

生态安全与土地利用格局优化

晋北地区

Ecological Security
and Land Use Pattern Optimization
in Northern Shanxi Province

徐小明 张 红 / 编著

晋北地区生态安全与土地利用格局优化

徐小明 张 红 编著

中国环境出版集团·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

晋北地区生态安全与土地利用格局优化/徐小明, 张红
编著. —北京: 中国环境出版集团, 2018.3

ISBN 978-7-5111-3538-4

I. ①晋… II. ①徐… ②张… III. ①土地利用—
生态安全—研究—山西 IV. ①X321.225

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 029659 号

出版人 武德凯
责任编辑 田 怡
责任校对 任 丽
封面设计 宋 瑞

出版发行 中国环境出版集团
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京建宏印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2018 年 3 月第 1 版
印 次 2018 年 3 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 8.75
字 数 160 千字
定 价 35.00 元

【版权所有。未经许可，请勿翻印、转载，违者必究。】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换

内容提要

晋北地区位于我国山西省北部，地处黄土高原农牧交错带，是生态脆弱地区。近几十年来，在人口数量和经济指标快速增长的背景下，该区出现了土地利用变化剧烈、土地利用结构不合理、景观格局受到影响、生态系统服务功能遭受损害等诸多问题，严重威胁着区域生态安全。在此背景下，本书首先对晋北地区 1986 年、1994 年、1999 年、2009 年、2014 年的土地利用/覆被变化及其驱动力进行了分析；利用多种景观指数对该区景观格局的时空动态进行了分析；以生态系统产水服务、土壤保持服务及净初级生产力（NPP）服务为例对研究区的生态系统服务功能进行了定量评估；基于 DPSIR 模型评估了该区生态安全现状；运用系统动力学模型预测了研究区在未来不同情景下的土地利用结构；通过结合 Logistic-CA-Markov 模型对晋北地区的土地利用空间格局进行了情景模拟；在此基础上，对未来不同情景下晋北地区的生态安全状况进行了预测，并分析了不同情景下的景观格局变化，并据此提出了区域景观格局可持续发展的对策和土地利用规划的相关建议，以期为该区的土地利用规划提供科学依据，最终实现社会、经济和生态的可持续发展。本书集成了遥感数据、空间数据、统计数据以及地理信息系统、景观指数法、系统动力学、元胞自动机、InVEST 模型、RUSLE、典范对应分析、逻辑回归等多种方法，可为生态学、地理学以及环境科学的相关工作人员提供参考。

前 言

晋北地区位于 $38^{\circ}39'56'' \sim 40^{\circ}44'35''\text{N}$ 、 $110^{\circ}56'30'' \sim 114^{\circ}32'30''\text{E}$ ，总面积 3.17 万 km^2 ，占山西省面积的 20.23%，东部与河北省毗邻，北至外长城，与内蒙古自治区接壤。该区地处黄土高原农牧交错带，同时也是生态脆弱地区，近年来，随着人口与经济发展，该区土地、生物以及水资源被不合理地开发，引起了该区土地退化、水土流失、水资源短缺等现象，导致该区土地利用结构不合理，生态系统服务功能受到损害，生态安全受到严重威胁。这些严重的生态环境问题已影响该区水土资源的永续利用和农牧业的可持续发展。

针对以上问题，国内外学者多年来在该区开展了多项关于水土流失、土地沙化、环境保护、土地利用变化等领域的调查与研究，取得了丰硕的成果。但是，集成多元数据及多种技术手段分析未来情景下该区的土地利用/覆被变化、生态安全以及生态系统服务功能的综合研究还未见报道。由于复杂的地貌、气候条件以及社会经济的快速发展，针对晋北地区的土地利用、景观格局、生态安全及生态系统服务的研究异常复杂，包含了多个维度和变量，采用单一的传统方法很难揭示和解决该区复杂的环境问题。为此，自 2012 年以来，作者在山西省“十二五”科技重大专项、国家自然科学基金项目、山西省基础研究计划等多个项目的支持下，开展了“晋北地区生态安全与土地利用格局优化”研究。

