

碳税-碳交易下零售商 主导型供应链公平关切决策

王玉燕, 张晓真

(山东财经大学 管理科学与工程学院, 山东 济南 250014)

摘要:在碳税-碳交易政策的影响下,以一个主导零售商和从属中小制造商(SMM)组成的低碳供应链为研究对象,通过构建 SMM 有无公平关切行为的分散决策模型以及集中决策模型,并对各个模型的最优决策进行比较分析,探讨 SMM 的公平关切决策和供应链的协调问题。文章研究了 SMM 公平关切下公平关切系数、碳减排率和碳税率对供应链定价和利润的影响,并设计了“Nash 谈判-两部定价”契约实现系统协调。研究发现,在碳税-碳交易政策的影响下,供应链成员利润随着碳税率的增加而减少,但是供应链成员利润随着碳减排率变动呈现两种不同方向变化。SMM 公平关切行为可以提高批发价格和自身利润,降低零售商利润,但对零售价格和系统利润没有影响,随着 SMM 公平关切系数的增大,零售商与 SMM 之间的利润差距缩小。文章设计的“Nash 谈判-两部定价”契约可以实现系统协调。

关键词:碳税-碳交易政策;低碳供应链;公平关切;“Nash 谈判-两部定价”契约

中图分类号:F224.32 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-929X(2024)02-109-13

一、引言

随着互联网业务的快速发展以及新兴信息技术的涌现,像沃尔玛(美国)、家乐福(法国)、京东(中国)等大型零售企业的实力与日俱增,当这类大型零售企业与实力较弱的从属中小制造商(small and medium-sized manufacturer,简称 SMM)结成供应链时,会占据供应链的主导地位。并且零售商会利用其主导优势,掌控供应链利润谈判的话语权,从中获得丰厚的利润,而传统的制造商主导型供应链相比,被掌控的 SMM 只能从链条中获得微薄收益。

与此同时,随着二氧化碳等温室气体的排放逐渐增多,环境气候问题日渐严峻,各国通过采取一系列措施减少碳排放,其中,碳税和碳交易并行的混合碳政策因为减排效果显著而备受关注^[1-2]。目前,英国、法国、日本、加拿大等 15 个国家和地区同时实施碳税与碳交易两种政策手段。有的国家将一些高排放部门纳入碳排放权交易体系并同时征收碳税,如挪威对油气、造纸、航空等部门实施复合政策。但是这种碳税和碳交易并行的混合碳政策(简称为“碳税-碳交易政策”)在实现减排的同时,却大大增加了制造商减排的压力,尤其是

基金项目:国家自然科学基金项目“网络直播新政下电商直播供应链的公平关切运作决策研究”(72371144);济南市自主培养创新团队项目“智慧物流与供应链决策创新团队”(202228075);山东省泰山学者工程专项(tsqn202211197)。

作者简介:王玉燕,女,山东禹城人,博士,山东财经大学管理科学与工程学院教授、博士生导师,研究方向:博弈论与供应链管理。

SMM 处境更为艰难。在政府碳政策的影响下, 消费者的消费方式已向低碳消费转变; 面对低碳偏好的市场需求, SMM 不得不生产低碳产品, 否则, 将会面临被大企业吞并或者被市场淘汰的威胁。低碳生产的技术投入需要大量资金支持, 这对处于供应链中从属地位的 SMM 来说, 无疑是“雪上加霜”。

面对巨大的生存压力, SMM 对零售商掌控的利润分配规则产生不满, 希望链条中处于主导地位的零售商给予一定的关切; SMM 的关注点会由“自身利润”转变为“自身与零售商的利润差距的大小”。当 SMM 认为自身与零售商的利润差距过大时, 会产生公平关切行为, 以示不满。比如, 2004 年家电制造商格力撤柜自建直销渠道, 正是受到了家电行业零售巨头国美擅自降低空调价格的影响。因此, 研究大型零售商主导型低碳供应链的 SMM 公平关切行为具有重要意义。

基于此背景, SMM 公平关切行为能否提升 SMM 的利润, 并缩小其与零售商之间的利润差距以及如何影响成员决策和利润? SMM 关注公平时, 碳减排率如何影响供应链成员效益? 如何协调供应链, 从而缓解这种 SMM 有限理性决策造成的影响? 为解决这些问题, 本文基于碳税-碳交易政策将公平关切和消费者低碳偏好因素纳入决策模型, 首先构建了 SMM 有无公平关切行为的分散决策模型以及集中决策模型。其次, 对不同模型下的最优决策结果进行对比, 分析了 SMM 公平关切系数和碳减排率等相关参数对低碳供应链定价和利润的影响。再次, 在 SMM 公平关切下设计“Nash 谈判-两部定价”契约来实现供应链协调, 并给出供应链成员接受契约的可行条件。最后, 通过数值算例对主要结论进行验证。

二、文献综述

与本文密切相关的研究包括碳政策下低碳供应链的研究、公平关切对低碳供应链的影响研究以及低碳供应链的协调研究。

(1) 碳政策下低碳供应链的研究。关于碳政策对低碳供应链的运营决策影响的研究主要分为两个方面: 一是基于碳税政策研究低碳供应链的运作问题。例如, 周艳菊等^[3]考虑到两个制造商的竞争关系, 探讨碳税政策如何影响普通产品和低碳产品的定价策略。Zhang 等^[4]整合了竞合供应链和碳税机制, 分析了碳税和市场竞争对低碳产品选择的影响, 发现下游厂商的产品策略只受碳税率和低碳产品单位成本的影响。Wang 和 Wang^[5]探讨了碳税政策下消费者的产品接受度对制造商产品线策略的影响。二是基于碳交易政策研究低碳供应链的运作问题。例如, Ghosh 等^[6]在模型中引入了消费者渠道偏好和产品的兼容性因素, 考虑了政府强制性限额交易管制下的营销策略问题。姚凡军等^[7]将绿色商誉和消费者绿色偏好纳入模型, 从动态视角研究碳配额交易政策下制造商广告策略和零售商定价策略问题。夏良杰等^[8]基于碳交易机制研究制造商过度自信这种非理性行为对供应链成员减排决策的影响, 研究发现在某种条件下, 供应链成员的最优决策与过度自信水平呈负相关。这些文献都是聚焦于单一政策(碳税或者碳交易), 而将这两种政策同时纳入模型考虑的研究比较匮乏。实际上, 并行实施碳交易和碳税已成为国际碳减排政策趋势。因此, 本文将碳税和碳交易政策同时纳入模型考虑, 研究低碳供应链运营决策与协调问题。

(2) 公平关切对低碳供应链的影响研究。例如, 于晓辉等^[9]建立了由一个制造商和一个零售商组成的双渠道低碳供应链模型, 分析了零售商公平关切程度和制造商公平关切程度对最优定价、效用和碳减排量影响的区别。他们的研究结果表明, 在制造商主导的低碳供应链中, 公平关切行为对低碳产品的零售价格没有影响。叶同等^[10]发现在制造商领导的供应链中, 随着制造商公平关切程度的增大, 制造商的利润减小。张玲红等^[11]将消费者环保意识以及零售商广告水平纳入模型, 研究零售商公平关切对制造商和零售商最优策略的影响。这些关于公平关切的文献是基于制造商主导、零售商跟随的权力结构考虑的。相比之下, 本文针对零售商主导型低碳供应链中的 SMM 的公平关切行为做进一步的探讨。

