



铁矿生态修复区生态系统服务价值增量评估

叶尔纳尔·胡马尔汗, 马伟波, 徐向华, 迪丽努尔·托列吾别克, 方颖, 李海东

引用本文:

叶尔纳尔·胡马尔汗, 马伟波, 徐向华, 等. 铁矿生态修复区生态系统服务价值增量评估[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(4): 594–600.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0197>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

西部绿洲城市土地利用转型的生态环境效应——以乌鲁木齐市为例

阿依吐尔逊·沙木西, 刘新平, 祖丽菲娅·买买提, 陈前利, 冯彤

农业资源与环境学报. 2019, 36(2): 149–159 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0113>

河北北戴河区农田生态系统服务功能价值测算研究

刘小丹, 赵忠宝, 李克国

农业资源与环境学报. 2017, 34(4): 390–396 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0005>

京津冀潮白河区域土地利用变化对生态系统服务的影响

耿冰瑾, 曹银贵, 苏锐清, 刘施含, 冯喆

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 583–593 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0595>

内蒙古某铁矿尾矿库生态修复区的植被恢复效果

田佳榕, 马伟波, 戚旭东, 许素, 徐雁南, 李海东

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 601–608 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0331>

巢湖流域厌氧-土壤净化床工艺处理农村生活污水生态补偿标准测算

丁健, 吴晓斐, 黄治平, 郑宏艳, 米长虹, 郑宏杰

农业资源与环境学报. 2019, 36(5): 584–591 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0205>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

叶尔纳尔·胡马尔汗, 马伟波, 徐向华, 等. 铁矿生态修复区生态系统服务价值增量评估[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(4): 594–600.

YEERNAER Humaerhan, MA Wei-bo, XU Xiang-hua, et al. Incremental evaluation of the ecosystem service value in the ecological restoration area of an iron mine[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(4): 594–600.



开放科学 OSID

铁矿生态修复区生态系统服务价值增量评估

叶尔纳尔·胡马尔汗^{1,2}, 马伟波¹, 徐向华³, 迪丽努尔·托列吾别克⁴, 方颖^{1*}, 李海东^{1*}

(1. 生态环境部南京环境科学研究所, 南京 210042; 2. 新疆维吾尔自治区生态环境监测总站, 乌鲁木齐 830011; 3. 南京信息工程大学应用气象学院, 南京 210044; 4. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002)

摘要:为探索建立矿山生态环境损害补偿性恢复的生态系统服务价值评估方法,利用遥感和GIS(地理信息系统)技术,选取内蒙古某钢铁企业的尾矿库边坡绿化、人工湿地、植树造林等3种类型的生态修复区,调查评估了不同类型铁矿生态修复区的生态系统服务价值。结果表明:2016—2018年3种生态修复区面积呈不同程度增加趋势,边坡绿化区草地面积所占比例相比2016年提高了85.4个百分点;人工湿地地区湿地面积占比相比2016年提高了33.3个百分点;植树造林区森林面积占比相比2016年提高了38.4个百分点;边坡绿化区与人工湿地地区生态修复面积逐步由东向西增加,植树造林区生态修复面积由东西两侧向中部增加。2016—2018年3种生态修复区生态系统服务价值呈不同程度增加趋势,其中生态系统服务价值总量相比2016年增加了520.68万元,3种生态修复区生态系统服务价值分别增加了218.03万、258.96万元和43.69万元;边坡绿化区调节服务生态服务价值量相比2016年增加了141.60万元;人工湿地地区调节服务生态服务价值量相比2016年增加了165.54万元,植树造林区调节服务价值量相比2016年增加了27.75万元。研究结果可为矿山企业落实生态环境治理主体责任、积极开展矿山生态修复提供实践依据。

关键词:矿山生态环境损害;替代性修复;生态系统服务功能;评估

中图分类号:X24;F301.2 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2020)04-0594-07 doi: 10.13254/j.jare.2019.0197

Incremental evaluation of the ecosystem service value in the ecological restoration area of an iron mine

YEERNAER Humaerhan^{1,2}, MA Wei-bo¹, XU Xiang-hua³, DILINUER Tuoliewubieke⁴, FANG Ying^{1*}, LI Hai-dong^{1*}

(1. Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Ecology and Environment, Nanjing 210042, China; 2. Xinjiang Ecological Environment Monitoring Centre, Urumqi 830011, China; 3. School of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 4. Institute of Desert and Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China)

