



面向国土空间规划的生态保护重要性评价 ——以陕西省韩城市为例

康成鑫, 李新斌, 孙军刚, 高 奇, 闫晶晶, 喜俊生, 张 冲

中国地质调查局 西安矿产资源调查中心, 陕西 西安 710100

摘 要: 结合韩城市自然资源禀赋特征及生态环境问题, 采用多类型基础数据, 以生态系统服务功能、生态敏感性两个指标及其次级指标逐级构建生态保护重要性评价体系, 为韩城市国土空间规划、科学划定生态保护红线提供理论依据。研究表明: 韩城市生态系统服务功能高等级区域面积为 442.00 km², 以生物多样性维护功能为主导; 生态敏感性高等级区域占韩城市总面积的 45.46%, 以土地沙化、石漠化占主导作用; 生态保护高等级区域占韩城市总面积的 52.51%, 呈现出以黄龙山自然保护区为核心向东部、南部扩大的格局; 对生态保护重要性影响较高指标为土地沙化、石漠化和生物多样性维护功能。

关键词: 生态保护; 生态系统服务功能; 生态敏感性; 国土空间规划; 最大因子法; 陕西省

IMPORTANCE EVALUATION OF ECOLOGICAL PROTECTION FOR TERRITORIAL SPATIAL PLANNING: A Case Study of Hancheng City, Shaanxi Province

KANG Cheng-xin, LI Xin-bin, SUN Jun-gang, Gao Qi, YAN Jing-jing, XI Jun-sheng, ZHANG Chong

Xi'an Center of Mineral Resources Survey, CGS, Xi'an 710100, China

Abstract: Combined with the characteristics of natural resources endowment and ecological environment in Hancheng City, multiple types of basic data are used to progressively construct an evaluation system of ecological protection importance based on the ecosystem service function and ecological sensitivity indexes as well as their secondary indexes, which provides theoretical basis for the territorial spatial planning and scientific delineation of ecological protection redline in Hancheng City. The results show that the high-level area of ecosystem service function is 442.00 km², dominated by biodiversity conservation function. The high-level area of ecological sensitivity accounts for 45.46% of the total area of Hancheng City, with land sandification and rock desertification playing the leading role. The high-level area of ecological protection accounts for 52.51% of the total area the city, showing an expanding trend to east and south from the Huanglong Mountain Nature Reserve. The soil sandification, rock desertification and biodiversity conservation function have great impact on the importance of ecological conservation.

Key words: ecological protection; ecosystem service function; ecological sensitivity; territorial spatial planning; maximum factor method; Shaanxi Province

收稿日期: 2022-11-04; 修回日期: 2022-11-11. 编辑: 黄欣.

基金项目: 中国地质调查局项目“黄河中游(陕西段)自然资源综合调查”(ZD20220123).

作者简介: 康成鑫(1995—), 男, 工程师, 主要从事水资源调查评价研究, 通信地址 陕西省西安市长安区凤栖西路 66 号, E-mail//2401705740@qq.com

通信作者: 李新斌(1992—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事地球物理勘探和土工环境地质调查研究, 通信地址 陕西省西安市长安区凤栖西路 66 号,

E-mail//lixinbin@mail.cgs.gov.cn

0 前言

“生态文明”和“高质量发展”是我国在新时代的两个重要发展目标^[1]。近年来伴随着我国城市化和工业化发展进程,诸如农村人口流失、城市面积扩张、生态空间被挤占等生态环境问题愈发凸显^[2-3]。国土空间规划是国土空间发展、自然资源可持续利用的指南,也是合理划定生态保护红线、落实生态文明理念的实际行动^[4]。生态保护红线划定体现了支撑国土空间开发与保护生态安全底线的本质内涵,是国土空间规划的基础^[5-6]。

生态系统服务功能与生态敏感性是生态研究领域的两个重要指标,对生态重要性格局、主导生态功能分区等研究具有重要意义^[7-8]。开展生态保护重要性评价可以识别生态保护重要区域,为确保生态系统完整性、划定生态保护红线提供理论依据^[9-11]。目前已有基于生态系统服务功能和生态敏感性开展的生态适宜性评价,评价尺度涉及省、市、县等不同级别^[12-14],在评价区域上也有针对不同景观区域开展的研究^[15-17],而在构建评价体系和选取评价方法上则各有差异。

韩城市地处陕西省东部、黄河西岸,是关中平原和黄土高原的过渡区,包含山区、浅山丘陵区、黄土台塬区以及川道-黄河漫滩区4种地貌类型,生态系统类型和生物多样性丰富,是黄河流域生态保护和高质量发展战略下的国家级历史文化名城^①。作为能源工业城市,近年来韩城市环境污染状况加剧,城市化进程分布不均,资源衰竭隐患凸显,这些问题导致自然资源与社会经济发展之间形成了一定的矛盾^[18]。本研究以韩城市为例,采用最大因子法对生态系统服务功能重要性与生态敏感性进行评价,最终划分出生态保护重要性等级,为生态保护及修复治理工作提供理论依据,为韩城市国土空间规划和生态文明建设提供支撑。

1 研究区概况

韩城市(110°07'19"—110°37'24"E, 35°18'50"—35°52'08"N)连接陕西省和山西省,行政区面积1 591.74 km²,下辖2个街道、6个镇,共275个行政村。整体地势西北高、东南低,构成了“七山一水二分田”的格局。气候属暖温带半干旱大陆性季风气候,年内气候变化较大,四季分明,多年平均降雨量566.4 mm,无霜期

208 d,日照数2 436 h。境内矿产资源丰富,动植物品种繁多,植被覆盖率高。

韩城市土地利用现状如图1所示,耕地、草地、园地、林地合计占全市总面积83.59%。其中耕地45.56 km²,所占比例2.86%;草地65.65 km²,所占比例4.12%;园地416.43 km²,所占比例26.16%;林地803.06 km²,所占比例50.45%。生态农业空间占主导地位。

