

博弈论在流域生态补偿转移支付中的应用与启示

马龙飞

北京物资学院法学院, 北京

收稿日期: 2023年7月30日; 录用日期: 2023年8月23日; 发布日期: 2023年8月31日

摘要

为了实现生态环境利益分配公平正义的法治目标, 解决利益分配失衡的问题, 研究流域生态补偿中的政府间博弈问题, 本研究构建了一个三方动态博弈模型, 分析了流域上下游地方政府与中央政府之间的利益冲突和合作动机, 探讨了不同情形下各方的最优策略和均衡结果, 并提出了相应的政策建议。为了实现流域水环境保护的最优水平, 需要各方的协调和合作, 横向转移支付比纵向转移支付更有利于流域内部的生态产品供需关系和价值实现, 中央政府应该建立专门的横向转移支付管理机构, 促进流域协同治理能力。

关键词

流域生态补偿, 博弈论, 动态博弈, 政策建议

Application and Enlightenment of Game Theory in Watershed Ecological Compensation Transfer Payment

Longfei Ma

Department of Law, Beijing Wuzi University, Beijing

Received: Jul. 30th, 2023; accepted: Aug. 23rd, 2023; published: Aug. 31st, 2023

Abstract

In order to achieve the legal goal of fair and just distribution of ecological and environmental benefits and solve the problem of unbalanced distribution of benefits, the intergovernmental game

problem in watershed ecological compensation was studied, a three-party dynamic game model was constructed, and the relationship between local governments and the central government in the upper and lower reaches of the watershed was analyzed. This article explores the optimal strategies and equilibrium results of various parties in different situations, and proposes corresponding policy recommendations. In order to achieve the optimal level of water environment protection in the basin, the coordination and cooperation of all parties are required. Compared with vertical transfer payment, horizontal transfer payment is more conducive to the supply and demand relationship and value realization of ecological products within the basin. The central government should establish a special horizontal transfer payment management institution to promote collaborative river basin governance capabilities.

Keywords

River Basin Ecological Compensation, Game Theory, Dynamic Game, Policy Suggestions

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水资源是人类生存和发展的重要基础，也是生态系统的重要组成部分。随着我国经济社会的快速发展，水资源的需求量不断增加，水资源的供需矛盾日益突出，水污染和水生态恶化问题也日益严重。据统计，2019 年我国人均可利用水资源量为 1982 立方米，仅为世界平均水平的 28%，属于严重缺水国家。同时，我国水资源分布极不均衡，南方水资源丰富，北方水资源匮乏；东部沿海地区经济发达，西部内陆地区经济落后。这些区域差异导致了流域上下游之间的用水冲突和生态保护矛盾。

流域是自然界划分的最小水循环单元，具有整体性、连续性和开放性等特点。流域内上下游地区之间存在着紧密的水文联系和生态依赖，上游地区的水资源利用和保护对下游地区的水安全和生态环境有着重要影响。然而，在现行的行政区划体制下，流域内上下游地区往往属于不同的省份或自治区，各自按照自身的利益目标进行水资源管理和规划，缺乏全流域视角和协调机制。这导致了上下游地区之间的利益分配不公平和外部性问题。一方面，上游地区为了保护水源地和维持生态系统功能，承担了较高的环境成本和发展机会成本，而下游地区则享受了较低的用水成本和较高的经济收益；另一方面，上游地区为了追求经济增长，过度开发和污染水资源，损害了下游地区的用水权益和生态安全。这些问题不仅影响了流域内各地区的和谐发展，也威胁了全国的水安全和生态文明建设。

为了解决流域上下游之间的用水冲突和生态保护矛盾，流域生态补偿作为一种有效的制度安排，受到了国内外的广泛关注和实践探索。流域生态补偿是指在流域范围内，上游地区为了保护水源地和提供生态服务，而放弃或减少某些经济活动，从而获得下游地区或其他受益者的经济补偿或其他形式的回报的制度安排。流域生态补偿的目的是通过调整流域内各方的利益关系，实现水资源的合理利用和有效保护，促进流域内各地区的协调发展和共同富裕。

