

基于 PSR 模型的青铜峡市土地生态安全评价与预测

王鹏, 王亚娟, 刘小鹏, 陈晓, 孔福星

[1. 宁夏大学 资源环境学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏(中阿)旱区资源评价与环境调控重点实验室, 宁夏 银川 750021]

摘要: [目的] 通过研究宁夏回族自治区青铜峡市的土地生态安全发展状况, 为该市土地生态安全及其可持续发展提供科学的参考依据。[方法] 综合运用熵权法、P-S-R 模型、综合指数法、地理探测器和 GM(1,1) 预测模型等方法对该区域土地生态安全、安全等级以及影响土地生态安全的主要因子进行评价研究, 并对其未来 9 a 的土地生态安全状况进行预测。[结果] ① 青铜峡市土地生态安全综合指数在研究期间整体呈现出先下降后上升的变化趋势。2006—2009 年土地生态安全指数呈现波动下降的态势, 由 2006 年的 0.446 3 下降到 2009 年的 0.419 1; 2009—2016 年青铜峡市土地生态安全综合评价价值不断上升, 由 2009 年的 0.419 1 上升到 2016 年的 0.505 1, 其安全等级始终保持为临界安全, 研究期间青铜峡市土地生态安全整体水平不断提高和改善。② 通过地理探测器诊断得出人口密度、农用化肥使用量、废水排放量、万元 GDP 能耗、工业固体废物产生量、建成区绿化覆盖率、水利、环保设施投资占 GDP 的比率等要素是青铜峡市土地生态安全的主要影响因素。③ 利用 GM(1,1) 预测模型对青铜峡市未来 9 a 土地生态安全发展水平进行预测, 结果表明 2017—2025 年该区域土地生态安全水平不断上升, 但其安全等级不高, 仍处于临界状态, 有待于提高和改善。[结论] 研究期间青铜峡市土地生态安全波动变化明显, 但总体上呈上升趋势, 土地生态安全得到明显提升和改善。

关键词: 土地生态安全评价; PSR 模型; 地理探测器; GM(1,1) 模型; 青铜峡市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2018)02-0148-06

中图分类号: X826

文献参数: 王鹏, 王亚娟, 刘小鹏, 等. 基于 PSR 模型的青铜峡市土地生态安全评价与预测[J]. 水土保持通报, 2018, 38(2): 148-153. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2018.02.024. Wang Peng, Wang Yajuan, Liu Xiaopeng, et al. Evaluation and prediction of land ecological security in Qingtongxia City based on PSR Model[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(2): 148-153.

Evaluation and Prediction of Land Ecological Security in Qingtongxia City Based on PSR Model

WANG Peng, WANG Yajuan, LIU Xiaopeng, CHEN Xiao, KONG Fuxing

[1. College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan,

Ningxia 750021, China; 2. Key Laboratory of Resource Evaluation and Environmental

Regulation, Ningxia (Central and A) Arid Region Ningxia, Yinchuan, Ningxia 750021, China]

Abstract: [Objective] To reveal the status of land ecological security development in Qingtongxia City, and to provide scientific reference for land ecological security and its sustainable development in Qingtongxia City. [Methods] The land ecological security, safety grade and the main factors affecting the ecological security of the land were evaluated by using entropy weight method, PSR model, comprehensive index method, geography detector and the GM (1,1) forecasting model. And the land ecological condition in the next nine years was predicted. [Results] ① The comprehensive index of land ecological security in Qingtongxia City showed a rising trend after an initial decline during the study period. The land eco-safety index declined from 0.446 3 in 2006 to 0.419 1 in 2009 and the value of comprehensive evaluation of land ecological security in Qingtongxia City from 2009 to 2016 increased continually, it was 0.419 1 in 2009 and

收稿日期: 2017-08-15

修回日期: 2017-09-21

资助项目: 国家自然科学基金项目“宁夏生态移民安置区生态风险及其空间分异研究”(41461039)

第一作者: 王鹏(1993—), 男(汉族), 内蒙古自治区阿拉善盟左旗人, 硕士研究生, 研究方向为生态经济与生态评估。E-mail: 775767923@qq.com。

通讯作者: 王亚娟(1978—), 女(汉族), 陕西省武功县人, 博士, 副教授, 主要从事生态风险与环境评价方面的研究。E-mail: wangyj@nxu.edu.cn。

