

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.01.014.

耿傲森, 张贵军, 徐磊, 等. 基于生态系统服务功能价值簇的复合型产业模式设计[J]. 水土保持研究, 2024, 31(1): 417-426.

Geng Aomiao, Zhang Guijun, Xu Lei, et al. Design of Compound Industry Model Based on Ecosystem Service Value Cluster[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(1): 417-426.

基于生态系统服务功能价值簇的复合型产业模式设计 ——以河北省阜平县为例

耿傲森, 张贵军, 徐磊, 张蓬涛

(河北农业大学 国土资源学院/河北农业大学 乡土文化与乡村治理研究中心, 河北 保定 071001)

摘要: [目的] 基于土地利用多功能特性构建复合型产业模式, 为提高山区县的土地利用效率, 推进区域生态与经济的高质量发展提供方法和参考。[方法] 以太行山中段的阜平县为例, 选取水源供给、保持土壤等9类生态系统服务功能作为评判阜平县土地多种功能空间集聚特征的依据, 通过空间聚类分析得到不同的功能价值簇, 并调整形成生态系统服务主导功能价值分区; 在此基础上, 叠加土地利用现状、地形地貌和现有产业发展布局, 构建复合型产业发展模式。[结果] (1) 将研究区按生态系统服务功能价值的空间集聚特征分为6种功能价值簇; (2) 调整各簇边界, 形成维持生物多样性+提供美学景观+保持土壤区、提供美学景观+水源供给+原材料生产区等6类生态系统服务主导功能价值区; (3) 在生态系统服务主导功能价值区的基础上, 设计出“旅游业+文化产业”“智慧农业+旅游业”等7种复合型产业发展模式, 可为实现阜平县乡村振兴与高质量发展提供新的驱动力。[结论] 复合型产业模式的设计能够实现生态保护与经济发展的双驱并进, 可为解决山区县生态保护与经济发展的矛盾问题提供案例参考。

关键词: 土地利用多功能; 生态系统服务功能价值簇; 复合型产业; 聚类分析; 阜平县

中图分类号: F301.2

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)01-0417-10

Design of Compound Industry Model Based on Ecosystem Service Value Cluster —Taking Fuping County in Hebei Province as an Example

Geng Aomiao, Zhang Guijun, Xu Lei, Zhang Pengtao

(Rural Culture and Rural Governance Research Center, College of

Land and Resources, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to construct compound industrial model based on the multi-functional characteristics of land use, and to provide methods and references for improving the land use efficiency and promoting the high-quality development of regional ecology and economy. [Methods] Fuping County in the middle part of Taihang Mountain was taken as an example. 9 types of ecosystem service functions, such as water supply and soil conservation, were selected as the basis to evaluate the spatial agglomeration characteristics of land functions in Fuping County. Through spatial clustering analysis, different functional value clusters were obtained and adjusted to form the dominant functional value zones of ecosystem services. On this basis, land use status, landform and existing industrial development layout, were superimposed to build a complex industrial development mode. [Results] (1) The study area was divided into six functional value clusters according to the spatial agglomeration characteristics of ecosystem service value. (2) The boundaries of each cluster was adjusted to form six dominant functional value areas of ecosystem services, including maintaining biodiversity+providing aesthetic landscape+soil conservation area, providing

收稿日期: 2022-12-06

修回日期: 2022-12-18

资助项目: 2022年河北省社会科学发展研究项目课题“基于土地多功能利用的河北山区生态系统服务功能价值市场实现率提升路径研究”(20220202230)、“燕山—太行山地区实现脱贫攻坚与乡村振兴有效衔接及转型路径研究”(20220303087)

第一作者: 耿傲森(1997—), 女, 河北保定人, 硕士生, 主要从事土地资源管理研究。E-mail: 928809913@qq.com

通信作者: 张贵军(1974—), 女, 河北迁安人, 博士, 副教授, 主要从事土地制度改革与可持续利用管理研究。E-mail: 2569401081@qq.com

<http://stbcj.paperonice.org>

aesthetic landscape+water supply+raw material production area. (3) On the basis of the ecosystem service leading functional value area, seven development modes of complex industries such as ‘tourism+cultural industry’ and ‘smart agriculture+tourism’ are designed, which can provide new driving forces for the rural revitalization and high-quality development of Fuping County. [Conclusion] The design of compound industry model can realize the dual development of ecological protection and economic development, and can provide a case reference for solving the contradiction between ecological protection and economic development in mountainous counties.

Keywords: multifunctional land use; ecosystem service function value cluster; complex industry; cluster analysis; Fuping County

随着我国脱贫攻坚取得举世瞩目的成就,人民群众的生活面貌与品质有了显著改善,但在部分相对贫困的山区县,人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间依然存在矛盾。山区县作为我国经济发展的基础行政单元,数量较多,受地理区位、地形条件和资源禀赋等制约,经济发展相对缓慢。另一方面,这些地区拥有优质的景观资源、丰富的动植物资源,生态优势明显。充分发挥山区土地资源的多功能特性,以及维系生态安全、促进经济增长和优化产业结构等作用,实现地尽其用,有助于将山区的生态优势转化为经济发展优势,激发山区生态、经济协调发展的内生动力。2017年中共十九大报告确立了“树立和践行绿水青山就是金山银山”的发展理念,并强调了“优化经济结构”“推动绿色发展”。2022年二十大报告再次强调“促进绿色发展,促进人与自然和谐共生”,将“加快构建新的发展格局,着力推动高质量发展”和“增进民生福祉,提高人民生活品质”作为未来五年发展的主要目标。在此背景下,实现经济发展与生态保护双驱并进的发展模式、提高土地资源的利用效率,成为山区县经济发展的必然选择。

国外多基于宏观产业融合角度探究复合型产业的发展思路,如 Hacklin 等^[1]探讨了通过信息技术产业与通信产业的融合,协助管理人员及时预测和处理企业运营中产生的各种问题; Khan 等^[2]根据高水平物流的基本特征以及物流链与供应链的融合过程,提出并构建了两业联动融合领域的基本范畴,总结了物流业与制造业融合的应用经验;特别是在农业领域,一些学者提出将传统农业与电子商务、物流信息等产业融合,发展精准农业^[3]、智慧农业等^[4-5]现代化农业发展思路。国内多依据特定区域资源现状,提出复合型产业的发展思路,如费文君等^[6]基于自然人文、区位交通条件对江宁区乡村旅游的复合型产业结构进行了剖析,提出以农业为基础、文化为引领、资源为依托的思路;伍海峰^[7]建议通过完善公共服务配置、整合工业园区、构建生态公园等方式,推动复合型产业

和城镇建设,促进青海省经济规模的有效扩大。综上所述,发展复合型产业是解决区域经济发展问题的有效手段,有助于建立协调发展的现代化产业体系。

目前有关复合型产业的研究多从区域发展的优势及存在问题出发挖掘复合型产业发展的潜力,很少基于土地多功能性的视角探索复合型产业发展模式。部分学者围绕土地的多功能性这一基本属性开展了针对产业融合^[8-9]、国土空间规划等^[10-11]方面的研究,基于土地多功能视角探索复合型产业发展思路,这是保障研究科学性的应有之义。另外,随着土地多功能性研究不断深入,生态系统服务功能价值测算逐渐成为土地利用多功能评价的重要部分。国内外对生态系统服务功能价值测算多基于全球^[12-13]、国家^[14-15]、流域等^[16-17]不同尺度或者针对特定类型的生态系统^[18-19]展开研究,大多通过功能值的空间差异分析不同区域的主导优势与问题,或根据功能价值的变化特征判断土地利用的合理性,较少从生态系统服务功能价值簇角度对区域经济和产业发展方式提出构想;在研究对象的选择上,多集中于经济发达的省、市大尺度地区,而对经济欠发达的地区研究较少,在研究内容上,更多侧重区域生态问题,对如何实现经济与生态协同发展,研究较少。

