

基于机会成本法和生态系统服务价值核算的 水资源生态补偿标准研究

——以黄河流域为例

张伊华

(内蒙古科技大学 经济与管理学院, 内蒙古 包头 014017)

摘要:【目的】构建黄河流域水资源横向生态补偿标准模型,为黄河流域水资源横向生态补偿标准的确定提供参考。

【方法】以黄河流域为研究区,基于成本法度量黄河流域水资源生态补偿标准的下限,基于生态服务价值评估法度量黄河流域水资源生态补偿标准的上限。【结果】2018—2021年,黄河流域上游受补偿区的总成本区间为2 561.49亿~3 121.52亿元,总生态系统服务价值区间为54 857.95亿~58 895.77亿元。补偿区所承担的总生态补偿金额下限为121.84亿~148.48亿元,上限为2 609.38亿~2 801.44亿元。补偿区内各省的分摊比例为山西5.90%,山东50.26%,河南34.39%,陕西9.49%。【结论】本研究的核算结果可反映黄河流域上游所付出的生态保护成本和提供的生态产品价值,可准确反映各省之间的差异。

关键词:生态补偿标准;机会成本;生态系统服务价值;黄河流域

中图分类号: X321

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022632

OSID: 

张伊华. 基于机会成本法和生态系统服务价值核算的水资源生态补偿标准研究: 以黄河流域为例[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(5): 108-114.

ZHANG Yihua. Determining the Ecological Compensation Standards for Water Resources in the Yellow River Basin Using Opportunity Cost and Ecosystem Service Value Accounting[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(5): 108-114.

0 引言

【研究意义】流域作为人类生态文明的重要发源地,是自然生态系统中的重要组成部分之一。随着社会经济的发展,流域生态系统遭受破坏的现象愈发严重^[1-2]。流域生态补偿是生态补偿中的一个重要分支,指对流域下游为上游地区生态环境保护所遭受的损失进行一定额度的补偿,是平衡流域生态系统服务供需平衡的重要手段。国内外学者针对不同地区、不同尺度下的流域生态补偿开展了大量研究,探讨其补偿模式、补偿标准、补偿效益^[3-5]。确定合理的生态补偿标准是流域生态补偿的关键,需要既能反映流域上游损失的发展权益和提供的生态系统服务价值,又能激励上游生态系统保护工作的积极性。

【研究进展】国内在确定合理的补偿标准方面仍缺乏成熟完善的体系,存在补偿依据和补偿标准争议大、可操作性不强等问题^[6-8]。目前,我国针对流域生态补偿标准制定的研究尚处于探索阶段,多

数研究仅基于成本效益模型对生态保护的成本费用进行核算,并未考虑变化环境对生态效益的影响。近年来,国内学者开始尝试针对小流域运用生态足迹法或生态系统服务价值评估法来度量补偿标准。段靖等^[9]基于边际分析方法,证明了通过直接成本、机会成本衡量的生态保护总成本是生态补偿的下限。刘玉龙等^[10]从直接和间接2个方面衡量总成本,引入水量分摊系数、水质修正系数和效益修正系数,对生态补偿量进行分析。饶清华等^[11]基于直接成本和农业、工业机会成本计算出闽江流域的生态补偿标准。严有龙等^[12]基于机会成本和生态系统服务价值确定了补偿阈值。

【切入点】依据单一的环境责任界定补偿标准而忽视补偿区的经济能力存在一定的片面性。流域生态补偿机制碎片化现象严重,各地区制定的生态补偿标准、补偿模式不同,导致流域补偿效率低。黄河流域上游长期承担着维系生态环境、提供生态服务的重任,但由于地理位置、历史和政策等因素,难以兼顾社会经济发展^[13]。纵向补偿无法满足流域协同治理的需求,黄河流域横向生态补偿机制亟待完善。

收稿日期: 2022-11-13

作者简介: 张伊华(1996-),女,内蒙古呼和浩特人。硕士研究生,研究方向为区域绿色发展。E-mail: 365676233@qq.com

【拟解决的关键问题】鉴于此，本研究构建了流域水资源生态补偿标准模型。以生态补偿流域上游总成本、水资源生态系统服务价值为基础，兼顾水量、水质、支付意愿和补偿能力，对黄河流域生态补偿标准进行核算，据此提出相应的对策和建议，为完善黄河流域横向生态补偿机制提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与数据来源