为了研究晋北地区土地利用、生态安全以及生态系统服务的时空变化特征，笔者集成了多个学科的基本科学理论，包括生态学、环境科学、地球科学、信息科学、计算机科学等，多种技术方法，包括遥感、地理信息系统、生态模型、统计模型、系统动力学、时空离散模型、数据同化等，结合生态环境综合调查及环境信息提取，

对研究区的土地利用变化进行跟踪监测与动态分析,评估该区景观格局时空变化和生态系统服务功能,综合评价研究区生态安全现状,预测未来情景下的土地利用变化结构与空间分布,在此基础上分析了未来情景下研究区生态安全状况和景观格局状况,并提出了对应的改进措施与建议。本书采用了美国陆地卫星 TM 跨度近 30 年、共 20 景的影像数据,编制了不同时期的卫星影像和土地利用/覆被图,应用 ArcGIS、MATLAB、ERDAS Imagine、MapINFO、IDRISI、Microsoft Office、Photoshop 等软件进行各种图件的处理及编制工作,总计生成专题图件近百张。

多种方法和技术的集成是本研究在技术方法方面的一个特色。本书将“自上而下”的系统动力学模型与“自下而上”的元胞自动机模型结合起来,模拟了晋北地区土地利用的数量变化与空间分布;在生态安全评价时耦合了 DPSIR 概念模型以及客观赋权方法——主成分分析法,构建了生态安全评价指标体系,评价了晋北地区近 30 年来的生态安全状况;采用 InVEST 模型和 RUSLE 方程分析了研究区生态系统的产水服务以及水土保持服务。

在研究过程中,作者获得了国家自然科学基金委员会、山西省科技厅、山西省环境保护厅、山西省林业调查规划设计院、山西省农科院、山西省生态环境研究中心等单位的关怀和大力支持,同时得到了山西省大同市、忻州市和朔州市各级党政领导的关怀和帮助,在此一并表示感谢。

本书由徐小明、张红进行统稿、文字修订以及图表的绘制。参与编写的人员有:刘勇、苏常红、杜自强、武志涛、张霄羽、冯凌、申小雨、张莉秋、郑帅霖。

由于时间仓促,作者水平有限,错误与不足在所难免,请同行专家和广大读者批评指正。

徐小明 张红

2017年8月

目 录

1 绪 论.....	1
1.1 研究背景与研究意义	1
1.2 生态安全：理论、方法与进展.....	3
1.3 土地利用/覆被变化：理论、方法与进展.....	9
1.4 生态系统服务功能：理论、方法与进展.....	15
1.5 研究区概况	20
1.6 研究内容及技术路线	22
本章参考文献	24
2 晋北地区土地利用/覆被时空格局与驱动力分析	31
2.1 数据来源与处理	31
2.2 土地利用/覆被时空变化特征	32
2.3 土地利用/覆被变化驱动力分析	40
2.4 本章小结	42
本章参考文献	43
3 基于土地利用/覆被时空变化的晋北地区景观格局研究.....	45
3.1 数据来源	45
3.2 景观指数计算方法	45
3.3 晋北地区景观格局特征及时空变化分析.....	47
3.4 本章小结	54
本章参考文献	54

4	基于土地利用/覆被时空变化的晋北地区生态系统服务功能研究.....	56
4.1	晋北地区生态系统产水服务时空变化.....	57
4.2	晋北地区土壤保持量时空变化特征研究.....	65
4.3	晋北地区 NPP 服务的研究.....	75
4.4	讨论.....	78
4.5	本章小结.....	80
	本章参考文献.....	81
5	基于 DPSIR 的晋北地区生态安全评价.....	84
5.1	数据来源及评价时段.....	84
5.2	评价方法: DPSIR 模型.....	84
5.3	晋北地区生态安全评价.....	85
5.4	本章小结.....	90
	本章参考文献.....	90
6	基于系统动力学模型的土地利用格局情景模拟与仿真预测.....	92
6.1	数据来源.....	92
6.2	系统动力学原理.....	92
6.3	系统动力学模型.....	93
6.4	模拟结果.....	101
6.5	本章小结.....	101
	本章参考文献.....	102
7	基于 CA-Markov 的土地利用变化情景模拟.....	103
7.1	CA-Markov 模型.....	103
7.2	适宜性评价.....	104
7.3	CA-Markov 模型验证.....	108
7.4	转移矩阵的构建.....	109
7.5	不同情景下土地利用的空间格局.....	111
7.6	本章小结.....	112
	本章参考文献.....	113