阜平县位于太行深山区,受复杂的地形地貌影响,与周边城市或平原县相比,优质的农地资源少,土地细碎化程度高,经济发展相对缓慢,但景观类型多样,自然资源丰富。如何充分发挥土地的多功能性与生态优势对经济发展的带动作用,是以阜平县为代表的山区县实现高效和高质量发展需解决的关键问题。基于此,本文基于土地多功能性挖掘复合模式的发展潜力,以阜平县为研究区,依据其生态系统服务功能价值簇的空间聚类特征进行主导功能价值分区,结合各类资源要素的空间分配情况及现有产业发展的基础条件,探索设计复合型产业发展模式。为提高阜平县的土地利用效率、实现高质量发展寻找新的驱动力,其复合型产业发展模式设计的特殊性与统一性可为其他类似地区提供方法和案例参考。

1 研究区域与数据获取

1.1 研究区域

阜平县位于北纬 $38^{\circ}9'—39^{\circ}7'$, 东经 $113^{\circ}45'—114^{\circ}31'$, 地处河北省保定市西部(图 1)。县域东西横距 74.8 km, 南北纵距 49.6 km, 总面积 2494 km²。阜平县位于太行山区中段, 西连华北屋脊五台山, 东接华北平原, 为土石山区, 地形极为复杂。属暖温带大陆性季风气候, 四季分明。阜平县是河北省典型的山区县, 山地占全县总面积的 88.2%, 林木资源丰富, 位居保定市第一位, 被称为“保定最绿的地方”。区域内水系发达, 境内流域面积达 200 km² 以上的中小河流有 6 条, 素有“九山半水半分田”之称。近年来, 阜平县食用菌、高效林果、家庭手工业等富民产业蓬勃发展, 社会经济保持平稳有序的发展态势。2021 年, 全县地区生产总值完成 57.9 亿元; 农林牧渔业总产值 123 966 万元, 其中食用菌产值 2.5 亿元, 占 20.2%; 林果业产值 39 561 万元, 占 31.9%。工业总产值 110 208 万元, 其中煤炭开采产值 35 556 万元, 占 32.3%; 非金属矿物制品业产值 26 901 万元, 占 24.4%; 食品制造业产值 15 052 万元, 占 13.7%; 农副食品加工业 11 569 万元, 占 10.5%。第三产业增加值完成 23.3 亿元, 其中交通运输业完成 67 572 万元, 占 GDP 的 16%; 批发零售业完成 29 875 万元, 占 GDP 的 7.1%; 金融业 24 478 万元, 占 GDP 的 5.8%。

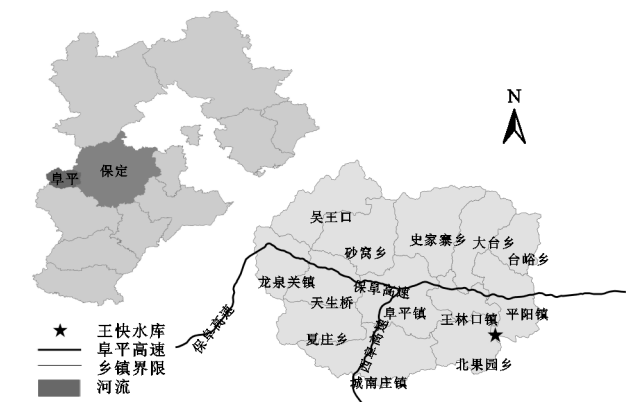


图 1 阜平县区位图

Fig. 1 Location map of Fuping County

1.2 数据获取

本文所参考的研究数据主要为阜平县自然地理数据与社会经济发展数据两部分。土地利用、DEM 高程数据分别来源于资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>)、地理空间数据云(<http://www.Gscloud.cn/>); 年降水量、潜在蒸散量数据主要来源于中国气象科学数据共享服务网《中国地面气候资料年值数据集》; 利用 ArcGIS 软件对世界土壤数

据库(Harmonized World Soil Database, HWSD)进行掩膜处理得到阜平县土壤数据。阜平县社会经济数据主要参考《保定市经济统计年鉴》(2020 年)、农产品价格数据(<http://www.stats.gov.cn/ztc/ztsj/ncpjc/>)、农业生产资料价格指数(<https://d.qianzhan.com/>)。

2 研究思路与研究方法

2.1 研究思路

研究首先运用 InVEST 模型、当量因子法测算阜平县的水源供给、保持土壤、食物生产等 9 类生态系统服务功能价值。参考已有的研究^[20], 利用网格法表达各单项功能价值的空间分布特征; 采用全局自相关与两两相关分析判断各项生态系统服务功能价值的空间集聚程度及两两之间的相关程度, 然后运用 K-means 聚类算法实现 9 类生态系统服务功能价值在空间上的分簇, 并将分簇结果按行政村边界和地类图斑界线进行调整, 得到主导功能价值分区结果。最后以主导功能价值分区图为底图, 叠加土地资源空间分布、地形地貌图、产业分布图, 综合考虑各类资源要素的实际情况和现有产业的发展基础条件, 对应提出适合的复合型产业分区发展模式。

2.2 研究方法

2.2.1 生态系统服务功能价值计算方法 本研究从阜平县土地利用现状、生态修复现状以及社会经济发展等实际情况出发, 参考谢高地等^[21]的研究, 选取水源供给、保持土壤等 9 类生态系统服务功能并测算其服务功能价值, 作为评判阜平县土地多种功能空间集聚特征的依据。目前, 国内外常用的生态系统服务功能价值评估模型主要有 InVEST 模型^[22]、SolVES 模型^[23-24]、ARIES 模型等^[25], 其中 InVEST 模型可以借助 ArcGIS 软件, 将模型结果空间分布可视化^[26], 是目前应用最广泛的生态系统服务评估模型^[27]。鉴于此, 本研究应用 InVEST 模型测算土壤保持、水源供给 2 项生态系统服务功能价值, 采用因子当量法测算其他 7 种生态系统服务功能价值(表 1)。为实现模型空间分布的可视化, 参考已有的研究成果^[20], 利用 ArcGIS 创建渔网面, 为最大限度保留数据信息, 本研究确定采用 500 m×500 m 的格网, 将整个区域划分为 10 298 个网格, 从而对计算结果进行空间表达。

2.2.2 生态系统服务功能价值簇识别与主导功能价值分区方法 研究根据各项生态系统服务功能价值与空间集聚特征划分生态系统服务功能价值簇, 并通过网格法实现可视化, 每一个网格被认为是一个生态系统服务功能价值的集合。对每一个集合进行不同簇类的划分需要判断网格单元之间是否存在一定的

相似特征。为此,本文通过全局自相关分析判断各项功能价值在空间上是否存在集聚特征;相关性分析判断阜平县各项生态系统服务功能价值的相关程度,若 Moran's I 指数的绝对值 >0 且各项服务功能价值之