Abstract: Mine ecological restoration can be divided into in situ restoration and alternative restoration of abandoned land, which is an important way to reduce the damage of mineral resources extraction to the ecological environment. Using remote sensing and GIS technology, three kinds of ecological restoration, namely slope greening of tailings bank, construction of wetland, and afforestation of an iron and steel enterprise in Inner Mongolia were selected. The ecosystem service value of different types of ecological restoration areas, which were previously iron mines, were investigated and evaluated. The results showed that: The area of the three ecological restoration areas increased in different degrees in 2016—2018, and the proportion of grassland area in the green area of the slope increased by 85.4 per cent compared with 2016; The wetland area in the constructed wet area increased by 33.3 per cent compared with 2016; The forested area of the afforestation area increased by 38.4 per cent compared with 2016; And the ecological restoration area of the green slope area and the artificial wet area gradually increased from east to west, and the ecological restoration of the afforestation area increased from east, west to the middle.

收稿日期: 2019-04-17 录用日期: 2019-06-26

作者简介: 叶尔纳尔·胡马尔汗(1990—),男,新疆乌鲁木齐人,硕士研究生,主要从事生态环境遥感研究。E-mail: yernar07@sina.com

*通信作者: 方颖 E-mail: fangying@nies.org 李海东 E-mail: lih2020@163.com

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(GYZX190101)

Project supported: Special Scientific Research Fund of Public Welfare Profession of China(GYZX190101)

The value of ecosystem services in the three ecological restoration areas increased in different degrees from 2016 to 2018; The total value of ecosystem services increased by 5.21 million yuan compared with 2016, and the value of ecosystem services in the three ecological restoration areas increased by 2.18 million, 2.59 million yuan, and 436 900 yuan; The value of ecological services for regulating green areas in the slope increased by 1.42 million yuan compared with 2016; The value of ecological services for regulating wetland services increased by 1.66 million yuan compared with 2016; And the value of the adjustment service in the afforestation area increased by 277 500 yuan compared with the value of 2016. The study provide a practical basis for mining enterprises to implement their main responsibility on ecological environment governance and actively perform mine ecological restoration.

Keywords: mining eco-environmental damage; restoration; ecosystem service function; assessment

矿产资源是工农业生产和社会经济发展必不可少的物质基础,其开发利用是社会财富的重要来源,同时也造成不可忽视的生态环境损害^[1-2]。生态系统服务是指通过生态系统结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务,其开放性使得生态系统服务(特别是其生态效益)具有无偿性和外部性,成为最廉价、最持久的服务提供系统。长期以来,人类在经济活动决策过程中对生态系统服务价值的忽略,导致资源的过度消耗和生态环境的破坏^[3]。20世纪70年代,联合国发表《人类对全球环境的影响》报告中首次提出生态系统服务价值(Ecological system service value, ESV)的概念^[4-5],开启了ESV研究的先河。20世纪90年代,关于ESV评估的研究和探索逐渐增多,比如Costanza等^[6]有关全球ESV的研究引起了国内外学者的关注。自生态系统服务的概念、评估方法等引入国内,关于生态系统服务价值的研究方法、尺度和对象等一直是研究的热点问题^[7-8],总体而言,目前大多数研究主要集中在流域、城市两个层面,对于中小尺度的矿产资源开发生态系统服务损失和生态修复增值的研究很少^[9-10]。

2017年12月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发《生态环境损害赔偿制度改革方案》指出,“逐步建立生态环境损害的修复和赔偿制度”“环境有价,损害担责”和“生态环境损害无法修复的,实施货币赔偿,用于替代修复”^[11]。根据《生态环境损害鉴定评估技术指南:总纲》,按照恢复目标和阶段,生态环境恢复可包括基本恢复、补偿性恢复和补充性恢复,其中,补偿性恢复(Compensatory restoration)是指采取各项恢复措施,

补偿生态环境损害。内蒙古某大型铁矿企业在资源开发造成生态环境损害后,采取了尾矿库边坡绿化、人工湿地、植树造林等补偿性恢复工程措施,试图将生态环境及其生态系统服务恢复至基线水平^[12-13]。为探索建立矿山生态环境损害补偿性恢复的生态系统服务价值评估方法,笔者以该大型铁矿生态修复区为例,调查评估了工程实施的生态系统服务价值变化特征,以期为矿山企业落实主体责任、积极开展生态环境恢复提供技术支撑^[14-15]。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

