

DOI: 10.20103/j.stxb.202305120997

吴春生, 张鹏, 戴尔阜, 尹君. 基于生态系统服务的生态补偿政策制定探讨. 生态学报, 2023, 43(24): 10032-10041.

Wu C S, Zhang P, Dai E F, Yin J. Discussion on policy formulation of ecological compensation based on ecosystem services. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(24): 10032-10041.

## 基于生态系统服务的生态补偿政策制定探讨

吴春生<sup>1,2</sup>, 张 鹏<sup>1,2</sup>, 戴尔阜<sup>1,2,\*</sup>, 尹 君<sup>3</sup>

1 中国科学院地理科学与资源研究所 生态系统网络观测与模拟重点实验室拉萨高原生态系统研究站, 北京 100101

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 拉萨青藏高原科学研究中心, 拉萨 850000

**摘要:**生态补偿是促进生态保护、协调区域发展的有效手段,生态系统服务理论和方法为制定多元化生态补偿政策提供了科学基础,科学理解生态系统服务在解决生态补偿核心问题上的优势和不足,对于优化生态补偿政策具有重要意义,也是生态学、地理学与社会经济学等多学科交叉的研究前沿和热点。在综合分析相关研究成果的基础上,总结了基于生态系统服务的生态补偿研究技术方法,评述了相关研究和实践应用的进展和不足,并针对生态补偿的核心问题探讨了未来研究思路 and 方向,包括将生态系统服务流与生态补偿政策制定的结合研究,参照思路方向设计了基于生态系统服务的生态补偿政策制定流程框架,为后期相关研究提供了理论和方法参考。

**关键词:**生态补偿;生态系统服务;生态系统服务流;生态补偿能力

## Discussion on policy formulation of ecological compensation based on ecosystem services

WU Chunsheng<sup>1,2</sup>, ZHANG Peng<sup>1,2</sup>, DAI Erfu<sup>1,2,\*</sup>, YIN Jun<sup>3</sup>

1 Lhasa National Ecological Research Station, Key Laboratory of Ecosystem Network Observation and Modelling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

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

3 Lhasa Tibetan Plateau Scientific Research Center, Lhasa 850000, China

**Abstract:** Ecosystem services depend on the natural conditions of the background, and the level of social and economic development between regions makes obvious differences in the degree of natural land use, which leads to the spatial heterogeneity of ecosystem services. There is a spatial mismatch between the supply and demand of ecosystem services, which leads to a spillover effect of ecosystem services. Ecological compensation is a method that uses economic means to solve the ecological benefit externalities caused by the failure of market mechanisms and to maintain fairness in social development, which has been an effective countermeasure to solve the spillover effect of ecosystem services and an effective means to promote ecological protection and coordinate regional development. The theory and method of ecosystem services provide a scientific basis for formulating diversified ecological compensation policies, which obtained through the value of ecosystem services can maximize ecological benefits and is the best type of compensation in theory. In particular, the proposal and application of the theory of ecosystem service flow provides more scientific and technical support for the design of multilevel ecological compensation policies. Therefore, the scientific understanding of advantages and disadvantages of

基金项目: 西藏科技计划项目(XZ202301ZY0040G); 国家自然科学基金项目(32171574); 西藏重大科技专项(XZ202101ZD0007G, XZ202201ZD0005G05) 收稿日期: 2023-05-12; 采用日期: 2023-11-13

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: daief@igsrr.ac.cn

ecosystem services in solving the core issues of ecological compensation is of great significance for optimizing ecological compensation policies, which is also the research frontier and hot spot of ecology, geography and social economics. On the basis of comprehensive analysis of relevant domestic and foreign literature, this study summarized the research techniques and methods of ecological compensation based on ecosystem services and reviewed the progress and shortcomings of relevant researches and practical applications. The result points out that the current ecological compensation is mainly vertical compensation, and the horizontal compensation is rarely applied in practice. The application of ecosystem service flow to the formulation of ecological compensation has great potential, but the current researches still cannot meet the needs of the formulation of ecological compensation policy, and the exploration of the process mechanism of ecosystem service flow should be strengthened in the later research. The evaluation of the effect of ecological compensation policy is not enough, and it is necessary to improve the ecological compensation policy according to the compensation effect. In view of the core issues of ecological compensation, this study puts forward suggestions for future research and practice from the aspects of top-level design of ecological compensation policy, exploitation of ecosystem service application potential and exploration of ecosystem service flow process mechanism, and discusses future research ideas and directions, including the combination of ecosystem service flow and ecological compensation policy formulation. Finally, a process framework of ecological compensation policy formulation based on ecosystem services is designed with reference to the future research ideas and directions, which will provide theoretical and methodological reference for the later related research and help promote the theoretical development of ecological compensation and ecosystem services.

**Key Words:** ecological compensation; ecosystem service; ecosystem service flow; ecological compensation capacity

我国国土幅员辽阔,巨大的气候差异和地形起伏使得我国地理和生态条件呈现显著的水平 and 垂直地带性,形成了众多生态系统脆弱区<sup>[1-2]</sup>;多数生态系统脆弱区兼具多样的生态系统服务,保障了区域生态安全,但强烈的人类活动加剧了生态退化,其恶性影响已突破本地范围,对周边地区的生态安全也产生了严重威胁<sup>[3-4]</sup>。近几十年我国实施了一系列生态保护和修复工程,包括退耕还林(草)、天然林保护和北方风沙治理等,工程实施有效保护和修复了生态环境,但同时也限制了工程区经济发展,再加上我国生态系统脆弱区多处于偏远地带,经济发展水平本就落后,生态保护和经济发展之间出现较大矛盾<sup>[5]</sup>。国家生态补偿政策有力缓解了这一矛盾,但同样面临补偿资金少、补偿对象不明确和资金分配不均等问题,生态保护效果和利益相关者参与积极性难以达到预期,需要引入更加科学的理论方法,优化设计多元化的生态补偿政策,切实发挥促进生态保护和协调区域发展的作用。