黄河流域是中国第二大流域，流域总面积约为 $8 \times 10^5 \text{ km}^2$ ，流经我国 9 个省区，全长约 5 464 km，年平均径流量为 $5.70 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ，对我国生态格局具有重要影响^[14]。同时，黄河流域生态脆弱性突出，位于干旱半干旱地区，降水量少，森林覆盖率不足 20%，低于全国平均水平。黄河流域水资源分布不均，上游水源涵养功能偏低，水源涵养区水土流失面积不断增加，湿地面积逐渐减少，仍有支流存在断流现象。复杂的水沙关系加重了黄河流域生态保护的难度。黄河上游地区经济发展长期滞后，经济总量和人均经济水平偏低。

本文所涉及的数据包括水利建设、水污染治理、林业投资、各产业产值等，来源于中国林业年鉴、EPS 水利数据库（Economy Prediction System）、环境统计年鉴、各省统计年鉴、各省水资源公报、中国环境统计年鉴、环保数据库。

1.2 研究方法

1.2.1 流域上游总成本模型的构建

水资源保护总成本分为直接成本和间接成本^[15-17]。直接成本包括水利建设、水污染治理、林业建设。间接成本为保护区因实施水资源生态保护所损失的产业发展的机会成本，主要指第一、二产业。核算方法如式（1）所示：

$$C_t = C_d + C_i, \quad (1)$$

式中： C_t 为总成本； C_d 为直接成本； C_i 为间接成本。

直接成本投入是指在生态保护中的人力、资金和资源投入。在生态补偿研究中尚未有统一的核算体系。本文基于前人研究^[18-19]和黄河流域实际状况，将黄河流域水资源生态补偿的直接成本投入分为水利设施投入、水污染治理投入及生态保护投入。

1.2.2 流域上游直接成本模型的构建

与流域水资源保护相关的直接成本投入可分为 3 类：一是水利设施相关的建设投资，包括排水基础设施建设、水土保持完成投资、水土流失治理；二是水污染治理相关的建设投资，包括废水处理投资、地方环保支出；三是生态保护相关的投资建设，包括林业生态建设与保护、林业支撑与保障、园林绿化

建设。流域上游各省区的各类直接成本之和为流域上游生态保护的直接成本。具体如式（2）所示：

$$C_d = C_1 + C_2 + C_3, \quad (2)$$

式中： C_d 为流域生态保护直接成本； C_1 为水利设施建设成本； C_2 为水污染治理建设成本； C_3 为生态保护建设成本。

1.2.3 流域上游间接成本模型的构建

流域上游实施生态保护的间接成本主要是指当地的水资源机会成本。水资源机会成本包括生态保护者为了保护流域水资源所放弃的直接收入以及流域水资源被占据而失去的发展权利所造成的经济损失。流域上游环境保护会造成一定程度的机会成本损失，主要发生在第一产业和第二产业。例如，退耕还林、退牧还草、天然林建设等工程的实施会造成土地利用变化、企业生存与发展权限受限制，具体包括关停企业、停耕、停产、产业结构调整等造成的损失。

本文将流域上游各省的生态补偿机会成本分为工业机会成本与农业机会成本。由于各地区因保护水资源而限制的产业发展机会成本不可能为负值，因此当计算出的机会成本为负值时，取值为 0。

通过计算流域上游与下游各省居民人均第一产业、第二产业的产值，分析流域上、下游农村居民的人均第一产业、第二产业增加值的差异，间接反映发展受限制可能造成的经济损失。计算方法如下：

$$C_i = C_4 + C_5, \quad (3)$$

式中： C_i 为总机会成本； C_4 为农业机会成本； C_5 为工业机会成本。

$$C_4 = (FI_d - FI_u) \times N_s \times \alpha, \quad (4)$$

式中： FI_d 为下游受益区人均第一产业增加值； FI_u 为上游保护区人均第一产业增加值； N_s 为上游保护区人口数； α 为机会成本参数，由上游保护区的财政收入与生产总值的比值确定。

$$C_5 = (SI_d - SI_u) \times N_s \times \alpha, \quad (5)$$

式中： SI_d 为下游受益区人均第二产业增加值； SI_u 为上游保护区人均第二产业增加值。

1.2.4 流域上游生态系统服务价值模型的构建

谢高地等^[20-21]基于 Costanza 等^[22]提出的当量因子法并结合中国实际情况，对中国特色的生态系统以及资源环境开展了较为全面的测算分析，最终得出中国生态系统服务价值当量因子表，其测算结果被国内研究广泛使用。根据物价指数对当量因子进行修正，得到对应年份的当量因子，最终计算中国水资源生态系统单位面积的生态服务价值。生态系统服务价值测算模型如下：

$$ESV = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m e_{ij} A_j, \quad (6)$$