(3) 低碳供应链的协调研究。叶同等^[10]设计的“双向成本分担契约”不仅能实现供应链系统的协调, 还

能增加成员的效用。曹裕等^[12]考虑到随机需求,研究碳税政策下不同渠道间缺货转换和碳排放差异的双渠道供应链库存与协调问题,并设计了由双向收入共享合约和转移支付机制组成的组合合约机制实现供应链协调。夏西强等^[13]基于外包制造分析碳交易政策对低碳供应链定价、利润、环境和消费者剩余的影响,并基于Shapley 值法协调供应链。邹清明等^[14]发现碳交易机制下制造商公平关切对供应链成员利润产生负向影响,可以通过收益共享-成本共担契约实现供应链协调。与现有研究从收益或者成本方面作为切入点对学生进行协调不同,本文将供应链成员的实际谈判能力考虑在内,提出“Nash 谈判-两部定价”契约更加符合现实需要。

综上所述,尽管已有学者研究了零售商主导型低碳供应链^[15-17],但较少考虑供应链成员的公平问题。实际上,大型零售商在供应链中逐渐占据主导地位,例如,沃尔玛(美国)、亚马逊(美国)、施瓦茨集团(德国)、京东(中国)等,零售商掌握着合作的主导权。比如,全球最大的零售商沃尔玛与众多规模小的公司合作,建立周转资金方案以支持小型供应商。另外,SMM 在与大型零售商合作的过程中,获取的利润很少,SMM 因和零售商的收入差距过大产生公平问题,可能会采取破坏合作的行为。因此,在现有研究的基础上,本文以零售商主导的低碳供应链为研究对象,在碳税和碳交易政策背景下探讨 SMM 公平关切对供应链决策和协调的影响。

三、模型说明与假设

在碳税-碳交易政策下,文章研究由一个强势零售商主导,SMM 为从属的供应链系统。在供应链系统中,SMM 是碳排放的主要制造者,按照订单式生产:SMM 将生产的低碳产品以一定的批发价格销售给零售商,零售商再将产品销售给消费者。模型结构见图 1 所示。

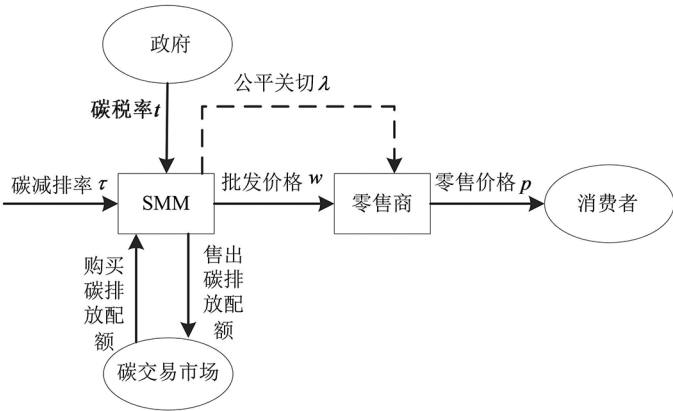


图 1 零售商主导型低碳供应链结构模型

模型的符号说明如表 1 所示。

表 1 模型相关参数说明

符号	说明
w	单位产品的批发价格
p	单位产品的零售价格
ρ	产品的单位预期销售收益
τ	低碳产品的碳减排率 ($\tau > 0$)
c_0	普通产品的生产成本
γ	低碳产品的生产成本关于碳减排率的弹性系数 ($\gamma > 0$)

续表 1

符号	说明
c	低碳产品的生产成本
α	产品的市场最大规模
β	产品的价格敏感系数 ($\beta > 0$)
δ	产品需求的低碳敏感系数 ($\delta > 0$)
q	市场需求量
e	单位产品的初始碳排放量
d	政府规定的单位产品的碳配额
t	碳税率 ($0 < t < 1$)
P_c	单位碳排放量的交易价格
π_m	SMM 的利润
π_r	零售商的利润
π_s	供应链系统的利润
Δ	零售商与 SMM 的利润差值, 即 $\pi_r - \pi_m$

为便于后文描述模型,使用上标 D、F、I、C 分别代表无公平关切下的分散决策模型、SMM 公平关切下的分散决策模型、集中决策模型和 SMM 公平关切下的协调模型,上标 * 表示各模型的最优决策。同时,为简化模型做出如下假设:

假设 1:由于消费者对低碳产品存在偏好,因此产品的市场需求量主要受产品价格、产品减排程度的影响,借鉴文献^[18-20]的假设,市场需求量可以描述为 $q = \alpha - \beta p + \delta \tau$ 。

假设 2:由于低碳产品的生产工艺、技术要求比较高,生产成本也比较高,而且生产成本随着碳减排率的提高而增加,我们假设低碳产品的生产成本可以表示为 $c = c_0 + \gamma \tau$ 。

假设 3:参考吴开兰等^[21]的研究,假设政府规定的单位产品的碳配额为 d ,制造商的单位产品碳交易支出或收入为 $[(1 - \tau)e - d]P_c$ 。

假设 4:与曹裕等^[12]的研究一样,假设政府规定的碳税率为 t ,制造商需缴纳的单位产品碳税为 $(1 - \tau)et$ 。

假设 5:假设零售商的销售过程产生二氧化碳微乎其微,在模型分析中,忽略不计。

碳税-碳交易政策的运行机制:一方面,制造商根据实际碳排放量向政府缴纳一定碳税;另一方面,制造商根据实际碳排放量是否超出政府免费发放的碳配额来确定在碳交易市场售出还是购买碳排放配额。在此背景下,SMM 的利润函数为:

$$\pi_m = (w - c)q - [(1 - \tau)e - d]qP_c - (1 - \tau)eqt$$

(1)

在式(1)中,第一部分表示制造商销售产品的收入,第二部分表示碳交易的支出或收入,第三部分是需缴纳的碳税。

零售商的利润函数为:

$$\pi_r = (p - w)q$$

(2)

供应链的利润函数为:

$$\pi_s = \pi_m + \pi_r$$

(3)

四、模型求解和分析

(一) 无公平关切下的分散决策

在 SMM 不考虑公平关切的分散决策(D 模型)下,零售商和 SMM 均以实现自身利润最大化为目标,构成

以零售商为主 SMM 为从的 Stackberg 博弈,决策顺序为:零售商首先决策零售价格 p ,并根据零售价格确定自己的预期收益 ρ ;然后 SMM 决策产品的批发价格 w 。根据逆向归纳法求解,得到无公平关切下的分散决策模型的最优解,如表 2 所示。