0.505 1 in 2016. Though, its safety level varied around the critical safety, the overall level of land ecological security in Qingtongxia City was getting improved. ② Factors, including population density, amount of agricultural fertilizer used, amount of waste water, energy consumption per 10 000 yuan, amount of industrial solid waste generated, greening coverage of the built area, ratio of water conservancy and environmental protection facilities to GDP, etc. were determined as the main influencing factors of land ecological security in Qingtong Gorge. ③ The GM (1,1) forecast model was used to predict the level of ecological security development in the next nine years. The results showed that the level of land ecological security in the region would increase from 2017 to 2025, but the safety level is not high enough and still in the critical state, it need to be improved. [Conclusion] During the study period, the ecological security of Qingtongxia City changed obviously, but the trend was generally rise. The ecological security of land was obviously improved.

Keywords: land ecological security assessment; PSR model; geographical detectors; GM(1,1) model; Qingtongxia City

土地资源作为人类生产生活的主要生产资料和载体,是人类赖以生存和发展的基础。但 20 世纪 80 年代以来,随着城市化进程的加快、工业化水平不断提高以及人口数量的迅速增长,使得人们对土地资源的开发利用程度不断加大,同时引发了一系列的土地生态安全问题,对粮食生产、人类生存以及可持续发展造成严重的影响。土地生态安全问题是区域可持续发展的核心问题之一,是中国生态文明建设的重要内容^[1]。它是指在一定地域空间范围内,通过对土地资源科学合理的利用和管理,使其处于一种不受或少受威胁与破坏的平衡、健康状态,并能为人类经济社会和农业的可持续发展提供稳定、均衡、充足的自然资源,从而实现土地资源的协调发展和永续利用^[2]。目前,学术界针对土地生态安全的研究主要集中在土地生态安全评价^[3]、土地生态安全动态预警研究^[4]以及土地生态安全问题及对策研究^[5]等,而开展土地生态安全评价研究是目前最主要研究方向。近年来,国内外学者对土地生态安全研究极为关注和重视,许多专家和学者为此做出了巨大的贡献,如 Hughey 等^[6]、焦红等^[7]、解雪峰等^[8]利用 PSR 模型构建新西兰、佳木斯市和东阳江流域土地生态安全评价体系,运用综合指数法和景观格局指数等研究方法对研究区土地生态安全进行综合评价;王鹏等^[9]、徐美等^[10]、荣慧芳等^[11]、李建春等^[12]分别利用主成分分析法、RBF 模型、熵权物元模型以及 GIS 格网模型等研究方法对不同研究区域进行土地生态安全评价,为研究区区域生态安全建设及其管理提供了科学依据。宁夏回族自治区位于我国西北地区,是生态环境脆弱的典型区域,但对我国西部经济发展、能源开发以及生态安全有着重要的影响作用。李茜等^[13]、王磊等^[14]对宁夏回族自治区土地生态安全进行了评价,并针对存在的问题提出了相对应的发展建议,但其研究主要集中在全区以及市域尺度。青铜峡市是宁夏自治

区的一个县级市,素有塞上江南“鱼米之乡”的美称,盛产水稻、小麦、玉米、苹果、葡萄等农作物,是全国重要的商品粮生产基地和现代农业基地市。对青铜峡市的土地生态安全进行评价,有利于区域农业生产,保障地区粮食生产安全和食物安全,对宁夏、西北地区乃至国家安全起到了重要作用。

1 研究区域

青铜峡市位于黄河上游,宁夏平原的中部,地处 105°22′—109°09′E, 37°41′—38°33′N, 隶属宁夏自治区吴忠市,南北长约 60 km,东西宽约 30 km,地势由西南高东北低,呈现阶梯状分布,属中温带大陆性气候,四季分明,昼夜温差较大,全年日照 2 955 h,年平均气温 8.3~8.6 °C,无霜期 176 d,水资源较为丰富,年降水量 260.7 mm。地辖 8 个镇和 2 个场,截止 2016 年底,总人口达 30 万人,总面积约 2 445 km²,是玉米、水稻、小麦、蔬菜、枸杞等农产品的主要生产基地之一。

2 研究方法 with 数据来源

采用由联合国经济合作开发署(OECD)提出的 PSR 模型对青铜峡市土地生态安全进行评价。PSR 模型以人类与自然系统相互制约和依存关系为出发点建立指标体系,具有较强的系统性,该模型由“压力—状态—响应”三部分指标组成^[15]。压力指标表示环境承受人类各种生产、生活活动对其造成的压力;状态指标表示自然资源和环境所处的现状;响应指标表示人类在面对各种压力时所采取的手段和措施。该模型较好地反映生态系统和人类社会间的关系,并将二者紧密联系起来,具有较强的使用价值^[16]。