我国对流域生态补偿的研究和实践起步较晚，但近年来取得了一定的进展。2007 年，国务院印发了《关于开展生态补偿试点工作的指导意见》，首次提出了流域生态补偿的概念和原则，并确定了新安江、汀江－韩江、九洲江等三个跨省流域生态补偿试点。2012 年，新安江流域成为我国首个建立跨省流域横向生态补偿机制的试点，为我国其他流域生态补偿提供了借鉴。^[1] 2015 年，国务院印发了《水污染防治

治行动计划》，提出了“建立跨区域水污染防治协同机制”的要求，并明确了“鼓励跨省流域上下游地区通过资金补助、对口援助、产业转移等方式推动横向协同综合治理体系建设”的目标。2016年，国务院印发了《关于加快流域上下游横向生态补偿机制建设的指导意见》，进一步明确了流域生态补偿的基本原则、主要内容、重点任务和保障措施，并要求各地结合实际制定具体方案。^[2]截至目前，我国已经建立了新安江(皖浙)、汀江-韩江(闽粤)、九洲江(粤桂)、赤水河(云贵川)、九龙江(福建省)、渭河(陕甘)、引滦入津(津冀)等七个跨省流域横向生态补偿机制试点，并在一些省内跨区流域也开展了相关工作。

尽管我国在流域生态补偿方面取得了一些成效，但仍然面临着诸多挑战和困难。如何建立一个科学合理、有效可行、长效稳定的流域生态补偿机制，是一个亟待解决的重要课题。本文认为，要解决这一问题，需要从博弈论的视角，分析流域上下游地方政府与中央政府之间的利益冲突和合作动机，探讨不同情形下各方的最优策略和均衡结果，并提出相应的政策建议。本文的主要贡献有以下几点：第一，本文构建了一个三方动态博弈模型，分析了各方的行为逻辑和策略选择，揭示了影响流域生态补偿博弈结果的关键因素，对不同参数条件下的博弈均衡进行了分析，比较了不同博弈情形下的流域生态补偿效果，探讨了提高流域生态补偿效率和公平性的可能途径。第二，本文根据博弈分析和数值模拟的结果，提出了完善我国流域生态补偿机制的政策建议，包括加强中央政府的引导和监督作用，进一步发挥上下游之间横向生态补偿的优势。

2. 流域生态补偿的相关概念和理论基础

2.1. 流域生态补偿定义

流域生态补偿是一种基于生态服务价值的制度安排，其核心思想是“谁保护、谁受益、谁补偿”。具体而言，流域生态补偿是指在流域范围内，上游地区为了保护水源地和提供生态服务，而放弃或减少某些经济活动，从而获得下游地区或其他受益者的经济补偿或其他形式的回报。^[3]流域生态补偿可以分为纵向补偿和横向补偿两种类型。纵向补偿是指中央政府或上级政府对下级政府或地方政府进行的生态补偿，主要通过财政转移支付、项目资助、税收优惠等方式实施。横向补偿是指同级别或相邻地区之间进行的生态补偿，主要通过市场交易、对口援助、产业转移等方式实施。

2.2. 流域生态补偿的理论基础

流域生态补偿作为一种制度安排，其理论基础主要有以下几个方面。

2.2.1. 外部性理论

外部性是指一个经济主体在进行经济活动时，对其他经济主体或社会福利产生的无偿影响。外部性可以分为正外部性和负外部性，前者是指对其他经济主体或社会福利产生的有利影响，后者是指对其他经济主体或社会福利产生的不利影响。流域内上下游地区之间存在着明显的外部性问题。一方面，上游地区的水资源保护和生态服务对下游地区的水安全和生态环境有着正外部性，但上游地区往往无法从中获得足够的收益，导致其保护动力不足；另一方面，上游地区的水资源开发和污染对下游地区的水安全和生态环境有着负外部性，但上游地区往往不用承担相应的成本，导致其开发过度和污染过重。流域生态补偿的目的就是通过调整流域内各方的利益关系，实现外部性的内部化，使各方的行为符合社会最优。

