

基于“压力-状态-响应”模型的宝鸡市生态环境敏感性评价

朱婵婵¹, 文彦君^{1,2}, 宋海龙¹

(1.宝鸡文理学院地理与环境学院, 陕西 宝鸡 721013;

2.宝鸡文理学院 灾害监测与机理模拟陕西省重点实验室, 陕西 宝鸡 721013)

摘要: 生态环境敏感性评价研究对于区域社会、经济与生态环境可持续发展具有重要现实意义。基于“压力-状态-响应”(PSR)模型构建相关指标体系,运用均方差赋权法对选取的2001~2013年宝鸡市生态环境“压力-状态-响应”层共25项指标进行评价研究。结果表明:生态环境压力指数和响应指数是影响宝鸡市生态环境敏感性变化的主要因素;受人类活动影响,2001~2013年宝鸡市生态环境敏感性不断波动,其发展大致经历了4个阶段:即2001~2004年属于较高敏感阶段,2005~2009年属于中度敏感阶段,2010~2011年属于较低敏感阶段,2012~2013年属于低敏感阶段。调整区域产业结构、优化经济发展方式、加强生态环境治理力度,是降低宝鸡市生态环境敏感性,实现区域人、社会、经济、资源和生态环境持续协调发展的有效途径。

关键词: 宝鸡市; 生态环境; 敏感性; PSR 模型

中图分类号: X828

文献标志码: A

DOI:10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2017.02.020

Assessment of Eco-environmental Sensitivity in Baoji City Based on the Pressure-state-response (PSR) Model

Zhu Chanchan¹, Wen Yanjun^{1,2}, Song Hailong¹

(1.College of Geography and Environment, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721013, China;

2.Key Lab of Disaster Monitoring and Mechanism Simulating of Shaanxi Province, Baoji University of Arts and Sciences, Baoji 721013, China)

Abstract: Research of eco-environmental sensitivity assessment is of great significance for the regional social, economic and eco-environmental sustainability. In this paper, by buildup of an indicator system based on the pressure-state-response (PSR) model, MSE weighting method is used to evaluate 25 eco-environmental indicators in Baoji City selected from 2001 to 2013. The results show that the main influential factors on eco-environmental sensitivity variation are eco-environmental pressure and response indexes. Eco-environmental sensitivity shows a trend of continuous volatility from 2001 to 2013 by human activities and four-stage experiences in the process of development including highly sensitive stage from 2001 to 2004, moderate sensitive stage from 2005 to 2009, low sensitive stage from 2010 to 2011 and lower sensitive stage from 2012 to 2013. It is a most effective approach to reduce eco-environmental sensitivity in Baoji and realize the harmonious development among human, society, economy, resource and eco-environment by adjustment of regional industrial structure, optimization of the economic development pattern and strengthening of the eco-environment management.

Keywords: Baoji City; Eco-environment; Sensitivity; PSR Model

CLC number: X828

20世纪70年代以来,随着经济的快速发展,生态环境问题愈加突显。党的十八大以来,生态环境安全成为推动区域社会经济可持续发展的基

础条件。生态环境敏感性是生态环境安全的重要组成部分,生态环境敏感性评价研究对于防止生态环境恶化、维持生态环境安全、实现资源环境

收稿日期: 2016-11-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071359); 陕西省重点实验室项目(11JS012); 宝鸡文理学院校级重点科研项目(ZK12097); 宝鸡文理学院地理学陕西省重点学科基金项目资助

作者简介: 朱婵婵(1989-),女,硕士研究生。研究方向:区域灾害与可持续发展。E-mail:zhuchan1989@163.com

通信作者: 文彦君(1978-),男,硕士、副教授。研究方向:自然灾害风险与区域可持续发展。E-mail:wenyanjun2003@163.com

良性发展等具有重要的现实意义^[1]。

目前,国内外学者对生态环境敏感性的研究取得了一定进展。Suffling在1980年提出了生态敏感性指标体系,Xu、Hodge及Japtap等从敏感性内涵入手对区域生态敏感性进行了探讨分析^[2-5]。随后国内外学者从生态环境视角出发,采用数学及生态模型等对生态环境敏感性进行了更深层次地研究,其中国际经济合作与发展组织(OECD)提出的“压力-状态-响应”(PSR)概念模型是目前在相关领域应用较为广泛的一种模型^[6-11]。近年来一些学者在PSR模型基础上,借助遥感和GIS技术,采用物元分析、层次分析及主成分分析等数学方法对区域生态环境敏感性进行深入研究,并取得了较新的理论与实践成果^[8-14]。