某大型铁矿的生态修复区位于内蒙古自治区包头市境内。该地区属内陆半干旱中温带大陆性季风气候,气候特点为:春季干旱风沙大,夏季炎热雨集中,秋高气爽日照长,冬季寒冷雨雪少。年平均气温8.0℃,年降水量为340.2mm,年蒸发量为2100~2342mm。生态修复区包括区域A和区域B两个地点,其中区域A包括尾矿库边坡绿化区和人工湿地区,位于该大型铁矿的尾矿库南侧;区域B为大青山植树造林区,位于包头市北部,西起昆都仑公路西侧沟谷,东临包白铁路,南临呼包高速、110国道,北接大青山(图1)。三种类型铁矿生态修复区基本情况见表1。

1.2 数据来源

选取2016年7月、2017年6月和2018年6月时间段的0.5m分辨率的高清商业卫星影像,6月、7月的遥感影像可以很好地反映植被生长状况。数据预处理方法包括运用ArcGIS 10.2、ENVI 5.3等软件对卫星

表1 三种类型铁矿生态修复区的基本情况

Table 1 Basic information of three types of iron ore ecological restoration areas

修复类型Repair type	2018年面积2018 Area/hm ²	植被类型Vegetation types	物种组成Species composition
边坡绿化区	40.32	草地、荒漠	秋英、苜蓿、沙冬青、猪毛菜、芨芨草、花棒、白刺、黄芪等
人工湿地区	53.28	森林、草地、湿地	芦苇、灯芯草、圆穗苔、香蒲、碱蓬等
植树造林区	98.19	森林、草地、水域	柠条锦鸡儿、胡枝子、大籽蒿、樟子松、杏树等

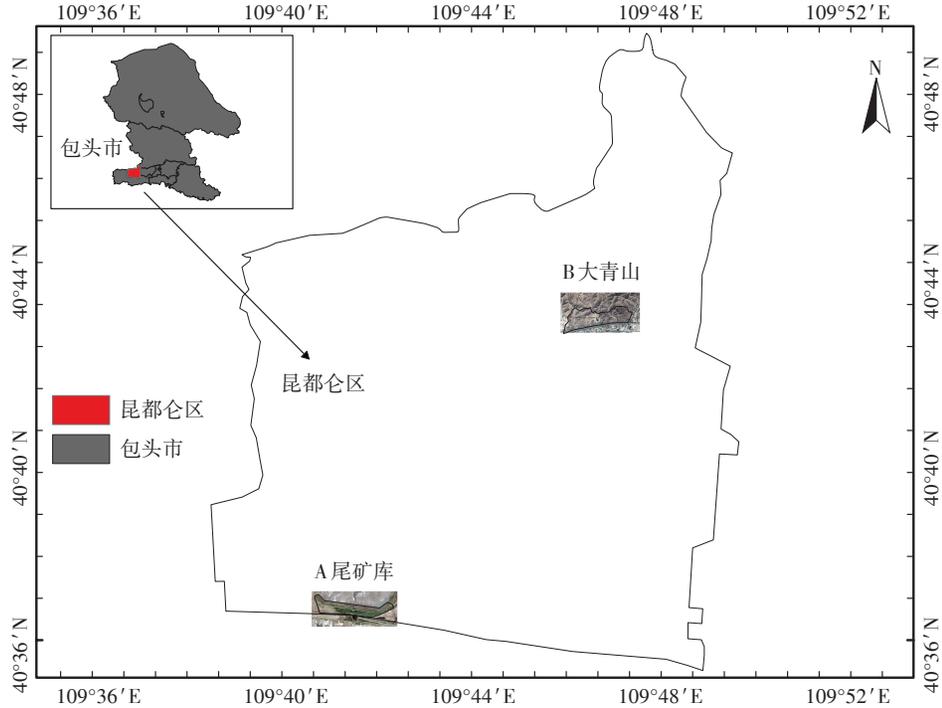


图1 铁矿生态修复区位置

Figure 1 Location of iron ore ecological restoration area in Baotou City

遥感数据进行几何校正、辐射校正、人工目视解译,获取2016—2018年3种生态修复区土地利用动态数据,并进行分析。其他相关数据的统计及生态系统服务价值的计算等均在Excel软件中完成。

1.3 生态系统服务价值核算方法

谢高地等^[16]将1个标准生态系统服务价值当量因子定义为1 hm²全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值,通过具体计算得到2010年标准生态系统生态服务价值当量因子的值为3 406.5元·hm⁻²。基于谢高地等提出的单位价值当量,结合统计数据计算各土地利用类型的生态系统服务价值,该价值当量系统将农田每年自然粮食产量的经济价值定义为1,其他生态系统服务价值当量因子为相对于农田生产服务价值的大小(表2)。

