

## 渔船用生物柴油减排的进化博弈分析

肖晓芸<sup>1</sup>, 黄硕琳<sup>2\*</sup>

(1. 上海海洋大学经济管理学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学海洋学院, 上海 201306)

**摘要:** 渔船污染排放是空气污染的一个重要来源,引起国际社会的广泛关注。生物柴油作为一种清洁的可再生能源,具有显著的减排效果。研究从进化博弈论的角度探讨了渔船应用生物柴油的减排策略,分析了有限理性的渔民之间、渔民和企业之间采取不同策略群体比例的动态变化,以及进行稳定策略的条件。研究认为,政府的补贴政策、渔业部门的监督检验和碳交易的有效实施,可以改变渔民的得益矩阵,引导渔民使用替代能源进行减排。对我国捕捞渔船进行了减排成本估算,结果表明,渔船发动机掺混 5% 的生物柴油将导致每船每年平均增加燃油成本近 3 000 元。如果政府能够制定生物柴油补贴政策,并建立有效的碳交易制度,在不增加成本的前提下,渔民会逐渐倾向采用生物柴油进行渔船减排。

**关键词:** 渔船; 减排; 进化博弈理论; 复制动态方程; 进化稳定策略

**中图分类号:** S 972.7<sup>+1</sup>

**文献标志码:** A

我国是一个渔业大国,渔业对能源的依赖度比较高,渔业能耗主要以渔船主机消耗柴油为主,年耗油量近 900 万 t<sup>[1]</sup>。渔船燃用柴油排放大量废气,包括 NO<sub>x</sub>、CO、CO<sub>2</sub>、HC、SO<sub>x</sub> 等,以 CO<sub>2</sub> 排放量最大。据测算,2007 年全国机动渔船二氧化碳排放量为 2 470.5 × 10<sup>4</sup> t<sup>[2]</sup>。二氧化碳是主要的温室气体,对环境造成的影响不容忽视。由于渔船是流动作业,其污染排放地并不固定,因此,国家对其废气排放控制比较宽松,其减排潜力大。生物柴油是一种由动植物油脂、餐饮废弃油脂及微藻等制成的可再生清洁能源,其含氧量高,十六烷值高,有助于充分燃烧,并且几乎不含硫和芳烃类有毒物质,因此可大大降低燃烧废气的排放,有良好的减排效果。

目前,国内外学者对生物柴油在渔船上应用做了一定的研究,主要集中在动力性、腐蚀性、排放性能等方面。生物柴油热值略低于石化柴油,在不对柴油机做任何调整的情况下,单位体积内供油量保持不变,因此燃烧生物柴油释放的能量

低,导致柴油机有效功率下降。柴油机动力性的下降随着生物柴油掺混比例的增加而增多,但下降幅度不是很大,可通过增大喷油孔径或增加喷油器喷孔数量加以解决<sup>[3-7]</sup>。火红双等<sup>[8]</sup>、Kaul 等<sup>[9]</sup>、Haseeb 等<sup>[10]</sup>通过实验表明生物柴油有对橡胶溶胀和铜片腐蚀的副作用,张腾等<sup>[11]</sup>研究发现生物柴油中的低级脂肪酸是造成金属腐蚀的主要原因,并测试了不同原料生产的生物柴油对铜片的腐蚀等级,可通过减少燃油系统中的铜质部件和改用耐腐蚀的氟橡胶替代天然橡胶加以解决。生物柴油对金属部件的腐蚀反过来进一步强化生物柴油的降解变质,可以建议添加二烷基甲酚、 $\delta$ -维生素 E 等稳定剂来提高生物柴油的存储稳定性<sup>[12-13]</sup>。马林才等<sup>[14]</sup>在 YC6J190 柴油机上进行了船用生物柴油的台架试验,研究柴油机燃用船用 B20 混合燃料后的动力性、经济性和排放等特性,结果表明,燃用船用 B20 混合燃料后,柴油机燃油消耗率上升,HC、炭烟排放下降。Roskilly 等<sup>[15]</sup>在两种小型海洋发动机进行了船用

