

DOI: 10.19741/j.issn.1673-4831.2018.0449

曹秉帅, 邹长新, 高吉喜, 等. 生态安全评价方法及其应用[J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(8): 953-963.

CAO Bing-shuai, ZOU Chang-xin, GAO Ji-xi, et al. Review on Methodology and Application of Ecological Security Assessment[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2019, 35(8): 953-963.

## 生态安全评价方法及其应用

曹秉帅<sup>1,2</sup>, 邹长新<sup>2,3①</sup>, 高吉喜<sup>2</sup>, 何 萍<sup>4</sup> (1. 南京大学生命科学院, 江苏 南京 210093; 2. 生态环境部南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042; 3. 南京信息工程大学江苏省大气环境与装备技术协同创新中心, 江苏 南京 210044; 4. 中国环境科学研究院, 北京 100012)

**摘要:** 生态安全评价是生态安全研究的基础和前提,也是构建生态安全体系的核心部分。该研究通过回顾国内外生态安全评价研究发展历程,概述生态安全及其评价的概念和内涵,在此基础上从生态安全评价指标构建、评价指标权重确立、评价方法及其应用、评估结果分级等方面进行分析总结及特点述评,进而针对当前生态安全评价研究中存在的主要问题探讨,并展望了生态安全评价研究的发展方向。研究旨在为推进生态安全评价技术革新与探索提供参考和依据。

**关键词:** 生态安全评价; 评价方法; 评估模型

**中图分类号:** Q149 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2019)08-0953-11

**Review on Methodology and Application of Ecological Security Assessment.** CAO Bing-shuai<sup>1,2</sup>, ZOU Chang-xin<sup>2,3①</sup>, GAO Ji-xi<sup>2</sup>, HE Ping<sup>4</sup> (1. School of Life Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China; 3. Jiangsu Collaborative Innovation Center of Atmospheric Environment and Equipment Technology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 4. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China)

**Abstract:** Ecological Security Assessment (ESA) is the basis and premise of ecological security research. The development progress of ESA is reviewed, and the concept and connotation of ESA are summarized. The following several aspects are focused on the construction of ecological security evaluation index, establishment of evaluation index weight, application of evaluation method, and classification of evaluation results. Based on the review, the problems which exist in the current ecological security evaluation are discussed and the development direction of ecological security evaluation research are prospected. The research aims to provide references for technological innovation and exploration for future development of ESA.

**Key words:** ecological security assessment; assessment method; assessment model

习近平总书记在主持召开中央国家安全委员会第一次会议时指出,既重视传统安全,又重视非传统安全,构建集政治安全、国土安全、军事安全、经济安全、文化安全、社会安全、科技安全、信息安全、生态安全、资源安全、核安全等于一体的国家安全体系,并在党的十九大报告中进一步强调要加大生态系统保护力度,优化生态安全屏障体系。由此可见,生态安全已逐渐被视为与国防安全、经济安全以及粮食安全同等重要的第四大安全体系<sup>[1]</sup>,是国家安全的重要组成部分<sup>[2]</sup>,具有战略性地位和重大意义,是实现可持续发展的关键<sup>[3]</sup>。

生态安全研究主要集中于概念内涵、区域生态安全的结构与管理、生态安全的战略地位与意义、

监测技术与评估方法等<sup>[4-5]</sup>。国际上有关生态安全的研究最早可以追溯到 20 世纪 60 年代,此阶段是生态安全概念的形成阶段。1962 年美国海洋生物学家蕾切尔·卡森发表环境保护科普著作《寂静的春天》,初步揭示了污染对生物物种、生态系统及人类的危害,由此掀起了全球性环境运动<sup>[6]</sup>。1972 年出版的《增长的极限》深入分析了资源、人口和环境相互影响的关系,引起了各国政府和科学界对生态问题的关注<sup>[7]</sup>。同年 6 月联合国在斯德哥尔摩召

收稿日期: 2018-07-30

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC0506601); 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(GYZX180201)

① 通信作者 E-mail: zcxnies@163.com

开了“人类环境会议”,此次会议确立了生态环境保护与发展并重的主题,标志着“环境时代”的到来,是“可持续发展”战略思想的萌芽阶段,为后来的环境保护带来了重大影响。1982年 BROWN<sup>[8]</sup>首次将生态系统保护的重要性提高到国家安全层面,他认为二次世界大战结束后,威胁国家安全的主要因素已由国与国之间的敌对军事威胁转变为由人类经济、文化快速发展引起的自然生态系统退化及资源匮乏的压力。BROWN 指出,20 世纪末国家安全的关键是持续发展性,各国政府应当重视生态系统的保护,以从根本上解决由生态压力及资源短缺引发的经济问题,如通货膨胀、失业、资金短缺和币制不稳定等,进而稳定社会不安和政治动荡,巩固国家安全。1987 年世界环境与发展委员会(WCED)发布了著名报告《我们共同的未来》<sup>[9-10]</sup>，“环境安全”的概念首次正式为联合国所采用。该报告阐述了环境与经济发展的关系,扩展了国家安全的定义,指出“除了军事和政治威胁,国家安全还应包括环境破坏对经济发展产生的威胁”,强调“国家为了维护其安全,必须重视改善经济发展的环境背景”。1989 年国际应用系统分析研究所(IIASA)首次提出了“生态安全”的概念,并指出生态安全是确保人类生活、健康、安乐的基本权利,确保人类适应环境变化的能力不受威胁的状态。1996 年《地球公约》的《面对全球生态安全的市民条约》中,约有 100 多个国家的 200 多万人签字。缔约建立在环境安全、可持续发展和责任的基础之上,要求各成员国和各团体组织相互协调利益、履行责任和义务,加强国际合作,至此生态安全开始得到国际社会的认可。综上所述,生态安全的概念可以概括为狭义和广义 2 种理解。狭义的概念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>[11]</sup>,主要研究生态系统的健康状况、景观安全格局以及生态风险程度等。而随着认识加深,人们意识到生态安全不只是自然生态系统的安全,还应包括经济生态安全和社会生态安全在内<sup>[12]</sup>,即生态安全的广义概念。它强调人类活动对自然生态系统的影响,探究的是国际组织(包括政府和非政府组织机构)在解决生态问题时所采取的一系列措施、政策及法律对生态安全的影响,应该是社会-经济-自然复合系统的安全。

进入 21 世纪以来,来自世界各国的学者和研究机构通过大量实验研究,开始对生态安全进行经验性和综合性评价,区域生态安全评估研究成为热点,研究内容逐步细化具体。如关于区域水<sup>[13-15]</sup>、

大气<sup>[16-18]</sup>、土壤<sup>[19-21]</sup>等生态环境要素及生态系统安全性评估<sup>[22-25]</sup>,关于农业<sup>[26-28]</sup>、渔业<sup>[29-31]</sup>、旅游业<sup>[32-34]</sup>、工矿业<sup>[35-37]</sup>等对区域生态安全的影响评价及产业可持续发展途径探索,关于城市<sup>[38-39]</sup>、农村<sup>[40]</sup>人居环境可持续发展安全性评估及问题对策等。生态安全评价是生态安全研究的基础和前提,对于一个国家或地区的经济发展、资源合理利用以及生态环境保护至关重要<sup>[41]</sup>,准确可靠的生态安全评价结果能够反映生态环境所存在的安全问题及隐患<sup>[42]</sup>。