采用Costanza等^[6]提出的生态系统服务价值计算模型和单位面积生态系统服务价值当量,进行铁矿生态修复区2016—2018年的生态系统服务价值增量计算,公式为:

$$ESV = \sum_k \sum_f A_k \times VC_{kf}$$

式中:ESV为生态系统服务价值;A_k为第k类土地面积, hm²; VC_{kf}为第k类土地第f项生态系统功能的单位价值,元·hm⁻²·a⁻¹。

2 结果与分析

2.1 不同类型生态修复区面积变化

由图2可见,2016—2018年铁矿生态修复区3种类型生态修复面积不断增加,其中边坡绿化区荒漠逐步转变为草地,草地所占比例由11.8%提高为97.2%;人工湿地地区湿地面积最大,比例从32.3%提高为65.6%,森林面积小幅增加,比例从2.5%提高为6.6%,草地和荒漠面积不断减小,所占比例由22.4%和42.8%减小为3.3%和24.5%;植树造林区森林面积最大,比例由49.0%提高为87.4%,草地比例由50%减小为11.6%,水域面积没有发生变化,比例为1%。从土地利用面积变化数据来看,铁矿生态修复区各生态系统面积变化较大,生态修复的效果明显。

2016—2018年铁矿生态修复区修复植被面积不断增加(图3)。边坡绿化区2016年主要以荒漠植被为主,经过生态修复工程实施,2018年转变为草地植被;人工湿地地区通过湿地修复工程,修复区不断向西扩大,荒漠植被面积不断减小;植树造林区通过植树造林工程,森林面积由修复区两侧不断向中部扩大,直至2018年基本完成植树造林项目。

2.2 生态系统服务价值增量

由表3可见,2016—2018年铁矿生态修复区生态

系统服务价值总量增加了520.68万元,增幅为43.45%。边坡绿化修复区生态系统服务价值增加218.03万元,增幅为481.83%,其中草地服务价值占比从70.55%提高至99.84%,荒漠服务价值占比从

29.45%减小为0.16%;人工湿地修复区生态系统服务价值增加258.96万元,增幅为64.03%,其中森林服务价值占比从2.59%提高至4.17%,草地服务价值占比从19.80%减小为1.78%,湿地服务价值占比从

表2 单位面积生态系统服务价值当量

Table 2 Equivalent value of ecosystem services per unit area

生态系统 Ecosystem		供给服务 Supply service			调节服务 Adjustment service				支持服务 Support service			文化服务 Cultural service
一级分类	二级分类	食物生产	原料生产	水资源供给	气体调节	气候调节	净化环境	水文调节	土壤保持	维持养分循环	生物多样性	美学景观
农田	旱地	0.85	0.40	0.02	0.67	0.36	0.10	0.27	1.03	0.12	0.13	0.06
	水田	1.36	0.09	-2.63	1.11	0.57	0.17	2.72	0.01	0.19	0.21	0.09
森林	针叶	0.22	0.52	0.27	1.70	5.07	1.49	3.34	2.06	0.16	1.88	0.82
	针阔混交	0.31	0.71	0.37	2.35	7.03	1.99	3.51	2.86	0.22	2.60	1.14
	阔叶	0.29	0.66	0.34	2.17	6.50	1.93	4.74	2.65	0.20	2.41	1.06
草地	灌木	0.19	0.43	0.22	1.41	4.23	1.28	3.35	1.72	0.13	1.57	0.69
	草原	0.10	0.14	0.08	0.51	1.34	0.44	0.98	0.62	0.05	0.56	0.25
	灌草丛	0.38	0.56	0.31	1.97	5.21	1.72	3.82	2.40	0.18	2.18	0.96
湿地	草甸	0.22	0.33	0.18	1.14	3.02	1.00	2.21	1.39	0.11	1.27	0.56
	湿地	0.51	0.50	2.59	1.90	3.60	3.60	24.23	2.31	0.18	7.87	4.73
荒漠	荒漠	0.01	0.03	0.02	0.11	0.10	0.31	0.21	0.13	0.01	0.12	0.05
	裸地	0	0	0	0.02	0	0.10	0.03	0.02	0	0.02	0.01
水域	水系	0.80	0.23	8.29	0.77	2.29	5.55	102.24	0.93	0.07	2.55	1.89
	冰川积雪	0	0	2.16	0.18	0.54	0.16	7.13	0	0	0.01	0.09

