

考虑公平关切和制造商竞争的平台型供应链 定价、低碳水平和服务水平决策

王文隆, 任倩楠, 翟晓娜, 张涑贤[†]

(西安建筑科技大学 管理学院, 西安 710055)

摘要: 随着网络购物的普及和消费者低碳偏好的增强,同时考虑到公平关切对制造商竞争最优决策的影响,构建一种由普通制造商、低碳制造商及电商平台组成的平台型供应链决策模型,分析普通制造商在不具有公平关切、具有有利不公平厌恶和不利不公平厌恶情形下的均衡决策,并在不利不公平厌恶下提出服务成本共担契约来改进供应链. 研究发现: 1) 低碳制造商的低碳水平随着消费者低碳偏好、价格竞争程度的增大而提高,随着电商平台佣金率的增大而降低. 2) 制造商的利润受消费者低碳偏好的影响,当消费者低碳偏好低于某一临界值时,普通制造商的利润高于低碳制造商;反之,普通制造商的利润低于低碳制造商. 3) 普通制造商考虑有利不公平厌恶会提高价格、低碳水平、服务水平以及供应链整体绩效,但是会降低消费者剩余和社会福利. 4) 虽然普通制造商考虑不利不公平厌恶会降低价格、低碳水平、服务水平以及供应链整体绩效,但是可以提高消费者剩余和社会福利,而且通过服务成本共担契约可以同时实现低碳水平、制造商和电商平台利润的帕累托改进.

关键词: 平台型供应链; 制造商竞争; 有利不公平厌恶; 不利不公平厌恶; 成本共担契约

中图分类号: F224

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2020.0720

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式: 王文隆,任倩楠,翟晓娜,等. 考虑公平关切和制造商竞争的平台型供应链定价、低碳水平和服务水平决策[J]. 控制与决策, 2022, 37(4): 1045-1055.

Decisions of pricing, low-carbon level and service level in a platform supply chain considering fairness concern and manufacturers' competition

WANG Wen-long, REN Qian-nan, ZHAI Xiao-na, ZHANG Su-xian[†]

(School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: With the popularity of online shopping and the enhancement of consumers' low-carbon preference, while taking into account the impact of fairness concern on manufacturers' competitive optimal decision-making, this paper establishes a platform supply chain decision-making model consisting of an ordinary manufacturer, a low carbon manufacturer and an e-commerce platform, and makes a comparative analysis of the equilibrium decision-making under the circumstances that the ordinary manufacturer does not have fairness concerns, and has advantageous inequity aversion and disadvantageous inequity aversion. Under disadvantageous inequity aversion, the service cost sharing contract is proposed to improve the supply chain performance. The results show that: 1) The low carbon level increases in consumers' low-carbon preference and price competition while decreases in commission rate of e-commerce platform. 2) Manufacturers' profits are affected by consumers' low-carbon preference. When consumers' low-carbon preference is lower than a certain threshold, the profits for the ordinary manufacturer is higher than that for the low-carbon manufacturer; vice versa. 3) The ordinary manufacturer considering advantageous inequity aversion will improve pricing, low-carbon level, service level as well as overall supply chain performance, but reduce consumer surplus and social welfare. 4) Although that the ordinary manufacturer considering disadvantageous inequity aversion will reduce pricing, low-carbon level, service level and the overall performance of the supply chain, consumer surplus and social welfare can be improved, and the service cost sharing contract can be performed to realize the Pareto improvement for the low carbon level, the profit of the manufacturers and the e-commerce platform.

Keywords: platform supply chain; manufacturers' competition; advantageous inequity aversion; disadvantageous inequity aversion; cost-sharing contract

收稿日期: 2020-06-08; 录用日期: 2021-02-10.

基金项目: 教育部人文社会科学研究西部和边疆项目(19XJC630012); 陕西省教育厅哲学社会科学重点研究基地科研计划项目(20JZ064); 陕西省教育厅专项科研项目(19JK0450).

责任编辑: 李勇建.

[†]通讯作者. E-mail: susanxy@163.com.

0 引言

近年来,全球变暖趋势进一步加剧,消费者和企业更加关注经济和社会生活中的碳排放问题.此外,随着电子商务的发展,平台型供应链日益兴起. Edwards等^[1]发现,消费者到实体店购买商品相比于送货上门,运输环节的碳排放量更大.因此,具有低碳偏好的消费者会更加倾向于在网上购买低碳产品.为了获得竞争优势和良好的公众形象,部分制造商纷纷转型生产低碳产品.由于“低碳经济”的推行,产品的低碳水平已成为除价格外影响消费者选择的重要因素,进而导致消费者需求发生转移.因此,相比于低碳制造商,生产其替代品的普通制造商更加关心自身与低碳制造商之间的收益差距,从而产生公平关切的心理特征.由竞争造成收益悬殊而引起的公平关切势必会影响各自决策.例如,在2019年“双11”期间,为了与海尔等率先执行新能效标准的低碳制造商争夺市场份额,格力在天猫平台上以低价大量促销3级能效变频和低能效定频空调,引发了空调价格战,导致国内市场销售额同比下滑4.2%.这种公平关切行为破坏了供应链系统的有效运营.那么,公平关切会对平台型供应链成员的决策和绩效等产生哪些影响?能否通过契约合作实现平台型供应链的帕累托改进?这些都是亟需解决的现实问题.

目前,关于平台型供应链的相关研究,国内外学者已经取得了一些成果.例如: Piera等^[2]从电子采购的角度分析了平台型供应链对企业实际运营的影响. Zhao等^[3]、Xiao等^[4]和Zhao等^[5]分别从合作广告、供应短缺、消费者渠道忠诚度的角度探讨了平台型供应链的定价策略.王玉燕等^[6-7]针对平台型供应链的广告策略和协调问题进行了研究.王聪等^[8]和张申等^[9]从双渠道视角分别对电商平台折扣券和扣点率影响下的协调定价问题进行了探讨.然而,上述学者均未考虑制造商竞争对平台型供应链决策的影响. Kwark等^[10]、Tian等^[11]和赵菊等^[12]分别探讨了第三方信息和制造商的竞争程度对电商平台销售模式选择的影响.但是,他们仅针对竞争的制造商之间销售同质替代品进行了研究,没有考虑制造商销售异质替代品,也没有考虑公平关切因素对制造商竞争的平台型供应链运作的影响.

近年来,公平关切因素也是供应链研究领域关注的热点话题.在关于公平关切的相关研究中, Fehr等^[13]利用不公平厌恶来刻画公平关切.毕功兵等^[14]探讨了不公平厌恶对批发价格契约协调供应链的影响.曹晓刚等^[15]对公平关切行为下的双渠道绿色

供应链和闭环供应链的定价与协调问题进行了研究.关于横向公平关切的研究, Ho等^[16]探讨了零售商同时存在横向和纵向公平关切时的契约设计问题. Nie等^[17]对零售商之间的横向公平关切进行了研究.浦徐进等^[18]分析了实体店的纵向公平关切和横向公平关切对双渠道供应链决策和渠道选择的影响.上述学者均未考虑平台型供应链的公平关切行为. Wang等^[19]对公平关切下平台型供应链的定价和协调问题进行了探讨.进一步,王玉燕等^[20]和王晓迪等^[21]针对平台型闭环供应链的回收和协调问题进行了研究.虽然他们针对平台型供应链的公平关切问题进行了探讨,但尚未涉及制造商竞争以及制造商之间的横向公平关切问题.

基于已有研究,本文的创新点主要体现在:首先,已有少数学者对制造商竞争的平台型供应链进行了探讨,但这些研究主要集中在制造商销售同质替代品且未考虑消费者低碳偏好;本文将消费者低碳偏好对需求的影响纳入模型,聚焦于基于电商平台的两个制造商销售异质替代品的决策研究.其次,已有不少文献针对传统供应链的横向公平关切问题进行了探讨,而平台型供应链其决策主体、模型结构、运作模式等已明显区别于传统供应链,因此,有必要探讨横向公平关切下平台型供应链的运营决策.进一步,本文在平台型供应链下针对不利不公平厌恶提出了服务成本共担契约,这亦是本文的重点及创新点.

