

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 11 期 Vol.32 No.11 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 11 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

黑龙江省大兴安岭林区火烧迹地森林更新及其影响因子·····	蔡文华, 杨健, 刘志华, 等 (3303)
基于 B-IBI 指数的温榆河生态健康评价·····	杨柳, 李泳慧, 王俊才, 等 (3313)
川西亚高山暗针叶林不同恢复阶段红桦、岷江冷杉土壤种子损耗特征·····	马姜明, 刘世荣, 史作民, 等 (3323)
老龄阔叶红松林下层木空间分布的生境关联分析·····	丁胜建, 张春雨, 夏富才, 等 (3334)
内蒙古高原荒漠区四种锦鸡儿属植物灌丛沙包形态和固沙能力比较·····	张媛媛, 马成仓, 韩磊, 等 (3343)
角果藜的生长动态及其生殖配置·····	全杜娟, 魏岩, 周晓青, 等 (3352)
基于 MODIS/NDVI 时间序列的森林灾害快速评估方法——以贵州省为例·····	侍昊, 王笑, 薛建辉, 等 (3359)
祁连山西水林区土壤阳离子交换量及盐基离子的剖面分布·····	姜林, 耿增超, 李珊珊, 等 (3368)
水分和温度对春玉米出苗速度和出苗率的影响·····	马树庆, 王琪, 吕厚荃, 等 (3378)
施氮对水稻土 N ₂ O 释放及反硝化功能基因 (<i>narG/nosZ</i>) 丰度的影响·····	郑燕, 侯海军, 秦红灵, 等 (3386)
中国西北潜在蒸散时空演变特征及其定量化成因·····	曹雯, 申双和, 段春峰 (3394)
基于植被降水利用效率和 NDVI 的黄河上游地区生态退化研究·····	杜加强, 舒俭民, 张林波 (3404)
异速生长法计算秋茄红树林生物量·····	金川, 王金旺, 郑坚, 等 (3414)
乌兰布和沙漠沙蒿与油蒿群落的物种组成与数量特征·····	马全林, 郑庆中, 贾举杰, 等 (3423)
不同光强下单叶蔓荆的光合蒸腾与离子累积的关系·····	张萍, 刘林德, 柏新富, 等 (3432)
浑善达克沙地沙地榆种子雨的扩散规律·····	谷伟, 岳永杰, 李钢铁, 等 (3440)
咸水灌溉对沙土土壤盐分和胡杨生理生长的影响·····	何新林, 陈书飞, 王振华, 等 (3449)
外源 NO 对 NaHCO ₃ 胁迫下黑麦草幼苗光合生理响应的调节·····	刘建新, 王金成, 王鑫, 等 (3460)
呼伦贝尔草地植物群落与土壤化学计量学特征沿经度梯度变化·····	丁小慧, 罗淑政, 刘金巍, 等 (3467)
海南稻田土壤硒与重金属的含量、分布及其安全性·····	耿建梅, 王文斌, 温翠萍, 等 (3477)
江苏省典型区农田土壤及小麦中重金属含量与评价·····	陈京都, 戴其根, 许学宏, 等 (3487)
应用稳定同位素研究广西东方洞食物网结构和营养级关系·····	黎道洪, 苏晓梅 (3497)
利用细胞计数手段和 DGGE 技术分析松花江干流部分地区的细菌种群多样性·····	屠腾, 李蕾, 毛冠男, 等 (3505)
中国主要入海河流河口集水区划分与分类·····	黄金良, 李青生, 黄玲, 等 (3516)
基于 VGPM 模型和 MODIS 数据估算梅梁湾浮游植物初级生产力·····	殷燕, 张运林, 时志强, 等 (3528)
低温胁迫下虎纹蛙的生存力及免疫和抗氧化能力·····	王娜, 邵晨, 颜志刚, 等 (3538)
转 Bt 水稻土壤跳虫群落组成及其数量变化·····	祝向钰, 李志毅, 常亮, 等 (3546)
尼日利亚非洲蜂和安徽意大利蜜蜂及其杂交二代形态特征与微卫星 DNA 遗传多样性·····	余林生, 解文飞, 巫厚长, 等 (3555)
北京城市公园湿地休憩功能的利用及其社会人口学因素·····	李芬, 孙然好, 陈利顶 (3565)
基于协整理论的经济增长与生态环境变化关系分析——以重庆市渝东南地区为例·····	肖强, 胡聃, 肖洋, 等 (3577)
感潮河网区环境合作博弈模型及实证·····	刘红刚, 陈新庚, 彭晓春 (3586)
专论与综述	
国内外生态效率核算方法及其应用研究述评·····	尹科, 王如松, 周传斌, 等 (3595)
全球变化背景下的现代生态学——第六届现代生态学讲座纪要·····	温腾, 徐德琳, 徐驰, 等 (3606)
问题讨论	
流域环境要素空间尺度特征及其与水生态分区尺度的关系——以辽河流域为例·····	刘星才, 徐宗学, 张淑荣, 等 (3613)
研究简报	
不同光照强度对兴安落叶松几种主要防御蛋白活力的影响·····	鲁艺芳, 石蕾, 严善春 (3621)
木荷种源间光合作用参数分析·····	熊彩云, 曾伟, 肖复明, 等 (3628)
基于能值分析的深圳市三个小型农业生态系统研究·····	杨卓翔, 高阳, 赵志强, 等 (3635)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 342 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2012-06



封面图说: 爬升樟木沟的暖湿气流——樟木沟是中国境内横切喜马拉雅山脉南坡的几条著名大沟之一,它位于我国西藏聂拉木县境内的希夏邦马峰东南侧,延绵 5400km 的 318 国道在此沟中到达其最西头。从聂拉木县城到樟木口岸短短的 30km 中,海拔从 4000m 急降至 2000m。在大气环流作用下,来自印度洋的暖湿气流沿樟木沟不断费力地往上爬升,给该沟谷留下了大量的降水。尤其是在雨季到来时,山间到处是流水及悬垂崖头的瀑布,翠峰直插云霄,森林茂密苍郁,溪流碧澄清澈,奇花异葩繁多,风景美如画卷,气势壮丽非凡。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201105200663

刘红刚, 陈新庚, 彭晓春. 感潮河网区环境合作博弈模型及实证. 生态学报, 2012, 32(11): 3586-3594.