在前人研究基础上,该文建立基于PSR模型的小区域尺度生态环境敏感性指标体系,利用均方差赋权法对宝鸡市生态环境敏感性进行综合评价,以期为区域生态文明建设提供一定参考依据。

1 研究区概况

宝鸡市地处关中西部,东西长156.6 km,南北宽160.6 km,辖3区9县总面积1.82万km²,截至2013年底常住人口374.46万人。宝鸡市是国家规划建设的关中一天水经济区副中心城市,新亚欧大陆桥上重要的交通枢纽,也是陕西省第二大城市^[15-16]。宝鸡南依秦岭、背靠北山、西有关山、中部渭河平原,属于黄土高原西南部的残垣区,受东亚季风控制,年平均降水量在590~900 mm之间,年降水量地理分布差异较大,是黄土高原

典型生态环境敏感区之一^[17]。近年来,在人类活动影响下,生态环境压力逐渐加大,系统的平衡状态已被打破,改善生态环境、维护生态系统平衡已成为区域可持续发展的重要途径。

2 研究方法

2.1 生态环境敏感性PSR模型

生态环境敏感性是指生态环境系统受到人为干扰,失去系统原有的平衡而表现出的敏感程度^[18-20]。国际经济合作与发展组织(OECD)从生态环境敏感性入手,同时考虑自然和人文因素,提出了“压力-状态-响应”(Pressure-State-Response,简称“PSR”)概念模型^[6-7]。“压力”指标反映了人类活动及社会经济发展对生态环境的影响,用于表明生态环境维持自身平衡的压力;“状态”指标反映了在人类活动影响下,生态环境当前的状态,用于表明生态环境系统的健康状况;“响应”指标反映了在生态环境已有的“压力-状态”中,人类针对生态环境变化的响应对策,用于表明人类为生态环境维持系统平衡做出的反馈。

2.2 数据来源与指标的选取

数据来源于《宝鸡年鉴(2002~2014)》和《陕西省统计年鉴(2002~2014)》,依据生态环境敏感性的内涵,结合前人研究成果,利用“压力-状态-响应”(PSR)概念模型^[8-11],构建相关的指标体系见表1,选取了压力(P)、状态(S)和响应(R)3个子系统共25项指标数据对宝鸡市生态环境敏感性评价研究。

表1 宝鸡市生态环境敏感性评价指标体系及权重

目标层	准则层	权重	指标层	指标	权重	指标属性
生态环境敏感性	压力(P)	0.376 1	年末总人口/万人	X_1	0.044 5	负
			人口密度/人·km ⁻²	X_2	0.045 8	负
			自然增长率/%	X_3	0.035 7	负
			城市化水平/%	X_4	0.047 9	正
			人均耕地面积/hm ²	X_5	0.042 3	正
			供水总量/万t	X_6	0.036 6	负
			工业废水排放量/万t	X_7	0.040 8	负
			工业二氧化硫排放量/t	X_8	0.046 5	负
			工业烟尘排放量/t	X_9	0.036 0	负

续表1

目标层	准则层	权重	指标层	指标	权重	指标属性
生态环境敏感性	状态 (S)	0.285 1	降水/mm	X_{10}	0.036 1	正
			粮食产量/万 t	X_{11}	0.040 9	正
			人均城市道路面积/m ²	X_{12}	0.043 8	正
			园林绿地面积/hm ²	X_{13}	0.044 5	正
			人均绿地面积/m ²	X_{14}	0.042 4	正
			建成区绿化覆盖率/%	X_{15}	0.045 7	正
			有效灌溉面积/万 hm ²	X_{16}	0.031 6	正
	响应 (R)	0.338 8	发展节水灌溉农业/万 hm ²	X_{17}	0.044 0	正
			全年造林面积/万 hm ²	X_{18}	0.035 7	正
			退耕还林/万 hm ²	X_{19}	0.034 3	正
			水土治理面积/km ²	X_{20}	0.036 0	正
			工业废水排放达标量/万 t	X_{21}	0.039 4	正
			工业二氧化硫去除量/t	X_{22}	0.045 2	正
			工业烟尘去除量/t	X_{23}	0.037 0	正
			工业固体废物综合利用率/%	X_{24}	0.031 5	正
			城镇生活污水集中处理率/%	X_{25}	0.035 9	正