式中： ESV 为上游地区生态系统服务的总价值； j 为土地利用类型； i 为生态系统服务类型； A_j 为第 j 类土地利用类型对应的面积； e_{ij} 为第 j 种生态系统的第 i 种生态系统服务价值的当量因子； $e_{ij}A_j$ 为单位面积第 j 类土地利用类型的第 i 类生态系统服务功能的经济价值。

1.2.5 流域生态补偿标准模型的构建

基于流域的实际经济发展状况，本文在流域生态补偿标准模型中添加了部分调节系数，在测算补偿上、下限时，添加了水量分摊系数、水质修正系数、支付意愿系数和补偿能力系数。将基于综合成本法计算出的总成本作为补偿下限，水资源生态系统服务价值作为补偿上限，得出补偿区应支付的补偿金额区间。补偿区的补偿上限和下限的计算式为：

$$W_{\min} = C_t \times K_f \times K_q \times E_d \times E_a, \quad (7)$$

$$W_{\max} = ESV \times K_f \times K_q \times E_d \times E_a, \quad (8)$$

式中： $W_{\min}$ 为下游补偿区补偿金额的下限； $W_{\max}$ 为补偿区补偿金额的上限； C_t 为受偿区总成本； ESV 为受偿区提供的水资源生态系统服务价值； K_f 、 K_q 、 E_d 、 E_a 分别为水质修正系数、水量分摊系数、支付意愿系数和补偿能力系数。

流域上游为下游地区提供的水量、水质会影响下游生态系统，故引入水量分摊系数（ K_f ）和水质修正系数（ K_q ）核算补偿额度。

水量分摊系数 K_f 为下游用水量 W_d 与上游总水量 W_t 之比，计算式为：

$$K_f = \frac{W_d}{W_t}. \quad (9)$$

水源区的水质优劣直接影响流域下游的用水效益，故引入水质修正系数 K_q 。当上游供水水质优于Ⅲ类水质时， $K_q=1$ 。当水质部分时段介于Ⅳ—Ⅴ类时， K_q 为供水水质优于Ⅲ类水质所占比例， $K_q<1$ 。当水质劣于Ⅴ类水质时， K_q 为供水水质劣于Ⅴ类水质所占比例， $K_q<0$ 。

充分考虑下游各省的支付意愿，对补偿额度进行调节。在经济发展过程中，人们对生态产品价值的重视程度、支付意愿可以用皮尔 S 型生长曲线进行拟合。恩格尔系数可以衡量人民生活水平。支付意愿系数计算式为：

$$E_d = \frac{e^{\varepsilon} \times GDP_d}{(1+e^{\varepsilon}) \times GDP}, \quad (10)$$

式中： ε 为中下游各省的恩格尔系数； GDP_d 为中下游各省的生产总值； GDP 为当年的国民生产总值。通过各省的统计年鉴收集黄河流域中下游地区各省的恩格尔系数和 GDP，计算出对应效益分配系数。

除了考虑补偿区的支付意愿，还应充分考虑补偿双方的经济发展水平。引入补偿能力系数来体现补偿区各省的差异。根据吕志贤等^[23]的研究结果，人均 GDP、人均第一产业产值、人均工业产值、人均第三产业产值以及人口占比在流域生态补偿系数中的主成分总贡献度占比达到 93.7%，具有可比性，故选取这 5 个指标反映补偿能力，并通过熵权法确定各指标的权重，具体计算式为：

$$E_a = \frac{GDP_i}{GDP_u} \times W_1 + \frac{FV_i}{FV_u} \times W_2 + \frac{IV_i}{IV_u} \times W_3 + \frac{TV_i}{TV_u} \times W_4 + \frac{P_i}{P_u} \times W_5, \quad (11)$$

式中： GDP_i 、 GDP_u 分别为补偿区和受偿区的人均 GDP； FV_i 、 FV_u 分别为补偿区和受偿区人均第一产业产值； IV_i 、 IV_u 分别为补偿区和受偿区人均工业产值； TV_i 、 TV_u 分别为补偿区和受偿区人均第三产业产值； P_i 、 P_u 分别为补偿区和受偿区人口数量； W_1 、 W_2 、 W_3 、 W_4 和 W_5 为指标权重。