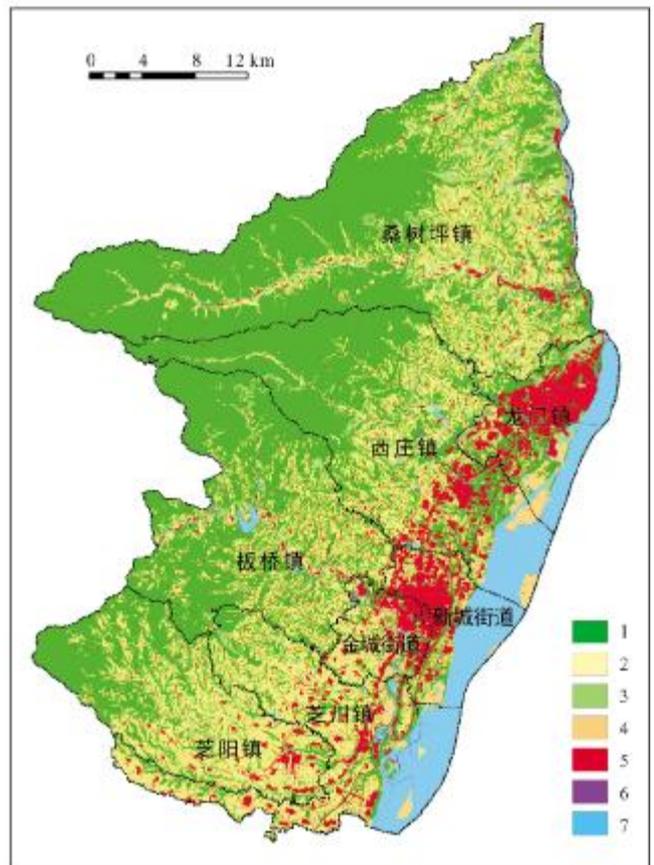


图1 韩城市土地利用现状图

Fig. 1 Current land use status of Hancheng City

1—林地(wood land); 2—园地(garden land); 3—草地(grass land); 4—耕地(cultivated land); 5—建设用地(construction land); 6—未利用地(unused land); 7—水域(water)

2 研究方法

2.1 生态保护重要性评价体系

本研究结合《资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价指南(试行)》理论框架以及《生态保护红线划定指南》评价模型方法,对生态保护重要性评价逐级设定目的指标、组成指标、基本指标3个评价层级,详

①陕西省水利电力勘测设计研究院. 陕西省韩城市水中长期供求规划. 2018.

见表1. 评价过程通过 ArcGIS 系统实现, 由低层级至高层级逐级运算叠加, 最终得到韩城市生态保护重要性等级的评价结果, 将每个层级评价结果以自然间断法分为低、较低、中等、较高、高 5 个等级. 其中目的指标层计算公式如下:

$$EP = \text{Max}(ES, EST) \quad (1)$$

式中, EP 为生态保护重要性等级, ES 为生态系统服务功能重要性等级, EST 为生态敏感性等级.

表 1 韩城市生态保护重要性评价指标
Table 1 Evaluation index of ecological protection importance of Hancheng City

目的指标	组成指标	基本指标
生态保护重要性	生态系统服务功能重要性	水源涵养功能重要性
		水土保持功能重要性
		防风固沙功能重要性
		生物多样性维护功能重要性
生态敏感性		水土流失敏感性
		土地沙化敏感性
		石漠化敏感性

研究过程中使用了韩城市基础地理、土地资源、气象环境等多门类数据, 使用前将所有数据进行预处理, 空间坐标投影为 CGCS2000_GK_Zone_19, 部分数

据通过重采样、插值达到 30 m 的分辨率, 形成边界一致的空间数据系列, 具体见表 2. 其中净初级生产力 (Net Primary Productivity, NPP) 数据是参考前人的研究方法^[19-20], 基于谷歌地球引擎选择 2016—2020 年各月里云量低于 10% 的 Landsat 8 数据作为基础遥感影像, 并计算归一化植被指数 (NDVI), 基于研究区及周围气象站点的地面观测数据, 利用 ANUJUSTIN 软件进行空间插值并计算太阳辐射, 最后利用 CASA 模型进行估算, 得到 30 m 分辨率的 NPP 数据.

2.2 生态系统服务功能重要性评价

生态系统服务功能揭示了生态系统服务的数量和空间差异性, 识别生态系统服务的重要区域, 关联着空间规划价值目标, 对不同层级架构的空间规划体系起支撑作用^[21-23]. 本研究选择 NPP 定量指标评估方法, 通过 NPP 数据及地形、土壤、气象等数据进行计算^[24]. 选择水源涵养、水土保持、防风固沙、生物多样性维护等^[25-28] 4 个基本指标进行生态系统服务功能重要性评价. 计算公式如下:

$$ES = \text{Max}(S_{wc}, S_{sc}, S_{ws}, S_{bio}) \quad (2)$$

式中, S_{wc} 代表水源涵养功能重要性, S_{sc} 代表水土保持功能重要性, S_{ws} 代表防风固沙功能重要性, S_{bio} 代表生物多样性维护功能重要性.

得出的基本指标评价结果通过 ArcGIS 叠加分析得到组成指标生态系统服务功能重要性评价结果等级. 具体评价指标体系见表 3.

