

# 2010—2020年农牧交错带生态系统服务与居民福祉的空间关系

——以桑干河流域(山西段)为例

赵艺芳, 原野, 高媛

(山西财经大学 公共管理学院, 山西 太原 030006)

**摘要:** [目的] 探析农牧交错带流域生态系统服务与居民福祉之间的空间关联,为该区生态系统管理服务于社会经济的可持续发展提供决策依据。[方法] 基于修正的生态系统服务价值当量因子法,运用熵权法和聚类分析等方法,探讨了农牧交错带典型区域—桑干河流域(山西段)14个县(区)2010、2015和2020年生态系统服务与居民福祉的空间关联特征。[结果] ①2010—2020年间桑干河流域(山西段)人均生态系统服务价值和居民福祉整体上均呈现上升趋势。研究区人均生态系统服务价值呈现中部和西南部低的空间分布格局;居民福祉水平的高值区则分布在沿桑干河主干道的西南—东北方向上。②研究区生态系统服务和居民福祉的空间关联模式有:高服务高福祉、高服务低福祉、高服务中福祉、低服务高福祉、低服务中福祉、低服务低福祉、中服务高福祉、中服务中福祉。2010—2020年间桑干河流域(山西段)生态系统服务和居民福祉的空间关联模式发生变化的区域主要分布在西南—东北方向上。③桑干河流域(山西段)宜通过积极推进资源型经济转型发展及加强国土空间生态保护与修复等途径提高区域生态系统服务与居民福祉。[结论] 2010—2020年间桑干河流域生态系统服务价值与居民福祉均呈增长趋势,两者的空间关联模式呈现明显的空间分异规律。

**关键词:** 桑干河流域; 生态系统服务; 居民福祉; 空间关联; 农牧交错带

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2023)02-0239-09

**中图分类号:** X171.1, X826, X24

**文献参数:** 赵艺芳, 原野, 高媛. 2010—2020年农牧交错带生态系统服务与居民福祉的空间关系[J]. 水土保持通报, 2023, 43(2): 239-247. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.02.028; Zhao Yifang, Yuan Ye, Gao Yuan. Spatial relationship between ecosystem service and residents' well-being in a farming-pastoral zone during 2010—2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(2): 239-247.

## Spatial Relationship Between Ecosystem Service and Residents'

## Well-being in a Farming-Pastoral Zone During 2010—2020

—A Case Study of Sanggan River (Shanxi Section)

Zhao Yifang, Yuan Ye, Gao Yuan

(School of Public Administration, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan, Shanxi 030006, China)

**Abstract:** [Objective] The spatial relationship between ecosystem service and residents' well-being in a farming-pastoral zone was studied in order to determine the way in which ecosystem management could produce sustainable development of the social economy. [Methods] The spatial relationship and dynamic features of ecosystem service and residents' well-being in fourteen counties (districts) in the Sanggan River basin (Shanxi section), a typical area of the farming-pastoral zone, in 2010, 2015, and 2020 were analyzed by using the entropy weight method and cluster analysis based on the modified equivalent factor method of ecosystem service value. [Results] ① From 2010 to 2020, both the per capita ecosystem service value and residents' well-being in the Sanggan River basin (Shanxi section) showed an upward trend. The lower values

收稿日期: 2022-11-22

修回日期: 2022-12-30

资助项目: 国家自然科学基金项目“黄土区大型露天煤矿复垦高压实土壤有机碳恢复机理研究”(41907408); 山西省高等学校科技创新项目“平朔露天煤矿不同复垦模式生态系统多功能性特征诊断与评价”(2019L0496)

第一作者: 赵艺芳(1997—), 女(汉族), 山西省晋城市人, 硕士研究生, 研究方向为国土空间规划与国土空间生态修复。Email: 972020425@qq.com。

通讯作者: 原野(1989—), 男(汉族), 山西省晋城市人, 博士, 副教授, 主要从事国土空间规划与国土空间生态修复。Email: yuanye2452@163.com。

of per capita ecosystem service occurred in the central and southwest part of the Sanggan River basin, while the high values of residents' well-being were located in the southwest and northeast direction along the Sanggan River channel. ② The spatial correlation models of ecosystem service and residents' well-being in the study area were: high service and high well-being, high service and low well-being, high service and medium well-being, low service and high well-being, low service and medium well-being, low service and low well-being, medium service and high well-being, medium service and medium well-being. From 2010 to 2020, the spatial correlation models of ecosystem services and residents' well-being in the Sanggan River basin (Shanxi section) had changed mainly in the southwest and northeast direction. ③ The Sanggan River basin (Shanxi section) could improve regional ecosystem services and residents' well-being by promoting the transformation and development of resource-based economy and strengthening the protection and restoration of land space ecology. [Conclusion] From 2010 to 2020, the value of ecosystem services and the well-being of residents in the Sanggan River basin have shown an increasing trend, and their spatial correlation patterns show obvious spatial differentiation.

