

水环境严重破坏流域的生态补偿策略研究

陈艳萍,程亚雄



(河海大学 商学院,江苏 南京 211100)

摘要 针对水环境已经遭到严重破坏的一类流域的生态补偿问题,通过建立3种情形下的演化博弈模型,递进地分析这类流域的生态补偿策略。研究发现:建立没有流域政府参与的演化博弈模型,证明了流域上下游在生态补偿问题上的演化稳定策略是(不修复,不补偿),该策略显然是无法达到生态修复目标的;引入上级政府参与生态修复,依然无法得到上下游间的理想演化稳定策略(修复,补偿);假设上级政府既承担生态修复成本又制定约束机制规范上下游的行为,当上游选择“修复”获得的自身收益增加和政府补贴大于其生态修复成本,且下游支付的补偿金额小于政府对其惩罚金额时,则上下游的演化稳定策略为(修复,补偿)。此结果证明:在市场交易模式尚不成熟的当前,由流域政府和下游共同承担的生态补偿模式必将成为水环境严重破坏流域的理想补偿模式。

关键词 流域生态补偿;水环境;生态修复;政府参与;演化博弈;生态补偿策略

中图分类号:F 205,F 062.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-3456(2018)01-0121-08

DOI 编码:10.13300/j.cnki.hnwxb.2018.01.015

随着经济社会的持续快速发展,流域上下游地区在追求工业化、城市化的过程中消耗了大量的水资源,对流域的水环境造成了严重的破坏。目前,我国很多流域的生态环境遭到了严重破坏,尤其是流域水源地的生态环境恶化日益加剧,迫切需要实施流域生态补偿,保护流域水资源,延长流域的健康生命周期^[1-4]。很多文献应用演化博弈论分析了流域初始水权冲突以及流域生态补偿中的稳定策略^[5-11]。陈艳萍等应用演化博弈分析了流域初始水权冲突中的演化稳定策略以及水权分配中强弱势群体间的演化稳定策略^[5-6]。王俊能等通过建立演化博弈模型,得到利益相关者之间的纳什均衡策略(上游保护,下游补偿)^[7]。徐大伟等和涂少云通过建立流域生态补偿的非对称演化博弈模型,分析上下游政府的演化稳定策略^[8-9]。曲富国等构建了基于成本收益的博弈模型,根据演化博弈结果提出必须通过上下游间有约束力的横向财政转移支付与中央政府的纵向财政转移支付相结合,才能规范上下游的生态保护与生态补偿行为^[10]。李昌峰等在流域生态补偿演化博弈模型中引入上级监督部门约束因子,基于(上游保护,下游补偿)的演化稳定策略,反推出流域政府应制定的惩罚金范围^[11]。文献[7]~[11]都得出了相同的演化稳定策略——(上游保护、下游补偿),该稳定策略显然也是帕累托最优策略。

然而,目前我国很多流域的生态环境在开展生态补偿之前已经遭到了严重破坏,生态保护或修复成本巨大,前述文献的研究结果:(上游保护,下游补偿)的横向补偿模式已经不完全适用。因为,一般来说上游多为水源地,为了发展经济,没有考虑下游的用水情况,导致流域水环境遭到破坏,然而上游往往是一个流域中经济发展相对落后的地区,如果要求上游完全承担起生态修复任务或者进行相应的惩罚,对其来说无疑是“雪上加霜”,上游地区或相对弱势的农户只有依靠进一步破坏生态环境来获得更多的经济效益,以满足其基本的生存和生产需要^[12-14]。这样恶性循环的结果就是,流域上游地区

收稿日期:2017-03-01

基金项目:国家社会科学基金项目“弱势群体保护视角下黄河上游水生态补偿机制研究”(13CGL095);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目“流域水资源冲突中的协商机制研究”(2014B20014)。

作者简介:陈艳萍(1977-),女,副教授,博士;研究方向:资源环境管理、决策理论与方法。

越来越贫困,流域水环境也遭到越来越严重的破坏,严重影响流域下游的经济发展。对于下游来说,由于没有得到理想的水质,自然会降低其生态补偿的意愿。因此,这种特殊情况的存在就需要重新考虑流域生态补偿的方向和方式。

