基于生态系统服务功能价值的湖北省恩施地区生态补偿研究

张家其[1]，杨贺菲[2]，田亚平[1]，王 鹏[1]，袁 航[1]

(1. 衡阳师范学院 城市与旅游环境学院，湖南 衡阳 421002；2. 长江科学院，湖北 武汉 430070)

摘 要：[目的] 对湖北省施恩地区进行生态价值及生态补偿研究，以期充分发挥恩施地区生态资源丰富的优势，为区域生态补偿机制的建立提供理论依据。[方法] 依据相关遥感及社会经济统计数据，对恩施地区 2000 及 2010 年生态系统服务功能价值当量及 2010 年生态价值、生态补偿额度和生态补偿优先指数进行计算和分析。[结果] (1) 恩施地区 2000 及 2010 年生态系统服务价值当量分别为 7.84×10^7，5.88×10^7，10 a 期间生态当量下降了 25.07%；(2) 2010 年研究区生态价值 2.89×10^{10} 元，生态补偿优先顺序为：鹤峰县>宣恩县>利川市>咸丰县>巴东县>建始县>恩施市>来凤县。[结论] 恩施地区生态补偿优先指数与各县贫困村比例、人均生态系统服务功能价值成正相关性，人均生态系统服务功能价值与各县贫困村比例也存在较强的正相关。

关键词：生态系统服务功能价值；生态补偿额度；生态补偿优先指数；恩施地区

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2016)05-0214-06 **中图分类号**：X321，Q146

文献参数：张家其，杨贺菲，田亚平，等. 基于生态系统服务功能价值的湖北省恩施地区生态补偿研究[J]. 水土保持通报，2016，36(5)：214-219. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2016.05.041

A Study on Ecological Compensation Based on Ecosystem Service Value of Enshi Region in Hubei Province

ZHANG Jiaqi[1], YANG Hefei[2], TIAN Yaping[1], WANG Peng[1], YUAN Hang[1]

(1. *Resources Environment & Tourism Management Department, Hengyang Normal University, Hengyang, Hunan* 421002, *China*; 2. *Changjiang River Scientific Research Institute, Wuhan, Hubei* 430010, *China*)

Abstract: [Objective] It is necessary to study the ecological value and ecological compensation to make full use of the advantages of the rich ecological resources in Enshi area, Hubei Province, in order to provide a theoretical basis for the establishment of regional ecological compensation mechanism. [Methods] Based on the related remote sensing and statistic data, the value of ecosystem services in Enshi area in 2000 and 2010 was calculated, and the ecological value, ecological compensation amount and ecological compensation priority index in 2010 was analyzed. [Results] (1) The total ecosystem service value of Enshi in 2000 and 2010 was 7.84×10^7 and 5.88×10^7, respectively. The calculated value equivalent of the ecological service functions in Enshi areas decreased by 25.07% during the past 10 years. (2) The total value of the ecosystem services of Enshi in 2010 was 2.89×10^{10} yuan, and the ecological compensation priority order was as follows: Hefeng, Xuanen, Lichuan, Xianfeng, Badong, Jianshi, Enshi and Laifeng County. [Conclusion] There is a positive correlation between the ecological compensation priority index and the proportion of poor villages and the ecosystem value per capita. Similarly, there is a positive correlation between the ecosystem value per capita and the proportion of poor villages.

Keywords: ecosystem service value; ecological compensation amount; ecological compensation priority index; Enshi areas

收稿日期：2015-07-20 **修回日期**：2015-11-19

资助项目：国家自然科学基金项目“南方红壤丘陵区土地生态安全研究：以湘南红壤丘陵区为例”(41171076)；湖南省教育厅科学研究优秀青年项目(16B038)；湖南省人居环境学研究基地开放基金(RJ16K02)；衡阳师范学院人才引进启动项目基金(15B11)。

第一作者：张家其(1986—)，男(汉族)，湖南省醴陵市人，博士，讲师，主要从事区域资源开发与利用方面研究。E-mail：594089143@qq.com。

通讯作者：田亚平(1958—)，女(汉族)，河北省卢龙县人，博士，教授，主要从事自然地理教学和区域资源环境管理与可持续发展研究。E-mail：typnj@163.com。