1 问题描述与基准模型构建

1.1 问题描述

模型考虑由普通制造商 m_O 和低碳制造商 m_L 与一个电商平台 p 组成平台型供应链.在平台型供应链中,制造商负责产品生产并借助电商平台发布产品的销售信息,其中普通制造商以价格 p_O ,低碳制造商以价格 p_L 进行产品销售.相应地,电商平台需要向制造商收取一定的佣金作为报酬并提供服务.模型结构如图1所示.

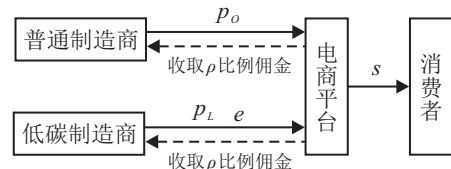


图1 平台型供应链模型结构

根据上述分析对模型做出如下假设.

假设1 通常而言,相对于低碳产品,普通产品成本较低,因此借鉴聂佳佳等^[22]的研究,不失一般性地假设普通产品单位生产成本为0,低碳产品单位生产成本为 $c(c > 0)$.

假设2 假设电商平台根据制造商的销售额按一定百分比收取佣金. 佣金率为 ρ ($0 < \rho < 1$), 则电商平台收取的佣金数额为 $\rho p_O D_O$ ($\rho p_L D_L$). 一般而言, 在实际运作中, 佣金率的收取小于25%, 因此, 在下列模型分析中, 借鉴Wang等^[19]的研究, 假设 $0 < \rho < 0.25$.

假设3 假设电商平台提供的销售服务水平为 s , 电商平台提供的销售服务水平越高, 相应的服务成本就越高. 假设电商平台提供销售服务的成本函数是关于服务水平的二次函数, 即 $C(s) = \frac{1}{2}\kappa s^2$, $\kappa > 0$, 其中 κ 为服务成本参数. 为计算简便, 借鉴Wang等^[23]的研究, 令 $\kappa = 2$.

假设4 假设低碳制造商在生产低碳产品时单位生产成本不变, 但需要增加额外的研发投入. 假设研发投入成本与低碳水平呈二次方关系, 即 $C(e) = \frac{1}{2}Ie^2$, 其中 I 为研发投入成本系数. 为计算简便, 借鉴Li等^[24]的研究, 令 $I = 2$.

假设5 在平台型供应链模式中, 当制造商入驻电商平台时, 一般要交纳固定技术服务年费. 这种年费类似于制造商在电商平台获得销售资格的租金, 但为计算便利, 借鉴王玉燕等^[7]的研究, 在不影响模型结论的前提下, 假设这笔固定费用为0.

假设6 假设电商平台和两个制造商都是风险中立的.

参考Wang等^[19]和Ma等^[25]设立的需求函数, 本文假设普通产品和低碳产品的需求函数分别为

$$D_O = \alpha - p_O + s + \beta p_L, \quad (1)$$

$$D_L = \alpha - p_L + s + \beta p_O + \eta e. \quad (2)$$

其中: D_O 表示消费者对普通产品的需求; D_L 表示消费者对低碳产品的需求; 借鉴Tian等^[11]的研究, α 表示市场潜能 ($\alpha > c > 0$); β 表示交叉价格敏感系数, 借鉴刘名武等^[26]的研究, 假设消费者对产品的自身价格敏感系数为1, 交叉价格敏感系数 β 小于自身价格敏感系数, 则 $0 < \beta < 1$; 借鉴Wang等^[27]的研究, 假

设消费者对电商平台的服务水平敏感系数为1; η 表示消费者的低碳偏好且 $0 < \eta < 1$; e 表示低碳制造商生产低碳产品的低碳水平.

基于以上假设, 普通制造商、低碳制造商和电商平台的利润函数分别为

$$\pi_{m_O} = (1 - \rho)p_O D_O, \quad (3)$$

$$\pi_{m_L} = [(1 - \rho)p_L - c]D_L - e^2, \quad (4)$$

$$\pi_p = \rho p_O D_O + \rho p_L D_L - s^2. \quad (5)$$

消费者剩余是指消费者购买某种商品时愿意支付的最高价格与这件商品的实际市场价格之间的差额. 因此, 借鉴Sinayi等^[28]的研究, 总的消费者剩余可表示为

$$CS = \int_{p_O}^{p_O^{\max}} D_O dp_O + \int_{p_L}^{p_L^{\max}} D_L dp_L = \frac{D_O^2}{2} + \frac{D_L^2}{2}. \quad (6)$$

此外, 社会福利为供应链系统总利润与消费者剩余之和, 社会福利可表示为

$$SW = \pi_{m_O} + \pi_{m_L} + \pi_p + CS. \quad (7)$$

1.2 基准模型构建

当不考虑公平关切时, 即各决策主体作为理性决策者均追求自身利润的最大化. 假设制造商与电商平台之间进行Stackelberg博弈, 制造商之间为Bertrand博弈. 当海尔、美的等实力强大的制造商与电商平台合作时, 制造商凭借其强大的名牌实力取得供应链系统的主导权, 因此, 本文假设在博弈过程中制造商处于主导地位, 电商平台处于跟随地位. 博弈顺序如下: 首先, 普通制造商决定其销售价格, 同时低碳制造商决定其销售价格和低碳水平; 然后, 电商平台决定其服务水平.

命题1 当不考虑公平关切时, 普通产品的销售价格、低碳产品的销售价格、低碳水平以及电商平台的服务水平分别为

$$p_O^* = \frac{(\eta^2 - 1)(c - 2\alpha)\rho^2 + [(2\beta c + 4\alpha - c)\eta^2 - 2(c + 2\alpha)\beta + 2c - 10\alpha]\rho - 2(\beta c - \alpha)\eta^2 + 4(c + \alpha)\beta + 8\alpha}{\{(\rho - 1)[2\eta^2(\rho - 2) + 16] + 4\beta(\beta + \rho) - 3\rho^2\}(\rho - 1)},$$

$$p_L^* = \frac{2\rho^2(\alpha + c - c\eta^2) + 2\rho(3c\eta^2 - 2\alpha\beta - 5\alpha - 4c) - 4(c\eta^2 - \alpha\beta) + 8(c + \alpha)}{\{(\rho - 1)[2\eta^2(\rho - 2) + 16] + 4\beta(\beta + \rho) - 3\rho^2\}(\rho - 1)},$$

$$e^* = \frac{\eta\{(c - 2\alpha)\rho^2 + [(4\alpha - 4c)\beta - 8c + 10\alpha]\rho - 4\beta^2 c - 4\alpha\beta + 8c - 8\alpha\}}{(\rho - 1)[4\eta^2(\rho - 2) + 32] + 8\beta(\beta + \rho) - 6\rho^2},$$

$$s^* = \frac{\{A_1\rho^2 + [((2\beta + 6) - (2\beta + 5)\eta^2)c - 4\alpha(\eta^2 - 2\beta - 5)\rho] + 2(\eta^2 - 2)(2 + \beta)c + 2\alpha(\eta^2 - 4\beta - 8)\}\rho}{\{(\rho - 1)[4\eta^2(\rho - 2) + 32] + 8\beta(\beta + \rho) - 6\rho^2\}(1 - \rho)},$$

其中 $A_1 = 2\alpha\eta^2 + c\eta^2 - 4\alpha - c$.

相应地, 可得普通制造商的利润 $\pi_{m_O}^*$ 、低碳制造商的利润 $\pi_{m_L}^*$ 和电商平台的利润 π_p^* .

