

黄河干流沿线陕西段土地生态安全时空分布特征

张艳^{1,2}, 胡征南^{1,2}, 周浩浩¹, 崔国屹¹, 李骏南¹

(1.长安大学 土地工程学院, 陕西 西安 710000; 2.陕西省土地整治重点实验室, 陕西 西安 710000)

摘要: [目的] 对黄河干流沿线陕西段土地生态安全时空分布特征进行研究, 为维护区域土地生态环境提供科学依据和技术支持, 为其他类似型区域提供参考。[方法] 利用 DPSIR 构建土地生态安全评价体系, 运用熵值法、自然断点法和改进后的 TOPSIS 法对 2000—2020 年黄河干流沿线陕西段土地生态安全时空特征进行分析。引入障碍度模型, 进行障碍因子诊断。[结果] ①土地生态安全综合值从 2000 年的 0.448 7 上升到 2020 年的 0.535 3, 综合安全水平由中级升至良好; ②2000—2020 年中北部区域由中级上升为良好水平, 南部保持中级水平, 总体呈现向好发展趋势; ③土地生态安全评价单项结果各不相同, 趋势呈现不同变化; ④2000—2020 年准则层指标障碍度年变化率, 驱动力、状态和压力以年均 5.81%, 6.81% 和 5.51% 速度增加; 影响和响应以年均 26.74% 和 33.43% 的速度下降; ⑤主要因子障碍度从 2000 年的农民人均纯收入和森林覆盖率变成了 2020 年的粮食总产量、人均建设用地面积和人均生态用地面积。[结论] 黄河干流沿线陕西段土地生态安全时空分布达到良好水平, 距离优质仍有差距。因此, 在未来需要找准黄河干流沿线区域定位, 坚持分类指导、因地制宜, 绿色发展, 赏罚同行, 推进土地生态安全再上一个台阶。

关键词: 土地生态安全评价; DPSIR; 改进 TOPSIS; 障碍度; 黄河干流; 陕西段

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)06-0258-10

中图分类号: X826

文献参数: 张艳, 胡征南, 周浩浩, 等. 黄河干流沿线陕西段土地生态安全时空分布特征[J]. 水土保持通报, 2022, 42(6): 258-267. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.06.032; Zhang Yan, Hu Zhengnan, Zhou Haohao, et al. Spatial and temporal distribution characteristics on land ecological security along main stream of Yellow River in Shaanxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(6): 258-267.

Spatial and Temporal Distribution Characteristics on Land Ecological Security Along Main Stream of Yellow River in Shaanxi Province

Zhang Yan^{1,2}, Hu Zhengnan^{1,2}, Zhou Haohao¹, Cui Guoyi¹, Li Junnan¹

(1.School of Land Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710000, China;

2.Shaanxi Provincial Key Laboratory of Land Consolidation, Xi'an, Shaanxi 710000, China)

Abstract: [Objective] The temporal and spatial distribution characteristics of land ecological security along the main stream of the Yellow River were determined in Shaanxi Province in order to provide a scientific basis and technical support for maintaining the local land ecological environment, and to provide suggestions and a significant reference for other regions of the similar type. [Methods] A land ecological security evaluation system was constructed by DPSIR, and the time and space characteristics of land ecological security in the Shaanxi section along the main stream of the Yellow River from 2000 to 2020 were analyzed using the entropy method, the natural breakpoint method, and the improved TOPSIS method. An obstacle degree model was introduced to diagnose obstacle factors. [Results] ① The comprehensive value of land ecological security increased from 0.448 7 in 2000 to 0.535 3 in 2020, and the comprehensive security level increased from intermediate to good; ② From 2000 to 2020, the central and northern regions increased from intermediate to good comprehensive security, and the south region remained intermediate; ③ The individual results of the

收稿日期: 2022-03-29

修回日期: 2022-05-15

资助项目: 自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室开放基金项目“中国北方农牧交错带土地利用景观格局与土地生态安全状态耦合机理研究”

第一作者: 张艳(1978—), 女(汉族), 河北省沧州市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事土地调查、评价与土地生态方向教学与科研工作。Email: zyzhangy@chd.edu.cn。

通讯作者: 胡征南(1995—), 男(汉族), 河南省商丘市人, 硕士研究生, 主要从事土地利用和土地规划方面研究。Email: 1529626025@qq.com。

evaluation of land ecological security were different, and the trends showed different changes; ④ The driving force, state, and pressure relative to the obstacle index changed at average annual rates of 5.81%, 6.81%, and 5.51%, respectively, from 2000 to 2020; the impact and response decreased at average annual rates of 26.74% and 33.43%, respectively; ⑤ The main factor obstacles changed from the per capita net income of farmers and forest coverage in 2000 to total grain output, per capita construction land area, and per capita ecological land area in 2020. [Conclusion] Land ecological security in the Shaanxi section along the main stream of the Yellow River has reached a good level in time and space, but there is still a gap in order to achieve the high quality level. Therefore, in the future, it will be necessary to identify the pertinent area along the main stream of the Yellow River, adhere to classified guidance, adapt measures to local conditions, promote green development, reward and punish peers, and promote land ecological security to a higher level.

Keywords: land ecological security assessment; DPSIR; improved TOPSIS; obstacle degree; the main stream of the Yellow River; Shaanxi section

党的 19 届 5 中全会审议通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第 14 个 5 年规划和 2035 年远景目标的建议》明确提出,推动黄河流域生态保护和高质量发展。2020 年 4 月,中央领导到陕西省考察时强调,要坚持不懈开展退耕还林还草,推进荒漠化、水土流失综合治理,推动黄河流域从过度干预、过度利用向自然修复、休养生息转变,改善流域生态环境质量^[1]。国内学者从不同角度、不同尺度和不同方位开展土地生态安全研究,主要包括评价内容、方法、模型以及尺度等方面。在评价内容方面,主要是两个重点,一些学者^[2-4]进行土地生态安全状况评价及制约因素研究,一些学者^[5-7]研究土地利用覆盖变化与土地生态安全相互耦合关系;在评价方法方面,不同学者有着不同方法,但方法基本大同小异,土地生态安全评价的主要方法有物元模型^[8]、TOPSIS 评价模型^[3]、突变模型^[9]、综合指数法^[10]、人工神经网络法等^[11];在评价指标体系构建模型方面,模型比较多且各有利弊,总的来说是社会经济和自然状况的结合,主要模型有 PSR 模型^[12]、EES 模型^[5]、DSR 模型^[13]、NES 模型^[14]、PSR-EES 结合模型^[15]、三角模型^[16]、IDRISI 模型^[17]、DPSIR 模型等^[18];在研究空间尺度方面,土地生态安全涉及宏观尺度的全球和国家、中观尺度的流域和生态系统、微观尺度的群体和个体;根据我国行政单元进行划分又可分为区域、省、市、县、镇、村 6 级,具体有区域尺度研究^[19-20]、省市尺度研究^[12,16-17]、县级尺度研究^[14,21]、乡级尺度研究^[9]。就目前研究来看,基于宏观研究居多,尤其是以黄河流域县域尺度研究过少。

