

政府参与下物流企业低碳包装回收的演化博弈与仿真研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2020.03.007

何燕子 丁志鹏

湖南工业大学

商学院

湖南 株洲 412007

摘要: 低碳包装是解决物流包装过程中存在过度浪费的重要手段。运用博弈论的方法建立政府参与下物流企业低碳包装回收与消费者之间的博弈模型,针对不同条件分别求出演化均衡点,并分析政府、物流企业、消费者在何种情况能够达成互利共赢局面。研究表明,政府的奖惩金额以及物流企业进行低碳技术研发的成本,是影响博弈双方决策行为的关键因素,据此可为相关部门提供决策参考。

关键词: 政府;物流企业;消费者;低碳;演化博弈

中图分类号: F205; F272 **文献标志码:** A

文章编号: 1674-7100(2020)03-0051-09

引文格式: 何燕子,丁志鹏.政府参与下物流企业低碳包装回收的演化博弈与仿真研究[J].包装学报,2020,12(3):51-59.

1 研究背景

发展低碳经济构建绿色城市是社会经济高速发展至今的必经之路,面对环境污染以及资源无止境的消耗,构建低碳社会迫在眉睫。近年来,低碳经济的发展已成为世界各国发展的大趋势。物流包装作为包装行业的一个分支,其低碳化是指制作包装运输材料的同时减少二氧化碳的排放量,使用可循环再生材料制作包装,以达到保护环境的目的。

低碳经济一词首先在1992年《联合国气候变化框架公约》中出现。到目前为止,国内外学者对于低碳经济的研究已十分丰富,主要有国家或者企业个体等不同方面的研究主体。D. Johnston等^[1](2005)认为,政府对企业下达减排目标并进行监管,从外引进国际先进技术才能快速有效地发展低碳经济。V. Andreoni等^[2](2012)将不同产业排放的CO₂量合并分析,

运用脱钩模型分析各行业CO₂与GDP之间的关系。杨颖^[3](2012)综合2005—2010年数据,运用数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)方法研究了四川省低碳经济发展水平及投入产出状况。王钰等^[4](2015)研究得出制造业仍处于“高碳型”增长阶段,但是随着能源消费边际效率的提高,能源消费强度和二氧化碳排放强度不断下降,制造业已接近向低碳增长方式转变。甄志勇等^[5](2019)对于企业如何最大限度地经营活动中将能源消耗与碳排放量控制在合理范围给出了相关建议。

国外在低碳包装的研究上具有一定的深度和针对性,并开始逐渐将低碳评价和量化的数学模型引入包装领域。H. Gujba等^[6](2011)研究得出,食品和饮料行业是英国包装制品的主要来源,其消耗量约占包装制品总量的70%。S. BERSIMIS等^[7](2013)也以饮料包装为例,利用理论和主成分分析法建立了产

收稿日期:2020-04-08

基金项目:国家社会科学基金资助项目(19BJY082),湖南省社会科学评审委员会课题重点项目(XSP20ZDI014)

作者简介:何燕子(1973-),女,湖南永顺人,湖南工业大学教授,博士,主要从事产业经济方面的教学与研究,

E-mail: 248126415@qq.com

品环境性能的评价模型。H. Lewis 等^[8] (2012) 认为, 可持续发展包装对企业既是机遇也是挑战。

国内对于低碳包装研究比西方发达国家起步晚, 研究成果较少且大部分是对于行业的定性研究。安美清等^[9] (2012) 从政府、包装企业和消费者 3 个方面着手分析了低碳包装的发展模式。刘亦文等^[10] (2012) 对于低碳包装给出了相关建议, 并指出发展低碳包装并不会增加公司的成本, 也不会约束公司发展, 而恰恰是公司发展的机遇。刘建龙等^[11] (2015) 对于包装材料如何做到绿色与低碳的标准以及低碳包装材料使用存在的一系列问题提出了相关建议。

博弈论是研究追求共同利益的参与方, 在博弈过程中如何决策, 并最终达到最优解的理论。通常在确定游戏规则下, 参与方会根据已获得的信息作出相应的决策行为, 来实现最大利益。一般情况下, 构成博弈模型的 3 个要素分别为: 博弈参与方、可供选择策略组合以及相应策略组合下所获得的相应收益。

随着众多学者对于博弈论的深入研究, 博弈论已成为研究经济学的主要工具。胡静锋 (2011)、周建鹏等^[12-15] 主要研究了没有政策变化下政府与企业之间的博弈。王志国等^[16] (2016) 基于博弈论视角对于政府如何引导企业进行低碳技术创新给出了相关建议。

本文研究政府参与下, 物流企业与消费者之间的关系, 基于博弈论演化理论构建物流企业与消费者之间的动态博弈, 并加入政府第三方监管力量, 构建合理的低碳物流包装供应链体系。然后仿真分析各个因素对博弈双方行为的动态影响, 探究在何种条件下政府能够提高物流企业进行低碳包装以及消费者帮助物流企业进行低碳包装回收的积极性。以期绿色和谐社会发展提供理论与实证参考。