贫困一直是困扰社会经济发展的世界性难题,消除贫困是发展中国家实现可持续发展面临的严重挑战。以往的扶贫开发,大多采用经济指标来衡量扶贫开发效果,容易忽视经济活动对生态环境造成的影响。现今区域发展失衡及环境恶化给人类生产、生活带来了诸多问题[1],如何协调环境保护与经济发展的关系,在实现经济增长的同时,不以牺牲生态环境为代价,不仅关系到生态建设的成效,也影响区域生态保护利益者之间的关系[2]。在此背景下,为了协调区域经济发展与环境保护的关系,人类提出了生态补偿理论[3-4]。生态补偿被定义为生态系统受损的弥补措施,能够影响生态效益提供者的土地利用策略[5-6]。为此中国学者尝试制定生态补偿理论框架,即对放弃环境资源使用的一方进行生态补偿,而对过度使用生态资源的一方收缴生态补偿金,通过征收生态补偿费使外部成本内部化,以减少生态环境破坏[7]。该理论的提出旨在促进区域经济与环境协调发展,实现生态利益相关者的需求平衡[8-12],而生态系统服务功能价值估算是实现生态补偿的前提,也是制定补偿额度的依据[13-14]。Costanza 等[14]在 Nature 发表的全球生态系统服务功能价值评价的文章首次引用生态当量进行生态系统服务功能价值计算,但考虑到各个区域有自身特点,该研究成果并不能直接运用到中国的生态系统服务功能价值评估。基于此,谢高地等[15-17]在对全国生态学者进行问卷调查的基础上,制定了中国各土地利用类型单位面积的生态系统服务价值当量,被众多学者广泛应用于生态价值计算中,例如刘春腊等[18]将生态当量应用于中国省域生态补偿额度研究,曾杰等[19]将该模型应用在武汉城市圈生态系统服务功能价值时空变化特征分析。该模型运用于国家及省级等大中型尺度区域的生态系统服务功能价值评估能够减少复杂繁琐的计算过程。

本研究拟以谢高地等[15]提出的全国平均状态的“不同生态系统单位面积生态系统服务价值当量”为基础,对生态价值当量因子及单个当量因子的价格进行重新修订,计算恩施地区的生态系统服务功能价值及生态补偿额度,并依据恩施地区经济发展水平和生态系统服务功能价值,计算出各县生态补偿的优先顺序,期望为研究区生态补偿机制的构建提供依据,也为恩施地区的经济发展及减贫脱贫提供可能途径。

1　研究区概况与数据来源

1.1　研究区概况

恩施地区地处中国 14 个连片特困地区之一的武陵山贫困片区,州内下辖 8 个县全部为国家级贫困县、市,被中央扶贫开发工作会议确定为扶贫攻坚与区域发展试点区。恩施地区同时又是国家级重点生态功能保护区,该地区土地总面积 24 111 km^2,现有耕地 4 538 km^2,地处亚热带季风气候区,森林覆盖率达 71.2%,境内水能资源丰富,水资源总量达到 3.00×10^{10} m^3,总流域面积 21 801 km^2,其发展生态经济十分可行,且显得尤为重要。恩施地区在扶贫开发过程中,提出了“生态立州”战略,意图通过强化区域污染防治,改善生态环境质量,以此推动生态环境保护与经济社会的协调可持续发展。对恩施地区进行生态价值及生态补偿计算,能够很好的评价该区“生态立州”的可行性。

1.2　数据来源与处理

研究采用的 2000 及 2010 年土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心,根据 TM 遥感影像进行目视解译形成的矢量数据,土地利用变更调查数据来源于恩施州国土局。研究区土地利用类型分为森林、农田、草地、建设用地、水域和荒漠 6 种类型。其中,水域包括河流、湖泊、水库及坑塘,荒漠包括沙地、盐碱地及裸地,园地纳入森林范围。粮食生产数据来源于《全国农产品生产成本调查资料汇编》和《湖北农村统计年鉴》,粮食生产中间消耗数据来源于《恩施州统计年鉴》,贫困村数据来源于国家扶贫办的贫困因子矢量数据。由于遥感数据在处理过程中容易存在解译结果与实际情况有一定误差,而土地利用变更调查数据一定程度上能弥补这个缺陷,因此本文将土地利用现状调查数据统一精度后,与遥感数据进行空间匹配融合,使其精度更可靠。

