

DOI: 10.5846/stxb201303290553

赖敏, 吴绍洪, 尹云鹤, 潘韬. 三江源区基于生态系统服务价值的生态补偿额度. 生态学报, 2015, 35(2): 227-236.

Lai M., Wu S H., Yin Y H., Pan T. Accounting for eco-compensation in the three-river headwaters region based on ecosystem service value. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(2): 227-236.

三江源区基于生态系统服务价值的生态补偿额度

赖 敏^{1,2,3}, 吴绍洪^{1,2,*}, 尹云鹤^{1,2}, 潘 韬^{1,2}

1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

2 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101

3 中国科学院大学, 北京 100049

摘要:以青海三江源区为例,探讨了基于生态系统服务价值的生态补偿额度测算方法。以分析和筛选生态补偿需求下的生态系统服务价值评估指标为前提,估算了生态保护和建设活动实施前(2005年)三江源区草地生态系统服务价值,并采用专家咨询法提出的不同退化程度草地的生态功能系数对其进行修正,得到未退化、轻度退化、中度退化和重度及重度以上退化草地的单位面积生态价值分别为 74.70×10^4 、 59.76×10^4 、 37.35×10^4 元/ km^2 和 14.94×10^4 元/ km^2 。根据三江源区草地退化现状和生态恢复的目标,确定该区基于退化草地完全恢复的生态补偿总量为 911.62×10^8 元。

关键词:生态补偿; 生态系统服务价值; 补偿额度; 三江源区

Accounting for eco-compensation in the three-river headwaters region based on ecosystem service value

LAI Min^{1,2,3}, WU Shaohong^{1,2,*}, YIN Yunhe^{1,2}, PAN Tao^{1,2}

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Eco-compensation plays an important role in the maintenance of national ecological security, strengthening environmental protection and improving people's livelihood. Determining the amount and scope of eco-compensation is a difficult but important issue in eco-compensation research, attracting the attentions of the academic community in and abroad. This article provided an economic analysis to indicate that the added value of ecosystem services under ecological restoration should present the best evidence for defining the amount of eco-compensation. A case study for determining the amount of eco-compensation in the Three-River Headwaters Region (TRHR, China), using grassland restoration study, was provided for further analysis. Three essential steps for calculating the added value of ecosystem services are: (1) identifying the valuation indexes of grassland ecosystem services in the TRHR; (2) quantifying the per unit values associated with those service from different degraded grassland; and (3) summing the flux in those values as the area of each degraded grassland changes. For operational purposes, the classification of ecosystem services in the TRHR was identified along functional lines proposed by Millennium Ecosystem Assessment. The method identified the links between human welfare and services provided specifically by ecosystems. A series of grassland ecosystem services in the TRHR were grouped into four categories: supporting services, provisioning services, regulating services and cultural services. Among these four categories, supporting services differed from the other three categories as their impacts on people were either indirect or

基金项目:国家自然科学基金青年项目(41301092)

收稿日期:2013-03-29; 网络出版日期:2014-03-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wush@igsnr.ac.cn

occurred over a significant time period. In contrast, changes in the other three categories had relatively direct and short-term impacts on human well-being. To avoid double counting, supporting services were not taken into account in the valuation of ecosystem services. Concurrently, provisioning and cultural services were not included in the valuation of ecosystem services in the TRHR because of the eco-compensation demand. Four types of ecosystem services including water regulation, air quality regulation, climate regulation and soil conservation were evaluated using remote sensing and geographic information system (GIS) technology, as well as ecological economic methods. The results showed that the total value of the four ecosystem services in the grassland ecosystem in the TRHR (2005) was 1068.42×10^8 RMB before grassland restoration, including water regulation at 706.87×10^8 RMB, air quality regulation at 8.56×10^8 RMB, climate regulation at 246.18×10^8 RMB and soil conservation at 106.81×10^8 RMB. In consultation with experts, a modified coefficient for the average value per unit area according to grassland degradation degree in the TRHR was generated. With the modified coefficient, the average value per unit area of non-degraded grassland, mild degraded grassland, moderate degraded grassland, heavy and severe grassland was estimated at 74.70×10^4 RMB /km², 59.76×10^4 RMB /km², 37.35×10^4 RMB /km² and 14.94×10^4 RMB /km², respectively. In view of the current status of degraded grassland in the TRHR, the amount of eco-compensation would be 911.62×10^8 RMB during a 8-year period of grassland restoration. This compensation scheme was grouped into four phases: Stage one, 38.75×10^8 RMB; Stage two, 312.51×10^8 RMB; Stage three, 197.26×10^8 RMB; Stage four, 131.51×10^8 RMB. The research results can effectively inform the decision making process for regional sustainable management in the TRHR.

Key Words: eco-compensation; ecosystem service value; eco-compensation amount; the Three-River Headwaters Region