生态系统服务是指人类从生态系统中直接或间接获取的各种产品和福利,其已成为自然生态和社会经济系统结合研究的重要桥梁<sup>[6]</sup>,生态系统服务量化评估和实践应用也是目前的研究热点。生态系统服务从生态学角度进行的量化称作生态系统服务物质量,但因不同类型生态系统服务物质量计量单位不同而难以进行综合分析<sup>[7-9]</sup>,学者们借鉴国内生产总值(GDP)的表达方式,利用市场模型将生态系统服务进行价值化<sup>[6]</sup>,使结果更易与经济指标对比,也为其应用于生态补偿政策制定提供了方法基础。自1997年Costanza提出并实施生态系统服务价值评估以来<sup>[10]</sup>,有关生态系统服务分类体系设计和价值化模型构建的研究迅速增多,如联合国千年生态系统评估项目(MA)和环境经济综合核算(SEEA)实验生态账户(EEA)都构建了较为全面的指标体系并被全球学者参考引用<sup>[11-16]</sup>,而国内欧阳志云和谢高地各自发展的理论和研究方法也得到国内学者的认可并被广泛引用<sup>[17-19]</sup>。学者们基于各自研究目的不断改进评估模型方法<sup>[20]</sup>,有力推动了生态系统服务的学科发展,生态系统服务评估结果也逐渐被应用于地方生态保护和经济发展规划<sup>[21]</sup>,目前已有专家建议将其列为第四产业作为国民经济发展的考核指标<sup>[22-24]</sup>。生态系统服务流概念的出现使得生态系统服务向动态化研究延伸<sup>[25-27]</sup>,生态系统服务从供给区依附某种载体在自然和人为因素的驱动下向需求区传输的认知为生态补偿政策制定提供了更加可靠的科学依据。

生态补偿和生态系统服务研究日趋成熟,学者们对两者的结合研究也开展了较多尝试,但目前仅限于科学探索,相关成果尚未在现实政策中得到推广应用,还有较多问题未解决,需要继续挖掘生态系统服务应用的潜力。本文拟通过系统评述生态系统服务应用于生态补偿政策制定中存在的问题和不足,提出相应解决方案,并构建基于生态系统服务的生态补偿政策制定技术框架,为后期相关研究提供方法参考,也为推动生态补偿和生态系统服务的理论发展助力。

## 1 生态补偿政策制定发展

“生态补偿”一词常出现在我国的学术成果和政策文件中,国际上通常称其为“生态服务付费”、“生态效益付费”<sup>[28]</sup>,是一种激励生态系统服务提供者提供具有外部性或公共物品属性生态系统服务的机制。生态补偿理论研究和应用最早出现在欧美国家,包括 1930 年代美国用于土壤保护而削减特定农产品的补偿方案和 1970 年代奥地利农业生态系统服务补偿方案等<sup>[28-29]</sup>;20 世纪 90 年代开始受到国际学术界的高度关注,北美洲、欧洲、亚洲、拉丁美洲和非洲多个国家都开展了相关理论探索,但共识性的生态补偿定义的形成却经历了较长时间<sup>[30-31]</sup>。早期毛显强等归纳了我国学者对生态补偿的研究,将生态补偿定义为“通过对损害(或保护)资源环境的行为进行收费(或补偿),提高该行为的成本(或收益),从而激励损害(或保护)行为的主体减少(或增加)因其行为带来的外部不经济性(或外部经济性),达到保护资源的目的”<sup>[32]</sup>。李文华等人提出“生态(保护)补偿是一种以保护生态系统服务、促进人与自然和谐相处为目的,根据生态系统服务价值、保护和机会成本,运用市场手段,调节生态保护者、受益者和破坏者经济利益关系的制度安排”<sup>[33-34]</sup>。国际上接受度较高的是国际林业研究中心(CIFOR)的 Wunder 通过总结已有生态补偿概念后给出的定义:“生态(保护)补偿是基于生态系统服务使用者和提供者双方协定的自然资源管理规定而产生被补偿的生态系统服务,进行的有条件的自愿付费交易”<sup>[29,35-36]</sup>。学者们对生态补偿的定义存在区别,但各定义都具有相似的内涵<sup>[31,37]</sup>,即生态补偿是利用经济手段解决由市场机制失灵导致的生态效益外部性并维持社会发展公平性的方法机制<sup>[38]</sup>,通过调整利益相关者的利益关系<sup>[39]</sup>,激励人们维护和保育生态系统,达到生态保护和效益权衡目的<sup>[40]</sup>,生态补偿是一种激励机制而不是惩罚机制<sup>[41-42]</sup>。

我国生态补偿政策经历了“破坏者补偿”、“保护者补偿”和“使用者付费”的演变历程。早期实践可追溯到 1980 年云南省对矿山开采产生环境破坏进行的索赔<sup>[43]</sup>;而后我国分阶段实施的天然林资源保护工程(1998 年)、退耕还林工程(1999 年)、森林生态效益补偿(2001 年)<sup>[34,44-45]</sup>、中央财政转移支付(2009 年)<sup>[4]</sup>等都属于“保护者受偿”的范畴;以下游水质达标为基本原则的安徽和浙江两省创新研发了跨省流域生态补偿“新安江”模式<sup>[46]</sup>,实现了我国“使用者付费”补偿政策的突破,并为横向生态补偿政策设计提供了方法借鉴<sup>[47-48]</sup>。目前我国生态补偿政策依然是以国家中央财政转移支付为主,对生态效益的受益范围和受益量未做科学认定,而且纵向补偿覆盖范围有限,利益相关者之间存在较大冲突,无法彻底解决保护和发展矛盾,同时对中央财政也产生巨大支付压力,生态补偿政策效果难达预期。国家最新发布的《关于建立健全生态产品价值实现机制的意见》《关于深化生态保护补偿制度改革的意见》《支持引导黄河全流域建立横向生态补偿机制试点实施方案》等文件鼓励地区间根据生态补偿需求和财政支付能力,制定纵向和横向相结合的生态补偿政策<sup>[40,49]</sup>,为创新性综合生态补偿制度设计提供了法规依据。