8	晋北地区生态安全预测与土地利用格局优化	114
8.1	不同情景下晋北地区 2020 年生态安全预测	114
8.2	晋北地区 2020 年土地利用格局特征分析	115
8.3	土地利用优化可持续发展对策	119
8.4	本章小结	122
	本章参考文献	123
9	结论与展望	124
9.1	结论	124
9.2	创新与展望	128

1

绪 论

1.1 研究背景与研究意义

土地资源是人类及其他生物得以生存和发展的基本资料和劳动对象,在经济快速发展的今天,土地资源的多少和优劣是决定一个地方能否实现可持续发展的先决性条件(苏小苗,2008)。自20世纪80年代以来,土地利用/覆被变化(Land Use /Cover Change, LUCC)的科学探索已经成为研究环境变化的重要内容(王薇等,2014)。探究土地利用动态变化及其结构模拟预测对地区生态环境变化的重要性不言而喻。土地利用结构的模拟预测是为规划土地利用服务的,也是区域经济和社会发展规划的考量手段(邢容容,2014)。

随着人口数量增长和社会经济的不断繁荣,人类活动导致的土地利用/覆被变化逐渐成为影响全球环境改变的重要原因(蒙吉军,2005),而土地利用/覆被变化又导致全球生态安全的问题(朱蕾,2007)。生态安全可反映生态系统的健康状态及完整性,因此,对生态安全的深入研究显得尤为重要,保持区域乃至全球的生态安全,并实现可持续发展已成为人类的共同追求(张志华,2008)。

晋北地区位于我国山西省北部,地处黄土高原农牧交错带,土地沙化严重,进而制约了该地区社会经济的可持续发展。同时,在人口数量及经济快速增长的背景下,该区出现了土地利用变化剧烈、土地利用结构不合理等问题(张健等,2008)。晋北地区为黄土缓坡丘陵地貌,其半湿润向半干旱过渡的气候、灌丛向典型草原过渡的植被状况、栗钙土向灰褐土过渡的土壤状况,造成当地生态环境的脆弱及恶化,这极大威胁着当地的经济和社会的可持续发展,其带来的经济损失也相当大。据相关统计,山西省的沙化土地面积约为0.71万 km^2 ,其中大部分分布在晋北地区内,此外,由于晋北地区自身较差的地理环境和自然环境,地处内外长城沿线,土质较差,地表物质易沙化,植被盖度

小, 南北气流变化剧烈, 降水偏少且集中, 大风日数偏多, 整体气候干燥, 风沙现象活跃, 灾害性天气(旱灾、洪灾、霜冻、沙尘暴、雹灾等)连年发生等, 再加上人类不适度经济活动、煤炭资源的露天开采等使得晋北地区的生态系统破坏加剧, 水土保持、防风固沙等功能下降, 极大地威胁了晋北地区的生态系统安全。

沙化问题作为晋北最严重、最直接的灾害之一, 不仅对当地人们的生活和生产造成巨大的影响, 并且带来一定的经济损失, 同时对于动、植物的影响也是巨大的。沙化条件下, 植物光合作用的变化会直接导致整个地区生产力的变化, 沙化还会通过其他形式干扰光合作用发生的过程, 间接地影响植被生产力, 从而也间接影响了土壤保持、产水服务、滞尘服务和粮食生产等生态系统服务, 严重制约了社会经济可持续发展, 从根本上决定了晋北土地沙化的发展。因此生态环境的恶化值得我们对晋北地区生态系统服务时空动态变化以及权衡协同作用的研究给予足够重视, 这对维持生态系统的平衡, 保持经济的可持续发展, 以及实现区域协调发展等方面具有重大的现实意义。

因此, 该地区的土地利用/覆被格局与变化情况以及在种情况下该地区的生态安全状况和未来的生态安全状况以及土地利用/覆被格局情况, 以及生态系统服务功能的变化, 成为该地区土地利用变化研究的重要内容。在生态系统服务的指标选择上, 应更多地针对区域特点进行, 因为不同的生态系统其主要的服务类型不同。由于晋北地区的降水量少、干旱、水土流失严重、时空上降水分布不均等, 因此本研究主要讨论晋北地区土壤保持、产水量、净初级生产力(Net Primary Productivity, NPP)三个重要服务类型作为生态系统服务的评价指标。