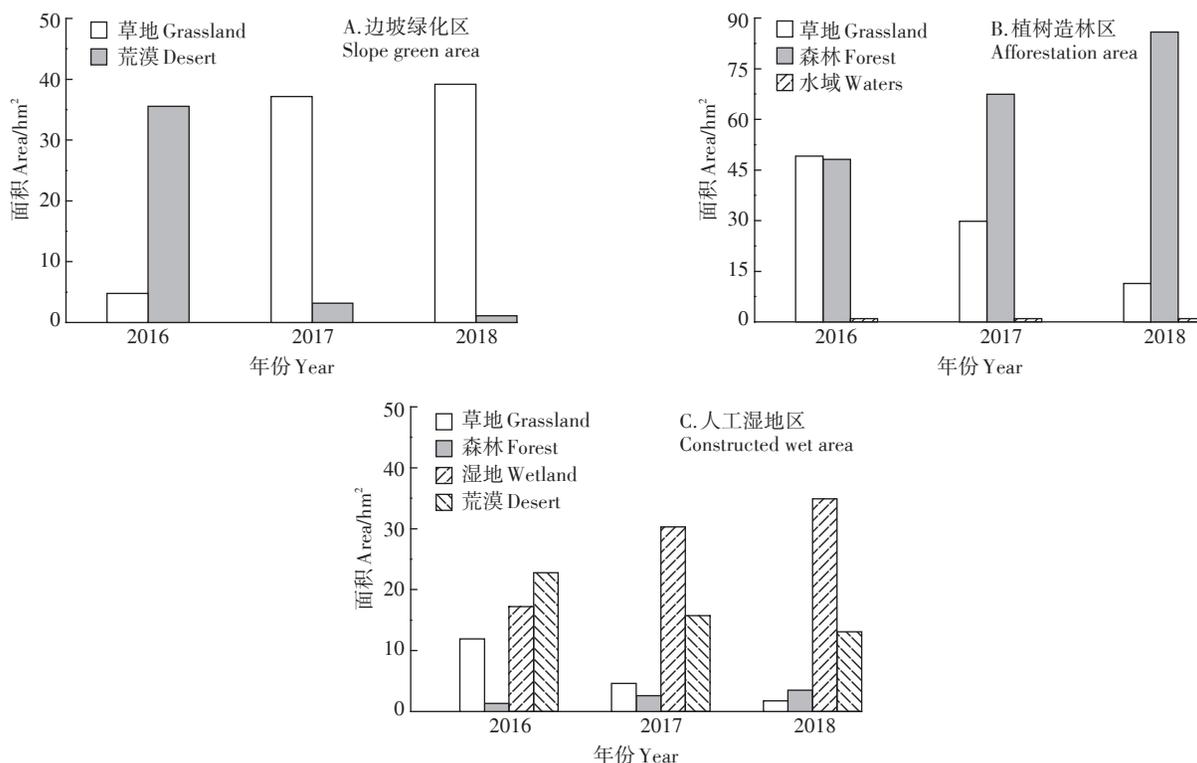


图2 三种修复区生态系统2016—2018年面积变化

Figure 2 Changes in the area of the three restoration ecosystems from 2016 to 2018

75.50% 提高至 93.31%, 荒漠服务价值占比从 2.11% 减小为 0.74%; 植树造林修复区生态系统服务价值增加 43.69 万元, 增幅为 5.84%, 森林服务价值占比从 50.77% 提高至 85.23%, 草地服务价值占比从 44.00% 减小为 9.64%, 水域面积没有发生变化, 服务价值占比基本保持不变。

由表 4 可见, 2016—2018 年铁矿生态修复区不同类型生态系统生态功能区服务价值整体呈增加趋势, 其中边坡绿化区调节服务生态服务价值与价值占比最高, 其次是支持服务、供给服务和文化服务, 调节服务生态服务价值量相比 2016 年增加了 140.60 万元; 人工湿地调节服务价值量与占比同样最高, 其次是支持服务、文化服务和供给服务, 调节服务生态服务价值相比 2016 年增加了 165.54 万元, 为铁矿生态修复区功能服务价值量增幅最大值; 植树造林区调节服务价值与占比最高, 其次是支持服务、供给服务和文化服务, 2018 年调节服务价值占比 65.68%, 相比 2016 年价值量增加了 27.75 万元。

