

Process of the Ecological Security Research

Pengfei Liu¹, Liuke Liang²

¹China-Australia Cooperative Research Center for Geoinformation Analysis and Applications, Henan University, Kaifeng, China

²Henan Association For Science and Technology, Zhengzhou, China

Email: liupf1979@yahoo.com.cn, lianglk2003@yahoo.com.cn

Abstract: With the development of global change research, the study of ecological security has become the hotspot around the world. This paper firstly introduces the connotation of ecological security, and then comments on the present evaluation index system of the ecological security, and based on it this paper summarizes several evaluation methodologies of ecological security at home and abroad, including the mathematical model method, ecological model method, landscape ecology method, and digital terrain model (DTM) method. At last the paper summarizes the problems in the evaluation research, and puts forward the development tendency of evaluation methodology of ecological security in the future.

Keywords: ecological security; index system; evaluation model

生态安全研究进展

刘鹏飞¹, 梁留科²

¹河南大学中澳地理信息分析与应用研究所, 开封, 中国, 475004

²河南省科学技术协会, 郑州, 中国, 450008

Email: liupf1979@yahoo.com.cn, lianglk2003@yahoo.com.cn

摘要:随着全球变化研究的不断加速, 生态安全研究已经成为国内外研究的热点。首先介绍了生态安全概念的内涵, 进而对当前生态安全评价的指标体系进行了评述; 并在此基础上总结了国内外生态安全评价的方法, 包括数学模型法、生态模型法、景观生态学方法及数字地面模型法; 最后总结了评价研究中存在的问题, 提出了未来生态安全评价系统的发展趋势。

关键词: 生态安全; 指标体系; 评价模型

1 引言

近几十年来, 随着经济的快速发展, 人类的生存环境在整体上面临着恶化趋势, 其主要表现为: 土地退化、水生态平衡失调、林草植被破坏严重, 生物多样性锐减等。生态安全概念的提出时来源于环境安全的提出。美国环境专家莱斯特·布朗最早将环境变化明确地引入到安全的概念中。1987年, 世界环境与发展委员会发表的《我们共同的未来》报告正式使用“环境安全”这一术语, 阐明安全的定义除了政治和军事威胁之外还包括环境安全。从此, 安全的概念不仅仅是局限于军事安全, 还包括其他潜在的、经济的、生态的和社会各方面的因素都包括在内。在此基础上, 国内外许多学者开始关注生态安全, 并进行了而相关探讨和研究。生态安全已经成为当前地理学、资源与环境学科以及生态学研究的前

沿领域。

2 基本概念

目前对于生态安全的定义还没有统一的标准。通常有广义和狭义两种理解。前者以国际应用系统分析研究所(IASA, 1989)提出的定义为代表: 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, 包括自然生态安全、经济生态安全和社会生态安全, 组成一个复合人工生态安全系统。狭义的生态安全是指自然和半自然生态系统的的功能, 即生态系统完整性和健康的整体水平反映^[1]。

国内学者中, 肖笃宁^[1]、王根绪^[2]、余谋昌^[3]、彭少麟^[4]、郭中伟^[5]、周国富^[6]、陈国阶^[7]、郑万生^[8]、李辉^[9]、左伟^[10]等学者都从不同的角度对生态安全加以定义。从生态安全概念的内涵理解, 可以将生态安

基金项目: 科技部科技基础性工作专项重点项目 (SB2007FY020); 2009 国家自然科学基金青年项目 (40901284)

全的概念分为两类：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^[11]。

3 生态安全评价指标体系

生态安全评价研究的关键环节是建立科学的评价标准与指标体系。现阶段国内外尚未有专门的有关生态安全的指标体系。

3.1 基于生态安全内涵的模型框架

王根绪^[2]认为，生态安全应包括生态风险和生态健康两个方面。因此，从反映生态安全程度的生态风险与生态健康两方面而言，国内外许多学者则提出了大量的针对不同尺度的度量指标^[12, 13, 14, 15, 16, 17]。