间表现出相关关系,则可以进一步进行聚类分析,通过聚类方法中的 K-means 聚类算法识别研究区的生态系统服务功能价值簇,将结果导入到 ArcGIS 中进行空间表达。

表 1 生态系统服务功能价值计算方法

方法	计算公式	变量解释
水源供给价值	$Y_{xj} = \left(1 - \frac{AET_{xj}}{P_x}\right) \times P_x$ $V_{\text{水}} = Y_{xj} \times P_{\text{水}}$	Y_{xj} 为年产水量; $V_{\text{水}}$ 为水源供给价值(元) AET_{xj} 为土地利用类型 j 上栅格单元 x 的实际年平均蒸散发量; P_x 为栅格单元 x 的年均降雨量 $P_{\text{水}}$ 参考保定市政府发布的《关于调整市区供水价格的通知》(保价经费[2017]12号),取 4.83 元/ m^3
lnVEST 模型	$USLE = R \times K \times LS \times C \times P$ $RKLS = R \times K \times LS$ $SD = RKLS - USLE$	USLE 为实际土壤流失; R 为降雨侵蚀力因子 K 、 LS 、 C 、 P 分别为土壤可蚀性、坡长坡度、植被覆盖、水土保持措施因子 RKLS 为潜在土壤流失;SD 为土壤保持量
保持土壤价值	$V_{\text{土}} = V_{\text{固土}} + V_{\text{保肥}} + V_{\text{减泥}}$ $V_{\text{固土}} = S \times P_1 = \frac{SD}{\rho b \times h} \times P_1$ $V_{\text{保肥}} = SD \times a_N \times \beta_N \times P_{\text{磷酸二铵}} + SD \times a_P \times \beta_P \times P_{\text{磷酸二铵}} + SD \times a_K \times \beta_K \times P_{\text{氯化钾}}$ $V_{\text{减泥}} = SD \div \div a$	$V_{\text{土}}$ 、 $V_{\text{固土}}$ 、 $V_{\text{保肥}}$ 、 $V_{\text{减泥}}$ 分别为保持土壤、固土、保肥、减少泥沙淤积的价值(元); S 为减少的土地面积 P_1 为林业年均收益; ρb 为土壤容重; h 为土壤厚度 a 、 β 分别表示某养分在土壤中的含量与合成化肥中的含量 $P_{\text{磷酸二铵}}$ 、 $P_{\text{氯化钾}}$ 为化肥磷酸二铵、氯化钾的价格,参考农业部(中国农业信息网)(http://www.agri.cn) 2020 年春季均价,磷酸二铵 2 400 元/t,氯化钾 2 200 元/t a 为清除泥沙成本; \div 为土壤容重
食物生产价值	$ESV_j = \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^n A_{il} \times M_{ij} \times V_a \times Q_t \times S_t$	ESV_j 为第 j 类生态系统服务总价值(元) m 为土地利用类型数; n 为生态系统服务类型数 A_{il} 、 M_{ij} 分别表示第 i 类土地利用类型的面积(hm^2)、第 j 种 ES 所对应的当量因子值
原材料生产价值	$V_a = \frac{1}{l} \sum_{r=1}^R \frac{s_r y_r \rho_r}{s}$ $M_{ij} = \sum e_i^j V_a$	V_a 表示 1 标准当量因子的 $ESV(\text{元}/\text{hm}^2)$ Q_t 、 S_t 分别为生物生产性差异、社会发展阶段修正系数 S_r 为第 r 种粮食作物的种植面积(hm^2)
气体调节价值	$Q_t = \text{NPP}_{\text{研究区}} / \text{NPP}_{\text{全国}}$ $\text{NPP} = 3000 \left[1 - e^{-0.000969 (Z - 20)}\right]$	y_r 为第 r 种粮食作物单产(kg/hm^2) ρ_r 为阜平县第 r 种粮食作物的平均价格(元)
气候调节价值	$Z = \frac{1.05R}{\sqrt{1 + \left(1 + 1.05^R \frac{\text{降水}}{H}\right)^2}}$	S 表示阜平县 r 种粮食作物的总种植面积(hm^2) r 为阜平县主要粮食作物的种类 R 表示阜平县主要粮食作物的种类数。
因子当量法	$H = 3000 + 25t + 0.05t^3$ $S_t = P_t \times R_t$ $W = 2 / (1 + e^{-bm})$ $m = \frac{1}{EL_t} - 2.5$ $EL_t = EL_{C_t} \times \text{pec}_t + EL_{R_t} \times \text{per}_t$ $P_t = \frac{W_{qt}}{W_{kt}}$ $R_t = \text{pgdp}_t / \rho \text{GDP}_t$	e_i^j 为第 i 类土地利用类型中第 j 种生态系统服务提供的当量因子; i 、 j 分别对应土地利用与生态系统服务类型。 $\text{NPP}_{\text{研究区}}$ 、 $\text{NPP}_{\text{全国}}$ 分别表示阜平县、全国的净初级生产力 Z 表示阜平县年实际蒸散量(mm) e 表示自然常数; H 表示阜平县年平均蒸散量(mm) t 和 $R_{\text{降水}}$ 分别表示阜平县的年平均气温($^{\circ}\text{C}$)与降水(mm); W 为支付意愿参数 m 是社会发展阶段系数,一般将常数 a 、 b 取 1 EL_t 表示研究区第 t 年总的恩格尔系数; EL_{C_t} 、 EL_{R_t} 分别是城市、农村的恩格尔系数 pec_t 、 per_t 分别是城市、农村人口占总人口的比重 W_{qt} 、 W_{kt} 分别为第 t 年阜平县、全国平均的支付意愿参数 ρGDP_t 、 ρgdp_t 分别为全国、阜平县第 t 年的人均 GDP P_t 为支付意愿系数; R_t 为支付能力系数
维持生物多样性价值		
提供景观美学服务价值		

(1) 生态系统服务功能价值簇识别方法。为进行聚类分析,首先需明确每项功能价值在空间上是否存在集聚特征,运用 Geoda 软件中的探索性空间分析方法(Exploratory Spatial Data Analysis, ESDA)计算各项功能价值的全局 Global Moran's I 指数。

Moran's $I > 0$ 表示存在空间正相关性,值越大代表相关性越显著;Moran's $I < 0$ 表示存在空间负相关性,值越小代表负相关性越强,空间差异性越明显;Moran's $I = 0$ 表示变量呈空间随机分布。
在 SPSS 26.0 中输入食物生产价值、原材料生产

价值、气体调节价值等 9 项生态系统服务功能价值,并对其两两之间的相关性进行分析,作为进一步聚类分析的基础。

在上述基础上进一步采用聚类分析将生态系统服务功能价值分为不同的簇,聚类分析是数据挖掘和模式识别中常用的方法,一般依据样本在数据集中的特征相似程度将其分成不同的类^[28]。在聚类分析过程中有多种算法,其中,K-means 聚类算法的运算原理较简单,收敛速度快;算法的可解释度较强,为此应用较为广泛^[29]。其中,一般采用欧式距离计算样本点之间的距离,计算公式如下所示^[30]:

$$D(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

式中: x_i 表示数据点 x 的第 i 维变量值; y_i 表示数据点 y 的第 i 维变量值。

(2) 主导功能价值分区方法。本文将各服务功能价值数据输入到 SPSS 26.0 中,得到聚类分析结果,每簇依据排在前三位的生态系统服务功能价值命名,得到阜平县生态系统服务功能价值簇分布图。将生态系统服务功能价值簇分布图按行政村边界和地类图斑界线进行修订和调整,得到生态系统服务主导功能价值分区图,将其作为复合型产业设计的基础。