2 结果与分析

2.1 直接成本核算

黄河流域上游各省因保护生态环境损失的直接成本如表 1 所示。上游 5 个省份中，内蒙古和四川投入较大的直接成本。2018—2021 年受偿区总直接成本投入介于 1 380.57 亿~1 604.17 亿元之间。

表 1 2018—2021 年受偿区直接成本核算

年份	内蒙古/ 亿元	四川/ 亿元	甘肃/ 亿元	青海/ 亿元	宁夏/ 亿元	总计/ 亿元
2018	465.89	620.68	301.58	120.12	95.9	1 604.17
2019	315.01	612.88	245.77	105.96	100.95	1 380.57
2020	349.69	635.36	263.71	111.34	101.35	1 461.45
2021	379.09	682.82	274.41	113.43	106.82	1 556.57

2.2 间接成本核算

根据各地财政收入与产值之比得出机会成本参数，如表 2 所示。根据机会成本参数核算的上游受偿区农业机会成本、工业机会成本的结果如表 3、表 4 所示。

表 2 2018—2021 年受偿区机会成本参数

年份	内蒙古	四川	甘肃	青海	宁夏
2018	0.115	0.091	0.108	0.099	0.124
2019	0.120	0.088	0.098	0.096	0.113
2020	0.119	0.088	0.097	0.099	0.106
2021	0.115	0.089	0.098	0.099	0.102

表 3 2018—2021 年受偿区农业机会成本核算

Table 3 Agricultural opportunity cost accounting in the compensated area from 2018 to 2021

年份	内蒙古/亿元	四川/亿元	甘肃/亿元	青海/亿元	宁夏/亿元
2018	-84.12	-96.99	15.27	-2.51	-0.38
2019	-91.95	-105.37	8.77	-3.89	2.09
2020	-103.61	-136.47	0.12	-5.06	0.66
2021	-107.82	-105.13	-2.98	-3.5	2.24

表 4 2018—2021 年受偿区工业机会成本核算

Table 4 Agricultural opportunity cost accounting in the compensated area from 2018 to 2021

年份	内蒙古/亿元	四川/亿元	甘肃/亿元	青海/亿元	宁夏/亿元
2018	218.83	1 200.71	231.26	34.9	-10.19
2019	161.82	1 064.37	167.2	21.95	-22.25
2020	131.48	1 043.91	151.96	17.04	-103.31
2021	200.69	1 272.2	210.69	18.66	22.84

2.3 总成本核算

2018—2021 年，受偿区工业总成本核算结果如表 5 所示。2018—2021 年，黄河流域上游保护区总成本区间为 2 561.49 亿~3 121.52 亿元。

表 5 2018—2021 年受偿区工业总成本核算

Table 5 Total cost accounting in the compensated area from 2018 to 2021

年份	内蒙古/亿元	四川/亿元	甘肃/亿元	青海/亿元	宁夏/亿元	总计/亿元
2018	600.6	1724.4	548.11	152.51	95.9	3 121.52
2019	384.88	1 571.88	421.74	124.02	103.04	2 605.56
2020	377.57	1542.8	415.79	123.32	102.01	2 561.49
2021	471.96	1 849.89	482.12	128.59	131.9	3 064.46

2.4 生态系统服务价值核算

本文主要依据谢高地等^[20]在 2007 年测算出的中国水域生态系统单位面积生态服务价值当量值（表 6）进行生态系统服务价值的核算。谢高地等^[20]测得我国单个标准单位生态系统服务的当量因子值为 449.01 元/hm²，刘春腊等^[24]在此基础上测得我国

2011 年当量因子值为 603.3 元/hm²。将 2011 年设定为基期，根据物价指数对当量因子进行修正，得到 2018—2021 年的当量因子值分别为 861.13、885.25、914.46、924.52 元/hm²。由于黄河流域上游地区主要提供的生态系统服务为水资源服务，故主要对黄河流域上游水资源生态系统服务价值进行核算。基于黄河流经各省面积与生态系统价值修正值计算各省水资源生态系统服务价值。根据黄河水资源公报，黄河在内蒙古河段的流域面积为 1.52×10⁵ km²，四川河段的流域面积为 1.87×10⁴ km²，甘肃河段的流域面积为 1.46×10⁵ km²，青海河段的流域面积为 1.52×10⁵ km²，宁夏河段的流域面积为 4.16×10⁴ km²。