2.1 数据来源

使用数据全部来源于《宁夏统计年鉴》以及青铜峡市政府报告、官方网站公布的数据和宁夏自治区官

2.4 生态安全评价标准的划分

土地生态安全评价标准的划分的科学性、合理性是生态安全评价的重要环节,然而国内对于生态安全评价标准的研究还处于探索阶段,尚无明确、统一的

划分标准^[18]。

依据青铜峡市生态安全指数,参考相关学者的研究成果^[19-20],将青铜峡市土地生态安全评价标准划分为 5 个等级(表 3)。

表 3 土地生态安全评价标准与安全等级

等级	生态安全指数	土地生态系统特征
不安全(I)	(0,0.2)	土地生态系统破坏严重,功能丧失,结构破碎,生态环境极为脆弱,生态恢复、重建极其困难;人地关系失衡,严重威胁社会发展
较不安全(II)	(0.2,0.4)	土地生态系统破坏明显,系统功能的发挥受限制,生态环境脆弱,水土流失,土地沙化严重,抗外界干扰能力差;人地关系的和谐发展受到威胁
临界安全(III)	(0.4,0.6)	土地生态系统中度破坏,系统结构有恶化趋势,但尚能维持基本功能;生态环境受到一定的破坏,受干扰后易恶化;人地关系的和谐发展受到一定影响
较安全(IV)	(0.6,0.8)	土地生态系统受破坏较小,系统结构尚且完整,功能发挥正常;生态环境良好,系统自我恢复能力较强。人地关系较为和谐
安全(V)	(0.8,1.0)	土地生态系统保持其自然属性,结构完整,功能完善;生态环境基本未受到干扰,能自我修复和再生;人地关系和谐,有利于社会的发展

2.5 地理探测器分析方法

地理事物空间分布的差异性,深受经济社会或自然要素影响,探明其机理是地理学研究的重要内容,“地理探测器”研究方法首次应用于地方性疾病形成原因的探测^[21],其模型为:

$$Q_{D,U} = 1 - \frac{1}{n\sigma_U^2} \sum_{i=1}^m n_{D,i} \sigma_{U_{D,i}}^2$$

式中: $Q_{D,U}$ ——土地生态安全影响因素探测力指标; $n_{D,i}$ ——次一级区域样本数; n ——整个区域样本数; m ——次级区域个数整个区域; σ_U^2 ——土地生态安全的方差; $\sigma_{U_{D,i}}^2$ ——次一级区域的方差。假设 $\sigma_{U_{D,i}}^2 \neq 0$,模型成立, $Q_{D,U}$ 的取值区间为 $[0,1]$, $Q_{D,U}=0$ 时,表明土地生态安全分布呈随机分布, $Q_{D,U}$ 值越大,说明分区因素对安置区土地生态安全的影响越大。

2.6 土地生态安全动态预测

利用灰色系统预测方法对青铜峡市土地生态安全进行预测,基于灰色建模理论的灰色预测法,按照预测问题的特征,可分为 5 种基本类型,即数列预测、季节灾变预测、拓扑预测、灾变预测以及系统综合预测,以上 5 种预测都是地理学中重要且较为常用的预测方法^[22-23]。以 2006—2016 年青铜峡市土地生态安全综合指数作为基础数据源,采用灰色系统预测的数列预测法对其未来 9 a 土地生态安全发展趋势进行预测。在 Matlab 2012 软件中运用 GM(1,1)模型程序可以到土地生态安全值的时间动态模型为:

$$x(k+1) = 24.4025 \exp(0.0124k) - 24.0182$$

式中: x ——土地生态安全综合值; k ——预测时间点。

为使预测结果更为准确,对模型预测精度进行检

验。检验结果发现,原始数列的还原值与实际值之间的残差值的方差 $C = 0.3852$,最小误差概率 $p = 0.8600$ 。在灰色预测模型精度检验等级标准中, $p > 0.8, C < 0.5$ 即为合格,因此该预测模型通过检验,预测结果合理。运用 GM(1,1)预测 2017—2025 年青铜峡市土地生态安全态势如图 2 所示。

