

基于空间信息技术的县域生态环境监测与评价

何玲, 杜哲

(河北农业大学 国土资源学院, 河北 保定 071000)

摘要: [目的] 探究生态环境监测数据精准获取方法, 构建生态环境质量评价指标体系, 为生态环境精准保护提供科学依据。[方法] 基于多源遥感影像数据, 利用 InVEST 模型、裸土植被指数模型、综合指数法等多种模型与方法, 从生态系统质量、生态系统服务、生境压力和环境质量 4 项一级指标及植被覆盖度、固碳能力、道路压力指数、霾指数等 14 项二级指标分析河北省阜平县生态环境质量。[结果] ①生态系统质量一般和较差区分布最广, 集中在东部水库区和西部中山、低山区。②生态系统服务较差区面积最大, 主要分布在县中部和东部。③生境压力较差区比例最高, 以未利用地为主。④环境质量为良的区域在全域均有大面积分布。⑤阜平县生态环境质量整体较好, 一般区广泛分布, 占总面积的 77.04%, 主要为耕地、草地和未利用地。[结论] 基于空间信息技术与多源遥感数据的生态环境监测与评价方法可以快速、有效地反映县域生态环境质量。

关键词: 空间信息技术; 生态系统质量; 生态系统服务; 生境压力; 环境质量; 生态环境质量

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2023)02-0129-10

中图分类号: X821, X835

文献参数: 何玲, 杜哲. 基于空间信息技术的县域生态环境监测与评价[J]. 水土保持通报, 2023, 43(2): 129-138. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.02.016; He Ling, Du Zhe. County scale ecological environmental monitoring and evaluation based on spatial information technology [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(2): 129-138.

County Scale Ecological Environmental Monitoring and Evaluation Based on Spatial Information Technology

He Ling, Du Zhe

(College of Land and Resources, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000, China)

Abstract: [Objective] An accurate acquisition method for ecological environmental monitoring data was studied to construct an evaluation index system of ecological environmental quality in order to provide a basis for precise protection of the ecological environment. [Methods] We used a variety of models and methods (such as the InVEST model, a bare soil vegetation index model, and a comprehensive index method) based on multi-source remote sensing image data. An eco-environmental quality index system was constructed that included four first-level indicators (ecosystem quality, ecosystem services, habitat pressure, and environmental quality) and 14 second-level indicators (such as vegetation cover, carbon sequestration capacity, road pressure index, and haze index) to analyze the ecological environmental quality of Fuping County, Hebei Province. [Results] ① The general and poor ecosystem quality areas were the most widely distributed, and were concentrated in the reservoir area in the east and in the middle and low mountain areas in the west. ② The areas with poor ecosystem services were the largest, and were concentrated in the central and eastern parts of the county. ③ The proportion of areas with poor habitat pressure was the highest, and the area was mainly unused land. ④ The area with good environmental quality was widely distributed over the entire region. ⑤ The eco-environmental quality in Fuping County was generally good, and the general quality area was widely distributed, accounting for 77.04% of the total area, comprised mainly of cultivated land,

收稿日期: 2022-07-28

修回日期: 2022-08-28

资助项目: 河北省省级科技计划资助项目“‘双碳’目标下空间信息技术驱动的生态环境监测及精准保护对策研究”(22554202D)

第一作者: 何玲(1980—), 女(汉族), 河北省保定市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事土地生态与土地信息技术研究。Email: heling@hebau.edu.cn.

通讯作者: 杜哲(1987—), 女(汉族), 河北省保定市人, 硕士, 讲师, 主要从事土地信息技术方面的研究。Email: duzhe@hebau.edu.cn.

grassland, and unused land. [Conclusion] The ecological environmental monitoring and evaluation method based on spatial information technology and multi-source remote sensing data can quickly and effectively reflect the county eco-environmental quality.

Keywords: spatial information technology; ecosystem quality; ecosystem service; habitat pressure; environmental quality; eco-environmental quality

2020年9月,中国提出“碳排放力争于2030年前达到峰值,2060年前实现碳中和”目标,并把碳达峰、碳中和目标纳入生态文明建设整体布局。在此背景下,生态环境保护越来越受到社会各界的广泛重视^[1-2]。生态环境监测与评价为实时掌握生态形势、精准开展生态环境保护、实现生态文明建设提供重要支撑。国内外关于生态环境监测与评价的研究已经有了长足进展^[3-5]。专家学者围绕生态环境评价的指标体系、数据获取方法、评价方法等问题进行了大量研究。指标体系从单一指标转向多因子指标^[6-7],从单一类型生态系统转向复合生态系统,指标体系也呈现多样化特点^[8-11]。国家层面也建立了生态环境评价指标体系,如区域生态质量评价办法(试行2021年)提出了利用生态环境状况指数进行评价。评价方法从定性评价向定量、从静态到动态转变,评价方式也日渐多样化。常见评价方法如综合指数评价法^[12]、灰色关联分析法^[13]、模糊判别法^[14]、人工神经网络等^[15]。生态环境监测与评价所需的数据量庞大,且在时间和空间上具有一定的连续性,传统的生态环境要素监测与评价无法掌握大范围的生态环境问题,难以实现高精度的监测与分析。现代快速发展的涵盖遥感(RS)、全球导航卫星系统(GNSS)和地理信息系统(GIS)的空间信息技术(SIT)综合了遥感影像多源化且获取信息时序短,监测区域范围大,GNSS实地测量机动灵活以及GIS数据管理与时空分析等优势,很好地解决了生态环境监测的数据来源以及评价的关键技术问题,已成为生态环境监测与评价的高新技术手段。生态环境监测与评价成果较多,但未形成一套综合、完整且涉及各种对象和尺度的评价系统模型,不同区域的评价结果缺乏可比性;遥感影像在生态环境评价中的应用较多,但许多评价模型还需要依靠大量的统计数据、土地利用数据等,缺乏空地地协同一体化的监测与评价,需要进一步拓展空间信息技术的应用,构建一套系统科学的生态环境监测与评价体系用于客观、快速、定量评价区域生态环境状况,考核生态环境健康发展的态势^[16-19]。基于此,本研究以县域生态环境监测与评价为例,构建县域客观、快速、定量、综合的生态质量与环境质量一体化指标体系,实现“数据获取—快速处理—即时评价—快速预警—持续监测”的长链条、全周期生态环

