

矿业城市矿区生态修复的社会福祉效应评估 ——以徐州市为例^{*}

马 骁¹,朱影影²,郝绍金¹,杨永均¹,常舒杭¹,陈 浮³

(1. 中国矿业大学 环境与测绘学院,江苏 徐州 221116;

2. 徐州市自然资源和规划局,江苏 徐州 221018;

3. 河海大学 公共管理学院,江苏 南京 210098)

摘要:量化矿区生态修复的社会福祉效应,可为生态修复成效评估和协同推进提供科学依据。利用空间分析和遥感监测,评估了徐州市矿区生态修复对社会福祉的影响,结果表明:生态修复显著改善了矿区生态格局,为城镇开发、农田复垦和林草恢复提供了扩展空间;生态修复增加了矿区植被覆盖度、降低了地表温度、增强了生态系统健康、增进了休闲游憩福祉;生态修复的社会福祉效应具有显著的空间异质性,生态修复工程类型和修复方向决定了社会福祉的差异化格局;生态修复的社会福祉效应具有显著的空间外溢性,尤其是与休闲游憩相关的社会福祉外溢明显。未来生态修复选址和布局应充分考虑多元化需求,并在国土空间生态保护和修复规划的设计、评价、绩效考核中充分体现社会福祉效应,加强生态修复在水源涵养、固碳释氧、污染物降解等方面的社会福祉效应,实现矿区环境治理和社会福祉的协同提升。

关键词:生态修复;社会福祉;地理信息系统;国土空间规划;遥感监测;徐州矿区

中图分类号:X171.4 **文献标志码:**A

Assessment on effects of mine ecological restoration on social well-being in a mining-based city: a case study of Xuzhou

Ma Xiao¹, Zhu Yingying², Hao Shaojin¹,
Yang Yongjun¹, Chang Shuhang¹, Chen Fu³

(1. School of Environment and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology,

Xuzhou Jiangsu 221116, China; 2. Xuzhou Municipal Bureau of Natural Resources and Planning,

Xuzhou Jiangsu 221018, China; 3. School of Public Administration, Hohai University,

Nanjing Jiangsu 210098, China)

Abstract: Quantifying the social well-being effects of mine ecological restoration is likely to provide a scientific basis for evaluating the effectiveness and coordinating promotion of ecological restoration. In this study, spatial analysis and remote sensing monitoring were employed to assess the effects of ecological restoration on social well-being in Xuzhou mining area. The results show that ecological restoration had significantly improved the ecological style of the mining area, enlarged the space for urban development, farmland reclamation, and forest and grass land remediation. Ecological restoration has also increased the vegetation coverage of the mining area, lowered the ground temperature, and enhanced healthy ecosystem and facilitated recreation and well-being. The effect of ecological restoration on social well-being presented a significant spatial heterogeneity and that the diversity of social well-being depends on the style and orientation of ecological restoration project. The effect of ecological restoration on social well-being has a big space spillover, especially for those related to leisure and recreation. In the future, the site selection and layout design of ecological restoration should be carried out in accordance with the diversified demands, and reflect the social well-being effect in the engineering design, evaluation and performance checking on ecological protection of land and space as well as restoration planning. The effect of ecological restoration on social well-being should be focused on conservation of

^{*} 收稿日期:2022-12-29

基金项目:国家自然科学基金项目(51974313);江苏省自然资源科技计划项目(2020028)。

作者简介:马骁(2002-),男,黑龙江哈尔滨人,研究方向为环境遥感与分析,E-mail:maxiao@cumt.edu.cn。

通信作者:陈浮(1974-),男,江苏射阳人,教授,博士生导师,研究方向为国土空间生态修复,E-mail:chenfu@hhu.edu.cn。

引用格式:马骁,朱影影,郝绍金,等.矿业城市矿区生态修复的社会福祉效应评估——以徐州市为例[J].化工矿物与加工,2023,52(7):48-54.

MA X, ZHU Y Y, HAO S J, et al. Assessment on effects of mine ecological restoration on social well-being in a mining-based city: a case study of Xuzhou[J]. Industrial Minerals & Processing, 2023, 52(7): 48-54.

water source, carbon fixation and oxygen release, decomposition of pollutants, etc., in order to achieve the goal of upgrading environmental management and social well-being with coordination in the mining area.