2.2.3 复合型产业设计方法 根据上述步骤得到的生态系统服务主导功能价值分区图与土地资源空间分布、地形地貌图、现有产业分布图叠加,并综合考虑区域资源要素构成特点及产业发展基础条件,设计复合型产业发展模式。复合型发展模式的设计主要通过收集、分析阜平县各村镇社会经济统计资料并结合实地调查,首先选择旅游服务质量高、游客认可度高、规模较大的旅游景区作为旅游规划核心区,通过旅游产业拉动游客消费并带动其他产业的发展;然后综合考虑旅游产业的驱动和辐射能力、各村镇资源条件、交通条件及原有产业基础,整合各区优势条件,对各区复合型产业发展模式进行规划和安排,形成文化产业、旅游业、农产品加工业等不同产业复合的设计思路。

3 结果与分析

3.1 生态系统服务功能价值测算结果

通过上述方法计算,得到阜平县生态系统服务总价值共计 446 771.339 万元,其中食物生产价值 3 909.506 万元、原材料生产价值 10 947.026 万元、气体调节价值 20 554.299 万元、气候调节价值 20 580.239 万元、水源供给价值 69 838.517 万元、废物处理价值 13 010.501 万元、保持土壤价值 273 089.601 万元、维持生物多样性价值 23 629.720 万元、提供美学景观价值 11 211.930

万元。为了便于比较以及后续空间分析,采用渔网面对各功能价值进行空间表达,通过 ArcGIS 创建的渔网面与研究区相交得到 10 298 个网格。并对 9 项生态系统服务功能价值评估结果进行 0~1 标准化,结果如图 2 所示。从空间分布来看,食物生产价值的高值区集中于研究区东南部的耕地与主要河流附近,其他地区的功能价值较低,特别是西部山区林地食物生产价值最低;原材料生产价值、气体调节价值、气候调节价值的高值区集中于西部和东北部的林地,而研究区中部、东部以及东南部价值较低;水源供给价值的高值区域主要集中于西部山区的林地以及王快水库附近;废物处理价值的高值区域主要集中于王快水库以及主要河流附近;保持土壤价值与维持生物多样性价值的高值区域主要集中于西北、西南以及东北部的林地;提供景观美学价值的高值区域主要集中于东北部林地与王快水库附近。生态系统服务功能价值与土地利用类型分布关系密切。

3.2 生态系统服务功能价值簇与主导功能价值分区结果

3.2.1 生态系统服务功能价值分簇结果 运用 Queen 邻近法构建空间权重矩阵,并进行全局自相关分析,结果显示 9 项生态系统服务功能价值均表现出较强的空间正相关性。并且,有 8 项功能价值的 Moran's I 指数均在 0.4 以上。说明数据聚类特征显著,可进一步进行聚类分析。

运用 SPSS 26.0 对各项服务功能价值两两之间进行相关性分析,相关性分析结果如表 2 所示,除食物生产价值与气体调节、气候调节价值这两对关系,其他各项服务功能价值之间均表现出一定的相关关系。

根据以上全局自相关分析结果可知,各项生态系统服务功能价值在空间上具有集聚特征,且各生态系统服务功能价值的相关程度相对良好,可进一步通过聚类方法识别研究区的生态系统服务功能价值簇。

利用 SPSS 26.0 对 9 项生态系统服务功能价值进行聚类分析,根据簇内距离的定义可知,当 k 值越小时,簇内距离越大,当 k 值越大时,簇内距离越小;在 k 值由小变大的过程中,随着 k 值的增大簇内距离逐步减小,但当 k 值取得最优解后,簇内距离便不会出现明显的降幅。研究尝试输入不同的 k 值,当 k 值大于 6 后簇内距离的减少幅度开始明显减低。所以,本文将 9 种生态系统服务功能价值分为 6 类功能价值簇,并将结果通过 ArcGIS 进行空间表达(见图 3)。通过对各簇中 9 项生态系统服务功能价值大小进行排序,选择排在前三位的价值名称对生态系统服务功能价值簇进行命名并进行空间统计分析(见表 3)。

