

DOI: 10.5846/stxb201803230578

潘鹤思, 李英, 柳洪志. 央地两级政府生态治理行动的演化博弈分析——基于财政分权视角. 生态学报, 2019, 39(5): - .

Pan H S, Li Y, Liu H Z. Evolutionary game analysis of ecological rehabilitation between central and local governments: From the perspective of fiscal decentralization. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(5): - .

央地两级政府生态治理行动的演化博弈分析 ——基于财政分权视角

潘鹤思¹, 李 英^{2,*}, 柳洪志³

1 东北林业大学 经济管理学院, 哈尔滨 150040

2 辽宁大学 商学院, 沈阳 110136

3 哈尔滨商业大学 商业经济研究院, 哈尔滨 150028

摘要:生态环境是人类社会经济发展过程中的重要组成部分,然而由于粗放的经济发展模式,生态系统退化严重,影响人类幸福感和可持续发展。中央政府和地方政府是生态环境的主要治理主体,因此研究两类群体在生态治理过程中的行为互动机制具有较强的现实意义。基于财政分权的背景,从微观主体的收益函数出发,构建央地两级政府生态治理行动的演化博弈模型,探究两类主体的行为特征及其影响因素。根据复制动态方程分析参与主体的演化规律,采用 MATLAB 仿真工具分析不同情形下演化均衡状态及收敛趋势。研究表明,中央政府与地方政府在一定程度上都是“理性经济人”,系统稳定均衡策略取决于地方政府“严格执行”生态治理的净收益和中央政府“严格监管”的净收益,其中关键指标包括:地方政府生态治理执行力度和成本、政绩考核体系中生态指标和经济指标的权重系数、中央政府的监管成本、监管力度和惩罚金额。据此提出“财政分权同时创新地方政绩考核机制、发展比较优势、拓宽监管渠道”等对策建议,引导央地两级政府共同促进生态治理工作有效实施。

关键词:生态治理;财政分权;演化博弈模型;数值仿真

Evolutionary game analysis of ecological rehabilitation between central and local governments: From the perspective of fiscal decentralization

PAN Hesi¹, LI Ying^{2,*}, LIU Hongzhi³

1 School of Economics and Management, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

2 School of Business, Liaoning University, Shenyang 110136, China

3 Harbin University of Commerce, Institute of Business Economics, Harbin 150028, China

Abstract: Ecological environment is important, but degrades seriously, and the extensive mode of economic development can affect human well-being and sustainable development. It is highly significant to study the interaction mechanisms between the central and local governments because they are the main governing bodies of the ecological environment rehabilitation. Based on the background of fiscal decentralization, we constructed an evolutionary game model between the central and local governments, using the profit function to explore their behavioral characteristics as well as influencing factors. According to the replicator of dynamic equation, this study analyzes the behavior evolution laws of participants and uses the MATLAB simulation tools to analyze the evolutionarily stable strategies of the two groups and their convergence trend under different situations. Our results show that the central and local governments represent “economic men” to a certain extent. The stable equilibrium point depends on the net income of local government when they choice the strategy of

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71373039);教育部“新世纪优秀人才支持计划”项目(NCET-13-0712);哈尔滨商业大学博士科研启动项目(13DW034)

收稿日期:2018-03-23; 网络出版日期:2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liying@lnu.edu.cn

“strictly implement”, and the net income of central government when they choice the strategy of “strictly regulation”. The key indicators include the implementation degree, costs, ecological and economic indicators’ weight coefficient of the local government’s ecological rehabilitation, as well as the central government’s regulatory supervision, costs, punishment, and other factors. The above analysis puts forward the countermeasures, such as fiscal decentralization during the innovation of the local performance evaluation mechanism, following comparative development advantages, and widening of the regulatory channels of the central and local governments to guide the improvement of the efficiency of ecological rehabilitation.

Key Words: ecological rehabilitation; fiscal decentralization; evolutionary game model; numerical simulation

根据千年生态系统评估报告,在过去的 50 年里,由于日益增强的人类经济活动导致全球约 60%的生态系统处于退化或不可逆状态^[1],中国也是生态退化最为严重的国家之一,水土流失、森林生态系统退化、荒漠化等退化土地占国土面积的 22%左右^[2],70%以上的河流遭受污染^[3]。针对这些问题,党的“十九大”将生态文明建设提升为“千年大计”,不断突出强调生态治理的重要性,中央政府投入大量财力实施“天保工程”、“退耕还林”等以转移支付为主的生态补偿项目,其基本逻辑是:中央政府试图通过生态补偿增强地方政府的财政能力,改变地方政府预算软约束,解决生态保护成本与区域生态利益错配问题^[4]。但当前生态环境退化趋势尚未根本扭转,生态赤字持续扩大^[5],极大地威胁人类福祉,影响人类幸福感^[6]。以生态治理作为研究主线,系统分析中央政府与地方政府生态恢复的管理问题,对于生态环境改善具有重要的理论意义和现实意义。

生态环境问题主要归结于粗放型经济发展模式^[7],而这种发展模式根源于“中国式财政分权”地方政府“重增长、轻生态”的扭曲发展行为^[8]。已有研究很少关注财政分权对生态治理的影响。财政分权最典型的特征是“政治集权,经济分权”,在此背景下,各地政府进行着激烈的经济竞争和赶超,特别是“锦标赛晋升模式”和“GDP 挂帅考评体制”^[9]使理性的地方政府越倾向投入边际经济效益较高的基础建设领域。这样中央通过转移支付改善生态环境的初衷,完全可能因为转移支付存在“粘蝇纸效应”而失效^[10]。尤其生态脆弱的落后地区更容易诱发地方政府的财政道德风险,促使地方政府故意压低生态建设投入,以此为信号争取更多的上级转移支付^[11]。此外在经济激励作用下,地方政府可能与企业“合谋”过度利用生态资源,在资源供给和环境标准上降低门槛,导致对资源环境的“逐底竞争”^[12]。由此可见财政分权可能造成生态治理的效率损失,故基于财政分权的视角考虑主体间的决策依据、利益驱动及交互作用,构建央地两级政府共同治理的内生机制,是建设美丽中国的关键举措。