生态补偿是用经济的手段激励人们对生态系统服务进行维护和保育,解决由于市场机制失灵造成的生态效益的外部性并保持社会发展的公平性,达到保护生态与环境效益的目标^[1],是政府维护国家生态安全、加强环境保护和改善民生等活动所迫切需要研究的重大问题之一^[2]。如何确定经济补偿的强度,是生态补偿研究的核心和难点;生态补偿量的大小是否合理决定了生态补偿实施的可行性和有效性。近几十年来,国内外学者采取不同方法对此展开积极的探索,概括起来,主要有成本法、意愿调查法和生态系统服务价值法等;这些方法有其各自的特点,理论依据和适用条件不同,核算的结果往往差异很大。成本法按生态保护与建设的直接投入和机会成本进行补偿,在实践中应用较广^[3]。然而,生态建设投入等量的经济成本不一定能带来等量的生态效益,生态建设产生的生态效益又远远高于生态建设的成本损失,由此,成本补偿显然达不到利益分配的公平。从当前各地补偿政策的实施情况来看,采用成本法的补偿偏低,在很大程度上影响了生态补偿的效果^[4-7]。意愿调查法利用效用最大化原理,在模拟市场情况下,直接调查和询问人们对某一环境效益改善或资源保护措施的支付意愿,或者对环境或资源质量损失的接受赔偿意愿^[8]。意愿调查法的基础资料易于获取,可操作性强,但受主观因素影响,其结果的准确性差,且难以协调支付意愿和接受意愿的不对称问题^[9]。生态系统服务价值法以生态保护过程提供的生态系统服务价值作为补偿的测算依据。学者一般认为,通过该方法能够实现生态效益的最大化(即边际外部成本等于边际外部收益),它在理论上是最佳补偿额^[10]。现阶段,在生态系统服务价值评估上,尚无统一的单项或单要素的资源化环境价值计量方法及综合的经济环境一体化核算(绿色核算)指标,因此,生态系统服务价值法的难点在于区域生态系统服务价值评估指标的筛选以及评估方法的运用。另外,基于该方法进行生态补偿,必须明确的关键性问题是,生态补偿的数量不直接以区域生态系统服务的存量价值为依据,而是以区域生态恢复所产生的新增生态系统服务价值作为补偿的理论限值。鉴于此,本文在青海三江源区生态补偿研究中,重点探讨如何选择生态补偿需求下的区域生态系统服务价值评估指标,如何提高区域生态系统服务价值的估算精度,以及如何确定生态保护和建设活动中的区域生态系统服务价值增益。草地是三江源区最主要的生态系统类型,退化草地的恢复与可持续管理是国家和地方政府对该区生态环境建设和投资的重心,故本文以三江源区退化草地恢复为例讨论相关生态补

偿问题,以期为三江源区生态补偿政策的制定提供科学基础,并对生态补偿量的测算方法研究进行补充。

1 研究区概况

三江源区地处青藏高原腹地、青海省南部,位于 $89^{\circ}24'—102^{\circ}23' E$ 和 $31^{\circ}39'—36^{\circ}16' N$ 之间,地势由东南至西北逐渐抬升,温度和降水量自东南向西北均逐渐降低,具有典型的高原大陆性气候特征^[11]。三江源区行政区域涉及果洛、玉树、海南、黄南 4 个藏族自治州的 16 个县和格尔木市的唐古拉乡,土地总面积约为 $36.30 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中草地面积约占全区总面积的 70%。三江源区是我国长江、黄河和澜沧江的发源地,素有“中华水塔”之称。它既是中国生态安全的重要屏障,同时也是自然生态系统最敏感和最脆弱的地区之一。2003 年,国家正式批准了三江源国家级自然保护区(以下简称“保护区”),总面积达 $15.23 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图 1)。2005 年,国家又开始启动实施了《青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划》,总投资超过 75 亿元,用于生态保护与建设、农牧民生产生活基础设施建设和科技支撑等建设项目;其中生态保护与建设投资 49.25×10^8 元,建设内容涉及退牧还草、已垦草原还草、退耕还林、生态恶化土地治理、森林草原防火、草地鼠害治理、水土保持和保护管理设施与能力建设等。

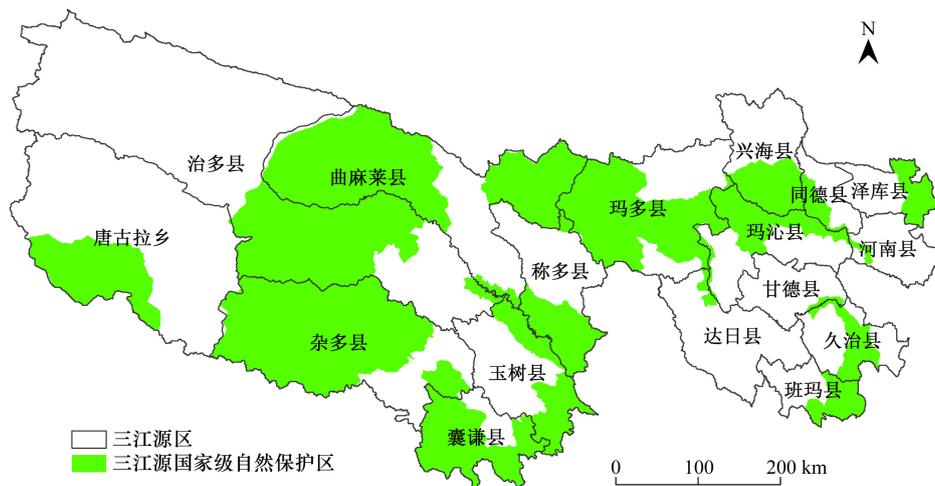


图 1 研究区的地理位置

Fig.1 Location of the study area

2 资料与方法

2.1 研究方法

本研究以生态系统服务价值为核心,首先根据三江源区生态系统的类型及其功能特点,构建区域生态系统服务分类体系,分析并筛选出适用于生态补偿目的的各项指标,然后综合考虑生态系统类型、植被覆盖状况以及气候因子的时空差异,确定各项价值指标的评估方法。其次,以 2005 年为基准年,估算生态保护和建设活动实施前的三江源区草地生态系统服务价值;在此基础上,结合专家咨询法获得的不同退化程度草地的生态功能系数,推算三江源区不同退化程度草地的单位面积生态价值。最后,将三江源区天然草地植被的覆盖特征与其草地植被的覆盖现状进行对比分析,测算基于退化草地完全恢复的生态系统服务价值增量,也就是生态补偿的数量。