表 2 不同模型的最优决策结果

模型	模型的最优解以及供应链成员的最优利润及差值
D	$\rho^{D*} = \frac{A}{2\beta}; w^{D*} = \frac{A + 4B}{4\beta}; p^{D*} = \frac{3A + 4B}{4\beta}; q^{D*} = \frac{A}{4}; \pi_m^{D*} = \frac{A^2}{16\beta}; \pi_r^{D*} = \frac{A^2}{8\beta}; \pi_s^{D*} = \frac{3A^2}{16\beta}; \Delta^{D*} = \frac{A^2}{16\beta}$
F	$\rho^{F*} = \frac{(1 + \lambda)A}{2\beta(1 + 2\lambda)}; w^{F*} = \frac{A + 4B + 4\lambda(A + 2B)}{4\beta(1 + 2\lambda)}; p^{F*} = \frac{3A + 4B}{4\beta}; q^{F*} = \frac{A}{4}; \pi_m^{F*} = \frac{(1 + 4\lambda)A^2}{16\beta(1 + 2\lambda)};$ $\pi_r^{F*} = \frac{(1 + \lambda)A^2}{8\beta(1 + 2\lambda)}; u_m^{F*} = \frac{(1 + \lambda)A^2}{16\beta}; \pi_s^{F*} = \frac{3A^2}{16\beta}; \Delta^{F*} = \frac{(1 - 2\lambda)A^2}{16\beta(1 + 2\lambda)}$
I	$p^{I*} = \frac{A + 2B}{2\beta}; q^{I*} = \frac{A}{2}; \pi_s^{I*} = \frac{A^2}{4\beta}$
C	$\rho^{C*} = \frac{[3 - \eta + 2\lambda(2 - \eta)]A}{8\beta(1 + 2\lambda)} + \frac{2T}{A}; w^{C*} = \frac{A(1 + \eta + 2(2 + \eta)\lambda)}{8\beta(1 + 2\lambda)} + \frac{B}{\beta} - \frac{2T}{A}; p^{C*} = \frac{A + 2B}{2\beta}; q^{C*} = \frac{A}{2};$ $\pi_m^{C*} = \frac{[1 + \eta + 2\lambda(2 + \eta)]A^2}{16\beta(1 + 2\lambda)}; \pi_r^{C*} = \frac{[3 - \eta + 2\lambda(2 - \eta)]A^2}{16\beta(1 + 2\lambda)}; \pi_s^{C*} = \frac{A^2}{4\beta}; u_m^{C*} = \frac{(1 + \eta + 2\lambda\eta)A^2}{16\beta};$ $\Delta^{C*} = \frac{2(1 - \eta - 2\lambda\eta)A^2}{16\beta(1 + 2\lambda)}$

注： $A = \alpha - \beta[c_0 - dP_c + e(P_c + t)] + \{\delta - \beta[\gamma - e(P_c + t)]\}\tau$, $B = \beta[c_0 - dP_c + e(P_c + t)] + \beta[\gamma - e(P_c + t)]\tau$ 。

(二) 公平关切下的分散决策

SMM 公平关切下的分散决策(F 模型)中在整个供应链中,SMM 不仅关注自身利润的最优,还关注和零售商利润的比较。由于零售商占据链条的主导权,借助地位优势获得巨额利润,而 SMM 只能得到薄利。另外,加上碳税-碳交易政策下生产低碳产品的压力,使得 SMM 的成本增加,从而导致 SMM 的利润和零售商利润之间的差距变大。对此,SMM 认为利润分配不公,产生公平担忧心理,这种心理在决策中体现为公平关切决策。

借鉴 Jian 等^[22]的假设,假设 SMM 公平关切下的效用函数为:

$$u_m = \pi_m - \lambda(\pi_r - \pi_m)$$

(4)

其中, $\lambda(\lambda > 0)$ 表示 SMM 公平关切系数(程度)。当 λ 越接近 0 时,表示 SMM 公平关切程度越弱;当 λ 越大时,表示 SMM 的公平关切程度越强。

此时,零售商仍以实现自身利润最大化为目标进行决策,而 SMM 以实现自身效用最大化为目标进行决策,双方之间进行 Stackelberg 博弈,采用逆向归纳法求解,得到 SMM 公平关切下的分散决策的最优解,如表 2 所示。

命题 1:(1) w^{F*} 、 π_m^{F*} 和 u_m^{F*} 与 λ 呈正相关;(2) ρ^{F*} 、 π_r^{F*} 和 Δ^{F*} 与 λ 呈负相关;(3) p^{F*} 、 q^{F*} 、 π_s^{F*} 与 λ 无关。

命题 1 表明,产品批发价格、SMM 最优利润和最优效用随公平关切系数的增大而增大,零售商单位预期收益、零售商利润以及与 SMM 的利润差随公平关切系数的增大而减小,而产品零售价格、市场需求量和供应链系统利润不受公平关切系数变化的影响。SMM 公平关切有助于提升自身利润和效用,能缩小他和零售商之间的利润差距,但会损害零售商的收益。

命题 2: (1) 公平关切系数对批发价格和零售商单位预期收益影响程度的关系: $\left| \frac{\partial w^{F^*}}{\partial \lambda} \right| = \left| \frac{\partial \rho^{F^*}}{\partial \lambda} \right|$; (2) 公平关切系数对 SMM 利润和零售商利润影响程度的关系: $\left| \frac{\partial \pi_m^{F^*}}{\partial \lambda} \right| = \left| \frac{\partial \pi_r^{F^*}}{\partial \lambda} \right|$ 。

命题 2 表明, 批发价格和零售商单位预期收益受 SMM 公平关切的影响相同, 同样地, SMM 利润和零售商利润受 SMM 公平关切的影响也相同。因零售商单位预期销售收益与零售价格和批发价格有关, 当零售价格保持不变时, 零售商单位预期收益减少量和批发价格增加量相等; 此外, 市场需求量和供应链系统利润不变, 进而 SMM 利润增加量和零售商利润减少量相等。

命题 3: w^{F^*} 、 p^{F^*} 与 t 正相关, 而 ρ^{F^*} 、 q^{F^*} 、 $\pi_m^{F^*}$ 、 $\pi_r^{F^*}$ 、 $\pi_s^{F^*}$ 与 t 负相关。

命题 3 表明, 在 SMM 公平关切下, 产品批发价格和零售价格均随着碳税率 t 的增加而增加, 这是因为政府向 SMM 征收的碳税会额外增加产品的成本, SMM 会提高产品批发价格, 相应地, 零售商为保证边际收益也会提高零售价格, 从而导致低碳产品市场需求下降, SMM 和零售商利润降低。从命题 3 可得出, 过高的碳税率不利于企业低碳产品的生产, 政府应该设置合理的碳税率来鼓励企业低碳减排。

命题 4: (1) 当 $d > e(1 - \tau)$ 时, w^{F^*} 、 p^{F^*} 与 P_c 负相关, ρ^{F^*} 、 q^{F^*} 、 $\pi_m^{F^*}$ 、 $\pi_r^{F^*}$ 、 $\pi_s^{F^*}$ 与 P_c 正相关; (2) 当 $d < e(1 - \tau)$ 时, w^{F^*} 、 p^{F^*} 与 P_c 正相关, ρ^{F^*} 、 q^{F^*} 、 $\pi_m^{F^*}$ 、 $\pi_r^{F^*}$ 、 $\pi_s^{F^*}$ 与 P_c 负相关。

