

基于GIS的 关中地区土地利用变化及 土地生态安全动态研究

JIYU GIS DE GUANZHONG DIQU
TUDI LIYONG BIANHUA JI
TUDI SHENGTAI ANQUAN DONGTAI YANJIU

莫宏伟 任志远 著



湖南科技图书出版基金

国家自然科学基金项目(40771019)资助

基于 GIS 的关中地区土地利用 变化及土地生态安全动态研究

莫宏伟 任志远

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

基于 GIS 的关中地区土地利用变化及土地生态安全
动态研究/莫宏伟, 任志远著. —北京: 中国环境科学
出版社, 2011.5

(博士文库)

ISBN 978-7-5111-0563-9

I. ①基… II. ①莫…②任… III. ①地理信息
系统—应用—土地利用—研究—陕西省②地理信息系
统—应用—土壤生态学—研究—陕西省 IV. ①F321.1-39
②S154.1-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 069200 号

责任编辑 李卫民

封面设计 玄石至上

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2011 年 5 月第 1 版
印 次 2011 年 5 月第 1 次印刷
开 本 880×1230 1/32
印 张 6.5 彩插 37 面
字 数 180 千字
定 价 25.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

摘 要

土地是人类生存和发展的基础,随着人口增长以及工业化、城市化的推进,土地生态问题日趋严重地影响着人类的安全、制约着社会经济的发展。因此,土地生态安全成为当前的研究前沿和热点问题之一。然而,目前土地生态安全研究的理论和方法都还处在探索阶段,在评价指标构建、评价尺度选择、指标权重确定等方面有诸多问题亟待解决。关中地区是西部地区的经济文化中心,涵盖高原、盆地、山地等多个地形区,退耕还林、城市化等全局性的土地利用变化在本区均有典型体现。随着西部大开发进程的提速,该区的环境、经济、人口压力加大,区域土地生态系统的结构和功能变化加剧。研究这些变化对区域土地生态安全的影响过程和机理,对该区域土地资源持续利用及深化土地生态安全的理论与方法研究具有重要意义。

本书依托国家自然科学基金项目(编号:40771019),以遥感影像、野外考察数据、气候数据、土壤数据、土地利用数据、各种专题图及环保经济统计数据为依据,以 ERDAS 9.2、ENVI 4.5、ARCGIS 9.2 等 RS 和 GIS 软件为平台,选择土地生产潜力总量、植被覆盖指数、土地生态系统服务价值、土地生态风险强度指数作为土地生态安全评价指标,并运用熵权法、主成分分析法对其进行加权和去相关处理,然后按欧氏距离法合成关中地区土地生态安全综合评价指数分布图;同时借助地学信息图谱的理论和方法,在栅格、地貌单元、坡度带、区县行政单元、地市行政单元及关中地区全域尺度上对土地生态安全各单项及综合评价指标的变化情况进行了多尺度的时空动态分析,最终得出了以下初步结论:

(1) 1986—2007 年,关中地区耕地、草地、水域、未利用地减少,林地、建设用地增加。土地利用变化面积占全区总面积的 5.70%,土地利用变化图谱共 29 类;耕地-林地、草地-林地、耕地-建设用地三种图谱类型的变动量占全区总变动量的 81.52%;平

原区、黄土台塬区变动最大的图谱类型为耕地-建设用地,而黄土梁峁区、黄土塬区、山地区变动最大的图谱类型则为耕地-林地。各地貌单元的土地利用综合动态均表现为 2000—2007 年大于 1986—2000 年;前时段土地利用变化热点在平原区和黄土台塬区,后时段变化热点则转移到黄土塬、山地及黄土梁峁区。研究区景观离散程度增加、破碎化加剧、景观多样性增加。研究区土地利用程度在 1986—2000 年处于发展时期,在 2000—2007 年则为调整期。