**Keywords: Sanggan River; ecosystem service; residents' well-being; spatial relation; farming-pastoral zone**

生态系统服务(ecosystem service, ES)是指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务<sup>[1]</sup>,而居民福祉(Human well-being, HWB)则是表征人类生活状态及水平的多维概念<sup>[2]</sup>。生态系统服务桥接自然系统与居民福祉,其通过生态过程和功能为人类提供各种产品和服务,而人类则通过对生态系统服务的消费来满足和提高自身福祉<sup>[3]</sup>。进入 21 世纪以来,生态系统的惠益为人类生活水平与幸福感的提升提供了物质基础<sup>[4]</sup>,然而随着社会经济的快速发展,生态系统退化与人类需求提升之间的矛盾不断加剧,生态退化、环境污染、资源紧缺等问题日益凸显<sup>[5]</sup>。探讨生态系统服务与居民福祉关联的科学认知已成为生态学、地理学等学科重要的研究领域。随着“人—地”系统耦合研究的不断深化,学者们的研究从生态系统服务定量测度、生态系统服务权衡协同开始扩展到生态系统服务与居民福祉的关联、耦合<sup>[6]</sup>。从研究尺度上看,学者们的研究揭示了从县域、市域尺度到省域尺度上生态系统服务与居民福祉的关联<sup>[7-9]</sup>;从生态系统视角看,草地生态系统、河流生态系统、城市生态系统与居民福祉关联关系差异显著<sup>[9-11]</sup>;从研究方法上看,生态系统服务价值当量表和 InVEST 模型等被用来测度生态系统服务价值,而人类发展指数<sup>[12]</sup>、生活满意度<sup>[13]</sup>、国家福祉指数<sup>[14]</sup>及全球幸福指数等<sup>[15]</sup>则被用来测度居民福祉水平。总体来看,学者们的研究揭示了不同区域生态系统服务与居民福祉的关系,为区域生态系统管理服务于社会经济的可持续发展提供了参考。然而生态系统服务的水平取决于生态系统功能,而生态系统服务的动态变化则受制于非线性的生态系统结构和功能的变化。因此,不同类型生态系统及其与居民

福祉之间的动态关联特征具有明显的地域特征<sup>[16-17]</sup>。中国北方农牧交错带是保护中国中东部地区免受风沙侵扰的重要生态安全屏障,同时也是区域重要的涵养水带。农牧交错带具有经济形态独特、生态环境脆弱、土地利用受人类活动影响显著等特征<sup>[18]</sup>。由于气候变化、人类不合理开发以及大型生态修复工程(防沙治沙、退耕还林和禁牧封育等)的实施,农牧交错带生态系统经历了显著变化,该区“人—地”互动模式也随社会经济发展显著改变。然而,目前对长时间序列的中国北方农牧交错带的生态系统服务与居民福祉的研究尚未见诸报道。鉴于此,本文以中国北方农牧交错带的桑干河流域(山西段)为研究对象,运用单位面积价值当量因子法、熵权法、聚类分析等方法,探究桑干河流域(山西段)2010—2020 年内生态系统服务与居民福祉的空间关联特征。研究结果可为推动桑干河流域(山西段)生态系统服务从科学认知走向管理决策,加强生态系统服务管理和制定合理的生态补偿方案等提供决策辅助。

## 1 研究区概况

桑干河是京津冀重要的水源涵养区和防风固沙生态屏障带。桑干河发源于山西省北部,属海河水系,为永定河的上游。桑干河自忻州市宁武县管涔山庙儿沟自西南向东北流向大同市阳高县南徐,并在该地出山西省境进入河北省,于官厅水库上游与洋河汇合后注入永定河。桑干河主要支流有源子河、黄水河、浑河、御河等。桑干河流域(山西段)介于东经 112°35′—114°25′,北纬 39°23′—40°15′之间,面积为 16 767 km<sup>2</sup>,干流长 261 km,年降水量为 350~520 mm,天然河川径流量多年平均值为  $5.39 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>。区内主要山脉有恒山、洪涛山、管涔山等。本研究按照流

域界线,将宁武县、朔城区、山阴县、应县、怀仁县、平鲁区、南郊区、新荣区、大同县、浑源县、左云县、广灵县、天镇县、阳高县作为研究区。桑干河(山西段)地处干旱一半干旱过渡带,区内生态环境敏感且脆弱。随着社会经济发展及气候变化,区内生态系统胁迫特征凸显,主要表现为:河流水生态退化、沙化土地面积和土壤侵蚀面积大、历史遗留矿山点多面广、盐碱地范围广且治理难度大。近年来,随着河流生态环境综合治理的实施,区内生态系统服务功能明显向好。然而中长时间尺度上桑干河流域(山西段)生态系统服务与居民福祉关联的空间分异规律尚不明晰。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文的数据主要包括桑干河流域(山西段)土地利用变化数据和社会经济统计数据。桑干河土地利用变化数据(2010,2015 和 2020 年)来自中国科学院资源环境科学与数据中心。社会经济统计数据包括人口、主要农作物播种面积、粮食产量、居民消费价格指数、城镇和农村居民人均可支配收入和蔬菜、水果、水产品占有量等,该类数据来自《2011 年山西省统计

年鉴》《2016 年山西省统计年鉴》《2021 年山西省统计年鉴》《全国农产品成本收益资料汇编》及各县(区)政府统计公报。

2.2 研究方法

2.2.1 桑干河流域(山西段)生态系统服务价值评估方法 目前生态系统服务价值评估主要有两种方法,一种是利用 InVEST 模型对生态系统服务价值进行计算<sup>[19]</sup>,另一种是谢高地在 Costanza<sup>[20]</sup>的基础上确定的生态系统功能当量因子法。InVEST 模型在单项生态系统服务价值的测算及可视化表达上有优势,而生态系统功能当量因子法则在大尺度生态系统服务价值评估上占优。本文利用谢高地等最新的生态系统功能当量表计算桑干河流域(山西段)生态系统服务价值<sup>[21]</sup>。根据研究区的土地利用状况,本文对谢高地等提出的生态系统服务价值当量表进行重新修正(表 1)<sup>[22-23]</sup>。具体修正方法为:由于研究区耕地以旱地为主,因此耕地的生态系统服务价值当量取旱地的生态系统服务价值当量值;林地的生态系统服务价值当量取针叶、针阔混交、阔叶、灌木的平均值;草地取草原、灌草丛、草甸的平均值;水域取湿地和水系的平均值;未利用地取荒漠和裸地的平均值;建设用地生态系统服务的价值当量设为 0。

