

DOI: 10.5846/stxb201911202507

龙精华, 张卫, 付艳华, 胡振琪. 鹤岗矿区生态系统服务价值. 生态学报, 2021, 41(5): 1728-1737.

Long J H, Zhang W, Fu Y H, Hu Z Q. The value of ecosystem services in Hegang coal mining area. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(5): 1728-1737.

鹤岗矿区生态系统服务价值

龙精华¹, 张 卫¹, 付艳华², 胡振琪^{3,*}

1 河北经贸大学公共管理学院, 石家庄 050061

2 天津城建大学经济与管理学院, 天津 300384

3 中国矿业大学环境与测绘学院, 徐州 221116

摘要:生态系统服务与人类福祉有着密切的关系。采用修正后的单位面积生态系统价值当量因子的方法,对鹤岗矿区不同沉陷时期(1993、2000、2013 年)9 种类型生态系统服务价值进行核算。结果表明:①1993、2000 和 2013 年鹤岗矿区生态系统的总服务价值量分别为 2219.21、1025.15 和 3531.95 万元。就生态系统而言,耕地的平均服务价值最高,占平均总价值的 189.35%;其次是林地和水域,分别占平均总价值的 46.50% 和 26.83%。②就生态系统服务类别而言,支持功能服务价值最高,平均价值量占平均总价值量的 186.67%,其次是调节服务,占 45.34%,文化服务占 5.73%,供给服务占 -137.74%。③1993—2013 年,鹤岗矿区生态系统服务价值自西向东递增,这与采煤方向和开采程度差异有关。这种分布趋势主要受由采矿活动引起的土地利用类型、面积及质量变化的影响。④与无考虑空间异质性因素情况相比,1993、2000 年鹤岗矿区生态系统服务总价值分别减少了 152.96 和 580.12 万元,2013 年增加了 781.63 万元。随煤炭开采,1993—2013 年鹤岗矿区采煤沉陷地自然生态环境状况呈现一个由下降到好转的过程。

关键词:煤矿;采煤沉陷;价值当量因子;生态系统服务价值

The value of ecosystem services in Hegang coal mining area

LONG Jinghua¹, ZHANG Wei¹, FU Yanhua², HU Zhenqi^{3,*}

1 School of Public Administration, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang 050061, China

2 School of Economics and Management, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China

3 School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China

Abstract: Ecosystem service is closely associated with human well-being. A modified method of equivalent value factor per unit ecosystem area was adopted to account the ecological values for 9 different types of ecosystem services in different subsidence periods (1993, 2000 and 2013) in Hegang coal mine area. The results showed that the total values of ecosystem services in 1993, 2000 and 2013 were 22.19×10^7 , 10.25×10^7 and 35.32×10^7 CNY, respectively. In terms of the economic value derived from different types of ecosystems, the mean value of the farmland ecosystem was the highest, accounting for 189.35% of the average total value of ecosystem services, and the mean value of the forestland and the water area accounted for 46.50% and 26.83%, respectively. In terms of the economic value derived from different types of ecosystem services, the mean value of the support services was the highest, accounting for 186.67% of the average total value of ecosystem services, followed by regulation services, cultural services and provision services, accounted for 45.34%, 5.73% and -137.74%, respectively. From 1993 to 2013, the ecosystem service value increased from west to east, and the value in the south was obviously higher than that in the north, which was caused by the direction and process of coal mining. The spatial difference of ecosystem service value was mainly influenced by the changes of the land-use type,

基金项目:国家自然科学基金项目(41807511);江苏省双创团队和人才计划项目;河北经贸大学科研项目(2018PY16)

收稿日期:2019-11-20; **网络出版日期:**2021-01-05

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huzq1963@163.com

area and land quality in mining process. The total values of ecosystem services in 1993 and 2000 decreased by 152.96×10^4 and 35.32×10^4 CNY, respectively, compared to the traditional calculation method (spatial homogeneity), and the total value of ecosystem services in 2013 increased by 781.63×10^4 CNY. From 1993 to 2013, the natural habitat in Hegang coal mine subsidence area presented a process from decline to improvement.

Key Words: coal mine; coal mining subsidence; value equivalent factor; ecosystem service value

矿区煤炭开采活动通过改变生态系统结构和功能,影响生态系统服务价值,严重威胁矿区生态环境和以煤为生城市社会经济的可持续发展。生态系统服务是人类能够从生态环境中得到的各种恩惠,包括有形物质产品和无形服务两方面,可分为供给服务、调节服务、支持服务和文化服务^[1-3]。生态系统服务的概念早在1970年联合国大会上发表的《人类对全球环境的影响》报告中被首次提出^[4]。之后,西方学者^[5]进展缓慢的开始对全球生态系统服务价值进行概略的评估,没有形成相应的评估理论和方法体系。直到1997年Constanza等^[6]发表了《The Value of the World's Ecosystem Services and Nature Capital》一文,在国内外学者中引起了很大的反响,生态系统服务价值研究开始成为生态领域研究的热点。国内学者20世纪80年代开始对生态系统服务的概念和计算方法进行关注,至21世纪初谢高地等人^[7]在Constanza等人研究成果的基础上,采用问卷调查法制定出了适合中国陆地生态系统服务价值评估的单位面积价值当量因子,有利的推动了我国不同尺度(全国、流域、省域或市域、县域)、不同生态系统类型(森林、农田、湿地、水域、草地、城市等)^[8-19]下生态系统服务价值的研究。目前,对中小尺度矿区生态服务价值研究相对较少。对矿区生态系统服务价值的研究主要集中在采矿前后、复垦前后生态系统服务价值的变化情况,以价值大小来反映采矿活动或土地复垦对生态环境的影响^[20-24],对采矿过程中生态系统服务价值的变化研究少见。