在生态风险评价中，国际上其他一些著名环境机构如：美国环保局（USEPA）、美国国家研究委员会（NRC）、美国水环境研究基金会（WERF）提出了不同的指标体系。欧共体统计部门曾经提出了面向欧洲国家的环境压力指标清单，以便在欧洲不同国家间进行比较。综合分析这些指标体系，其有一个共同点，就是包括风险因素识别、暴露分析指标以及影响（或响应分析指标）三部分。这三部分所具有的指标项目则根据评价的区域、对象的不同而有所差异。

在国外，Bertollo 等^[18]针对意大利东北海岸地区生态风险问题，建立了水生态系统和陆地生态系统等不同系统的生态风险评价指标，由风险/压力因素识别和评判标准两方面所组成。在国内，蒙吉军^[19]在对区域生态风险指标进行综述的基础上，构建了一个 3 个层次的区域生态风险评价指标体系。许学工^[16]在对黄河三角洲湿地区域进行风险评价时，对生态损失度指数的计算取决于生态指数和脆弱性指数，其中，生态指数是对不同生态系统在区域中生态意义和地位的度量，由物种丰度、人类干扰程度和自然度来体现，物种丰度的计算指标是物种多样性和物种保护性指数，人类干扰程度和自然度的计算指标是廊道所占区域面积比例；脆弱性指数是对不同生态系统遭受损失的难易程度的度量，一般仅对脆弱性指数进行简单排序、再归一化处理即可。

对于区域生态健康的评价指标，综合国内外研究，可以归纳为生物学和环境学（生物物理学）两大类^[13, 20, 21]，在生物学指标中，一般以生态系统类型如水生生态系统、陆地生态系统等，有不同的指标要素。对于

生物物理学指标，尽管不同学者有不同的观点，但总体上以制约生态健康的自然物理要素和人为活动要素为主要构成成分，对于不同区域或生态系统，其健康评价的指标也不同。高旺盛等^[15]从土壤-作物-环境三大子系统考虑，建立了一个针对中国三大平原粮食出产区的农田生态系统健康评价指标。评价指标体系包含三个子系统指标，其中土壤子系统指标 15 个，作物子系统指标 6 个，环境子系统指标 6 个。文科军等^[14]在分析城市河流生态系统健康状况的基础上，从水安全、水生态、水经济 3 个方面构建了一个城市河流生态健康的递阶层次结构和评价指标体系。

3.2 PSR 模型基础上的指标体系

PSR 模型，即压力（pressure）-状态（state）-响应（response）模型，于 20 世纪 80 年代由经济合作和开发组织（OECD）与联合国环境规划署（UNEP）共同提出的环境指标体系^[22, 23]。根据 PSR 模型构建生态安全水平量度指标体系基本包括四个层次。但是，由于生态系统的复杂性以及评价目标的不同，不同的生态安全评价指标体系反映出生态系统不同方面的安全状态。因此，需要了解各系统生态安全的构成要素，对指标进行补充或修改某指标或制定更为详细的指标体系。这也是生态安全研究的难点。

目前，针对 PSR 框架模型，选取合适的指标建立指标体系，进行生态安全评价的研究很多^[5, 24, 25, 26, 27, 28]，相关研究限于区域尺度，按照地理区（流域）、生态区或行政区等展开。

除 PSR 模型框架外，DSR 模型以及由欧洲环境署（EFA）提出的 DPSIR 模型等都在生态安全评价指标体系中得到应用。在 PSR 基础上，也有相关学者提出了一些改进的模型框架，并以此建立了相关指标体系。杨俊等^[29]在分析 PSR、DSR、DPSIR 模型优缺点的基础上，提出了一种新的模型框架—DPSRC，并以此建立了一个针对大连市的多层次生态安全评价指标体系。

3.3 其他模型框架

吴杰等^[30]构建了一个城市生态安全评价的表征模型—漏斗模型，并基于漏斗模型建立了一个城市生态安全评价指标体系。

4 生态安全评价方法

近年来围绕生态安全评价,国内外一些学者从小的单元到大的区域格局等不同尺度做了大量工作。根据评价模型的差异,概括来讲,可以归纳为以下几种方法:数学模型法、生态模型法、景观生态模型法、数字地面模型法^[31]。