Liu H G, Chen X G, Peng X C. The cooperative environmental game model in the Tidal River Network Regions and its empirical research. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(11): 3586-3594.

感潮河网区环境合作博弈模型及实证

刘红刚^{1,*}, 陈新庚¹, 彭晓春²

(1. 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275; 2. 环境保护部华南环境科学研究所, 广州 510655)

摘要:区域决策者往往要选择合适的排污策略,使自己的经济和环境收益最大。当多个决策者进行策略选择时,就形成了区域环境博弈格局。针对感潮河网区排污行为与环境质量具有互相影响的特点,考虑了税收收益、治理成本和环境损失等因素,建立了河网区环境非合作博弈模型和合作博弈模型。非合作博弈的 Nash 均衡表明,在非合作局面下,区域决策者仅仅考虑最大化自己的收益,选择的排污策略与其他参与者无关。在合作博弈分析中,对大联盟、子联盟博弈进行了分析求解。通过计算所有可能联盟博弈的特征函数,使用常用的 Shapley 值法进行合作收益公平分配。研究表明,在大联盟合作局面下,区域决策者的策略选择考虑了全局收益的最大化,选择的排污策略与所有参与者的环境损失参数、环境影响参数有关。结合感潮河网区案例对模型进行了验证,研究了 3 个区域非合作博弈状态和合作博弈状态下的排放量和收益,并使用 Shapley 值法对合作收益进行分配。对比非合作博弈与合作博弈,合作后 3 个区域排污量分别比合作前减少了 17.98%、15.36%、5.55%。合作收益分别增加了 2.17%、3.21%、1.25%。环境质量分别提高了 14.24%、13.33%、10.52%。这说明合作局面有利于降低污染排放,分配后的环境合作收益大于非合作收益,河网区环境合作是多赢的。

关键词:环境博弈模型;联盟博弈;Shapley 值;感潮河网区

The cooperative environmental game model in the Tidal River Network Regions and its empirical research

LIU Honggang^{1,*}, CHEN Xingeng¹, PENG Xiaochun²

1 School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

2 South China Institute of Environmental Science, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510655, China

Abstract: Decision-makers always have incentives to choose proper emission strategies to maximize their individual economic and environmental benefits and the regional environmental game thus occurs when multiple decision-makers are involved in selecting the emission strategies. In this paper, environmental non-cooperative game model and cooperative game model were established for tidal network regions based on (1) sewage emission and its impact on environmental quality and (2) economic considerations, including tax benefits, pollution abatement costs and environmental losses. The Nash equilibrium of non-cooperative game indicated that, in the case of non-cooperation, no relations existed among the pollutant emission strategies chosen as each regional decision maker made its selection independently of others. On the other hand, in the presence of decision maker cooperation, the model was further divided into grand coalition game and sub-coalition game and the solutions to them were obtained. The characteristic function values were computed for all possible coalitions and the Shapley values were used to allocate the total payoff among all the participants with consideration of fairness. The results showed that, in the grand coalition game, the selection of the emission strategies was made by considering maximal global gains and the thus-selected emission strategies were well related with both the environmental loss

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07211-003)

收稿日期:2011-05-20; 修订日期:2011-12-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: L6351@qq.com

coefficient and the environmental impact coefficient of all the participants. A case study of three tidal river network regions was conducted to verify the models, with the emissions and payoff being investigated under non-cooperative game and cooperative game situations. Compared with the non-cooperative game, in the cooperative game, the pollutant emissions were reduced by 17.98%, 15.36% and 5.55%, the payoff was increased by 2.17%, 3.21% and 1.25%, and the environment quality was increased by 14.24%, 13.33% and 10.52%, for three regions respectively. These results showed that a win-win outcome can be obtained in the tidal river network regions in cooperative game.

Key Words: environmental game model; coalition game; Shapley value; tidal river network

由于经济发展阶段、环境容量、技术水平等因素的影响,区域环境冲突与合作成为众多学者关注的焦点问题,而博弈论在研究冲突与合作问题中具有明显的优势^[1]。运用博弈论进行环境合作的研究几乎涵盖了环境科学的各个领域。Van der Ploeg 等^[2]对 N 人跨界污染进行了较为深入地研究,通过建立污染存量及环境损失的动态方程,建立了非合作模型和合作模型。Martin 等^[3]研究了 2 个非对称信息参与人的跨界污染动态博弈。Halkos^[4-6]研究了二氧化硫排放导致的环境损失差异和区域治理成本差异带来的环境合作问题,结论是利用这种差异完全可以进行国家之间的合作,达到总体合作收益大于各自单干的目的。Chander 等^[7]研究了跨界污染合作博弈的核心解法。Finus 等^[8]研究了国家之间环境合作的各种形式。陈文颖等^[9]利用多人合作对策思想研究了治理投资费用的分摊方法。Jørgensen 等^[10]研究了流域单向流情况下存量型污染物的排污合作解,提出了流域污染微分博弈的旁支付方法。Petrosjan 等^[11]利用先进的微分博弈理论研究了 N 人环境动态合作过程并得到其解析解。杨志锋^[12]、曾勇^[13]针对中国北方半干旱跨边界地区水量短缺和水质污染并存的水资源冲突,集成博弈模型与水质模型,建立了跨界区域水资源的冲突与协调模型体系。Krawczyk^[14]利用耦合约束的博弈模型对流域内 3 个参与者的排污与生产情况进行了博弈分析,对 Nash 均衡的存在性进行了证明并予以求解。Yeung^[15-16]建立了跨界工业污染的随机微分博弈模型和资源开采合作控制模型,建立了时间一致性的博弈分析框架,使得解具有时间跨度。王艳^[17]研究了流域单向流情况下水环境管理合作促进机制的博弈模型,得出 2 人合作情况下的支付方法。林高松等^[18]建立了一个由排污者群体决策的博弈模型,模型求解采用了与 Shapley 法类似的解法。

