



# 区域生态系统质量与生态系统 服务评估——以甘肃省为例

潘竟虎 潘发俊 著



科学出版社

# 区域生态系统质量与生态系统 服务评估——以甘肃省为例

潘竞虎 潘发俊 著

甘肃省自然科学基金项目 (1208RJZA159)

甘肃省高等学校基本科研业务费项目 (ZAYF-2014-009)

西北师范大学青年教师科研能力提升计划创新团队项目 联合资助  
(NWNNU-LKQN-16-7)

甘肃省特色学科建设经费



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书以甘肃省为研究区,利用遥感、地理信息系统、空间经济分析等多种技术手段,从省域和流域等尺度较为系统地研究区域生态系统服务与生态系统质量的时空格局、表现类型、形成机理及空间差异。全书共 10 章,内容包括甘肃省生态系统胁迫评价、生态资产价值、潜在生态承载力估算、生态补偿标准测度,疏勒河流域景观格局变化、生态系统质量综合评价,以及干旱内陆河流域景观生态风险评价与生态安全格局优化构建,嘉酒地区生态系统服务空间权衡与协同等。本书成果可为区域生态文明建设的政策制定提供科学依据。

本书可供地理学、生态学、环境科学等学科的科研工作者参考,也可供从事和关心生态环境管理、保护、评价、规划的有关人员阅读。

审图号:甘 S (2018) 017 号

### 图书在版编目(CIP)数据

区域生态系统质量与生态系统服务评估:以甘肃省为例 / 潘竟虎,潘发俊著. —北京:科学出版社,2018.8

ISBN 978-7-03-058418-2

I. ①区… II. ①潘… ②潘… III. ①区域环境-环境系统-生态系-研究-甘肃 IV. ①X171.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 175709 号

责任编辑:亢列梅 / 责任校对:郭瑞芝

责任印制:张克忠 / 封面设计:陈敬

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>

三河市荣展印务有限公司印刷  
科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018 年 8 月第 一 版 开本:720×1000 1/16  
2018 年 8 月第一次印刷 印张:14 1/2

字数:292 000

定价:95.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

人类文明的发展史，就是一部人与自然的关系史。生态环境的变迁决定着人类文明的兴衰。随着我国工业化、城市化、信息化的快速推进，发达国家在现代化进程中遇到的问题也在我国不同程度地暴露出来，一些地区的生态问题已成为制约社会经济健康、可持续发展的障碍甚至瓶颈，生存与生态从来没有像今天这样联系紧密。大力推进生态文明建设，实现人与自然和谐发展，已成为中华民族伟大复兴的基本支撑和根本保障。看得见蓝天，闻得见清新，留得住绿水，守得住青山，记得住乡愁，不仅承载着公众对美好生活的质朴期许，更蕴含着实现高质量、有效益及可持续发展的不竭动力。

生态是生物之间以及生物与环境之间的相互关系和存在状态。作为一个独立运转的开放系统，生态系统具有保持或恢复自身结构和功能相对稳定的能力，并且具有一定的服务功能，但人类干扰对生态系统产生了前所未有的破坏。探寻区域生态系统服务与生态系统质量的表现类型、形成机理、尺度依赖及空间差异，是制定区域经济社会发展与生态文明建设“双赢”政策的有效途径。在国家大力推行生态文明建设的背景下，区域生态效益的最大化即为生态质量最优，生态服务需求与生态功能效应相吻合，可以保障区域生态安全。这种理想状况需要通过生态评估、生态规划、生态建设、生态补偿等具体的措施去实现。从学术研究层面来说，区域生态效益最大化需要多学科、多尺度持续研究，点滴的积累都是可贵的。甘肃省在国家生态建设中具有重要战略地位，是国务院确定的首个国家生态安全屏障综合试验区。甘肃省整体生态环境敏感脆弱，迫在眉睫的问题是摸清生态系统质量、承载力，有效识别那些对维持区域生态系统服务至关重要、需要重点保护的生态空间，并构建土地生态安全格局，最大限度地规避生态风险。同时，算清生态系统服务价值，算好“生态账”，可以为制定科学合理的生态恢复、生态保护、生态补偿政策提供基础性、关键性的科学依据。