2.2.2. 公共物品理论

公共物品是指具有非排他性和非竞争性的商品或服务。非排他性是指一个人的消费不会影响其他人

的消费，也无法阻止其他人的消费；非竞争性是指一个人的消费不会减少商品或服务的总量，也不会提高其他人的消费成本。流域内的水资源和生态服务具有明显的公共物品特征。一方面，流域内各地区都可以享受水资源和生态服务所带来的福利，且难以排除其他地区的享用；另一方面，流域内各地区对水资源和生态服务的享用不会减少其总量，也不会增加其他地区的享用成本。由于公共物品具有非排他性和非竞争性，导致了市场失灵和政府失灵等问题。市场失灵是指市场机制无法有效地提供公共物品，导致公共品的供给不足或过剩；政府失灵是指政府机制无法有效地提供公共品，导致公共物品的分配不公平或低效。流域生态补偿的目的就是通过建立合理的制度安排，解决流域内水资源和生态服务作为公共品所面临的市场失灵和政府失灵等问题，实现公共品的有效供给和公平分配。

2.2.3. 博弈论

博弈论是一种研究多个理性决策者之间相互作用和冲突的数学方法。博弈论可以分为静态博弈和动态博弈两种类型。静态博弈是指博弈者在同一时间做出决策，且没有先后顺序；动态博弈是指博弈者在不同时间做出决策，且有先后顺序。博弈论可以分析博弈者之间的策略选择、行为逻辑、均衡结果等问题，并提出改善博弈结果的可能途径。流域内上下游地方政府与中央政府之间存在着明显的博弈关系。一方面，各方都有自己的利益目标和约束条件，且各方之间存在着利益冲突和合作动机；另一方面，各方都有自己的行为选择和信息结构，且各方之间存在着决策时间顺序和信息差。[4]

3. 流域生态补偿中的政府间博弈模型

流域生态补偿中的政府间博弈是指流域上下游地方政府之间为了保护和改善流域水资源环境而进行的利益调节和资源配置的策略互动过程。[5]在这个过程中，上游地方政府需要承担水环境保护的成本，而下游地方政府则享受水环境保护的收益。为了激励上游地方政府采取更多的保护措施，下游地方政府需要向上游地方政府提供一定的生态补偿。同时，中央政府作为流域水资源环境保护的主导者和监督者，也需要通过财政转移支付等方式对地方政府进行引导和支持。[6]因此，流域生态补偿中存在着三方博弈：上游地方政府、下游地方政府和中央政府。

为了简化分析，本文假设流域只有一个上游地方政府和一个下游地方政府，且它们都是理性和自利的参与者。同时，本文假设流域水环境保护只有两种状态：高水平保护和低水平保护，且它们对应不同的成本和收益。此外，本文假设中央政府对流域水环境保护有一个固定的目标水平，并通过纵向财政转移支付来实现这个目标。基于这些假设，本文建立如下的三方博弈模型：

(1) 参与者：上游地方政府(U)、下游地方政府(D)和中央政府(C)。

(2) 策略：上游地方政府可以选择高水平保护(H)或低水平保护(L)，下游地方政府可以选择给予生态补偿(C)或不给予生态补偿(N)，中央政府可以选择给予纵向财政转移支付(T)或不给予纵向财政转移支付(F)。因此，三方的策略空间为：

$$S = \{(H, C, T), (H, C, F), (H, N, T), (H, N, F), (L, C, T), (L, C, F), (L, N, T), (L, N, F)\}$$

(3) 收益：上游地方政府的收益由其水环境保护成本和生态补偿收入决定，下游地方政府的收益由其水环境保护收益和生态补偿支出决定，中央政府的收益由其水环境保护目标和纵向财政转移支付决定。具体来说，假设上游地方政府选择高水平保护时的成本为 cH ，选择低水平保护时的成本为 cL ($cH > cL$)，下游地方政府选择给予生态补偿时的支出为 p ，不给予生态补偿时的支出为 0 ，上游地方政府选择高水平保护时的收益为 bH ，选择低水平保护时的收益为 bL ，中央政府给予纵向财政转移支付时的支出为 t ，不给予纵向财政转移支付时的支出为 0 ，中央政府对流域水环境保护的目标水平为 g 。则各方的收益函数可以表示为：

Table 1. Benefits from upstream local government decisions

表 1. 上流地方政府各决策收益

$U(H, C, T)$	$U(H, C, F)$	$U(H, N, T)$	$U(H, N, F)$	$U(L, C, T)$	$U(L, C, F)$	$U(L, N, T)$	$U(L, N, F)$
$bH - cH + p + t$	$bH - cH + p$	$bH - cH + t$	$bH - cH$	$bL - cL + p + t$	$bL - cL + p$	$bL - cL + t$	$bL - cL$

