

公平偏好下低碳供应链企业博弈及其仿真研究

范如国, 沈文英

摘要: 基于经典博弈和行为博弈理论建立博弈模型, 以供应链上低碳企业无公平偏好为参照, 对比研究了低碳企业具有公平偏好时, 消费者低碳产品购买倾向和政府补贴对供应链企业决策的影响。分析结果表明: 低碳企业的总体效用受其公平偏好的影响较大, 在不同的政府补贴水平或消费者低碳产品购买倾向下, 其不公平厌恶程度对自身效用的影响也有显著差异; 当某一行业低碳产品处于起步阶段时, 如果政府补贴不足, 那么低碳企业的总体效用将会随着其不公平厌恶程度的增大而愈发减少, 将不利于低碳企业的长期发展。

关键词: 低碳经济; 公平偏好; 购买倾向; 政府补贴; 行为博弈

中图分类号: F274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2017)05-0018-14

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.2017.05.003

一、引言

低碳经济的发展依赖于产业结构的转型升级, 经济增长方式的转变也有赖于产业结构的调整与优化, 作为产业发展的基本单元集合, 供应链的低碳化面临着更高的要求。近年来, 中国传统的供应链企业已开始逐步向低碳化过渡, 涌现出了一大批以生产低碳产品为主的制造商。但由于中国尚处在低碳转型的过程中, 对于低碳产品生产企业而言, 扩大低碳生产规模、实现长期稳定的低碳发展还存在许多障碍。为解决供应链上低碳企业的发展困境, 政府会采取一系列补贴措施改善低碳企业的创新环境, 对供应链低碳化进行激励, 从而引导供应链企业不断进行低碳化转型。与此同时, 随着社会的转型与不断进步, 公平越来越成为人们的常态要求。行为科学研究发现, 公平偏好会对行为主体的决策产生较大影响, 具有公平偏好的行为主体会选取一定的比较对象来衡量自身所获得收益的公平程度^[1]。目前公平偏好已被广泛地应用于企业管理、市场营销等领域的研究之中, 但在供应链竞争与管理方面的研究还非常少, 实践证明, 公平偏好对供应链上企业的决策博弈及供应链效率有着重要的影响^{[2][3][4]}。因此, 如何建立一个综合考虑消费者低碳产品购买倾向、政府补贴和低碳企业公平偏好等多重因素的供应链决策博弈模型, 研究博弈各方决策行为的科学性与合理性, 对低碳企业的长期稳定发展和供应链的低碳化具有重要的理论与实践价值。

目前, 关于供应链企业低碳化发展以及政府低碳补贴的相关研究已经有很多。Lee^[5]研究发现

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“全面深化改革视阈下社会治理体制与机制创新研究”(14ZDA062); 国家自然科学基金项目“基于异质性主体行为的产业集群低碳化模型及其仿真研究”(71271159); 教育部人文社会科学研究专项课题“我国高等工程教育布局与产业发展协同对接的主要障碍、系统性机制及发展模式研究”(14JDGC012); 国家自然科学基金青年项目“基于多主体仿真模型的碳排放权交易政策效果研究”(71601148)

作者简介: 范如国, 武汉大学经济与管理学院教授、博士生导师(湖北 武汉 430072); 沈文英, 武汉大学经济与管理学院硕士研究生

如果政府没有以补贴和惩罚的形式进行干预, 制造商的利润实际上可能会下降; Benjaafar 等^[6]将传统供应链决策变量与碳足迹参数结合起来, 使得传统的决策模型能够同时满足供应链成本和碳排放的要求; 张国兴等^[7]构建了节能减排补贴背景下的企业与政府补贴信号博弈模型, 对两方策略的选择机制及影响因素进行了研究; Zhang 等^[8]以生物燃料供应链为例, 探讨了不同的政府补贴方式对供应链企业利润的影响; 朱庆华等^[9]等研究发现政府补贴给低碳产品生产企业比政府直接补贴给购买低碳产品的消费者更有利于低碳企业的长期发展; Raz 等^[10]分析了政府通过折扣和补贴来协调制造商定价和供应的能力, 并以电动车行业数据进行了数值分析; 徐朗等^[11]分析了政府补贴与碳税对高碳产品和低碳产品制造商决策的影响, 发现政府综合考虑补贴和碳税政策要比单纯使用其中一种政策效果好。

从上述研究中不难发现, 当前关于供应链企业低碳化发展以及政府低碳补贴方面研究多将决策者视为完全理性, 以行为主体效用最大化为目标进行相关的数理分析。然而行为科学研究表明, 现实群体中的成员是有限理性且自利的, 个体的公平感知会影响其决策行为, 决策者不仅关注自身收益, 还会关注收益在群体中的分配是否公平, 即群体中的个体具有公平偏好。Camerer 等^[1]研究发现, 行为主体的公平偏好普遍存在, 而且在公平偏好影响下, 行为主体的决策会与完全理性下的决策存在很大差异, 进而对社会经济活动产生广泛影响; Urda 等^[12]研究发现, 当员工感受到不公平对待时, 甚至可能使组织给予的正向激励失效。近年来, 公平偏好作为行为博弈中的重要心理因素, 越来越多地被考虑进供应链契约协调、最优决策等问题的研究中, 如王勇等^[2]通过建立公平偏好效用函数分析了不同偏好对供应链均衡策略的影响, 并发现公平偏好程度越大, 对供应链企业效用的影响越明显; Katok 等^[13]在实验设计中将不公平厌恶、有限理性和不完全信息纳入研究框架深入研究了供应链渠道协调问题, 发现零售商不公平厌恶的不完全信息对供应商行为的解释力度最强; 李媛等^[3]考虑供应链低碳化背景, 讨论了零售商具有公平偏好时批发价格契约、收益共享契约和回购契约对供应链协调的影响, 发现公平偏好不影响零售商最优决策, 但会影响零售商效用及供应链的整体效用; Voigt 等^[14]研究发现供应商可以设计一个考虑代理人不利的不公平厌恶的行为鲁棒契约, 从而限制在代理人表现出不利的不公平厌恶而非严格追求利润最大化情况下导致的无效率损失; Zhou 等^[15]在政府的节能减排政策和消费者低碳优惠背景下探讨了零售商的公平偏好对低碳供应链绩效的影响, 发现在某些情况下零售商的公平偏好将改变供应链企业间的广告合作与减排成本分摊的协调; Qin 等^[4]通过 H-C 实验研究了公平因素对供应链决策的影响, 并证明了有限理性会降低供应链整体利润, 但不改变供应商和零售商之间的分配。

综合以上研究发现, 不同供应链主体及不同程度的公平偏好将会对供应链各主体决策行为产生不同程度的影响, 并进一步影响供应链整体绩效或效用。但当前文献或考虑政府补贴、消费者购买倾向对供应链企业低碳化发展的影响, 或考虑公平偏好对供应链决策的影响, 将低碳产品供应商公平偏好因素考虑在政府补贴、消费者购买倾向对供应链企业低碳化发展影响的过程中的研究相对较少。本文将公平偏好引入博弈模型, 考虑低碳企业在有、无公平偏好两种情形下, 消费者购买倾向变化对供应链上各企业决策的影响, 以及政府的不同补贴策略对供应链上各类企业影响的差异程度。通过分析, 为供应链低碳企业长期稳定发展以及政府有效激励企业进行低碳生产提供理论支持。

二、博弈模型分析

Bertrand 博弈的核心是销量是由价格决定的, 在此博弈中, 具有价格优势的企业将会占据较大的市场份额; Stackelberg 博弈中竞争市场的参与者之间存在主从之分, 主导者率先确定策略选择, 跟随者根据主导者的选择再进行决策。本文主要将市场中的产品假定为两类, 即普通产品和低碳产