然而目前生态安全评价技术方法发展缓慢,仍旧沿用 20 世纪末 21 世纪初所提出的技术体系。此外,不同学者因其专业背景、研究对象、研究尺度不同,在进行生态安全评价时所采用的评价方法、指标体系构建等亦存在差异<sup>[43-44]</sup>。笔者试图从生态安全评价指标构建、评价指标权重确立、评价方法及其应用、评估结果分级等方面进行分析总结及特点述评,进而针对当前生态安全评价研究中存在的主要问题探讨,以期有关部门制定可持续发展战略、区域生态安全管理和决策提供科学依据。

## 1 生态安全评价及预警模型构建

### 1.1 建立生态安全评价指标

构建指标体系的实质是生态安全中的抽象问题具体化、实例化的过程。科学的选择指标是客观评价的基础,有研究表明对于同一问题选用不同指标体系(或概念框架)得到的评价结果可能不同<sup>[45]</sup>。因此,指标体系的构建对于生态安全评价具有极其重要的作用。当前较为常用的评价指标体系如表 1 所示,其中应用最为普遍的是由联合国经济合作开发署(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)提出的压力-状态-响应(Pressure, State, Response, PSR)评价体系<sup>[46]</sup>。PSR 评价体系的基本逻辑是:由人类活动引发的诸多不良影响(即压力)致使生态环境发生数量和质量的改变(即状态),而人类对于这一改变又采取一系列措施去修复生态问题(即响应),从而形成一个反馈回路。其中,压力指标指人类活动对环境的直接压力因子,如废弃物排放、煤矿开采、人口密度、公路网密度等;状态指标反映环境当前的状态或趋势,如污染物浓度、物种多样性等;响应指标表征人类应对环境问题时所采取的对策和措施,如工业废气处理率、科技、环保和教育投入强度等。此后形成的众多评价体系均是在 PSR 框架基础上衍生发展而来的,如联合国可持续发展委员会(The United

Nations Commission on Sustainable Development, UNCSO) 在 PSR 的基础上提出了驱动力-状态-响应(Driver, State, Response, DSR/DFSR) 评价体系<sup>[47]</sup>、欧洲环境署(European Environment Agency, EEA) 提出的驱动力-压力-状态-影响-响应(Driver, Pressure, State, Impact, Response, DPSIR) 评价体系<sup>[48-49]</sup>、联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization, FAO) 提出的驱动力-压

力-状态-暴露-响应(Driver, Pressure, State, Exposure, Response, DPSEER) 评价体系<sup>[50]</sup>等。此外,国内学者在国际评价指标建立的研究基础上也提出了改进的评价体系。如王耕等<sup>[51]</sup>基于 PSR 框架提出了状态-隐患-响应(Stage, Dange, Response, SDR) 概念模型,首次将灾害学原理应用于区域生态安全机理研究,强调了生态安全的动态演变过程。

表 1 常用的生态安全评价指标体系概念框架及其特征

Table 1 The conceptual framework and characteristics of commonly used ecological safety evaluation index system

评价体系名称	适用性	局限性
压力-状态-响应(PSR)	适用于空间尺度较小、空间变异较小、影响因素较少的区域生态评价;适用于环境类指标	不适用经济和社会类指标;不适用人类活动作用超过自然环境承载能力的自然灾害;无法确定生态安全隐患及不确定的威胁因素;过于简化各因素间的因果关系,忽视了系统的复杂性
驱动力-状态-响应(DSR/DFSR)	在 PSR 框架基础上考虑了来自经济、社会等驱动力因子与生态环境之间的因果关系	没有解决驱动力指标与生态环境状态之间没有必然逻辑联系的缺陷;驱动力指标和响应指标的界定存在一定的模糊性
驱动力-压力-状态-暴露-响应(DPSER)	从生态系统服务功能与人类需求的角度出发,将污染物暴露单独列为一个模块,着重强调人类需求与生态环境压力的接触暴露关系	框架的线性结构不能很清楚地解释所有过程的复杂特征;指标分类较为困难;更多考虑了人类因素造成的环境问题,而忽视了自然灾害
驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)	在 PSR 框架基础上添加了驱动力和影响指标,能够准确描述系统的复杂性和相互之间的因果关系;能够揭示经济运作及其环境间的因果关系	容易低估复杂的环境和社会经济方面固有的不确定性和因果关系的多样性维度
状态-隐患-响应(SDR)	在 PSR 框架基础上增添了生态安全自然灾害因素的影响及人类活动隐患的非短期影响;能够反映生态安全不确定性因素的动态影响	生态安全隐患存在时空尺度差异,不能套用一般研究模式

由于各评价体系的特征及系统各因素间的逻辑关联不同,在应用上应根据评价对象的不同灵活选择合适的模型:(1) PSR 框架通过建立人类活动与生态系统的相互作用和相互影响关系,能够从环境压力来源的角度分析生态环境的现状,具有较强的系统性,适用于空间尺度较小、空间变异较小、影响因素较少的区域生态评价以及环境类指标的评价,但并不适用于经济和社会指标的评价。此外,压力与状态之间的逻辑联系并非必然,而是受多种复杂因素的作用,而该评价体系过于强调了人类活动对生态环境的影响,忽视了来自自然本身及其它因素的影响,因而其评价结果存在一定的片面性。(2) DSR 框架使用驱动力指标替换 PSR 框架中的压力指标,其目的是为了适应社会、经济和制度等新指标的加入。DSR 框架较 PSR 虽然考虑了来自经济、社会等驱动力因子与生态环境之间的因果关系,但依然没有解决驱动力指标与生态环境状态之间没有必然逻辑联系的缺陷。此外,对于驱动力指标和响应指标的界定也存在一定的模糊性。(3) DPSER 框架是从生态系统服务功能与人类需求的角度出发,将污染物暴露单独列为一个模块,着重强调人类需求与生态环境压力的接触暴露关系。

但框架的线性结构不能很清楚地解释所有过程的复杂特征,且指标分类也较为困难。此外, DPSEER 框架更多考虑了人类因素造成的环境问题,而忽视了自然灾害对生态安全的影响。(4) DPSIR 框架是在 PSR 体系的基础上增加了驱动力和影响指标,是对 DSR 框架的进一步细化。该体系从系统分析的角度以简化的系统内部因果关系为思路,更为全面地评价人类活动与生态环境之间的相互作用关系<sup>[52]</sup>。但 DPSIR 框架中指标之间的线性因果关系过度简化了实际情况,其各子系统间的非线性关系研究还有待提高<sup>[53]</sup>。(5) SDR 框架在 PSR 框架基础上增添了生态安全自然灾害因素的影响及人类活动隐患的非短期影响,能够反映生态安全不确定性因素的动态影响。但不同区域生态安全隐患与安全状态的时空演变机理不同,不能套用一般研究模式。

PSR 概念框架及其衍生框架逐渐应用于不同尺度的生态安全评价中<sup>[54-56]</sup>。如 DU 等<sup>[57]</sup>基于 PSR 理论框架,利用多尺度的遥感数据、人口数据及其它生态数据与 GIS 技术结合的方法,分析评价了徐州市的城市生态安全空间分布与动态变化;谈迎新等<sup>[58]</sup>基于 DSR 模型,对 2005—2010 年淮河流



域六安段的生态安全变化进行了研究;江波等<sup>[59]</sup>针对洞庭湖湖泊面积和容积萎缩、水位下降、水质恶化、生物多样性下降等生态环境问题,从生态系统服务和人类活动的尺度关联特征出发,采用 DPSER 框架构建了洞庭湖湿地生态系统服务权衡分析系统;朱莲莲等<sup>[60]</sup>运用 DPSIR 模型构建了湖南省生态安全指标评价体系,系统研究了 1989—2012 年间湖南省各区域生态安全状况,探讨了诱发其变化的各种因子及其相互作用机制。