3 结果与分析

3.1 土地生态安全评价结果及总体特征

通过计算得到 2006—2016 年青铜峡市的综合土地生态安全指数(表 2)。从表 2 可以看出,研究期间青铜峡市的土地生态安全指数介于 0.4~0.6 之间,土地生态安全评价价值由 2006 年的 0.4463 增加到 2016 年的 0.5051,其安全等级在研究期间始终处于临界安全状态。由图 1 可以看出,研究期间青铜峡市土地生态安全整体呈波动上升的变化趋势,土地生态安全整体状况得到提升和改善。其中 2006—2009 年土地生态安全指数呈现波动下降的态势,由 2006 年的 0.4463 下降到 2009 年的 0.4191;2009—2016 年青铜峡市土地生态安全综合评价价值不断上升,由 2009 年的 0.4191 上升到 2016 年的 0.5051。但从压力指数、状态指数以及响应指数来看,研究期间青铜峡市的压力指数和响应指数呈现出增大的变化趋势,而状态指数则变化不大。尤其 2011 年以来,土地生态压力逐年增大,主要是由于这一时期青铜峡市承接了大量来自南部山区的贫困移民,使得土地生态压力指数增加,基础设用承载力加大。但由于各级政府生态移民工程的实施及移民后的安置区建设等方面的重视,不断加大安置区基础设施、生态环境等方

面的建设,使得响应指数逐年增加,青铜峡市土地生态安全状况不断好转。

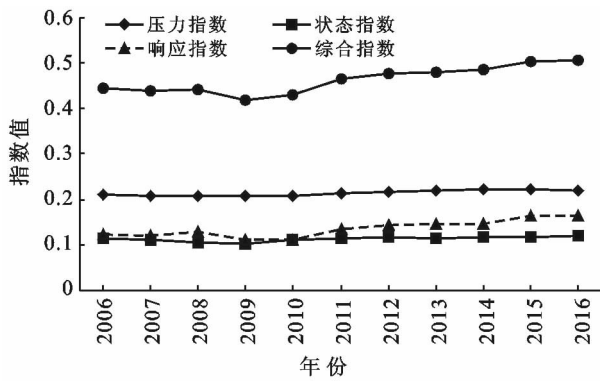


图 1 青铜峡市土地生态安全水平

3.2 土地生态压力指数评价分析

土地生态安全压力指数表示人类活动对自然生态系统造成的压力。由图 1 和表 2 可知,青铜峡市土地生态安全压力指数在研究区期间整体呈现出先减小后增加的变化趋势,从 2006 年的 0.2096 下降至 2009 年的 0.2068,而后压力指数由 2009 年的 0.2068 增加到 2016 年的 0.2202。主要有以下几个原因:①人口的快速增加。十二五期间宁夏实施生态移民政策,生态移民期间青铜峡市承接了大量来自宁夏南部山区的贫困移民,使得人口密度增加,由 111 人/ km^2 上升为 120 人/ km^2 ,加大了土地承载压力;②研究期间,青铜峡市经济得到快速增长,工业化进程加大,城市化水平不断提高,致使“三废”排放量增加;③青铜峡市是宁夏主要的农业生产区,农用化肥、农药以及塑料薄膜的使用加大了土地压力,研究期间研究区农用化肥量由 2006 的 7.52×10^8 t 增加到 2016 年的 8.95×10^8 t,土壤土质发生变化,肥力下降,土地资源环境压力加大。

3.3 土地生态状态指数评价分析

土地生态安全状态指数反映了自然生态系统的状况。由表 2 可以看出,青铜峡市土地生态安全状态指数几乎保持不变,基本上呈持平状态。研究期间,

青铜峡市的农村人均纯收入和城镇居民可支配收入逐年增加,分别由 2006 年的 4 401.03 和 5 668.22 元增加到 2016 年的 10 200.54 和 21 003.19 元;但是其人均粮食产量在不断减少,由 2006 年的 991.3 kg 减少至 913.03 kg,主要是人口增加所导致的结果。

