

江河源头区生态补偿标准测算方法研究

刘军政^{1,2}, 白绍斌³, 张新华^{4*}, 范习超^{1,2}, 黄火键⁵, 赵钟楠⁵

(1.中国农业科学院 农田灌溉研究所, 河南 新乡 453002; 2.农业部节水灌溉工程重点实验室, 河南 新乡 453002; 3.四川省水利厅, 成都 610017; 4.四川大学 水力学及山区河流开发保护国家重点实验室, 成都 610065; 5.水利部水利水电规划设计总院, 北京 100011)

摘要: 江河源头区生态、经济和社会特征突出, 常规生态补偿方法在江河源头区适用性存在问题。【目的】提出江河源头区生态补偿标准测算方法。【方法】通过皮尔曲线和土地利用占比分别赋予主体功能价值和次要功能价值不同的权重, 确定了主体功能法的2种补偿标准测算方法。以雅砻江支流安宁河源头区作为典型进行实例计算, 并与常规生态补偿方法的计算结果进行了对比分析。【结果】核算金额大小关系: 生态系统服务功能法(23.15亿) > 主体功能法1(皮尔曲线 5.89亿) > 主体功能法2(土地利用 5.68亿) > 机会成本法(4.93亿) > 条件价值法(1.92亿)。按照主体功能法实施生态补偿后, 源头区上下游人均财政收入差距从原来的2.5倍缩小到1.1倍左右。【结论】本研究提出的主体功能法充分考虑了源头区的生态特征、社会的经济发展阶段以及补偿主体的可承受能力, 能够有效调整源头区上下游损益关系, 并且2种主体功能法中的主要与次要功能价值权重确定客观, 具有普适性。

关键词: 江河源头区; 主体功能法; 皮尔曲线; 土地利用; 生态补偿

中图分类号: TV213.4

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2019419

刘军政, 白绍斌, 张新华, 等. 江河源头区生态补偿标准测算方法研究[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(5):120-126.

LIU Junzheng, BAI Shaobin, ZHANG Xinhua, et al. A Proposed Ecological Compensation Method for Headwater Region of Rivers [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(5):120-126.

0 引言

【研究意义】江河源头区是江、河水系发源区域, 具有独特的生态、经济和社会功能, 在我国经济社会发展中具有十分重要的地位和作用。长期以来, 人们受传统经济理念的影响, 往往忽视江河源区生态系统服务功能价值的存在, 对于江河源区生态环境保护做出的牺牲缺乏补偿激励机制, 这直接导致“靠山吃山”的现象。为有效解决江河源头区水资源和生态保护与经济协调发展的问题, 建立源头区上下游的补偿机制非常重要。其中, 补偿标准测算是生态补偿机制建立的核心和技术关键, 它关系到补多少才能既反映源头区生态服务的价值及其成本与收益, 又能被上下游补偿双方接受, 实现整个流域生态功能的恢复或改善。

【研究进展】由于生态补偿对象的多样性以及范围的不确定性等原因, 目前在学术界并没有形成公认的生态补偿标准测算方法。目前, 常用的流域生态补偿方

法可以分为2种类型, 一是污染赔偿型^[1-3], 包括水质浓度超标倍数法、污染物通量超标总量法等^[4-6]。水质赔偿方法在我国应用最为广泛, 比较适合上、下游经济发展差距不大、水质污染严重的河流。江河源头区一般处于偏远山区, 经济发展相对落后, 上、下游经济发展差距较大, 源头区内的河流多为一级保护区, 一般来说水质较好, 水质赔偿法在源头区内显然不适用; 二是保护赔偿型^[7-9], 应用最为广泛的为生态系统服务功能价值法、条件价值评估法和机会成本法^[10-12]。源头区(生态系统服务的提供者)向源头区下游(生态系统服务的接受者)提供了优质的生态系统服务, 补偿时需要考虑源头区水源保护活动带来的正负外部性价值。衡量公共资源外部性价值最广泛的方法是生态系统服务功能价值法。1997年, Costanza^[12]首次估算了全球生态系统服务功能的价值, 随后我国学者谢高地^[13]评估了青藏高原的生态服务功能价值, 并给出了我国各生态系统类型的当量因子表。【切入点】然而, 将生态系统服务功能价值直接当作生态补偿资金, 往往金额过大, 不具有实际支付意义。因此, 兹通过引入考虑了社会经济发展阶段的皮尔曲线, 以及考虑了人类作用的土地利用对源头区内生态系统