2 模型假设与符号定义

物流企业如何进行低碳包装一直是学者们研究的重点, 国内外学者们对于政府与企业之间的低碳博弈研究较多, 但针对物流企业与消费者之间的博弈研究较少。特别是物流企业与消费者之间的演化机理以及动态相互关联少有研究。本文采用 MATLAB 软件进行仿真, 搭建物流企业与消费者之间的联系, 从而可以更好地探索均衡和动态选择之间的关系, 直接解释系统的演化规律。

消费者和物流企业作为利益相关者, 均期望通过

不同策略来获得最大利益, 双方存在博弈关系。

假设 1 博弈双方均为理性经济人, 物流企业的策略集可以选择使用低碳包装回收和不使用低碳包装回收; 消费者的策略集可以选择积极参与和保持现状。

假设 2 政府可以根据消费者的低碳行为进行奖励, 对于不进行低碳包装回收的物流企业给予处罚。

假设 3 物流企业进行低碳包装回收的比例为 x ($0 \leq x \leq 1$), 不进行低碳包装回收的比例为 $1-x$; 消费者积极参与的概率为 y ($0 \leq y \leq 1$), 保持现状的概率为 $1-y$ 。

假设 4 物流企业保持现状的收益为 E_a , 进行低碳包装所需成本投入为 C_a , C_a 包括低碳技术研发、购买低碳材料等。由于进行低碳包装回收, 回收的包装能够二次利用产生的利益为 A , 则物流企业进行低碳包装的收益为 $E_a - C_a + A$ 。

假设 5 消费者积极参与低碳包装回收获得的收益为 E_b 。若物流企业不进行低碳包装回收, 消费者积极参与下需要付出一定成本 C_b , C_b 包括消费者的运输成本、时间成本等, 此时收益为 $E_b - C_b$; 若物流企业进行低碳包装, 消费者保持现状同样能获得相应收益 E_b , 此时物流企业需多支付额外回收成本 D_a 。若博弈双方均不积极参与, 消费者的收益为 0。

假设 6 由于环境破坏严重, 低碳问题已引起政府高度重视的情形下, 政府会对不进行低碳包装回收的企业进行处罚, 对积极参与的消费者给予相应奖励。假设政府有 a ($0 \leq a \leq 1$) 的几率检查到物流企业不进行低碳包装, 对其惩罚金额为 R_1 , 则物流企业不进行低碳包装回收的收益为 $E_a - aR_1$ 。同理消费者积极参与获得的政府奖励为 $\frac{aR_1}{n}$, n 为奖励因子。

3 演化模型构建

根据以上假设, 建立物流企业与消费者演化模型的收益矩阵, 如表 1 所示。

表 1 物流企业与消费者演化博弈的收益矩阵

Table 1 The payoff matrix of the evolutionary game between logistics enterprises and consumers

消费者状态	物流企业	
	低碳物流包装回收	保持现状
积极参与	$\left(E_b + \frac{aR_1}{n}, E_a - C_a + A\right)$	$\left(E_b - C_b + \frac{aR_1}{n}, E_a - aR_1\right)$
保持现状	$(E_b, E_a - C_a + A - D_a)$	$(0, E_a - aR_1)$

3.1 物流企业与消费者的演化博弈分析

3.1.1 物流企业的演化博弈复制动态方程

假设物流企业进行低碳包装回收的比例为 x , 则物流企业的收益矩阵 A 表示为

$$A = \begin{bmatrix} E_a - C_a + A & E_a - aR_1 \\ E_a - C_a + A - D_a & E_a - aR_1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

物流企业进行低碳物流包装回收和保持现状的期望收益 E_1 、 E_2 , 以及平均收益 \bar{u}_1 分别为

$$E_1 = y(E_a - C_a + A) + (1-y)(E_a - C_a + A - D_a) = E_a + A + yD_a - C_a - D_a, \quad (2)$$

$$E_2 = y(E_a - aR_1) + (1-y)(E_a - aR_1) = E_a - aR_1, \quad (3)$$

$$\bar{u}_1 = xE_1 + (1-x)E_2. \quad (4)$$

根据 Malthusian 动态方程^[17], 物流企业选择低碳包装回收的复制动态过程为

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(E_1 - \bar{u}_1) = x(1-x)(E_1 - E_2) = x(1-x)(yD_a + A + aR_1 - C_a - D_a), \quad (5)$$

式中 t 为时间。

3.1.2 消费者的演化博弈复制动态方程

假设消费者群体中选择积极参与的概率为 y , 则消费者的收益矩阵 B 表示为

$$B = \begin{bmatrix} E_b + \frac{aR_1}{n} & E_b - C_b + \frac{aR_1}{n} \\ E_b & 0 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

消费者积极参与低碳包装回收和保持现状获得的期望收益 E_3 、 E_4 , 以及平均收益 \bar{u}_2 分别表示为

$$E_3 = x\left(E_b + \frac{aR_1}{n}\right) + (1-x)\left(E_b - C_b + \frac{aR_1}{n}\right) = E_b + \frac{aR_1}{n} - (1-x)C_b, \quad (7)$$

$$E_4 = xE_b, \quad (8)$$

表 2 各均衡点对应的雅可比矩阵的行列式与迹的结果

Table 2 The result of the determinant and trace of the Jacobian corresponding to each equilibrium point