黄土高原具有严重的水土流失现象,属于生态脆弱区的典型地区,对黄河干流沿线陕西段土地生态安全时空分布特征研究,找出影响此区域的土地生态安全环境的因子,理清其内部相关作用和耦合机制,可以指导黄河干流沿线陕西段土地资源可持续利用,提

高土地生态质量,为维护当地的土地生态环境提供科学依据和技术支持,为保障黄土高原区生态安全提供科学参考,进而为治理和改善提供合理的建议和措施,也可以为其他同类型区域土地生态安全时空分布特征研究提供参考。

1 研究区概况

本研究区为黄河干流沿线陕西段,共包含府谷县、神木市、佳县、吴堡县、绥德县、清涧县、延川县、延长县、宜川县、韩城市、合阳县、大荔县和潼关县等 13 个县市,2020 年共计人口 320.18 万人,区域面积 29 071.54 km²;地形地貌北部属于风沙草滩和黄土丘陵沟壑区;中部以黄土高原丘陵沟壑区为主;南部以山塬和平川为主要特征;水域面积 484.94 km²;气温四季分明,主要有煤炭、石油、天然气、岩盐等资源。

2 数据来源

黄河干流沿线陕西段 13 个县市的经济社会、自然状况资料和行政区划数据。数据主要来源包括:13 个县市 2000—2020 年 20 a 间《统计年鉴》《社会公报》《环境状况公报》和土地利用现状调查数据;行政区划矢量数据、遥感数据和数字高程数据来源于中国科学院数据云平台。

3 评价方法

3.1 评价指标体系构建

采用 DPSIR 模型,其中包括“驱动力—压力—状态—影响—响应”5 个部分,该模型主要用于描述社会环境和自然环境的相互因果关系。在这个过程中通过社会经济活动所产生的驱动力和压力因素对自然生态环境会产生一定的影响,并且有反馈的作用。构建土地生态安全评价指标体系是一个相对复杂的系统,根据全面性、科学性、可操作性等原则,充分考

虑影响土地生态安全评价的驱动力、压力、状态、影响和响应等方面因素,结合黄河干流沿线陕西段实际情况,最终共确定 5 个维度方面,18 个 2 级指标。在指标的选取过程中,根据对目标层作用的方向,定义了正向和负向指标属性^[3-4,6,9,15-17],构建土地生态安全评价指标体系,结果详见表 1。

表 1 黄河干流沿线陕西段土地生态安全评价指标体系

目标层	准则层	指标层	性质	指标
驱动力		人均 GDP(万元/人)	正	C ₁
		人口自然增长率/%	负	C ₂
		城市化水平/%	负	C ₃
		经济密度/(万元·km ⁻²)	正	C ₄
压力		单位面积化肥施用量/(g·hm ⁻²)	负	C ₅
		人口密度/(人·km ⁻²)	负	C ₆
		人均粮食产量(kg/人)	正	C ₇
状态		人均耕地面积(hm ² /人)	正	C ₈
		人均水资源占有量(m ³ /人)	正	C ₉
		森林覆盖率/%	正	C ₁₀
		人均建设用地面积(m ² /人)	负	C ₁₁
影响		人均生态用地面积(m ² /人)	正	C ₁₂
		第二产业比重/%	负	C ₁₃
		粮食总产量/t	正	C ₁₄
		农民人均纯收入/元	正	C ₁₅
		污水处理率/%	正	C ₁₆
		生活垃圾无害处理率/%	正	C ₁₇
		固定资产投资/亿元	正	C ₁₈

3.2 指标权重的确定

目前,大多数学者采用特尔斐法、模糊聚类分析求均值法、层次分析法和熵值法等方法确定土地生态安全评价的指标权重。本文确定指标的权重选择了客观赋值的熵值法^[22-23],这种方法很大程度上可以减少主观因素带来的偏差。

3.3 改进的 TOPSIS 评价模型

改进后的 TOPSIS 法是从系统工程中有限方案多目标决策中进行最佳选择^[24],这个方案就是多个备选方案中的最佳选择方案^[25]。改进的 TOPSIS 法通过改进评价公式,最后对正、负理想解与评价对象作对比^[26]。根据已研究的成果^[27-28]和黄河干流沿线陕西段实际情况,利用自然断点法^[29],把贴近度分成 4 个等级标准,来客观评价黄河干流沿线陕西段土地生态安全水平的高低,结果详见表 2。

表 2 土地生态安全评判标准

贴近度	安全水平
0.000 0~0.300 0	低级
0.300 1~0.500 0	中级
0.500 1~0.800 0	良好
0.800 1~1.000 0	优质

3.4 障碍度模型

黄河干流沿线陕西段土地生态安全评价是对该研究区域土地生态安全的现状水平进行客观全面的评价,并且从中寻求制约土地生态安全水平发展的障碍度和障碍度因子,进而提出具有针对性的策略来提升土地生态安全的水平,最终可以为政府政策的调整和土地生态的优化提供参考意见和科学遵循。所以,本研究采用障碍度模型^[30],为了诊断出来制约黄河干流沿线陕西段土地生态安全水平的因素。

4 结果与分析

4.1 土地生态安全水平综合评价

黄河干流沿线陕西段土地生态安全综合评价结果详见表 3。

表 3 黄河干流沿线陕西段土地生态安全综合贴近度评价结果

县市	综合贴近度				
	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
府谷县	0.481	0.495	0.490	0.453	0.524
神木市	0.509	0.537	0.548	0.466	0.559
佳县	0.449	0.470	0.498	0.511	0.607
吴堡县	0.416	0.441	0.455	0.468	0.551
绥德县	0.402	0.400	0.454	0.419	0.561
清涧县	0.466	0.480	0.533	0.552	0.597
延川县	0.436	0.426	0.440	0.460	0.530
延长县	0.497	0.497	0.508	0.533	0.558
宜川县	0.527	0.534	0.529	0.542	0.554
韩城市	0.419	0.414	0.445	0.476	0.489
合阳县	0.411	0.409	0.427	0.462	0.500
大荔县	0.422	0.398	0.437	0.449	0.475
潼关县	0.401	0.414	0.422	0.421	0.456
均值	0.449	0.455	0.476	0.478	0.535