境监测指标获取技术,为生态环境保护与治理、生态文明建设与高质量发展提供决策参考。

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

河北省阜平县地处 $38^{\circ}39'—39^{\circ}08'N$, $113^{\circ}45'—114^{\circ}37'E$,太行山脉中段,河北省西部,县域面积 $2\,485.27\text{ km}^2$,地势西北高东南低。全县属暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候,年均气温 $12.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量 $550\sim 790\text{ mm}$,平均年径流量 $5.72\times 10^8\text{ m}^3$ 。县域内高差为 $2\,090\text{ m}$,土壤主要为棕壤、褐土以及亚高山草甸土,水系发达,植被资源丰富,野生高等植物685种,植被类型主要包括寒温性针叶林、温性针叶林、灌草丛、草地和亚高山草甸等。阜平县土地利用类型以未利用地和林地为主,建设用地和水域面积较少。

1.2 数据来源

本研究通过地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>)获取DEM数据及2020年Landsat 8卫星遥感影像;植被净初级生产力(NPP, net primary production)数据来源于美国国家航空航天局网站(<https://modis.gsfc.nasa.gov>)提供的MODIS17 A3数据产品;降水、气温等气象数据来源于研究区13个气象站点;土壤数据来自世界土壤数据库(HWSD)的《中国土壤数据集》;涵盖农村路网的道路数据是基于OpenStreetMap(<http://www.openstreetmap.org>)获取。

2 研究方法

2.1 构建监测指标体系

根据科学性、代表性、实用及操作性强的原则,结合生态环境监测空间信息服务关键技术,按照两个层次构建生态环境监测指标体系框架。一级指标从生态系统质量、生态系统服务、生境压力和环境质量4方面表示生态环境状况;二级指标从植被覆盖度、植被净初级生产力、水域湿地面积比、固碳能力、水源涵养能力、土壤保持能力、防风固沙能力、道路压力指数、耕地和建设用地面积比、生境质量指数、供水服务配置、霾指数、土壤指数、黑臭水体指数14方面^[17-18,20-21]进一步细化(表1)。

2.2 各指标监测及处理方法

2.2.1 遥感图像处理 本研究采用处于植被繁茂期且云量覆盖为 0.65% 的 Landsat 8 遥感影像,成像时间为 2020 年 5 月 22 日。为确保各监测指标计算的精准性,进行影像的辐射定标、FLAASH 大气校正以及裁剪、掩膜等预处理,在此基础上采用监督分类法完成图像解译。参照全国遥感监测土地利用/覆盖分类体系,将其解译为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地 6 类。

2.2.2 生态系统质量 基于植被指数与植被覆盖度的高度相关性,本研究直接采用归一化植被指数(NDVI)来表征植被覆盖度,其基于 Landsat 8 波段反射率(ρ)的数学模型为:

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{R}}) / (\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{R}}) \quad (1)$$

式中: ρ_{NIR} 为近红外波段; ρ_{R} 为红光波段。

利用 ArcGIS 对美国国家航空航天局网站获取的 NPP 进行重采样,实现大栅格像元变为小像元(30 m)。水域湿地面积比则是基于解译结果求算各乡镇水域和湿地类型的面积之和所占比例^[22]。

2.2.3 生态系统服务 基于 InVEST 模型对阜平县固碳服务、产水服务、土壤保持服务进行评估,模型运行过程中各项经验参数主要参照 InVEST 模型应用手册^[23]及现有研究成果确定。在此基础上,利用流速系数、土壤饱和导水率及地形指数对产水服务进行修正得到研究区水源涵养量^[24]。固碳服务、水源涵养、土壤保持服务计算公式依次如下:

$$C_{\text{tot}} = C_{\text{above}} + C_{\text{below}} + C_{\text{soil}} + C_{\text{dead}} \quad (2)$$

式中: C_{tot} 为碳固持服务供给量; C_{above} , C_{below} 分别为地上、地下生物量的碳密度; C_{soil} 为土壤中的碳密度; C_{dead} 为死亡有机物中的碳密度。单位均为 t/hm^2 。

$$Y_i = \left(1 - \frac{\text{AET}_i}{P_i}\right) \times P_i \quad (3)$$

$$\text{TI} = \log_2 \left(\frac{\text{DA}}{\text{SD} \times \text{PS}} \right) \quad (4)$$

$$\text{WR}_i = \min \left(1, \frac{249}{V} \right) \times \min \left(1, \frac{0.9 \times \text{TI}}{3} \right) \times \min \left(1, \frac{K_{\text{sat}}}{300} \right) \times Y_i \quad (5)$$

式中: Y_i 为栅格 i 的年产水量(mm); AET_i , P_i 分别为栅格 i 的年蒸发量(mm)和年降雨量(mm); TI 为地形指数; DA 为集水区栅格数量; SD 为土层深度(mm); PS 为百分比坡度; WR_i 为栅格 i 的水源涵养量(mm); V 为流速系数; K_{sat} 为土壤饱和导水率(mm/d),通过 SPAW 软件计算得到。

$$\text{SC}_i = \text{RKLS}_i - \text{USLE}_i \quad (6)$$

$$\text{RKLS}_i = R_i \cdot K_i \cdot \text{LS}_i \quad (7)$$

$$\text{USLE}_i = R_i \cdot K_i \cdot \text{LS}_i \cdot C_i \cdot P_i \quad (8)$$

式中: SC_i 为栅格 i 的土壤保持量; RKLS_i 为潜在侵蚀量; USLE_i 为实际侵蚀量; R_i 为降雨侵蚀力因子; K_i 为土壤可侵蚀性因子; LS_i 为坡度坡长因子; C_i 为植被覆盖管理因子; P_i 为水土保持措施因子。

参照《区域生态质量评价办法(试行)》,防风固沙量的计算公式为:

$$Q_i = 100 \times \left(0.5 \times \frac{\text{NDVI}_i - 0.05}{0.70} + 0.5 \times \frac{\text{NPP}_i}{\text{NPP}_{\text{max}}} \right) \quad (9)$$

式中: Q_i 为栅格 i 上的防风固沙量; NDVI_i 为评价年全年像元 NDVI 最大值; NPP_i 为评价年全年像元 NPP 累计值; NPP_{max} 为评价区内最好气象条件下的 NPP,选取近 5 a(2016—2020 年)NPP 累积值最大值。