## 1.2 确定评价指标权重

确定评价指标权重的方法一般分为主观赋权法、客观赋权法及两者相结合的方法。其中,常用的主观赋权法包括层次分析法、专家打分法及德尔菲法等。层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 的基本思路与人对一个复杂的决策问题的思维判断过程大体一致。按照其逻辑思维的加工处理步骤可将一个复杂的多目标决策问题分解为 3 个层次,即目标层、准则层和方案层。再基于定性的思维判断和经验对各方案对于每一项准则的权重及每一准则对目标的权重进行打分或赋权,并综合两者权重最终确定方案层对目标层的权重。由此可见,以 AHP 方法为代表的主观赋权法在处理难以定量分析的复杂问题时能够有效利用专家经验,且能够从专业的角度解释结果,具有一定的权威性。但同时由于赋权过程过度依赖于主观判断,对专业背景及知识经验要求较高,因而不同评判主体得到的结果可能存在差异。

客观赋权法主要包括主成分分析法、熵权法、变异系数法、均方差法等。以主成分分析法 (Principal Components Analysis, PCA) 为例,它是利用降维的思想,通过研究指标体系间的内在结构关系将多个指标转化为少数几个相互独立且包含原来指标大部分信息的综合指标。由于其完全基于数学模型确定各指标权重,因而消除了主观判断对结果的影响,具有较强的客观性,且得出的综合指标之间相互独立,减少了信息的交叉,有利于分析评价。然而,由于客观赋权法忽略了主观判断,不能反映专家的知识经验和决策者的意见,无法体现不同指标的相对重要性,有可能导致所得结果差距过小,难以结合实际经验进行解释。在实际应用中,为了避免主观和客观赋权法各自的缺点,充分利用两者分别在主观经验性和客观准确性的优点,大多采用主观赋权法和客观赋权法组合的方式确定评价指标的权重。

## 1.3 生态安全的评价方法

随着科技快速发展和人口激增,人类活动正以空前规模影响着生态系统,由此出现了诸多带有区域特征的生态问题,如大气污染、土地荒漠化、盐渍化等。由于尺度具有不可推绎性,不能轻易将小尺度上的研究结论推至大尺度,因此,肖笃宁等<sup>[11]</sup>建议应当重视生态安全评价模型的研究。模型在生态安全评价中具有预测、解释和推断的功能<sup>[61]</sup>。按照其原理可将生态安全评价中的模型划分为数学模型法、生态模型法、景观生态模型法、数字地面模型法和计算机模拟模型法 5 类。

### 1.3.1 数学模型法

数学模型法包含综合指数法、层次分析法、灰色关联度法、物元评价法及模糊综合法等。综合指数法是将各指标进行加权求和,即将每一项归一化处理后的指标数据与其对应的权重值相乘来表示各指标得分,然后将各指标得分相加,得到评价区域的生态安全指数,从而实现定量化评价。该方法体现了生态安全评价中的综合性、整体性和层次性,但易将问题简单化,难以反映系统本质。

灰色关联度法是根据灰色系统理论,通过筛选、比较参考序列并计算各因素的关联度,从而对灰色系统发展态势进行量化分析。该方法克服了常见数理统计量化方法的局限性,对系统参数要求不高,适用于尚未定性的生态安全系统。彭文君等<sup>[62]</sup>以贵州省赤水市耕地景观为研究对象,通过灰色关联分析法得出对研究区旱地景观生态安全演变及重心转移的驱动因素。

物元评价法是由事物、特征和事物特征的量值共同组成的三元组。按其主要分析步骤可划分为确定生态安全物元、确定事物经典域与节域物元矩阵、确定待评价物元和关联函数及关联度以及综合关联度的计算等过程。该方法有助于从变化的角度识别变化因子,具有较好的直观性,但关联函数形式确定不规范,通用性有待提高。余健等<sup>[63]</sup>运用物元分析法对皖江地区 9 个市土地生态安全水平进行评价,并与多指标综合评价法进行比较,结果表明物元分析法既能得到综合质量信息,也能反映评价对象的稳定状态,同时可以揭示评价对象单个评价指标的分异,在土地生态安全评价中具有一定应用价值。

模糊综合法是以模糊数学为基础,应用模糊关系合成原理,将一些边界不清、不易量化的因素定量化并进行综合评价的一种方法。该方法即能确定指标权重,又能计算多指标综合评价数值。模糊

综合法充分考虑了生态安全系统内部关系的错综复杂性及模糊性,克服了传统数学模型方法结果单一性的缺陷,但在模糊隶属函数的确定及指标参数的模糊化过程中会掺杂人为因素,从而丢失有用信息。HAN等<sup>[64]</sup>利用模糊综合评价方法构建包含北京—天津—河北在内的共计13个城市群生态安全评价系统,结果表明对于城市生态安全来说,社会和经济指标相较于自然资源和環境指标对生态安全的影响更大。李佩武等<sup>[65]</sup>运用改进的灰色关联度法、物元可拓综合法、模糊综合法和主成分投影法4种评价模型对城市生态安全水平与评价方法进行研究,结果表明模糊综合法与物元可拓综合法评价结果较全面、精确,其中模糊综合法更利于有针对性地对地分析问题。

### 1.3.2 生态模型法

生态模型法中最具代表性的即为生态足迹法。生态足迹是指生产区域人口所消费的所有资源和消纳这些人口所产生的所有废弃物所需要的生物生产性土地面积<sup>[66]</sup>。该方法主要用于评价人类需求与生态承载力之间平衡关系的研究,旨在衡量人类对自然资源利用程度及自然界为人类提供的生命支持服务功能<sup>[67]</sup>。LI等<sup>[68]</sup>基于生态足迹的概念提出了消费足迹压力指数(consumption footprint pressure index)、生产足迹压力指数(production footprint pressure index)和生态足迹贡献指数(ecological footprint contribution index)的生态安全评价指标,以此对内蒙古典型草原地区进行生态安全等级评价,定量描述了草原生态系统中资源开发对生态安全的影响。KANG等<sup>[69]</sup>以维持生态承载力在时空中动态平衡为目标建立生态安全及其管控措施。生态足迹法通常以生态赤字来表示生态足迹与生态承载力的差值,结果易于理解,但模型中的均衡因子和产量因子均采用全球平均产量作为计算基础,无法体现不同尺度区域土地的真实生产力。曹新向<sup>[32]</sup>根据生态足迹模型,构建了旅游地生态安全评价的指标体系和方法,并以人均旅游生态足迹和人均旅游用地承载力的比值来确定旅游地生态安全的状况,研究结果表明采用旅游环境容量能够较为准确地反映旅游地生态安全状况。

### 1.3.3 景观生态模型法

景观生态学是研究和改善空间格局与生态和社会经济过程相互关系的整合性交叉学科<sup>[70]</sup>,可评估不同尺度研究区域生态安全现状及动态演变趋势,充分发挥景观结构组分易于保存信息的优势<sup>[71]</sup>,对掌握区域生态安全格局及演变具有重要意

义<sup>[72]</sup>。空间模型是景观生态模型最典型的代表,也是区别于其他生态学模型最突出的特点。河东进等<sup>[73]</sup>在近10a的国内外研究基础上,依据景观模型的结构特征差异和对研究涉及生态学处理方式的不同,将景观空间模型分为空间概率模型、领域规则模型、景观机制模型和景观耦合模型4类,并结合各类模型的优缺点,指出空间概率模型多用于描述或预测植被演替或植物群落的空间结构变化及土地利用变化的研究;领域规则模型适用于和GIS、遥感数据等系统集成的模型中;景观机制模型则较适合于在异质种群、林窗、生态系统过程中能量和物质信息流方面的研究;而景观耦合模型隶属各式模型的综合应用,可作为景观生态模型改进的途径。

