

政府调控下的节能电器消费者购买行为 决策研究

罗鑫, 王红蕾

贵州大学管理学院, 贵州 贵阳

收稿日期: 2024年2月26日; 录用日期: 2024年4月7日; 发布日期: 2024年5月27日

摘要

节能消费是实施节能产品供应链的引擎, 节能产品生产企业是节能产品供应链的主要实施者。运用演化博弈理论, 构建了政府规制下节能产品生产与消费双方行为选择过程的演化博弈模型。通过分析, 得到了双方在不同情况下的稳定策略。考虑能效成本下降可能引起能源需求的额外增加, 本文也将同时对能源反弹与消费行为融入研究问题之中。研究结果显示, 在政府逐步降低节能产品补贴的过程中, 有效降低能源效率反弹效应对促进市场向正向状态转变具有显著作用。对于企业在政府政策激励下过度生产节能产品而造成的市场中节能产品供大于求的非良性状态有一定的改善作用。

关键词

能源效率, 居民住宅反弹效应, 消费者行为, 能源政策, 演化博弈, 节能减排

Research on Consumer Purchasing Behavior Decision of Energy Saving Electrical Appliances under Government Regulation

Xin Luo, Honglei Wang

School of Management, Guizhou University, Guiyang Guizhou

Received: Feb. 26th, 2024; accepted: Apr. 7th, 2024; published: May 27th, 2024

Abstract

Energy saving consumption is the engine of energy saving product supply chain, and energy saving product production enterprises are the main implementors of energy saving product supply chain.

Based on the evolutionary game theory, an evolutionary game model of the behavior selection process of both production and consumption of energy-saving products under government regulation is constructed. Through the analysis, the stability strategies of both sides in different situations are obtained. Considering that the reduction of energy efficiency costs may lead to an additional increase in energy demand, this paper will also integrate energy rebound and consumption behavior into the research question. The results show that in the process of gradually reducing subsidies for energy-saving products, effectively reducing the rebound effect of energy efficiency has a significant effect on promoting the market to change to a positive state. It has a certain effect on improving the non-benign state of oversupply of energy-saving products in the market caused by over-production of energy-saving products under the incentive of government policies.

Keywords

Energy Efficiency, Residential Rebound Effect, Consumer Behavior, Energy Policy, Evolutionary Game, Energy Conservation and Emission Reduction

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着经济的不断增长, 环境遭到严重破坏, 资源也日益匮乏, 因此能源问题受到各国政府的高度关注。面对严峻的环境压力, 中国在 2020 年 9 月许下“双碳”目标承诺。寻求到 2030 年实现二氧化碳排放量的最大化, 在 2060 年实现二氧化碳中性。全球生态和环境问题也引起了人们的广泛关注, 提高了消费者对绿色消费的偏好。在中国的双碳政策之下, 企业不可避免地会改变其传统商业模式, 实施节能产品供应链, 并建设新竞争优势以避免政府监管并且适应环境友好的消费需求。节能产品的高生产成本和负担, 导致动力不足的消费者无法实现对节能产品的消费。从而影响供应链企业总收益的实现, 阻碍节能产品供应链的顺利实施。因此, 政府监管政策可用于促进消费者能源消耗和能源供应链决策之间的协调一致是有效管理节能产品供应链的关键。

同时在实际生活中, “反弹效应”的经济现象极为常见。这是由于能源服务的有效价格降低, 降低了效率提高的效益[1]。能量反弹作为一种行为反应, 促使消费者使用更多的能源来增加他的效用。最后, 这种额外的能源消耗抵消了与减少总能源消耗有关的节能效果。甚至有时这种效应还会增加能源消耗[2]。

目前, 国内和国外科学家进行了深入的研究, 以共同促进消费者和公司之间节能产品供应链的实现。Jeremy [3]对工业系统中环境因素的深入分析表明, 生产者和最终用户之间的积极合作在发展节能产品供应链方面发挥着重要作用。Doonan 等[4]发现消费者需求是影响供应链中节能产品环保表现的最重要因素。Carter & Easton [5]研究发现, 消费者在管理节能产品供应链中扮演着至关重要的角色, 如果没有有效的绿色消费, 企业内部健康稳定的产品供应链发展是无法完成的。Anton 等[6]对调查数据的分析表明, 消费者的压力是企业建立和发展环境管理系统的主要动力。鞠芳辉等[7]讨论了增加政府补贴对企业实施节能产品战略的影响。优先考虑绿色消费是影响供应链公司实施节能产品供应链战略的一个重要因素。张璐等[8]也指出, 消费者的购买意图是影响企业能源节约型产品开发的首要因素。如果一个企业在需求导向的作用下推出了节约供应链, 才会赢得市场。

近年来,许多学者也运用演化博弈论来研究节能产品供应链中相关实体的合作,以促进节能产品供应链的实施。然而,大多数研究都集中在政府、企业和供应链上下游企业之间的演化博弈,以促进节能产品供应链的实施[9]-[14]。很少有研究从产品消费作为节能产品供应链实施引擎的角度,探讨消费者与供应链之间的内在相关性和演化机制,以促进政府监管机制下节能产品供应链的实施。真正的节能潜力总是受到消费者最终能源反弹的影响,但它不被认为是一个重要的现象。因此,本文构建了政府规制机制下消费者与供应链企业的演化博弈模型,探索双方的演化机制,研究反弹效应对消费者购买行为的影响。在促进政府、企业和消费者之间的积极互动以及促进节能产品供应链的实施方面具有重要的理论和实践意义。