3.4 土地生态响应指数评价分析

土地生态安全响应指数反映人类在面对各种生态压力时所采取的措施和方法。由图 1 可以看出研究始末青铜峡市的土地生态安全响应指数呈现出先下降后上升再下降再上升的 W 形变化趋势。2006—2007 年响应指数由 0.1228 下降至 0.1187,2007—2008 年增加至 0.1298,而后下降至 2009 年的 0.1099;2009—2016 年呈现逐年上升的变化趋势。2006—2009 年响应指标波动变化主要是第三产业占 GDP 比率、废气与废水处理设施套数和水利环保投资占 GDP 比率等指标数据的变化引起的。2009—2016 年响应指数逐年增加,主要是政府注重生态环境的保护和基础设施、福利等民生方面的建设和完善,尤其是“十二五”以来,生态移民工程的实施以及各项扶贫攻坚政策的开展,各级政府把生态保护和改善民生作为首要任务来抓,极大地改善和保护了土地生态状况。

3.5 土地生态安全主导因素分析

区域土地生态安全受各种因素的综合影响,本文选取了能够反映土地生态安全的社会、经济、生态等方面的 27 项指标,对影响土地生态安全的主导因素进行探测研究。首先利用 ArcGIS 软件对土地生态安全体系各指标原始数据进行分级分区,根据地理探测器模型,将表 1 指标层中 27 项指标分别与土地生态安全指数进行空间探测分析,计算得到各因素对土地生态安全指数的影响力(表 4)。Q 值越大,表明该因素对区域土地生态安全影响越大,将 Q 值大于 0.9 的指标因素看作为影响土地生态安全的主导因素。由表 4 可以看出,青铜峡市的土地生态安全主要受到人口密度、农用化肥使用量、废水排放量、万元 GDP 能耗、工业固体废物产生量、建成区绿化覆盖率、水利、环保设施投资占 GDP 的比率等要素的影响。

表 4 土地生态安全影响因素探测力指标值

指标	Q 值	指标	Q 值	指标	Q 值	指标	Q 值
C ₁	0.931 5	C ₈	0.901 2	C ₁₅	0.720 8	C ₂₂	0.601 7
C ₂	0.519 5	C ₉	0.902 5	C ₁₆	0.894 3	C ₂₃	0.625 9
C ₃	0.703 6	C ₁₀	0.848 7	C ₁₇	0.854 6	C ₂₃	0.892 5
C ₄	0.896 2	C ₁₁	0.753 5	C ₁₈	0.870 1	C ₂₄	0.924 5
C ₅	0.920 5	C ₁₂	0.578 7	C ₁₉	0.920 4	C ₂₅	0.854 2
C ₆	0.886 4	C ₁₃	0.749 0	C ₂₀	0.860 3	C ₂₆	0.746 2
C ₇	0.910 6	C ₁₄	0.673 7	C ₂₁	0.683 7	C ₂₇	0.785 2

3.6 基于 GM(1,1)模型土地生态安全预测分析

通过利用 GM(1,1)模型对青铜峡市未来 9 a 的土地生态安全状况进行预测。结果显示,2017—2025 年青铜峡市土地生态安全呈现上升的趋势,其土地生态安全等级仍为临界安全状态。土地生态安全的不断提升和改善有利于农业生产,将促进社会经济实力的不断增强。

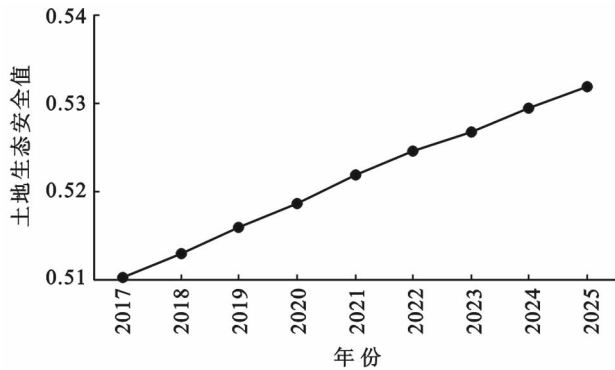


图 2 2017—2025 年青铜峡市土地生态安全变化趋势

4 讨论与结论

2006—2016 年青铜峡市土地生态安全压力指数整体呈现出先减小后增加的变化趋势,由 2006 年的 0.209 6 下降至 2009 年的 0.206 8,而后压力指数由 2009 年的 0.206 8 增加到 2016 年的 0.220 2。土地生态安全状态指数虽有波动,但其变化幅度不大,处于基本持平的状态。青铜峡市的土地生态安全响应指数呈现出先下降后上升再下降再上升的 W 形变化趋势。2006—2007 年响应指数由 0.122 8 下降至 0.118 7,2007—2008 年增加至 0.129 8,而后下降至 2009 年的 0.109 9;2009—2016 年呈现逐年上升的变化趋势。

