

可持续性包装

包装垃圾源头减量治理的三群体演化博弈分析

张爽¹, 孙绍荣¹, 马慧民²

(1.上海理工大学 管理学院, 上海 200093; 2.上海电机学院 商学院, 上海 201306)

摘要: 目的 理清包装垃圾源头减量治理中的各主体博弈关系和动态演化过程, 针对包装垃圾源头减量治理提出相关对策和建议。方法 利用演化博弈理论, 分析政府、企业和消费者三方在包装垃圾源头减量治理中的演化过程, 并选用 6 组代表性数据通过 Matlab 软件进行仿真模拟。结果 研究表明, 在包装垃圾源头减量初期, 政府引导起到了明显的主导作用, 仅靠适度提高包装企业的补贴并不能促使各方都采取参与策略, 因此必须加大对过度包装企业的罚款力度; 消费者的环保意识对于系统的均衡结果具有较大影响; 企业应调整自身包装策略, 做到从承担社会责任中提高经济效益。结论 通过研究包装垃圾源头减量治理中多元利益主体决策行为的演化特征, 为包装垃圾源头减量治理提供了对策与建议。

关键词: 包装垃圾; 三群体; 垃圾源头减量; 演化博弈

中图分类号: TB485.9; X323 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2018)13-0129-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.13.022

Evolutionary Game of Three Groups Based on Reducing Source of Packaging Garbage

ZHANG Shuang¹, SUN Shao-rong¹, MA Hui-min²

(1.Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;

2.Business School, Shanghai Dianji University, Shanghai 201306, China)

ABSTRACT: The work aims to clarify the game relationship and dynamic evolution process of each subject in reducing the sources of packaging garbage, and put forward relevant countermeasures and suggestions to reduce the source of packaging garbage. The evolutionary game theory was used to analyze the evolution process of government, enterprises and consumers in the source reduction of packaging garbage. Six groups of representative data were selected for the simulation by Matlab software. The research results showed that, in the initial stage of reducing the source of packaging garbage, the government guidance played a significant leading role. The parties could not be made to take the strategy of participation only by moderately improving the subsidies for the packaging enterprises. Therefore, it was necessary to increase the penalty for over-packaged enterprises. Consumers' awareness of environmental protection had a great impact on the equilibrium results of the system. Enterprises should adjust their own packaging strategies so as to increase economic benefits from assuming social responsibilities. Based on the study of the evolution characteristics of the decision-making behavior of multiple stakeholders in the management of the source reduction of packaging garbage, the countermeasures and suggestions for the source reduction of packaging garbage are put forward.

KEY WORDS: packaging garbage; three groups; reducing source of garbage; evolutionary game

根据环保部发布的《2017 年全国大、中城市固体废物污染环境防治年报》显示, 2016 年全国 214 个大、中城市生活垃圾产生量约为 18 850 万 t, 垃圾围城现象愈演愈烈, 垃圾减量化形势依然严峻。垃圾减量不仅要依靠垃圾分类, 还需要从生产、包装、销

售等各个环节上源头减量。

北京和上海等大型城市, 商品和快递包装垃圾已成为城市新增垃圾的主力, 与此同时商品过度包装现象屡见不鲜。电子商务技术日益成熟, 新业态不断涌现, 网络购物、外卖垃圾等新形态垃圾也随之产生,

收稿日期: 2018-01-08

基金项目: 国家自然科学基金 (71771151, 71171134)

作者简介: 张爽 (1980—), 女, 博士生, 上海理工大学讲师, 主要研究方向为管理科学与工程。

同时贵重物品、易碎物品以及生鲜等快递行业频频出现过度包装现象,进一步加剧了包装垃圾的增长速度。商品和快递过度包装对自然资源的疯狂掠夺和生态环境的严重破坏,不仅造成了资源的浪费,而且给生态环境带来了沉重的负担。如何从源头上减少包装垃圾,减少环境污染,成了全社会需要共同面对的问题。限制商品和快递过度包装可以有效减少包装废弃物的产生,需要政府、企业、消费者多方形形成合力。

目前,针对商品和快递过度包装现状,国内外学者主要从运输消耗、包装设计^[1-4]、政策法规^[5-7]、低碳经济^[8]、生态伦理^[9]等多个角度展开研究。Julien Lepine^[10]等通过模拟非高斯、非平稳、瞬态和谐波信号来研究车辆振动的不同随机过程,针对运输过程中包装损坏问题展开研究。Si-ying Wang 等^[11]基于生命周期评价模型,应用 eBalance Evaluation LCA 软件就商品过度包装对环境的整个生命周期的影响进行分析。

尽管国内外学者对商品和快递包装进行了大量研究,但主要集中在包装设计和政策法规等包装技术和宏观政策层面的研究。商品和快递包装垃圾源头减量通常涉及政府、企业和消费者3个群体的博弈,现有过度包装方面博弈研究主要是两群体静态博弈^[12]和演化博弈^[13],即使是针对三群体的序贯博弈研究^[14]仍无法体现群体间动态演化博弈过程。目前国内外在演化博弈应用研究方面主要集中在两群体演化博弈,对三群体进行演化博弈分析的研究成果较少。翁钢民等^[15]对旅游地、旅游者和旅游管理部门在旅游社会责任上的演化博弈进行了研究,但只采用几组数据进行了稳定性分析,缺乏系统性。许玲燕等^[16]对地方政府、企业和农户在农村水环境治理行动上的演化博弈进行了研究,只对几种典型情况进行了情景分析和仿真模拟,缺乏完整性。车泰根^[17]等对政府、小贷公司和小微企业在小额贷款公司风险补贴机制上的演化博弈进行了研究,但缺乏数值的仿真分析。

鉴于此,文中在现有研究成果^[12-17]基础上,根据演化博弈的基本理论,选择有限理性的地方政府、企业和消费者这3个包装垃圾源头减量涉及的最主要利益相关者进行演化博弈分析,以弥补国内在包装垃圾源头减量和三群体演化博弈领域研究的不足,揭示包装垃圾源头减量治理中多元利益主体决策行为的演化特征,试图提出包装垃圾源头减量的政策措施。