命题 4 表明, 当 SMM 关注公平时, 政府规定的碳配额能满足企业实际碳排放时 $d > e(1 - \tau)$, SMM 可以售出剩余的碳减排额, 随着碳交易价格 P_c 的增加, 额外获取的碳减排权交易的收入增加, 因为有一定的盈利空间, 企业会采取降价措施来促进销量, 进而供应链成员利润增加。但是, 当政府规定的碳配额没有剩余时 $d < e(1 - \tau)$, 即 SMM 碳减排率较低, SMM 需要从交易市场中购买减排额, 碳交易价格的增加会使低碳产品的成本增加, 企业会提高价格, 导致市场需求降低, 供应链成员利润下降。

命题 5: (1) w^{F^*} 、 p^{F^*} 与 τ 正相关; (2) 当 $\delta > \beta(\gamma - eP_c - et)$ 时, ρ^{F^*} 、 q^{F^*} 、 $\pi_m^{F^*}$ 、 $\pi_r^{F^*}$ 、 $\pi_s^{F^*}$ 与 τ 正相关; (3) 当 $\delta < \beta(\gamma - eP_c - et)$ 时, ρ^{F^*} 、 q^{F^*} 、 $\pi_m^{F^*}$ 、 $\pi_r^{F^*}$ 、 $\pi_s^{F^*}$ 与 τ 负相关。

命题 5 表明, 在碳税-碳交易政策下, 当 SMM 关注公平时, 低碳产品批发价格和零售价格都随碳减排率的增大而增加。当消费者对低碳环保程度很敏感时, 即 $\delta > \beta(\gamma - eP_c - et)$, 随着减排率 τ 的增加, 低碳产品的市场需求会增加, 零售商单位边际收益、供应链成员及系统利润也随碳减排率的增大而增加。可看出, 消费者对低碳产品越关注, SMM 减排投入越大, 对各成员越有利。然而, 当消费者对产品价格更敏感时, 即 $\delta < \beta(\gamma - eP_c - et)$, 随着碳减排率 τ 的增加, 低碳产品的市场需求会减少, SMM 提高减排率反而会使系统各成员利润降低。因此, 当 SMM 提高减排率的同时, 零售商应加大对低碳产品的宣传推广, 引导消费者提高低碳环保意识, 实现经济发展和环境保护相协调。

(三) 集中决策

在集中决策(I 模型)下, 零售商和 SMM 通过合作确定零售价格 p , 实现供应链系统利润最大化。结合式 (1)~(3), 可求得供应链系统的总利润函数为:

$$\pi_s = \{p - c - [(1 - \tau)e - d]P_c - (1 - \tau)et\}q \quad (5)$$

根据式 (5), 计算模型的最优决策结果, 如表 2 所示。

(四) 模型的分析比较

结论 1: $p^{I^*} < p^{F^*} = p^{D^*}$, $q^{I^*} > q^{F^*} = q^{D^*}$, $\pi_s^{I^*} > \pi_s^{F^*} = \pi_s^{D^*}$ 。

结论 1 表明, 集中决策下, 产品零售价格最低, 市场需求量最大, 系统利润最高。这是因为在集中决策模式下, SMM 和零售商以供应链系统利润最大化为决策目标, 双方通过采取“降价促销”措施提高系统利润。同时, 分散决策下 SMM 关注公平时, 产品零售价格、市场需求量和系统利润与无公平关切下情况相等。这与之

前 Pan 等^[23]的研究结论不同,他们认为整个供应链可以从公平问题中获取额外利润。这是因为,无论 SMM 是否考虑公平关切,作为主导企业的零售商优先决策,以实现自身利润最大化为目标确定零售价格,并不关心 SMM 的公平担忧,而市场需求与零售价格有关,所以零售价格不变导致市场需求量和系统利润不变。

结论 2: $\rho^{F^*} < \rho^{D^*}$, $w^{F^*} > w^{D^*}$, $\pi_m^{F^*} > \pi_m^{D^*}$, $\pi_r^{F^*} < \pi_r^{D^*}$, $\Delta^{F^*} < \Delta^{D^*}$ 。
结论 2 表明,在分散决策下,SMM 关注公平时的批发价格和 SMM 的利润均高于无公平关切时的情形,而零售商预期边际收益和零售商利润均低于无公平关切时的情形。另外,SMM 的公平关切行为,会使他与零售商的利润差距减小,这和命题 1 的结果一致。这是因为 SMM 的公平担忧,他会通过提高批发价格以获取更多收益,系统利润不变,零售商单位预期收益和利润降低,系统成员之间利润差距缩小。因此,为保证系统长期平稳运行,零售商应该采取有效措施积极应对 SMM 的公平关切倾向,避免因对方的公平担忧给自身利润造成损失。

由结论 1 和结论 2 可知,对整个系统而言,集中决策下的利润最大,无论 SMM 是否考虑公平关切,分散决策下的供应链系统利润总是低于集中决策下系统的利润,但集中决策是一种理想状态,实现供应链最优运作需要借助协调机制,所以有必要设计契约对 SMM 公平关切下的零售商主导的低碳供应链系统进行协调。

五、公平关切下的协调机制

借鉴卢超等^[24]以及杨惠霄和欧锦文^[25]的研究,在 SMM 公平关切下,采用一种“Nash 谈判-两部定价”契约来协调供应链,具体思路为:零售商向 SMM 提出“Nash 谈判-两部定价”契约,以集中决策(C 模型)模式下的最优零售价格 p 进行决策,并向 SMM 支付固定费用 T ,SMM 根据零售商提供的契约进行选择,SMM 确定最优批发价格 w 。在契约中,通过调整固定费用 T 的数额,以实现供应链协调。

在该契约下,SMM 和零售商的利润函数分别为:
$$\pi_m = (w - c)q - [(1 - \tau)e - d]qP_c - (1 - \tau)eqt + T \tag{6}$$
$$\pi_r = (p - w)q - T \tag{7}$$

在供应链系统中,由于零售商占据主导地位,所以零售商的谈判能力要大于 SMM,即 $\eta_1 < \eta_2$, η_1 、 η_2 分别代表 SMM 和零售商的谈判能力。首先,通过 Nash 谈判的思想确定批发价格 w ,建立模型如式(8):

$$\begin{aligned} &\max_w (\pi_m^C - \pi_m^F)^{\eta_1} (\pi_r^C - \pi_r^F)^{\eta_2} \\ &\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{i=1}^2 \eta_i = 1 \\ \pi_m^C \geq \pi_m^F \\ \pi_r^C \geq \pi_r^F \\ u_m^C \geq u_m^F \\ \pi_m^C > 0, \pi_r^C > 0 \\ u_m^C > 0 \end{cases} \end{aligned} \tag{8}$$

其中,令 $\eta_1 = \eta$ ($0 < \eta < 1/2$), $\eta_2 = 1 - \eta$,建立拉格朗日函数为:
$$L(w, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3) = -(\pi_m^C - \pi_m^F)^\eta (\pi_r^C - \pi_r^F)^{1-\eta} - \varphi_1(\pi_m^C - \pi_m^F) - \varphi_2(\pi_r^C - \pi_r^F) - \varphi_3(u_m^C - u_m^F) \tag{9}$$