生态环境作为一种特殊的公共物品,具有消费的非排他性与供应的关联性^[13],这就决定生态消费行为具有显著负外部性,理性人的逐利行为会造成资源利用的个人边际成本和社会边际成本不相等现象^[14],最终不可避免形成“公地悲剧”这一合成谬误^[15]。另外生态治理利益相关者多元化和生态环境问题“脱域化”特征^[16],导致生态治理过程中存在“搭便车”行为,最终个体理性选择会导致集体的非合意产出。由此可见,生态治理不仅是技术难题,更是复杂相关主体不同利益冲突作用下的现实困境^[17]。鉴于此,博弈理论在揭示生态问题内在规律和微观机理方面取得了丰硕成果。依据治理手段不同划分为三类^[18-19]:第一、强调政府作用“庇古式”科层治理群体的行为互动。生态治理过程中存在外部性导致“市场失灵”,庇古认为需要政府借助“管制、征税和补贴”等手段实现外部性内化。已有研究多从中央政府与地方政府^[7, 20]、地方政府与企业^[21-22]、地方政府之间^[23]构建演化博弈模型,得出政府规制力度、保证金制度及税费等是影响系统演化的关键要素;第二、强调产权机制“科斯式”市场治理群体的行为互动^[24]。科斯认为只要产权界定清晰且允许交易,市场就可以发挥作用,突出体现在跨区域利益主体间的合作博弈及非合作博弈行为^[25]。如 Jichuan^[26]构建发展中国家和发达国家之间森林生态治理博弈模型,表明 REDD+项目实施的关键在于跨区域生态补偿。周伟铎^[27]基于成本分担的视角,构建京津冀雾霾治理的合作博弈模型,其中市场模式是最有效的成本分担模式;第三、强调集体行动多元治理群体的行为互动。很多学者强调政府与企业以外的第三方参与生态治理能够弥补科层治理和市场治理的盲区,如公众生态权益引入地方政府间博弈模型有利于解决跨区域生态治理的

“囚徒困境”^[28]、社会舆情压力^[29]及权力媒体监督^[30]也能够规范政府和企业采取绿色低碳发展方式。

通过已有研究成果梳理可知,国外生态治理更多关注市场机制下的跨区域合作、公众参与及社交媒体监督,国内研究则侧重于庇古税背景下政府间及政府与企业间的层级监管。但是关于生态治理失灵理论根源方面研究相对匮乏。同时,研究方法大多从完全信息、理性决策和静态博弈的角度出发。生态环境问题具有长期性、信息不完备性和政策复杂性等特征,以有限理性代替完全理性进行演化博弈分析,有利于从学习和变异过程中寻求最优决策,然而一些研究构建的演化博弈模型参数设计不足难以反应主体决策行为的演化特征。为拓展研究范围,本文以财政分权为理论背景,运用演化博弈理论,建立中央政府和地方政府生态治理行动的博弈模型,从动态演化的角度考察主体间的行为互动机制及其影响因素,以期“中国式财政分权”背景下的生态治理有效实施提供理论依据。

1 生态治理行动的演化博弈模型构建

1.1 问题描述及情景假设

央地两级政府在生态治理过程中存在基于信息不对称的委托-代理关系^[31],中央政府属于信息劣势的委托方,地方政府属于信息优势的代理方,生态环境能否有效改善,取决于地方政府行为偏好。由于生态治理成本投入高、回报周期长与地方官员追求短期政绩间存在矛盾和冲突,导致地方政府生态治理的消极性和被动性。另外有研究表明,地方政府不仅是公众的中性代理人,更是具有自利倾向的经济人^[32],尤其在财政分权和经济考核体制下,更加注重“短而快”的财政支出行为,放松对生态环境的治理,因此两级政府间存在动态的重复博弈关系。在有限理性假设下,中央政府和地方政府是博弈的两个参与群体,在群体中随机配对进行重复博弈,双方也会相互学习、策略调整。当中央政府要求地方政府加强对生态环境治理时,地方政府可以选择严格执行生态治理,加大对森林、草地、湿地等生态环境投入和生态技术研发,辖区内生态环境改善,短期内需要付出高额的执行成本和经济增长受阻的机会成本。也可以选择表面执行生态治理,辖区内生态环境恶化,几乎可以不付出任何成本,地方政府的策略空间为{严格执行,表面执行};针对地方政府的生态治理行动,中央政府可以选择进行严格监管,如考察各地区森林资源覆盖率,退耕还林、还草执行情况,对违规行为实施经济制裁。也可以选择表面监管,中央政府的策略空间为{严格监管,表面监管}。那么本文所讨论的中央政府和地方政府生态治理行动的演化博弈支付矩阵如表 1 所示:

表 1 生态治理行动的演化博弈支付矩阵

Table 1 The Evolution game Payment matrix of Ecological rehabilitation action

地方政府 Local government	中央政府 Central government	
	严格监管 Strictly regulation	表面监管 Surface regulation
严格执行 Strictly implement	$-C_1 - \delta_2 I_1 + \delta_1 I_3$ $-C_2 - \alpha I_1 + \beta I_3$	$-C_1 - \delta_2 I_1 + \delta_1 I_3$ $-\lambda_2 C_2 - \alpha I_1 + \beta I_3$
表面执行 Surface implement	$-\lambda_1 C_1 - F - \lambda_1 \delta_2 I_2$ $-C_2 + F - \lambda_1 \alpha I_1 - \lambda_1 \beta I_2$	$-\lambda_1 C_1 - \lambda_2 F - \lambda_1 \delta_2 I_2$ $-\lambda_2 C_2 + \lambda_2 F - \lambda_1 \alpha I_1 - \lambda_1 \beta I_2$

在支付矩阵中, C_1 表示地方政府严格执行生态治理的成本; I_1 是地方政府严格执行生态治理过程中的经济损失,即付出的机会成本; I_2 是地方政府表面执行生态治理时带来的生态破坏损失; I_3 是地方政府严格执行生态治理时带来的经济收益; F 表示中央政府严格监管时对地方政府的经济制裁; C_2 表示中央政府付出的监管成本。 $\delta_1(0 < \delta_1 < 1)$ 表示地方政府政绩考核中生态质量指标的权重系数; $\delta_2(0 < \delta_2 < 1)$ 表示地方政府绩效考核中经济指标的权重系数; $\alpha(0 < \alpha < 1)$ 表示经济外部效应系数,即地方经济发展水平对全国经济发展水平的影响; $\beta(0 < \beta < 1)$ 表示生态外部效应系数,即地方生态质量对全国生态质量的影响。此外在 2×2 非对称重复博弈中,地方政府可以随机独立的选择“严格执行”和“表面执行”策略,将地方政府生态治理的执行力度记作 $\lambda_1(0 \leq \lambda_1 \leq 1)$, λ_1 越小地方政府执行程度越低,在支付水平表现出生态治理执行成本下降,生态投入减少;将中

央政府的监管力度记为 λ_2 ($0 \leq \lambda_2 \leq 1$), λ_2 越小代表中央政府的监管程度越不严格, 倾向于表面监管。

1.2 演化博弈模型建立

令地方政府选择“严格执行”生态治理的概率为 x , “表面执行”生态治理的概率为 $1-x$; 中央政府选择“严格监管”的概率为 y , “表面监管”的概率为 $1-y$, x, y 均为关于时间 t 的函数。