表 6 中国水资源生态系统单位面积生态服务价值

Table 6 China water resources ecosystem

unit area ecological service value table	
生态功能	单位面积生态系统服务当量
食物生产	0.80
原料生产	0.23
水资源供给	8.29
气体调节	0.77
气候调节	2.29
净化环境	5.55
水文调节	102.24
土壤保持	0.93
维系养分循环	0.07
生物多样性	2.55
美学景观	1.89
总计	125.61

基于修正后的当量因子法计算出的黄河流域补偿区各省生态系统价值范围以及补偿区生态系统服务总价值如表 7 所示。2018—2021 年，黄河流域上游受偿区生态系统服务价值区间为 54 857.95 亿~58 895.77 亿元。

表 7 2018—2021 年受偿区生态系统服务价值核算结果

Table 7 Accounting of ecological products in the compensated area from 2018 to 2021

年份	内蒙古/亿元	四川/亿元	甘肃/亿元	青海/亿元	宁夏/亿元	总计/亿元
2018	16 429.26	2 022.56	15 434.21	16 472.53	4 499.39	54 857.95
2019	16 889.28	2 079.19	15 866.36	16 933.76	4 625.37	56 393.96
2020	17 446.65	2 147.81	16 389.98	17 492.60	4 778.02	58 255.06
2021	17 638.54	2 171.43	16 570.24	17 684.99	4 830.57	58 895.77

2.5 水资源生态补偿标准额度核算

2.5.1 补偿系数核算

根据《2021 年黄河水资源公报》计算水量分摊系数（ K_f ），黄河总取水量为 5.01×10¹⁰ m³，其中下游各省的取水量分别为：山西 5.14×10⁹ 亿 m³、河南 6.11×10⁹ 亿 m³、山东 7.85×10⁹ 亿 m³、陕西 6.59×10⁹ 亿 m³，下游总取水量为 2.57×10¹⁰ 亿 m³，因此 $K_f=0.51$ 。

根据《中国生态环境状况公报（2021）》，2021 年黄河干流水质为优，干流断面水质均达标，均在 III 类水标准以上，故水质修正系数 K_q 取为 1。

根据支付意愿系数计算式，结合各省 GDP 与恩格尔系数，计算得出 2021 年补偿区各省支付意愿系数如表 8 所示。

表 8 补偿区支付意愿系数

Table 8 Willingness to pay coefficient of compensation area				
指标	山西	山东	河南	陕西
GDP/亿元	22 590.16	83 095.90	58 887.41	29 800.98
恩格尔系数	26.90	27.20	28.40	27.60
支付意愿系数	0.018	0.072	0.054	0.026

根据式(11)计算各省补偿能力系数。一般来说,经济越发达的地区,补偿能力越高。补偿能力系数能够体现补偿区经济发展差异,经济发展较好的地区应当依据本地的支付能力,承担更多补偿责任。根据熵值法计算各指标权重,人均 GDP、人均第一产业产值、人均工业产值、人均第三产业产值以及人口占比这 5 个指标的在流域生态补偿能力系数中的权重分别为 0.056、0.206、0.292、0.075 和 0.634。2021 年补偿区各省的补偿能力系数为:山西 0.30、山东 0.63、河南 0.57、陕西 0.33(表 9)。

表 9 补偿区补偿能力系数

Table 9 Compensation capacity coefficient of compensation area				
指标	山西	山东	河南	陕西
补偿能力系数	0.30	0.63	0.57	0.33

2.5.2 补偿额度核算

2018—2021 年,黄河流域上游受偿区的总成本区间为 2 561.49 亿~3 121.52 亿元,总生态系统服务价值区间为 54 857.95 亿~58 895.77 亿元。综合补偿区的支付意愿系数和补偿能力系数可知,补偿区各省的分摊比例为:山西 5.90%、山东 50.26%、河南 34.39%、陕西 9.49%。结合水量分摊系数、水质修正系数、支付意愿系数及补偿能力系数得出补偿区所承担的总生态补偿金额下限为 121.84 亿~148.48 亿元,上限为 2 609.38 亿~2 801.44 亿元,如表 10 所示。结合补偿区各省分摊比例,得出各省应承担的补偿金额区间,如表 11 所示。

表 10 补偿标准阈值

Table 10 Compensation standard threshold		
指标	最小值	最大值
总成本/亿元	2 561.49	3 121.52
补偿下限/亿元	121.84	148.48
生态系统服务价值/亿元	54 857.95	58 895.77
补偿上限/亿元	2 609.38	2 801.44

