

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2024.03.09

李状,白耀楠,刘宏伟,韩博,苗晋杰,徐丹虹. 2024. 京津冀地区生态系统服务功能重要性及空间分布[J]. 华北地质, 47(3):88-96+110.

Li Zhuang, Bai Yaonan, Liu Hongwei, Han Bo, Miao Jinjie, Xu Danhong. 2024. Evaluation and Spatial Distribution of Ecosystem Services in the Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. North China Geology, 47(3):88-96+110.

京津冀地区生态系统服务功能重要性及空间分布

李 状,白耀楠,刘宏伟*,韩 博,苗晋杰,徐丹虹

(中国地质调查局天津地质调查中心(华北地质科技创新中心),天津 300170)

摘 要:【研究目的】京津冀高质量协同发展需要对重点生态功能区进行科学的识别、划分和加以保护,进一步提升生态系统质量和稳定性。【研究方法】基于“双评价”指南和《生态保护红线划定指南》,本文以京津冀为研究区,采用层次分析法从水源涵养、水土保持、生物多样性、防风固沙四个方面开展生态系统服务功能重要性评价,综合评价结果将生态系统服务功能重要性分为极重要、重要和一般重要3个等级,进一步分析京津冀生态系统服务功能重要性及其空间分布特征。【研究结果】结果表明:(1)研究区水源涵养、水土保持、生物多样性、防风固沙重要性评价面积从一般重要到极重要呈递减分布。其中水源涵养服务功能极重要区面积占比13.72%;水土保持功能极重要区面积占比15.20%。生物多样性维护功能极重要区面积占比25.33%;防风固沙功能极重要区面积占比11.32%。(2)研究区生态系统服务功能重要性基本呈现北高、南低的空间分布特征,面积从一般重要到极重要呈递减分布。生态系统服务功能极重要区面积为34 617.76 km²,约总面积的16.03%。(3)生态系统服务功能极重要区内林地、草地和少部分的耕地占主要部分,面积占比分别为68.74%、16.74%和10.86%。表明极重要区内植被覆盖度较高,人类活动少。【结论】研究区生态系统服务功能重要性空间分布相对不均匀,整体以一般重要区为主;此外,森林、草地等植被为维持研究区生态系统的稳定及其服务功能发挥着重要作用。

关键词:生态系统服务功能;层次分析法;空间分布;京津冀地区**创新点:**系统评估和分析京津冀地区水源涵养、水土保持、生物多样性、防风固沙重要性,并基于生态系统类型分区进一步讨论京津冀地区生态系统服务功能重要性空间分布特征。

中图分类号:X171

文献标识码:A

文章编号:2097-0188(2024)03-0088-10

Evaluation and spatial distribution of ecosystem services in the Beijing-Tianjin-Hebei region

LI Zhuang, BAI Yaonan, LIU Hongwei*, HAN Bo, MIAO Jinjie, XU Danhong

(Tianjin Center, China Geological Survey(North China Geological Science and Technology Innovation), Tianjin 300170, China)

Abstract: This paper is the result of the importance of ecosystem service function.**[Objective]** The high-quality coordinated development of Beijing-Tianjin-Hebei requires scientific identification, division and protection of key ecological functional areas to further improve the quality and stability of the ecosystem. **[Methods]** Based on the

收稿日期:2023-08-31

基金项目:中国地质调查局项目:“京津冀协同发展区暨雄安新区资源环境承载能力监测评价”(No.DD20221727)

作者简介:李状(1995-),男,硕士,助理工程师,主要从事水工环地质调查研究,E-mail: lizhuang01@mail.cgs.gov.cn。

*通讯作者:刘宏伟(1982-),男,硕士,正高级工程师,主要从事水工环地质调查研究,E-mail: liuhengy022@163.com。

"Double evaluation" guideline and the "Guideline for delineating the Red Line of Ecological Protection", this paper took the Beijing-Tianjin-Hebei region as the research area, and carried out the evaluation of the importance of ecosystem service functions from four aspects: water conservation, soil and water conservation, biodiversity, and wind and sand prevention with analytic hierarchy process. The comprehensive evaluation results divided the importance of ecosystem service functions into three levels: very important, important and generally important, and further analyzed the importance and spatial distribution characteristics of ecosystem service functions in Beijing-Tianjin-Hebei. **[Results]** The results showed that: (1) The evaluation area of the importance of water conservation, soil and water conservation, biodiversity, wind and sand fixation in the study area decreased from the general important to the very important. The area of water conservation service function is very important, accounting for 13.72%; The area of extremely important soil and water conservation function accounted for 15.20%. 25.33% of the areas were very important for biodiversity conservation. The area of the extremely important function of wind prevention and sand fixation accounted for 11.32%. (2) The importance of ecosystem service functions in the study area showed the spatial distribution characteristics of high in the north and low in the south, and the area showed a decreasing distribution from generally important to extremely important. The area of extremely important ecosystem service function is 34617.76 km², about 16.03% of the total area. (3) Forest land, grassland and a small part of cultivated land accounted for 68.74%, 16.74% and 10.86%, respectively, in the extremely important ecosystem service function area. It indicates that the vegetation coverage is higher and human activities are less in the extremely important area. **[Conclusions]** The spatial distribution of ecosystem service importance in the study area is relatively uneven, and the overall distribution is dominated by the general important area. In addition, vegetation such as forest and grassland plays an important role in maintaining the stability and service function of the ecosystem in the study area.

Key words: Importance of ecosystem service function; Hierarchical analysis; Spatial distribution; Beijing-Tianjin-Hebei region

Highlights: The importance of water conservation, soil and water conservation, biodiversity, wind prevention and sand fixation in the Beijing-Tianjin-Hebei region was systematically evaluated and analyzed, and the spatial distribution characteristics of ecosystem service importance in the Beijing-Tianjin-Hebei region were further discussed based on ecosystem types.

About the first author: Li Zhuang, male, born in 1995, assistant engineer, engaged in hydrogeological survey, E-mail: lizhuang01@mail.cgs.gov.cn.