收稿日期: 2019-12-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(51579162, 51879174); 中国农业科学院基本科研业务费所级统筹项目(FIRI202002-01, FIRI2016-24)

作者简介: 刘军政(1994-), 男, 研究实习生, 主要从事水力学及生态灌区研究。E-mail: 843503651@qq.com

通信作者: 张新华(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事水力学及河流动力学、水资源与水环境方面的研究。E-mail: xhzhzhang@scu.edu.cn

主体功能价值和次要功能价值赋予不同的权重。【拟解决的关键问题】提出适用于江河源头区的生态补偿主体功能法。

1 材料与方法

1.1 主体功能法原理

基于生态环境价值理论、公共产品理论、外部性理论，认为江河源头区生态系统的价值表现为人们对生态需求的满足，特别是随着经济社会的发展水平和人民生活水平的不断提高，人们对江河源头区功能要求越来越高，江河源头区生态系统的价值会越来越大，补偿资金也应越来越高。

根据主体功能和次要功能在权重计算方法上（皮尔曲线法、土地利用占比法）的不同，补偿资金计算公式分为以下 2 种形式：

主体功能法 1（皮尔曲线确定权重）：

$$P = \theta_1 P_1 + \theta_2 \sum_{i=2}^n P_i, \quad (1)$$

式中： P 为生态补偿金额（元）； P_1 为主体功能价值（元）； P_i 为第 i 种次要功能价值（元）； θ_1 为主体功能价值权重，取为 1，这表明在资金有限的条件下优先保护源头区的主体功能； θ_2 为次要功能价值权重。

主体功能法 2（土地利用占比确定权重）：

$$P = \sum_{i=1}^n \theta_i P_i, \quad (2)$$

式中： P 为生态补偿金额（元）； θ_i 为各土地类型面积占比； P_i 为各土地类型生态服务功能价值（元）； n 该区域土地利用类型总数。

1.2 生态系统服务功能价值量化方法

根据生态经济学、环境经济学和资源经济学的研究成果以及市场信息的完全与否，生态系统服务功能的经济价值量化方法可分为 3 类：一是直接市场法，主要包括市场定价法、生产率变动法、人力资本法等；二是替代市场法。包括影子工程法、旅行费用法、享乐价值法等；三是模拟市场价值法，包括条件价值评估法（也称为支付意愿调查法）、专家评估法等。江河源头区功能类型丰富（主要为物质生产、水供应、均化洪水、大气调节、水土保持、生物多样性和休闲文化等），其多功能性决定了它的多价值性。由于每种功能经济价值量化方法都有最佳的使用条件和使用范围，所以江河源区生态系统功能价值评估需根据自身特征采用不同的量化方法。江河源头区每种生态系统服务功能的经济价值可参考表 1 所列方法进行量化。在此说明，水源涵养功能具体表现为林地汛期的均化洪水能力和枯水期的补水能力，由于均化洪水

与补水价值核算方法不同，故分开计算。

表 1 生态系统服务功能价值量化方法

一级功能价值 First-level functional value	二级功能价值 Secondary functional value	三级功能价值 Third-level functional value	方法选择 Quantitative method
直接使用价值 Direct use	生产功能	食物生产 原料生产	市场价值法
	休闲文化功能	旅游景观、 科技教育	旅行费用法、 专家评估法
间接使用价值 Indirect use	调节功能	均化洪水	影子工程法
		水供应（补水）	市场价值法
	支持功能	大气调节 水土保持 生物多样性	碳税法 and 造林 成本法 影子工程法 专家评估法

1.3 主体功能与次要功能价值权重的确定

1.3.1 皮尔曲线法

随着社会和经济的发展，人们对次要功能越来越重视，环境资源的价值越来越大。所以可根据经济发展阶段确定次要功能价值权重，而主体功能价值权重不用确定。皮尔生长曲线由美国生物学家 R. Pearl 教授提出，它能够较好地描述发展阶段对生态价值影响的特征^[14]，数学表达式为：

$$l = \frac{L}{1 + ae^{-bt}}, \quad (3)$$

式中： l 为社会发展阶段指数，表示对次要功能价值的认知，可作为它的权重，即 $\theta_2 = l$ ， $l \in (0, 1)$ ；取 $a=2$ ， $b=1$ ； L 为 l 的最大值，即极富阶段的支付意愿； e 为自然对数的底； t 为时间。