总体来看,以往的研究注重探讨环境污染单向输入情况下,博弈各方的经济收益、治理成本、环境损失问题,对环境合作问题也进行了深入研究,但没有涉及感潮河网双向流情况下区域的环境博弈问题。对感潮河网双向流情况下区域的环境博弈问题,由于受潮汐的影响,某区域的排污行为对其他区域的环境质量可能会造成影响,而其他区域的排污行为同样也会对该区域环境质量造成影响,因此,考虑到这种“排污行为—环境质量”相互影响的因素,区域决策者在排污决策时总会考虑其他区域的排污决策,以使自己的总收益最大化。目前运用非合作博弈与合作博弈的有关理论对河网区排污合作问题的研究尚未见到报道。而从我国环境管理的体制看,区域决策者在选择排污策略时,主要依靠行政指令制订排污策略^[19],几乎没有考虑区域之间的环境合作。鉴于此,本文以感潮河网区作为研究对象,探讨区域环境合作博弈局面下的排污策略、收益和分配。首先,探讨在非合作局面下,各个区域各自单干的非合作博弈问题,求解其 Nash 均衡。其次研究了感潮河网区各个区域之间的环境合作联盟博弈,并研究了合作成果的分配问题。最后结合案例对模型进行了分析。

1 N 人环境非合作与合作博弈模型

1.1 N 人环境非合作博弈

在发展经济又要保护环境的同时,如何选择合适的排污策略,使自己的经济和环境收益最大,是区域决策者必须面对的问题。特别是在较复杂的河网区,由于环境因子的相互影响,一个区域的环境质量往往受到其他区域的影响,其环境效益又影响到该区域总的收益(或称支付),因此区域决策者不能不考虑其他区域的排污策略和可能后果。当多个决策者进行策略选择时,就形成了区域环境博弈格局。假设本文探讨的博弈为一

个完全信息静态博弈,每个河网区排污区域称为博弈的参与者。博弈中每个参与者之间都没有合作约定,参与者的收益函数、可选择策略是博弈各方的“共同知识”。定义区域环境博弈有 n 个参与者,参与者集合为 I 。参与者 $i(i=1,2,\dots,n)$ 可选择的排污量称为排污策略, i 有无限个连续的排污策略,用 e_i 表示 i 的某一个特定战略,这些所有策略构成策略集为 $E_i = \{e_i\}$ 。如果 n 个参与者每人选择一个排污策略, n 维向量 $e = (e_1, \dots, e_i, \dots, e_n)$ 称为一个策略组合。 j_i 为第 i 个参与者的收益函数,表示参与者 i 得到的收益。 j_i 是所有参与者策略的函数, $j_i = j_i(e_1, \dots, e_i, \dots, e_n)$ 。Nash 均衡是非合作博弈论中最重要的概念^[20]。环境博弈 Nash 均衡有如下定义:在博弈 $G = (E_1, \dots, E_n; j_1, \dots, j_n)$ 中,如果策略组合 $e^n = (e_1^n, \dots, e_i^n, \dots, e_n^n)$ 中任意参与人的策略 e_i^n 都是针对其余参与人的策略组合 $e_{-i}^n = (e_1^n, \dots, e_{i-1}^n, e_{i+1}^n, \dots, e_n^n)$ 的最佳策略,即:

$$J_i(e_i^n, e_{-i}^n) \geq J_i(e_i, e_{-i}^n), \forall e_i \in E_i, \forall i \quad (1)$$

则称 $e^n = (e_1^n, \dots, e_i^n, \dots, e_n^n)$ 为博弈 G 的一个纳什均衡。在非合作环境博弈中,虽然没有事前约定,但纳什均衡中每一个参与人都选择的是针对其他参与人策略的最佳策略,没有人愿意偏离纳什均衡,因为单独偏离纳什均衡没有好处。

为便于环境博弈的描述,假设每个区域只有一个污染源,排放一种污染物,只有一个典型监测断面。区域 i 的环境质量由河流的典型断面的某种污染物浓度决定:

$$s_i(e_i, e_{-i}) = s_{i0} + \sum_{j \in I} a_{ij} e_j \quad (2)$$

式中, a_{ij} 为 j 区域对 i 区域环境污染影响系数, $a_{ii} > 0$ 。 s_{i0} 为初始断面污染物浓度。(2)式右边第2项为浓度增加值。由于河网区排污的相互影响,环境质量 $s_i(e_1, \dots, e_i, \dots, e_n)$ 不仅是自己排污量 e_i 的函数,而且是其它区域排污量 e_{-i} 的函数。参与者 i 的收益 j_i 由税收收益 $r_i(e_i)$ 、区域政府污染治理成本 $c_i(e_i)$ 、环境损失 $d_i(s_i)$ 决定。

$$j_i(e_i, e_{-i}) = r_i(e_i) - c_i(e_i) - d_i(s_i(e_i, e_{-i})) \quad (3)$$

假设收益函数 $j_i(e_i, e_{-i})$ 连续可微。区域政府所得税收收益 r_i 是排放量的函数:

$$r_i(e_i) = e_i(\beta_i - \frac{1}{2}e_i) \quad (4)$$

式中, β_i 为税收贡献水平系数, β_i 越大,税收贡献水平越高。假设区域所有企业均按政府规定的排放标准排放污染物,在博弈期间,污染治理技术水平是不变的,则区域总排污量越大,区域工业企业生产力越大,税收越高。一般来讲,税收贡献水平的增加速率会因 e_i 增加而降低,通常将 $r_i(e_i)$ 设计成一个凹函数^[10-11,17]。

区域政府要支出环境污染治理成本 $c_i(e_i)$,为简单起见,假设 $c_i(e_i)$ 是线性的。由下式计算:

$$c_i(e_i) = \gamma_i e_i \quad (5)$$

式中, γ_i 为区域环境治理成本系数。排污量 e_i 越大,治理成本越高。

环境损失是环境质量的函数,为简单起见,同样假设 $d_i(s_i)$ 是线性的:

$$d_i(s_i) = \varphi_i(s_i - \bar{s}_i) \quad (6)$$

式中, φ_i 为常系数。 $\bar{s}_i$ 为某一临界值,大于这个临界值越多,环境损失越大。本文旨在说明环境损失对合作博弈收益的影响,因此选择初始浓度为临界值,即 $\bar{s}_i = s_{i0}$ 。这样,环境质量中污染物浓度增加值必然会引起环境损失;如果浓度增加值为0时,表示所有污染源对该参与者环境质量没有影响,该参与者环境损失为0,此时该参与者参加博弈没有任何意义。由于已经规定 $a_{ii} > 0$,这种情况不会出现。式(3)可写成:

$$j_i = e_i(\beta_i - \frac{1}{2}e_i) - \gamma_i e_i - \varphi_i \sum_{j \in I} a_{ij} e_j \quad (7)$$