生态系统服务价值评估方法大致可分为基于单位服务功能价格的方法和基于单位面积价值当量因子的方法。基于单位面积价值当量因子的方法要求数据少,简单易算,比较适用于区域和大尺度各类生态系统服务价值的评估^[25-26]。矿区是以矿业作业区为核心的一个独特的人工、半人工的区域生态系统^[27],为人类提供多种产品和服务。与其他区域生态系统相比,矿区是被人类扰动较大的土地受损区,各区域土地受损程度不同^[28-29],各生态系统具有很强的空间异质性。基于单位面积价值当量因子法评估矿区生态系统服务价值,考虑不到矿区各生态系统内部服务的空间异质性问题,评估出价值的结论可能存在着一定的偏差。一些学者采用不同方法,针对自己研究区特点对单位面积价值当量因子进行了适当的修正。谢高地等^[30-31]利用某区某月/某年某生态系统的NPP、平均单位面积降水量和土壤保持量与全国范围内年均NPP、年均单位面积降水量和单位面积平均土壤保持量的比值对不同类型生态系统单位面积上各类服务功能年均价值当量进行了修正。韩增林等^[32-33]引入植被覆盖度系数,在栅格尺度上根据植被覆盖度和NDVI的对应关系对生态系统服务进行修订。那么,对于人工扰动强烈的、土地受损程度严重、空间异质性较强的矿区,如何采用单位面积价值量法评估出更符合矿区实际的生态系统服务价值?开采时序、开采强度等开采活动对矿区生态系统服务价值又有何影响?

综上,煤矿区是生态环境受损的集中区域^[34],有必要对单位面积价值当量因子进行修正,评估出矿区受损生态系统的生态系统服务价值,从生态系统服务的视角研究采煤活动对矿区生态环境的影响。鹤岗矿区为我国典型的东北多煤层老矿区,煤层厚、开采历史长。2013年沉陷面积达7932.12hm²,严重制约鹤岗城市的发展。因而,该研究对单位面积生态系统服务价值当量因子进行修正,对鹤岗矿区不同开采时期的生态系统服务价值进行估算,分析采煤过程中鹤岗矿区生态系统服务价值的基本特征,以期对生态系统服务价值的计算和煤矿区生态系统服务的恢复提供参考。

1 研究区概况

鹤岗市是一座缘煤而建的城市。鹤岗矿区(47°08'—47°23', 130°13'—130°22')行政区隶属于黑龙江省

东北部的鹤岗市管辖,位于鹤岗市辖区南部,兴山区、向阳区、工农区、南山区的东部一带,兴安区中部,地处三江(黑龙江、松花江和小兴安岭)平原交汇的金三角地带(图1)。地貌单元属砂砾石丘陵台地,海拔约100—140m。鹤岗矿区(主要包括兴山、益新、振兴、乌山、南山、新陆、富力、兴安和峻德煤矿)煤炭开采始于1917年,至今已有百年开采历史。现矿区开采范围北起兴山矿,南至峻德矿,南北长27km,东西宽4km,面积108km²。核定生产能力为1351万t/a。鹤岗矿区是我国典型的多煤层老矿区,煤层最多的益新煤矿层组数达36个,截至2012年末已开采或局部开采28个煤层;煤层最少的振兴煤矿层组数共计13个,已开采或局部开采5个煤层。煤矿煤层多属于中厚及厚煤层,总厚在44—90m,富集在中生界白垩系下统石头河子含煤组的中部含煤段。经开采沉陷预计,到闭矿,总沉陷面积11794.02hm²,最大下沉值达39.4m,严重制约鹤岗城市的发展。

