

# 基于能值分析和生态用地分类的河北省生态补偿研究

于水潇<sup>1</sup>, 赵瑞东<sup>2</sup>, 赵青<sup>3</sup>, 夏书培<sup>1</sup>, 郭年冬<sup>1</sup>, 许皞<sup>1,3</sup>

(1. 河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2. 河北农业大学 商学院, 河北 保定 071000; 3. 河北农业大学 国土资源学院, 河北 保定 071000)

**摘要:**为促进河北省发展及生态环境建设,基于国内外相关研究方法,引入地貌类型空间尺度,将河北省划分为8个主要地貌类型区,应用生态补偿优先级模型,对河北省108个县的生态系统生产总值及生态补偿优先级进行测算,并从整体、地貌类型区、县3个空间尺度分析了河北省生态补偿的优先领域。结果表明:河北省生态补偿优先级总体较高,平均生态补偿优先级为0.221。空间上呈由北至南逐渐递减的趋势,山地丘陵区生态补偿优先级大于平原地区。平原地区中,沿海平原生态补偿优先级高于内陆平原地区。不同县、市的生态系统生产总值差异明显,因此生态补偿优先级也存在差异,有需要迫切补偿的围场、丰宁、黄骅、唐海、乐亭等地区,同时也存在应率先支付生态补偿的内陆平原县。将结果与经济补偿强度模型进行比较,既实现了河北省各地区生态补偿的迫切度的量化,又反映出河北省生态经济之间的关系,为促进京津冀的协调发展与生态环境保护发挥着重要的作用。

**关键词:**能值;生态用地;生产总值;生态补偿

中图分类号:S156.4

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)04-0324-06

## Study on the Ecological Compensation of Hebei Province Based on Emergy Analysis and Ecological Land Classification

YU Shuixiao<sup>1</sup>, ZHAO Ruidong<sup>2</sup>, ZHAO Qing<sup>3</sup>, XIA Shupe<sup>1</sup>, GUO Niandong<sup>1</sup>, XU Hao<sup>1,3</sup>

(1. College of Resources and Environment Science, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China; 2. College of Land and Resources, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071000, China)

**Abstract:** In order to promote the development and construction of ecological environment in Hebei area, based on the summary of the domestic and foreign related research methods, the introduction of landform spatial scale, Hebei Province can be divided into 8 landforms, GDP and the ecological compensation priority of 108 counties in Hebei Province were calculated by using ecological compensation system of ecological priority model, and priority areas of ecological compensation in Hebei Province were analyzed on the spatial scales of province, landform types, and counties. The results showed that ecological compensation priority of Hebei Province was generally high, the average ecological compensation priority was 0.221, showing the gradually decreasing trend from north to south in space; the ecological compensation priority in hilly area was larger than the plain area, however, in the plain area, the ecological compensation priority of the coastal plain was higher than inland plains. Gross ecosystem production differences among counties were obvious, resulting in the different ecological compensation priority, urgent compensation in the northeast and the southeast coastal areas of Fengning, Huanghua, Weichang, Tanghai, Leting and other counties should be carried out, but also should take the lead in the payment of ecological compensation in the middle east, central and southern regions of the inland plain counties. The comparison of results and the economic compensation intensity model can not only achieve the urgent degree of quantization of the ecological compensation the area of Hebei Province, but also better reflect the relationship between the ecological economy in Hebei Province, and play an important role in promoting the coordinated development of Beijing, Tianjin, environmental protection and efficient use of land resources.

**Keywords:** emergy; ecological land; gross product; ecological compensation

生态环境影响着人类的生产生活,为保持经济迅速发展,近些年人类对生态环境进行了不同程度的破坏。尽管国家出台了一系列政策措施,但成效不大,因此,保护生态环境迫在眉睫。生态系统的生态补偿逐渐成为可持续发展的研究热点<sup>[1-2]</sup>。对一个地区实施生态补偿,首先应测算该区的生态系统生产总值。某一地区生态系统为人类生活提供产品和服务的同时会产生价值,这些价值的总和即为生态系统生产总值。它作为生态系统提供给人们的价值,与国内生产总值存在一定差异。国内生产总值只是最常用的经济核算指标,它仅仅核算人类活动在一个国家、地区一段时间内产生的价值和产品,而生态系统生产总值则范围更广,它指生态系统在特定阶段为人类社会提供的产品及生态服务的总价值,此时的生态系统较为复杂<sup>[3-5]</sup>,包括人类社会及人类所生存的生态环境。在当前研究领域,人们最为关注的热点议题就是建立一个独立的方法和体系,测算某一地区的生态系统生产总价值<sup>[6-8]</sup>。

