

基于演化博弈的我国电商绿色包装稳定策略分析

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2023.03.002

谢彩虹^{1,2} 邹筱^{1,2}

1. 湖南工业大学

商学院

湖南 株洲 412007

2. 湖南工业大学

湖南省包装经济研究基地

湖南 株洲 412007

摘要: 实施绿色包装是在电商快速发展过程中亟待解决的问题。在演化博弈理论的假设前提下, 构建了以政府-电商企业-消费者三方为主体的博弈模型; 探讨三方的期望收益模型、复制动态方程及由此构成的雅可比矩阵; 分析三方博弈模型的均衡点, 并判断出稳定点; 最后通过数值仿真加以验证。研究结果表明, 政府消极监管、电商企业提供绿色包装、消费者参与所构成的策略集是三方演化博弈的稳定点。

关键词: 演化博弈; 电商; 绿色包装

中图分类号: F224.32; TB484.6

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2023)03-0009-08

引文格式: 谢彩虹, 邹筱. 基于演化博弈的我国电商绿色包装稳定策略分析[J]. 包装学报, 2023, 15(3): 9-16.

1 研究背景

2022 中国电子商务大会报告显示, 2021 年我国电商交易规模达 42.3 万亿元, 同比增长 19.6%。在其迅猛发展的同时, 电商的包装问题也成为大众关注的热点, 很多消费者认为网购太浪费包装。虽然京东和菜鸟等一些企业已经开始自建全套完善的回收供应链, 以达到对包装的回收和再利用, 但其回收率远达不到环保的要求。包装行业是一个与环境保护和可持续发展息息相关的行业, 如何让电商的包装更加绿色化是亟待解决的难题。

自 1987 年联合国首次提出“绿色包装”以来, 我国先后制定了 4 部专项法和 8 部资源法, 并出台了相关的实施方案, 如《中华人民共和国环境保护法》《推进快递业绿色包装工作实施方案》等, 以此推动我国绿色包装的发展。目前, 学术界关于如何实现绿色包装的研究, 主要集中在绿色包装标准的制定、包

装技术及包装材料的改进等方面; 而从管理学视角的研究, 主要是从包装废弃物回收的角度实现包装绿色化。自 R. C. Savaskan 等^[1]提出零售商回收是逆向物流最有效回收模式以来, 不少学者开展了深入研究。罗定提等^[2]侧重从政府补助的视角出发, 分析了不同回收主体的利润及不同模式下的农药包装废弃物回收率, 得出了最佳回收模式。李正军等^[3]通过对企业自行回收、合作回收和第三方回收的比较分析, 选择了最经济的回收方式。罗子灿等^[4]探讨了零售商回收模式下包装尺寸等在逆向物流回收过程中对各方利润的影响。鲁芳等^[5]引入消费者环保因素, 构建了第三方和电商物流企业回收两种回收模式, 并比较分析了两种模式的优劣。G. Singh 等^[6]从认知、功能、经济、象征、利他、生物圈等 6 个价值方面, 实证分析了绿色包装对消费者消费行为均有影响。

目前, 已有文献用演化博弈方法来解决快递包装回收与绿色化的问题, 主要是通过引入某因素如政府

收稿日期: 2022-11-30

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2022JJ50089); 湖南省包装经济研究基地项目(2021BZJG05)

作者简介: 谢彩虹(1982-), 女, 湖南醴陵人, 湖南工业大学讲师, 主要研究方向为物流与供应链管理,

E-mail: 495038639@qq.com

通信作者: 邹筱(1976-), 女, 湖南株洲人, 湖南工业大学教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事物流与包装管理研究,

E-mail: 7805463@qq.com

或消费者来探讨两方为主体的博弈^[7-8]；也有引入政府惩罚或管制来研究三方为主体，不同参数变化下的策略选择^[9-15]。

在实际中，电商企业是否提供绿色包装受政府监督和消费者参与程度的影响。政府对环保意识的宣传是提升消费者参与的关键，政府补贴制度是电商企业实现绿色包装的动力，政府监督及处罚是保证绿色包装长期健康发展的保障，电商包装绿色发展是政府、企业、消费者共同推动的结果。因此，本文构建政府-电商企业-消费者的三方演化博弈模型，以探究电商企业实行绿色包装的长期稳定策略。

2 三方演化博弈模型构建

政府、消费者、企业群体数量大，差异性也大，作决策时很难达成一致，因此用完全理性假设下的博弈理论分析会与实际不相符，只能以有限理性为前提假设的演化博弈理论来解决。演化理论认为群体中的个体可以通过模仿、学习、突变等过程达到稳定的动态平衡，形成稳定策略。

2.1 模型假设与参数设置

假设1 在博弈模型中，政府、电商企业、消费者均是有限理性的；在博弈过程中，政府、电商企业、消费者都是独立选择各自的策略。

假设2 政府的策略选择有{积极监管，消极监管}，概率分别为 x 和 $1-x$ ， x 的取值区间为 $[0, 1]$ 。政府的“积极监管”策略主要是包括前期投入，如宣传环保知识、对提供绿色包装的电商企业适当的补贴、