Keywords: ecological restoration; social well-being; geographic information system; land and space planning; remote sensing monitoring; Xuzhou mining area

0 引言

经济社会高速发展需要庞大的物质支撑,高强度的采矿活动在保障矿产资源供应的同时,对生态系统产生了显著影响^[1],使得区域生态系统的数量和质量均面临巨大压力。目前,生态保护和修复已经成为世界各国的优先事项,2021 年联合国启动了生态系统恢复十年行动计划。中国已将生态保护与修复上升为国家战略,全面落实国土空间用途管制和国土空间生态保护及修复^[2]。生态修复可有效提升生态系统服务能力,从而满足经济社会发展对物质、能源和美好环境的需求^[3-4]。因此,社会福祉提升可视为生态修复的终极目标。厘清生态修复的社会福祉效应强度、时空变化规律等非常重要,可为生态修复的工程布局、策略选取和绩效考评等提供科学依据^[5-6]。

前人已对生态修复的自然效应开展了大量研究,如生态修复对水文、土壤、植被的影响及生态系统服务和景观效应等^[7-8]。个别研究涉及了生态系统服务与社会福祉的关系^[9-10],但极少关注矿区生态修复的社会福祉效应。一般认为,社会福祉是影响生态修复工程布局和管理的重要因素,如北京市利用生态功能和健康福祉之间的关系指导城市绿地生态修复规划的编制^[11]、山东临沂市利用居民福祉的空间特征指导国土空间生态网络的构建^[12],不同的土地整治模式对福祉水平具有显著影响^[13]。理论上而言,生态修复可以改变生态系统的结构和功能,从而提高生态系统的物质供给、调节服务及文化服务能力,并进一步影响社会福祉^[14-15],但目前尚缺少有效的案例。

基于此,本研究构建了矿区生态修复的社会福祉效应评价指标体系,评估了徐州矿区生态修复的社会福祉效应,探索了社会福祉效应的强度和时空变异特征,旨在为矿区国土空间整体保护、系统修复和综合治理提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

本文以我国东部地区典型的资源型城市徐州为研究对象。徐州市地处江苏省西北部,属暖温

带季风气候,年平均气温 14℃,年平均降水量 800~900 mm,四季分明,光照充足,雨热同季。作为传统的资源型城市,长期大规模采矿活动已累计形成采煤塌陷地 2.8 万 hm² 和采石宕口 400 余处,不仅毁坏了大量优质耕地,还造成了地表沉降、地质灾害等一系列问题,严重制约了资源型城市的转型发展。自 2005 年起,徐州市启动了大规模的采煤塌陷区及废弃采石宕口生态修复行动,截至 2020 年底,已完成 1.7 万 hm² 采煤塌陷地综合治理和 40 余个采石宕口的生态修复工程。

1.2 数据来源及处理

本文采用 2003 年 4 月的 Landsat-7 ETM+ 和 2020 年 4 月的 Landsat-8 OLI 遥感影像数据,利用 ENVI 5.3 软件完成遥感影像的辐射定标、大气校正、镶嵌和裁剪,得到研究区生态修复前后的遥感影像。利用徐州市道路、人口、气象等地理信息数据分析矿区生态修复的社会福祉效应,其中:已修复采煤塌陷地及采石宕口空间分布矢量数据来源于徐州市自然资源和规划局,道路网络数据来源于 OpenStreetMap (<https://www.openstreetmap.org>),徐州市住宅小区兴趣点数据来源于高德地图(<https://ditu.amap.com>),人口格网数据来源于 WorldPop (<https://www.worldpop.org>),气象数据来源于中国地面气候资料日值数据集(V3.0)(<http://data.cma.cn>)。

1.3 生态系统变化检测

利用遥感影像和面向对象分类方法,将徐州市生态修复区内的生态系统划分为农田、林草、湿地、城镇、裸地 5 类生态系统,在研究区内随机生成 300 个点,利用现场调查数据,验证分类精度,结果表明:2003 年生态系统分类结果的总体精度为 84.67%,Kappa 系数为 0.77;2020 年生态系统分类结果的总体精度为 81.33%,Kappa 系数为 0.74。由此可知总体分类精度较高,能够满足区域生态系统变化检测的需求。

1.4 社会福祉效应评估

生态系统与社会福祉之间有直接或间接的关系。生态系统能够满足人类对基础物质、生态经

济、健康与安全、幸福感的需求。生态修复在提升受损生态系统服务功能的同时,还可以提升周边社会福祉。参照《陆地生态系统生产总值核算技术指南》,本文从物质提供、调节服务和文化服务