证明 采用逆向归纳法求解. 首先求式(5)关于 s 的二阶偏导数为 $\frac{\partial^2 \pi_p}{\partial s^2} = -2 < 0$, 可得 π_p 是关于 s

的严格凹函数. 令 $\frac{\partial \pi_p}{\partial s} = 0$, 得 $s = \frac{\rho(p_O + p_L)}{2}$, 将其代入式(3)和(4), 求 π_{m_O} 关于 p_O 的二阶偏导数和 π_{m_L} 关于 p_L 和 e 的海塞矩阵 $H(p_L, e)$. 由假设知 $0 < \rho < 0.25$, 得

$$\frac{\partial^2 \pi_{m_O}}{\partial^2 p_O} = 2(1 - \rho) \left(\frac{\rho}{2} - 1 \right) < 0,$$

从而可得 π_{m_O} 是关于 p_O 的严格凹函数. 海塞矩阵为

$$H(p_L, e) = \begin{bmatrix} 2(1 - \rho) \left(\frac{\rho}{2} - 1 \right) & (1 - \rho)\eta \\ (1 - \rho)\eta & -2 \end{bmatrix},$$

因为 $(\eta^2 - 2)(\rho - 1) + 2 > 0$, 所以 $H(p_L, e)$ 为负定, 因此 π_{m_L} 是关于 p_L 和 e 的严格凹函数. 联立求解

$$\frac{\partial \pi_{m_O}}{\partial p_O} = 0, \quad \frac{\partial \pi_{m_L}}{\partial p_L} = 0, \quad \frac{\partial \pi_{m_L}}{\partial e} = 0,$$

得到 p_O^* 、 p_L^* 和 e^* . 将其代入 s 中, 可得 s^* , 进而得到 $\pi_{m_O}^*$ 、 $\pi_{m_L}^*$ 和 π_p^* . \square

推论1

$$\frac{\partial p_O^*}{\partial \beta} > 0, \quad \frac{\partial p_L^*}{\partial \beta} > 0, \quad \frac{\partial e^*}{\partial \beta} > 0, \quad \frac{\partial s^*}{\partial \beta} > 0,$$

$$\frac{\partial \pi_{m_O}^*}{\partial \beta} > 0, \quad \frac{\partial \pi_{m_L}^*}{\partial \beta} > 0.$$

证明 由已知 $0 < \rho < 0.25$, $0 < \beta < 1$, $0 < \eta < 1$, 得 $(\rho - 1)[4\eta^2(\rho - 2) + 32] + 8\beta(\beta + \rho) - 6\rho^2 < 0$. 又由

$$e^* = \frac{\eta D_1}{(\rho - 1)[4\eta^2(\rho - 2) + 32] + 8\beta(\beta + \rho) - 6\rho^2} > 0,$$

得 $D_1 < 0$. 因此

$$\frac{\partial e^*}{\partial \beta} = \frac{4\eta[\alpha(\rho - 1) - c(2\beta + \rho)]}{(\rho - 1)[4\eta^2(\rho - 2) + 32] + 8\beta(\beta + \rho) - 6\rho^2} - \frac{8\eta(2\beta + \rho)}{\{(\rho - 1)[4\eta^2(\rho - 2) + 32] + 8\beta(\beta + \rho) - 6\rho^2\}^2} > 0.$$

同理可证

$$\frac{\partial p_O^*}{\partial \beta} > 0, \quad \frac{\partial p_L^*}{\partial \beta} > 0, \quad \frac{\partial s^*}{\partial \beta} > 0,$$

$$\frac{\partial \pi_{m_O}^*}{\partial \beta} > 0, \quad \frac{\partial \pi_{m_L}^*}{\partial \beta} > 0.$$

其中 $D_1 = (c - 2\alpha)\rho^2 + [(4\alpha - 4c)\beta - 8c + 10\alpha]\rho - 4\beta^2c - 4\alpha\beta + 8c - 8\alpha$. \square

推论1表明, 随着价格竞争程度的增强, 两个制造商会相应提高销售价格以增加利润. 同时 β 的增加也激励低碳制造商加大对低碳产品的研发投入. 由此可见, 市场竞争越激烈, 越有利于低碳产品的推广. 与此同时, 佣金的增加使得电商平台有更多资金来提高服务水平.

推论2

$$\frac{\partial e^*}{\partial \eta} > 0, \quad \frac{\partial p_L^*}{\partial \eta} > 0, \quad \frac{\partial p_O^*}{\partial \eta} > 0,$$

$$\frac{\partial \pi_{m_O}^*}{\partial \eta} > 0, \quad \frac{\partial \pi_{m_L}^*}{\partial \eta} > 0.$$

推论2的证明思路同推论1, 此处略.

推论2表明, 随着消费者低碳偏好的增强, 市场对低碳产品的需求量增加, 低碳制造商一方面会增加低碳投入以提升产品的低碳水平, 另一方面会通过提高价格以增加自身利润. 由于市场竞争, 普通制造商也会相应提高价格, 这最终导致两个制造商的利润均增加. 因此, 低碳制造商应加大对低碳产品的宣传和推广以提升消费者的低碳意识, 同时积极采取“碳标签”等措施来引导消费者购买低碳产品.

推论3 当 $0 < \eta < \eta_1$ 时, $\pi_{m_O}^* > \pi_{m_L}^*$; 当 $\eta_1 \leq \eta < 1$ 时, $\pi_{m_O}^* \leq \pi_{m_L}^*$. 其中

$$\eta_1 = \frac{2\sqrt{2\{(\rho - 2)(\beta + 1)(\rho - 1)c[(\rho + \beta - 1)c - 2\alpha(\rho - 1)]\}}}{(1 - \rho)[(c - 2\alpha)\rho + 2\beta c + 2\alpha]}.$$

证明 令 $\pi_{m_O}^* - \pi_{m_L}^* = 0$, 得

$$\eta_1 = \frac{2\sqrt{2\{(\rho - 2)(\beta + 1)(\rho - 1)c[(\rho + \beta - 1)c - 2\alpha(\rho - 1)]\}}}{(1 - \rho)[(c - 2\alpha)\rho + 2\beta c + 2\alpha]}.$$

因此, 当 $0 < \eta < \eta_1$ 时, $\pi_{m_O}^* > \pi_{m_L}^*$; 当 $\eta_1 \leq \eta < 1$ 时, $\pi_{m_O}^* < \pi_{m_L}^*$. \square

由推论3易知: 当 $0 < \eta < \eta_1$ 时, 即消费者低碳偏好较弱时, 因普通产品价格较低, 故消费者对普通产品需求量较大, 此时普通制造商利润高于低碳制造商; 当 $\eta_1 \leq \eta < 1$ 时, 即随着消费者低碳偏好的增强, 消费者更倾向于购买低碳产品, 因而对低碳产品的需求增加, 最终导致低碳制造商获益高于普通制造商. 这说明随着消费者低碳偏好的增强, 普通制造商转型生产低碳产品才能获得更大利润.

2 考虑公平关切下制造商主导的Bertrand模型

在管理实践中, 供应链成员在竞争的同时也会关注公平, 即不仅关注自身利润, 也会以对方利润作为参考点来衡量自身效用, 本节将 Fehr 等^[13] 的不公平厌恶模型应用到平台型供应链中. 考虑到目前节能减排及“低碳经济”的现状, 普通制造商更可能存在由于不公平厌恶负效用产生的公平关切问题. 因此, 本文考虑普通制造商的不公平厌恶, 令其有利不公平厌恶系数为 θ , 不利不公平厌恶系数为 λ . 借鉴毕功兵等^[14] 的研究, 将普通制造商的效用函数写成分段函

数形式,即

$$U_{mO} = \begin{cases} \pi_{mO} - \theta(\pi_{mO} - \pi_{mL}), & \pi_{mO} > \pi_{mL}; \\ \pi_{mO} - \lambda(\pi_{mL} - \pi_{mO}), & \pi_{mO} \leq \pi_{mL}. \end{cases} \quad (8)$$

其中:当 $\pi_{mO} > \pi_{mL}$ 时,普通制造商存在有利不公平厌恶,此时 $0 \leq \theta \leq 1, \theta = 0$ 为传统普通制造商情形;当 $\pi_{mO} \leq \pi_{mL}$ 时,普通制造商存在不利不公平厌恶.通常情况下,人们的不利不公平厌恶程度大于有利不公平厌恶,即 $\theta \leq \lambda$,当 $\lambda > 0$ 时,普通制造商的不利不公平厌恶随着 λ 的增大而增强.接下来,本文对普通制造商存在有利不公平厌恶和不利不公平厌恶

两种情形进行分析,并在不利不公平厌恶下提出服务成本共担契约来改进供应链.