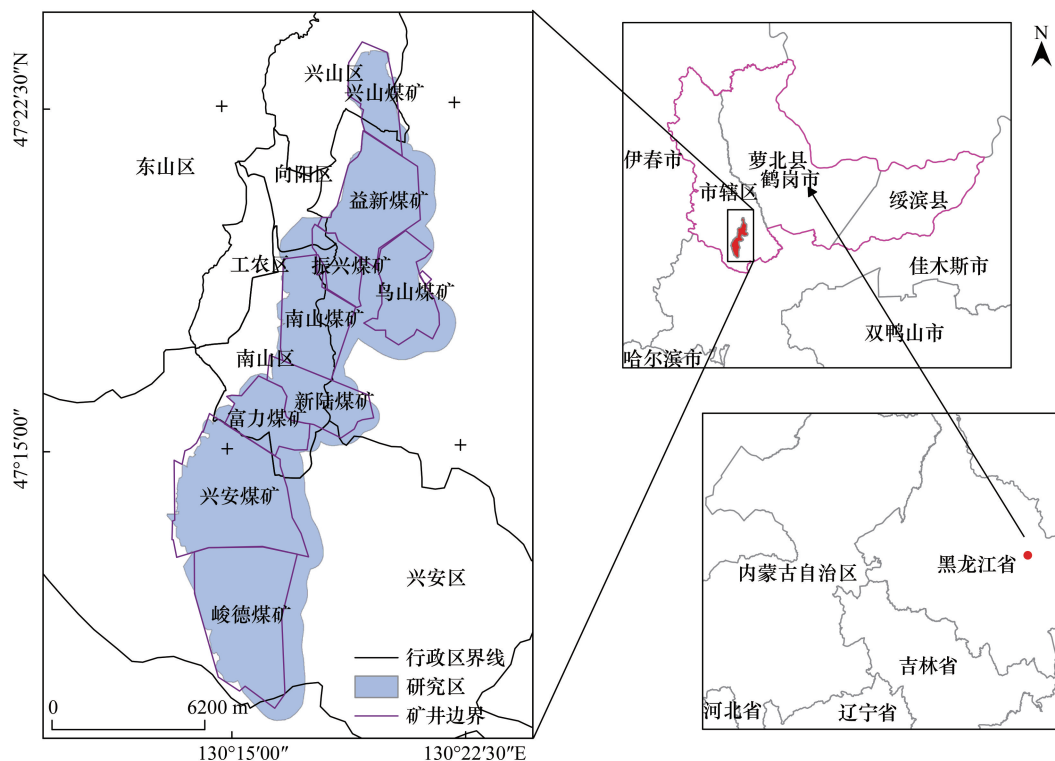


图1 研究区位置

Fig. 1 The position of study area

2 研究方法

2.1 数据来源

土地利用矢量数据通过对1993年9月、2000年9月和2013年9月Landsat TM遥感卫星影像(30m分辨率)进行非监督分类获得。结合Google earth对识别不清的地类进行校正。Kappa系数依次为80.74%、93.06%和84.95%,满足精度要求。基于Landsat TM数据,参照中科院资源环境科学数据库分类法将1993、2000和2013年土地利用类型分为耕地、建设用地、林地、草地、水域和未利用地六大类。各期土地利用数据利用ArcGIS软件进行统计分析。其他社会经济数据均从黑龙江省统计年鉴和鹤岗历年统计年鉴中获得。矿区植被净初级生产力(NPP)通过CASA(Carnegie-Ames-Stanford Approach)模型模拟估算获得。降雨数据由鹤岗气象站提供。鹤岗矿区栅格尺度上的土壤保持量通过InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs)模型估算获得。

2.2 生态系统服务价值评估

采用基于单位面积价值当量因子法^[35],经农田为基准的地区修正法对各生态系统服务进行修正^[36],将计算全国生态系统服务价值的单位面积价值当量因子修正为黑龙江省的单位面积价值当量因子。再经矿区 NPP、降雨量和沉陷因子将黑龙江单位面积价值当量因子修正为矿区单位面积价值当量因子。经公式(5)和(6)计算出鹤岗矿区不同类型生态系统和各服务的价值量。具体做法为:经公式(1)、(2)、(3)和(4)分别计算矿区 1993、2000 和 2013 年生态系统服务当量的修订系数。之后,依据中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表,以 2013 年黑龙江省粮食平均收购价格(2.41 元/kg)和 1993—2013 年农田单位面积平均产量(3779.38kg/hm²)为标准,按照在没有人力投入的自然生态系统提供的经济价值是现有单位面积农田提供食物生产服务经济价值的 1/7^[7],计算矿区不同生态系统的单项生态功能服务价值,其中建设用地生态服务价值参考袁兴中^[37]等的研究结果予以赋值。总服务价值经公式(7)进行敏感性指数检验。

2.2.1 地区修正法

采用以农田为基准的地区修正法,修正公式如下:

$$E_i = \frac{Q}{Q_0} \times E_{0i} \quad (1)$$

式中, E_i 为第 i 类土地利用类型经地区修订后的生态系统服务价值当量; Q 和 Q_0 分别为研究区和全国的农田单位面积粮食产量; E_{0i} 为第 i 类土地利用类型全国平均的生态系统服务价值当量,其中 $i = 1, 2, \dots, 6$ 分别代表林、草、耕、水域、建设和其他土地。

2.2.2 NPP 因子修正

NPP 因子修正食物生产、原材料、气体调节、气候调节、废物处理、生活多样性保护和娱乐文化服务功能^[38-39]。计算公式如(2)所示。

侯湖平等^[38]以矿区耕地为例,将 CASA 模型模拟四期矿区耕地的 NPP 值与其对应检验值(产量转为碳储量的算法作为检验值^[40])进行对比、验证。结果发现,四期模拟值的平均值与其检验值的平均值残差为 8.04 gC (m²月)⁻¹,并进一步对四期 NPP 模拟值与其检验值进行了相关性分析,相关系数为 0.75,并对矿区 NPP 进行了模拟,证明采用 CASA 模型模拟矿区 NPP 值可行。肖武等^[24]采用 CASA 模型对矿区 NPP 进行了模拟,并将其计算结果与朱文泉的^[41]进行比对,也在合理范围之内。本文 NPP 采用 CASA (Carnegie-Ames-Stanford Approach) 模型进行估算。

$$N_i = \frac{P_{i-y}}{(\sum P_{i-y}) \div 3} \times E_{0i} \quad (2)$$

式中, N_i 为第 i 类土地利用类型经 NPP 修正后的生态系统服务价值当量; P_{i-y} 为研究区第 y 年第 i 类土地利用类型的单位面积 NPP; y 指 1993 年、2000 年和 2013 年; E_{0i} 和 i 同上。

