为“适当的承载力”(appropriated carrying capacity)。孙崇智等据生态足迹理论方法测算了南宁市历年的生态足迹,对南宁市生态安全的现状和发展趋势做出了评价。

(三) 景观生态学方法

景观生态学是研究景观单元的类型组成、空间格局及其与生态学过程相互作用的综合学科,其研究重点是空间格局、生态学过程与尺度之间的相互作用。景观生态学主要来源于地理学的景观理论和生物学的生态理论,它把地理学家研究自然现象的空间相互作用的横向研究和生态学家研究一个生态区的机能相互作用的纵向研究结合为一体,通过物质流、能量流、信息流及价值流在地球表层的传输和交换,通过生物与非生物以及人类之间的相互作用与转化,运用生态系统原理和系统方法研究景观结构和功能、景观动态变化以及相互作用的机理,研究景观的美化格局、优化结构、合理利用和保护。景观生态学方法是区域生态安全研究的重要手段,此方法通过空间异质性分析生态空间稳定性,能有机地将生态安全的评价、预测、预警三部分联系起来,在大尺度范围上,例如国家或全球范围,此方法有着广阔的前景。景观生态学方法可以分析如生态系统功能、生物多样性等许多生态安全问题,并且可以充分使用遥感影像数据和GIS技术,将空间结构与变化过程相结合。景观生态学方法可以有效地揭示土地利用/土地覆盖对生态安全在空间上的影响。巫丽芸等运用景观生态安全格局理论,借助有效费用距离模型,研究构建了福州城市景观生态安全格局,并在此基础上探讨了福州城市景观生态安全格局的关键组分。吴妍运用景观生态学原理,在综合指数法初步构建的景观生态安全综合评价模型的基础上,利用RS和GIS技术对遥感影像及其他带有空间属性的数据进行了处理、分析,并根据太阳岛湿

地景观生态安全评价结果将太阳岛湿地生态安全状况进行层次划分。

(四) 区域生态安全承载力的评价方法

区域生态安全承载力的研究方法是在资源承载力和环境安全承载力研究的基础上发展而来的。以状态空间法作为研究区域承载力的基本方法,在此基础上辅之以评价指标体系和系统动力学模型等定量方法,进行区域生态安全承载力与状况的现状分析、动态模拟及趋势预测。区域生态安全承载力通常由表示区域系统各要素状态向量的三维状态空间轴组成(人类活动轴、资源轴与环境轴),利用有关状态空间法的基本原理及状态空间法中的生态承载态点,表示一定时间尺度内区域的不同生态安全承载状况。

总体看来,虽然在整体上生态安全评价方法已经很明了,而且涉及了数学、生态学和景观学等多学科多领域,但对这些方法的具体运行还多处于尝试阶段,存在许多不足的地方。因此,在具体分析某一区域生态安全的研究过程中,应根据具体的研究内容对这些方法进行改良和取舍,根据扬长避短的原则将这些方法运用到生态安全评价的过程当中。

三、生态安全评价技术与手段

生态安全的评价与分析同生态系统密切相关,因此生态系统的范围与特点决定了生态安全的评价方法与途径,不同尺度的生态系统及生态系统结构具有整体性、开放性、区域分异性及可变性的特点,决定了对其生态安全的评价需要采用多种方法与手段。区域开发及人类活动对环境安全、生物安全影响过程的评价及研究途径包括了预测分析与规划管理两个主要部分。分析评价主要是分析区域开发活动给环境造成的累积效应(客观变化),规划与管理途径分析部分累积效应外,主要是对累积影响进行评估。

(一) 遥感与地理信息系统

遥感(RS)用于区域变化,尤其在人类活动对土地覆盖、土地利用的研究方面已经成为一个重要的手段。地理信息系统技术(GIS)是一种以空间数据库为核心,采用空间分析方法和空间建模方法,适时提供多种空间和动态的资源与环境信息的计算机技术系统。利用GIS技术与RS手段,可以对区域环境开发、人类活动影响效应进行透彻的分析;可以对环境的变化、安全性的程度在区域、局域和局部进行多层次的转换,并进行细致的分析。GIS的分析手段能通过展现空间“拥挤”和“破碎”效应来分析人类开发活动累积效应的空间结构变化。如郭斌等基于3S技术进行城市土地利用变化与生态安全评价研究,杨存建利用遥感和GIS进行四川省生态安全评价研究。

(二) 景观分析

景观分析是采用景观生态研究的方法,定量地描述景观结构,建立景观结构与功能间的相互关系,并从景观结构的变化来推断功能的变化;在进行人类活动对生态安全影响的累积效应分析时,常采用与结构和功能的特点相关的指标,景观分析对累积效应的来源进行考虑。虽然该方法不能直接分析开发活动效应,但可在区域尺度上考虑它的环境效应及对安全影响的作用程度。在时间上,该方法能对景观组成与过程的累积变化进行时间序列上的分析。韩振华等基于景观格局进行辽河三角洲湿地生态安全分析,俞孔坚进行北京城市扩张的生态系统服务及其安全格局研究。