3 个方面考虑生态系统服务所提供的社会福祉效应。重点考虑数据可获取、可实现空间化评估、可反映矿区生态修复前后变化的因子和指标。指标选取结果和评估方法见表 1。

表 1 生态修复的社会福祉效应评估指标

Table 1 Evaluation indexes for effects of ecological restoration on social well-being

生态服务	社会福祉效应	因子	指标	计算方法	使用的数据
物质提供	受损生态系统修复后,供给食物及原材料,满足人类对基础物质和生态经济的需求。	农林产品	净初级生产力	改进的 CASA 模型	生态修复前后的 Landsat 遥感影像
调节服务	受损生态系统修复后,支持物质循环、净化环境,满足人类对健康的需求。	水土保持、气候调节	植被覆盖度、地表温度	像元二分模型、辐射传输方程法	生态修复前后的 Landsat 遥感影像
文化服务	受损生态系统修复后,提供文化服务载体,提升居民主观幸福感。	休闲旅游	直接服务、人口数	缓冲区分析法	绿地矢量边界、人口格网数据
			潜在服务、人口数	基于引力模型改进的网络分析法	绿地矢量边界、人口格网数据、道路网络数据

在物质提供方面,利用净初级生产力反映受损生态修复前后的物质供给能力;净初级生产力是植物在单位时间和面积上所积累的有机物量,采用基于遥感的改进 CASA 模型估算^[16-17]。在调节服务方面,采用植被覆盖度反映水土保持能力,其能够反映生态修复区内植被覆盖状况,本文使用像元二分模型估算 2003 年和 2020 年研究区的植被覆盖度;采用地表温度反映气候调节能力,地表温度对城市气候和人居环境等有较大影响,直接关系居民的生活福祉,利用传输辐射方程法估算地表温度^[18]。在文化服务方面,采用休闲旅游服务人数反映景观服务和居民休憩。以生态修复后的休闲旅游绿地为源地,分别采用缓冲区分析法和基于引力模型改进的网络分析法估算休闲旅游空间直接服务人数和潜在服务人数。其中,测算直接服务人数时,将生态修复形成的休闲旅游

空间分为两类:一是大型休闲旅游空间,面积大于 0.25 km²,设定服务半径为 2 km;二是小型休闲旅游空间,面积小于 0.25 km²,设定服务半径为 1 km。以服务半径范围为掩膜,统计服务半径范围内人口格网属性值之和及住宅小区兴趣点数量,即各休闲旅游空间直接服务的人口及小区数量。测算潜在服务人数时,采用基于引力模型改进的网络分析法计算休闲旅游空间的潜在服务范围,然后以无交集的服务区矢量面为掩膜,提取裁剪研究区人口分布格网数据,统计裁剪栅格图层的人口数。

2 结果与分析

2.1 生态系统格局及演变特征

2020 年与 2003 年相比,徐州市矿区生态系统格局发生了明显变化(见图 1、表 2)。

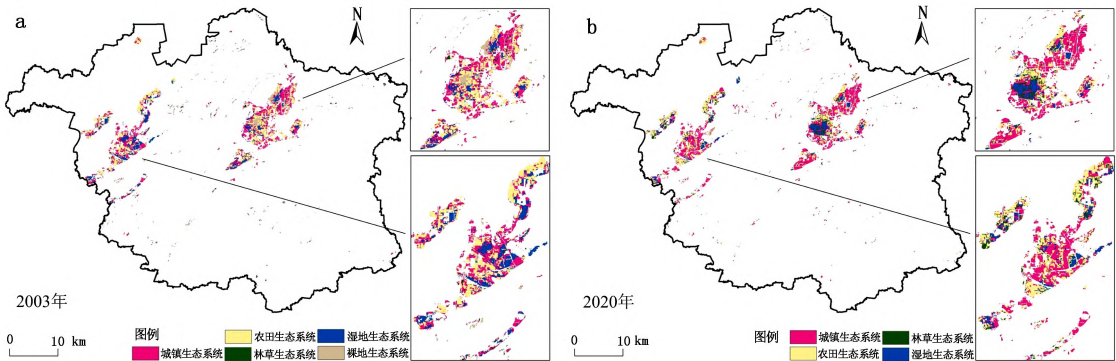


图 1 2003 年和 2020 年徐州市生态修复区生态系统类型变化

Fig. 1 Changes of ecosystem types in Xuzhou ecological restoration area in 2003 and 2020