需要满足以下 KKT 条件:

$$\begin{cases} \nabla_w L(w, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3) = 0 \\ \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 \geq 0 \\ -\varphi_1(\pi_m^C - \pi_m^F) = 0 \\ -\varphi_2(\pi_r^C - \pi_r^F) = 0 \\ -\varphi_3(u_m^C - u_m^F) = 0 \end{cases} \quad (10)$$

根据 KKT 条件求解可得:

$$w^{C*} = \frac{A(1 + \eta + 2(2 + \eta)\lambda)}{8\beta(1 + 2\lambda)} + \frac{B}{\beta} - \frac{2T}{A} \quad (11)$$

$$T = \frac{A^2[1 + \eta + 2(2 + \eta)\lambda]}{16\beta(1 + 2\lambda)} + \frac{A(B - w\beta)}{2\beta} \quad (12)$$

$$\begin{cases} T_{\min} = \frac{(1 + \lambda)A^2}{16\beta(1 + 2\lambda)} \\ w_{\max}^{C*} = \frac{\eta + 3\lambda + 2\lambda\eta}{8(1 + 2\lambda)\beta A} + \frac{B}{\beta} \end{cases} \text{ 和 } \begin{cases} T_{\max} = \frac{(1 + \lambda)A^2}{8\beta(1 + 2\lambda)} \\ w_{\min}^{C*} = \frac{\eta + 2\lambda + 2\lambda\eta - 1}{8(1 + 2\lambda)\beta A} + \frac{B}{\beta} \end{cases} \quad (13)$$

相关最优结果如表 2 所示。

结论 3: 在 SMM 公平关切下“Nash 谈判-两部定价”契约中, 当 η 满足 $\lambda/(1 + 2\lambda) \leq \eta < 1/2$ 时, 调整固

定费用数额 $T = \frac{A^2[1 + \eta + 2(2 + \eta)\lambda]}{16\beta(1 + 2\lambda)} + \frac{8A(B - w\beta)}{16\beta}$ ($T_{\min} < T < T_{\max}$), 可实现供应链协调。

从结论 3 可看出, 当系统协调时, 固定费用 T 在一定范围内取值且随批发价格 w 变动。当 SMM 决策的批发价格较高时, 零售商作为契约的制定者, 向 SMM 支付的固定费用减少。求解可得, 当 η 满足条件 $\lambda/(1 +$

$2\lambda) \leq \eta < 1/2$ 时, 可保证 $\begin{cases} \pi_m^{C*} \geq \pi_m^{F*} \\ u_m^{C*} \geq u_m^{F*} \end{cases}$, SMM 接受“Nash 谈判-两部定价”契约。此时, SMM 谈判系数 η 与

SMM 公平关切系数 λ 正相关, λ 越大, η 越大。

结论 4: (1) p^{C*} 、 q^{C*} 、 π_s^{C*} 与 η 、 λ 无关; (2) ρ^{C*} 、 π_r^{C*} 与 η 、 λ 负相关; (3) T 、 w^{C*} 、 π_m^{C*} 、 u_m^{C*} 与 η 、 λ 正相关。

由结论 4 可知, 在 SMM 考虑公平关切的协调机制下, 最优批发价格、市场需求量以及系统利润均达到集中决策水平, 且不受 SMM 公平关切程度和谈判能力的影响。SMM 公平关切系数越大, 谈判能力越强, 零售商单位预期收益和利润就越小, 固定费用、批发价格以及 SMM 利润和效用越大。因此, 对处于劣势地位的 SMM 而言, 增强自身实际谈判能力可以向零售商提出较高的批发价格, 以增加自身在系统中利润分配的比重, 缩小和零售商的利润差距。

六、数值分析

下面采用数值算例进行仿真分析, 对主要结论进行验证。

假设参数为 $\alpha = 50$, $\beta = 0.7$, $\delta = 0.3$, $c_0 = 4$, $\gamma = 1$, $e = 0.7$, $d = 0.4$, 在此基础上, 分别绘图: (1) 假设 $\lambda \in (0, 0.5)$, $\tau = 0.3$, $P_c = 0.8$, $t = 0.2$, 以 λ 为自变量, 绘出 SMM 公平关切时最优决策结果随 λ 变化图, 如图 2 所示; (2) 假设 $t \in (0, 1)$, $P_c \in (0, 1)$, $\lambda = 0.1$, 以 t 和 P_c 为自变量, 分别绘出 $\tau = 0.3$ 和 $\tau = 0.5$ 时 SMM 和零售商利润随 t 和 P_c 的变化图, 并分别绘出 $P_c = 0.8$, $t = 0.2$ 时, SMM 和零售商利润分别随 t 和 P_c 变化图, 如图 3 所示; (3) 假设 $\tau \in (0, 1)$, $\lambda = 0.1$, $t = 0.2$, $P_c = 0.8$, 以 τ 为自变量, 分别绘出 $\delta = 0.3$ 和 $\delta = 0.2$ 时, SMM 和

零售商利润随 τ 变化图,如图4所示;(4)假设 $\eta \in (0,0.5)$, $t = 0.2$, $P_c = 0.8$, $\tau = 0.3$, $\lambda = 0.1$,以 η 为自变量,将协调前后的供应链成员利润进行比较,如图5所示。

由图2得,随着SMM公平关切系数的增加,批发价格和SMM利润均增加,零售商单位预期收益和利润降低,而零售价格和系统利润不受SMM公平关切系数的影响。另外,从图2(b)可进一步看出,SMM和零售商的利润差距随 λ 的增大而减小,当 $\lambda = 0.5$ 时,供应链成员利润相等,利润差距为零。SMM的公平关切可以提高自身利润,并缩小他和零售商的利润差距,但会损害零售商的利润,这验证了命题1。