2.1 有利不公平厌恶

当 $0 < \eta < \eta_1$ 时, $\pi_{mO}^* > \pi_{mL}^*$,普通制造商存在有利不公平厌恶.由式(8)可得普通制造商的效用函数为

$$U_{mO} = (1 - \theta)\pi_{mO} + \theta\pi_{mL}, \quad (9)$$

其中 θ 为普通制造商的有利不公平厌恶系数,且 $0 \leq \theta \leq 1$.

命题2 当普通制造商存在有利不公平厌恶时,普通产品的销售价格、低碳产品的销售价格、低碳水平以及电商平台的服务水平分别为

$$\begin{aligned} p_O^{\theta*} &= \frac{(c - 2\alpha)[(\eta^2 - 2)\theta - \eta^2 + 1]\rho^2 + B_1\rho + 2(\beta c + \alpha)[\eta^2 - (\eta^2 - 4)\theta] - 4\beta c - 4(\beta + 2)\alpha}{\{(\theta - 1)(\rho - 1)[2\eta^2(\rho - 2) + 16] - (4\theta - 3)\rho^2 - 4\beta(\beta + \rho)\}(\rho - 1)}, \\ p_L^{\theta*} &= \frac{B_2\rho^2 + B_3\rho + [4(\beta^2 - \eta^2 + 2)c + 4(\beta + 2)\alpha]\theta + 4(c\eta^2 - \alpha\beta - 2c - 2\alpha)}{\{(\theta - 1)(\rho - 1)[2\eta^2(\rho - 2) + 16] - (4\theta - 3)\rho^2 - 4\beta(\beta + \rho)\}(\rho - 1)}, \\ e^{\theta*} &= \frac{\eta\{(c - 2\alpha)\rho^2 + [(4\alpha - 4c)\beta - 8c + 10\alpha]\rho - 4\beta^2c - 4\alpha\beta + 8c - 8\alpha\}(\theta - 1)}{2\{(\theta - 1)(\rho - 1)[2\eta^2(\rho - 2) + 16] - (4\theta - 3)\rho^2 - 4\beta(\beta + \rho)\}}, \\ s^{\theta*} &= \frac{\rho[B_4\rho^2 + B_5\rho + B_6\theta - (2\beta c + 4c + 2\alpha)\eta^2 + 4(\beta + 2)(c + 2\alpha)]}{2\{(\theta - 1)(\rho - 1)[2\eta^2(\rho - 2) + 16] - (4\theta - 3)\rho^2 - 4\beta(\beta + \rho)\}(1 - \rho)}. \end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned} B_1 &= [(2\beta c - c + 4\alpha)\eta^2 - 4(\beta - 1)c - 12\alpha]\theta + (c - 2\beta c - 4\alpha)\eta^2 + (2\beta - 2)c + (4\beta + 10)\alpha, \\ B_2 &= (2\alpha - 2c\eta^2 + 3c)\theta + 2c\eta^2 - 2c - 2\alpha, \\ B_3 &= [(6\eta^2 + 4\beta - 8)c - (4\beta + 10)\alpha]\theta - 6c\eta^2 + 4\alpha\beta + 8c + 10\alpha, \\ B_4 &= (c\eta^2 + 2\alpha\eta^2 - c - 6\alpha)\theta - (c + 2\alpha)\eta^2 + c + 4\alpha, \\ B_5 &= [(-2\beta c - 5c - 4\alpha)\eta^2 + 4c + (4\beta + 22)\alpha]\theta + (2\beta c + 5c + 4\alpha)\eta^2 - (2\beta + 6)c - (8\beta + 20)\alpha, \\ B_6 &= (2\beta c + 4c + 2\alpha)\eta^2 - 4(\beta^2 + \beta + 2)c - 4\alpha(\beta + 4). \end{aligned}$$

相应地,可得普通制造商的效用 $U_{mO}^{\theta*}$ 、低碳制造商的利润 $\pi_{mL}^{\theta*}$ 和电商平台的利润 $\pi_p^{\theta*}$.

命题2的证明思路同命题1,此处略.

推论4

$$\begin{aligned} 1) & \frac{\partial p_O^{\theta*}}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial p_L^{\theta*}}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial e^{\theta*}}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial s^{\theta*}}{\partial \theta} > 0, \\ & \frac{\partial \pi_{mL}^{\theta*}}{\partial \theta} > 0; \\ 2) & e^* < e^{\theta*}, p_O^* < p_O^{\theta*}, p_L^* < p_L^{\theta*}, s^* < s^{\theta*}, \\ & \pi_{mL}^* < \pi_{mL}^{\theta*}. \end{aligned}$$

证明 由推论1得 $D_1 < 0$.又由 $e^{\theta*} > 0$ 得 $(\theta - 1)(\rho - 1)[2\eta^2(\rho - 2) + 16] - (4\theta - 3)\rho^2 - 4\beta(\beta + \rho) > 0$,因此 $\frac{\partial e^{\theta*}}{\partial \theta} > 0$.同理可证: $\frac{\partial p_O^{\theta*}}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial p_L^{\theta*}}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial s^{\theta*}}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial \pi_{mL}^{\theta*}}{\partial \theta} > 0, e^* < e^{\theta*}, p_O^* < p_O^{\theta*}, p_L^* < p_L^{\theta*}, s^* < s^{\theta*}, \pi_{mL}^* < \pi_{mL}^{\theta*}$. □

由推论4可知:

1) 在普通制造商的利润高于低碳制造商的情形下,普通制造商处于有利一方,其会因有利不公平厌恶而宁愿牺牲自身利益以换取公平.随着有利不公平厌恶系数的增加,其越希望缩小与低碳制造商之间的收益差距.因此,具有有利不公平厌恶的普通制造商会提高产品的销售价格,促使部分消费者转向购买低碳产品以增加低碳制造商的利润.与此同时,以追求利润最大化为目标的低碳制造商为了吸引更多的消费者,会提高低碳水平,并且也会适当提高销售价格来弥补低碳水平提高所增加的低碳成本.此外,普通产品和低碳产品的价格增加提高了电商平台获取的佣金,使其有更多资金来提高服务水平.综上所述可知,普通制造商的有利不公平厌恶弱化了制造商之间的竞争,有利于缓解渠道冲突.例如,在2018年4月,长安汽车和比亚迪签署合作协议,具有有利不公

平厌恶的长安汽车提高其燃油车售价以增加合资新能源汽车的销量,同时合资新能源汽车也会增加低碳投入,即研发“电池快充”技术来吸引消费者.为补偿低碳技术投入造成的费用损失,其会提高价格,与此同时,佣金的增加使得“毛豆新车”和“汽车之家”等电商平台提高了客服及售后等服务水平.

2) 普通制造商考虑有利不公平厌恶时,低碳水平、销售价格、电商平台的服务水平和低碳制造商的利润均高于公平中性的情形.由此表明,普通制造商考虑有利不公平厌恶有利于低碳产品的推广.