品。所谓普通产品,即按照企业的传统生产工艺,且生产过程会对环境造成一定负面影响的产品,生产该类型产品的企业即为普通企业;所谓低碳产品,即与普通产品在功能上具有替代性,但通过技术研发、新型生产设备引进或生产过程革新等手段后,生产过程对环境造成的影响显著性降低的产品,生产该类型产品的企业即为低碳企业。在普通产品与低碳产品制造商共存的供应链中,由于低碳产品的生产依赖于技术研发、新型生产设备或生产过程等的成本投入,与普通产品相比其市场价格更高,因此普通产品制造商往往更具有价格优势,普通产品与低碳产品制造商主要围绕产品价格进行博弈;且在不完全竞争的市场中,制造商往往占据主导地位。本文基于两个制造商(普通产品制造商 M_1 , 简称普通企业;低碳产品制造商 M_2 , 简称低碳企业)和一个零售商(R)的二级供应链系统组成博弈主体,构造两个制造商之间的 Bertrand 博弈模型,以及零售商 R、普通企业 M_1 和低碳企业 M_2 之间的 Stackelberg 博弈模型。供应链中各企业间的博弈过程分为两个阶段:第一阶段,普通企业 M_1 和低碳企业 M_2 作为主导者在批发市场进行价格竞争,率先确定各自的产品批发价格;第二阶段,零售商 R 作为追随者,根据自身利益最大化要求,根据市场需求确定既定批发价格下普通产品和低碳产品的零售价格。在博弈过程中,政府以对低碳企业进行低碳产品补贴的方式参与进来。

假设市场上普通产品和低碳产品的零售价格分别为 p_1 、 p_2 , 消费者依据自身的普通产品购买倾向 δ 选择产品,市场需求分别为 q_1 、 q_2 ; 设需求函数如下: $p_1 = \delta(1 - q_2 - q_1)$, $p_2 = 1 - q_2 - \delta q_1$, 进而得到其需求反函数为 $q_1 = \frac{\delta p_2 - p_1}{\delta(1 - \delta)}$, $q_2 = \frac{1 - \delta + p_1 - p_2}{1 - \delta}$, 由此可知低碳产品需求量与消费者低碳产品购买倾向为非线性关系,该需求函数已广泛运用于相关的供应链研究中^{[9][16]}。不考虑零售商自身对产品的偏好,零售商根据市场需求从制造商处批发产品,批发价格分别为 ω_1 、 ω_2 , 所有产品都能全部卖出。政府对低碳企业按每单位低碳产品提供补贴 r , 对普通企业不提供补贴。为简化计算,假设普通产品生产成本为 0, 低碳产品生产成本为 c , $0 < r < c$ 。

(一) 供应链上低碳企业无公平偏好时博弈模型分析

根据上文的博弈过程及相关假设可知,当低碳企业 M_2 无公平偏好时,普通企业 M_1 的单位产品利润为 ω'_1 , M_2 的单位产品利润为 $\omega'_2 - c + r$, 零售商 R 销售两种产品的利润分别为 $p'_1 - \omega'_1$ 和 $p'_2 - \omega'_2$ 。由于当低碳企业没有公平偏好时,各企业的利润即为总体效用,故可得当 M_2 为公平中性时各企业的总体效用函数为:

$$u(\pi'_1) = \omega'_1 q'_1 \quad (1)$$

$$u(\pi'_2) = (\omega'_2 - c + r) q'_2 \quad (2)$$

$$u(\pi'_R) = (p'_1 - \omega'_1) q'_1 + (p'_2 - \omega'_2) q'_2 \quad (3)$$

下面采用逆推归纳法对模型 (1) — (3) 进行求解:

将需求反函数代入 (3) 中,并关于 p_1 、 p_2 求一阶偏导有:

$$\frac{\partial u(\pi'_R)}{\partial p_1} = \frac{2p'_1 - 2\delta p'_2 - \omega'_1 + \delta\omega'_2}{\delta(1 - \delta)}, \frac{\partial u(\pi'_R)}{\partial p_2} = \frac{2p'_2 - 2p'_1 + \omega'_1 - \omega'_2 + \delta - 1}{1 - \delta} \quad (4)$$

令其一阶偏导为 0, 可求得:

$$p'^*_1 = \frac{\omega'_1 + \delta}{2}, p'^*_2 = \frac{\omega'_2 + 1}{2} \quad (5)$$

$$q'^*_1 = \frac{\delta\omega'_2 - \omega'_1}{2\delta(1 - \delta)}, q'^*_2 = \frac{\omega'_1 - \omega'_2 + 1 - \delta}{2(1 - \delta)} \quad (6)$$

将 (5)、(6) 分别代入 (1)、(2) 中,求一阶偏导并令其为 0, 解得:

$$\omega'^*_1 = \frac{\delta(1 - \delta + c - r)}{4 - \delta}, \omega'^*_2 = \frac{2(1 - \delta + c - r)}{4 - \delta} \quad (7)$$

进而可得此时普通产品销售价格和低碳产品销售价格 p'_1 、 p'_2 , 以及二者的销量 q'_1 、 q'_2 分别为:

$$p'_1{}^* = \frac{\delta(5-2\delta+c-r)}{2(4-\delta)}, p'_2{}^* = \frac{6-3\delta+2c-2r}{2(4-\delta)} \quad (8)$$

$$q'_1{}^* = \frac{1-\delta+c-r}{2(4-\delta)(1-\delta)}, q'_2{}^* = \frac{(\delta-2)(1-\delta+c-r)}{2(1-\delta)(4-\delta)} + \frac{1}{2} \quad (9)$$

由于此时各博弈方都无公平偏好, 因而其效用等同于收益。将 (7)、(8)、(9) 代入 (1)、(2)、(3) 中, 可得:

$$u(\pi_1{}^*) = \frac{\delta(1-\delta+c-r)^2}{2(4-\delta)^2(1-\delta)} \quad (10)$$

$$u(\pi_2{}^*) = \frac{(1-\delta+c-r)[(c-r)\delta^2 + (-4c+4r-4)\delta + 4c-4r+4]}{2(4-\delta)^2(1-\delta)} - \frac{c-r}{2} \quad (11)$$

$$u(\pi_R{}^*) = \frac{(4-3\delta)(1-\delta+c-r)^2}{4(1-\delta)(4-\delta)^2} - \frac{(1-\delta+c-r)}{(4-\delta)} + \frac{1}{4} \quad (12)$$

由公式 (10) — (12), 推导可得结论 1:

结论 1: 当低碳企业不存在公平偏好时, 政府补贴对各博弈方收益的影响分别为: ①

$$\frac{\partial(u(\pi_1{}^*))}{\partial r} < 0; \textcircled{2} \frac{\partial(u(\pi_2{}^*))}{\partial r} > 0; \textcircled{3} \frac{\partial(u(\pi_R{}^*))}{\partial r} > 0。$$

证明如下:

$$\textcircled{1} \text{ 由公式 (10), 有: } \frac{\partial(u(\pi_1{}^*))}{\partial r} = -\frac{\delta(1-\delta+c-r)}{(1-\delta)(4-\delta)^2} < 0。$$

$$\textcircled{2} \text{ 由公式 (9), 有: } q'_2{}^* = \frac{(\delta-2)(1-\delta+c-r)}{2(1-\delta)(4-\delta)} + \frac{1}{2} = \frac{(1-\delta)(4-\delta) - (2-\delta)(1-\delta+c-r)}{2(1-\delta)(4-\delta)} > 0; \text{ 进而可得: } (c-r) < \frac{2(1-\delta)}{(2-\delta)} < 2, \text{ 又由于 } \delta \in (0,$$

1), 故根据公式 (11), 有:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(u(\pi_2{}^*))}{\partial r} &= -\frac{1}{4-\delta} + \frac{2(2-\delta)(1-\delta+c-r)}{(1-\delta)(4-\delta)^2} - \frac{(c-r)(2-\delta)}{2(1-\delta)(4-\delta)} - \frac{(2-\delta)(1-\delta+c-r)}{2(1-\delta)(4-\delta)} + \frac{1}{2} \\ &= \frac{4(2-\delta)(1-\delta) - 2(c-r)(2-\delta)^2}{2(1-\delta)(4-\delta)^2} > \frac{4(2-\delta)(1-\delta) - \frac{4(1-\delta)}{(2-\delta)}(2-\delta)^2}{2(1-\delta)(4-\delta)^2} = 0 \end{aligned}$$

$$\text{故 } \frac{\partial(u(\pi_2{}^*))}{\partial r} > 0。$$

③由公式 (12), 有:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(u(\pi_R{}^*))}{\partial r} &= -\frac{(4-3\delta)(1-\delta+c-r)}{2(1-\delta)(4-\delta)^2} + \frac{1}{4-\delta} = \frac{2(1-\delta)(4-\delta) - (4-3\delta)(1-\delta+c-r)}{2(1-\delta)(4-\delta)^2} \\ &= \frac{(1-\delta)(4+\delta) - (4-3\delta)(c-r)}{2(1-\delta)(4-\delta)^2} > \frac{(4+\delta) - (4-3\delta)\frac{2(1-\delta)}{(2-\delta)}}{2(1-\delta)(4-\delta)^2} = \frac{(1-\delta)(4\delta-\delta^2)}{2(1-\delta)(4-\delta)^2(2-\delta)} > 0 \end{aligned}$$

$$\text{即 } \frac{\partial(u(\pi_R{}^*))}{\partial r} > 0。$$

根据结论 1 可知, 政府补贴有利于低碳企业现状的改善, 提升竞争力。随着政府补贴的增加, 低碳企业和零售商的总体效用都将逐渐增加, 而普通企业的总体效用将逐渐下降。因此, 对于政府而言, 政府补贴的增加将会降低低碳产品进入市场的竞争压力, 有助于低碳企业的发展。