表 2 数据来源与处理

Table 2 Data sources and processing

数据类型	数据来源	数据预处理
韩城市土地利用现状数据	韩城市自然资源局	将矢量数据转为栅格数据
韩城市自然保护区分布数据	韩城市林业局	将矢量数据转为栅格数据进行栅格计算
DEM 数据 (30 m 分辨率)	地理空间数据云	利用 GIS 计算海拔、坡度、起伏度及地表粗糙度因子
2016—2020 年 NPP 数据 (30 m 分辨率)	CASA 模型计算	采用栅格计算得到 NPP 多年平均值
土壤数据	世界土壤数据库 (HSWD)	通过栅格重采样, 将其空间分辨率转换为 30 m × 30 m, 并提取土壤渗流因子和碳酸盐岩出露占比因子;
土壤质地数据 (30 m 分辨率)	地理遥感生态网	参考《生态保护红线划定指南》(环办生态[2017]48 号), 对土壤可蚀性因子进行计算
2001—2020 年韩城市及周边气象站点数据	韩城市气象局	通过 IDW 反距离权重空间插值工具, 将其由站点数据转换为空间分辨率为 30 m × 30 m 的栅格数据, 并计算降雨、气温、风速等因子
2011—2020 年 NDVI 数据 (30 m 分辨率)	国家生态科学数据中心	采用栅格计算得到 NDVI 多年平均值

2.3 生态敏感性评价

生态敏感性是生态系统固有的特征,它表征的是生态系统在受到自然或人为因素干扰后失衡和可能发生生态环境问题的大小^[29-30]。本研究根据韩城市生态环境现状,选取水土流失敏感性、土地沙化敏感性、石漠化敏感性等^[31-33]3个基本指标来综合评价韩城市的生态敏感性。计算公式如下:

$$EST = \text{Max}(S_{sl}, S_{sf}, S_{rd}) \quad (3)$$

式中, S_{sl} 代表水土流失敏感性, S_{sf} 代表土地沙化敏感性, S_{rd} 代表石漠化敏感性。

通过 ArcGIS 叠加计算以上 3 个生态敏感性评价

指标,得到生态敏感性等级。评价指标体系见表 4。

3 结果与分析

3.1 生态系统服务功能重要性评价

评价结果显示,韩城市生态系统服务功能高等级面积占比偏高,其余等级面积大致相同(图 2、表 5)。生物多样性维护功能为生态系统服务功能的主导,等级为高的生物多样性维护功能地区面积占研究区总面积的 27.77%,主要分布在以黄龙山为主的山地丘陵区、国家级自然保护区及湿地公园等,涉及桑树坪镇、西庄镇、板桥镇及芝阳镇等。其中位于韩城市西北部

表 3 生态系统服务功能重要性评价指标体系

Table 3 Evaluation index system for the importance of ecosystem service function

基本指标及计算公式	相关参数
水源涵养功能重要性 $S_{WC} = NPP_{\text{mean}} \times F_{\text{sic}} \times F_{\text{pre}} \times (1 - F_{\text{so}})$	S_{WC} 为生态系统水源涵养服务能力指数, NPP_{mean} 、 F_{sic} 、 F_{pre} 、 F_{so} 分别为多年净初生产力平均值、土壤渗流因子、平均降雨量因子和坡度因子
水土保持功能重要性 $S_{SC} = NPP_{\text{mean}} \times (1 - K) \times (1 - F_{\text{so}})$	S_{SC} 为生态系统水土保持服务能力指数, K 、 F_{so} 分别为土壤可蚀性因子和坡度因子,其中 K 值参考《生态保护红线划定指南》计算
防风固沙功能重要性 $S_{WS} = NPP_{\text{mean}} \times K \times F_q \times D$	<p>S_{WS} 为生态系统防风固沙服务能力指数, F_q、D 分别为多年平均气候侵蚀力和地表粗糙度因子,其中 F_q 的计算公式为:</p> $F_q = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{12} \mu^2 \left(\frac{ETP_i - P_i}{ETP_i} \right) \times d; \quad ETP_i = 0.19(20 + T_i)^2 \times (1 - r_i); \quad \mu_2 = \mu_1 \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^{\frac{1}{7}}$ <p>D 的计算公式为: $D = 1/\cos\theta$</p> <p>式中, μ 为 2 m 高处的月平均风速, μ_1、μ_2 分别表示在 z_1、z_2 高处的风速, ETP_i 为月潜在蒸发量 (mm), P_i 为月降水量 (mm), d 为当月天数, T_i 为月平均气温, r_i 为月平均相对湿度 (%), θ 为坡度 (md)</p>
生物多样性维护功能重要性 $S_{bio} = NPP_{\text{mean}} \times F_{\text{pre}} \times F_{\text{tem}} \times (1 - F_{\text{alt}})$	S_{bio} 为生物多样性维护服务能力指数, F_{tem} 、 F_{alt} 分别为多年平均气温和海拔因子(结果用自然保护区分布数据修正)

表 4 生态敏感性评价指标体系

Table 4 Evaluation index system of ecological sensitivity

基本指标及计算公式	相关参数
水土流失敏感性 $S_{sl} = \sqrt[4]{R \times K \times LS \times C}$	<p>S_{sl} 为水土流失敏感性指数, R、K、LS、C 分别为降雨侵蚀力因子、土壤可蚀性因子、坡长坡度因子和植被覆盖因子,其中 R_i 采用文献[34]计算方法,以多年平均降雨量(P_i)进行计算,其公式为: $R_i = 0.067P_i^{1.627}$</p> <p>C 值通过 NDVI 直接提取植被覆盖度信息,其计算公式为: $C_i = \frac{NDVI - NDVI_{\text{soil}}}{NDVI_{\text{veg}} - NDVI_{\text{soil}}}$</p> <p>式中, $NDVI_{\text{veg}}$ 为完全覆盖植被地表所贡献的信息, $NDVI_{\text{soil}}$ 为无植被覆盖地表所贡献的信息</p>
土地沙化敏感性 $S_{sf} = \sqrt[4]{I \times W \times K \times C}$	S_{sf} 为土地沙化敏感性指数, I 、 W 、 K 、 C 分别为干燥指数、起风沙天数、土壤质地因子、植被覆盖因子
石漠化敏感性 $S_{rd} = \sqrt[3]{D \times P \times C}$	S_{rd} 为石漠化敏感性指数, D 、 P 、 C 分别为碳酸盐岩出露面积百分比、地形坡度因子、植被覆盖因子