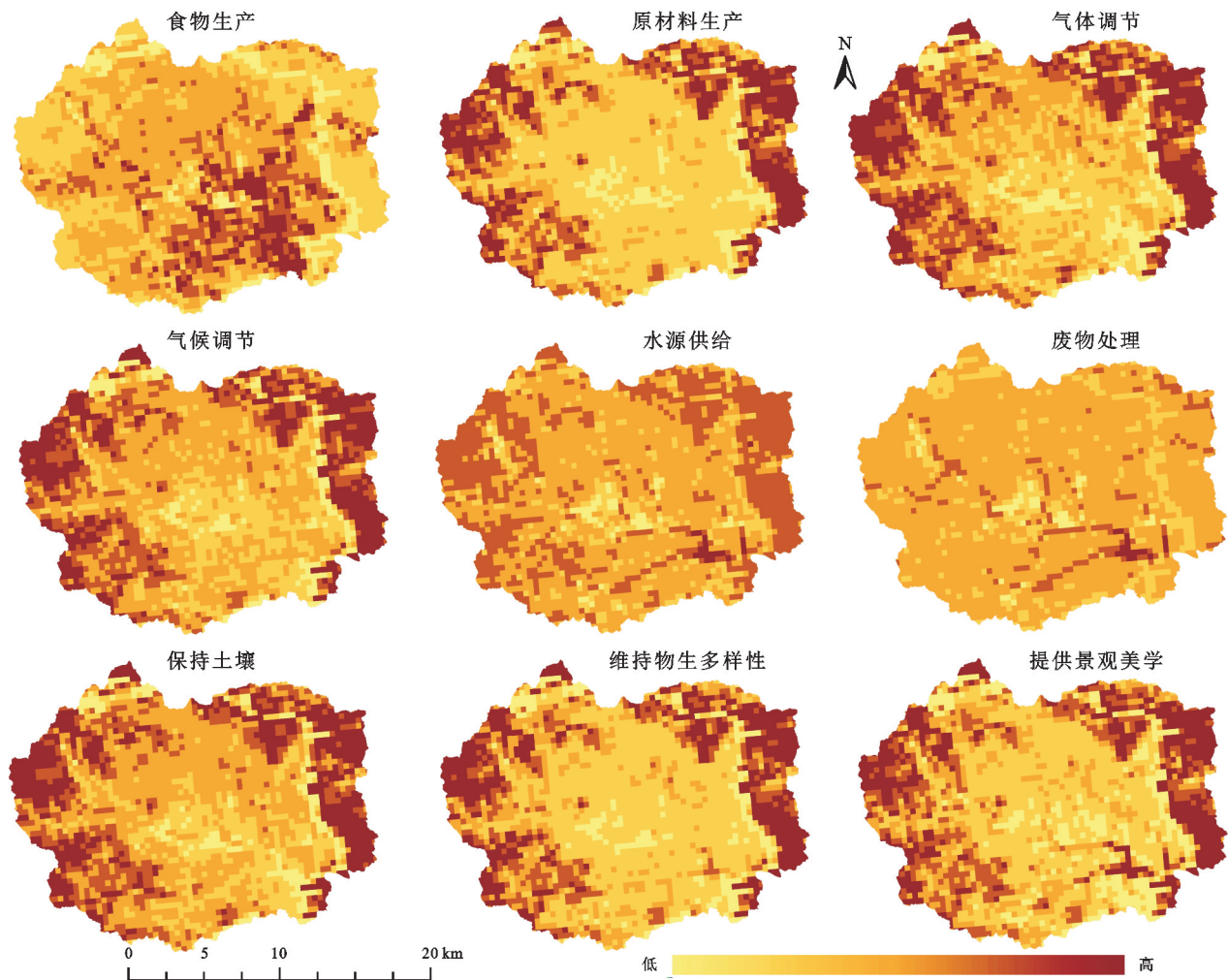


图 2 各项生态系统服务功能价值
Fig. 2 Value of ecosystem service functions

表 2 各服务功能价值相关关系
Table 2 Correlation table of service function value

各生态系统 服务功能价值	食物生产	原材料生产	气体调节	气候调节	水源供给	废物处理	保持土壤	维持生物 多样性	提供美学 景观
食物生产	1.000	−0.140 **	−0.011	0.063	0.109 **	0.414 **	0.206 **	0.094 *	0.117 **
原材料生产	−0.140 **	1.000	0.975 **	0.963 **	0.568 **	0.238 **	0.884 **	0.949 **	0.874 **
气体调节	0.011	0.975 **	1.000	0.995 **	0.579 **	0.272 **	0.963 **	0.986 **	0.902 **
气候调节	0.063	0.963 **	0.995 **	1.000	0.619 **	0.356 **	0.970 **	0.998 **	0.937 **
水源供给	0.109 **	0.568 **	0.579 **	0.619 **	1.000	0.848 **	0.556 **	0.642 **	0.731 **
废物处理	0.414 **	0.238 **	0.272 **	0.356 **	0.848 **	1.000	0.312 **	0.406 **	0.605 **
保持土壤	0.206 **	0.884 **	0.963 **	0.970 **	0.556 **	0.312 **	1.000	0.969 **	0.877 **
维持生物多样性	0.094 *	0.949 **	0.986 **	0.998 **	0.642 **	0.406 **	0.969 **	1.000	0.955 **
提供美学景观	0.117 **	0.874 **	0.902 **	0.937 **	0.731 **	0.605 **	0.877 **	0.955 **	1.000

注：** 在 0.01 级别相关性显著；* 在 0.05 级别相关性显著。

3.2.2 主导功能价值分区 将上述得到的生态系统服务功能价值簇按行政村边界、地类图斑界线修订与调整,在进行数据统计和分区处理时发现各村镇居住建设区生态系统服务功能较弱,统计的 9 项生态系统服务功能价值分异不显化,但实际土地利用中这部分区域的生活居住、工商业服务、文化教育等功能相对突出,为此将

这部分区域命名为“居住+就业支持+教育文化”主导功能价值区。其他区域均依据排在前三位的功能价值进行命名,进而得到生态系统服务主导功能价值分区图(图 4),分别是:食物生产+废物处理+保持土壤区、食物生产+原材料生产+保持土壤区、提供美学景观+水源供给+原材料生产区、维持生物多样性+提供美

学景观+保持土壤、水源供给+提供美学景观+食物 生产区、居住+就业支持+教育文化区。

表 3 生态系统服务功能价值簇命名、分析与主导功能价值分区

功能	生态系统服务功能价值簇	生态系统服务主导功能价值区
水源供给+提供美学景观+食物生产簇	网格数量为 296,占研究区网格总数的 2.87%,该地区水源供给价值最高,其次为提供美学景观与食物生产价值,主要分布于王快水库周边,农业发展条件较好,灌溉水源有保障,且周边已有发展旅游业的基础	水源供给+提供美学景观+食物生产区
维持生物多样性+提供美学景观+保持土壤簇	网格数量为 1792,占研究区网格总数的 17.40%,主要分布于研究区西北部、西南部及东北部,维持生物多样性、提供美学景观、保持土壤价值较高,土地利用类型以林地为主,主要位于河流上游地区,需注意生态保护和涵养	维持生物多样性+提供美学景观+保持土壤区
提供美学景观+水源供给+原材料生产簇	网格数量为 1822,占研究区网格总数的 17.69%,主要沿河流分布,提供美学景观价值最高。这些地区多为旅游区,如阜平天生桥瀑布群自然风景区、云花溪谷自然风景区等,可依托旅游资源发展特色农业以便延长产业链条	提供美学景观+水源供给+原材料生产区
食物生产+原材料生产+保持土壤簇	网格数量为 2727,占研究区网格总数的 26.48%,食物生产、原材料生产、保持土壤价值较高。该类型簇的空间分布较为分散,所在区域地势较低缓,适合种植香菇、木耳等特色农产品,并可增加观光娱乐等服务功能,延长产业链条	食物生产+原材料生产+保持土壤区
食物生产+废物处理+保持土壤簇	网格数量为 3121,占研究区网格总数的 30.31%,主要分布于研究区中东部,食物生产、废物处理、保持土壤价值较高。土地利用类型以耕地为主。可将农用地进行统一经营规划,引入机器进行大规模种植,提高土地的生产效率,提高农民收入	食物生产+废物处理+保持土壤区
居住+就业支持+教育文化簇	网格数量为 540,占研究区网格总数的 5.24%,主要分布于主城区与各村镇的建设用地,9 种生态系统服务功能价值分异不显著,但生活功能突出。可将此类区域内部资源进行整合,为当地旅游业、工商业、服务业等发展提供便利的交通、购物、住宿、娱乐和餐饮服务	居住+就业支持+教育文化区

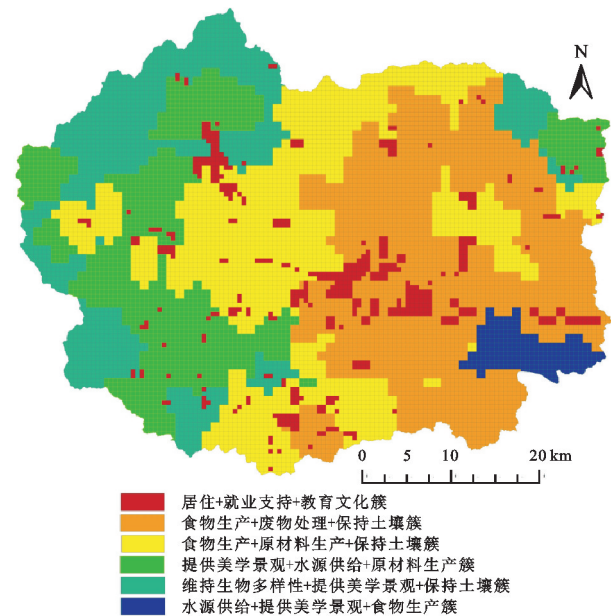


图 3 阜平县生态系统服务功能价值簇分布

Fig. 3 Ecosystem service function value cluster distribution in Fuping County

3.3 复合型产业模式设计

在上述工作基础上,将生态系统服务主导功能价值分区图与土地资源空间分布、地形地貌图、产业发展分布图(图 5)叠加,综合考虑各类资源要素的实际情况和现有产业的发展基础,进行各主导功能价值区的复合型产业发展模式设计(图 6)。各区复合产业发展模式设计必须突出阜平县的区域特色,立足自身优势,以天生桥瀑布群自然风景区、云花溪谷自然风景区、晋察冀边区