(二) 供应链上低碳企业具有公平偏好时博弈模型分析

行为博弈是行为主体在某些心理因素影响下的博弈决策, 行为博弈论认为公平、自利等偏好等心理因素都会影响决策^[17]。在本研究中, 由于低碳企业在供应链竞争中往往处于劣势地位, 因此其公平偏好心理在这样的生存环境中将可能被触发, 从而在一定程度上影响供应链各企业的总体效用。下文将考虑低碳企业公平偏好这一因素, 研究消费者低碳产品购买倾向、政府补贴及低碳企业公平偏好对博弈结果的影响。

在行为博弈论中, 行为主体的公平偏好是一种重要的心理因素, 它认为行为主体是有限理性的, 行为人并不单纯追求自身收益最大化, 而是同时关注自身收益以及整体在其他参与方上的分配是否公平。公平偏好的相关研究中比较典型的是 Fehr 等^[18]建立的 F-S 不公平厌恶模型, 该模型认为无论行为人自身收益高于还是低于其他参与方, 行为人都感到厌恶, 如果自身收益低于其他人, 会因为嫉妒心理而产生负效用, 也就是不公平厌恶负效用; 与此同时, 如果自身收益高于其他人, 又会因为同情心理而产生同情负效用。本文在此主要考虑不公平厌恶负效用, 基于 F-S 不公平厌恶模型原理, 结合供应链上低碳企业和普通企业的实际, 具有公平偏好的低碳企业效用函数可用式 (13) 表示:

$$u(\pi_2) = \pi_2'' - \lambda \text{Max}(\mu\pi_1'' - \pi_2'', 0) \quad (13)$$

其中 μ 为低碳企业认为公平收益的参照点, 即低碳企业认为其得到的收益应为普通企业的 μ 倍。假设当低碳企业认识到其收益小于普通企业时, 将会选择普通企业收益的某个比例作为其公平偏好的参照点, 又由于低碳转型过程中, 低碳企业的规模与收益往往低于普通企业, 因此取 $0 < \mu < 1$ 。当 $\pi_2'' < \mu\pi_1''$ 时, 低碳企业不能容忍自身收益低于公平收益标准, 其公平偏好心理会导致不公平厌恶负效用, λ 为不公平厌恶系数, $0 < \lambda < 1$ 。由此, 可得当低碳企业具有公平偏好时各企业的总体效用函数为:

$$u(\pi_1'') = \omega_1'' q_1'' \quad (14)$$

$$u(\pi_2'') = (1 + \lambda)(\omega_2'' - c + r)q_2'' - \lambda\mu\omega_1'' q_1'' \quad (15)$$

$$u(\pi_R'') = (p_1'' - \omega_1'')q_1'' + (p_2'' - \omega_2'')q_2'' \quad (16)$$

采用逆推归纳法对模型 (14) — (16) 进行求解, 同理可得此时低碳企业 M_1 的产品批发价格 ω_1'' 、普通企业 M_2 的产品批发价格 ω_2'' 、零售商 R 的普通产品销售价格和低碳产品销售价格 p_1'' 、 p_2'' , 以及二者的销量 q_1'' 、 q_2'' , 分别为:

$$\omega_1^{*''} = \frac{\delta(1 + \lambda)(1 - \delta + c - r)}{\lambda\delta(\mu\delta - 1) + 4(1 + \lambda) - \delta}, \quad \omega_2^{*''} = \frac{2(1 + \lambda)(1 - \delta + c - r)}{\lambda\delta(\mu\delta - 1) + 4(1 + \lambda) - \delta} \quad (17)$$

$$p_1^{*''} = \frac{\delta(1 + \lambda)(1 - \delta + c - r)}{2[\lambda\delta(\mu\delta - 1) + 4(1 + \lambda) - \delta]} + \frac{\delta}{2}, \quad p_2^{*''} = \frac{(1 + \lambda)(1 - \delta + c - r)}{\lambda\delta(\mu\delta - 1) + 4(1 + \lambda) - \delta} + \frac{1}{2} \quad (18)$$

$$q_1^{*''} = \frac{(1 + \lambda)(1 - \delta + c - r)}{2(1 - \delta)[\lambda\delta(\mu\delta - 1) + 4(1 + \lambda) - \delta]}, \quad q_2^{*''} = \frac{(\delta - 2)(1 + \lambda)(1 - \delta + c - r)}{2(1 - \delta)[\lambda\delta(\mu\delta - 1) + 4(1 + \lambda) - \delta]} + \frac{1}{2} \quad (19)$$

将 (19)、(20)、(21) 代入 (16)、(17)、(18) 中, 可得:

$$u(\pi_1^{*''}) = \frac{\delta}{2(1 - \delta)} \left[\frac{(1 + \lambda)(1 - \delta + c - r)}{\lambda\delta(\mu\delta - 1) + 4(1 + \lambda) - \delta} \right]^2 \quad (20)$$

$$u(\pi_2^{*''}) = \frac{[2(1 - \delta) - (c - r)(\delta - 2)](1 + \lambda)^2(1 - \delta + c - r)}{2(1 - \delta)[\lambda\delta(\mu\delta - 1) + 4(1 + \lambda) - \delta]} + \frac{[2(1 + \lambda)(\delta - 2) - \lambda\mu\delta](1 + \lambda)^2(1 - \delta + c - r)^2}{2(1 - \delta)[\lambda\delta(\mu\delta - 1) + 4(1 + \lambda) - \delta]^2} - \frac{(1 + \lambda)(c - r)}{2} \quad (21)$$

$$u(\pi_R^{*''}) = \frac{(4 - 3\delta)}{4(1 - \delta)} \left[\frac{(1 + \lambda)(1 - \delta + c - r)}{\lambda\delta(\mu\delta - 1) + 4(1 + \lambda) - \delta} \right]^2 - \frac{(1 + \lambda)(1 - \delta + c - r)}{\lambda\delta(\mu\delta - 1) + 4(1 + \lambda) - \delta} + \frac{1}{4} \quad (22)$$

由公式 (20) — (22), 可以得到结论 2:

结论 2: 当低碳企业存在公平偏好时, 政府补贴对博弈方收益的影响如下: ① $\frac{\partial (u(\pi_1^{**}))}{\partial r} < 0$;

② $\frac{\partial (u(\pi_2^{**}))}{\partial r} > 0$; ③ $\frac{\partial (u(\pi_R^{**}))}{\partial r} > 0$ 。

证明如下:

①由公式 (20), 有 $\frac{\partial (u(\pi_1^{**}))}{\partial r} = \frac{-\delta(1+\lambda)^2(1-\delta+c-r)}{(1-\delta)[\lambda\delta(\mu\delta-1)+4(1+\lambda)-\delta]^2} < 0$

②由公式 (21), 有

$$\begin{aligned} \frac{\partial (u(\pi_2^{**}))}{\partial r} &= \frac{1+\lambda}{2} - \frac{(1+\lambda)^2[2(1-\delta)+(c-r)(2-\delta)]}{2(1-\delta)[\lambda\delta(\mu\delta-1)+4(1+\lambda)-\delta]} + \\ &\quad \frac{(1+\lambda)^2[2(1+\lambda)(2-\delta)+\lambda\mu\delta]}{2(1-\delta)[\lambda\delta(\mu\delta-1)+4(1+\lambda)-\delta]^2} + \frac{(1+\lambda)^2(2-\delta)(1-\delta+c-r)}{2(1-\delta)[\lambda\delta(\mu\delta-1)+4(1+\lambda)-\delta]} \\ &= \frac{\lambda}{2} + \frac{(1+\lambda)^2[2(1+\lambda)(2-\delta)+\lambda\mu\delta]}{2(1-\delta)[\lambda\delta(\mu\delta-1)+4(1+\lambda)-\delta]^2} + \\ &\quad \frac{(1-\delta)\{\lambda\delta(\mu\delta-1)+2(1+\lambda)-\delta+(1+\lambda)[2-\delta(1+\lambda)]\}}{2(1-\delta)[\lambda\delta(\mu\delta-1)+4(1+\lambda)-\delta]} > 0 \end{aligned}$$