社会经济发展阶段可用恩格尔系数来衡量，恩格尔系数越小，经济发展水平越高，反之，经济发展水平越低。根据世界粮食组织（WFO）的规定，一般可将发展阶段分为贫困、温饱、小康、富裕、极富等 5 个阶段，所对应的恩格尔系数详见表 2。

可以将恩格尔系数的倒数作为时间的函数，即 $T=1/E$ 。由于极富阶段（ $T>5$ ）是一个范围，所以需对 T 和 t 做一些必要的变换，可设 $T=t+4$ ，使得在达到极富阶段的基础上，再发展一段时间，次要功能权重系数才可能为 1。最终可得皮尔曲线与恩格尔系数的关系（见表 3 和图 1）。显然，确定了某个区域的恩格尔系数后，就可根据图 1 确定次要功能的权重，进而确定主体功能的权重。

从图 1 可以看到，当时间 $t=-\infty$ 时， $l=0$ ，表示社会极不发展阶段时，次要功能价值支付意愿最小；当 $t=+\infty$ 时， $l=1$ ，表示社会高度发展时，支付意愿最大。

表 2 恩格尔系数对应的社会发展阶段

Table 2 The stage of social development corresponding to the Engel coefficient

社会发展阶段 Stage of social development	贫困 Poverty	温饱 Subsistence	小康 Well-off	富裕 Affluence	极富 Extremely rich
恩格尔系数 Engel coefficient $E/\%$	>60	60~50	50~30	30~20	<20
$1/E$	<1.67	1.67~2	2~3.3	3.3~5	>5

表 3 恩格尔系数对应的时间

Table 3 Time corresponding to Engel's coefficient

社会发展阶段 Stage of social development	贫困 Poverty	温饱 Subsistence	小康 Well-off	富裕 Affluence	极富 Extremely rich
恩格尔系数 Engel coefficient $E/\%$	>60	(60,50)	(50,30)	(30,20)	<20
$t=T-4$	<-2.33	[-2.33,-2)	[-2,-0.7)	(-0.7,1)	>1

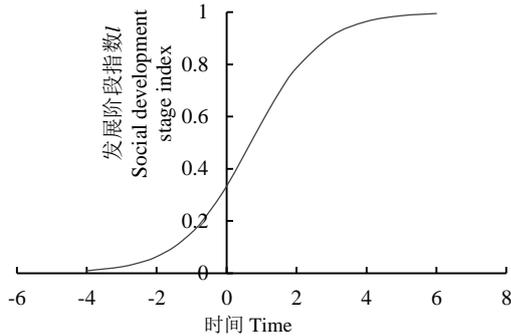


图 1 发展阶段指数与时间的对应关系

Fig.1 The relationship between social development stage index and time

1.3.2 土地利用占比法

土地利用反映了人类活动对自然环境的作用，其显著地影响着区域的生态系统功能^[15-17]，主要土地利用类型决定了其主体功能类型。所以，本文提出另一种确定主体功能价值和次要功能价值权重的方法：将各类型土地利用占比作为其功能价值的权重。该方法根据土地利用占比来判断主体功能与次要功能，利用其占比对每种土地利用类型的功能价值进行重要性排序，即土地利用占比最大者的功能为主体功能，土地利用占比最小者的功能为最次要的功能。这种方法可以很好地反映出每种土地利用类型功能价值的重要性。除了主体功能之外，虽然其他都为次要功能，但是由于每种土地利用类型的占比不同，不同次要功能价值的权重也随着变化，比采用一个固定值更为科学合理。

1.4 典型研究流域概况

安宁河全长 337 km，是雅砻江下游左岸最大支流。安宁河流域地处四川省西南部，流经凉山州的冕宁、西昌、德昌 3 个县市，于攀枝花米易县汇入雅砻江，流域面积约 11 150 km²，流域总人口 160 万。