2.2.4 生境压力 在 4 个二级指标中,道路压力指数和供水服务配置数据均是利用 ArcGIS 中的距离分析函数得到;耕地和建设用地图面积比则是基于解译结果求算各乡镇耕地和建设用地的面积之和所占比例;生境质量指数是通过 InVEST 模型获取,具体计算公式为:

$$Q_{xj} = H_j \left[1 - \left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + K^z} \right) \right] \quad (10)$$

式中: Q_{xj} 为土地利用类型 j 中栅格 x 的生境质量; H_j 为土地利用类型 j 的生境适宜度; D_{xj} 为土地利用类型 j 中栅格 x 所受的生境胁迫程度; K 为半饱和系数,一般为栅格单元分辨率的 1/2; z 为归一化常数,通常取 2.5。

2.2.5 环境质量 采用冯海霞等得到的霾指数(DHI)^[25]表征研究区空气质量,表征水体环境质量的指标选取了黑臭水体指数(BOI)^[18],基于 Landsat 8 波段反射率(ρ)的计算模型为:

$$\text{DHI} = \rho_1 - \rho_7 \quad (11)$$

$$\text{BOI} = (\rho_3 - \rho_4) / (\rho_3 + \rho_4 + \rho_2) \quad (12)$$

选取王军战等^[26]建立的裸土植被指数模型(GRABS)计算土壤指数,表征土壤质量:

$$\text{GRABS} = \text{GVI} - 0.09178 \times \text{BI} + 5.58959 \quad (13)$$

式中: GVI , BI 分别为缨帽变换(K-T 变换)后的绿度指数和土壤亮度指数, K-T 变换采用遥感影像处理软件 ENVI 中 Landsat 8 K-T 变换扩展工具来实现。

2.3 生态环境质量监测与评价方法

2.3.1 层次分析法确定权重 以生态环境质量评价为目标层,以生态系统质量、生态系统服务、生境压力和环境质量为准则层,构建判断矩阵确定各指标权重^[27],随机一致性比率 $\text{CR} < 0.10$ 认为具有一致性(表 1)。

表 1 生态环境监测与评价指标体系

Table 1 Ecological environment monitoring and evaluation index system

目标层	准则层	指标层	性质	权重	
				准则层权重	指标层权重
生态环境质量	生态系统质量	植被覆盖度	正向	0.279 3	0.409 9
		植被净初级生产力	正向		0.399 7
		水域湿地面积比	正向		0.189 4
	生态系统服务	固碳能力	正向	0.222 2	0.273 8
		水源涵养能力	正向		0.217 6
		土壤保持能力	正向		0.217 6
		防风固沙能力	正向		0.290 5
		道路压力指数	负向		0.202 5
	生境压力	耕地和建设用地面积比	负向	0.212 4	0.326 3
		生境质量指数	正向		0.306 0
		供水服务配置	正向		0.165 2
	环境质量	霾指数	负向	0.286 1	0.472 2
		土壤指数	正向		0.527 9
		黑臭水体指数	正向		—

注:黑臭水体指数归一化处理后叠加到剔除水体的环境质量计算结果中。

2.3.2 综合指数法开展监测与评价 数据进行极差标准化处理,所有处理结果数值越高表示该项指标质量越好。之后,运用综合指数法进行评价。具体评价模型为:

$$EI_i = \sum_{j=1}^n (A_{ij} \cdot W_{ij}) \quad (14)$$

式中: EI_i 为第 i 个评价单元综合评价值; A_{ij} 为第 i 个评价单元第 j 个指标标准化后分值; W_{ij} 为第 i 个评价单元第 j 个指标权重。

2.3.3 等间隔法确定生态环境质量分级 将评价结果等间隔分 5 个区间,分别为优、良、一般、较差、差区域,指标区间及含义详见表 2。

表 2 生态环境质量等级划分

Table 2 Ecological environment quality classification

级别	指数	状态
优	[80,100]	自然生态优越,生态质量高,服务能力强、稳定,环境压力小,自我调节能力强
良	[60,80)	自然生态相对较好,生态质量较高,服务能力较强、相对稳定,存在生态环境问题
一般	[40,60)	自然生态一般,存在一定生态环境问题,生态功能相对较弱
较差	[20,40)	自然生态差,存在明显的生态环境问题,生态功能脆弱,或生态功能不稳定
差	[0,20)	自然生态严酷,存在突出的生态环境问题,生态功能极脆弱,或生态功能极不稳定

3 结果与分析

3.1 遥感影像解译及数据处理结果

阜平县土地利用类型解译为 6 类(如图 1 所示),经实地验证后进行修正,其分类结果总精度 89%,卡帕系数 0.88。各指标处理并标准化后的结果如图 2 所示。

3.2 生态系统质量监测与评价

基于空间信息技术获取信息的实时性、灵活性、准确性及高效性等优势,及时获取并计算阜平县植被覆盖度和植被净初级生产力指数,结合统计资料计算的水域湿地面积比,得到阜平县生态系统质量状况(图 3)。