About the corresponding author: Liu Hongwei, born in 1982, male, master, senior engineer, mainly engaged in geological survey of hydraulic ring, E-mail: Liu Henry022@163.com.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey(No.DD20221727)

党的十八大以来,党中央、国务院制定出台了《关于加快推进生态文明建设的意见》和《生态文明体制改革总体方案》,把构建生态文明体系和推动经济社会发展全面绿色转型作为重要任务之一,对科学划定和优化生态保护、永久基本农田、城镇开发边界等各类保护红线也提出了新要求。生态系统服务功能重要性评价结果能够为科学管理生态系统、合理制定生态保护政策提供直接的科学依据。生态系统服务功能是指人类从生态系统中获得的效益,包括生态系统对人类可以产生直接影响的供给功能、调节功能、支持功能和文化功能(Millennium Ecosystem Assessment Program, 2003)。

20世纪90年代,自从生态系统服务的概念、内涵等被引入国内以及 Costanza 等人研究成果发表

后(Costanza et al., 1997),国内关于生态系统服务功能的相关研究逐渐成为热点(郑华等,2013;黄从红等,2013;李艳春等,2011;王冲等,2025)。不同学者采用GIS空间分析技术、《生态保护红线划定指南》法、NPP定量指标评估法等,对不同区域开展了生态系统服务功能重要性实例研究,丰富了国内生态系统服务功能的研究内容(汪朝霞等,2022),但仍然存在一些重点和难点问题有待我们进一步的研究和解决。例如在已有的研究中,对于大中尺度区域生态系统服务重要性综合评价的研究较少。一些研究是基于专家的先验知识对研究区进行定性的、主观的评价分析,结果不能客观的反应研究区生态系统服务的真实情况。而部分量化分级评价方法由于参数设置的过于繁杂,使得数据较难获

取。因此本文针对该问题开展京津冀跨区域尺度生态系统服务重要性综合评价研究。

2023年5月,习近平总书记在深入推进京津冀协同发展座谈会上强调:“推动京津冀协同发展不断迈上新台阶,努力使京津冀成为中国式现代化建设的先行区、示范区”。国家“十四五”规划纲要为京津冀协同发展明确了路径,确定了其在“十四五”时期和国家发展全局中的重要地位。当前,京津冀地区仍然面临水土流失、土地沙化、地面沉降和地下水超采严重等生态环境问题。京津冀高质量协同发展急需实施资源环境综合调查和国土空间生态地质调查,对重点生态功能区进行科学的识别、划分和加以保护,进一步提升生态系统质量和稳定性,完善生态安全屏障体系,加大生态保护修复力度。本文以京津冀为研究区,基于“双评价指南”(自然资源部,2020)和《生态保护红线划定指南》(国家环境保护总局,2015),同时参考部分省份相关标准(湖南省自然资源厅,2019;广东省自然资源厅,2020;江西省市场监督管理局,2020),利用专家-层次分析法(AHP)对水源涵养、水土保持、生物多样性、防风固沙四个方面重要性展开生态系统服务功能重要性评价,综合评价京津冀生态系统服务功能重要性等级并分析其空间分布情况,为掌握京津冀生态系统现状提供技术支撑,为推动京津冀有针对性的生态保护提供科学依据。

1 研究区概况

研究区主要位于京津冀地区,地处我国华北平原的核心地带,范围 $113^{\circ}11' \sim 119^{\circ}45' E$, $36^{\circ}05' \sim 42^{\circ}37' N$,面积约 $21.6 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。区内不仅包含北京、天津两大直辖市,还囊括了河北省辖区内的11个市级行政区。其中,北京、天津、保定、廊坊为中部核心功能区。

京津冀地区地形复杂,总体可分为坝上高原、燕山-太行山山地、京津冀平原三大地貌单元区。区内地势总体呈西北高,东南低,自西北向东南大致呈半环状逐级下降(图1)。北部坝上高原,海拔多在1300~1600 m。北部、西部燕山-太行山山地,海拔多在500~1000 m以上,东南部京津冀平原,海拔多低于100 m。京津冀气候属于典型的温带半湿润半

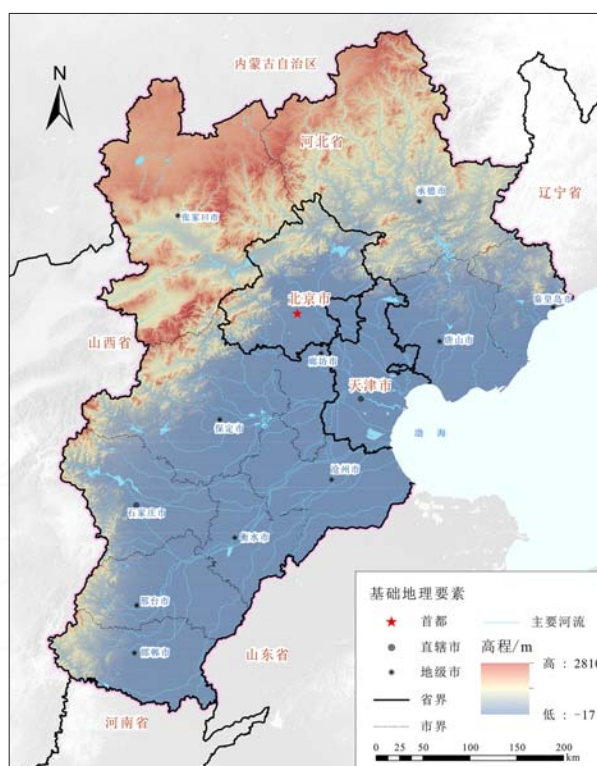


图1 研究区地理位置及地形图

Fig. 1 Geographical location and topographic map of the study area

干旱季风气候,年平均气温 $3 \sim 13^{\circ}C$,由北向南逐渐升高;年平均降水量300~800 mm,降水时空分布不均匀,降水主要集中在夏季,冬季降水最少。京津冀地区属海河、滦河、辽河和内陆河流域,区内水系发达,分布近60条河流。其中,海河流域面积 $12.46 \times 10^4 \text{ km}^2$,滦河(包括陡河及冀东沿海诸小河)流域面积 $4.64 \times 10^4 \text{ km}^2$,承德地区东部部分地区属辽河流域、面积 $0.49 \times 10^4 \text{ km}^2$,张家口的坝上高原属内陆河流域,面积 $1.18 \times 10^4 \text{ km}^2$ (李素晓,2019)。