$$\begin{aligned}
 p_O^{\lambda*} &= \frac{(c-2\alpha)[(\eta^2-2)\lambda+\eta^2-1]\rho^2+C_1\rho-2(\beta c+\alpha)[\eta^2+(\eta^2-4)\lambda]+4\beta c+4(\beta+2)\alpha}{\{(1+\lambda)(\rho-1)[2\eta^2(\rho-2)+16]-(4\lambda+3)\rho^2+4\beta(\beta+\rho)\}(\rho-1)}, \\
 p_L^{\lambda*} &= \frac{C_2\rho^2+C_3\rho+[4(\beta^2-\eta^2+2)c+4(\beta+2)\alpha]\lambda-4(c\eta^2-\alpha\beta-2c-2\alpha)}{\{(1+\lambda)(\rho-1)[2\eta^2(\rho-2)+16]-(4\lambda+3)\rho^2+4\beta(\beta+\rho)\}(\rho-1)}, \\
 e^{\lambda*} &= \frac{\eta\{(c-2\alpha)\rho^2+[(4\alpha-4c)\beta-8c+10\alpha]\rho-4\beta^2c-4\alpha\beta+8c-8\alpha\}(1+\lambda)}{2\{(1+\lambda)(\rho-1)[2\eta^2(\rho-2)+16]-(4\lambda+3)\rho^2+4\beta(\beta+\rho)\}}, \\
 s^{\lambda*} &= \frac{\rho[C_4\rho^2+C_5\rho+C_6\lambda+(2\beta c+4c+2\alpha)\eta^2-4(\beta+2)(c+2\alpha)]}{2\{(1+\lambda)(\rho-1)[2\eta^2(\rho-2)+16]-(4\lambda+3)\rho^2+4\beta(\beta+\rho)\}(1-\rho)}.
 \end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned}
 C_1 &= [(2\beta c-c+4\alpha)\eta^2-4(\beta-1)c-12\alpha]\lambda+(2\beta c-c+4\alpha)\eta^2+(2-2\beta)c-(4\beta+10)\alpha, \\
 C_2 &= (2\alpha-2c\eta^2+3c)\lambda-2c\eta^2+2c+2\alpha, \\
 C_3 &= [(6\eta^2+4\beta-8)c-(4\beta+10)\alpha]\lambda+6c\eta^2-4\alpha\beta-8c-10\alpha, \\
 C_4 &= (c\eta^2+2\alpha\eta^2-c-6\alpha)\lambda+(c+2\alpha)\eta^2-c-4\alpha, \\
 C_5 &= [(-2\beta c-5c-4\alpha)\eta^2+4c+(4\beta+22)\alpha]\lambda-(2\beta c+5c+4\alpha)\eta^2+(2\beta+6)c+(8\beta+20)\alpha, \\
 C_6 &= (2\beta c+4c+2\alpha)\eta^2-4(\beta^2+\beta+2)c-4\alpha(\beta+4).
 \end{aligned}$$

相应地,可得普通制造商的效用 $U_{m_O}^{\lambda*}$ 、低碳制造商的利润 $\pi_{m_L}^{\lambda*}$ 和电商平台的利润 $\pi_p^{\lambda*}$.

命题3的证明思路同命题1,此处略.

推论5

$$\begin{aligned}
 1) \quad & \frac{\partial p_O^{\lambda*}}{\partial \lambda} < 0, \frac{\partial p_L^{\lambda*}}{\partial \lambda} < 0, \frac{\partial e^{\lambda*}}{\partial \lambda} < 0, \frac{\partial s^{\lambda*}}{\partial \lambda} < 0, \\
 & \frac{\partial \pi_{m_L}^{\lambda*}}{\partial \lambda} < 0, \frac{(\partial p_L^{\lambda*} - p_O^{\lambda*})}{\partial \lambda} > 0; \\
 2) \quad & e^{\lambda*} > e^{\lambda}, p_O^{\lambda*} > p_O^{\lambda}, p_L^{\lambda*} > p_L^{\lambda}, s^{\lambda*} > s^{\lambda}, \\
 & \pi_{m_L}^{\lambda*} > \pi_{m_L}^{\lambda}.
 \end{aligned}$$

推论5的证明思路同推论4,此处略.

由推论5可知:

1) 在普通制造商的利润低于低碳制造商的情形下,由于收益差距引起的不公平感的增强,普通制造商会降低销售价格,期望通过薄利多销来提高自身利润.由于竞争加剧,低碳制造商亦会在降低价格的同时减少低碳投入以节省成本,进而降低了低碳水平,而由于节省的成本小于价格下降所造成的损失,这最终导致低碳制造商利润降低.价格降低导致电商平

2.2 不利不公平厌恶

当 $\eta_1 \leq \eta < 1$ 时, $\pi_{m_O}^* \leq \pi_{m_L}^*$, 普通制造商存在不利不公平厌恶.由式(8)可得普通制造商的效用函数为

$$U_{m_O} = (1+\lambda)\pi_{m_O} - \lambda\pi_{m_L}, \tag{10}$$

其中 λ 为普通制造商的不利不公平厌恶系数,且 $\theta \leq \lambda$.

命题3 当普通制造商存在不利不公平厌恶时,普通产品的销售价格、低碳产品的销售价格、低碳水平以及电商平台的服务水平分别为

台获取的佣金减少,进而也会降低服务水平以节省成本.综上可知,作为替代品的低碳产品和普通产品竞相压价所引起的竞争加剧会造成渠道间的冲突.例如,在2019年“双11”期间,为了与海尔等率先执行新能效标准的家电制造商争夺市场份额,格力不惜以牺牲己方利润为代价大幅下调三级能效空调价格.海尔也采取降价倾销,同时通过减少低碳投入来节省成本.二者竞相打压商品价格,最终导致陷入“囚徒困境”.与此同时,需求激增降低了天猫和京东等电商平台的物流、仓储和客服等服务水平.同时可知,普通产品和低碳产品的销售价格差与普通制造商不利不公平厌恶系数呈正相关.这说明普通制造商不利不公平厌恶感越强,其降价幅度越大,越希望通过降低销售价格来增加自身的效用.

2) 普通制造商考虑不利不公平厌恶时,低碳水平、销售价格、电商平台的服务水平和低碳制造商的利润均低于公平中性的情形.由此表明,普通制造商

考虑不利不公平厌恶不利于低碳产品的推广,同时也易引发“恶意价格战”,影响行业的长久发展。

鉴于普通制造商和电商平台的利润表达式比较复杂,参照浦徐进等^[18]的研究,采用数值仿真的方法来探寻 λ 对 $U_{m_o}^{\lambda*}$ 、 $\pi_{m_L}^{\lambda*}$ 、 $\pi_p^{\lambda*}$ 的影响(见图2)。参数赋值为: $\alpha = 100, \beta = 0.3, \rho = 0.1, \eta = 0.8, c = 3$ 。

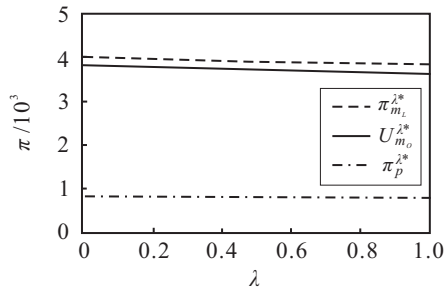


图2 λ 对利润的影响

由推论5和图2可知,随着普通制造商不利不公平厌恶感增强,普通制造商的效用、低碳制造商和电商平台的利润均随之降低。这是由于普通制造商在不利不公平厌恶情形下会采取降价措施,不惜以自身利润受损为代价来争夺市场份额。由此引发的“恶性竞争”最终会导致“两败俱伤”的局面。与此同时,需求增加所获得的收益小于佣金减少造成的损失,这使电商平台的利润下降。由于普通制造商不利不公平厌恶对低碳制造商和电商平台均不利,在这种情况下,低碳制造商和电商平台可以通过合作来提升自身收益,下节将给出服务成本共担契约。

2.3 服务成本共担契约模型

考虑低碳制造商与电商平台合作,共担电商平台的服务成本,假设电商平台承担 ψ 比例的服务成本。如果低碳制造商接受该契约,则低碳制造商承担 $1 - \psi$ 比例的服务成本。供应链成员的利润函数如下:

$$U_{m_o} = (1 + \lambda)\pi_{m_o} - \lambda\pi_{m_L}, \quad (11)$$

$$\pi_{m_L}^{\lambda\psi} = [(1 - \rho)p_L - c]D_L - e^2 - (1 - \psi)s^2, \quad (12)$$

$$\pi_p^{\lambda\psi} = \rho p_o D_o + \rho p_L D_L - \psi s^2. \quad (13)$$

命题4 当普通制造商存在不利不公平厌恶时,且低碳制造商与电商平台通过服务成本共担契约合作。同时,若参数满足 $(1 - \rho)[\eta^2(\rho - 1) + 4]\psi^2 + (\rho^2 - 2r\rho)\psi + \rho^2 > 0$ (即佣金率较低),则低碳水平、普通产品的销售价格及低碳产品的销售价格分别为

$$e_{\psi}^{\lambda*} = \frac{E(\lambda)}{F(\lambda)}, p_o^{\lambda*} = \frac{G(\lambda)}{H(\lambda)}, p_L^{\lambda*} = \frac{I(\lambda)}{H(\lambda)}.$$