由表 3 可以看出,黄河干流沿线陕西段土地生态安全综合水平不断上升,且增长幅度不断扩大。按平均数值来看,2000 年 0.448 7 上升到 2020 年 0.535 3,增加了 0.086 6。同时,各县市生态安全综合贴近度出现不同程度的增长起伏,但总体上还是呈现上升趋势。2010 年后,除了神木市和宜川县,清涧县和延长县也达到了良好水平状态,这一时期属于“十一五”时期(2006—2010 年),随着经济的发展和政策的实施,清涧县和延长县的经济密度数值分别从 2005 年的 53.22 和 67.46 万元/km² 到 2010 年的 108.13 和 147.80 万元/km²。到 2015 年佳县也从中级水平到达良好水平,这是由于佳县人均 GDP 从 2010 年的 1.11 万元/人到 2015 年的 1.73 万元/人,经济密度从 2010 年的 111.98 万元/km² 到 2015 年的 169.67 万元/km²。值得一提的是神木市自 2000 年以来一直

中级变成了低级水平,这表明种植天然无公害的作物和适度施用化肥的做法要持之以恒,减少对土壤和环境的危害才能使土地生态安全系数得以提高。2020年重新恢复到了良好水平,佳县更是达到了最高值0.9703,这也使得佳县成为唯一土地生态安全压力水平达到了优质的县市。

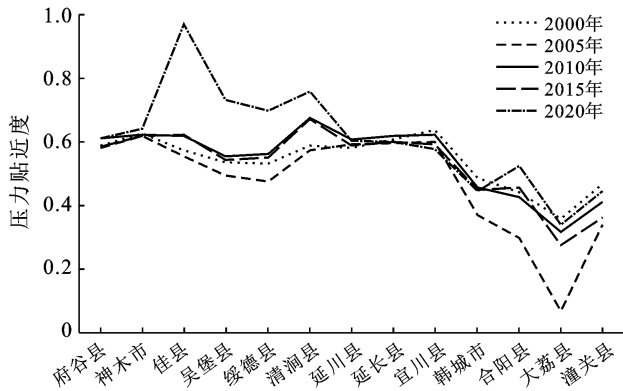


图3 黄河干流沿线陕西段土地生态安全压力贴近度时空演化

4.2.3 土地生态安全状态水平评价 由图4可知,土地生态安全状态贴近度变化呈缓慢式下降弱V形,总体是减少趋势。2010年延川县从0.5045下降至0.4870,由良好下降成了中级水平,究其原因,人均耕地面积从2005年 $0.468\text{ hm}^2/\text{人}$ 减少到2010年 $0.424\text{ hm}^2/\text{人}$,这也可以看出人均耕地面积对土地生态安全状态水平影响是不可忽视的,细微的减少就可以改变其等级水平。2015年达到了历史最低值,这是综合影响的结果,除了人均耕地面积有所减少,再者就是人均建设面积的增加,随着经济的发展,土地固有性质在利益驱使下改变了原来的用途,这也说明了防止耕地非粮化和禁止城市大面积扩张任重道远。2020年较2015年有所上升,整体属于中级偏上,但仍需不断提升和改进,应该更加重视耕地面积的保护和建设用地面积的减少,只有这样才能使得土地生态安全状态水平再上一个等级。

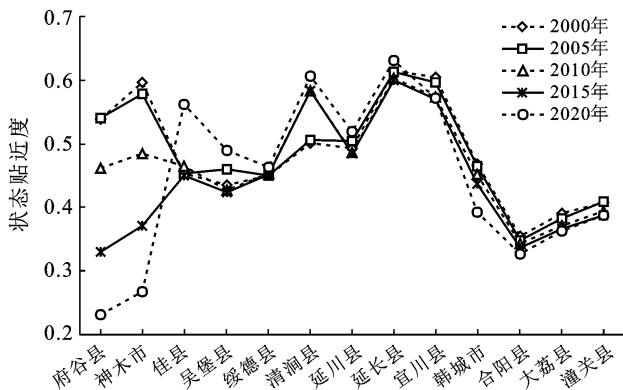


图4 黄河干流沿线陕西段土地生态安全状态贴近度时空演化

4.2.4 土地生态安全影响水平评价 由图5可知,土地生态安全影响贴近度变化呈波浪式上升弱N形变化,总体是向上趋势。2000年吴堡县、延川县、韩城市和潼关县处于0.3000以下,其余的9个县市低于0.5000,整体而言处于中级偏下水平。到2020年宜川县达到了最高值0.6368,人均生态用地面积的增加对土地生态安全的影响是不言而喻的,这也是土地生态安全影响水平不断提高的主要因素。神木市、佳县、绥德县、清涧县、延长县和合阳县均由中级上升成为良好水平,这些县市的变化幅度很明显。整体水平从中级偏下上升到良好偏下,虽说仍旧处于土地生态安全影响良好水平不高,但已经有逐渐上升发展向好的趋势。

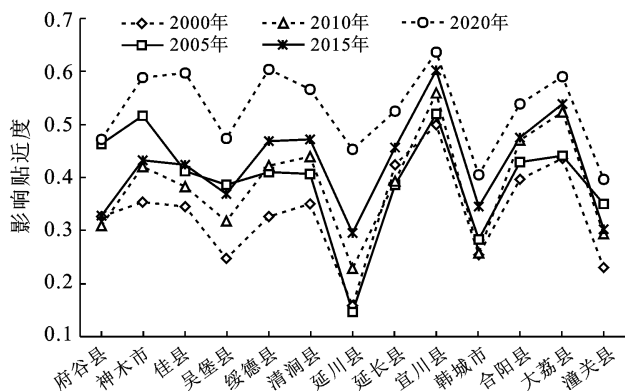


图5 黄河干流沿线陕西段土地生态安全影响贴近度时空演化

4.2.5 土地生态安全响应水平评价 由图6可以看出,土地生态安全响应贴近度变化呈不断向上递进式变化,总体是上升趋势,由中级到良好水平不断向好发展。

2010年神木市达到了0.8049,从良好升至为优质,究其原因,神木市的固定资产投资从2005年的58.31亿元增加到了2010年的310.26亿元。到2015年,神木市从优质水平下降为中级水平,这个波动幅度很大,下降了0.3930,因为固定资产投资和污水处理率有所下降,这也从侧面说明了正确的利民措施需要贯彻到底,不可朝令夕改,只有不断地投入人力物力财力,真正地做到了保护环境和维护土地质量,才能使得土地生态安全响应水平达到良好甚至优质。2020年各县市也达到了历史最高值,神木市达到了1.000,其他12个县市也均到达了良好水平。相信随着固定资产投资的增加和生活垃圾无害处理率的提高,土地生态安全响应水平将会整体达到优质水平。

4.3 土地生态安全子系统等级分布

由图7—11可知,土地生态安全驱动力水平,由榆林市南部向北部发展,由渭南市中部向北部发展,

黄河干流沿线陕西段中部即延安市区域由于自然环境和社会历史因素的影响,一直处于土地生态安全驱动力中级水平。压力水平北部和中部比较稳定,一直处于良好到优质水平这个阶段,南部稍微有点落后,甚至一度降至为低级水平,但最终还是可以整体达到良好水平。状态水平南部一直处于中级水平,中部处于良好水平,这两个区域比较稳定;北部极不稳定,由最初的良好变成中级最终变成低级水平,经历 3 个等级,且不断下降。影响水平北部比较稳定,一直处于中级到良好水平这个阶段;中部 3 个等级都有存在,相对不均衡,最终趋于良好水平;南部稍微有点落后,甚至一度降至为低级水平,总体上是向趋好发展,最终整体完成了由中级水平到良好水平的转变。响应水平是上向趋好发展,并且是由南部向北部递进式发