表 1 桑干河流域(山西段)单位面积生态系统服务价值当量  
Table 1 Ecosystem service equivalent value per unit area in the Sanggan River (Shanxi section) 元/(hm<sup>-2</sup>·a)

项 目		生态系统服务					
		耕 地	林 地	草 地	水 域	建设用地	未利用土地
供给服务	食物生产	0.85	0.25	0.23	0.66	0.00	0.01
	原料生产	0.40	0.58	0.34	0.37	0.00	0.03
	水资源供给	0.02	0.30	0.19	5.44	0.00	0.02
调节服务	气体调节	0.67	1.91	1.21	1.34	0.00	0.11
	气候调节	0.36	5.87	3.19	2.95	0.00	0.01
	净化环境	0.10	1.67	1.05	4.58	0.00	0.31
	水文调节	0.27	3.74	2.34	63.24	0.00	0.21
支持服务	土壤保持	1.03	2.32	1.47	1.62	0.00	0.13
	维持养分循环	0.12	0.18	0.11	0.13	0.00	0.01
	生物多样性	0.13	2.12	1.34	5.21	0.00	0.12
文化服务	美学景观	0.06	0.93	0.59	3.31	0.00	0.05

桑干河流域(山西段)生态系统服务价值测算方法为:

(1) 根据研究区各县(区)的农林业生产特征,选取玉米、大豆和谷子作为主要粮食作物,并根据研究区各县(区)2010,2015 和 2020 年主要粮食作物的平均粮食单产、粮食播种面积、粮食总播种面积和粮食单价,计算研究区 2010,2015 和 2020 年的粮食单产

市场价值(Q)。计算公式为:

$$Q=\frac{m_i p_i q_i}{M}$$
(1)

式中: $m_i$  为第  $i$  种粮食作物的单价;  $p_i$  为第  $i$  种粮食作物的平均粮食单产;  $q_i$  为第  $i$  种粮食作物的播种面积;  $M$  为粮食作物的总播种面积。

(2) 令单位面积(hm<sup>2</sup>)的生态系统服务价值当量

因子的经济价值等于当年平均粮食单产市场价值的 1/7,根据谢高地等提出的中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量和研究区粮食单产及其经济价值,可计算出研究区生态服务单位当量价值( $E_a$ )、单位面积价值( $V_{ci}$ )以及生态系统服务价值(ESV)。计算公式为:

$$E_a=Q/7$$
$$V_{ci}=E_a a_{ci}$$
$$ESV=A_i V_{ci}$$

(2)

(3)

(4)

式中: $Q$  为研究区平均粮食单产市场价值; $a_{ci}$  为第  $c$  类生态系统第  $i$  中生态服务类型的生态服务价值当量; $V_{ci}$  为第  $c$  类生态系统第  $i$  中生态服务类型的单位面积生态服务价值; $A_i$  为第  $i$  类土地利用类型的面积。

(3) 由于经济发展和通货膨胀等因素,根据研究区 2010,2015 和 2020 年的平均消费价格指数计算出当年的购买力指数(以 2010 年作为基期年进行折算)。利用购买力指数对生态系统服务价值进行核算<sup>[24]</sup>,得到桑干河流域(山西段)各县(区)2010,2015 和 2020 年核算后的生态系统服务价值单价(表 2)。

表 2 基于购买力指数核算的桑干河流域(山西段)生态系统服务价值基础单价

Table 2 Base price according to purchasing power indices in the Sanggan River (Shanxi section)			
年份	原始基础单价/元	购买力指数	核算单价/元
2010	1 182.75	1	1 182.75
2015	1 323.98	0.88	1 164.03
2020	2 050.03	0.8	1 639.10

2.2.2 桑干河流域(山西段)居民福祉的评价方法  
基于《千年生态系统评估报告》中的福祉内涵及相关研究<sup>[25-26]</sup>,考虑数据的可得性,本文从收入、物质、安全 3 个维度出发构建了桑干河流域(山西段)居民福祉评价指标体系(利用购买力指数对居民人均可支配收入和城镇居民人均可支配收入进行核算)。在评估中,首先,通过利用极差标准化法对各指标进行标准化处理,并运用熵权法确定各指标权重(表 3)<sup>[27]</sup>;然后,通过加权求和,测算桑干河流域(山西段)各地区的居民福祉指数。

2.2.3 桑干河流域(山西段)生态系统服务与居民福祉空间关系分析方法  
本文用 K-means 聚类分析法来划分生态系统服务与居民福祉的空间关联模式。聚类分析法是基于聚类样本自身属性,按照属性间的相似性或差异性特征,定量识别对象之间的亲疏关系,并以此定量的亲疏关系程度对样本进行聚类。算法流程为:

表 3 居民福祉指标体系

Table 3 Residents' well-being indicator system

一级指标	二级指标	权重
收入	农村居民人均可支配收入	0.11
	城镇居民人均可支配收入	0.10
物质	单位面积粮食产量	0.10
	人均蔬菜占有量	0.15
	人均水果占有量	0.20
	人均水产品占有量	0.15
安全	人均耕地面积	0.10
	人均粮食产量	0.09

(1) 随机选取  $K$  个样本点作为初始聚类中心;  
(2) 计算样本特征向量  $x_i$  和每个聚类中心  $c_j$  的距离,计算公式为:

$$d(x_i, c_j) = \sum_{k=1}^m (x_{ki} - c_{kj})^2$$
$$x_i = [x_{1i}, x_{2i} \cdots x_{mi}]^T, c_j = [c_{1j}, c_{2j} \cdots c_{mj}]^T$$
$$i \in \{1, 2 \cdots n\}, j \in \{1, 2 \cdots K\}, n \text{ 为数据集的样本数}, K \text{ 为聚类的类别数};$$