对未提供的企业进行罚款等。而“消极监管”策略下，政府既不提供补贴也不罚款，对消费者也没有奖励，但迫于政策压力，还是得对污染的环境进行治理。

假设3 电商企业的策略选择为{实施绿色包装，不实施绿色包装}，概率分别为 y 和 $1-y$ ， y 的取值区间为 $[0, 1]$ 。

假设4 消费者的策略选择为{参与，不参与}，概率分别为 z 和 $1-z$ ， z 的取值区间为 $[0, 1]$ 。消费者参与指消费者会关注电商企业是否提供了绿色包装并参与回收，如没提供会对企业和政府进行信息反馈。

根据以上假设进行参数设置，如表1所示。

2.2 模型构建

根据模型假设与参数设置，分情形讨论政府、电商企业、消费者的收益矩阵。

情形1 政府积极监管且消费者参与。1) 若电商企业实施绿色包装，对于政府来说，获得环境效益和社会效益 R_G ，但同时也要付出前期投入 αC_G 和对提供绿色包装的电商企业的补贴 βS_G ，电商企业付出的成本为 C_E ，此时除获得收益 $R_E + \Delta R_E$ 外，还能获得政府的补贴 βS_G ；消费者获得环境改善收益 $I_p + \Delta I_p$ ，同时付出的参与成本包括信息反馈成本 δC_{PE} 和举报成本 θC_{PG} 。2) 若电商企业不实施绿色包装，政府获得对电商企业的罚款 γP_G ，付出前期投入 αC_G 、对环境治理的成本 A_G 以及因消费者举报导致的损失 D ；电商企业此时获得收益只有 R_E ，而面临着政府罚款 γP_G 和声誉下降 σQ 的损失；消费者此时面临环境损失 L_p 和付出的参与成本 δC_{PE} 及 θC_{PG} 。

表1 模型参数设置

Table 1 Model parameter setting

博弈方	参数	含 义
政府	αC_G	政府前期投入如环保宣传等的成本，其中系数 α 为投入力度（ $0 < \alpha < 1$ ）
	βS_G	采用积极监管策略下，政府对提供绿色包装的电商企业的补贴，其中系数 β 为补贴力度（ $0 < \beta < 1$ ）
	γP_G	采用积极监管策略下，政府对未提供绿色包装的电商企业的罚款，其中系数 γ 为监管力度（ $0 < \gamma < 1$ ）
	R_G	企业提供绿色包装，政府获得的环境效益和社会效益
	A_G	电商企业不实施绿色包装时，政府对环境污染进行治理的成本
	D	消费者举报导致政府的损失，包括威信下降及为鼓励举报而设置的奖金等
电商企业	C_E	电商企业实施绿色包装的成本
	R_E	电商企业在不提供绿色包装情况下获得的收益
	ΔR_E	电商企业提供绿色包装时除政府补贴外的收益，如声誉提高带来的收益
	σQ	电商企业不提供绿色包装时遭消费者举报导致声誉下降、销售收入下滑，与消费者的不满意度 σ 成正相关（ $0 < \sigma < 1$ ）
消费者	I_p	电商企业实施绿色包装，消费者获得的环境改善收益
	ΔI_p	电商企业实施绿色包装且消费者参与，消费者获得的额外环境改善收益
	L_p	电商企业不实施绿色包装，给消费者造成的环境损失
	δC_{PE}	消费者参与策略下，信息反馈给电商企业的成本，其中 δ 为消费者参与信息反馈的强度因子（ $0 < \delta < 1$ ）
	θC_{PG}	消费者参与策略下，对政府进行举报的成本，其中 θ 为消费者参与举报的强度因子（ $0 < \theta < 1$ ）

情形 2 政府积极监管且消费者不参与。1) 若电商企业实施绿色包装, 政府和电商企业获得的收益与情形 1 相同, 此时消费者获得的环境改善收益仅为 I_p , 当然也没有付出参与成本。2) 若电商企业不实施绿色包装, 对于政府和电商企业来说与情形 1 的不同在于他们不需要付给因消费者参与所产生的损失 D 和 σQ , 而此时消费者面临的仅仅是环境损失 L_p 。

情形 3 政府消极监管且消费者参与。1) 若电商企业实施绿色包装, 对于政府来说没有任何投入, 获得环境效益和社会效益 R_G ; 与情形 1 相比, 电商企业不能获得政府补贴 βS_G ; 消费者的收益跟情形 1 同。2) 若电商企业不实施绿色包装, 政府此时仍得付出环境治理的成本 A_G 及因消费者举报导致的损失 D ; 电商企业此时获得收益 R_E 和面临声誉下降 σQ 的损失; 消费者的收益跟情形 1 同。