2.1.1 生态补偿的经济学基础

自然生态系统为人类提供了丰富的物质生态产品(如粮食、水、燃料等)和重要的功能性服务(如调节气候、净化水源等),其中一部分产品和服务给人类带来了福利却没有进入市场,表现出正外部性。从经济学的角度来说,其价值的大小等于社会收益与私人收益的差额,即外部收益。如图 2 所示,MSR 为边际社会收益

曲线,MPR 为边际私人收益曲线,OS 为供给曲线。当不存在外部性时,边际社会成本与边际私人成本相等,边际社会收益与边际私人收益相等,可以达到资源配置的帕累托最优状态,在图 2 中表现为 MSR 与 MPR 重合,C 为社会最优点。然而,在生态环境保护领域,生态系统服务的正外部性特点使一部分价值无法在经济市场中得到体现,导致边际私人收益与边际社会收益相背离,在图 2 中表现为,MPR 曲线位于 MSR 曲线之下。当供给量为 Q 时,供给曲线 (OS) 高于边际私人收益 (MPR),为了追求利益的最大化,市场会减少生态系统服务的供给量,当边际私人收益曲线 (MPR) 与供给曲线 (OS) 相交于 E 点时,达到现实市场的均衡。从 C 到 E 的过程中,社会净福利减少了 EBC,私人减少的利益损失为 ECD。

正外部性的存在导致生态系统服务供给不足。在这种情况下,政府可以通过补贴或奖励等经济干预手段,激励人们从事生态保护与建设活动,提高生态系统服务供给水平,以达到私人最优与社会最优的一致,在图 2 中表示为,将生态系统服务供给量由 Q' 提高到 Q,市场均衡点由 E 变成 C。要使 MPR 与 MSR 的水平一致,从理论上,政府需要全部发放的补贴为 EBCD,而它恰好为外部收益的增加量 (即无法进入市场的那部分生态系统服务的价值增量)。在现实中,因为受社会生态价值购买意愿、补偿主体购买能力、保护主体强制意愿以及区域社会经济发展水平等实际因素的影响,生态补偿的数量与生态系统服务的价值增量不可能完全一致,常辅以利益主体相互协商的方式进行调整,但至少不低于外部成本 ECD^[9]。

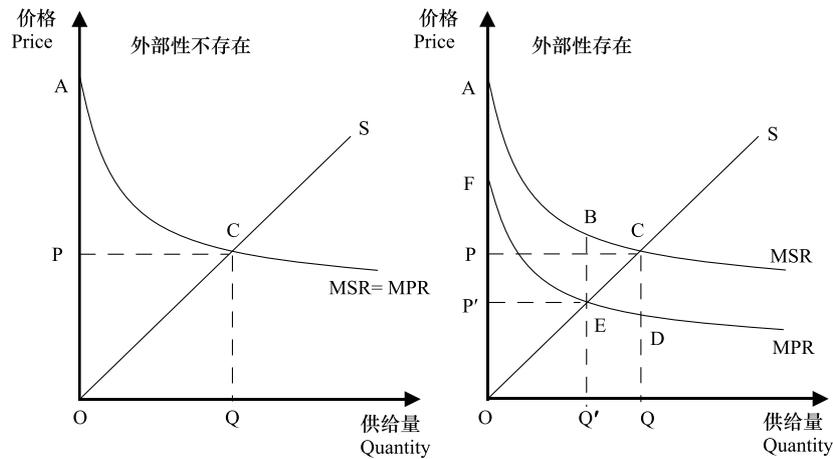


图 2 外部性不存在时的情况

Fig.2 the condition of non-externality

P: 价格 price; Q: 供给量 quantity; MSR: 边际社会收益曲线 Marginal Social Revenue Curve; MPR: 边际私人收益曲线 Marginal Benefit Curve; OS: 供给曲线 Supply Curve; C: 社会最优点; E: 市场均衡点; EBC: 社会净福利; ECD: 私人收益损失

2.1.2 生态系统服务价值评估指标选取

生态系统服务分类是生态系统服务价值评估的重要环节。当前,国内外学者对生态系统服务分类进行了诸多探讨,其中以 Costanza^[12]、De Groot^[13]以及 MA^[14] (Millennium Ecosystem Assessment) 的研究成果最具有代表性^[15]。由于 MA 提出的分类体系有助于反映生态系统服务与人类福祉的关系,本文依此将三江源区生态系统服务归纳为供给服务、调节服务、文化服务和支持服务四类,进而从研究区生态系统的类型、功能特点以及生态系统服务的重要程度等角度出发,构建了三江源区生态系统服务分类体系 (图 3)。由于土壤形成、初级生产等支持服务是其他服务的基础,其价值全部体现在其他三类服务上,对其估价会造成价值的重复计算,故不对支持服务进行估价^[14]。其次,三江源区供给服务和文化服务的价值能够在市场交易中得以实现,因此,本文基于生态补偿需求的生态系统服务价值评估主要针对调节服务而进行,涉及的评估指标具体包括水分调节价值、吸收 SO₂ 价值、固碳价值、保持土壤养分价值、减少废弃土地价值和减少泥沙淤积价值。