非合作情况下,将参与者 i 收益表示为 j_i^n ,上标 n 表示非合作。

非合作情况下参与者 i 追求的目标为:

$$\max j_i^n \quad (8)$$

求解该博弈就是寻求博弈的 Nash 均衡策略。问题(8)可利用极值原理求解。

对 j_i^n 求关于 e_i 的二阶偏导:

$$\frac{\partial^2 j_i^n}{\partial e_i^2} = -1 < 0 \quad (9)$$

二阶偏导小于 0, 函数 j_i^n 最大值存在。因此由极值条件, 得到参与者 i 的 Nash 均衡策略为:

$$e_i^n = \beta_i - \gamma_i - \varphi_i a_{ii} \quad (10)$$

将式(10)代入式(7), 即可得到 Nash 均衡状态下参与者 i 的非合作收益 j_i^n 。式(10)表明了在非合作局面下, 参与者 i 仅仅考虑最大化自己的收益, 选择的排污策略与其他参与者无关。

1.2 N 人环境合作博弈

1.2.1 N 人环境合作博弈形式

由于河网区排污对环境的相互影响作用, 参与者之间可能形成某个博弈联盟, 通过形成约定合作来提高联盟内个体的收益。为研究 N 人合作情况下排污策略、收益和分配, 首先进行环境合作博弈联盟定义。所有参与者组成的大联盟为 I , 大联盟博弈记为 $\Gamma(I)$ 。所有参与者集合的任一子集称为一个子联盟。为方便起见, 称空集 Φ 也是一个子联盟。 n 个参与者共能形成 2^n 个子联盟。假设某个子联盟 K 形成的合作博弈记为 $\Gamma(K)$, $K \subset I$ 。大联盟合作博弈 i 追求的目标是寻求排污策略 (e_i, e_{-i}) , $i \in I$, 以最大化其收益总和 j_i^c :

$$\max_{j_i^c} \quad (11)$$

$$j_i^c = \sum_{i \in I} j_i^c = \sum_{i \in I} \left\{ e_i (\beta_i - \frac{1}{2} e_i) - \gamma_i e_i - \varphi_i \sum_{j \in I} a_{ij} e_j \right\} \quad (12)$$

式中, j_i^c 表示合作情况下 i 的收益, 上标 c 表示合作。

子联盟合作博弈 $\Gamma(K)$ 追求的目标是寻求排污策略 (e_i, e_{-i}) , $i \in K$, 最大化其收益总和 j_K^c :

$$\max_{j_K^c} \quad (13)$$

$$j_K^c = \sum_{i \in K} j_i^c = \sum_{i \in K} \left\{ e_i (\beta_i - \frac{1}{2} e_i) - \gamma_i e_i - \varphi_i \sum_{j \in I} a_{ij} e_j \right\} \quad (14)$$

1.2.2 博弈求解

①大联盟博弈 $\Gamma(I)$ 求解

j_I^c 可以看做一个多元函数:

$$j_I^c = j_I^c(e_i, e_{-i}) \quad (15)$$

该多元函数对任意变量 e_i 的一阶偏导为:

$$\frac{\partial j_I^c}{\partial e_i} = \beta_i - e_i - \gamma_i - \sum_{j \in I} \varphi_j a_{ji} \quad (16)$$

假设存在不同于 e_i 的变量 e_p , 计算其二阶偏导得到:

$$\frac{\partial^2 j_I^c}{\partial e_i^2} = -1, \quad \frac{\partial^2 j_I^c}{\partial e_i \partial e_p} = 0, \quad \frac{\partial^2 j_I^c}{\partial e_p^2} = -1, \quad \frac{\partial^2 j_I^c}{\partial e_p \partial e_i} = 0. \quad (17)$$

可见, 多元函数 j_I^c 在点 (e_i^c, e_{-i}^c) 的 Hessian 矩阵形式如下:

$$H = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 j_I^c}{\partial e_1^2} & \frac{\partial^2 j_I^c}{\partial e_1 \partial e_2} & \cdots & \frac{\partial^2 j_I^c}{\partial e_1 \partial e_n} \\ \frac{\partial^2 j_I^c}{\partial e_2 \partial e_1} & \frac{\partial^2 j_I^c}{\partial e_2^2} & \cdots & \frac{\partial^2 j_I^c}{\partial e_2 \partial e_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 j_I^c}{\partial e_n \partial e_1} & \frac{\partial^2 j_I^c}{\partial e_n \partial e_2} & \cdots & \frac{\partial^2 j_I^c}{\partial e_n^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & -1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & -1 \end{pmatrix} = -I \quad (18)$$

显然该 Hessian 矩阵为负定矩阵。根据多元函数极值理论, j_I^c 在某点满足一阶导数为 0, 且其附近有二阶

连续偏导数,且在该点 Hessian 矩阵负定时,则函数取得极大值。

由极值条件可得解:

$$e_i^c = e_i^n - \sum_{j \in I \setminus i} \varphi_j a_{ji} \quad i \in I \quad (19)$$

因此多元函数 J_i^c 存在最大值。式(19)即为大联盟合作博弈状态下的最优排污策略,表明在大联盟合作局面下,区域决策者的策略选择考虑了全局收益的最大化,选择的排污策略与所有参与者的环境损失参数、环境影响参数有关。将式(19)代入式(7)、(12)即可得到大联盟合作博弈 $\Gamma(I)$ 状态下任一参与者 i 的收益 $J_{i(i \in I)}^c$ 及联盟 I 总的收益 J_I^c 。