展,后期北部发展较迅速,最终整体完成了由中级水平到良好水平的转变,并保持着继续向优质水平发展的持续内在动力。

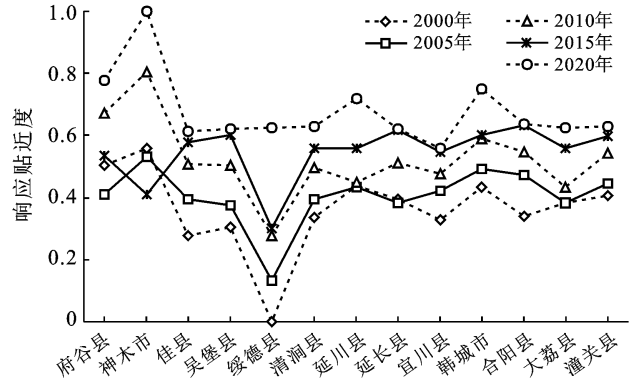


图 6 黄河干流沿线陕西段土地生态安全响应贴近度时空演化

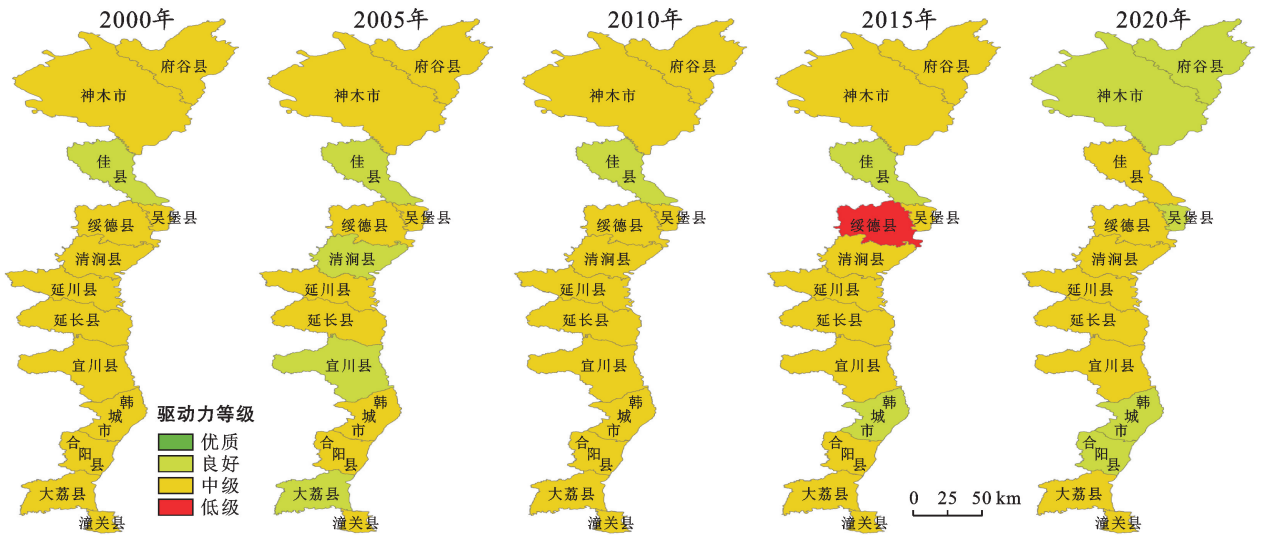


图 7 黄河干流沿线陕西段土地生态安全子驱动力等级区域分布

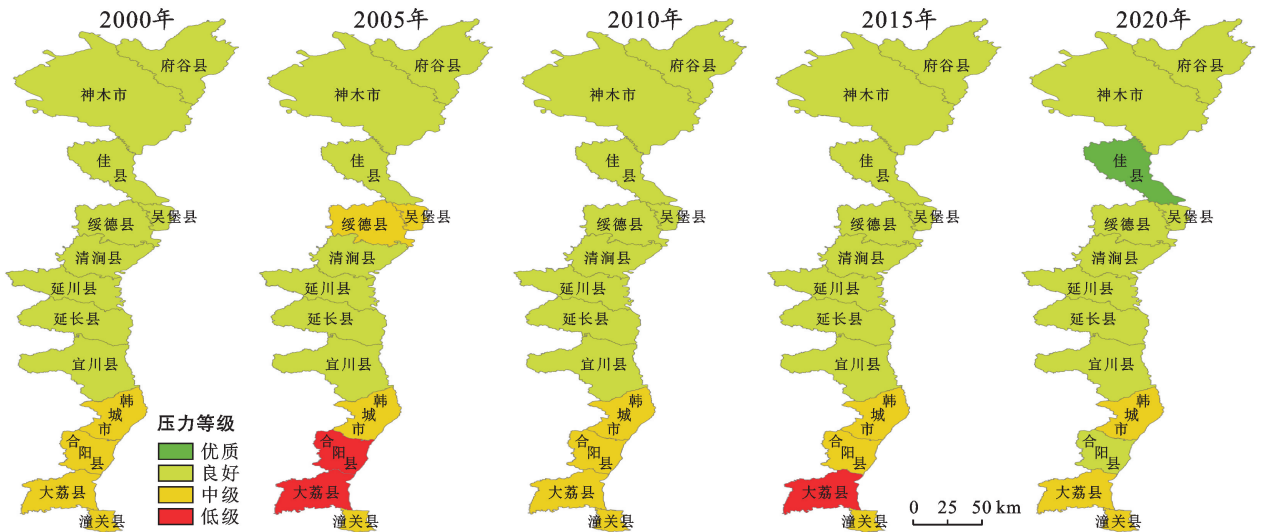


图 8 黄河干流沿线陕西段土地生态安全压力等级区域分布

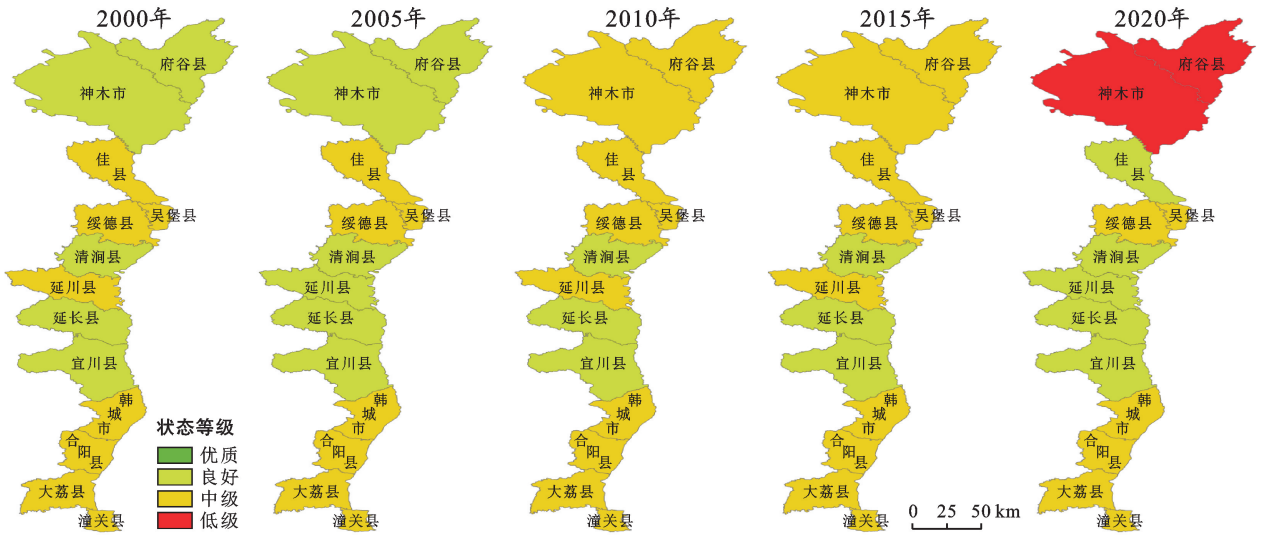


图 9 黄河干流沿线陕西段土地生态安全状态等级区域分布

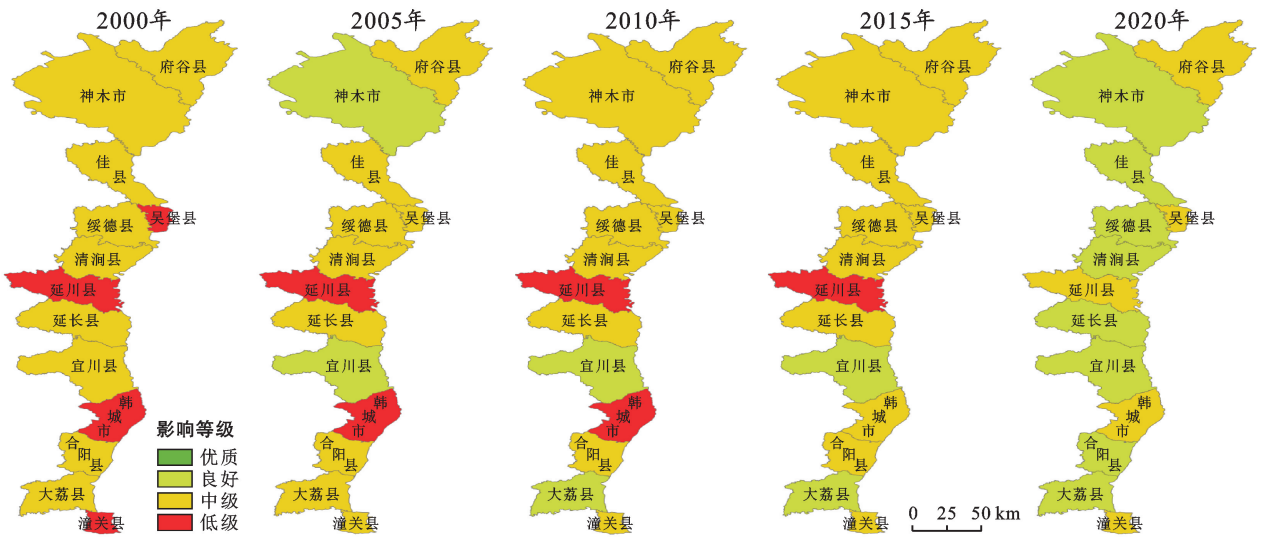


图 10 黄河干流沿线陕西段土地生态安全影响等级区域分布

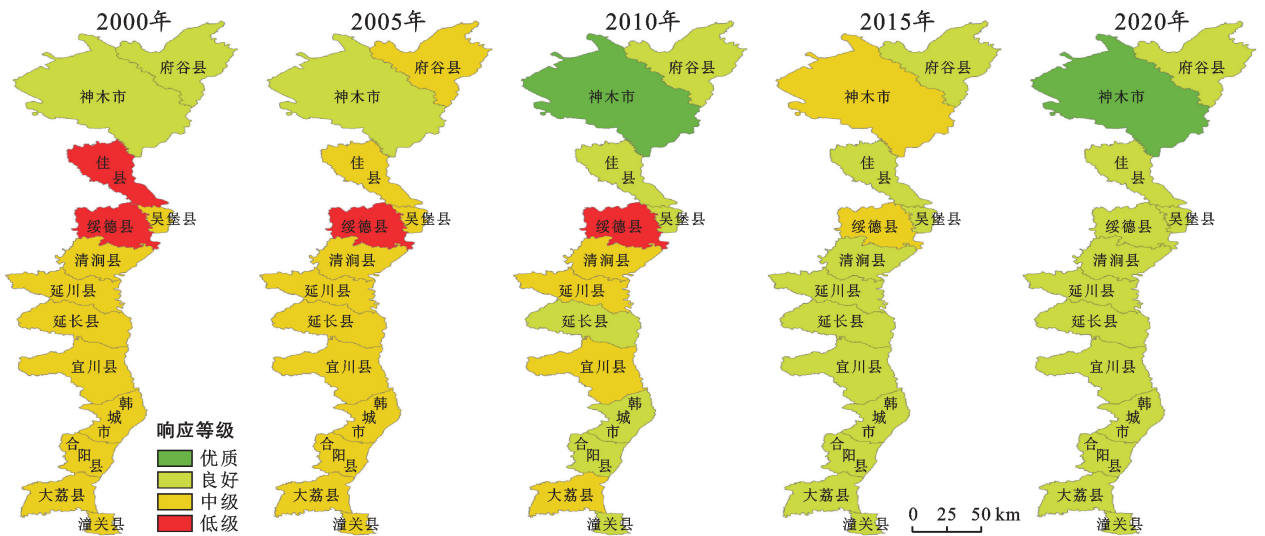


图 11 黄河干流沿线陕西段土地生态安全响应等级区域分布

4.4 障碍度分析

在上文黄河干流沿线陕西段土地生态安全评价的基础上,分别就准则层指标和指标层指标其主要障碍因子进行诊断。

4.4.1 准则层障碍因子诊断 从表 4 可知,土地生态安全各准则层指标障碍度呈现不同的变化趋势。总体来说,驱动力和状态的障碍度变化呈现的趋势是不断上升,压力和影响的障碍度变化趋势在波动中下降,响应的障碍度变化呈现的趋势是不断下降。从数值来看,2015 年之前,影响障碍度最大,驱动力障碍度紧跟其后,状态障碍度次之,最后两位是响应障碍度和压力障碍度。2015 年,状态障碍度成了首位,影响障碍度升至为第二,驱动力障碍度紧随其后,压力障碍度和响应障碍度排在最后。到 2020 年障碍度从大到小依次是:状态、驱动力、影响、压力和响应,障碍度数值分别为 29.75%,27.25%,23.64%,10.89%,8.47%。从年变化率来看,2000—2020 年,驱动力和状态的障碍度分别从 23.44%和 21.84%,上升到了 27.25%和 29.75%,以年均 5.81%和 6.81%的速度增加;影响和响应障碍度分别从 28.99%和 15.16%,下降到了 23.64%和 8.47%,以年均 26.74%和 33.43%的速度下降;压力障碍度先增加后减少,总体处于增加状态,从 10.58%到 10.89%,以年均 5.51%的速度增加。