安宁河发源于凉山州冕宁县，源头区地处青藏高原东缘，属横断山脉北东段牦牛山区，地貌以山地为主，所处位置海拔高，人口密度低，因此其生态系统一旦遭到破坏就很难恢复，属于生态系统重度脆弱性地区。源区涉及石棉、九龙、冕宁、越西 4 县，各县

面积分别为 2 667.7、6 741.1、4 387.8、2 252 km²，所属源头区土地面积分别为 6.6、0.7、795、1.4 km²，分别占各县总土地面积的 0.25%、0.009%、18.1%、0.06%，本研究中，安宁河源头区的所有资源数据均按此比例进行各县相关数据的分配。4 个行政区均属于四川省国家扶贫开发工作重点县、艰苦边远县、“四大片区”贫困县。经济发展水平与安宁河中下游地区存在明显差距。源头区的政府和人民，在保护区域生态安全和资源安全、促进区域间可持续发展以及实现上下游生态和经济双赢等各方面做出了艰苦的努力和牺牲。以冕宁县为例，全县截至 2011 年，累计完成退耕还林工程 5 667 hm²，营造生态林 5 513 hm²，约占 97%，荒山配套造林和封山育林 5 333 hm²，全部为生态林，工程涉及全县 37 个乡镇，179 个村，704 个村民小组，31 457 户，127 659 人。

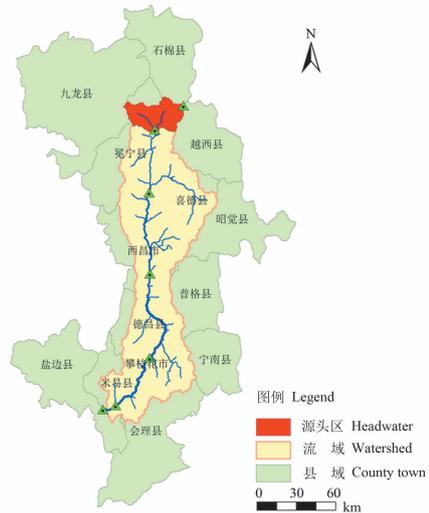


图 2 安宁河流域

Fig. 2 Anning river basin

2 结果与分析

2.1 典型研究流域源头区生态系统服务功能识别及主体功能确定

根据安江河源头区的土地利用识别源头区的生态系统服务功能。基于中国科学院资源环境科学数据中心得到了安宁河源区 2017 年土地利用，具体情况

见表 4 和图 3 所示。

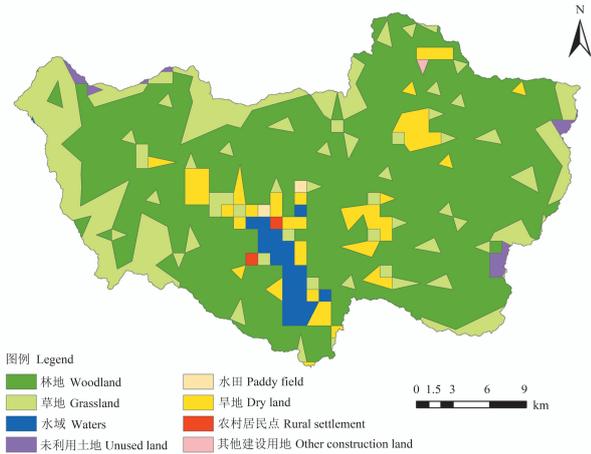


图 3 安宁河源头区土地利用类型分布

Fig. 3 Distribution of Land Use Types in Source Region of Anning River

由表 4 可知，城镇和未利用土地占比较少，由于其生态系统服务功能价值均不明显，因此本研究对二者在功能价值经济量化中不予考虑。根据安宁河源头区土地利用现状，可将安宁河源区生态系统主要分为

表 5 安宁河源区生态服务功能类型

Table 5 Types of ecological service functions in the headwaters of the Anning river