②子联盟合作博弈求解

博弈 $\Gamma(K)$ 以外的其它参与者 $m \in (I \setminus K)$ 称为剩余参与者。根据问题的实际意义,剩余参与者不会构成一个新的反 $\Gamma(K)$ 联盟,从而破坏 $\Gamma(K)$ 的合作,因为这样做对剩余参与者的收益提高没有任何好处。参照 Jørgensen^[10]、Petrosjan^[11] 等人在分析环境博弈问题中的做法,规定环境博弈中联盟 K 以外的剩余参与者采取非合作时的 Nash 均衡策略。由于剩余参与者 $m \in I \setminus K$ 采取了非合作 Nash 均衡策略, s_i 可表示为:

$$s_i = \sum_{j \in K} a_{ij} e_j + \sum_{m \in I \setminus K} a_{im} e_m + s_{i0} \quad (20)$$

目标函数可改写为:

$$J_K^c = \sum_{i \in K} \left\{ e_i \left(\beta_i - \frac{1}{2} e_i \right) - \gamma_i e_i - \varphi_i \left(\sum_{j \in K} a_{ij} e_j + \sum_{m \in I \setminus K} a_{im} e_m \right) \right\} \quad (21)$$

$$e_m = \beta_m - \gamma_m - \varphi_m a_{mm} \quad (22)$$

$$i \in K, m \in I \setminus K$$

该问题类似于大联盟的合作博弈求解。首先计算 $J_K^c(e_i, e_{-i})$ 的一阶偏导:

$$\frac{\partial J_K^c}{\partial e_i} = \beta_i - e_i - \gamma_i - \sum_{j \in K} \varphi_j a_{ji} \quad (23)$$

类似于大联盟博弈的求解,多元函数 $J_K^c(e_i, e_{-i})$ Hessian 矩阵 H 负定。

由极值条件得解:

$$e_i^c = \beta_i - \gamma_i - \sum_{j \in K} \varphi_j a_{ji}, \quad i \in K \quad (24)$$

将式(24)代入式(7)、(21)即可得到联盟合作博弈 $\Gamma(K)$ 状态下任一参与者 i 的收益 $J_{i(i \in K)}^c$ 及联盟 K 总收益 J_K^c 。特别的,当联盟 K 仅有一个元素时, $e_i^c = e_i^n, J_i^c = J_i^n$ 。

结合式(10),将式(24)写成如下形式:

$$e_i^c = e_i^n - \sum_{j \in K \setminus i} \varphi_j a_{ji}, \quad i \in K \quad (25)$$

式(24)表明了,在联盟合作局面下,任一参与者 i 的策略选择考虑了全局收益的最大化,选择的排污策略与其他参与者的环境损失系数 φ_j 、参与者对其他参与者的环境影响系数 a_{ji} 有关。联盟合作博弈策略和非合作博弈策略的不同之处仅在于式(25)右端第2项,当其他参与者的损失系数与该参与者对其他参与者的影响系数的乘积之和越大时,合作与非合作状态下的排污量差别越大。当 $\varphi_j = 0$ 或 $a_{ji} = 0$ 时,表明参与者 i 对联盟博弈的整体收益没有任何影响,其合作状态下的策略和非合作策略相同,称为“虚设参与者”。

2 N 人环境合作博弈分配方案

通过合作,联盟博弈获得了比非合作更好的总收益,多出的这部分收益称为额外收益。然而,部分参与者可能作出了牺牲,降低了收益。为了达成合作,必须对通过合作所获得的额外收益进行重新分配,以使每位参与者的最后收益都不低于非合作收益。因此,制定合理的分配方案是保证合作的前提。按照联盟博弈理论^[21],研究联盟博弈的分配解首先要定义特征函数。根据环境合作博弈的实际意义,大联盟 I 的特征函数,可定义为通过合作而得到的总的额外收益,表示为:

$$v(I) = \sum_{i \in I} j_i^c - \sum_{i \in I} j_i^n \quad (26)$$

同样,对任意子联盟,其特征函数 $v(K)$ 是指通过 K 的内部合作,联盟 K 得到的总的额外收益。

$$v(K) = \sum_{i \in K} j_i^c - \sum_{i \in K} j_i^n \quad (27)$$

当联盟 K 只有一个参与者时:

$$v(K) = v(\{i\}) = 0 \quad (28)$$

联盟合作对策的分配解是指对总体结盟所获利 $v(I)$ 的一个分配方案。定义 $z(v)$ 是特征函数 v 的一个分配方案:

$$z(v) = (z_1(v), \dots, z_i(v), \dots, z_n(v)) \quad (29)$$

根据合作博弈理论, i 的分配 $z_i(v)$ 至少应满足两个条件:

(1) 个体合理性

$$z_i(v) \geq v(\{i\}), \quad i \in I. \quad (30)$$

表示所有参与者合作后得到的额外收益不应低于他单干所得的额外收益。

(2) 总体合理性

$$\sum_{i \in I} z_i(v) = v(I) \quad (31)$$

表示所有参与者分配到的合作额外收益总和应与他们全体构成一个联盟时所得的合作额外收益相等。

满足以上条件的分配解的概念很多,比较知名的解的概念有核心、稳定集、Shapley 值、谈判集、内核、核仁及纳什讨价还价解等^[20-21]。本文使用 Shapley 值法进行分配,计算公式如下^[21]:

$$z_i(v) = \sum_{K \subset I} w(|K|) [v(K) - v(K \setminus i)], \quad i \in I \quad (32)$$

其中:

$$w(|K|) = \frac{(n - |K|)! (|K| - 1)!}{n!} \quad (33)$$

$|K|$ 为集 K 的元素个数。

求得联盟博弈的分配解后,可进一步确定参与者 i 的最终收益 j_i^f :

$$j_i^f = j_i^n + z_i(v) \quad (34)$$

对合作博弈 $\Gamma(I)$ 的分配问题,求解步骤如下:

①利用式(10)计算非合作博弈 Nash 均衡;

②利用式(7)计算非合作博弈收益 j_i^n ;

③利用式(19)、(24)分别计算合作博弈 $\Gamma(I)$ 及每一个子联盟 $\Gamma(K)$ 的参与者排放策略 $e_{i(i \in I)}^c$, $e_{i(i \in K)}^c$; 利用式(7)计算合作博弈 $\Gamma(I)$ 、 $\Gamma(K)$ 情况下的收益 $j_{i(i \in I)}^c$, $j_{i(i \in K)}^c$ 。