如何明确一个国家或地区生态补偿的依据,是现今生态领域研究生态补偿的一个重点和难点,它作为生态补偿研究的重中之重,与补偿之后的效果和承受能力有很大关系。基于生态系统服务价值的生态补偿研究在现今研究较为多见,但本文是在能值分析和生态用地的基础上测算一个地区的生态系统生产总值,从另一个全新的角度来进行生态补偿的案例分析<sup>[9-10]</sup>。本文依据王女杰等<sup>[11-13]</sup>提出的生态补偿优先级理论,结合研究区生态系统为人类提供的产品和服务总值,对河北省进行生态补偿的测算及分析。河北省地理位置特殊,环抱首都北京、东与天津市毗连并紧傍渤海,在京津地区不断发展的同时,河北省为京津地区的生态安全设立了生态屏障,且做出巨大贡献。这些贡献体现在多个方面,如土地资源的开发、废弃废物的处理、水源涵养等,此时就需要不同的自然资源,发挥其价值,转换成资产,为人类社会提供生态服务。在提供服务的过程中,河北省的自然资源在不断缺失,因此应当对其进行补偿,促进京津冀地区在社会、经济生态等多个方面和谐的发展,使生态经济关系更加巩固。

本文首先对河北省 108 个县土地生态生产总值进行计算,依据公式与模型测算出河北省整体、各地貌类型区及各县、市的生态补偿优先级,量化不同区域之间生态补偿的迫切程度,从而建立河北省生态补偿机制,实现京津冀一体化协同发展,同时为生态环境建设提供参考。

## 1 研究区现状及数据来源

### 1.1 研究区现状

河北省地处华北平原区,纬度处于  $36^{\circ}05'—42^{\circ}37'N$ ,经度处于  $113^{\circ}11'—119^{\circ}45'E$ ,环首都北京和北部重要港口城市天津,位于渤海东部。河北省地势呈现从西北到东南递减的趋势,因为西北部多是山区、丘陵和高原地区,而中部和东南部则为平原地区。河北省地貌较为复杂,包括八大地貌类型区,分别为坝上高原、燕山丘陵区、太行山区、燕山山前盆地、海岸平原、冲积平原、海河太行山前平原区等。其中坝上高原属蒙古高原一部分,在海拔 1 200~1 500 m,占全省总面积的 8.5%,燕山和太行山地的丘陵、盆地地区,海拔多在 2 000 m 以下,占全省总面积的 48.1%。河北省平原地区,平均海拔多在 50 m 以下,占总面积的 43.4%左右;而高原、丘陵和盆地地区则分别占总面积的 8.5%和 43.1%。

### 1.2 数据来源

本研究数据主要包括两大类:一是以地理空间数据云网站下载的河北省 2013 年 LandSat TM/ETM 数据为基本数据源,利用 ENVI 4.7 对影像图分别进行波段组合、几何校正、区域裁剪及经投影变换,获得 Albers 等积投影的遥感影像数据,以解译获得研究区 2013 年土地利用数据;二是通过国家统计局《河北省统计年鉴 2014》,获得的 2013 年河北省的经济社会统计数据,其中涵盖了多种单要素指标。

## 2 研究方法

### 2.1 生态系统生产总值核算

生态系统生产总值主要包括四大类,分别为生态系统的供给价值、文化价值、承载价值和调节价值。通过计算能值与生态用地中各种生态系统的生产总值,呈现出一个地区生态系统的现状。经前人研究,计算公式表示如下<sup>[14]</sup>:

$$GEP = EPV + ECV + ELV + ERV$$

式中:EPV (Ecosystem Supply Value)为生态系统供给价值;ECV (Ecosystem Culture Value)为生态系统文化价值;ELV (Ecosystem Load Value)为生态系统承载价值;ERV (Ecosystem Regulation Value)为生态系统调节价值。需要注意的是,计算过程中,各分项生态价值采用统一的货币量纲,并考虑到不同时期的货币汇率,因此,生态系统生产总价值可直接由以上四个分项相加获得。

### 2.2 生态供给—文化—承载价值能值估算

2.2.1 能值计算 以太阳能值作为不同形式能量的统一标准,依据太阳能值的转换比率,将不同的能量转化为

能值,即为能值分析方法的本质。具体计算公式为<sup>[15]</sup>:

$$E_M = S_C \times E$$

式中: $E_M$  为不同物质、产品的能值(sej(太阳能焦耳)); $S_C$  为太阳能值转换比率(sej/J); $E$  为物质、产品所含能量(如太阳能、雨水化学能量等)。

自然生态系统为人类提供能量的同时,也会附带一些“负产品”或“负能量”,如工业生产中的废水、废弃、废固,自然情况下的地表流失能和地球旋转能,它们作为贡献中的“附赠品”,也应考虑到生态系统生产总价值中去,但是它们的能量用负值表示。而它们中有一些特殊能量需要其固定的运算公式<sup>[15]</sup>:

土壤流失能=(土壤流失速率—土壤生产速率)×土地面积=土地面积×2.29 万

净表土损失能=耕地面积×土壤侵蚀率×有机质含量×有机质能量=耕地面积×3.18×10<sup>6</sup>

雨水化学能=土地面积×年降水量×水分蒸发率×水密度×吉布斯自由能=土地面积×年降水量×2.82×10<sup>6</sup>

地球旋转能=土地面积×单位面积热通量=土地面积×1.45×10<sup>6</sup>

潮汐能=海岸线长度×重力加速度×平均海浪高度×海水密度×海浪速度×0.125=海岸线长度×平均海浪高度 2×4.75×10<sup>10</sup>

在前人研究成果<sup>[16-17]</sup>的基础上,结合 Odum 建立的全球能值基准<sup>[18]</sup>,对以往研究中各产品能值转换率进行基准变换,最终得到新的的能量折算与能值转换标准,此标准是基于全球能值基准下的生态系统供给—文化—承载价值折算方法。

2.2.2 能值—货币价值计算 能值—货币价值可由能值—货币比率计算求得,但要以太阳光值数据为前提。从能值货币比率可以看出研究区的经济发展程度,表示单位货币能购买的财富数量,从而对研究区的财富进行衡量。它的具体算法为研究区生态系统总能值比上该区同年国内生产总值。生态系统总能量即为能值总利用量,包括外部输入可以更新本地的自然资源流动,可再生资源、农产品资源和商品经济体系的生产损失,丰富的资源和产品的集约利用能量流等。计算公式如下<sup>[15]</sup>:

$$V_E = E_M / EDR$$

式中: $V_E$  为产品的能值表示货币价值; $E_M$  为每项的太阳能值;EDR 为能值/货币比率。

在能值核算的过程中,需要将不同产品的能量统一转换为太阳能,因此能值货币比率应以同年的美元汇率为基础求得。本文通过对中国不同地区能值货

币比率的研究,考虑到空间尺度的前提下结合时间范围,得出 2013 年河北省能值货币比率为  $1.60 \times 10^{21}$  sej/万\$。

表 1 河北省生态供给—文化—承载的能量折算值

价值类型	品名	基础数据	能值转换率/(sej·unit <sup>-1</sup> )	太阳能值/sej	能值—货币价值/\$
生态供给	稻谷	708202	$6.02 \times 10^4$	$6.61 \times 10^{21}$	$3.02 \times 10^9$
	小麦	14958255	$1.14 \times 10^5$	$2.68 \times 10^{22}$	$1.22 \times 10^{10}$
	玉米	20569098	$4.53 \times 10^4$	$1.54 \times 10^{22}$	$7.02 \times 10^9$
	豆类	389400	$1.16 \times 10^6$	$9.35 \times 10^{21}$	$4.27 \times 10^9$
	薯类	788584	$4.54 \times 10^3$	$1.50 \times 10^{19}$	$6.87 \times 10^6$
	棉花	727022	$1.16 \times 10^6$	$4.54 \times 10^{21}$	$2.07 \times 10^9$
	油料	1428283	$1.44 \times 10^6$	$4.37 \times 10^{22}$	$2.00 \times 10^{10}$
	麻类	729	$1.41 \times 10^5$	$3.01 \times 10^{17}$	$1.38 \times 10^5$
	甜菜	307313	$1.43 \times 10^5$	$1.23 \times 10^{20}$	$5.60 \times 10^7$
	烟叶	7019	$4.20 \times 10^5$	$5.54 \times 10^{18}$	$2.53 \times 10^6$
	水果	5288582	$8.89 \times 10^5$	$1.58 \times 10^{22}$	$7.19 \times 10^9$
	木材	697658	$5.84 \times 10^4$	$4.89 \times 10^{20}$	$2.23 \times 10^8$
	肉类吨	4086200	$3.94 \times 10^6$	$2.41 \times 10^{23}$	$1.10 \times 10^{11}$
	奶类吨	6102900	$2.85 \times 10^6$	$5.57 \times 10^{22}$	$2.54 \times 10^{10}$
	蛋类	4443395	$3.35 \times 10^6$	$1.24 \times 10^{23}$	$5.64 \times 10^{10}$
	水产	1163163	$3.35 \times 10^6$	$2.10 \times 10^{22}$	$9.61 \times 10^9$
	原煤	79145800	$6.67 \times 10^4$	$1.10 \times 10^{23}$	$5.04 \times 10^{10}$
生态文化	天然气	2040300000	$8.06 \times 10^4$	$6.40 \times 10^{24}$	$2.92 \times 10^{12}$
	发电量	504750400	$2.67 \times 10^5$	$4.85 \times 10^{23}$	$2.22 \times 10^{11}$
	水泥	8953	$3.33 \times 10^5$	$2.98 \times 10^{19}$	$1.36 \times 10^7$
	化肥吨	3307224	$8.01 \times 10^5$	$2.65 \times 10^{22}$	$1.21 \times 10^{10}$
	生铁	113556300	$1.68 \times 10^5$	$1.91 \times 10^{23}$	$8.71 \times 10^{10}$
	钢材	115718100	$3.33 \times 10^5$	$3.85 \times 10^{23}$	$1.76 \times 10^{11}$
	废水	1095320000	$1.12 \times 10^6$	$6.13 \times 10^{21}$	$2.80 \times 10^9$
	废气吨	1165288	$1.12 \times 10^6$	$1.96 \times 10^{20}$	$8.94 \times 10^7$
	固体废弃物	48954	$3.02 \times 10^5$	$4.56 \times 10^{23}$	$2.08 \times 10^{11}$
	入境旅游人口	114	$5.20 \times 10^6$	$9.73 \times 10^{22}$	$4.45 \times 10^{10}$
生态承载	旅游总收入	1221	$1.45 \times 10^3$	$1.77 \times 10^{24}$	$8.09 \times 10^{11}$
	总人口(万人)	72405100	$5.20 \times 10^6$	$6.17 \times 10^{25}$	$2.82 \times 10^{13}$
	雨水化学能	—	—	$7.77 \times 10^{21}$	$3.55 \times 10^9$
	土壤流失能	—	—	$3.20 \times 10^{20}$	$1.46 \times 10^8$
	地球旋转能	—	—	$1.58 \times 10^{22}$	$7.20 \times 10^9$
	净表土损失能	—	—	$3.17 \times 10^{24}$	$1.45 \times 10^{12}$