1 包装垃圾源头减量治理的三方演化博弈模型构建

1.1 博弈主体分析及基本假设

演化博弈的参与主体包括:政府、企业和消费者,3个主体分别代表3个群体,每个群体内部个体的策

略空间相同。

政府通过监督、宣传鼓励、惩罚手段或合理的激励手段等积极引导其他主体参与到包装垃圾源头减量治理,或者不引导,政府的行为策略空间为{引导,不引导};企业的行为策略空间为{适度包装,过度包装};相应地,消费者也有2类行为策略:通过购买适度包装的产品或自觉抵制过度包装的产品,或向监管部门举报企业的过度包装行为等,积极响应包装垃圾的源头减量治理,反之为不响应,因此消费者的行为策略空间为{响应,不响应}。

1.2 模型基本假设

基于上述分析,结合现实情况,作出进一步假设。

假设1:对于政府而言,若政府采取“引导”策略,则通过宣传、教育等措施,引导消费者合理消费,鼓励公众购买和使用适度包装,鼓励消费者自觉抵制不必要的销售包装,通过消费者的参与,形成理性的市场需求。同时,对企业的行为进行监管(日常检查、监督检查、专项检查等),以上一系列的引导措施所产生的引导成本为 G 。为鼓励引导企业积极主动采取适度包装,政府对进行过度包装企业有一定的惩罚 F (包括罚金、暂停运营、吊销营运等),对适度包装的企业给予一定的政策鼓励补贴 B 。对举报企业过度包装行为的消费者给予一定的奖励 J 。企业在政府的积极引导下采取适度包装后,为政府带来好的口碑和声望 E 。企业如果进行过度包装,增加了包装废弃物,浪费资源的同时也污染了环境,增大政府的垃圾处理费用,给政府带来的负效应记为 W 。若政府“不引导”的情况下企业进行过度包装,则政府会损失民众的信赖和社会责任,如果消费者此时采取的是“响应”策略,则政府面临的损失记为 T_1 ,如果消费者采取“不响应”策略,政府面临的损失记为 T_2 ,前者消费者的心理失望程度较高,则 $T_1 > T_2$ 。

假设2:对于企业而言,假定其进行适度包装的正常经济收益为 Q ,若企业采取过度包装策略,会因产品包装的营销作用带来额外的经济收益 ΔQ 。适度包装的企业会享受来自于政府的政策鼓励补贴 B ,过度包装的企业将被处于一定的惩罚 F (包括罚金、暂停运营、吊销营运等)。当企业进行过度包装且消费者采取“响应”策略时,企业在公众中间会受到一定的声誉损失 S 。

假设3:对于公众消费者而言,假设适度包装的产品对消费者产生的效用为 U_1 ,过度包装的产品对消费者产生的效用为 U_2 ;消费者采取“响应”策略时,在实施消费行为的过程中,由于对企业的适度包装行为有所了解而在感知上产生认同、满意、信任等情感从而获得的额外效用,记为 ΔU 。采取“响应”策略的消费者发现商品包装违反相关适度包装的规定,向相

关监督检查部门投诉、举报,相应的响应成本记为 C 。企业的过度包装行为会使得包装废弃物垃圾增多,从而使整个生活环境变差,给公众消费者带来一定的环境负效应 H 。此外,当消费者选择“响应”但政府“不引导”时,消费者将承受因为政府不引导给其带来的失望、愤恨等心理损失,记为 N 。

假设 4: 假设政府群体中选择引导策略的比例为 x , 选择不引导策略的比例为 $(1-x)$; 企业群体中选择适度包装策略的比例为 y , 选择过度包装策略的比例为 $(1-y)$; 消费者群体选择响应策略的比例为 z , 选择不响应策略的比例为 $(1-z)$ 。

通过以上的概念界定和模型假设,可以得出政府、企业和消费者 3 个博弈主体的博弈收益矩阵见表 1。

表 1 政府、企业与消费者的演化博弈收益矩阵
Tab.1 Evolutionary game revenue matrix between government, enterprises and consumer

政府	企业	消费者	
		响应 z	不响应 $1-z$
引导 x	适度包装 y	$-B-G+E$	$-B-G+E$
		$Q+B$	$Q+B$
	过度包装 $1-y$	$U_1+\Delta U-C$	U_1
		$F-G-W-J$	$F-G-W$
不引导 $1-x$	适度包装 y	$Q+\Delta Q-F-S$	$Q+\Delta Q-F$
		$U_2-H+J-C$	U_2-H
	过度包装 $1-y$	0	0
		Q	Q
不引导 $1-x$	适度包装 y	$U_1+\Delta U-C$	U_1
		$-T_1-W$	$-T_2-W$
	过度包装 $1-y$	$Q+\Delta Q-S$	$Q+\Delta Q$
		$U_2-H-C-N$	U_2-H

2 三方演化博弈均衡分析

2.1 三方博弈的复制动态方程

设政府选择“引导”和“不引导”策略的期望收益为 U_a 和 U_b , 政府混合策略的平均期望收益为 $\overline{U}_x$ 。则:

$$U_a = (-B-G+E)yz + (-B-G+E)y(1-z) + (F-G-W-J)(1-y)z + (F-G-W)(1-y)(1-z) = Jyz + (W+E-B-F)y - Jz + F-G-W \quad (1)$$

$$U_b = (-T_1-W)(1-y)z + (-T_2-W)(1-y)(1-z) = (T_1-T_2)yz + (T_2+W)y + (T_2-T_1)z - W - T_2 \quad (2)$$

政府的平均期望收益为:

$$\overline{U}_x = xU_a + (1-x)U_b \quad (3)$$

政府选择引导策略的复制动态方程为:

$$\frac{dx}{dt} = x(U_a - \overline{U}_x) = x(1-x)(U_a - U_b) = x(1-x) \left[\frac{(J-T_1+T_2)yz - (B-E+F+T_2)y}{(T_1-T_2-J)z + F-G+T_2} \right] \quad (4)$$

同理, 设企业选择“适度包装”和“过度包装”策略的期望收益为 U_c 和 U_d , 企业混合策略的平均期望收益为 $\overline{U}_y$ 。

$$U_c = (Q+B)xz + (Q+B)x(1-z) + Q(1-x)z + Q(1-x)(1-z) = Bx + Q \quad (5)$$

$$U_d = (Q+\Delta Q-F-S)xz + (Q+\Delta Q-F)x(1-z) + (Q+\Delta Q-S)(1-x)z + (Q+\Delta Q)(1-x)(1-z) = -Fx - Sz + Q + \Delta Q \quad (6)$$

企业混合策略的平均期望收益为:

$$\overline{U}_y = yU_c + (1-y)U_d \quad (7)$$

企业选择适度包装策略的复制动态方程为:

$$\frac{dy}{dt} = y(U_c - \overline{U}_y) = y(1-y)(U_c - U_d) = y(1-y)[(B+F)x + Sz - \Delta Q] \quad (8)$$