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源

本研究以京津冀为研究区,主要涉及以下六类关键数据:1)降雨量、蒸发量和风速等气象数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心网(<https://www.resdc.cn/>)发布的中国气象要素平均状况空间插值数据集(徐新良,2017);2)地表径流深度来源于国家青藏高原科学数据中心(<https://data.tpdc.ac.cn/>)公布的“一带一路”沿线国家径流系数和径流深数据

(2015)(贾绍凤,2020);3)土地利用数据主要来源于2021年Esri对外公布的2020年全球10 m土地覆盖数据;4)坡度是基于地理空间数据云获得的ASTER GDEM 高程数据,利用ArcGIS坡度计算工具得到京津冀坡度栅格数据,空间分辨率为30 m;5)植被覆盖度来源于中国科学院资源环境科学与数据中心网(<https://www.resdc.cn/>)发布的中国年度1KM植被指数(NDVI)空间分布数据集(徐新良,2018);6)土壤类型数据来源于世界土壤数据库(HWSD,<https://www.fao.org/soils-portal/en/>)。

2.2 研究方法

2.2.1 生态系统服务功能重要性评价

本文参考“双评价指南”中对省级评价的要求,从京津冀区域生态安全底线出发,评价生态系统服务功能重要性。其中生态系统服务功能重要性的单要素评价主要包括水源涵养、水土保持、生物多样性维护、防风固沙等。本研究采用专家-层次分析法(AHP)法(刘宏伟等,2022;Elbasit et al., 2021)和综合指数法(王跃等,2023;牛鹏飞,2021)构建研究区的态系统服务功能重要性评价模型,对其生态系统服务功能重要性进行评价。其中,生态系统服务功能重要性评价所需的四个单要素为一级指标,各单要素评价所需的单项指标为二级指标。本文参考“双评价指南”和相关标准(国家环境保护总局,2015;湖南省自然资源厅,2019;广东省自然资源厅,2020;江西省市场监督管理局,2020),对二级评价指标分级并赋值(表1);采用专家-层次分析法(AHP)来确定生态系统服务功能重要性评价各级指标权重;采用综合指数模型计算生态系统服务功能重要性和单要素的综合指数值(公式1~5),再利用ArcGIS按照自然间断点对计算所得的综合指数值划分等级赋值,并绘制评价成果图。生态系统服务功能重要性评价计算公式如下:

$$I=E \cdot w_e+S \cdot w_s+T \cdot w_t+F \cdot w_f \quad (1)$$

$$E \cdot w_e=\sum_{i=1}^n w_{ei} \cdot x_{ei} \quad (2)$$

$$S \cdot w_s=\sum_{i=1}^n w_{si} \cdot x_{si} \quad (3)$$

$$T \cdot w_t=\sum_{i=1}^n w_{ti} \cdot x_{ti} \quad (4)$$

$$F \cdot w_f=\sum_{i=1}^n w_{fi} \cdot x_{fi} \quad (5)$$

式中: I 为生态系统服务功能重要性, E 为水源涵养功能重要性, S 为水土保持功能重要性, T 为生物多样性维护功能重要性, F 为防风固沙功能重要性, w_e 、 w_s 、 w_t 、 w_f 分别代表四个一级指标的权重值; w_{ei} 、 w_{si} 、 w_{ti} 、 w_{fi} 分别代表四个单要素下第*i*个二级指标相对于该层中所有指标的权重值; x_{ei} 、 x_{si} 、 x_{ti} 、 x_{fi} 分别代表四个单要素下第*i*个二级指标的分级赋值。通过各单元的最终得分,经过自然间断点法统计分析,得出生态系统服务功能重要性和单要素评价等级分区并赋值。

(1) 水源涵养功能重要性

水源涵养量是通过降水量减去蒸散量和地表径流量得到的(自然资源部,2020)。因此,降水量大于蒸发量较多,且地表径流量相对较小的区域,水源涵养功能重要性较高(刘兆芹,2013;刘天可等,2020)。基于《双评价指南》以及研究区实际情况,选取降水量、蒸发量、地表径流深度、植被覆盖度和生态系统类型来作为评价水源涵养重要性的指标。指标权重分配和分级如表1所示。

(2) 水土保持功能重要性

水土保持是防治水土流失,保护、改良和合理利用水土资源,建立良好生态环境的一项重要工作(文俊等,2010)。通过生态系统类型、植被覆盖度和地形特征的差异,评价生态系统土壤保持功能的相对重要程度。此外,水土保持功能还受降雨、地表径流的影响比较大,降水量越大,地表径流越深的地区,水土保持功能重要性越高(李洋等,2018;雷泳南,2020)。基于《双评价指南》(自然资源部,2020)以及京津冀地区实际情况,选取降水量、地表径流深度、植被覆盖度和坡度,来作为评价水土保持重要性的指标。指标权重分配和分级如表1所示。

(3) 生物多样性维护功能重要性

生物多样性是指生命形式的多样性,包括物种内、物种间、生态系统和景观的多样性(国家环境保护总局,2015;马孟泉等,2019;刘铭华等,2021)。本文根据研究区自然保护区情况、生态系统类型进行生物多样性保护重要性评价。从生态系统层次,参考优先保护生态系统目录(指南附表A-1),并考虑到生态系统应当具备完整性和连通性,将森林生态系统、自然保护区确定为极重要区,将草地、水域

表1 生态系统服务功能重要性评价指标权重分配与分级赋值

Table 1 Weight allocation and grading assignment of ecosystem service function evaluation index

一级指标	二级指标	权重	III	II	I	权重
水源涵养	降水量	15.36%	600~400	400~300	<300	25.09%
	蒸发量	18.63%	<1000	1000-1400	>1400	
	径流深	18.94%	<30	30-100	>100	
	生态系统类型	22.46%	林地、草地	农田、水域	建设用地、戈壁荒漠	
	植被覆盖度	24.60%	>0.6	0.2~0.6	<0.2	
水土保持	植被覆盖度	38.65%	>0.6	0.2~0.6	<0.2	16.07%
	径流深	11.80%	>100	30~100	<30	
	降水量	22.28%	>600	400-600	<400	
	坡度	27.26%	自然间断点法(陡-缓)		缓	
生态多样性			从生态系统层次,将森林生态系统、自然保护区确定为极重要区,将草地、水域湿地与荒漠确定为重要区			10.01%
防风固沙	土壤类型	6.59%	砂性土(流沙)、砾石、亚砂土	黄土、盐泽土	较软岩层、坚硬岩层	48.83%
	风速	7.75%	自然间断点法(强-弱)		弱	
	植被覆盖度	34.59%	0.2	0.2~0.6	>0.6	
	生态系统类型	13.70%	建设用地、戈壁荒漠	农田、水域	林地、草地	
	降水量	20.24%	<400	400~600	>600	
		坡度	17.14%	自然间断点法(陡-缓)		缓