2.2.3 降水因子修正

降水因子修正水源涵养服务功能。计算公式如(3)所示。

韩鹏等利用当量因子方法计算干旱半干旱区生态系统服务价值时认为降雨因素会对水源涵养价值产生影响^[30,42]。

$$P_i = \frac{W}{W_0} \times E_{0i} \quad (3)$$

式中, P_i 为第 i 类土地利用类型经降水因子修正后的生态系统服务价值当量; W 和 W_0 分别为研究区和全国年平均降雨量; E_{0i} 和 i 同上。

2.2.4 沉陷因子修正

采煤沉陷影响土壤保持量,栅格尺度上土壤保持量修正土壤形成与保护服务功能^[30]。计算公式如下:

$$s_i = \frac{S_{i-y}}{(\sum S_{i-y}) \div 3} \times E_{0i} \quad (4)$$

式中, s_i 为第 i 类土地利用类型经沉陷因子修正后的土壤保持服务价值当量; $S_{i,y}$ 为研究区第 y 年第 i 类土地利用类型土壤保持量; E_{0i} 和 i 同上。

2.2.5 生态系统服务价值计算

$$ESV = \sum (A_k \times VC_k) \quad (5)$$

$$ESV_f = \sum (A_k \times VC_{fk}) \quad (6)$$

式中, ESV_f 为第 f 项生态服务价值; ESV 为总的服务价值; A_k 为研究区第 k 类型的土地利用面积 (hm^2); VC_k 为第 k 类型土地利用单位面积的服务价值系数 ($\text{元 hm}^{-2} \text{a}^{-1}$); VC_{fk} 为第 k 类型土地利用对应的第 f 项生态功能的单位面积服务价值系数 ($\text{元 hm}^{-2} \text{a}^{-1}$)。

2.2.6 敏感性指数检验

敏感性指数的计算公式如下:

$$CS = \left| \frac{(ESV_j - ESV_i) / ESV_i}{(E_j - E_i) / E_i} \right| \quad (7)$$

式中, ESV 为生态系统服务价值, E 为生态系统服务价值当量, i, j 分别表示初始的生态系统服务价值和生态系统服务价值当量调整后的值。

敏感性指数检验, 意指将各类土地利用类型的价值指数分别调整 50%, 衡量总生态系统服务价值的变化情况。若 $CS > 1$, 表明生态系统服务价值 (ESV) 相当于当量系数 (E) 是富有弹性的; 若 $CS < 1$, ESV 则被认为是缺乏弹性的。比值越大, 表明当量系数的准确性越关键。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化特征

1993—2013 年, 耕地和建设用为鹤岗矿区的主要用地类型, 平均比重依次为 47.18% 和 44.85%。耕地和建设用变化最大, 耕地依次减少, 减少量共计 910.16 hm^2 , 变化率为 -14.99%; 建设用地依次增加, 增加量共计 776.69 hm^2 , 变化率为 15.98% (表 1)。经土地利用转移矩阵分析, 2013 年土地利用类型的减少或增加均是 1993 年土地类型的得失转换。建设用地的扩张主要是由耕地的减少转化而来, 2013 年 1078.91 hm^2 耕地转化为建设用地 (图 2)。

表 1 1993—2013 年鹤岗矿区土地利用类型变化特征

Table 1 Change of land use during 1993—2013 in Hegang coal mining area

土地利用类型 Land use types	耕地 Farmland	林地 Forestland	草地 Grassland	水域 Water area	建设用地 Buildings	未利用地 Bare land
1993—2013 面积平均比重/% Average proportion	47.18	3.69	2.44	1.00	44.85	0.84
1993—2000 地类变化/ hm^2 Area change	-597.46	110.17	-20.86	6.29	521.79	-19.93
2000—2013 地类变化/ hm^2 Area change	-312.70	54.14	-9.43	18.32	254.90	-5.23
1993—2013 地类变化/ hm^2 Area change	-910.16	164.31	-30.29	24.61	776.69	-25.16
1993—2013 面积变化率/% Rate of area change/%	-14.99	47.70	-9.95	22.70	15.98	-22.12

3.2 生态系统服务价值分析

3.2.1 生态系统服务总价值

由 1993—2013 年鹤岗矿区不同生态系统服务类型的价值变化来看 (表 2), 1993、2000 和 2013 年鹤岗矿区生态系统服务的总价值量分别为 2219.21、1025.15 和 3531.95 万元。耕地的平均总服务价值最大, 约占平