首先构建地方政府群体的复制动态方程。地方政府选择“严格执行”、“表面执行”的期望收益与平均收益分别为 $\mu_{11}, \mu_{12}, \bar{\mu}_1$ 。

$$\mu_{11} = y(-C_1 - \delta_2 I_1 + \delta_1 I_3) + (1-y)(-C_1 - \delta_2 I_1 + \delta_1 I_3)$$

$$\mu_{12} = y(-\lambda_1 C_1 - F - \lambda_1 \delta_2 I_2) + (1-y)(-\lambda_1 C_1 - \lambda_2 F - \lambda_1 \delta_2 I_2)$$

$$\bar{\mu}_1 = x\mu_{11} + (1-x)\mu_{12}$$

因此地方政府“严格执行”策略的复制动态方程为:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(\mu_{11} - \bar{\mu}_1) = x(1-x)[yF(1-\lambda_2) - C_1(1-\lambda_1) + \lambda_2 F + \lambda_1 \delta_2 I_2 - \delta_2 I_1 + \delta_1 I_3] \quad (1)$$

同理构建中央政府群体的复制动态方程。中央政府选择“严格监管”、“表面监管”的期望收益与平均收益分别为 $\mu_{21}, \mu_{22}, \bar{\mu}_2$ 。

$$\mu_{21} = x(-C_2 - \alpha I_1 + \beta I_3) + (1-x)(-C_2 + F - \lambda_1 \alpha I_1 - \lambda_1 \beta I_2)$$

$$\mu_{22} = x(-\lambda_2 C_2 - \alpha I_1 + \beta I_3) + (1-x)(-\lambda_2 C_2 + \lambda_2 F - \lambda_1 \alpha I_1 - \lambda_1 \beta I_2)$$

$$\bar{\mu}_2 = x\mu_{21} + (1-x)\mu_{22}$$

因此中央政府群体“严格监管”策略的复制动态方程为:

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(\mu_{21} - \bar{\mu}_2) = y(1-y)(1-\lambda_2)(-C_2 + F - xF) \quad (2)$$

由式(1)和式(2)构成央地两级政府生态治理行动的复制动态系统:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(1-x)[yF(1-\lambda_2) - C_1(1-\lambda_1) + \lambda_2 F + \lambda_1 \delta_2 I_2 - \delta_2 I_1 + \delta_1 I_3] \\ \frac{dy}{dt} = y(1-y)(1-\lambda_2)(-C_2 + F - xF) \end{cases} \quad (3)$$

2 基于非对称视角的演化博弈分析

2.1 地方政府策略的演化稳定性分析

根据地方政府的复制动态方程, 当 $y = \frac{C_1(1-\lambda_1) - \lambda_2 F - \lambda_1 \delta_2 I_2 + \delta_2 I_1 - \delta_1 I_3}{F(1-\lambda_2)}$, $0 \leq \frac{C_1(1-\lambda_1) - \lambda_2 F - \lambda_1 \delta_2 I_2 + \delta_2 I_1 - \delta_1 I_3}{F(1-\lambda_2)} \leq 1$

成立时, $F(x) \equiv 0$, 意味着所有的 x 都是平衡状态。当 $y \neq \frac{C_1(1-\lambda_1) - \lambda_2 F - \lambda_1 \delta_2 I_2 + \delta_2 I_1 - \delta_1 I_3}{F(1-\lambda_2)}$ 时, 令 $F(x) = 0$, 得

$x=0, x=1$ 是 $F(x)$ 的两个平衡点, 对地方政府生态治理行动的复制动态方程(1)求导得 $F'(x) = (1-2x)[yF(1-\lambda_2) - C_1(1-\lambda_1) + \lambda_2 F + \lambda_1 \delta_2 I_2 - \delta_2 I_1 + \delta_1 I_3]$ 。是演化稳定策略要求 $F'(x) < 0$, 下面分两种情况讨论:

(1) 当 $C_1(1-\lambda_1) - \lambda_2 F - \lambda_1 \delta_2 I_2 + \delta_2 I_1 - \delta_1 I_3 < 0$, 恒有 $y > \frac{C_1(1-\lambda_1) - \lambda_2 F - \lambda_1 \delta_2 I_2 + \delta_2 I_1 - \delta_1 I_3}{F(1-\lambda_2)}$, $F'(1) < 0$, 则 $x=1$

是演化稳定策略。由 $C_1(1-\lambda_1) - \lambda_2 F - \lambda_1 \delta_2 I_2 + \delta_2 I_1 - \delta_1 I_3 < 0$ 可知 $C_1(1-\lambda_1) - \lambda_2 F - \lambda_1 \delta_2 I_2 + \delta_2 I_1 < \delta_1 I_3$, 表示地方政府严格执行生态治理的总收益大于总成本。即中央政府以高于 $\frac{C_1(1-\lambda_1) - \lambda_2 F - \lambda_1 \delta_2 I_2 + \delta_2 I_1 - \delta_1 I_3}{F(1-\lambda_2)}$ 的水平选择

“严格监管”策略时, 地方政府的“严格执行”策略为演化稳定均衡策略。

(2) 当 $C_1(1-\lambda_1) - \lambda_2 F - \lambda_1 \delta_2 I_2 + \delta_2 I_1 - \delta_1 I_3 > 0$ 时, 地方政府严格执行生态治理的收益小于付出的总成本, 分为两种情况讨论:

①若 $\frac{C_1(1-\lambda_1)-\lambda_2 F-\lambda_1 \delta_2 I_2+\delta_2 I_1-\delta_1 I_3}{F(1-\lambda_2)} > 1$, 恒有 $y < \frac{C_1(1-\lambda_1)-\lambda_2 F-\lambda_1 \delta_2 I_2+\delta_2 I_1-\delta_1 I_3}{F(1-\lambda_2)}$, 得 $F'(0) < 0$, 即 $x=0$

是演化稳定策略, 即中央政府以低于 $\frac{C_1(1-\lambda_1)-\lambda_2 F-\lambda_1 \delta_2 I_2+\delta_2 I_1-\delta_1 I_3}{F(1-\lambda_2)}$ 的水平选择“严格监管”策略时, 地方政府“表面执行”策略为演化稳定均衡策略。

②若 $0 < \frac{C_1(1-\lambda_1)-\lambda_2 F-\lambda_1 \delta_2 I_2+\delta_2 I_1-\delta_1 I_3}{F(1-\lambda_2)} < 1$, 分两种情况分析, 当 $y > \frac{C_1(1-\lambda_1)-\lambda_2 F-\lambda_1 \delta_2 I_2+\delta_2 I_1-\delta_1 I_3}{F(1-\lambda_2)}$ 时,

$x=1$ 是稳定均衡点; 当 $y < \frac{C_1(1-\lambda_1)-\lambda_2 F-\lambda_1 \delta_2 I_2+\delta_2 I_1-\delta_1 I_3}{F(1-\lambda_2)}$ 时, $x=0$ 是稳定均衡点。

2.2 中央政府策略的演化稳定性分析

根据中央政府的复制动态方程, 当 $x = \frac{F-C_2}{F}$, $0 \leq \frac{F-C_2}{F} \leq 1$ 成立时, $F(y) \equiv 0$, 意味着所有的 y 都是平衡状态。