2　评价方法

2.1　生态系统服务功能价值评估方法

以谢高地等[15]提出的全国平均状态的“不同生态系统单位面积生态系统服务价值当量”为基础,以单位面积农田提供的食物生产服务经济价值为依据,对恩施地区生态系统的服务功能价值当量进行修正。修正公式表述为:

$$P_{ij}=C_{ij}/C_i \tag{1}$$

式中:P_{ij},C_{ij} —— j 地 i 种生态系统修正后的单位面积生态系统的服务功能价值当量和生物量;C_i —— 全国 i 种生态系统单位面积平均生物量。下同。

2000 和 2010 年恩施地区耕地地均粮食产量为 6 143,5 389 kg/hm^2,同期全国耕地地均粮食产量 4 261及 4 973 kg/hm^2,进而计算出 2000 及 2010 年修正后的单位面积农田食物生产服务功能价值当量为 1.44 及 1.08,以此确定了恩施地区单位面积土地生态系统服务价值当量(表 1—2)。

表 1 2010 年恩施地区生态系统服务功能价值当量

Ⅰ级类型		Ⅱ级类型	森林	草地	农田	建设用地	水域	荒漠
市场价值	供给服务	食物生产	0.36	0.47	1.08	0	0.57	0.02
		原材料生产	3.23	0.39	0.42	0	0.38	0.04
非市场价值	调节服务	气体调节	4.68	1.63	0.78	0	0.55	0.07
		气候调节	4.41	1.69	1.05	0	2.23	0.14
		水文调节	4.43	1.65	0.83	0	20.34	0.08
		废物处理	1.86	1.43	1.51	0	16.09	0.28
	支持服务	保持土壤	4.36	2.43	1.59	0	0.44	0.18
		维持生物多样性	4.89	2.03	1.11	0	3.72	0.43
	文化服务	提供美学景观	2.25	0.94	0.18	0	4.81	0.26
合 计			30.47	12.65	8.56	0	49.14	1.51

表 2 2000 年恩施地区生态系统服务功能价值当量

Ⅰ级类型		Ⅱ级类型	森林	草地	农田	建设用地	水域	荒漠
市场价值	供给服务	食物生产	0.48	0.62	1.44	0	0.76	0.03
		原材料生产	4.30	0.52	0.56	0	0.50	0.06
非市场价值	调节服务	气体调节	6.23	2.16	1.04	0	0.74	0.09
		气候调节	5.87	2.25	1.40	0	2.97	0.19
		水文调节	5.90	2.19	1.11	0	27.06	0.10
		废物处理	2.48	1.90	2.00	0	21.41	0.37
	支持服务	保持土壤	5.80	3.23	2.12	0	0.59	0.25
		维持生物多样性	6.50	2.70	1.47	0	4.94	0.58
	文化服务	提供美学景观	3.00	1.25	0.25	0	6.40	0.35
合 计			40.54	16.82	11.39	0	65.38	2.00

参考 Costanza 等[14]的生态系统服务功能价值计算方法，对恩施地区生态系统服务功能价值进行评估：

$$\mathrm{ESV} = \sum Y_i \times A_i \times B \tag{2}$$

式中：ESV——生态系统服务功能总价值（元）；Y_i——第 i 类土地利用类型面积（$\mathrm{km^2}$）；A_i——第 i 种土地利用类型的生态系统服务功能价值当量；B——单个生态系统服务功能价值当量的经济价值（元/$\mathrm{km^2}$）。

2.2 生态补偿额度的计算

采用生态系统服务功能价值作为上限计算生态补偿额度时，需要考虑去除恩施地区本身享用的生态服务价值，这其中涉及生态系统的供给价值，其已经在市场机制中转化成货币，为区域的发展作出了贡献，因此，在生态补偿额度的计算中，摒弃这部分而只取非市场价值部分；而在非市场价值部分，也应考虑恩施地区由于工农业生产向大自然排放污染物，生态系统吸纳、净化这些污染物所产生的费用，这部分费用也应由恩施地区承担，剩下的才是恩施地区能够获取的生态补偿。