### 1.3.4 数字地面模型法

随着GIS、RS和GPS技术的发展,人们可以利用卫星光谱资料信息和数字化的环境资料对区域尺度的社会、经济要素进行识别、分析和分类,使得在大尺度对生态安全系统各要素的长期连续且动态的检测成为可能,可揭示生态安全格局和生态安全的时间和空间上的变化,具有时效高、精确度高、可操作性强及可扩展性强的优势,在生态安全评价及预警方面有广阔的应用前景。闫云平等<sup>[34]</sup>针对西藏高原景区的生态承载力评估和安全预警问题,基于遥感和GIS技术开展典型景区示范应用研究,设计并开发了面向西藏景区旅游生态环境动态评估与安全预警系统,成为西藏旅游景区管理和辅助决策的工具。

### 1.3.5 计算机模拟模型法

利用计算机模拟技术可快捷分析处理大量数据的优点,改进生态安全预警研究中以静态评价为主流方法的缺陷,动态模拟生态安全在时空中的变化过程,对生态安全预警具有理论指导价值和实际意义。最具代表性的计算机模拟模型法是系统动力学法和径向基函数(RBF)神经网络模型法。

前者以结构-功能模拟为特点,从实际存在的系统运行规律出发描述及预测可能发生的现象,通过建立生态安全中所有影响因素因子间的反馈关系,形成一个完整的系统,从而模拟预测各因子的变化趋势,进而达到预警的目的。JOGO等<sup>[74]</sup>以非洲南部的林波波河湿地为研究对象,基于系统动力学方法构建了生态-经济模型,并对不同政策制度下湿地功能和经济健康状况的影响进行模拟评价和预警,研究探讨了湿地系统在平衡经济发展和生态安全中的关键作用,为政府相关决策制定人员在湿地用途转化方面如何衡量经济效益与生态安全



间的关系提供了科学管理依据。王耕等<sup>[75]</sup>和张梦婕等<sup>[76]</sup>基于系统动力学的方法,利用 VensimPLE 软件实现建模,分别模拟预测了辽宁省 2010—2020 年城市生态安全预警指标趋势值,及重庆三峡库区在 2000—2050 年范围内不同情景条件下的生态安全特征,充分说明了系统动力学方法在生态安全预警中的重要作用。

RBF 神经网络模型法是以函数逼近理论为基础构成的一类前向网络,能够以任意精度逼近任意非线性函数,具有自学习和自适应能力,能够快速寻找优化解,对提高预测的准确性和时效性具有重要意义。陈英等<sup>[77]</sup>利用神经网络模型对甘肃省张掖市的土地生态安全进行预警,并通过拟合优度评判验证了神经网络应用于生态安全评价及预警的合理性。

#### 1.4 依据评价标准对评价结果进行分级

由评价方法计算得到的综合指数值无法直接反映生态安全的状况,还需按照一定标准将综合指数值转化为等级值,即将综合指数与安全状况评判联系起来。目前国内外对于评判标准的划定方法并未达成统一,一般是通过文献搜索查找相似研究成果的阈值来确定,但该方法依赖专家经验,主观性过强。另外,还可采用均分法将生态安全标准等比例划分成若干份,该方法虽然简单可行,但过于简化了因素之间的相互作用关系。

## 2 生态安全评价模型构建中存在的问题及探讨

### 2.1 评价过于依赖主观判断

生态安全问题是一个十分复杂的综合性问题,需要全面考虑生态环境影响因子与自然的关系、因子与因子之间相互作用的关系以及时空尺度上的变异等诸多情况。然而,对于现实中具体的生态安全问题尚未形成统一参考标准,虽然在评价过程中可通过可靠的方法客观计算生态安全程度的标准值,但在实际应用过程中来自方法选择的人为主观判断难以避免。在生态安全评价模型构建过程中涉及众多方法的选择,其过程过于主观,缺乏客观判断,且量化的计算方法不能完全表达生态安全的模糊特性<sup>[78-80]</sup>。

一些学者试图通过非 PSR 体系构建生态安全评价系统, YU 等<sup>[81]</sup>基于流域尺度构建了适用于中小尺度的生态安全评价系统,并以此评价我国汉江流域的生态安全等级。SKITER 等<sup>[82]</sup>分析了俄国当前的经济状况与生态环境间的关系,构建州级生态

安全模型,并将生态标记与生态税的概念引入模型,力图通过市场调节机制保护生态安全。CEN 等<sup>[83]</sup>整合了社会经济数据和空间格局指标,探究了城市可持续发展中的土地集约利用系统与景观生态安全系统两者间的耦合关系与相互影响机制,构建了多维跨学科的社会经济-生态系统耦合模型,用以对杭州核心区的城市生态安全进行评价分析。因此,在根据不同模型适用范围基础上,结合实际经验评判具体问题最适的评价方法可能是减小方法选择主观性的有效途径。

### 2.2 对生态安全问题类型缺少辨识和诊断

由于生态安全所涉及的资源环境及经济社会因素复杂多样,国内外现有的生态安全评价指标体系的设置大多综合而笼统,采用的评价方法也是以诸如模糊综合评价-层次分析-主成分分析模型等复合评价模型为主<sup>[84]</sup>。这种组合模式模糊了研究中存在的生态安全问题,缺乏明晰有效、切合实际的生态安全问题类型辨识与诊断。因此在进行生态安全评价前需针对不同类型区特定生态安全问题研究关键指标的识别与提取技术,精细化、精准化确定研究对象,以提升评价指标敏感性与评价成果的应用价值。

### 2.3 生态安全评价结果分级标准的界定缺乏科研基础

现有生态安全评价标准多借鉴国家和行业或国际有关标准、研究区生态环境背景值或本底值,以及未受人类严重干扰的相似生态环境或同类区域同等强度的开发活动的类比值。大部分研究成果对生态安全评估指标的分级标准在国家、行业和地方规定的标准以及国际标准中找不到依据,根据学者主观划定。此外生态承载力评价标准的生态阈值、生态弹性相关研究成果散落在大量的基础文献中,在生态安全级别的标准划分中尚未发挥应有的支撑作用,亟待加强研究。

### 2.4 生态安全动态评价的缺陷

模型对于生态安全评价工作而言最大价值在于预测和模拟。然而,大多研究还是停留在生态安全现状分析阶段,少数研究结合计算机模拟模型方法能够动态预测评价指标的变化,但仍存在诸多问题,如指标赋权局限性、响应模块与驱动力或影响因子间的交互作用考虑不足等。在模拟指标因子随时空的动态变化对生态安全的影响时,其指标体系的权值也可能发生改变。此外,影响因子变化导致的生态环境发生改变,由此引导人类社会、经济活动等进行调整,进而反作用于影响因子。因此,

在进行生态安全评价及预警动态模拟时,应充分考虑各因素间的关联作用,建立有效的反馈机制,并根据当前生态安全状况进行实时调节和修正。

### 3 生态安全评价及预警研究展望

#### 3.1 重视生态安全预警的研究

生态安全是一个动态过程,然而目前大多研究主要是对复杂系统内部各子系统间关系的现状和静态评价为主,对区域生态建设的指导作用不大,从静态的现状描述向动态的评价和预警分析是生态安全预警的主要研究内容,是生态安全发展的必然趋势。LIU 等<sup>[85]</sup>在整合总结近 12 000 篇有关生态安全或生态风险类文章后提出未来生态安全的研究重点可能是生态安全预警与生态安全格局构建,相关的研究也将从早先的定性研究与状态分析向定量研究与动态预警转变。HE 等<sup>[86]</sup>运用生态学理论和方法对中国跨界河流的潜在环境威胁进行诊断和预警,强调了生态安全预警对于研究跨界河流生态安全的重大意义,其研究成果为我国与邻国在跨界河流环境补偿机制、协同管理机制及区域合作等方面提供了重要支撑及理论依据。