根据上文描述所构建的系统主体交互关系如图1所示。

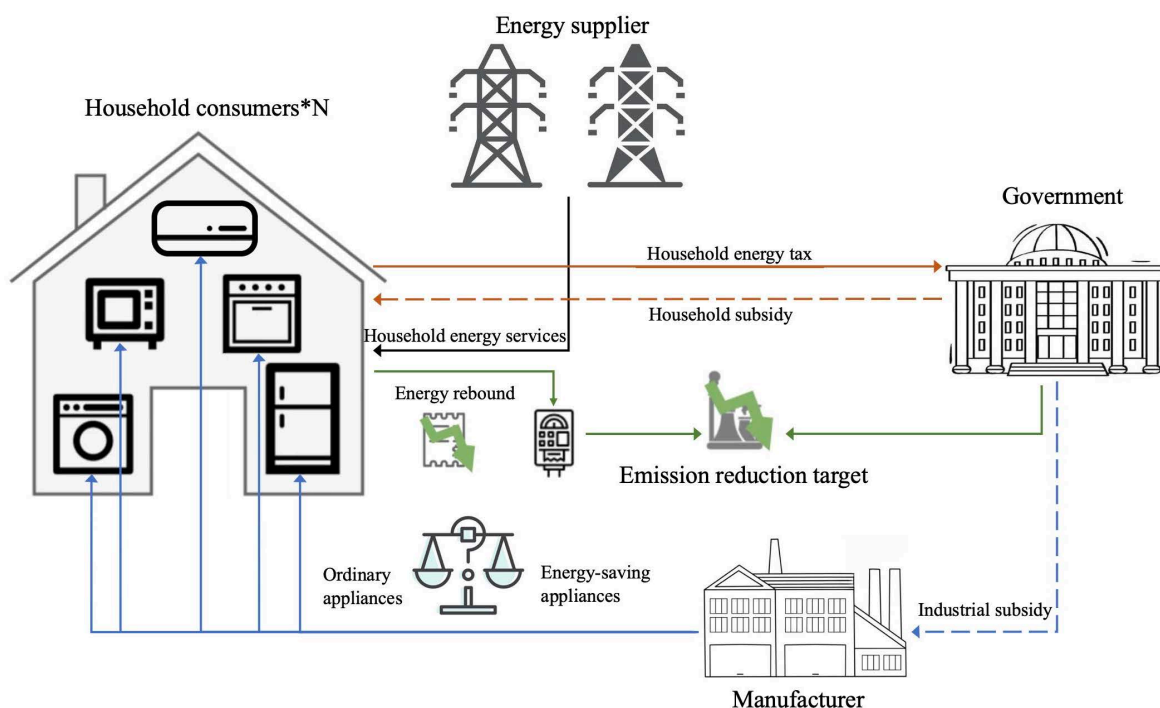


Figure 1. System diagram

图1. 系统图

2. 方法论

2.1. 模型假设和参数设置

核心企业在供应链中占据主导地位,在推动供应链绿色化方面发挥着重要作用。因此,该模型假设涉及两个群体:消费者和核心供应链企业。每次博弈都是随机配对两组,双方都是有限理性的“经济代理人”。而且,博弈双方的信息不完全不对称,无法事先知道对方的策略。通过长期的相互作用,不断调整自己的策略,直到达到演化平衡。在消费者和企业之间的演化博弈过程中产生的所有成本、收益和收益都是可以量化的和积极的。供应链中的核心企业和消费者在博弈过程中各有两种行为可供选择:生产普通产品和生产节能产品,购买普通产品和购买节能产品。

假设 1: π 、 μ 分别表示企业和消费者选择生产普通产品和购买普通产品时的一般收益与效用; k_e 、 k_c 分别表示企业和消费者在生产普通产品和购买普通产品时的成本。

假设 2: $\Delta\pi$ 表示核心企业和消费者生产节能产品所带来的增量效益和额外效益, 以及消费者为节能产品支付更高的价格所造成的管理成本的降低, 以及最终为企业的社会声誉带来的经济和社会效益的增加。与此同时, 企业在生产节能产品(包括生产、设计、物流等)时, 必须考虑到与各种过程相关的额外成本 Δke 。

假设 3: $\Delta\mu$ 代表消费者选择购买节能产品的额外收益, 体现在他们对环境保护的贡献上。与此同时, 选择生产节能产品的企业的额外成本也意味着消费者在购买节能产品时必须支付额外的成本。假设企业选择生产节能产品, 消费者需要支付的额外成本为 Δkc_1 ; 若企业不选择生产节能产品, 消费者需要额外支付 Δkc_2 的费用。由于企业选择生产节能产品, 能够提供更多的节能产品供给, 满足节能产品需求, 由此 $\Delta kc_2 > \Delta kc_1$ 。

假设 4: ω_1 表示消费者使用普通产品所产生的电力消耗量。 ω_2 表示消费者使用节能产品所产生的电力消耗量。 P 为电价。消费者在更换使用节能电器后, 由于反弹效应的存在, 为了满足自身额外需求会延长节能产品的使用时间, 因此 $\omega_2 > \omega_1$ 。

假设 5: Sc 表示政府为刺激消费者购买节能产品而提供的补贴, 以减少碳排放, 促进节能产品的推广。同时对于企业来说, 政府必然会采取监管措施, 促进节能产品的生产, 对生产节能产品的企业给予一定的奖励 Se , 反之, 企业则需要缴纳一定数额的罚款 g 。

设定相关参数及其含义如表 1 所示:

Table 1. Model parameters and their meanings
表 1. 模型参数及含义

参数	含义
π	企业生产普通产品的经济收益
$\Delta\pi$	企业生产节能产品的额外经济收益
ke	企业生产普通产品付出的成本
Δke	企业生产节能产品付出的额外成本
μ	消费者购买普通产品获得的效用
kc	消费者购买普通产品付出的成本
$\Delta\mu$	消费者购买节能产品获得的额外效用
Δkc_1	企业生产节能产品, 消费者购买节能产品付出的额外成本
Δkc_2	企业生产不节能产品, 消费者购买节能产品付出的额外成本
ω_1	消费者使用普通产品所产生的电力消耗量
ω_2	消费者使用节能产品所产生的电力消耗量
Sc	政府对购买节能产品的消费者进行补贴
Se	政府对生产节能产品的企业进行补贴
g	政府对不生产节能产品的企业进行罚款

2.2. 演化博弈支付矩阵及复制动态方程

根据以上的模型假设和参数设置, 构建政府与企业之间演化博弈模型的收益矩阵如表 2 所示。

Table 2. Payment matrix of evolutionary game between consumers and enterprises
表 2. 消费者与企业演化博弈支付矩阵

策略组合	消费者	企业
(A1, B1)	$\mu + \Delta\mu - kc - \Delta kc_1 - \omega_1 * P + Sc$	$\pi + \Delta\pi - ke - \Delta ke + Se$
(A1, B2)	$\mu + \Delta\mu - kc - \Delta kc_2 - \omega_1 * P + Sc$	$\pi - ke - g$
(A2, B1)	$\mu - kc - \omega_2 * P$	$\pi - ke - \Delta ke + Se$
(A2, B2)	$\mu - kc - \omega_2 * P$	$\pi - ke - g$

1) 企业期望分析

a) 企业生产节能产品的期望收益见式(2-1):

$$Ue_1 = x(\pi + \Delta\pi - ke - \Delta ke + Se) + (1-x)(\pi - ke - \Delta ke + Se) \quad (2-1)$$

b) 企业生产普通产品的期望收益见式(2-4):

$$Ue_2 = x(\pi - ke - g) + (1-x)(\pi - ke - g) \quad (2-2)$$

c) 企业的平均期望收益见式(2-5):

$$\bar{U}_e = yUe_1 + (1-y)Ue_2 \quad (2-3)$$

根据演化博弈理论中的复制动态方程, 企业策略选择概率的变化速率见式(2-4):

$$\begin{aligned} F(y) &= \frac{dy}{dt} = y(Ue_1 - \bar{U}_e) = y(1-y)(Ue_1 - Ue_2) \\ &= y(1-y)(x\Delta\pi - \Delta ke + Se + g) \end{aligned} \quad (2-4)$$

当 $x = x^* = \frac{\Delta ke - Se - g}{\Delta\pi}$ 时, $F(y) = 0$ 得到, 这意味着企业是否生产节能产品均是稳定状态。

当 $x^* \neq \frac{\Delta ke - Se - g}{\Delta\pi}$ 时, 令 $F(y) = 0$ 得到, $y = 0$, $y = 1$ 可能是演化稳定点。由复制动态方程稳定性定理知, y 作为稳定策略需要符合 $F(y) = 0$ 且 $F'(y) < 0$ 。

对 $F(y)$ 求导得:

$$F'(y) = \frac{dF(y)}{dy} = (1-2y)(x\Delta\pi - \Delta ke + Se + g) \quad (2-5)$$

① 当 $x < \frac{\Delta ke - Se - g}{\Delta\pi}$ 时, $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} < 0$, $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=1} > 0$ 。故 $y = 0$ 是演化稳定点。

② 当 $x > \frac{\Delta ke - Se - g}{\Delta\pi}$ 时, $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=0} > 0$, $\left. \frac{dF(y)}{dy} \right|_{y=1} < 0$ 。故 $y = 1$ 是演化稳定点。