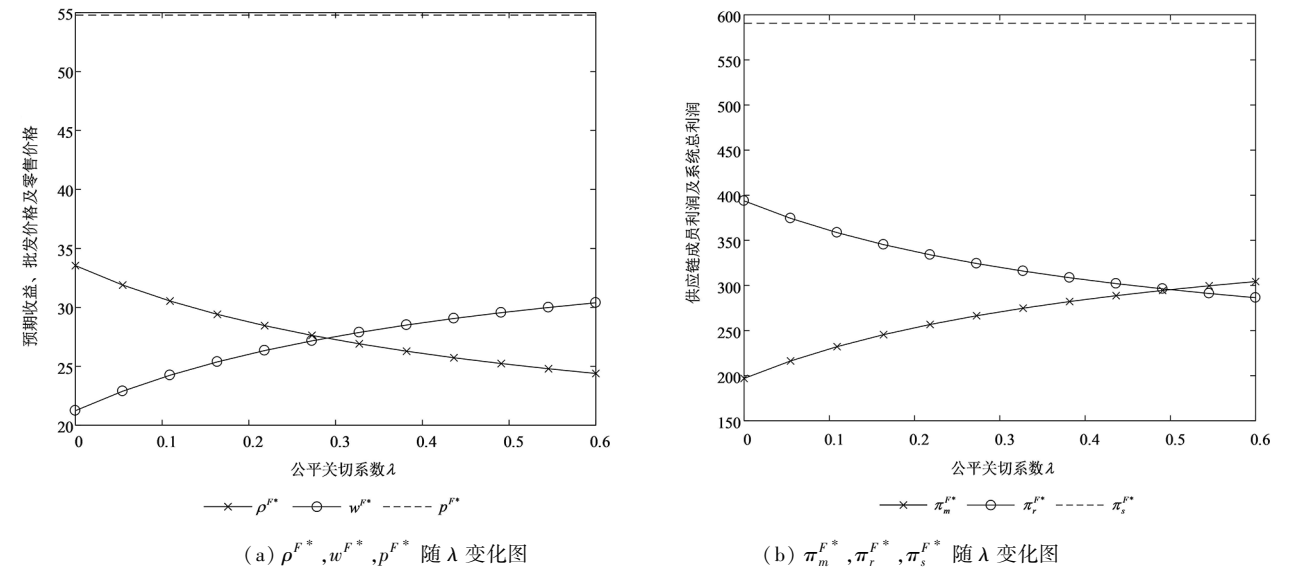
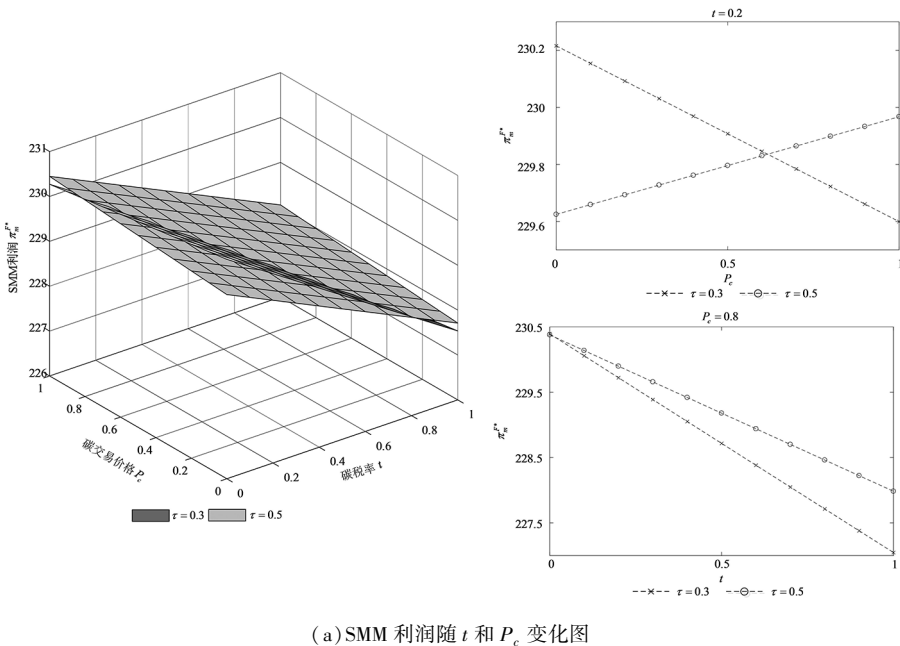
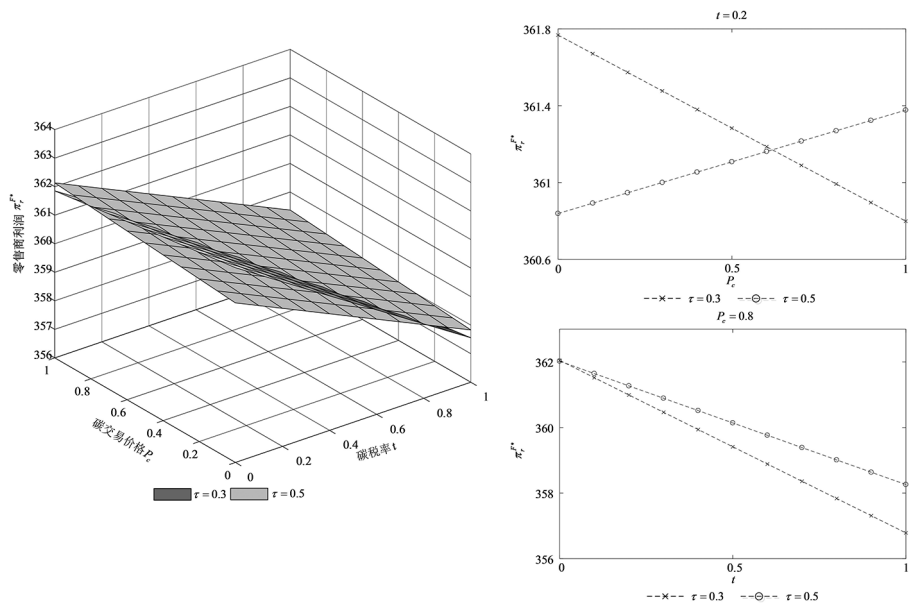


图2 最优决策结果随 λ 变化图

图3中 $\tau = 0.3$ 对应 $d < e(1 - \tau)$ 的情况, $\tau = 0.5$ 对应 $d > e(1 - \tau)$ 的情况。当碳减排率 τ 较小时,碳税率和碳交易价格的增加会使供应链成员利润减少;当碳减排率 τ 增大时,供应链成员利润随碳交易价格的增加而增加,碳税率的增加对供应链成员利润的影响变小。因此,在碳税-碳交易政策下,碳减排率的增大对供应链成员均有利。