本书是在甘肃省自然科学基金项目“近 40a 疏勒河流域人类活动与土地利用空间协同演化及其调适研究”(1208RJZA159)、甘肃省高等学校基本科研业务费项目“水权转移背景下疏勒河流域生态环境演化格局、机制及效应研究”(YWF-2014-009)，以及西北师范大学青年教师科研能力提升计划创新团队项目“空间分析与遥感”(NWNNU-LKQN-16-7)的共同资助下完成的，同时得到甘肃省特色学科“寒旱区地理生态与资源学科群”建设经费的支持。本书主要研究内容包括：生态系统质量与生态系统服务理论研究综述、甘肃省生态系统胁迫评价、

生态资产价值和生态-经济协调度时空变化格局、潜在生态承载力估算、区域生态补偿标准测度、历史时期疏勒河流域生态环境状况、疏勒河流域植被和土地利用景观格局变化、疏勒河流域生态系统质量综合评价、干旱内陆河流域景观生态风险评价与生态安全格局优化构建、嘉酒地区生态系统服务空间权衡与协同等。

本书是西北师范大学空间经济分析与遥感团队多年从事寒旱区生态环境遥感评价工作的部分积累和一些探索。西北师范大学潘竟虎教授负责全书的结构安排和第1~5章、第7~10章的撰写及统稿，嘉峪关市长城文化研究会的潘发俊研究员负责第6章的史料整理和文字撰写。西北师范大学硕士研究生刘晓、李真、王卫国、董磊磊、冯娅娅、张永年、徐柏翠、魏石梅、王云、赖建波、张亮林等参与并完成了资料整理、数据处理、问卷调研、文献检索等工作；张永年和徐柏翠协助统稿。本书在写作过程中参考和引用了众多学者的成果，在此表示诚挚的谢意。

由于生态环境评估问题本身的复杂性，加之作者水平有限，书中疏漏之处在所难免。作为一种尝试，希望本书能成为区域生态系统评估研究中的沧海一粟，给后来者一点启迪。

作者

2017年底于兰州

# 目 录

## 前言

第 1 章 生态系统质量与生态系统服务理论研究综述	1
1.1 生态系统质量的研究进展	1
1.1.1 生态系统质量的内涵	1
1.1.2 生态系统质量的研究内容	2
1.1.3 生态系统质量的评价指标体系	3
1.1.4 生态系统质量的评价方法	4
1.2 生态安全的研究进展	4
1.2.1 生态安全的概念	4
1.2.2 生态安全的研究内容	5
1.2.3 生态安全研究方法	6
1.3 生态承载力的研究进展	7
1.3.1 生态承载力的概念	7
1.3.2 生态承载力的评价方法	9
1.4 生态系统服务权衡与协同及其研究进展	11
1.4.1 生态系统服务的概念及其分类	11
1.4.2 生态系统服务价值评估及其主要方法	11
1.4.3 生态系统服务研究的时序热点分析	12
1.4.4 生态系统服务权衡与协同的产生及其概念	12
1.4.5 生态系统服务权衡与协同的研究方法	13
1.5 生态补偿的研究进展	14
1.5.1 生态补偿的概念	14
1.5.2 生态补偿的研究内容	15
参考文献	17
第 2 章 甘肃省生态系统胁迫评价	20
2.1 甘肃省生态环境概况	20
2.1.1 自然生态环境	20
2.1.2 水环境	22
2.1.3 大气环境	22