均衡点	$ J $	$\text{tr } J$
(0, 0)	$(A + aR_1 - C_a - D_a)\left(E_b - C_b + \frac{aR_1}{n}\right)$	$A + \left(1 + \frac{1}{n}\right)aR_1 + E_b - C_a - C_b - D_a$
(0, 1)	$-(A + aR_1 - C_a)\left(E_b - C_b + \frac{aR_1}{n}\right)$	$A + \left(1 - \frac{1}{n}\right)aR_1 + C_b - C_a - E_b$
(1, 0)	$-(A + aR_1 - C_a - D_a)\frac{aR_1}{n}$	$\left(\frac{1}{n} - 1\right)aR_1 + C_a + D_a - A$
(1, 1)	$(A + aR_1 - C_a)\frac{aR_1}{n}$	$C_a - A - \left(1 + \frac{1}{n}\right)aR_1$
(x^*, y^*)		0

由于均衡点 (x^*, y^*) 的迹值为 0, 不满足 $\text{tr } J < 0$, 因此 (x^*, y^*) 不是进化稳定策略 (evolutionarily

$$\bar{u}_2 = yE_3 + (1-y)E_4. \quad (9)$$

同理, 消费者选择积极参与的复制动态过程为

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(E_3 - \bar{u}_2) = y(1-y)(E_3 - E_4) = y(1-y)\left[(1-x)(E_b - C_b) + \frac{aR_1}{n}\right]. \quad (10)$$

令 $F(x)=0$, $F(y)=0$, 可得系统演化的 5 个均衡点: (0, 0)、(0, 1)、(1, 0)、(1, 1)、 (x^*, y^*) , 其中 $x^* = \frac{aR_1 + n(E_b - C_b)}{n(E_b - C_b)}$ ($0 \leq x^* \leq 1$), $y^* = \frac{E_a + D_a - A - aR_1}{C_a}$ ($0 \leq y^* \leq 1$).

根据演化博弈的原理, 上述 5 个均衡点的局部稳定性可由该系统相应的雅可比矩阵 J 的行列式 $\det J$ 和迹 $\text{tr } J$ 来判定^[18]. 当且仅当 $\det J > 0$, $\text{tr } J < 0$ 时, 该均衡点具有稳定性。

根据式 (5) (10) 得系统的雅可比矩阵 J 为

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix},$$

式中: $p_{11} = (1-2x)(yD_a + A + aR_1 - C_a - D_a)$;

$$p_{12} = x(1-x)D_a;$$

$$p_{21} = y(1-y)(C_b - E_b);$$

$$p_{22} = (1-2y)\left[(1-x)(E_b - C_b) + \frac{aR_1}{n}\right].$$

根据矩阵 J 的行列式和矩阵 J 的迹的公式

$$|J| = p_{11}p_{22} - p_{12}p_{21},$$

$$\text{tr } J = p_{11} + p_{22},$$

计算得出各均衡点 (x, y) 的雅可比行列式和迹, 结果如表 2 所示。

stable strategy, ESS) 点。表 3 为其它 4 个均衡点成为局部稳定点的条件。

表3 4个均衡点成为局部稳定点的条件
Table 3 The condition of four equilibrium points becoming a locally stable point

均衡点	条件
(0, 0)	$A+aR_1 < C_a+D_a, E_b + \frac{aR_1}{n} < C_b$
(0, 1)	$A+aR_1 < C_a, C_b + \frac{1}{n}aR_1 < E_b$
(1, 0)	$D_a < A, C_a < aR_1, n < 0$
(1, 1)	$C_a < A+aR_1, n > 0$

3.2 均衡点的稳定性分析

3.2.1 点(0, 0)的稳定性分析

对于点(0, 0)即(物流企业不进行低碳物流包装回收, 消费者保持现状), 当 $A+aR_1 < C_a+D_a$,

$E_b + \frac{aR_1}{n} < C_b$ 时, (0, 0)为唯一稳定点。这种情况一般

出现在保护环境初期阶段, 物流企业进行低碳技术研发初级阶段。一方面, 物流企业需要开发低碳技术, 支出的技术研发成本 C_a 大, 由于大众低碳意识不够, 消费者不能自觉积极参与低碳回收, 企业回收成本 D_a 大, 容易出现 $C_a+D_a > A+aR_1$; 另一方面, 环境破坏问题政府未予以重视, 政府对于物流企业与消费者的奖惩不合适。因此形成(0, 0)即(物流企业不进行低碳物流包装回收, 消费者保持现状)的局面。显然, (0, 0)不是政府的期望状态。为打破这种均衡, 需减少 C_a 、 D_a , 增大对物流企业的罚金 aR_1 以及对消费者低碳积极参与行为的奖励 $\frac{1}{n}aR_1$ 。在现实中, 一方面需

要加强对物流企业低碳技术创新所需人才的培养和设备研发, 降低低碳技术创新的成本 C_a ; 另一方面, 政府需要加大对不进行低碳包装回收的物流企业惩罚力度, 加大对消费者积极参与低碳活动的奖励。

3.2.2 点(0, 1)的稳定性分析

对于点(0, 1)即(物流企业不进行低碳物流包装, 消费者积极参与), 当 $A+aR_1 < C_a, C_b + \frac{1}{n}aR_1 < E_b$ 时,