湿地与荒漠确定为重要区。

(4)防风固沙功能重要性

防风固沙是一种生态建设活动,是为了保持水土、防止沙尘暴等恶劣天气对人们的生活造成影响(冯宇等,2013)。生态系统通过其结构与功能减少由于风蚀所导致的土壤侵蚀的作用,这种保持土壤、抑制风蚀过程的功能即为防风固沙功能。一般地,森林、灌丛、草地生态系统防风固沙功能相对较高,大风天数较多、植被覆盖度较高、土壤砂粒含量高的区域,防风固沙功能重要性较高。降水量、地形因素也会在一定程度上影响区域内地表的风蚀。基于《双评价指南》(自然资源部,2020)以及研究区实际情况,选取风速、降水量、土壤类型、地形、植被覆盖度和生态系统类型,来作为评价防风固沙重要性的指标。指标权重分配和分级如表1所示。

2.2.2 生态系统服务功能重要性空间格局分析

本文利用 ArcGIS 软件对生态系统服务功能不同程度重要性的中心位置及热点进行分析。中位数中心是受异常值影响较小的一种中心趋势度量。通过 ArcGIS 中位数中心计算工具,探究各生态服务重要性区域在研究区分布的地理中心位置,从而得到从一般重要区域到极重要区域地理中心的移

动趋势;此外,利用 ArcGIS 热点分析工具对生态系统服务功能极重要和重要区进行热点集中区的识别分析,为政府管理部门开展重点保护提供依据。

3 评价结果

3.1 单要素评价结果

京津冀地区水源涵养功能重要性以一般重要区为主,分布面积为 125 260.46 km²,占研究区比例为 58.01%;其次为重要区,面积为 61 043.22 km²,占比为 28.27%;极重要区分布面积最少,为 29 620.52 km²,占比 13.72%(表 2)。研究区水源涵养服务功能极重要区主要分布在张家口东部、南部及北部零星地区,承德西北部、东北部及南部,北京西北部和

表2 京津冀生态系统服务功能重要性评价结果汇总表

Table 2 Results of the importance level of ecological service functions in Beijing, Tianjin and Hebei

单要素评价	极重要区		重要区		一般重要区	
	面积/km ²	占比	面积/km ²	占比	面积/km ²	占比
水源涵养	29 620.52	13.72%	61 043.22	28.27%	125 260.46	58.01%
水土保持	32 830.10	15.20%	37 600.29	17.41%	145 493.81	67.38%
生物多样性维护	54 689.09	25.33%	40 878.20	18.93%	120 356.91	55.74%
防风固沙	24 437.77	11.32%	58 977.50	27.31%	132 508.93	61.37%
生态系统服务功能	34 617.76	16.03%	53 863.24	24.95%	127 430.39	59.02%

秦皇岛北部地区(图2a)。京津冀地区水土保持功能重要性以一般重要区为主,分布面积为145 493.81 km²,占研究区比例为67.38%;其次为重要区,面积为37 600.29 km²,占比为17.41%;极重要区分布面积最少,为32 830.10 km²,占比15.20%(表2)。京津冀地区生物多样性维护功能重要性以一般重要区为主,分布面积为120 356.91 km²,占研究区比例为55.74%;其次为重要区,面积为40 878.20 km²,占比为18.93%;极重要区分布面积最少,为54 689.09 km²,占比25.33%(表2)。京津冀地区防风固沙功能重要性以一般重要区为主,面积为132 508.93 km²,占研究区比例为61.37%;其次为重要区,面积为58 977.50 km²,占比为27.31%;极重要区分布面积最少,为24 437.77 km²,占比11.32%。

3.2 生态系统服务功能重要性评价结果

将水源涵养功能、水土保持功能、生物多样性

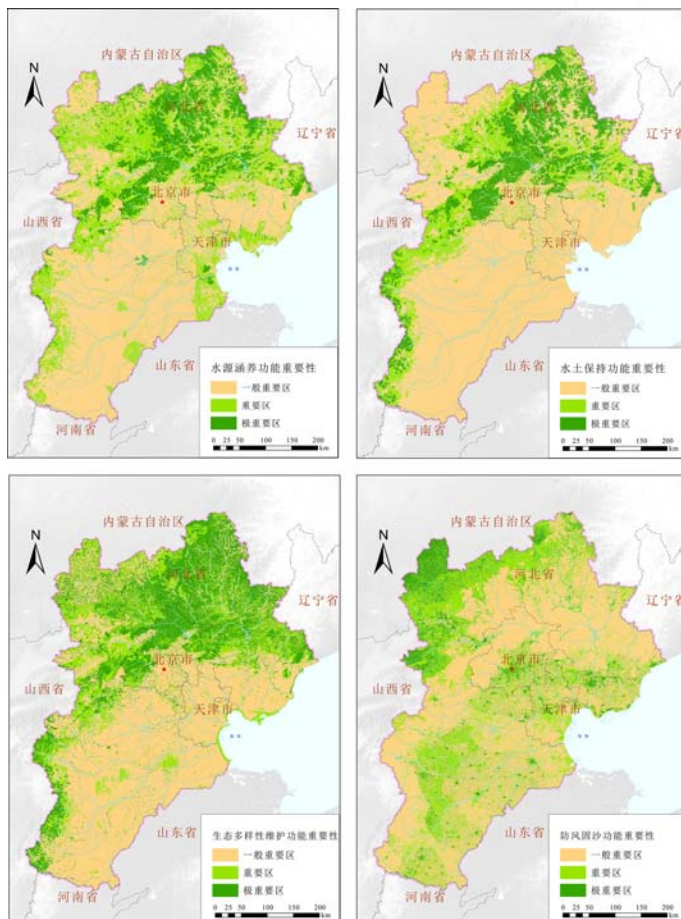


图2 京津冀生态系统服务功能重要性单要素评价图

Fig.2 Single-element evaluation diagram of the importance of the service function of Beijing-Tianjin-Hebei ecosystem