生态系统类型 Ecosystem type	林地生态系统 Woodland ecosystem	草地生态系统 Grassland ecosystem	农田生态系统 Farmland ecosystem		水域生态系统 Aquatic ecosystem
			水田 Paddy field	旱地 Dry land	
物质生产 Material production	▲	▲	▲	▲	▲
大气调节 Atmospheric regulation	▲	▲	▲	▲	
均化洪水 Uniform flood	○	○	▲		▲
水供应补水 Water supply	○	○			▲
土壤保持 Soil conservation	▲	▲			
生物多样性维持 Biodiversity	▲	▲	▲	▲	▲
休闲文化 Entertainment	▲	▲	▲	▲	▲
土地利用占比 Land use ratio	0.67	0.21	0.01	0.08	0.03

结合全国生态功能区划可以确定该区域的主体功能为水源涵养功能，具体表现为林地和草地汛期的均化洪水能力和枯水季节的补水能力（○所示）。所以在用式（1）进行计算时，主体功能价值为林地和草地的均化洪水和补水价值之和，除了这 2 项功能价值之外的都为次要功能价值。

2.2 典型研究流域主体功能与次要功能权重及价值确定

根据 2017 年的四川省统计年鉴，取该流域的恩格尔系数为 34%，通过图 1（皮尔曲线法）可确定 $\theta_2=l=0.2$ 。每种生态系统服务功能的经济价值参考表 1 所列方法进行量化，根据付意成等^[3]、COSTANZA 等^[12]、谢高地等^[13]研究成果综合选取量化所需的参数。安宁河源头区生态系统服务功能价值核算的具体金额情况见表 6。

四类，包括林地生态系统、草地生态系统、农田生态系统（水田、旱地）、水域生态系统。土地利用占比确定权重时，各权重之和需等于 1，所以对林地、草地、水田、旱地、水域的占比进行适当调整，调整后的结果以及每种土地利用类型包含的功能（▲、○表示）见表 5。

表 4 安宁河源区土地利用占比情况

Table 4 Land use ratio in the region of Anning river

土地利用类型 Land use type	面积 Area/km ²	所占比例 Proportion/%
水田 Paddy field	2.00	0.25
旱地 Dry land	55.88	6.95
林地 Woodland	543.04	67.56
草地 Grassland	171.27	21.31
水域 Waters	22.02	2.74
农村居民点 Rural settlement	2.00	0.25
其他建设用地 Others	0.64	0.08
未利用土地 Unused land	6.98	0.87

2.3 主体功能法核算结果与分析

主体功能法是在生态服务功能价值上进行核算补偿标准的，源头区水生态服务既作用于源头区，又作用于下游地区，所以需要将源头区水源保护的边际效益进行分摊，根据史淑娟等^[18]研究，确定源头区的分摊比例为 0.2，源区下游分摊比例为 0.8。表 7 为不同生态补偿方法确定的补偿金额，以及补偿前后受益区（源头区下游）、受损区（源头区）人均财政收入对比情况。在此说明，补偿后受益区人均财政收入=补偿前受益区人均财政收入-受益区人均支付；补偿后受损区人均财政收入=补偿前受损区人均财政收入+受损区人均补偿获得。

由表 7 可知，不同生态补偿方法核算的补偿金额大小关系为：生态系统服务功能法（23.15 亿）>主体功能法 1（5.89 亿）>主体功能法 2（5.68 亿）>

机会成本法(4.93 亿) > 条件价值法(1.52 亿)。生态系统服务功能价值法核算金额最大, 比核算金额最小的条件价值法大了约 15 倍, 二者核算金额过大或过小, 在实际的补偿中都不易被补偿的双方接受; 2 种主体功能法核算的金额比较接近, 约为机会成本法的 1.15 倍。补偿前, 受益区人均财政收入为 3 048 元, 受损区人均财政收入为 1 407 元, 相差约为 2.5 倍, 二者的社会经济发展水平相差较大。主体功能法补偿后, 受益区每月人均需支付 34~35 元左右, 受损区人均财政收入 > 受益区人均财政收入, 二者相差约 1.1 倍左右, 可以看到, 缩小了二者的经济发展水平差距; 条件价值法补偿前, 受益区人均财政收入比受损区人均财政收入高 1 641 元, 补偿后, 二者相差 1 141 元, 受损区和受益区人均财政收入水平差距有所减小,