同理, 设消费者选择“响应”和“不响应”策略的期望收益为 U_e 和 U_f , 消费者混合策略的平均期望收益为 $\overline{U}_z$ 。

$$U_e = (U_1+\Delta U-C)xy + (U_2-H+J-C)x(1-y) + (U_1+\Delta U-C)(1-x)y + (U_2-H-C-N)(1-x)(1-y) = -(J+N)xy + (U_1+\Delta U-U_2+H+N)y + (J+N)x + U_2-H-C-N \quad (9)$$

$$U_f = U_1xy + (U_2-H)x(1-y) + U_1(1-x)y + (U_2-H)(1-x)(1-y) = (U_1-U_2+H)y + U_2-H \quad (10)$$

消费者混合策略的平均期望收益为:

$$\overline{U}_z = zU_e + (1-z)U_f \quad (11)$$

消费者选择响应策略的复制动态方程为:

$$\frac{dz}{dt} = z(U_e - \overline{U}_z) = z(1-z)(U_e - U_f) = z(1-z) \cdot [-(J+N)xy + (\Delta U+N)y + (J+N)x - C - N] \quad (12)$$

2.2 演化过程的均衡点

由 3 个群体的复制动态方程可得如下三维动力系统 (13):

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(1-x) \left[\frac{(J-T_1+T_2)yz - (B-E+F+T_2)y}{(T_1-T_2-J)z + F-G+T_2} \right] \\ \frac{dy}{dt} = y(1-y)[(B+F)x + Sz - \Delta Q] \\ \frac{dz}{dt} = z(1-z) \left[\frac{-(J+N)xy + (\Delta U+N)y + (J+N)x}{-C-N} \right] \end{cases} \quad (13)$$

为便于求出系统(13)的平衡点,令 $K_1=J-T_1+T_2$, $K_2=B-E+F+T_2$, $K_3=F-G+T_2$, $K_4=B+F$, $K_5=J+N$, $K_6=\Delta U+N$, $K_7=-C-N$,则上述三维动力系统可简化为:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(1-x)(K_1yz - K_2y - K_1z + K_3) \\ \frac{dy}{dt} = y(1-y)(K_4x + Sz - \Delta Q) \\ \frac{dz}{dt} = z(1-z)(-K_5xy + K_6y + K_5x + K_7) \end{cases} \quad (14)$$

对于三维动力系统(14),当 $dx/dt=0$, $dy/dt=0$, $dz/dt=0$ 时,可得:

命题1 三维动力系统(14)必然存在 2^3 个 3 种群采纳纯策略的平衡点, $E_1=[0,0,0]$, $E_2=[0,0,1]$, $E_3=[0,1,0]$, $E_4=[0,1,1]$, $E_5=[1,0,0]$, $E_6=[1,0,1]$, $E_7=[1,1,0]$, $E_8=[1,1,1]$; 以及可能 5 个单种群采纳纯策略的平衡点 $E_9=[0, -K_7/K_6, \Delta Q/S]$, $E_{10}=[-K_7/K_5, 0, K_3/K_1]$, $E_{11}=[\Delta Q/K_4, K_3/K_2, 0]$, $E_{12}=[1, (K_5+K_7)/(K_5-K_6), (\Delta Q-K_4)/S]$, $E_{13}=[(\Delta Q-S)/K_4, (K_1-K_3)/(K_1-K_2), 1]$, 其中 E_9 平衡点存在的条件为 $0 < -K_7/K_6 < 1$ 且 $0 < \Delta Q/S < 1$, 同理可得其他 4 个平衡点存在的条件。

证明: 对于系统(14), 当 $x=0$ 或 1, $y=0$ 或 1, $z=0$ 或 1 时, 恒有 $dx/dt=0$, $dy/dt=0$, $dz/dt=0$ 。因此 $(0,0,0)$, $(0,0,1)$, $(0,1,0)$, $(0,1,1)$, $(1,0,0)$, $(1,0,1)$, $(1,1,0)$, $(1,1,1)$ 是系统(14)的平衡点。当 $x=0, 0 < y < 1, 0 < z < 1$ 时, 若 $K_6y+K_7=0$, 且 $Sz-\Delta Q=0$ 时, 同样有 $dx/dt=0$, $dy/dt=0$, $dz/dt=0$, 进而可知, 若满足 $0 < -K_7/K_6 < 1$, 且 $0 < \Delta Q/S < 1$ 时, $(0, -K_7/K_6, \Delta Q/S)$ 是系统(14)的平衡点。同理可证, 存在其他 4 个单种群采纳纯策略的平衡点。

$$\begin{bmatrix} (1-2x)(K_1yz - K_2y - K_1z + K_3) & x(1-x)(K_1z - K_2) & x(1-x)(K_1y - K_1) \\ K_4y(1-y) & (1-2y)(K_4x + Sz - \Delta Q) & Sy(1-y) \\ z(1-z)(-K_5y + K_5) & z(1-z)(-K_5x + K_6) & (1-2z)(-K_5xy + K_6y + K_5x + K_7) \end{bmatrix} \quad (17)$$

通过计算以上求得的系统(13)的 14 个平衡点所对应的雅可比矩阵的特征值, 来判断此平衡点的渐进稳定性。系统(13)的 14 个平衡点所对应的雅可比矩阵的特征值见表 2。

以 $E_1(0,0,0)$ 为例, 讨论其满足演化稳定策略的条件。系统(13)在平衡点 $E_1(0,0,0)$ 的雅可比矩阵的特征值为 $\lambda_1=F-G+T_2$, $\lambda_2=-\Delta Q$, $\lambda_3=-C-N$, 若满足条件①即 $\lambda_1=F-G+T_2 < 0$, $\lambda_2=-\Delta Q < 0$, $\lambda_3=-C-N < 0$ 同时成立, 则 $E_1(0,0,0)$ 是渐进稳定的。由于本身 λ_2, λ_3 恒小于 0, 只需要满足, $\lambda_1=F-G+T_2 < 0$, 该平衡点即是演化稳定策略。同理可得系统(13)在其余 6 个平衡点处的渐进稳定性条件见表 3。

系统(13)在平衡点 $E_2(0,0,1)$ 的雅可比矩阵的特征值 $\lambda_3=C+N > 0$, 不满足李雅普洛夫的稳定性条件, 因此 E_2 是不稳定点; 系统(13)在平衡点 E_9 的雅可