和防风固沙功能叠加取最大值计算,得到京津冀生态系统服务功能重要性评价结果(图3)。

生态系统服务功能极重要区面积为34 617.76 km²,约总面积的16.03%,主要分布在承德北部、张家口北部和西南部以及北京北部;这些地区受人为干扰较少,植被覆盖度较高,为维持京津冀自然资源生态系统的稳定及其服务功能发挥着重要作用。其中承德市极重要区面积为16 839.35 km²,约占极重要区总面积的48.64%;张家口市极重要区面积为13 521.41 km²,约占极重要区总面积的39.06%;北京市极重要区面积为2 561.70 km²,约占极重要区总面积的7.40%。生态系统服务功能重要区面积为53 863.24 km²,占总面积的24.95%,主要分布在燕山北部、坝上高原和太行山及平原零星地区;其中张家口市重要区面积为17 546.30 km²,约占重要区总面积的32.58%;承德市重要区面积为13 055.23 km²,约占重要区总面积的24.24%;北京市重要区面积为7 099.41 km²,约占重要区总面积的13.18%;这些地区水土保持和防风固沙能力相对较低,部分草地有退化沙化趋势。生态系统服务功能一般重要区面积为127 430.39 km²,占总面积的59.02%,主要分布在京津冀西南部地形平坦区域,该区域土壤肥沃,适宜耕种、开发建设等人类活动,但土壤抗侵蚀性较差,因此总体生态系统服务功能相对较低(杨帆等,2020;杨文仙,2022)。

4 讨论

4.1 生态系统服务功能重要性分布特征

本研究从水源涵养、水土保持、生物多样性、防风固沙四个方面对京津冀地区生态系统服务功能进行了较详细的计算分析,并分析了其空间分布特征。研究表明:京津冀水源涵养功能极重要区面积占比仅为13.72%;主要分布在张家口东部、南部及北部零星地区,承德西北部、东北部及南部,北京西北部和秦皇岛北部地区。这些地区植被覆盖率较高,土质较软,地表水渗透率高,有利于该地区截留降水、减缓地表径流(吴英迪等,2022)。京津冀水土保持功能极重要区占比仅为15.20%;主要

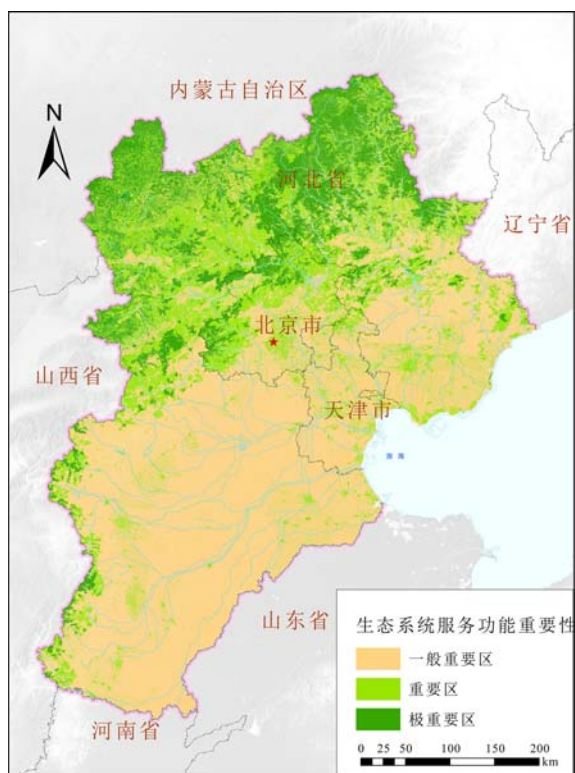


图3 京津冀生态系统服务功能重要性评价图

Fig.3 Evaluation chart of the importance of the Beijing-Tianjin-Hebei ecosystem service function

分布在北京西北部、承德大部分山区、张家口南部、石家庄-邯郸太行山一带,这些地区植被覆盖度较高,土壤可蚀性较弱,能够起到拦截降雨、减缓地表径流动能等作用,进而固定土壤,减少地表土壤随降水流失。京津冀地区生物多样性维护功能极重

要区的面积占比仅为25.33%;主要分布在北京西北部、承德大部、张家口东部和石家庄-邯郸太行山一带。京津冀地区防风固沙功能极重要区的面积占比仅为11.32%;主要分布在张家口-承德坝上地区,张家口西南部地区,这些地区植被生长茂盛,地表粗糙度较高,有利于削弱大风携带沙子的能力和减小风速。

研究区生态系统服务功能重要性空间上呈现北高南低的分布特征。其中北京市以重要区为主,面积为7 099.41 km²,占北京市行政区总面积的43.26%;其次为一般重要区,面积为6 749.43 km²,面积占北京市行政区面积的41.13%。天津市以一般重要区为主,面积为9 427.89 km²,占天津市行政区面积的78.79%;其次为重要区,面积为2 486.76 km²,占天津市行政区面积的20.78%。河北省生态系统服务功能重要性以一般重要区为主,面积为238 683.46 km²,占行政总面积的59.16%。其次为重要区,面积为98 140.31 km²,占行政总面积的24.32%。此外,河北省内仅承德市生态系统服务功能以极重要区为主,面积为16 839.35 km²,占该市的行政总面积的42.64%。表明承德市植被覆盖度高,生态质量较好,受人为干扰较少。

4.2 中心位置及热点分布

从图4可以看出,随着区域重要性级别的升高,京津冀地区水源涵养功能、生物多样性、防风固沙功能以及生态系统服务功能的地理中心均近似由

表3 京津冀生态系统服务功能重要性评价结果汇总表

Table 3 Results of the importance level of ecological service functions in Beijing-Tianjin-Hebei