④利用式(26)、(27),根据特征函数 $v(I)$, $v(K)$ 的定义,计算特征值 $v(I)$, $v(K)$ 。

⑤利用式(32)、(33),计算分配 $z_i(v)$ 。

⑥利用式(34),计算出各参与者的最终收益 j_i^f 。

3 案例分析

设某感潮河网区有 3 个区域,每个区域都有 1 个排污口,1 个监控断面,假设仅监控一种污染物——COD。每个排污口对其他区域的监控断面都有影响。区域的税收贡献水平系数、环境影响系数、治理成本系数、环境损失系数见表 1。以下研究 3 个区域非合作博弈状态和合作博弈状态下的排放量和收益,并对合作收益进行分配。

根据步骤 1、2 计算得到非合作 Nash 均衡策略 e_i^n 、非合作收益 j_i^n ,见表 2。

根据式(2)计算非合作、完全合作状态下各区域监控断面污染物浓度增加值,见表 3。

表 1 模型参数取值

Table 1 Parameter values of the model

区域 Region	1	2	3
$\beta_i / (\text{万元}/\text{t})$	1050	1020	1550
$a_{ij} / (\text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{a}^{-1})$	$a_{11}=0.0032; a_{21}=0.0013; a_{31}=0.0016 \quad a_{12}=0.001; a_{22}=0.003; a_{32}=0.0015 \quad a_{13}=0.001; a_{23}=0.001; a_{33}=0.0025$		
$\gamma_i / (\text{万元}/\text{t})$	50	55	35
$\varphi_i / (\text{万元} \cdot \text{mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{a}^{-1})$	30000	45000	65000

表 2 Nash 均衡策略 e_i^n 和非合作收益 j_i^n Table 2 Nash equilibrium strategy e_i^n and payoff j_i^n of non-cooperative Game

区域 Region	1	2	3
$e_i^n / (\text{t}/\text{a})$	904	830	1352.5
$j_i^n / (\text{万元}/\text{a})$	343133	230703.5	739687.1

表 3 水质监控断面污染物浓度增加值

Table 3 The added value of pollutant concentration of the water quality monitoring sections

区域 Region	1	2	3
非合作浓度增加值/(mg/L)	5.08	5.02	6.07
合作浓度增加值/(mg/L)	4.35	4.35	5.43

根据步骤 3 计算子联盟合作博弈 $\Gamma(K)$ 的排放策略和收益。不包括空集在内, $\Gamma(K)$ 联盟共有 $\Gamma(1)$, $\Gamma(2)$, $\Gamma(3)$, $\Gamma(1,2)$, $\Gamma(1,3)$, $\Gamma(2,3)$, $\Gamma(I)$ 等 7 种形式。见表 4。

表 4 子联盟合作博弈 $\Gamma(K)$ 的排放策略和收益Table 4 Emission strategies and payoff of sub-coalition game $\Gamma(K)$

K	$\{i\}$	$1 \cup 2$	$1 \cup 3$	$2 \cup 3$	I
$e_1^c / (\text{t}/\text{a})$	904	845.5	800	904	741.5
$e_2^c / (\text{t}/\text{a})$	830	800	830	732.5	702.5
$e_3^c / (\text{t}/\text{a})$	1352.5	1352.5	1322.5	1307.5	1277.5
$j_1^c / (\text{万元}/\text{a})$	343133	342321.8	338625	/	336004.8
$j_2^c / (\text{万元}/\text{a})$	230703.5	233675.7	/	227975.3	235456.6
$j_3^c / (\text{万元}/\text{a})$	739687.1	/	750053.1	748180.8	766205.8

由已经得到的每位参与者的收益, 计算 $z_1(v)$ 、 $z_2(v)$ 、 $z_3(v)$ 。

根据步骤 4, 计算特征函数:

$$v(\Phi) = 0, v(1) = v(2) = v(3) = 0$$

$$\text{当 } K = 1 \cup 2 \text{ 时, } v(1 \cup 2) = j_1^c + j_2^c - j_1^n - j_2^n = 2161.1$$

$$\text{当 } K = 1 \cup 3 \text{ 时, } v(1 \cup 3) = j_1^c + j_3^c - j_1^n - j_3^n = 5858$$

$$\text{当 } K = 2 \cup 3 \text{ 时, } v(2 \cup 3) = j_2^c + j_3^c - j_2^n - j_3^n = 5765.6$$

$$\text{当 } K = I \text{ 时, } v(1 \cup 2 \cup 3) = j_1^c + j_2^c + j_3^c - j_1^n - j_2^n - j_3^n = 24143.7$$

$z_1(v)$ 的计算见表 5。

计算得到: $z_1(v) = 360.2 + 976.3 + 6126 = 7462.5$

同样, 可以分别计算出 $z_2(v)$ 、 $z_3(v)$ 的值

$$z_2(v) = 7416.4$$

$$z_3(v) = 9264.8$$

可以验证:

$$z_1(v) + z_2(v) + z_3(v) = v(I)$$

表 5 $z_1(v)$ 的计算过程

Table 5 Computation process of $z_1(v)$

K	$\{1\}$	$1 \cup 2$	$1 \cup 3$	I
$v(K)$	0	2161.1	5858	24143.7
$v(K \setminus i)$	0	0	0	5765.6
$v(K) - v(K \setminus i)$	0	2161.1	5858	18378.1
$ K $	1	2	2	3
$W(K)$	1/3	1/6	1/6	1/3
$W(K)[v(K) - v(K \setminus i)]$	0	360.2	976.3	6126

各区域的最终收益 (万元/a):

$$j_1^f = j_1^n + z_1(v) = 350595.5$$

$$j_2^f = j_2^n + z_2(v) = 238119.9$$

$$j_3^f = j_3^n + z_3(v) = 748951.9$$

与合作前相比,合作后 3 个区域排污量分别比合作前减少了 17.98%、15.36%、5.55%。合作收益分别增加了 2.17%、3.21%、1.25%。环境质量分别提高了 14.24%、13.33%、10.52%。可见,环境合作的结果比各自单干要好得多,利用 Shapley 值法计算出的分配方案是可行的。