本文针对生态环境已经遭到严重破坏的流域,拟分 3 种情况逐层递进地分析这类流域生态补偿的演进策略,以期证明在当前市场交易模式尚不成熟的情况下,由政府和下游共同承担的生态补偿模式必将成为这类流域的理想生态补偿模式。

一、水环境破坏严重流域的特征

水环境,即由作为资源的水形成的、相对稳定的、有边界的水域组成的空间环境,是自然环境的重要组成部分,与大气环境、声环境、土壤环境等并列,且相互影响、相互作用。水的质和量是组成水环境的两个基本要素,也是决定水环境质量的重要因素,因此,通常认为,水质和水量情况能反映水环境的情况,如水质恶化、水量枯竭等都说明了水环境遭到破坏。

流域是一个典型的“社会—经济—自然”的复合生态系统,判定一个流域的水环境是否属于被严重破坏,通常是以流域水环境保护与修复目标以及对经济社会的影响程度为依据的。主要从以下几个方面进行判定:第一,生态用水需求的保障程度,即有无严重的生态缺水现象;第二,水体的自净能力及水环境的自我恢复能力;第三,水质能否满足人类生产生活的各层次的需求以及满足的程度;第四,水量是否能满足经济社会基本和合理的用水需求。河湖水质是否达标、水量是否被占用、水环境治理以及水环境破坏严重河流的生态修复力度等方面的内容,为判断水体生态环境是否遭受破坏以及确定被破坏程度提供了参考依据。若某一流域河湖或其他水体符合以上判定要点中的一个或几个,就说该流域的水环境被破坏,且可以根据一定的计算方法计算出水环境被破坏的程度^[15]。目前,我国的黄河流域、淮河流域部分河段都存在着水环境被严重破坏的问题。

对于水环境遭到严重破坏的这类流域,由于其生态修复成本巨大,不能再按照“谁破坏谁补偿”的原则安排生态补偿,必须重新考虑这类流域的生态补偿主体和补偿方式。

二、基本假设和参数设定

1. 基本假设

本文做以下假设:

(1) 流域一般可以分为上游、中游和下游。我国的大部分流域都有划分清晰的上游和下游,往往没有清晰的中游,又或中游区域非常小。另外,流域生态补偿的突出矛盾体现在上游和下游之间,或者上游和中下游之间,因此,本文将中游和下游看作一个整体考虑。为了更好地分析流域生态补偿中的主要矛盾,本文将一条流域所流经的区域划分为上游地区和下游地区(对于有明确中游地区的流域,可以将中游与下游合并为中下游地区),上游地区和下游地区的利益代表分别为上游政府(下文简称“上游”)和下游政府(下文简称“下游”);同时,每个流域都有一个管理机构,具有高于上游和下游的领导权和决策权,行使流域的决策权,即流域政府(下文简称“政府”)。

(2) 流域上游地区的水环境已经遭到严重破坏。上游地区一般是流域的水源涵养区和生态保护区,承担着重要的水土保持和生态建设任务,因发展机会不平等导致经济发展相对滞后。由于经济快速发展对水资源的需求量过大,加上政府没有足够重视流域生态保护以及监控不足,导致流域当前的生态环境已经遭到严重破坏,这种生态破坏是上游自身无能力修复的,也超出了下游的生态补偿支付能力。

(3) 下游地区是流域所辖区域中经济较发达地区,具有一定的生态补偿支付能力。流域下游地区的水质与上游地区密切相关,当流域生态环境遭到严重破坏时,下游地区因经济发展对水资源的需求量大且水质要求高,因此对流域水质改善的诉求要相对高于上游地区,在某种程度上更愿意为生态产品付费。

(4)对于水环境已经遭到严重破坏的流域,上游的策略选择有“修复”和“不修复”两种,当选择“修复”时,上游应该配合政府的生态修复工程,比如,关闭或限制一些高耗水、高污染产业的发展,建立污水处理厂等;如果选择“不修复”,则意味着上游将维持现状,继续充分利用水资源发展经济,向河流排污,对流域水环境造成破坏。下游根据上游的生态修复情况以及上游来水的水量水质,可以选择“补偿”和“不补偿”两种策略。