(2) 1986—2007 年,关中地区耕地-林地、草地-林地、耕地-建设用地三种土地生产潜力转移类型的转移量之和分别占全区的光合、光温、气候、土壤四种潜力转移总量的 80.79%、76.55%、78.08%、78.54%;其中,耕地流转为建设用地所造成的光合、光温、气候及土壤潜力损失量分别占全区对应级别潜力转移总量的 20.01%、24.83%、23.62%、21.51%,均高于其面积变动量占比(19.41%)。研究期内,关中地区农用地光合、光温、气候及土壤潜力总量分别减少了 1.05%、1.37%、1.29%、1.06%,其中耕地相应级别总潜力减少了 6.41%、5.88%、6.28%、6.64%;林地各级总潜力总体增加,草地各级总潜力总体减少。各地貌单元的农用地生产总潜力总体减少,潜力减速以平原区最大、山地区最小。 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 坡度段的各类农用地生产总潜力减少, $0^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 段则集中了其光合、光温、气候及土壤总潜力减少总量的 86.14%、86.80%、87.20%、88.72%。各地市的农用地总潜力都减少,其减速排序为:西安市>咸阳市>渭南市>铜川市>宝鸡市;研究期内只有 5 个区县的农用地总潜力略有上升。1986—2007 年,研究区耕地潜力利用率增幅约为 41.05%;所有地貌单元的耕地潜力利用率都在提高,平原区耕地潜力利用率最高,黄土梁峁区最低。各坡度带耕地的潜力利用率都增加, $0^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 带耕地的潜力利用率最高。各地市耕地潜力利用率总体增加,西安市和咸阳市的耕地潜力利用率较大;各区县耕地潜力利用率总体增加。

(3) 1986—2007 年,关中地区年度 NDVI 值增加了 20.91%,2000—2007 年增速约为 1986—2000 年的 2.31 倍;各地貌单元中,山地区的 NDVI 最大、黄土台塬和黄土塬区最小,但 NDVI 增速最快的是黄土台塬区,最慢的是黄土塬区;各坡度带 NDVI 值均增大;

各地市年度 NDVI 增速为：渭南市>铜川市>宝鸡市>西安市>咸阳市；除西安市区外，各区县 NDVI 值都增大。研究期内，关中地区林草覆盖率增加 15.25%，后时段增速约为前时段的 2.60 倍；各地貌单元林草覆盖率增幅表现为：山地>黄土梁峁>黄土塬>黄土台塬>平原；各坡度段的林草覆盖率都有较大幅度增加，且增速随坡度加大而加大；各地市林草覆盖率总体表现为：宝鸡市>西安市>铜川市>咸阳市>渭南市，但增速顺序为：西安市>渭南市>咸阳市>铜川市>宝鸡市；所有区县的林草覆盖率均增加，增速最大的是周至县，最小的是西安市区。

(4) 1986—2007 年，关中地区土地生态系统服务价值总量增加 51.41×10^8 元，增幅为 10.09%；2000—2007 年增速约为 1986—2000 年的 33.65 倍；其中，林地生态系统服务价值量持续增加，草地生态系统服务价值量是先减后增、总体增加，其他生态系统服务价值量基本是持续减少的。平原区的土地生态系统服务功能价值量减少，其余四类地貌单元的土地生态系统服务价值量均增加，增速最快的是山地区。 $0^\circ \sim 3^\circ$ 坡度段的土地生态系统服务价值量持续下降，大于 3° 段则增加，且增速随坡度的增加而增加。各地市的土地生态系统服务价值量均有不同程度增加，增速最快的是宝鸡市，最慢的是咸阳市。各区县中，有 11 个区县的土地生态系统服务价值总量减少，减速最快的是西安市区。

(5) 1986—2007 年，关中地区土地生态风险强度先增后减，总体减少。各地貌单元中，平原区土地生态风险强度持续增加；黄土台塬区土地生态风险强度先增后减，总体加大；其余三类地貌的土地生态风险强度是先增后减，总体变小。各坡度带中，大于 3° 段的土地生态风险强度是先增后减，总体降低； $0^\circ \sim 3^\circ$ 段则连续增加。各地市中土地生态风险强度最大的是渭南市，最小的是宝鸡市；渭南、西安两市的土地生态风险强度是先增后减、总体加大，宝鸡、铜川、咸阳三市则是先增后减、总体变小。所有区县中，有 17 个区县土地生态风险强度加大。土地生态风险强度在 2000—2007 年均以中低风险区向低风险区转化为主，而 1986—2000 年则主要为中等风险区流向较高风险区。土地生态风险强度指数的变动频度和