4 结论

1)建立了感潮河网区环境合作博弈模型,研究了非合作博弈的 Nash 均衡。结果表明,在非合作局面下,参与者仅仅考虑最大化自己的收益,选择的排污策略与其他参与者无关。

2)运用合作博弈的有关理论建立了河网区环境合作联盟博弈模型,定义了特征函数,利用 Shapley 值法求解了合作博弈分配解。研究表明,①在大联盟合作局面下,参与者的策略选择考虑了全局收益的最大化,选择的排污策略与所有参与者的环境损失参数、环境影响参数有关。②结合感潮河网区实例对模型进行了验证,结果表明使用 Shapley 值法进行合作收益分配是可行的,分配后环境合作收益大于非合作收益,河网区环境合作是多赢的。

3)环境合作收益大于非合作收益,因此从我国现行环境管理的体制看,有必要倡导区域之间的环境合作,消除主要依靠行政指令手段制定区域排污策略的弊端。

References:

- [1] Perman R J, Ma Y, McGilvray J, Common M. Natural Resource and Environmental Economics. Beijing: China Economic Publishing House, 2002: 397-410.
- [2] van der Ploeg F, de Zeeuw A J. International aspects of pollution control. Environmental and Resource Economics, 1992, 2(2): 117-139.
- [3] Martin W E, Patrick R H, Tolwinski B. A dynamic game of a transboundary pollutant with asymmetric players. Journal of Environmental Economics and Management, 1993, 25(1): 1-12.
- [4] Halkos G E. Sulphur abatement policy: implications of cost differentials. Energy Policy, 1993, 21(10): 1035-1043.
- [5] Halkos G E. Optimal abatement of sulphur in Europe. Environmental and Resource Economics, 1994, 4(2): 127-150.
- [6] Halkos G E. Incomplete information in the acid rain game. Empirica, 1996, 23(2): 129-148.
- [7] Chander P, Tulkens H. A core-theoretic solution for the design of cooperative agreements on transfrontier pollution. International Tax and Public Finance, 1995, 2(2): 279-293.
- [8] Finus M, Rundshagen B. Renegotiation-proof equilibria in a global emission game when players are impatient. Environmental and Resource Economics, 1998, 12(3): 275-306.
- [9] Chen W Y, Hou D. Optimal treatment cost allocation based on multiple-person cooperation game in total emission control. Acta Scientiae Circumstantiae, 1999, 19(1): 57-62.
- [10] Jørgensen S, Zaccour G. Time consistent side payments in a dynamic game of downstream pollution. Journal of Economic Dynamics and Control, 1999, 23(2): 279-293.

- 2001, 25(12): 1973-1987.
- [11] Petrosjan L, Zaccour G. Time-consistent Shapley value allocation of pollution cost reduction. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 2003, 27(3): 381-398.
- [12] Yang Z F, Zeng Y. Mathematical model for water conflict and coordination in transboundary regions. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24(1): 71-76.
- [13] Zeng Y, Yang Z F. Case study on application of water conflict and coordinate models for transboundary regions. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24(1): 77-81.
- [14] Krawczyk J B. Coupled constraint Nash equilibria in environmental games. *Resource and Energy Economics*, 2005, 27(2): 157-181.
- [15] Yeung D W K. Dynamically consistent cooperative solution in a differential game of transboundary industrial pollution. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 2007, 134(1): 143-160.
- [16] Yeung D W K, Petrosyan L A, Lee M. *Dynamic Cooperation: A Paradigm on the Cutting-Edge of Game Theory*. Beijing: China Market Press, 2007: 187-189.
- [17] Wang Y. Cooperation mechanism design of river basin water environmental management based on Game theory. *Systems Engineering*, 2007, 25(8): 54-57.
- [18] Lin G S, Li S Y, Li J. A game theory model for allocation of river waste load based on group decision making. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(9): 2010-2016.
- [19] Ministry of Environmental Protection. Guidance on total quantity distribution of main water pollutants. http://www.mep.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172432.htm, 2006.
- [20] Wang Z K, Li J. *Introduction to Game Theory*. Beijing: China People's University Press, 2004: 64-67.
- [21] Yu W S, Pu Z A. *Game Theory and Its Application in Economic Management*. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 131-143.

参考文献:

- [9] 陈文颖, 侯盾. 基于多人合作对策思想的总量控制优化治理投资费用分摊方法. *环境科学学报*, 1999, 19(1): 57-62.
- [12] 杨志峰, 曾勇. 跨边界区域水资源冲突与协调模型与应用 (I) 模型体系. *环境科学学报*, 2004, 24(1): 71-76.
- [13] 曾勇, 杨志峰. 跨边界区域水资源冲突与协调模型与应用 (II) 案例研究. *环境科学学报*, 2004, 24(1): 77-81.
- [17] 王艳. 流域水环境管理合作促进机制博弈分析. *系统工程*, 2007, 25(8): 54-57.
- [18] 林高松, 李适宇, 李娟. 基于群决策的河流允许排污量公平分配博弈模型. *环境科学学报*, 2009, 29(9): 2010-2016.
- [19] 环境保护部. 主要水污染物总量分配指导意见. http://www.mep.gov.cn/gkml/zj/wj/200910/t20091022_172432.htm, 2006.
- [20] 王则柯, 李杰. *博弈论教程*. 北京: 中国人民大学出版社, 2004: 64-67.
- [21] 于维生, 朴正爱. *博弈论及其在经济管理中的应用*. 北京: 清华大学出版社, 2005: 131-143.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 11 June, 2012 (Semimonthly)
CONTENTS