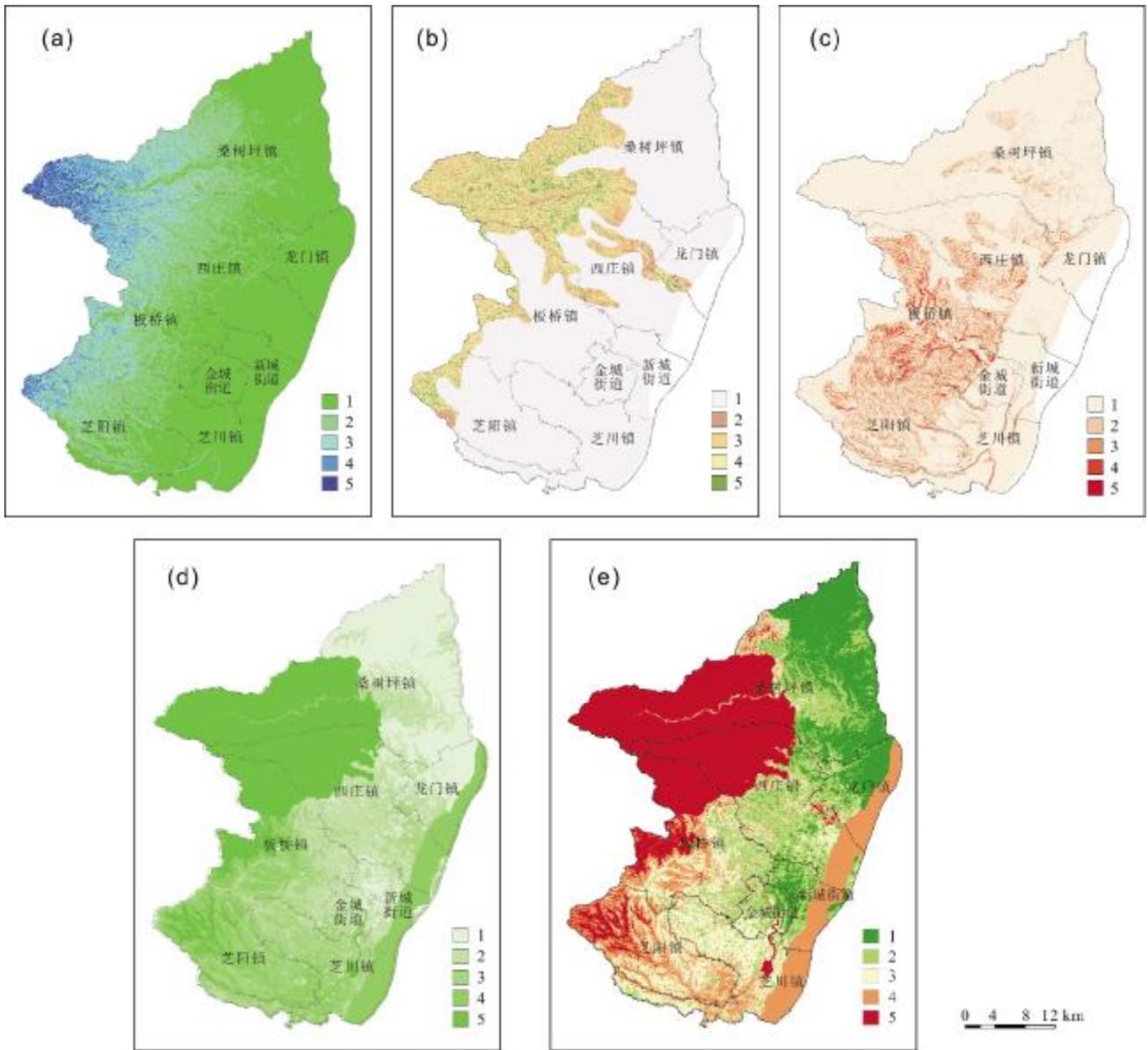


图 2 生态系统服务功能评价结果

Fig. 2 Evaluation results of ecosystem service function

a—水源涵养重要性(importance of water conservation); b—水土保持重要性(importance of soil and water conservation); c—防风固沙重要性(importance of wind break and sand fixation); d—生物多样性维护重要性(importance of biodiversity conservation); e—生态系统服务重要性(importance of ecosystem service); 1—低(low); 2—较低(relatively low); 3—中等(moderate); 4—较高(relatively high); 5—高(high)

的黄龙山褐马鸡国家级自然保护区植被类型丰富,拥有大面积的温带落叶阔叶林,区内栖息繁衍的野生动物有 120 余种. 属种丰富的生物群落对维持生态平衡、拯救濒于灭绝的珍稀生物种源、改善人类生存生活环境具有重要意义. 防风固沙功能高等级的区域主要分布于板桥镇-芝阳镇的高海拔地区. 该地区多为坡度较大的山区及丘陵地带,周边地形起伏度高,土壤易受到侵蚀,加之该地区村落密集,耕地占比较大,做好

防风固沙工作有助于改善该地区的生态环境和农业生产基础条件.

3.2 生态敏感性评价

评价结果显示,韩城市生态敏感性等级总体较高,呈现由北向南、由高海拔向低海拔降低的趋势,高和较高等级区域面积占比 81.1%,低和较低等级区域面积占比 8.24%(图 3、表 6). 在生态敏感性评价中土地沙化占主导作用,其次为石漠化. 土地沙化以高及较高

表 5 生态系统服务功能评价结果面积统计表

Table 5 Area statistics of ecosystem service function evaluation

指标	低		较低		中等		较高		高	
	面积/km ²	占比/%								
水源涵养功能重要性	941.65	59.16	381.28	23.95	168.28	10.57	73.55	4.62	26.98	1.70
水土保持功能重要性	1086.10	72.39	69.05	4.60	145.19	9.68	139.91	9.32	60.15	4.01
防风固沙功能重要性	1140.92	76.04	240.99	16.06	90.02	6.00	24.55	1.64	3.92	0.26
生物多样性维护重要性	319.30	20.06	340.80	21.41	245.64	15.43	257.53	16.18	428.47	26.92
生态系统服务功能重要性	271.28	17.04	315.45	19.82	273.58	17.19	289.43	18.18	442.00	27.77