幅度增加，空间关联性降低。

(6) 1986—2007 年，关中地区生态安全情况总体改善，且 2000—2007 年改善程度比 1986—2000 年明显。研究期内，各地貌单元、各坡度带、各地市及各区县（西安市区除外）的土地生态安全态势总体好转；1986—2000 年，平原区、黄土塬区， $0^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 段，咸阳市、渭南市，以及 22 个区县评价单元的土地生态安全情况恶化。研究区的土地生态安全程度的时空变化特点是土地利用变化的结果，“退耕还林”政策的实施促使了该区土地生态安全态势的总体好转。

本书对目前土地生态安全研究存在的主要不足之处尝试性地提出了一些解决问题的新思路，并在以下几方面做了一些创新性的工作：

(1) 尝试提出了新的土地生态安全评判指标：土地生产潜力总量、土地生态系统服务功能价值量、土地生态风险强度指数、植被覆盖指数四项指标从不同侧面反映了土地生态安全状况，各项指标指示意义明确、综合性和代表性强、各指标的计算方法比较科学。

(2) 利用土地利用图和生态服务价值当量因子表获取单位生产潜力价值当量分布图，然后与植被和坡度修正后的土壤生产潜力分布图作地图运算，最终比较好地在栅格尺度上解决了土地生态系统服务功能价值评价的空间异质性问题，弥补了生态价值当量因子表评价生态服务功能价值量的一个主要缺陷。

(3) 利用土地利用变化图叠加土地生产潜力分布图，得到各类土地的各级潜力的转移图谱，其结果不仅包含了土地利用的数量变化信息而且也包含了质量变化信息，从而解决了土地类型数量变化不能反映优质土地流失的缺陷，为国家耕地占补平衡政策的进一步完善提供了可操作性的方法。

(4) 运用 GIS 手段，实现了从栅格单元到地貌单元、坡度带以及行政单元等多尺度的动态研究，从而对土地生态安全状况在各种尺度上的转换情况有了更深入的了解。

土地生态安全研究涉及自然和人文科学的多个领域，处于众多学科的交叉点，是一个综合性的系统研究；由于资料、时间以及作者学识水平的限制，本书尚存在诸多不甚完善之处，敬请各位专家学者及各位读者朋友批评指正。

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 研究意义.....	1
1.2 土地生态安全研究进展.....	3
1.3 研究目的与研究内容.....	10
1.4 研究思路和技术路线.....	13
1.5 研究区概况.....	15
第二章 数据收集处理.....	37
2.1 数据收集.....	37
2.2 影像预处理.....	40
2.3 组合波段选择.....	40
2.4 遥感图像分类.....	44
第三章 关中地区土地利用动态.....	56
3.1 土地利用数量变化的时空差异.....	58
3.2 土地利用结构变化的时空差异.....	61
3.3 土地利用动态变化变化的时空差异.....	64
3.4 土地利用程度变化的时空差异.....	68
3.5 土地利用类型转移的时空差异.....	70
3.6 土地利用变化图谱分析.....	76
3.7 土地利用格局指数分析.....	84
3.8 小结.....	88
第四章 关中地区土地生产潜力动态.....	90
4.1 土地生产潜力测算.....	91

4.2 土地生产潜力动态	94
4.3 耕地现实生产力动态	119
4.4 耕地生产潜力利用率动态	122
4.5 小结	130
第五章 关中地区植被指数及林草覆盖率变化	133
5.1 NDVI 数据处理方法及林草覆盖率测算模型	134
5.2 植被指数时空动态	136
5.3 林草覆盖率时空动态	141
5.4 小结	147
第六章 关中地区土地生态系统服务价值动态	149
6.1 土地生态系统服务价值测算流程	152
6.2 土地生态系统服务价值动态	154
6.3 小结	162
第七章 关中地区土地生态风险强度动态	163
7.1 土地生态风险强度指数测算模型	164
7.2 土地生态风险强度动态	165
7.3 小结	173
第八章 关中地区土地生态安全动态	175
8.1 土地生态安全综合评价模型	175
8.2 土地生态安全变化图谱分析	177
8.3 土地生态安全变化的地貌差异	178
8.4 土地生态安全变化的坡度差异	179
8.5 土地生态安全变化的地市差异	180
8.6 土地生态安全变化的区县差异	181
8.7 小结	183
参考文献	185