2.1.4	生态环境存在问题	22
2.2	社会经济活动对生态环境的影响	24
2.2.1	城镇化对生态系统的胁迫评价	24
2.2.2	水利开发强度对生态系统的胁迫评价	27
2.2.3	交通发展对生态系统的胁迫评价	28
2.2.4	水资源开发对生态系统的胁迫评价	30
2.3	农业活动对生态系统的胁迫评估	31
2.3.1	化肥施用强度对生态系统的胁迫	31
2.3.2	草原过牧对生态系统的胁迫	34
2.4	污染物排放和自然灾害对生态系统的胁迫	39
2.4.1	污水排放对生态系统的胁迫	39
2.4.2	二氧化硫排放对生态系统的胁迫	39
2.4.3	化学需氧量排放对生态系统的胁迫	39
2.4.4	自然灾害发生对生态系统的胁迫	40
2.5	生态系统胁迫综合评估	41
2.5.1	自然灾害胁迫综合评估	41
2.5.2	人类活动胁迫综合评估	42
2.6	本章小结	51
	参考文献	52
<b>第3章</b>	<b>甘肃省生态资产价值和生态-经济协调度时空变化格局</b>	<b>53</b>
3.1	数据来源与研究方法	54
3.1.1	数据来源及预处理	54
3.1.2	研究方法	54
3.2	甘肃省生态资产价值分布格局	56
3.3	生态资产价值空间格局变化	58
3.3.1	甘肃省生态资产价值变化格局分布	58
3.3.2	生态资产价值与国内生产总值的比较	59
3.4	生态-经济协调发展空间格局	60
3.5	本章小结	62
	参考文献	63
<b>第4章</b>	<b>甘肃省潜在生态承载力估算</b>	<b>64</b>
4.1	数据来源与研究方法	64
4.1.1	数据来源	64

4.1.2 研究方法 .....	65
4.2 甘肃省潜在 NDVI 的空间分布 .....	69
4.3 甘肃省潜在 NPP 的空间分布 .....	71
4.4 甘肃省潜在人均生态承载力的区域差异 .....	74
4.5 本章小结 .....	77
参考文献 .....	77
<b>第 5 章 甘肃省区域生态补偿标准测度 .....</b>	<b>79</b>
5.1 数据来源与研究方法 .....	79
5.1.1 数据来源及预处理 .....	79
5.1.2 研究方法 .....	80
5.2 甘肃省县域生态价值当量和生态服务总价值 .....	82
5.3 甘肃省生态补偿迫切度 .....	86
5.3.1 各生态区生态补偿迫切度 .....	86
5.3.2 甘肃省县域生态补偿迫切度 .....	88
5.4 甘肃省市域生态补偿额度 .....	90
5.5 本章小结 .....	91
参考文献 .....	92
<b>第 6 章 历史时期疏勒河流域生态环境状况与水权转移 .....</b>	<b>93</b>
6.1 疏勒河流域概况 .....	94
6.1.1 疏勒河上游 .....	94
6.1.2 疏勒河中游 .....	94
6.1.3 疏勒河下游 .....	95
6.1.4 有关历史时期疏勒河生态环境的研究 .....	95
6.2 疏勒河水系的自然和历史变迁 .....	96
6.2.1 疏勒河的自然变迁 .....	96
6.2.2 疏勒河的历史变迁 .....	100
6.3 疏勒河的水权转移 .....	105
6.3.1 汉朝前 .....	105
6.3.2 两汉时期 .....	106
6.3.3 两晋时期 .....	107
6.3.4 唐代 .....	108
6.3.5 中唐至清初时期 .....	109
6.3.6 清代 .....	110



6.4	清代对疏勒河的改造	111
6.4.1	筑大坝改河道——向靖逆引水	111
6.4.2	断水案开龙渠——向柳沟分水	112
6.4.3	开黄渠增西流——向安西送水	112
6.4.4	开修新黄渠——拦截布鲁湖水	113
6.4.5	开修渠道——向屯垦区供水	114
6.4.6	修复汉唐故渠道	114
	参考文献	115
<b>第7章</b>	<b>疏勒河流域植被和土地利用景观格局变化</b>	<b>116</b>
7.1	数据来源与研究方法	116
7.1.1	数据来源及预处理	116
7.1.2	研究方法	117
7.2	土地利用景观格局演变	126
7.2.1	景观指数分析	126
7.2.2	流域土地利用景观格局变化	130
7.3	植被净初级生产力时空变化及其与气候因子的关系	135
7.3.1	NPP 时空变化	135
7.3.2	NPP 与气候因子的关系	141
7.4	疏勒河流域生态环境状况参与式评估	146
7.4.1	问卷设计与实施调查	146
7.4.2	问卷统计与分析	147
7.5	本章小结	151
	参考文献	152
<b>第8章</b>	<b>疏勒河流域生态系统质量综合评价</b>	<b>153</b>
8.1	数据来源与研究方法	153
8.1.1	数据来源	153
8.1.2	研究方法	153
8.2	疏勒河流域生态系统生产能力评价	157
8.3	疏勒河流域生态系统稳定性评价	158
8.4	疏勒河流域生态系统承载力评价	160
8.5	疏勒河流域生态系统质量遥感综合评价	162
8.6	本章小结	164
	参考文献	165