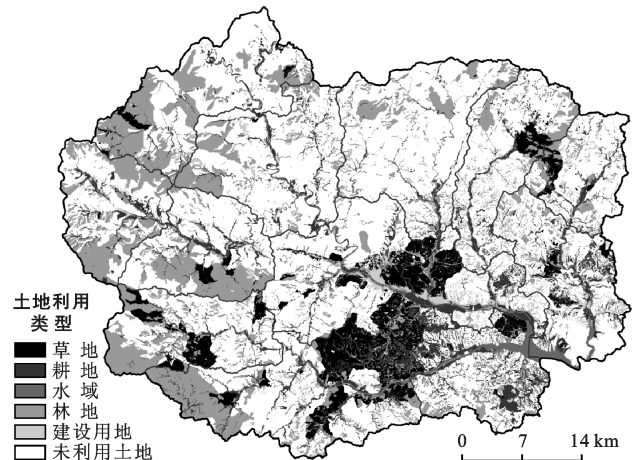


图 1 阜平县土地利用类型

Fig.1 Land use types of Fuping County

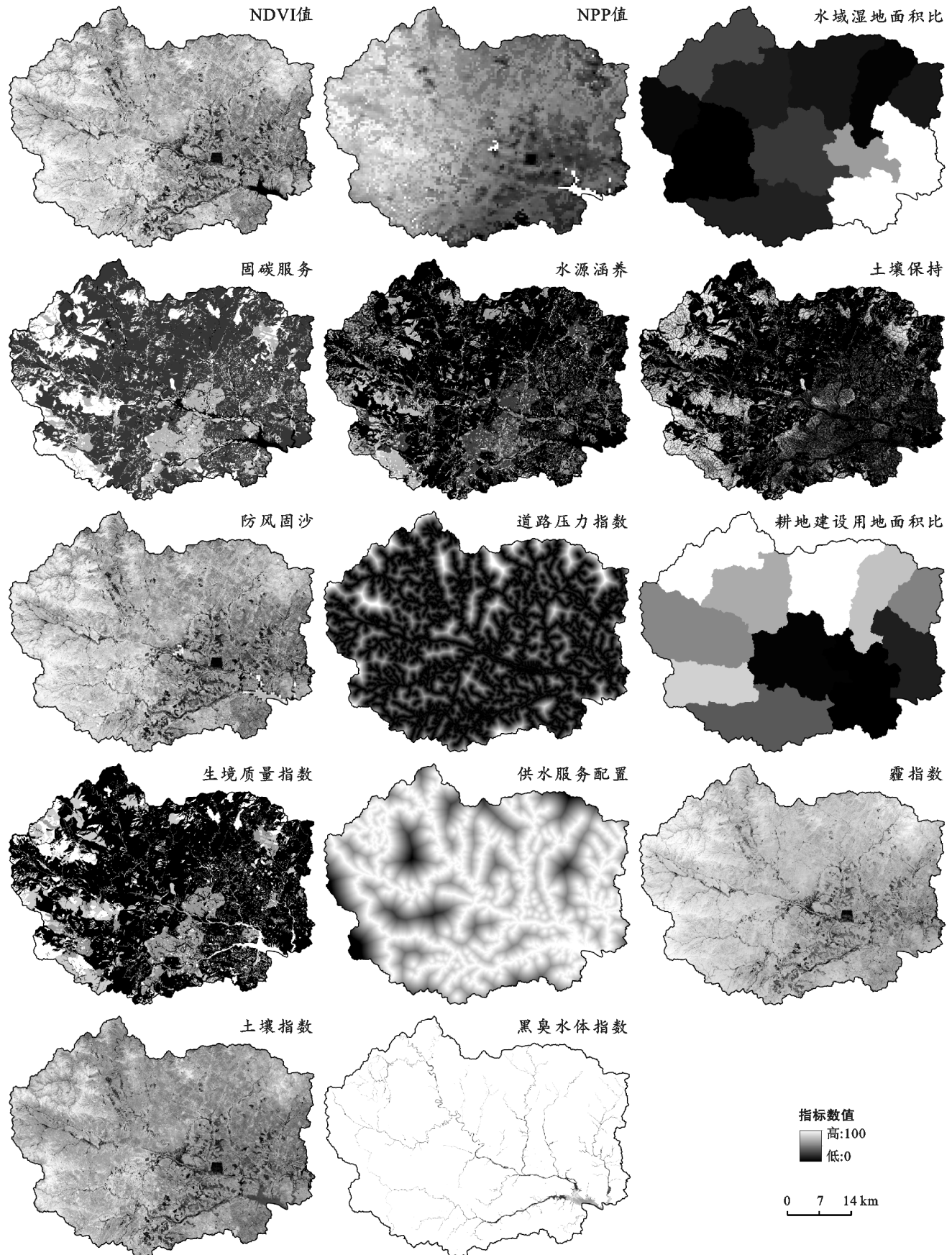


图 2 阜平县指标层数据处理结果

Fig.2 Data processing results of index layer in Fuping County

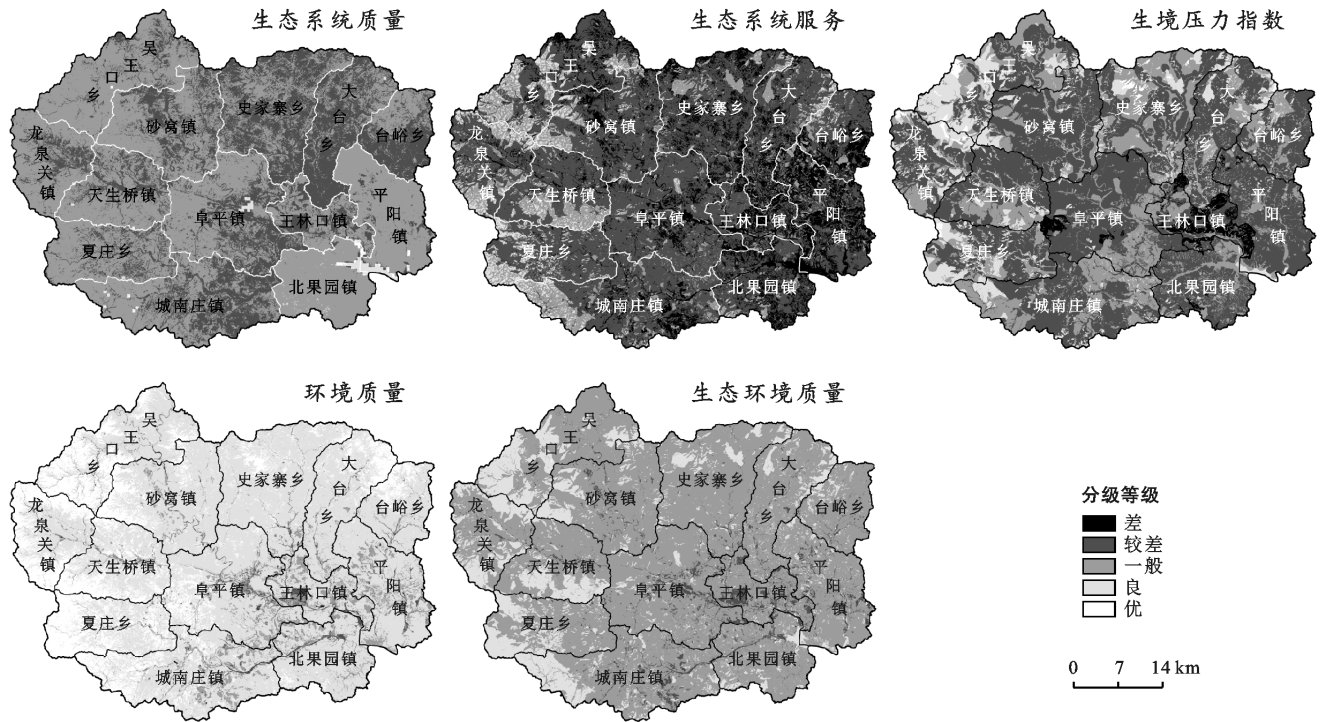


图 3 阜平县生态环境质量评价分级结果

Fig.3 Results of ecological and environmental quality assessment grading in Fuping County