比矩阵特征值 $\lambda_1=-\lambda_2$, 因此 E_9 也不满足李雅普洛夫稳定性条件, 同理可得其余 5 个平衡点 $E_3, E_{10}, E_{11}, E_{12}, E_{13}$ 处是不稳定的, 见表 2。其中:

命题2 三维动力系统(14)可能存在一个混合策略均衡点 $E_{14}=[x^*, y^*, z^*]$, 且 $x^*, y^*, z^* \in (0,1)$ 。

证明: 对于系统(14), 当 $0 < x < 1, 0 < y < 1, 0 < z < 1$ 时, 若 $F(x^*, y^*, z^*)=G(x^*, y^*, z^*)=H(x^*, y^*, z^*)=0$, 则同样有 $dx/dt=0$, $dy/dt=0$, $dz/dt=0$ 成立, 解方程组(15)可得 (x^*, y^*, z^*) 是系统(14)可能存在的平衡点。

$$\begin{cases} F(x^*, y^*, z^*) = K_1yz - K_2y - K_1z + K_3 = 0 \\ G(x^*, y^*, z^*) = K_4x + Sz - \Delta Q = 0 \\ H(x^*, y^*, z^*) = -K_5xy + K_6y + K_5x + K_7 = 0 \end{cases} \quad (15)$$

求解方程组(15)得:

$$\begin{cases} x^* = (K_1K_6\Delta Q + K_1K_7\Delta Q - K_2K_7S - K_3K_6S) / \\ \quad (K_1K_4K_6 + K_1K_4K_7 + K_2K_5S - K_3K_5S) \\ y^* = -(K_1K_4K_7 + K_1K_5\Delta Q - K_3K_5S) / \\ \quad (K_1K_4K_6 - K_1K_5\Delta Q + K_2K_5S) \\ z^* = (K_2K_4K_7 + K_3K_4K_6 + K_2K_5\Delta Q - K_3K_5\Delta Q) / \\ \quad (K_1K_4K_6 + K_1K_4K_7 + K_2K_5S - K_3K_5S) \end{cases} \quad (16)$$

2.3 稳定性分析

通过复制动态方程求出的平衡点不一定是系统的演化稳定策略, 因此根据李雅普诺夫稳定性理论, 系统在平衡点处的渐进稳定性可以通过分析系统雅可比矩阵的特征值来判断, 即系统渐进稳定性的充要条件是雅可比矩阵的所有特征值均具有负实部。

求得简化后的系统(14)的雅可比矩阵见式(17)。

比矩阵特征值 $\lambda_1=-\lambda_2$, 因此 E_9 也不满足李雅普洛夫稳定性条件, 同理可得其余 5 个平衡点 $E_3, E_{10}, E_{11}, E_{12}, E_{13}$ 处是不稳定的, 见表 2。其中:

$$\begin{aligned} \mu_1 &= [K_6K_7\Delta QS(K_6+K_7)(\Delta Q-S)]^{1/2} / (K_6S), \\ \mu_2 &= -(K_1K_6\Delta Q + K_1K_7\Delta Q - K_2K_7S - K_3K_6S) / (K_6S), \\ \mu_3 &= [K_1K_3K_5K_7(K_5+K_7)(K_1-K_3)]^{1/2} / (K_1K_5), \\ \mu_4 &= -(K_1K_4K_7 + K_1K_5\Delta Q - K_3K_5S) / (K_1K_5), \mu_5 = \\ &= [-K_2K_3K_4\Delta Q(K_2-K_3)(K_4-\Delta Q)]^{1/2} / (K_2K_4), \mu_6 = \\ &= (K_2K_4K_7 + K_3K_4K_6 + K_2K_5\Delta Q - K_3K_5\Delta Q) / (K_2K_4), \mu_7 = \\ &= (K_1K_4K_6 + K_1K_4K_7 - K_1K_6\Delta Q - K_1K_7\Delta Q + K_2K_5S - K_3K_5S + \\ &+ K_2K_7S + K_3K_6S) / (K_5S - K_6S), \mu_8 = [-S(K_5+K_7)(K_6+K_7) \cdot \\ &+ (K_3-K_6)(K_4-\Delta Q)(K_4-\Delta Q+S)]^{1/2} / (K_5S - K_6S), \mu_9 = \end{aligned}$$

$$[-K_4(K_1-K_2)(K_1-K_3)(K_2-K_3)(\Delta Q-S)(K_4-\Delta Q+S)]^{1/2} \cdot$$
$$(K_1K_4-K_2K_4)^{-1}, \mu_{10}=-(K_1K_4K_6+K_1K_4K_7-K_2K_4K_7-$$

$$K_3K_4K_6-K_2K_5\Delta Q+K_3K_5\Delta Q+K_2K_5S-K_3K_5S)/K_1K_4-K_2K_4)。$$

表 2 系统 (13) 的平衡点及其特征值
Tab.2 The equilibrium point of system (13) and its characteristic values

平衡点	特征值			渐进稳定性
	λ_1	λ_2	λ_3	
$E_1[0,0,0]$	$F-G+T_2$	$-\Delta Q$	$-C-N$	条件①
$E_2[0,0,1]$	$T_1-J+F-G$	$S-\Delta Q$	$C+N$	不稳定
$E_3[0,1,0]$	$E-G-B$	ΔQ	$\Delta U-C$	不稳定
$E_4[0,1,1]$	$E-G-B$	$\Delta Q-S$	$C-\Delta U$	条件②
$E_5[1,0,0]$	$-F+G-T_2$	$B+F-\Delta Q$	$J-C$	条件③
$E_6[1,0,1]$	$-T_1+J-F+G$	$B+F-\Delta Q+S$	$C-J$	条件④
$E_7[1,1,0]$	$-E+G+B$	$-B-F+\Delta Q$	$\Delta U-C$	条件⑤
$E_8[1,1,1]$	$-E+G+B$	$-B-F+\Delta Q-S$	$C-\Delta U$	条件⑥
$E_9[0,-K_7/K_6,\Delta Q/S]$	μ_1	$-\mu_1$	μ_2	不稳定
$E_{10}[-K_7/K_5,0,K_3/K_1]$	μ_3	$-\mu_3$	μ_4	不稳定
$E_{11}[\Delta Q/K_4,K_3/K_2,0]$	μ_5	μ_6	$-\mu_5$	不稳定
$E_{12}[1,(K_5+K_7)/(K_5-K_6),(\Delta Q-K_4)/S]$	μ_7	μ_8	$-\mu_8$	不稳定
$E_{13}[(\Delta Q-S)/K_4,(K_1-K_3)/(K_1-K_2),1]$	μ_9	μ_{10}	$-\mu_9$	不稳定
$E_{14}[x^*,y^*,z^*]$	λ_1^*	λ_2^*	λ_3^*	条件⑦