生态补偿制定的方法可概括为三种,即机会成本法、支付意愿法和生态系统服务价值法<sup>[39]</sup>,国外研究侧重于机会成本法和支付意愿法<sup>[50-51]</sup>,而我国学者更倾向于对生态系统服务价值法的创新应用,三种方法各具优势与局限性(表 1)。机会成本法应用较为广泛,但该方法存在的不确定因素较多,如生态建设投入成本与生态效益之间并不一定等价,成本收益仅为静态计量,未考虑生态环境的动态演变,生态建设产生的生态效益可能会远超投入成本,导致生态补偿额度偏低,学者们多将其视为生态补偿的下限<sup>[52]</sup>。支付意愿法受主观因素影响大,虽然综合了利益相关者的意愿、支付能力和社会承受力,但对被调查者的知识背景依赖太高<sup>[43,53]</sup>,常出现受偿意愿远超补偿意愿的结果,无法满足利益相关者的需求,仅可作为生态补偿设定的参考,国外研究

主要关注补偿意愿的时空配置,对补偿额度的设定研究较少<sup>[53]</sup>。生态系统服务价值法基于客观的生态系统类型将生态效益划定成不同的生态系统服务类型,计算过程中的主观影响较小<sup>[54]</sup>,易于表征区域间生态效益差异,通过该方法获取的生态补偿标准能够实现生态效益的最大化<sup>[38]</sup>,是理论上的最佳补偿,目前越来越多的学者开始对其进行研究和应用。

表 1 生态补偿标准制定主要方法对比

Table 1 Comparison of main methods of setting ecological compensation standard

方法名称 Name	方法原理 Principle	量化模型 Quantized model	优缺点 Merits and demerits
机会成本法 Opportunity cost	按生态保护与建设的直接投入和放弃的直接利益进行补偿。	成本核算法	优点:数据收取方便,成本核算简单。 缺点:未考虑生态环境的动态演变,生态建设的生态效益远超成本,生态补偿额度偏低。
支付意愿法 Willingness to pay	模拟市场情况下,根据被调查者的意愿进行补偿。	被调查者支付额度意愿	优点:基础资料易于获取,可操作性强。 缺点:主观因素影响强,受偿和补偿意愿严重不对等。
生态系统服务价值法 Ecosystem services value	按生态系统产生的生态福祉时空差异进行补偿。	生态模型、当量因子法、能值法、生态足迹法	优点:客观性强,能够实现生态效益的最大化。 缺点:核算额度偏高,易超出支付能力。

## 2 基于生态系统服务的生态补偿制定存在的问题

生态补偿制定的核心问题包括补偿方和受偿方确定、补偿额度核算以及补偿方式设计<sup>[55-58]</sup>,有学者提出生态补偿效果评估对于反馈和完善整个生态补偿政策具有重要作用<sup>[43, 8-59]</sup>,也应作为生态补偿政策制定的一个核心问题。生态系统服务评估模型架构为生态系统服务解决这些核心问题提供了方法基础<sup>[60]</sup>,但生态系统服务价值核算结果往往较大,不能直接作为生态补偿额,所以学者们建议将其设定为生态补偿上限,与作为下限的机会成本法核算结果组成阈值区间<sup>[52]</sup>,再结合地区生态系统服务水平与社会经济情况设置系数进行生态补偿标准设计。针对生态补偿的核心问题,目前研究还存在较大不足,仍有较大探索空间。

### 2.1 补偿方和受偿方的确定

已有研究大都以生态系统服务价值的时空差异性为基础确定补偿方和受偿方,时间差异是相对基准年的生态系统服务增量<sup>[38, 61]</sup>,但基准年的选取存在很大不确定性,而且基于时间差异制定的生态补偿以纵向补偿为主<sup>[62]</sup>;生态系统服务价值空间差异为生态补偿制定提供了多种横向选择,结合社会经济发展指标(人口和GDP),对比区域间的生态系统服务价值<sup>[63]</sup>,依据正负关系明确补偿方和受偿方,目前依据此方法的生态补偿研究逐渐增多<sup>[64]</sup>,而且应用于生态补偿制定的生态系统服务类型也有最初的全部类型缩减至调节服务,极大减小了补偿额的上限值。

上述方法的主要问题在于学者们仅根据自身研究需要设定研究区,而忽略了生态系统服务的自然属性<sup>[65]</sup>,其并不受行政边界的束缚,研究区内获得的生态效益并不一定来自于本研究区,这也是导致补偿方补偿意愿低的重要原因,由此制定的补偿政策也将难以实施。如学者以整个江苏省为研究区开展的横向生态补偿研究中<sup>[66]</sup>,并未深入探讨苏南地区享受的生态系统服务是否来自苏中或苏北,从生态地理角度看,大部分生态系统服务更可能来自于安徽南部地区,所以要求苏南地区补偿苏北和苏中从生态理论角度将有失公允。

### 2.2 补偿额度与补偿方式设定

生态系统服务价值时空间差异可作为生态补偿额度的量化依据,但数额依然太大,部分学者将研究方向转移至生态系统服务价值增量与生态补偿额度之间的调整系数设定上(表2)。生态补偿优先级<sup>[67]</sup>和生态补偿需求强度<sup>[54, 68]</sup>是目前针对受偿方应用较多的补偿系数,两者将非市场服务价值与GDP的比值进行函数转换<sup>[69-72]</sup>,明确研究范围内不同行政区受偿的重要性和主次关系;补偿能力系数<sup>[33]</sup>和支付意愿系数<sup>[73]</sup>则是从

补偿方角度设定的指标,注重补偿方对生态系统服务补偿意愿的量化以及补偿方和受偿方之间经济水平的对比<sup>[74]</sup>,利用恩格尔系数进行函数转换获取相应数值,在解决补偿额度较大的问题上具有一定效果<sup>[75]</sup>。生态补偿优先级和需求强度的设定是基于某一年份生态系统服务价值的流量<sup>[76-78]</sup>,而受偿额度确定多是参考经验系数<sup>[44,69]</sup>,补偿方式主要为纵向补偿<sup>[79]</sup>;补偿能力系数和支付意愿系数是在预先指定受偿方的条件下,基于研究区不同年份之间的生态系统服务价值差异设定补偿额度<sup>[78]</sup>,适用于横向补偿;尚未找到四种系数用于同一补偿实践的研究,而且各系数的计算方法也有待商榷。

基于生态系统服务价值的生态补偿额度偏高,且多是出于服务供给角度。有学者基于生态系统服务外溢提出了人均和单位面积最适生态调节服务价值<sup>[65]</sup>,利用调节服务价值总量、人口与区域面积探明是否存在生态系统服务外溢,进而明确受偿方和补偿方,根据地区发展水平判定补偿方能否支付生态补偿,并依据恩格尔系数构建调整系数确定最终补偿额<sup>[40]</sup>;该方法为提供了新思路,但对于人均和单位面积最适调节服务价值的量化缺少依据。