从平均障碍度来看,2000—2020 年,驱动力、压力、状态、影响和响应的障碍度的平均指数,分别为 24.99%,11.40%,24.93%,26.50%和 12.19%。由此可知,影响黄河干流沿线陕西段土地生态安全的准则层障碍依次是影响、驱动力、状态、响应和压力。总的来看,从影响子系统到状态和驱动力子系统转移,这符合城市发展的客观因素。由于国家层面大力提倡绿色环保理念和人们自身对生态环境问题的警觉,促使政府不断通过行政立法和积极引导,对土地生态环境治理力度和投入资金在不断加大,促进了土地生态安全的良性发展。但是,经济不断发展出现了城市化率不断增大,人口密度的增大导致人均耕地减少和建设用地面积增加等问题日益突出。因此,黄河干流沿线陕西段土地生态安全水平想要有所提高,必须解决状态子系统中突出的问题,还要考虑驱动力子系统制约性比较大的方面如何协调。缓解部分土地的压力,通过产业转型升级减少生活污水和垃圾的排放,在经济发展的同时也要兼顾土地的生态安全,可以通过合理布局城市建设用地来缓解对土地造成的影响,适度控制人均建设用地的面积,通过多植树多种草来提高森林覆盖率。由于黄河干流沿线陕西段自然条件的约束,土地生态安全水平的提高不是一时可以改变

的,需要久久为功,还有很长的发展道路要走,一定要坚持绿色发展,不搞大开发,注重水土涵养功能,走可持续发展是黄河干流沿线陕西段必然选择。

表 4 影响黄河干流沿线陕西段土地生态安全的准则层指标障碍度

年份	障碍度/%				
	驱动力	压力	状态	影响	响应
2000	23.44	10.58	21.84	28.99	15.16
2005	23.44	12.72	22.46	26.78	14.61
2010	25.28	11.07	24.65	27.27	11.72
2015	25.52	11.74	25.97	25.80	10.97
2020	27.25	10.89	29.75	23.64	8.47

4.4.2 指标层障碍度因子诊断 2000—2020 年黄河干流沿岸陕西段 13 个县市土地生态安全的指标障碍度,因为指标层因子太多,本文根据其障碍度大小,列举影响较大前 5 位的因子,以此对黄河干流沿线陕西段各县市指标因子障碍度进行诊断。从表 5 可知,主要因子障碍度大小不一,各有侧重。2000 年驱动力、状态和影响方面的障碍度因子排序前 5 位。其中,神木市、吴堡县、清涧县、延川县、延长县、宜川县和大荔县的农民人均纯收入因子障碍度最大,排序障碍度因子第一位,宜川县更是高达 12.54%。