表 3 系统 (13) 的平衡点稳定性条件
Tab.3 Stability conditions of the equilibrium point of system (13)

平衡点	稳定性条件	编号
$E_1[0,0,0]$	$F-G+T_2<0$	①
$E_4[0,1,1]$	$E-G-B<0, \Delta Q-S<0, C-\Delta U<0$	②
$E_5[1,0,0]$	$-F+G-T_2<0, B+F-\Delta Q<0, J-C<0$	③
$E_6[1,0,1]$	$-T_1+J-F+G<0, B+F-\Delta Q+S<0, C-J<0$	④
$E_7[1,1,0]$	$-E+G+B<0, -B-F+\Delta Q<0, \Delta U-C<0$	⑤
$E_8[1,1,1]$	$-E+G+B<0, -B-F+\Delta Q-S<0, C-\Delta U<0$	⑥
$E_{14}[x^*,y^*,z^*]$	$\lambda_1^*<0, \lambda_2^*<0, \lambda_3^*<0$	⑦

3 演化结果的情景分析

上述对政府、企业、消费者三方博弈的演化模型及其平衡点的稳定性进行了理论层面的分析,可知在包装垃圾源头减量治理中政府、企业、消费者在不同情景条件下,三方各自最终的演化稳定策略。其中由于条件⑦对应的第 7 种情况较为复杂,文中不做分析。主要分析以下 6 种情景的演化结果,同时为了更加直观地分析三方博弈过程的演化路径和最终的稳定状态,每种情景均利用 Matlab 软件进行仿真,对前述模型作进一步分析。

1) 情景 1。三方都不参与包装垃圾源头减量治理,即系统 (13) 的平衡点 $E_1[0,0,0]$ 是演化稳定策略

ESS,则必须满足条件①。由条件①的不等式 $F-G+T_2<0$ 可知,此时政府的引导成本大于其对企业过度包装的罚款与消费者不响应策略下政府面临的民众信赖和社会责任的损失之和,政府的行为选择将最终趋向于不引导,企业的行为将最终趋向于过度包装,同时消费者也最终趋于不响应策略,过度包装进入恶性循环阶段。

2) 情景 2。政府不引导,企业和消费者参与治理,即系统 (13) 的平衡点 $E_4[0,1,1]$ 是演化稳定策略 ESS,则必须满足条件②。由条件②的第 1 个表达式 $E-G-B<0$ 可知,此时政府积极引导企业采取适度包装为政府带来的良好声望小于政府的引导成本与对适度包装企业的补贴之和,政府的行为将最终趋向于不引导;条件②的第 2 个表达式 $\Delta Q-S<0$ 要求,在增加企业过度包装受到的声誉损失的同时,尽量降低企业过度包装带来的额外经济收益,这有助于提高企业选择适度包装的积极性;条件②的第 3 个表达式 $C-\Delta U<0$ 要求,在提高消费者响应时对企业适度包装的额外感知效用的同时,尽可能降低消费者响应成本,消费者最终趋向于响应策略。

3) 情景 3。政府引导,企业和消费者均不参与治理,即系统 (13) 的平衡点 $E_5[1,0,0]$ 是演化稳定策略,则必须满足条件③。当 $-F+G-T_2<0, B+F-\Delta Q<0, J-C<0$ 时,即政府的引导成本小于其对企业过度包装的罚款与消费者不响应策略下政府面临的民众信赖和社会责任的损失之和时,同时企业过度包装

带来的额外经济收益大于对适度包装企业的补贴与对过度包装企业的罚款之和,且消费者举报受到政府的奖励小于其响应成本时,虽然政府最终趋向于引导,但企业最终趋向于过度包装,消费者最终趋向于不响应。

4) 情景 4。政府和消费者积极参与治理,但企业仍过度包装,即系统(13)的平衡点 $E_6[1,0,1]$ 是演化稳定策略,则必须满足条件④。当 $-T_1+J-F+G<0$, $B+F-\Delta Q+S<0$, $C-J<0$ 时,即政府的引导成本与对消费者举报的奖励之和小于其对企业过度包装的罚款与消费者响应策略下政府面临的民众信赖和社会责任的损失之和,同时企业过度包装带来的额外经济收益大于对适度包装企业的补贴、对过度包装企业的罚款与企业声誉损失三者之和,且消费者响应成本小于其举报受到政府的奖励时,虽然政府最终趋向于选择引导策略,且消费者最终趋向于选择响应策略,但企业仍最终趋向于过度包装。

5) 情景 5。政府引导,企业适度包装,消费者不响应,即系统(13)的平衡点 $E_7[1,1,0]$ 是演化稳定策略,则必须满足条件⑤。条件⑤的第 1 个表达式 $-E+G+B<0$ 要求,在不断提高政府积极引导企业采取适度包装为政府带来的良好声望的同时,政府须尽可能减少引导成本、对适度包装企业的补贴,这将有助于提高政府引导的积极性和主动性;条件⑤的第 2 个表达式 $-B-F+\Delta Q<0$ 要求,在尽量降低企业过度包装带来额外经济收益的同时,适当提高对适度包装企业的补贴和过度包装企业的罚款,会有利于提高企业选择适度包装的积极性;条件⑤的第 3 个表达式 $\Delta U-C<0$ 可知,消费者的响应成本大于采取响应策略时对企业适度包装的额外感知效用,消费者最终趋向于不响应策略。

6) 情景 6。政府、企业、消费者三方都参与治理,即系统(13)的平衡点 $E_8[1,1,1]$ 是演化稳定策略 ESS,则必须满足条件⑥。条件⑥的第 1 个表达式 $-E+G+B<0$ 要求,在不断提高政府积极引导企业采取适度包装为政府带来的良好声望的同时,政府须尽可能减少引导成本、对适度包装企业的补贴,这将有助于提高政府引导的积极性和主动性;条件⑥的第 2 个表达式 $-B-F+\Delta Q-S<0$ 要求,在尽量降低企业过度