当 $x \neq \frac{F-C_2}{F}$ 时, 令 $F(y) = 0$, $F-C_2 < 0$ 得 $y=0, y=1$ 是 $F(y)$ 的两个平衡点, 对中央政府生态治理行动的复制动态方程(2)求导得 $F'(y) = (1-2y)(1-\lambda_2)(-C_2+F-xF)$, 演化稳定策略要求 $F'(y) < 0$, 分两种情况讨论:

(1) 当 $F-C_2 < 0$, 恒有 $x > \frac{F-C_2}{F}$, $F'(0) < 0$, 则 $y=0$ 为演化稳定策略。由 $F-C_2 < 0$ 可知 $F < C_2$, 表示中央政府

严格监管生态治理的收益小于付出成本, 即地方政府以高于 $\frac{F-C_2}{F}$ 的水平选择“严格执行”策略时, 中央政府“表面监管”策略为演化稳定均衡策略。

(2) 当 $F-C_2 > 0$, 且 $0 < x < \frac{F-C_2}{F} < 1$, $F'(1) < 0$, $y=1$ 为演化稳定策略。由 $F-C_2 > 0$ 可知 $F > C_2$, 表示中央政府

严格监管生态治理的收益大于付出成本。即地方政府以低于 $\frac{F-C_2}{F}$ 的水平选择“严格执行”策略时, 中央政府“严格执行”策略为演化稳定均衡策略。

2.3 央地两级政府系统策略的演化稳定性分析

根据央地两级政府生态治理行动的复制动态系统方程式(3), 令 $\frac{dx}{dt} = 0, \frac{dy}{dt} = 0$, 解方程组, 在平面 $P\{(x, y) | 0 \leq x, y \leq 1\}$ 可得有 5 个复制动态平衡点: $E_1(0, 0)$ 、 $E_2(1, 0)$ 、 $E_3(1, 1)$ 、 $E_4(0, 1)$ 和 $E_5(x^*, y^*)$, 其中 $x^* =$

$$\frac{F-C_2}{F}, y^* = \frac{C_1(1-\lambda_1)-\lambda_2 F-\lambda_1 \delta_2 I_2+\delta_2 I_1-\delta_1 I_3}{F(1-\lambda_2)}。$$

根据 Friedman 的研究, 利用雅可比矩阵局部渐进稳定性可以探讨这个五个复制动态平衡点的邻域稳定性, 对 $F(x)$ 和 $F(y)$ 分别求偏导, 可得系统雅可比矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} (1-2x)[yF(1-\lambda_2)-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2 F+\lambda_1 \delta_2 I_2-\delta_2 I_1+\delta_1 I_3] & F(1-\lambda_2)x(1-x) \\ F(1-\lambda_2)(y-1)y & (1-2y)[-C_2(1-\lambda_2)-xF(1-\lambda_2)+F(1-\lambda_2)] \end{bmatrix}$$

其中矩阵 J 的行列式为:

$$\det J = (1-2x)[yF(1-\lambda_2)-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2 F+\lambda_1 \delta_2 I_2-\delta_2 I_1+\delta_1 I_3](1-2y)[-C_2(1-\lambda_2)-xF(1-\lambda_2)+F(1-\lambda_2)] - F^2(1-\lambda_2)2x(1-x)y(y-1)$$

矩阵 J 的迹为:

$$\text{tr} J = (1-2x)[yF(1-\lambda_2)-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2 F+\lambda_1 \delta_2 I_2-\delta_2 I_1+\delta_1 I_3] + (1-2y)[-C_2(1-\lambda_2)-xF(1-\lambda_2)+F(1-\lambda_2)]$$

根据演化博弈理论, 复制动态方程求出的平衡点不一定是演化稳定策略点, 系统演化动态过程中渐进稳

定的充要条件是:雅可比矩阵行列式 $\text{Det}(J) > 0$ 和迹 $\text{Tr}(J) < 0$ 。将系统的平衡点 $(0,0)$ 、 $(1,0)$ 、 $(0,1)$ 、 $(1,1)$ 带入矩阵的行列式和迹表达式中,如表 2 所示:

表 2 系统均衡点对应的矩阵行列式和迹表达式

Table 2 The Matrix determinant and Trace expression of the System equilibrium point

均衡点 $E(x,y)$ Equilibrium point	类型 Types	等式结果 Equality result
$E_1(0,0)$	Det(J)	$[-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3](F-C_2)(1-\lambda_2)$
	Tr(J)	$[-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3]+(F-C_2)(1-\lambda_2)$
$E_2(0,1)$	Det(J)	$-[F-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3](F-C_2)(1-\lambda_2)$
	Tr(J)	$[F-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3]-(F-C_2)(1-\lambda_2)$
$E_3(1,0)$	Det(J)	$[-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3]C_2(1-\lambda_2)$
	Tr(J)	$-[-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3]+C_2(1-\lambda_2)$
$E_4(1,1)$	Det(J)	$[F-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3](-C_2)(1-\lambda_2)$
	Tr(J)	$-[F-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3]+C_2(1-\lambda_2)$

Det:行列式 Determinant; Tr:迹 Trace; J:雅可比式 Jacobian

上述矩阵行列式和迹表达式中, $-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3$ 为中央政府表面监管、地方政府严格执行生态治理的净收益; $F-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3$ 为中央政府严格监管、地方政府严格执行生态治理的净收益; $(F-C_2)(1-\lambda_2)$ 为中央政府选择严格监管策略的净收益。由表达式容易得出, $-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3 < F-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3$ 。依据雅可比矩阵的局部稳定性分析法,我们将对不同情形的演化稳定策略进行讨论,并进行相应的数值模拟仿真。

3 央地两级政府稳定策略讨论及数值仿真

为了探究生态治理博弈模型中不同执行力度、监管强度、惩罚金额及绩效考核指标下,中央政府与地方政府生态治理的渐进稳定性运行轨迹,利用 MATLAB 仿真软件,对不同情形下策略主体动态演化过程进行仿真分析。假设情形 1—5 中,系统演化的初始点 (x,y) 为 $(0.4,0.6)$,横轴代表时间 t ,纵轴代表 x 和 y 的演化轨迹。

情形 1: $-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3 > 0, (F-C_2)(1-\lambda_2) > 0$

当中央政府表面监管时地方政府严格执行生态治理的净收益为正、中央政府严格监管的净收益为正。结合表 3 和图 1 可以看出,系统演化稳定均衡策略为点 $E_3(1,0)$ 。经过动态博弈后,当中央政府表面监管、地方政府严格执行生态治理的净收益为正,的情况下,地方政府会自发投入生态建设,通过植树造林、生态技术研发等行动改善生态环境。另外中央政府虽然严格监管的净收益为正,但是考虑到严格监管情形下的成本及地方政府较高的执行力度,中央政府严格监管的积极性逐渐降低,进一步增强表面监管的意愿。数值仿真分析可知,系统演化的初始点为 $[0.4,0.6]$,从参数假定来看,中央政府的罚款较高、生态绩效考核指标大于经济绩效考核指标时,更容易促使地方政府加强执行力度、主动承担生态治理的责任,而中央政府为了节约大量的监管成本,逐渐倾向于放松对地方政府的监管。