第一章

绪论

1.1 研究意义

1.1.1 学术意义

生态安全是 21 世纪人类社会可持续发展所面临的一个新课题（王耕等，2007；刘彦随，2006）。它是由资源安全、生物安全、环境安全等多方面组成的安全体系（杨京平，2002），其中，环境安全是区域生态安全的起点（陈星等，2005），而土地是人类生存和发展的基础，健康的土地生态功能是保障经济安全和社会稳定的决定性因素，与国家的经济安全、政治安全、国防安全和人民的生存安全密切相关（曲格平，2002；王根绪，2003；崔胜辉，2005）。随着人口增长以及工业化、城市化进程的推进，人类对土地开发利用的广度和深度不断拓展，土地生态恶化问题制约着人类的发展乃至生存，因而土地生态安全成为当前的研究前沿

和热点。

土地生态安全研究涉及地学、生态学、安全科学等众多领域, 研究内容包含自然、社会、经济等诸多方面, 是典型的学科交叉性研究, 也是人类社会不得不密切关注的一个研究领域; 土地生态安全研究或将成为一个新的学科增长点, 并为多个学科的发展提供新的内涵。然而, 目前土地生态安全研究的理论、方法都还有待完善; 如何建立简洁有效的土地生态评价指标体系? 如何确定各单项及综合评价指标的安全底线? 如何客观合理地确定各评价指标的权重大小? 这些都是土地生态安全研究中亟待解决的问题。本书在上述部分问题的解决方面尝试提出新的思路, 对土地生态安全研究的进一步完善具有一定的意义。

1.1.2 实践意义

关中地区位于陕西中部, 北部是渭北高原, 降水相对较少, 土壤潜在侵蚀量大, 生态环境较为脆弱; 中部是关中平原, 土地肥沃, 水利设施完善, 是重要的农业区, 同时也是建设用地的主要扩张区; 南部是秦岭山地, 地势高峻, 森林覆盖率高, 是关中和陕南的重要水源地, 也是我国中西部地区的一个重要生态屏障。近年来, 我国历经了改革开放之初的耕地扩张、20 世纪 90 年代末开始的“退耕还林”以及多年来一直在快速推进的城镇化过程等几种全局性的土地利用大变动, 这些变化在关中地区均有典型反映, 其中渭北高原的“退耕还林”以及关中地区的城市化进程的典型性尤为突出; 研究这几次重要的土地利用/覆被变化对区域土地生态系统自身结构和服务功能的影响, 对揭示关中地区土地利用变化的土地生态安全效应机理、保障土地资源可持续利用都至关重要, 同时, 也可对西部河谷地区的可持续发展途径提供决策依据。