阜平县生态系统质量级别为一般和较差的区域分布最广。该县生态系统质量一般区面积为 163 714.5 hm^2 , 占阜平县总面积的 65.87%, 主要集中在东部水库区和西部中山、低山区, 北果园镇、平阳镇、吴王口乡、夏庄乡等最为集中。北果园镇和平阳镇的水域和湿地面积分布相对大, 吴王口乡有水域和湿地分布, 同时因海拔最高为 2 282 m, 区内林地分布面积广, 植被茂密丰富, 西部山区的水热条件利于区域内针叶林、灌草丛、草地和亚高山草甸生长, 生态系统质量相对较好。较差区面积为 82 742.04 hm^2 , 占阜平县总面积的 33.29%, 主要为史家寨乡、大台乡和城南庄镇。该区域内水域和湿地面积小, 未利用地分布广泛, 区内地势平坦, 土壤质量较差, 植被覆盖度较低, 植被净初级生产力相对较差。阜平县生态系统质量级别为优和良的乡镇较少, 面积为 2 067.93 hm^2 , 区内以水域和湿地为主。生态系统质量级别为差的区域仅在史家寨乡、阜平镇、城南庄镇、砂窝镇、大台乡、龙泉关镇和天生桥镇有零星分布, 总面积仅为 2.79 hm^2 (图 4)。

3.3 生态系统服务监测与评价

固碳能力、水源涵养能力、土壤保持能力、防风固沙能力均通过遥感影像解译获取基础数据, 经计算获得监测结果 (图 3)。

由图 4 可以看出, 阜平县生态系统服务优与良的区域较少, 面积共 11 321.10 hm^2 , 主要集中在夏庄

乡、吴王口乡、龙泉关镇和天生桥镇。该区域海拔高, 植被以针叶林、灌草丛、草地和亚高山草甸为主, 地表植被茂密, 固碳能力和防风固沙能力较强, 但由于植被根系浅、坡度大, 水源涵养和土壤保持能力较差。级别为一般的区域全县均有分布, 主要集中在优与良的区域外围。

阜平县生态系统服务级别为较差和差的区域分布最广。生态系统服务较差区面积为 150 685.50 hm^2 , 全县各乡镇均有大面积分布, 县中部和东部分布最广, 最低指数值为 4.48。级别为差的区域占阜平县总面积的 20.89%, 主要分布在县东部和中部区域。低值区内未利用地分布广泛, 植被覆盖度较低; 区域内也有耕地分布, 部分耕地仅种植一季夏玉米, 获取影像时尚未开始种植, 导致地表植被较少, 固碳、水源涵养、土壤保持和防风固沙能力相对较低, 最终生态系统服务能力整体较低 (图 4)。

3.4 生境压力监测与评价

道路压力指数、耕地和建设用地面积比、生境质量指数、供水服务配置能力均通过遥感影像解译获取基础数据, 结合距离分析和模型得到生境压力监测结果 (图 3)。阜平县生境压力优与差的区域较少, 级别为优的区域主要集中在县域北部和西部的吴王口乡、史家寨乡和龙泉关镇, 总面积仅有 1 624.86 hm^2 , 该区域路网稀疏, 道路压力相对较小, 耕地和建设用地区域小, 区域内人为影响相对较低, 生境质量高值区

有一定面积分布。级别为差的区域主要集中在王林口镇,最低指数值为 12.08,该区域路网密集,交通道路带来的生境压力大,区内海拔低,地势平缓,耕地和建设用地等人类活动频繁的地类分布广;区内有水域和湿地分布,供水能力较强,生境质量指数相对周边乡镇较高,但综合各因素该镇最终生境压力相对较大。阜平县生境压力级别为较差的区域分布最广,面积为 141 116.40 hm²,占阜平县总面积的 56.78%,主要集中在阜平镇、砂窝乡、平阳镇、城南庄镇等地,其

他乡镇也均有分布。较差值区以未利用地为主,路网较密集,水域资源相对丰富,有一定的供水能力,区内植被覆盖度低,生境质量指数偏低。生境压力良和一般区集中在县西部、北部和南部,其他乡镇也均有分布。县域西部地形以中山为主,海拔 800 m 以上,植被覆盖率较高且耕地较少、道路较少,区内生境压力较小。县域北部路网稀疏,耕地和建设用地少,有供水能力,生境质量较好,县南部道路相对少且有地表供水,整体生境压力较好(图 4)。