3 讨论

本研究以内蒙古某铁矿生态修复为例, 针对土地

利用结构特点和野外调查, 利用谢高地等^[16]提出的全国陆地生态系统服务价值系数, 开展了 2016—2018 年铁矿生态修复区生态系统服务价值增量评估, 不仅可为矿山企业开展生态环境损害替代性修复提供一种借鉴工具, 而且可以为相关部门开展矿山生态环境监管提供一定的参考。但仍存在两方面的问题: ①仅估算了 2016—2018 年短期生态系统服务价值, 没有从生态功能修复的角度, 开展生态修复的长期效益评估, 定性来说, 生态功能修复远期效益明显大于初期; ②由于铁矿生态修复区的空间尺度相对较少, 所选取的生态系统服务价值系数, 在适用性方面需要修订, 下一步可通过运用三维激光雷达等新技术手段, 从矿区恢复植被的垂直结构进行生态系统服务功能估算, 对比分析与全国陆地生态系统服务价值系数的偏差, 进一步提升生态价值评估精度。

4 结论

(1) 2016—2018 年铁矿生态修复 3 种类型生态修复面积呈增加趋势, 其中边坡绿化区草地面积所占比例相比 2016 年提高了 85.4 个百分点; 人工湿地地区湿地面积所占比例相比 2016 年提高了 33.3 个百分点;

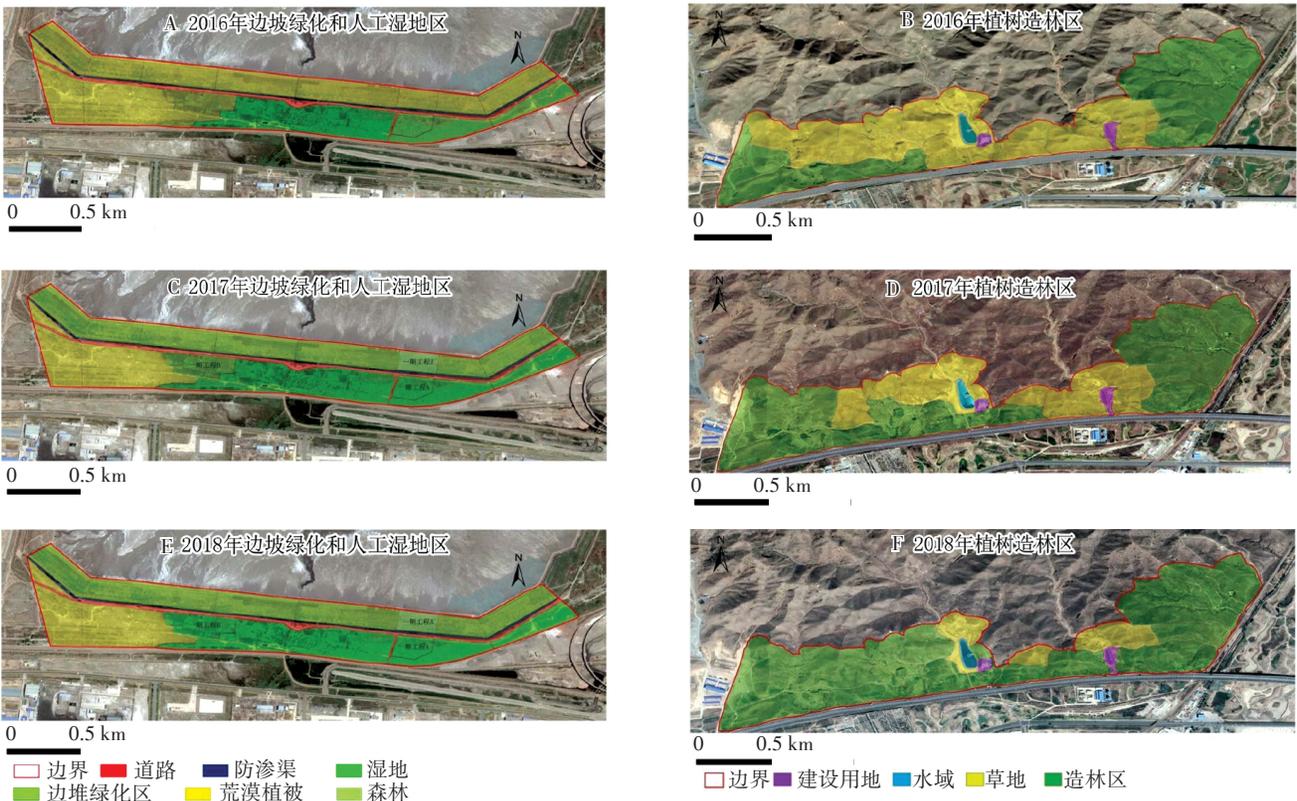


图 3 2016—2018 年铁矿生态修复区不同生态系统遥感分类

Figure 3 Remote sensing classification of different ecosystem types in iron ore ecological restoration areas from 2016 to 2018