2.3 生态环境敏感性评价方法

采用均方差赋权法计算指标权重的大小。其基本原理是根据各指标之间的离散程度来确定权重的大小, 如果某项指标的离散程度越大, 则指标权重越大; 反之, 则指标权重越小^[21-22]。具体过程如下。

2.3.1 数据标准化处理 在计算权重之前, 首先采用极差标准化对原始指标进行无量纲化处理, 以消除各个指标间的单位差异^[21-22]。公式如下:

$$\text{正向指标 } X_{ij} = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

$$\text{负向指标 } X_{ij} = \frac{x_{\max} - x_i}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

其中: X_{ij} 为标准化后数值; x_i 为原始数据; $x_{\max}$ 为第 i 项指标的最大值; $x_{\min}$ 为第 i 项指标的最小值。

2.3.2 确定指标权重 采用客观的均方差赋权法来确定指标权重的大小。计算公式^[21-22]如下:

① 计算随机变量均值 E_i :

$$E_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n X_{ij} \quad (3)$$

② 计算随机变量的均方差 σ_i :

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (X_{ij} - E_i)^2} \quad (4)$$

③ 求权重系数 ω :

$$\omega = \sigma_i / \sum_{i=1}^n \sigma_i \quad (5)$$

式中, n 为评价指标数量。

2.3.3 计算生态环境安全指数

$$R = \sum_{i=1}^n \omega \times X_{ij} \quad (6)$$

其中: R 为生态环境安全指数, R 的值越大, 生态环境敏感性指数越低; 反之, 生态环境敏感性指数越高。

2.4 生态环境敏感性等级标准的确定

以不同的生态环境要素为基础, 根据生态环境安全指数计算的结果见表2, 借鉴已有的研究成果^[13,23-24], 结合宝鸡市生态环境的实际情况, 将宝鸡市生态环境敏感性划分为5个等级。生态环境安全指数越高, 生态环境越好, 生态环境敏感性越低; 反之, 生态环境安全指数越低, 生态环境越差, 生态环境敏感性越高见表3。

表2 宝鸡市生态环境“压力-状态-响应”及安全指数					
<i>t/a</i>	压力指数	状态指数	响应指数	安全指数	等级
2001	0.220 2	0.040 0	0.088 8	0.349 0	较高敏感
2002	0.226 7	0.047 3	0.122 4	0.396 4	较高敏感
2003	0.184 7	0.107 0	0.118 6	0.410 2	中度敏感
2004	0.158 1	0.127 1	0.108 7	0.393 9	较高敏感
2005	0.153 0	0.168 7	0.088 8	0.410 5	中度敏感
2006	0.180 4	0.193 9	0.086 8	0.461 1	中度敏感
2007	0.194 9	0.217 6	0.087 2	0.499 8	中度敏感
2008	0.202 7	0.143 9	0.098 0	0.444 6	中度敏感
2009	0.154 1	0.177 0	0.129 2	0.460 4	中度敏感
2010	0.171 1	0.224 6	0.131 9	0.527 7	轻度敏感
2011	0.183 3	0.218 3	0.173 7	0.575 4	轻度敏感
2012	0.190 9	0.211 7	0.214 9	0.617 5	低敏感
2013	0.206 8	0.194 9	0.220 1	0.621 8	低敏感

3 结果分析

3.1 宝鸡市生态环境敏感性的影响因素分析

通过均方差赋权法对构建的PSR评价体系计算，得到生态环境敏感性指标体系3个子系统“压力（*P*）-状态（*S*）-响应（*R*）”及其25项指标数据的权重。子系统中权重超出平均值0.333 3的有压力（*P*）层和响应（*R*）层，分别为0.376 1和0.338 8，表明这2个子系统是影响宝鸡市生态环境敏感性的主要因素。但整体上看，这2个子系统下包含的指标数据较多，因此其所占权重较大，为此对25项指标数据权重求平均，约为0.04，超出平均权重指标数据有13项，其中用于评价压力（*P*）层的指标有年末总人口、人口密度、城市化水平、人均耕地面积、工业废水排放量和工业二氧化硫排放量；用于评价状态

（*S*）层的指标有粮食产量、人均城市道路面积、园林绿地面积、人均绿地面积和建成区绿化面积；用于评价响应（*R*）层的指标有发展节水灌溉农业和工业二氧化硫去除量。