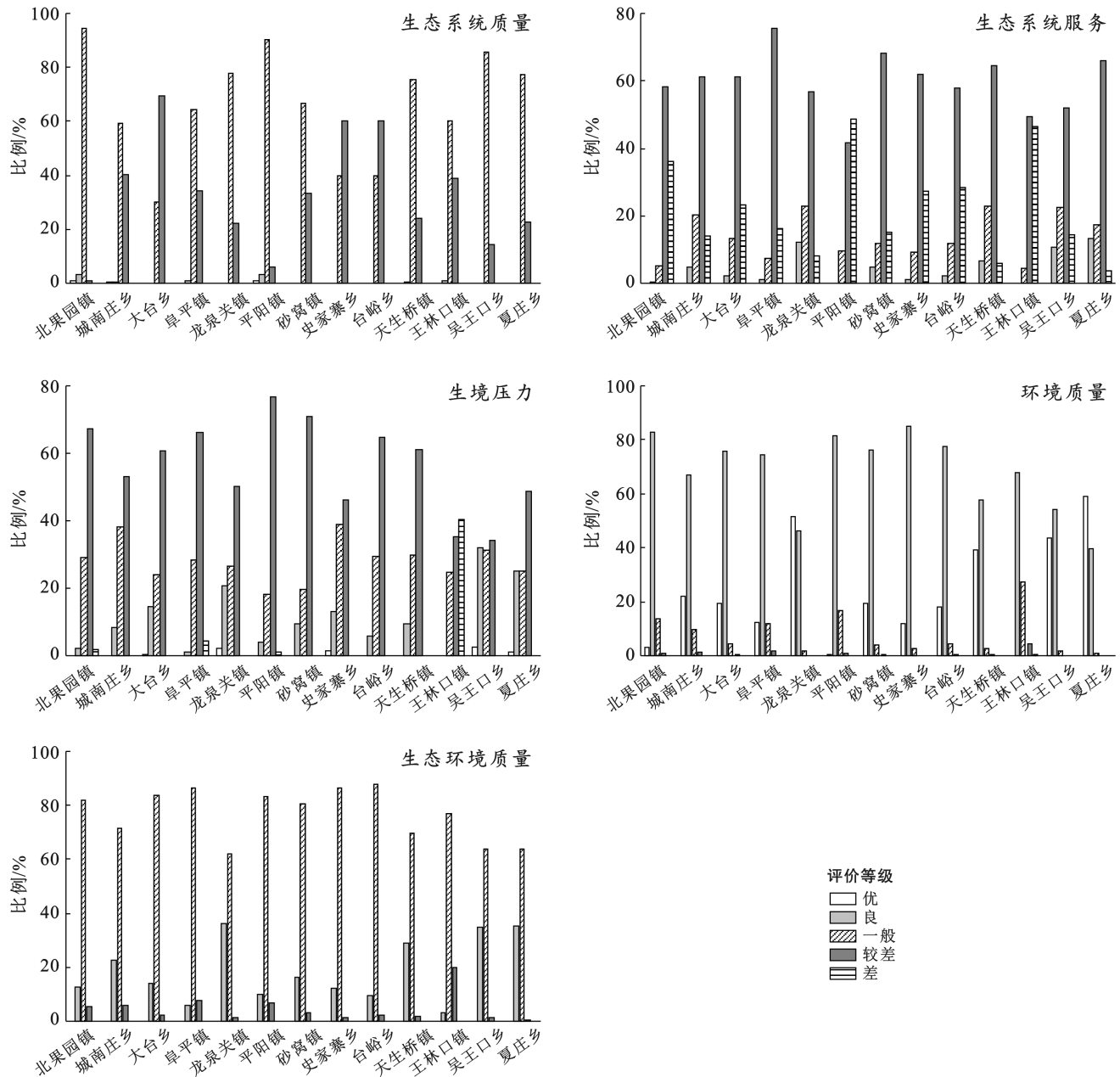


图 4 阜平县生态环境质量评价分乡镇统计结果

Fig.4 Township statistical results of ecological environment quality assessment at township scale in Fuping County

3.5 环境质量监测与评价

霾指数和土壤指数综合体现了环境质量,黑臭水

体进一步说明水体质量(图 3)。阜平县环境质量级别为良的乡镇分布最广,面积为 171 044.60 hm²,占

阜平县总面积的 68.15%，全域均有大面积分布。级别为优的区域总面积为 57 473.28 hm²，主要集中在县域西部和北部。这些区域地形主要是中山和低山，空气质量好，标准化后的霾指数高；区域内植被茂盛，绿度高亮度低，土壤指数高，整体环境质量好。环境质量一般的区域主要集中在县东南部，主要是未利用地和耕地分布，获取影像时部分耕地尚未种植，地表植被相对较少，绿度低亮度高导致土壤指数偏低，标准化后的霾指数相对较低。环境质量差和较差区域面积较少，两区域总面积仅为 1 926.63 hm²，最低值指数为 0，零星分布在王林口镇、阜平镇、城南庄镇和平阳镇等地，区域内建设用地面积广，居住聚集，人口密度较大，空气质量较差，标准化后的霾指数和土壤指数均较低(图 4)。通过黑臭水体的遥感反演，可实时监测水体质量，及时采取保护与治理措施。黑臭水体指数高表征水体质量好，阜平县河湖水面的黑臭水体指数具有一定的空间异质性，但未呈规律性变化。县域内水库的黑臭水体指数较高，说明水质较好。

3.6 综合生态环境质量监测与评价

阜平县生态环境质量整体较好(图 3)，各乡镇存在差异(图 4)。生态环境质量优和良的区域面积分别为 37.26 和 46 436.76 hm²，共占总面积的 18.69%，以林地和水域为主，主要集中在吴王口乡、龙泉关镇、天生桥镇、夏庄乡等西部山区、史家寨乡等北部丘陵区、北果园镇等东部水库和水域分布地区，即植被覆盖度强，水域面积广，生态多样性丰富，生态系统质量和服务能力较高，人类影响较少，环境质量好的区域。一般区域分布最广，面积为 191 474.55 hm²，占总面积的 77.04%，全县各乡镇均有大面积分布。区域内主要为低山、丘陵及平原区，以耕地、草地和未利用地为主，植被覆盖度、生态多样性、生态系统质量和服务能力一般，受人类影响，环境质量一般。较差和差区域面积分别为 10 575.72 和 2.97 hm²，共占总面积的 4.26%，主要分布在王林口镇、阜平镇、平阳镇和城南庄镇。这部分区域主要为平原和丘陵区，以建设用地为主，道路多、植被少、生态多样性差，人类活动频繁，空气质量和生境质量相对较差，生态系统质量、服务能力、环境质量相对较低，生境压力大(表 3)。

3.7 生态环境保护与治理对策

3.7.1 优良区生态环境保护 这部分区域应以生态环境保护为主，进行全天候、全方位生态环境监测，做到“精准监测—及时评价预警—精准保护”。该区域内林地以保护现有林业资源、恢复和增加森林植被为核心，以科技为先导，以建设生态林为主，适当增加经济林比例，生态林与经济林和乔灌比例按 7：3 规划，

加大山区绿化，提升其土壤保持、水源涵养、固碳、防风固沙等能力，同时保护物种多样性。大沙河、平阳河、胭脂河三大干流河水及其支流和汇入的水库，水环境质量存在差异。水质优良的区域宜加强与水域周边各乡镇精准对接，有序开展岸线规划、护岸整治、河道疏浚、河道拓宽、生态绿化等措施，改善水环境功能，提升河流、水库水环境质量，增强水域供水服务能力，更好地发挥水域内湿地的生态功能。