土地生态安全压力指数、状态指数、响应指数三者共同决定着研究区的土地生态安全评价的综合指数。由表 2 可以看出,青铜峡的土地生态安全指数介于 0.4~0.6 之间,土地生态安全整体呈波动上升的变化趋势,其中 2006—2009 年土地生态安全指数呈现波动下降的态势,由 2006 年的 0.446 3 下降到 2009 年的 0.419 1;2009—2016 年青铜峡市土地生态安全综合价值不断上升,由 2009 年的 0.419 1 降低到 2016 年的 0.505 1。土地生态安全整体状况得到提升和改善,其土地生态安全等级在研究期间始终处于临界安全状态。

依据 2006—2016 年生态安全综合指数对 2017—2025 年的土地生态安全进行预测。结果显示,研究

期间青铜峡市土地生态安全水平整体呈现上升趋势,2017—2025 年其土地生态安全水平虽有上升,但其安全等级仍为临界水平,安全等级有待于提高。利用地理探测器对青铜峡市土地生态安全影响因子进行探测发现,青铜峡市的土地生态安全水平主要受人口密度、农用化肥使用量、废水排放量、万元 GDP 能耗、工业固体废物产生量、建成区绿化覆盖率、水利、环保设施投资占 GDP 的比率等要素的影响。因此,在改善和提高该地区土地生态安全时应综合考虑以上因素的影响,采取相对应的手段和措施。

【参 考 文 献】

- [1] 马轩凯,高敏华.西北干旱地区绿洲城市土地生态安全动态评价:以新疆库尔勒市为例[J].干旱区地理,2017,40(1):172-180.
- [2] 李昊,李世平,银敏华.中国土地生态安全研究进展与展望[J].干旱区资源与环境,2016,30(9):50-56.
- [3] 张利,陈影,王树涛,等.滨海快速城市化地区土地生态安全评价与预警:以曹妃甸新区为例[J].应用生态学报,2015,26(8):2445-2454.
- [4] 陈美婷,匡耀求,黄宁生.基于 RBF 模型的广东省土地生态安全时空演变预警研究[J].水土保持研究,2015,22(3):217-224.
- [5] 曲福田,赵海霞,朱德明.江苏省土地生态安全问题及对策研究[J].环境保护,2005(2):57-59.
- [6] Hughey K F D, Cullen R, Kerr G N, et al. Application of the pressure-state-response framework to perceptions reporting of the state of the New Zealand environment [J]. Journal of Environment Management, 2004,70(1): 85-93.
- [7] 焦红,汪洋.基于 PSR 模型的佳木斯市土地生态安全综合评价[J].中国农业资源与区划,2016,37(11):29-36.
- [8] 解雪峰,吴涛,肖翠,等.基于 PSR 模型的东辽河流域生态安全评价[J].资源科学,2014,36(8):1702-1711.
- [9] 王鹏,况福民,邓育武,等.基于主成分分析的衡阳市土地生态安全评价[J].经济地理,2015,35(1):168-172.
- [10] 徐美,朱翔,刘春腊.基于 RBF 的湖南省土地生态安全动态预警[J].地理学报,2012,67(10):1411-1422.
- [11] 荣慧芳,张乐勤,严超.基于熵权物元模型的皖江城市带土地生态安全评价[J].水土保持研究,2015,22(3): 230-235.
- [12] 李建春,袁文华.基于 GIS 格网模型的银川市土地生态安全评价研究[J].自然资源学报,2017,32(6):988-1001.
- [13] 李茜,任志远.区域土地生态环境安全评价:以宁夏回族自治区为例[J].干旱区资源与环境,2007,21(5):75-79.
- [14] 王磊,郭灿,李慧明.基于 PSR-TOPSIS 模型的宁夏回族自治区土地生态安全评价[J].水土保持研究,2016,23(6):154-159.