③由公式 (22), 有 $q_2^{**} = \frac{(\delta-2)(1+\lambda)(1-\delta+c-r)}{2(1-\delta)[\lambda\delta(\mu\delta-1)+4(1+\lambda)-\delta]} + \frac{1}{2} > 0$, 故有

$$(1-\delta)[\lambda\delta(\mu\delta-1)+4(1+\lambda)-\delta] > (\delta-2)(1+\lambda)(1-\delta+c-r) \Rightarrow 2(1-\delta)[\lambda\delta(\mu\delta-1)+4(1+\lambda)-\delta] > (4-3\delta)(1+\lambda)(1-\delta+c-r)$$

因此,

$$\begin{aligned} \frac{\partial (u(\pi_R^{**}))}{\partial r} &= \frac{(1+\lambda)}{[\lambda\delta(\mu\delta-1)+4(1+\lambda)-\delta]} - \frac{(4-3\delta)(1+\lambda)^2(1-\delta+c-r)}{2(1-\delta)[\lambda\delta(\mu\delta-1)+4(1+\lambda)-\delta]^2} = \\ &\frac{(1+\lambda)\{2(1-\delta)[\lambda\delta(\mu\delta-1)+4(1+\lambda)-\delta] - (4-3\delta)(1+\lambda)(1-\delta+c-r)\}}{2(1-\delta)[\lambda\delta(\mu\delta-1)+4(1+\lambda)-\delta]^2} > 0 \end{aligned}$$

根据结论 2 可知, 当低碳企业存在公平偏好时, 政府补贴依旧会增加低碳企业和零售商的总效用, 同时降低普通企业的总效用, 此时政府补贴的增加将会在一定程度上弥补低碳企业由于低碳产品成本高于普通产品导致的竞争劣势。可见, 在供应链低碳转型过程中, 政府的补贴起着重要的作用。

三、系统仿真与分析

上述通过分析给出的均衡策略形式上较为复杂, 难以直观把握模型研究的结论。为对比分析不同情况下不同产品批发价格、零售价格、销量以及各企业效用等变量关于不公平厌恶系数、消费者购买倾向及政府补贴的变化情况, 本文进行了仿真分析。在分析不同额度政府补贴对低碳企业效用的影响时, 考虑低政府补贴和高政府补贴两种情形。由于政府在不同发展阶段对低碳产品补贴额度存在较大差异, 本文在对比不同政府补贴额度对供应链各企业效用影响的参数设定时, 假设政府补贴最低为成本的 25%, 即低政府补贴情形下 $r=0.1$; 由于政府补贴额度不可能超过企业生产成本, 同时结合我国当前低碳产品补贴实际, 假设政府补贴最高不超过成本的 75%, 即高政府补贴情形下 $r=0.3$ 。下文还在低碳企业具有公平偏好的情形下, 对不同消费者低碳产品购买倾向水平进行了考虑, 将其分成较低 ($1-\delta=0.2$)、无倾向 ($1-\delta=0.5$) 和较高 ($1-\delta=0.8$) 三个不同水平对低碳企业公平偏好对供应链企业的总体效用影响进行深入对比分析。根据前文模型, 政府补贴、消费者低碳产品购买倾向等参数在上述取值范围内与价格、销量、效用等均为单调关系, 其取值变化意在说明不同水平取值下其他参

数对供应链企业效用的作用，并不会影响仿真结果及本文的分析结论。

（一）低碳企业无公平偏好

假设成本参数外生给定， $c=0.4$ 。当低碳企业没有公平偏好时，根据公式（7）—（12），消费者的低碳产品购买倾向对博弈方销量、价格及收益的影响仿真结果如图1—图4所示。

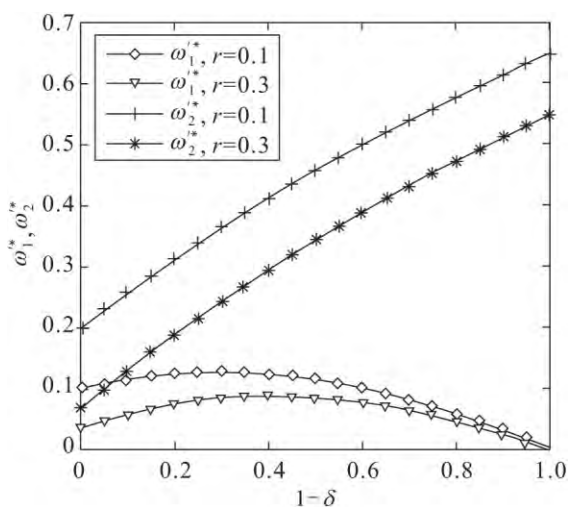


图1 消费者低碳产品购买倾向及政府补贴对批发价格的影响

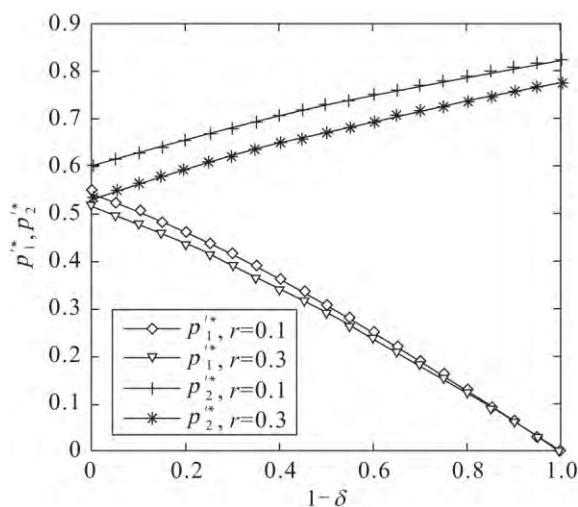


图2 消费者低碳产品购买倾向及政府补贴对零售价格的影响

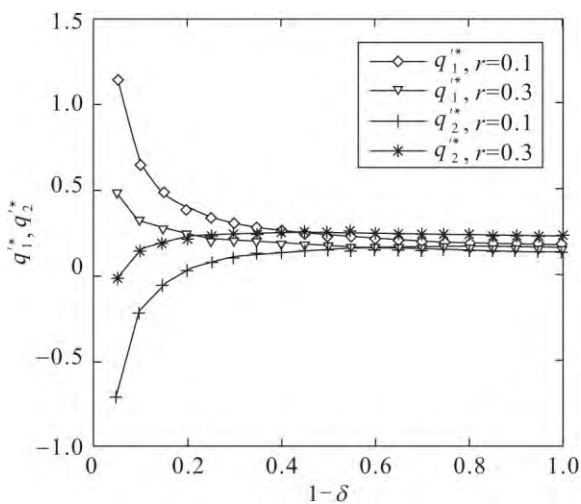


图3 消费者低碳产品购买倾向及政府补贴对销量的影响

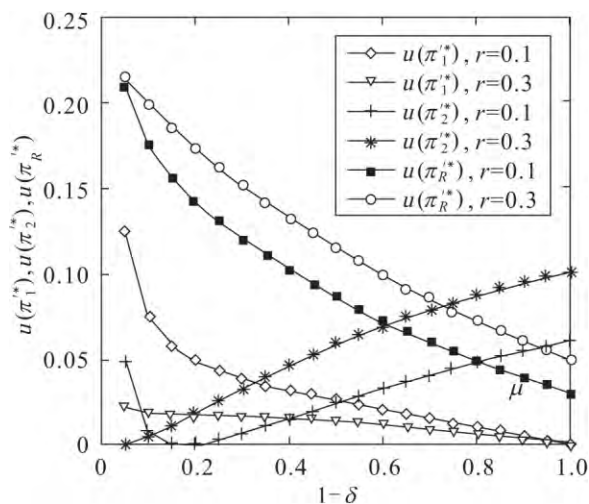


图4 消费者低碳产品购买倾向及政府补贴对效用的影响

1. 根据图1可知，普通产品的批发价格 ω_1^* 随着消费者低碳产品购买倾向的增大而呈现出先增大后减小的趋势；而低碳产品的批发价格 ω_2^* 则随消费者低碳产品购买倾向的增大而逐渐增大。从 ω_1^* 与 ω_2^* 的走势可以看出，两者之间的差距在不断缩小，但在同等政府补贴水平下 ω_2^* 始终大于 ω_1^* ，说明低碳产品的价格始终高于普通产品价格。同时，当政府对低碳产品的单位补贴增大时（由 $r=0.1$ 到 $r=0.3$ ）， ω_1^* 和 ω_2^* 都有所减小，其中 ω_1^* 减小幅度随着消费者低碳产品购买倾向的增大而逐渐缩小，而 ω_2^* 的减小幅度并没有随消费者低碳产品购买倾向的变化而呈现出明显的变动。