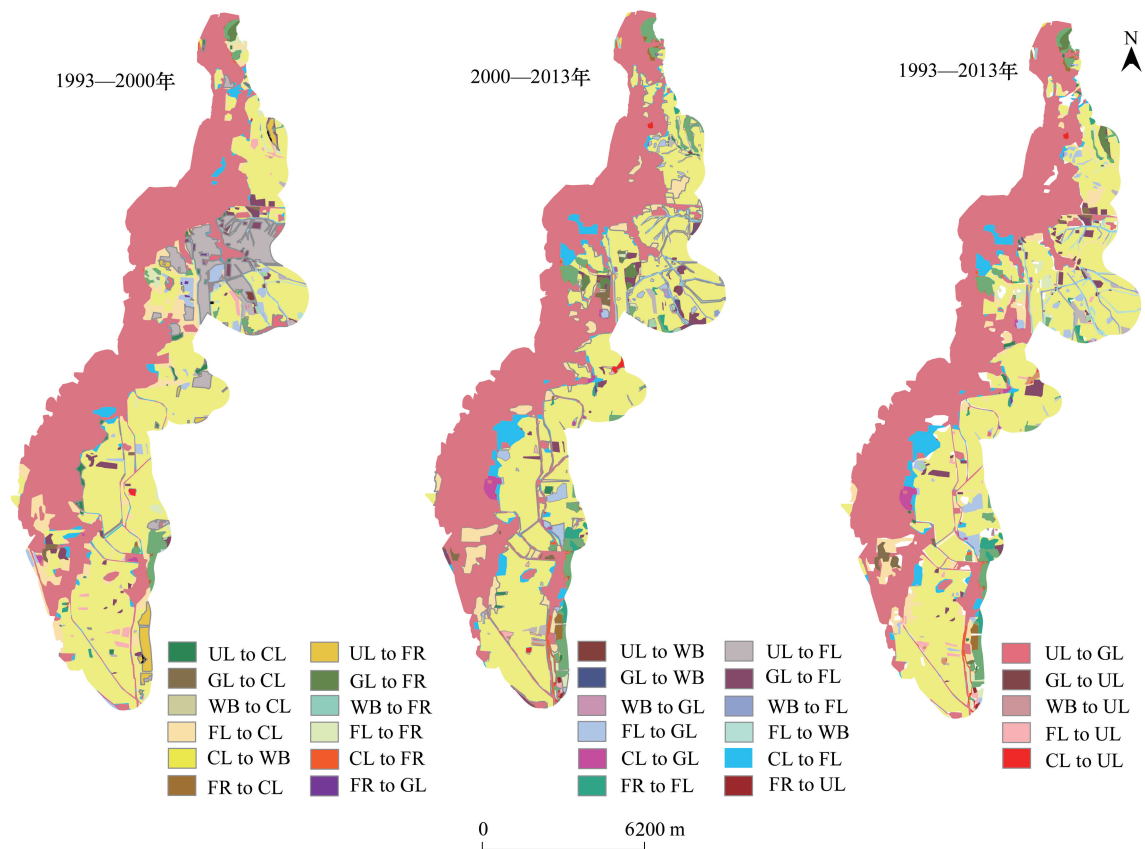


图2 1993—2013 鹤岗矿区土地利用变化

Fig.2 Change pattern of land use in Hegang coal mining area during 1993—2013

UL: 未利用地;GL: 草地;WB: 水域;FL: 耕地;CL: 建设用地;FR: 林地

均总价值的 189.35%;其次是林地(46.50%)、水域(26.83%);草地、未利用地和建设用地所占比重偏低,建设用地平均总服务价值为-3925.51 万元,约占平均总价值的-173.79%。

表2 1993—2013 年鹤岗矿区不同生态系统类型的价值变化/万元

Table 2 Change of ecosystem service value provided by different types of ecosystems in Hegang coal mining area during 1993 —2013

	林地 Forestland	草地 Grassland	耕地 Farmland	水域 Water area	未利用地 Bare land	建设用地 Buildings	总计 Total
1993	917.42	251.64	4719.99	576.94	6.57	-4253.35	2219.21
2000	915.49	202.86	3660.63	522.41	4.19	-4280.43	1025.15
2013	1317.75	283.94	4450.60	718.70	3.70	-3242.75	3531.95
1993—2000 ESV 变化量 Variation of ESV	-1.93	-48.78	-1059.36	-54.53	-2.38	-27.08	-1194.06
2000—2013 ESV 变化量 Variation of ESV	402.26	81.08	789.97	196.29	-0.49	1037.68	2506.80
1993—2013 ESV 变化量 Variation of ESV	400.33	32.30	-269.39	141.76	-2.87	1010.60	1312.74
平均比重 On average/%	46.50	10.90	189.35	26.83	0.21	-173.79	100
1993—2000 变化率/% Rate of change	-0.21	-19.38	-22.44	-9.45	-36.23	0.64	-53.81
2000—2013 变化率/% Rate of change	43.94	39.97	21.58	37.57	-11.69	-24.24	244.53
1993—2013 变化率/% Rate of change	43.64	12.84	-5.71	24.57	-43.68	-23.76	59.15

正数表示变化量/变化率增加,负数表示变化量/变化率减少

1993—2000 年,总价值变化量为-1194.06 万元,其中耕地变化量最大,为-1059.36 万元,变化率为-22.44%;其次是水域,变化价值量为-54.53 万元,变化率为-9.45%。2000—2013 年,总价值增加 2506.80 万元,其中林地、草地、耕地、水域和建设用地价值均在增加,耕地和建设用地价值增加最大,分别为 789.97 和 1037.68 万元,变化率最大的是林地和草地,分别为 43.94% 和 39.97%。1993—2013 年间,总价值增加 1312.74 万元,其中建设用地增加量最大,为 1010.60 万元,变化率为-23.76% (表 2)。1993—2013 年价值先减少后增加主要是随着采矿活动,耕地面积在不断下降,建设用地、林地和水域面积在不断增加,而采煤沉陷地土地生态状况呈现出先下降后回升的趋势。建设用地面积增加到一定程度,会使总服务价值提高。

3.2.2 生态系统服务类型

由 1993—2013 年鹤岗矿区不同服务功能的价值变化可知(表 3),1993—2013 年,土壤形成与保护价值最大,分别占该年总价值量的 145.18%、192.97% 和 154.86%;其次是气候调节服务和生物多样性服务,平均价值比分别为 40.54% 和 37.79%;食物生产的平均价值比为 22.36%;其他服务价值占比较小。由于鹤岗矿区建设用地面积较大,水源涵养服务价值为负值,分别占该年总服务价值量的-155.99%、-308.65% 和-127.68%。