2.1.3 生态系统服务价值评估方法

借鉴 Costanza 等^[12]有关生态系统服务价值的计算模式,构建了生态补偿需求下的三江源区草地生态系

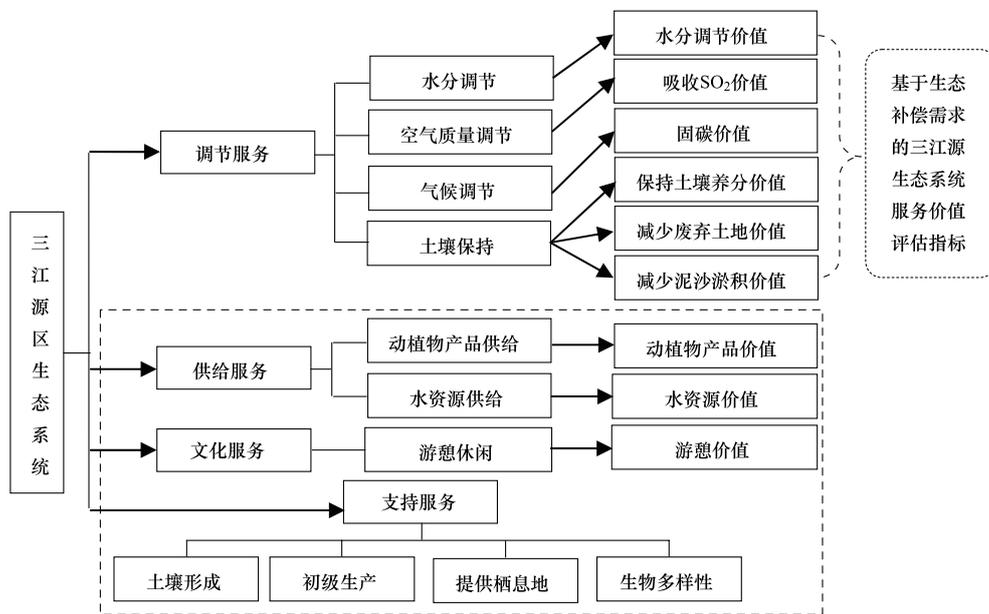


图 3 三江源区生态系统服务分类体系及价值评估指标

Fig.3 Classification system and valuation indicators of ecosystem services in the TRHR

统服务价值评估模型,公式如下:

$$V_{grass} = V_h + V_a + V_c + V_{s1} + V_{s2} + V_{s3} \quad (1)$$

式中, V_{grass} 为草地生态系统服务总价值, V_h 为水分调节价值, V_a 为吸收 SO_2 价值, V_c 为固碳价值, V_{s1} 为保持土壤养分价值, V_{s2} 为减少废弃土地价值, V_{s3} 为减少泥沙淤积价值。

采用物质量和价值量相结合的方法对各项指标逐一进行估算,具体步骤参见文献^[16]。

2.1.4 生态系统服务价值增益核算

(1) 草地植被退化状况分析

生态系统退化状况分析是生态系统服务价值增益核算的重要前提。首先从青海省草原总站提供的《青海草地资源》资料,提取青海省不同草地类型的自然特征数据(草地植被盖度);结合中国 1:100 万植被图,将三江源区不同草地类型的植被盖度进行空间属性赋值,得到三江源区天然草地植被盖度空间分布图。其次,利用 NDVI 遥感数据和像元二分法,得到 2005 年三江源区草地植被覆盖的空间分布图。最后,在划定天然草地退化程度标准的基础上,经过图层间的叠加计算,获得 2005 年三江源区不同退化程度草地的面积及空间分布图。植被盖度的计算公式(像元二分法)^[17]为:

$$c = \frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \quad (2)$$

式中, c 为植被盖度, $NDVI$ 为植被指数, $NDVI_v$ 为茂密植被覆盖的 $NDVI$ 值, $NDVI_s$ 为完全裸土像元的 $NDVI$ 值。

天然草地的退化程度可以通过群落种类组成、盖度、凋落物、产草量、可食牧草比例、可食牧草高度变化、鼠类变化、土壤状况以及草场质量等多种指标来反映^[18]。考虑到生态补偿的研究尺度,本文主要依据植被盖度变化这一关键性指标对天然草地的退化程度进行划分,具体判别标准如表 1 所示。

表 1 天然草地退化程度划分标准

Table 1 Degradation classification criteria of natural grassland

退化等级 Degradation grade	退化程度 Degradation degree	盖度 Vegetation coverage
1	原生植被	—
2	轻度退化	优势种盖度下降 20%
3	中度退化	优势种盖度下降 20%—50%
4	重度退化	优势种盖度下降 50%—90%
5	极度退化	优势种盖度下降 90%以上

(2) 不同退化程度草地单位生态价值的确定

本文引入生态功能系数,对 2005 年三江源区未退化草地的单位面积生态价值进行修正,以反映不同退化程度草地的生态价值的不同。就草地而言,其生态功能与覆盖度之间存在密切的关系^[19];邀请 5 个以上专家对不同退化程度草地的生态功能系数进行打分(专家咨询法)^[20],结果为:没有退化草地的生态功能系数为 1,轻度退化草地的生态功能系数为 0.8,中度退化草地的生态服务系数为 0.5,重度及重度以上退化草地的生态功能系数为 0.2。修正后的草地单位面积生态价值为:

$$\bar{V}_i = \bar{V}_{\text{grass}} \times m_i \quad (3)$$

式中, \bar{V}_i 为修正后的 i 类退化程度草地的单位面积生态价值, \bar{V}_{grass} 为未退化草地的单位面积生态价值, m_i 为 i 类退化程度草地的生态功能系数。公式中“ i ”的含义为:“1”代表未退化草地,“2”代表轻度退化草地,“3”代表中度退化草地,“4”代表重度及重度以上退化草地。