地面积的变化对研究区生态系统服务价值的影响最明显。经敏感性分析,生态系统服务价值对单位面积的生态系统服务价值系数不敏感,研究结果可信。

(3) 城市化进程改变了土地利用结构,从而对生态环境产生影响。鉴于此,重庆市应继续加强土地利用结构的调整,集约节约土地利用,提高生态系统质量。本研究重点在于定量分析“十二五”时期内各土地利用类型和生态效应的年际变化规律,尚未对空间变化特征以及引起变化的自然地理、社会经济因素进行具体讨论,这将是未来需要加强研究的方向。

[参 考 文 献]

- [1] 胡乔利,齐永青,胡引翠,等. 京津冀地区土地利用/覆被与景观格局变化及驱动力分析[J]. 中国生态农业学报, 2011,19(5):1182-1189.
- [2] 白淑英,陈灵梅,王莉,等. 土地利用/覆被变化研究现状与展望[J]. 安徽农业科学, 2010,38(30):17003-17005.
- [3] 张新荣,刘林萍,方石,等. 土地利用/覆被变化(LUCC)与环境变化关系研究进展[J]. 生态环境学报, 2014,23(12):2013-2021.
- [4] 杜习乐,吕昌河,王海荣. 土地利用/覆被变化(LUCC)的环境效应研究进展[J]. 土壤, 2011,43(3):350-360.
- [5] 陈百明,周小萍.《土地利用现状分类》国家标准的解读[J]. 自然资源学报, 2007,22(6):994-1003.
- [6] 朱萌,马孝义,刘雪娇. 基于马尔科夫模型的武功县土地利用/覆被动态变化研究[J]. 水土保持研究, 2013,20(5):64-68.
- [7] Shao Jinggan, Wei Chaofu, Xie Deti. Mountain land use planning of the metropolitan suburbs: The case of jinyun mountain and its surrounding area in Chongqing, China [J]. Journal of Mountain Science, 2005,2(2):116-128.
- [8] 王秀兰,包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[J]. 地理科学进展, 1999,18(1):81-87.
- [9] 杨文轩,庞红丽,张旭. 兰州市近 10 年的土地利用动态变化研究[J]. 水土保持研究, 2013,20(3):231-236.
- [10] 樊玉山,刘纪远. 西藏自治区土地利用[M]. 北京:科学出版社, 1992.
- [11] Costanza R, D'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature, 1997,387(15):253-260.
- [12] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003,18(2):118-126.
- [13] 邓伟,杨华,崔艳君. 重庆主城区近 30 年土地利用变化的生态环境效应分析[J]. 水土保持研究, 2010,17(3):232-236.
- [14] 姚玲,廖和平,邓春燕,等. 基于土地利用变化的三峡库区生态服务价值损益分析:以重庆市巫山县为例[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2012,34(5):91-96.
- [15] 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.
- [16] 张凤太,苏维词,赵卫权. 基于 LUCC 的重庆城市生态系统服务价值变化研究[J]. 生态与农村环境学报, 2008,24(3):478-482.
- [17] 汪小平,周宝同,王小玉,等. 重庆市土地利用变化及其生态系统服务价值响应[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2009,34(5):225-229.
- [18] 彭文甫,周介铭,杨存建,等. 基于土地利用变化的四川省生态系统服务价值研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014,23(7):1053-1061.
- [19] 尚勇敏,何多兴,耿黎,等. 重庆市合川区土地利用变化及生态环境效应评价[J]. 水土保持通报, 2012,32(2):222-226.
- [20] 王荣军,谢余初,张影,等. 基于 P-R-S 模型的旱区城市湿地生态安全评估[J]. 生态科学, 2015,34(3):133-138.
- [21] 许月卿,赵菲菲,孙丕苓. 生态脆弱区土地生态安全动态评价:以河北省张家口市为例[J]. 水土保持通报, 2015,35(5):232-238.
- [22] 王雪,杨庆媛,何春燕,等. 基于 P-S-R 模型的生态涵养发展型区域土地生态安全评价:以重庆市丰都市为例[J]. 水土保持研究, 2014,21(3):169-175.
- [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] 孙德亮,张凤太. 基于 DPSIR-灰色关联模型的重庆市土地生态安全评价[J]. 水土保持通报, 2016,36(5):191-197.
- [25] 严超,张安明,石仁蓉,等. 重庆市黔江区土地生态安全评价及时空变化分析[J]. 水土保持通报, 2016,36(4):262-268.
- [26] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报, 2017,72(1):116-134.
- [27] 严超,张安明,吴仕海. 基于 GM(1,1)模型的土地生态安全动态分析与预测[J]. 西南大学学报:自然科学版, 2015,37(2):103-109.
- [28] 孟展,张锐,刘友兆,等. 基于熵值法和灰色预测模型的土地生态系统健康评价[J]. 水土保持通报, 2014,34(4):226-231.

(上接第 153 页)