情形 4 政府消极监管且消费者不参与。1) 若电商企业实施绿色包装, 政府和电商企业的收益同情形 3; 消费者的收益跟情形 2 同。2) 若电商企业不实施绿色包装, 政府此时仅需付出环境治理的成本 A_G ; 电商企业此时获得收益 R_E ; 消费者的收益跟情形 2 同。

通过以上分析, 政府、电商企业、消费者三方的收益矩阵如表 2 所示。

根据以上博弈收益矩阵, 可得政府、电商企业、消费者三方的期望收益函数。

1) 政府期望收益函数。假设政府积极监管的期望收益为 E_{Gx} , 消极监管的期望收益为 $E_{G(1-x)}$, 平均期望收益为 $\bar{E}_G$, 则

$$\begin{aligned} E_{Gx} = & yz(R_G - \alpha C_G - \beta S_G) + \\ & (1-y)z(\gamma P_G - \alpha C_G - A_G - D) + \\ & y(1-z)(R_G - \alpha C_G - \beta S_G) + \\ & (1-y)(1-z)(\gamma P_G - \alpha C_G - A_G), \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} E_{G(1-x)} = & yzR_G + (1-y)z(-A_G - D) + \\ & y(1-z)R_G + (1-y)(1-z)(-A_G), \end{aligned} \quad (2)$$

$$\bar{E}_G = xE_{Gx} + (1-x)E_{G(1-x)}. \quad (3)$$

2) 电商企业期望收益函数。假设电商企业提供绿色包装的期望收益为 U_{Ey} , 不提供绿色包装的期望收益为 $U_{E(1-y)}$, 平均期望收益为 $\bar{U}_E$, 则

$$\begin{aligned} U_{Ey} = & xz(R_E + \Delta R_E + \beta S_G - C_E) + \\ & x(1-z)(R_E + \Delta R_E + \beta S_G - C_E) + \\ & (1-x)z(R_E + \Delta R_E - C_E) + \\ & (1-x)(1-z)(R_E + \Delta R_E - C_E), \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} U_{E(1-y)} = & xz(R_E - \gamma P_G - \sigma Q) + x(1-z)(R_E - \gamma P_G) + \\ & (1-x)z(R_E - \sigma Q) + (1-x)(1-z)R_E, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\bar{U}_E = yU_{Ey} + (1-y)U_{E(1-y)}. \quad (6)$$

3) 消费者期望收益函数。假设消费者参与的期望收益为 V_{Pz} , 不参与的期望收益为 $V_{P(1-z)}$, 平均期望收益为 $\bar{V}_P$, 则

$$\begin{aligned} V_{Pz} = & xy(I_p + \Delta I_p - \delta C_{PE} - \theta C_{PG}) + \\ & x(1-y)(-L_p - \delta C_{PE} - \theta C_{PG}) + \\ & (1-x)y(I_p + \Delta I_p - \delta C_{PE} - \theta C_{PG}) + \\ & (1-x)(1-y)(-L_p - \delta C_{PE} - \theta C_{PG}), \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} V_{P(1-z)} = & xyI_p + x(1-y)(-L_p) + \\ & (1-x)yI_p + (1-x)(1-y)(-L_p), \end{aligned} \quad (8)$$

$$\bar{V}_P = zV_{Pz} + (1-z)V_{P(1-z)}. \quad (9)$$

3 电商绿色包装策略的三方博弈渐进稳定性分析

根据 2.2 节中的期望收益函数, 可求得政府、电商企业及消费者三方的复制动态方程。

表 2 政府、电商企业、消费者的三方收益矩阵表

Table 2 Three-party return matrix of government, e-commerce enterprises and consumers

不同情形下电商企业是否实施绿色包装	政府	电商企业	消费者
情形 1 下实施	$R_G - \alpha C_G - \beta S_G$	$R_E + \Delta R_E + \beta S_G - C_E$	$I_p + \Delta I_p - \delta C_{PE} - \theta C_{PG}$
情形 1 下不实施	$\gamma P_G - \alpha C_G - A_G - D$	$R_E - \gamma P_G - \sigma Q$	$-L_p - \delta C_{PE} - \theta C_{PG}$
情形 2 下实施	$R_G - \alpha C_G - \beta S_G$	$R_E + \Delta R_E + \beta S_G - C_E$	I_p
情形 2 下不实施	$\gamma P_G - \alpha C_G - A_G$	$R_E - \gamma P_G$	$-L_p$
情形 3 下实施	R_G	$R_E + \Delta R_E - C_E$	$I_p + \Delta I_p - \delta C_{PE} - \theta C_{PG}$
情形 3 下不实施	$-A_G - D$	$R_E - \sigma Q$	$-L_p - \delta C_{PE} - \theta C_{PG}$
情形 4 下实施	R_G	$R_E + \Delta R_E - C_E$	I_p
情形 4 下不实施	$-A_G$	R_E	$-L_p$