本文以符合上述四项假设的流域为研究对象,专门研究这类流域的生态补偿策略问题。

2.参数设置

R_1 ——上游当前的收益; R_2 ——下游当前的收益; ΔR_1 ——上游修复生态环境后自身增加的收益; ΔR_2 ——上游修复生态环境后下游增加的收益; c ——上游的生态修复成本(包括直接投入和机会成本,如关闭一些污染企业、高耗水企业,或者购买污水处理设备,损失发展经济的机会成本); h ——下游给予上游的生态补偿;以上各参数均大于等于零。

三、演化博弈模型

1.无政府参与的上下游生态补偿演化博弈模型

对于生态遭到严重破坏的流域,假设没有政府的参与,上下游间的博弈矩阵见表1。

当上游选择“修复”策略时,由于 $R_2 + \Delta R_2 - h < R_2 + \Delta R_2$,所以下游选择“不补偿”;当上游选择“不修复”时,由于 $R_2 - h < R_2$,因此,下游仍选择“不补偿”,因此无论上游选择什么策略,下游都选择“不补偿”。

当下游选择“补偿”策略时,上游的策略选择要依据 ΔR_1 和 c ,即上游修复生态后增加的收益和生态修复成本间的大小关系。当 $\Delta R_1 > c$ 时,上游选择“修复”;当 $\Delta R_1 < c$ 时,上游选择“不修复”。但是,现实情况是上游的生态修复成本要远大于生态环境修复后上游自身增加的成本,即有 $\Delta R_1 < c$,因此上游的策略选择为“不修复”。

综上,该博弈的纳什均衡策略为(不修复,不补偿),即流域上下游陷入“囚徒困境”:上游没有修复生态的积极性,下游没有补偿的必要性,结果导致流域内的水资源被上游过度开发,流域水环境恶化。没有政府参与的生态补偿带有很大的自主性,上下游间可能会由于生态修复成本较高,涉及的补偿金额较大,缺乏有效的约束机制等原因,导致生态补偿的具体实施存在较大困难,难以真正改善流域目前面临的水环境问题。由此可见,为了避免流域生态环境进一步恶化,上级政府参与生态补偿显然是必要的。

2.政府给予生态补偿时的演化博弈模型

政府参与生态补偿,既可以提高上游实施生态修复的积极性,又能减轻下游生态补偿的负担。政府参与生态补偿的常见方式有:利用财政转移支付的方式对上游进行生态修复;直接的现金补助;帮助上游发展生态产业;为上游居民提供相关技能培训等。

设 g 为政府给予的各种生态补偿折算成的生态补偿额,上下游间的博弈矩阵见表2。

假设 x 为上游选择“修复”策略的比例,那么选择“不修复”策略的比例为 $(1-x)$; y 为下游选择“补偿”策略的比例, $(1-y)$ 为选择“不补偿”策略的比例。因此,上游选择“修复”和“不修复”两种策略时其期望收益 u_{11} 、 u_{12} 和上游的平均期望收益 u_1 分别为:

$$u_{11} = y(R_1 + g + h + \Delta R_1 - c) + (1-y)(R_1 + g + \Delta R_1 - c) \quad (1)$$

$$u_{12} = y(R_1 + h) + (1-y)R_1 \quad (2)$$

表1 无政府参与的上下游间的博弈矩阵

上游政府	下游政府	
	补偿	不补偿
修复	$(R_1 + h + \Delta R_1 - c, R_2 + \Delta R_2 - h)$	$(R_1 + \Delta R_1 - c, R_2 + \Delta R_2)$
不修复	$(R_1 + h, R_2 - h)$	(R_1, R_2)