由上述分析可知，影响宝鸡市生态环境敏感性的因素众多，在其中起重要作用的因素占有13项，这些因素在宝鸡市生态环境建设中具有重要作用。

3.2 宝鸡市生态环境敏感性分析

运用“压力-状态-响应”模型，利用均方差赋权法计算得到宝鸡市生态环境“压力-状态-响应”及生态环境安全指数见表2，生态环境安全指数越大，生态环境越好，生态环境敏感性越低；反之，生态环境敏感性越高。2001~2013年宝鸡市生态环境“压力-状态-响应”指数见图1。

（1）2001~2013年，宝鸡市生态环境压力指数处于上下波动状态。

表3 生态环境敏感性分级和系统标准		
<i>R</i>	等级	特征
< 0.3	高敏感	生态环境问题极为严重，生态系统几乎失衡，服务功能崩溃，受外界干扰后生态环境恢复困难。
0.3~0.4	较高敏感	生态环境问题严重，生态环境结构在很大程度上受到破坏，服务功能大范围退化，受外界干扰恢复较为困难。
0.4~0.5	中度敏感	生态环境较差，生态环境系统已经开始破坏，但服务系统尚可维持基本功能，受外界干扰后生态环境问题不大。
0.5~0.6	轻度敏感	生态环境较好，系统结构较为完整，服务功能较为完善，受外界干扰后在一定阶段可以恢复。
> 0.6	低敏感	生态环境基本未受到破坏，系统结构完整，服务功能完善，后外界干扰后能够迅速恢复。

注：*R*为生态环境安全指数。

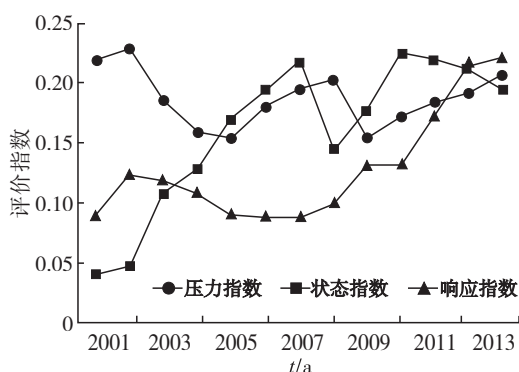


图1 2001~2013年宝鸡市生态环境“压力-状态-响应”指数

由图1可知, 2001~2002年生态压力指数上升, 2003~2005年生态环境压力指数呈现出下降趋势, 2006~2008年又处于上升趋势, 2009~2013年整体处于平稳上升趋势。结果表明: 受外界人为活动因素干扰, 宝鸡市生态环境压力指数不断发生变化, 主要受总人口、人口密度、城市化水平、人均耕地面积、工业废水排放量和工业二氧化硫排放量等因素的影响, 同时人口自然增长率、供水总量及工业烟尘排放量也对宝鸡市生态环境压力指数变化的产生一定影响。

(2) 2001~2013年宝鸡市生态环境状态指数总体呈现波动上升趋势, 大致可分为3个阶段: 2001~2007年快速上升的状态, 2008~2010年在2008年回落后再次快速上升的状态和2011~2013年逐渐回落的状态。宝鸡市生态环境状态指数变动的主要原因是人类活动对生态环境的强烈干扰, 在区域快速城镇化背景下, 改善人居环境的现实需求不断推进生态环境建设, 使得生态环境状态指数不断提升, 主要表现在园林绿地面积、人均绿地面积及建成区绿化覆盖率等方面。但受制于降水和粮食产量等自然环境因素, 晚期状态指数逐渐回落。

(3) 2001~2013年宝鸡市生态环境响应指数呈现稳步上升趋势。造林面积、退耕还林和水土治理面积相对较为稳定, 工业“三废”排放达标量、工业固体废弃物综合利用率及城镇生活污水集中处理率等持续提升, 响应指数呈现稳步上升的趋势。其中2002~2006年间响应指数有所回落, 造林面积、退耕还林和水土治理面积等指标

呈负向变化。宝鸡市生态环境响应指数上述变化表明: 在区域社会经济发展过程中, 人类活动对生态环境的压力和状态进行了积极响应, 生态环境治理受到更多重视。发展节水灌溉农业、保持与扩大植树造林面积、加大水土流失治理力度已成为恢复和保持生态环境平衡的重要举措。工业“三废”排放达标量、工业固体废物综合利用率 and 城镇生活污水集中处理率的提升表明了人们越来越重视人与资源、环境的协调发展。

