

制造—销售企业绿色供应链合作博弈分析

白春光^{1,2}, 唐家福¹

(1. 东北财经大学管理科学与工程学院, 辽宁 大连 116025;

2. 电子科技大学经济与管理学院, 四川 成都 611731)

摘要: 研究单一核心制造企业与单一销售商基于环境投入的绿色供应链合作问题. 通过构建 Nash 均衡、Stackelberg 主从博弈和合作博弈三种模型, 对比分析了非合作和合作模式对企业的环境投入和利润及供应链利润和产品零售价的影响. 结果表明, 相对于非合作决策, 合作决策时可以有效提升双方企业以及供应链系统利润和环境绩效; 环境投入活动对利润的影响路径是通过提高市场需求量而不是提高绿色产品价格; 环境投入活动对市场需求的拉动作用低于绿色产品价格对市场需求的拉动是双方相互合作的前提条件.

关键词: 绿色供应链; 合作与非合作博弈; 博弈论; 环境投入

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1000-5781(2017)06-0818-11

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2017.06.010

Manufacturing-marketing green supply chain cooperative game analysis

Bai Chunguang^{1,2}, Tang Jiafu¹

(1. School of Management Science and Engineering, Dongbei University of Finance and Economics, Dalian 116025, China; 2. School of Economics and Management, University of Electronic science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: This paper studies green supply chain collaboration between a manufacturer and a retailer concerning environmental investments. Nash, Stackelberg, and cooperative game models are developed to analyze the differences in environmental investments and profits of the manufacturer and the retailer, supply chain profits and product retail prices between cooperative and non-cooperative relationships. The results show that the cooperative relationship can bring more profits to both firms and to the supply chain, and better environment performance. Environmental investment increases profit by increasing market demand instead of by raising the retail prices of green products. The prerequisite of green supply chain collaboration for the manufacturer-retailer is that environmental investment results in lower market demand than the green product price does.

Key words: green supply chain; cooperative and non-cooperative game; game theory; environmental investment

1 引 言

面对持续恶化的生态环境, 全球企业最近纷纷开始实施绿色供应链管理来应对日趋严厉的环境法规和日益突显的公众绿色需求^[1]. 销售商作为供应链最后一个环节, 不仅可以通过实施绿色广告以及降低销售

收稿日期: 2014-12-12; 修订日期: 2015-07-13.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71772032; 71472031); 辽宁省高校杰出青年学者成长计划资助项目(WJQ2014029).

环节中污染物的排放等措施,来引导客户绿色消费,树立企业社会形象和增加产品销售量,而且可以通过获取客户绿色需求,来开发更好的绿色产品,快速响应绿色市场需求,全面提升供应链核心竞争力,是绿色供应链的重要组成部分。因此,作为供应链核心的制造企业和销售商不仅在成本、技术等方面相互支持,更需要在绿色产品、环保措施及环境信息等多个层面相互开展绿色合作。

近年来,中国许多制造企业与其销售商积极开展各种绿色供应链合作实践。2010年广汽本田启动了“绿色服务”项目,要求各销售商积极推广有利环保的新设备、新材料和新工艺方法,并对日常运营中产生的各类有害废物进行有效管理。2012年一汽大众正式启动了“绿色合作伙伴行动计划”,使销售商在网络建设、销售与售后等每个环节都能贯彻节能环保理念,降低对环境的污染、减少非可再生资源的消耗,并对优秀销售商给与一定的补贴与奖励。于此同时,海尔集团与销售商搭建快速响应用户需求的利益共同体,获取消费者绿色需求,为全球消费者提供最领先的绿色生活解决方案。但是,核心制造企业和销售商是由两个不同利益个体组成的战略联盟,这种环境投入成本与各自收益最大化的矛盾必然会引起企业之间的持续性博弈,使得绿色供应链不能够有效地合作与运转。另外,核心制造企业常常凭借垄断地位履行企业环境责任,由于没有考虑销售商的利润,降低了销售商承担环境责任的积极性,导致不参与环境投入或者不环保销售等问题的出现,进而使核心制造企业环境投入效果甚微。为了进一步实现供应链资源的优化利用、核心制造企业和销售商运营活动与环境相协调发展,还必须要协调核心制造企业和销售商之间的合作方式、环境投入量及利润分配策略,来提高整个供应链的经济绩效和环境绩效以获得新的竞争优势。