包装带来额外经济收益的同时,适当提高对适度包装企业的补贴、过度包装企业的罚款与企业声誉损失,会有利于提高企业选择适度包装的积极性;条件⑥的第 3 个表达式 $C-\Delta U<0$ 要求,降低消费者的响应成本,同时尽可能增大消费者采取响应策略时对企业适度包装的额外感知效用,将有助于消费者更积极、更主动地参与到治理中来。此种情景下,政府最终趋向于引导,企业最终趋向于适度包装,消费者最终趋向于响应策略,形成三方共同参与、共同治理的良好局面。

4 仿真分析

为了更加直观地分析三方博弈过程的演化路径和最终的稳定状态,文中将上述 6 种情景中的变量具体化为真实数值,利用 Matlab 软件分别模拟 6 种情景下的演化稳定策略,具体参数取值见表 4,每组参数取值均需满足文中模型假设即 $T_1>T_2$ 。

1) 情景 1。 $F-G+T_2<0$,为了模拟该情景,文中取 $G=7$, $F=5$, $T_2=1$,使得 $F-G+T_2=-1<0$,其他参数取值分别为 $B=3$, $J=3$, $E=4$, $W=5$, $T_1=2$, $Q=17$, $\Delta Q=5$, $S=2$, $U_1=4$, $U_2=6$, $\Delta U=3$, $C=2$, $H=3$, $N=1$,将上述数据输入 Matlab 系统中,输出结果见图 1。从图 1 可以看出,最终系统演化稳定于 $[0, 0, 0]$,与复制动态分析结果完全吻合。

2) 情景 2。 $E-G-B<0$, $\Delta Q-S<0$ 且 $C-\Delta U<0$,为了模拟该情景,文中取 $E=5$, $G=5$, $B=1$, $\Delta Q=5$, $S=6$, $\Delta U=4$, $C=2$,使得同时满足 $E-G-B=-1<0$, $\Delta Q-S=-10<0$ 且 $C-\Delta U=-2<0$,其他参数取值分别为 $F=3$, $J=3$, $W=5$, $T_1=4$, $T_2=3$, $Q=17$, $U_1=4$, $U_2=6$, $H=3$, $N=1$,将上述数据输入 Matlab 系统中,输出结果见图 2。从图 2 可以看出,最终系统演化稳定于 $[0, 1, 1]$,与复制动态分析结果完全吻合。在仿真过程中,发现系统演化到稳定状态的过程较慢,说明在政府不引导的前提下,有消费者的积极响应,企业最终会选择适度包装,但消费者在该系统中处于较为弱势的地位,其决策的改变对于系统稳定趋势的收敛速度影响比较有限,同时也说明政府在系统中起到了明显的主导作用。

表 4 参数取值
Tab.4 Parameter value

数组	G	F	B	J	E	W	T_1	T_2	Q	ΔQ	S	U_1	U_2	ΔU	C	H	N
1	7	5	3	3	4	5	2	1	17	5	2	4	6	3	2	3	1
2	5	3	1	3	5	5	4	3	17	5	6	4	6	4	2	3	1
3	5	5	2	4	5	5	3	2	27	8	2	4	6	3	5	3	1
4	5	5	1	4	5	5	5	4	27	8	1	4	6	4	3	3	1
5	5	7	1	4	7	5	2	1	20	6	2	4	6	2	3	3	1

6 5 7 1 4 7 5 2 1 20 6 1 4 6 3 2 3 1

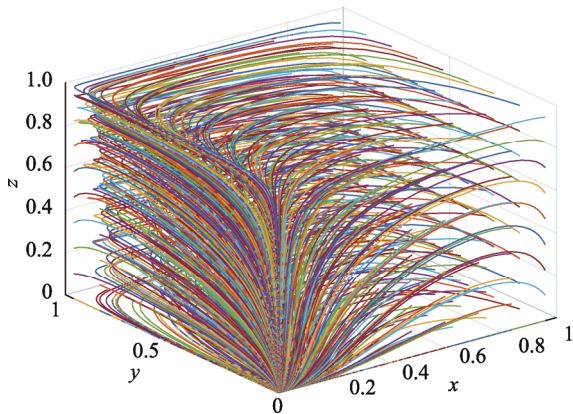


图 1 数组 1 演化路径
Fig.1 Array 1 evolutionary path

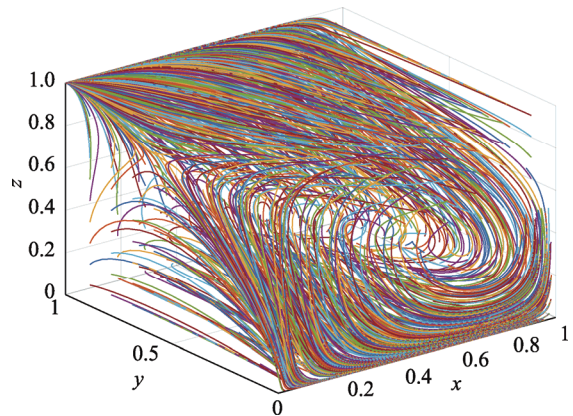


图 2 数组 2 演化路径
Fig.2 Array 2 evolutionary path

3) 情景 3。 $-F+G-T_2<0$, $B+F-\Delta Q<0$ 且 $J-C<0$, 为了模拟该情景, 文中取 $F=5$, $G=5$, $T_2=2$, $B=2$, $\Delta Q=8$, $J=4$, $C=5$, 使得同时满足 $-F+G-T_2=-2<0$, $B+F-\Delta Q=-1<0$ 且 $J-C=-1<0$, 其他参数取值分别为 $E=5$, $W=5$, $T_1=3$, $Q=27$, $U_1=4$, $U_2=6$, $\Delta U=3$, $H=3$, $N=1$, $S=2$, 将上述数据输入 Matlab 系统中, 输出结果见图 3。从图 3 可以看出, 最终系统演化稳定于 $[1, 0, 0]$, 与复制动态分析结果完全吻合。