2003 年生态修复区内以城镇和农田生态系统为主,面积分别为 63.21 km² 和 53.04 km²,占生态修复区总面积的 40.15% 和 33.69%。湿地、裸地和林草生态系统面积分别占总面积的 14.37%、8.56% 和 3.23%。2020 年城镇生态系统面积较 2003 年增加了 13.27 km²,是面积增加最多、占比最大(48.58%)的生态系统类型。农田生态系统面积为 52.64 km²,与 2003 年基本持平。林草生态系统面积为 10.89 km²,较 2003 年增大了 114.37%。湿地面积略有减小,为 17.41 km²,占总面积的 11.06%。

总体来看,2003—2020 年徐州市矿区生态系统转变较为强烈,共有 53.85% 的区域发生了类型变化。其中,变化面积超过 5 km² 的 5 种演变方向按面积排序依次为:农田→城镇、城镇→农田、湿地→城镇、裸地→城镇、农田→林草。由此可见,城镇扩张、农田复垦、林草恢复是生态修复区

内 3 种典型的生态系统变化过程。

表 2 2003—2020 年徐州市生态修复区生态系统类型转移矩阵 单位:km²

Table 2 Transition matrix of ecosystem types in Xuzhou ecological restoration area from 2003 to 2020 Unit:km²

		2020 年					
		农田	林草	湿地	城镇	裸地	总计
2003 年	农田	25.06	5.64	3.87	18.47	0	53.04
	林草	2.23	0.17	0.13	2.55	0	5.08
	湿地	2.56	1.05	9.39	9.62	0	22.62
	城镇	18.42	3.44	3.32	38.03	0	63.21
	裸地	4.37	0.59	0.70	7.81	0	13.47
	总计	52.64	10.89	17.41	76.48	0	157.42

2.2 生态修复的社会福祉效应

2.2.1 物质提供的福祉效应

利用改进的 CASA 模型分别估算了 2003 年和 2020 年徐州市生态修复区的净初级生产力(见图 2)。

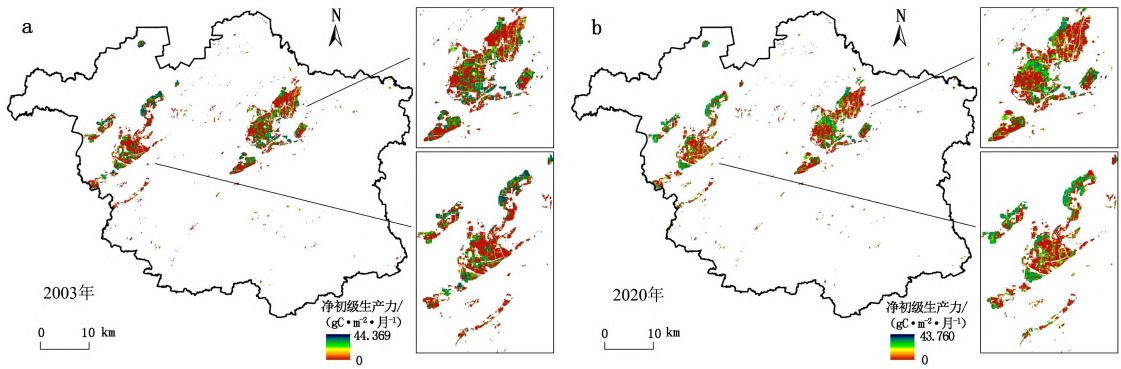


图 2 2003 年和 2020 年徐州市生态修复区的净初级生产力

Fig. 2 Net primary productivity of Xuzhou ecological restoration area in 2003 and 2020

2003 年 4 月,徐州市生态修复区净初级生产力总值为 15.92×10^8 gC/月,其中:农田生态系统的净初级生产力均值为 28.16 gC/(m²·月),总计贡献净初级生产力值为 14.82×10^8 gC/月,约占全部净初级生产力的 93.09%;林草生态系统的净初级生产力均值为 21.51 gC/(m²·月),总计贡献净初级生产力值为 1.09×10^8 gC/月,约占全部净初级生产力的 6.85%。2020 年 4 月,徐州市生态修复区净初级生产力总值为 15.24×10^8 gC/月,相较 2003 年同期减少了 0.68×10^8 gC/月;净初级生产力总值基本与 2003 年同期持平,但净初级生产力组成结构发生了一定变化,农田生态系统的净初级生产力均值较 2003 年同期减少了 4.20 gC/(m²·月),下降较为明显;林草生态系统的净初级生产力均值较 2003 年同期增加 2.62

gC/(m²·月)。相较于农田生态系统,林草生态系统的面积明显增大,林草生态系统贡献净初级生产力的总值也随之增加,占净初级生产力总值的 17.25%,达到 2.63×10^8 gC/月,较 2003 年同期提高约 141.28%。