表 3 阜平县各乡镇生态环境质量综合监测与评价结果统计

Table 3 Statistical results of comprehensive monitoring and evaluation of ecological environment quality in each towns and villages of Fuping County

乡镇	不同生态环境质量等级面积/hm ²				
	优	良	一般	较差	差
北果园镇	1.35	1 996.65	12 849.66	833.49	0.27
城南庄镇	2.97	6 126.39	19 579.68	1 629.45	0.27
大台乡	0.90	2 443.95	14 817.60	395.28	0.09
阜平镇	0.09	1 566.36	23 371.38	2 117.34	0.45
龙泉关镇	5.40	5 428.80	9 271.89	210.06	0.27
平阳镇	0.72	1 866.69	15 421.86	1 244.16	0.36
砂窝镇	0.00	3 814.02	18 660.87	720.00	0.09
史家寨乡	0.09	3 169.44	22 731.03	401.31	0.27
台峪乡	0.45	1 099.35	9 962.28	271.35	0.09
天生桥镇	5.67	4 729.32	11 431.53	277.74	0.36
王林口镇	0.00	331.29	8 131.50	2 088.00	0.18
吴王口乡	18.45	7 874.28	14 455.98	272.97	0.27
夏庄乡	1.17	5 990.22	10 789.29	114.57	0.00
合计	37.26	46 436.76	191 474.55	10 575.72	2.97

3.7.2 一般区生态环境修复 该区域应以“自然修复+辅助再生”为主引导生态建设，做到“精准监测—及时评价预警—低碳施策”。经实地调查，区域内耕地主要是城乡建设用地增减挂钩项目中复垦的梯田，复垦后质量主要为 10~13 等，耕地等别较低，质量偏差。对于耕地首先应保证全年种植，做到不撂荒；其次，以提升耕地质量为目标，深施肥料，提高土壤有机质含量，提升耕地产能进而提升植被覆盖、土壤保持、固碳等能力。位于丘陵、平原的未利用地和草地，坡度一般低于 15°，地表物质紧实度高，植被主要类型为乔灌草组合，有效土层厚度大于 50 cm。该区域宜开发为梯田，结合引水、生物护坡、客土措施，提升区域供水服务、植被覆盖、耕地面积、土壤绿度和湿度等生态系统质量、生态服务能力和环境质量，降低生境压力。位于中山、低山的未利用地和草地，坡度一般大于 15°，地表物质组成较简单，紧实度一般，植被主要类型为其他草地和灌木，土层厚度在 20~50 cm。该区域宜植草造林、土壤改良、提升生境质量和生态服

务能力。对于区域内坡度大的高陡边坡,宜根据地表岩石裸露程度、岩石类型、坡度、坡向等外部条件,从能源耗费、经济投入、施工难度、生态修复效果等方面综合考量,以“降下来—绿起来—美起来”为主线,采取喷播复绿、植生孔和植生袋等低碳治理方法增加绿色植被实现生态修复与辅助再生。

3.7.3 较差和差区生态环境治理 该区域应以“生态修复+辅助再生+低能耗低污染”为主引导生态治理,做到“精准监测—及时评价预警—精准整治”。随着城乡建设用地增减挂钩项目实施,阜平县平原区乡镇人口数量迅速增加,工业生产、基础设施建设、交通车辆、居民生活等造成了一定程度的空气质量下降,生态环境破坏。该区域应进行工业与交通合理布局,解决大气、水污染;增加绿化面积,改善城区与镇区环境;探寻资源能源最有效利用方式,助力生态良性循环;开展生态环境实时监测,提高环境预测与保护能力;最终构建生态宜居乡镇。水域质量为较差和差的部分区域内存养殖现象,宜围绕“生态渔业”建设,开展淡水增殖放流,推进养殖塘生态化改造,降低水产养殖对水环境的影响,推动“洁水”的生态养殖。

4 讨论与结论

4.1 讨论

针对生态环境监测数据量大,时效性强,空间范围广,精度要求高的特点,本研究采用集成 RS,GNSS 和 GIS 的 SIT 技术,结合多源遥感数据和空间分析模型,评价了以河北省阜平县生态环境质量空间分布特征,研究结果与张美丽等^[28]构建的阜平县生态安全格局结果基本一致。分两个层次构建的生态环境监测指标体系及各指标数据获取方法、评价模型能准确、及时反映县域生态环境质量状况。

构建技术先进的生态环境监测数据精准获取技术方法体系,开展生态环境监测与评价是系统开展重要生态空间保护,强化区域生态系统修复的基础,为科学评价区域生态环境状况,促进区域生态环境保护与生态修复工作提供科学支撑。然而,本研究仅从空间规律上分析了阜平县生态环境质量,尚未进行时空格局发展演化研究,未来的工作中会进一步探究生态环境质量的时空演化规律。

4.2 结论

(1) 以植被覆盖度、植被净初级生产力和水域湿地面积比构建生态系统质量评价指标体系。生态系统质量级别为优和良的乡镇较少,面积为 2 067.93 hm²,区域内以水域和湿地地类为主。级别为一般和较差的区域分布最广,共占总面积的 99.16%,主要集中在

东部水库区和西部中山、低山区。级别为差的区域仅有零星分布。

(2) 以固碳能力、水源涵养能力、土壤保持能力、防风固沙 4 个指标表示生态系统服务能力。生态系统服务优与良的区域较少,面积共 11 321.10 hm²,主要集中在夏庄乡、吴王口乡、龙泉关镇和天生桥镇。级别为一般的区域全县均有分布,主要集中在优与良的区域外围。生态系统服务级别为较差和差的区域分布最广,各乡镇均有大面积分布,县中部和东部分布最广,低值区内以未利用地为主。

(3) 以道路压力指数、耕地和建设用地面积比、生境质量指数、供水服务配置能力构建生境压力指数。阜平县生境压力优与差的区域较少,级别为优的区域主要集中在县域北部和西部,面积为 1 624.86 hm²,级别为差的区域主要集中在东部王林口镇。级别为较差的区域分布最广,占总面积的 56.78%,研究区内以未利用地为主。生境压力良和一般等级的区域集中在县西部、北部和南部,其他乡镇也均有分布。