表2 政府给予生态补偿时的上下游间的博弈矩阵

上游政府	下游政府	
	补偿	不补偿
修复	$(R_1 + g + h + \Delta R_1 - c, R_2 + \Delta R_2 - h)$	$(R_1 + g + \Delta R_1 - c, R_2 + \Delta R_2)$
不修复	$(R_1 + h, R_2 - h)$	(R_1, R_2)

$$\bar{u}_1 = xu_{11} + (1-x)u_{12} \quad (3)$$

下游选择“补偿”和“不补偿”两种策略时其期望收益 u_{21} 、 u_{22} 和下游的平均期望收益 \bar{u}_2 分别为：

$$u_{21} = x(R_2 + \Delta R_2 - h) + (1-x)(R_2 - h) \quad (4)$$

$$u_{22} = x(R_2 + \Delta R_2) + (1-x)R_2 \quad (5)$$

$$\bar{u}_2 = yu_{21} + (1-y)u_{22} \quad (6)$$

对上游的策略进行演化稳定性分析,由式(1)和(3)可得上游采取“修复”策略的复制动态方程为:

$$\text{令 } F(x) = \frac{dx}{dt} = x(u_{11} - \bar{u}_1) = x(1-x)(u_{11} - u_{12}) = x(1-x)(g + \Delta R_1 - c) \quad (7)$$

令 $F(x)=0$,可知 $g + \Delta R_1 - c = 0$,因此 $x=0$ 和 $x=1$ 均为上游可能的稳定状态点。

$$F'(x) = (1-2x)(g + \Delta R_1 - c) \quad (8)$$

当 $g + \Delta R_1 - c = 0$ 时,总有 $F'(x)=0$,即当政府补偿额和生态修复后上游自身增加的收益之和等于上游生态修复成本时,对于所有 x 水平都是稳定状态,此时上游选择“修复”和“不修复”两种策略其收益没有区别。

当 $g + \Delta R_1 - c \neq 0$ 时,这里又分两种情况进行讨论:

(1)当 $g + \Delta R_1 - c > 0$ 时, $F'(0) > 0, F'(1) < 0$,因此 $x=1$ 是演化稳定策略,即当政府补偿额和生态修复后上游自身增加的收益之和大于上游生态修复成本时,上游逐渐由“不修复”向“修复”策略转移,“修复”为上游的演化稳定策略。

(2)当 $g + \Delta R_1 - c < 0$ 时, $F'(0) < 0, F'(1) > 0$,因此 $x=0$ 是演化稳定策略,即当政府补偿额和生态修复后上游自身增加的收益之和小于上游生态修复成本时,上游由“修复”向“不修复”策略转移,“不修复”为上游的演化稳定策略。

对下游的策略进行演化稳定性分析,由式(4)和(6)可得下游采取“补偿”策略的复制动态方程为:

$$\text{令 } F(y) = \frac{dy}{dt} = y(u_{21} - \bar{u}_2) = y(1-y)(u_{21} - u_{22}) = y(1-y)(-h) \quad (9)$$

当 $F(y)=0$ 时, $y=0, y=1$ 为可能的稳定状态点。

$$F'(y) = (1-2y)(-h) \quad (10)$$

$F'(0) < 0, F'(1) > 0$,因此 $y=0$ 是演化稳定策略,即下游任何情况下都会选择“不补偿”策略。

因此,在政府仅给予生态补偿时,(修复,补偿)策略仍不能成为演化稳定策略。原因在于当政府只进行补偿时,存在着与政府不参与补偿时一样的问题,即上下游间没有约束性协议来规范各自的行为,双方的行为仍带有很大的自主性。因此,上下游之间必须由第三方来制定具有约束力的协议以规范他们的行为。直接进行博弈矩阵的参数分析也可以得出相同的结论。

3. 政府既给予生态补偿又制定约束机制的演化博弈模型

从上述分析结果可以看出,流域的上级政府仅仅给予一定的生态补偿是不够的,还应制定约束机制来规范上下游的行为。上游得到了一定的补偿之后,生态修复的积极性可能增加,但是并没有改变下游的收益,下游不补偿获得的收益总是大于补偿获得的收益,因此上级政府部门还应制定约束机制,以改变

表 3 政府既给予生态补偿又制定约束机制时上下游的博弈矩阵

		下游政府	
		补偿	不补偿
上游政府	不补偿	$(R_1 + g + h + \Delta R_1 - c, R_1 + g + \Delta R_1 - c)$	$(R_1 + g + \Delta R_1 - c, R_2 + \Delta R_2 - h)$
	补偿	$(R_2 + \Delta R_2 - h, R_2 + \Delta R_2 - F_2)$	$(R_1 + h - F_1, R_2 - h)$