2.2.2 调节服务的福祉效应

1) 水土保持能力改善

2003 年 4 月和 2020 年 4 月徐州市生态修复区植被覆盖度见图 3。2003 年,共有 70.78 km² 的区域为低或较低植被覆盖度,19.53 km² 的区域为中等植被覆盖度,67.29 km² 的区域为较高或高植被覆盖度。除水体外,城市建成区及裸地的植被覆盖情况普遍较差,尤其是贾汪区权台矿、旗山矿和韩桥矿的采煤塌陷地,地表几乎无植被覆盖。植被覆盖情况较好的区域多为农田。至 2020 年,

低或较低植被覆盖度区域总面积略有增大,为 72.96 km²,而较高或高植被覆盖度区域面积有所

减小,二者相比 2003 年共减小了 11.56 km²,这主要是由大面积的农田转变为城镇或湿地造成的。

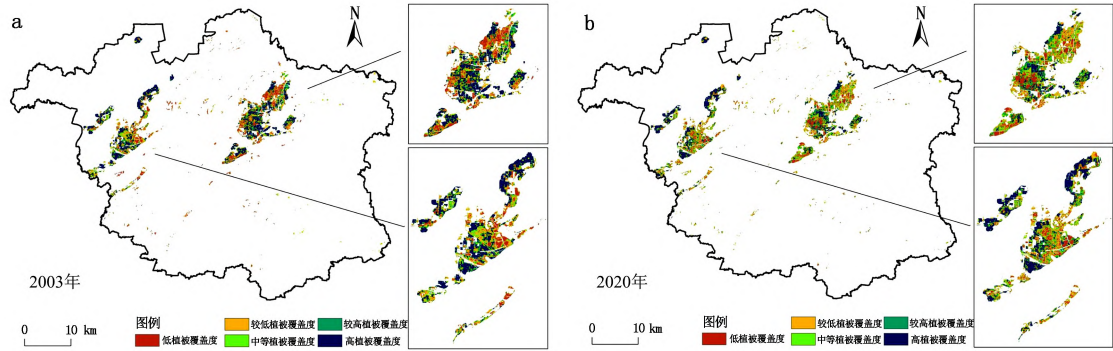


图 3 2003 年和 2020 年徐州市生态修复区的植被覆盖度

Fig. 3 Vegetation coverage in Xuzhou ecological restoration area in 2003 and 2020

总体来看,研究区的植被覆盖状况在生态修复前后发生了较大变化,分别有 45.11% 和 44.82% 的区域植被覆盖度发生了不同程度的降低和提高。植被覆盖度的变化与土地利用方式的变化密切相关。以贾汪采煤塌陷地治理区为例,潘安湖区域经生态修复后,由原来的农田或积水区转为湿地,使其植被覆盖度大幅降低。

2) 气候调节能力改善

2003 年,生态修复区内地表温度在 16.40~40.05 °C,平均地表温度(T_{mean})为 28.31 °C,标准

差(T_{std})为 3.53 °C。利用表 3 中的标准将地表温度分级,发现共有 32.01% 的区域属于低温区或次低温区。其中,地表温度低于 23.02 °C 的区域为低温区,多为水体;次低温区多为农田。共有 33.07% 的区域属于次高温区或高温区。其中,次高温区多分布在小型的、分散的居民点;高温区的地表温度高于 33.60 °C,主要集中于贾汪采煤塌陷地治理区内的裸地及城区。另有 34.92% 的区域为中温区,其地表温度在 26.55~30.07 °C。

表 3 2003 年和 2020 年徐州市生态修复区各类地表温度类型的面积

Table 3 The area of various lands with ground temperature types in Xuzhou ecological restoration region in 2003 and 2020

地表温度(T_{LS})范围	类型	2003 年面积/km ²	2020 年面积/km ²
$T_{\text{LS}} < T_{\text{mean}} - 1.5 T_{\text{std}}$	低温区	8.69	8.83
$T_{\text{mean}} - 1.5 T_{\text{std}} \leq T_{\text{LS}} < T_{\text{mean}} - 0.5 T_{\text{std}}$	次低温区	41.05	38.64
$T_{\text{mean}} - 0.5 T_{\text{std}} \leq T_{\text{LS}} < T_{\text{mean}} + 0.5 T_{\text{std}}$	中温区	54.25	55.36
$T_{\text{mean}} + 0.5 T_{\text{std}} \leq T_{\text{LS}} < T_{\text{mean}} + 1.5 T_{\text{std}}$	次高温区	41.83	45.73
$T_{\text{LS}} \geq T_{\text{mean}} + 1.5 T_{\text{std}}$	高温区	9.55	6.81