表 11 补偿区补偿金额阈值

Table 11 Threshold of compensation amount in compensation area				
指标	山西	山东	河南	陕西
下限/亿元	7.14	61.24	41.90	11.56
上限/亿元	165.28	1 408.00	963.42	265.87

基于受偿区各省总成本占比以及生态系统服务价值占比,得出受偿区各省接受补偿金额的区间,如表 12 所示。

表 12 受偿区受偿金额阈值

Table 12 Threshold of the amount to be paid in the compensation area					
指标	内蒙古	四川	甘肃	青海	宁夏
下限/亿元	20.31	56.34	17.75	4.49	3.57
上限/亿元	838.98	103.28	788.16	841.19	229.77

3 讨论

本文将总成本作为补偿下限,将水资源生态系统价值作为补偿上限。综合考虑水量、水质、支付意愿水平和补偿能力 4 个方面对补偿金额进行调整,构建水资源生态补偿标准与分配模型。结合黄河流域水资源利用和各省区经济发展,通过成本核算和生态系统服务价值法对黄河流域水资源生态补偿标准进行量化,并对补偿金额进行核算。2018—2021 年,黄河流域上游受偿区的总成本区间为 2 561.49 亿~3 121.52 亿元,总生态系统服务价值区间为 54 857.95 亿~58 895.77 亿元。补偿区所承担的总生态补偿金额下限为 121.84 亿~148.48 亿元,上限为 2 609.38 亿~2 801.44 亿元。虽然流域水资源生态补偿对激励流域内生态保护行为具有一定的促进作用,但补偿金额远无法弥补上游生态环境保护所付出的成本。补偿区各省的分摊比例为山西 5.90%、山东 50.26%、河南 34.39%、陕西 9.49%,需要支付的补偿金额为山西 7.14 亿~165.28 亿元,山东 61.24 亿~1 408.00 亿元,河南 41.90 亿~963.42 亿元,陕西 11.56~265.87 亿元。补偿金额由西向东逐渐增加,山东和河南承担的补偿金额较大,符合补偿区各省的实际经济发展状况。受偿区得到的补偿金额为内蒙古 20.31~838.98 亿元,四川 56.24~103.28 亿元,甘肃 17.75~788.16 亿元,青海 4.49~841.19 亿元,宁夏 3.57 亿~229.77 亿元。从补偿金额下限可以看出,内蒙古和四川在流域生态环境保护中付出了巨大成本。补偿上限反映了黄河流域在各省所提供的水资源生态价值差异,黄河流域中内蒙古和青海的水资源生态系统服务价值最大。核算结果基本能反映黄河流域上游所付出的成本、提供的生态产品价值以及各省区的差异性。

基于本研究结果,进一步提出如下建议:制定黄河流域生态保护修复奖励政策,支持相关省区建立跨省和省内流域上下游生态补偿以及流域保护和治理,尤其是跨省流域横向上下游生态补偿。加强黄河流域生态补偿实施的标准研究,建立标准体系,开展以生态服务价值、生态贡献为导向的生态保护补偿标准研究,推动建立科学规范的生态价值核算和生态贡献测量方法。明确各部门职责,制定与生态补偿配套的细则,保障上游地区生态补偿资金的

执行。加强上游民众的保护意识，提高其保护环境的自觉性和积极性，降低黄河流域上游保护成本、提高生态补偿效率。

在流域水资源生态系统价值核算方面，本文参考以往研究，以流域内生态系统服务价值的存量为基础测算补偿标准，充分考虑到了受偿区的机会成本损失以及生态产品的外溢性价值。在补偿金额分配时结合 GDP 和恩格尔系数，综合考虑补偿区经济发展差异，能够合理评估补偿标准。在指标选取方面，本文选取黄河干流污染物贡献量最多的断面 COD 浓度作为水质指标计算补偿标准。在实际运用时，针对不同流域、选取不同水质指标进行生态补偿估算会得出不同结果。如何从存量价值中剥离出应当给予补偿的部分，即明确因环境质量变化而引起的生态系统服务价值的变化，有待进一步探讨。在后续的研究中，应当对生态系统服务价值的确定进行更加细化的调节，精准量化生态系统服务价值，落实到生态补偿的实践中。