府谷县、佳县和合阳县的森林覆盖率因子障碍度最大,排序障碍度因子首位,府谷县达到 10.73%。韩城市和潼关县的人均耕地面积因子障碍度最大,排序障碍度因子第一位;绥德县则是人均水资源占有量因子障碍度最大。农民人均纯收入因子障碍度在 7 个县市均排首位,说明了农民人均纯收入已经成为了影响黄河干流沿线陕西段土地生态安全的最大的阻碍和因素,亟须提高农民人均纯收入,以此来提高整体的土地生态安全水平。在排序前 5 位障碍度因子中,主要是影响系统里的农民人均纯收入和粮食总产量;状态系统里的森林覆盖率、人均耕地面积和人均水资源占有量;驱动力系统的人均 GDP 和经济密度。这一时期没有出现压力系统和响应系统的因子,说明了压力和响应方面对黄河干流沿岸陕西段土地生态安全具有一定的贡献,侧面可以看出在这两方面此地区做法得当,对整个土地生态安全具有积极作用。与 2000 年相比,2020 年的时候农民人均纯收入因子已经退出了前 5 位,表明了该阶段针对农民人均纯收入已经有了明显提高,此因子不再是主要影响土地生态安全水平的因素。值得一提的是,压力系统里的人均粮食产量首次出现在前 5 位主要障碍度因子中,虽仅宜川县的障碍度 9.78%,但已经说明了一定的问题,表明在人口不断增加和耕地不断减少的情况下,耕地面积和质量须进

一步提高。除此之外,排前 5 位还出现了新的障碍度因子分别是城市化水平、人均建设用地面积、人均生态用地面积和第二产业比重。这说明了随着经济不断发展,由原来的单一的制约因素变成了多元化的障碍制约了,其中突出就是城镇化的水平与土地生态保护的矛盾,这是城市的通病,也是黄河干流沿线陕西段个别县市的特性。神木市人均建设用地面积从 2000 的 $50.22 \text{ m}^2/\text{人}$ 增加到 2020 年 $582.53 \text{ m}^2/\text{人}$,这在一定程度上显示出人均建设用地面积配置极不

合理,严重超过了《城乡用地分类与规划建设用地标准 GB50137(修订)(征求意见稿)》中不得超过 $300 \text{ m}^2/\text{人}$ 的要求。为了转变障碍度因子的制约,需要合理改变建设用地面积,减少过度扩张和政策控制势在必行。神木市的第二产业比重从 2000 年的 58.12% 增大到了 2020 年的 60.54%,增加的幅度不大,但已然成为了障碍度的主要因子,这也说明在发展经济的同时,应注重土地生态安全的保护,加强城市的生态环保可持续发展是将来必须走的道路。