表 6 生态敏感性评价结果面积统计表

Table 6 Area statistics of ecological sensitivity evaluation

指标	低		较低		中等		较高		高	
	面积/km ²	占比/%								
水土流失敏感性	288.99	19.26	388.84	25.92	450.59	30.03	284.74	18.98	87.24	5.81
土地沙化敏感性	34.78	2.32	180.31	12.02	366.21	24.41	408.87	27.25	510.23	34.01
石漠化敏感性	138.52	8.70	271.73	17.07	395.32	24.84	515.09	32.36	271.08	17.03
生态敏感性	112.95	7.10	18.10	1.14	169.78	10.67	567.36	35.64	723.55	45.46

等级为主, 占总面积的 61.26%, 主要分布在桑树坪镇、西庄镇、板桥镇东部及龙门镇、金城街道、新城街道部分地区, 主要成因与干旱和风沙气候有关, 这些区域干燥度指数或起风沙天数占比较高。石漠化高和较高等级的区域占总面积的 49.39%, 主要集中在西部黄龙山地区及东北部黄河沿岸地区, 由地形坡度因素催化, 坡度越高, 石漠化等级越高, 再加上东北部黄河西岸、桑树坪镇中部及芝阳镇北部钙质石质土影响, 这些区域中的高石漠化区域更为密集。水土流失高等级区域主要分布于板桥镇及芝阳镇西部地形起伏度大的地区, 这与防风固沙功能指示的高等级区域是一致的, 同样以地形为主导因素, 意味着该地区水土流失主要受风力侵蚀影响。

3.3 生态保护重要性评价

综合生态系统服务功能与生态敏感性, 得到生态保护重要性评价结果, 如图 4 所示。韩城市的生态保护重要性呈现出以“一区”为核心向东部扩大的格局。“一区”指黄龙山褐马鸡国家级自然保护区, 它是凿开河的源头和韩城市水源涵养地, 也是主要的森林地区,

是韩城市生态保护重要性的核心。如表 7 所示, 生态保护高等级区域占研究区总面积的 52.51%, 包括国家级自然保护区、重要湿地、重要物种分布区等, 主要分布在桑树坪镇、西庄镇、板桥镇北部、龙门镇西部和芝阳镇西部。生态保护较高等级区域占研究区总面积的 24.51%, 主要分布在芝川镇、芝阳镇东部、板桥镇南部以及整个黄河湿地自然保护区。

表 7 生态保护重要性评价结果占韩城市总面积比例统计表

Table 7 Area statistics of Hancheng City based on ecological protection importance evaluation result

等级	低	较低	中等	较高	高
面积/km ²	84.99	160.9	119.9	390.08	835.87
比例/%	5.34	10.11	7.53	24.51	52.51

3.4 重要基本指标分析

在对组成指标与目的指标综合评价的基础上, 分析各基本指标的贡献程度。定义组成指标等级为高和较高的区域为生态保护重点区域, 统计各基本指标在生态保护重要区中的面积所占比例, 详见表 8。结果