表 2 生态补偿额度和补偿方式设计系数

Table 2 Ecological compensation amount and compensation mode coefficient

系数名称 Name	基本原理 Principle	量化模型 Quantized model
生态系统服务付费 Payment for ecosystem services	从人口和区域面积角度对比基准年的生态系统服务差异。	$PES = \lambda \times PES_p + (1 - \lambda) \times PES_a$ PES 为生态系统服务付费额度, $PES_p$ 和 $PES_a$ 为依据人口和面积计算的生态系统服务付费额度。 $\lambda$ 为权重, $PES_p$ 和 $PES_a$ 计算过程见文献 <sup>[63-64]</sup> 。
补偿优先级 Ecological compensation priority sequence	需要根据生态系统服务价值与经济水平的对比进行有次序的补偿。	$ECPS = V/GDP$ V 为单位面积生态系统非市场价值。
补偿需求强度 Ecological compensation demand strength	生态受偿额度在不通区域间的存在差异。	$t = 2 \times (\arctan ECPS) / \pi$ ECPS 为生态补偿优先级。
支付意愿系数 Coefficient of willingness to pay	随着经济发展水平的提高,民众对于支付生态系统服务的意愿会逐渐提高。	$L = \frac{1}{1 + e^{-t}}, t = \frac{1}{E_n} - 3$ $E_n$ 为恩格尔系数。
补偿能力系数 Ecological compensation capacity coefficient	补偿双方的经济发展水平应作为补偿额度的界定依据。	$k = \frac{GDP_i}{GDP_T}$ , $GDP_i$ 为支付方 GDP, $GDP_T$ 为研究区总 GDP。

PES: 生态系统服务付费, Payment for ecosystem services; ECPS: 生态补偿优先级, Ecological compensation priority sequence; GDP: 国内生产总值, Gross domestic product

综上所述,目前基于生态系统服务的生态补偿研究还未有效解决生态补偿的核心问题。受偿方和补偿方的识别缺乏基于自然属性的科学判定,生态补偿额度核算和补偿方式设计兼顾了生态系统本底、受偿紧迫性、社会经济支付能力以及支付意愿等,但相应系数的方法设计存在科学依据不强以及相互衔接不够的问题,导致制定的生态补偿政策合理性不足。

### 3 基于生态系统服务视角的解决途径讨论

生态系统服务的时空差异依然是未来生态补偿政策制定的重要科学依据和数据基础,尤其横向生态补偿政策更加依赖于生态系统服务在不同区域之间的对比,未来研究要围绕生态补偿的核心问题,继续深化理论探索和创新技术构建,建立更加科学可行的综合解决方案,本文提出以下建议。

#### 3.1 加强生态补偿政策的顶层制度设计

目前国家纵向补偿形式为中央财政转移支付,横向补偿主要是以流域为单元开展的生态系统服务应用试点探索,建议从国家层面建立纵向和横向相结合的综合生态补偿管理法规,在科学合理和公平基础上建立以地区间横向补偿为主国家纵向补偿为辅的政策,即能够减轻中央财政压力,又能够促进地区间生态保护和经

济发展合作,还能激发一系列基于生态系统服务横向补偿的方法创新。另外,可设立专门的生态补偿管理机构,分类(纵向和横向)分区(国家和地方)协调生态补偿资金的收取与下拨,促进生态补偿政策的正规化;同时成立生态补偿基金会,开通企业和个人补偿或捐赠窗口,在政府主导下推动全社会的参与。

### 3.2 加强生态系统服务应用潜力挖掘

生态补偿的一个重要目的是生态保护,其实施范围要具有自然生态属性<sup>[65]</sup>,需要基于生态系统服务惠益范围进行确定,另外生态补偿的支付和受偿需要以地方行政为主导,所以基于生态系统服务的生态补偿的空间范围必须是自然和人为边界的结合。

准确识别补偿区和受偿区是体现生态补偿政策公平性的关键,确定一个地区生态系统服务外溢方向和外溢量是科学判定补偿区和受偿区的基础,所以区域间生态系统服务的差异性以及是否存在占用应作为未来研究的主要方向,要注重生态系统服务供给区和受益区的关联性,这与生态系统服务流研究相呼应,也符合“生态保护者受偿和受益者补偿”的原则,与水流相关的生态系统服务为基础的生态补偿研究具有一定的优势,但对于其他生态系统服务还需要在方法上继续探索。

生态补偿额设定不可偏离实际支付能力,应加强受益区生态系统服务实际需求量的研究,人均、单位面积以及单位 GDP 生态系统服务需求指标等均可挖掘,根据生态系统服务可承载的人口、面积和 GDP 等获取生态系统服务盈余量或缺口,再进行价值转化获得生态补偿额。这一思路可减小直接以生态系统服务差异为基础的生态补偿额,但人均、单位面积和单位 GDP 等生态系统服务需求量的获取涉及到多学科的结合,需设立专门课题开展研究。

生态补偿涉及区域生态状况与社会经济的平衡关系,在生态补偿方式上要加强研究区整体的统筹,继续探索生态补偿优先级、需求强度、补偿能力和支付意愿等系数设计的科学性,着重探索各系数间的结合应用。依据行政单元的生态环境条件和社会经济状况,设计实施差异化的补偿方案,如减少或取消生态和经济条件均不佳地区的生态补偿要求,增加生态条件优秀但经济发展差地区的受偿额度,研究区补偿和受偿额度不对等时,由上级行政部门或生态补偿管理机构进行额度填补或余额管理。另外生态补偿方式除了资金补偿外,还包括政策补偿、实物补偿、智力(教育)补偿<sup>[80]</sup>,但资金补偿更能够提高生态保护者的积极性和参与度。