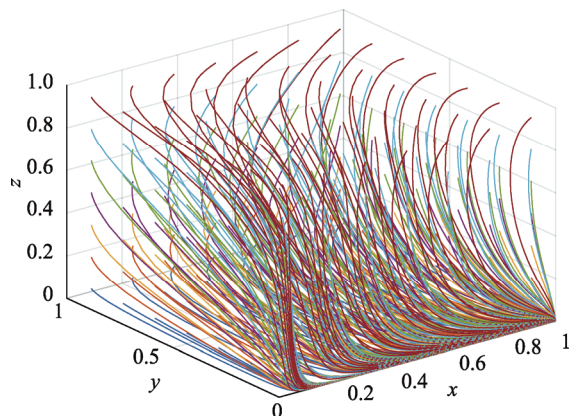


图 3 数组 3 演化路径
Fig.3 Array 3 evolutionary path

4) 情景 4。 $-T_1+J-F+G<0$, $B+F-\Delta Q+S<0$ 且 $C-J<0$, 为了模拟该情景, 文中取 $F=5$, $G=5$, $T_1=5$, $B=1$, $\Delta Q=8$, $S=1$, $J=4$, $C=3$, 使得同时满足 $-T_1+J-F+G=-1<0$, $B+F-\Delta Q+S=-1<0$ 且 $C-J=-1<0$, 其他参数取值分别为 $E=5$, $W=5$, $T_2=4$, $Q=27$, $U_1=4$, $U_2=6$, $\Delta U=4$, $H=3$, $N=1$, 将上述数据输入 Matlab 系统中, 输出结果见图 4。从图 4 可以看出, 最终系统演化稳定于 $[1, 0, 1]$, 与复制动态分析结果完全吻合。

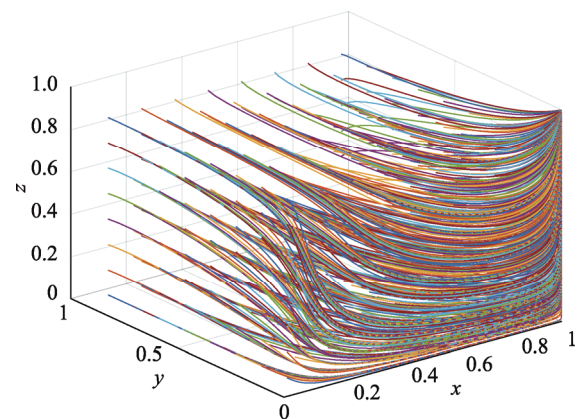


图 4 数组 4 演化路径
Fig.4 Array 4 evolutionary path

5) 情景 5。 $-E+G+B<0$, $-B-F+\Delta Q<0$ 且 $\Delta U-C<0$, 为了模拟该情景, 文中取 $E=7$, $F=7$, $G=5$, $B=1$, $\Delta Q=6$, $\Delta U=2$, $C=3$, 使得同时满足 $-E+G+B=-1<0$, $-B-F+\Delta Q=-2<0$ 且 $\Delta U-C=-1<0$, 其他参数取值分别为 $W=5$, $T_1=2$, $T_2=1$, $Q=20$, $U_1=4$, $U_2=6$, $S=2$, $J=4$, $H=3$, $N=1$, 将上述数据输入 Matlab 系统中, 输出结果见图 5。从图 5 可以看出, 最终系统演化稳定于 $[1, 1, 0]$, 与复制动态分析结果完全吻合。

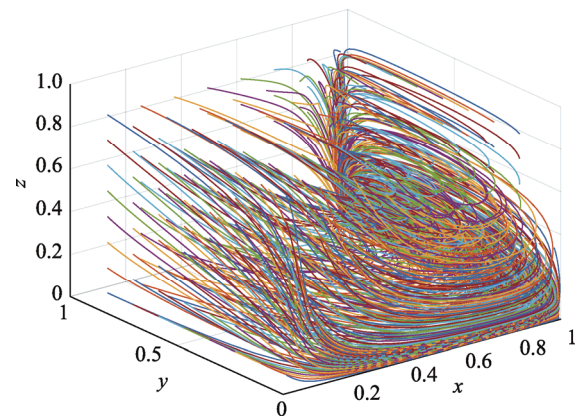


图 5 数组 5 演化路径
Fig.5 Array 5 evolutionary path

6)情景6。 $-E+G+B<0$, $-B-F+\Delta Q-S<0$ 且 $C-\Delta U<0$, 为了模拟该情景, 文中取 $E=7$, $F=7$, $G=5$, $B=1$, $\Delta Q=6$, $S=1$, $\Delta U=3$, $C=2$, 使得同时满足 $-E+G+B=-1<0$, $-B-F+\Delta Q-S=-2<0$ 且 $C-\Delta U=-1<0$, 其他参数取值分别为 $W=5$, $T_1=2$, $T_2=1$, $Q=20$, $U_1=4$, $U_2=6$, $J=4$, $H=3$, $N=1$, 将上述数据输入 Matlab 系统中, 输出结果见图6。从图6可以看出, 最终系统演化稳定于[1, 1, 1], 与复制动态分析结果完全吻合。

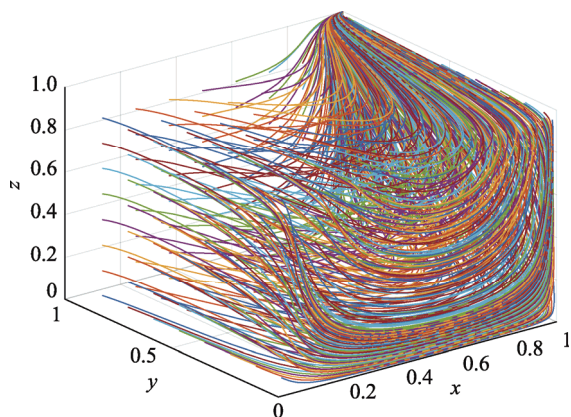


图6 数组6演化路径
Fig.6 Array 6 evolutionary path

综上所述, 6种情景下用 Matlab 进行仿真的演化稳定结果均与上述复制动态方程理论分析的演化稳定策略(ESS)完全吻合, 6种不同的均衡结果是在不同特定条件下的演化稳定策略。

5 结语

利用演化博弈工具构建了政府、企业、消费者三方为博弈主体的包装垃圾源头减量演化博弈模型, 并进行了系统演化均衡状态的理论分析和仿真模拟。结果表明, 单一群体的均衡点稳定性除了受自身策略的影响有关, 还受其他2个群体的策略影响; 由于我国包装垃圾源头减量还处于起步阶段, 政府起到了明显的主导作用, 同时消费者积极响应包装垃圾源头减量对系统有一定的积极影响。以上结论较好地揭示了造成我国商品和快递过度包装事件持续发生, 包装垃圾源头减量形势日益严峻现实问题的主要原因在于企业过度包装行为缺乏引导、监督和惩罚机制, 造成其适度包装的收益小于过度包装的收益, 最终形成企业不参与包装垃圾源头减量治理的行为。基于以上分析, 文中给出相关对策如下所述。