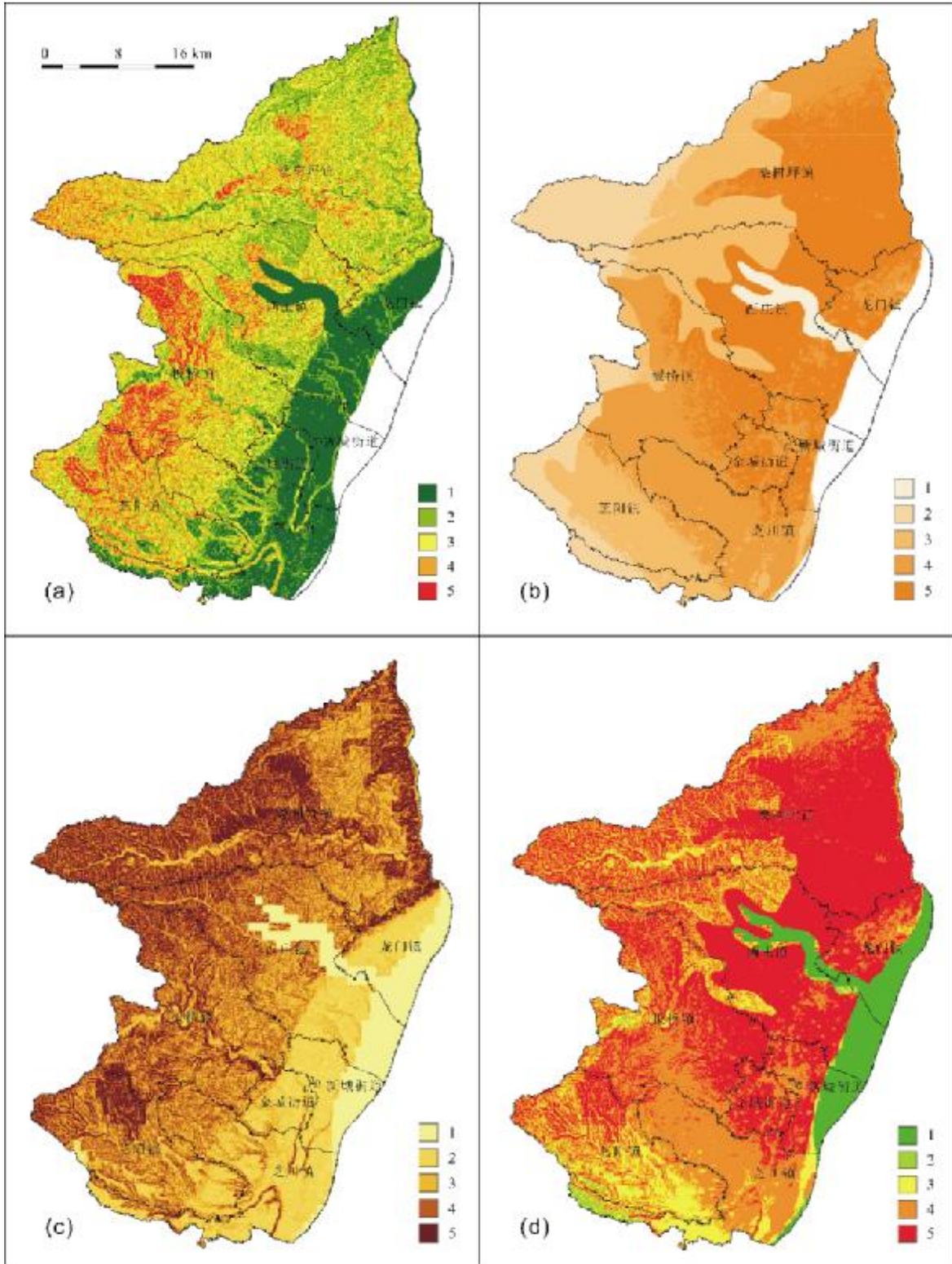


图 3 生态敏感性评价结果

Fig. 3 Evaluation results of ecological sensitivity

a—水土流失敏感性 (soil and water loss sensitivity); b—土地沙化敏感性 (land sandification sensitivity); c—石漠化敏感性 (rocky desertification sensitivity); d—生态敏感性(ecological sensitivity); 1—低(low); 2—较低(relatively low); 3—中等(moderate); 4—较高(relatively high); 5—高(high)

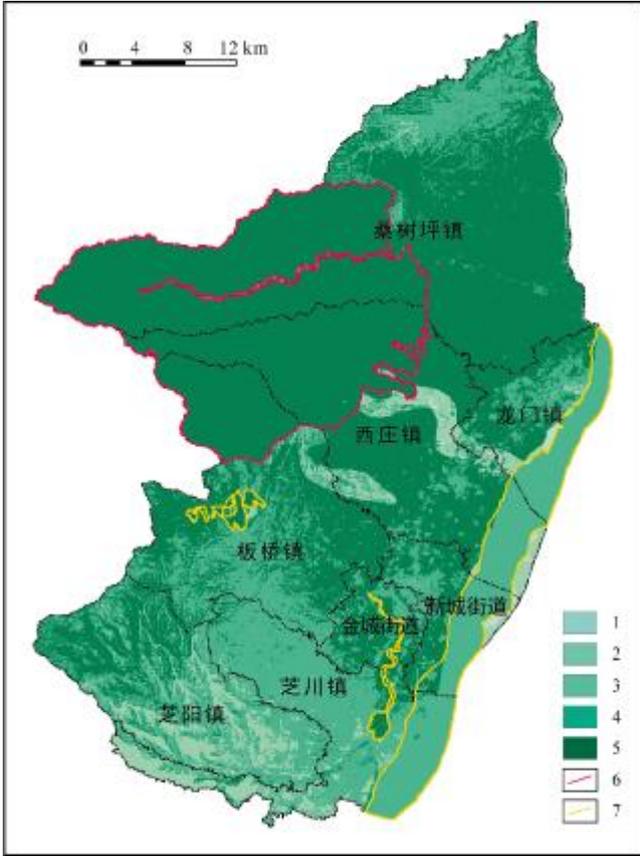


图 4 生态保护重要性评价结果

Fig. 4 Evaluation results of ecological protection importance
 1—低 (low); 2—较低 (relatively low); 3—中等 (moderate); 4—较高 (relatively high); 5—高 (high); 6—国家级自然保护区界线 (boundary of national nature reserve); 7—省级自然保护区界线 (boundary of provincial nature reserve)

显示对韩城市生态保护重要性影响较高的指标为土地沙化、石漠化和生物多样性维护功能,其面积所占比例分别为 29.78%、25.47%、22.23%,说明土地沙化敏感性指标对韩城市生态保护重要性贡献最大,其次为石漠化敏感性和生物多样性维护功能重要性.在进行生态保护过程中,韩城市应从防止土地沙化、石漠化和开展生物多样性维护不同角度有针对性地开展生态保护与

环境治理工作.

4 结论

1)本研究采用最大因子法对韩城市生态保护重要性基础指标进行定量分析,认为韩城市生态资源优势明显,生态保护高等级的区域面积为 835.87 km²,所占比例为 52.51%,主要分布在黄龙山自然保护区及其以东和以南的部分区域.建议在评价等级为高和较高区域中,以黄龙山及黄河湿地保护区为核心实施以保护为主导的政策,严格管理人员及产业出入,并适当向两区中部扩大保护范围;中等区域可结合资源环境实际特征合理开展经济活动.

2)韩城市生态系统服务功能总体较高,呈现出由西向东逐渐减小趋势.其中水源涵养、水土保持与生物多样性维护功能重要性高和较高等级区主要分布在韩城市西北部黄龙山自然保护区、板桥镇和芝阳镇西部地区.防风固沙高等级的区域主要分布于板桥镇—芝阳镇的高海拔地区,呈分散分布状态.生物多样性维护功能重要性对生态保护重要性影响较大,建议以自然保护区为核心,迁地保护、建立基因库与加强法规宣传多措并举,保持现有物种丰富度以维持生态平衡.

3)生态敏感性高等级地区占研究区总面积的 45.46%,以土地沙化为主导作用.土地沙化高等级地区主要集中在桑树坪镇东部—龙门镇—西庄镇东部—板桥镇东部地区.石漠化敏感性高等级地区分布于西部黄龙山高海拔地区、东北部黄河沿岸以及西南部钙质石质土发育地区.水土流失敏感性高等级区域与防风固沙功能高等级区域高度重叠,这些地区多为坡度大于 25°、土壤可蚀性强、植被覆盖度高的地区.土地沙化和石漠化敏感性对生态保护重要性影响较大,建议根据不同地区生态环境问题有针对性地开展封山育林、固沙工程、调整农林结构及建立资源节约型经济体系等措施.