生态补偿政策是否达到预期效果是继续施行和改进政策的重要依据,需要对受偿区生态环境是否得到改善以及生态系统服务是否增加进行验证,同时要兼顾生态系统服务之间的权衡关系,将生态系统服务综合效益是否增加作为检验指标<sup>[81]</sup>;另外,生态补偿对象是生态保护者,根据我国已有生态补偿实践,补偿对象一般是生态脆弱区农牧民<sup>[59, 82]</sup>,生态补偿政策还需要起到提高农牧民生活水平的作用;生态补偿政策是促进生态保护、协调区域发展的一项重要制度,政策的实施需要大众参与,大众对生态补偿的认知、参与度和支付意愿等是否得到提升,也是生态补偿政策效果评估的重要内容。

### 3.3 加强生态系统服务流过程机理研究

生态系统服务流的理论内涵是生态系统服务在满足当地消耗产生盈余或缺口时,会随自然和人为要素流动在区域间实现传输<sup>[83-84]</sup>。这为生态系统服务供给区和受益区的科学认知提供了依据,便于对生态系统服务外溢的科学理解,也与生态补偿研究存在较强契合性<sup>[85]</sup>。得益于水的流动性特点,目前应用生态系统服务流开展的生态补偿研究多是与水相关的生态系统服务类型,包括水供给、水源涵养和水土保持等<sup>[86-88]</sup>,基于自然生态供水和人地需水直接获取生态系统服务价值差,根据上下游关系可明确受偿区和补偿区,最终的横向补偿政策也更易施行。学者们也对防风固沙、固碳和文化服务开展了相应探索,其中防风固沙服务流基于风向和风速,利用风沙源区因生态环境改善使下风向受沙尘影响减弱的程度设定生态补偿标准<sup>[83, 89]</sup>;固碳则根据服务盈余区与缺口区之间的距离建立距离衰减流动模型获取流动量<sup>[90]</sup>;而文化服务以问卷调查为主,暂未有相关量化方法<sup>[53]</sup>;其他类型生态系统服务的研究暂不多见。

虽然国内外已在理论、方法上开展了研究,但基于生态系统服务流的生态补偿政策制定还处于探索阶段,仍存在诸多不足,对部分生态系统服务流动方向和流动量难以科学界定,导致目前可应用的生态系统服务类

型太少,如固碳、气候调节等服务的供给区和受益区判别较难,受益量核算方法科学性不足,生态补偿政策难以制定<sup>[90]</sup>。所以基于生态系统服务流的生态补偿研究仍需要更加科学的理论和方法支撑,未来还需加强对生态系统服务流过程机理的探索。

综合以上研究思路和建议,本文设计了基于生态系统服务的纵向和横向相结合的生态补偿政策制定框架(图1),框架对生态补偿政策制定的流程、科学问题、模型方法、行政参与以及政策效果评估等都做了方案设计,框架中多个模块也是生态学、地理学、社会经济学等学科未来研究的重要方向。

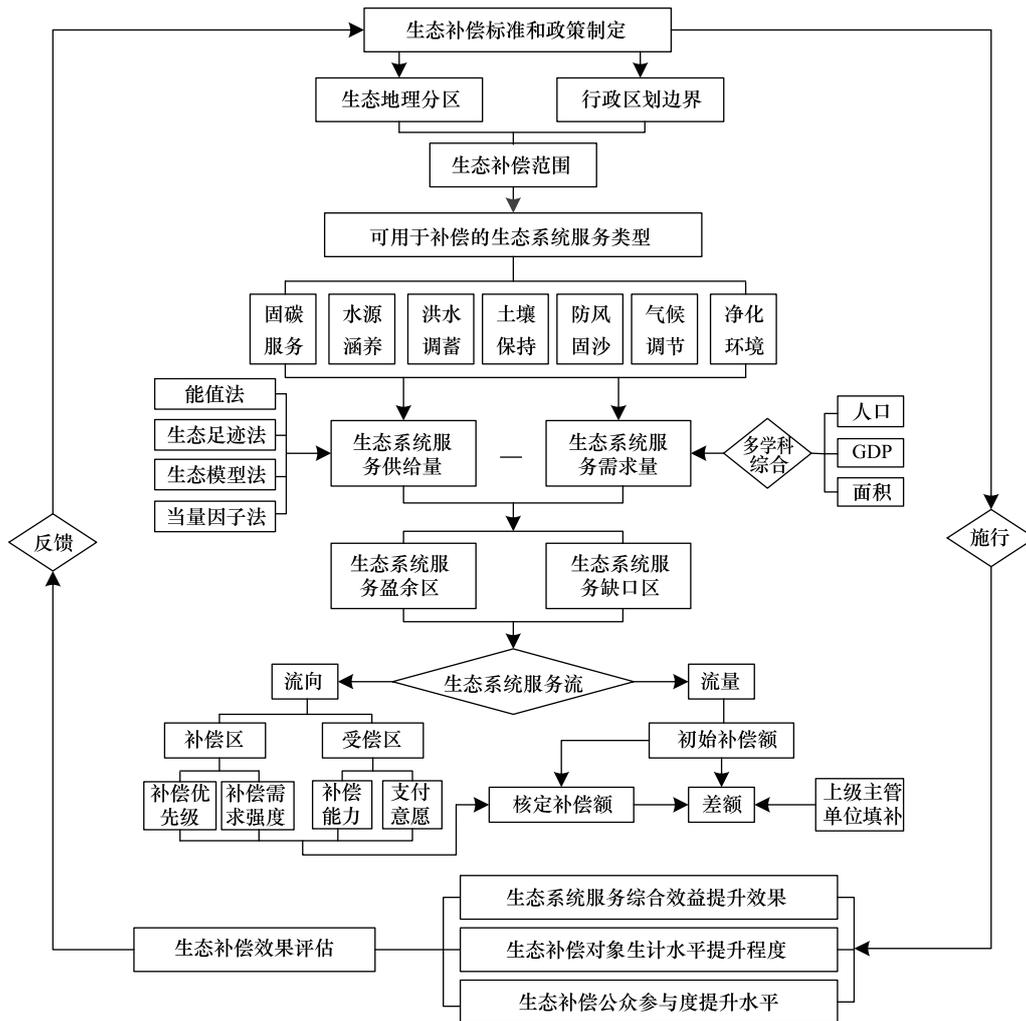


图 1 基于生态系统服务的生态补偿政策制定流程框架

Fig.1 Framework for ecosystem services-based policymaking processes for ecological compensation