(5)

(3) 将样本  $x_i$  划分到离他最近的聚类中心所对应的类中;  
(4) 使用样本特征向量的均值,更新各个聚类中心,均值的计算公式为:

$$\bar{x}_G = \frac{1}{|G|} \sum_{i=1}^{|G|} x_i, x_i \in G$$

(6)

式中: $x_i$  为样本特征向量; $|G|$  为类别  $G$  的样本个数;

(5) 重复步骤(2)—(4)直到聚类中心不再变化。

### 3 结果

#### 3.1 桑干河流域(山西段)生态系统服务价值与居民福祉的空间动态特征

(1) 桑干河流域(山西段)生态系统服务价值空间动态特征。  
本文利用 ArcGIS 中的自然间断点分级法将桑干河流域(山西段)14 个县(区)2010,2015 和 2020 年人均生态系统服务价值划分为低、中、高 3 个等级(图 1)。从空间分布看,研究区人均生态系统服务价值的低值区分布在流域的中部、西南部,而其他区域尤其是平鲁区、山阴县、天镇县、阳高县、广灵县等县(区)人均生态系统服务价值较高。流域人均生态系统服务高值区林草地比重大;桑干河干流及其支流(恢河等)流经其中,形成了大片的洪积冲积扇,该区土壤肥沃,湖沼湿地及地下水资源丰富;桑干河自然保护区等高服务生态系统分布其中。2010—2020 年,桑干河流域(山西段)人均生态系统服务价



值发生变化的有 9 个县(区),占研究区全部县(区)的 64%(图 2)。2010—2020 年研究区人均生态系统服务价值总体上呈上升趋势,这与地方政府对生态环境保护和修复的高度重视有关。生态修复前,桑干河流域(山西段)沙化土地面积大(沙化面积占流域总面积的 22.2%)、河流水生态退化、水资源总量匮乏、地表径流量持续减少、流域土壤侵蚀面积占流域总面积的 55%。历史遗留矿山点多面广,对生态系统破坏严重、盐碱地范围广,治理难度大。近年来,大同、朔州、

忻州三市联动,共管共治,全力保障桑干河水生态安全。三市加强专项规划与河流保护相关规划的衔接融合,全面启动实施《桑干河流域生态修复与保护规划》,统筹流域山水林田湖草沙系统治理。区内水环境、水土流失、土壤沙化、土地盐碱化等生态胁迫现象得到显著改善。同时该区大力整顿矿山开采、医药化工等污染环境、破坏生态、过度消耗资源的项目。上述举措显著提高了桑干河流域(山西段)生态系统服务价值。

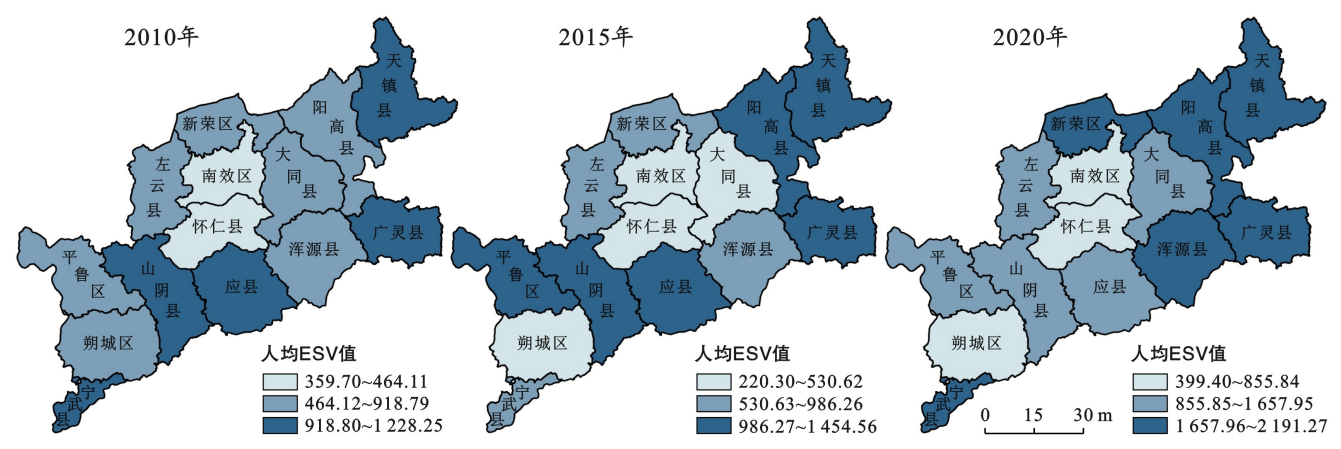


图 1 桑干河流域(山西段)人均生态系统服务价值空间分布

Fig.1 Per capita ecosystem service values of the Sanggan River (Shanxi section)