1)加强政府在包装垃圾源头减量中的主体地位。在包装垃圾源头减量的发展初期, 政府的引导十分重要, 政府对适度包装的补贴和对过度包装的罚款会促使企业选择适度包装行为, 但过高的补贴却并不能巩固这种稳定, 反而使系统最终失去平衡, 因此政府如

果希望企业选择适度包装行为, 在给予适度包装企业一定的补贴同时, 必须加大对过度包装企业的罚款力度。如果政府采取不引导策略, 通过舆论约束也可以使企业最终选择适度包装, 但这种均衡需要时间和积累。

2)提高消费者的环保意识。通过对情景2、情景5和情景6这3个企业适度包装的良好情景分析发现, 消费者对适度包装企业认同等所产生的额外效用、过度包装企业的声誉损失和政府积极引导企业适度包装享有的声望等对系统的稳定性起到了积极作用, 而这些参数都与消费者环保意识直接相关, 因此, 消费者环保意识对于系统的均衡结果具有较大影响。政府应加强宣传, 逐步提高消费者环保意识。随着消费者环保意识增强, 消费者会更加趋向于选择响应策略, 同时也促使政府更加倾向于选择引导策略, 最终引导企业选择适度包装策略, 有利于包装垃圾源头减量。

3)降低政府引导成本和消费者响应成本。通过设立消费者举报奖励政策, 增大企业过度包装查处的概率, 有利于降低政府的引导成本, 降低政府引导成本有助于提高政府引导的积极性。同时政府应主动利用媒介、网络等便捷渠道, 缩短消费者举报的时间、体力、精力等响应成本, 优化工作流程, 快捷高效地处理消费者举报事件, 来有效降低消费者响应成本, 有利于促使消费者积极响应包装垃圾源头减量。

参考文献:

- [1] 杨丽辉, 覃京燕. 复用型绿色快递包装设计理念探究[J]. 包装工程, 2016, 37(10): 39—42.
YANG Li-hui, QIN Jing-yan. Design Concept of Reusable Green Express Packaging[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(10): 39—42.
- [2] ASKFELT H, RISTINMAA M. Experimental and Numerical Analysis of Adhesion Failure in Moist Packaging Material during Excessive Heating[J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2017, 108: 2566—2580.
- [3] KAUR K, DHILLON W S, MAHAJAN B V C. Changes in Pectin Methyl Esterase Activity with Different Packaging Materials and Stages of Fruit Harvesting during Cold Storage of Pear cv. Punjab Beauty[J]. Journal of Food Science and Technology, 2014, 51(10): 2867—2871.
- [4] VOLPE S, MAHAJAN P, RUX G, et al. Condensation and Moisture Regulation in Packaged Fresh-cut Iceberg Lettuce[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 216(1): 132—137.
- [5] DA M. 12 Progress in Restricting Excessive Packaging[J]. Chinese Research Perspectives on the Environment, 2014, 3: 165—175.

- [6] 王芸. 兰州市食品过度包装调研报告[D]. 兰州: 兰州大学, 2011.
WANG Yun. The Excessive Packaging on Food Research Report in Lanzhou[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2011.
- [7] 李曼妮. 限制过度包装法律制度研究[D]. 重庆: 西南政法大学, 2011.
LI Man-ni. Study on the Legal System of Restricting Over-packaging[D]. Chongqing: Southwest University of Political Science & Law, 2011.
- [8] 薛生辉. 低碳经济视角下控制过度包装的对策与途径[J]. 装饰, 2014(8): 127—128.
XUE Sheng-hui. Low-carbon Strategies and Approaches of Economic Perspective Control Over-packaging[J]. Art & Design, 2014 (8): 127—128.
- [9] 乔志强. 生态伦理视角下的商品包装走向[J]. 生态经济, 2007(10): 268—270.
QIAO Zhi-qiang. View the Trend of Commodity Packaging under the Angle of Eco-Ethics[J]. Ecological Economy, 2007(2): 268—270.
- [10] LEPINE J, ROUILLARD V, SEK M. Review Paper on Road Vehicle Vibration Simulation for Packaging Testing Purposes[J]. Packaging Technology and Science, 2015, 28(8): 672—682.
- [11] WANG S Y, BAO X C, WANG N L. Life Cycle Assessment-based Method of Excessive Commodity Packaging on Energy Conservation and Emissions Reduction[J]. Energy and Power Engineering, 2013, 5: 1429—1434.
- [12] 李平. 博弈模型下快递包装的回收激励机理[J]. 北京邮电大学学报(社会科学版), 2017(4): 35—40.
LI Ping. Recycle Incentive Mechanism of Express Packaging under Game Model[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications (Social Sciences Edition), 2017(4): 35—40.
- [13] 夏美珠, 孙绍荣. 基于演化博弈的产品过度包装行为的制度治理研究[J]. 企业经济, 2010(9): 26—28.
XIA Mei-zhu, SUN Shao-rong. Institutional Governance Research on Over-packaging Behavior of Products Based on Evolutionary Game Theory[J]. Enterprise Economy, 2010(9): 26—28.
- [14] 马爽, 钱省三. 食品包装决策中的三方博弈分析[J]. 工业工程与管理, 2011, 16(4): 92—95.
MA Shuang, QIAN Xing-san. Research on the Tripartite Game Playing in Food Packaging Decision[J]. Industrial Engineering and Management, 2011, 16(4): 92—95.
- [15] 翁钢民, 李凌雁. 旅游社会责任利益相关者的三群体演化博弈分析[J]. 生态经济, 2017, 33(4): 133—138.
WENG Gang-min, LI Ling-yan. The Tripartite-stakeholder Evolutionary Game Analysis on Tourism Social Responsibility[J]. Ecological Economy, 2017, 33(4): 133—138.
- [16] 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[J]. 中国人口资源与环境, 2017, 27(5): 17—26.
XU Ling-yan, DU Jian-guo, WANG Wen-li. Evolutionary Game Analysis on Rural Water Environmental Governance[J]. China Population-Resources and Environment, 2017, 27(5): 17—26.
- [17] 车泰根, 庄新田, 苏艳丽. 基于三群体演化博弈的小额贷款公司风险补贴机制研究[J]. 预测, 2017, 36(5): 55—61.
CHE Tai-gen, ZHUANG Xin-tian, SU Yan-li. Research for Risk Subsidy Mechanism of Small Loan Companies Based on Evolutionary Game in Three Groups[J]. Forecasting, 2017, 36(5): 55—61.