收稿日期:2013-04-15 修回日期:2013-06-01

资助项目:上海市教委 085 项目

通信作者:黄硕琳, E-mail: slhuang@shou.edu.cn

生物柴油的性能和排放特性分析。Lin 等<sup>[16]</sup>对台湾渔船燃用不同比例的混合生物柴油燃料进行了成本效益评估,表明如果台湾所有的渔船都燃用生物柴油每年将减少污染排放 42 194 t,而成本会增加 25.85%,用 20% 的生物柴油替代船用石化柴油成本效益比最高。

然而,目前的研究只是说明了生物柴油用于渔船的理论可行性,并没有对如何促进其实际应用进行研究。虽然生物柴油用于柴油机在动力性和腐蚀性方面有影响,但在掺加比例较低的情况下影响不大并可通过柴油机的稍加改进解决。在实际应用中,生物柴油能否被渔民普遍接受,首先要看其经济性。本研究通过建立渔民间及渔民与企业间的博弈模型,分析了渔民选择用生物柴油进行渔船减排的行为策略,对能促进生物柴油用于渔船上的外部因素进行了探讨并提出一些建议。

## 1 进化博弈理论

进化博弈理论是经济学研究方法的一次创新,它否定了传统博弈理论关于理性人假设的基础,以有限理性的参与人群体为研究对象,利用动态分析方法把影响参与人行为的各种因素纳入其模型之中,并以系统论的观点来考察群体行为的演化趋势。

在进化博弈理论中每个参与人都是随机地从群体中抽取并进行重复、匿名博弈,他们没有特定的博弈对手。在这种情况下,参与人既可以通过自己的经验直接获得决策信息,也可以通过观察在相似环境中其他参与人的决策并模仿而间接地获得决策信息,还可以通过观察博弈的历史而从群体分布中获得决策信息。对参与人来说,观察群体行为的历史即估算群体分布是非常重要的。首先,群体分布包含了对手如何选择策略的信息。其次,通过观察群体分布也有助于参与人知道什么是好的策略什么是不好的策略。参与人常常会模仿好的策略而不好的策略则会在进化过程中淘汰,模仿是学习过程中的一个重要组成部分,成功的行为不仅以说教的形式传递下来,而且也容易被模仿。参与人由于受到理性的约束而其行为是幼稚的,其决策不是通过迅速的最优化计算得到,而是需要经历一个适应性的调整过程,在此过程中参与人会受到其所处环境中各种确定性或随机

性因素影响。因此,系统均衡是达到均衡过程的函数,要更准确地描述参与人行为就必须考察经济系统的动态调整过程,动态均衡概念及动态模型在进化博弈理论中占有相当重要的地位。

通常情况下,渔民群体受教育程度比较低,学习速度很慢,加上对生物柴油比较陌生,因此他们对生物柴油用于渔船减排的接受是一个不断模仿,不断调整的渐进过程,通过长时间的学习模仿逐步向优势策略转变。渔民群体在渔船减排决策活动中的行为模式与进化博弈的分析框架是比较接近的,因此可以用生物进化的进化动态方程—复制动态公式表示。

## 2 渔民群体间的博弈

### 2.1 博弈得益矩阵的建立及相关假设

把有限理性的渔民群体抽象为两个博弈方:博弈方 1 和博弈方 2。假设  $e$  为渔民出售渔获物产生的收益, $c$  为渔船燃用生物柴油付出的额外成本, $s$  为政府对渔船用生物柴油的额外燃油补贴。当两个博弈方都采取减排策略时,他们的收益为  $(e + s - c, e + s - c)$ ;当双方都不减排时,他们的收益不变为  $(e, e)$ ;当一方减排而另一方不减排时,渔业部门在船舶年度检验时会给予减排一方奖励  $m$  进行引导,此时双方收益为  $(e + s - c + m, e)$ 。博弈双方收益矩阵如表 1 所示。