1.2 土地生态安全研究进展

1.2.1 概念界定

土地生态安全是一个全新的概念，它源于近年来兴起的“生态安全”研究（梁留科等，2005），从内涵上看，土地生态安全定义基本可分为下列三种情况：①强调土地生态系统自身的健康（刘勇，2004）；譬如：刘勇、郭凤芝等学者认为土地生态安全是指土地生态系统处于不受或少受污染威胁的可持续的健康状态，内容包括土地自然生态安全、土地经济生态安全和土地社会生态安全（刘勇等，2004；郭凤芝，2004；高桂芹等，2005）；或者认为土地生态安全是指土地生态系统的结构和功能在其弹性限度内处于不受或少受威胁的动态平衡状态，强调土地生态安全随时间和驱动力变化的动态性（李小玲，2006）；还有的则认为土地生态健康反映了系统内在的结构和功能完整，系统具有活力与恢复力，但健康的土地生态系统并不一定是安全的，土地生态安全态势还与其所处的风险状态有关。②强调土地生态系统为人类提供稳定的生态服务的能力，认为土地生态安全是指一个地区的全部土地资源对实现其可持续发展具有稳定的供给状态和良好的保障能力（孟旭光，2002；谷树忠等，2002），从而使土地资源的数量、质量和结构始终处于一种有效供给状态，从而满足当代人和未来世代人发展的动态需要（谢俊奇等，2004）。③综合上述两者，将土地生态安全定义为：一定时空范围内，在确保土地资源合理开发利用和生态环境良性循环的条件下，土地生态系统既能保障其结构与功能的状态与变化态势不被损害，又能保障人类社会经济可持续发展的态势（赵凤琴等，2005）；毛良祥、梁留科、王楠君等学者基本持此观点（毛良祥，2006；王楠君等，2006；陈美球等，2002）。尽管不同学者对土地生态安全的概念给予了不同的表述，但在土地生态安全定义上却达成了以下共识：土地生态安全的多系统和

多尺度性；土地生态安全与土地生态风险互为反函数；土地生态安全是一个相对的概念；土地生态安全是一个动态的概念；土地生态安全的威胁往往具有区域性、局部性；土地生态安全在一定范围内可以调控（高长波等，2006）。

1.2.2 理论依据

土地生态安全研究的理论依据有：人地关系理论、可持续发展理论、生态系统服务理论、生态承载力理论、突变理论、系统工程理论、景观生态学理论、生态伦理学理论等。人地关系是指人口增长与土地利用和生态环境的关系（朱国宏，1995；王爱民等，2002），人地关系地域系统研究的核心领域是土地利用变化问题（樊杰等，2002），土地承载力是人地关系协调的重要特征指标，人地关系协调发展意味着土地生态系统处于安全状态。可持续发展理论实质是人地关系理论的延续和拓展，是基于生态文明的发展观和实践观，可持续发展是在不突破资源和环境承载力的条件下，发展经济、改善生活（高长波等，2006）；土地资源可持续是可持续发展的基础（都沁军，2006），土地利用可持续性又包括生态可持续性、经济可持续性和社会可持续性，而土地生态可持续性即为土地生态的安全性（杨子生等，2003）。生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用，生态系统服务功能反映了自然生态系统的安全程度，自然生态系统安全的核心就是通过维护与保护生态系统服务功能来保护人类需求，土地生态安全的特征之一就是土地生态系统服务功能的状态（高长波等，2006）。生态承载力是生态系统自我维持能力、自我调节能力以及环境系统的容纳能力，生态承载力可以分为资源承载力、环境承载力和生态系统的抗干扰能力；土地生态安全是生态系统的承载能力大于人类对它的影响时所处的一种状态。突变理论主要以拓扑学为工具，以结构稳定性理论为基础，从量的角度研究各种事物在连续变化过程中的突然变化现象；突变理论的多维性和多元性适应了客观事物是由多因子、多要素组成的系统这一事实，可以用来研

究突发事件对土地生态安全的影响。系统工程理论是具有普遍指导意义的科学理论,其基本观点是:任何复杂的大系统都由众多子系统构成,子系统与子系统,子系统与大系统之间相互协调、相互配合,共同确保大系统的有机存在;土地生态安全研究必须以系统工程理论为指导,关注自然—经济—社会人工复合生态系统中的各个维度,确定土地生态安全的不同层次和不同维度。景观生态学注重研究土地利用影响物质流和能量流的机理,注重分析结构和过程的相互关系;景观结构与功能理论、生态整体性与空间异质性理论、等级尺度理论、景观变化与稳定性理论等都是土地生态结构性安全研究的基石(尹君等,2004)。生态伦理是关于人与环境之间关系的道德原则、道德标准和行为规范;生态安全建设强调人类必须学会尊重自然、保护生态、与自然和谐相处。因此,从生态伦理道德的角度来理解土地生态安全,把生态伦理观纳入土地生态的保护、开发和持续利用的实践中,意义重大(王庆礼等,2002;盛乐山等,2004;杨国清等,2005)。