表 3 系统局部稳定性分析(情形 1)

Table 3 System local stability analysis (Case 1)

均衡点 Equilibrium point	Det(J)	Tr(J)	稳定性 Stability	均衡点 Equilibrium point	Det(J)	Tr(J)	稳定性 Stability
$E_1(0,0)$	+	+	不稳定	$E_3(1,0)$	+	-	ESS
$E_2(0,1)$	-	不定	鞍点	$E_4(1,1)$	-	不定	鞍点

ESS:演化稳定策略 evolutionarily stable strategy

情形 2: $-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3 > 0, (F-C_2)(1-\lambda_2) < 0$

当中央政府表面监管时地方政府严格执行生态治理的净收益为正、中央政府严格监管的净收益为负。从表 4 和图 2 可以看出, 演化均衡策略是点 $E_3(1, 0)$ 。这种情况发生在地方政府执行生态建设的收益较高时, 例如通过改善生态环境, 林下经济收入及旅游收入增加, 地方政府积极发展生态产业, 此时即使没有中央政府的严格监管, 地方政府也会自发加大对生态建设的投入。此外, 基于“理性经济人”假设, 中央政府严格监管的成本较高, 净收益较低时, 宁愿放弃对地方政府的经济制裁, 也不会严格监管地方政府行为。从数值仿真可以看出地方政府绩效考核指标中, 生态指标权重系数大于经济指标权重系数, 且严格执行力度较高, 而中央政府的严格监管成本要略高于惩罚金额, 且监管力度较低。

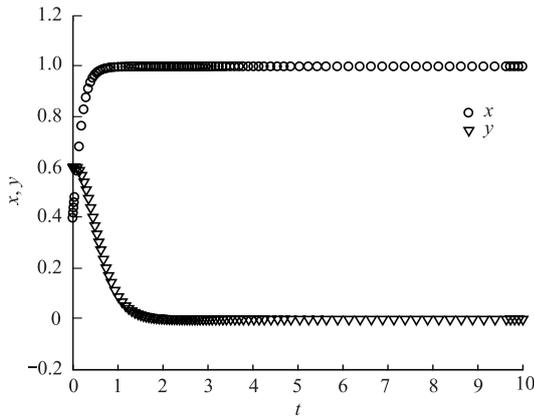


图 1 央地两级政府动态演化图

Fig.1 The Dynamic evolution of the two levels of government

($I_1=2, I_2=6, I_3=2, C_1=10, C_2=5F=10, \lambda_1=0.8, \lambda_2=0.3, \delta_1=0.8, \delta_2=0.5$; x : 代表地方政府运行轨迹 the trace of local government; y : 代表中央政府运行轨迹 the trace of central government)

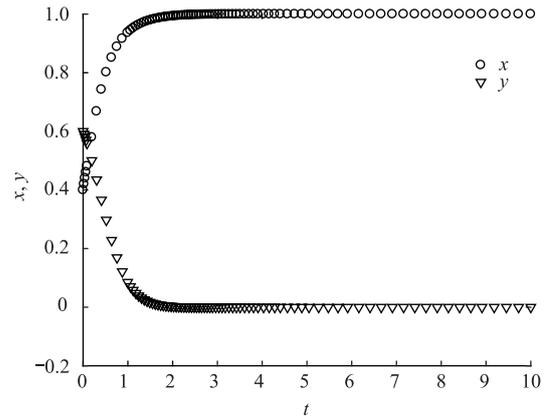


图 2 央地两级政府动态演化图

Fig.2 The Dynamic evolution of the two levels of government

($I_1=2, I_2=6, I_3=2, C_1=10, C_2=5, F=4, \lambda_1=0.8, \lambda_2=0.3, \delta_1=0.8, \delta_2=0.5$)

表 4 系统局部稳定性分析(情形 2)

Table 4 System local stability analysis (Case 2)

均衡点 Equilibrium point	Det(J)	Tr(J)	稳定性 Stability	均衡点 Equilibrium point	Det(J)	Tr(J)	稳定性 Stability
$E_1(0,0)$	-	不定	鞍点	$E_3(1,0)$	+	-	ESS
$E_2(0,1)$	+	+	不稳定	$E_4(1,1)$	-	不定	鞍点

情形 3: $-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2 F+\lambda_1 \delta_2 I_2-\delta_2 I_1+\delta_1 I_3 < 0, (F-C_2)(1-\lambda_2) < 0, F-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2 F+\lambda_1 \delta_2 I_2-\delta_2 I_1+\delta_1 I_3 < 0$

当中央政府表面监管时地方政府严格执行生态治理的净收益为负、中央政府严格监管的净收益为负、中央政府严格监管时地方政府严格执行生态治理的净收益为负。从表 5 和图 3 可知, 系统演化均衡策略是点 $E_1(0, 0)$ 。在这种情况下, 中央政府生态治理的监管成本较高, 对地方政府表面执行生态治理的经济制裁较低时, 中央政府为避免生态治理责任倾向于放松监管地方生态治理行为。此外地方政府严格执行生态治理的净收益低于罚款后表面执行生态治理的净收益, 故形成地方政府在生态治理行动中不作为态度。系统仿真可知, 中央政府的罚款金额低于监管成本, 导致中央政府生态监管流于形式, 而地方政府面临较低的生态绩效考核

表 5 系统局部稳定性分析(情形 3)

Table 5 System local stability analysis (Case 3)

均衡点 Equilibrium point	Det(J)	Tr(J)	稳定性 Stability	均衡点 Equilibrium point	Det(J)	Tr(J)	稳定性 Stability
$E_1(0,0)$	+	-	ESS	$E_3(1,0)$	-	不定	鞍点
$E_2(0,1)$	-	不定	鞍点	$E_4(1,1)$	+	+	不稳定

核指标、较高的经济绩效考核指标时,更注重发展生产建设,忽视对生态环境的投入,经过持续的演化过程,央地两级政府最终陷入生态治理的“囚徒困境”。

情形 4: $-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3<0, (F-C_2)(1-\lambda_2)>0, F-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3<0$

当中央政府表面监管时地方政府严格执行生态治理的净收益为负、中央政府严格监管的净收益为正、中央政府严格监管时地方政府严格执行生态治理的净收益为负时。经过动态演化博弈后,结合表 6 和图 4 可知,演化稳定均衡策略是点 $E_2(0,1)$ 。这种情况发生在中央政府由于监管成本较低,而生态收益较高,或者基于社会福利最大化考虑,更加倾向严格落实生态建设责任。此时地方政府由于选择表面执行生态治理的收益要大于严格执行时收益,地方政府作为理性的经济人, $\delta_2=0.8$) 在持续的演化过程中会继续选择表面执行生态治理策略。然而将进一步激发中央政府的监管力度。数值仿真可知,地方政府的经济绩效考核指标高于生态绩效考核指标,中央政府对地方政府的经济制裁要高于监管成本,故中央政府监管积极性要高于地方政府执行积极性。