革命纪念馆、三岩寨风景区为旅游规划核心区,通过沧榆高速、西阜高速将主城区与主要旅游景区串联,并与本地文化产业、农产品生产及加工等产业相结合,形成文化、旅游、农产品生产和加工一体的多元化发展思路。

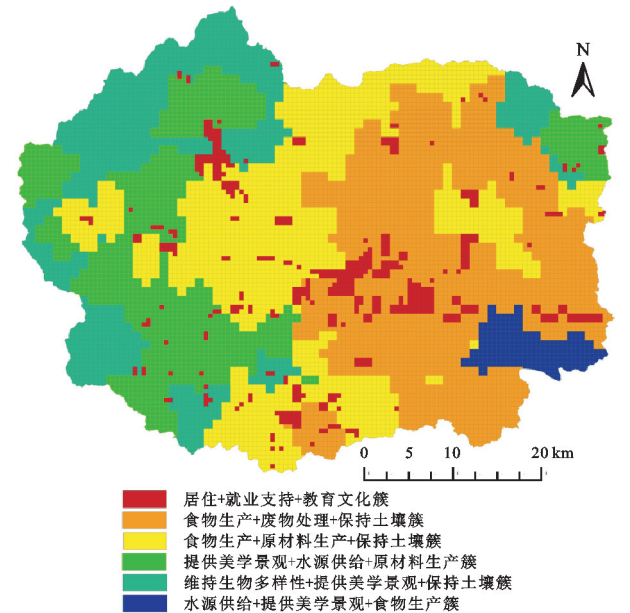


图 4 阜平县生态系统服务主导功能价值区分布

Fig. 4 Layout of ecosystem service leading function value differentiation in Fuping County

(1)“旅游业+文化产业”模式。“旅游业+文化产业”模式主要依托晋察冀边区革命纪念馆等红色文化旅游景区,将文化教育与旅游相结合,立足自身红色优势,打造出集革命传统教育、爱国主义教育、党风

廉政教育、研学实践教育为一体的经典红色旅游区。该模式所在区域有丰富的动植物资源与优质的生态环境,为生态旅游的发展奠定了良好的自然资源条件,社会文化方面受历史的影响,具有相对独特性,依托于特殊的文化资源,以自然观光为主的生态旅游与红色教育为主的文化知识型旅游二者融合发展能够满足不同消费主体的需求。同时,爱国情怀的渲染可为文化与旅游融合发展提供充分的内部生成契机。融合发展有助于增强旅游产业的地区特色与消费结构的升级,从而推动服务产品的更新换代与区域经济的可持续发展。

(2)“旅游业+畜牧业”模式。“旅游业+畜牧业”模式多分布于食物生产+原材料生产+保持土壤主导价值区与食物生产+废物处理+保持土壤主导价值区,该模式所在区域邻近旅游景区,土地利用类型以草地为主,以畜禽养殖为主要产业。基于当前消费主体多元化的需求,只有通过提高旅游服务与衍生产品的质量与档次,特别是相较其他地区,其产品特色具有不可替代性,在此基础上才能够留住游客,使游客保持旅游的新鲜感,获得良好的旅游体验。同时,合理整合当前所具备的优势资源与环境条件,充分发挥区域特色,创新区域旅游项目活动。可通过引进先进技术,建立高效生产流水线,对畜禽进行统一管理,打造畜禽养殖孵化观光体验基地,并依靠旅游业吸引游客,实现旅游业的多元化发展。

(3)“旅游业+农产品加工业”模式。“旅游业+农产品加工业”模式多集中于维持生物多样性+提供美学景观+保持土壤主导价值区与水源供给+提供美学景观+食物生产主导价值区,土地利用类型以林地、水域为主,气体调节功能、气候调节功能、土壤保持功能以及维持生物多样性功能提供较高的生态系统服务价值,发挥着维持整个区域生态系统稳定的作用,产业主要为林果业、香菇、木耳等,可在保持生态稳定的前提下,将旅游业与农产品加工业相结合,拉动消费,实现价值增值,另外,“旅游业+农产品加工业”模式与“旅游业+文化产业”模式相接,自然风景与红色文化相结合,生态保护与科研教育相结合,打出“红绿组合”拳,在发展生态旅游和乡村旅游的同时,增加由红色旅游引来游客的体验感,达到“红绿融合、以红带绿”的效果,从而使更多村镇获益于旅游业。

(4)“生态林业+旅游业”模式。“生态林业+旅游业”模式多集中于维持生物多样性+提供美学景观+保持土壤主导价值区,该模式所在区域土地利用类型以林地为主,海拔较高,人口稀少,气体调节、气候调节、土壤保持以及维持生物多样性服务功能价值

较高,对维持整个区域生态系统的稳定发挥重要作用,为此开发过程中应以生态保护为主,另外,该区域可作为景观背景,与“旅游业+农产品加工业”模式、“旅游业+文化产业”模式相结合,选择合适位置建立观景台,丰富现有风景区的可观赏度。

(5)“旅游业+中药材加工业”模式。“旅游业+中药材加工业”模式邻近旅游区,并且该模式所在区域已进行标准化厂房建设,可以适度扩大专业化厂房建设,实现规模化经营,打造具有观光条件的现代化产业园区。以生态保护为前提,依据当地的自然资源条件与分布现状,培育龙头企业,提高科学技术参与度,打造多方位的产业经营发展模式。以黄芩为例,通过技术手段,实现种植专业、生产科学化、加工高效化、销售多渠道化,打造成为中药材产业的“领头羊”,建设中药材加工基地。构建集中药材加工、科学营销、高品质服务于一体的综合发展模式。同时还可以通过培育景观种植、休闲旅游体验等多样一体化服务模式促进中药材产业链的延伸发展。

(6)“商住服务业+教育文化产业”模式。“商住+教育文化”模式主要分布于居住+就业支持+教育文化区,该模式所在区域集中于主城区,生态系统服务功能总价值较低,但经济发达,人口密集且流动性大,可依托交通与人口优势,立足当地资源条件,以市场需求为导向,推进科教、旅游、康养等产业相结合,在带动周边旅游业发展的同时,深入挖掘教育、康养的文化底蕴,依托自然、人文资源,发展独具特色的服务业品牌,打造具有阜平特色的商住、教育、文化集散中心。有助于带动县域经济可持续发展的同时提升阜平县服务业品牌的影响力与竞争力,进而促进三大产业的协同发展。

(7)“智慧农业+旅游业”模式。“智慧农业+旅游业”模式主要分布于食物生产+原材料生产+保持土壤主导价值区,可引进先进的农业种植、管理技术,发展智慧农业,以科学技术为支撑,为农业的进一步发展提供便利性条件。在发展思路上,可以引进农产品种植和作物监测方面的先进机器,在提升土地生产效率的同时,解放劳动力,实现农业生产规模化、集约化。另一方面,进一步完善农村内部道路、水利、电力及新能源等基本设施,有助于提升农业生产效率的同时缓解能源压力。在产业融合方面,可根据当地农产品种植特色创建以农业种植为核心的创新示范园区,举办以信息化、网络化、创新化为内涵的农业创新示范活动,吸引游客参与。为此,在提高土地生产效率的同时增加农业生产的可观赏性,实现农业与旅游业双驱并进,可共同助力该区域的经济的发展。