1.2.3 研究进展

土地生态安全包括系统的稳定性、持续性、有序性等方面。吴次芳等对土地生态系统的复杂性进行了分析(吴次芳等,2002);梁留科等对土地生态系统随时间的演化状况进行了研究,并依据耗散结构理论构建了土地生态系统演化的函数模型(梁留科等,2002);陈利顶等认为人类可通过调整土地生态系统中各组分的空间组合、优化土地结构模式,促进其向有序的良性的生态平衡发展(陈利顶等,1996)。土地生态服务功能也是土地生态安全的一个重要方面。土地生态服务功能的变化是土地利用变化的生态效果(李晶等,2002);很多学者利用生态系统服务价值理论从土地利用的角度定量估算土地生态系统为人类提供服务的经济价值(白晓飞等,2004;沈叶琴等,2005;曹顺爱等,2006),通过土地生态价值增减情况反映土地生态安全变化态势(周小莉等,2006)。

土地生态安全评价是土地生态安全研究的基础,是土地生态安全分析、土地生态安全预测和预警的重要依据(汤洁等,2006;吴次芳等,2003,2004;彭建等,2003)。土地生态安全评价指标体系主要采用系统分解法,将土地生态系统分解为若干子系统,目前的系统分解方案有:“生态(自然)—经济—社会”子系统(杨子生等,2007;李玉平等,2007;谢花林,2008;朱红波等,2007)、“压力—状态—响应”指标体系(经济合作与发展组织 OECD)(曹新向等,2004;张建新等,2002)、“驱动力—状态—响应”(DSR)框架(联合国可持续发展委员会 UNCSD)、“驱动力(Driving force)—压力(Pressure)—状态(State)—暴露(Exposure)—影响(Impact)—响应措施(Action)”指标体系(欧洲环境署)、“生态价位—生态成熟度”指标体系(肖笃宁等,2002;付在毅等,2001)、“资源依赖性—生态环境状态—生态系统服务功能”指标体系(肖荣波等,2004)、“耕地安全—草地安全—林地安全”指标体系(杜巧玲等,2004)等。土地生态安全的主要评价方法有:系统聚类法(罗贞礼,2002)、Q型系统聚类和主成分分析法(杨永生等,2006)、土地利用格局优化模拟 LUOS 模型(苏伟等,2006)、综合指数法(肖荣波等,2004)、层次分析法(黄妮等,2008)、层次分析模糊评价法(田克明等,2005)、FDA 方法、模糊综合法(钱金平等,2001;刘占才,2008)、空间关联法(郭建宏等,2007)、灰色关联法(吴开亚等,2004;陈浩等,2003;林彰平等,2002)、层次分析—变权—模糊—灰色关联复合模型(左伟等,2005)、趋势分析模型(施晓清等,2005)、物元评判法(门宝辉等,2002;谢花林等,2004)、熵值法(耿海波等,2008;崔丽等,2007)、熵权—模糊综合评价法(高长波等,2006)、主成分投影法(杨永生等,2006;官紫玲,2007;李宗尧等,2008;吴炳方等,2007;吴开亚等,2003,2004)、生态风险指数法(韦仕川等,2008)、BP 网络法(WU Kai-ya et al., 2008)、生态足迹法(李翔等,2005;任志远等,2005;方一平等,2004)、景观生态安全格局法(俞孔坚等,1999)、景观空间邻接度法(角媛梅等,2004)、数字生态安全法(左伟等,2003;田克