目前中国在排污收费方面已经有了一套比较完善的法规，急需建立的是基于生态系统服务的生态补偿机制。生态补偿一方面需要考虑对生态系统保护所获得效益的奖励，也要顾及当地经济活动导致环境污染所需收取的费用。生态补偿额度计算公式为[18]：

$$\mathrm{EC} = A - I \tag{3}$$

式中：EC——生态补偿额度（元）；A——区域生态系统服务功能非市场价值（元）；I——研究区所有污染物得到治理所需的费用（元）。下同。

$$I = \sum (W \times K) \tag{4}$$

式中：W——污染物排放量（t，$\mathrm{m^3}$）；K——单位污染物的治理费用（元/$\mathrm{km^2}$）。下同。

污染物排放总量来源于恩施市统计年鉴，污染物排放治理费用来源于湖北省物价局。

2.3 区域生态补偿优先指数计算

通过确定区域生态补偿优先顺序，可以最大化利

用有限的扶贫资源,最大程度的发挥生态补偿效用,而依照区域经济发展水平(GDP)排列区域生态补偿先后顺序是最简便易行的方法。生态补偿优先指数计算表达如下:

$$E_P = V_E / V_G \tag{5}$$

式中:E_P ——生态补偿优先指数;V_E ——单位面积生态系统非市场价值(元);V_G ——单位面积生产总值(元/km^2)。下同。E_P 越大,表明生态补偿对区域经济发展影响越大,应该优先得到生态补偿资金。

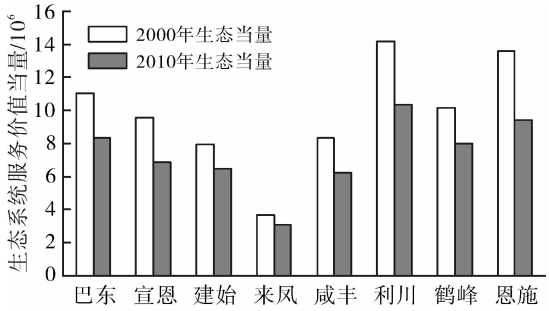
3　结果与分析

3.1　2 期生态系统服务价值当量对比

直接利用生态系统服务功能价值进行 2 期对比需要考虑可比价、农业补贴政策等因素。为了能更简单直观的了解 10 a 期间恩施地区生态系统服务功能的变化情况,本文选取 2 期生态系统服务价值当量进行对比。通过计算可知,恩施地区 2000 及 2010 年生态系统服务价值当量为 7.84×10^7,5.88×10^7,10 a 下降了 25.07%,各县市生态系统服务价值当量都出现了一定程度的下降,其中利川市、恩施市下降趋势最明显(图 1)。

随着国家“生态扶贫”、“绿色发展”等战略的提出,恩施地区的扶贫开发开始注重在发展经济的同时,改善当地的生态环境,借助“天保工程”、“整村推进”等扶贫工程、政策的实施及扶贫专项资金的投入,该地区积极开展了土地整治。10 a 期间,研究区水域、未利用地面积的增加虽然一定程度使得当地的生态系统服务价值当量有所增长,但草地及林地的生态系统服务价值当量减少更多。耕地的比重虽然增加了,但大量开垦坡耕地及过度使用化肥农药造成耕地质量下降明显,单位面积农田的粮食产量降低,继而导致单位面积耕地的生态当量下降较多,最终出现耕地面积比重增加而生态系统服务价值当量降低的现象(表 3)。

生态当量的下降表明研究区的土地利用方式并不合理,在经济落后的恩施地区,该问题的出现给当地经济社会发展及扶贫开发敲响警钟。



1　恩施地区 2 期生态系统服务功能价值当量对比

表 3　2 期生态系统服务价值当量及各土地利用类型所占比例

项　目	年份	耕 地	草 地	河流/湖泊	城镇用地	未利用地	林 地
服务价值当量	2010	3 885 671.66	505 748.97	1 943 904.31	0.00	91 162.75	52 342 006.44
	2000	4 055 294.01	4 902 465.14	450 081.23	0.00	38.34	69 027 293.23
所占比例/%	2010	18.86	1.66	1.64	3.92	2.52	71.39
	2000	15.09	12.35	0.29	0.13	0.001	72.14