表 2 2013 年河北省各市生态供给—文化—承载价值 10<sup>8</sup> \$

地区	生态文化价值	生态供给价值	生态承载价值	合计
河北	853.19	3515.35	10704.44	15072.97
石家庄	138.13	433.81	1547.38	2119.32
唐山	89.13	1027.23	1134.97	2251.33
秦皇岛	124.75	382.13	452.23	959.11
邯郸	66.71	374.51	1375.60	1816.82
邢台	34.88	541.48	1051.48	1627.84
保定	144.21	206.33	1681.71	2032.24
张家口	60.20	106.17	615.16	781.53
承德	95.59	70.34	518.46	684.38
沧州	26.28	92.66	1052.33	1171.28
廊坊	56.51	163.98	649.70	870.19
衡水	16.80	116.71	625.43	758.94

2.3 基于生态用地的生态调节价值估算

生态调节价值是生态系统生产总值中不可或缺的一部分,在对一个地区进行生态评价和规划时,应当以生态调节为基础。生态系统的调节价值体现在多个方面,如对气候的调节作用、对空气的净化作用、对土壤的保持作用等,这些都属于调节价值的一部分。本文以河北省为研究对象,借鉴前人的研究成果,将生态调节价值划分为八类,结合不同的生态用地类型,得到了河北省不同生态用地单位面积生态调节服务价值表<sup>[19]</sup>(表 3)。

结合土地现有的生态功能,综合国内学者<sup>[20]</sup>生态用地的分类方案,最终得到了一个统一的分类体系。以生态系统服务主体功能为基础,可将生态用地划分为湿地、森林、草地和其他生态土地 4 个一级类型、19 个二级类型(表 4)。表中的生态用地类型是基于 2013 年土地利用变化调查数据,结合生态用地分类系统,从而划分的河北省和各地市的生态用地类型规模(图 1)。由于森林、草地、湿地(包括水域)等地类,在改善环境、维持生物多样性和区域生态平衡方面贡献突出,产生的生态系统调节价值较高,因此将其划分为基础性生态用地。

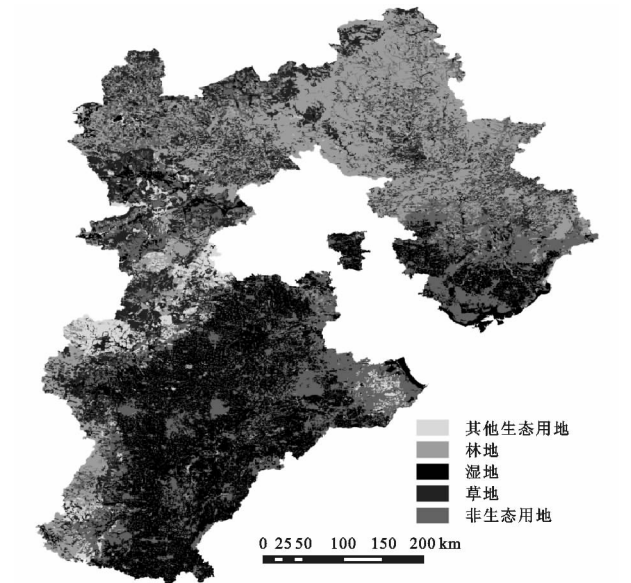


图 1 2013 年河北省生态用地空间分布

2.4 区域生态补偿优先级计算

河北省各地区之间的经济发展水平各有不同,测算不同地区的生态补偿优先级,从而可以得到较为直观的补偿区域。研究表明,在经济发展较为落后的地区生态补偿优先级较高;而相应的经济发展水平高的地区生态补偿优先级则比较低<sup>[21]</sup>。由于生态系统生产总值中的市场价值在市场机制中已经从区域的发展中得到体现,在计算生态补偿优先级(ECPS)时,只需要对调节价值和文化价值这两类非市场价值进行