表 1 渔民群体博弈的收益矩阵

博弈方 2 game party 2	博弈方 1 game party 1	
	减排 reduction	不减排 no reduction
减排 reduction	$(e + s - c, e + s - c)$	$(e + s - c + m, e)$
不减排 no reduction	$(e, e + s - c + m)$	$(e, e)$

### 2.2 模型求解

假设在渔民群体中,一开始采取减排策略的渔民比例为  $x$ ,采取不减排策略的渔民比例为  $(1 - x)$ ,则采取不同策略博弈方的期望收益  $u_1$ ,  $u_2$  和群体平均收益  $\bar{u}$  分别为:

$$u_1 = x(e + s - c) + (1 - x)(e + s - c + m)$$

$$u_2 = xe + (1 - x)e$$

$$\bar{u} = xu_1 + (1 - x)u_2$$

根据以上收益可以得出应用生物柴油作渔船燃料进行减排的博弈方的复制动态方程为:

$$\frac{dx}{dt} = f(x) = x(u_1 - \bar{u}) = x(1-x)(-xm - c + s + m)$$

令  $f(x) = 0$ , 可以求出此复制动态方程的所有稳定状态, 即:

$$x^* = 0, x^* = 1, x^* = \frac{s+m-c}{m}$$

### 2.3 模型分析

当  $\frac{s+m-c}{m} < 0$  时, 以上复制动态方程只有  $x^* = 0, x^* = 1$  两个不动点符合要求, 此时复制动态方程的相位图如图 1-a 所示,  $x^* = 0$  是唯一进化稳定状态。可以看出, 在政府对生物柴油的补贴政策和对渔船减排合格的奖励政策跟不上的情况下, 渔民减排支付的额外成本过高, 即  $c > s + m$  时, 渔民群体都不会接受在渔船上使用生物柴油

进行减排。

当  $0 < \frac{s+m-c}{m} < 1$  时,  $x^* = \frac{s+m-c}{m}$  是进化稳定均衡点, 相位图如图 1-b 所示。也就是说, 当渔民需要支付的额外减排成本高于政府对生物柴油的补贴额度, 但渔业部门对减排的奖励不足的情况下, 群体中会有  $x^* = \frac{s+m-c}{m}$  比例的渔民选择燃用清洁能源进行减排。

当  $\frac{s+m-c}{m} > 1$  时,  $x^* = 1$  是进化稳定均衡点, 相位图如图 1-c 所示。当政府对渔船用生物柴油的补贴额度远远大于渔民减排所付出的的额外成本时, 渔民群体都趋向于减排。当所有渔民都选择了减排策略, 此时渔业部门就不用采取奖励政策进行引导了。