Table 2. Benefits from downstream local government decisions

表 2. 下流地方政府各决策收益

$D(H, C, T)$	$D(H, C, F)$	$D(H, N, T)$	$D(H, N, F)$	$D(L, C, T)$	$D(L, C, F)$	$D(L, N, T)$	$D(L, N, F)$
$g - bH - p - t$	$g - bH - p$	$g - bH - t$	$g - bH$	$g - bL - p - t$	$g - bL - p$	$g - bL - t$	$g - bL$

Table 3. Benefits from the central government decisions

表 3. 中央政府各决策收益

$C(H, C, T)$	$C(H, C, F)$	$C(H, N, T)$	$C(H, N, F)$	$C(L, C, T)$	$C(L, C, F)$	$C(L, N, T)$	$C(L, N, F)$
$-t$	-0	$-t$	-0	$-t$	-0	$-t$	-0

要求三方博弈模型的解，就是要找出一种策略组合，使得每个参与者都没有动机改变自己的策略，即没有人能够通过单方面改变策略而提高自己的收益。这种策略组合就叫做纳什均衡(Nash equilibrium)。纳什均衡可能有多个，也可能不存在。

求三方博弈模型的纳什均衡的一种方法是使用复制动态方程(replicator dynamics equation)。复制动态方程描述了每个参与者的策略随时间演化的规律，它反映了每个参与者都会倾向于选择相对更有利的策略。求解复制动态方程，就是要找出它们的稳定点，即满足 $dx/dt = dy/dt = dz/dt = 0$ 的点。这些点就是可能的纳什均衡点。然后，要检验这些点是否真正稳定，就是要计算它们的雅可比矩阵(Jacobian matrix)的特征值。如果所有特征值都为负数，则该点是稳定的；如果有正数，则该点是不稳定的；如果有零，则该点是中性的。

复制动态方程可以用微分方程表示，例如：

$$dx/dt = x(1-x)(E_x - E_{1-x})$$

其中， x 表示上游地方政府选择高水平保护的概率， E_x 表示上游地方政府选择高水平保护时的预期收益， E_{1-x} 表示上游地方政府选择低水平保护时的预期收益。类似地，可以定义下游地方政府和中央政府的复制动态方程。

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= x(1-x)(U(H, y, z) - U(L, y, z)) \\ \frac{dy}{dt} &= y(1-y)(D(x, C, z) - D(x, N, z)) \\ \frac{dz}{dt} &= z(1-z)(C(x, y, T) - C(x, y, F))\end{aligned}$$

其中， y 表示下游地方政府选择给予生态补偿的概率， z 表示中央政府给予纵向财政转移支付的概率。

由(3)收益与表 1、表 2、表 3 计算得出各方收益与平均收益：

$$\begin{aligned}U(H, y, z) &= yz(bH - cH + p + t) + y(1-z)(bH - cH + p) \\ &\quad + (1-y)z(bH - cH + t) + (1-y)(1-z)(bH - cH) \\ &= bH - cH + yp + yzt\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U(L, y, z) &= yz(bL - cL + p + t) + y(1 - z)(bL - cL + p) \\
 &\quad + (1 - y)z(bL - cL + t) + (1 - y)(1 - z)(bL - cL) \\
 &= bL - cL + yp + yzt \\
 \bar{U} &= xE_x + (1 - x)E_{1-x} = bL - cL + x(bH - bL) + yp + yzt \\
 D(x, C, z) &= xz(g - bH - p - t) + x(1 - z)(g - bH - p) \\
 &\quad + (1 - x)z(g - bH - t) + (1 - x)(1 - z)(g - bH) \\
 &= g - bH - xp - xzt \\
 D(x, N, z) &= xz(g - bL - p - t) + x(1 - z)(g - bL - p) \\
 &\quad + (1 - x)z(g - bL - t) + (1 - x)(1 - z)(g - bL) \\
 &= g - bL - xp - xzt \\
 \bar{D} &= yE_y + (1 - y)E_{1-y} = g - y(bH - bL) - xp - xzt \\
 C(x, y, T) &= -t \\
 C(x, y, F) &= 0 \\
 \bar{C} &= zE_z + (1 - z)E_{1-z} = -zt
 \end{aligned}$$