(3) 基于退化草地完全恢复的价值增益

生态恢复的最理想估计是将所有退化草地完全恢复。以 2005 年为起点,假设经过一段时间的整治和管理,能够使三江源区的轻、中、重度及重度以上退化草地全面恢复到未退化草地的水平,那么该区新增的生态系统服务价值总量为:

$$\Delta V = \bar{V}_1 \times A - \sum (\bar{V}_i \times A_i) \quad (4)$$

式中, ΔV 为新增生态系统服务价值总量, \bar{V}_1 为未退化草地的单位面积生态价值, A 为草地总面积, \bar{V}_i 为 i 类退化程度草地的单位面积生态价值, A_i 为 i 类退化程度草地的面积。

在现实条件下,生态保护和建设是一个循序渐进的过程。根据生态恢复措施的实施对象、实施规模、实施进度以及退化草地的恢复年限,计算生态恢复期内三江源区新增的生态系统服务价值,公式如下:

$$\Delta V_n = \sum (\Delta \bar{V}_i \times A_i) \quad (5)$$

式中, ΔV_n 为区域新增的生态系统服务价值, $\Delta \bar{V}_i$ 为 i 类退化程度草地的单位面积价值增量, A_i 为 i 类退化程度草地的面积。

某一生态恢复期内, i 类退化程度草地的单位面积价值增量的计算公式如下:

$$\Delta \bar{V}_i = \frac{\bar{V}_{i-1} - \bar{V}_i}{T_{(i,i-1)}} \times n \quad n \leq T_{(i,i-1)} \quad (6)$$

$$\Delta \bar{V}_i = (\bar{V}_{i-1} - \bar{V}_i) + \frac{\bar{V}_{i-2} - \bar{V}_{i-1}}{T_{(i-1,i-2)}} \times [n - T_{(i,i-1)}] \quad T_{(i,i-1)} < n \leq T_{(i,i-2)} \quad (7)$$

$$\Delta \bar{V}_i = (\bar{V}_{i-2} - \bar{V}_i) + \frac{\bar{V}_{i-3} - \bar{V}_{i-2}}{T_{(i-2,i-3)}} \times [n - T_{(i,i-2)}] \quad T_{(i,i-2)} < n \leq T_{(i,i-3)} \quad (8)$$

式中, $\Delta \bar{V}_i$ 为 i 类退化程度草地的单位面积价值增量, \bar{V}_i 、 \bar{V}_{i-1} 、 \bar{V}_{i-2} 和 \bar{V}_{i-3} 分别表示 i 、 $i-1$ 、 $i-2$ 、 $i-3$ 类退化程度草地的单位面积生态价值, $T_{(i,i-1)}$ 、 $T_{(i,i-2)}$ 和 $T_{(i,i-3)}$ 分别表示 i 类退化程度草地恢复至 $i-1$ 、 $i-2$ 、 $i-3$ 类退化水平的年限, n 为生态恢复措施的实施年数。 $\Delta \bar{V}_2$ 的计算公式采用(6); $\Delta \bar{V}_3$ 的计算公式采用(6)或(7); $\Delta \bar{V}_4$ 的计算公式采用(6)、(7)或(8)。

2.2 数据来源

本研究使用的数据及来源包括:(1) 土地利用/覆被数据,2005 年土地利用/覆被数据来源于中国资源与环境数据中心,分辨率为 1 km。(2) 遥感数据,2005 年 NPP 数据来源于美国蒙大拿大学森林学院工作组(The Numerical Terradynamic Simulation Group)提供的 MOD17A3 产品,分辨率为 1 km;2005 年 NDVI 数据来源于“国际科学数据服务平台”提供的 MODIS 月植被指数 L3 产品,分辨率为 1 km。(3) DEM 数据,DEM 数据及其衍生的坡度数据来源于地球系统科学数据共享平台(<http://www.geodata.cn/Portal/index.jsp>),分辨率为 1 km。(4) 气象数据,2003—2007 年三江源区 16 个气象台站的降水量和气温数据来源于中国气象科学数

据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>)。(5) 土壤数据,全国 1:100 万土壤类型分布图来源于中国资源与环境数据中心。(6) 植被类型数据,全国 1:100 万植被类型图来源于中国资源与环境数据中心。(7) 其他数据:主要包括《中国物价年鉴》、《青海统计年鉴》和《青海草地资源》等。

3 结果与分析

3.1 草地退化面积及空间分布

通过对三江源区天然草地植被盖度空间分布图和 2005 年三江源区草地植被覆盖度空间分布图进行叠加,用 2005 年影像数据的各像元植被覆盖减去天然草地植被覆盖图上对应像元的覆盖值,得到 2005 年三江源区草地退化的空间分布图(图 4);利用 ArcGIS 9.3 软件进行统计,得到 2005 年三江源区不同退化程度草地的面积(表 2)。从统计结果来看(表 2),2005 年三江源区草地退化面积 $20.68 \times 10^4 \text{ km}^2$,占全区草地总面积的 85.58%,草地退化状况以中、重度退化为主,其中,中度退化草地面积比例最高,占全区草地总面积的 38.42%。从草地退化的空间分布状况来看(图 4),未退化草地集中分布于东部和中南部地区,轻度退化草地面积较小,分散于唐古拉乡、治多县西部以及兴海县北部地区,中度退化草地的分布较广,除泽库县和河南县之外,其他各地均有较大面积分布,重度及重度以上退化草地集中分布于杂多县、唐古拉乡、称多县以及玛多县和达日县的大部分地区。