3.3 宝鸡市生态环境敏感性评价

生态环境安全指数越大, 生态环境越安全, 生态环境敏感性越低; 反之, 生态环境质量越差, 生态环境敏感性越高。参照前人对区域生态环境等级划分方法^[7,10,12-14], 将宝鸡市2001~2013年期间生态环境敏感性进行综合评价, 其发展变化可分为4个阶段, 见表3和图2。

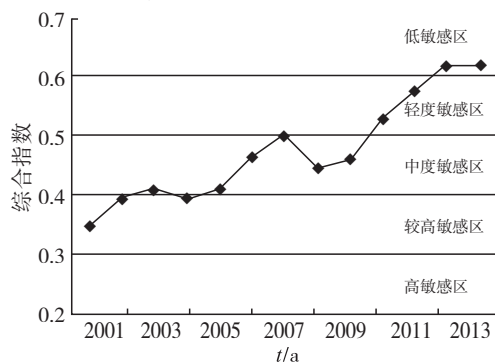


图2 宝鸡市生态环境安全指数及敏感性分级图

(1) 2001~2004年属于较高敏感阶段, 期间宝鸡市生态环境敏感性综合指数在0.3~0.4之间, 生态环境问题严重, 生态环境结构在很大程度上受到破坏。主要是社会经济发展过程中, 受城市化水平、“工业”三废不合理的排放, 致使生态环境压力指数加大; 城市绿化、覆盖率和城市道路滞后于城市化速度, 系统处于不稳定的发展状态; 工业“三废”排放达标率, 综合利用率和城镇生活污水集中处理率比较低, 人类活动对生态环境的响应能力较弱。

(2) 2005~2009年属于中度敏感阶段, 期间生态环境敏感性综合指数在0.4~0.5之间, 生态环境较差, 但服务系统尚可维持基本功能。生态环境压力中人口增长率较高、城市化水平较低、工业“三废”排放量较大; 系统在维持平衡状态过

程中受人口总数及建成区面积的影响,而人均绿地面积及建成区覆盖率在此阶段依然较低;人类活动对生态环境的响应过程中逐步加强治理力度,不断减少工业“三废”的排放量,并提高排放达标量及综合利用率,加强区域绿化覆盖率。

(3) 2010~2011年属于较低敏感阶段,期间生态环境敏感性综合指数在0.5~0.6之间,生态环境较好,系统受外界干扰后在一定阶段可以恢复。人口自然增长率降低、城市化水平持续提升、工业“三废”排放量有所下降,生态环境压力减小;反映自然系统状态的年降水量、粮食产量等指标开始提升,人为系统状态也在逐年改善;而人类也越来越重视对生态环境的响应过程,注重社会、经济与生态环境的协调发展,使生态环境敏感性持续降低。

(4) 2012~2013年属于低敏感阶段,期间生态环境敏感性综合指数大于0.6,生态环境服务功能完善,受外界干扰后能够迅速恢复。生态环境压力和状态在前期回升基础上进一步改善,同时人类活动对生态环境的响应程度大幅提升,突出表现在退耕还林、水土治理及工业“三废”排放达标等各项生态环境治理工作的不断深化,故生态环境敏感性不断降低。

4 结论与讨论

(1) 生态环境压力指数和响应指数是影响宝鸡市生态环境敏感性的主要因素。同时人口密度、城市化水平、工业废水排放量、人均绿地面积等也对宝鸡市生态环境敏感性产生了一定影响。

(2) 宝鸡市生态环境的压力、状态及响应指数分别呈现出上下波动、波动上升和稳步上升趋势。其中,2003~2009年变化趋势存在较大差异,生态环境安全指数较低;2010~2013年3项指标整体均呈现稳步上升趋势并维持在较高水平,生态环境安全指数较高。

(3) 受人为活动影响,生态环境质量呈现出上升状态,宝鸡市生态环境敏感性不断波动,整体呈下降趋势。其发展变化大致经历了较高敏感(2001~2004年)、中度敏感(2005~2009年)、较低敏感(2010~2011年)、低敏感(2012~2013年)4个阶段。