供应链协作一直是国内外供应链领域研究的热点问题,比较经典的协作对象有数量折扣、价格补偿、合作广告及创新投入,等等^[2,3]。但是这些成果主要集中在经济绩效方向,而随着环境问题的日益凸显,绿色协作机制越来越引起企业界和学术界的重视。Corbett等通过设计共享节约合同来帮助供应双方企业降低间接材料的使用并获得利润^[4]。但当时绿色供应链协作问题并没有引起学者重视,直到最近几年。Barari等^[5]基于进化博弈论研究了制造商和销售商如何通过提高产品绿色度来获得利润最大化的问题。Ghosh等^[6]针对服装行业,研究绿色供应链协作对供应链整体利润的影响。国内学者王能民等早在2005年就已提出合作机制是绿色供应链有待深入研究的领域^[7]。郭春香等研究了由单一供应商和单一制造企业之间的社会责任协作及其利润分享问题^[8]。金常飞等^[9]基于演化博弈理论和Hotelling模型分析了两零售商之间的绿色营销策略博弈关系。曹束等^[10]采用博弈论和最优化理论探讨了绿色产品创新和扩散过程中制造企业间的博弈行为。李海燕等^[11]对基于生产性废弃物再利用的多核心制造企业间合作模式进行了深入研究。虽然近两年绿色供应链合作已经引起学者的重视,但是成果较少,尤其缺乏从环境投入角度对绿色供应链合作进行研究。特别是为了鼓励销售商履行环境责任,核心制造企业对销售商进行一定补贴的合作模式的研究还处于空缺状态。基于此,本文将构建博弈模型从环境投入的角度研究核心制造企业与销售商之间的绿色供应链合作问题。

2 制造-销售企业绿色供应链合作利润模型

在绿色供应链管理中,核心制造企业主要通过绿色设计、清洁生产和废弃物处理等活动来提升产品绿色特质,拓展目标市场;而销售商为了满足核心制造企业要求,提升产品绿色形象,激发市场需求有必要采取绿色广告、绿色推广和绿色需求收集等活动。这些绿色活动所付出的成本统称为环境投入。本文以环境投入形式进行绿色供应链合作主要指以核心制造企业和销售商为了提升产品环境绩效而通过投入的资金、能源、技术及人力等资源开展环境维度的相互合作,并且核心制造企业对销售商的环境投入进行一定补贴。

假设1 假定由单一核心制造企业和单一销售商构成的两级供应链。假设核心制造企业主要负责绿色产品的设计和生產,且具有充分的供货能力。假设销售商主要负责绿色产品的推广和营销,且没有下一级零售商,直接面对消费市场。

绿色供应链合作主要目的在于提升产品价值、增加市场需求,最终实现企业利润最大化。故本文考虑的市场需求函数为 $Q(p, x, y)$,其中 p 是单位绿色产品的销售价格, $x \geq 0$ 表示核心制造企业在供应链合作时

环境投入方面所做的努力, $y \geq 0$ 表示销售商在供应链合作时环境投入方面所做的努力. 文献[12–14]从不同角度研究了产品价格、核心制造企业和销售商合作所做的努力与市场需求之间的关系, 其中核心制造企业的努力主要用来增加产品的某种特质或者质量, 而销售商的努力主要用来销售该特质商品. 这与本文研究的对象非常类似, 核心制造企业的环境投入主要增加产品的绿色特质, 销售商的环境投入主要用来销售该绿色产品, 因此本文将使用同样的市场需求函数

$$Q(p, x, y) = \theta - p + \alpha x + \beta y,$$

其中 θ 表示潜在市场需求量; α 、 β 分别表示核心制造企业和销售商的环境投入对市场需求的影 响, 称之为市场敏感系数, 是正常数, 在第4部分讨论其取值范围; $\theta - p > 0$ 反应产品价格对市场需求的线性影响^[15]. 另外, 销售价格 p 对 θ 的弹性参数对本文的结果不产生影响, 因此本文参考文献[12–15]将 p 的弹性参数设置为 1.

假设 2 假定核心制造企业单位绿色产品的生产成本为 c , 核心制造企业向销售商的产品售出价格即批发价为 w , 销售商的单位销售成本为 r , 单位产品的市场零售价为 p , 且 $p > w + r$ 、 $w > c$. 核心制造企业为了鼓励销售商履行环境责任, 对销售商环境投入量进行一定补贴, 核心制造企业承担销售商的环境投入比例即分担率为 t , 且 $0 \leq t \leq 1$.

假设 3 由于核心制造企业和销售商的环境投入需要投入相当成本, 且各个供应链的环境投入是边际收益递减的, 为了简化计算, 假定当核心制造企业和销售商环境投入分别是 x 和 y 时, 则其环境投入成本分别为 $x^2/2$ 和 $y^2/2$ ^[16].

π_M, π_R, π 分别表示核心制造企业、销售商以及整个供应链系统的利润函数, 具体如下

$$\begin{aligned}\pi_M &= (w - c)(\theta - p + \alpha x + \beta y) - (x^2 + ty^2)/2, \\ \pi_R &= (p - w - r)(\theta - p + \alpha x + \beta y) - (1 - t)y^2/2, \\ \pi &= \pi_M + \pi_R = (p - c - r)(\theta - p + \alpha x + \beta y) - (x^2 + y^2)/2.\end{aligned}$$

3 非合作均衡分析

3.1 Nash 均衡分析

Nash均衡是指核心制造企业与销售商具有同样的决策权力, 在没有达成任何有约束力协议情况下, 他们会同时选择自身利润最大化的策略. 核心制造企业的利润最大化为

$$\begin{cases} \text{Max}_{w, x, t} \pi_M = (w - c)(\theta - p + \alpha x + \beta y) - (x^2 - ty^2)/2 \\ \text{s.t.} \quad p > w > c, \quad x \geq 0, \quad 1 \geq t \geq 0. \end{cases} \quad (1)$$