第 9 章 干旱内陆河流域景观生态风险评价与生态安全格局优化构建	166
9.1 数据来源与研究方法	167
9.1.1 数据来源与处理	167
9.1.2 研究方法	168
9.2 疏勒河流域生态风险时空变化	174
9.3 甘州区生态安全空间格局	176
9.3.1 景观生态格局	176
9.3.2 甘州区景观格局阻力	178
9.4 景观生态格局优化	179
9.4.1 疏勒河流域景观生态格局优化	179
9.4.2 甘州区景观生态格局优化	180
9.5 本章小结	183
参考文献	184
第 10 章 嘉酒地区生态系统服务空间权衡与协同	185
10.1 研究区概况、数据来源与研究方法	185
10.1.1 研究区概况	185
10.1.2 数据来源及预处理	187
10.1.3 研究方法	187
10.2 嘉酒地区生态系统服务的时空格局	197
10.2.1 食物供给	197
10.2.2 碳储存	200
10.2.3 土壤保持	202
10.2.4 水源涵养	204
10.2.5 不同地类的生态系统服务时空差异	206
10.3 嘉酒地区生态系统服务权衡与协同关系	207
10.3.1 尺度分析	207
10.3.2 热点分析	210
10.3.3 生态系统服务空间分布特征	212
10.3.4 基于情景模拟的生态系统服务测算	213
10.4 本章小结	219
参考文献	220

# 第1章 生态系统质量与生态系统服务理论研究综述

## 1.1 生态系统质量的研究进展

### 1.1.1 生态系统质量的内涵

生态系统不仅为人类提供了自然资源和生存环境，而且是人类生存和发展的基础。环境科学中所指的环境通常是自然环境，生态科学中常常把生物生存的自然环境定义为生态环境<sup>[1]</sup>。生态环境是一个社会-经济-自然复合的生态系统。生态系统质量是指生态环境的优劣程度，即基于生态学理论，在一定的时间和空间范围内，从生态系统层次反映生态环境对人类生存及社会经济持续发展的适宜程度。生态系统质量评价是根据特定的目的，对生态系统质量的优劣程度进行定性或定量的分析或判别<sup>[2]</sup>。定性评价一般选取对生态系统影响较大的指标进行评价，根据指标大小或优劣程度评价生态环境的好坏；而定量评价通过建立模型或数学公式对相应指标进行计算，根据计算结果对生态环境进行评价。随着社会经济的飞速发展，人类对生态系统的干扰不断加剧，持续恶化的生态环境状况与人们对生态文明的追求间的矛盾愈发严重。党的十八大将生态文明建设纳入中国特色社会主义建设的总体布局，提出了建设“美丽中国”的伟大目标。作为一项长期而重要的任务，科学评价生态系统质量并了解其动态变化和主导因素是前提条件。评价生态系统质量现状及演变，为生态恢复提供科学决策依据，成为地理学、生态学和环境科学研究的热点。因此，生态系统质量评价是一项系统性、综合性的研究工作，是资源开发利用、制定社会经济可持续发展规划及生态环境保护对策的重要依据。

生态系统质量是在一定时间、空间范围内生态系统整体或部分组分的质量，具体表现为生态系统生产能力大小，受到外界干扰后的演化，以及对人类生存和社会经济的持续发展所造成的影响。生态系统质量评价需要刻画生态系统的基本特征，反映生态系统的健康状况，以及在自然与社会协调发展的前提下，体现自然生态系统维持现有服务功能的可持续性。因此，生态系统质量评价需从以下三方面表述<sup>[2]</sup>：一是生态系统服务功能的评价，服务功能的基础是生产能力，体现在生物量的富集上；二是服务功能的稳定性，即评价生产能力的波动，对生态系