1993—2000 年,土壤形成与保护价值减少最大,为-1243.66 万元,年变化率为-5.51%。气候调节和水源涵养服务价值均处于增加状态。2000—2013 年间,土壤形成与保护价值增加最大,为 3491.17 万元,年变化率为 13.58%;其次为气体调节和废物处理服务,增加值分别为 129.34 和 277.79 万元。1993—2013 年间,气体调节价值年变化率最大,分别为 5.70%、44.04% 和 42.04% (表 3)。1993—2013 年,土壤形成与保护价值先减少后增加,主要是随煤炭开采,耕地和建设用地的土壤保持量呈先下降后上升、建设用地面积大大增加的结果。

表 3 1993—2013 年鹤岗矿区不同服务功能的价值变化/万元

Table 3 Economic value change of different types of ecosystem services in Hegang coal mine during 1993—2013

生态系统服务功能 Ecosystem services		各服务贡献率/% Contribution rate of ecosystem services			ESV 变化量/万元 Variation of ESV			年变化率/% Annual gradient		
		1993	2000	2013	1993—2000	2000—2013	1993—2013	1993—2000	2000—2013	1993—2013
供给服务	食物生产	19.76	36.24	11.08	-66.95	20.01	-46.94	-2.18	0.41	-0.54
Provisioning services	原材料	8.52	17.90	6.45	-5.60	44.51	38.91	-0.42	1.87	1.03
	水源涵养	-155.99	-308.65	-127.68	297.58	-1345.60	-1048.02	-1.23	3.27	1.51
支持服务	土壤形成与保护	145.18	192.97	154.86	-1243.66	3491.17	2247.51	-5.51	13.58	3.49
Supporting services	生物多样性保护	32.70	63.64	17.04	-73.45	-50.60	-124.05	-1.45	-0.60	-0.85
调节服务	气体调节	0.73	2.20	4.30	6.44	129.34	135.78	5.70	44.04	42.04
Regulating services	气候调节	35.24	68.18	18.20	-83.10	-56.15	-139.25	-1.52	-0.62	-0.89
	废物处理	7.89	14.88	12.18	-22.45	277.79	255.34	-1.83	14.01	7.30
文化服务	娱乐文化	5.97	12.64	3.57	-2.87	-3.67	-6.54	-0.31	-0.22	-0.25
Cultural services										

3.2.3 生态系统服务价值的空间差异及其影响因素

鹤岗矿区煤炭开采方向自西向东行进,且北部煤矿开发较早于南部。1993—2013 年,生态系统服务价值西部小、东部大,北部小、南部大,自西向东递增。西部一带为过去各煤矿煤炭开采初始地段,土地利用类型多由耕地转变为建设用地,生态系统服务价值较低;东部一带为各煤矿开发较晚或还未开发地段,土地利用类型多为耕地,生态系统服务价值较高。鸟山煤矿 2017 年投产使用,受采煤扰动较少,生态系统服务价值最高,占平均总价值的 60.19%。北部煤矿开发程度较深,兴山、益新、振兴和南山煤矿生态系统服务价值均值之和占平均总价值的-11.65%;南部峻德煤矿,服务价值均值占平均总价值的 48.08%,服务单位价值最高的地区主要分布在峻德矿沉陷区范围,地型为林地(图 3)。这种分布趋势主要受由采煤活动引起的土地利用类型、面积及质量变化的影响。

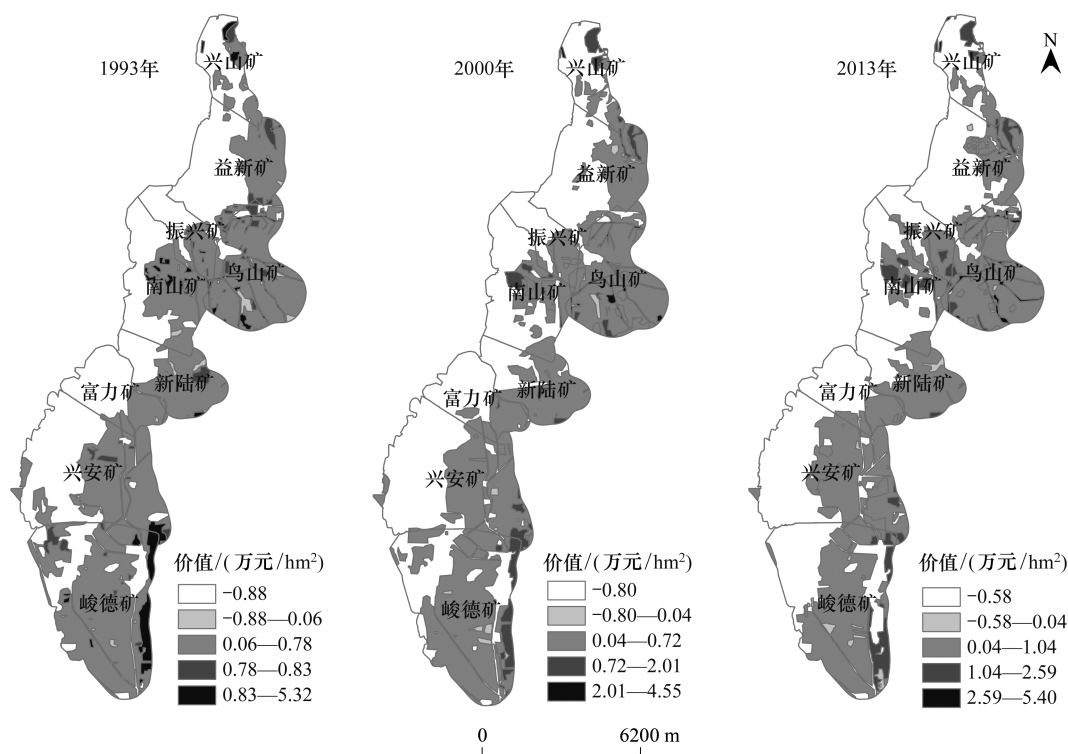


图3 1993—2013 鹤岗矿区生态服务价值分布

Fig.3 Distribution of ecological service value in Hegang coal mine during 1993—2013