4.1 数学模型法

数学模型法是生态安全评价中运用最广泛的方法之一,近年来有很多学者把这一方法运用到生态安全评价的各个区域。何焰等^[32]针对上海市水环境生态系统的现状特点,采用综合指数法对上海市的水环境进行了生态安全评价;杨勇等^[24]利用综合评价方法对泾河流域中下游地区进行了生态评价。在城市生态安全研究方面,谢花林等^[28]以北京、上海等7个特大城市为典型城市,用综合评价方法进行了城市生态安全水平的评价分析。另外,郭斌^[33]等也都运用综合评价方法对相关城市进行了生态安全评价。

Barnthouse 等^[34]运用模糊评价方法进行了生态风险评价;Tran 等^[35]用模糊评价方法运用到生态系统的脆弱性评价上;施晓清等^[36]以北京市为例,运用模糊综合评价法对北京市的生态安全状况进行了评价;高长波等^[37]运用模糊综合评价法对我国5个经济发达的城市进行了生态安全评价,并进行对比研究,研究表明,该方法能够较为客观的反映出不同城市之间的生态安全状态;李佩武等运用模糊综合评价法对深圳市1997-2006年的生态安全状况进行评价。

谢花林^[38]把拓扑学理论引入到生态安全评价中,采用物元可拓评判法对我国十大城市进行了生态安全评价。张凤太采用灰色关联方法计算了重庆市的生态安全的关联度,并以此对重庆市的生态安全状况做出评价。吴开亚^[26, 39]建立了针对区域生态安全的主成分投影评价模型,并将其运用到了安徽省17个地级市的生态安全评价。

针对生态安全评价体系多指标的特点,采用层次分析法对各指标的重要性赋值的研究较多。许联芳等^[40]运用层次分析法和GIS技术,采用“农业生态不安全指数”对湖南省主要农村地域县(市)的农业生态安全状况进行了综合评价。杨勇等^[41]运用层次分析法,基于自然环境系统、人文社会压力和环境污染压力3个综合指标层建立评价体系,对我国西部干旱半干旱地区的资源性城市—铜川市生态安全进行定量的评价

和分析。采用层次分析法进行区域生态安全评价的研究结果表明,利用此方法给予各指标赋权,进行综合评价分析时能够得到较为满意的分析,但由于区域生态环境和研究的时空尺度的变化,指标因子对于区域生态安全的重要性也是可变的。因此,这种权重赋值方法有的时候不能很好的反映出区域生态因子贡献值的动态变化。

另外,也有学者利用多种评价模型对同一区域进行生态安全评价,并以此进行比较。李佩武等^[42]利用数学评价模型中的灰色关联法、物元可拓评判法、模糊综合评价法、主成分投影法等四种方法分别对深圳和四个中央直辖市为对象进行了生态安全评价。研究表明,模糊综合评价法与物元可拓评判法,评价结果较全面、精确,模糊综合评价法利于有针对性地分析问题与提出对策,而主成分投影法不能直接给出生态安全等级,灰色关联法对各城市得出的等级判定结果不具有可比性,不能反映各城市之间差距的大小。这说明在城市生态安全评价中,模糊综合评价法最具优势,主成分投影法与灰色关联度法有一定缺陷。

4.2 生态模型

主要是指运用生态足迹模型以及在此基础上改进的模型进行生态安全评价。生态足迹是加拿大经济学家William Rees Turner在1992年提出的一种度量可持续发展程度的方法。随后,他的博士生Wackernagel于1996年提出了具体的分析方法,称之为生态足迹分析法(Ecological Footprint Analysis Approach),并与1999年,将该方法应用于生物物理评价,认为该方法能够定量测定生态系统服务的透支情况。近年来,在区域生态安全评价中运用生态足迹模型进行的相关研究较多,吉力力·阿不都外力^[43]、赵先贵^[44]、曹伟^[45]等采用生态足迹模型对不同区域进行了生态安全评价,研究的对象涉及城市、流域、旅游区等。