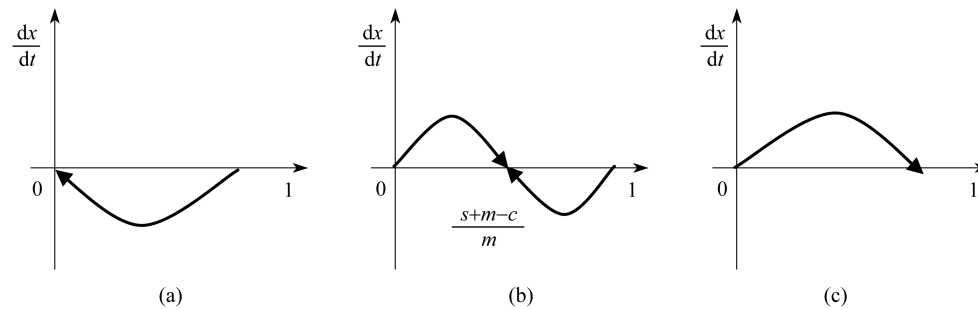


图 1 渔民群体间复制动态关系图

Fig.1 Replicated dynamic diagram between fishermen

## 3 渔民与企业间的博弈

### 3.1 模型建立与相关假设

以上分析的是无差异的渔民群体间的对称博弈, 现在进一步分析有差异的渔民和企业间的非对称博弈。假设  $h$  和  $e$  分别为企业和渔民出售产品的收益,  $a$  和  $c$  分别为企业和渔民进行减排的额外成本。当双方都不减排时, 企业需要向政府交纳排污费  $f$ , 渔民暂时不需要交纳大气排污费, 双方收益为  $(h-f, e)$ ; 当双方都进行减排时, 渔民会因使用生物柴油获得政府发放的额外燃油补贴  $s$ , 而企业因减排达标也不再需要交纳排污费, 双方收益为  $(h-a, e+s-c)$ ; 当渔民减排而企业不减排时, 企业通过支付少于排污费  $f$  的金额  $b$  来购买渔民群体的减排信用达到排放目标, 双方收益为  $(h-b, e+s-c+b)$ ; 当企业减排而渔民不减排时, 因国家本来对渔船就没有严格的排放规

定, 所以渔民也不会花费额外的金钱去购买企业的减排信用, 则双方收益为  $(h-a, e)$ 。博弈双方的收益矩阵见表 2。

表 2 渔民和企业间博弈的收益矩阵  
Tab.2 Payoff matrix of game between fishermen and enterprises

企业 enterprises	渔民 fishermen	
	减排 reduction	不减排 no reduction
减排 reduction	$(h-a, e+s-c)$	$(h-a, e)$
不减排 no reduction	$(h-b, e+s-c+b)$	$(h-f, e)$

### 3.2 模型求解

假设企业群体中采取减排策略的比例为  $x$ , 采取不减排策略的比例为  $(1-x)$ ; 在渔民群体中, 采取减排策略的比例为  $y$ , 采取不减排策略的比例为  $(1-y)$ 。

对于企业来说,采取减排策略的期望收益为:

$$u_{11} = y(h - a) + (1 - y)(h - a)$$

采取不减排策略的期望收益为:

$$u_{12} = y(h - b) + (1 - y)(h - f)$$

企业期望的平均收益为:

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

根据上述期望收益,可以得出  $x$  的复制动态方程:

$$\frac{dx}{dt} = f(x) = x(u_{11} - \bar{u}_1) =$$

$$x(1 - x)[f - a + y(b - f)]$$

$$f'(x) = (1 - 2x)[f - a + y(b - f)]$$

对于渔民群体来说,采取减排策略的期望收益为:

$$u_{21} = x(e + s - c) + (1 - x)(e + s - c + b)$$

采取不减排策略的期望收益为:

$$u_{22} = xe + (1 - x)e$$

渔民群体期望的平均收益为:

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

根据上述期望收益,得出  $y$  的复制动态方程:

$$\frac{dy}{dt} = g(y) = y(u_{21} - \bar{u}_2) =$$

$$y(1 - y)(s + b - c - xb)$$

$$g'(y) = (1 - 2y)(s + b - c - xb)$$

### 3.3 模型分析

对企业群体的分析 若  $f - a + y(b - f) = 0$ , 即  $y = \frac{f - a}{f - b}$  时, 始终有  $\frac{dx}{dt} = 0$ , 意味着所有  $x$  都是

稳定状态; 若  $f - a + y(b - f) > 0$ , 即  $y < \frac{f - a}{f - b}$  时,  $f'$

(1)  $< 0$ , 所以  $x^* = 1$  是进化稳定状态; 若  $f - a + y$

( $b - f$ )  $< 0$ , 即  $y > \frac{f - a}{f - b}$  时,  $f'(0) < 0$ , 所以  $x^* = 0$

是进化稳定状态。

对渔民群体的分析 若  $s + b - c - xb = 0$ , 即  $x = \frac{s + b - c}{b}$  时, 始终有  $\frac{dy}{dt} = 0$ , 意味着所有  $y$  都