3.2.4 鹤岗矿区生态系统服务价值修正前后比较

1993—2013 年,鹤岗矿区总生态系统服务价值分别为 2219.21、1025.15 和 3531.95 万元,与无考虑空间异质性因素情况相比,1993 和 2000 年服务总价值分别减少了 152.96 和 580.12 万元,2013 年增加了 781.63 万元。随着煤炭开采,1993—2000 年,鹤岗矿区生态环境受采煤影响较大,到 2013 年,生态环境呈好转的趋势。

4 结论与讨论

生态系统服务与人类福祉关系极其密切。充分评估矿区沉陷地生态服务价值是生态系统服务恢复的科学依据。本文主要采用修正的单位面积生态系统价值当量因子的方法,对鹤岗矿区生态系统提供的 9 种生态系统服务类型进行评估,得出以下结论:

(1)1993、2000 和 2013 年鹤岗矿区总服务价值量分别为 2219.21、1025.15 和 3531.95 万元。随着采矿活动的进行,这与耕地面积不断减少、建设用地不断增加有关,也与采煤沉陷地土地生态指标呈现先下降后回升有关。建设用地面积增加到一定程度,土壤形成与保护价值的大大增加会使总服务价值提高。

(2)按照生态系统类型划分,1993—2013 年,鹤岗矿区耕地的平均服务价值最高,占总平均价值的 189.35%;其次是林地和水域,分别占总平均价值的 46.50% 和 26.83%;按照生态系统服务类别划分,支持功能服务价值最高,平均价值占总平均价值的 186.67%,其次是调节服务,占 45.34%,文化服务占 5.73%,供给服务占 -137.74%。

(3)1993、2000 和 2013 年,鹤岗矿区生态系统服务价值自西向东递增,北部小、南部大,与采煤方向由西向东行进、开采程度差异有关。生态系统服务价值空间差异主要受由采矿活动引起的土地利用类型、面积、质量变化的影响。

(4)与无考虑空间异质性因素情况相比,鹤岗矿区 1993 和 2000 年生态系统服务总价值分别减少了 152.96 和 580.12 万元,2013 年增加了 781.63 万元。随着煤炭开采,1993—2000 年,鹤岗矿区生态环境受采煤影响较大,到 2013 年,自然生态环境状况好转。

参考文献 (References):

- [1] Daily G C, Matson P A. Ecosystem services: from theory to implementation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(28): 9455-9456.
- [2] Schröter D, Cramer W, Leemans R, Prentice I C, Araújo M B, Arnell N W, Bondeau A, Bugmann H, Carter T R, Gracia C A, de la Vega-Leinert A C, Erhard M, Ewert F, Glendining M, House J I, Kankaanpää S, Klein R J, Lavorel S, Lindner M, Metzger M J, Meyer J, Mitchell T D, Reginster I, Rounsevell M, Sabate S, Sitch S, Smith B, Smith J, Smith P, Sykes M T, Thonicke K, Thuiller W, Tuck G, Zaehle S, Zierl B. Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, 2005, 310(5752): 1333-1337.
- [3] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. *地理科学进展*, 2014, 33(4): 441-446.
- [4] SCEPT (Study of Critical Environmental Problems). *Man's Impaction the Global Environment: Assessment and Recommendations for Action*. Cambridge, MA: MIT Press, 1970.
- [5] Westman W E. How much are nature's services worth? *Science*, 1977, 197(4370): 960-964.
- [6] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van Den Belt M. The value of the World's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [7] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.
- [8] 肖强, 肖洋, 欧阳志云, 徐卫华, 向轶, 李勇志. 重庆市森林生态系统服务功能价值评估. *生态学报*, 2014, 34(1): 216-223.
- [9] 漆信贤, 黄贤金, 赖力. 基于 Meta 分析的中国森林生态系统生态服务功能价值转移研究. *地理科学*, 2018, 38(4): 522-530.
- [10] 沈佳莹, 刘辉, 温小乐, 杨义伟, 蒋晓燕. 高标准农田生态系统服务价值评估——以福建省永泰县同安镇片区为例. *亚热带资源与环境学报*, 2019, 14(4): 86-92.
- [11] 陈明叶, 刘素红, 于连海, 冯金周, 于佩鑫, 高宝嘉. 大清河阜平流域生态系统结构变化的服务价值响应研究. *自然资源学报*, 2018, 33(8): 1376-1389.
- [12] 张翼然, 周德民, 刘苗. 中国内陆湿地生态系统服务价值评估——以 71 个湿地案例点为数据. *生态学报*, 2015, 35(13): 4279-4286.
- [13] 江波, 陈媛媛, 肖洋, 赵娟娟, 欧阳志云. 白洋淀湿地生态系统最终服务价值评估. *生态学报*, 2017, 37(8): 2497-2505.
- [14] 荔琢, 蒋卫国, 王文杰, 吕金霞, 邓越. 基于生态系统服务价值的京津冀城市群湿地主导服务功能研究. *自然资源学报*, 2019, 34(8): 1654-1665.
- [15] 赵同谦, 欧阳志云, 王效科, 苗鸿, 魏彦昌. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价. *自然资源学报*, 2003, 18(4): 443-452.
- [16] 邓楚雄, 钟小龙, 谢炳庚, 万义良, 宋雄伟. 洞庭湖区土地生态系统的服务价值时空变化. *地理研究*, 2019, 38(4): 844-855.
- [17] 刘兴元, 冯琦胜. 藏北高寒草地生态系统服务价值评估. *环境科学学报*, 2012, 32(12): 3152-3160.
- [18] 李俊翰, 高明秀. 滨州市生态系统服务价值与生态风险时空演变及其关联性. *生态学报*, 2019, 39(21): 7815-7828.
- [19] 孙思琦, 郭泽, 薛达元. 重庆市巫山县土地利用格局及其生态系统服务价值的时空变化. *生态科学*, 2019, 38(1): 176-185.
- [20] 李慧, 易齐涛, 章磊, 王晓萌, 徐鑫. 采煤沉陷区农田-水域生态系统变化前后服务价值评估. *环境科学与技术*, 2015, 38(6p): 354-361, 404-404.
- [21] 邢育刚. 煤矿区地面沉陷引发的生态服务价值变化与生态修复对策研究——以山西晋北典型矿区为例[D]. 山西: 山西大学, 2013.
- [22] 李保杰, 顾和和, 纪亚洲. 复垦矿区生态系统服务价值空间分异研究——以徐州市贾汪矿区为例. *中国矿业大学学报*, 2014, 43(4): 749-756.
- [23] 顿耀龙, 王军, 白中科, 陈晓辉, 郭义强. 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. *资源科学*, 2015, 37(3): 494-502.
- [24] 肖武, 张文凯, 吕雪娇, 王新静. 西部生态脆弱区矿山不同开采强度下生态系统服务时空变化——以神府矿区为例. *自然资源学报*, 2020, 35(1): 68-81.
- [25] Wang W J, Guo H C, Chuai X W, Dai C, Lai L, Zhang M. The impact of land use change on the temporospatial variations of ecosystems services value in China and an optimized land use solution. *Environmental Science & Policy*, 2014, 44: 62-72.
- [26] Costanza R, De Groot R, Sutton P, Van Der Ploeg S, Anderson S J, Kubiszewski I, Farber S, Turner R K. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [27] 白中科, 赵景逵. 关于露天矿土地复垦与生态重建的几个问题. *冶金矿山设计与建设*, 2000, 32(1): 33-37.