2) 消费者期望分析

a) 消费者购买节能产品的期望收益见式(2-6):

$$Uc_1 = y(\mu + \Delta\mu - kc - \Delta kc_1 - \omega_1 * P + Sc) + (1-y)(\mu + \Delta\mu - kc - \Delta kc_2 - \omega_2 * P + Sc) \quad (2-6)$$

b) 消费者购买普通产品的期望收益见式(2-7):

$$Uc_2 = y(\mu - kc - \omega_2 * P) + (1-y)(\mu - kc - \omega_2 * P) \quad (2-7)$$

c) 消费者的平均期望收益见式(2-8):

$$\bar{U}_c = xU_{c_1} + (1-x)U_{c_2} \tag{2-8}$$

根据演化博弈理论中的复制动态方程, 消费者策略选择概率的变化速率见式(2-9):

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(U_{c_1} - \bar{U}_c) = x(1-x)(-y\Delta kc_1 - y\omega_1 * P + \Delta u - \Delta kc_2 + Sc + y\Delta kc_2 + y\omega_2 * P) \tag{2-9}$$

当 $y = y^* = \frac{\Delta u - \Delta kc_2 + Sc}{\Delta kc_1 + \omega_1 P - \omega_1 P - \Delta kc_2}$ 时, $F(x) = 0$ 得到, 这意味着消费者是否购买节能产品均是稳定状态。

当 $y \neq \frac{\Delta u - \Delta kc_2 + Sc}{\Delta kc_1 + \omega_1 P - \omega_1 P - \Delta kc_2}$ 时, 令 $F(x) = 0$ 得到, $x = 0$ 或 $x = 1$ 可能是演化稳定点。由复制动态方程稳定性定理知, x 作为稳定策略需要符合 $F(x) = 0$ 且 $F'(x) < 0$ 。

对 $F(x)$ 求导得:

$$F'(x) = \frac{dF(x)}{dx} = (1-2x)(\Delta u - \Delta kc_2 + Sc - y(\Delta kc_1 + \omega_1 P - \omega_2 P - \Delta kc_2)) \tag{2-10}$$

① 当 $y > \frac{\Delta u - \Delta kc_2 + Sc}{\Delta kc_1 + \omega_1 P - \omega_2 P - \Delta kc_2}$ 时, $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=0} < 0$, $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=1} > 0$ 。故 $x = 0$ 是演化稳定点。

② 当 $y < \frac{\Delta u - \Delta kc_2 + Sc}{\Delta kc_1 + \omega_1 P - \omega_2 P - \Delta kc_2}$ 时, $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=0} > 0$, $\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x=1} < 0$ 。故 $x = 1$ 是演化稳定点。

2.3. 企业与消费者博弈均衡性分析

从(2-4)、(2-10)式可以发现, 企业生产决策与消费者购买决策两者之间息息相关, 互相影响。但不能直接确定动态过程中哪个平衡点会倾向。根据 Hirshleifer 的概念, 当从动态平衡点的小域开始的轨迹最终演变成平衡点时, 这个平衡点被称为演化平衡点。下面是基于雅可比矩阵的基于这些平衡点的系统局部稳定性的定性分析。

$$\text{雅可比矩阵 } J = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix}。$$

其中雅可比行列式各元素的值为:

$$\begin{cases} J_{11} = (1-2x)[\Delta u - \Delta kc_2 + Sc - y(\Delta kc_1 + \omega_1 P - \omega_2 P - \Delta kc_2)] \\ J_{12} = -x(1-x)[\Delta kc_1 + \omega_1 P - \omega_2 P - \Delta kc_2] \\ J_{21} = y(1-y)[\Delta \pi] \\ J_{22} = (1-2y)[\Delta \pi x - \Delta ke + Se + g] \end{cases}$$

其中矩阵 J 行列式:

$$\det J = J_{11}J_{22} - J_{12}J_{21}$$

矩阵 J 迹:

$$\text{tr} J = (1-2y)[\Delta \pi x - \Delta ke + Se + g] + (1-2x)[\Delta u - \Delta kc_2 + Sc - y(\Delta kc_1 + \omega_1 P - \omega_2 P - \Delta kc_2)]$$

根据演化博弈论的相关知识, 通过复制动态方程得到的平衡点不一定是系统的最终演化稳定策略。

有必要进一步确认雅可比矩阵中每个平衡点的正负行列式和轨迹符号。只有当雅可比矩阵的行列式 $\det J > 0$ 且迹 $\text{tr} J < 0$ 时, 系统才会逐渐达到稳定状态。将系统的均衡点(0, 0)、(1, 0)、(0, 1)、(1, 1)与 (x^*, y^*) 带入矩阵行列式和迹的表达式中。下面以(0, 0)为例, 讨论系统满足纳什均衡的条件。

得在(0, 0)条件下的雅可比矩阵为
$$\begin{bmatrix} \Delta u - \Delta k c_2 + S c & 0 \\ 0 & -\Delta k e + S e + g \end{bmatrix}。$$

其行列式 $\det J = (\Delta u - \Delta k c_2 + S c)(-\Delta k e + S e + g)$ 。

迹 $\text{tr} J = (-\Delta k e + S e + g) + (\Delta u - \Delta k c_2 + S c)$ 。

若要满足均衡点(0, 0)是系统的演化稳定性策略, 即均衡点(0, 0)的行列式 $\det J > 0$ 且迹 $\text{tr} J < 0$, 只有满足 $\Delta k e > S e + g$ 和 $\Delta k c_2 > \Delta u + S c$ 这一条件时, 系统才会逐渐处于稳定状态。

依次对另外四个点进行分析渐近稳定性。得出结果如表 3 所示。

Table 3. Stability analysis of equilibrium solution of evolutionary game system

表 3. 演化博弈系统均衡解的稳定分析

序号	均衡解	条件	稳定性
1	(0, 0)	$\Delta k e > S e + g$ $\Delta k c_2 > \Delta u + S c$	ESS
2	(0, 1)	$\Delta k e < S e + g$ $\Delta k c_1 + \omega_1 P > \Delta u + S c + \omega_2 P$	ESS
3	(1, 0)	$\Delta k e < S e + g$ $\Delta k c_2 > \Delta u + S c + \Delta \pi$	ESS
4	(1, 1)	$\Delta k c_2 < \Delta u + S c + \Delta \pi$ $\Delta k c_1 + \omega_1 P < \Delta u + S c + \omega_2 P$	ESS
5	(x^*, y^*)	任何情况都不稳定(迹等于零)	鞍点

3. 模型仿真

3.1. 数值仿真

仅从理论角度对模型进行分析和推导, 并不能直观地反映系统中各参数对系统演化稳定性的影响。因此, 本文利用 Matlab 软件对参与主体的战略演化轨迹进行仿真, 表征不同条件下参与主体的初始意图和政府与企业的行为策略, 验证上述理论分析。

数值仿真基础设置如下: 初始时间为 0, 结束时间为 100, 企业采取“生产节能产品”策略的比例从 0 到 1, 间隔为 0.1, 消费者采取“购买节能产品”策略的比例从 0 到 1, 间隔为 0.1。

1) 对均衡点(0, 0)进行数值仿真分析

由表 3 可知, 系统在(0, 0)处时处于渐进稳定的条件是 $\Delta k e > S e + g$ 和 $\Delta k c_2 > \Delta u + S c$ 。基于这一条件进行数值仿真。设 $\pi = 6$, $\Delta \pi = 3$, $P = 0.5$, $k e = 5$, $\Delta k e = 5$, $\mu = 8$, $k c = 7$, $\Delta \mu = 4$, $\Delta k c_1 = 6$, $\Delta k c_2 = 7$, $S e = 2$, $S c = 2$, $g = 1$ 。系统仿真结果如图 2 所示。系统演化的稳定性策略仿真结果如图 2 所示。