其中: $E(\lambda), F(\lambda), G(\lambda), H(\lambda), I(\lambda)$ 的具体表达式见附录A。

相应地,可得普通制造商的效用 $U_{m_o}^{\lambda*}$ 、低碳制造商的利润 $\pi_{m_L}^{\lambda*}$ 和电商平台的利润 $\pi_p^{\lambda*}$ 。

命题4的证明思路同命题1,此处略。

借鉴Ma等^[25]的研究,采用数值分析的方法来探讨 ψ 的取值对利润的影响。参数赋值如下: $\alpha = 100, \beta = 0.3, \rho = 0.1, \eta = 0.8, c = 3, \lambda = 0.3$ 。 ψ 的取值为 $[0, 1]$,比较普通制造商存在不利不公平厌恶和服务成本共担契约时的利润,见图3。

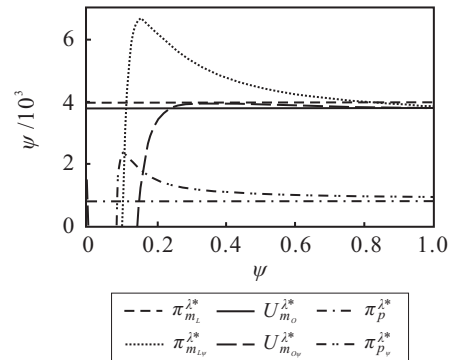


图3 利润对比

由图3可知,当普通制造商存在不利不公平厌恶且低碳制造商与电商平台合作时,在服务成本共担比例取值达到一定值的条件下,普通制造商的效用、低碳制造商和电商平台的利润均大于非合作情形。随着电商平台分担的服务成本增加,其利润必然下降。但当服务成本共担比例较小时,低碳制造商和电商平台的利润均小于非合作情形,此时,低碳制造商不会接受该契约。其中 ψ 的取值取决于低碳制造商和电商平台的讨价还价能力。由此说明,在实际运营中,制造企业要具有合作意识,积极与电商平台合作,借助电商平台的优势获取更大利润从而实现双赢。

3 数值分析

本文利用数值分析方法来探讨公平关切系数和佣金率对供应链各成员博弈均衡解及利润的影响。设 $\alpha = 100, \beta = 0.3, \rho = 0.1, c = 3$ 。通过计算可得 η 的阈值约为0.6,因此,在有利不公平厌恶下取 $\eta = 0.3$,在不利不公平厌恶下取 $\eta = 0.8$ 。

3.1 公平关切系数的影响

1) 有利不公平厌恶。

在有利不公平厌恶情形下($\pi_{m_o}^* > \pi_{m_L}^*$),令有利不公平厌恶系数从0.0以等间距0.05增大到0.25,计算结果如表1所示(其中下标sc表示供应链整体)。

由表1可知,在普通制造商存在有利不公平厌恶情况下,普通制造商的效用随着 θ 的增大而减少,而低碳制造商、电商平台和整个供应链的利润随着 θ 的增大而增大。这是因为,由推论4可知:普通制造商由于价格提高而获得的收益小于需求减少造成的损

表1 利润随有利不公平厌恶系数 θ 变化的结果

θ	$U_{m_o}^*$	$\pi_{m_L}^*$	π_p^*	π_{sc}^*
0.00	3622.985	3462.582	771.975	7857.542
0.05	3617.678	3475.711	773.232	7866.621
0.10	3613.139	3490.386	774.548	7878.073
0.15	3609.510	3506.898	775.914	7892.322
0.20	3606.968	3525.615	777.319	7909.902
0.25	3605.743	3547.008	778.739	7931.490

失,因而利润减少;低碳制造商由于需求增加所获取的收益大于价格提高造成的损失,因而利润增加;相应地,佣金的增加也提高了电商平台的收入.从管理角度来看,普通制造商在自身利润损失较小的情况下适当考虑有利不公平厌恶,不仅有助于提高企业社会责任感和树立企业良好形象,而且能够改善供应链整体绩效.

由图4可知,随着 θ 的递增,消费者剩余和社会福利均呈递减趋势.这是因为,根据推论4,普通制造商考虑有利不公平厌恶会导致价格增加,这意味着消费者购买产品需要支付更高的价格,所以消费者剩余降低.另外,由表1可知,价格的增加在一定程度上会提升供应链整体利润.但因消费者剩余降低的幅度大于供应链整体利润增加的幅度,所以社会福利仍会降低.

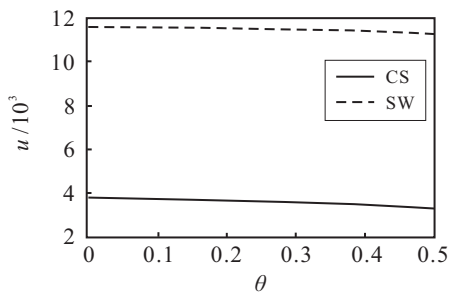


图4 θ 对CS和SW的影响

2) 不利不公平厌恶.

在不利不公平厌恶情形下($\pi_{m_o}^* \leq \pi_{m_L}^*$),令不利不公平厌恶系数从0.0以等间距0.2增大到1.0,计算结果如表2所示.

表2 利润随不利不公平厌恶系数 λ 变化的结果

λ	$U_{m_o}^*$	$\pi_{m_L}^*$	π_p^*	π_{sc}^*
0.0	3837.013	4038.634	926.353	8802.000
0.2	3789.460	3983.127	798.040	8570.627
0.4	3750.220	3944.176	793.218	8487.614
0.6	3716.092	3915.337	789.317	8420.746
0.8	3685.332	3893.124	786.118	8364.574
1.0	3656.908	3875.490	783.457	8315.855

由表2可知,在普通制造商存在不利不公平厌恶情况下,普通制造商的效用、低碳制造商和电商平台以及供应链整体利润均随着 λ 的增大而减少.这是因为,由推论5可知:普通制造商由于需求增加而获得的收益小于价格降低造成的损失,因而利润减少;低碳制造商由于节省的低碳研发投入成本小于价格下降造成的损失,因而利润减少;相应地,佣金的减少也降低了电商平台的收入.从管理角度来看,普通制造商只有不断降低不利不公平厌恶甚至表现为公平中性时,对供应链系统才有利.但由于供应链成员具有“经济人”的行为特点,很难通过自觉来约束利己行为,可以通过内部合作,即低碳制造商和电商平台通过服务成本共担契约来提高收益,从而实现双赢.

由图5可知,随着 λ 的递增,消费者剩余和社会福利均呈递增趋势.这是因为,根据推论5,普通制造商考虑不利不公平厌恶会导致价格降低,价格降低意味着对消费者让利幅度增大,所以消费者剩余增加.由表2可知,制造商在价格上做出的“让步”会引起供应链各主体利润降低,但因降低的这部分利润在社会福利中占比较低,所以社会福利仍会增加.

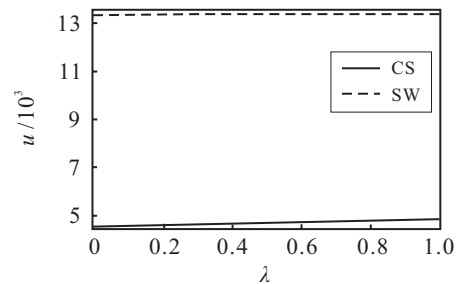


图5 λ 对CS和SW的影响

3.2 佣金率的影响

1) 有利不公平厌恶.

图6和图7给出了在有利不公平厌恶情形下,佣金率 ρ 对利润以及低碳水平的影响.

2) 不利不公平厌恶.

图8和图9给出了在不利不公平厌恶情形下,佣金率 ρ 对利润以及低碳水平的影响.