2. 根据图 1 和图 2 可知, 普通产品的零售价格 p_1^* 随消费者低碳产品购买倾向的增大而逐渐减小, 而低碳产品的零售价格 p_2^* 则随之逐渐增大。除此之外, 政府补贴对二者的影响与其对二者批发价格的影响趋势一致。

3. 根据图 3 可知, 普通产品的销量 q_1^* 随消费者低碳产品购买倾向的增大而逐渐减小; 而低碳产品的销量 q_2^* 则随消费者低碳产品购买倾向的增大而增大, 并逐渐趋于稳定, 但当消费者低碳产品购买倾向较小时, $q_2^* \leq 0$, 说明此时市场不存在低碳产品。另外, 当政府补贴较低 ($r=0.1$) 时, q_1^* 始终大于 q_2^* ; 当政府补贴较高 ($r=0.3$) 时, 尽管低碳产品的销量 q_2^* 依然随消费者低碳产品购买倾向的增大而逐渐增大, 但其增大幅度明显缩小, 不过政府的补贴并不能阻止当 $\delta \rightarrow 1$ 时低碳产品逐渐退出产品市场的事实发生。

4. 根据图 3 和图 4 可知, 普通企业的效用 $u(\pi_1^*)$ 随消费者低碳产品购买倾向的增大而逐渐减小; 低碳企业的效用 $u(\pi_2^*)$ 随消费者低碳产品购买倾向的增大而逐渐减小, 且当消费者低碳产品购买倾向较小时, 低碳产品将退出市场, 低碳企业效用降为 0; 零售商的效用 $u(\pi_R^*)$ 随消费者低碳产品购买倾向的增大而逐渐减小。考虑政府补贴的变化以后发现, 当政府补贴对低碳产品的补贴增大时, $u(\pi_1^*)$ 将会减小, 且其总体效用低于政府补贴较低时的效用水平; $u(\pi_2^*)$ 、 $u(\pi_R^*)$ 曲线均上移, 说明政府对低碳企业补贴可以同时改善低碳企业和零售商的效用, 且政府对低碳企业的补贴的一部分以销量的形式转嫁给了零售商, 与前文中结论 1 一致。

(二) 低碳企业具有公平偏好

假设成本参数外生给定, $c=0.4$ 。首先计算当低碳企业不存在公平偏好时所对应的低碳企业收益公平参照点。假设此时不存在政府补贴, 且消费者没有购买倾向, 即 $c=0.4$, $r=0$, $\delta=0.5$, 计算可得此时 $u(\pi_1^*)=0.03306$ 、 $u(\pi_2^*)=0.01306$, 故 $\mu_0 = u(\pi_1^*)/u(\pi_2^*)=0.39507$, 此时各参数值即为社会公平中性且消费倾向中性时的基准水平。通常情况下, 由于存在政府补贴, 因此低碳企业的公平标准将高于 μ_0 ; 但在当前市场环境下, 中国低碳经济发展不够成熟, 消费者的低碳消费观尚未形成, 因此低碳企业的公平标准将低于绝对平均的理想情形。因此在本文中, 当不以 μ 为变量时, 取 $\mu=0.5$, 即低碳企业认为其收益应该达到普通企业的 0.5 倍才会感觉分配的公平。

由于仿真结果显示, 在消费者低碳产品购买倾向和政府补贴对两种产品的批发价格、零售价格以及销量的影响过程中, 低碳企业公平偏好的作用并不显著, 故在此不做深入讨论。下文将对低碳企业公平偏好、消费者低碳产品购买倾向和政府补贴对供应链各企业总体效用的影响进行深入分析。当低碳企业存在公平偏好时, 根据公式 (20) — (22), 低碳企业公平偏好、消费者的低碳产品购买倾向以及政府补贴对普通企业、低碳企业以及零售商总体效用影响的仿真结果如图 5—图 13 所示。

1. 普通企业。根据图 5 可知, 普通企业的效用 $u(\pi_1^*)$ 随低碳企业不公平厌恶程度 λ 的增加而减少, 当低碳企业的公平参照点 μ 较小时, $u(\pi_1^*)$ 随 λ 增大而减小的幅度较小; 当低碳企业的公平参照点 μ 较大时, $u(\pi_1^*)$ 随 λ 增大, 其变化幅度也增大。根据图 6 可知, 普通企业的效用 $u(\pi_1^*)$ 随消费者低碳产品购买倾向的增大而减小, 不过其减小幅度随 λ 的增大而减小。

根据图 7 可知, 整体而言, 低碳企业不公平厌恶程度 λ 对普通企业的效用 $u(\pi_1^*)$ 的影响程度不大。详细看来, λ 对普通企业的效用 $u(\pi_1^*)$ 的影响随消费者低碳产品购买倾向 $(1-\delta)$ 的增大而逐渐减小, 而政府补贴 r 的变化对二者的关系并没有明显的影响。同时可以发现, 当 $1-\delta$ 和 r 都为最小时, 普通企业的效用 $u(\pi_1^*)$ 达到最大。

2. 低碳企业。根据图 8 可知, 低碳企业的效用 $u(\pi_2^*)$ 随着低碳企业不公平厌恶程度 λ 的增大而增大, 也就是说, 低碳企业越厌恶不公平现象的发生, 其能够获得的总效用将会越大, 这主要是