消费者在购买节能产品时获得的额外效用和政府补贴的总和低于企业生产节能产品时消费者所支付的额外成本。当核心企业获得的政府补贴和罚款总额低于生产节能产品所投入的额外成本时。消费者不购买节能产品, 企业不生产节能产品。

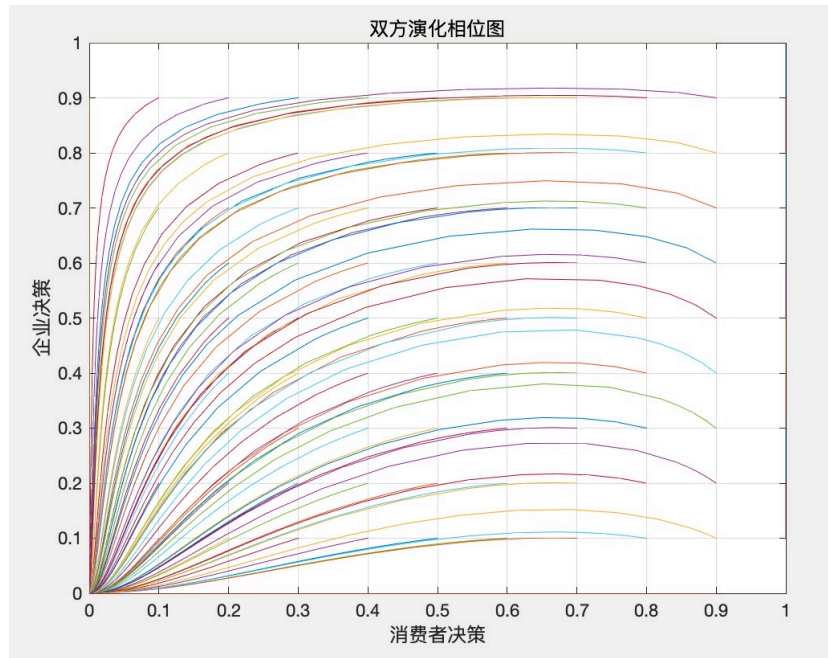


Figure 2. Evolutionary game simulation diagram for equilibrium point (0, 0)
图 2. 对均衡点(0, 0)演化博弈仿真图

2) 对均衡点(0, 1)进行数值仿真分析

由表 3 可知, 系统在(0, 1)处时处于渐进稳定的条件是 $\Delta ke > Se + g$ 和 $\Delta kc_1 + \omega_1 P > \Delta u + Sc + \omega_2 P$ 。基于这一条件进行数值仿真。设 $\pi = 6$, $\Delta\pi = 3$, $P = 0.5$, $ke = 5$, $\Delta ke = 5$, $\mu = 8$, $kc = 7$, $\Delta\mu = 4$, $\Delta kc_1 = 6$, $\Delta kc_2 = 7$, $Se = 2$, $Sc = 2$, $g = 4$ 。系统仿真结果如图 3 所示。系统演化的稳定性策略仿真结果如图 3。

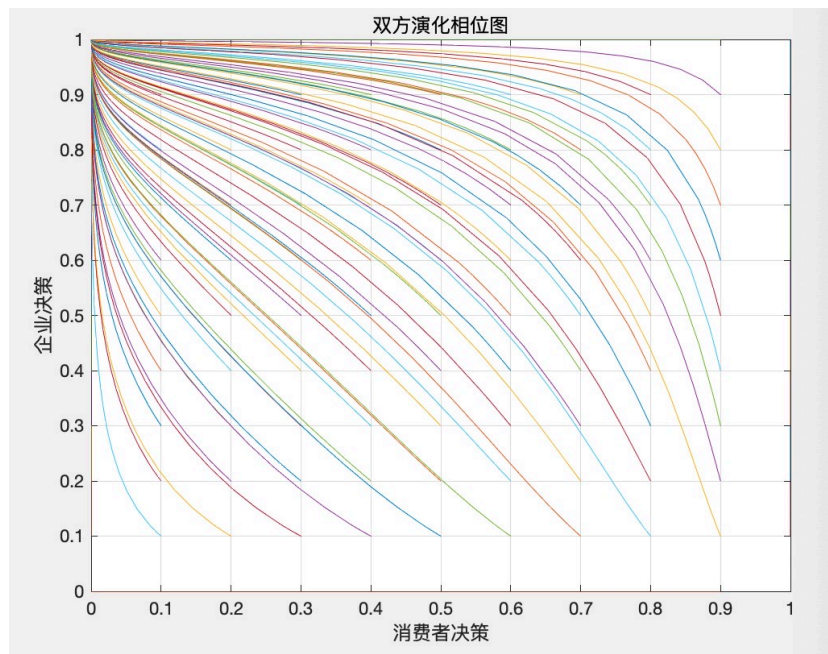


Figure 3. Evolutionary game simulation diagram for equilibrium point (0, 1)
图 3. 对均衡点(0, 1)演化博弈仿真图

当消费者购买节能产品时获得的额外效用和消费者补贴的总和低于企业生产节能产品时消费者消费节能产品所支付的额外成本, 而核心企业收到的政府补贴和罚款的总和高于生产节能产品所投入的额外成本时, 生产节能产品所获得的额外收益大于额外成本与政府补贴和处罚之和的差额, 消费者不购买节能产品, 核心企业选择生产节能产品。

3) 对均衡点(1, 0)进行数值仿真分析

由表 3 可知, 系统在(1, 0)处时处于渐进稳定的条件是 $\Delta ke > Se + g$ 和 $\Delta kc_2 > \Delta u + Sc + \Delta \pi$ 。基于这一条件进行数值仿真。设 $\pi = 6$, $\Delta \pi = 1$, $P = 0.5$, $ke = 5$, $\Delta ke = 5$, $\mu = 8$, $kc = 7$, $\Delta \mu = 6$, $\Delta kc_1 = 6$, $\Delta kc_2 = 7$, $Se = 2$, $Sc = 4$, $g = 1$ 。系统仿真结果如图 4 所示。系统演化的稳定性策略仿真结果如图 4。

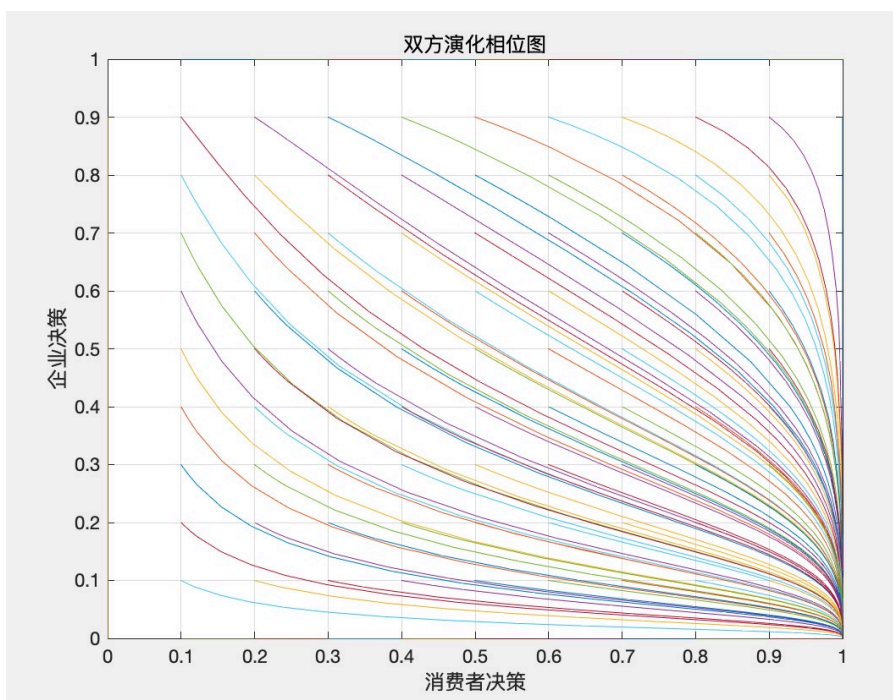


Figure 4. Evolutionary game simulation diagram for equilibrium point (1, 0)
图 4. 对均衡点(1, 0)演化博弈仿真图