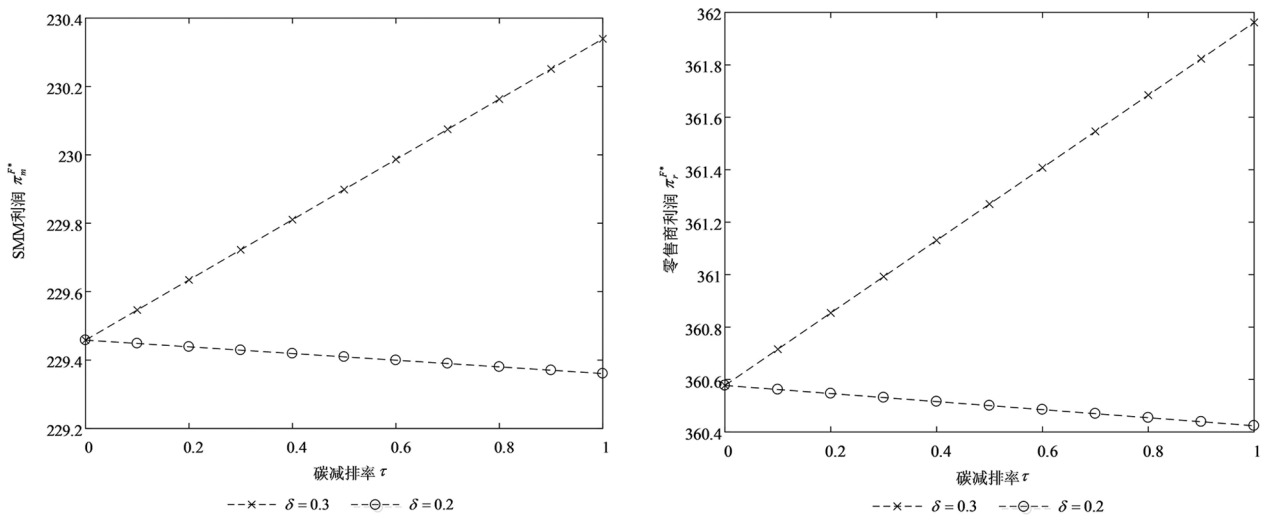
(a) SMM 利润随 t 和 P_c 变化图



(b) 零售商利润随 t 和 P_c 变化图

图 3 供应链成员利润随 t 和 P_c 变化图

图 4 中 $\delta = 0.3$ 对应 $\delta > \beta(\gamma - eP_c - et)$ 的情况, $\delta = 0.2$ 对应 $\delta < \beta(\gamma - eP_c - et)$ 的情况。当消费者对低碳产品的敏感系数 δ 比较小时, 碳减排率的提高会使供应链成员利润降低; 当 δ 变大时, 碳减排率的提高有利于供应链成员利润的增加。当消费者对低碳产品的敏感增大时, 市场对低碳产品的需求增加, 减排水平的提升有助于企业扩大市场规模来进一步提升利润。因此, SMM 应努力提升减排水平, 积极进行低碳生产, 零售商应主动承担社会责任, 提高消费者低碳环保意识。



(a) SMM 利润随 τ 变化图

(b) 零售商利润随 τ 变化图

图 4 SMM 利润和零售商利润随 τ 变化图

由图 5 可得, “Nash 谈判-两部定价” 契约协调后, 供应链成员利润均得到提升, 但 SMM 增加的利润小于零售商增加的利润。我们可以得出, 契约协调对 SMM 的影响小于对零售商的影响, 另外, 随 SMM 谈判系数 η 的增大, SMM 利润增加, 零售商利润减少, 这验证了结论 4。

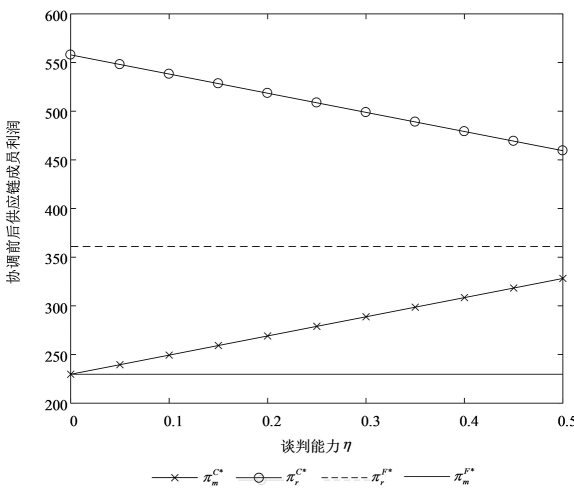


图 5 协调前后 SMM 利润和零售商利润随 η 变化图

七、结束语

(一) 研究结论

在碳税-碳交易政策的背景下,文章研究了以零售商为主导 SMM 为从属的低碳供应链中的公平关切问题,构建了有无 SMM 公平关切的分散决策以及集中决策模型,得到相应的最优决策结果,并对不同模型下的最优结果进行比较分析,探讨了碳减排率以及 SMM 公平关切系数对低碳供应链运作的影响,并设计了“Nash 谈判-两部定价”契约来协调低碳供应链,最后进行数值验证。得到如下结论:

(1)在碳税-碳交易政策的影响下,随着碳减排率的增大,供应链成员利润将会向两种不同方向变化。当减排水平较低时,供应链成员利润随碳交易价格的增加而降低;当减排水平较高时,供应链成员利润随碳交易价格的增加而增加。另外,当消费者低碳敏感系数较大时,供应链成员利润与碳减排率正相关;否则,供应链成员利润与碳减排率负相关。但是供应链成员利润随着碳税率的增加而减少。总之,当消费者低碳环保意识增强时,SMM 提高碳减排水平对供应链成员利润均有利。

(2)不同于现有文献认为“制造商公平关切会造成自身利润降低或在碳限额与碳交易机制背景下的系统利润降低”^[14,23],我们研究发现,SMM 公平关切行为可以提高批发价格和自身利润,降低零售商利润,但对零售价格和系统利润没有影响。这是因为,不论是否 SMM 公平关切,供应链中占主导地位的零售商先根据自身利润最大化决策,零售价格不变,进而市场需求和总利润不变,SMM 公平关切行为导致批发价格的增加,进一步促使制造商的利润增加而零售商利润下降。此外,随着 SMM 公平关切系数的增大,SMM 与零售商之间的利润差距缩小。

(3)本文提出考虑 SMM 公平关切行为的“Nash 谈判-两部定价”契约,并探讨了 SMM 谈判系数及公平关切系数对协调的影响。在契约中,零售商以集中决策水平的最优零售价格进行决策,调整固定费用的数额从而实现供应链协调。只有当 SMM 谈判系数满足 $\lambda/(1+2\lambda) \leq \eta < 1/2$ 时,SMM 才会接受契约,且协调之后供应链成员的利润均得到提升。另外,协调后的 SMM 的利润与 SMM 公平关切系数和谈判系数正相关,零售商的利润与 SMM 公平关切系数和谈判系数负相关。

(二) 管理启示

本文可以完善有关低碳供应链协调与定价的讨论,在前人研究的基础上推进碳税-碳交易政策公平性问题的研究,为提高企业盈利能力提供一定的理论参考。根据文章的研究结论,我们得到如下管理启示:

(1) 对政府而言, 应该合理制定碳税率和碳交易价格, 发挥碳税-碳交易政策的综合减排效果, 既能激励企业创新技术减少碳排放实现减排目标, 又能保证企业收益空间, 促进减排。另外, 可以对积极采取节能低碳技术的企业给予福利补贴, 鼓励 SMM 加大减排投入, 还可以通过开展环境宣传教育, 提高公众节能减排意识, 实现经济和环境“双赢”。

(2) 对于处于主导地位的零售商而言, 往往会因为追求自身利益最大化而损害 SMM 的利益, 导致 SMM 因为利润分配不均产生不满情绪。零售商提出的“Nash 谈判-两部定价”契约能使产品零售价格达到集中决策的水平, 利润得到大幅提升, 有利于增强 SMM 合作的积极性。因此, 零售商应该发挥主导作用, 多与 SMM 企业沟通交流, 为确保长期合作和系统稳定性, 在考虑自身利益的同时应实现利润分配公平, 避免 SMM 公平关切对自身利润造成损失。另外, 零售商应主动承担社会责任, 积极宣传低碳产品, 增强消费者低碳环保意识。

(3) 对于处于劣势地位的 SMM 而言, 公平关切行为可以提高其自身的利润以及能够缩小他和零售商之间的差距。并且, SMM 接受“Nash 谈判-两部定价”契约有利于减小零售商的利润差距, 便于企业操作, 逐渐提升谈判的话语权。因此, SMM 要理性采用公平关切行为, 一旦关注过度, 很可能失去和大型零售商长期合作的机会。此外, SMM 应该积极生产低碳产品, 响应国家号召, 主动实施减排措施, 提高碳减排水平, 实现经济效益和环境效益的统一。

本文研究了一个强势零售商主导和一个 SMM 从属的供应链系统, 而在实际中, 往往是多个 SMM 存在竞争关系。因此, 本文可以推广到研究多个 SMM 竞争的情形。除此之外, 现实中企业往往会同时生产普通产品和低碳产品, 而且消费者对这两种产品的偏好也不同, 将这些因素加入模型进行研究, 会使得模型结论具有现实指导价值。

参考文献:

[1] LU C J, GU M, LEE T S, et al. Impact of carbon emission policy combinations on the optimal production-inventory decisions for deteriorating items[J]. Expert Systems with Applications, 2022, 201: 117234.