表 6 系统局部稳定性分析(情形 4)

Table 6 System local stability analysis (Case 4)

均衡点 Equilibrium point	Det(J)	Tr(J)	稳定性 Stability	均衡点 Equilibrium point	Det(J)	Tr(J)	稳定性 Stability
$E_1(0,0)$	-	不定	鞍点	$E_3(1,0)$	-	不定	鞍点
$E_2(0,1)$	+	-	ESS	$E_4(1,1)$	+	+	不稳定

情形 5: $-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3<0, (F-C_2)(1-\lambda_2)<0, F-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3>0$

当中央政府表面监管时地方政府严格执行生态治理的净收益为负、中央政府严格监管的净收益为负、中央政府严格监管时地方政府严格执行生态治理的净收益为正时。经过动态演化博弈后,结合表 7 和图 5 可知,演化稳定均衡策略是点 $E_1(0,0)$ 。这种情况发生在中央政府严格监管的经济收益不足以弥补高额的监管成本时,基于自身利益最大化考虑生态治理无利可图,逐渐趋向于表面监管策略。而地方政府相对于严格执行,表面执行生态治理获得的收益更高,此外由仿真可知较高的经济绩效考核激励,促使地方政府更加热衷于投资生产性领域。因此生态治理系统必定演化至糟糕状态,生态环境持续退化。

情形 6: $-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3<0, (F-C_2)(1-\lambda_2)>0$

$$F-C_1(1-\lambda_1)+\lambda_2F+\lambda_1\delta_2I_2-\delta_2I_1+\delta_1I_3>0$$

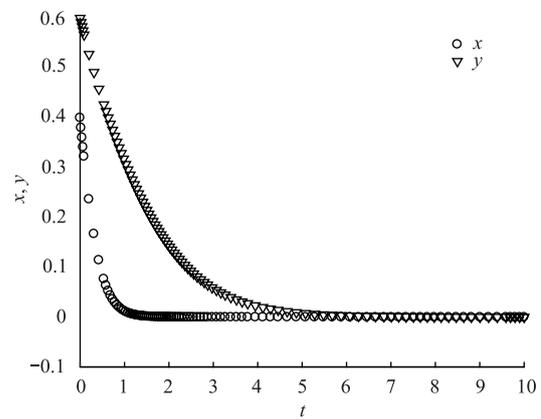


图 3 央地两级政府动态演化图

Fig.3 The Dynamic evolution of the two levels of government

($I_1=2, I_2=6, I_3=2, C_1=10, C_2=5, F=3, \lambda_1=0.3, \lambda_2=0.5, \delta_1=0.5,$

$\delta_2=0.8$)

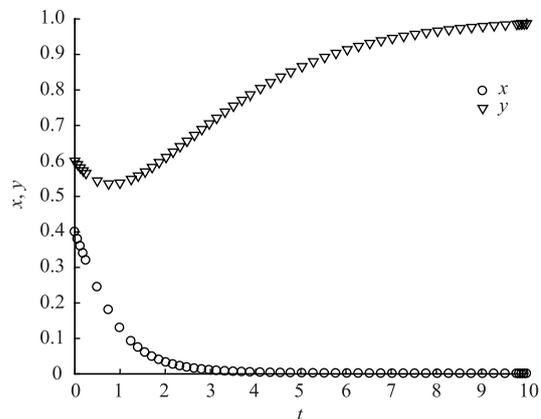


图 4 央地两级政府动态演化图

Fig4 The Dynamic evolution of the two levels of government

($I_1=2, I_2=6, I_3=2, C_1=10, C_2=5, F=6, \lambda_1=0.3, \lambda_2=0.5, \delta_1=$

$0.5, \delta_2=0.8$)

表 7 系统局部稳定性分析(情形 5)

Table 7 System local stability analysis (Case 5)

均衡点 Equilibrium point	Det(J)	Tr(J)	稳定性 Stability	均衡点 Equilibrium point	Det(J)	Tr(J)	稳定性 Stability
$E_1(0,0)$	+	-	ESS	$E_3(1,0)$	-	不定	鞍点
$E_2(0,1)$	+	+	不稳定	$E_4(1,1)$	+	+	不稳定

当中央政府表面监管时地方政府严格执行生态治理的净收益为负、中央政府严格监管的净收益为正、中央政府严格监管时地方政府严格执行生态治理的净收益为正时。由表 8 和图 6 可知,双方不存在演化稳定均衡策略,得到中心点 (x^*, y^*) 。根据非对称演化博弈分析,对于地方政府复制动态方程 $F(x) = 0$ 时,可以得到 $x = 0, x = 1$ 两个平衡点,当初始状态水平 $y < y^*$ 时, $x = 0$ 是稳定点;当初始状态水平 $y > y^*$ 时, $x = 1$ 是稳定点。同理对于中央政府复制动态方程 $F(y) = 0$ 时,可以得到 $y = 0, y = 1$ 两个平衡点,当初始状态水平 $x < x^*$ 时, $y = 1$ 是稳定点;当初始状态水平 $x > x^*$ 时, $y = 0$ 是稳定点。此时央地两级政府采取混合策略,其最终的稳定均衡点取决于初始状态水平及临界值 (x^*, y^*) 的位置。这种情况发生在当中央政府严格监管生态治理成本较低时,其监管的积极性增强,而地方政府虽然严格执行生态治理行为

为无利可图,但是面临中央政府高额的经济制裁,不得不改善生态环境。经过长期的演化,当中央政府鉴于地方政府良好的执行态度和监管成本,逐渐放松对地方的监管,最后地方政府发现中央政府监管力度降低,且表面执行生态治理收益较高,也将逐渐降低执行力度。如此循环反复构成央地两级政府的混合动态策略。

为验证上述分析,将 x 和 y 的初始值分别设定为 $(0.8, 0.2)$ 、 $(0.6, 0.4)$ 、 $(0.5, 0.5)$ 、 $(0.3, 0.7)$ 、 $(0.1, 0.9)$, 横轴代表地方政府严格执行策略的动态轨迹,纵轴代表中央政府严格监管策略的动态轨迹。经过数值仿真可知,央地两级政府形成循环周期式演化轨迹。此时临界值 x^* 和 y^* 约为 $(0.28, 0.27)$,可得当初始点 $y < 0.27$ 时, x 的轨迹趋近于 0,当 $y > 0.27$ 时, x 的轨迹趋近于 1;当初始点 $x > 0.28$ 时, y 的轨迹趋近于 0,当 $x < 0.28$ 时, y 的轨迹趋近于 1。

表 8 系统局部稳定性分析(情形 6)

Table 8 System local stability analysis (Case 6)

均衡点 Equilibrium point	Det(J)	Tr(J)	稳定性 Stability	均衡点 Equilibrium point	Det(J)	Tr(J)	稳定性 Stability
$E_1(0,0)$	-	不定	鞍点	$E_4(1,1)$	-	不定	鞍点
$E_2(0,1)$	-	不定	鞍点	$E_5(x^*, y^*)$	+	0	中心点
$E_3(1,0)$	-	不定	鞍点				