区域	行政区面积	极重要区		重要区		一般重要区	
		面积/km ²	占比	面积/km ²	占比	面积/km ²	占比
北京市	16 410.54	2 561.70	7.40%	7 099.41	13.18%	6 749.43	5.30%
天津市	11 966.45	51.80	0.15%	2 486.76	4.62%	9 427.89	7.40%
石家庄	14 464.94	487.08	1.41%	2 294.24	4.26%	11 683.62	9.17%
秦皇岛	7 802.47	209.95	0.61%	1 898.26	3.52%	5 694.26	4.47%
保定市	22 135.5	402.68	1.16%	2 764.43	5.13%	18 968.39	14.89%
邢台市	12 433.32	356.65	1.03%	1 105.75	2.05%	10 970.92	8.61%
承德市	39 489.53	16 839.35	48.64%	13 055.23	24.24%	9 594.95	7.53%
唐山市	13 472.85	19.57	0.06%	2 693.08	5.00%	10 760.19	8.44%
沧州市	14 078.6	0.08	0.00%	1 115.06	2.07%	12 963.46	10.17%
邯郸市	12 066.91	167.05	0.48%	1 275.65	2.37%	10 624.21	8.34%
张家口市	36 357.79	13 521.41	39.06%	17 546.30	32.58%	5 290.08	4.15%
廊坊市	6 429.52	0.41	0.00%	417.53	0.78%	5 998.76	4.71%
衡水市	8 815.78	0.01	0.00%	111.54	0.21%	8 704.23	6.83%
合计	215 924.2	34 617.76	100%	53 863.24	100%	127 430.39	100%

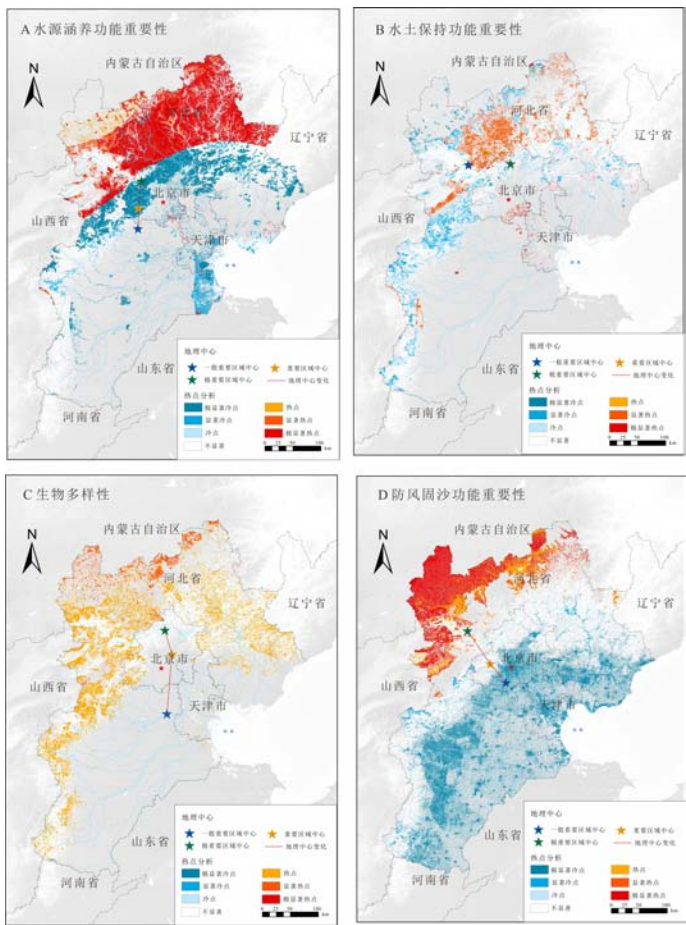


图4 京津冀生态系统服务功能单要素重要性区域中心位置及热点区分布
Fig.4 Location of single factor important regional centers and distribution of hot spots in Beijing-Tianjin-Hebei eco-system service function

东南逐渐向西北方向移动,水土保持功能由西部逐渐向中部方向移动。水源涵养功能热点区主要包含张家口和承德等地区;水土保持功能热点区主要位于承德市中西部地区;生物多样性热点区主要位于京津冀西部和北部地区;防风固沙功能热点区主

要位于京津冀西北部张家口地区。此外,生态系统服务功能的热点区主要分布在京津冀西北部山区。在生态环境和自然资源管理中,政府管理部门应对生态系统服务热点区进行重点保护,限制大规模的开发建设活动。

4.3 生态系统服务功能重要性生态结构

将现有的京津冀土地利用数据与生态系统服务功能重要性评价图叠加,获得生态系统服务功能重要性生态系统类型分区统计表(表4)。

由表4可知,生态系统服务功能极重要区内林地、草地和少部分的耕地占主要部分,占比分别为68.74%、16.74%和10.86%。表明极重要区内植被覆盖度较高,人类活动少,森林草地等植被为维持研究区生态系统的稳定及其服务功能发挥着重要作用。生态系统服务功能重要区内林地、耕地和草地占主要部分,占比分别为46.72%、15.59%和14.69%。这些地区植被覆盖度相对降低,但是耕地面积增加,建设用地面积扩大,人类活动对该地区生态系统服务功能重要性影响明显提高。生态系统服务功能一般重要区内耕地和林地占主要部分,面积占比分别为51.47%、20.05%;这一地区耕地面积显著高于林地,表明该区内地形平坦、土壤肥沃,适宜人类活动(Hasanl et al., 2020)。此外,在对研究区生态系统服务重要性级别区域土地利用情况的研究中,本次发现,随着重要性级别的提高,相应重要性级别区域内林地和草地面积占比的呈现出明显的提升,而耕地、园地以及城乡用地的面积占比均呈现出持续下降的趋势,其他用地占比基本呈现出平稳下降的趋势(表4)。

表4 生态系统类型分区统计
Table 4 Partition statistics of ecosystem type

生态系统类型	极重要区		重要区		一般重要区	
	面积/km ²	占比	面积/km ²	占比	面积/km ²	占比
湿地	217.99	0.63%	156.50	0.29%	441.65	0.35%
耕地	3 758.21	10.86%	8 397.44	15.59%	65 590.60	51.47%
园地	390.31	1.13%	2 060.67	3.83%	9 443.69	7.41%
林地	23 796.32	68.74%	25 162.56	46.72%	25 544.32	20.05%
草地	5 701.87	16.47%	7 911.55	14.69%	6 559.99	5.15%
建设用地	336.99	0.97%	3 854.71	7.16%	6 787.47	5.33%
交通运输用地	225.48	0.65%	3 591.01	6.67%	9 551.96	7.50%
水域及水利设施	172.92	0.50%	757.37	1.41%	3 285.49	2.58%
其他用地	52.86	0.15%	108.94	0.20%	237.89	0.19%
合计	34 617.76	1	53 863.24	1	127 430.39	1