当消费者在购买节能产品时获得的额外效用和绿色补贴总和高于消费者在企业不生产节能产品时支付的额外成本时, 核心企业获得的政府补贴和罚款总和低于生产节能产品所投入的额外成本; 而生产节能产品所获得的额外收益低于额外成本与政府补贴和处罚之和的差额, 消费者购买节能产品, 核心企业选择不生产节能产品。

消费者对生态环境和节能产品有足够的重视, 节能消费意识较强。积极寻求节能产品, 实现绿色消费。然而, 即使政府对节能产品的生产给予一定的激励和支持, 核心企业也无法获得超额收益。虽然购买节能产品已成为消费者的主流选择, 但核心企业的自然追求利润的性质使其放弃生产节能产品, 在这种情况下, 市场最终将陷入节能需求脱节而无节能供应的状态。

4) 对均衡点(1, 1)进行数值仿真分析

由表 3 可知, 系统在(1, 1)处时处于渐进稳定的条件是 $\Delta kc_2 < \Delta u + Sc + \Delta \pi$ 和 $\Delta kc_1 + \omega_1 P < \Delta u + Sc + \omega_2 P$ 。基于这一条件进行数值仿真。设 $\pi = 6$, $\Delta \pi = 3$, $P = 0.5$, $ke = 5$, $\Delta ke = 5$, $\mu = 8$, $kc = 7$, $\Delta \mu = 6$, $\Delta kc_1 = 6$, $\Delta kc_2 = 7$, $Se = 2$, $Sc = 5$, $g = 3$ 。系统仿真结果如图 5 所示。系统演化的稳定性策略仿真结果如图 5。

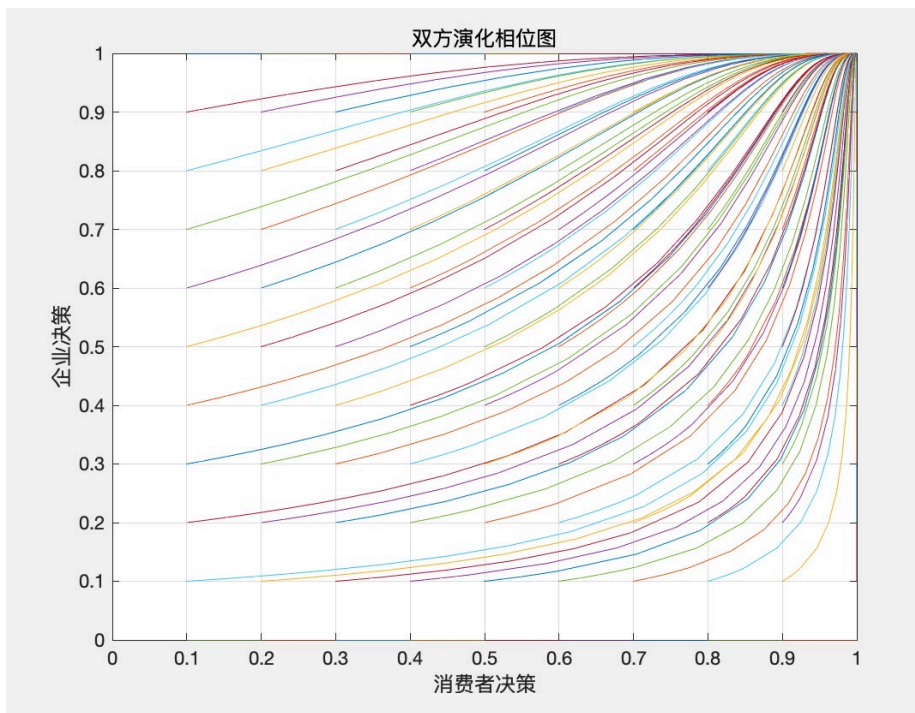


Figure 5. Evolutionary game simulation diagram for equilibrium point (1, 1)
 图 5. 对均衡点(1, 1)演化博弈仿真图

消费者与政府都具有很强的环保意识。在政府强有力的环境激励措施下，消费者也愿意为节能产品支付比普通产品更高的价格。此外，核心企业已经从消费节能产品、政府奖励和惩罚中获得了超额利润，并准备增加对节能产品生产的投资。从而达到节能产品消费市场和节能产品生产正向激励循环的理想状态。

3.2. 主要参数对稳定策略的影响

3.2.1. 政府实施消费者补贴 Sc 对演化策略影响

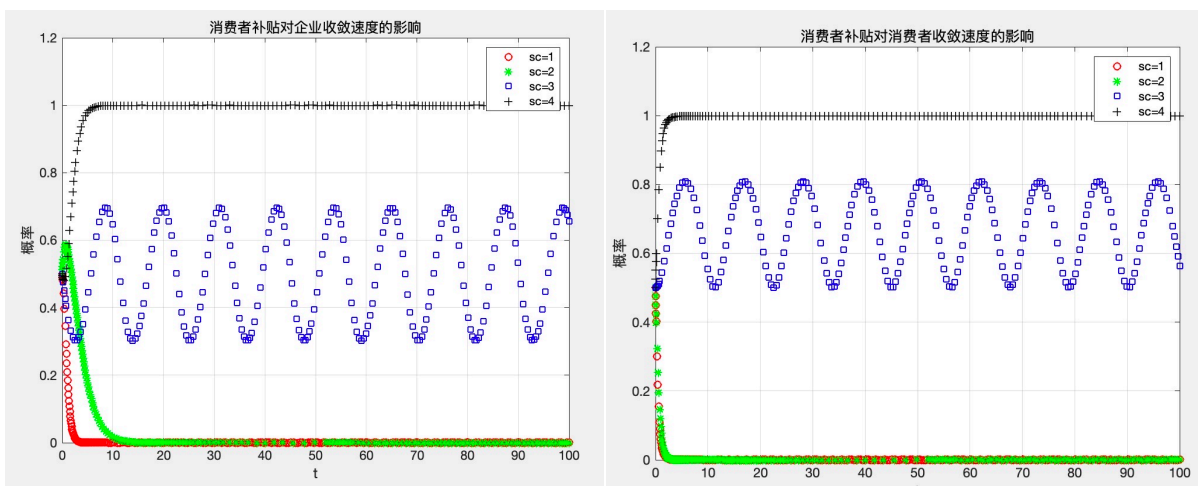


Figure 6. Evolutionary game simulation diagram of the impact of Sc changes on corporate and consumer decision making
 图 6. Sc 变化对企业与消费者决策影响的演化博弈仿真图