一定程度上体现了补偿的公平性, 但是二者仍存在相当大的差距。机会成本法补偿后受损区和受益区人均财政收入分别为 2 696 元、2 679 元, 可以看到补偿后二者人均财政收入基本持平, 表面上较能体现补偿的公平性原则, 实际上这种方法无法体现出对源头区内为保护生态服务功能付出的巨大人力、物力和财力的鼓励性, 不利于提高源头区对流域生态保护的积极性; 生态系统服务功能法补偿后, 受损区人均财政收入 > 受益区人均财政收入, 二者相差约为 5.3 倍, 不但没有缩小二者发展水平差距, 反而拉大了二者的差距, 明显不合理, 在江河源头区生态补偿中, 该方法核算的补偿金额过大, 并无实际支付意义, 可当作一个理论参考值或最大上限值。

表 6 安宁河源区生态系统服务功能价值

Table 6 Ecosystem service function value in the headwaters of the Anning river

生态系统类型 Ecosystem type	林地 Woodland/万元	草地 Grassland/万元	水田 Paddy field/万元	旱地 Dry land/万元	水域 Waters/万元
物质生产 Material production	35 046	11 054	130	3 605	0
大气调节 Atmospheric regulation	10 020	11 997	348	9 046	0
均化洪水 Uniform flood	2 659*	839*	27	5 295	0
水供应(补水) Water supply	27 977*	2 643*	0	0	91 560
土壤保持 Soil conservation	215	68	0	0	0
生物多样性维持 Biodiversity	8 812	1 649	10	265	242
休闲文化 Entertainment	5 676	1 650	3	0	635
各土地利用类型价值/万元 Value of different land use type	90 405	29 900	517	18 212	92 437
土地利用占比 Land use ratio	0.67	0.21	0.01	0.08	0.03
主体功能法 1 核算价值/万元 Accounting value with DEF M1	73 588				
主体功能法 2 核算价值/万元 Accounting value with DEF M2	70 983				

注 *为水源涵养功能价值核算金额。Note *Accounting amount of water conservation function value.

表 7 不同生态补偿方法确定的补偿金额

Table 7 Compensation amount determined by different ecological compensation methods

生态补偿方法 Eco-compensation method	补偿金额/ (亿元 a ⁻¹) Compensation amount	受益区人均支付/ (元 a ⁻¹) Benefit area per capita payment	受益区人均 财政收入/(元 a ⁻¹) Benefit per capita finance income	受损区 人均获得/ (元 a ⁻¹) Damaged area per capita	受损区人均 财政收入/(元 a ⁻¹) Damaged area per capita finance income	补偿后人均财政收入/(元 a ⁻¹) Per capita financial income after compensation	
						受益区 Benefit area	受损区 Damaged area
主体功能法 1 EFM1	5.89	418		1 519		2 630	2 926
主体功能法 2 EFM2	5.68	403		1 464		2 645	2 871
条件价值法 ontingent value	1.52	108	3 048	392	1 407	2 940	1 799
机会成本法 Opportunity cost	4.93	352		1 272		2 696	2 679
生态系统价值法 Ecosystem service value	23.15	1 654		5 972		1 394	7 379

3 讨论

生态补偿标准测算方法是建立生态补偿机制的核心与技术难点, 生态补偿资金会因测算方法的不同

而有较大差别^[2]。本研究表明, 生态系统服务功能价值法核算金额最大, 支付意愿法核算金额最小, 二者相差了将近 15 倍, 这与张乐勤等^[7]在秋浦河流域、付意成等^[19]在永定河流域研究结果基本一致。环境经

济学外部性理论^[20]认为,流域生态最佳补偿额是外部经济性行为的全部,即流域生态系统服务价值可作为补偿标准的上限。根据经济人的假设^[7],消费者总是选择较低的补偿标准支付生态补偿金额,所以这种方法可作为补偿的下限值。2种主体功能法核算金额比较接近,均比机会成本法核算金额稍高,较能符合现阶段生态补偿标准略高于提供生态服务的成本这一原则^[19],既能提高提供流域生态服务的积极性,又能节省财政资金,流域下游受益方也较易接受。按照主体功能法实施生态补偿后,源头区与源头区下游的人均财政收入由差距 2.5 倍缩小到 1.1 倍,主体功能法在充分考虑了源区下游支付能力的基础上,缩小了二者的经济发展水平差距,补偿后受损区比受益区人均财政收入稍高,既保证了源头区上下游社会经济发展的公平性,又可提高源区内人民和政府对于生态环境保护的积极性,有效调整了源头区上、下游的损益关系。