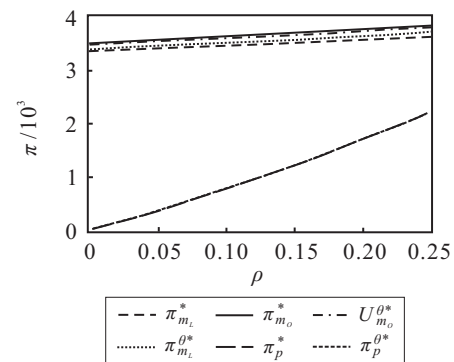


图6 ρ 对利润的影响(1)

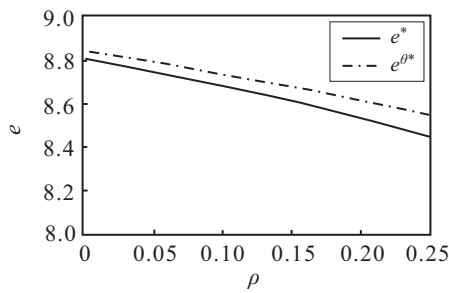


图7 ρ 对低碳水平的影响(1)

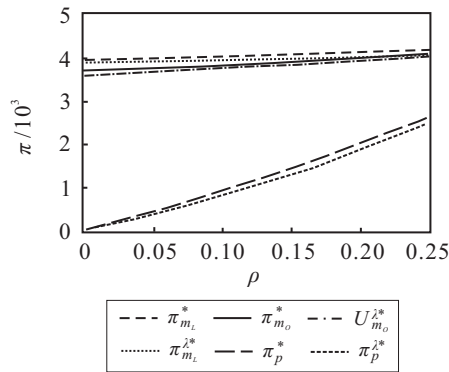


图8 ρ 对利润的影响(2)

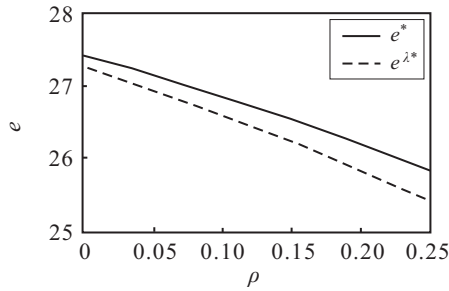


图9 ρ 对低碳水平的影响(2)

由图6~图9可知,无论普通制造商是否具有公平关切,随着佣金率的增加,制造商和电商平台的利润均呈递增趋势,低碳水平呈递减趋势.这是因为,随着佣金率的增加,制造商会提高价格以增加利润.同时,低碳制造商会减少低碳投入来节省成本,进而导致低碳水平降低.佣金率的增加也相应提高了电商平台的收益.同时可知,佣金率并不会改变公平关切系数对低碳水平及利润的影响.从管理角度来看,虽然佣金率的增加会提高供应链成员的收益,但也会导

致低碳水平下降.因此,电商平台在制定佣金率的同时也要兼顾社会效益,合理制定佣金率,可以针对普通和低碳产品差异化收取佣金,以推动低碳产品的推广.

4 结论

本文将公平关切引入制造商竞争的平台型供应链中,分析了普通制造商的有利不公平厌恶和不利不公平厌恶对制造商及电商平台决策和绩效的影响,并探讨了交叉价格敏感系数、消费者的低碳偏好和佣金率对各决策主体的决策和绩效的影响,以及当普通制造商考虑不利不公平厌恶时,平台型供应链的合作策略问题.本文的主要研究结论如下:

1) 低碳制造商的低碳水平随着消费者低碳偏好、价格竞争程度的增加而提高,随着电商平台佣金率的增加而降低.

2) 制造商的利润随着消费者低碳偏好的增加而增加.而且,当消费者低碳偏好低于某一临界值时,普通制造商的利润高于低碳制造商;当消费者低碳偏好高于某一临界值时,普通制造商的利润低于低碳制造商.同时发现,区别于已有文献^[9],当平台型供应链中仅存在单一制造商时,制造商的利润随着佣金率的增加而降低;而本文得出当存在制造商竞争时,制造商的利润随着佣金率的增加而增加.

3) 普通制造商存在有利不公平厌恶会提高价格、低碳水平、服务水平以及供应链整体利润,但是降低了消费者剩余和社会福利.

4) 虽然普通制造商存在不利不公平厌恶会降低价格、低碳水平、服务水平以及供应链整体利润,但是增加了消费者剩余和社会福利,且通过本文设计的服务成本分担契约可以同时实现低碳水平、制造商和电商平台利润的帕累托改善.

本文假设制造商和电商平台是信息共享的,但是在实际运营中,公平关切程度为私有信息,决策主体可能会隐瞒公平关切信息.因此,对非对称信息下的研究可以得出更有意义的管理启示.

附录A

$$E(\lambda) = (-4(-\alpha(\beta + 2)\rho + \beta^2 c + \alpha\beta - 2c + 2\alpha)(\rho - 1)(1 + \lambda)\psi^3 - \rho(\alpha(6\lambda + 4)\rho^2 + ((-8\lambda - 6)\alpha + c(4\beta + 6)\lambda + 2\beta + 4))\rho - (-2\alpha + c(\beta + 2))(1 + \lambda))\psi^2 - ((-4\lambda - 2)\alpha\rho + \alpha(1 + 2\lambda) + c(2\beta + 3\lambda + 5))\rho^2\psi + c\rho^3(1 + \lambda)\eta,$$

$$F(\lambda) = -8(\rho - 1)(\eta^2(1 + \lambda)\rho - \eta^2\lambda - \eta^2 - \beta^2 + 4\lambda + 4)\psi^3 + (\eta^2(4 + 6\lambda)\rho^2 + ((32 - 10\eta^2 + 4\beta)\lambda - 8\eta^2 + 4\beta + 24)\rho + (-32 + 4\eta^2)\lambda + 4\eta^2 - 8\beta - 32)\rho\psi^2 - 2((\eta^2\lambda + 3\lambda + 2)\rho + (-\eta^2 + 2\beta - 4)\lambda - 2\beta - 7)\rho^2\psi - 2\rho^3(1 + \lambda),$$

$$G(\lambda) = (2(-\alpha\eta^2(1 + \lambda)\rho^2 + (\eta^2\beta(1 + \lambda)c + 2\alpha((\eta^2 - 2)\lambda + \eta^2 - \beta - 2))\rho - ((\eta^2 - 4)\lambda + \eta^2 - 2)\beta c -$$

$$\begin{aligned} & \alpha((\eta^2 - 4)\lambda + \eta a^2 - 2\beta - 4)(\rho - 1)\psi^2 + (c\eta^2(1 + 2\lambda)\rho^2 + (((-3\eta^2 - 2\beta + 6)\lambda - 2\eta^2 - 2\beta + 2)c - \\ & 4\alpha\lambda - 2\alpha)\rho + ((\eta^2 + 4\beta - 4)\lambda + \eta^2 + 2\beta - 2)c + 4\alpha\lambda + 2\alpha)\rho\psi - (\rho^2(((\eta^2\lambda + 2\lambda + 1)c - \\ & 4\alpha\lambda - 2\alpha)\rho + (-1 + (-\eta^2 + 2\beta)\lambda)c + 4\alpha\lambda + 2\alpha))\psi, \\ H(\lambda) = & (\rho - 1)(-(4(\rho - 1)(\eta^2(1 + \lambda)\rho - \eta^2\lambda - \eta^2 + 4\lambda + 4)\psi^3) + (\eta^2(2 + 3\lambda)\rho^2 + ((16 - 5\eta^2 + 2\beta)\lambda - \\ & 4\eta^2 + 2\beta + 12)\rho + (-16 + 2\eta^2)\lambda + 2\eta^2 - 4\beta - 16)\rho\psi^2 - (((\eta^2\lambda + 3\lambda + 2)\rho + \\ & (-\eta^2 + 2\beta - 4)\lambda - 2\beta - 7)\rho^2\psi + \rho^3(1 + \lambda))), \\ I(\lambda) = & -(((c\eta^2 - 2\alpha)(2 + 3\lambda)\psi + (-3\lambda - 2 - \eta^2\lambda)c + \alpha(4\lambda + 2))\rho^3 + (-4(c\eta^2 - \alpha(\beta + 2))(1 + \lambda)\psi^2) + \\ & (((10 - 5\eta^2 - 2\beta)\lambda + 8 - 4\eta^2)c + 6\alpha + 8\alpha\lambda)\psi + (2 + (1 - 2\beta + \eta^2)\lambda)c - \alpha(4\lambda + 2))\rho^2 + (\psi(((8\eta^2 - \\ & 4\beta^2 - 8)\lambda + 8\eta^2 - 8)c - 8\alpha(1 + \lambda)(\beta + 2))\psi + ((2\eta^2 + 4\beta - 8)\lambda + 2\eta^2 - 8)c - 2\alpha(1 + \lambda))\rho) - \\ & (4((-\beta^2 + \eta^2 - 2)\lambda + \eta^2 - 2)c - \alpha(1 + \lambda)(2 + \beta))\psi^2)\psi. \end{aligned}$$