2020 年,生态修复区内地表温度在 17.86~41.77 °C,平均地表温度为 27.74 °C,标准差为 3.07 °C。共有 30.55% 的区域属于低温区或次低

温区。2003 年和 2020 年徐州市生态修复区的地表温度见图 4。

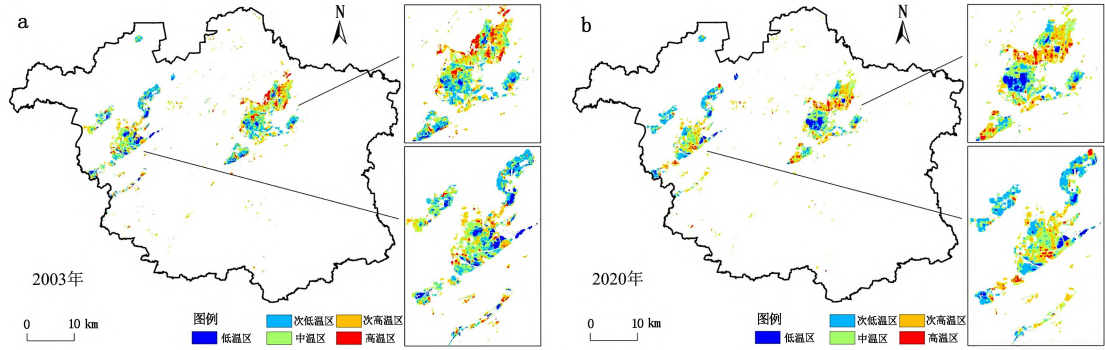


图 4 2003 年和 2020 年徐州市生态修复区的地表温度

Fig. 4 Ground temperature in Xuzhou ecological restoration area in 2003 and 2020

从图 4 中可以看出:贾汪采煤塌陷治理区内的潘安湖湿地为低温区,地表温度低于 23.14°C ,而有 33.82% 的区域属于次高温区或高温区;其中,高温区的地表温度高于 32.35°C ,主要集中于潘安湖以北的城镇建设区;另有 35.63% 的区域为中温区,其地表温度在 $26.55\sim 30.07^{\circ}\text{C}$ 。

2003—2020 年,地表温度变化范围为 $-16.05\sim 16.50^{\circ}\text{C}$,平均温度变化为 -0.57°C ,标准差为 3.33°C ;共有 47.82% 的区域地表温度呈轻度降低或明显降低,而地表温度轻度提高或明显提高的区域占比为 42.36% ,降温区略多于升温区。其中,地表温度降低的区域多集中于贾汪采煤塌陷地治理区内的潘安湖和龙吟湖湿地公园;地表温度升高的区域多集中于贾汪和九里采煤塌陷地治

理区内的城镇建设区。由此可知,徐州市生态修复区内的热环境得到了一定改善,这有助于增进气候调节的社会福祉。

2.2.3 文化服务的福祉效应

1) 休闲旅游空间直接服务人数

利用缓冲区分析法得到各个休闲旅游绿地的直接服务范围(见图 5a)。绿地所能直接服务的小区 and 人口数量与其地理位置是否接近人口密集区密切相关。对所有绿地的直接服务范围求取并集,排除被重复统计的小区 and 人数,得到 12 个绿地,共可向 351 个小区、76.5 万居民提供直接服务,覆盖了徐州市辖区内 13.02% 的小区 and 23.85% 的常住人口。