生态补偿的测算。本文以河北省某地区单位面积生态系统生产总值的非市场价值部分和单位面积 GDP 的比值来表示该地区获得生态补偿的优先级。具体表达如下:

$$S_{ECP} = V_{alN} / GDP_N$$

式中: $S_{ECP}$ 为生态补偿优先级; $GDP_N$ 表示单位面积地区生产总值; $V_{alN}$ 表示单位面积生态系统非市场价值。生态补偿优先级数值较高地区,属于优先支付补偿所需资金地区,因为该地区的经济状况几乎不受生态补偿的影响;而生态补偿优先级数值较低的地区,则属于优先得到补偿的地区,因为该区的经济状况受生态补偿的影响较大。

表 3 河北省湿地、森林、草地单位面积生态调节服务价值  
\$/hm<sup>2</sup>

	森林	湿地	草地
气候调节	—	417.6	10.7
固氮	724	—	26.5
营养贮存	91.5	—	—
水源涵养	852.6	—	26.6
环境净化	353.5	969.3	148.3
生物多样性	23.8	—	70.1
防洪减灾	—	35.5	—
土壤保持	114.7	163.4	44.7
合计	2160.1	1585.8	326.9

表 4 生态用地统一分类体系

生态用地	一级类		二级类	
	编码	名称	编码	名称
耕地	11	耕地	111	灌溉水田
			154	坑塘水面
	15	其他农用地	155	养殖水面
			156	农田水利用地
			205	盐田
	20	居民点及独立工矿用地	271	水库水面
			313	沼泽地
湿地	27	水利设施用地	321	河流水面
			322	湖泊水面
	31	未利用土地	323	苇地
			324	滩涂
			131	有林地
	32	其他土地	132	灌木林地
			136	苗圃
森林	13	林地	141	人工草地
			143	天然草地
	14	草地	311	荒草地
			312	盐碱地
			314	沙地
	31	未利用地	315	裸地
			317	其他未利用地
其他生态用地	32	其他土地	325	冰川及永久冰雪

### 3 结果与分析

#### 3.1 河北省生态系统生产总值与生态补偿优先级分析

河北省生态用地总量为 13.57 万  $\text{hm}^2$ , 占河北省总面积的 80%, 其中湿地、森林和草地等基础性生态用地为 12.89 万  $\text{hm}^2$ 。在此背景下, 河北省生态供给价值、生态文化价值与生态承载价值之和为 15 072.97 亿美元, 三者所占比例分别为 23.32%, 5.66% 和 71.02%, 以基础性生态用地衡量的生态调节价值为 123.97 亿美元。

2013 年, 河北省土地生态系统生产总值为 15 196.94 亿美元。由于生态系统服务的市场价值在市场机制中已经通过货币的形式为区域的发展做出了贡献, 因此在计算生态补偿优先级 (ECPS) 时应摒弃这部分价值, 只取其非市场价值。调节价值和文化价值属于非市场价值, 对其进行生态补偿的测算。经计算得出, 单位面积非市场生态系统生产总值为 33 457.64 元/ $\text{hm}^2$ , 河北省平均生态补偿优先级为 0.221。由于山东省和辽宁省的生态补偿优先级均小于 0.1, 与张猛、王女杰等的研究成果对比发现, 河北省的生态补偿优先级较高, 生态压力相比较较大, 加之其地理位置特殊, 应对该地区优先进行生态补偿。

#### 3.2 不同地貌区单位面积生态系统生产总值和生态补偿优先级

按照上述河北省不同地貌区划分, 应用公式计算河北省各地貌类型区的生态系统生产总值。从图中可以看出, 不同地貌区的单位面积生态系统生产总值不等, 其中燕山山地丘陵区的总价值最大, 为 11 481.02 美元/ $\text{hm}^2$ , 太行山山前平原区最小, 为 2 356.41 美元/ $\text{hm}^2$ , 均值为 5 205.97 美元/ $\text{hm}^2$ 。坝上高原草原与燕山山地丘陵区、太行山山地丘陵区、燕山山前平原区的总价值高于全区均值, 说明这些地貌类型区为河北省地区生态环境安全做出了贡献。

通过公式 (2) 的计算, 结合 2013 年各生态系统在河北省各县的分布, 得到河北省 8 个地貌类型区的补偿优先级, 见图 3, 结合河北省生态补偿优先级的空间分布图可以看出, 生态补偿空间分布状况存在一定规律性。按照河北省各生态区需要补偿的迫切程度大小, 其规律为由北向南依次递减。通过对河北省各生态区补偿优先级 ECPS 计算和分析, 燕山山地丘陵区的补偿优先级 ECPS 最高, 达到了 0.7 以上, 说明河北省“生态输出”主要集中在北部地区, 这些地区支付生态补偿的优先级最低, 而应当优先得到补偿; 滨海平原区、河海冲击平原区、太行山山前平原区的补偿优先级较低, 大致在 0.05 以下, 说明河北省“生态消费”主要集中在南部地区, 这些地区并不迫切需要生态补偿, 应