如果下游给予了生态补偿,上游却没有进行生态修复,则对上游罚款 F_1 ;如果上游进行了生态修复,而下游没有给予生态补偿,则对下游罚款 F_2 。政府既给予生态补偿又制定约束机制时上下游的博弈矩阵见表 3。

在这种情况下,上游选择“修复”和“不修复”两种策略时其期望收益 u_{11} 、 u_{12} 和上游的平均期望收益 \bar{u}_1 分别为:

$$u_{11} = y(R_1 + g + h + \Delta R_1 - c) + (1-y)(R_1 + g + \Delta R_1 - c) \quad (11)$$

$$u_{12} = y(R_1 + h - F_1) + (1-y)R_1 \quad (12)$$

$$\bar{u}_1 = xu_{11} + (1-x)u_{12} \quad (13)$$

$$\text{令 } F(x) = \frac{dx}{dt} = x(1-x)[yF_1 + g + \Delta R_1 - c] \quad (14)$$

$$F'(x) = (1-2x)(yF_1 + g + \Delta R_1 - c) \quad (15)$$

令 $F'(x)=0$, 可知 $x=0, x=1, y=\frac{c-g-\Delta R_1}{F_1}$ 均为上游可能的均衡点。

当 $y=\frac{c-g-\Delta R_1}{F_1} \geq 0$, 即 $g+\Delta R_1 \leq c$ 时, 分两种情况讨论:

(1) 当 $y=y^*=\frac{c-g-\Delta R_1}{F_1} \geq 0$ 时, 总有 $F'(x)=0$, 即上游选择“修复”和“不修复”这两种策略

没有区别, 即下游只要以 $\frac{c-g-\Delta R_1}{F_1}$ 的比例选择“修复”, 则上游以任何比例选择“修复”都是其稳定状态。

(2) 当 $y \neq y^*$ 时, 即 $1 > y > \frac{c-g-\Delta R_1}{F_1} \geq 0$ 时, $F'(0) > 0, F'(1) < 0$, 此时 $x=1$ 为演化稳定策

略, 即下游只要以高于 $\frac{c-g-\Delta R_1}{F_1}$ 的比例选择“补偿”, 则上游逐渐由“不修复”向“修复”策略转移, “修复”为演化稳定策略; 当 $0 \leq y < \frac{c-g-\Delta R_1}{F_1} < 1$ 时, $F'(0) < 0, F'(1) > 0$, 此时 $x=0$ 为稳定策略,

当下游以低于 $\frac{c-g-\Delta R_1}{F_1}$ 的比例选择“补偿”, 则上游逐渐由“修复”向“不修复”策略转移, “不修复”

为演化稳定策略; 当 $y=\frac{c-g-\Delta R_1}{F_1} < 0$ 时, 即 $g+\Delta R_1 > c$ 时, 总有 $y > 0 > y^*, F'(0) > 0, F'(1) < 0$, 此时 $x=1$ 为演化稳定策略, 即下游只要以高于 $\frac{c-g-\Delta R_1}{F_1}$ 的比例选择“补偿”, 则上游逐渐由“不修复”向“修复”策略转移, “修复”为演化稳定策略。