参考文献(References)

- [1] Edwards J B, McKinnon A C, Cullinane S L. Comparative analysis of the carbon footprints of conventional and online retailing: A “last mile” perspective[J]. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2010, 40(1/2): 103-123.
- [2] Piera C, Roberto C, Giuseppe C, et al. E-procurement and e-supply chain: Features and development of e-collaboration[J]. *IERI Procedia*, 2014, 6: 8-14.
- [3] Zhao L, Zhang J H, Xie J X. Impact of demand price elasticity on advantages of cooperative advertising in a two-tier supply chain[J]. *International Journal of Production Research*, 2016, 54(9): 2541-2551.
- [4] Xiao T J, Shi J. Pricing and supply priority in a dual-channel supply chain[J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 254(3): 813-823.
- [5] Zhao J, Hou X R, Guo Y L, et al. Pricing policies for complementary products in a dual-channel supply chain[J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2017, 49: 437-451.
- [6] 王玉燕, 申亮. 基于第三方电商平台销售的E-供应链广告策略研究[J]. *管理评论*, 2019, 31(10): 124-132. (Wang Y Y, Shen L. A study of e-supply chain advertisement strategy based on the third party e-commerce platform for sales[J]. *Management Review*, 2019, 31(10): 124-132.)
- [7] 王玉燕, 于兆青. 基于电商平台销售的E-供应链主导模型与佣金协调机制研究[J]. *中国管理科学*, 2019, 27(5): 109-118. (Wang Y Y, Yu Z Q. Research on the dominant models and commission coordination mechanism of e-supply chain based on e-commerce sales platform[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2019, 27(5): 109-118.)
- [8] 王聪, 杨德礼. 电商平台折扣券对制造商双渠道策略的影响研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2018, 38(6): 1525-1535. (Wang C, Yang D L. A study of the influence of the platform coupons on the dual-channel supply chain strategy of manufacturers[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2018, 38(6): 1525-1535.)
- [9] 张伸, 孟庆春, 安国政. 电商平台扣点率影响下的双渠道供应链协调定价研究[J]. *中国管理科学*, 2019, 27(10): 44-55. (Zhang S, Meng Q C, An G Z. Coordinated pricing in the dual channel supply chain with the commission rate of the e-commerce platform[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2019, 27(10): 44-55.)
- [10] Kwark Y, Chen J, Raghunathan S, et al. Platform or wholesale? A strategic tool for online retailers to benefit from third-party information[J]. *MIS Quarterly*, 2017, 41(3): 763-785.
- [11] Tian L, Vakharia A J, Tan Y L, et al. Marketplace, reseller, or hybrid: Strategic analysis of an emerging e-commerce model[J]. *Production and Operations Management*, 2018, 27(8): 1595-1610.
- [12] 赵菊, 刘龙, 王艳, 等. 基于电商平台的供应商竞争和模式选择研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2019, 39(8): 2058-2069. (Zhao J, Liu L, Wang Y, et al. Research on competition and mode selection of suppliers based on e-commerce platform[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2019, 39(8): 2058-2069.)
- [13] Fehr E, Schmidt K M. A theory of fairness, competition, and cooperation[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1999, 114(3): 817-868.
- [14] 毕功兵, 瞿安民, 梁樑. 不公平厌恶下供应链的批发价格契约与协调[J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(1): 134-140. (Bi G B, Qu A M, Liang L. Supply chain coordination with wholesale price contract incorporating inequity

- aversion[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2013, 33(1): 134-140.)
- [15] 曹晓刚, 黄美, 闻卉. 考虑公平关切的闭环供应链差别定价决策及协调策略[J]. *系统工程理论与实践*, 2019, 39(9): 2300-2314.
(Cao X G, Huang M, Wen H. Differential pricing decision and coordination strategy in closed-loop supply chain considering fairness concerns[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2019, 39(9): 2300-2314.)
- [16] Ho T H, Su X M, Wu Y Z. Distributional and peer-induced fairness in supply chain contract design[J]. *Production and Operations Management*, 2014, 23(2): 161-175.
- [17] Nie T F, Du S F. Dual-fairness supply chain with quantity discount contracts[J]. *European Journal of Operational Research*, 2017, 258(2): 491-500.
- [18] 浦徐进, 诸葛瑞杰, 范旺达. 考虑横向和纵向公平的双渠道供应链均衡策略[J]. *系统工程学报*, 2014, 29(4): 527-536.
(Pu X J, Zhuge R J, Fan W D. Impact of horizontal fairness and vertical fairness on strategies in dual-channel supply chain[J]. *Journal of Systems Engineering*, 2014, 29(4): 527-536.)
- [19] Wang Y Y, Yu Z Q, Shen L. Study on the decision-making and coordination of an e-commerce supply chain with manufacturer fairness concerns[J]. *International Journal of Production Research*, 2019, 57(9): 2788-2808.
- [20] 王玉燕, 李璟. 公平关切下基于网络平台销售、回收的E-闭环供应链的主导模式研究[J]. *中国管理科学*, 2018, 26(1): 139-151.
(Wang Y Y, Li J. Research on dominant models of E-CLSC based on network sale and recycle considering fairness concern[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2018, 26(1): 139-151.)
- [21] 王晓迪, 王玉燕, 李璟. 公平关切下网络平台主导的E-闭环供应链决策及协调模型[J]. *系统管理学报*, 2019, 28(5): 964-972.
(Wang X D, Wang Y Y, Li J. Decision and coordination model of E-CLSC dominant by network platform considering fairness concern[J]. *Journal of Systems & Management*, 2019, 28(5): 964-972.)
- [22] 聂佳佳, 蒋晨, 王琦君. 碳税政策下风险规避对低碳竞争策略的影响[J]. *工业工程与管理*, 2018, 23(5): 33-43.
(Nie J J, Jiang C, Wang Q J. The impact of risk evasion on low-carbon competition strategy under carbon tax policy[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2018, 23(5): 33-43.)
- [23] Wang Y Y, Yu Z Q. Research on advertising and pricing in e-supply chain under different dominant modes[J]. *Journal of Systems Science and Information*, 2018, 6(1): 58-68.
- [24] Li T, Zhang R, Zhao S L, et al. Low carbon strategy analysis under revenue-sharing and cost-sharing contracts[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 212: 1462-1477.
- [25] Ma P, Zhang C, Hong X P, et al. Pricing decisions for substitutable products with green manufacturing in a competitive supply chain[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 183: 618-640.
- [26] 刘名武, 许以撒, 付红. 双渠道背景下低碳供应链决策及渠道合作策略[J]. *软科学*, 2019, 33(2): 105-111.
(Liu M W, Xu Y S, Fu H. Low carbon supply chain decision-making and channel cooperation under dual channel background[J]. *Soft Science*, 2019, 33(2): 105-111.)
- [27] Wang B, Wang J. Price and service competition between new and remanufactured products[J]. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 2015: 1-18.
- [28] Sinayi M, Rasti-Barzoki M. A game theoretic approach for pricing, greening, and social welfare policies in a supply chain with government intervention[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 196: 1443-1458.

作者简介

王文隆(1986—), 男, 讲师, 博士, 从事运营管理等研究, E-mail: 522549329@qq.com;

任倩楠(1995—), 女, 硕士生, 从事供应链管理的研究, E-mail: rqn@xauat.edu.cn;

翟晓娜(1993—), 女, 硕士生, 从事电商供应链管理的研究, E-mail: zxn1204@xauat.edu.cn;

张涑贤(1971—), 女, 教授, 博士, 从事供应链质量管理等研究, E-mail: susanxy@163.com.

(责任编辑: 李君玲)