#### 3.2 建立科学、统一的标准和方法

生态安全评价标准和生态阈值的确定是生态安全研究工作的一大难点。目前尚未形成一个完备的生态安全评价指标系统、评估标准或评价模型<sup>[68,87]</sup>。大多学者是按照各自的学术背景或参照已有研究成果判定生态安全指数所属的安全级别,主观性较强。此外,评估指标的时空属性亟待规范和统一。例如在同一评价指标内,有的指标是全域属性,而有的指标是局部性的;有的是年度性统计指标,有的则是月度指标或即时性指标。因此,应先根据实际的生态安全问题进行分类,制定科学的、统一的评价标准,建立生态阈值数据库,使评价结果更为客观、可信,使同一类型生态安全问题的横向比较更具有现实意义。

#### 3.3 推进大尺度的生态安全评价研究

综合国内外文献发现采用生态学方法、模型模拟、景观分析、目标评价等方法能够较为客观的反映流域尺度和区域尺度的生态安全等级。例如彭晶倩等<sup>[88]</sup>采用 PSR 模型构建了武汉市湖泊水环境安全的评价指标体系,采取层次分析法求解模型并评价其安全等级。刘欣等<sup>[89]</sup>利用 RS 和 GIS 技术,基于 DEM 将河北太行山区划分为 22 个小流域,根据 PSR 模型建立指标体系,采用熵权法赋权,加权确定各小流域的生态安全状况。但大多研究评价

尺度仍以较短时间、较小空间尺度为主,观测和研究尺度较单一,缺乏国家范围、全球领域以及多尺度的综合研究。随着影像分类技术、高分辨率遥感技术、无人机技术的发展以及计算机硬件性能的快速提高,空间数据采集将更加便捷,将逐步实现在不同时空尺度研究的紧密结合,进而能够揭示复杂生态系统的内部结构与功能的发展趋势<sup>[90-91]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] BONHEUR N,LANE B D.Natural Resources Management for Human Security in Cambodia's Tonle Sap Biosphere Reserve[J].Environmental Science & Policy,2002,5(1):33-41.
- [2] 高吉喜.生态安全是国家安全的重要组成部分[J].求是,2015(24):43-44.
- [3] 邹长新,沈渭寿.生态安全研究进展[J].农村生态环境,2003,19(1):56-59.[ZOU Chang-xin, SHEN Wei-shou. Advances in Ecological Security [J]. Rural Eco-Environment, 2003, 19(1):56-59.]
- [4] LI Z X, XU L Y. Evaluation Indicators for Urban Ecological Security Based on Ecological Network Analysis[J].Procedia Environmental Sciences,2010,2:1393-1399.
- [5] JIANG M M, CHEN B. Integrated Urban Ecosystem Evaluation and Modeling Based on Embodied Cosmic Exergy [J]. Ecological Modelling, 2011, 222(13):2149-2165.
- [6] CARSON B R, DARLING D B L A. Silent Spring [M]. Hamilton, USA: Houghton Mifflin Company, 1962:103-198.
- [7] MARTINO J P. The Limits to Growth; A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind [J]. Technological Forecasting and Social Change, 1973, 4(3):323-332.
- [8] BROWN L R. Building a Sustainable Society [J]. Society, 1982, 19(2):75-85.
- [9] WCED. Our Common Future: Chapter 11: Peace, Security, Development and the Environment [R]. Oxford, UK: Oxford University Press, 1987:1-13.
- [10] BURTON I. Report on Reports: Our Common Future [J]. Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 1987, 29(5):25-29.
- [11] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(3):354-358. [XIAO Du-ning, CHEN Wen-bo. On the Basic Concepts and Contents of Ecological Security [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(3):354-358.]
- [12] CHERRY W A. Comments: What Is Ecological Security? [J]. Peace Research, 1995, 27(2):87-89.
- [13] 余建星, 蒋旭光, 练继建. 水资源优化配置方案综合评价的模糊熵模型 [J]. 水利学报, 2009, 40(6):729-735. [YU Jian-xing, JIANG Xu-guang, LIAN Ji-jian. Comprehensive Evaluation Model for Optimal Deployment of Water Resources Based on Fuzzy Theory and Information Entropy [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2009, 40(6):729-735.]
- [14] 何焰, 由文辉. 水环境生态安全预警评价与分析: 以上海市为例 [J]. 安全与环境工程, 2004, 11(4):1-4. [HE Yan, YOU