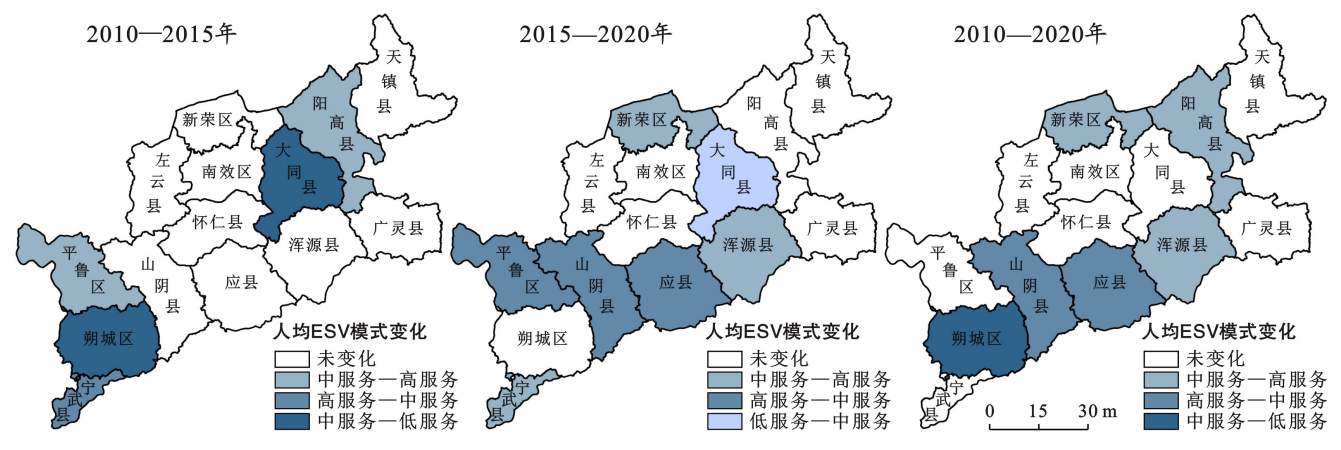


图 2 桑干河流域(山西段)人均生态系统服务价值动态变化

Fig.2 Variation of per capita ecosystem service values in the Sanggan River (Shanxi section)

(2) 桑干河流域(山西段)居民福祉空间动态特征。利用自然间断点分级法将桑干河流域(山西段) 14 个县(区)2010,2015 和 2020 年居民福祉划分成低、中、高 3 个等级(图 3)。2010—2020 年桑干河流域(山西段)居民福祉的高值区分布在沿主干道的西南—东北方向上。山阴县、应县、阳高县、大同县较高,朔城区、怀仁县等次之,其余区域较低。从居民福祉变化看,2010—2020 年桑干河流域(山西段)发生

变化的区域有 9 个县(区),占全部研究区域的 64%(图 4)。10 a 间研究区居民福祉整体呈现上升趋势。朔州市具有典型农牧交错带特征的社会经济结构,其是中国重要的奶牛和肉羊养殖基地,同时也是全国重要的动力煤基地、华北重要的电力基地及全国较大的日用瓷生产基地,区内朔城区、山阴县、怀仁县等县(区)经济发展水平较高,同时,该区大力推广的现代设施蔬菜、羔羊养殖加工园区建设和设施农业建设,逐渐

形成“黑色煤炭、白色乳品、绿色生态”三色循环经济发展模式,充分挖掘生态系统服务价值,惠益了区内居民生活水平与幸福感提升。桑干河流域(山西段)煤炭等矿产资源丰富,区内多为资源主导型经济结构,产业结构发展不均衡,近年来区内社会经济转型发展带来的

“阵痛”降低了区内居民福祉。然而,随着区域现代农业的快速发展,以及大同火山、大同黄花等为主线的特色文化旅游带动了桑干河流域(山西段)经济高质量发展,特别是现代农业、商贸、康养、体育、生态经济等相关产业的相互渗透,促进了区域居民福祉提升。

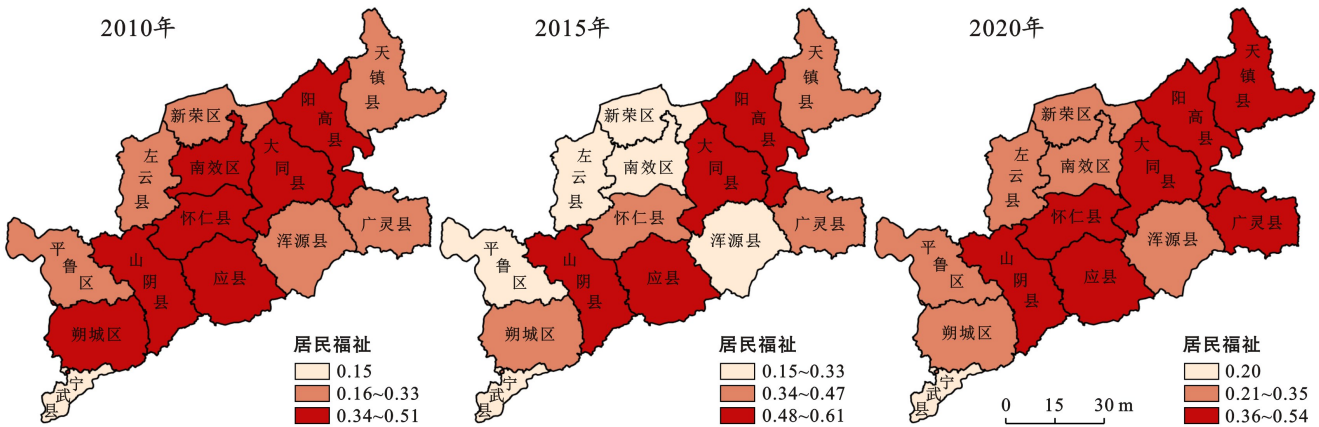


图 3 桑干河流域(山西段)居民福祉空间分布  
Fig.3 Human well-being of the Sanggan River (Shanxi section)