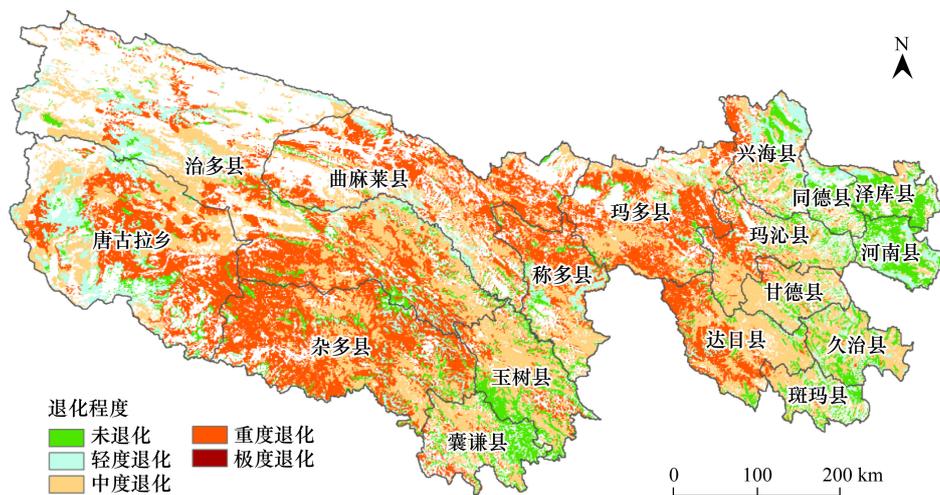


图 4 2005 年三江源区草地退化空间分布图

Fig.4 Spatial distribution of grassland degradation in the TRHR in 2005

表 2 2005 年三江源区草地退化面积统计表

Table 2 Area of grassland degradation in the TRHR in 2005

退化程度 Degradation degree	未退化 Non-degradation	轻度退化 Mild degradation	中度退化 Moderate degradation	重度退化 Heavy degradation	极度退化 Severe degradation
面积 Area/ km^2	34851	25936	92854	87866	154
比例 Proportion/%	14.42	10.73	38.42	36.36	0.06

3.2 不同退化程度草地的单位生态价值

对三江源区草地生态系统服务价值各项指标的评估表明(图 5):三江源区草地生态系统服务价值巨大,2005 年水分调节、空气质量调节、气候调节和土壤保持价值分别为 706.87×10^8 元、 8.56×10^8 元、 246.18×10^8 元和 106.81×10^8 元(包括保持土壤养分价值 101.19×10^8 元,减少废弃土地价值 0.62×10^8 元,减少泥沙淤积价值 5.00×10^8 元),共计 1068.42×10^8 元。2005 年草地面积约占全区总面积的 70%,其水分调节价值在四项生态服

务价值总量中所占比例高达 66.16%,再次印证了三江源区作为水源发源地在水量平衡、调节区域水分循环和改善水文状况等方面做出的贡献。结合专家咨询法,引入生态功能系数,对三江源区未退化草地的平均单位生态价值进行修正,最终得到未退化、轻度退化、中度退化和重度及重度以上退化草地的单位面积生态价值(表 3)。

3.3 生态补偿量的确定

生态补偿量主要通过生态恢复所产生的新增生态系统服务价值来厘定。生态保护和建设活动实施前,三江源区轻、中、重度及重度以上退化草地的面积分别为 25936 km²、92854 km² 和 88020 km²,利用公式(4),计算得到三江源区基于所有退化草地完全恢复的生态补偿

总量为 911.62×10⁸元,其中,针对轻度退化草地完全恢复的补偿量为 38.75×10⁸元,针对中度退化草地完全恢复的补偿量为 346.83×10⁸元,针对重度以及重度以上退化草地完全恢复的补偿量为 526.04×10⁸元。

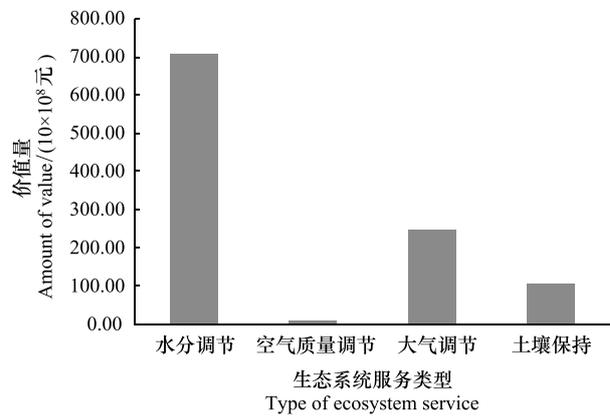


图 5 2005 年三江源区草地生态系统服务价值量

Fig.5 Ecosystem services value of grassland in the TRHR in 2008

表 3 三江源区不同退化程度草地的单位生态价值

Table 3 Unit ecosystem service values of different degraded grassland in the TRHR

退化程度 Degradation degree	修正系数 Modified coefficient	水分调节价值 Value of water regulation (10 ⁴ 元/km ²)	空气质量调节价值 Value of air quality regulation/ (10 ⁴ 元/km ²)	大气调节价值 Value of climate regulation/ (10 ⁴ 元/km ²)	土壤保持价值 Value of soil conservation/ (10 ⁴ 元/km ²)	合计 Total/ (10 ⁴ 元/km ²)
未退化 Non-degradation	1	38.73	0.59	15.29	20.10	74.70
轻度退化 Mild degradation	0.8	30.98	0.47	12.23	16.08	59.76
中度退化 Moderate degradation	0.5	19.36	0.29	7.64	10.05	37.35
重度及重度以上退化 Heavy and severe degradation	0.2	7.75	0.12	3.06	4.02	14.94