图6为在双方演化博弈仿真结果为(0, 0)的基础上, 模拟政府实施消费者补贴变化对企业与消费者决策影响的演化博弈。原 S_c 为2。实验将减小消费者补贴 S_c 为1, 以及增加到3与4, 其他变量保持不变, 利用Matlab仿真结果如图所示。将不同的补贴数额对比可以发现, 当消费者补贴降低到1时, 企业与消费者演化到不购买不生产节能产品策略的速率变快。随着 S_c 的增加到3, 消费者与企业的决策处于不稳定状态。而当消费者补贴 S_c 继续增大为4时, 消费者与企业均改变了其决策。仿真结果表明即使消费者与企业即使在初始状态时购买与生产节能产品的意愿较小, 但如果消费者获得的补贴不断增加, 即购买成本不断降低, 企业也会受到市场需求的影响, 在对企业政策不变的前提下, 也逐渐会更加倾向于选择生产节能。

3.2.2. 反弹效应 Re 对演化策略影响

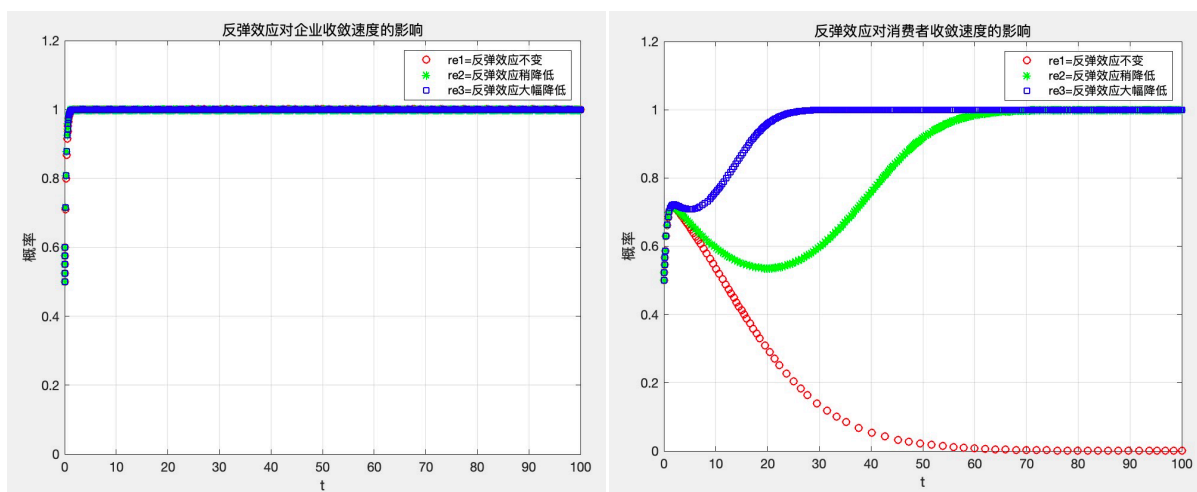


Figure 7. Evolutionary game simulation diagram of the influence of Re changes on corporate and consumer decision making

图7. Re 变化对企业与消费者决策影响的演化博弈仿真图

图7为模拟在双方演化博弈仿真结果为(0, 1)的基础上, 模拟反弹效应对演化策略影响。分析三种情形: 反弹效应不变, 随时间逐渐减小1与反弹效应最终趋近于0, 其他变量保持不变, 利用Matlab仿真结果如图所示。将不同的反弹值变化对比可以发现, 在不改变其余任何变量的情况下, 反弹值稍降也会极大影响消费者未来的消费决策。并且当反弹值大幅降低即在 t 时间末尾趋近于0, 会加快消费者购买节能产品的决策的速度。仿真结果表明即使消费者在初始状态时购买节能产品的意愿较小, 但随着反弹效应的降低, 能源使用成本的下降与自身额外的电器使用需求获得更优的平衡, 消费者倾向于购买与使用节能产品。改变政府对环保的补贴和罚款总额高于核心企业的追加投入的现状, 导致核心企业即使因为盈利能力无法实现超额利润, 也会生产节能产品。改善节能产品市场无需求但节能产品生产与供应脱节的非良性状态。

图8展示了考虑到节能产品在实施推广一段时间后, 政府需要逐步消减或取消对节能产品的补贴。实验进行了更深一步的研究。以反弹效应不变以及反弹效应稍降低作对比, 政府对企业的补贴以2为基准逐步下调。当反弹效应不变时, 政府补贴的下调会使得平衡点动荡, 企业与消费者始终处于博弈之中, 双方无法达到彼此的利益均衡点。但当反弹效应出现稍降, 政府补贴的逐步下调会使得双方决策更加稳定, 消费者购买节能产品的意愿增强, 双方更早的达到平衡。

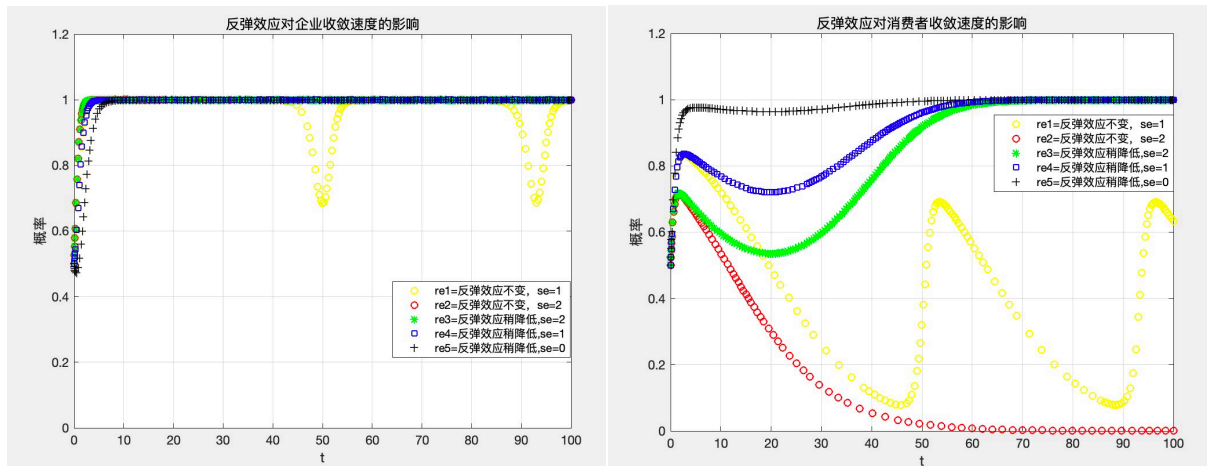


Figure 8. Evolutionary game simulation diagram of the impact of government subsidy phasing out on corporate and consumer decision making when Re is slightly reduced