点(0, 1)为唯一稳定点。这时期政府宣传力度有明显效果, 市民具备低碳意识从而积极参与低碳活动。随着低碳技术研发逐步成熟, 物流企业进行低碳包装研究耗费的成本 C_a 逐渐变少, 这种均衡状态会向(1, 1)即(物流企业进行低碳物流包装回收, 消费者积极参与)的方向移动。所以(0, 1)即(物流企业不进行低碳物流包装回收, 消费者积极参与)这种均衡状态是低碳社会理想状态的必经之路。

3.2.3 点(1, 0)的稳定性分析

对于点(1, 0)即(物流企业进行低碳包装回收, 消费者保持现状), 当 $D_a < A, C_a < aR_1$ 且 $n < 0$ 时, 点(1, 0)为唯一稳定点。这种情况一般出现在政府对于低碳社会构建的关注期。一方面由于环境破坏严重, 政府对于物流企业不进行低碳物流包装给予严厉惩罚, 以致 $aR_1 > C_a$, 物流企业迫于政府压力且进行低碳物流包装的收益大于回收产生的成本, 即 $A > D_a$, 于是进行低碳包装回收策略; 由于物流企业进行低碳包装回收策略, 消费者不需要积极参与也能得到相应收益 E_a , 且政府对于消费者的奖励不合适($n < 0$), 消费者选择保持现状, 搭上物流企业进行低碳包装回收的便车。以上情况形成(1, 0)即(物流企业进行低碳包装回收, 消费者保持现状)的局面。

这种情况不是低碳社会所期望的局面, 属于低碳社会发展必经阶段。政府只重视了物流企业的惩罚, 对于物流企业的惩罚金额合适, 却没有关注到消费者的奖励, 对于消费者积极参与低碳活动的奖励不合适。为打破这种均衡, 政府需要继续调节 n 值, 使得消费者能积极参与到低碳活动中。

3.2.4 点(1, 1)的稳定性分析

对于点(1, 1)即(物流企业进行低碳物流包装回收, 消费者积极参与), 当 $C_a < A+aR_1$ 且 $n > 0$ 时, (1, 1)为唯一稳定点。这种情况一般出现在低碳社会发展的规范期, 物流企业研发低碳产品的技术已经达到成熟, 所需的成本投入 C_a 值小, 政府也有一个完备合理的奖惩机制(aR_1 、 n 值较合理), 低碳回收带来的利润满足企业的期望, 各项指标合理, 达成 $C_a < A+aR_1$ 且 $n > 0$ 的条件。此阶段, 低碳意识被社会全体所肯定, 是政府、物流企业、消费者共赢的期望局面。

4 演化博弈模型下的仿真分析

为了进一步探究物流企业与消费者之间的演化博弈关系, 判断在什么条件下两者会到达演化均衡状态, 用MATLAB软件对上述情况进行模拟仿真。由博弈分析可知, 当 $C_a < A+aR_1$ 且 $n > 0$ 时, 系统会向期望均衡(1, 1)演化。设定满足条件 $C_a < A+aR_1$ 且 $n > 0$ 的参数值: $C_a=4, a=0.5, R_1=2, n=1, D_a=1, C_b=1, E_b=2, A=4$ 。对 (x, y) 的初始值分别取(0.3, 0.7)、(0.8, 0.2)进行仿真, 结果如图1所示。由图可知, 无论 (x, y) 的初值如何选取, 系统都会向(1, 1)的期望方向演化。

下面以图 1 的初始参数为基准且设定 $x=0.5, y=0.5$, 分别讨论 C_a, C_b, E_b, A, R_1, n 对演化结果的影响。

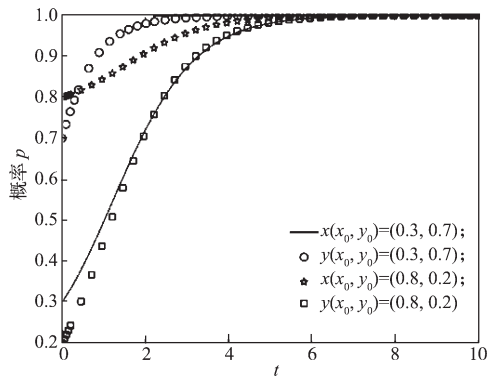


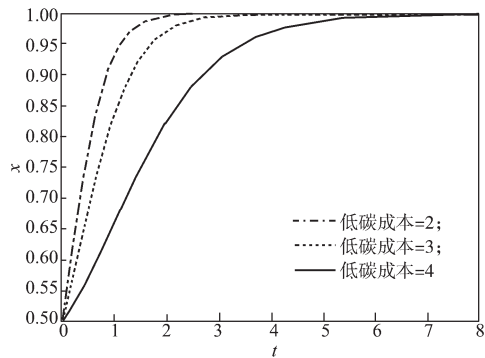
图 1 当 $C_a < A + aR_1, n > 0$ 时, 博弈模型的演化结果