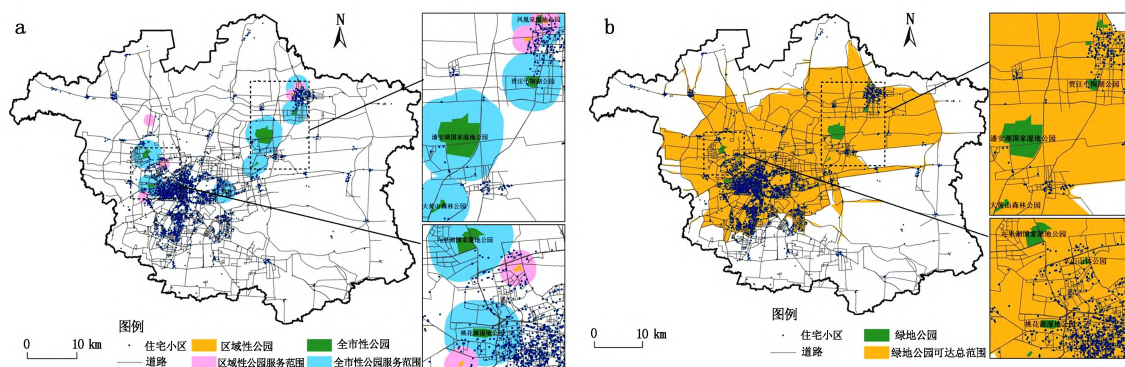


图 5 徐州市生态修复休闲旅游空间的直接和间接服务范围

Fig. 5 Scope of direct and indirect service of ecologically restored leisure and travelling space in Xuzhou

2) 休闲旅游空间潜在服务人口

利用引力模型计算各个休闲旅游空间的引力系数,再利用引力模型改进的网络分析法计算各级别休闲旅游空间的潜在服务范围,结果见图 5b。徐州市内共有 2 473 个小区和 273.68 万居民位于生态修复休闲旅游空间的潜在服务范围内,这表示徐州市辖区内 91.76% 的小区 and 85.32% 的常住人口均可从生态修复项目新建或扩建的绿地等公共活动空间获得潜在的惠益。

3 结论与启示

本文构建了社会福祉效应评估指标体系,从物质提供、调节服务和文化服务 3 个方面评估了徐州市采煤塌陷地和废弃采石宕口生态修复的社会福祉效应。研究发现,城镇扩张、农田复垦、林草恢复是生态修复区内 3 种典型的生态系统变化过程;生态修复区内净初级生产力在修复前后保持基本稳定,生态修复对物质提供福祉的影响不明显;生态修复增强了生态系统调节服务。生态

修复后, 44.82% 的区域植被覆盖状况转好,平均地表温度下降 0.57°C , 47.82% 的区域热环境得到改善;生态修复增进了休闲游憩福祉,生态修复新建绿地等公共服务空间为其周边 351 个住宅小区和 76.5 万居民提供直接服务,并为全市 91.76% 的住宅小区 and 85.32% 的人口提供潜在服务;生态修复创造了 68.65 km^2 的宜居空间,约 70% 的周边居民从中获益。

综上,生态修复具有显著的环境调节和休闲旅游福祉。修复工程和修复方向差异影响社会福祉的空间异质性,未来生态修复选址和布局应充分考虑多元化需求,并在国土空间生态保护和修复规划的设计、评价、绩效考核中充分体现社会福祉效应,加强生态修复在水源涵养、固碳释氧、污染物降解等方面的社会福祉效应。

4 参考文献

- [1] 杨永均,张绍良,侯湖平,等. 煤炭开采的生态效应及其地域差异[J]. 中国土地科学,2015,29(1):55-62.