统平衡状态及阈值进行量化；三是生态系统受到干扰的承载能力，即生态系统承载力评价。生态系统质量的概念与生态系统健康的定义类似，但生态系统质量更关注生态系统自身的特征，强调生态系统的环境质量、服务功能、健康状态三大基本特征，而生态系统健康则更多反映生态系统对环境的承载能力，换言之，生态系统健康是生态系统质量的一部分。生态系统质量评价包括生态系统的生产能力评价、服务功能的稳定性评价和承载力评价。

### 1.1.2 生态系统质量的研究内容

国外对生态系统质量的研究始于 20 世纪 80 年代初，典型代表如美国环境保护局从区域、国家、州域和小流域等不同尺度提出的环境监测和评价项目<sup>[3]</sup>。随着科学技术的不断发展和完善，生态系统质量评价呈现出多元化趋势。近年来，西方学者在生态系统质量的评价尺度、评价指标、评价方法等方面开展了大量研究工作。我国生态系统质量相关研究起步相对较晚，起初以政府倡导实施为主。1972 年，我国生态系统质量评价工作初步开始。1978 年，国家提出可持续发展理念，在全国范围内开展城市环境综合整治定量考核制度，国家和省级政府分别对 37 个重点城市和 330 多个城市进行考核。1993 年起，国家环境保护局先后评定了张家港等 6 个国家环境保护模范城市和 27 个绿色社区。生态系统质量研究的宗旨是“以人为本”，20 世纪 80 年代末至 90 年代初，生态系统质量评价以污染防治为主。随着生态环境质量评价定量分析理论和方法的进一步发展和完善，生态系统质量评价逐渐发展成为对区域生态系统质量的综合评价。通过分析发现，国内外研究的重点主要集中于评价指标、评价方法、技术手段、评价思路应用及定量分析解决某些典型区域的生态系统质量问题。

通过“中国知识基础设施工程”(CNKI)，检索包含中国学术期刊网络出版总库、中国博士学位论文全文数据库、中国优秀硕士学位论文全文数据库、中国重要会议论文全文数据库、国际会议论文全文数据库等近 30 年有关生态系统质量研究的文献。通过分析文献发现：生态系统质量相关研究始于 20 世纪 50 年代，主要研究重点集中于区域可持续发展和生态环境问题，其中，区域生态环境问题主要涉及农业、城镇、自然和景观等方面。随着社会经济的发展，在可持续发展的大背景下，有关生态系统质量的相关研究得到了重视。到 90 年代中期，生态系统质量评价的研究得到迅速发展，从研究对象看，包括城市、农村、湖泊、山丘等多种生态系统类型；研究方法上由最初的定性分析向定量分析转变。“3S”(Remote Sensing, Geographic Information System, Global Positioning System)技术的发展

使其在生态系统质量评价方面得到了广泛应用。生态系统质量评价体系也不断完善,评价因子由单因素向多因素转变。近年来,更多的研究重点集中于生态系统质量的评价响应及其动态变化方面。

### 1.1.3 生态系统质量的评价指标体系

科学合理地选择能够凸显区域生态环境特征的参数和指标是进行定量评价生态系统质量的条件。由于各生态系统所处自然、社会和经济状况不同,生态系统发展阶段不同,监测指标和评价尺度也各不相同,种种原因使得一致性指标体系难以确定<sup>[4]</sup>。目前国内外学者提出了多种生态系统质量评价指标体系的分类方法(表 1.1)。