代入到复制动态方程中，得到：

$$\begin{aligned}
 F(x) &= x(1 - x)(E_x - E_{1-x}) = x(1 - x)(bH - bL + cL - cH) \\
 F(y) &= y(1 - y)(E_y - E_{1-y}) = y(1 - y)(bL - bH) \\
 F(z) &= z(1 - z)(E_z - E_{1-z}) = -z(1 - z)t
 \end{aligned}$$

联立三个复制动态方程，并求解稳定点。稳定点满足 $\frac{dx}{dt} = \frac{dy}{dt} = \frac{dz}{dt} = 0$ 即 $F(x) = F(y) = F(z) = 0$ 。解得稳定点有五个，分别是：

$$\begin{aligned}
 (x, y, z) &= (0, 0, 0) \\
 (x, y, z) &= (1, 1, 1) \\
 (x, y, z) &= (0, 1, 0) \\
 (x, y, z) &= (1, 0, 0) \\
 (x, y, z) &= (1, 1, 0)
 \end{aligned}$$

对每个稳定点，计算雅可比矩阵，并求解特征值。雅可比矩阵是由复制动态方程对各个变量的偏导数构成的矩阵，例如：

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} & \frac{\partial F(x)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} & \frac{\partial F(y)}{\partial z} \\ \frac{\partial F(z)}{\partial x} & \frac{\partial F(z)}{\partial y} & \frac{\partial F(z)}{\partial z} \end{bmatrix}$$

将各个稳定点代入雅可比矩阵，并求解特征值，可以得到如下结果：

$$\begin{aligned}
 (x, y, z) &= (0, 0, 0) \\
 J &= \begin{bmatrix} bH - bL + cL - cH & 0 & 0 \\ 0 & bL - bH & 0 \\ 0 & 0 & -t \end{bmatrix} \\
 \lambda &= bH - bL + cL - cH, bL - bH, -t \\
 (x, y, z) &= (1, 1, 1) \\
 J &= \begin{bmatrix} bL - bH + cH - cL & 0 & 0 \\ 0 & bH - bL & 0 \\ 0 & 0 & t \end{bmatrix} \\
 \lambda &= bL - bH + cH - cL, bH - bL, t \\
 (x, y, z) &= (0, 1, 0) \\
 J &= \begin{bmatrix} bH - bL + cL - cH & 0 & 0 \\ 0 & bH - bL & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 \lambda &= bH - bL + cL - cH, bH - bL, 0 \\
 (x, y, z) &= (1, 0, 0) \\
 J &= \begin{bmatrix} bL - bH + cH - cL & 0 & 0 \\ 0 & bL - bH & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\
 \lambda &= bL - bH + cH - cL, bL - bH, 0 \\
 (x, y, z) &= (1, 1, 0) \\
 J &= \begin{bmatrix} bL - bH + cH - cL & 0 & 0 \\ 0 & bH - bL & 0 \\ 0 & 0 & -t \end{bmatrix} \\
 \lambda &= bL - bH + cH - cL, bH - bL, -t
 \end{aligned}$$

根据特征值正负判断该点是否为稳定的纳什均衡，排除含 0 与正数特征值的雅各比矩阵，得到如下结论：

当 $bH - bL + cL - cH < 0$ ，即 $bH - cH < bL - cL$ ， $bL < bH$ 时，上游地方政府采用高水平保护净收益小于低水平保护净收益时，上游高水平保护收益大于低水平保护收益时， $(x, y, z) = (0, 0, 0)$ 是一个稳定的纳什均衡，对应的策略组合是 (L, N, F) ，即上游地方政府选择低水平保护，下游地方政府不给予生态补偿，中央政府不给予纵向财政转移支付。

当 $bL - bH + cH - cL < 0$ ，即 $bL - cL < bH - cH$ ， $bH < bL$ 时，上游地方政府采用高水平保护净收益大于低水平保护净收益时，上游高水平保护收益小于低水平保护收益时， $(x, y, z) = (1, 1, 0)$ 是一个稳定的纳什均衡，对应的策略组合是 (H, C, F) ，即上游地方政府选择高水平保护，下游地方政府给予生态补偿，中央政府不给予纵向财政转移支付。

该博弈模型稳定的纳什均衡取决于上流地方政府的成本与收益比较，两种纳什均衡也代表了两个极端的方向，一种是没有任何保护和补偿的情况，一种是有最高水平的保护和补偿的情况。在该博弈模型