4 结 论

1) 黄河流域上游各省区水资源生态保护投入力度和水资源生态系统服务价值差异较大，黄河流域上游整体经济在发展的同时，存在水资源分布不均衡、发展差异大的问题。

2) 从受偿区所获的生态补偿额度来看，上游所获得的补偿额度不足以补偿上游地区的成本费用和机会成本总值。

3) 山东省需要向上游支付生态补偿金额最大，山西省最小，符合流域经济发展的实际情况，补偿标准具有一定的合理性。

参考文献：

- [1] COSTANZA R, DE GROOT R, SUTTON P, et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [2] 傅伯杰, 田汉勤, 陶福祿, 等. 全球变化对生态系统服务的影响研究进展[J]. *中国基础科学*, 2020, 22(3): 25-30.
FU Bojie, TIAN Hanqin, TAO Fulu, et al. Progress of the impact of global change on ecosystem services[J]. *China Basic Science*, 2020, 22(3): 25-30.
- [3] WANG L, LI Y H, WANG Y Q, et al. Compensation benefits allocation and stability evaluation of cascade hydropower stations based on Variation Coefficient-Shapley Value Method[J]. *Journal of Hydrology*, 2021, 599: 126-127.
- [4] 王奕淇, 李国平. 流域生态服务价值供给的补偿标准评估：以渭河流域上游为例[J]. *生态学报*, 2019, 39(1): 108-116.
WANG Yiqi, LI Guoping. The evaluation of the watershed ecological compensation standard of ecosystem service value: A case of Weihe watershed upstream[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(1): 108-116.
- [5] 张晖, 顾典, 吴霜, 等. 流域生态补偿政策下受偿地区碳减排效应：以新安江流域为例[J]. *资源科学*, 2022, 44(4): 768-779.
ZHANG Hui, GU Dian, WU Shuang, et al. Effect of emission reduction in the compensated areas under the policy of watershed eco-compensation: A case study of the Xin'an River Basin[J]. *Resources Science*, 2022, 44(4): 768-779.
- [6] 田义文, 张明波, 刘亚男. 探索建立完善跨省流域生态补偿新模式[J]. *江西理工大学学报*, 2012, 33(6): 63-67.
- [7] 姬鹏程. 加快完善我国流域生态补偿机制[J]. *宏观经济管理*, 2018(10): 41-46.
JI Pengcheng. Speed up to better the river basin ecological compensation mechanism in China[J]. *Macroeconomic Management*, 2018(10): 41-46.
- [8] 沈满洪, 谢慧明. 跨界流域生态补偿的“新安江模式”及可持续制度安排[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(9): 156-163.
SHEN Manhong, XIE Huiming. Transboundary ecological compensation in the Xin'an River Basin and its institutional arrangement of sustainability[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(9): 156-163.
- [9] 段靖, 严岩, 王丹寅, 等. 流域生态补偿标准中成本核算的原理分析与方法改进[J]. *生态学报*, 2010, 30(1): 221-227.
DUAN Jing, YAN Yan, WANG Danyin, et al. Principle analysis and method improvement on cost calculation in watershed ecological compensation[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(1): 221-227.
- [10] 刘玉龙, 许凤冉, 张春玲, 等. 流域生态补偿标准计算模型研究[J]. *中国水利*, 2006(22): 35-38.
LIU Yulong, XU Fengran, ZHANG Chunling, et al. Model for river basin ecological compensation[J]. *China Water Resources*, 2006(22): 35-38.
- [11] 饶清华, 林秀珠, 邱宇, 等. 基于机会成本的闽江流域生态补偿标准研究[J]. *海洋环境科学*, 2018, 37(5): 655-662.
RAO Qinghua, LIN Xiuzhu, QIU Yu, et al. Research on ecological compensation standard in Minjiang River Basin based on opportunity cost[J]. *Marine Environmental Science*, 2018, 37(5): 655-662.
- [12] 严有龙, 王军, 王金满. 基于生态系统服务的闽江流域生态补偿阈值研究[J]. *中国土地科学*, 2021, 35(3): 97-106.
YAN Youlong, WANG Jun, WANG Jinman. Study on eco-compensation thresholds of Min River Basin based on ecosystem services[J]. *China Land Science*, 2021, 35(3): 97-106.
- [13] 董战峰, 郝春旭, 璩爱玉, 等. 黄河流域生态补偿机制建设的思路与重点[J]. *生态经济*, 2020, 36(2): 196-201.
DONG Zhanfeng, HAO Chunxu, QU Aiyu, et al. Orientation and focus on construction of the ecological compensation mechanism in the Yellow River Basin[J]. *Ecological Economy*, 2020, 36(2): 196-201.
- [14] 陆大道, 孙东琪. 黄河流域的综合治理与可持续发展[J]. *地理学报*, 2019, 74(12): 2 431-2 436.
LU Dadao, SUN Dongqi. Development and management tasks of the Yellow River Basin: A preliminary understanding and suggestion[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2 431-2 436.
- [15] 刘菊, 傅斌, 王玉宽, 等. 关于生态补偿中保护成本的研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(3): 43-49.
LIU Ju, FU Bin, WANG Yukuan, et al. Study on protection cost of payment for ecosystem service[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(3): 43-49.
- [16] 苑清敏, 张泉, 李健. 基于投入产出表京津冀虚拟足迹生态补偿机制研究[J]. *统计与决策*, 2018, 34(18): 107-110.
- [17] 倪琪, 徐涛, 李晓平, 等. 跨区域流域生态补偿标准核算：基于成本收益双视角[J]. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(1): 97-110.
NI Qi, XU Tao, LI Xiaoping, et al. Transboundary River Basin ecological compensation standard accounting: Based on cost-benefit perspective[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(1): 97-110.