综上所述,为总结不同情形下地方政府与中央政府的演化稳定策略,令 ν_1, ν_2, ν_3 分别代表 $-C_1(1-\lambda_1) + \lambda_2 F + \lambda_1 \delta_2 I_2 - \delta_2 I_1 + \delta_1 I_3, (F - C_2)(1 - \lambda_2)$ 和 $F - C_1(1 - \lambda_1) + \lambda_2 F + \lambda_1 \delta_2 I_2 - \delta_2 I_1 + \delta_1 I_3$ 。当 $\nu_1 > 0$ 时(情形 1, 2), 中央政府表面监管时地方政府严格执行生态治理的净收益为正, 地方政府倾向于严格执行生态治理, 当 $\nu_1 < 0$ 时(情形 3, 4, 5, 6), 地方政府倾向于表面执行生态治理, 只有在初始条件下, 中央政府的监管水平高于临界值 y^* 时, 地方政府才会严格执行生态治理(表 9 所示)。因此央地两级政府生态治理策略博弈中, 最理想的演化结

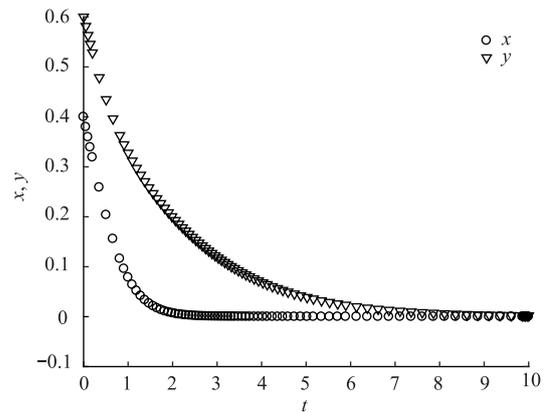


图 5 央地两级政府动态演化图

Fig.5 The Dynamic evolution of the two levels of government

$(I_1 = 2, I_2 = 6, I_3 = 2, C_1 = 10, C_2 = 5, F = 4, \lambda_1 = 0.4, \lambda_2 = 0.4, \delta_1 = 0.5, \delta_2 = 0.7)$

果取决于表达式 ν_1 和 y^* 的值。提高地方政府绩效考核中生态指标的权重系数 δ_1 、降低经济指标的权重系数 δ_2 ，增加中央政府严格监管的惩罚金额 F ，降低生态治理的执行成本 C_1 ，可以使 ν_1 值增加， y^* 值下降，能够实现改善生态环境的最终目的。

4 结论与讨论

生态治理是实现生态文明建设的关键举措。为提高治理效率，以财政分权为理论视角构建央地两级政府生态治理行动的演化博弈模型，系统考察了参与主体的生态治理策略行为及关键影响因素，从研究设计、参数选取等方面进行了拓展和改进，得出最理想的策略结果是中央政府表面监管的情形下，地方政府能够严格执行生态治理行动。主要结论如下：(1) 通过对均衡点的稳定性分析，得出生态治理执行情况取决于央地两级政府生态治理的净收益。对于地方政府而言，严格执行生态治理收益大于表面执行收益时，无论中央政府是否严格监管，地方政府都倾向于加强对生态环境治理；对于中央政府而言，严格监管的净收益不足以弥补监管成本时，中央政府倾向于选择表面监管。一定程度上验证了地方政府和中央政府都是“理性经济人”，因此生态治理效率取决于发展过程中政府采取的政策、制度和管理是否科学合理。(2) 从长期来看，生态治理行动策略选择处于动态变化中，是政绩考核指标、经济制裁、执行力度及执行成本等内外部因素共同作用的结果，稳定均衡点取决于两类种群的初始状态及相互“激励-约束”的关系，因此需要不断进行动态调整和优化，实现生态环境主体协同共治。

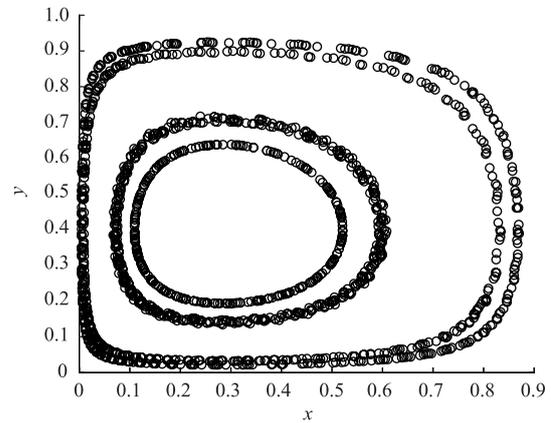


图6 央地两级政府动态演化图

Fig.6 The Dynamic evolution of the two levels of government

($I_1=2, I_2=6, I_3=2, C_1=10, C_2=5, F=7, \lambda_1=0.4, \lambda_2=0.6, \delta_1=0.4, \delta_2=0.6$)

表9 不同情形下的演化稳定策略

Table 9 The Evolutionary stabilization strategy in different situations

情形 Situation	ν_1	ν_2	ν_3	演化稳定策略 evolutionarily stable strategy
1	+	+	+	(严格执行, 表面监管)
2	+	+	-	(严格执行, 表面监管)
3	-	-	-	(表面执行, 表面监管)
4	-	-	+	(表面执行, 严格监管)
5	-	+	-	(表面执行, 表面监管)
6	-	+	+	无 ESS

ν_1 :代表中央政府表面监管时地方政府严格执行生态治理的净收益 the net income of local government when central government choice “surface regulation”; ν_2 :代表中央政府严格监管的净收益 the net income of central government when they choice “strictly regulation”; ν_3 :代表中央政府严格监管时地方政府严格执行生态治理的净收益 the net income of local government when central government choice “strictly regulation”

从生态经济学角度上讲，生态环境属于典型的公共物品，在生态治理过程中容易造成“囚徒困境”等问题。因此，在分析财政分权对生态治理的影响时，考虑央地两级政府的博弈决策行为就显得非常必要。相对于经典博弈理论，演化博弈建立在生物进化理论基础之上，以有限理性为前提，用参与人群来代替博弈中参与者个人，决策者通过不断试错、学习和模仿最终达到一种稳定均衡状态。本文通过复制动态方程，不仅可以反应央地两级政府行为范式的演化，还能揭示在生态治理变迁过程中，两者相互作用的关系。

我国的生态环境问题适用于“用脚投票”机制^[12,33]，约束地方政府增加公共服务供给以满足居民偏好，然而本文将财政分权指标纳入博弈理论分析之后并没有出现这样的结果。主要原因在于，分权改革以后，中央