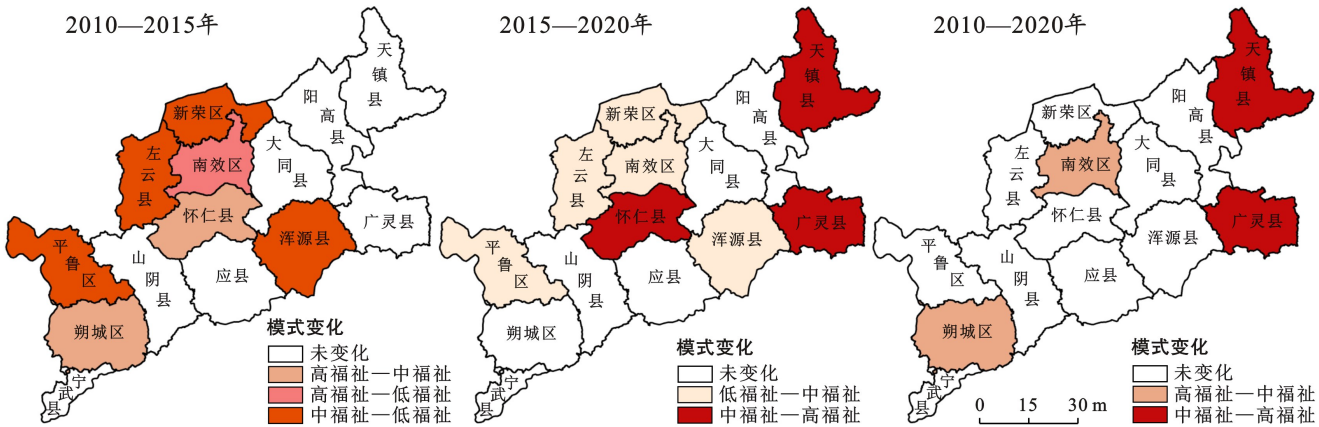


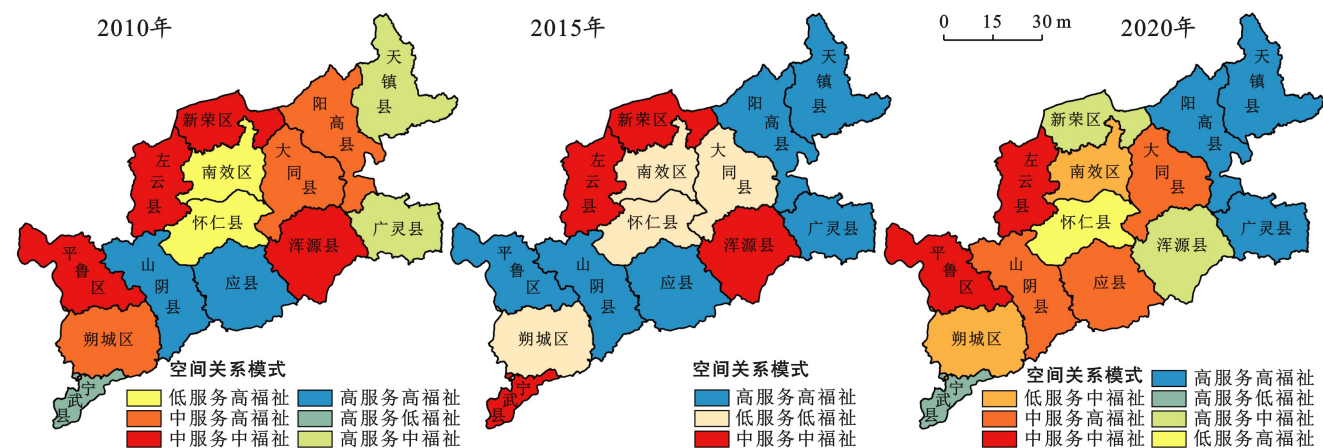
图 4 桑干河流域(山西段)居民福祉动态变化图  
Fig.4 Variation of human well-being in the Sanggan River (Shanxi section)

### 3.2 桑干河流域(山西段)生态系统服务与居民福祉的空间关联模式及其变化

(1) 桑干河流域(山西段)生态系统服务与居民福祉空间关联模式的划分。2010,2015 和 2020 年桑干河流域(山西段)生态系统服务与居民福祉空间关联聚类结果所对应参数详见表 4。根据聚类分析结果,本文将研究时段内桑干河流域(山西段)生态系统服务与居民福祉存在的空间关联模式划分为 8 种:高服务高福祉(HH)、高服务低福祉(HL)、高服务中福祉(HM)、低服务高福祉(LH)、低服务中福祉(LM)、低服务低福祉(LL)、中服务高福祉(MH)、中服务中福祉(MM)(图 5)。2010 年 HH 主要分布于山阴县

和应县,HL 主要分布于宁武县,HM 主要分布于天镇县和广灵县,LH 主要分布于怀仁县和南郊区,MH 主要分布于朔城区、阳高县和大同县,MM 主要分布于平鲁区、左云县、新荣区和浑源县;2015 年 HH 主要分布于平鲁区、山阴县、应县、天镇县、阳高县和广灵县,LL 主要分布于朔城区、南郊区、怀仁县和大同县,MM 主要分布于宁武县、左云县、浑源县和新荣区;2020 年 HH 主要分布于天镇县、阳高县和广灵县,HL 主要分布于宁武县,HM 主要分布于新荣区和浑源县,LH 主要分布于怀仁县,LM 主要分布于朔城区和南郊区,MH 主要分布于山阴县、应县和大同县,MM 主要分布于平鲁区和左云县。

**Table 4** Analysis result of spatial correlation clustering between ecosystem services and human well-being in the Sanggan River (Shanxi section)