- YANG Y J, ZHANG S L, HOU H P, et al. The ecological impacts of coal mining and the regional differentiation[J]. China Land Sciences, 2015, 29(1): 55-62.
- [2] 彭建, 李冰, 董建权, 等. 论国土空间生态修复基本逻辑[J]. 中国土地科学, 2020, 34(5): 18-26.
- PENG J, LI B, DONG J Q, et al. Basic logic of territorial ecological restoration[J]. China Land Sciences, 2020, 34(5): 18-26.
- [3] 杨永均, 张绍良, 卞正富, 等. 中国土地复垦省际格局分异及影响机制[J]. 农业工程学报, 2016, 32(17): 206-214.
- YANG Y J, ZHANG S L, BIAN S F, et al. Spatial-temporal pattern differentiation and influencing mechanism of land reclamation in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(17): 206-214.
- [4] 白中科. 国土空间生态修复若干重大问题研究[J]. 地学前缘, 2021, 28(4): 1-13.
- BAI Z K. The major issues in ecological restoration of China's territorial space[J]. Earth Science Frontiers, 2021, 28(4): 1-13.
- [5] 傅伯杰. 国土空间生态修复亟待把握的几个要点[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(1): 64-69.
- FU B J. Several key points in territorial ecological restoration[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2021, 36(1): 64-69.
- [6] 王晨旭, 刘焱序, 于超月, 等. 国土空间生态修复布局研究进展[J]. 地理科学进展, 2021, 40(11): 1925-1941.
- WANG C X, LIU Y X, YU C Y, et al. Research progress on the arrangement of territorial ecological restoration[J]. Progress in Geography, 2021, 40(11): 1925-1941.
- [7] 冉茂莹, 王卫红, 王雪丽, 等. 基于遥感生态指数的金川镍矿区生态环境质量变化分析[J]. 化工矿物与加工, 2022, 51(8): 16-21.
- RAN M Y, WANG W H, WANG X L, et al. Analysis of eco-environmental quality change in Jinchuan nickel mine based on remote sensing ecological index[J]. Industrial Minerals & Processing, 2022, 51(8): 16-21.
- [8] 朱凤, 杨宝丹, 杨永均, 等. 华东传统矿业城市生态网络重构研究[J]. 生态与农村环境学报, 2020, 36(1): 26-33.
- ZHU F, YANG B D, YANG Y J, et al. Research on the ecological network reconstruction of traditional mining city in east China[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2020, 36(1): 26-33.
- [9] 黄甘霖, 姜亚琼, 刘志锋, 等. 人类福祉研究进展——基于可持续科学视角[J]. 生态学报, 2016, 36(23): 7519-7527.
- HUANG G L, JIANG Y Q, LIU Z F, et al. Advances in human well-being research: a sustainability science perspective[J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(23): 7519-7527.
- [10] 王博杰, 唐海萍. 人类福祉及其在生态学研究中的应用与展望[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(5): 697-702.
- WANG B J, TANG H P. Human well-being and its applications and prospects in ecology[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2016, 32(5): 697-702.
- [11] 加雨灵, 赵丹. 兼顾生态功能和健康福祉的北京城市绿地生态修复策略研究[J]. 北京规划建设, 2021(5): 36-40.
- JIA Y L, ZHAO D. Study on ecological restoration strategy of urban green space in Beijing considering ecological function and health[J]. Beijing Planning Review, 2021(5): 36-40.
- [12] 王晨旭, 刘焱序, 于超月, 等. 面向居民生态福祉的国土空间生态网络构建——以临沂市为例[J]. 生态学报, 2022, 42(21): 8650-8663.
- WANG C X, LIU Y X, YU C Y, et al. Construction of terrestrial ecological network for the improvement of residents' ecological benefits: a case study of Linyi city[J]. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(21): 8650-8663.
- [13] 张超正, 陈丹玲, 张旭鹏, 等. 土地整治对农户“福祉-生态”耦合关系的影响——基于整治模式与地貌类型的异质分析[J]. 中国土地科学, 2021, 35(3): 88-96.
- ZHANG C Z, CHEN D L, ZHANG X P, et al. Impact of land consolidation on the coupling relationship between farmers' welfare level and ecosystem dependence: heterogeneity analysis of land consolidation modes and geomorphic types[J]. China Land Science, 2021, 35(3): 88-96.
- [14] 董孝斌, 刘梦雪. 土地利用/覆盖变化-生态系统服务-人类福祉关系研究进展[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2022, 58(3): 465-475.
- DONG X B, LIU M X. Relationships among LUCC, ecosystem services and human well-being[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2022, 58(3): 465-475.
- [15] 尹岩, 郝凤明, 王娇月, 等. “碳中和”背景下我国矿山生态环境修复研究现状及发展趋势[J]. 化工矿物与加工, 2022, 51(11): 7-12.
- YIN Y, XI F M, WANG J Y, et al. The research status and developing trend of mine ecological environment rehabilitation with carbon neutrality in China[J]. Industrial Minerals & Processing, 2022, 51(11): 7-12.
- [16] 朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算[J]. 植物生态学报, 2007(3): 413-424.
- ZHU W Q, PAN Y Z, ZHANG J S. Estimation of net primary productivity of chinese terrestrial vegetation based on remote sensing[J]. Journal of Plant Ecology, 2007(3): 413-424.
- [17] XIAO X M, ZHANG Q Y, SALESKA S, et al. Satellite-based modeling of gross primary production in a seasonally moist tropical evergreen forest[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 94(1): 105-122.
- [18] 覃志豪, 李文娟, 徐斌, 等. 陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率的估计[J]. 国土资源遥感, 2004(3): 28-32.
- QIN Z H, LI W J, XU B, et al. The estimation of land surface emissivity for Landsat TM6[J]. Remote Sensing for Land & Resource, 2004(3): 28-32.