表 1.1 生态系统质量的评价指标体系分类

指标体系分类	子指标	具体指标	研究者
活力	功能、生产力、生产量	新陈代谢、初级生产力、国内生产总值(GDP)	Costanza 等 <sup>[5]</sup>
组织结构	结构层次、结构多样性	生物多样性指数,平均共有信息	
恢复力	自救能力、负荷能力	种群恢复时间、化解干扰能力、生长范围	
物理化学指标	水分	水资源总量、降水量、水污染程度等	Carins 等 <sup>[6]</sup>
	大气污染	大气组分、大气污染程度等	
	土地理化性质	物理性质、化学性质和土壤污染程度等	
生态学指标	陆地生态系统	动植物区系特征、生物多样性、种群结构和分布	
	水生生态系统	动植物区系特征、水生生境类型和面积、生产力	
社会经济指标	人口动态	密度、分布、变化趋势	
	人口健康	死亡率、主要疾病发生程度、文化水平	
	区域经济发展	主要经济活动、技术发展水平	
	人类活动的影响	土地利用和分布、土地退化、公众环保意识	
生态系统内部指标	城市结构、城市环境	城市空气质量、城市安静度、清扫指数、垃圾处理	万本太等 <sup>[7]</sup>
	生态毒理学、流行病学、生态医学	污染物特征指标、生物对污染物反应指标、生态过程速率、受胁迫生态系统症状	马克明等 <sup>[8]</sup>
生态系统外部指标	社会经济指标、结构功能指标	GDP 总量、“三产”比例、工农业总产值	
生态系统分类	陆地生态系统	森林、湖泊、草原、荒漠、城市和农田生态系统	沈文君等 <sup>[9]</sup>
	海洋生态系统	浅海、深海、大洋	
影响生态系统健康因素	自然生态系统	人口增量、沙漠化、水土流失、森林破坏率、全球气温变化和空气污染等	
	经济生态系统	区域经济发展水平、资源占有比例、世界经济一体化指数	
	社会生态系统	地区健康、文化素质、科技水平和社会意识形态	

### 1.1.4 生态系统质量的评价方法

评价方法在生态环境质量评价中必不可少且具有重要的意义。生态环境质量评价主要采用定性和定量两种方法。目前国内外生态系统质量评价的代表性方法如表 1.2 所示。

表 1.2 生态系统质量的评价方法<sup>[10-19]</sup>

研究方法	方法描述	应用区域
层次分析法	美国运筹学家萨蒂 (Saaty) 提出, 利用权数求出各方案的优劣次序	甘肃省
主成分分析法	对高维的空间变量降维, 得到少数几个相互之间没有相关性并保留原始评价指标主要信息的主成分, 还可客观性地获得主因子的权重	辽宁省庄河市
模糊集对分析法	赵克勤提出, 将模糊逻辑理论用于集对分析	我国各省
熵值法	最大限度地利用原始指标值所提供的有效信息, 消除各因素权值的主观性	湖南省湿地
综合指数评价法	利用因子综合加权的方式定量地对研究区域环境质量进行综合评价	伊犁河流域
模糊综合评价法	根据模糊数学的隶属度理论对受到多种因素制约的事物或对象做出一个总体的评价	巢湖流域
灰色关联度分析法	邓聚龙提出, 指标越相似, 则相互联系越紧密, 其关联程度也越大	我国各省
人工神经网络评价法	由大量简单的神经元广泛连接而成, 用来模拟人脑思维方式, 由输入层、输出层及若干隐含层组成, 信息处理通过神经元的相互作用完成	鄂州市杜山镇
生态足迹法	Rees 和 Wackemagel 提出, 从需求面计算生态足迹的大小, 从供给面计算生态承载力的大小, 通过对二者的比较盈亏分析, 评价研究对象的可持续发展性	我国部分省区
景观生态学法	研究一定地理单元在一定时间段内生态系统类群的格局、特点、综合资源状况、物与流等自然规律, 以及人为干预下的演替趋势	长白山地区

## 1.2 生态安全的研究进展

### 1.2.1 生态安全的概念

生态安全的概念最早是基于环境安全的概念而提出来的。环境安全最先由 Lester 在 1977 年提出<sup>[20]</sup>, 随后, 联合国世界环境与发展委员会在 1987 年的《我们共同的未来》报告中使用了“环境安全”一词<sup>[21]</sup>, 在此基础上, 国际应用系统分析研究所在 1989 年首次提出了生态安全的概念<sup>[22]</sup>。

生态安全有广义和狭义两种理解: 广义的生态安全以国际应用系统分析研究所提出的定义为代表, 是指在人的生活、健康、安乐、基本权利、生活保障来源、

必要资源、社会次序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态,是由自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全组成的一个复合人工生态安全系统<sup>[23]</sup>;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<sup>[23]</sup>。

从生态安全的内涵理解,可以将生态安全的概念分为两类(表 1.3):第一类,强调生态系统自身健康、完整和可持续性;第二类,强调生态系统对人类提供完善的生态服务或人类的生存安全。