**Fig.5 Spatial relationship of ecosystem services and human well-being of the Sanggan River (Shanxi section)**

(3) 桑干河流域(山西段)生态系统服务与居民福祉不同关联模式的发展建议。根据桑干河流域(山西段)生态系统服务与居民福祉的空间关联模式,结合研究区生态环境和社会经济的特征,对不同的空间关联模式提出生态系统管理建议。高服务高福祉、高服务中福祉、中服务高福祉及中服务中福祉区主要有山阴县、应县、天镇县、广灵县、浑源县、左云县等,区内分布有桑干河国家湿地公园、大同火山群国家地质公园、应县木塔等风景名胜区,该区人均生态系统服务价值较高。区内沿桑干河及其支流分布的盆地区则为重要的粮食产区,近年来桑干河(山西段)水生态治理、风沙治理、水土流失治理等举措直接惠益居民福祉的改善和提高。该区宜不断加强旅游与现代农业、商贸、康养、生态经济等相关产业的相互渗透,



积极发展“绿色生态、黑色煤炭、白色乳品”产业模式。而宁武县是高服务低福祉,宁武县作为桑干河的源头,生态系统服务价值高,因其交通不便,经济欠发达,且离经济发达地区较远,导致其居民福祉处于低水平状态,该地区拥有丰富的旅游资源,可加强对旅游资源的宣传,加强基础设施建设,发展生态旅游带动经济发展。桑干河流域(山西段)低服务高福祉、低服务低福祉、低服务中福祉主要分布于南郊区、

怀仁县、朔城区、大同县等县(区)。该区以资源型经济结构为主,受经济结构及自然条件胁迫,该区风沙侵蚀、水土流失、水生态及水环境问题较突出。该区宜在积极推进资源型经济转型发展的同时加强国土空间生态修复,推动污染型企业整改或转型,推进现代农业发展力度,加大如怀仁羔羊肉等地理标志产品宣传推广,产业结构不断优化、生态环境质量不断提升。

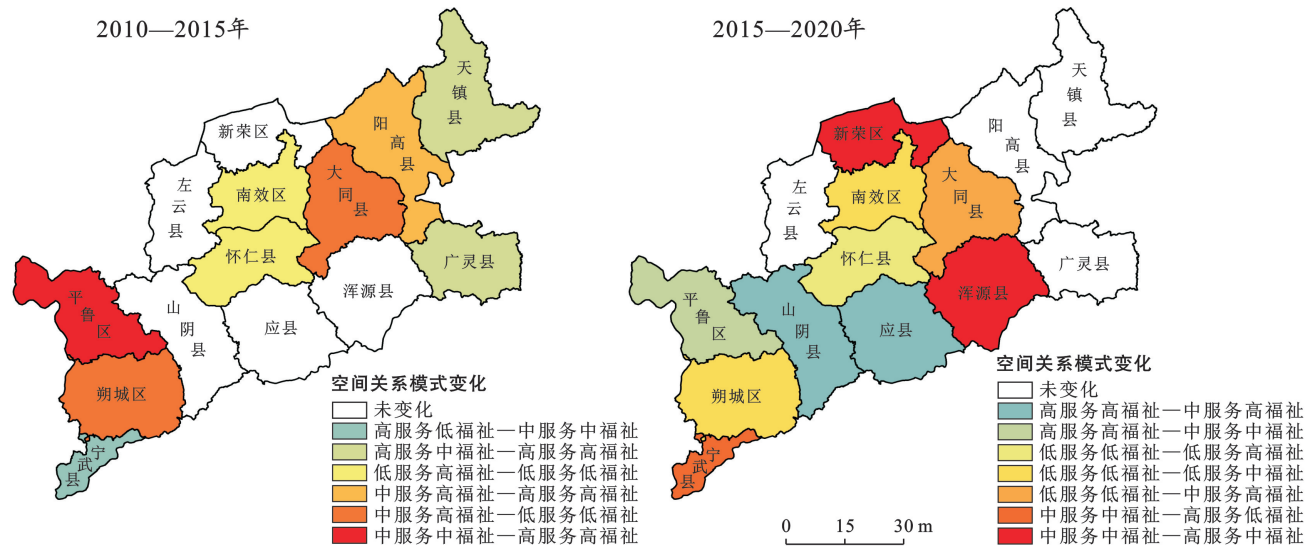


图 6 桑干河流域(山西段)生态系统服务与居民福祉空间关联模式变化

Fig.6 Dynamic of spatial relationship of ecosystem services and human well-being in the Sanggan River (Shanxi section)

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

本文将货币购买力变化纳入生态系统服务价值的测算中,并尝试用购买力指数对人均生态系统服务价值基础单价及居民福祉进行修正,研究结果可在一定程度消除因不同年份比较基准的不同而产生的偏差。本文运用单位面积价值当量因子法测算生态系统服务价值,与 InVEST 模型相比,该方法在大尺度生态系统服务价值评估上占优,然而在测算精度上尚存在一定劣势。本文结合研究区特点及数据的可得性,构建了居民福祉评价指标体系。然而鉴于居民福祉的表达兼具主观、客观双重特性,本文评价尚需要进一步融合居民福祉主观表达指标。因此,未来可结合专家咨询、入户调查、部门访谈等方式对居民福祉进行主客观综合测度。桑干河流域(山西段)是京津冀地区重要的水源涵养区和防风固沙生态屏障带,探讨桑干河流域(山西段)生态系统服务与居民福祉的空间关系模式,能够找到改善生态环境,提高居民福祉的关键点,为京津冀地区类似地区生态和经济协调

发展提供决策依据。

### 4.2 结论

(1) 2010—2020 年桑干河流域(山西段)人均生态系统服务价值呈现不断增长的趋势,居民福祉整体也呈增长趋势。人均生态系统服务价值呈现中部和西南部低的空间分布格局,而居民福祉水平的高值区分布在西南—东北方向上,特别是山阴县、应县、阳高县等地区的居民福祉 10 a 来保持较高水平。