阜平县正处于脱贫攻坚与乡村振兴相衔接的阶段,在保持生态稳定的前提下,复合型产业发展模式,是实现乡村共同富裕的必要条件。阜平县拥有优质的旅游资源及相关政策的扶持,将旅游业与现有产业进行整合,对产业发展规划、社会经济发展规划进行综合考虑,选择适宜当地实际情况的发展道路,通过一地多产与产业合理布局,实现土地利用的高附加值,以环境优势创造经济优势,实现研究区生态保护与经济发展同步进行,呈现“绿水青山就是金山银山”的全域化格局。

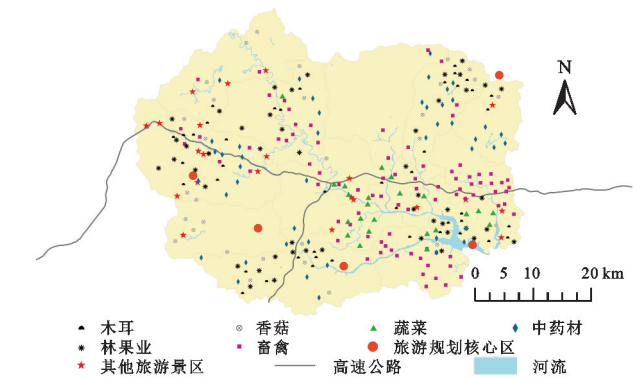


图 5 阜平县产业分布

Fig. 5 Industry distribution map of Fuping County

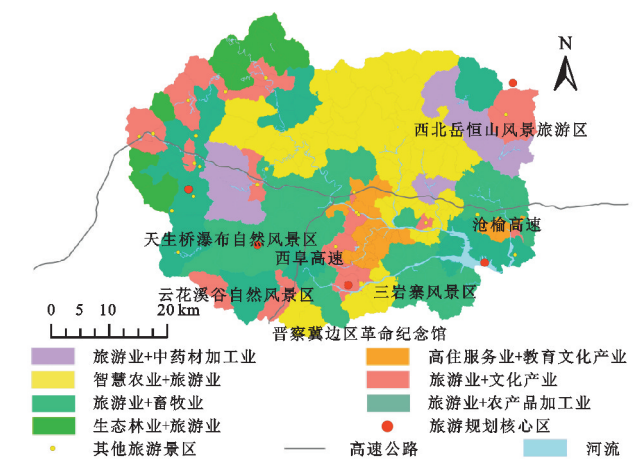


图 6 阜平县复合型产业模式分布

Fig. 6 Distribution of compound industry patterns in Fuping County

4 结论

(1) 阜平县各项生态系统服务功能总价值共计 446 771.339 万元。从空间分布来看,以林地为主的西部和东北部地区原材料生产、气体调节、气候调节等 8 种价值较高;以耕地为主的东南部地区食物生产价值较高;王快水库及附近区域提供了较多的水源供给、废物处理与景观美学价值,生态系统服务功能价值的空间分布特征与土地利用类型分布关系密切,林地承担着调节服务与支持服务的功能,供给功能主要由耕地和林地承担,以王快水库为核心的水域主要提

供美学景观的功能。

(2) 通过对 9 种生态系统服务功能价值进行聚类分析生成 6 种生态系统服务功能价值簇,分别为:水源供给+提供景观美学+食物生产簇、维持生物多样性+提供景观美学+保持土壤簇、提供美学景观+水源供给+原材料生产簇、食物生产+废物处理+保持土壤簇、食物供给+原材料生产+保持土壤簇、居住+就业支持+教育文化区簇。将生态系统服务功能价值簇按行政村边界和地类图斑界线修正,形成价值簇对应的生态系统服务主导功能价值区。生态系统服务主导功能价值区能够从地理空间、经济空间和社会空间进行多维向的探讨,为复合型产业发展模式设计提供依据。

(3) 将生态系统服务主导功能价值分区图与土地资源空间分布、地形地貌图、产业发展分布图叠加,分区设计出 7 种复合型产业发展模式:“旅游业+文化产业”模式、“旅游业+畜牧业”模式、“旅游业+农产品加工业”模式、“生态林业+旅游业”模式、“旅游业+中药材加工业”模式、“商住服务业+教育文化产业”模式、“智慧农业+旅游业”模式,发展复合型产业模式有助于山区县经济与生态的协同发展,为山区县实现乡村振兴与生态富民提供新的驱动力。

参考文献:

[1] Hacklin F, Wallin M W, Björkdahl J, et al. The making of convergence: Knowledge reuse, boundary spanning, and the formation of the ICT industry[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2023, 70 (4):1518-1530.

[2] Khan S A R, Dong Q L, Yu Z. Study of logistics and manufacturing industry integration from the perspective of pakistan[J]. International Journal of Engineering Research in Africa, 2016,4438(24):172-180.

[3] Nugroho B D A, Aliwarga H K. RiTx;Integrating among Field Monitoring System (FMS), Internet of Things (IOT)and agriculture for precision agriculture[J]. Iop Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019,335(1):012022-012027.

[4] Sharma Komal, Sharma Chetan, Sharma Shamneesh, et al. Broadening the research pathways in smart agriculture: Predictive analysis using semiautomatic information modeling[J]. Journal of Sensors, 2022,2022: 5442865-5442883.

[5] Dhanaraju Muthumanickam, Chenniappan Poongodi, Ramalingam Kumaraperumal, et al. Smart farming: Internet of Things (IoT)-Based sustainable agriculture [J]. Agriculture, 2022,12(10):1745.