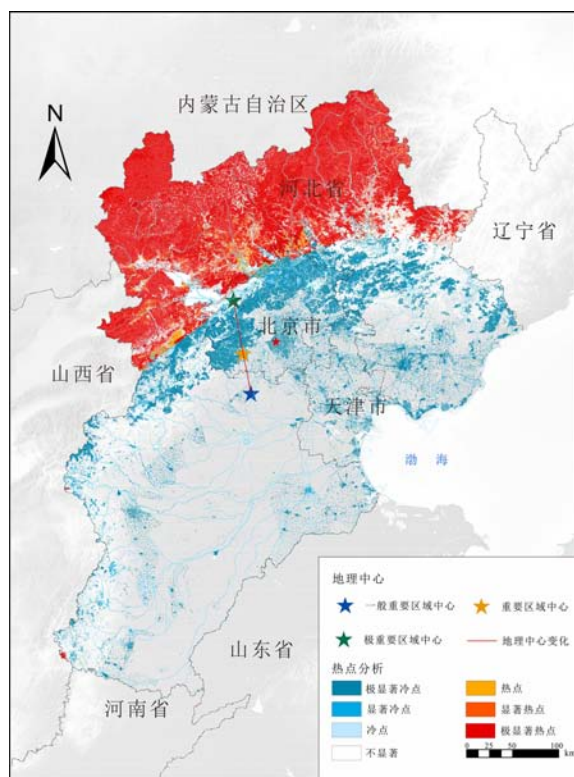


图5 京津冀生态系统服务功能重要性中心位置及热点区分布

Fig.5 Location and distribution of hotspots of ecosystem service functions in Beijing-Tianjin-Hebei

5 结论

本文以京津冀为研究区,参考相关标准和指南,开展水源涵养、水土保持、生物多样性、防风固沙等重要性评价,综合评价结果评估了京津冀生态系统服务功能重要性等级,并进一步分析其空间分布情况。研究结论如下:

(1)研究区水源涵养、水土保持、生物多样性、防风固沙等重要性评价面积从一般重要到极重要呈递减分布。其中水源涵养服务功能极重要区分布面积为 29 620.52 km²,占比 13.72%;水土保持功能极重要区分布面积为 32 830.10 km²,占比 15.20%。生物多样性维护功能极重要区分布面积为 54 689.09 km²,占比 25.33%;防风固沙功能极重要区分布面积为 24 437.77 km²,占比 11.32%。

(2)研究区生态系统服务功能重要性基本呈现北高、南低的空间分布特征,面积从一般重要到极重要呈递减分布。生态系统服务功能极重要区面

积为 34 617.76 km²,约占总面积的 16.03%,主要分布在承德北部、张家口北部和西南部以及北京北部。

(3)生态系统服务功能极重要区内林地、草地和少部分的耕地占主要部分,占比分别为 68.74%、16.74%和 10.86%。表明极重要区内植被覆盖度较高,人类活动少,森林草地等植被为维持研究区生态系统的稳定及其服务功能发挥着重要作用。

中文参考文献

- 陈艳玲,王国文,宋安安. 2021.阜平县生态系统服务功能重要性评价[J]. 现代农业科技, (9):166-167+172.
- 冯宇,王文杰,刘军会,等. 2013. 呼伦贝尔草原生态功能区防风固沙功能重要性主要影响因子时空变化特征[J]. 环境工程技术学报, 3(3):220-230.
- 国家环境保护总局. 2015. 生态保护红线划定技术指南[S].
- 广东省自然资源厅. 2020. 广东省资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价技术指引(试行)[S].
- 高晓宁. 2021. 朝阳市生态系统服务功能重要性评估[J]. 农业与技术, 41(4):97-99.
- 黄从红,杨军,张文娟. 2013. 生态系统服务功能评估模型研究进展[J]. 生态学杂志, 32(12):3360-3367.
- 湖南省自然资源厅. 2019. 湖南省资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价技术指南(试行)[S].
- 黄心怡,赵小敏,郭熙,等. 2020. 基于生态系统服务功能和生态敏感性的自然生态空间管制分区研究[J]. 生态学报, 40(3):1065-1076.
- 江西省市场监督管理局. 2020. 资源环境承载能力与国土空间开发适宜性评价技术规程(DB36/T 1357-2020)[S].
- 贾绍凤. 2020. “一带一路”沿线国家径流系数和径流深数据(2015)[DS/OL]. 时空三极环境大数据平台, 2020.
- 李艳春. 2011. 区域生态系统服务功能重要性研究[D]. 太原:太原理工大学.
- 刘兆芹. 2013. 水源涵养功能重要性评价[D]. 武汉:武汉理工大学.
- 李洋,兰安军,钟九生,等. 2018. 贵州省水土保持功能的重要性评价[J]. 贵州农业科学, 46(2):148-151.
- 李素晓. 2019. 京津冀生态系统服务演变规律与驱动因素研究[D]. 北京:北京林业大学.
- 刘天可,袁彩凤. 2020. 基于GIS的水源涵养功能重要性评价的思考——以河南省黄河流域为例[J]. 区域治理, (4):118-120.
- 雷泳南. 2020. 基于GIS的福建省水土保持功能重要性评价[J]. 水土保持通报, 40(5):262-267+341.
- 刘铭华,陈艳梅,邹长新,等. 2021. 区域尺度生物多样性维护功能综合评估方法与实证研究[J]. 生态与农村环境学报, 37(3):287-294.
- 刘宏伟,王国明,马传明,等. 2022. 沉积平原区地下空间开发利用适宜性评价指标体系研究——以北京通州区和河北廊坊北三县为例[J]. 华北地质, 45(4):68-74.
- 马孟泉,张慧,高吉喜,等. 2019. 生物多样性维护生态保护红线划定方法对比[J]. 生态学报, 39(19):6959-6965.
- 牛鹏飞. 2021. 基于综合指数模型的舟曲县滑坡易发性评价[D]. 石家庄:河北地质大学. (下转至本期第110页)