中,各方的策略选择较为敏感,一旦有一方改变了自己的策略,就可能引起其他两方也改变自己的策略,从而导致博弈结果发生剧烈的变化。

4. 结论及建议

上述分析的政策含义包含,要实现流域水环境保护的最优水平,需要各方的协调和合作。如果没有任何一方的配合,就很难达到中央政府的目标水平。

若选择纳什均衡 (L, N, F) ,会导致流域水环境保护的最低水平,从而降低流域水环境的质量,同时也会使得下游地方政府和中央政府的收益达到最小化。虽然这个纳什均衡可以使得各方节省成本和支出,但是它也会带来更少的收益和效益,从而远远低于流域水环境保护的目标水平。这个纳什均衡反映了一种“悲观主义”的心态,即各方都认为自己无法改变博弈结果,因此选择了最保守的策略,从而导致了一种“自我实现”的预言,即博弈结果真的变得最差。

针对纳什均衡 (H, C, F) ,该均衡更有利于流域水环境保护,因为它可以使得上游地方政府选择高水平保护,从而提高流域水环境的质量,同时也可以使得下游地方政府和中央政府的收益达到最大化。虽然这个纳什均衡需要各方付出更多的成本和支出,但是它也能带来更多的收益和效益,从而实现流域水环境保护的最优水平。

至于中央政府不采取纵向转移支付,本文给出以下几点理由:第一,纵向转移支付过于依赖公共资源,给政府造成了较大的财政压力,导致流域治理过程中效率和可持续性低下。第二,纵向转移支付缺乏有效的激励机制,难以调动地方政府和社会各方面的积极性,也难以监督和评估补偿资金的使用效果。第三,纵向转移支付忽视了流域内部的生态功能差异和利益分配问题,容易造成上下游或不同地区之间的利益冲突和博弈。

相对来说,上下游地方政府间横向转移支付更符合“受益者付费、提供者受益”的原则,能够更好地体现流域内部的生态产品供需关系和价值实现。^[7]并且能够充分发挥市场机制的作用,通过多元化的补偿方式,如股权补偿、产业补偿、园区共建、绿色金融、市场交易等,吸引更多社会资本参与流域生态环境保护与修复。除此之外,横向转移支付增加区域间协同,对上游地区有所激励,促进流域上下游或不同地区之间的协作与联动,通过建立协作小组、联防联控机制、联合监测和排查等工作,提升流域协同治理能力。^[8]

从我国生态补偿横向转移支付的实践情况看,目前通常是由中央政府相关职能部门牵头开展跨省生态补偿。为了更好地协调跨省生态补偿的利益关系,需要中央政府建立专门的横向转移支付管理机构,由中央相关部门和各地方政府的代表组成,赋予其处理转移支付矛盾和难题的权力,从而促进生态补偿横向转移支付的有效实施。地方政府间的横向转移支付需中央政府成立专门的机构来管理,由中央相关部门和各地方政府的代表共同参与,有权解决转移支付中的利益冲突和问题,以便更好地推进上下游流域生态补偿的工作。

参考文献

- [1] 戴胜利,李筱雅.流域生态补偿协同共担机制的运作逻辑——以新安江流域为例[J].行政论坛,2022,29(6):109-117.
- [2] 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[J].环境保护,2022,50(19):13-17.
- [3] 单云慧.新时代生态补偿横向转移支付制度化发展研究——以卡尔多-希克斯改进理论为分析进路[J].经济问题,2021(2):107-116.
- [4] 马骏,程常高,唐彦.基于多主体成本分担博弈的流域生态补偿机制设计[J].中国人口·资源与环境,2021,31(4):144-154.

- [5] 曲富国, 孙宇飞. 基于政府间博弈的流域生态补偿机制研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(11): 83-88.
- [6] 沈满洪, 谢慧明. 跨界流域生态补偿的“新安江模”及可持续制度安排[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(9): 156-163.
- [7] 张新祥, 郭玉洁, 曹艳丽, 王美琦. 基于演化博弈的黄河流域生态补偿机制研究[J]. 数学的实践与认识, 2021, 51(22): 142-152.
- [8] 朱仁显, 李佩姿. 跨区流域生态补偿如何实现横向协同?——基于 13 个流域生态补偿案例的定性比较分析[J]. 公共行政评论, 2021, 14(1): 170-190, 224-225.