（三）模拟模型

模拟模型是一种相当于在计算机上做实验的方法，通常有空间模型和非空间模型。这些模型描述环境系统或系统要素的行为特征，或者人类活动对生态系统的影响。最典型的就 是罗马俱乐部的人口、资源与经济模型。模型模拟的精确度取决于对模拟对象的了解程度和数据的质量，模拟模型对影响源、累积的过程、空间累积、时间累积、结构与功能变化等 均能进行较好的分析。但它的应用必须满足以下前提：①对环境系统的结构与行为有足够的认识；②具有足够可信的数据和模型；③具备足够的资金、时间和专业技术。在对生态安全的影响进行分析的模型中，人地系统动力模型是解释人地关系相互作用动态的基础，也是区分影响生态安全的驱动力原因。地球表层动力学模型作为人地系统动力模型之一，可以划分为两种表达方式，一种是基于对单一过程有明确结果的动力学基础上所建立的地球表层非线性动力模型，另一种是基于对人地相互作用结果有连续观测记录基础上所建立的地球表层动力模型，这两类模型强调地球表层系统的各个因素之间的动力关系，并强调其相互作用结果的动力学关系。

还有的学者将生态安全的评价方法归结为数学模型法、生态模型法、景观生态模型法、数字地面模型法。数学模型中代表性方法有综合指数法、生态模型法、景观生态模型法、数字地面模型法、物元评判法、主成分投影法、BP 网络法；生态模型的代表性方法有生态足迹法；景观生态模型的代表性方法有景观生态安全格局法、景观空间邻接度法；数字地面模型的代表性方法有数字生态安全法。但基于数学模型的各种数理统计方法，在实际评价中很难做到尽善尽美，因此，不少学者在综合上述各种方法优点的基础上，开发了多种方法相结合的复合评价模型，如基于模糊决策分析原理的生态安全评价方法（FDA）、多级模糊综合评价——灰色关联优势分析模型、层次分析—变权—模糊—灰色关联复合模型等在实际评价中应运而生。

第三节 生态安全预警研究进展

一、生态安全预警概念

所谓预警的“警”是指事物发展过程中出现的极不正常的情况，也就是可能导致风险的情况，亦称警情。例如，经济运行严重偏离正常发展轨道就是经济发展遇到了警情。所谓“预警”，就是度量某种状态偏离预警线的强弱程度，是对危机或危险状态的一种预前信息警报或警告。简言之，料事之先是为预，防患未然即为警。狭义的预警仅指对自然资源或生态安全可能出现的衰竭或危机而建立的报警，而广义的预警则涵盖了生态安全的维护、防止危机发展的过程，即从发现警情、分析警兆、寻找警源、判断警度以及采取正确的预警方法将警情排除的全过程。生态安全预警指对工程建设、资源开发、国土整治等人类活动或各种自然灾害对生态系统所造成的外界影响进行评价、分析与预测，确定区域生态环境质量和生态系统状态在人类活动影响下的变化趋势、速度以及达到某一变化阈值的时间等，并按需要适时地提出恶化或危害变化的各种警戒信息及相应的对策措施。生态安

全预警不仅要正确判断涉及资源开发、人类活动所造成的环境、生物与生态系统危机的后果,更要对可能出现的警情寻找警源,以便采取有效控制甚至化解警情的出现。它是一种广义范围的预警,内容上涵盖了生态预警、环境预警及生物安全预警等。在实际生活中,人们关心的是灾变发生的可能性及其发生后的影响,因此针对风险含义上的安全预警能够充分辨识并排查灾变的警情,正确地估测安全状态恶化态势,为保护生态安全提供更有效的信息,也更有利于可持续发展。生态安全预警是生态安全研究的重要内容,它对研究区域内的社会、经济、环境的协调发展具有重要意义。

二、生态安全预警类型

生态安全的预警类型随分类原则不同而不同。

(一) 按预警的内涵分

1. 不良状态预警:对已处于恶化状态或对人类活动造成危害的生态系统做出预警,可进一步分为较差状态预警和恶劣状态预警。
2. 恶化趋势预警:当生态系统安全指数下降超过一定程度,即使尚未达恶化或危害程度,但处于连续退化的过程中,需对其未来可能进入警戒状态做出预警。
3. 恶化速度预警:生态系统恶化速度的快慢将对人类调控采取的措施提出不同要求,应密切注意恶化趋势迅猛、恶化速度超过正常水平的生态系统,需对其及时做出预警。

(二) 按预警的内容分

1. 自然资源预警:主要是对维持生命系统要素的水、土、大气、热及生物等资源本底值的变化进行预警,如水资源量、森林覆盖率等。
2. 环境预警:主要是对人类活动造成的环境污染影响,环境质量变化造成的生态系统的逆向演替、退化、恶化过程做出的及时报警,如污染物对水体及大气的影响等。
3. 人口预警:主要是对人口数量、人员素质的预警。由于人口的发展具有很强的延续性,如果一代没有发展好,往往影响到以后几代人的生活质量与环境状况。
4. 社会经济预警:主要是对社会经济是否可持续发展进行预警。

(三) 按预警的发展过程分

1. 现状预警:因某种原因已进入警戒状态而不觉察,对目前状态进行预报,如农业自然环境系统整体恶化。
2. 趋势预警:过去的或未来的动态变化。

(四) 按预警的时间尺度分

1. 突发性预警:对突发性事件的预警,警情紧急,要求尽快对系统的安全性做出预测与警度判断,迅速做出响应,及时发布并采取措施。
2. 短期预警:短期预警一般为一年以内。
3. 中长期预警:中长期预警一般以五年、十年为时间段进行。

(五) 按预警对象分

1. 单因子预警:仅就某一生态系统因子的演变趋势、速度及后果做出预警。
2. 子系统预警:在对组成子系统的若干单因子进行综合分析的基础上进一步分析子