Controls of post-fire tree recruitment in Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province	CAI Wenhua, YANG Jian, LIU Zhihua, et al (3303)
The assessment of river health using Benthic-Index of biotic integrity for Wenyu River	YANG Liu, LI Yonghui, WANG Juncai, et al (3313)
Consume of soil seeds of <i>Betula albo-sinensis</i> and <i>Abies faxoniana</i> in different natural successional stages of subalpine dark coniferous forest in western Sichuan, China	MA Jiangming, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3323)
Habitat associations of understorey species spatial distribution in old growth broad-leaved Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>) forest	DING Shengjian, ZHANG Chunyu, XIA Fucui, et al (3334)
Nabkha morphology and sand-fixing capability of four dominant <i>Caragana</i> species in the desert region of the Inner Mongolia Plateau	ZHANG Yuanyuan, MA Chengchang, HAN Lei, et al (3343)
Growth dynamics, biomass allocation and ecological adaptation in <i>Ceratocarpus arenarius</i> L.	QUAN Dujuan, WEI Yan, ZHOU Xiaoqing, et al (3352)
A rapid assessment method for forest disaster based on MODIS/NDVI time series; a case study from Guizhou Province	SHI Hao, WANG Xiao, XUE Jianhui, et al (3359)
Soil cation exchange capacity and exchangeable base cation content in the profiles of four typical soils in the Xi-Shui Forest Zone of the Qilian Mountains	JIANG Lin, GENG Zengchao, LI Shanshan, et al (3368)
Impact of water and temperature on spring maize emergence speed and emergence rate	MA Shuqing, WANG Qi, LÜ Houquan, et al (3378)
Effect of N application on the abundance of denitrifying genes (<i>narG/nosZ</i>) and N ₂ O emission in paddy soil	ZHENG Yan, HOU Haijun, QIN Hongling, et al (3386)
Temporal-spatial variations of potential evapotranspiration and quantification of the causes in Northwest China	CAO Wen, SHEN Shuanghe, DUAN Chunfeng (3394)
Analysis of ecosystem degradation and recovery using precipitation use efficiency and NDVI in the headwater catchment of the Yellow River basin	DU Jiaqiang, SHU Jianmin, ZHANG Linbo (3404)
An assessment method of <i>Kandelia obovata</i> population biomass	JIN Chuan, WANG Jinwang, ZHENG Jian, et al (3414)
Quantitative characteristics and species composition of <i>Artemisia sphaerocephala</i> and <i>A. ordosica</i> communities in the Ulanbuh Desert ...	MA Quanlin, ZHENG Qingzhong, JIA Jujie, et al (3423)
Photosynthesis and transpiration in relation to ion accumulation in <i>Vitex trifolia</i> under varied light intensity	ZHANG Ping, LIU Linde, BAI Xinfu, et al (3432)
Diffusion of elm seed rain in Otindag Sand Land	GU Wei, YUE Yongjie, LI Gangtie, et al (3440)
Effect of saline water irrigation on sand soil salt and the physiology and growth of <i>Populus euphratica</i> Oliv.	HE Xinlin, CHEN Shufei, WANG Zhenhua, et al (3449)
Regulation of exogenous nitric oxide on photosynthetic physiological response of <i>Lolium perenne</i> seedlings under NaHCO ₃ Stress	LIU Jianxin, WANG Jincheng, WANG Xin, et al (3460)
Longitude gradient changes on plant community and soil stoichiometry characteristics of grassland in Hulunbeir	DING Xiaohui, LUO Shuzheng, LIU Jinwei, et al (3467)
Concentrations and distributions of selenium and heavy metals in Hainan paddy soil and assessment of ecological security	GENG Jianmei, WANG Wenbin, WEN Cuiping, et al (3477)
Heavy metal contents and evaluation of farmland soil and wheat in typical area of Jiangsu Province	CHEN Jingdu, DAI Qigen, XU Xuehong, et al (3487)
The studies on the food web structures and trophic relationships in Guangxi Dongfang Cave by means of stable carbon and nitro- gen isotopes	LI Daohong, SU Xiaomei (3497)
Analysis of bacterial diversity in the Songhua River based on nested PCR and DGGE	TU Teng, LI Lei, MAO Guannan, et al (3505)

Preliminary delineation and classification of estuarine drainage areas for major coastal rivers in China	HUANG Jinliang, LI Qingsheng, HUANG Ling, et al (3516)
Estimation of spatial and seasonal changes in phytoplankton primary production in Meiliang Bay, Lake Taihu, based on the Vertically Generalized Production Model and MODIS data	YIN Yan, ZHANG Yunlin, SHI Zhiqiang, et al (3528)
Viability and changes of physiological functions in the tiger frog (<i>Hoplobatrachus rugulosus</i>) exposed to cold stress	WANG Na, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (3538)
Community structure and abundance dynamics of soil collembolans in transgenic Bt rice paddyfields	ZHU Xiangyu, LI Zhiyi, CHANG Liang, et al (3546)
Morphological characteristics and microsatellite DNA genetic diversity of Nigeria African honey bee, Anhui <i>Apis mellifera</i> and theirs hybrid generation II	YU Linsheng, XIE Wenfei, WU Houchang, et al (3555)
Effects of social-demographic factors on the recreational service of park wetlands in Beijing	LI Fen, SUN Ranhao, CHEN Liding (3565)
Co-integration theory-based analysis on relationships between economic growth and eco-environmental changes: taking the south-east district in Chongqing city as an example	XIAO Qiang, HU Dan, XIAO Yang, et al (3577)
The cooperative environmental game model in the Tidal River Network Regions and its empirical research	LIU Honggang, CHEN Xingeng, PENG Xiaochun (3586)

Review and Monograph

Review of eco-efficiency accounting method and its applications	YIN Ke, WANG Rusong, ZHOU Chuanbin, et al (3595)
Overview on the 6th international symposium on modern ecology series of 2011	WEN Teng, XU Delin, XU Chi, et al (3606)

Discussion

Scale analysis of environmental factors and their relationship with the size of hierarchical aquatic ecoregion: a case study in the Liao River basin	LIU Xingcai, XU Zongxue, ZHANG Shurong, et al (3613)
--	--

Scientific Note

Effects of different light intensities on activities of the primary defense proteins in needles of <i>Larix gmelinii</i>	LU Yifang, SHI Lei, YAN Shanchun (3621)
An analysis of photosynthetic parameters among <i>Schima superba</i> provenances	XIONG Caiyun, ZENG Wei, XIAO Fuming, et al (3628)
Research on three small-scale agricultural ecological-economic systems in Shenzhen City based on emergy analysis	YANG Zhuoxiang, GAO Yang, ZHAO Zhiqiang, et al (3635)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 11 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 11 (June, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元