(2) 研究区生态系统服务和居民福祉的空间关联模式有:高服务高福祉、高服务低福祉、高服务中福祉、低服务高福祉、低服务中福祉、低服务低福祉、中服务高福祉、中服务中福祉。2010—2020 年,研究区内各县(区)空间关联模式变化主要出现在朔州和大同市部分地区。

(3) 2010—2020 年间桑干河流域生态系统服务价值与居民福祉均呈增长趋势,两者的空间关联模式呈现明显的空间分异规律。桑干河流域(山西段)宜通过积极推进资源型经济转型发展及加强国土空间生态保护与修复等途径提高区域生态系统服务与居民福祉。



[ 参 考 文 献 ]

[1] 郭宗亮,刘亚楠,张璐,等.生态系统服务研究进展与展望[J].环境工程技术学报,2022,12(3):928-936.

[2] 熊鹰,侯珂伦,郑偲睿,等.基于结构方程模型的南方丘陵山地农户福祉与生态系统服务关系:以广东省乐昌市为例[J].热带地理,2020,40(5):843-855.

[3] 程宪波,陶宇,欧维新.生态系统服务与人类福祉关系研究进展[J].生态与农村环境学报,2021,37(7):885-893.

[4] Assesment M E. Ecosystems and human well-being: Synthesis [J]. Physics Teacher, 2005,34(9):534-534.

[5] 陈茂林,官冬杰,孙灵丽,等.三峡库区生态系统服务对农户生计贡献率测算及影响分析[J].水土保持研究,2023,30(01):397-407.

[6] 张羿轲,方一平,杨悦,等.岷江上游山区生态福祉波动的人类活动干扰研究[J].山地学报,2021,39(2):238-247.

[7] 熊鹰,肖蓉,张坤,等.南方丘陵山地农户对生态系统服务的感知及其影响因素:以湖南省慈利县为例[J].自然资源学报,2022,37(7):1766-1781.

[8] 郑德凤,王燕燕,曹永强,等.基于生态系统服务的生态福祉分类与时空格局:以中国地级及以上城市为例[J].资源科学,2020,42(6):1110-1122.

[9] 李昂,米长虹,杨琰瑛,等.京津冀地区生态系统服务与居民福祉时空分异及耦合协调关系[J].生态经济,2023,39(4):170-178.

[10] 刘迪,陈海,张行,等.黄土丘陵沟壑区生态系统服务对人类福祉的影响及其群体差异[J].地理研究,2022,41(5):1298-1310.

[11] 肖涛,石强胜,闻熠,等.湿地生态系统服务研究进展[J].生态学杂志,2022,41(6):1205-1212.

[12] 王圣云,罗玉婷,韩亚杰,等.中国人类福祉地区差距演变及其影响因素:基于人类发展指数(HDI)的分析[J].地理科学进展,2018,37(8):1150-1158.

[13] Aguado M, González J A, López-Santiago C, et al. Exploring subjective well-being and ecosystem services perception along a rural-urban gradient in the high Andes of Ecuador [J]. Ecosystem services, 2018,34:1-10.

[14] Suárez A E, Gutiérrez-Montes I, Ortiz-Moreno F A, et al. Contribution of livelihoods to the well-being of coffee-growing households in southern Colombia: A structural equation modeling approach [J]. Sustainability, 2022,14(2):743-753.

[15] Wallace K J, Jago M, Pannell D J, et al. Wellbeing, values, and planning in environmental management [J]. Journal of Environmental Management, 2021,277:111447.

[16] 李昂,杨琰瑛,师荣光,等.居民福祉及其与生态系统服务的关系研究进展[J].农业资源与环境学报,2022,39(5):948-957.

[17] Liu Lumeng, Fang Xuening, Wu Jiangguo. How does the local-scale relationship between ecosystem services and human wellbeing vary across broad regions? [J]. Science of The Total Environment, 2022,816:151493.

[18] 高嫻,原野,赵艺芳.基于生态系统服务供需的农牧交错带流域生态修复分区:以桑干河上游为例[J/OL].环境工程技术学报:1-15[2023 -03-20].

[19] 李文青,赵雪雁,杜显璇,等.秦巴山区生态系统服务与居民福祉耦合关系的时空变化[J].自然资源学报,2021,36(10):2522-2540.

[20] Lapointe M, Gurney G G, Coulthard S, et al. Ecosystem services, well-being benefits and urbanization associations in a small Island Developing State [J]. People and Nature, 2021,3:391-404.

[21] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.

[22] 陕永杰,原卫利,苗圆,等.山西省大同市 2000—2019 年生态系统服务价值时空变化[J].水土保持通报,2021,41(6):310-317,344.

[23] 雷军成,王莎,汪金梅,等.土地利用变化对寻乌县生态系统服务价值的影响[J].生态学报,2019,39(9):3089-3099.

[24] 张继飞,邓伟,朱昌丽,等.岷江上游生态系统服务与居民福祉的空间关联及其动态特征[J].山地学报,2017,35(3):388-398.

[25] 柳冬青,张金茜,巩杰,等.陇中黄土丘陵区土地利用强度—生态系统服务—人类福祉时空关系研究:以安定区为例[J].生态学报,2019,39(2):637-648.

[26] Yang Hongbo, Dietz Thomas, Yang Wu, et al. Changes in human well-being and rural livelihoods under natural disasters [J]. Ecological Economics, 2018,151:184-194.

[27] 赵筱青,李思楠,普军伟,等.云南喀斯特山区国土空间优化分区与管控[J].自然资源学报,2020,35(10):2339-2357.