[2] ZHU C, MA J, LI J. Dynamic production and carbon emission reduction adjustment strategies of the brand-new and the remanufactured product under hybrid carbon regulations[J]. Computers & Industrial Engineering, 2022, 172: 108517.

[3] 周艳菊, 胡凤英, 周正龙. 碳税政策下制造商竞争的供应链定价策略和社会福利研究[J]. 中国管理科学, 2019, 27(7): 94-105.

[4] ZHANG H Q, LI P, ZHENG H, et al. Impact of carbon tax on enterprise operation and production strategy for low-carbon products in a co-opetition supply chain[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 287: 125058.

[5] WANG H, WANG L. Product line strategy and environmental impact oriented to carbon tax constraints[J]. Sustainable Production and Consumption, 2022, 32: 198-213.

[6] GHOSH S K, SEIKH M R, CHAKRABORTTY M. Analyzing a stochastic dual-channel supply chain under consumers' low carbon preferences and cap-and-trade regulation[J]. Computers & Industrial Engineering, 2020, 149: 106765.

[7] 姚凡军, 肖汉, 高野, 等. 碳配额交易政策下考虑消费者偏好和成员行为的供应链微分博弈研究[J]. 中国管理科学, 2024, 32(1): 231-241.

[8] 夏良杰, 曹云丽, 尹文昊, 等. 碳交易规制下过度自信制造商与减排服务商的减排博弈研究[J]. 中国管理科学, 2023, 31(10): 85-95.

[9] 于晓辉, 李敏, 叶兆兴, 等. 基于公平关切的双渠道低碳供应链博弈分析[J]. 系统科学与数学, 2021, 41(1): 221-237.

[10] 叶同, 关志民, 张大儒, 等. Nash 讨价还价公平关切下基于低碳商誉的供应链联合减排与广告的动态优化与协调[J]. 中国管理科学, 2021, 29(3): 119-132.

[11] 张玲红, 刘方媛, 朱立龙, 等. 考虑零售商公平关切与广告努力水平的碳减排策略研究[J]. 中国管理科学, 2021, 29(4): 138-148.

[12] 曹裕, 易超群, 万光羽. 碳税政策下随机双渠道库存与协调研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(1): 111-123, 287-288.

[13] 夏西强, 朱庆华, 路梦圆. 外包制造下碳交易对低碳供应链影响及协调机制研究[J]. 系统工程理论与实践, 2022, 42(5):

1290-1302.

[14] 邹清明,胡李庆,邹霆钧. 碳限额与碳交易机制下考虑公平关切的供应链定价与协调研究[J]. 中国管理科学,2022,30(10):142-154.

[15] TONG W, MU D, ZHAO F, et al. The impact of cap-and-trade mechanism and consumers' environmental preferences on a retailer-led supply Chain[J]. Resources, Conservation and Recycling,2019,142:88-100.

[16] TANG R H, YANG L. Impacts of financing mechanism and power structure on supply chains under cap-and-trade regulation[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review,2020,139:101957.

[17] WANG Y Y, YU Z Q, JIN M Z, et al. Decisions and coordination of retailer-led low-carbon supply chain under altruistic preference[J]. European Journal of Operational Research,2021,293(3):910-925.

[18] QIAN X H, CHAN F T S, ZHANG J H, et al. Channel coordination of a two-echelon sustainable supply chain with a fair-minded retailer under cap-and-trade regulation[J]. Journal of Cleaner Production,2020,244:118715.

[19] 夏良杰,孔清逸,李友东,等. 考虑交叉持股的低碳供应链减排与定价决策研究[J]. 中国管理科学,2021,29(4):70-81.

[20] 张令荣,徐航,李云凤. 碳配额交易背景下双渠道供应链减排决策研究[J]. 管理工程学报,2023,37(2):90-98.

[21] 吴开兰,刘名武,许茂增. 不同主导力量下供应商减排投资的谎报与协调策略[J]. 系统管理学报,2020,29(4):782-793.

[22] JIAN J, LI B, ZHANG N, et al. Decision-making and coordination of green closed-loop supply chain with fairness concern[J]. Journal of Cleaner Production,2021,298:126779.

[23] PAN K W, CUI Z B, XING A X, et al. Impact of fairness concern on retailer-dominated supply chain[J]. Computers & Industrial Engineering,2020,139:106209.

[24] 卢超,王倩倩,陈强. “双积分”政策下考虑价格、减排和续航的汽车供应链协调[J]. 系统工程理论与实践,2021,41(10):2595-2608.

[25] 杨惠霄,欧锦文. 收入共享与谈判权力对供应链碳减排决策的影响[J]. 系统工程理论与实践,2020,40(9):2379-2390.

Fair Concern Decision-making and Coordination of Retailer-led Low Carbon Supply Chain under Carbon Tax-Carbon Trading Policy

WANG Yuyan,ZHANG Xiaozhen

(School of Management Science and Engineering, Shandong University of Finance and Economics, Jinan 250014, China)

Abstract: Under the influence of the carbon tax-carbon trading policy and taking a low-carbon supply chain consisting of a leading retailer and subordinate small and medium-sized manufacturers (SMM) as research object, this study explores the fair concern decision-making of SMM and the coordination of the supply chain by constructing a decentralized decision-making model for whether SMM has fair concern behavior and a centralized decision-making model and by comparing and analyzing the optimal decision-making of each model. The impact of fair concern coefficient, carbon reduction rate and carbon tax rate on supply chain pricing and profits under SMM fair concern is studied while a “Nash negotiation-two part pricing” contract is designed to achieve systematic coordination. It is found that under the influence of carbon tax-carbon trading policy, the profits of supply chain members decrease with carbon tax rates increasing, but the profits of supply chain members present two different changing directions with carbon reduction rates changing. The fair concern behavior of SMM can increase wholesale prices and self profits, reduce retailers' profits, but has no impact on retail prices and system profits; as the fair concern coefficient of SMM increases, the profit gap between retailers and SMM narrows. The “Nash negotiation-two part pricing” contract designed in this study can achieve systematic coordination.

Key words: carbon tax-carbon trading policy; low carbon supply chain; fair concern; “Nash negotiation-two part pricing; contract

(责任编辑 于林平)