另外一种运用到生态安全评价中的生态模型是能值分析。能值分析是以能值为基准,把生态系统或生态经济系统中不同种类、不可比较的能量转换成同一标准的能值来衡量和分析,从中评价其在系统中的作用和地位。曹明兰等^[46]基于能值分析理论,对唐山市1995-2005年间的生态安全水平进行评价。结果表明,基于能值分析的城市生态安全评价方法克服了传统评价体系的指标繁多、重复、单位不统一和可比性差的特点,能够更加客观、真实地反映城市生态安全动态。

生态模型中另外一种发展趋势是,生态足迹模型和能值分析理论两种模型的复合,对此也有部分学者作了相关研究。刘咏梅^[47]以传统的生态足迹理论和方法为基础,引入能值分析理论,提出了计算区域生态承载力的新方法,建立了一种改进的生态足迹模型,应用于区域生态安全评价。

4.3 观生态模型

景观生态学原理认为景观中存在着某种潜在的点、线或局部的具体位置,对于维护和控制某种生态过程具有关键性作用的安全格局(security patterns SP)^[48]。通过这些关键性组分及构成的鉴别,可以对区域生态安全状态及景观结构稳定性进行评价,为耦合安全格局以构建区域生态安全的景观格局提供依据。黎晓亚^[49]等分别从区域生态安全格局的设计原则与方法,概念和理论基础等方面做了相关研究;郭明等^[50]则对景观生态安全的关键环境要素的安全格局进行了分析,进而评价生态安全状态,结果显示该方法能够很好地反应区域生态安全状态以关键格局,同时也将生态安全评价方向延伸到典型流域以及关键生态环境要素评价上来;李宗尧等^[51]进行了城市生态安全格局构建的研究,结果表明,在快速城市化地区和城市生态安全面临巨大挑战的时代背景下,构建基于景观安全格局理论的城市生态安全格局是实现区域和城市生态安全的基本保障和重要途径。

4.4 字地形模型

数字地形模型(digital terrain model, DTM)是描述地表空间分布特征和属性特征的数值阵列,是用三维空间的形式表达研究对象空间特征的一种可视化图形模型^[52]。尽管数字地形模型是用于地形形状大小和起伏的数字描述,由于其直观的特点,已经越来越多被用来模拟其他二维表面上连续变化的特征,其中也包括应用于生态安全评价分析中。王耕等^[53]对西辽河流域生态安全进行了可视化评价分析,并用于生态安全空间分异特征研究;韦仕川等^[54]运用GIS和RS技术,分析了资源型城市—东营市1996-2005年间的土地利用变化和生态安全空间演变,并对生态安全空间变化格局进行了数字模拟。

综上所述,生态安全评价的方法已经较多,但是每一种评价方法都有不同的优缺点。近年来,有学者开始关于关注综合多种方法的复合方法,提出了相关

的复合评价模型^[29]。研究结果表明,复合评价模型的评价结果与实际状况较为吻合,这表明复合评价模型在生态安全评价方法中是一种发展趋势。

5 结论和讨论

生态安全评价的目的是为了了解系统本身的安全状况。通过各种数学模型计算出的安全指数,如何确定安全指数的范围和等级,至今仍没有统一的标准和方法,在安全等级的划分上也存在着随意性,这使得评价的结果有很大的随意性。

在评价过程中,定量评价的方法得到了应用,但方法相对单一,一般是在相关概念框架内选取评价指标,运用相关评价模型进行评价研究,但是对于相关数学模型基本参数、可信度以及准确度的评价相对缺乏。另外,在生态安全评价的相关文献中,现状评价占据相当大的比例,而关于生态安全预测和预警的研究还不多见,缺乏生态安全的过程和动态分析。

未来生态安全评价评价方法的应用,在进行指标选取的时候,应当关注反映生态安全动态和过程的指标;在评价模型的选取上,应当注重多种评价模型的复合方法,注重多种评价模型之间结果的对比,以增加评价结果的正确性和准确性。