本书首先对晋北地区 1986 年、1994 年、1999 年、2009 年、2014 年的土地利用/覆被格局进行了分析; 在此基础上运用典范对应分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)方法对该区 LUCC 的驱动力进行了定量分析; 利用多种景观指数对该区景观格局的时空动态进行了分析; 以生态系统产水服务、土壤保持服务和 NPP 服务为例对研究区的生态系统服务功能进行了定量评估; 基于 DPSIR 模型评估了该区生态安全现状; 运用系统动力学模型预测了在未来不同情景下的土地利用结构; 通过结合 Logistic-CA-Markov 模型对晋北地区的土地利用空间格局进行了情景模拟。在此基础上, 对未来不同情景下晋北地区的生态安全状况进行了预测, 并分析了不同情景下的景观格局变化, 据此提出了区域景观格局可持续发展的对策和土地利用规划的相关建议, 以期研究区的土地规划提供科学性的意见, 保障区域生态安全, 为区域土地利用、生态规划、生态安全等提供理论基础, 保障晋北地区社会、经济和生态的可持续协调发展。

1.2 生态安全：理论、方法与进展

1.2.1 生态安全的定义

生态安全作为人类生存安全的一个重要组成部分，是近几十年来才被人类所认识到的。1987年，世界环境与发展委员会的正式报告《我们共同的未来》中首次提出生态安全这一概念，目前对于生态安全（ecological security 或 environment security）的理解存在狭义和广义两种。广义的理解以1989年 IASA 提出的定义为代表，即生态安全是指在人的生活、健康、安全、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会秩序和人类适应环境变化能力等方面不受威胁的状态，它包括自然、经济和社会生态安全，组成一个复合人工生态安全系统（Dobson et al., 1997; Norton et al., 2010）。狭义的生态安全是指自然和半自然生态系统的安全，即生态系统完整性和健康的整体水平反映。

国内学者结合学科特点和研究对象，对生态安全进行了定义。郭中伟（2001）认为，生态安全是指与人类息息相关的自然生态资源与环境处于良好的状况或不遭受不可恢复的破坏。曲格平（2002）是国内最早系统阐述生态安全并普及生态安全知识的学者和领导。他从两个方面解释生态安全：一是防止由于生态环境的退化对经济基础构成威胁，主要指环境质量状况低劣和自然资源的减少和退化削弱了经济可持续发展的支撑能力；二是防止由于环境破坏和自然资源短缺引发民众的不满，特别是环境难民的大量产生，从而导致国家动荡。这一概念被相关研究文献大量引用。肖笃宁等（2002）将生态安全定义为人类在生产、生活和健康等方面不受生态破坏与环境污染等影响的保障程度，包括饮用水与食物安全、空气质量与绿色环境等基本要素。崔胜辉等（2005）认为，生态安全是指人与自然这一整体免受不利因素危害的存在状态及其保障条件，并使得自然系统的脆弱性不断得到改善。同时指出，安全与风险是相对的，安全是评价对象在期望值状态的保障程度，或防止不确定时间发生的可靠性，强调影响生态安全的风险与脆弱性问题。

综上所述，生态安全的定义颇多，但可以简明地概括为，生态安全是指人类社会发

展所依存的自然生态环境的稳定性与保障性，是指人类能够稳定获得生态服务功能的一种状态，是指人类的生存与发展相关的基本权利不受生态环境威胁的一种状态。

1.2.2 生态安全的特点

曲格平(2002)从生态系统的结构与功能出发,全面系统地阐述了生态安全的四大特点,即:

第一,生态系统的整体性。生态环境的大系统中一切都是相连相通的,任何局部环境的破坏,都有可能引发全局性的灾难,甚至危及整个国家和民族的生存条件。例如,美索不达米亚平原上的巴比伦文明、地中海地区的米诺斯文明、巴勒斯坦“希望之乡”等文明的相继衰弱和消亡,都主要是生态环境破坏导致的可悲后果。