表 5 黄河干流沿岸陕西段土地生态安全主要障碍因子

县市	2000 年主要障碍因子					2020 年主要障碍因子				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
府谷县	C_{10} 10.73	C_{15} 10.47	C_{14} 10.11	C_4 9.99	C_1 9.57	C_{11} 13.47	C_3 11.78	C_{10} 11.62	C_{14} 9.88	C_8 8.65
神木市	C_{15} 11.31	C_{10} 11.29	C_4 10.80	C_1 10.30	C_{14} 8.12	C_3 14.47	C_{10} 13.27	C_{11} 12.28	C_8 10.73	C_{13} 8.90
佳县	C_{10} 10.05	C_{15} 9.78	C_4 9.25	C_1 8.92	C_{14} 8.87	C_{10} 15.20	C_4 12.65	C_1 10.83	C_{12} 9.50	C_3 8.24
吴堡县	C_{15} 9.07	C_{14} 8.96	C_4 8.54	C_{10} 8.38	C_1 8.27	C_{14} 10.97	C_8 10.82	C_{12} 10.22	C_1 9.09	C_9 8.62
绥德县	C_9 9.09	C_{15} 8.84	C_4 8.35	C_1 8.07	C_{12} 8.02	C_9 13.25	C_{12} 11.40	C_1 10.17	C_8 9.92	C_4 9.45
清涧县	C_{15} 10.29	C_4 9.74	C_1 9.39	C_9 9.25	C_{14} 9.18	C_4 11.93	C_9 10.50	C_1 10.41	C_{14} 10.39	C_3 8.72
延川县	C_{15} 9.45	C_{14} 9.15	C_9 8.83	C_4 8.79	C_1 8.46	C_{14} 11.26	C_3 10.81	C_9 10.46	C_7 8.83	C_4 8.72
延长县	C_{15} 11.26	C_4 10.65	C_{14} 10.37	C_1 10.24	C_9 9.09	C_{14} 12.76	C_4 10.88	C_7 9.91	C_1 9.84	C_9 9.39
宜川县	C_{15} 12.54	C_9 12.18	C_4 11.94	C_1 11.44	C_{14} 11.32	C_9 13.22	C_{14} 12.83	C_4 12.13	C_1 10.46	C_7 9.78
韩城市	C_8 9.49	C_{15} 9.23	C_4 8.46	C_1 8.40	C_{12} 8.39	C_8 11.49	C_3 10.43	C_{12} 9.96	C_{14} 9.65	C_9 9.63
合阳县	C_{10} 9.07	C_{15} 9.07	C_{12} 8.94	C_4 8.48	C_8 8.38	C_{10} 11.21	C_{12} 10.95	C_9 9.91	C_8 9.61	C_1 8.89
大荔县	C_{15} 9.32	C_{12} 9.29	C_8 9.14	C_4 8.53	C_1 8.49	C_{12} 10.73	C_8 10.12	C_{10} 9.23	C_9 8.95	C_1 8.63
潼关县	C_8 8.99	C_{15} 8.70	C_{12} 8.25	C_{14} 8.09	C_1 7.98	C_8 9.92	C_{12} 9.15	C_9 9.03	C_{14} 8.96	C_3 8.36

5 结论及对策

5.1 结论

(1) 黄河干流沿线陕西段土地生态安全综合水平不断上升,且增长幅度不断扩大。研究期间土地生态安全综合水平经过了两个水平过程,分别是中级阶

段和良好阶段。

(2) 土地生态安全驱动力贴近度的变化呈向上微弱 M 形趋势;压力贴近度变化呈波浪式上升弱 W 形趋势;状态贴近度变化呈缓慢式下降弱 V 形趋势;影响贴近度变化呈波浪式上升弱 N 形趋势;响应贴近度变化呈不断向上递进式变化趋势。

(3) 土地生态安全驱动力等级分布由南北部向中部发展;响应和压力等级分布由北部向中南部发展;影响和状态等级分布中部向南北部发展。

(4) 准则层障碍度变化,驱动力和状态的趋势是持续上升,响应的趋势是不断下降,压力和影响呈现出波浪式下降的走势。总的来看,准则层障碍因子从影响子系统到状态和驱动力子系统转移,这符合城市发展的客观因素。

(5) 就指标层障碍度变化来说,黄河干流沿线各县市主要因子障碍度大小不一,各有侧重。2000年驱动力、状态和影响方面的障碍度因子排序前5位。到2020年,黄河干流沿线陕西段各县市主要因子排序发生了显著的变化,压力系统的障碍度因子进入了前5的序列。

5.2 对策

(1) 贯彻落实黄河流域高质量发展和生态保护战略,始终坚持绿水青山就是金山银山的理念,坚持系统治理的原则,牢固山水林田湖草沙综合治理的思维,加强沙化土地植被修复和天然林保护等工程建设。

(2) 找准黄河干流沿线区域定位,坚持分类指导、因地制宜的原则,制定土地利用规划及相关的政策。依据《陕西省国土空间生态修复规划(2021—2035年)》和陕西省“十四五”土地利用规划,严格落实耕地保护制度,提高土地节约、集约利用水平,改善重点流域河湖湿地水生态,保障水资源安全。

(3) 注重绿色经济发展,要注重深入挖掘黄河干流沿线陕西段各县市间更为精细的差异化绿色发展潜能,尤其在资源型产业、重化工业这类传统优势产业中加快绿色转型。在做好传统产业绿色转型的基础上,还要注重培育绿色发展新动能,放大绿色发展优势。

(4) 资源优化配置,各县市要根据城市总体规划,进一步细化所辖各类功能区的保护和发展路径;要充分利用自有资源和流域资源两种资源建设资源节约型、环境友好型社会,创造更多生态福利绩效,杜绝盲目扩张和无序开发,推动实现可持续发展。

(5) 多管齐下,奖罚同行。加大多方联动,明晰各类主体的权利责任,落实多级协同推进;增强对生态环境治理的重视程度;落实河湖长制,建立健全河流管理体系,加强流域内水生态环境保护修复联合防治和执法;完善土地生态安全监管体系。

展座谈会[N].新华社,20190919.

- [2] 李春燕.陕西省土地生态安全动态评价及驱动因素研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [3] 杨人豪,杨庆媛,曾黎,等.基于BP-ANN模型的农村土地生态安全评价及影响因素分析:以重庆市丰都县为例[J].水土保持研究,2017,24(3):206-213.
- [4] 王毅,魏江超,孙启元,等.基于ARIMA-ANN模型的生态安全评价及预测:以河西走廊城市群为例[J].生态学杂志,2020,39(1):326-336.
- [5] 杨倩.湖北汉江流域土地利用时空演变与生态安全研究[D].湖北 武汉:武汉大学,2017.
- [6] 张莹.鄱阳湖流域土地集约利用与生态安全耦合协调发展研究[D].江西 南昌:江西农业大学,2018.
- [7] 朱文博,张静静.基于土地利用变化情景的生态系统碳储量评估:以太行山淇河流域为例[J].地理学报,2019,74(3):446-459.
- [8] 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.
- [9] 于海洋,张飞,曹雷,等.基于乡镇尺度的土地生态安全时空格局评价研究:以博尔塔拉蒙古自治州为例[J].生态学报,2017,37(19):6355-6369.
- [10] 柳思,张军,田丰,等.2005—2014年疏勒河流域土地生态安全评价[J].生态科学,2018,37(3):114-122.
- [11] 李悦,袁若愚,刘洋,等.基于综合权重法的青岛市湿地生态安全评价[J].生态学杂志,2019,38(3):847-855.
- [12] 黄祁琦,杨庆媛.基于PSR模型的重庆市土地可持续利用评价及障碍因子诊断[J].湖北农业科学,2019,58(24):254-260.
- [13] 李政,何伟,潘洪义,等.基于熵权TOPSIS法与ARIMA模型的四川省耕地生态安全动态预测预警[J].水土保持研究,2018,25(3):217-223,2.
- [14] 蔡霄,杨洋,李鹏山,等.基于PSR-NES耦合模型的土地生态状况综合评估:以大邑县为例[J].西北大学学报(自然科学版),2020,50(4):685-694.
- [15] 秦东丽,陈屹德.基于“PSR-EES”模型的江苏省旅游生态安全研究[J].南阳师范学院学报,2019,18(6):10-16.
- [16] 程东林,陈英,乔蕻强,等.西北生态脆弱区城市土地生态安全时序性评价:以兰州市为例[J].中国国土资源经济,2020,33(7):83-89.
- [17] 李进涛,李贻学,巩玉玲,等.基于IDRISI的山东省土地生态安全评价研究[J].中国人口·资源与环境,2014,24(S3):190-193.
- [18] 徐美,朱翔,李静芝.基于DPSIR-TOPSIS模型的湖南省土地生态安全评价[J].冰川冻土,2012,34(5):1265-1272.
- [19] 郭利刚,冯珍珍,刘庚,等.基于物元模型的汾河流域土地生态安全评价[J].生态学杂志,2020,39(6):2061-2069.