赵新全等^[18]通过试验发现,三江源区草地生态系统一般经过 3—6a 能够得到基本恢复,其中,轻、中度退化草地在 3—4a 基本上能恢复到未退化前的水平,重度及重度以上退化草地的自然恢复能力很差,必须经过 6a 或者更长的时间才能达到恢复植被的目的。在此,确定三江源区轻度退化草地恢复至未退化水平的 a 限为 3a,中度退化草地恢复至轻度退化水平的年限为 1a,重度退化草地恢复至中度退化水平的年限为 4a,并将三江源区生态恢复过程大致分为 4 个阶段:第 1 阶段将中度退化草地恢复至轻度退化水平,时间为 1a;第 2 阶段将原轻、中度退化草地全部恢复至未退化水平,同时,将原重度及重度以上退化草地恢复至中度退化水平,时间为 3a;第 3 阶段将原重度及重度以上退化草地恢复至轻度退化水平,时间为 1a;第 4 阶段将原重度及重度以上退化草地全面恢复至未退化水平,时间为 3a。根据公式(5) — (8),计算得到不同恢复阶段三江源区应获的补偿金额(表 4):第 1 阶段为 270.34×10⁸元,第 2 阶段为 312.51×10⁸元,第 3 阶段为 197.26×10⁸元,第 4 阶段为 131.51×10⁸元。

4 讨论

(1) 基于生态系统服务价值进行生态补偿研究的首要问题,是弄清生态系统服务价值与生态补偿之间的关系。本文从经济学的角度出发,以外部性理论为基础,阐述了生态补偿的最佳补偿额应该是由生态恢复所产生却无法进入市场的新增生态系统服务价值。许多学者亦将生态系统服务价值增量作为生态补偿量测算

的重要依据之一,例如,钟瑜等^[21]以鄱阳湖区为例,对退田还湖的新增游乐和科教价值、生物多样性价值和降解污染物价值进行了量化研究,并以此作为补偿的上限;XIONG 等^[22]在生态系统服务价值分类的基础上,将旅游服务、吸收 N 服务和吸收 CO₂服务的价值增量作为洞庭湖湿地恢复补偿的上限;张落成等^[23]认为,水源地保护的最高补偿金额应该等于因生态环境保护而增加的水资源价值量;杨光梅^[24]根据草地退化状况和谢高地等人^[25]提出的草地单位面积生态价值,估算了内蒙古锡林郭勒草原恢复和治理的生态服务价值增量,并将估算结果用作经济补偿的理论限额。通过总结发现,以往研究虽然用生态系统服务价值增量来确定生态补偿的额度,但在生态系统服务价值指标的选取上存在很大的主观性。本研究认为,指标选取应该满足生态补偿的研究需要;由于现有的生态系统服务价值评估的理论、框架和方法不直接以生态补偿为目的,因此,在进行价值估算前,应根据区域生态系统的类型及功能特点,选取基于生态补偿需求的生态系统服务价值指标。另外,本文还对生态系统服务价值的评估方法和价值增益的核算方法等问题逐一进行了分析和回答。在综合考虑生态系统类型、植被覆盖状况以及气候因子的时空差异的基础上,运用 RS、GIS 技术和经济学方法,对生态系统服务价值进行定量估算,有利于提高区域生态系统服务价值的估算精度。

表 4 不同阶段退化草地恢复的生态补偿量

Table 4 Amount of eco-compensation in different stages based on grassland restored in the TRHR

实施进度 Implementation stage	轻度退化草地 Mild degraded grassland/ (10 ⁸ 元)	中度退化草地 Moderate degraded grassland/(10 ⁸ 元)	重度及重度 以上退化草地 Heavy and severe degraded grassland/(10 ⁸ 元)	合计 Total/ (10 ⁸ 元)
第 1 阶段 Stage One	12.92	208.10	49.32	270.34
第 2 阶段 Stage Two	25.83	138.73	147.95	312.51
第 3 阶段 Stage Three	—	—	197.26	197.26
第 4 阶段 Stage Four	—	—	131.51	131.51

(2) 生态系统服务价值增益核算包含 3 个重要的步骤,一是判断区域生态系统的退化状况,二是设定区域生态保护和恢复的目标,三是确定退化生态系统的单位面积生态价值。刘纪远等^[26]在三江源区草地退化研究中,通过前后两期遥感图像色调和纹理特征的对比,分析了近 30 年来三江源区草地退化的时空特征。由于本研究设定的生态恢复目标,不只是追溯到 20 世纪 70 年代的水平,而是恢复到自然状态下的草地植被状况,因此,主要对比了生态保护和建设活动实施前(2005 年)的三江源区草地植被覆盖和天然草地植被覆盖状况,退化草地的判读标准和结果也与现有研究有所不同。在退化草地的单位面积生态价值估算中,本文考虑到,生态系统服务价值的大小与土地利用类型、植被覆盖度以及气候等众多因素紧密相关,而当前的技术很难分离植被覆盖要素和其他因素对生态系统服务价值的贡献,因而结合专家咨询法,引入生态功能系数,对三江源区未退化草地的平均单位生态价值进行修正,以此来确定不同退化程度草地的单位面积生态价值。

(3) 生态补偿量的确定将影响生态补偿的效果,是生态补偿研究的重要内容。本研究结果显示,三江源区基于退化草地完全恢复的最高补偿量为 911.61×10^8 元。为了增强生态补偿的现实有效性,可根据人们对生态价值的认识水平、生态环境需求以及经济发展状况,灵活调整生态恢复措施的规模、分布及实施进度,制定出不同层次的补偿方案。此外,应该提供的补偿、能够提供的补偿与需要提供的补偿之间存在一定差异,利用生态系统服务价值法计算得到的结果是应该提供的补偿额度,今后可结合生态保护和恢复的成本、生态系统服务供求双方的补偿意愿以及需求方的补偿能力等因素,对三者之间的关系做进一步探讨。