是稳定状态; 若  $s + b - c - xb > 0$ , 即  $x < \frac{s + b - c}{b}$

时,  $g'(1) < 0$ , 所以  $y^* = 1$  是进化稳定状态; 若

$s + b - c - xb < 0$ , 即  $x > \frac{s + b - c}{b}$  时,  $g'(0) < 0$ , 所

以  $y^* = 0$  是进化稳定状态。

在基于企业群体的复制动态方程与渔民群体的复制动态方程分析的基础上, 把上述两个群体

比例变化复制动态的关系, 在以两个比例为坐标的坐标平面上表示出来(图2)。

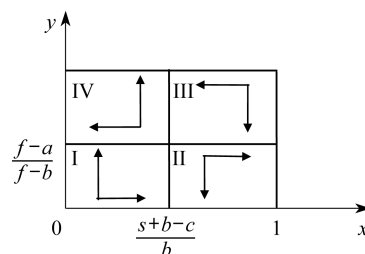


图2 渔民群体和企业群体复制动态关系图  
Fig. 2 Replicated dynamic diagram between fishermen and enterprises

对图2进行分析可以看出: 当  $x$  和  $y$  的初始状态位于 II 区域时, 最终会收敛于  $x^* = 1, y^* = 0$ ; 当初始状态位于 IV 区域时, 最终会收敛于  $x^* = 0, y^* = 1$ ; 当初始状态位于 I 区域时, 若企业群体收敛于  $x^* = 1$  的速度大于渔民群体收敛于  $y^* = 1$  的速度, 则最终稳定状态为  $x^* = 1, y^* = 0$ 。反之, 则最终稳定状态为  $x^* = 0, y^* = 1$ ; 当初始状态位于 III 区域时, 若企业群体收敛于  $x^* = 0$  的速度大于渔民群体收敛于  $y^* = 0$  的速度, 则最终稳定状态为  $x^* = 0, y^* = 1$ 。反之, 最终稳定状态为  $x^* = 1, y^* = 0$ 。

由以上分析可知, 企业群体和渔民群体间的博弈有两种稳定策略:  $x^* = 0, y^* = 1$  或  $x^* = 1, y^* = 0$ 。

## 4 渔船用生物柴油减排成本估算

据测算, 我国渔业生产年耗能总量折 1 754 万 t 标准煤, 其中捕捞业的能源消耗占整个渔业的 70% 以上, 是渔业耗能的主要领域<sup>[1]</sup>。我国颁布的《生物柴油调合燃料(B5)标准》规定在石化柴油中掺混 5% 体积分数的生物柴油适用于船舶发电机, 因此, 选取我国捕捞渔船柴油机掺混 5% 体积分数的生物柴油作为动力燃料进行减排成本估算。

随着全球石油资源的日益减少, 燃油价格逐步攀升, 导致燃油成本占捕捞业生产总成本的比重越来越大, 在 60% ~ 70% 之间<sup>[1]</sup>。捕捞渔船为了节约成本已基本燃用价格相对低廉的重油。目前, 我国船用燃料油的价格基本维持在 5 000 元/t, 而生物柴油价格在 7 400 元/t 左右<sup>[17]</sup>。渔船掺烧 5% 的生物柴油增加的成本可通过以下公式

计算:

$$\Delta C = P_b \left( \frac{E_m}{\rho_m} \beta \right) \rho_b - \beta P_m E_m$$

式中,  $P_m$  为船用柴油价格;  $P_b$  为生物柴油价格;  $E_m$  为渔船年能耗量;  $\beta$  为生物柴油掺混比例;  $\rho_m$  为柴油密度  $0.84 \text{ g/cm}^3$ ;  $\rho_b$  为生物柴油密度为  $0.88 \text{ g/cm}^3$  [17]。

以渔业年耗能折  $1.754 \times 10^4 \text{ t}$  标准煤计算, 捕捞业能耗占 70%, 则为  $1.227.8 \times 10^4 \text{ t}$  标准煤 ( $842 \times 10^4 \text{ t}$  柴油), 以 2010 年全国捕捞渔船年末拥有量 430 991 艘算, 平均每条捕捞渔船年消耗柴油总量约 20 t; 生物柴油替代比例按 5% 计算, 则捕捞渔船掺烧生物柴油每年增加的成本  $\Delta C = 7.400 \times (20 \div 0.84 \times 5\%) \times 0.88 - 5\% \times 5.000 \times 20 \approx 2.752 \text{ 元}$