- [18] 张国兴, 徐龙, 千鹏霄. 南水北调中线水源区生态补偿测算与分配研究[J]. 生态经济, 2020, 36(2): 160-166.
ZHANG Guoxing, XU Long, QIAN Pengxiao. Study on ecological compensation fund calculating and allocation of the middle route of the South-North Water transfer project[J]. Ecological Economy, 2020, 36(2): 160-166.
- [19] 袁广达. 环境成本视角的跨界流域生态补偿标准量化研究[J]. 会计研究, 2022(6): 16-31.
YUAN Guangda. Quantitative research of transboundary ecological compensation standard in environmental cost[J]. Accounting Research, 2022(6): 16-31.
- [20] 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(5): 911-919.
XIE Gaodi, ZHEN Lin, LU Chunxia, et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(5): 911-919.
- [21] 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): 1 243-1 254.
XIE Gaodi, ZHANG Caixia, ZHANG Leiming, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(8): 1 243-1 254.
- [22] 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(6 630): 253-260.
- [23] 吕志贤, 李元钊, 李佳喜. 湘江流域生态补偿系数定量分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(S1): 451-454.
LYU Zhixian, LI Yuanzhao, LI Jiayi. Quantitative analysis of ecological compensation coefficient in Xiangjiang River basin[J]. China's Population, Resources and Environment, 2011, 21(S1): 451-454.
- [24] 刘春腊, 刘卫东, 徐美. 基于生态价值当量的中国省域生态补偿额度研究[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 148-155.
LIU Chunla, LIU Weidong, XU Mei. The provincial eco-compensation standard of China based on ecological value equivalents[J]. Resources Science, 2014, 36(1): 148-155.

Determining the Ecological Compensation Standards for Water Resources in the Yellow River Basin Using Opportunity Cost and Ecosystem Service Value Accounting

ZHANG Yihua

(School of Economics and Management, Inner Mongolia University of Science & Technology, Baotou 014017, China)

Abstract: 【Objective】 Ecological compensation for water resources is a policy to improve sustainable use of water resources in regional and catchment scales. The purpose of this paper is to present a method to determine the ecological compensation standards for water resources in the Yellow River basin. 【Method】 The study is based on data collected from 2018—2022 in nine provinces within the basin. The low and upper limit in the ecological compensation standard for water resources in the basin are calculated using the cost method and the ecological service value evaluation method, respectively. 【Result】 The calculation shows that the total cost of the compensated area in the upstream reach from 2018 to 2021 is in the range of 256 149 to 312 152 million Yuan, and the associated total ecosystem service value is in the range of 5 485 795 to 5 889 577 million Yuan. The lower limit in the total ecological compensation amount in the compensated area ranges from 12 184 to 14 848 million Yuan, and the upper limit varies from 260 938 to 280 144 million Yuan. The provincial contribution to the compensation is 5.90% for Shanxi, 50.26% for Shandong, 34.39% for Henan and 9.49% for Shaanxi. 【Conclusion】 The accounting results calculated by the proposed method correctly reflect the costs that need to be paid by each province in the upper reaches of the basin in order to protect water resources and improve ecological benefits to the whole basin. The method can be used to determine ecological compensation standards for water resource use in other basins and regions.

Key words: ecological compensation standard; opportunity cost; ecosystem service; Yellow River basin

责任编辑: 韩 洋