图 8. Re 稍降低情况下, 政府补贴逐步退出对企业与消费者决策影响的演化博弈仿真图

3.2.3. 政府补贴与反弹效应的平衡对于对演化策略影响

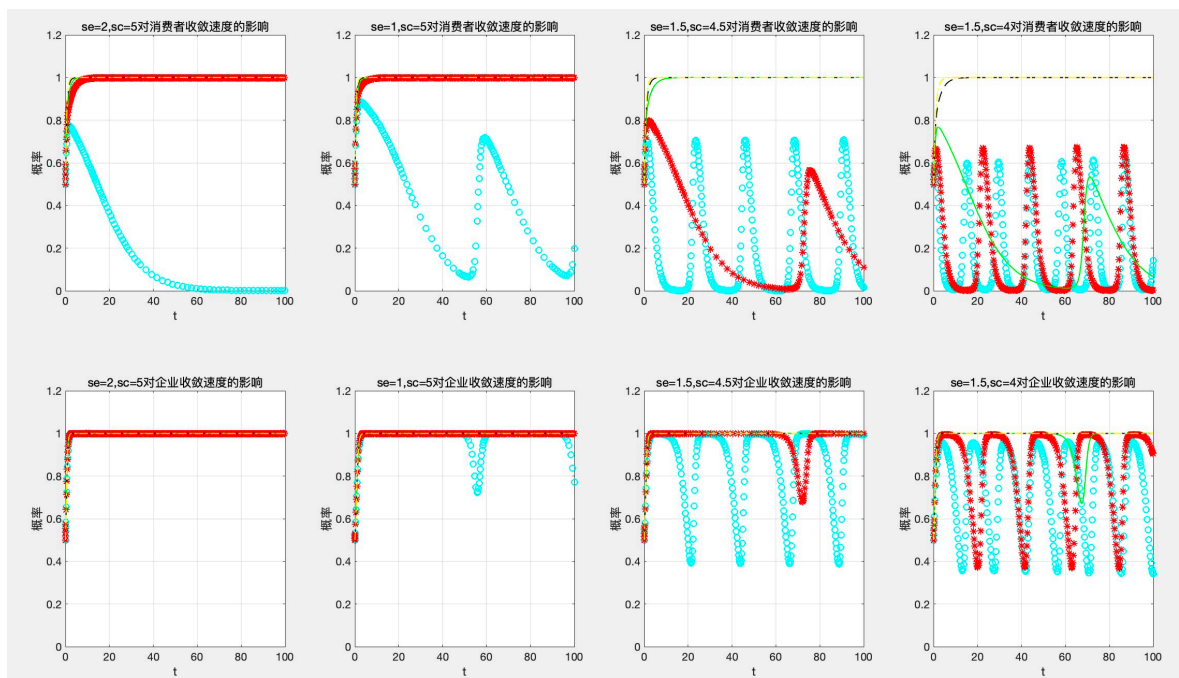


Figure 9. Evolutionary game simulation diagram of the influence of the balance of government subsidy and rebound effect on decision-making of both sides

图 9. 政府补贴与反弹效应的平衡对双方决策影响的演化博弈仿真图

图 9 中第一个为对照组, 以(1, 1)原数据作为基准, 不改变政府补贴(消费者补贴 5, 企业补贴 5)来观察反弹效应下降如何影响双方决策, 同时蓝线为比稳定状态(1, 1)时, 设置反弹效应略高作为参照组。第二组将不降低消费者补贴, 企业补贴降低 1。第三组将消费者补贴降低 0.5, 企业补贴降低 0.5。第四组则将消费者补贴降低 1, 企业补贴降低 0.5。

对比第二组与第三组实验发现相较于消费者而言, 企业对于补贴的削减接收度更高。当政府需要对

补贴政策进行收缩时, 在同样的补贴削减下, 对于消费者的补贴缩减会使得市场更加动荡。消费者作为产品的买方, 对于价格的敏感性更强。在对消费者进行补贴缩减时, 更低的反弹效应出现, 才会让市场趋于稳定。即政府在进行补贴政策的重新规划时更需要增强消费者绿色节能意识, 才会让政策的实施具有稳定性。当政府在对消费者与企业的补贴消减过快时, 市场会处在持续的动荡之中。而反弹效应趋于 0, 即理想状态下消费者具有极强的绿色消费节能意识, 才会让企业因产品得以售出有既得利益, 市场才重新回到平衡。

3.2.4. 不同经济市场对演化策略影响

为了更好的研究在不同的经济市场中价格上涨是如何影响消费者与企业决策, 在此处重新引入需求的价格弹性进行描述与计算。增加的模型参数如表 4 所示:

Table 4. Model parameters and their meanings (supplementary)

表 4. 模型参数及含义(补充)

参数	含义
Q	节能产品预期销售量
Q_r	节能产品实际销售量
ed	节能产品的需求价格弹性
kd	节能产品实际价格与基础价格之间的差额

节能产品的实际销售量为:

$$Q_r = Q - ed * kd \tag{3-1}$$

在当实际价格比基础价格高时, 差额越大买的越少, 复合基本市场趋势。

将模型中的 $\Delta\mu$ 不再设定为常值, 而是更改为

$$\Delta\mu = Q_r * (\mu - ke - \Delta ke) \tag{3-2}$$

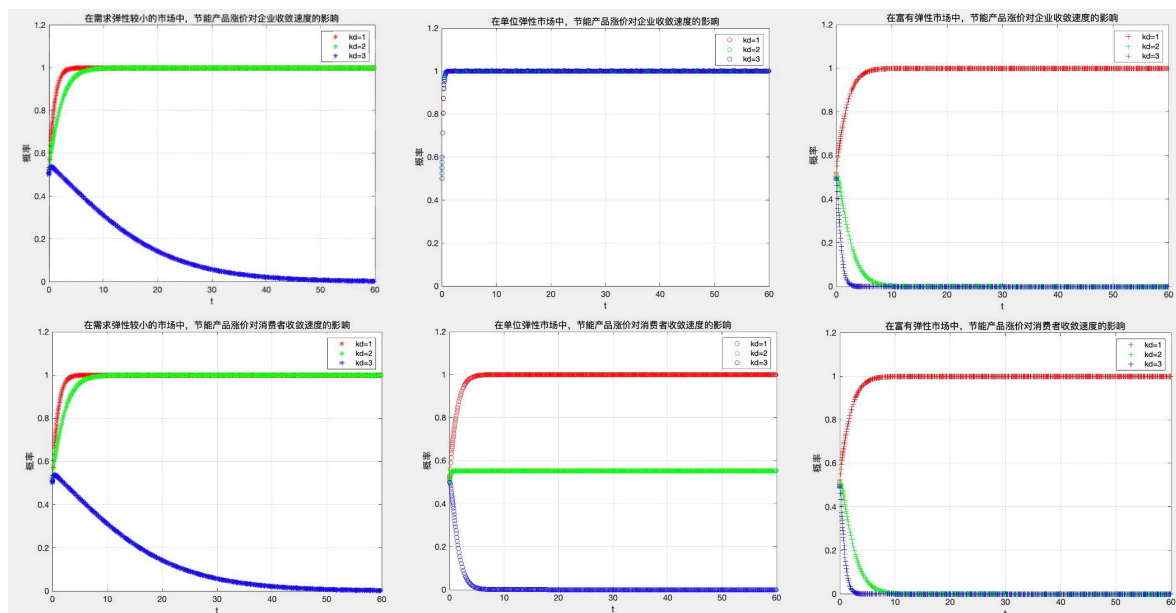


Figure 10. Evolutionary game simulation of the influence of different economic markets on corporate and consumer decision making

图 10. 不同经济市场对企业与消费者决策影响的演化博弈仿真图

图 10 在双方演化博弈仿真结果为(1, 1)的基础上, 加入新增加变量与计算公式进行仿真实验。已验证目标函数依然回归并且企业与消费者双方最终决策仍然是生产节能产品与购买节能产品。将需求的价格弹性分别赋值 0.7、1 和 1.3, 代表需求价格弹性较小、单位需求价格弹性和需求富有弹性。分别做三组实验, 将节能产品实际价格与基础价格之间的差额逐渐从 1 升高到 3, 其他变量保持不变, 利用 Matlab 仿真结果如图所示。在三个不同的经济市场中, 当节能产品实际价格与基础价格之间的差额仅增加为 1 时, 双方都没有改变了自己的决策。而增加到 2 时, 单位弹性市场消费者决策变得犹豫不稳定, 而富有弹性市场中消费者不再选择购买节能产品, 从而影响到企业也不再有利可图, 转向生产普通产品。当差额增加到 3, 所有市场的消费者都因效益的降低不再购买节能产品。但无论节能产品的价格如何上涨, 都不会影响到单位弹性市场中企业的生产决策。