- Wen-hui. The Ecological Alarm Assessment and Analysis of the Water Environment in Shanghai[J]. Safety and Environmental Engineering, 2004, 11(4): 1-4.]
- [15] 曾畅云, 李贵宝, 傅桦. 水环境安全及其指标体系研究: 以北京市为例[J]. 南水北调与水利科技, 2004, 2(4): 31-35. [ZENG Chang-yun, LI Gui-bao, FU Hua. Study on Water Environment Security and Its Evaluation Index System: A Case Study of Beijing [J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2004, 2(4): 31-35.]
- [16] 于小倩. 城市大气环境生态安全评价原则与指标体系[J]. 环境研究与监测, 2010, 23(2): 66-68, 72.
- [17] 逯元堂, 吴舜泽, 王金南, 等. 大气环境安全评估体系研究[J]. 环境科学研究, 2006, 19(3): 128-133. [LU Yuan-tang, WU Shun-ze, WANG Jin-nan, et al. Study on Assessment System of Atmospheric Environmental Security [J]. Research of Environmental Sciences, 2006, 19(3): 128-133.]
- [18] 高吉喜, 张惠远. 构建城市生态安全格局 从源头防控区域大气污染[J]. 环境保护, 2014, 42(6): 20-22.
- [19] 林玉锁, 李波, 张孝飞. 我国土壤环境安全面临的突出问题[J]. 环境保护, 2004, 32(10): 39-42. [LIN Yu-suo, LI Bo, ZHANG Xiao-fei. Problems of Soil Environmental Security in China [J]. Environmental Protection, 2004, 32(10): 39-42.]
- [20] 王萌萌, 李海龙, 俞孔坚, 等. 国土尺度土壤侵蚀生态安全格局的构建[J]. 中国水土保持, 2009(12): 32-35, 68. [WANG Meng-meng, LI Hai-long, YU Kong-jian, et al. Construction of National Ecological Security Pattern of Soil Erosion [J]. Soil and Water Conservation in China, 2009(12): 32-35, 68.]
- [21] 张慧, 付强, 赵映慧. 松嫩平原北部土壤重金属空间分异特征及生态安全评价[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 165-169. [ZHANG Hui, FU Qiang, ZHAO Ying-hui. Spatial Variability of Soil Heavy Metals and Ecological Quality Assessment in the Northern Songnen Plain [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2013, 20(2): 165-169.]
- [22] 郑永贤, 张智光. 森林旅游景区生态安全要素及其景观感知传递性分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(2): 123-129, 134. [ZHENG Yong-xian, ZHANG Zhi-guang. Analysis on Ecological Security Elements and Landscape Esthesia Transitivity of Forest Tourism Scenic Area [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2015, 35(2): 123-129, 134.]
- [23] 郑永贤, 薛菲, 张智光. 森林旅游景区生态安全 IRDS 模型实证研究[J]. 资源科学, 2015, 37(12): 2350-2361. [ZHENG Yong-xian, XUE Fei, ZHANG Zhi-guang. Ecological Security Measurement Using the IRDS Model in Forest Scenic Spots [J]. Resources Science, 2015, 37(12): 2350-2361.]
- [24] 陈宗铸, 黄国宁. 基于 PSR 模型与层次分析法的区域森林生态安全动态评价[J]. 热带林业, 2010, 38(3): 42-45. [CHEN Zong-zhu, HUANG Guo-ning. A Dynamic Assessment of Forest Ecological Security on Region-Scale in Application of PSR Model and Analytic Hierarchy Process [J]. Tropical Forestry, 2010, 38(3): 42-45.]
- [25] 毛旭鹏, 陈彩虹, 郭霞, 等. 基于 PSR 模型的长株潭地区森林生态安全动态评价[J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(6): 82-86. [MAO Xu-peng, CHEN Cai-hong, GUO Xia, et al. A Dynamic Assessment of Forest Ecological Security in Changsha-Zhuzhou-Xiantan Area Based on PSR Model [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2012, 32(6): 82-86.]
- [26] 赵庚星, 林戈. 黄河口耕地遥感动态监测及其生态环境安全分析[J]. 水土保持学报, 2004, 18(2): 37-40. [ZHAO Geng-xing, LIN Ge. Remote Sensing Dynamic Change Monitoring of Cultivated Land and Ecological Environment Security Analysis in Region of Yellow River Mouth [J]. Journal of Soil Water Conservation, 2004, 18(2): 37-40.]
- [27] 王千, 金晓斌, 周寅康. 河北省耕地生态安全及空间聚集格局[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 338-344. [WANG Qian, JIN Xiao-bin, ZHOU Yin-kang. Cultivated Land Ecological Security and Spatial Aggregation Pattern in Hebei Province [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(8): 338-344.]
- [28] 徐辉, 雷国平, 崔登攀, 等. 耕地生态安全评价研究: 以黑龙江省宁安市为例[J]. 水土保持研究, 2011, 18(6): 180-184, 189. [XU Hui, LEI Guo-ping, CUI Deng-pan, et al. Study on Evaluation for Ecological Security of Cultivated Land: A Case Study of Ning'an City in Heilongjiang Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2011, 18(6): 180-184, 189.]
- [29] 杨子江. 我国渔业生态安全的思考[J]. 中国渔业经济, 2007, 25(5): 25-29. [YANG Zi-jiang. Study on China's Fishery Ecological Security [J]. Chinese Fisheries Economics, 2007, 25(5): 25-29.]
- [30] 谢钦铭, 朱清泉. 区域水环境生态安全的预警系统构建初探[J]. 江西科学, 2008, 26(1): 37-42, 49. [XIE Qin-ming, ZHU Qing-quan. Primary Study on Construction of Early Warning System of Regional Water Environment Ecological Safe [J]. Jiangxi Science, 2008, 26(1): 37-42, 49.]
- [31] 王健, 王佳迪. 生态安全视角下的海洋渔业科技创新路径研究: 以山东为例[J]. 中国渔业经济, 2017, 35(4): 88-92. [WANG Jian, WANG Jia-di. Study on Marine Fisheries Science and Technology Innovation and Its Path of Development From the Perspective of Ecological Security: A Case of Shandong Province [J]. Chinese Fisheries Economics, 2017, 35(4): 88-92.]
- [32] 曹新向. 基于生态足迹分析的旅游地生态安全评价研究: 以开封市为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(2): 70-75. [CAO Xin-xiang. Ecological Security Evaluation of Tourism Destination Based on Ecological Footprint Analyses: A Case of Kaifeng City [J]. China Population Resources and Environment, 2006, 16(2): 70-75.]
- [33] 贾铁飞, 冯亚芬. 生态脆弱地区旅游资源开发的生态安全评价: 以内蒙古鄂尔多斯市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(5): 187-193. [JIA Tie-fei, FENG Ya-fen. Ecological Security Assessment on Tourism Resources Development in Ecological Fragile District: A Case of Ordos, Inner Mongolia [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(5): 187-193.]
- [34] 闫云平, 余卓渊, 富佳鑫, 等. 西藏景区旅游承载力评估与生态安全预警系统研究[J]. 重庆大学学报(自然科学版), 2012, 35(增刊1): 92-98. [YAN Yun-ping, YU Zhuo-yuan, FU Jia-xin, et al. Research on Tourist Environment Bearing Capacity Assessment and Ecological Security Warning System of Scenic Spots in Tibet [J]. Journal of Chongqing University (Natural Science Edition),