上游的复制动态如图 1 所示。

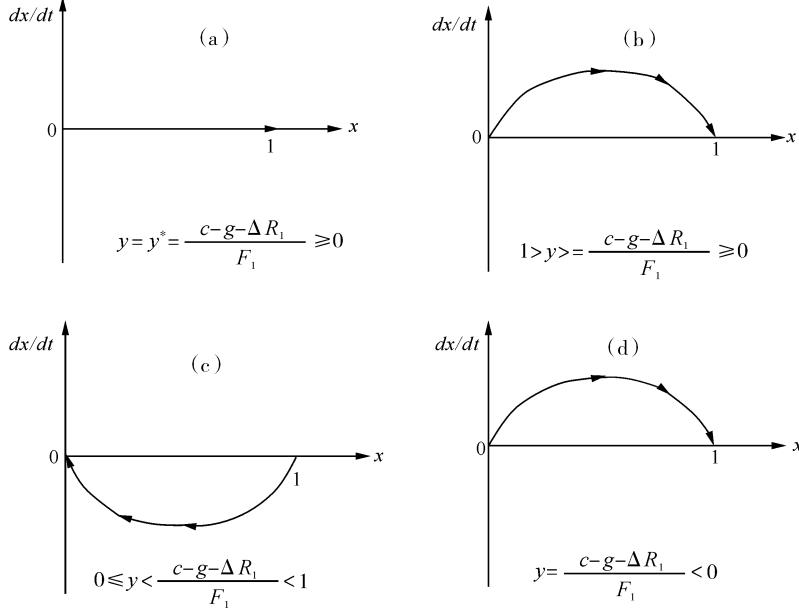


图 1 上游的复制动态

下游选择“补偿”和“不补偿”两种策略时其期望收益 u_{21}, u_{22} 和上游的平均期望收益 \bar{u}_2 分别为:

$$u_{21} = x(R_2 + \Delta R_2 - h) + (1-x)(R_2 - h) \quad (16)$$

$$u_{22} = x(R_2 + \Delta R_2 - F_2) + (1-x)R_2 \quad (17)$$

$$\bar{u}_2 = yu_{21} + (1-y)u_{22} \quad (18)$$

$$\text{令 } F(y) = \frac{dy}{dt} = y(1-y)(xF_2 - h) \quad (19)$$

$$F'(y) = (1-2y)(xF_2 - h) \quad (20)$$

当 $F'(y)=0$ 时, 有 $y=0, y=1, x=\frac{h}{F_2} \geqslant 0$

当 $x=x^*=\frac{h}{F_2}$ 时, 总有 $F'(y)=0$, 即下游选择“补偿”和“不补偿”这两种策略没有区别, 即上游

只要以 $\frac{h}{F_2}$ 的比例选择“修复”, 则下游以任何比例选择“补偿”都是其稳定状态。

当 $x \neq x^*$ 时, 分两种情况讨论:

(1) $1 \geqslant x > x^* \geqslant 0$ 时, $F'(0) > 0, F'(1) < 0$, 此时 $y=1$ 为演化稳定策略, 即上游只要以高于 $\frac{h}{F_2}$ 的

比例选择“修复”, 则下游逐渐由“不补偿”向“补偿”策略转移, “补偿”为下游的演化稳定策略。

(2) $0 \leqslant x < x^* \leqslant 1$ 时, $F'(0) < 0, F'(1) > 0$, 此时 $y=0$ 为稳定策略, 当上游以低于 $\frac{h}{F_2}$ 的比例选择