Fig. 1 The evolution results of the game model when

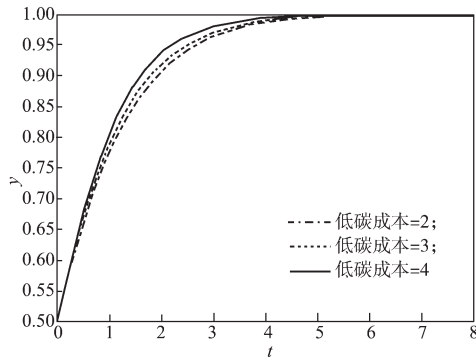
$$C_a < A + aR_1, n > 0$$

4.1 C_a 对博弈模型演化结果的影响

设定物流企业进行低碳创新技术成本 C_a 分别为 2, 3, 4, 仿真得出物流企业与消费者的策略演化, 如图 2 所示。



a) C_a 对 x 的影响



b) C_a 对 y 的影响

图 2 $C_a=2, 3, 4$ 时, 博弈模型的策略演化结果

Fig. 2 The evolution results of the game model when

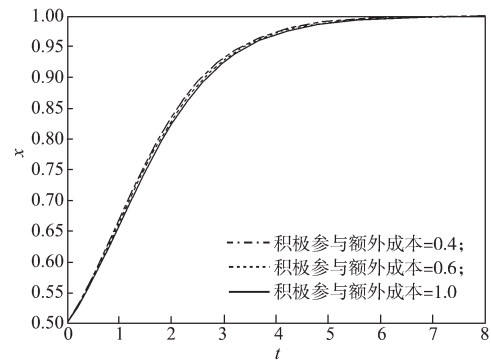
$$C_a=2, 3, 4$$

由图 2 可知, 物流企业低碳技术研发成本 C_a 越小, 物流企业策略收敛于进行低碳策略的速度也就越

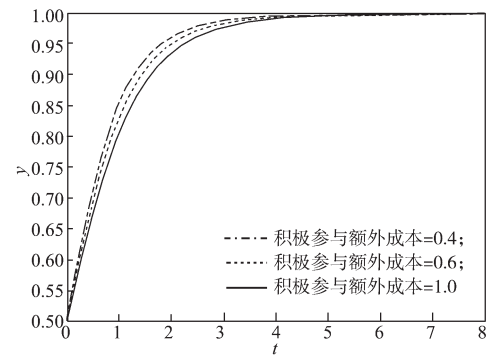
快; 消费者因为物流企业不进行低碳物流包装回收, 积极参与策略下能获得相应奖励, 所以当 C_a 值越大时, 消费者会越快达到积极参与策略。其中物流企业对 C_a 值非常敏感, 消费者较为敏感, 均有明显变化。这表明, 政府若想快速达到期望均衡点, 需要帮助物流企业降低低碳技术研发成本。

4.2 C_b 对博弈模型演化结果的影响

设定消费者对物流企业不进行低碳物流包装回收且积极参与下, 产生的额外成本 C_b 分别为 0.2, 0.6, 1.0 仿真得出物流企业和消费者的策略演化, 结果如图 3 所示。由图 3 可知, 物流企业对 C_b 值反应不敏感; 消费者对 C_b 值反应较为敏感, 变化较为显著。可见, 在现实社会中, 若物流企业不进行低碳包装回收, 政府需要主动引导消费者, 并适当降低消费者积极参与与回收产生的额外成本, 这样有利于促进低碳社会进程, 并且会提高市民参与低碳活动的热情。



a) C_b 对 x 的影响



b) C_b 对 y 的影响

图 3 $C_b=0.2, 0.6, 1.0$ 时, 博弈模型的策略演化

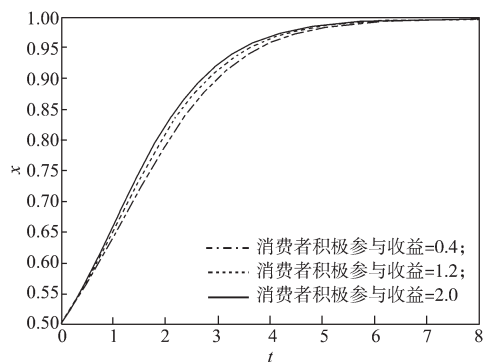
Fig. 3 The evolution results of the game model when

$$C_b=0.2, 0.6, 1.0$$

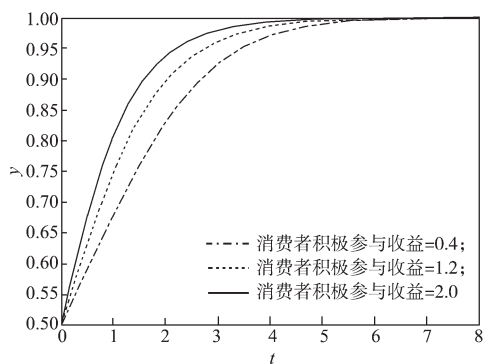
4.3 E_b 对博弈模型演化结果的影响

设定消费者积极参与与低碳回收获得的收益 E_b 分别为 0.4, 1.2, 2.0, 仿真得出物流企业和消费者的策略演化, 结果如图 4 所示。由图 4 可知, 消费者积