表 8 生态保护重点区域各基本指标面积所占比例

Table 8 Area statistics of each basic index in key ecological protection area

基本指标	水源涵养功能重要性	水土保持功能重要性	防风固沙功能重要性	生物多样性维护功能重要性	水土流失敏感性	土地沙化敏感性	石漠化敏感性
面积/km ²	100.53	200.06	28.47	686.00	371.98	919.10	786.17
比例/%	3.25	6.47	0.92	22.18	12.03	29.72	25.42

参考文献(References):

- [1] 杨帆, 宗立, 沈珏琳, 等. 科学理性与决策机制: “双评价”与国土空间规划的思考[J]. 自然资源学报, 2020, 35(10): 2311-2324.
Yang F, Zong L, Shen Y L, et al. Scientific rational orientation and decision-making support orientation: The thinking of “double evaluation” and territorial spatial planning [J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(10): 2311-2324.
- [2] 甘良燕. 徽县生态保护重要性评价[J]. 甘肃农业, 2021(6): 63-65.
Gan L Y. Evaluation on the importance of ecological protection in Huixian [J]. Agricultural of Gansu, 2021(6): 63-65. (in Chinese)
- [3] 李杰, 贾坤, 张宁, 等. 基于遥感与生态服务模型的青岛市生态保护重要性评价[J]. 遥感技术与应用, 2021, 36(6): 1329-1338.
Li J, Jia K, Zhang N, et al. Evaluation of ecological protection importance in Qingdao based on remote sensing and ecological service model [J]. Remote Sensing Technology and Application, 2021, 36(6): 1329-1338.
- [4] 钟镇涛, 张鸿辉, 洪良, 等. 生态文明视角下的国土空间底线管控: “双评价”与国土空间规划监测评估预警[J]. 自然资源学报, 2020, 35(10): 2415-2427.
Zhong Z T, Zhang H H, Hong L, et al. Territorial space baseline control from the perspective of ecological civilization: “Double evaluation” and monitoring-evaluation-warning [J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(10): 2415-2427.
- [5] 杨保军, 陈鹏, 董珂, 等. 生态文明背景下的国土空间规划体系构建[J]. 城市规划学刊, 2019(4): 16-23.
Yang B J, Chen P, Dong K, et al. Formation of the national territory development planning system under the background of ecological civilization [J]. Urban Planning Forum, 2019(4): 16-23.
- [6] 祁帆, 贾克敬, 常笑. 在国土空间规划中统筹划定三条控制线的五大趋向[J]. 中国土地, 2019(12): 4-8.
Qi F, Jia K J, Chang X. Five trends in the overall delineation of three control lines in land planning [J]. China Land, 2019(12): 4-8. (in Chinese)
- [7] 李晶, 王媛, 殷守强, 等. 张家口市生态保护重要性评价及主导生态功能分区研究[J]. 土壤通报, 2020, 51(2): 280-288.
Li J, Wang Y, Yin S Q, et al. Evaluation of ecological conservation importance and regionalization of dominant ecological function in Zhangjiakou [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2020, 51(2): 280-288.
- [8] 林子雁, 肖焱, 史雪威, 等. 西南地区生态重要性格局研究[J]. 生态学报, 2018, 38(24): 8667-8675.
Lin Z Y, Xiao Y, Shi X W, et al. Assessment of the ecological importance patterns in southwest China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(24): 8667-8675.
- [9] 周道静, 徐勇, 王亚飞, 等. 国土空间格局优化中的“双评价”方法与作用[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(7): 814-824.
Zhou D J, Xu Y, Wang Y F, et al. Methodology and role of “Double Evaluation” in optimization of spatial development pattern [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, 35(7): 814-824.
- [10] 宋志, 韩剑侠, 倪化勇, 等. 四川省成-德-眉-资同城化建设国土空间开发保护规划研究[J]. 中国地质, 2023, 50(4): 1044-1057.
Song Z, Han J X, Ni H Y, et al. Research on the development protection planning of the national space in the Chengdu-Deyang-Meishan-Ziyang urban group constructions [J]. Geology in China, 2023, 50(4): 1044-1057.
- [11] 岳文泽, 吴桐, 王田雨, 等. 面向国土空间规划的“双评价”: 挑战与应对[J]. 自然资源学报, 2020, 35(10): 2299-2310.
Yue W Z, Wu T, Wang T Y, et al. “Double evaluations” for territorial spatial planning: Challenges and responses [J]. Journal of Natural Resources, 2020, 35(10): 2299-2310.
- [12] 牛晓楠, 倪欢, 陈国光, 等. 福建省生态保护重要性评价[J]. 生态学报, 2022, 42(3): 1130-1141.
Niu X N, Ni H, Chen G G, et al. Evaluation of ecological conservation importance of Fujian Province [J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(3): 1130-1141.
- [13] 方一舒, 祖健, 艾东, 等. 面向国土空间规划的昆明市生态保护重要性评价[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(3): 152-163.
Fang Y S, Zu J, Ai D, et al. Research on evaluation of the importance of ecological protection in Kunming City oriented to spatial planning [J]. Journal of China Agricultural University, 2021, 26(3): 152-163.
- [14] 罗巧灵, 马杰, 郑振华, 等. 国土空间规划背景下市县生态保护重要性评价实践探索——以武汉市江夏区为例[J]. 中国园林, 2022, 38(6): 97-102.
Luo Q L, Ma J, Zheng Z H, et al. Study on the evaluation of ecological protection importance in cities and counties under the background of national land spatial planning: A case study of Jiangxia District of Wuhan [J]. Chinese Landscape Architecture, 2022, 38(6): 97-102.
- [15] 王思源, 赵敏敏, 闫晶, 等. 川藏铁路西藏昌都段生态保护重要性评价[J]. 现代地质, 2021, 35(1): 234-243.
Wang S Y, Zhao M M, Yan J, et al. Evaluation on the importance of ecological protection in Changdu section of the Sichuan-Tibet railway [J]. Geoscience, 2021, 35(1): 234-243.
- [16] 孙立超, 郭露露, 全嘉美, 等. 面向国土空间规划的生态保护重要性评价——以内蒙古东部地区兴安盟为例[J]. 中国农业大学学报, 2022, 27(7): 210-220.
Sun L C, Guo L L, Quan J M, et al. Evaluation of the importance of ecological protection oriented toward territorial and spatial planning: A case study of Xing'an League in the Eastern Inner Mongolia [J]. Journal of China Agricultural University, 2022, 27(7): 210-220.
- [17] 李龙, 吴大放, 刘艳艳, 等. 生态文明视角下喀斯特地区“双评价”研究——以生态敏感区宁远县为例[J]. 自然资源学报, 2020, 35(10): 2385-2400.