第二,生态破坏的不可逆性。生态环境的支撑能力有一定限度,生态破坏一旦超过其环境自身修复的“阈值”,往往造成不可逆转的后果。例如,野生动植物物种一旦灭绝就永远消失了,人力无法使其重新恢复;再如,我国西南地区出现的“石漠化”土地,流失的土壤人力很难使其恢复,这种环境问题也是不可逆转的。

第三,生态恢复的长期性。许多生态环境问题一旦形成,若想解决就要在时间和经济上付出很高的代价。如改变沙化土地,使之恢复原来的面貌,往往要数十年甚至几代人的努力,经济代价也很高。再如,为了防止我国沙漠的蔓延并使之部分沙漠化土地得到恢复,恐怕要付出数千亿乃至上万亿元的投入才有可能。

第四,生态安全的全球性。正如全球经济一体化之后,国与国之间的经济安全密切相关一样,生态安全也是跨越国界的。一国的生态灾难有可能危及邻国的生态安全,如国际性河流中,上游国家的污染物排放或渗漏,就有可能危及下游国家的用水安全。实际上,目前世界各国已经面临各种全球性环境问题,包括气候变化、臭氧层破坏、生物多样性迅速减少、土地沙化、水源和海洋污染、有毒化学品污染危害等。在生态安全上,各国有着相当广泛的共同利益,因而也最有可能开展国际合作。

1.2.3 生态安全的背景及意义

人类所有的活动都必须依托所栖息的生态环境,生态环境状况决定着经济社会发展的持续性,决定着人类发展“能否持续”。随着人口数量的增长和社会经济的快速发展,人类社会对资源和环境的压力不断增加,生态环境恶化对人类生存和发展构成了严重威胁。在此背景下,生态安全研究引起了学者的广泛关注,生态安全的提出与重要性认识,最早追溯到20世纪80年代初期,Brown(1982)提出“目前对安全的威胁,来自国与国间关系的较少,而来自人与自然间关系的可能较多”……“土壤侵蚀,地球基本生态系统的退化和石油储量的枯竭,正在威胁着每个国家的安全”。世界环境与发展委员会

(1987)在《我们共同的未来》中明确指出“安全的定义必须扩展,超出对国家主权的政治和军事威胁,而要包括环境恶化和发展条件遭到的破坏”。1993年,美国著名环境学家Norman Myers提出“生态安全是地区的资源战争和全球的生态威胁而引起的环境退化,继而波及经济和政治的不安全”。并将此概念被各种学术期刊和国际会议广泛应用。

从政府层面来看,美国是最早认识到环境安全的重要意义与作用的国家。1991年8月,美国公布了新的《国家安全战略报告》,首次将环境安全视为国家利益的组成部分。1994年,美国国会通过《环境安全技术检验规划》将环境安全纳入美国的防务任务之中。中国政府在2000年12月发布的《全国生态环境保护纲要》中第一次提出“维护国家生态环境安全”的目标,将国家生态环境安全定义为“一个国家赖以生存和发展的生态环境处于不受或少受破坏与威胁的状态”,并提出生态安全是国家安全的重要基础。对于一个区域、一个国家乃至全球来说,生态安全具有战略性地位和重大意义,是实现可持续发展、长治久安的关键;对于专家学者而言,生态安全有着众多有待完善或未知的领域,不论是概念的统一,学科体系的研讨、建立及完善,保障生态安全的配套技术与方法的研究,还是生态安全的维护,生态安全预警系统的建立等都有待进一步探索(沈茂英,2011)。

1.2.4 国内生态安全的发展阶段

秦晓楠(2014)等以CSSCI中2000—2011年299篇生态安全研究论文为研究对象,采用文献共被引网络、关键词共现网络及突现词分析,以信息可视化为手段,对国内生态安全研究现状进行了分析。从多元、分时、动态的视角出发,对生态安全科学文献进行信息挖掘,分析生态安全的知识基础、研究主题和前沿,明确生态安全研究的演化路径和发展趋势。

首先,生态安全研究在2000—2002年处于刚刚起步阶段。在此阶段研究主题集中在生态安全理念的引入,从环境保护、可持续发展等研究领域演化出生态安全研究的基础概念。初期的生态安全研究是作为国家安全、可持续发展等研究领域的前沿分支,并随着研究的发展逐步进行着自身特色的概念界定与理念推广。