3.2　生态系统服务功能价值

谢高地等[15]计算了 2007 年中国 1 个生态系统服务价值当量的经济价值为 449.1 元/hm^2。考虑到恩施地区在劳动成本、农业补贴及扶贫投入等方面与全国平均水平存在较大差异,在查阅了《湖北农村统计年鉴》《恩施州统计年鉴》等相关资料,并通过现场调研了解了恩施地区农田的实际投入产出、中间消耗及农业补贴等情况后,对恩施地区 2010 年生态系统服务功能价值当量的经济价值进行了重新修订。恩施地区 2010 年粮食产值 4.31×10^9 元,农业中间消耗约为 2.76×10^9 元,而土地用来粮食生产的影子地租约为 2 320 元/hm^2,农机补助、农业生产补贴约为 2 835 元/hm^2,以此推算出 2010 年恩施地区单个生态系统服务价值当量的经济价值为 491 元/hm^2。考虑到劳动成本及农业补贴等方面的差异,该推算结果与谢高地等[15]、刘春腊等[18]基于全国尺度推算的单个生态系统服务价值当量的经济价值量比较吻合。

在确定了单个生态系统服务价值当量的经济价值量之后,采用生态当量法对恩施地区 2010 年生态系统服务功能价值进行计算。恩施地区 2010 年生态系统服务功能总价值 2.89×10^{10} 元,其中利川市的生态价值最高,鹤峰县的人均生态价值最高,单位面积生态价值最高的是鹤峰县(表 4)。考虑到重新修订了生态系统服务价值当量及单个生态系统服务价值当量的经济价值,该研究结论与曾杰等[19]、吴后建等[20]计算的相关区域生态系统服务功能价值量比较接近。

表 4 2010 年恩施地区生态系统服务功能价值

地 名	生态价值/10^9元	人均生态价值(10^3元/人)	单位面积生态价值/(10^6元·km^{-2})
恩施地区	28.88	7.3	1.20
恩 施	4.62	5.8	1.16
利 川	5.09	5.7	1.11
建 始	3.17	6.2	1.19
巴 东	4.10	8.3	1.22
宣 恩	3.38	9.5	1.24
咸 丰	3.05	8.0	1.21
来 凤	1.52	4.7	1.13
鹤 峰	3.94	17.8	1.37

3.3 生态补偿额度分析

根据恩施地区当年三废污染物排放量，计算出恩施地区污染物治理需要的费用，继而计算得到恩施地区 8 县市生态补偿额度(表 5)。利川市由于面积最大，人口众多，其生态补偿额度最大，来凤县的生态补偿额度最小。整体而言，恩施地区生态资源丰富，生态系统服务功能对人类的生产、生活拥有重大意义，且该地区地处连片贫困山区，经济发展缓慢，工业基础薄弱，污染相对较少，综合导致该地区生态系统服务功能剩余价值量巨大，能够获得较多的生态补偿。

表 5 恩施地区三废排放情况及生态补偿额度

地 名	废水排放/10^4t	固废排放/10^4t	废气排放/10^6m^3	生态补偿额度/10^9元
恩施市	198.40	26.96	649 3.84	4.08
利川市	638.47	1.05	49 4.47	4.48
建始县	51.00	2.78	231 6.55	2.80
巴东县	143.50	1.85	877 5.10	3.63
宣恩县	4.00	0.00	4.00	2.98
咸丰县	72.28	1.47	121 3.36	2.69
来凤县	8.00	0.26	183 6.64	1.34
鹤峰县	40.92	2.09	263 7.63	3.48