表 1.3 生态安全的概念

第一类	第二类
<p>生态安全是指自然环境既能满足生存于其中的天地万物的生存与发展的需求,又不至于使自身受到损害。生态系统的安全是生态安全的基础。生态安全可划分为三个层次:一是人的生命和健康安全,它取决于生命系统和环境系统的安全;二是生命系统的安全,它取决于环境系统的安全;三是环境系统的安全,它取决于特定空间(包括空气、气候、阳光、地质、水文等因素)的安全。景观和区域尺度上的生态安全具体包括了区域生态系统的完整性和健康度,生态过程的连续性和稳定度,生态灾害的风险性和安全度</p> <p>生态安全有两个方面的含义:一是保护健康的生态系统;二是维护生态系统的恢复力,如生态系统承受不可抗拒的变化的能力</p>	<p>生态安全是指在人的生活、健康、安乐、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会次序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态,是由自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全组成的一个复合人工生态安全系统。生态安全的显性特征是生态系统所提供的服务的质量或(和)数量的状态。生态安全包含生态系统是否有有益于人类安全,即生态系统所提供的服务是否满足人类的生存需要。生态安全也被冠以国家职能的含义,称为国家生态安全或国家环境安全,它是指国家生存和发展所需的生态环境处于不受或少受破坏与威胁的状态</p>

## 1.2.2 生态安全的研究内容

### 1. 国外研究进展

宏观层面上,大多数学者主要围绕生态安全与人类社会安全、社会公平、民族问题、军事外交战略、全球化进程等关系而展开。微观层面上,生态安全研究主要集中在两个方面:一是生物基因工程的生态(环境)风险与生态(环境)安全;二是化肥的施用对农业生态系统健康及生态(环境)安全的影响<sup>[24]</sup>(表 1.4)。

表 1.4 国外生态安全研究典型案例

时间	内容
1986 年	苏联切尔诺贝利核电站发生爆炸而引发的一系列人为环境灾难使得人们开始关注生态安全问题
1987 年	联合国世界环境与发展委员会的报告《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,要包括环境恶化和发展条件遭到的破坏
1988 年	为了应对工业事故所引发的环境危害,联合国提出了著名的“可佩尔计划”,环境安全的概念被正式提出 <sup>[25]</sup>

续表

时间	内容
1989年	“生态安全”首次正式出现,国际应用系统分析研究所将莱斯特布朗的环境安全的概念进行完善,成了生态安全的概念 <sup>[26]</sup>
1990年	部分学者对环境变化和安全之间的关系进行了大量经验性研究,发现许多发展中国家由于环境资源的亏缺导致了暴力冲突,而环境识别和环境变化则是环境资源缺乏和国内暴力冲突之间的背景原因、促发和催化剂 <sup>[27]</sup>
1997年	除学术界外,其他领域的人员开始关注环境变化与安全的关系。学科内部和其他部门对安全产生各种概念视角 <sup>[28]</sup>
2000年	Mark 把人类安全网络系统细分为多个子系统,包括人口安全子系统、政治安全子系统、文化安全子系统和生态安全子系统等,生态安全在其中起着重要作用 <sup>[29]</sup>
2002年	Dennis 提出了四种平衡,分别是致病微生物与人类之间的平衡、不同肤色人种之间的平衡、整个自然界与人类之间的平衡还有自然界其他种群与人类之间的平衡 <sup>[30]</sup>
2008年	Orfanidis 等建立了生态环境状况评价模型,确定了过渡和沿岸水体的恢复目标,诸多学者倾向于利用各种模型进行生态安全评价来探索生态与环境的关系 <sup>[31]</sup>
2009年	Hodson 和 Marvin 从城市角度来研究城市基础设施建设带来的环境影响与生态安全的联系。人们把更多的关注点放在环境与生态安全及社会安全的内在联系上 <sup>[32]</sup>
2012年	Haase 等通过建立概念框架来确定不同的农业做法对生态系统服务的影响。对生态安全的研究已进入到了深层次的内在关系研究,其研究范围也从关注环境压力延伸到对生态系统自身的脆弱性等方面 <sup>[33]</sup>
2016年	Liu 等通过提出一个复杂的指标体系来分析随着气候变化和人类活动的日益增多,如何解决区域尺度上干旱地区生态系统的脆弱性的问题 <sup>[34]</sup>