5 结论

(1) 本文以外部性理论为基础,阐述了生态补偿的最佳补偿额应该是由生态恢复所产生却无法进入市场的新增生态系统服务价值。通过分析发现,三江源区基于生态补偿需求的生态系统服务价值主要由水分调节、空气质量调节、气候调节和土壤保持价值所组成;采用物质量和价值量相结合的方法折合成货币形式,得

到生态保护和建设活动实施前(2005年)的三江源区草地生态系统服务价值为 1068.42×10^8 元。

(2) 引入生态功能系数,对三江源区草地生态系统服务价值进行修正,得到未退化草地的单位面积生态价值为 74.70×10^4 元/ km^2 ,轻度退化草地的单位面积生态价值为 59.76×10^4 元/ km^2 ,中度退化草地的单位面积生态价值为 37.35×10^4 元/ km^2 ,重度以及重度以上退化草地的单位面积生态价值为 14.94×10^4 元/ km^2 。

(3) 依据三江源区草地退化现状和生态恢复的目标,推算出三江源区退化草地完全恢复的生态补偿总量应为 911.62×10^8 元,其中,针对轻度退化草地完全恢复的补偿量为 38.75×10^8 元,针对中度退化草地完全恢复的补偿量为 346.83×10^8 元,针对重度以及重度以上退化草地完全恢复的补偿量为 526.04×10^8 元。

参考文献(References):

- [1] 李文华,李芬,李世东,刘某承.森林生态效益补偿的研究现状与展望.自然资源学报,2006,21(5):677-688.
- [2] 戴君虎,王焕炯,王红丽,陈春阳.生态系统服务价值评估理论框架与生态补偿实践.地理科学进展,2012,31(7):963-969.
- [3] 李文华,刘某承.关于中国生态补偿机制建设的几点思考.资源科学,2010,32(5):791-796.
- [4] 张蓬涛,张贵军,崔海宁.基于退耕的环京津贫困地区生态补偿标准研究.中国水土保持,2011,(6):9-12.
- [5] 曹叶军,李笑春,刘天明.草原生态补偿存在的问题及其原因分析——以锡林郭勒盟为例.中国草地学报,2010,32(4):10-16.
- [6] 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.水土保持通报,2012,32(4):158-163.
- [7] 陈静,张虹鸥,吴旗韬.我国生态补偿的研究进展与展望.热带地理,2010,30(5):503-509.
- [8] 杨光梅,闵庆文,李文华,刘璐,荣金凤,吴雪宾.基于CVM方法分析牧民对禁牧政策的受偿意愿——以锡林郭勒草原为例.生态环境,2006,15(4):747-751.
- [9] 段靖,严岩,王丹寅,董正举,代方舟.流域生态补偿标准中成本核算的原理分析与方法改进.生态学报,2010,30(1):221-227.
- [10] 杨光梅,李文华,闵庆文.生态系统服务价值评估研究进展——国外学者观点.生态学报,2006,26(1):205-212.
- [11] 樊江文,邵全琴,刘纪远,王军邦,陈卓奇,钟华平,徐新良,刘荣高.1988-2005年三江源草地产草量变化动态分析.草地学报,2010,18(1):5-10.
- [12] 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.
- [13] De Groot R S, Wilson M A, Bouman R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. Ecological Economics, 2002, 41(3):393-408.
- [14] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Policy Response, Findings of the Responses Working Group. Washington D C: Island Press, 2005.
- [15] 张彪,谢高地,肖玉,伦飞.基于人类需求的生态系统服务分类.中国人口资源与环境,2010,20(6):64-67.
- [16] 赖敏,吴绍洪,戴尔阜,尹云鹤,潘韬,赵东升.生态建设背景下三江源自然保护区生态系统服务价值变化.山地学报,2013,31(1):8-17.
- [17] 王瑞杰,覃志豪,姜立鹏,叶柯.中国草原生态系统退化的价值损失量遥感估算.生态学杂志,2007,26(5):657-661.
- [18] 赵新全.三江源区退化草地生态系统恢复与可持续管理.北京:科学出版社,2011.
- [19] 李建国,王冬艳,杨德明,韩春花.吉林省西部草场退化的经济损失评估.生态科学,2004,23(4):327-330.
- [20] 粟晓玲,康绍忠,佟玲.内陆河流域生态系统服务价值的动态估算方法与应用——以甘肃河西走廊石羊河流域为例.生态学报,2006,26(6):2011-2019.
- [21] 钟瑜,张胜,毛显强.退田还湖生态补偿机制研究——以鄱阳湖区为案例.中国人口资源与环境,2002,12(4):46-50.
- [22] Xiong Y, Wang K L. Eco-compensation effects of the wetland recovery in Dongting Lake area. Journal of Geographical Sciences, 2010, 20(3):389-405.
- [23] 张落成,李青,武清华.天目湖流域生态补偿标准核算探讨.自然资源学报,2011,26(3):412-418.
- [24] 杨光梅.基于生态系统服务的生态补偿理论与实证研究[D].北京:中国科学院研究生院,2007.
- [25] 谢高地,鲁春霞,肖玉,郑度.青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估.山地学报,2003,21(1):50-55.
- [26] 刘纪远,徐新良,邵全琴.近30年来青海三江源地区草地退化的时空特征.地理学报,2008,63(4):364-376.