- Li L, Wu D F, Liu Y Y, et al. "Double evaluations" of karst area from the perspective of ecological civilization: A case study of Ningyuan in ecologically sensitive area [J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(10): 2385-2400.
- [18]刘莹. 县域国土主体功能区划分初探——以陕西省韩城市为例[D]. 西安: 西北大学, 2009.
- Liu Y. Preliminary study on the division of the main functional areas of county land: A Case study of Hancheng City, Shaanxi Province [D]. Xi'an: Northwest University, 2009. (in Chinese)
- [19]耿笛, 梁亮, 黄婷, 等. 利用改进的 CASA 模型估算城市尺度 NPP——以徐州城区为例[J]. *测绘通报*, 2021(1): 78-83, 89.
- Geng D, Liang L, Huang T, et al. Estimation of urban scale NPP by using improved CASA model: Taking Xuzhou City as an example[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2021(1): 78-83, 89.
- [20]王连喜, 李萌萌, 李琪, 等. 基于 CASA 模型的陕西省 NPP 遥感估算[J]. *西部林业科学*, 2015, 44(2): 74-79.
- Wang L X, Li M M, Li Q, et al. Remote sensing estimation of NPP in Shaanxi Province based on CASA model[J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2015, 44(2): 74-79.
- [21]张颖, 刘平辉, 朱传民, 等. 基于 NPP 的抚州市生态系统服务功能重要性评价[J]. *贵州农业科学*, 2022, 50(2): 133-140.
- Zhang Y, Liu P H, Zhu C M, et al. Evaluation on the importance of ecosystem service function based on NPP in Fuzhou City[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2022, 50(2): 133-140.
- [22]李睿倩, 李永富, 胡恒. 生态系统服务对国土空间规划体系的理论与实践支撑[J]. *地理学报*, 2020, 75(11): 2417-2430.
- Li R Q, Li Y F, Hu H. Support of ecosystem services for spatial planning theories and practices[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(11): 2417-2430.
- [23]Midgley G F. Biodiversity and ecosystem function[J]. *Science*, 2012, 335(6065): 174-175.
- [24]刘世梁, 赵爽, 成方妍, 等. 市域尺度两种生态系统服务评价方法对比研究[J]. *中国生态农业学报*, 2018, 26(9): 1315-1323.
- Liu S L, Zhao S, Cheng F Y, et al. Comparative study on two evaluating methods of ecosystem services at city-scale [J]. *Chinese Journal of Eco-agriculture*, 2018, 26(9): 1315-1323.
- [25]曹叶琳, 宋进喜, 李明月, 等. 陕西省生态系统水源涵养功能评估分析[J]. *水土保持学报*, 2020, 34(4): 217-223.
- Cao Y L, Song J X, Li M Y, et al. Evaluation of ecosystem water conservation function of Shaanxi Province [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2020, 34(4): 217-223.
- [26]汪晓珍, 吴建召, 吴普侠, 等. 2000—2015 年黄土高原生态系统水源涵养、土壤保持和 NPP 服务的时空分布与权衡/协同关系[J]. *水土保持学报*, 2021, 35(4): 114-121, 128.
- Wang X Z, Wu J Z, Wu P X, et al. Spatial and temporal distribution and trade-off of water conservation, soil conservation and NPP services in the ecosystems of the loess plateau from 2000 to 2015[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2021, 35(4): 114-121, 128.
- [27]朱趁趁, 龚吉蕊, 杨波, 等. 内蒙荒漠草原防风固沙服务变化及其驱动力[J]. *生态学报*, 2021, 41(11): 4606-4617.
- Zhu C C, Gong J R, Yang B, et al. Changes of windbreak and sand fixation services and the driving factors in the desert steppe, Inner Mongolia[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(11): 4606-4617.
- [28]马琪, 潘秋玲, 涂纯. 生物多样性维护功能评估及其空间尺度效应分析——以陕西省为例[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(8): 1937-1948.
- Ma Q, Pan Q L, Tu C. Spatial scale effect analysis and evaluation of biodiversity maintenance function: Case study of Shaanxi Province [J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(8): 1937-1948.
- [29]欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J]. *生态学报*, 2000, 20(1): 9-12.
- Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. China's eco-environmental sensitivity and its spatial heterogeneity [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(1): 9-12.
- [30]Raupach M R, Haverd V, Briggs P R. Sensitivities of the Australian terrestrial water and carbon balances to climate change and variability? [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2013, 182-183: 277-291.
- [31]赖日文, 赖敏华, 苏艳琴. 长汀县水土流失敏感性时空分异研究[J]. *生态科学*, 2021, 40(6): 116-124.
- Lai R W, Lai M H, Su Y Q. Temporal and spatial differentiation of soil and water loss sensitivity in Changting County [J]. *Ecological Science*, 2021, 40(6): 116-124.
- [32]任利广, 马维伟, 李广, 等. 基于 GIS 的甘肃省农牧交错带土地沙化敏感性时空分布格局[J]. *干旱区资源与环境*, 2022, 36(6): 149-156.
- Ren L G, Ma W W, Li G, et al. Temporal and spatial distribution pattern of land desertification sensitivity in agro pastoral ecotone of Gansu Province[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2022, 36(6): 149-156.
- [33]谢雅婷, 周忠发, 闫利会, 等. 贵州省石漠化敏感区生态红线空间分异与管控措施研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(4): 624-630.
- Xie Y T, Zhou Z F, Yan L H, et al. Study on spatial variation and control measures of ecological red line in rocky desertification sensitive area of Guizhou Province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(4): 624-630.
- [34]章文波, 付金生. 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J]. *资源科学*, 2003, 25(1): 35-41.
- Zhang W B, Fu J S. Rainfall erosivity estimation under different rainfall amount[J]. *Resources Science*, 2003, 25(1): 35-41.