- [28] 赵会顺, 胡振琪, 陈超, 孙杨杨. 采煤预塌陷区超前复垦适宜性评价及复垦方向划定. 农业工程学报, 2019, 35(11): 245-255.
- [29] 胡振琪, 龙精华, 张瑞娅, 肖武, 赵艳玲. 中国东北多煤层老矿区采煤沉陷地损毁特征与复垦规划. 农业工程学报, 2017, 33(5): 238-247.
- [30] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 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. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [31] 刘慧明, 高吉喜, 刘晓, 张海燕, 徐新良. 国家重点生态功能区 2010—2015 年生态系统服务价值变化评估. 生态学报, 2020, 40(6): 1865-1876.
- [32] 韩增林, 孟琦琦, 闫晓露, 赵文祯. 近 30 年辽东湾北部区土地利用强度与生态系统服务价值的时空关系. 生态学报, 2020, 40(8): 2555-2566.
- [33] 徐丽芬, 许学工, 罗涛, 朱高儒, 马宗文. 基于土地利用的生态系统服务价值当量修订方法——以渤海湾沿岸为例. 地理研究, 2012, 31(10): 1775-1784.
- [34] 胡振琪. 我国土地复垦与生态修复 30 年: 回顾、反思与展望. 煤炭科学技术, 2019, 47(1): 25-35.
- [35] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 肖玉, 鲁春霞. 中国生态系统服务的价值. 资源科学, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [36] 严恩萍, 林辉, 王广兴, 夏朝宗. 1990—2011 年三峡库区生态系统服务价值演变及驱动力. 生态学报, 2014, 34(20): 5962-5973.
- [37] 袁兴中, 肖红艳, 颜文涛, 李波. 成渝经济区土地利用与生态服务价值动态分析. 生态学杂志, 2012, 31(1): 180-186.
- [38] 侯湖平, 张邵良, 丁忠义, 公云龙, 马昌忠. 基于植被净初级生产力的煤矿区生态损失测度研究. 煤炭学报, 2012, 37(3): 445-451.
- [39] 徐占军, 侯湖平, 张邵良, 丁忠义, 马昌忠, 公云龙, 刘严军. 采矿活动和气候变化对煤矿区生态环境损失的影响. 农业工程学报, 2012, 28(5): 232-240.
- [40] 闫慧敏, 刘纪远, 曹明奎. 中国农田生产力变化的空间格局及地形控制作用. 地理学报, 2007, 62(2): 171-180.
- [41] 朱文泉, 张锦水, 潘耀忠, 阳小琼, 贾斌. 中国陆地生态系统生态资产测量及其动态变化分析. 应用生态学报, 2007, 18(3): 586-594.
- [42] 韩鹏, 司今, 王应刚. 生态服务价值计算方法对比分析——以黄土丘陵区纸坊沟流域为例. 应用基础与工程科学学报, 2009, 17(S1): 102-112.