References (参考文献)

- [1] XIAO Duning, CHEN Wen bo, GUO Fuliang. On the basic concepts and contents of ecological security[J]. *Chinese journal of applied ecology*, 2002(03): P354-358.
肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容. *应用生态学报*, 2002(03): P354-358.
- [2] Wang Genxu, CHENG Guodong, Qian JU. Several problems in ecological security assessment research[J]. *Chinese journal of applied ecology*, 2003(09): P1551-1556.
王根绪, 程国栋, 钱鞠. 生态安全评价研究中的若干问题. *应用生态学报*, 2003(09): P1551-1556.
- [3] YU Mouchang. About the Concept of Ecological Security and Its Main Characteristics[J]. *Journal of Tsinghua University(philosophy and social sciences)*, 2004(02): P29-35.
余谋昌. 论生态安全的概念及其主要特点. *清华大学学报(哲学社会科学版)*, 2004(02): P29-35.
- [4] PENG Shaolin, HAO Yanru, LU Hongfang, ect. The Meaning and Scales of Ecological Security[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*. 2004(06): P27-31.
彭少麟, 郝艳茹, 陆宏芳 等. 生态安全的涵义与尺度. *中山大学学报(自然科学版)*, 2004(06): P27-31.
- [5] GUO Zhongwei. To Build the Early Warning and Maintaining system of national ecological security Security[J]. *Science and Technology Review*, 2001(01): P54-56.
郭中伟. 建设国家生态安全预警系统与维护体系—面对严重的生态危机的对策. *科技导报*, 2001(01): P54-56.
- [6] ZHOU Guo-fu. Ecological security and study on ecological security[J]. *Journal of Guizhou Normal University(Natural Science)*, 2003(03): P105-108.