极参与回收获得收益越大, 消费者会越倾向于进行积极参与策略; 物流企业对消费者获得收益反应不太敏感, 但由于消费者越积极参与, 物流企业越不需要支付额外回收成本, 有利于其进行低碳包装回收策略。现实社会中, 政府与物流企业适当提高消费者参与低碳包装回收的奖励, 消费者会越积极参与与低碳回收, 即消费者达到演化平衡的速度越快。因此, 可以预见在构建低碳社会当中, 政府与物流企业适当提高消费者低碳回收获得收益, 能加速达到期望均衡点的时间。



a) E_b 对 x 的影响



b) E_b 对 y 的影响

图4 $E_b=0.4, 1.2, 2.0$ 时, 博弈模型的策略演化

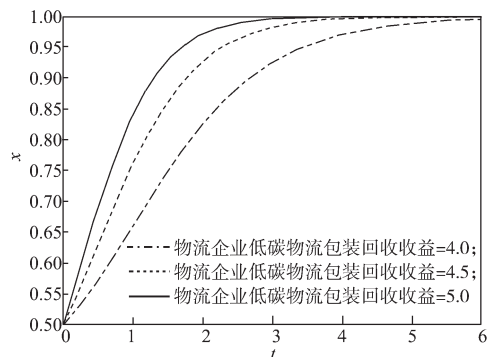
Fig. 4 The evolution results of the game model when

$E_b=0.4, 1.2, 2.0$

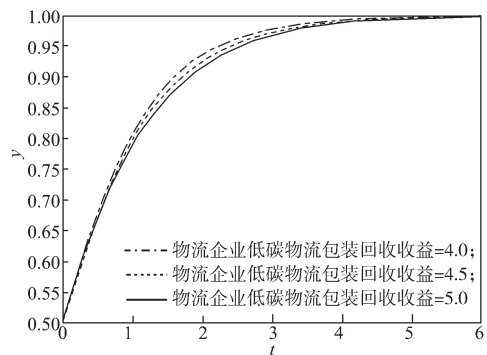
4.4 A 对博弈模型演化结果的影响

设定物流企业进行低碳物流包装回收收益 A 分别为 4.0, 4.5, 5.0, 仿真得出物流企业和消费者的策略演化, 结果如图 5 所示。由图 5 可知, 物流企业对 A 的变化反应敏感, 达到均衡的时间有明显变化; 消费者对 A 值变化反应不敏感, 到达均衡的时间无明显变化。这表明, 在现实社会中, 消费者并不关心物流企业进行低碳包装回收会带给企业多少收益, 相反物流企业需要提高低碳包装回收收益, 才能加速达到期

望均衡点。



a) A 对 x 的影响



b) A 对 y 的影响

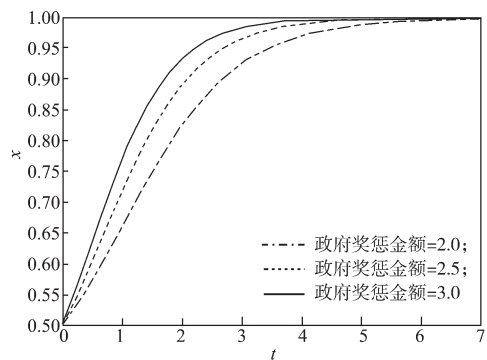
图5 $A=4.0, A=4.5, A=5.0$ 时, 博弈模型的策略演化

Fig. 5 The evolution results of the game model when

$A=4.0, A=4.5, A=5.0$

4.5 R_1 对博弈模型演化结果的影响

设定政府奖惩金额 R_1 分别为 2.0, 2.5, 3.0, 仿真得出物流企业和消费者的策略演化, 结果如图 6 所示。由图 6 可知, 政府对于物流企业的惩罚金额越大, 物流企业策略收敛于低碳物流包装回收的速度也就越快; 消费者对奖励的高低也有明显反应。这表明, 政府若想干预演化时间, 可以适当改变奖惩金额, 如加大对物流企业罚金, 加大对消费者的奖励, 能够减少达到期望均衡点的时间。