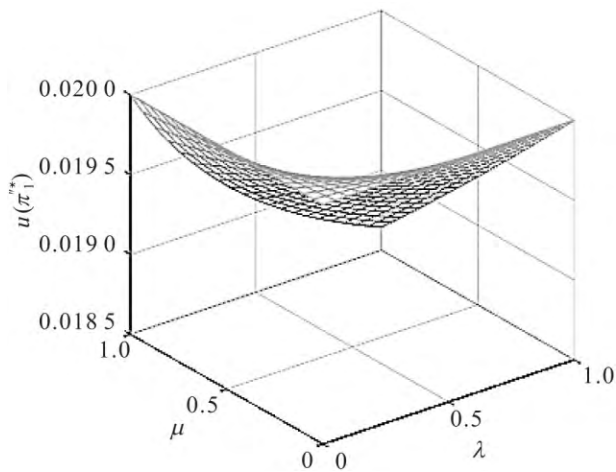


图5 低碳企业公平偏好与公平参照点对普通企业总体效用的影响

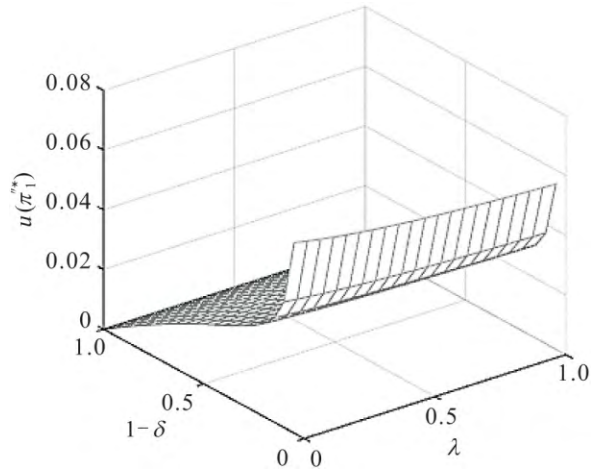


图6 低碳企业公平偏好与消费者低碳产品偏好对普通企业总体效用的影响

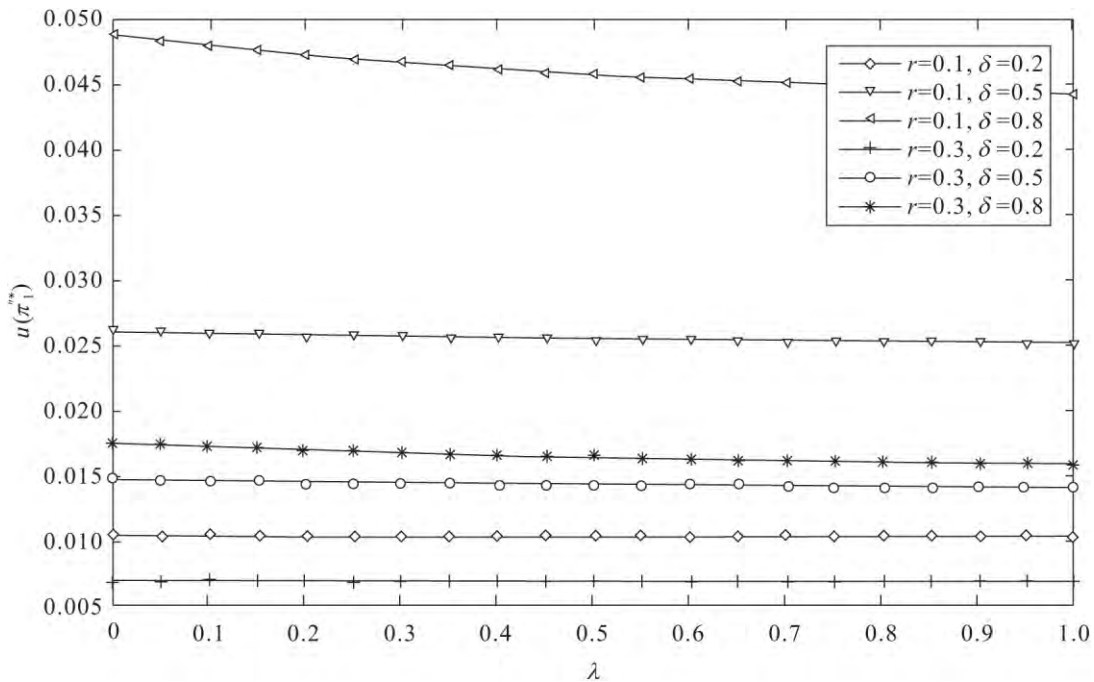


图7 低碳企业公平偏好对普通企业总体效用的影响

由其不公平厌恶程度对低碳产品的价格和销量的综合作用的影响造成的。而且当低碳企业的公平参照点 μ 较小时, $u(\pi_2^*)$ 随 λ 增大而增大的幅度较大; 当低碳企业的公平参照点 μ 较大时, $u(\pi_2^*)$ 随 λ 增大而减小的幅度则较小, 这主要是因为当低碳企业自身心理期望越低时, 就越容易满足, 从而其效用也就越大。

根据图9可知, 低碳企业的效用 $u(\pi_2^*)$ 随消费者低碳产品购买倾向 $1-\delta$ 的增大而不断增大, 且其增长幅度随低碳企业不公平厌恶程度 λ 的增大而增大。当 $1-\delta \rightarrow 0$ 时, 出现了效用为负的现象, 这主要是因为低碳企业的不公平厌恶程度越高, 其由于不公平所产生的负效用就会越大, 从而导致当消费者低碳偏好较低时, 低碳企业的预期受益更加难以达到, 进而导致其所得到的总体效用

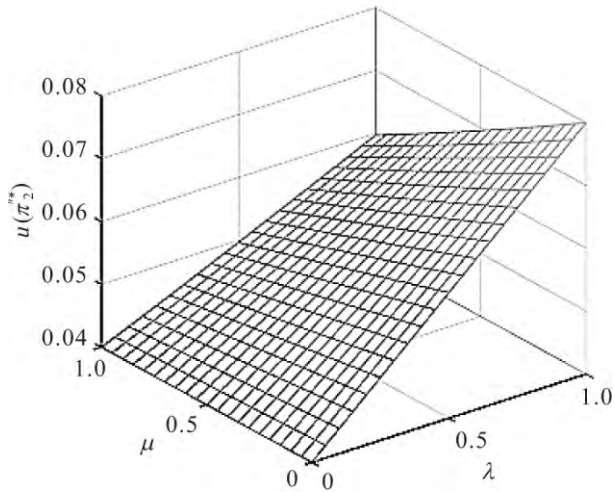


图 8 低碳企业公平偏好和公平参照点对低碳企业总体效用的影响

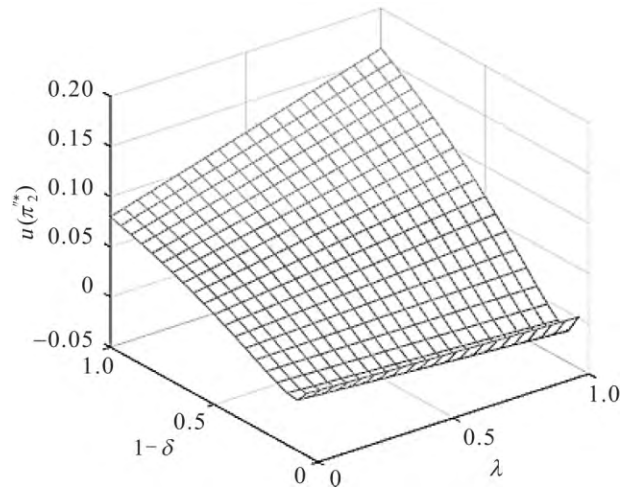


图 9 低碳企业公平偏好和消费者低碳产品购买倾向对低碳企业总体效用的影响

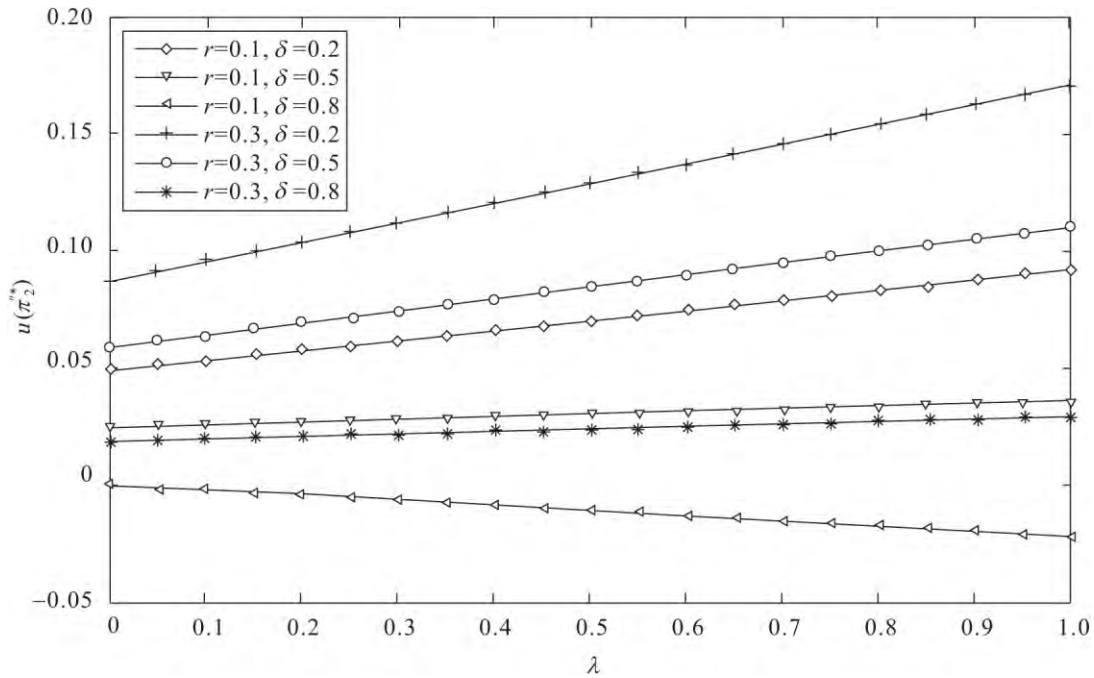


图 10 低碳企业公平偏好对低碳企业总体效用的影响

为负。

根据图 10 可知，总体而言，低碳企业不公平厌恶程度 λ 对低碳企业的效用 $u(\pi_2^*)$ 具有正向影响，不过其程度视消费者低碳产品购买倾向 $1-\delta$ 和政府补贴 r 的大小而定。详细看来，当消费者低碳产品购买倾向较低时， λ 对低碳企业的效用 $u(\pi_2^*)$ 的正向影响程度较小，甚至出现了负效用 ($r=0.1, \delta=0.8$)；而随着消费者低碳产品购买倾向取值的增大， λ 对低碳企业的效用 $u(\pi_2^*)$ 的正向影响作用不断增强。从政府补贴方面分析，政府补贴 r 的增加会推动 $u(\pi_2^*)$ 随 λ 的增大而增大，也就是 r 的增加会使 $u(\pi_2^*)$ 随 λ 增长的幅度增大。可以发现，当 $1-\delta$ 最大且 r 最大时，低碳企业的效用 $u(\pi_2^*)$ 达到最大。