当率先进行生态支付。特别需要注意的是沿海平原区, 该生态区虽然处于南部地区, 但是由于处于该生态区的多为岛屿和沿海以渔业为单一经济支柱的地区, 因此该生态区经济较为落后, 也需要生态补偿。

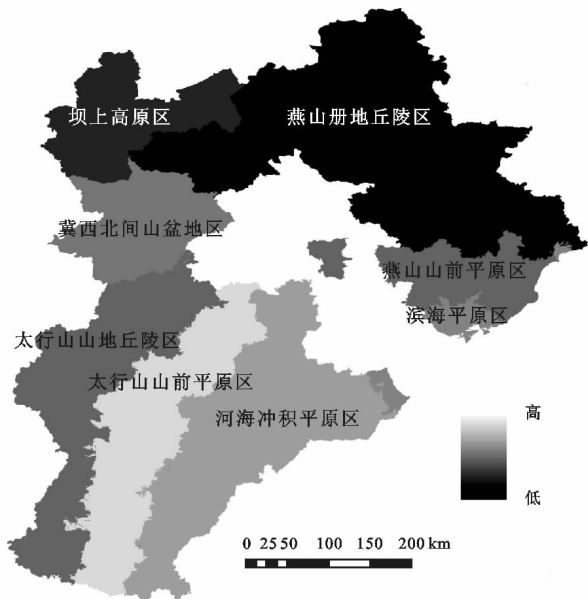
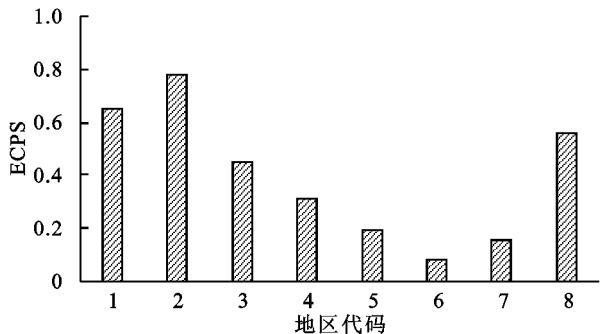


图2 河北省生态补偿优先级空间分布



注: 1. 坝上高原草原; 2. 燕山山地丘陵区; 3. 太行山山地丘陵区; 4. 燕山山前平原区; 5. 冀西北间山盆地; 6. 滨海平原区; 7. 河海冲击平原区; 8. 太行山山前平原区。

图3 各地貌类型区生态补偿优先级

研究区各地貌类型区 ECPS 的空间分布呈现出以下 3 个特点: (1) 北高南低。各地地貌类型区需要获得补偿的迫切程度大小为: 北部地区大于南部地区, 即河北省“生态输出”主要集中在北部地区。(2) 山区大于平原。地貌类型中大部分处于山地丘陵区的 ECPS 大于平原地区。(3) 沿海平原区大于内陆平原区。

#### 3.3 各县、市单位面积生态系统生产总值和生态补偿优先级

通过对各县、市单位面积生态系统生产计算, 河北省各县、市单位面积生态系统生产总值差距很大, 就市而言, 最低的张家口市为 801.79 亿美元, 最高的秦皇岛市达 2 258.74 亿美元, 是前者的 2.8 倍; 而通

过对各县的测算,最高的是丰宁满族自治县,最低的是涞水县。与该地区单位面积生态系统生产总值的均值相比,秦皇岛市、石家庄、廊坊等6个市的生态系统生产总值高于均值,说明这些市为河北省生态环境安全做出了贡献,其余市则小于均值。