“修复”, 则下游逐渐由“补偿”向“不补偿”策略转移, “不补偿”为下游的演化稳定策略。下游的复制动态如图 2 所示。

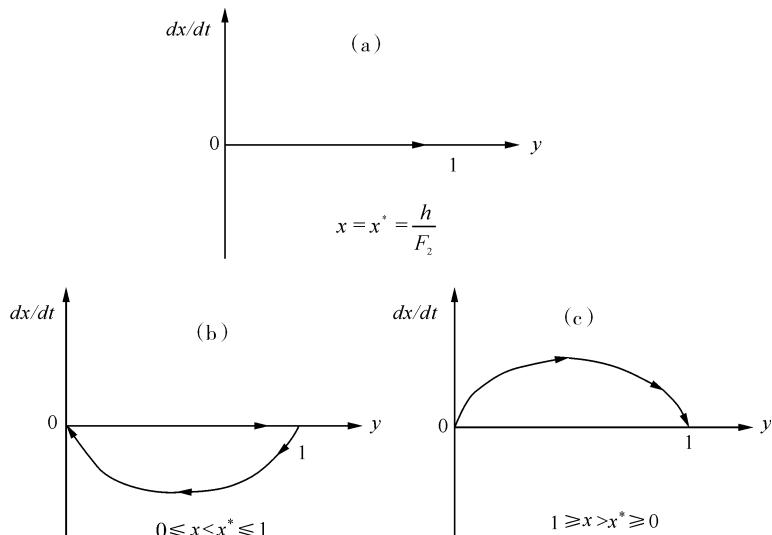


图 2 下游的复制动态

四、系统稳定性分析

式(14)和(19)构成“政府既给予补偿额又制定约束机制时上下游间的博弈”的动态复制系统, 接下来讨论该系统的稳定性。

根据对上下游分别求演化稳定策略可知, 该动态复制系统在平面坐标系上有 5 个局部均衡点: $(0,0), (1,0), (0,1), (1,1), (x^*, y^*)$, 分别对应着一个演化均衡。Friedmande 提出, 一个由微分方程系统描述的群体动态, 其局部均衡点的稳定性可由该系统的雅可比(Jacobi)矩阵的局部稳定性分析得到。根据 Friedmande 的思想, 对于由式(14)和(19)描述的群体动态系统, 其均衡点的稳定性由该系统的雅可比(Jacobi)矩阵的局部稳定性分析得到。则式(14)和(19)的雅克比矩阵对应的行列式和迹分别为:

$$\frac{\partial F(x)}{\partial y} = F_1 x (1-x), \frac{\partial F(y)}{\partial x} = F_2 y (1-y) \quad (21)$$

$$\det J = \begin{vmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} (1-2x)(yF_1+g+\Delta R_1-c) & F_1 x (1-x) \\ F_2 y (1-y) & (1-2y)(xF_2-h) \end{vmatrix} \quad (22)$$

$$= (1-2x)(1-2y)(yF_1+g+\Delta R_1-c)(xF_2-h) - F_1 F_2 x y (1-x)(1-y)$$

$$tr.J = \frac{\partial F(x)}{\partial x} + \frac{\partial F(y)}{\partial y} = (1-2x)(yF_1+g+\Delta R_1-c) + (1-2y)(xF_2-h) \quad (23)$$

要使(上游修复,下游补偿)成为演化稳定策略,即点(1,1)为稳定点,即 $\det J(1,1) = (F_1 + g + \Delta R_1 - c)(F_2 - h) > 0$, $tr.J = -(F_1 + g + \Delta R_1 - c) - (F_2 - h) < 0$,解得: $F_1 + g + \Delta R_1 - c > 0$, $F_2 - h > 0$ 。因此,只要当满足 $\{F_1 + g + \Delta R_1 - c > 0, F_2 - h > 0\}$ 条件时,(上游修复,下游补偿)即为该演化博弈的稳定策略。

接下来分析当 $\{F_1 + g + \Delta R_1 - c > 0, F_2 - h > 0\}$ 成立时,其他4个点的稳定性(见表4)。

表4 局部均衡点的稳定性分析

局部均衡点	$\det J$	$tr.J$
A(0,0)	$-h(g + \Delta R_1 - c)$	$g + \Delta R_1 - c - h$
B(1,0)	$-(g + \Delta R_1 - c)(F_2 - h)$	$-(g + \Delta R_1 - c) + (F_2 - h)$
C(0,1)	$h(F_1 + g + \Delta R_1 - c)$	$(F_1 + g + \Delta R_1 - c) + h$
E(x^* , y^*)	$-h(c - g - \Delta R_1)(1 - \frac{h}{F_2})(1 - \frac{c - g - \Delta R_1}{F_1})$	0

其中,点(1,0)、(0,1)、(x^* , y^*)无法满足 $\{F_1 + g + \Delta R_1 - c > 0, F_2 - h > 0\}$ 时, $\det J > 0$,且 $tr.J < 0$ 的条件,因此这3个点无法成为稳定点,点(0,0)需要重新考虑。当 $g + \Delta R_1 - c < 0$ 时,有 $\det J(0,0) > 0$, $tr.J < 0$,因此点(0,0)有可能成为演化稳定点。因此为了使点(1,1)成为唯一的演化稳定点,必须使得 $g + \Delta R_1 - c > 0$,此时点(0,0)成为不稳定点,(1,1)成为唯一的稳定点,即(上游修复,下游补偿)成为唯一的演化稳定策略。此时,满足的条件是:

$$\begin{cases} g + \Delta R_1 - c > 0 \\ F_1 + g + \Delta R_1 - c > 0 \\ F_2 - h > 0 \end{cases} \quad (24)$$