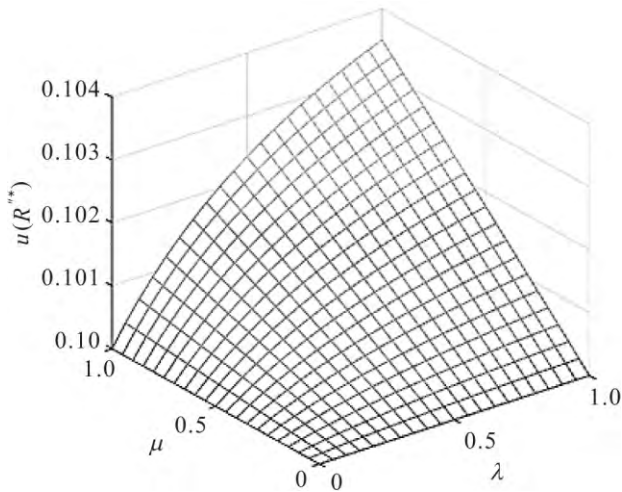


图 11 低碳企业公平偏好和公平参照点对零售商总体效用的影响

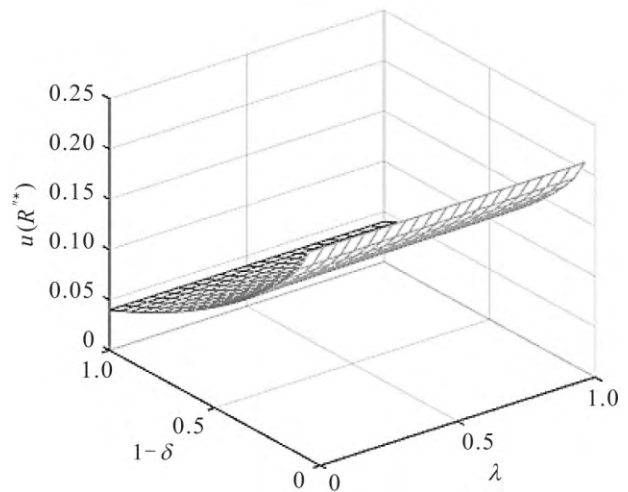


图 12 低碳企业公平偏好和消费者低碳产品购买倾向对零售商总体效用的影响

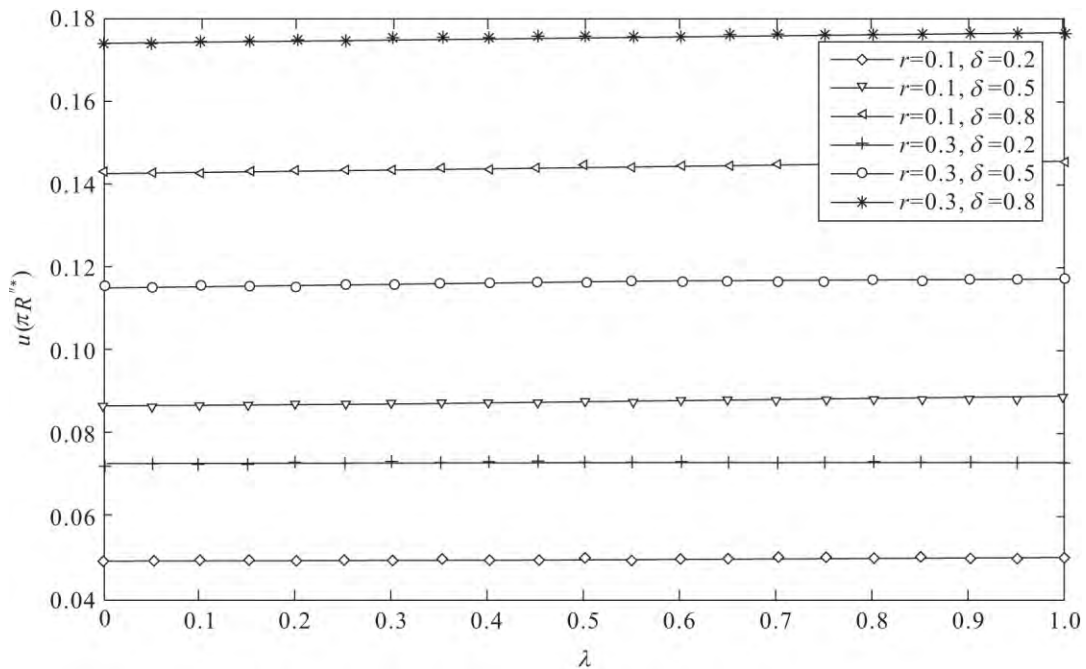


图 13 低碳企业公平偏好对零售商总体效用的影响

3. 零售商。根据图 11 可知，零售商的效用 $u(\pi_R^{**})$ 随低碳企业不公平厌恶程度 λ 的增大而增大，也就是说，低碳企业越厌恶不公平，对零售商来说越能够增加其收益。而且当低碳企业的公平参照点 μ 较低时， $u(\pi_R^{**})$ 随 λ 增大而增大的幅度较小；当 μ 较大时， $u(\pi_R^{**})$ 随 λ 增大而减小的幅度则较大。

根据图 12 可知，零售商效用 $u(\pi_R^{**})$ 随着消费者低碳产品购买倾向 $1-\delta$ 的增大而不断减小，但其减小幅度随 λ 的变化并没有呈现出明显的变化。说明从总体上看，零售商的效用并不会随 λ 的变化出现太大的波动， λ 对零售商总体效用的影响在消费者低碳产品购买倾向的变化面前作用较弱。

根据图 13 可知，该结果进一步验证了上文中关于低碳企业不公平厌恶程度 λ 对零售商的效用

$u(\pi_R^*)$ 影响不大这一结论。详细看来, 随 λ 的增大, $u(\pi_R^*)$ 有小幅增大趋势, 而政府补贴 r 的变化对二者的关系并没有明显的影响, 不过政府的补贴可以提高 $u(\pi_R^*)$ 的水平。同时可以发现, 当 $1-\delta$ 最小且 r 最大时, 零售商的效用 $u(\pi_R^*)$ 达到最大。

(三) 低碳产品成本参数的灵敏度分析

由于篇幅有限, 本文仅分析低碳企业存在公平偏好情形下, 消费者低碳产品购买倾向 $1-\delta$ 对供应链各企业效用 u 的影响受成本参数 c 作用的敏感性。取 c 值为 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 五个不同水平对其敏感性进行分析。给定相关参数值如下: $\lambda=0.5, \mu=0.5, r=0.5c$ 。

当低碳企业有公平偏好时, 根据公式 (20) — (22) 对低碳产品成本参数进行灵敏度分析 (如图 14 所示)。根据图 14 可知, 当低碳企业有公平偏好时, 低碳产品成本参数的取值并不会影响消费者低碳产品购买倾向 $1-\delta$ 与供应链各企业效用 u 之间轨迹曲线的趋势。但是, 随着低碳产品成本的增加, 普通企业效用曲线呈现出逐渐增大的趋势。低碳企业效用则将在消费者低碳产品购买倾向较小时较大, 而当消费者低碳产品购买倾向逐渐增大后, 低碳产品成本越小将越有利于获得更高的企业效用; 从曲线斜率变化也可以发现, 在同一消费者低碳产品购买倾向水平下较低的低碳产品成本将使低碳企业效用增加更快; 对零售商而言, 其效用也是当低碳产品成本在较低水平时较大, 而在低碳产品成本较高时效用较低; 从曲线斜率变化还可以发现, 较低的低碳产品成本可更好地保证零售商效用。