3.1 复制动态方程及雅可比矩阵

政府、电商企业及消费者的复制动态方程如下：

$$F_x = \frac{dx}{dt} = x(E_{Gx} - \bar{E}_G) = x(1-x)(E_{Gx} - E_{G(1-x)}) = x(1-x)[-y(\beta S_G + \gamma P_G) + \gamma P_G - \alpha C_G], \quad (10)$$

$$F_y = \frac{dy}{dt} = y(U_{Ey} - \bar{U}_E) = y(1-y)(U_{Ey} - U_{E(1-y)}) = y(1-y)[(\beta S_G + \gamma P_G)x + \Delta R_E - C_E + z\sigma Q], \quad (11)$$

$$F_z = \frac{dz}{dt} = z(V_{Pz} - \bar{V}_P) = z(1-z)(V_{Pz} - V_{P(1-z)}) = z(1-z)(\Delta I_P y - \delta C_{PE} - \theta C_{PG}). \quad (12)$$

考虑复制动态方程(10)，当 $y = \frac{\gamma P_G - \alpha C_G}{\gamma P_G + \beta S_G}$ ， F_x 始终为 0，意味着对于任意的 x 都是稳定状态，即方程(10)处于稳定的状态；当 $\frac{\gamma P_G - \alpha C_G}{\gamma P_G + \beta S_G} < y < 1$ 时， $F'(x=0) < 0$ ， $F'(x=1) > 0$ ，则 $x^* = 0$ 是演化稳定策略 (evolutionarily stable strategy, ESS)，即当电商企业以大于 $\frac{\gamma P_G - \alpha C_G}{\gamma P_G + \beta S_G}$ 的概率提供绿色包装时，政府选择不监管是稳定状态；当 $0 < y < \frac{\gamma P_G - \alpha C_G}{\gamma P_G + \beta S_G}$ 时， $F'(x=0) > 0$ ， $F'(x=1) < 0$ ，则 $x^* = 1$ 是 ESS，即当电商企业以小于 $\frac{\gamma P_G - \alpha C_G}{\gamma P_G + \beta S_G}$ 的概率提供绿色包装时，政府进行积极监管是稳定状态。

考虑复制动态方程(11)，当 $x = \frac{C_E - \Delta R_E - z\sigma Q}{\beta S_G + \gamma P_G}$

时， F_y 始终为 0，意味着对于任意的 y 都是稳定状态，即方程(11)处于稳定的状态；当 $0 < x < \frac{C_E - \Delta R_E - z\sigma Q}{\beta S_G + \gamma P_G}$ 时， $F'(y=0) < 0$ ， $F'(y=1) > 0$ ，

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial F_x}{\partial x} & \frac{\partial F_x}{\partial y} & \frac{\partial F_x}{\partial z} \\ \frac{\partial F_y}{\partial x} & \frac{\partial F_y}{\partial y} & \frac{\partial F_y}{\partial z} \\ \frac{\partial F_z}{\partial x} & \frac{\partial F_z}{\partial y} & \frac{\partial F_z}{\partial z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1-2x)[-y(\beta S_G + \gamma P_G) + \gamma P_G - \alpha C_G] & x(x-1)(\beta S_G + \gamma P_G) & 0 \\ y(1-y)(\beta S_G + \gamma P_G) & (1-2y)[(\beta S_G + \gamma P_G)x + \Delta R_E - C_E + z\sigma Q] & y(1-y)\sigma Q \\ 0 & z(1-z)\Delta I_P & (1-2z)(\Delta I_P y - \delta C_{PE} - \theta C_{PG}) \end{pmatrix}.$$

则 $y^* = 0$ 是 ESS，即当政府以小于 $\frac{C_E - \Delta R_E - z\sigma Q}{\beta S_G + \gamma P_G}$

的概率监管时，电商企业将选择不提供绿色包装是稳定状态；当 $\frac{C_E - \Delta R_E - z\sigma Q}{\beta S_G + \gamma P_G} < x < 1$ 时， $F'(y=0) > 0$ ， $F'(y=1) < 0$ ，则 $y^* = 1$ 是 ESS，即当政府以大于

$\frac{C_E - \Delta R_E - z\sigma Q}{\beta S_G + \gamma P_G}$ 的概率监管时，电商企业将选择提供绿色包装是稳定状态。

考虑复制动态方程(12)，当 $y = \frac{\delta C_{PE} + \theta C_{PG}}{\Delta I_P}$ 时，

F_z 始终为 0，意味着对于任意的 z 都是稳定状态，即

方程(12)处于稳定的状态；当 $0 < y < \frac{\delta C_{PE} + \theta C_{PG}}{\Delta I_P}$

时， $F'(z=0) < 0$ ， $F'(z=1) > 0$ ，则 $z^* = 0$ 是 ESS，

即当电商企业以小于 $\frac{\delta C_{PE} + \theta C_{PG}}{\Delta I_P}$ 的概率提供绿

色包装时，消费者将选择不参与是稳定状态；当

$\frac{\delta C_{PE} + \theta C_{PG}}{\Delta I_P} < y < 1$ 时， $F'(z=0) > 0$ ， $F'(z=1) < 0$ ，