生物柴油价格高于渔船用柴油价格, 如果在渔船柴油机上掺烧生物柴油将进一步增加渔民生产成本, 难以被接受。通过建立政府补贴、奖励政策和碳交易制度等措施, 有效运用行政和经济手段, 可以促进渔民对生物柴油的接受程度, 进而促进渔船节能减排的实施 [18]。

## 5 结论和建议

本研究通过建立渔民群体之间的博弈及渔民群体与渔业企业间的博弈对渔船减排策略加以分析, 认为政府对生物柴油的补贴政策及渔业相关部门对渔船减排合格的奖励政策及碳排放交易市场的有效建立都会影响渔民群体的收益矩阵。从渔民群体间博弈模型的分析结果可以看出, 只有当  $\frac{s+m-c}{m} > 1$  时, 渔民才会趋向全部减排, 因此

政府应当制定对生物柴油的补贴政策, 使补贴额度大于渔民用生物柴油增加的减排成本; 从渔民与企业间的博弈模型可以看出, 渔民行为的两个进化稳定策略  $y^* = 0$  和  $y^* = 1$  的分界点是  $x = \frac{s+b-c}{b}$ , 进一步分析可知, 当分子  $s+b-c$  越大,

渔民就越趋向于采用生物柴油进行渔船减排, 即政府的补贴政策和碳交易的有效实施对渔民减排起着重要的促进作用。为了切实促进生物柴油在渔船上的应用而不仅仅停留在理论上, 促进渔船节能减排的落实, 提出以下建议:

1) 生物柴油具有显著的减排效果但极少被

渔民接受的最重要原因就是目前生物柴油价格过高。如果政府能够制定对应用生物柴油相应的补贴政策, 并且对生物柴油的补贴额度高于原有船用柴油的补贴额度的话, 那渔民的接受程度就会普遍上升。

2) 船检和渔检部门可以结合年度检验工作, 对船舶进行大气排放检验, 并将此项工作作为对船舶年度安全检查的必查项目, 对合格船舶发放“大气排放合格证书”, 给予渔船减排合格的渔民一定的奖励政策以兹鼓励。

3) 我国正处在经济快速发展时期, 对能源高度依赖, 如果要应对国际减排压力, 必然会导致经济发展速度减慢。鉴于此, 我国可采取发达国家碳排放交易机制的经验, 加快碳交易市场体制的建立, 将减排潜力大的渔业融入到碳交易市场当中, 这样一方面渔民可将减排额度通过市场出售给企业而促进渔民的减排, 另一方面企业通过购买渔业的减排额度即能达到排放目标又不必缩减生产。通过碳交易市场的建立, 我国可以在不放缓经济发展的同时又能积极应对国际上的减排压力。

## 参考文献:

- [1] 农业部渔业局. 中国渔业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011: 262-266.
- [2] 张祝利, 王玮, 何雅萍. 我国渔船作业过程碳排放的估算[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(6): 848-851.
- [3] 蒋更红, 胡以怀. 生物柴油应用现状和船用前景[J]. 航海技术, 2011(4): 63-66.
- [4] 胡以怀, 张华武, 杨少波, 等. 生物柴油在船用发动机上的应用探讨[J]. 中国航海, 2010, 33(3): 39-41.
- [5] 张天顺, 张汝坤, 玄伟东, 等. 柴油机掺烧桐油制备生物柴油的动力性和经济性[J]. 农机化研究, 2011(3): 227-229.
- [6] 葛蕴珊, 陆小朋, 高力平, 等. 废食用油生物柴油的制备及其掺烧时的动力与排放特性[J]. 环境科学, 2005, 26(3): 12-15.
- [7] 孔德芳, 沈颖刚, 彭益源, 等. 生物柴油的理化特性对柴油机性能的影响研究[J]. 内燃机, 2009(1): 25-29.
- [8] 火红双, 蒋炜, 鲁厚芳, 等. 生物柴油及其柴油混合物的溶解性和橡胶兼容性研究[J]. 中国油脂, 2009, 34(6): 54-57.
- [9] Kaul S, Saxena R C, Kumar A, et al. Corrosion