3.4 区域生态补偿优先指数分析

恩施地区 2010 年生态补偿优先顺序为：鹤峰县(1.32)＞宣恩县(1.02)＞利川市(0.82)＞咸丰县(0.77)＞巴东县(0.74)＞建始县(0.71)＞恩施市(0.47)＞来凤县(0.44)。恩施地区生态环境保护较好，产生的生态系统服务功能价值较高，另外由于经济发展水平滞后，国内生产总值较低，导致该地区的生态补偿优先指数非常高，这充分说明恩施地区是“生态输出”重点地区，对该地区进行生态补偿十分迫切。

3.5 区域生态补偿优先指数与贫困因子相关分析

将恩施地区各县市的生态补偿优先指数与贫困村比重进行相关分析，得到相关系数 0.710 5，说明生态补偿优先指数与恩施各县的贫困村比重呈现较强的正相关(图 2)，即贫困村比重越高的地区越需要优先进行生态补偿，该结论与恩施地区的现状比较吻合。

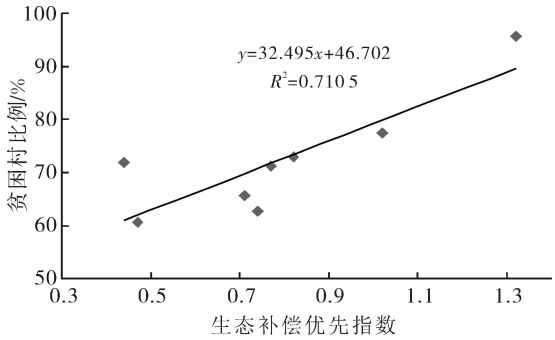


图 2 生态补偿优先指数与贫困村比重相关性分析

人均生态系统服务功能价值与生态补偿优先指数、贫困村比例存在正相关(图 3－4)，即人均生态价值越高的县市，贫困村比重越大，生态补偿优先指数越高。恩施地区经济发展滞后，产业发育不全，其对环境的扰动程度较弱，生态环境保护较好，人均生态系统服务功能价值相应也高，越应优先进行生态补偿。

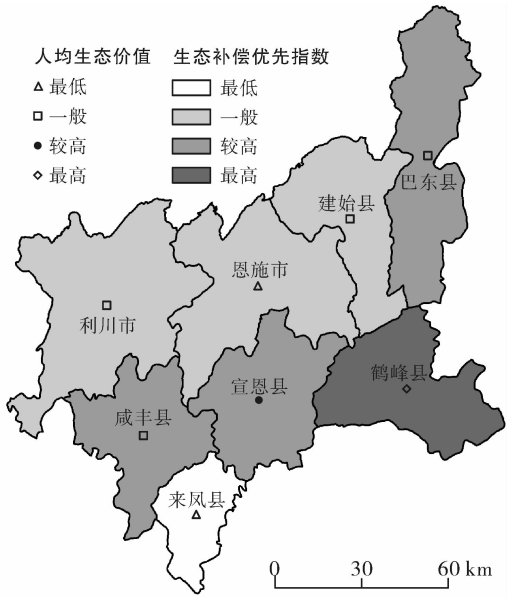


图 3 人均生态价值与生态补偿优先指数分析

4 讨论与结论

通过生态系统服务功能价值计算，一方面能让恩施地区居民清楚的认识到当地生态系统所创造的价值，提高该地区居民的生态环保意识，进而充分利用当地丰富的生态资源发展经济；另一方面通过生态系

统服务功能价值及生态补偿额度计算,衡量恩施地区为保护生态环境所能得到的经济补偿,进而尝试构建生态补偿机制,对该地区居民进行生态补偿,既让贫困居民得到了经济利益,又能促使他们自愿保护生态环境,也有利于实现国家提出的"生态扶贫"、"绿色增长"新战略。当然计算出的生态补偿额度只是个上限值,实际补偿过程中,依据上述计算结果,可根据区域经济发展水平和生态环境现状,通过协商和确定当前的补偿标准,同时该标准也非固定不变的,需要根据生态保护和经济社会发展的阶段性特征,与时俱进,进行相应的动态调整。根据生态系统服务功能价值计算结果显示,恩施地区各县市生态系统服务功能价值总额巨大,能够获取的生态补偿金额亦多,该地区实施"生态立州"战略是可行的。生态效益受益方通过向恩施地区各县市政府、单位、个人缴纳补偿费用,来补偿该地区为环境保护做出的贡献或牺牲的利益,最终完成生态补偿的全过程。