则 $z^* = 1$ 是 ESS，即当电商企业以大于 $\frac{\delta C_{PE} + \theta C_{PG}}{\Delta I_P}$ 的

概率提供绿色包装时，消费者将选择参与是稳定状态。

令 $F_x = 0$ ， $F_y = 0$ ， $F_z = 0$ ，可求得均衡点：

$E_1(0,0,0)$ ， $E_2(0,0,1)$ ， $E_3(1,0,0)$ ， $E_4(1,0,1)$ ， $E_5(0,1,0)$ ， $E_6(1,1,0)$ ， $E_7(0,1,1)$ ， $E_8(1,1,1)$ ；除此之外，还存在 $E_9(x^*, y^*, z^*)$ 的均衡点，该点满足式(13)。

$$\begin{cases} -y\beta S_G - \alpha C_G + \gamma P_G(1-y) = 0, \\ (\beta S_G + \gamma P_G)x + \Delta R_E - C_E + z\sigma Q = 0, \\ \Delta I_P y - \delta C_{PE} - \theta C_{PG} = 0. \end{cases} \quad (13)$$

对以上均衡点进行雅可比矩阵分析，雅可比矩阵

根据雅可比矩阵, 可得各均衡点的特征值, 如表 3 所示。

表 3 各均衡点雅可比矩阵的特征值

Table 3 Eigenvalues of Jacobian matrix at each equilibrium point

均衡点	特征值 λ_1	特征值 λ_2	特征值 λ_3
$E_1(0,0,0)$	$-\delta C_{PE}-\theta C_{PG}$	$\gamma P_G-\alpha C_G$	$\Delta R_E+\beta S_G+\gamma P_G-C_E$
$E_2(0,0,1)$	$\delta C_{PE}+\theta C_{PG}$	$\gamma P_G-\alpha C_G$	$\Delta R_E+\beta S_G+\gamma P_G+\sigma Q-C_E$
$E_3(1,0,0)$	$-\delta C_{PE}-\theta C_{PG}$	$\alpha C_G-\gamma P_G$	$\Delta R_E+\beta S_G+\gamma P_G-C_E$
$E_4(1,0,1)$	$\delta C_{PE}+\theta C_{PG}$	$\alpha C_G-\gamma P_G$	$\Delta R_E+\beta S_G+\gamma P_G-C_E$
$E_5(0,1,0)$	$-\alpha C_G-\beta S_G$	$\Delta I_P-\delta C_{PE}-\theta C_{PG}$	$-(\Delta R_E+\beta S_G+\gamma P_G-C_E)$
$E_6(1,1,0)$	$\alpha C_G+\beta S_G$	$\Delta I_P-\delta C_{PE}-\theta C_{PG}$	$-(\Delta R_E+\beta S_G+\gamma P_G-C_E)$
$E_7(0,1,1)$	$-\alpha C_G-\beta S_G$	$\delta C_{PE}+\theta C_{PG}-\Delta I_P$	$-(\Delta R_E+\beta S_G+\gamma P_G-C_E)$
$E_8(1,1,1)$	$\alpha C_G+\beta S_G$	$\delta C_{PE}+\theta C_{PG}-\Delta I_P$	$-(\Delta R_E+\beta S_G+\gamma P_G+\sigma Q-C_E)$
$E_9(x^*, y^*, z^*)$	鞍点		

3.2 三方博弈稳定性分析

根据演化博弈均衡点稳定的条件, 当雅可比矩阵 J 的行列式 $\text{Det } J < 0$ 和迹 $\text{Tr } J < 0$ 同时满足时, 说明此时的均衡点是稳定的。接下来探讨各特征值的符号。

特征值 λ_1 主要与参数 δC_{PG} 、 θC_{PG} 、 αC_G 、 βS_G 有关, 根据前面参数的设置可知, 此 4 个参数值都是非负的, 因此特征值 λ_1 的符号很容易做出判断。

特征值 λ_3 的符号需从电商企业和消费者的角度分别来探讨。对于电商企业来说, 电商企业提供绿色包装时, 政府补贴的收益、除政府补贴外的收益、不实施绿色包装时的罚款的和要大于电商企业实施绿色包装的成本, 否则, 电商企业不会实施绿色包装, 可以推断 $\Delta R_E+\beta S_G+\gamma P_G-C_E > 0$, 从而容易推断 $\Delta R_E+\beta S_G+\gamma P_G+\sigma Q-C_E > 0$ 。对于消费者来说, 消费者参与下因电商企业实施绿色包装而获得的额外环境改善收益, 要大于其信息反馈和参与举报的成本, 否则消费者不愿意参与进来, 即满足 $\Delta I_P-\delta C_{PG}-\theta C_{PG} > 0$ 。