#### 4 结论

本文从生态补偿的概念、方法、核心问题等方面评述了目前生态系统服务应用于生态补偿制定中存在的问题和不足,从生态补偿政策顶层设计、生态系统服务应用潜力挖掘和生态系统服务流过程机理探索等方面提出了未来相关研究和实践的建议,并设计了基于生态系统服务的生态补偿政策制定流程框架,为未来相关科学研究和应用实践提供了理论和方法参考。本文的主要结论如下:

(1) 目前的生态补偿还是以纵向补偿为主,横向补偿实践应用较少;生态补偿设计方法存在较大问题,但生态系统服务较强的客观性和科学的量化方法在生态补偿设计中具有相对优势,尤其更易于横向补偿的设计制定。

(2) 生态系统服务应用于生态补偿政策制定还存在较多不足,尤其在受偿方和补偿方识别、生态补偿额和补偿方式设计上科学依据不强,生态系统服务流应用于生态补偿制定具有极大潜力,但目前研究尚不成熟,暂时无法满足生态补偿政策制定需求,后期研究中需要加强生态系统服务流过程机理的探索。

(3) 未来需要针对生态补偿核心问题继续开展科学研究和实践应用,需要基于生态系统服务供给和需求以及生态系统服务流动特点判定补偿区、受偿区和补偿额,并结合前期制定的各调整系数实现生态补偿政策制定,同时要注重生态补偿政策的效果评估和政策完善。

#### 参考文献(References):

- [ 1 ] 徐广才,康慕谊,贺丽娜,李亚飞,陈雅如.生态脆弱性及其研究进展.生态学报,2009,29(5):2578-2588.
- [ 2 ] 张鹏,吴春生,朱毕生,刘芳,路荣荣,赵忠旭.我国生态脆弱区生态技术分类体系研究进展.应用生态学报,2023,34(2):547-554.
- [ 3 ] 靳毅,蒙古军.生态脆弱性评价与预测研究进展.生态学杂志,2011,30(11):2646-2652.
- [ 4 ] 欧阳志云,郑华,岳平.建立我国生态补偿机制的思路与措施.生态学报,2013,33(3):686-692.
- [ 5 ] Liu J G, Li S X, Ouyang Z Y, Tam C, Chen X D. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2008, 105(28):9477-9482.
- [ 6 ] Ouyang Z, Song C S, Zheng H A, Polasky S, Xiao Y, Bateman I J, Liu J G, Ruckelshaus M, Shi F Q, Xiao Y, Xu W H, Zou Z Y, Daily G C. Using gross ecosystem product (GEP) to value nature in decision making. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2020, 117(25):14593-14601.
- [ 7 ] Baniya B, Tang Q H, Pokhrel Y, Xu X M. Vegetation dynamics and ecosystem service values changes at national and provincial scales in Nepal from 2000 to 2017. Environmental Development, 2019, 32:100464.
- [ 8 ] Su K, Wei D Z, Lin W X. Evaluation of ecosystem services value and its implications for policy making in China - A case study of Fujian Province. Ecological Indicators, 2020, 108:105752.
- [ 9 ] Sun Y J, Ren Z Y, Hao M Y, Duan Y F. Spatial and temporal changes in the synergy and trade-off between ecosystem services, and its influencing factors in Yanan, Loess Plateau. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(10):3443-3454.
- [ 10 ] 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. Ecological Economics, 1998, 25(1):3-15.
- [ 11 ] Badamfirooz J, Mousazadeh R. Quantitative assessment of land use/land cover changes on the value of ecosystem services in the coastal landscape of Anzali International Wetland. Environmental Monitoring and Assessment, 2019, 191(11):1-13.
- [ 12 ] Kalfas D G, Zagkas D T, Dragozi E I, Zagkas T D. Estimating value of the ecosystem services in the urban and peri-urban green of a town Florina-Greece, using the CVM. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2020, 27(4):310-321.
- [ 13 ] Solomon N, Segnon A C, Birhane E. Ecosystem service values changes in response to land-use/land-cover dynamics in dry afro-montane forest in northern Ethiopia. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(23):4653.
- [ 14 ] Xie Q J, Yue Y, Sun Q, Chen S, Lee S B, Kim S W. Assessment of ecosystem service values of urban parks in improving air quality: a case study of Wuhan, China. Sustainability, 2019, 11(22):6519.
- [ 15 ] Costanza R. Valuing natural capital and ecosystem services toward the goals of efficiency, fairness, and sustainability. Ecosystem Services, 2020, 43:101096.
- [ 16 ] Costanza R, de Groot R, Sutton P, van der Ploeg S, Anderson S J, Kubiszewski I, Farber S, Turner R K. Changes in the global value of ecosystem services. Global Environmental Change, 2014, 26:152-158.
- [ 17 ] 鲁春霞,谢高地,肖玉,于云江.青藏高原生态系统服务功能的价值评估.生态学报,2004,24(12):2749-2755,3011.
- [ 18 ] 谢高地,张彩霞,张雷明,陈文辉,李士美.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.自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.
- [ 19 ] 谢高地,甄霖,鲁春霞,肖玉,陈操.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法.自然资源学报,2008,23(5):911-919.
- [ 20 ] 殷楠,王帅,刘焱序.生态系统服务价值评估:研究进展与展望.生态学杂志,2021,40(1):233-244.
- [ 21 ] Yan H M, Yang H C, Guo X N, Zhao S Q, Jiang Q O. Payments for ecosystem services as an essential approach to improving ecosystem services: a review. Ecological Economics, 2022, 201:107591.
- [ 22 ] 欧阳志云,王如松,赵景柱.生态系统服务功能及其生态经济价值评价.应用生态学报,1999,10(5):635-640.
- [ 23 ] 王金南,马国霞,王志凯,王夏晖,於方,刘桂环,赵云皓,杨武,石敏俊,邓劲松,张清宇.生态产品第四产业发展评价指标体系的设计及应用.中国人口·资源与环境,2021,31(10):1-8.
- [ 24 ] 靳乐山,刘晋宏,孔德帅.将GEP纳入生态补偿绩效考核评估分析.生态学报,2019,39(1):24-36.
- [ 25 ] Bagstad K J, Johnson G W, Voigt B, Villa F. Spatial dynamics of ecosystem service flows: a comprehensive approach to quantifying actual services. Ecosystem Services, 2013, 4:117-125.
- [ 26 ] 王嘉丽,周伟奇.生态系统服务流研究进展.生态学报,2019,39(12):4213-4222.
- [ 27 ] 姚婧,何兴元,陈玮.生态系统服务流研究方法最新进展.应用生态学报,2018,29(1):335-342.