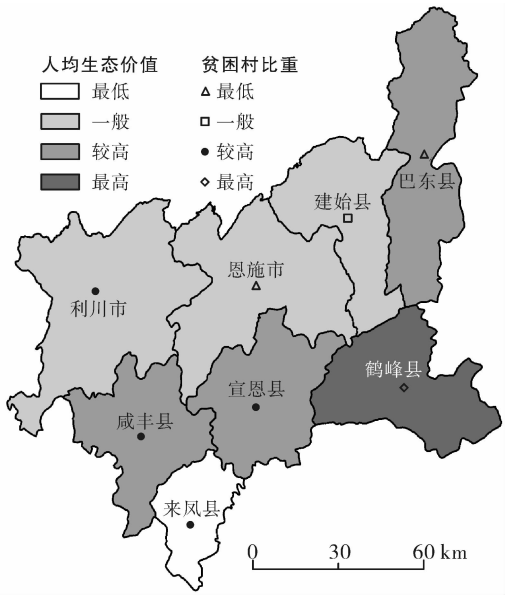


图 4　人均生态价值与贫困村比重分析

然而生态系统服务功能价值计算现今仍然存在较大争议,生态系统服务功能价值计算的关键在于计算方法的选取及计算参数的设定,计算方法不同,对评价结果影响很大,这就造成了研究结果不具有横向的可比性,未来应完善评估方法,以使生态系统服务功能价值的评价结果更具可比性。

[参 考 文 献]

[1] 侯成成,赵雪雁,张丽,等.生态补偿对区域发展的影响:以甘南黄河水源补给区为例[J].自然资源学报,2012,27(1):50-61.

[2] 李文华,刘某承.关于中国生态补偿机制建设的几点思考[J].资源科学,2010,32(5):790-796.

[3] 中国生态补偿机制与政策研究课题组.中国生态补偿机制与政策研究[M].北京:科学出版社,2007.

[4] 中国 21 世纪议程管理中心.生态补偿原理与应用[M].北京:社会科学文献出版社,2009.

[5] Cuperus R, Caters K J, Piepers A A G. Ecological compensation of the impacts of a road: Preliminary method of road link[J]. Ecological Engineering, 1996(7):327-349.

[6] Wunder S. Payments for environmental services: Some nuts and bolts[R]. Center For International Forestry Research, Occasional Paper, 2005:3-8.

[7] 赵翠薇,王世杰.生态补偿效益,标准—国际经验及对我国的启示[J].地理研究,2010,29(4):597-606.

[8] 胡小飞,傅春,陈伏生,等.国内外生态补偿基础理论与研究热点的可视化分析[J].长江流域资源与环境,2012,21(11):1395-1401.

[9] Murray B C, Abt R C. Estimating price compensation requirements for eco-certified forestry[J]. Ecological Economics, 2001,36(1):149-163.

[10] 孙新章,周海林.我国生态补偿制度建设的突出问题与重大战略对策[J].中国人口·资源与环境,2008,18(5):139-143.

[11] 杨光梅,闵庆文,李文华,等.我国生态补偿研究中的科学问题[J].生态学报,2007,27(10):4289-4300.

[12] Wunder S, Engel S, Pagiola S. Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries[J]. Ecological Economic, 2008,65(4):834-852.

[13] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems[M]. Washington D C: Island Press, 1997:122-134.

[14] Costanza R, d'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997(387):253-260.

[15] 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.

[16] 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.

[17] 周嘉,高丹,常琳娜.生态系统服务功能评估在土地利用总体规划环境影响评价中的应用[J].经济地理,2011,31(6):1014-1018.

[18] 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):148-155.1.

[19] 曾杰,李江风,姚小薇.武汉城市圈生态系统服务功能价值时空变化特征[J].应用生态学报,2014,25(3):883-891.

[20] 吴后建,王学雷,宁龙梅,等.土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以武汉市为例[J].长江流域资源与环境,2006,15(2):185-190.