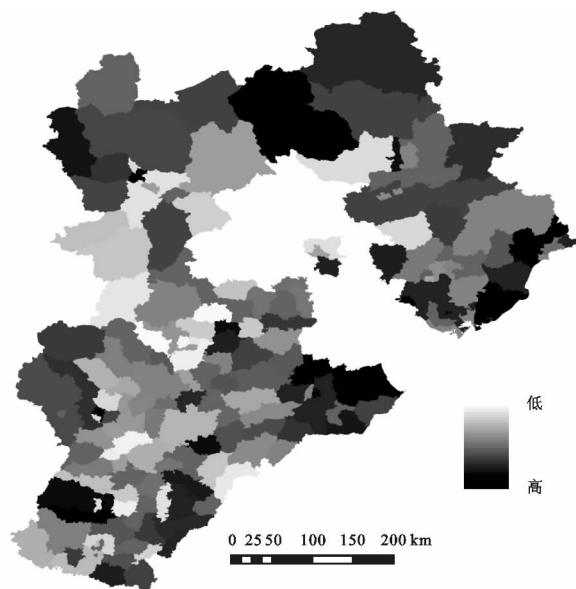


图4 河北省各县生态补偿优先级空间分布

通过公式运算,求得河北省区108个县生态补偿优先级(ECPS),见图4。结合计算结果可以看出 ECPS 大于0.5的县有9个,分别是位于东北部地区的围场县、丰宁县、隆化县、沽源县;东南沿海地区的黄骅市、唐海县、乐亭县、抚宁县、昌黎县。承德、张家口地区作为生态屏障,为京津地区的生态安全做出了巨大的贡献,作为“生态输出”市,迫切需要获得生态补偿。其次西北部的涞水、涞源、易县、阜平、平山等县,ECPS 保持在0.3~0.5,也属于输出较多的地区,也需要优先获得生态补偿。河北省 ECPS 两极分化差异很大,也存在 ECPS 小于0.1的县、市,主要分布于中东、中南部地区,它们作为“生态消费”市,应率先支付生态补偿。

河北省经济发展总体较落后,相差水平较大。位于北部、中西部及东南部的张家口、承德、保定、沧州等4个地区,其中的31个县构成一个贫困带,有26个为国家级贫困县,5个省级贫困县,这些县经济发展水平较低,而它们的 ECPS 较大,是明显需要生态补偿的地区。它们为京津地区的生态安全和环境保护提供了支持,发挥了很多生态系统的功能,如水源涵养、废物处理等,也在这个过程中丢失了很多发展的机会。中东部的唐山地区和西南部保定部分地区的经济发展较为良好,但工业迅猛发展带动经济进步的同时对生态环境的破坏也日益严重,因此作为经济的受益者和生态的“消费者”,需要向“生态输出”地区支付生态补偿。

## 4 结论

(1) 2013年,河北省土地生态系统生产总值为15 196.94亿美元,平均生态补偿优先级为0.221,河北省生态补偿优先级总体偏高。(2) 河北省生态补偿空间分布状况存在一定规律性。河北省生态补偿优先级呈自北向南递减的趋势,并在空间范围上形成了一定的高值地区和低值地区。北部的山地丘陵地区生态补偿优先级较高,是生态补偿的高值区,而中东部及东南部平原地区经济态势发展良好,但经济发展的同时对生态环境也造成了迫害,应率先支付生态补偿。(3) 河北省生态补偿优先级山区丘陵地区大于平原地区,在平原地区中,沿海平原大于内陆平原地区。(4) 不同县、市的生态系统生产总值差异明显,从而造成生态补偿优先级存在差异,有需要迫切补偿的围场、丰宁、黄骅、唐海、乐亭等县,同时也存在应率先支付生态补偿的内陆平原县。

### 参考文献:

- [1] Semwal R L, Nautiyal S, Sen K K, et al. Patterns and ecological implications of agricultural land-use changes: A case study from central Himalaya, India[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2004,102(1):81-92.
- [2] 吴大千,刘建,贺同利,等. 基于土地利用变化的黄河三角洲生态服务价值损益分析[J]. 农业工程学报,2009,25(8):256-261.
- [3] Costanza R, d'Arge R, deGroot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997,387(6230):253-260.
- [4] 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用[M]. 北京:中国人民大学出版社,2008.
- [5] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报,2003,18(2):189-196.
- [6] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报,2008,23(9):911-919.
- [7] 熊鹰,王克林,蓝万炼,等. 洞庭湖区湿地恢复的生态补偿效应评估[J]. 地理学报,2004,59(5):772-780.
- [8] 蔡邦成,温林泉,陆根法. 生态补偿机制建立的理论思考[J]. 生态经济,2005(1):47-50.
- [9] 虞依娜,彭少麟. 生态系统服务价值评估的研究进展[J]. 生态环境学报,2010,19(9):2246-2252.
- [10] 张志强,徐中民,程国栋. 生态系统服务与自然资本价值评估[J]. 生态学报,2001,21(11):1918-1926.
- [11] 王女杰,刘建,吴大千,等. 基于生态系统服务价值的区域生态补偿:以山东省为例[J]. 生态学报,2010,30(23):6646-6653.
- [12] 杨正勇,杨怀宇,郭宗香. 农业生态系统服务价值评估研究进展[J]. 中国生态农业学报,2009,17(5):1045-1050.