- [28] Schomers S, Matzdorf B. Payments for ecosystem services; a review and comparison of developing and industrialized countries. *Ecosystem Services*, 2013, 6: 16-30.
- [29] Wunder S, Engel S, Pagiola S. Taking stock: a comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. *Ecological Economics*, 2008, 65(4): 834-852.
- [30] 蔡邦成, 温林泉, 陆根法. 生态补偿机制建立的理论思考. *生态经济*, 2005, 21(1): 47-50.
- [31] 柳荻, 胡振通, 靳乐山. 生态保护补偿的分析框架研究综述. *生态学报*, 2018, 38(2): 380-392.
- [32] 毛显强, 钟瑜, 张胜. 生态补偿的理论探讨. *中国人口·资源与环境*, 2002, 12(4): 38-41.
- [33] 李芬, 李文华, 甄霖, 黄河清, 魏云洁, 杨莉. 森林生态系统补偿标准的方法探讨——以海南省为例. *自然资源学报*, 2010, 25(5): 735-745.
- [34] 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.
- [35] 郭建卿, 靳乐山. 中国生态补偿研究综述. *林业经济问题*, 2008, 28(4): 371-376.
- [36] Wunder S. Revisiting the concept of payments for environmental services. *Ecological Economics*, 2015, 117: 234-243.
- [37] Tacconi L. Redefining payments for environmental services. *Ecological Economics*, 2012, 73: 29-36.
- [38] 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.
- [39] 郭荣中, 申海建, 杨敏华. 澧水流域生态系统服务价值与生态补偿策略. *环境科学研究*, 2016, 29(5): 774-782.
- [40] 刘香华, 王秀明, 刘谓承, 张音波, 刘飘. 基于外溢生态系统服务价值的广东省生态补偿机制研究. *生态环境学报*, 2022, 31(5): 1024-1031.
- [41] Sommerville M M, Jones J P G, Milner-Gulland E J. A revised conceptual framework for payments for environmental services. *Ecology and Society*, 2009, 14(2): 34.
- [42] Muradian R, Corbera E, Pascual U, Kosoy N, May P H. Reconciling theory and practice: an alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. *Ecological Economics*, 2010, 69(6): 1202-1208.
- [43] Jiang Y N, Guan D J, He X J, Yin B L, Zhou L L, Sun L L, Huang D N, Li Z H, Zhang Y J. Quantification of the coupling relationship between ecological compensation and ecosystem services in the Yangtze River Economic Belt, China. *Land Use Policy*, 2022, 114: 105995.
- [44] 鲍锋, 孙虎, 延军平. 森林主导生态价值评估及生态补偿初探. *水土保持通报*, 2005, 25(6): 101-104.
- [45] 李意德, 陈步峰, 周光益, 曾庆波, 吴仲民, 骆土寿. 海南岛热带天然林生态环境服务功能价值核算及生态公益林补偿探讨. *林业科学研究*, 2003, 16(2): 146-152.
- [46] 靳乐山, 张梦瑶. 流域上下游生态补偿机制的三种模式及其比较. *环境保护*, 2022, 50(19): 13-17.
- [47] 马庆华, 杜鹏飞. 新安江流域生态补偿政策效果评价研究. *中国环境管理*, 2015, 7(3): 63-70.
- [48] 杨兰, 胡淑恒. 基于动态测算模型的跨界生态补偿标准——以新安江流域为例. *生态学报*, 2020, 40(17): 5957-5967.
- [49] 刘韬, 和兰娣, 赵海鹰, 张文丽, 曹雪梅. 区域生态产品价值实现一般化路径探讨. *生态环境学报*, 2022, 31(5): 1059-1070.
- [50] Farley J, Costanza R. Payments for ecosystem services: from local to global. *Ecological Economics*, 2010, 69(11): 2060-2068.
- [51] Pascual U, Phelps J, Garmendia E, Brown K, Corbera E, Martin A, Gomez-Baggethun E, Muradian R. Social equity matters in payments for ecosystem services. *BioScience*, 2014, 64(11): 1027-1036.
- [52] 胡仪元. 生态补偿标准研究综述. *陕西理工大学学报: 社会科学版*, 2019, 37(5): 25-30.
- [53] Garau E, Pueyo-Ros J, Palom A R, Vila-Subiros J. Follow the flow: analysis of relationships between water ecosystem service supply units and beneficiaries. *Applied Geography*, 2021, 133: 102491.
- [54] 邓元杰, 侯孟阳, 贾磊, 汪亚琴, 张晓, 姚顺波. 基于生态系统服务价值评估的长征沿线革命老区生态补偿策略. *应用生态学报*, 2022, 33(1): 159-168.
- [55] 靳乐山, 吴乐. 我国生态补偿的成就、挑战与转型. *环境保护*, 2018, 46(24): 7-13.
- [56] 靳乐山, 吴乐. 中国生态补偿十对基本关系. *环境保护*, 2019, 47(22): 36-43.
- [57] Gastineau P, Mossay P, Taugourdeau E. Ecological compensation: how much and where? *Ecological Economics*, 2021, 190: 107191.
- [58] 郝海广, 勾蒙蒙, 张惠远, 张强, 刘煜杰. 基于生态系统服务和农户福祉的生态补偿效果评估研究进展. *生态学报*, 2018, 38(19): 6810-6817.
- [59] Hu Y N, Huang J K, Hou L L. Impacts of the grassland ecological compensation policy on household livestock production in China: an empirical study in Inner Mongolia. *Ecological Economics*, 2019, 161: 248-256.
- [60] 王振波, 于杰, 刘晓雯. 生态系统服务功能与生态补偿关系的研究. *中国人口·资源与环境*, 2009, 19(6): 17-22.
- [61] Fan M, Chen L. Spatial characteristics of land uses and ecological compensations based on payment for ecosystem services model from 2000 to 2015 in Sichuan Province, China. *Ecological Informatics*, 2019, 50: 162-183.
- [62] Gao X, Shen J Q, He W J, Zhao X, Li Z C, Hu W F, Wang J Z, Ren Y J, Zhang X. Spatial-temporal analysis of ecosystem services value and research on ecological compensation in Taihu Lake Basin of Jiangsu Province in China from 2005 to 2018. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 317: 128241.
- [63] Jin Y, Huang J F, Peng D L. A new quantitative model of ecological compensation based on ecosystem capital in Zhejiang Province, China. *Journal of Zhejiang University Science B*, 2009, 10(4): 301-305.
- [64] 牛乐, 王娇月, 郗凤明, 尹岩, 郗龙飞, 马铭婧, 张文凤. 基于生态系统服务付费模型的福州市区域生态补偿额度核算. *应用生态学报*,