- [6] 费文君,徐阳阳.复合型产业在南京市江宁区乡村旅游中的发展模式[J].农业工程,2020,10(2):109-114.
Fei W J, Xu Y Y. The development model of compound industry in rural tourism in Jiangning District, Nanjing [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2020, 10(2): 109-114.
- [7] 伍海峰.推动建设复合型产业城镇促进青海省经济社会发展[J].全国流通经济,2021(2):148-150.
Wu H F. Promoting the construction of Compound industrial towns to Promote the economic and social development of Qinghai Province [J]. National Circulation Economy, 2021(2):148-150.
- [8] 丁鹏.黑龙江省农村产业融合水平测度及提升策略研究[D].黑龙江大庆:黑龙江八一农垦大学,2022.
Ding P. Research on measurement and improvement strategy of rural industry integration level in Heilongjiang Province [D]. Daqing, Heilongjiang: Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2022.
- [9] Kwon Ohjin, An Yoonjung, Kim Myeongjung, et al. Anticipating technology-driven industry convergence: evidence from large-scale patent analysis[J]. Technology Analysis & Strategic Management, 2020, 32(4): 363-378.
- [10] 李科.基于三生功能的长株潭城市群国土空间时空格局演变与优化布局研究[D].长沙:湖南师范大学,2020.
Li K. Study on the evolution and optimal layout of the spatial and temporal pattern of the Chang-Zhu-tan urban agglomeration based on the function of Sansheng [D]. Changsha: Hunan Normal University, 2020.
- [11] 王子健,黄亚平,谢来荣.县级国土空间规划分区方法探索:以湖北省黄梅县为例[J].自然资源学报,2022,37(11):2837-2855.
Wang Z J, Huang Y P, Xie L R. Exploration of zoning methods for county-level territorial spatial planning: a case study of Huangmei County, Hubei Province [J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(11): 2837-2855.
- [12] De Groot R S, Wilson M A, Boumans R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services[J]. Ecological Economics, 2002, 41(3): 393-408.
- [13] 高月明,吴文俊,蒋洪强,等.基于全球陆地生态系统的水源涵养服务价值时空变化分析[J].环境科学研究,2021,34(11):2696-2705.
Gao Y M, Wu W J, Jiang H Q, et al. Spatial and temporal variation of water conservation service value based on global terrestrial ecosystem [J]. Research of Environmental Sciences, 2019, 34(11): 2696-2705.
- [14] Parron Lucilia Maria, Villanueva Anastasio Jose, Glenk Klaus. Estimating the value of ecosystem services in agricultural landscapes amid intensification pressures: The Brazilian case [J]. Ecosystem Services, 2022, 57: 101476-101485.
- [15] 刘洋洋,任涵玉,周荣磊,等.中国草地生态系统服务价值估算及其动态分析[J].草地学报,2021,29(7):1522-1532.
Liu Y Y, Ren H Y, Zhou R L, et al. Estimation and dynamic analysis of grassland ecosystem service value in China [J]. Journal of Grassland Science, 2019, 29(7): 1522-1532.
- [16] Filho Luiz Magalhães, Roebeling Peter, Villasante Sebastián, et al. Ecosystem services values and changes across the Atlantic coastal zone: Considerations and implications [J]. Marine Policy, 2022, 145: 105265-105277.
- [17] Anleye Melkamu Alebachew, minale Amare Sewnet, Ayehu Nigusse Haregewoyn, et al. Assessing the impacts of land use/cover changes on ecosystem service values in Rib watershed, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia [J]. Trees, Forests and People, 2022, 7: 100212-100221.
- [18] Grammatikopoulou Ioanna, Vačkářová Davina. The value of forest ecosystem services: A meta-analysis at the European scale and application to national ecosystem accounting [J]. Ecosystem Services, 2021, 48: 101262-101275.
- [19] 杨倩,孟广涛,谷丽萍,等.草地生态系统服务价值评估研究综述[J].生态科学,2021,40(2):210-217.
Yang Q, Meng G T, Gu L P, et al. Review on the evaluation of grassland ecosystem service value [J]. Scientia Ecologica Sinica, 2021, 40(2): 210-217.
- [20] 陈莎.基于生态系统服务权衡的农地格局与利用决策研究[D].杭州:浙江大学,2021.
Chen S. Research on the pattern and utilization of farmland based on the trade-off of ecosystem services [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2021.
- [21] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等.中国生态系统服务的价值[J].资源科学,2015,37(9):1740-1746.
Xie G D, Zhang C X, Zhang C S, et al. The value of ecosystem services in China [J]. Resources Science, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [22] 韩晶,崔金芳,杨威,等.基于 InVEST 模型的低山丘陵区土壤侵蚀变化与驱动因素分析[J].水土保持研究,2022,29(5):32-39.
Han J, Cui J F, Yang W, et al. Analysis of soil erosion change and driving factors in low hilly area based on InVEST model [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 29(5): 32-39.
- [23] Lin Y P, Lin W C, Li H Y, et al. Integrating social values and ecosystem services in systematic conservation planning: A case study in Datuan Watershed [J]. Sustainability, 2017, 9(5): 718.

[26] 王丽霞,赵蕊,刘招,等.基于 RSEI 的延河流域生态环境质量监测与预估[J].干旱区研究,2022,39(3):943-954.
Wang L X, Zhao R, Liu Z, et al. Monitoring and prediction of ecological environmental quality in the Yanhe River Basin based on the remote sensing ecological index[J]. Arid Zone Research, 2022,39(3):943-954.

[27] 魏雨涵,钱建平,范伟伟,等.基于 RSEI 的漓江流域生态环境质量动态监测[J].中国水土保持科学(中英文),2021,19(1):122-131.
Wei Y H, Qian J P, Fan W W, et al. Dynamic monitoring of ecological environment quality in Lijiang River Basin based on RSEI[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2021,19(1):122-131.

[28] Huang H, Chen W, Zhang Y, et al. Analysis of ecological quality in Lhasa metropolitan area during 1990-2017 based on remote sensing and google earth engine platform[J]. Journal of Geographical Sciences, 2021, 31(2):265-280.

[29] 国家防洪抗旱总指挥部办公室.2011 年全国洪涝灾害情况[J].中国防汛抗旱,2012,22(1):26-26.
Office of the National Flood Control And Drought Relief Headquarters.2011 national flood disaster situation [J]. China Flood Control Anddrought Relief, 2012,22 (1):26-26.

[30] 金佳鑫,肖园园,金君良,等.长江流域极端水文气象事件时空变化特征及其对植被的影响[J].水科学进展,2021,6(32):867-876.
Jin J X, Xiao Y Y, Jin J L, et al. Spatial-temporal variabilities of the contrasting hydrometeorological extremes and the impacts on vegetation growth over the Yangtze River basin[J]. Advances in Water Science, 2021,32 (6):867-876.

[31] 黄涛,徐力刚,范宏翔,等.长江流域干旱时空变化特征及演变趋势[J].环境科学研究,2018,31(10):1677-1684.
Huang T, Xu L G, Fan H X, et al. Temporal and spatial variation characteristics and the evolution trends of droughts in the Yangtze River Basin[J]. Research of Environmental Sciences, 2018,31(10):1677-1684.



(上接第 426 页)

[24] Sherrouse B C, Semmens D J. Validating a method for transferring social values of ecosystem services between public lands in the Rocky Mountain region[J]. Ecosystem Services, 2014,8:166-177.

[25] Bagstad K J, Semmens D J, Winthrop R. Comparing approaches to spatially explicit ecosystem service modeling: A case study from the San Pedro River, Arizona [J]. Ecosystem Services, 2013,5:40-50.

[26] 杨洁,谢保鹏,张德罡.基于 InVEST 和 CA-Markov 模型的黄河流域碳储量时空变化研究[J].中国生态农业学报(中英文),2021,29(6):1018-1029.
Yang J, Xie B P, Zhang D G. Spatial and temporal changes of carbon storage in the Yellow River Basin based on InVEST and CA-Markov model[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2021,29(6):1018-1029.

[27] 杨园园,戴尔阜,付华.基于 InVEST 模型的生态系统服务功能价值评估研究框架[J].首都师范大学学报:自然科学版,2012,33(3):41-47.
Yang Y Y, Dai E F, Fu H. Research on the value evaluation of ecosystem services based on InVEST model [J]. Journal of Capital Normal University: Natural Science Edition, 2012,33(3):41-47.

[28] 张雪.可能性聚类有效性评价研究[D].哈尔滨:哈尔滨理工大学,2014.
Zhang X. Research on effectiveness evaluation of likelihood clustering[D]. Harbin: Harbin University of Science and Technology, 2014.

[29] Uzcategui Salazar Marisela, Lillo Javier. A new approach to pollution vulnerability assessment in aquifers using K-means analysis[J]. Environmental Earth Sciences, 2022,81(20):495-525.

[30] 吴昊,杨济时.小微企业融资支持方向:基于第三方电商平台的商业银行融资策略[J].财经问题研究,2015 (4):47-53.
Wu H, Yang J S. Direction of financing support for small and micro enterprises; Financing strategy of commercial banks based on third-party e-commerce platform[J]. Journal of Finance and Economics, 2015(4): 47-53.