a) R_1 对 x 的影响

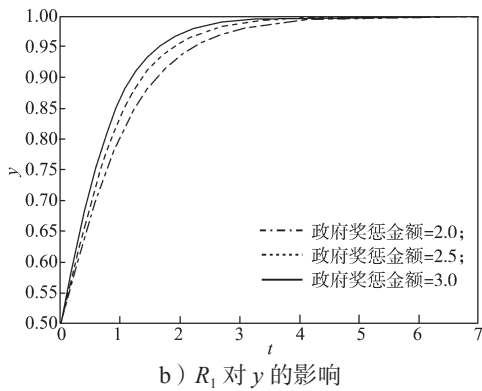


图 6 $R_1=2.0, 2.5, 3.0$ 时, 博弈模型的策略演化

Fig. 6 The evolution results of the game model when $R_1=2.0, 2.5, 3.0$

4.6 n 对博弈模型演化结果的影响

设定政府对消费者的奖励因子 n 分别为 1, 2, 3, 仿真得出物流企业和消费者的策略演化, 结果如图 7 所示。

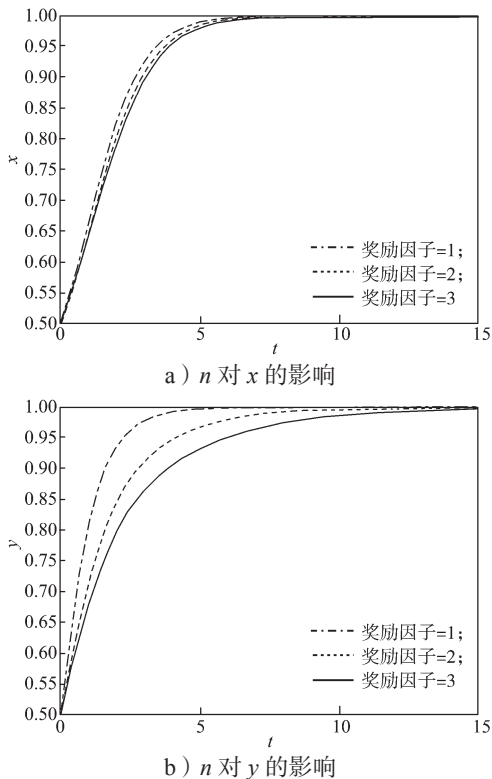


图 7 $n=1, 2, 3$ 时, 博弈模型的策略演化

Fig. 7 The evolution results of the game model when $n=1, 2, 3$

由图 7 可知, 根据消费者积极参与获得的政府收益 $\frac{aR_1}{n}$, 消费者所获得的政府奖励越大, 即 n 越小, 消费者策略收敛于积极参与的速度也就越快; 物流企业的变化则不明显。这表明, 政府若想加速达到期望

均衡点, 需要设置合理的奖励分配机制, 加大政府对消费者积极参与低碳活动的收益, 能够促进消费者积极参与低碳活动。如提高消费者积极参与低碳所获得的奖励比例, 设置合适的奖励因子值等。

5 研究结论与政策建议

5.1 结论

在“低碳社会”的背景下, 把演化博弈的方法运用到物流企业与消费者的策略选择中, 从物流企业和消费者间的博弈出发, 构建加入了政府奖惩的模型, 通过分析复制动态方程并运用 MATLAB 软件进行仿真, 可得出以下结论。

1) 演化模型中存在期望均衡点, 当满足均衡点条件时, 系统会向期望均衡 (1, 1) 即 (物流企业进行低碳包装回收, 消费者积极参与) 方向演化。消费者付出的低碳成本越少, 回收获得的收益越多, 消费者会倾向于进行低碳包装回收。

2) 消费者越参与低碳包装回收, 物流企业会越倾向于进行低碳包装回收策略, 这时双方达到演化平衡点的时间也就越短。

3) 若政府对物流企业的监管越积极, 惩罚金额越大, 则物流企业倾向于低碳物流包装回收的力度也会越大, 物流企业达到演化平衡点的时间也就越短。

4) 在演化博弈模型当中, 消费者参与低碳活动付出成本、参与回收得到收益以及物流企业受到的监管惩罚均能影响达到均衡点的时间。这表明政府能够从中干预达到演化博弈均衡点期望的时间。

5.2 政策建议

1) 提高政府官员低碳意识

将政府官员的低碳行为纳入绩效考核, 政府官员要时刻注意自己的行为是否能够引导企业与市民, 提高自我修养与低碳意识, 为市民积极参与低碳活动做表率, 这有利于企业主动参与低碳技术研发以及市民积极参与低碳活动。

2) 设置合理的奖惩制度

政府应该设置合理的奖惩制度, 保证物流企业参与低碳技术研发的同时能获得相应效益, 对积极参与低碳减排的企业给予资金援助, 对于积极参加低碳活动的消费者给予合适的补贴以及荣誉称号等。

3) 加大低碳技术研发投入

物流企业积极响应国家号召的同时要做出行动, 与高校搭建研发平台建立校企合作模式。研发相关低

碳产品,减少低碳成本。长期来看,低碳技术研发有利于适应时代变化的同时也有利于企业提高核心竞争力。

4) 物流企业与社区建立联系

构建以社区为单位的低碳回收点有利于减少盲目回收的成本,让消费者方便参与其中,从而提高消费者参与低碳回收的积极性。

5) 保护环境绿色出行

消费者需要改变以往的消费观念,树立低碳意识,积极参与各类低碳活动。一方面主动了解市面低碳产品,积极参与的同时做到合理使用。另一方面,积极响应国家号召和企业宣传,提高社会责任感,用实际行动参与低碳社会的建设。

6) 节约资源从点滴做起

消费者应当从生产、生活的各项活动中节约资源,如粮食、水、电等。在积极参与各项低碳社会活动的同时,节约现有资源;以个人为单位,宣传节约资源的宗旨,引导周围人群加入构建低碳社会的队伍之中。

参考文献:

- [1] JOHNSTON D, LOWE R, BELL M. An Exploration of the Technical Feasibility of Achieving CO₂ Emission Reductions in Excess of 60% Within the UK Housing Stock by the Year 2050[J]. *Energy Policy*, 2005, 33(13): 1643-1659.
- [2] ANDREONI V, GALMARINI S. Decoupling Economic Growth from Carbon Dioxide Emissions: a Decomposition Analysis of Italian Energy Consumption[J]. *Energy*, 2012, 44(1): 682-691.
- [3] 杨颖. 四川省低碳经济发展效率评价[J]. *中国人口资源与环境*, 2012, 22(6): 52-56.
YANG Ying. Research on Evaluation of Sichuan Low-Carbon Economy Efficiency[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(6): 52-56.
- [4] 王钰, 张连城. 中国制造业向低碳经济型增长方式转变的影响因素及机制研究: 基于 STIRPAT 模型对制造业 28 个行业动态面板数据的分析[J]. *经济学动态*, 2015(4): 35-41.
WANG Yu, ZHANG Liancheng. Research on Influencing Factors and Mechanism of The Transformation of China's Manufacturing Industry to Low-Carbon Economic Growth Mode: Analysis of Dynamic Panel Data of 28 Manufacturing Industries Based on STIRPAT Model[J]. *Economics Dynamics*, 2015(4): 35-41.
- [5] 甄志勇, 尚杰, 高巍. 企业低碳化发展路径研究[J]. *学习与探索*, 2019(7): 126-131.
ZHEN Zhiyong, SHANG Jie, GAO Wei. Research on the Low-Carbon Development Path of Enterprises[J]. *Study & Exploration*, 2019(7): 126-131.
- [6] GUJBA H, AZAPAGIC A. Carbon Footprint of Beverage Packaging in the United Kingdom[C]//Towards Life Cycle Sustainability Management. Dordrecht: Springer, 2011: 381-390.
- [7] BERSIMIS S, GEORGAKELLOS D. A Probabilistic Framework for the Evaluation of Products' Environmental Performance Using Life Cycle Approach and Principal Component Analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 42: 103-115.
- [8] LEWIS H, STANLEY H. Marketing and Communicating Sustainability[M]//VERGHESE K, FITZPATRICK L. Packaging for Sustainability. London: Springer, 2012: 107-153.
- [9] 安美清, 向万里. 低碳包装发展模式及其生命周期分析[J]. *生态经济*, 2012(5): 174-176.
AN Meiqing, XIANG Wanli. Analysis of Low-Carbon Packaging's Developing Pattern and Its Life Cycle[J]. *Ecological Economy*, 2012(5): 174-176.
- [10] 刘亦文, 胡宗义. 我国低碳包装发展机制与体系研究[J]. *包装工程*, 2012, 33(7): 140-145.
LIU Yiwen, HU Zongyi. Study of Development Mechanism and System in Low-Carbon Packaging Industry[J]. *Packaging Engineering*, 2012, 33(7): 140-145.
- [11] 刘建龙, 刘柱. 绿色低碳包装材料应用和发展对策研究[J]. *包装工程*, 2015, 36(19): 145-148.
LIU Jianlong, LIU Zhu. Application and Development Strategies of Green and Low-Carbon Packaging Materials[J]. *Packaging Engineering*, 2015, 36(19): 145-148.
- [12] 胡静锋. 建设低碳经济的演化博弈分析: 地方政府和企业双方互动角度[J]. *经济问题*, 2011(4): 53-56.
HU Jingfeng. An Analysis on Construction of Low-Carbon Economic Based on Evolutionary Game: Interaction Between the Local Government and Enterprises[J]. *On Economic Problems*, 2011(4): 53-56.
- [13] 周建鹏, 聂华林, 张国兴, 等. 低碳经济背景下企业生产策略的演化博弈分析: 基于机制设计理论的视角[J]. *科技进步与对策*, 2011, 28(24): 88-91.
ZHOU Jianpeng, NIE Hualin, ZHANG Guoxing, et al. The Evolutionary Analysis on Enterprise Production

- Mechanism Design Theory in Low-Carbon Strategy Under the Economy[J]. Science & Technology Progress and Policy, 2011, 28(24): 88-91.
- [14] 王京安, 韩立, 高翀, 等. 低碳经济发展中政府与企业之间的博弈分析[J]. 科技管理研究, 2012, 32(22): 234-238.
WANG Jing'an, HAN Li, GAO Chong, et al. Game Analysis of Government and Enterprises in the Development of Low-Carbon Economy[J]. Science and Technology Management Research, 2012, 32(22): 234-238.
- [15] 何丽红, 王秀. 低碳供应链中政府与核心企业进化博弈模型[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(3): 27-30.
HE Lihong, WANG Xiu. An Evolutionary Model Between Governments and Core Enterprises in Low-Carbon Supply Chain[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(3): 27-30.
- [16] 王志国, 李磊, 杨善林, 等. 动态博弈下引导企业低碳技术创新的政府低碳规制研究[J]. 中国管理科学, 2016, 24(12): 139-147.
WANG Zhiguo, LI Lei, YANG Shanlin, et al. The Research on Government Low-Carbon Regulation Guiding Enterprise Low-Carbon Technology Innovation in Dynamic Game[J]. Chinese Journal of Management Science, 2016, 24(12): 139-147.
- [17] ROSS Cressman, The Stability Concept of Evolutionary Game Theory[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1992: 95-122.
- [18] FRIEDMAN D. Evolutionary Games in Economics[J]. Econometrica, 1991, 59(3): 637.

(责任编辑: 邓光辉)

Evolutionary Game and Simulation Study on Low-Carbon Packaging Recycling of Logistics Enterprises with Government Participation

HE Yanzi, DING Zhipeng

(College of Business, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Low carbon packaging is the important approach to solving the excessive waste in the process of logistics packaging. The game theory was used to establish the game model of the logistics enterprise low-carbon packaging recycling and consumers, with the government participation. According to different conditions, the evolutionary equilibrium was obtained by analyzing the mutually beneficial and win-win situation between the government, logistics enterprises and customers. The research results showed that the amount of governmental rewards and punishments and the research and development cost of logistics enterprises in low carbon technology were the key factors affecting the decision-making behavior of the game, which could provide reference to related authorities accordingly.

Keywords: government; logistics enterprise; consumer; low carbon; evolutionary game