- 2021, 32(11): 3805-3814.
- [65] 黄晶晶, 李玲玲, 徐琳瑜. 基于外溢生态系统服务价值的区域生态补偿机制研究. 生态学报, 2021, 41(17): 6994-7001.
- [66] 李智, 张小林, 李红波. 基于 PES 模型的区域生态补偿额度的测算研究——以江苏省为例. 国土与自然资源研究, 2014(5): 40-44.
- [67] 王女杰, 刘建, 吴大千, 高甦, 王仁卿. 基于生态系统服务价值的区域生态补偿——以山东省为例. 生态学报, 2010, 30(23): 6646-6653.
- [68] 赵敏, 万大娟, 艾美荣, 周小青, 向熠繁. 基于生态系统服务价值的永州市生态补偿标准研究. 安徽农学通报, 2022, 28(8): 160-164.
- [69] 许丽丽, 李宝林, 袁焯城, 高锡章, 张涛. 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. 地球信息科学学报, 2016, 18(3): 286-297.
- [70] 赵志刚, 余德, 王凯荣, 吕爱清. 赣西地区生态系统服务价值与生态补偿策略. 生态学报, 2020, 40(20): 7507-7518.
- [71] Gao X, Shen J Q, He W J, Sun F H, Zhang Z F, Zhang X, Zhang C C, Kong Y, An M, Yuan L A, Xu X C. Changes in ecosystem services value and establishment of watershed ecological compensation standards. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(16): 2951.
- [72] 李欣欣, 任茜, 余向克, 刘雅雅, 李苗, 杨莉. 生态保护红线区域的生态系统服务价值分析及生态补偿优先区域研究——以四川省生态保护红线区域为例. 中国水土保持, 2022(4): 33-37, 7.
- [73] 戴家远, 胡淑恒, 张贝尔, 杨庆. 基于机会成本和生态系统服务价值核算的生态补偿标准研究——以新安江流域为例. 湖北农业科学, 2021, 60(21): 152-157.
- [74] 武萍, 张慧. 三江源国家公园生态补偿适度标准评估——基于生态系统服务价值供给的视角. 青海社会科学, 2022(1): 50-58.
- [75] 袁广达, 蔡响. 生态系统服务价值下的新安江跨界生态补偿标准设计. 生态经济, 2022, 38(2): 142-149.
- [76] 赵燕萍, 李涛, 齐增湘, 李晟, 戈健宅. 基于生态系统服务价值和人类福祉的湖南省生态补偿分配. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2022, 50(4): 103-114.
- [77] Wang Z Y, Wang Y, Zhou Z H, Yu F, Ma D B, Li J M. Combining spatial planning and ecosystem services value to assist ecological compensation decision-making: a case study of Yangtze River Delta ecological barrier, China. *Frontiers in Environmental Science*, 2022, 10: 1002014.
- [78] Zhou Z X, Sun X R, Zhang X T, Wang Y. Inter-regional ecological compensation in the Yellow River Basin based on the value of ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 2022, 322: 116073.
- [79] Wang J P, Wang J M, Zhang M, Zhang Y F, Wang J, Zhu Q P, Li S J. The payment scheme for ecosystem services in the coastal city based on the ecosystem services value and current payment efficiency: a case study in Jimo of Qingdao city, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(32): 49179-49193.
- [80] 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.
- [81] Johst K, Drechsler M, Wätzold F. An ecological-economic modelling procedure to design compensation payments for the efficient spatio-temporal allocation of species protection measures. *Ecological Economics*, 2002, 41(1): 37-49.
- [82] Wu L, Jin L S. How eco-compensation contribute to poverty reduction: a perspective from different income group of rural households in Guizhou, China. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 275: 122962.
- [83] 刘春芳, 王佳雪, 许晓雨. 基于生态系统服务流视角的生态补偿区域划分与标准核算——以石羊河流域为例. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(8): 157-165.
- [84] 杨正忠, 徐昔保, 李景宜, 梁彩萍. 生态系统服务流研究进展与展望. 生态与农村环境学报, 2023, 39(7): 827-838.
- [85] Zhai T L, Zhang D, Zhao C C. How to optimize ecological compensation to alleviate environmental injustice in different cities in the Yellow River Basin? A case of integrating ecosystem service supply, demand and flow. *Sustainable Cities and Society*, 2021, 75: 103341.
- [86] Xu J, Xiao Y, Xie G D, Jiang Y. Ecosystem service flow insights into horizontal ecological compensation standards for water resource: a case study in Dongjiang Lake basin, China. *Chinese Geographical Science*, 2019, 29(2): 214-230.
- [87] Gao X L, Huang B B, Hou Y, Xu W H, Zheng H A, Ma D C, Ouyang Z Y. Using ecosystem service flows to inform ecological compensation: theory & application. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(9): 3340.
- [88] Zhao Y E, Wu F P, Li F, Chen X N, Xu X A, Shao Z Y. Ecological compensation standard of trans-boundary river basin based on ecological spillover value: a case study for the Lancang-Mekong river basin. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(3): 1251.
- [89] Su K, Sun X T, Guo H Q, Long Q Q, Li S, Mao X Q, Niu T, Yu Q, Wang Y R, Yue D P. The establishment of a cross-regional differentiated ecological compensation scheme based on the benefit areas and benefit levels of sand-stabilization ecosystem service. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 270: 122490.
- [90] Zhai T L, Wang J, Fang Y, Huang L Y, Liu J J, Zhao C C. Integrating ecosystem services supply, demand and flow in ecological compensation: a case study of carbon sequestration services. *Sustainability*, 2021, 13(4): 1668.