得到 $g + \Delta R_1 > c$,且 $F_2 > h$ 。

对式(24)中数量关系的解释为:当上游选择“修复”获得的自身收益增加和政府补偿额之和大于其生态修复成本,且下游补偿金额小于政府对其惩罚金额时,上游只会选择“修复”生态,下游只会进行“补偿”,而与各自当前的收益、上游的惩罚金额以及下游增加的收益无关,所以上游的策略选择与自身的收益和生态修复成本有关,下游的策略选择与其受到的惩罚力度有关。

五、结论与启示

关于流域生态补偿的研究很多,但是鲜见区分流域生态破坏程度的生态补偿问题。本研究针对生态环境遭到严重破坏的流域,分析其生态补偿特征,应用演化博弈模型,研究了3种情况下的生态补偿演化稳定策略,这3种情况分别是:无政府参与;政府分担生态修复成本;政府既分担生态修复成本又制定约束机制。通过对上述3种情况下流域上下游间的演化博弈模型的分析得出,只有当政府既给予生态补偿又制定具有约束力的惩罚机制时,且上游修复生态获得的自身收益增加和政府补偿金额大于其生态修复成本,下游补偿金额小于政府对其惩罚金额时,(上游修复,下游补偿)才能成为演化稳定策略。因此,对于水环境遭到严重破坏的流域,因其生态修复成本巨大,必须以政府参与为主导,制定严格的惩罚机制,才能使得生态补偿机制在流域上下游之间顺利实施。

对于水环境已经遭到严重破坏的流域,生态修复迫在眉睫,生态修复投入巨大,当前的生态修复必须以政府为主导,同时制定约束机制引导上游和下游共同参与,三方协同,加速流域的生态修复进程。从长远来看,当政府帮助流域恢复生态环境之后,接下来应该由流域上下游共同治理,即只有在上级政府制定的约束机制下,上下游达成帕累托最优策略(上游保护,下游补偿),才能使流域进入健康和谐的发展态势。

参 考 文 献

- [1] 刘晶,葛颜祥.我国水源地生态补偿模式的实践与市场机制的构建及政策建议[J].农业现代化研究, 2011, 32(5): 596-600.
- [2] 孟浩,白杨,黄宇驰,等.水源地生态补偿机制研究进展[J].中国人口·资源与环境, 2012, 22(10): 86-93.
- [3] 陈莹,马佳.太湖流域双向生态补偿支付意愿及影响因素研究[J].华中农业大学学报(社会科学版), 2017(1): 16-22.
- [4] 王军锋,侯超波.中国流域生态补偿机制实施框架与补偿模式研究:基于补偿资金来源的视角[J].中国人口·资源与环境, 2013, 23(2): 23-29.
- [5] 陈艳萍,吴凤平.基于演化博弈的初始水权分配中的冲突分析[J].中国人口·资源与环境, 2010, 20(11): 48-53.
- [6] 陈艳萍,吴凤平,周晔.流域初始水权分配中强弱势群体间的演化博弈分析[J].软科学, 2011, 25(7): 11-15.
- [7] 王俊能,许振成,彭晓春,等.流域生态补偿机制的进化博弈分析[J].环境保护科学, 2010, 36(1): 37-44.
- [8] 徐大伟,涂少云,常亮,等.基于演化博弈的流域生态补偿利益冲突分析[J].中国人口·资源与环境, 2012, 22(2): 8-14.
- [9] 涂少云.跨区域流域生态补偿中府际间博弈关系研究[D].大连:大连理工大学, 2013.
- [10] 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.
- [11] 李昌峰,张奕英,赵广川,等.基于演化博弈理论的流域生态补偿研究——以太湖流域为例[J].中国人口·资源与环境, 2014, 24(1): 171-176.
- [12] 魏楚,沈满洪.基于污染权角度的流域生态补偿模型及应用[J].中国人口·资源与环境, 2011, 21(6): 135-141.
- [13] 李欣,曹建华,李风琦.生态补偿参与对农户收入水平的影响[J].华中农业大学学报(社会科学版), 2015(6): 51-57.
- [14] 史恒通,赵敏娟.生态系统服务支付意愿及其影响因素分析:以陕西省渭河流域为例[J].软科学, 2015, 29(6): 115-119.
- [15] 郭文献,付意成,闫丽娟,等.治理修复型水生态补偿问题分析[J].自然资源学报, 2013, 28(9): 1538-1546.

(责任编辑:刘少雷)