其次,生态安全研究在2003—2005年得到了迅速的发展,研究进入繁荣时期,产生了多样化的研究主题及复合、发散的研究网络,这个时期的研究主题主要集中在“生态系统评价”以及“中小尺度生态安全研究”。其中生态系统评价研究中“指标体系”呈现出较高的中心度,成为生态系统评价的主要方法。中小尺度生态系统研究侧重于生

态系统尺度及类型区分,主要针对“城市”“土地”“农业”等特色的生态系统进行研究与评价。生态安全研究呈现出从宏观的、笼统的研究走向微观的、具体的发展趋势。

再次,2006—2008年作为生态安全研究的转折点,有关生态安全的研究出现了短暂的停滞,进入了酝酿期。

最后,2009—2011年生态安全研究出现了新的突破,生态安全研究主题进入了分支拓展的阶段。该时期主要的关键词有“评价”“预警”,生态安全评价研究成为该时期的研究热点,尤其是对中小尺度生态系统风险评价研究成为主要研究方向。“环境监测”成为该时期预警研究的主要研究手段及方向。“土地生态安全”形成了该时期的一个研究热点。该研究一方面侧重于土地系统本身健康性和可持续性,另一方面强调土地生态系统为人类提供稳定的生态服务的能力。另外,“PSR”指标体系作为常用的生态系统评价指标体系构建方法,采用系统分解法将生态系统分解为“压力”“状态”“响应”等子系统,综合考量了生态系统本身状况变化以及生态系统与社会经济系统之间互动的影 响。同时,研究进一步进行生态预警的理论探索,引入了生态学、地理学等多样的研究方法,并展开了广泛的实证研究。

1.2.5 生态安全与相关概念的关系

生态环境服务功能是生态环境系统的基本属性,是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类生存的自然环境条件与效用,生态安全内涵包括生态环境系统能持续地为人类提供正常服务,将生态环境服务功能与生态安全研究相结合,更能促进生态环境科学直接为国家生态环境重点问题和安全战略服务,为社会经济发展和生态环境规划提供依据(Guo et al., 2003)。

生态承载力是生态系统的自我维持、自我调节能力,资源与环境的供容能力及其可维育的社会经济活动强度和人口数量。生态足迹法定量地判断人类所施压是否超出生态承载力,为生态环境系统是否安全或距离安全目标远近提供定量的权衡(Ren et al., 2005)。生态承载力与生态安全关系密切,是生态环境问题实质性表现的两个方面。当生态环境处于不受或少受破坏与威胁的状态时,其所处的自然生态环境状况能够维持社会经济的生存与可持续发展的需求,则该地区的生态系统就是安全的。反之,则是不安全的。

生态风险评价是评估暴露于一种或多种压力因子后,可能出现或正在出现的负面生态效应的可能性过程,生态风险实质上是从反面表征生态安全。风险是指评价对象偏离期望值的受胁迫程度,或事件发生的不确定性,其计算值为概率与可能损失结果的乘积;

安全是指评价对象在期望值状态的保障程度,或防止不确定事件发生的可靠性——安全与风险互为反函数。生态健康强调系统完整、稳定和发展过程持续性(Costanza, 1992),可通过系统活力、组织结构和恢复力定义(Rapport et al., 1998),主要反映系统内在结构、功能等完整程度及所具有活力和恢复力状态。健康与安全互为正比,但健康系统不一定安全,需要与其所处危险状态联系,生态健康实质从正面表征生态安全,通过系统健康分析,更能识别生态安全影响因素。

生态系统健康和生态系统服务(Ecosystem Service)则从正面表征了生态系统的安全状况。生态系统健康主要研究生态系统及其组分的安全与健康状况,而生态安全则取决于是否拥有健康的生态系统,因此,生态系统健康从正面表征了生态系统的安全状况;生态系统的服务功能是实现可持续发展的基础,作为表征区域可持续发展水平的一项综合指标,其价值是区域生态环境变化结果的综合化与定量化,其变化与社会经济活动密切相关,是系统安全的基本保证,因此也可以表征生态系统的安全状况。