## 2. 国内研究进展

利用 CNKI 数据库进行文献检索,分析国内生态安全研究趋势。发现我国生态安全研究在 1997~2000 年处于起步阶段,研究内容集中在概念的界定,并尝试从生态环境、可持续发展和国家安全等领域来探索生态安全,其研究重心更多放在可持续发展上。2002~2005 年,国家生态安全、区域生态安全、水生态安全和土地生态安全等关键词的出现标志着生态安全研究进入发展期,衍生出多样化的研究主题和发散的研究网络。水生态安全、粮食安全和国家生态安全、区域生态安全、城市生态安全、耕地生态安全等具有相对均衡的特点,而土地生态安全表现出了较大的被关注度。这一时期,生态安全的相关研究开始走向中小尺度和特色类型的研究方向。2006~2010 年,有关生态安全的研究开始侧重方法的突破,研究重点开始向生态足迹、生态承载力、生态安全格局等领域倾斜。2010 年以后,研究主题出现“评价”等关键词,学者更乐于对生态环境现状进行评价和预警,以及开展不同尺度的时空分析。

### 1.2.3 生态安全研究方法

关于生态安全的主流研究方法如表 1.5 所示。



表 1.5 生态安全研究方法

研究方法	方法描述	应用区域
生态学方法	借用生态学方法论和思维方式——层次观、整体观、系统观、综合观和进化观,应用野外与现场调查、实验室分析、模拟实验、生态网络综合分析等生态学方法开展研究 <sup>[20]</sup>	美国(1999)
模型模拟法	模型在生态安全研究中具有预测、解释和推断功能。通常有空间模型和非空间模型。这些模型用来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 <sup>[34]</sup>	中国省域旅游(2017)
景观分析法	采用景观分析的方法,从空间上定量地描述景观结构。在时间上能对景观组成与过程的累积变化进行时间序列分析 <sup>[34]</sup>	辽河三角洲湿地景观(2010)
遥感与地理信息系统	综合应用 3S 技术,对生态环境与人类活动的响应进行动态监控、空间分析、生态风险评价和管理,从而建立区域生态安全决策模型,实现科学管理 <sup>[34]</sup>	东营市(2008)
构建指标体系法	将抽象的研究对象按照其本质属性和特征的某一方面的标识分解成具有行为化、可操作化的结构,并对指标体系中每一构成元素(即指标)赋予相应权重的过程	河南省新郑市(2017)
层次分析法	将与决策总是有关的元素分解成目标、准则、方案等层次,在此基础上进行定性和定量分析	洞庭湖(2010)
生态足迹法	对土地面积量化,在需求层面上计算生态足迹的大小,在供给层面上计算生态承载力的大小,然后比较二者的多寡,进而评价研究对象的可持续发展状况	海岛旅游地(2011)
系统聚类分析	距离最近的样本先聚成类,距离远的样本后聚成类,该过程一直进行下去,每个样本最终能聚到适当的类中,通过样本间距离度量它们的相似程度	温州市(2008)
加权综合评价法	将多个指标转化为一个能够反映综合情况的指标进行评价,包括主成分分析法、模糊评价法等	大连市甘井子区(2013)
物元分析法	任一事物均用“事物、特征、量值”三个要素来描述,组成有序三元组的基本元,并分析研究这些物元及其变化规律	湖北省三个农业型小城镇(2006)
集对分析法	把确定性与不确定性作为一个互相联系、互相制约、互相渗透,又可在一定条件下互相转化的确定/不确定系统来处理	中国城市(2009)

## 1.3 生态承载力的研究进展

### 1.3.1 生态承载力的概念

#### 1. 承载力概念的演化与发展

在 20 世纪 60 年代,由于人口和经济的快速增长,人类对自然环境造成的破坏越来越严重,人地矛盾日趋尖锐,承载力研究应运而生。承载力的概念最早出现在 Malthus 的人口理论当中<sup>[35]</sup>。他认为,自然界中的资源是有限的,并且能够限制人口的增长,这也为承载力理论的研究奠定了基础。在随后的几十年中,学界并没有真正地提出“承载力”的概念,而是以“饱和水平”(saturation level)、