偏差(RSD, $n=10$)分别是1.94%、1.78%。

3 结论

本文采用氢氟酸-硫酸体系溶样进行氧化亚铁的滴定,重点比较了硅酸盐岩石和土壤中氧化亚铁的溶样时间,结果表明溶样时间的影响较大,硅酸盐岩石和土壤样品分别在溶液完全沸腾0~2 min和8~10 min时滴定效果最佳,说明由于试样种类的不同,氧化亚铁的滴定存在差异,本方法的建立有助于在实际操作中更好地进行氧化亚铁的滴定。

在溶样过程中,铂金盖需留一点缝隙,不仅可以防止溶液沸腾时溅出,也可以帮助观察坩埚内沸腾的情况;分解样品时,氟离子与三价铁能生成稳定配合物而促使二价铁被氧化,因此氢氟酸的用量不宜过量;为防止氧化亚铁被氧化,样品分解后应迅速滴定,放置时间不宜过长;当样品中硫含量高时会造成氧化亚铁严重偏低,所以本法不适合含硫高的试样。

中文参考文献

卜道露,张志翔,熊韬,等. 2021. 碱熔-ICP-OES和XRF测定硅酸盐样品中主量元素的比较[J]. 应用化工, 50(增刊1):378-385.
车巨龙. 2022. 重铬酸钾滴定法测定球团矿中氧化亚铁含量的研

究[J]. 山西冶金, 195(1):89-90, 95.

陈丽春. 电感耦合等离子体发射光谱法测定石灰岩样品中氧化钾、氧化钠的方法改进[J]. 福建分析测试, 2023, 32(6):55-59.

李婵贞. 2022. X射线荧光光谱法 硅酸盐岩石主成分测定的探讨及建议[J]. 四川有色金属, (2):48-51.

林桂芝. 2022. X射线荧光光谱法测定硅酸盐岩石中主量成分结果异常时的质量控制[J]. 理化检验(化学分册), 58(2):216-219.

凌进中. 1984. 硅酸盐岩石中氧化亚铁的分析方法[J]. 理化检验(化学分册), 4:53-55.

潘涵香, 胡超涌, 王红梅, 等. 2007. 邻二氮菲分光光度法测定碳酸盐相中微量亚铁[J]. 岩矿测试, 26(3):198-200.

秦海娜, 尚世超, 耿丽婵, 等. 2023. 熔融制片-X射线荧光光谱法测定碳酸盐岩石中主量元素[J]. 分析仪器, (3):64-68.

秦立俊, 郑光煜, 王通胜, 等. 2011. 硫酸亚铁铵容量法测定铬铁石中氧化亚铁[J]. 山东化工, (40):46-48.

帅林阳, 卜道露, 成俊烨. 2021. 硅酸盐岩石中氧化亚铁量测定方法的改进[J]. 辽宁化工, 50(7):1102-1105.

王兢, 袁伟哲, 王佳丽, 等. 2015. X荧光光谱法测定岩石、土壤、水系沉积物中的主量元素[J]. 吉林地质, 34(4):129-131.

王娜. 2016. 超基性岩中氧化亚铁的测定[J]. 新疆有色金属, 39(6):59-60.

王旭刚, 孙丽蓉, 张颖蕾, 等. 2018. 豫西旱作褐土剖面土壤的氧化铁还原与亚铁氧化特征[J]. 土壤学报, 55(5):1199-1211.

《岩石矿物分析》编委会. 2011. 岩石矿物分析(第四版第二分册)[M]. 北京:地质出版社.

姚成虎. 2021. 重铬酸钾滴定法测定金属化球团中氧化亚铁含量[J]. 安徽冶金科技职业学院学报, 31(1):9-11.

张珂, 马明, 马龙, 等. 2018. 电位滴定法测定铁矿石中氧化亚铁[J]. 冶金分析, 38(5):66-71.

(上接本期第96页)

文俊, 李占斌, 郭相平, 等. 2010. 水土保持学[M]. 北京:中国水利水电出版社.

汪朝霞, 吴娇. 2022. 三峡库区生态系统服务功能重要性评价及其空间分布研究[J]. 三峡生态环境监测, 7(1):8-14.

吴英迪, 蒙古军. 2022. 中国自然资源生态服务重要性评价与空间格局分析[J]. 自然资源学报, 37(1):17-33.

王冲, 张景, 彭博, 等. 2023. 基于“双评价”的国土空间格局优化研究——以江西省安远县为例[J]. 华北地质, 46(2):69-78.

王跃, 刘家福, 周林鹏, 等. 2023. 基于AHP-SPCA熵权模型的松花江流域生态脆弱性时空演变及预测[J]. 水土保持通报, 43(2):212-219+360.

徐新良. 2017. 中国气象要素平均状况空间插值数据集[DS/OL]. 资源环境科学数据注册与出版系统.

徐新良. 2018. 中国年度植被指数(NDVI)空间分布数据集[DS/OL]. 资源环境科学数据注册与出版系统.

杨帆, 李纯斌, 吴静, 等. 2020. 基于生态系统服务功能重要性及生态敏感性分析的生态空间分布与保护方向研究[J]. 国土与自然资源研究, (5):19-25.

杨文仙. 2022. 云南省生态系统服务功能重要区识别研究[D]. 昆明:云南师范大学.

郑华, 李屹峰, 欧阳志云, 等. 2013. 生态系统服务功能管理研究进展[J]. 生态学报, 33(3):702-710.

赵子爽, 刘春霞, 李月臣, 等. 2017. 重庆市生态系统服务功能重要性评价[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 34(3):44-53+141.

自然资源部. 2020. 资源环境承载能力和国土空间开发适宜性评价技术指南(试行)[S].

张颖, 刘平辉, 朱传民, 等. 2022. 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, 50(2):133-140.

References

Costanza R, Arge R, Groot R D, et al. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital J [J]. Nature, 387: 253-260.

Elbasit M A, Knight J, Liu G, et al. 2021. Valuation of Ecosystem Services in South Africa, 2001-2019[J]. Environmental Development, 13: 11262.

Millennium Ecosystem Assessment Program. 2005. Ecosystems and Human Well-being[M]. Washington: Island Press.

Hasanl S S, Zhen L, Md Giashuddin M, et al. 2020. Impact of land use change on ecosystem services: A review[J]. Environmental Development, 34: 2211-4645.