[参 考 文 献]

[1] 习近平在河南主持召开黄河流域生态保护和高质量发

(下转第350页)

- [6] 任涵,张静静,朱文博,等.太行山淇河流域土地利用变化对生境的影响[J].地理科学进展,2018,37(12):1693-1704.
- [7] 刘春芳,王川.基于土地利用变化的黄土丘陵区生境质量时空演变特征:以榆中县为例[J].生态学报,2018,38(20):7300-7311.
- [8] 吴楠,陈红枫,冯朝阳,等.基于土地覆被变化的安徽省生境质量时空演变特征[J].长江流域资源与环境,2020,29(5):1119-1127.
- [9] 陈妍,乔飞,江磊.基于 InVEST 模型的土地利用格局变化对区域尺度生境质量的影响研究:以北京为例[J].北京大学学报(自然科学版),2016,52(3):553-562.
- [10] 王琼,范志平,李法云,等.蒲河流域河流生境质量综合评价及其与水质响应关系[J].生态学杂志,2015,34(2):516-523.
- [11] 周婷,陈万旭,李江风,等.神农架林区人类活动与生境质量的空间关系[J].生态学报,2021,41(15):6134-6145.
- [12] 黄木易,岳文泽,冯少茹,等.基于 InVEST 模型的皖西大别山区生境质量时空演化及景观格局分析[J].生态学报,2020,40(9):2895-2906.
- [13] 祝萍,黄麟,肖桐,等.中国典型自然保护区生境状况时空变化特征[J].地理学报,2018,73(1):92-103.
- [14] 黄贤峰,杨永菊,武艺,等.1990—2017 年喀斯特自然保护区土地利用变化对生境质量的影响[J].水土保持通报,2018,38(6):345-351.
- [15] 刘振生,高惠,滕丽微,等.基于 maxENT 模型的贺兰山岩羊生境适宜性评价[J].生态学报,2013,33(22):7243-7249.
- [16] 王玉,傅碧天,吕永鹏,等.基于 SolVES 模型的生态系统服务社会价值评估:以吴淞炮台湾湿地森林公园为例[J].应用生态学报,2016,27(6):1767-1774.
- [17] 李锐,杨文治,李壁成,等.中国黄土高原研究与展望[M].北京:科学出版社,2008.
- [18] Fu Bojie, Meng Qinghua, Qin Y, et al. Effects of land use on soil erosion and nitrogen loss in the hilly area of the Loess Plateau, China [J]. Land Degradation & Development, 2004,15(1):87-96.
- [19] Liu Yu, Fu Bojie, Lue Yihe, et al. Hydrological responses and soil erosion potential of abandoned cropland in the Loess Plateau, China [J]. Geomorphology, 2012,138(1):404-414.
- [20] 汤青,徐勇,刘毅.黄土高原地区土地利用动态变化的空间差异分析[J].干旱区资源与环境,2010,24(8):15-21.
- [21] 张青峰,吴发启.黄土高原生态经济分区的研究[J].中国生态农业学报,2009,17(5):1023-1028.
- [22] 周亮,唐建军,刘兴科,等.黄土高原人口密集区城镇扩张对生境质量的影响:以兰州、西安—咸阳及太原为例[J].应用生态学报,2021,32(1):261-270.
- [23] 杨洁,谢保鹏,张德罡.黄河流域生境质量时空演变及其影响因素[J].中国沙漠,2021,41(4):12-22.
- [24] 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.

(上接第 267 页)

- [20] 黄烈佳,杨鹏.长江经济带土地生态安全时空演化特征及影响因素[J].长江流域资源与环境,2019,28(8):1780-1790.
- [21] 于海洋,张飞,曹雷.精河县土地利用/覆被变化及土地生态安全研究[J].水土保持研究,2017,24(6):348-353.
- [22] 任俊.基于熵值法的中部六省创新型省份建设水平评价研究[D].湖南长沙:湖南师范大学,2019.
- [23] 鲁春阳,文枫,袁晓妮,等.基于熵值法的河南省新型城镇化风险识别研究[J].中国农业资源与区划,2018,39(11):142-147.
- [24] Fariasaires R F, Ferreira L. A new approach to avoid rank reversal cases in the TOPSIS method [J]. Computers & Industrial Engineering, 2019,132:84-97.
- [25] 刘婧,汤峰,张贵军,等.基于 TOPSIS 和矩阵组合的县域永久基本农田储备区划定时序研究[J].中国生态农业学报(中英文),2021,29(7):1224-1235.
- [26] 张艳,胡征南,李照华,等.国家中心城市土地利用绩效评价及障碍度因子诊断:以郑州市为例[J].江苏农业科学,2020,48(15):265-272.
- [27] 刘庆,陈利根,舒帮荣,等.长株潭城市群土地生态安全动态评价研究[J].长江流域资源与环境,2010,19(10):1192-1197.
- [28] 卢晓宁,洪佳,王玲玲.洪泽湖湿地区土地生态安全评价[J].西南大学学报:自然科学版,2015,37(3):145-150.
- [29] 李琴.中国生态福利绩效的时空演化及其收敛性:基于自然断点法与空间收敛模型[C].生态经济与健康中国:中国生态经济学会 2018 年学术年会摘要集,2018.
- [30] 鲁春阳,文枫,杨庆媛,等.基于改进 TOPSIS 法的城市土地利用绩效评价及障碍因子诊断:以重庆市为例[J].资源科学,2011,33(3):535-541.