明等, 2007; 许联芳等, 2006) 等。

国外的土地生态安全评价主要是从土地生态健康入手。1999 年 8 月, 在美国召开的国际生态系统健康大会提出的“生态系统健康评价方法及指标体系”成为 21 世纪生态系统健康研究的主要内容。国外土地生态系统健康评价的对象涉及农业、森林、草原、城市等, 评价内容有生态系统的功能过程、持续能力、总产量、抑制性、恢复性等方面。Waltner-Toews D 特别重视评价干扰后的恢复能力, 包括完整性、适应性和效率 (Waltner-Toews D, 1996); W.G. Whitford 和 D.J. Rapport 则以抑制性、恢复性作为生态系统健康状态的评价指标 (Whitford W G et al., 1995); Rapport 等提出以“生态系统危险症状”评价生态系统的非健康状态 (Rapport D L et al., 1985); Costanza 提出表述系统可持续能力状态的活力、组织和恢复力及其综合评价 (Costanza R, 1998); Jorgensen 等使用活化能、结构活化能、生态缓冲量作为生态系统健康的评价标准 (Jorgensen S E et al., 1995); Cairns 将生态健康评价指标体系分为物理化学指标、生态学指标、社会经济指标三大类, 其中, 物理化学指标包括大气污染状况、水质优劣情况、土壤理化性质等; 生态学指标则包括物质和能量流动、初级生产力、食物链、群落结构、稳定性、抵抗力、恢复力、生态系统服务功能等; 社会经济指标包括人类健康水平、公众生活质量观念、经济发展水平、技术发展水平、公众环境质量观念、政府决策等^[95]; Westman 等认为生态健康程度由弹性、可塑性、振幅和滞后性四个方面构成 (Westman W E, 1997)。

我国学者从不同角度采用不同的指标体系和权重确定方法对不同区域的土地生态安全状况进行了评价, 取得了一系列研究成果: 曲衍波等从经济社会安全、城镇环境安全、辖区农村环境安全和城乡资源利用 4 个层面对小城镇土地生态安全进行评价 (曲衍波等, 2006); 康相武等根据陆地表层气候-植被-土壤自然综合体的地带性分布规律, 综合区域自然环境背景、生态系统稳定性、景观结构和外界干扰 4 个方面, 以地理信息系统和模糊数学作为

支撑,构建了区域土地生态安全评价指标体系(康相武等,2007);王耕等用 AHP 法对研究区大气圈、水圈、岩石圈、生物圈、人类圈综合打分以评价区域生态安全(王耕等,2007);陈星用 GDP 和人口数量两个指标,描述区域人类社会系统所产生的生态安全负荷量,用区域森林分布生物量作为生态安全支持系统的能力指标,用区位系数表达自然地域差异在生态环境方面的特征,建立生态安全空间格局模型(陈星,2008);陈雷等基于耗散结构理论和信息熵原理,通过计算生态经济熵、生态功能熵、城市生态系统总熵变,分析城市生态系统的演化发展规律,利用综合发展度和协调发展度两个指数,建立城市生态水平评价的定量模型(陈雷等,2007);王宏昌等从生态系统的状态、压力、效应 3 个方面选取 28 项指标,对辽西大凌河流域不同时期的生态安全进行了综合评价(王宏昌等,2006);邓爱珍等在分析影响区域土地生态安全的主要胁迫因子的基础上对鄱阳湖区土地生态安全进行了评价(邓爱珍等,2006);王耕等提出了状态-隐患-响应(S-D-R)的生态安全机理框架(王耕等,2006);刘世梁等构建了不同尺度上的生态安全指标体系,利用层次分析法,对不同尺度上生态安全的空间分异进行了研究(刘世梁等,2007);王耕等借助 GIS 格网赋值技术,对辽宁省境内辽河干流饮用水水源地的生态安全演变趋势进行了评价(王耕等,2007);李晶等通过计算生态服务价值随人口压力增长的拐点,得到生态安全的阈值,判定生态不安全区,进一步通过马氏距离法,做相似性判定,而得到整个陕北黄土高原每一个自然生态单元的生态安全状态(李晶等,2008);赵有益等提出草地生态系统安全评价的 health-service-risk and management (HSRM) 模型,构建了 HSRM 评价模型的指标体系,提出草地生态安全评价中草地生态安全度计算公式和安全状态分级标准(赵有益等,2008);巴日斯等运用 ARCVIEW 计算额济纳绿洲景观类型和荒漠景观类型之间的邻接长度和数目比例,据此计算了绿洲生态安全程度(巴日斯等,2008);李芬等从生态环境、社会经济、综合功能 3 方面构建了黄土丘陵区流域农业生态安全