- 2012, 35(Suppl. 1): 92-98.]
- [35] 蓝志聪, 黄小武. 工业企业污染防治设施环境安全标准化[J]. 中国新技术新产品, 2018(14): 127-128.
- [36] 黄冉冉, 陈勇, 唐荣彬, 等. 基于 DPSIR 的矿业城市生态安全多层次模糊综合云评价[J]. 工业安全与环保, 2018, 44(3): 50-55. [HUANG Ran-ran, CHEN Yong, TANG Rong-bin, *et al.* Multi-Level Fuzzy Comprehensive Cloud Evaluation of Mining City Ecological Safety Based on DPSIR Model[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2018, 44(3): 50-55.]
- [37] 巩芳, 陶鹤争. 基于 BP-GM 的工业污染生态安全预警系统研究[J]. 资源开发与市场, 2013, 29(3): 237-239, 298. [GONG Fang, TAO He-zheng. Research on BP-GM Early-Warning System of Industrial Pollution Ecological Security [J]. Resource Development & Market, 2013, 29(3): 237-239, 298.]
- [38] 李森, 魏兴琥, 张素红, 等. 生态城市建设的基本架构与转型途径: 以广东省佛山市为例[J]. 热带地理, 2007, 27(4): 354-359. [LI Sen, WEI Xing-hu, ZHANG Su-hong, *et al.* Basic Frame for Eco-Transformation of the City: A Case Study of Foshan [J]. Tropical Geography, 2007, 27(4): 354-359.]
- [39] 谭清文, 陈东辉, 黄满红. 基于 BP 神经网络的城市人居环境评价以青浦区为例[J]. 广东化工, 2013, 40(11): 128-130. [TAN Qing-wen, CHEN Dong-hui, HUANG Man-hong. The Evaluation of the Quality of Urban Human Settlements Based on BP Artificial Neural Network: A Case of Qingpu District [J]. Guangdong Chemical Industry, 2013, 40(11): 128-130.]
- [40] 郜慧, 金家胜, 李锋, 等. 中国省域农村人居环境建设评价及发展对策[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(6): 835-843. [GAO Hui, JIN Jia-sheng, LI Feng, *et al.* Evaluation and Development Strategy of Provincial Rural Human Settlement Construction in China [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2015, 31(6): 835-843.]
- [41] KULLENBERG G. Regional Co-Development and Security: A Comprehensive Approach[J]. Ocean and Coastal Management, 2002, 45(11/12): 761-776.
- [42] ALCAMO J, ENDEJAN M B, KASPAR F, *et al.* The GLASS Model: A Strategy for Quantifying Global Environmental Security [J]. Environmental Science & Policy, 2001, 4(1): 1-12.
- [43] STOETT P J. Global Environmental Security, Energy Resources and Planning: A Framework and Application [J]. Futures, 1994, 26(7): 741-758.
- [44] 左伟, 周慧珍, 王桥. 区域生态安全评价指标体系选取的概念框架研究[J]. 土壤, 2003, 35(1): 2-7. [ZUO Wei, ZHOU Hui-zhen, WANG Qiao. Conceptual Framework for Selection of an Indicator System for Assessment of Regional Ecological Safety [J]. Soils, 2003, 35(1): 2-7.]
- [45] DABELKO G D, SIMMONS P J. Environment and Security: Core Ideas and US Government Initiatives [J]. SAIS Review, 1997, 17(1): 127-146.
- [46] OECD. Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews: A Synthesis Report by the Group on the State of the Environment [C]. Paris, France: Organisation for Economic Co-Operation and Development, 1993.
- [47] UN CSD. Indicators of Sustainable Development: Framework and Methodologies [M]. New York, USA: United Nations Publications, 1996: 7-10.
- [48] PIRRONE N, TROMBINO G, CINNIRELLA S, *et al.* The Driver-Pressure-State-Impact-Response (D) PSIR Approach for Integrated Catchment-Coastal Zone Management: Preliminary Application to the Po Catchment-Adriatic Sea Coastal Zone System [J]. Regional Environmental Change, 2005, 5(2/3): 111-137.
- [49] EEA. Environmental Indicators: Typology and Overview [C]. Copenhagen, Denmark: European Environment Agency, 1999.
- [50] FAO, UNDP, World Bank. Land Quality Indicators and Their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development [C] // Proceedings of the Workshop Organized by the Land and Water Development Division FAO Agriculture Department. Rome, Italy: [s. n.], 1997: 58-76.
- [51] 王耕, 吴伟. 区域生态安全机理与扰动因素评价指标体系研究[J]. 中国安全科学学报, 2006, 16(5): 11-15, 148. [WANG Geng, WU Wei. Regional Ecological Security Mechanism and Impact Factors Indicator System [J]. China Safety Science Journal, 2006, 16(5): 11-15, 148.]
- [52] 曹红军. 浅评 DPSIR 模型[J]. 环境科学与技术, 2005, 28(增刊 1): 110-111, 126. [CAO Hong-jun. An Initial Study on DPSIR Model [J]. Environmental Science and Technology, 2005, 28(Suppl. 1): 110-111, 126.]
- [53] 康鹏, 陈卫平, 王美娥. 基于生态系统服务的生态风险评价研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36(5): 1192-1203. [KANG Peng, CHEN Wei-ping, WANG Mei-e. Advances in Ecosystem Service-Based Ecological Risk Assessment [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(5): 1192-1203.]
- [54] YE H, MA Y, DONG L M. Land Ecological Security Assessment for Bai Autonomous Prefecture of Dali Based Using PSR Model: With Data in 2009 as Case [J]. Energy Procedia, 2011, 5: 2172-2177.
- [55] PEI L, DU L M, YUE G J. Ecological Security Assessment of Beijing Based on PSR Model [J]. Procedia Environmental Sciences, 2010, 2: 832-841.
- [56] ZHANG X C, MA C, ZHAN S F, *et al.* Evaluation and Simulation for Ecological Risk Based on Emery Analysis and Pressure-State-Response Model in a Coastal City, China [J]. Procedia Environmental Sciences, 2012, 13: 221-231.
- [57] DU P J, XIA J S, DU Q, *et al.* Evaluation of the Spatio-Temporal Pattern of Urban Ecological Security Using Remote Sensing and GIS [J]. International Journal of Remote Sensing, 2013, 34(3): 848-863.
- [58] 谈迎新, 於忠祥. 基于 DSR 模型的淮河流域生态安全评价研究[J]. 安徽农业大学学报(社会科学版), 2012, 21(5): 35-39. [TAN Ying-xin, YU Zhong-xiang. An Ecological Security Evaluation of Huaihe River Based on DSR [J]. Journal of Anhui Agricultural University (Social Sciences Edition), 2012, 21(5): 35-39.]
- [59] 江波, 李红清, 李志军, 等. 基于生态系统服务的洞庭湖湿地生态保护[J]. 湿地科学与管理, 2015, 11(3): 46-50. [JIANG Bo, LI Hong-qing, LI Zhi-jun, *et al.* Ecosystem-Service Based Ecological Protection for Dongting Lake Wetlands [J]. Wetland Science & Management, 2015, 11(3): 46-50.]

- [60] 朱莲莲, 谢永宏, 宋冰冰, 等. 基于 DPSIR 模型的湖南省生态安全评价及安全格局分析[J]. 农业现代化研究, 2016, 37(6): 1084-1090. [ZHU Lian-lian, XIE Yong-hong, SONG Bing-bing, *et al.* Ecological Security Assessment and Pattern Analysis of Hunan Province Based on DPSIR Model [J]. Research of Agricultural Modernization, 2016, 37(6): 1084-1090.]
- [61] NORTON S B, RODIER D J, VAN DER SCHALIE W H, *et al.* A Framework for Ecological Risk Assessment at the EPA [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 1992, 11(12): 1663-1672.
- [62] 彭文君, 舒英格. 喀斯特山区县域耕地景观生态安全及演变过程[J]. 生态学报, 2018, 38(3): 852-865. [PENG Wen-jun, SHU Ying-ge. Analysis of Landscape Ecological Security and Cultivated Land Evolution in the Karst Mountain Area [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(3): 852-865.]
- [63] 余健, 房莉, 仓定帮, 等. 熵权模糊物元模型在土地生态安全评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(5): 260-266. [YU Jian, FANG Li, CANG Ding-bang, *et al.* Evaluation of Land Eco-Security in Wanjiang District Base on Entropy Weight and Matter Element Model [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(5): 260-266.]
- [64] HAN B L, LIU H X, WANG R S. Urban Ecological Security Assessment for Cities in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region Based on Fuzzy and Entropy Methods [J]. Ecological Modelling, 2015, 318: 217-225.
- [65] 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[J]. 地理研究, 2009, 28(2): 293-302. [LI Pei-wu, LI Guicai, ZHANG Jin-hua, *et al.* Several Assessment Models and Application Analysis of Urban Ecological Security [J]. Geographical Research, 2009, 28(2): 293-302.]
- [66] 陈冬冬, 高旺盛, 陈源泉. 生态足迹分析方法研究进展[J]. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1983-1988. [CHEN Dong-dong, GAO Wang-sheng, CHEN Yuan-quan. Research Progress on Ecological Footprint Analysis [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(10): 1983-1988.]
- [67] RESS W E, WACKERNAGEL M. Ecological Footprints and Appropriated Carrying Capacity: Measuring the Natural Capital Requirements of the Human Economy [J]. Focus, 1996, 6(1): 45-60.
- [68] LI X B, TIAN M R, WANG H, *et al.* Development of an Ecological Security Evaluation Method Based on the Ecological Footprint and Application to a Typical Steppe Region in China [J]. Ecological Indicators, 2014, 39: 153-159.
- [69] KANG P, XU L Y. The Urban Ecological Regulation Based on Ecological Carrying Capacity [J]. Procedia Environmental Sciences, 2010, 2: 1692-1700.
- [70] WU J G. Landscape Ecology, Cross-Disciplinarity, and Sustainability Science [J]. Landscape Ecology, 2006, 21(1): 1-4.
- [71] XIE H L, YAO G R, WANG P. Identifying Regional Key Eco-Space to Maintain Ecological Security Using GIS [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2014, 11(3): 2550-2568.
- [72] 裴欢, 魏勇, 王晓妍, 等. 耕地景观生态安全评价方法及其应用[J]. 农业工程学报, 2014, 30(9): 212-219. [PEI Huan, WEI Yong, WANG Xiao-yan, *et al.* Method of Cultivated Land Landscape Ecological Security Evaluation and its Application [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(9): 212-219.]
- [73] 何东进, 游巍斌, 洪伟, 等. 近 10 年景观生态学模型研究进展[J]. 西南林业大学学报, 2012, 32(1): 96-104. [HE Dong-jin, YOU Wei-bin, HONG Wei, *et al.* Research Advances in Landscape Ecology Modeling in the Latest 10 Years [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2012, 32(1): 96-104.]
- [74] JOGO W, HASSAN R. Balancing the Use of Wetlands for Economic Well-Being and Ecological Security: The Case of the Limpopo Wetland in Southern Africa [J]. Ecological Economics, 2010, 69(7): 1569-1579.
- [75] 王耕, 刘秋波, 丁晓静. 基于系统动力学的辽宁省生态安全预警研究[J]. 环境科学与管理, 2013, 38(2): 144-149. [WANG Geng, LIU Qiu-bo, DING Xiao-jing. Research on City Eco-Security Early-Warning in Liaoning Province Based on System Dynamics [J]. Environmental Science and Management, 2013, 38(2): 144-149.]
- [76] 张梦婕, 官冬杰, 苏维词. 基于系统动力学的重庆三峡库区生态安全情景模拟及指标阈值确定[J]. 生态学报, 2015, 35(14): 4880-4890. [ZHANG Meng-jie, GUAN Dong-jie, SU Weici. Scenarios Simulation and Indices Thresholds Determination of Ecological Security in Three Gorges Reservoir Based on System Dynamics [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14): 4880-4890.]
- [77] 陈英, 孔喆, 路正, 等. 基于 RBF 神经网络模型的土地生态安全预警: 以甘肃省张掖市为例[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1): 264-270. [CHEN Ying, KONG Zhe, LU Zheng, *et al.* Land Ecological Security Early-Warning Based on RBF Neural Network: A Case of Zhangye in Gansu Province [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(1): 264-270.]
- [78] JIANG X. Urban Ecological Security Evaluation and Analysis Based on Fuzzy Mathematics [J]. Procedia Engineering, 2011, 15: 4451-4455.
- [79] CHEN T, JIN Y Y, QIU X P, *et al.* A Hybrid Fuzzy Evaluation Method for Safety Assessment of Food-Waste Feed Based on Entropy and the Analytic Hierarchy Process Methods [J]. Expert Systems With Applications, 2014, 41(16): 7328-7337.
- [80] SHEN L Y, ZHOU J Y, SKITMORE M, *et al.* Application of a Hybrid Entropy-McKinsey Matrix Method in Evaluating Sustainable Urbanization: A China Case Study [J]. Cities, 2015, 42: 186-194.
- [81] YU G M, ZHANG S, YU Q W, *et al.* Assessing Ecological Security at the Watershed Scale Based on RS/GIS: A Case Study From the Hanjiang River Basin [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2014, 28(2): 307-318.
- [82] SKITER N, ROGACHEV A F, MAZAEVA T I. Modeling Ecological Security of a State [J]. Mediterranean Journal of Social Sciences, 2015, 6(3): 184-192. DOI: 10. 5901/mjss.2015.v6n3s6p185.
- [83] CEN X T, WU C F, XING X S, *et al.* Coupling Intensive Land Use and Landscape Ecological Security for Urban Sustainability: An Integrated Socioeconomic Data and Spatial Metrics Analysis in Hangzhou City [J]. Sustainability, 2015, 7(2): 1459-1482.
- [84] TRAN L T, KNIGHT C G, O'NEILL R V, *et al.* Fuzzy Decision Analysis for Integrated Environmental Vulnerability Assessment of