4. 结论与政策建议

本文运用演化博弈论的思想和方法, 构建了消费者和节能家电制造商两类群体的演化博弈模型, 并对其行为策略的演化稳定性进行了深入分析。

就补贴对象而言, 结合演化博弈的仿真结果来看, 当政府仅对消费者与企业提供一定的补贴金额时, 企业可能会因为罚金过重改变生产策略, 选择生产节能产品, 但消费者始终倾向选择不购买节能产品, 补贴政策没有起到激励效果, 高能效节能产品没有在市场上得到有效推广。仿真结果显示即使消费者与企业初始状态时购买与生产节能产品的意愿较小, 但如果消费者获得的补贴不断增加, 即购买成本不断降低, 企业也会受到市场需求的影响, 在对企业政策不变的前提下, 也逐渐会更加倾向于选择生产节能产品。这表明当政府提供一定的补贴额度时, 直接补贴给消费者会比直接补贴给企业更加有效率。可能因为消费者对于政府财政补贴的敏感度更高, 同时对于消费者来说购买节能产品考虑更多的是自身的实际需求, 而不会只因为政府补贴节能产品而增加购买。

而对于补贴力度, 通过仿真结果发现补贴金额较低, 则起不到应有的激励作用, 使补贴政策流于形式; 但是政府补贴的力度也并非越大越好, 在一定范围内随着补贴额度的增加, 节能企业和消费者变化呈线性增长, 有助于高能效产品的推广, 但随着补贴金额和节能产品市场占有率的增大, 加重了政府的财政负担, 同时也会使企业过于依赖财政补贴而不注重创新发展增强企业自身的核心竞争力, 消费市场的需求也会被超前开发, 不利于高能效节能产品推广的可持续发展。因此, 政府节能补贴政策存在补贴效率最大点, 在制定节能补贴政策时, 应充分根据地方实际情况, 合理确定补贴金额, 充分发挥节能产品补贴资金的最大效率。

研究发现当环境责任和政府补贴所激发的消费者节能消费意识能够促进购买节能家电的需求时, 再结合有效的政府调控机制, 传导到节能家电制造商, 促使其获取超额利润, 从而实现消费者与核心企业在节能行为上的协同。最终达到节能电器供给与节能电器需求的稳定均衡发展。

基于以上结论, 如何提高消费者节能消费意识和节能电器制造商生产节能电器的超额收益是实现真正低碳减排的重要基础, 为此本文提出以下对策建议。

1) 完善节能补贴政策的进入和退出机制

当初始状态节能产品生产的企业和购买的消费者百分比比较低时, 代表在早期高能效节能产品没有在企业与消费者中间有效扩散, 这时政府仅仅依靠采取补贴策略也无法使高能效产品得到有效推广。在这种情况下, 政府应当针对性的采取多种措施促进高能效产品推广, 比如可以利用媒体推广等方式宣传造势, 增强企业和消费者对于节能产品的认同感。在此基础上, 利用银行贷款或者降低税收等政策给予企业优惠福利刺激企业采取生产节能产品的策略。同时, 提高高能耗产品的税率, 使消费者购买节能产品比购买普通产品可以得到的收益更多, 提高购买节能产品的积极性。当能效市场中节能产品已经广泛地

被企业生产和消费者购买的情况下, 政府的节能产品补贴政策应该及时退出市场避免造成财政资源的浪费。完善节能产品补贴政策的退出机制, 充分发挥市场的作用。政府补贴退出市场不仅有利于减小财政负担, 更有助于调动企业自身的活力, 降低企业对补贴政策的依赖性, 激发自身的创新潜力。

2) 明确政策制定的针对性和有效性

政府作为节能补贴政策制定和实施主体, 应根据实际情况有针对性地确定节能补贴的对象和补贴的金额。一方面, 本研究发现政策将财政资金直接补贴给企业比直接补贴给消费者更加有效率。因此, 政府可以通过合理确定补贴对象, 充分发挥补贴资金的最大效率。另一方面, 演化博弈分析结果及仿真验证的结果表明虽然在一定范围内增加补贴额度, 有助于高能效节能产品的推广, 但是越来越高的补贴也加重政府的财政负担, 不利于可持续发展。

参考文献

- [1] Liu, J., Sun, X., Lu, B., Zhang, Y. and Sun, R. (2016) The Life Cycle Rebound Effect of Air-Conditioner Consumption in China. *Applied Energy*, **184**, 1026-1032. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.100>
- [2] Jenkins, J., Nordhaus, T. and Shellenberger, M. (2011) Energy Emergence: Rebound and Backfire as Emergent Phenomena. Breakthrough Institute, Oakland.
- [3] Jeremy, H. (2000) Environmental Supply Chain Dynamics. *Journal of Cleaner Production*, **8**, 455-471. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(00\)00013-5](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(00)00013-5)
- [4] Doonan, J., Lanoie, P. and Laplante, B. (2005) Determinants of Environmental Performance in the Canadian Pulp and Paper Industry: An Assessment from Inside the Industry. *Ecological Economics*, **55**, 73-84. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.10.017>
- [5] Carter, C.R. and Easton, P.L. (2011) Evolution and Future Journal of Distribution & Logistics Management. *Sustainable Supply Chain Management*, **4**, 46-62. <https://doi.org/10.1108/09600031111101420>
- [6] Anton, W.R.Q., Deltas, G. and Khanna, M. (2004) Incentives for Environmental Self-Regulation and Implications for Environmental Performance. *Journal of Environmental Economics and Management*, **48**, 632-654. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2003.06.003>
- [7] 鞠芳辉, 谢子远, 宝贡敏. 企业社会责任的实现——基于消费者选择的分析[J]. 中国工业经济, 2005(9): 91-98.
- [8] 张露, 帅传敏, 刘洋. 消费者绿色消费行为的心理归因及干预策略分析——基于计划行为理论与情境实验数据的实证研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2013(5): 49-55, 139.
- [9] 李友东, 赵道致, 夏良杰. 低碳供应链环境下政府和核心企业的演化博弈模型[J]. 统计与决策, 2013(20): 38-41.
- [10] 李媛, 赵道致. 低碳供应链中政府监管企业减排的演化博弈模型[J]. 天津大学学报(社会科学版), 2013(3): 193-197.
- [11] 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(S1): 27-30.
- [12] Zhu, Q.H. and Dou, Y.J. (2007) Evolutionary Game Model between Governments and Core Enterprises in Greening Supply Chains. *Systems Engineering-Theory and Practice*, **27**, 85-89. [https://doi.org/10.1016/S1874-8651\(08\)60075-7](https://doi.org/10.1016/S1874-8651(08)60075-7)
- [13] Barari, S., Agarwal, G., Zhang, W.J.C., et al. (2012) A Decision Framework for the Analysis of Green Supply Chain Contracts: An Evolutionary Game Approach. *Expert Systems with Applications*, **39**, 2965-2976. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.08.158>
- [14] 付秋芳, 忻莉燕, 马士华. 惩罚机制下供应链企业碳减排投入的演化博弈[J]. 管理科学学报, 2016(4): 56-70.