- 周国富. 生态安全与生态安全研究. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2003(03): P105-108.
- [7] Chen Guo jie. On Ecological Security[J]. *Chongqing Environmental Science*, 2002(03): P1-3.
陈国阶. 论生态安全. 重庆环境科学, 2002(03): P1-3.
- [8] Zheng Wansheng, Wang Jifu, Sun Gui-feng. Strategic Countermeasure and Globality of Ecological Security Problem. *Journal of Harbin Teachers College*, 2002(07): P120-122.
郑万生, 王继富, 孙桂凤. 生态安全问题的全球观与战略对策. 哈尔滨学院学报(社会科学), 2002(07): P120-122.
- [9] LI Hui, WEI Dezhou. Ecological Safety Assessment. a Novel System for Environmental Impact Assessment[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2003(05): P68-70.
李辉, 魏德州. 环境影响评价的新领域——生态安全评价. 安全与环境学报, 2003(05): P68-70.
- [10] ZUO Wei; WANG Qiao ; WANG Wenjie ; ect. . Study on Regional Ecological Security Assessment Index and Standard[J]. *Geography and Territorial Research*, 2002(01): P67-71.
左伟, 王桥, 王文杰等. 区域生态安全评价指标与标准研究. 地理学与国土研究, 2002(01): P67-71.
- [11] CHEN Xing; ZHOU Chenghu. *Review of the Studies on Ecological Security*[J]. *Progress In Geography*, 2005(06): P8-20.
陈星, 周成虎. 生态安全:国内外研究综述. 地理科学进展, 2005(06): P8-20.
- [12] Costanza R, Norton B.G, Haskell B.D. Ecosystem health: New goal for environmental management: Washington DC: Island Press, 1992.
- [13] KONG Hongmei, ZHAO Jingzhu, JI Lanzhou, ect. Assessment method of ecosystem health[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002(04): P486-490.
孔红梅, 赵景柱, 马克明等. 生态系统健康评价方法初探. 应用生态学报, 2002(04): P486-490.
- [14] WEN Kejun, MA Jin, WU Liping, ect. Establishment of an urban river ecological health evaluation system[J]. *Water Resources Protection*, 2008(02): P50-52.
文科军, 马劲, 吴丽萍等. 城市河流生态健康评价体系构建研究. 水资源保护, 2008, 50-52(02).
- [15] GAO Wangsheng, CHEN Yuanquan, SHI Yanqin, ect. Constructing an Index System for Ecological Health Evaluation of Cropping System in China Main Food Production Areas[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007(10): P131-137.
高旺盛, 陈源泉, 石彦琴等. 中国集约高产农田生态健康评价方法及指标体系初探. 中国农学通报, 2007(10): P131-137.
- [16] Xu Xuegong, LIN Huiping, FU Zaiyi, ect. Regional Ecological Risk Assessment of Wetland in the Huanghe River Delta[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2001(01): P111-120.
许学工, 林辉平, 付在毅等. 黄河三角洲湿地区域生态风险评价. 北京大学学报(自然科学版), 2001(01): P111-120.
- [17] FU Zaiyi, Xu Xuegong, LIN Huiping, ect. Regional ecological risk assessment of in the Liaohe River Delta wetlands[J]. *Acta ecological sinica*. 2001(03): P365-373.
付在毅, 许学工, 林辉平等. 辽河三角洲湿地区域生态风险评价. 生态学报, 2001(03): P365-373.
- [18] Bertollo P. Assessing landscape health: A case study from northeastern Italy[J]. *Environment Manage*, 2001, 27(3): P349-365.
- [19] MENG Jijun; ZHAO Chunhong. Research progress on index system of regional ecological risk assessment[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009(04): P983-990.
蒙吉军, 赵春红. 区域生态风险评价指标体系. 应用生态学报, 2009(04): P983-990.
- [20] YU Kongjian. Landscape Ecological Security Patterns in Biological Conservation[J]. *Acta Ecological sinica*. 1999(01): P10-17.
俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局. 生态学报, 1999(01): P10-17.
- [21] Suter G.W. A critique of ecosystem health concepts and indexes[J]. *Environmental Toxicology & Chemistry*, 1993, 11(1533-1539).
- [22] Allen H. Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development: Washington D.C. USA: World Resource Institute, 1995.
- [23] Tong C. Review on environmental indicator research[J]. *Research on Environmental Science*, 2000, 13(4): P53.
- [24] YANG Yong; REN Zhi-yuan Assessment and Analysis on the Ecological Security in the Middle and Lower Reaches of the Jinghe River Basin[J]. *Arid Zone Research*, 2009(03): P441-446.
杨勇, 任志远. 泾河流域中下游生态安全评价与分析. 干旱区研究, 2009(03): P441-446.
- [25] JIA Yanhong; ZHAO Jun; NAN Zhongren;ect. Ecological safety assessment of grassland based on entropy-right method: A case study of Gansu pastoral area[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006(08): P1003-1008.
贾艳红, 赵军, 南忠仁等. 基于熵权法的草原生态安全评价——以甘肃牧区为例. 生态学杂志, 2006(08): P1003-1008.
- [26] WU Kaiya. Principal Component Projection Applied to Evaluation of Regional Ecologic Security[J]. *China Soft Science*, 2003(09): P123-126.
吴开亚. 主成分投影法在区域生态安全评价中的应用. 中国软科学, 2003(09): P123-126.
- [27] ZHAO Yanzhi, ZHANG Chunlai, ZOU Xueyong, ect. Ecological Security Assessment and Eco-environment Construction of Xigazê Prefecture on Tibetan Plateau[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2006(01): P33-39.
赵延治, 张春来, 邹学勇等. 西藏日喀则地区生态安全评价与生态环境建设. 地理科学, 2006(01): P33-39.
- [28] Xie Hualin, Li Bo. A Study on Indices System and Assessment Criterion of Ecological Security for City[J]. *Journal of Beijing Normal University(Natural Science)*, 2004(05): P705-710.
谢花林, 李波. 城市生态安全评价指标体系与评价方法研究. 北京师范大学学报(自然科学版), 2004(05): P705-710.
- [29] YANG Jun, LI Xueming, ZHANG Yun. Assessment on urban ecological security spatial differences based on causal network: a case of Dalian City[J]. *Acta ecological sinica*, 2008(06): P2774-2783.
杨俊, 李雪铭, 张云等. 基于因果网络模型的城市生态安全空间分异——以大连市为例. 生态学报, 2008(06): P2774-2783.
- [30] WU Jie, CUI Weijun. The Model and Evaluation of Urban Eco-security—Empirical Research on Four Municipalities and 27 Provincial Capital Cities in China[J]. *Journal of arid land resources and environment*, 2009, 23(03): P20-23.
吴杰, 崔维军. 城市生态安全模型及评价研究——基于中国4个直辖市和27个省会城市的分析. 干旱区资源与环境, 2009, 23(03): P20-23.
- [31] LIU Hong, WANG Hui, ZHANG Xingwei. Research review on ecological security assessment[J]. *Chinese journal of ecology*, 2006(01): P74-78.
刘红, 王慧, 张兴卫. 生态安全评价研究述评. 生态学杂志, 2006(01): P74-78.
- [32] HE Yan, YOU Wenhui, WU Jian. Ecological security assessment of water environment of Shanghai[J]. *Water resources protection*, 2006(06): P18-20.
何焰, 由文辉, 吴健. 上海市水环境生态安全评价. 水资源保护, 2006(06): P18-20.
- [33] GUO Bin, REN Zhiyuan. The Dynamics of Land Use and Ecological Security in Urban Area of Xi'an[J]. *Progress in geography*, 2009, 28(01): P71-75.
郭斌, 任志远. 西安城区土地利用与生态安全动态变化. 地理科学进展, 2009, 28(01): P71-75.
- [34] Barnthouse L.W. The Role of Models in Ecological Risk As-