总之,生态系统服务功能、生态承载力、生态风险与生态系统健康均以生态系统为基本出发点,着重研究生态系统的安全水平,而生态系统安全又是生态安全研究的核心。因此,可以用生态系统服务功能、生态承载力、生态风险与生态系统健康来表征生态安全,最终的目的是更好地实现经济—社会—环境的可持续发展。

1.2.6 生态安全评价研究进展

生态安全评价是在一定时间范围内,根据自然生态因子与社会、经济因子的相互作用关系,按照一定的标准,对生态环境影响因子及生态系统整体进行的安全状况评估(张勇等, 2009)。目前国内研究内容主要集中在评价模型及指标体系研究(张晓岚, 2013)。生态安全评价的工作流程主要包括选择评价尺度、构建评价指标体系、选择评价模型、确定评价标准、评价结果判断分析等。

1.2.6.1 评价尺度

确定评价尺度是进行生态安全评价的第一步,目前国内生态安全评价已呈现出以空间尺度为主流、时间尺度为支流,以区域生态安全评价为核心、国家生态安全评价为补充的研究格局(姚解生等, 2007)。

(1) 空间尺度生态安全评价研究涉及不同空间尺度评价对象,因此需要有一个适宜的空间尺度将宏观和微观生态问题联系起来(张艳芳等, 2005)。大尺度评价研究主要用于国家生态安全评价、区域生态安全评价、市(县)生态安全评价,其中又以区域生态安全评价研究居多,决策者可从宏观整体上把握生态安全状况,并制定方向明确的管

理策略。小尺度评价适用于群落、景观、流域等微观生态系统,有助于深入细致地探讨生态安全的影响机理和驱动力表现(魏彬等,2009)。

(2) 时间尺度人类活动、自然因素对生态系统的作用影响需要以一定的时间尺度为载体。就时间尺度而言,各成分之间的能量流动与循环在不同阶段保持着各自相对稳定的动态平衡,并随着环境的变化而发展变化(崔保山等,2003)。其中以时间“点”为尺度的研究一般用于现状评价和回顾评价,以便快速了解生态系统的现状及主要特征(刘艳艳等,2011)。以时间“段”为尺度的研究多用于动态评价,利于对不同阶段生态系统的结构和功能发生的变化进行分析,并预测其发展趋势。

1.2.6.2 评价模型及评价指标体系

在生态安全研究中,根据模型框架建立评价指标体系的方法已得到广泛应用。在选定评价模型的基础上,按照层次分析的指导思想和构建原则,采用自上而下、逐层分解的方法将生态安全评价指标体系分为目标层、准则层、指标层3个层次(魏彬,2009)。目标层表征了生态安全总体水平状况,准则层即影响生态安全的主要因素,指标层是体系中最基本的层面,由可以度量的指标组成(董恺忱等,2000),能反映评价生态安全主要特征。

目前应用较多的评价模型有P—S—R模型、D—S—R模型、D—PSR模型、D—P—S—I—R模型、D—PSE—R模型。P—S—R模型即压力(Pressure)—状态(State)—响应(Response)模型(曹新向等,2006),通过原因—状况—响应这一逻辑思维方式(全川,2000),将生态安全问题分解成3个既相互区别又相互关联的指标模块。其中压力指标表征人类活动给生态环境造成的负荷,状态指标反映生态系统服务功能及环境资源状况,响应指标反映人类采取何种对策与措施解决环境问题(Tong,2000)。

在PSR框架的基础上,联合国可持续发展委员会(The United Nations Commission on Sustainable Development, UNCS D)又建立了驱动力—状态—响应框架(Driving force-State-Response, DSR)，“驱动力”指标是指推动环境压力增加或减轻的社会经济或社会文化因子。

经济合作与发展组织(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)在1993年对PSR模型和DSR模型进行修订后提出了新的模型——“驱动力—压力—状态—影响—响应”(Driving forces-Pressures-States-Impacts-Responses, DPSIR)模型(Singh et al., 2009),DPSIR模型兼具了PSR模型和DSR模型的特点,目前已逐渐成为评价生态安全的有效方法。

从生态系统的服务功能与人类的需求角度出发,联合国粮食与农业组织(Food and