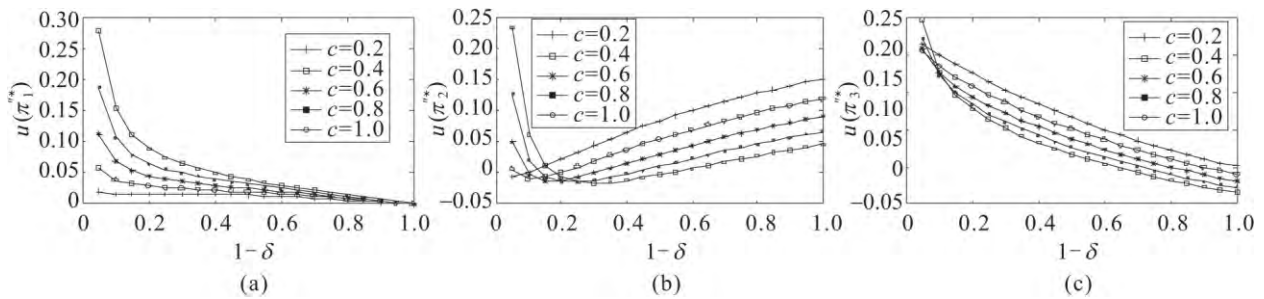


图 14 低碳企业有公平偏好时低碳产品成本参数灵敏度分析

四、结论与建议

本文在考虑消费者购买倾向情况下, 基于经典博弈论和行为博弈论构建了低碳企业、普通企业和零售商之间的两阶段博弈模型。以低碳企业无公平偏好时消费者购买倾向为参照, 对比分析了低碳产品制造商具有公平偏好时消费者低碳产品购买倾向对企业决策变量的影响, 并考虑了政府补贴在博弈过程中的作用。研究结论如下: (1) 消费者低碳产品购买倾向的增加会提高低碳产品的价格、销量以及低碳企业和零售商的收益, 同时会抑制普通企业的总体效用; 此外, 政府对低碳产品补贴的增大会提升低碳产品的竞争能力, 同时会改善低碳企业和零售商的总体效用水平, 对企业低碳化发展产生较大推动作用。(2) 当考虑低碳企业公平偏好时, 消费者低碳产品购买倾向对两种产品的价格及销量的影响并没有发生明显变化; 低碳企业公平偏好会减少普通企业的总体效用、增加零售商的总体效用, 但作用效果亦不显著。(3) 低碳企业的公平偏好会在较大程度上影响低碳企业的总效用, 而且政府的补贴越高, 消费者的低碳产品购买倾向越高, 公平偏好对低碳企业效用的影响程度就越大。也就是说, 随着低碳企业的发展, 公平偏好对其的影响程度将会越来越大。(4) 低碳产品成本参数不会影响消费者低碳产品购买倾向与供应链各企业效用之间轨迹曲线趋势, 但较低的低碳产品成本将更有利于低碳企业的发展以及供应链的低碳化转型。

本文的结论具有一定的普适性,尤其是对于那些政府针对供应链生产端进行低碳补贴的高能耗行业(如钢铁、化工行业等)、清洁能源行业(如风电、光伏发电行业等)等的发展有较强的借鉴意义:对于低碳企业而言,当受到的政府补贴较高时,低碳企业为自己设定一个较高的不公平厌恶系数将会提高自身效用;而当政府补贴比较低时,应当综合考虑当前市场占有情况来调整自己的不公平厌恶系数,如果当前消费者对低碳产品的认可度很低,那么自己的不公平厌恶程度反而会造成自身效用的不断降低,所以这时候低碳企业应当调整心态,降低自身的不公平感,同时加大市场宣传力度,提升消费者的低碳产品购买倾向水平。

对于政府而言,由于政府补贴将会放大低碳企业公平偏好对其自身效用的影响,因此高的政府补贴将更加有利于低碳企业的发展。但是,当某一行业低碳产品处于起步阶段,该行业内消费者的低碳产品购买倾向较低时,如果政府补贴不足,那么低碳企业的总体效用将会随着其不公平厌恶程度的增加而愈发减少,进而又导致其不公平厌恶程度增大,如此形成恶性循环。在此情况下,政府的最优策略就是加大补贴力度,同时还可以为企业提供技术支持,鼓励企业降低低碳产品成本的相关措施也将有利于低碳企业的长期发展;但假如政府财政补贴力量有限,要想减小低碳企业的效用亏损,政府就需要尽力引导低碳企业,避免其不公平厌恶程度的提高或者尽量减小其不公平厌恶程度。需要注意的是,尽管过低的补贴将不利于低碳企业的生存与发展,但监督机制不完善的情况下过高的补贴也可能带来消极生产、骗补等问题,因此在补贴政策制定过程中应当尤其注意补贴机制的设定,这将在后续的研究中作进一步讨论。

事实上,不公平厌恶作为一种心理因素,很难做到完全消除,但政府可以通过相对合理的引导、优惠的政策、技术支持等,为低碳企业营造相对宽松的发展环境,在确保已有低碳企业健康发展的同时,引导供应链各企业乃至行业的低碳化转型,从而在保证低碳企业在激烈的市场竞争中获得长期发展的同时,实现产业低碳化转型升级目标。

参考文献

- [1] Camerer, C., M. Rabin. Regulation for conservatives: Behavioral economics and the case for "Asymmetric Paternalism"[J]. *University of Pennsylvania Law Review*, 2003, (1).
- [2] 王勇, 朱龙涛. 考虑公平偏好的两级供应链 Stackelberg 博弈模型[J]. *工业工程*, 2012, (4).
- [3] 李媛, 赵道致. 考虑公平偏好的低碳化供应链契约协调研究[J]. *管理工程学报*, 2015, (1).
- [4] Qin, F., F. Mai, M. J. Fry, et al. Supply-chain performance anomalies: Fairness concerns under private cost information[J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, (1).
- [5] Lee, K. J. *Closed Loop Supply Chains with Variable Remanufacturability and the Impact of Subsidy and Penalty by Government*[D]. Dissertations & Theses-Gradworks, 2008.
- [6] Benjaafar, S., Y. Li, M. Daskin. Carbon footprint and the management of supply chains: Insights from simple models[J]. *IEEE Transactions on Automation Science & Engineering*, 2013, (1).
- [7] 张国兴, 张绪涛, 程素杰, 等. 节能减排补贴政策下的企业与政府信号博弈模型[J]. *中国管理科学*, 2013, (4).
- [8] Zhang, H. M., L. S. Li, Z. Peng, et al. Subsidy modes, waste cooking oil and biofuel: Policy effectiveness and sustainable supply chains in China[J]. *Energy Policy*, 2014, (2).
- [9] 朱庆华, 夏西强, 王一雷. 政府补贴下低碳与普通产品制造商竞争研究[J]. *系统工程学报*, 2014, (5).
- [10] Raz, G., A. Ovchinnikov. Coordinating pricing and supply of public interest goods using government rebates and subsidies[J]. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 2015, (1).
- [11] 徐朗, 汪传旭, 杨清荃. 低碳背景下政府财税行为对制造商决策影响[J]. *工业工程*, 2016, (3).
- [12] Urda, J., C. H. Loch. Social preferences and emotions as regulators of behavior in processes[J]. *Journal of Operations Management*, 2013, (s1-2).

- [13] Katok, E. , V. Pavlov. Fairness in supply chain contracts: A laboratory study[J]. *Journal of Operations Management* ,2013, (3).
- [14] Voigt, G. Inequity aversion in a joint economic lot sizing environment with asymmetric holding cost information[J]. *Journal of the Operational Research Society* ,2015, (4).
- [15] Zhou, Y. , M. Bao, X. Chen, et al. Co-op advertising and emission reduction cost sharing contracts and coordination in low-carbon supply chain based on fairness concerns[J]. *Journal of Cleaner Production* ,2016, 133.
- [16] Wu, C. H. Product-design and pricing strategies with remanufacturing[J]. *European Journal of Operational Research* ,2012, (2).
- [17] 韦倩. 纳入公平偏好的经济学研究:理论与实证[J]. *经济研究* ,2010, (9).
- [18] Fehr, E. , K. M. Schmidt. A theory of fairness, competition, and cooperation[J]. *Quarterly Journal of Economics* ,1999, (5).

Analysis and Simulation of Game in Low-carbon Supply Chain Enterprises Considering Fairness Preferences

FAN Ru-guo, SHEN Wen-ying

Abstract: Based on the classical game theory and the behavioral game theory, this paper establishes a supply chain enterprises decision-making game model. Using the low-carbon enterprise without fairness preferences as a reference, it does a comparative study of the impact of consumers' purchase intention to low-carbon products and the impact of government subsidies on the decision of supply chain enterprises when the low-carbon enterprise is with fairness preferences. The results show that the utility of low-carbon enterprise is greatly affected by the fairness preferences. Under different government subsidies level or consumer purchase intention to low-carbon products, the low-carbon enterprise's unfair disgust has different effects on its utility. In the infancy of an industry' lowcarbonization, if the government subsidy is insufficient, the utility of the low-carbon enterprise will decrease with the increase of the unfairness-aversion, which will be detrimental to the long-term development of the low-carbon enterprise.

Key words: low-carbon economy; fairness preferences; purchase intention; government subsidies; behavior game

(责任编辑 朱 蓓)