表3 2016—2018年铁矿生态修复区不同类型生态系统服务价值

Table 3 Ecosystem service value in iron ore ecological restoration areas from 2016 to 2018

类型 Types	生态系统 Ecosystem	2016			2017			2018		
		面积 Area/ hm ²	生态服务价值 总量/万元 Total ESV/10 ⁴ yuan	价值构成 Value composition/%	面积 Area/ hm ²	生态服务价值 总量/万元 Total ESV/10 ⁴ yuan	价值构成 Value composition/%	面积 Area/ hm ²	生态服务价值 总量/万元 Total ESV/10 ⁴ yuan	价值构成 Value composition/%
边坡绿化区	草地	4.76	31.93	70.55	37.17	249.31	99.53	39.19	262.86	99.84
	荒漠	35.56	13.32	29.45	3.15	1.18	0.47	1.13	0.42	0.16
人工湿地区	森林	1.33	10.46	2.59	2.62	20.61	3.47	3.52	27.69	4.17
	草地	11.94	80.09	19.80	4.62	30.99	5.21	1.76	11.81	1.78
	湿地	17.23	305.33	75.50	30.31	537.11	90.33	34.93	618.98	93.31
	荒漠	22.78	8.54	2.11	15.73	5.89	0.99	13.07	4.90	0.74
植树造林区	森林	48.13	378.57	50.77	67.46	530.61	68.82	85.85	675.26	85.23
	草地	49.11	329.40	44.00	29.78	199.75	25.91	11.39	76.40	9.64
	水域	0.95	40.65	5.43	0.95	40.65	5.27	0.95	40.65	5.13

表4 2016—2018年铁矿生态修复区不同类型生态系统功能价值变化

Table 4 Changes in functional value of different types of ecosystems in iron ore ecological restoration areas from 2016 to 2018

类型 Types	生态系统功能区 Ecosystem functional area	2016		2017		2018	
		生态服务价值/万元 ESV/10 ⁴ yuan	价值构成 Value composition/%	生态服务价值/万元 ESV/10 ⁴ yuan	价值构成 Value composition/%	生态服务价值/万元 ESV/10 ⁴ yuan	价值构成 Value composition/%
边坡绿化区	供给服务	2.75	6.04	15.89	6.34	16.72	6.35
	调节服务	29.47	64.74	161.84	64.61	170.07	64.60
	支持服务	11.14	24.47	60.55	24.17	63.65	24.18
	文化服务	2.16	4.75	12.21	4.87	12.84	4.88
人工湿地区	供给服务	27.33	6.76	40.71	6.85	45.54	6.86
	调节服务	259.76	64.23	381.34	64.13	425.30	64.11
	支持服务	84.76	20.96	120.92	20.34	134.09	20.21
	文化服务	32.57	8.05	51.63	8.68	58.45	8.81
植树造林区	供给服务	46.72	6.24	47.63	6.18	48.52	6.12
	调节服务	492.64	65.81	506.87	65.74	520.39	65.68
	支持服务	173.90	23.23	179.96	23.34	185.72	23.44
	文化服务	35.36	4.72	36.55	4.74	37.68	4.76

植树造林区森林面积所占比例相比2016年提高了38.4个百分点;空间变化上来看边坡绿化区与人工湿地区修复面积逐步从东向西增加,植树造林区从东西两侧向中部增加。

(2)2016—2018年铁矿3种类型生态修复区生态系统服务价值呈增加趋势,其中生态系统服务价值总量相比2016年增加了520.68万元,3种类型生态系统服务价值分别增加了218.03万、258.96万元和43.69万元;边坡绿化区调节服务生态服务价值量相比2016年增加了140.60万元,人工湿地区调节服务生态服务价值相比2016年增加了165.54万元,植树造林区调节服务价值相比2016年价值量增加了27.75万元。

参考文献:

- [1] Larondelle N, Haase D. Valuing post-mining landscapes using an ecosystem services approach: An example from Germany[J]. *Ecological Indicators*, 2012, 18: 567-574.
- [2] 顿耀龙, 王军, 白中科, 等. 基于灰色模型预测的矿区生态系统服务价值变化研究——以山西省平朔露天矿区为例[J]. *资源科学*, 2015, 37(3): 494-502.
DUN Yao-long, WANG Jun, BAI Zhong-ke, et al. Changes in Pingshuo opencast mining area ecosystem service values based on grey prediction modeling[J]. *Resources Science*, 2015, 37(3): 494-502.
- [3] Boyd J, Banzhaf S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units[J]. *Ecological Economics*, 2007, 63(2/3): 616-626.