综上所述,近年来宝鸡市生态环境整体好

转,但生态环境压力指数一直处于不稳定的波动状态,而状态指数和响应指数的提升是区域生态环境敏感性下降的主要因素。近期宝鸡市生态环境建设的关键在于:继续强化控制工业“三废”的排放力度,同时运用高新科技提高工业“三废”排放达标率和工业固体废物的综合利用率,完善生态环境保护机制,实行退耕还林、封山育林、绿化工程建设,全面提高区域植被覆盖率。总体而言,调整区域产业结构、优化经济发展方式、加强生态环境治理力度,是降低宝鸡市生态环境敏感性,实现区域人与社会、经济、资源和生态环境持续协调发展的有效途径。

参考文献

- [1]赵兵.基于GIS技术的汶川县生态敏感性分析[J].西南大学学报(自然科学版),2009,31(4):148-153.
- [2]Suffling R. Index of ecological sensitivity to disturbance, based on ecosystem age, and related to landscape diversity[J]. Journal of Environmental Management, 1980, 10(3):253-262.
- [3]Xu Y H, Yao X J, Lu L B, et al. The evaluation of eco-environmental sensitivity in Ordos City[J]. Asian Agricultural Research, 2015, 7(2):66-73.
- [4]Hodge I, McNally S. Evaluating the environmentally sensitive areas: the value of rural environments and policy relevance[J]. Journal of Rural Studies, 1998, 14(3):357-367.
- [5]Jagtap T G, Komarpant D S, Rodrigues R S. Status of a seagrass ecosystem: An ecologically sensitive wetland habitat from India[J]. Wetlands, 2003, 23(1):161-170.
- [6]Qian H B, Xue Y S, Tian Y J. An overview of land resources rational use and assessment[J]. China Land Science, 2001, 5:14-19.
- [7]李中才,刘林德,孙玉峰,等.基于PSR方法的区域生态安全评价[J].生态学报,2010,30(23):6495-6503.
- [8]张锐,郑华伟,刘友兆.基于PSR模型的耕地生态安全物元分析评价[J].生态学报,2013,33(16):5090-5100.
- [9]谢花林,刘曲,姚冠荣,等.基于PSR模型的区域土地利用可持续性水平测度——以鄱阳湖生态经济区为例[J].资源科学,2015, 37(3):449-457.
- [10]荣联伟,师学义,高奇,等.黄土高原山丘区土地生态安全动态评价及预测[J].水土保持研究,2015,22(3):210-216.
- [11]丁彩霞,延军平.基于PSR模型的宁夏地区生态环境变化特征研究[J].水土保持通报,2015,35(3):191-196.
- [12]颜磊,许学工,谢正磊,等.北京市域生态敏感性综合评价[J].生态学报,2009,29(6):3117-3125.
- [13]张晶,陈新明,李琴琴,等.宜城市生态环境敏感性评价及空间分布[J].中国土地科学,2011,25(6):76-83.
- [14]刘军会,高吉喜,马苏,等.中国生态环境敏感区评价[J].自然资源学报,2015,30(10):1607-1616.
- [15]宋海龙,万红莲,朱婵婵,等.关中西部地区农业旱灾脆弱性评估[J].陕西农业科学,2016,62(05):102-105.
- [16]宋海龙,万红莲,朱婵婵,等.关中西部地区地震灾害人口脆弱性评估[J].华北地震科学,2016,34(2):13-18,62.
- [17]宝鸡市地方志编纂委员会.宝鸡市志(上)[M].西安:三秦出版社,1998:12.
- [18]刘春霞,李月臣,杨华,等.三峡库区重庆段生态与环境敏感性综合评价[J].地理学报,2011,66(5):631-642.
- [19]李咏红,李岱青,陈雅琳,等.四川省成都市生态环境敏感性评价[J].水土保持通报,2015,35(1):236-241,363.
- [20]刘军会,高吉喜,马苏,等.内蒙古生态环境敏感性综合评价[J].中国环境科学,2015,35(2):591-598.
- [21]孙平军,丁四保.人口—经济—空间视角的东北城市化空间分异研究[J].经济地理,2011, 31(07): 1094-1100.
- [22]湛东升,张文忠,党云晓,等.中国城市化发展的人居环境支撑条件分析[J].人文地理,2015, 30(1):98-104.
- [23]冯文斌,李升峰.江苏省土地生态安全评价研究[J].水土保持通报,2013,33(2):285-290.
- [24]李永化,范强,吴立辉,等.基于GIS的生态环境安全空间分异研究——以科左中旗为例[J].辽宁师范大学学报(自然科学版),2015, 38(4):531-538.