- the Mid-Atlantic Region[J]. *Environmental Management*, 2002, 29(6): 845-859.
- [85] LIU D, CHANG Q. Ecological Security Research Progress in China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(5): 111-121.
- [86] HE D M, WU R D, FENG Y, *et al.* REVIEW: China's Transboundary Waters: New Paradigms for Water and Ecological Security Through Applied Ecology [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2014, 51(5): 1159-1168.
- [87] TIAN J Y, GANG G S. Research on Regional Ecological Security Assessment [J]. *Energy Procedia*, 2012, 16: 1180-1186.
- [88] 彭晶倩, 李琳, 曹雯等. 城市湖泊水环境安全评价研究 [J]. *环境保护科学* 2010, 36(5): 62-64. [PENG Jing-qian, LI Lin, CAO Wen, *et al.* Evaluation for Water Environment Security of Urban Lakes [J]. *Environmental Protection Science*, 2010, 36(5): 62-64.]
- [89] 刘欣, 葛京凤, 冯现辉. 河北太行山区土地资源生态安全研究 [J]. *干旱区资源与环境* 2007, 21(5): 68-74. [LIU Xin, GE Jing-feng, FENG Xian-hui. Study on Ecological Security of Land Resources in TaiHang Mountain HeBei [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2007, 21(5): 68-74.]
- [90] 鲍文沁, 徐正春, 刘萍. 中国生态安全评价研究进展 [J]. *广东农业科学*, 2015, 42(11): 135-140. [BAO Wen-qin, XU Zheng-chun, LIU Ping. Research Progress of Ecological Security Assessment in China [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015, 42(11): 135-140.]
- [91] 刘红, 王慧, 张兴卫. 生态安全评价研究述评 [J]. *生态学杂志* 2006, 25(1): 74-78. [LIU Hong, WANG Hui, ZHANG Xing-wei. Research Review on Ecological Security Assessment [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(1): 74-78.]

**作者简介:** 曹秉帅(1988—), 男, 新疆克拉玛依人, 助理研究员, 博士, 主要研究方向为生态安全、生态承载力等。E-mail: caobs.work@gmail.com

(责任编辑: 陈 昕)

## 《生态与农村环境学报》再次被评定为中文核心期刊

依据文献计量学的原理和方法, 经研究人员对相关文献的检索、统计和分析, 以及学科专家评审, 《生态与农村环境学报》再次被评定为环境科学类核心期刊, 入编《中文核心期刊要目总览》(2017年版)。

《中文核心期刊要目总览》(2017年版)研究工作由北京大学图书馆主持, 北京地区十几所高校图书馆、中国科学院文献情报中心、重庆维普资讯有限公司、中国人民大学书报资料中心、中国学术期刊(光盘版)电子杂志社、中国科学技术信息研究所、北京万方数据股份有限公司、国家图书馆、中国社会科学院评价研究院等相关单位的百余名专家和期刊工作者参加研究。项目组对核心期刊的评价理论、评价方法等问题进行了深入研究, 进一步改进了核心期刊评价方法, 使之更趋科学合理, 力求使评价结果符合客观实际。对于核心期刊的评价仍采用定量评价和定性评审相结合的方法。定量评价指标体系采用了被摘量(全文、摘要)、被摘率(全文、摘要)、被引量、他引量(期刊、学位论文、会议)、影响因子、他引影响因子、5年影响因子、5年他引影响因子、特征因子、论文影响分值、论文被引指数、互引指数、获奖或被重要检索工具收录、基金论文比(国家级、省部级)、Web下载量、Web下载率16个评价指标, 选作评价指标统计源的数据库及文摘刊物有49种, 统计到的文献数量共计93亿余篇次, 涉及期刊13953种。参加核心期刊评审的学科专家近8000位。经过定量筛选和专家定性评审, 从我国正在出版的中文期刊中评选出1981种核心期刊。

本刊从1996年开始已连续7次入编《中文核心期刊要目总览》, 在环境科学类期刊中一直属于学术水平较高、学术影响力较大的期刊, 在此对长期以来给予本刊大力支持的编委、作者、读者和社会各界表示衷心感谢!

本刊编辑部  
2019年8月18日