- [4] 李海东, 沈渭寿, 贾明, 等. 大型露天矿山生态破坏与环境污染损失的评估[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2015, 39(6): 112-118.
LI Hai-dong, SHEN Wei-shou, JIA Ming, et al. Economic losses assessment for ecological destruction and environmental pollution in large-scale opencast mine[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2015, 39(6): 112-118.
- [5] 李海东, 沈渭寿, 卞正富. 西部矿产资源开发的生态环境损害与监管[J]. 生态与农村环境学报, 2016, 32(3): 345-350.
LI Hai-dong, SHEN Wei-shou, BIAN Zheng-fu. Damages to eco-environment caused by mineral resources exploitation in west China supervisory countermeasures[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2016, 32(3): 345-350.
- [6] Costanza R, D'Arge R, Groot R D. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [7] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价[J]. 自然资源学报, 2004(4): 480-491.
ZHAO Tong-qian, OUYANG Zhi-yun, ZHENG Hua, et al. Forest ecosystem services and their valuation in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2004(4): 480-491.
- [8] 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 Gao-di, ZHANG Cai-xia, ZHANG Chang-shun, et al. The value of ecosystem services in China[J]. *Resources Science*, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [9] 孙慧兰, 李卫红, 陈亚鹏, 等. 新疆伊犁河流域生态服务价值对土地利用变化的响应[J]. 生态学报, 2010, 30(4): 887-894.
SUN Hui-lan, LI Wei-hong, CHEN Ya-peng, et al. Response of ecological services value to land use change in the Ili River basin, Xinjiang, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(4): 887-894.
- [10] 刘璐璐, 曹巍, 吴丹, 等. 国家重点生态功能区生态系统服务时空格局及其变化特征[J]. 地理科学, 2018, 38(9): 1508-1515.
LIU Lu-lu, CAO Wei, WU Dan, et al. Temporal and spatial variations of ecosystem services in national key ecological function zones[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(9): 1508-1515.
- [11] 李丽, 王心源, 骆磊, 等. 生态系统服务价值评估方法综述[J]. 生态学报, 2018, 37(4): 1233-1245.
LI Li, WANG Xin-yuan, LUO Lei, et al. A systematic review on the methods ecosystem services value assessment[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(4): 1233-1245.
- [12] 王燕, 高吉喜, 王金生. 基于土地利用变化的生态服务价值动态研究——以辽宁省国家级自然保护区为例[J]. 生态经济, 2014, 30(5): 157-160, 172.
WANG Yan, GAO Ji-xi, WANG Jin-sheng. Variation of ecosystem services value based on land use change: A case study of national nature reserves in Liaoning, China[J]. *Ecological Economy*, 2014, 30(5): 157-160, 172.
- [13] 徐子蒙, 李广泳, 周旭, 等. 基于地理国情普查成果的生态系统服务价值核算方法[J]. 测绘学报, 2018, 47(10): 1396-1405.
XU Zi-meng, LI Guang-yong, ZHOU Xu, et al. The evaluation method for ecosystem service value based on national census geography results[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2018, 47(10): 1396-1405.
- [14] 吕欣怡, 王慧, 袁兴中, 等. 兖州矿区土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 山东科学, 2018, 31(1): 88-95.
LÜ Xin-yi, WANG Hui, YUAN Xing-zhong, et al. Effects of land use changes on ecosystem services value in Yanzhou mining area[J]. *Shandong Science*, 2018, 31(1): 88-95.
- [15] 田佳榕, 代婷婷, 徐雁南, 等. 基于地基激光雷达的采矿废弃地生态修复的植被参数提取[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(8): 686-691.
TIAN Jia-rong, DAI Ting-ting, XU Yan-nan, et al. Extraction of vegetation parameters in different stages of ecological restoration on abandoned mine area based on T-LiDAR[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2018, 34(8): 686-691.
- [16] 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.
XIE Gao-di, ZHANG Cai-xia, ZHANG Lei-ming, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(8): 1243-1254.