通过分析均衡点 $E_5 \sim E_8$ 对应特征值 λ_2 可知, 对于消费者来说, 消费者参与下因电商企业实施绿色包装而获得的额外环境改善收益, 要大于其信息反馈和参与举报的成本, 否则消费者不愿意参与进来, 即满足 $\Delta I_P-\delta C_{PG}-\theta C_{PG} > 0$ 。均衡点 $E_1 \sim E_4$ 对应特征值 λ_2 的符号主要取决于 $\gamma P_G-\alpha C_G$ 的符号, 也就是政府在积极监管策略下对未提供绿色包装的电商企业的罚款, 与政府前期投入的大小关系。当政府在积极监管策略下, 对未提供绿色包装的电商企业的罚款大于政府前期投入时, 即 $\gamma P_G > \alpha C_G$, 也就是 $\gamma P_G-\alpha C_G > 0$, 可判断出均衡点 $E_1 \sim E_4$ 对应特征值 λ_2 的符号, 记为情形 1; 而当政府在积极监管策略下, 对未提供绿色包装的电商企业的罚款小于政府前期投入时, 即 $\gamma P_G < \alpha C_G$, 也就是 $\gamma P_G-\alpha C_G < 0$, 也可判断出均衡点 $E_1 \sim E_4$ 对应特征

值 λ_2 的符号, 记为情形 2。

所有特征值符号如表 4 所示。

表 4 各均衡点特征值符号及稳定性判断

Table 4 Eigenvalue symbols and stability judgment of each equilibrium point

均衡点	λ_1	λ_2	λ_3	稳定性
$E_1(0,0,0)$	-	+(情形 1), -(情形 2)	+	非稳定点
$E_2(0,0,1)$	+	+(情形 1), -(情形 2)	+	鞍点
$E_3(1,0,0)$	-	-(情形 1), +(情形 2)	+	非稳定点
$E_4(1,0,1)$	+	-(情形 1), +(情形 2)	+	非稳定点
$E_5(0,1,0)$	-	+	-	非稳定点
$E_6(1,1,0)$	+	+	-	非稳定点
$E_7(0,1,1)$	-	-	-	稳定点
$E_8(1,1,1)$	+	-	-	非稳定点
$E_9(x^*, y^*, z^*)$	$\text{Det } J < 0, \text{Tr } J = 0$			鞍点

通过以上分析可知, 雅可比矩阵仅存在唯一的均衡点 $E_7(0,1,1)$, 其所对应的特征值全部非正, 同时满足均衡点稳定的两个条件。此时, 政府消极监管、电商企业提供绿色包装、消费者参与所构成的策略集为此三方演化博弈的稳定点。

4 三方博弈数值仿真分析

前文通过建模对政府、电商企业、消费者的博弈过程进行了理论分析。为了更直观地反映三方博弈的演化稳定性, 用 Matlab 软件模拟三方的演化稳定策略。

根据 3.2 节稳定点的条件 $\Delta I_P-\delta C_{PG}-\theta C_{PG} > 0$ 和 $\Delta R_E+\beta S_G+\gamma P_G-C_E > 0$, 以及复制动态方程 (10) ~ (12) 的函数形式, 对相关参数进行赋值: 设 $\alpha=0.2$, $C_G=80$, $\beta=0.5$, $S_G=60$, $\gamma=0.5$, $P_G=80$, $\Delta R_E=60$, $C_E=60$, $\sigma=0.5$, $Q=30$, $\Delta I_P=50$, $\delta=0.5$, $C_{PE}=20$, $\theta=0.5$, $C_{PG}=20$ 。

首先, 对以上赋值随时间演化 50 次, 结果如图

1所示。从图1可以看出,系统存在唯一的演化稳定点 $(0,1,1)$,即政府、电商企业、消费者的策略组合{消极监管,提供绿色包装,参与}为演化稳定策略。可见,仿真结果与各方策略稳定性理论分析的结论一致,且具有有效性。在电商企业提供绿色包装且消费者参与的情况下,对于政府来说不需要把太多的精力及经费用在监管上,从长远看这与实际是相符的。

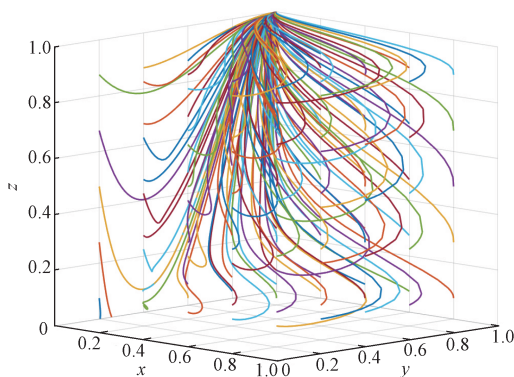


图1 演化50次的立体图

Fig. 1 Three-dimensional picture of 50 evolutions

分别对政府、电商企业、消费者的演化策略进行分析,对三方行为的初始概率分别赋值为0.2, 0.5, 0.9, 仿真结果如图2~4所示。

从图2可以看出,不管初始概率为多少,随着时间的推移,政府策略选择的概率趋近于0,也就是政府将选择{消极监管}的策略。

从图3和图4可以看出,随着时间的推移,电商企业和消费者的策略选择的概率均趋近于1,也就是电商企业将选择{提供绿色包装}、消费者选择{参与}的策略。同时可以看出,初始概率越大,趋近于1的速度越快。