4 结论

1) 本文提出的主体功能法既考虑了源头区上、下游补偿的公平性、补偿主体的可承受能力和补偿客体生态保护的积极性,又反映了不同流域的特征以及人类活动与经济发展阶段对补偿金额的影响,与机会成本法、生态系统服务功能法和条件价值法相比更加科学、合理。

2) 结合皮尔曲线和土地利用,提出了 2 种确定主体功能和次要功能权重的方法,皮尔曲线法体现了经济发展阶段对环境价值的影响,土地利用占比法体现了人类活动对环境价值的作用,二者各有优点,计算出的金额也比较接近,可根据实际情况选择应用。

参考文献:

[1] 张志强,程莉,尚海洋,等.流域生态系统补偿机制研究进展[J].生态学报,2012,32(20):6 543-6 552.
ZHANG Zhiqiang, CHENG Li, SHANG Haiyang, et al. Review and trend of eco-compensation mechanism on river basin[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20): 6 543-6 552.

[2] 阮本清,许凤冉,张春玲.流域生态补偿研究进展与实践[J].水利学报,2008,39(10):1 220-1 225.
RUAN Benqing, XU Fengran, ZHANG Chunling. Review of research and practice of river basin ecological compensation[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(10): 1 220-1 225.

[3] 付意成,阮本清,张春玲.永定河流域生态补偿标准研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2011,9(4):283-291.
FU Yicheng, RUAN Benqing, ZHANG Chunling. Research on the ecological compensation standard of Yongding River Basin[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2011,

9(4): 283-291.

[4] 刘桂环,文一惠,张惠远.流域生态补偿标准核算方法比较[J].水利水电科技进展,2011,31(6):1-6.
LIU Guihuan, WEN Yihui, ZHANG Huiyuan. Comparative study on standardized accounting methods for watershed eco-compensation[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31(6): 1-6.

[5] 禹雪中,冯时.中国流域生态补偿标准核算方法分析[J].中国人口·资源与环境,2011,21(9):14-19.
YU Xuezhong, FENG Shi. Analysis of ecological compensation standard estimation of river basins in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(9): 14-19.

[6] 刘军政,犹伟,祁芸泉,等.基于污染物通量超标排放的生态补偿方法[J].水利经济,2018,36(4):40-44,77.
LIU Junzheng, YOU Wei, QI Yunquan, et al. Ecological compensation method based on excessive emission of pollutant flux[J]. Journal of Economics of Water Resources, 2018, 36(4): 40-44, 77.

[7] 张乐勤,荣慧芳.条件价值法和机会成本法在小流域生态补偿标准估算中的应用:以安徽省秋浦河为例[J].水土保持通报,2012,32(4):158-163.
ZHANG Leqin, RONG Huifang. Application of contingent value method and opportunity-cost method to determining ecological compensation standards—a case study of Qiupuhe river[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012, 32(4): 158-163.

[8] 李东.生态系统服务价值评估的研究综述[J].北京林业大学学报(社会科学版),2011,10(1):59-64.
LI Dong. Review on evaluation of ecosystem services value[J]. Journal of Beijing Forestry University (Social Sciences), 2011, 10(1): 59-64.

[9] 许丽丽,李宝林,袁焯城,等.基于生态系统服务价值评估的我国集中连片重点贫困区生态补偿研究[J].地球信息科学学报,2016,18(3):286-297.
XU Lili, LI Baolin, YUAN Yicheng, et al. A study on eco-compensation based on eco-service assessment in 14 contiguous destitute areas of China[J]. Journal of Geo-Information Science, 2016, 18(3): 286-297.

[10] 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.

[11] 王瑾,李敏,毕如田.生态价值视角下水土资源保护评价:以长河流域为例[J].灌溉排水学报,2018,37(6):117-123.
WANG Jin, LI Min, BI Rutian. Assessing water and land conservation based on their ecological values: Taking long river basin as an example[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(6): 117-123.

[12] COSTANZA R, DARGE R C, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.

[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.