- behavior of biodiesel from seed oils of indian origin on diesel engine parts [ J ]. Fuel Processing Technology, 2007, 88 ( 3 ) : 303 - 307.
- [ 10 ] Haseeb A S M A, Masjuki H H, Ann L J, *et al.* Corrosion characteristics of copper and leaded bronze in palm biodiesel [ J ]. Fuel Processing Technology, 2010, 91 ( 3 ) : 329 - 334.
- [ 11 ] 张腾, 孙志春, 王珉, 等. 生物柴油腐蚀性试验研究 [ J ]. 广州化工, 2012, 40 ( 12 ) : 109 - 111.
- [ 12 ] Chandrasekaram K, Ng M H, Choo Y M, *et al.* Effect of storage temperature on the stability of phytonutrients in palm concentrates [ J ]. American Journal of Applied Sciences, 2009, 6 ( 3 ) : 529 - 533.
- [ 13 ] 毕良武, 赵振东, 李冬梅, 等. 生物柴油稳定性及稳定剂研究进展 [ J ]. 生物质化学工程, 2006, 40 ( 6 ) : 43 - 47.
- [ 14 ] 马林才, 周志国, 夏良耀, 等. 船用生物柴油的理化指标及台架试验研究 [ J ]. 江苏科技大学学报: 自然科学版, 2012, 26 ( 2 ) : 154 - 158.
- [ 15 ] Roskilly A P, Nanda S K, Wang Y D, *et al.* The performance and the gaseous emission of two small marine craft diesel engines fuelled with biodiesel [ J ]. Applied Thermal Engineering, 2008, 28 ( 8 - 9 ) : 872 - 880.
- [ 16 ] Lin C Y, Huang T H. Cost-benefit evaluation of using biodiesel as an alternative fuel for fishing boats in Taiwan [ J ]. Marine Policy, 2012, 36 ( 1 ) : 103 - 107.
- [ 17 ] 鹿清华, 朱青, 何祚云. 国内外生物柴油生产技术及成本分析研究 [ J ]. 当代石油石化, 2011 ( 5 ) : 8 - 13.
- [ 18 ] 徐胜, 张鑫. 碳金融对我国现代渔业经济发展支持研究 [ J ]. 中国渔业经济, 2010, 28 ( 5 ) : 11 - 19.

## Evolutionary game analysis of emission reduction for fishing boats using biodiesel

XIAO Xiaoyun<sup>1</sup>, HUANG Shuolin<sup>2\*</sup>

(1. College of Economics and Management, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. College of Marine Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** As an important source of air pollution, pollution emissions of fishing boats caused widespread concern in the international community. As a clean, renewable energy which has the similar performance to petroleum diesel that can be mixed for use in a diesel engine, biodiesel can be a better alternative energy in the post-oil era with significant emission reduction effects. This paper explored the reduction strategies of fishing boats using biodiesel based on evolutionary game theory. This paper analyzed the dynamic changes of the proportion of fishermen, fishermen and enterprises that adopted different strategies with bounded rationality, as well as the conditions for stable strategy. This paper considered that subsidy policy of the government, supervision of the fishing department and effective implementation of carbon trading can change the fishermen' benefit matrix to induce fishermen to reduce emissions by using alternative energy sources. This paper estimated the cost abatement of Chinese fishing vessels. The results showed that fishing boat engine blended 5 percent biodiesel would result in an average annual increase in cost by nearly 3000 yuan per boat. If the government is able to develop biodiesel subsidy policy and establish an effective carbon trading system, with no increase in the cost, the fishermen will gradually tend to use biodiesel for fishing boats emission reduction.

**Key words:** fishing boats; emission reduction; evolutionary game theory; duplicative dynamic equation; evolutionary stable strategy

**Corresponding author:** HUANG Shuolin. E-mail: slhuang@shou.edu.cn