庆市相关研究进行修正,其结果基本符合研究区实际情况,但生态系统服务价值估算方法需进一步完善,并考虑空间尺度转换、自然因素如气候、海拔等对生态系统服务价值的影响;本文从6个层面构建综合测度指标体系,较为全面地反映研究区社会经济综合发展水平高低,但随着区域发展要求日益多样化,社会各界更加关注不同尺度的区域发展,因此有必要针对微观区域的具体情况,选取可以测度评估小尺度单元如乡镇、街道、社区等<sup>[18]</sup>的社会经济发展指标;本文采用双变量空间自相关分析社会经济发展和生态系统服务价值的空间相关性特征,是实施差异化社会经济与生态环境协调发展的重要依据,今后需从空间规划和管控方面进一步研究空间相关性对重庆市开展区县层面“多规合一”工作的作用。

#### 参考文献:

- [1] 刘耀彬,李仁东,宋雪锋.中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析[J].地理学报,2005,60(2):237-247.
- [2] 杨振,牛叔文,常慧丽,等.基于生态足迹模型的区域生态经济发展持续性评估[J].经济地理,2005,25(4):542-546.
- [3] 左其亭,陈嘻.社会经济—生态环境耦合系统动力学模型[J].上海环境科学,2001,20(12):592-595.
- [4] 方创琳,杨玉梅.城市化与生态环境交互耦合系统的基本定律[J].干旱区地理,2006,29(1):1-8.
- [5] 姚小微,曾杰,李旺君.武汉城市圈城镇化与土地生态系统服务价值空间相关特征[J].农业工程学报,2015,31(9):249-256.
- [6] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997,387(6630):253-260.
- [7] Bolund P, Hunhammar S. Ecosystem services in urban areas[J]. Ecological Economics, 1999,29(2):293-301.
- [8] 石晓丽,王卫.生态系统功能价值综合评估方法与应用:以河北省康保县为例[J].生态学报,2008,28(8):3998-4006.
- [9] 叶延琼,章家恩,李韵,等.基于农用地变化的社会经济驱动因子对广东省农业生态系统服务价值的影响[J].农业现代化研究,2011,32(6):740-741.
- [10] 马骏,马朋,李昌晓,等.基于土地利用的三峡库区(重庆段)生态系统服务价值时空变化[J].林业科学,2014,50(5):17-26.
- [11] 吴沛瑶,陈龙乾,张宇,等.社会经济发展对土地生态系统服务价值的影响:以江苏省徐州市为例[J].江苏农业科学,2015,43(4):435-438.
- [12] 郜红娟,韩会庆,罗绪强.贵州省生态系统服务价值与社会经济空间相关性分析[J].水土保持研究,2016,23(2):262-266.
- [13] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资产的价值评估[J].自然资源学报,2003,18(2):189-196.
- [14] 汪小平,周宝同,王小玉,等.重庆市土地利用变化及其生态系统服务价值响应[J].西南师范大学学报:自然科学版,2009,34(5):225-229.
- [15] 王刚,谢世友.基于土地利用变化的重庆市生态系统服务功能价值评估[J].西南师范大学学报:自然科学版,2011,36(5):177-181.
- [16] 丛海彬,邹德玲,吴福象.中国社会经济综合发展水平时空格局演化及驱动因素[J].经济地理,2015,35(7):21-29.
- [17] 陈明星,陆大道,张华.中国城市化水平的综合测度及其动力因子分析[J].地理学报,2009,64(4):387-398.
- [18] 徐勇,樊杰.区域发展差距测度指标体系探讨[J].地理科学进展,2014,33(9):1159-1166.
- [19] 张松林,张昆,全局空间自相关 Moran 指数和 G 系数对比研究[J].中山大学学报:自然科学版,2007,46(4):93-97.
- [20] Anselin L. The Local Indicators of Spatial Association: LISA[J]. Geographical Analysis, 1995,27(2):93-115.
- [13] 郑德凤,臧正,孙才志.改进的生态系统服务价值模型及其在生态经济评价中的应用[J].资源科学,2014,36(3):584-593.
- [14] 欧阳志云,朱春全,杨广斌,等.生态系统生产总值核算:概念核算方法与案例研究[J].生态学报,2013,33(21):6747-6761.
- [15] 蓝盛芳,钦佩袁,陆宏芳.生态经济系统能值分析[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [16] 金丹.矿山生态系统物能流核算[D].徐州:中国矿业大学出版社,2012.
- [17] 金丹,卞正富.基于能值和 CEP 的徐州市生态文明核算方法研究[J].中国土地科学,2013,27(10):88-94.
- [18] Odum H T. Handbook Engineering Sciences, of Emergy Evaluation Folio2: Emergy of Global Processes. Gainesville: Center for Environmental Policy[J]. Environmental University of Florida, 2000, 34(9):9-13.
- [19] 喻锋,李晓波,张丽君,等.中国生态用地研究:内涵、分类与时空格局[J].生态学报,2015,35(14):1-15.
- [20] 喻锋,李晓波,王宏,等.基于能值分析和生态用地分类的中国生态系统生产总值核算研究[J].生态学报,2016,36(6):5-10.
- [21] 郭年冬,李恒哲,李超,等.基于生态系统服务价值的环京津地区生态补偿研究[J].中国生态农业学报,2015,23(11):1473-1480.

(上接第 329 页)