- XIE Gaodi, LU Chunxia, LENG Yunfa, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2): 189-196.
- [14] 斯丽娟. 基于皮尔曲线的甘肃生态价值支付意愿评估[J]. *财会研究*, 2014(4): 69-72.
- SI Lijuan. Assessment of willingness to pay for ecological value in Gansu based on R.Pearl curve [J]. *Research of Financial & Accounting*, 2014 (4): 69-72.
- [15] 孙伯明, 陈菁, 吴鑫, 等. 小三江平原土地利用变化对生态系统服务价值的影响研究[J]. *灌溉排水学报*, 2014, 33(Z1): 261-265.
- SUN Boming, CHEN Jing, WU Xin, et al. Ecosystem services value based on land-use changes in the small Sanjiang plain[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2014, 33(Z1): 261-265.
- [16] 熊侣英, 师学义. 黄土山丘区土地利用变化对生态系统服务价值的影响: 以长河流域为例[J]. *水土保持研究*, 2018, 25(2): 335-340, 389.
- XIONG Lüying, SHI Xueyi. Effects of land use change on ecosystem service value in the loess hilly area—a case study of the changhe river basin[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018, 25(2): 335-340, 389.
- [17] 邵小云, 张则飞, 刘中, 等. 土地利用变化及规划结构对海岛生态系统服务价值的影响: 以舟山市普陀区为例[J]. *生态学杂志*, 2018, 37(2): 514-522.
- SHAO Xiaoyun, ZHANG Zefei, LIU Zhong, et al. Effects of land use change and planning regulation on ecosystem service values of Islands: A case study of Putuo District, Zhoushan Archipelago[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2018, 37(2): 514-522.
- [18] 史淑娟, 李怀恩, 林启才, 等. 跨流域调水生态补偿量分担方法研究[J]. *水利学报*, 2009, 40(3): 268-273.
- SHI Shujuan, LI Huai'en, LIN Qicai, et al. Study on method for calculating eco-compensation fund sharing in inter-basin water transfer projects[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2009, 40(3): 268-273.
- [19] 付意成, 阮本清, 许凤冉, 等. 永定河流域水生态补偿标准研究[J]. *水利学报*, 2012, 43(6): 740-748.
- FU Yicheng, RUAN Benqing, XU Fengran, et al. Water related eco-compensation standard study for the Yongding River basin[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2012, 43(6): 740-748.
- [20] 环境与自然资源经济学概论[M].北京:高等教育出版社, 2006.
- Introduction to the Economics of Environment and Natural Resources [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.

A Proposed Ecological Compensation Method for Headwater Region of Rivers

LIU Junzheng^{1,2}, BAI Shaobin³, ZHANG Xinhua^{4*}, FAN Xichao^{1,2}, HUANG Huojian⁵, ZHAO Zhongnan⁵

(1. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453002, China;

2. Key Laboratory of Watersaving Irrigation Engineering, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xinxiang, 453002, China;

3. Sichuan Provincial Water Resources Department, Chengdu 610017, China;

4. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

5. The Ministry of water conservancy and hydropower planning and Design Institute, Beijing 100011, China)

Abstract: 【Objective】 Ecological and socioeconomic characteristics of headwater of a river are unique and its ecological compensation cannot be calculated using the conventional ecological compensation method. The purpose of this paper is to present a dominant ecological function method (DEFM) to resolve this problem. 【Method】 Different weights were assigned to the main function and the minor function, and the values of the weights were determined by the Pearl curve or proportion of the land use. These weights were then used to calculate the main function and the secondary function. The model was applied to a headwater region in Anning River Basin - a tributary of the Yalong River. The results obtained from the proposed method were compared with those obtained from the conventional ecological compensation method. 【Result】 The amount of ecological compensation was ranked in: Ecosystem service value (2 315 million) > DEFM1 (589 million) > DEFM2 (568 million) > The opportunity cost (493 million) > Contingent value method (192 million). Implementing the ecological compensation based on the DEFM could reduce the difference in tourism income between the top and bottom of the headwater from 2.5 times to 1.1 times. 【Conclusion】 The proposed DFEM considered the ecological characteristics of the headwater, social development level and the affordability of the compensation subject. It can effectively balance the loss and profile of both upstream and downstream of the headwater region.

Key words: headwater region of rivers; DEFM; Pearl curve; land use; ecological compensation

责任编辑: 韩 洋