- essment. *Environment Taxical Chemistry*,1992(11): P1751-1760.
- [35] Tran L.T., Knight C.G., V O.R. Fuzzy Decision Analysis for Integrated Environmental Vulnerability Assessment of the Mid-Atlantic Region. *Environment Management*, 2002, 29(6): P845-859.
- [36] SHI Xiaoqing, ZHAO Jingzhu, OUYANG Zhiyun. Urban eco-security and its dynamic assessment method[J]. *Acta ecologica sinica*, 2005(12): P3237-3243.
施晓清, 赵景柱, 欧阳志云. 城市生态安全及其动态评价方法. *生态学报*, 2005(12): P3237-3243.
- [37] GAO Changbo, CHEN Xingeng, WEI Chaohai, ect. Application of entropy weight and fuzzy synthetic evaluation in urban ecological security assessment[J]. *Chinese journal of applied ecology*, 2006(10): P1923-1927.
高长波, 陈新庚, 韦朝海等. 熵权模糊综合评价法在城市生态安全评价中的应用. *应用生态学报*, 2006(10): P1923-1927.
- [38] XIE Hualin, ZHANG Xinshi. Study on Model of Matter-element Evaluation of City Eco-security[J]. *Geography and geo-information science*, 2004(02): P87-90
谢花林, 张新时. 城市生态安全水平的物元评判模型研究. *地理与地理信息科学*, 2004(02): P87-90.
- [39] WU Kaiya, HE Qiong, SUN Shiqun. The Principal Component Projection Method and Its Application to Regional Ecological Security Evaluation[J]. *Chinese journal of management science*, 2004(01): P107-110.
吴开亚, 何琼, 孙世群. 区域生态安全的主成分投影评价模型及应用. *中国管理科学*, 2004(01): P107-110.
- [40] XU Lianfang, LIU Xiping, WANG Kelin. Evaluating Eco-Security and Agricultural Sustainable Development in Hunan Province[J]. *Resources science*, 2006(03): P87-93.
许联芳, 刘新平, 王克林等. 湖南省农业可持续发展的生态安全评价. *资源科学*, 2006(03): P87-93.
- [41] YANG Yong, REN Zhiyuan, ZHAO Xin, ect. Ecological safety assessment and countermeasures of resources-based cities in West China: A case study of Tongchuan City[J]. *Chinese journal of ecology*, 2006(09): P1109-1113.
杨勇, 任志远, 赵昕等. 西部资源型城市生态安全评价与对策—以铜川市为例. *生态学杂志*, 2006(09): P1109-1113.
- [42] LI Peiwu, LI Guicai, ZHANG Jinhua1, ect. Several assessment models and application analysis of urban ecological security[J]. *Geographical research*, 2009, 28(02): P293-302.
李佩武, 李贵才, 张金花等. 城市生态安全的多种评价模型及应用. *地理研究*, 2009, 28(02): P293-302.
- [43] Jilili Abuduwaili, Mubareke Ayoupu. Regional ecological security assessment on Central Asia based on ecological footprint analysis[J]. *Geographical Research*, 2008(06): P1308-1320.
吉力力·阿不都外力, 木巴热克·阿尤普. 基于生态足迹的中亚区域生态安全评价. *地理研究*, 2008(06): P1308-1320.
- [44] ZHAO Xian-Gui, MA CaiHong, GAO Li-Feng, ect. Assessment of ecological safety under different scales based on ecological tension index[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2007(06): P135-138.
赵先贵, 马彩虹, 高利峰等. 基于生态压力指数的不同尺度区域生态安全评价. *中国生态农业学报*, 2007(06): P135-138.
- [45] CAO Wei. Ecological Footprint Analysis Approach and City Ecological Security[J]. *Planners*, 2003(01): P20-24.
曹伟. 生态足迹分析方法与城市生态安全. *规划师*, 2003(01): P20-24.
- [46] CAO Minglan, LI Yadong. Ecological security assessment of Tangshan City based on emergy analysis[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009(09): P2214-2218.
曹明兰, 李亚东. 基于能值分析的唐山市生态安全评价. *应用生态学报*, 2009(09): P2214-2218.
- [47] LIU Yongmei. Study on Land Use Dynamic Change and Ecological Security in Nanjing City Based on RS, 2008, Doctor.
刘咏梅. 基于 RS 的南京市土地利用动态变化及生态安全研究, 2008, 博士.
- [48] Yu K.J. Security patterns and surface model in landscape ecological planning[J]. *Landscape Urban Plan*, 1996, 36: P1-17.
- [49] FANG Shubo; XIAO Duning; AN Shuqing. Regional ecosecurity pattern in urban area based on land use analysis: A case study in Lanzhou[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(12): P2284-2290.
方淑波, 肖笃宁, 安树青. 基于土地利用分析的兰州市城市区域生态安全格局研究. *应用生态学报*, 2005, 16(12): P2284-2290.
- [50] GUO Ming, XIAO DuNing, LI Xin. Changes of landscape pattern between 1986 and 2000 in Jiuquan oasis, Heihe River basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(02): P457-466.
郭明, 肖笃宁, 李新. 黑河流域酒泉绿洲景观生态安全格局分析. *生态学报*, 2006, 26(02): P457-466.
- [51] LI Zongyao, YANG Guishan, DONG Yawen. Establishing the Ecological Security Pattern in Rapidly Developing Regions-A Case in the AYRAP[J]. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(1): P106-113.
李宗尧, 杨桂山, 董雅文. 经济快速发展地区生态安全格局的构建—以安徽沿江地区为例. *自然资源学报*, 2007, 22(1): P106-113.
- [52] YANG Delin. Digital Terrain Model. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 1998(03): P37-38.
杨德麟. 数字地面模型. *测绘通报*, 1998(03): P37-38.
- [53] WANG Geng, WU Wei. Assessment on Ecological Security Spatial Differences of West Areas of Liaohe River Based on GIS[J]. *Environmental Science*, 2005(05): P28-33.
王耕, 吴伟. 基于 GIS 的西辽河流域生态安全空间分异特征. *环境科学*, 2005(05): P28-33.
- [54] Wei Shichuan, Feng Ke, Xing Yunfeng. Digital simulation of land use change and ecological security of resources-based city[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008(09): P64-68.
韦仕川, 冯科, 邢云峰等. 资源型城市土地利用变化及生态安全数字模拟. *农业工程学报*, 2008(09): P64-68.