政府主要以 GDP 单一模式考核地方政绩,财权下放赋予地方政府在财政方面拥有更多的自主权,为了获得政治晋升,地方官员往往力求短期“立竿见影”的表象经济增长,公共支出发生扭曲,生态治理供给不足,这与本文研究结果相一致,当经济绩效考核指标较高时,地方政府倾向于表面治理,当生态绩效考核指标较高时,地方政府倾向于严格治理。因此立足上述分析得出以下几点建议:(1) 财政分权的同时创新地方政绩考核机制。逐步提高生态绩效考核指标的权重系数,将地方生态环境质量、居民福利等统一纳入地方官员晋升激励体系。(2) 遵循比较优势发展战略,鼓励生态脆弱地方政府发展生态产业经济,使保护生态环境的收益大于成本。我国生态环境脆弱地区大多位于限制和禁止开发区,该区全部可利用的资源小于其拥有的实际资源,经济发展能力不足,需要中央政府通过实施转移支付、财政补贴等生态补偿项目,一方面降低地方政府生态治理的执行成本,另一方面鼓励地方政府发展生态产业经济,如森林康养产业、林下经济等,通过保护生态环境实现经济利益最大化。(3) 中央政府应加强对地方生态治理的监管力度,降低监管成本。生态环境问题的“脱域化”特征,以及生态利益主体权责不明确的特点,导致中央政府监管困难,监管成本较高,因此应该拓宽生态治理监管渠道,将社会公众、权力媒体、NGO 组织等纳入到生态环境监督体系,降低监管成本,加大对地方政府“不作为”的惩罚力度,追究相关人员的连带责任,进而提高生态治理行动的监管效率。

参考文献 (References):

- [1] United Nations Environment Programme. UNEP Year Book 2014: Emerging Issues in Our Global Environment. Nairobi: UNDP, 2014.
- [2] 甄霖, 王继军, 姜志德, 刘孝盈, 张长印, 马建霞, 肖玉, 谢永生, 谢高地. 生态技术评价方法及全球生态治理技术研究. 生态学报, 2016, 36(22): 7152-7157.
- [3] 李晓西, 赵峥, 李卫锋. 完善国家生态治理体系和治理能力现代化的四大关系——基于实地调研及微观数据的分析. 管理世界, 2015, 31(5): 1-5.
- [4] 张文彬, 李国平. 国家重点生态功能区转移支付动态激励效应分析. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(10): 125-131.
- [5] 赵其国, 黄国勤, 马艳芹. 中国生态环境状况与生态文明建设. 生态学报, 2016, 36(19): 6328-6335.
- [6] 刘家根, 黄璐, 严力蛟. 生态系统服务对人类福祉的影响——以浙江省桐庐县为例. 生态学报, 2018, 38(5): 1687-1697.
- [7] 姜珂, 游达明. 基于央地分权视角的环境规制策略演化博弈分析. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(9): 139-148.
- [8] 左翔, 李明. 环境污染与居民政治态度. 经济学, 2016, 15(4): 1409-1438.
- [9] 陈诗一, 陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展. 经济研究, 2018, 53(2): 20-34.
- [10] 缪小林, 王婷, 高跃光. 转移支付对城乡公共服务差距的影响——不同经济赶超省份的分组比较. 经济研究, 2017, 52(2): 52-66.
- [11] 尹振东, 汤玉刚. 专项转移支付与地方财政支出行为——以农村义务教育补助为例. 经济研究, 2016, 51(4): 47-59.
- [12] 蔡嘉瑶, 张建华. 财政分权与环境治理——基于“省直管县”财政改革的准自然实验研究. 经济学动态, 2018, 59(1): 53-68.
- [13] Paudyal K, Baral H, Keenan R J. Assessing social values of ecosystem services in the Phewa Lake Watershed, Nepal. Forest Policy and Economics, 2018, 90: 67-81.
- [14] 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.
- [15] Mehring M, Ott E, Hummel D. Ecosystem services supply and demand assessment: why social-ecological dynamics matter. Ecosystem Services, 2018, 30: 124-125.
- [16] 苑清敏, 张泉, 李健. 京津冀协同发展背景下合作生态补偿量化研究. 干旱区资源与环境, 2017, 31(8): 50-55.
- [17] 许玲燕, 杜建国, 汪文丽. 农村水环境治理行动的演化博弈分析. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(5): 17-26.
- [18] Diswandi D. A hybrid Coasean and Pigouvian approach to Payment for Ecosystem Services Program in West Lombok; does it contribute to poverty alleviation? Ecosystem Services, 2017, 23: 138-145.
- [19] Juutinen A, Ahtikoski A, Lehtonen M, Mäkipää R, Ollikainen M. The impact of a short-term carbon payment scheme on forest management. Forest Policy and Economics, 2018, 90: 115-127.
- [20] 潘峰, 西宝, 王琳. 基于演化博弈的地方政府环境规制策略分析. 系统工程理论与实践, 2015, 35(6): 1393-1404.
- [21] 王广成, 曹飞飞. 基于演化博弈的煤炭矿区生态修复管理机制研究. 生态学报, 2017, 37(12): 4198-4207.
- [22] Li F, Pan B, Wu Y Z, Shan L P. Application of game model for stakeholder management in construction of ecological corridors: a case study on Yangtze River Basin in China. Habitat International, 2017, 63: 113-121.
- [23] 初钊鹏, 刘昌新, 朱婧. 基于集体行动逻辑的京津冀雾霾合作治理演化博弈分析. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(9): 56-65.

- [24] Liu Z Y, Kontoleon A. Meta-analysis of livelihood impacts of payments for environmental services programmes in developing countries. *Ecological Economics*, 2018, 149: 48-61.
- [25] 陈建宝, 乔宁宁. 地方利益主体博弈下的资源禀赋与公共品供给. *经济学*, 2016, 15(2): 693-722.
- [26] Sheng J C, Wu Y, Zhang M Y, Miao Z. An evolutionary modeling approach for designing a contractual REDD+ payment scheme. *Ecological Indicators*, 2017, 79: 276-285.
- [27] 周伟铨, 庄贵阳, 关大博. 雾霾协同治理的成本分担研究进展及展望. *生态经济*, 2018, 34(3): 147-155.
- [28] 彭皓玥. 公众权益与跨区域生态规制策略研究——相邻地方政府间的演化博弈行为分析. *科技进步与对策*, 2016, 33(7): 42-47.
- [29] Pargal S, Wheeler D. Informal regulation of industrial pollution in developing countries: evidence from Indonesia. *Journal of Political Economy*, 1996, 104(6): 1314-1327.
- [30] Aerts W, Cormier D. Media legitimacy and corporate environmental communication. *Accounting, Organizations and Society*, 2009, 34(1): 1-27.
- [31] 陈真玲, 王文举. 环境税制下政府与污染企业演化博弈分析. *管理评论*, 2017, 29(5): 226-236.
- [32] Mitchell W C. Bureaucracy and representative government. By William A. Niskanen Jr. (Chicago & New York: Aldine-Atherton, Inc., 1971. Pp. 241. \$ 7.75.). *American Political Science Association*, 1971, 68(4): 1775-1777.
- [33] 郑洁, 付才辉, 张彩虹. 财政分权与环境污染——基于新结构经济学视角. *财政研究*, 2018, 39(3): 57-70.