(4) 利用霾指数和土壤指数综合体现环境质量,利用黑臭水体进一步说明水体质量。阜平县环境质量级别为良的乡镇分布最广,占总面积的 68.15%,全域均有大面积分布。级别为优的乡镇主要集中在县域西部和北部,区域内地形以中山和低山为主。环境质量一般的区域主要集中在县东南部,主要是未利用地和耕地分布区域。环境质量差和较差区域面积较少,区域内建设用地面积广,居住聚集,人口密度较大。通过黑臭水体的遥感反演发现,阜平县河湖水面的黑臭水体指数具有一定的空间异质性,但未呈规律性变化。

(5) 生态环境质量优和良的区域主要是林地和水域,该区域应以生态环境保护为主,林地以保护现有林业资源、恢复和增加森林植被为核心,建设生态林;区域内宜开展小流域综合治理,提升水环境质量。生态环境质量一般区域分布最广,占总面积的 77.04%,主要为耕地、草地和未利用地。该区域耕地应提升产能,丘陵、平原区的未利用地和草地宜开发为梯田,中山、低山区的未利用地和草地宜植草造林、土壤改良,高陡边坡宜采低碳治理方法实现生态修复与辅助再生。生态环境质量较差和差区域主要为平原和丘陵区,以建设用地为主,人类活动频繁。该区域应进行工业与交通合理布局,增加绿化面积,探寻资源能源最有效利用方式,转变经济增长方式,提高环境预测与保护能力,构建生态宜居乡镇。

[参 考 文 献]

- [1] 黄贤金,张秀英,卢学鹤,等.面向碳中和的中国低碳国土开发利用[J].自然资源学报,2021,36(12):2995-3006.
- [2] 马莉娟,付强,姚雅伟.我国环境监测方法标准体系的现状与发展构想[J].中国环境监测,2018,34(5):30-35.
- [3] Thompson M A. Determining impact significance in EIA: A review of 24 methodologies [J]. *Journal of Environmental Management*, 1990, 30(3): 235-250.
- [4] Janssen R, Arciniegas G A, Verhoeven J T A. Spatial evaluation of ecological qualities to support interactive land-use planning [J]. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 2013,40(3):427-446.
- [5] 曹文杰,辛瑞瑞,聂国良,等.县级生态环境监测机构监测能力现代化建设的思考[J].环境保护,2022,50(9):68-70.
- [6] 代云豪,管瑶,刘孟琴,等.1990—2020年阿拉尔垦区生态环境质量动态监测与评价[J].水土保持通报,2022,42(2):122-128.
- [7] 张京生,郜梦妍,张煜森,等.黄河湿地国家级自然保护区人类干扰对生境质量的影响及空间优化策略[J].水土保持通报,2022,42(5):140-150.
- [8] 李海龙,于立.中国生态城市评价指标体系构建研究[J].城市发展研究,2011,18(7):81-86,118.
- [9] 彭涛,陈晓宏,王高旭,等.基于集对分析与三角模糊数的滨海湿地生态系统健康评价[J].生态环境学报,2014,23(6):917-922.
- [10] Karr J R. Assessment of biotic integrity using fish communities [J]. *Fisheries*, 1981,6(6):21-27.
- [11] 王桥,赵少华,封红娥,等.国家城镇生态环境综合监测技术体系构建[J].地球信息科学,2020,22(10):1922-1934.
- [12] Ma Jiaojiao, Niu Anyi, Chen Zhiyun. Evaluation of natural ecological environment in Guangzhou City based on remote sensing technology and comprehensive index method [J]. *Journal of Landscape Research*, 2016, 8(3):79-82.
- [13] 都耀庭.聚类分析法在高寒草甸生态系统健康评价中的应用[J].土壤通报,2014,45(2):307-313.
- [14] Cheng Wenju, Xi Haiyang, Sindikubwabo C, et al. Ecosystem health assessment of desert nature reserve with entropy weight and fuzzy mathematics methods: A case study of Badain Jaran Desert [J]. *Ecological Indicators*, 2020,119:106843.
- [15] 李洪义,史舟,沙晋明,等.基于人工神经网络的生态环境质量遥感评价[J].应用生态学报,2006,17(8):1475-1480.
- [16] 欧阳玲,马会瑶,王宗明,等.基于遥感和地理信息数据的科尔沁沙地生态环境状况动态评价[J].生态学报,2022,42(14):1-16.
- [17] 陈元鹏,任佳,王力.基于多源遥感数据的生态保护修复项目区监测方法评述[J].生态学报,2019,39(23):8789-8797.
- [18] 王媛,杜明义,杨柳忠,等.多源遥感数据支持下的城市生态状况评价[J].测绘通报,2021,46(6):16-20.
- [19] 孙建欣,李成芳,雷云龙,等.生态环境多源卫星遥感数据传输系统设计与实现[J].环境与可持续发展,2021(11):16-20.138-142.
- [20] Shao Quanqin, Cao Wei, Fan Jiangwen, et al. Effects of an ecological conservation and restoration project in the Three-River Source Region, China [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2017,27(2):183-204.
- [21] 王军,朱凤敏,杨丹.基于地表覆被变化检测的县域生态环境质量考核生态监测研究[J].测绘与空间地理信息,2018,41(12):54-60.
- [22] 中华人民共和国环境保护部. HJ 192-2015 生态环境状况评价技术规范[S].北京:中国环境科学出版社,2015.
- [23] Sharp R, Douglass J, Wolny S, et al. InVEST 3.9.0 User's Guide [M]. Stanford: The Natural Capital Project, 2020.
- [24] 包玉斌,李婷,柳辉,等.基于 InVEST 模型的陕北黄土高原水源涵养功能时空变化[J].地理研究,2016,35(4):664-676.
- [25] 冯海霞,冯海英,杨立才,等.一种基于 Landsat 8 的城区空气质量监测方法[J].环境污染与防治,2021(1):79-83,90.
- [26] 王军战,鲍艳松,张友静,等. K-T 变换在监测小麦地表参数中的应用[J].地理与地理信息科学,2010(3):29-32.
- [27] 焦立新.评价指标标准化处理方法的探讨[J].安徽农业技术师范学院学报,1999,13(3):9-12.
- [28] 张美丽,李智,张益琛,等.基于生态安全格局的国土空间生态修复关键区域识别,以河北省阜平县为例[J].水土保持研究,2021,28(3):299-307.