通过三方单独的演化策略分析,也同样验证了存在演化稳定点为 $(0,1,1)$ 的结论。

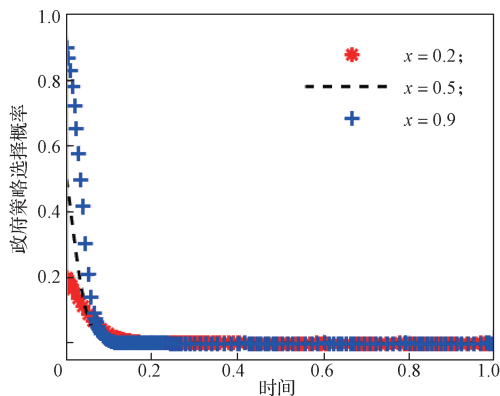


图2 政府监管策略演化趋势图

Fig. 2 Evolution trend of government regulation strategy

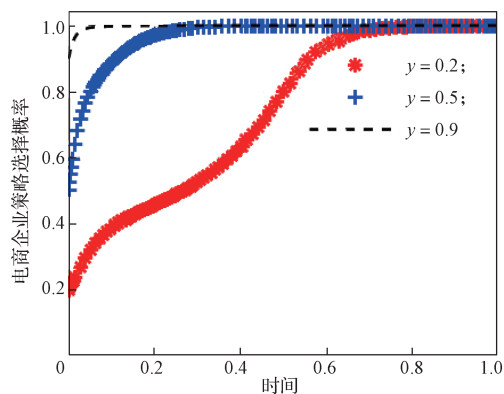


图3 电商企业实施绿色包装策略演化趋势图

Fig. 3 Evolution trend of green packaging strategy implemented by e-commerce enterprises

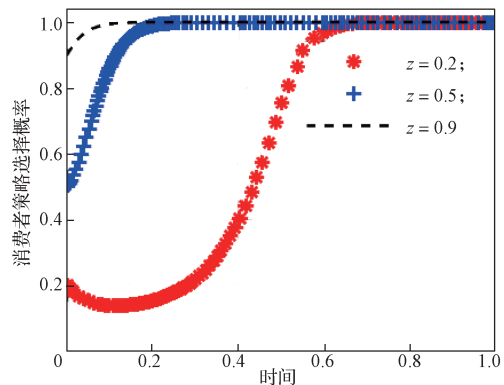


图4 消费者参与策略演化趋势图

Fig. 4 Evolution trend of consumer participation strategy

5 结语

本文运用演化博弈理论,构建了以政府、电商企业、消费者为主体的三方演化博弈模型,通过对三方的期望收益模型、复制动态方程及雅可比矩阵的分析,找出了三方演化博弈的稳定均衡点,并通过仿真分析进一步加以验证。从长期来看,三方的稳定策略是政府消极监管、电商企业提供绿色包装、消费者参与。对于政府来说,如电商企业能从长远角度出发提供绿色包装及消费者能自觉参与,其消极监管不失为上策,但消极监管并不意味着不需要任何投入;相反,其需要为环境治理和声誉下降承担相应的损失。因此,对于政府来说,应考虑如何有效地激励电商企业和消费者积极投入到绿色包装的长期发展事业上来,同时提供相应的配套措施使绿色包装的实施更便捷。对于电商企业来说,应从长期利益出发,不断完善绿色包装供应链。对消费者来说,应养成自觉参与绿色包装的习惯,提高环保意识。

本文探讨的是三方长期演化的稳定性, 在下一步的研究中, 可以考虑政府投入力度、惩罚力度、补贴力度, 以及消费者参与信息反馈、举报强度等不同时, 对各方策略的影响。

参考文献:

- [1] SAVASKAN R C, BHATTACHARYA S, WASSENHOVE L V. Closed-Loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing[J]. *Management Science*, 2004, 50(2): 239-252.
- [2] 罗定提, 罗娟, 鲁芳. 政府补贴下乡村农药包装废弃物回收模式研究[J]. *包装学报*, 2020, 12(3): 60-68.
- LUO Dingti, LUO Juan, LU Fang. Recycling Models of Pesticide Packaging Waste in Villages Under Government Subsidy[J]. *Packaging Journal*, 2020, 12(3): 60-68.
- [3] 李正军, 张震. 供给侧结构性改革视角下企业包装废弃物回收模式选择评价研究[J]. *生态经济*, 2019, 35(3): 68-72.
- LI Zhengjun, ZHANG Zhen. Research on Evaluation of Enterprise Packaging Waste Recycling Mode Selection from the Perspective of Supply Side Structural Reform[J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(3): 68-72.
- [4] 罗子灿, 崔杰, 罗定提, 等. 零售商回收模式下收益共享契约和包装尺寸决策研究[J]. *包装学报*, 2020, 12(6): 59-69.
- LUO Zican, CUI Jie, LUO Dingti, et al. Revenue Sharing Contract and Packaging Size Decision Under Retailer Recycling Model[J]. *Packaging Journal*, 2020, 12(6): 59-69.
- [5] 鲁芳, 罗娟. 包装废弃物回收模式研究[J]. *包装学报*, 2017, 9(5): 69-74.
- LU Fang, LUO Juan. Research on Packaging Waste Recycling Mode[J]. *Packaging Journal*, 2017, 9(5): 69-74.
- [6] SINGH G, PANDEY N. The Determinants of Green Packaging that Influence Buyers' Willingness to Pay a Price Premium[J]. *Australasian Marketing Journal*, 2018, 26(3): 221-230.
- [7] 徐红, 王辉, 刘栩君. 快递废弃物回收产业链演化仿真研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(1): 111-119.
- XU Hong, WANG Hui, LIU Xujun. Simulation of the Express Waste Recycling Industry Chain Based on Circular Economy[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(1): 111-119.
- [8] 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.
- HE Yanzi, DING Zhipeng. Evolutionary Game and Simulation Study on Low-Carbon Packaging Recycling of Logistics Enterprises with Government Participation[J]. *Packaging Journal*, 2020, 12(3): 51-59.
- [9] 刁玉宇, 郭志达. 基于三方博弈模型的快递包装废弃物回收激励模式研究[J]. *环境保护科学*, 2021, 47(5): 16-19.
- DIAO Yuyu, GUO Zhida. Research of Motivation Mode of Express Packaging Waste Recycling Based on Tripartite Game Model[J]. *Environmental Protection Science*, 2021, 47(5): 16-19.
- [10] 何海龙, 李明琨. 有限管制下快递包装逆向物流三方博弈行为分析[J]. *工业工程与管理*, 2021, 26(1): 157-164.
- HE Hailong, LI Mingkun. A Tripartite Game Analysis on Reverse Logistics of Express Packaging Under Restricted Control Policies[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2021, 26(1): 157-164.
- [11] 成灶平, 马良. 政府奖惩激励下快递包装回收行为演化博弈与仿真分析[J]. *包装工程*, 2022, 43(11): 272-282.
- CHENG Zaoping, MA Liang. Evolutionary Game and Simulation Analysis of Express Packaging Recycling Behavior Under Government Rewards and Punishments[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(11): 272-282.
- [12] 王海滋, 张宁, 张士彬, 等. 农药包装废弃物协同回收演化博弈研究[J]. *科技与经济*, 2022, 35(1): 106-110.
- WANG Haizi, ZHANG Ning, ZHANG Shibin, et al. Evolutionary Game Study on Collaborative Recycling of Pesticide Packaging Waste[J]. *Science & Technology and Economy*, 2022, 35(1): 106-110.
- [13] 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, 19(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, 19(4): 35-40.
- [14] 李璐璐, 田立平, 李东宁. 考虑差别定价和政府补贴的快递包装回收策略研究[J]. *生态经济*, 2020, 36(9): 204-209.
- LI Lulu, TIAN Liping, LI Dongning. Research on the Recycling Strategy of Express Packaging Under the

Government Subsidies Based on Patent Protection and Differential Pricing[J]. Ecological Economy, 2020, 36(9): 204–209.

- [15] 苗秀杰, 纪凤旗. 政府和快递包装供应商在绿色技术创新中的演化博弈分析[J]. 物流技术, 2022, 41(2): 30–37.

MIAO Xiujie, JI Fengqi. Evolutionary Game Analysis of Government and Express Packaging Supplier in Green Technology Innovation[J]. Logistics Technology, 2022, 41(2): 30–37.

(责任编辑: 邓光辉)

Analysis of Chinese E-Commerce Green Packaging Stability Strategy Based on Evolutionary Game

XIE Caihong^{1,2}, ZOU Xiao^{1,2}

(1. College of Business, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. Hunan Packaging Economy Research Base, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: Implementing the green packaging is an urgent problem to be solved in the rapid development of e-commerce. Under the assumption of evolutionary game theory, a three-party game model is constructed containing the government, e-commerce enterprises and consumers. The expected return model, the replication dynamic equation and the Jacobi matrix formed by the three parties are discussed. The equilibrium point of the three-party game model is analyzed and the stable point is determined. Finally, it is verified by numerical simulation. The research result shows that the strategy set composed of passive government regulation, green packaging provided by e-commerce enterprises and consumer participation is the stable point of the three-party evolutionary game.

Keywords: evolutionary game; e-commerce; green packaging