销售商的利润最大化为

$$\begin{cases} \text{Max}_{p, y} \pi_R = (p - w - r)(\theta - p + \alpha x + \beta y) - (1 - t)y^2/2 \\ \text{s.t.} \quad p > 0, \quad y \geq 0. \end{cases} \quad (2)$$

由 Jorgensen 等^[16]提出的结论可知, Nash 均衡时核心制造企业和销售商具有相同的边际利润, 即

$$w - c = p - w - r \Rightarrow w = (p + c - r)/2.$$

因为 π_M 是 t 在整个定义域[0,1]的减函数, 所以 $t^* = 0$ 为核心制造企业最优的环境投入分担率. 求解可得唯一 Nash 均衡解为¹

$$p^* = (2\theta + (c + r)(2 - \alpha^2 - \beta^2))/(4 - \alpha^2 - \beta^2), \quad (3)$$

$$w^* = (\theta - r + c(3 - \alpha^2 - \beta^2))/(4 - \alpha^2 - \beta^2), \quad (4)$$

¹本文中所有的目标函数均为凹函数, 所得的解都是目标函数最大值的均衡解.

$$x^* = \alpha(\theta - c - r)/(4 - \alpha^2 - \beta^2), \quad (5)$$

$$y^* = \beta(\theta - c - r)/(4 - \alpha^2 - \beta^2). \quad (6)$$

将式(3)~式(6)代入目标函数可得核心制造企业和销售商以及供应链的利润为

$$\pi_M^* = \frac{(\theta - c - r)^2(4 - \alpha^2)}{2(4 - \alpha^2 - \beta^2)^2}, \quad (7)$$

$$\pi_R^* = \frac{(\theta - c - r)^2(4 - \beta^2)}{2(4 - \alpha^2 - \beta^2)^2}, \quad (8)$$

$$\pi^* = \frac{(\theta - r - c)^2(8 - \alpha^2 - \beta^2)}{2(4 - \alpha^2 - \beta^2)^2}. \quad (9)$$

3.2 Stackelberg 主从博弈分析

接下来将探讨以核心制造企业为主导者, 销售商为跟随者的 Stackelberg 主从博弈情形. 首先, 核心制造企业选择使本企业利润最大的环境投入量 x 和产品批发价 w , 以及对销售商环境投入分担比例 t ; 其次, 销售商在观察到 x 、 w 和 t 后, 选择环境投入量 y 和零售价格 p , 最大化销售商自身利润.

采用逆向递归法求解这一博弈均衡. 销售商在观察到核心制造企业的决策变量 x 、 w 和 t 后, 选择 y 和 p , 使其利润 π_R 最大化. 将式(2)对 y 和 p 分别求偏导, 并令其为零, 并联立求解, 得销售商的环境投入量和零售价格的反应函数为

$$y = (\beta(\theta + \alpha x - w - r))/(2(1 - t) - \beta^2), \quad (10)$$

$$p = ((\theta + \alpha x)(1 - t) + (w + r)((1 - t) - \beta^2))/(2(1 - t) - \beta^2). \quad (11)$$

核心制造企业在预测到销售商反应函数后, 选择 x 、 w 和 t 以实现其利润最大化. 将式(10)、式(11)代入核心制造企业的利润函数式(1), 核心制造企业的选择为

$$\begin{aligned} \text{Max}_{w, x, t} \pi_M = (w - c) & \left(\theta - \frac{(\theta + \alpha x)(1 - t) + (w + r)((1 - t) - \beta^2)}{2(1 - t) - \beta^2} + \alpha x + \beta^2 \frac{\theta + \alpha x - w - r}{2(1 - t) - \beta^2} \right) - \\ & \frac{x^2}{2} - \frac{t}{2} \left(\frac{\beta(\theta + \alpha x - w - r)}{2(1 - t) - \beta^2} \right)^2. \end{aligned} \quad (12)$$

将式(12)分别对 x 、 w 和 t 依次求偏导, 并令其等于零, 得核心制造企业最优环境投入、批发价格和对销售商环境投入分担比例为

$$x^{**} = 4\alpha(\theta - c - r)/(16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2), \quad (13)$$

$$w^{**} = ((\theta - r)(8 - 3\beta^2) + c(8 - 4\alpha^2 - 6\beta^2))/(16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2), \quad (14)$$

$$t^{**} = \frac{1}{3}. \quad (15)$$

将以上结果代入式(10)和式(11), 得销售商的最优环境投入和零售价格分别为

$$y^{**} = \frac{6\beta(\theta - c - r)}{16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2}, \quad (16)$$

$$p^{**} = \frac{\theta(12 - 3\beta^2) + (c + r)(4 - 4\alpha^2 - 6\beta^2)}{16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2}. \quad (17)$$

结论 1 当核心制造企业和销售商地位相同, 在不合作情形下, 核心制造企业不会分担销售商的环境投入成本. 当核心制造企业和销售商分别处于主导和随从地位时, 在不合作情形下, 核心制造企业只会分担三

分之一的销售商的环境投入成本. 这表明在不合作情形下, 核心制造企业通过环境投入补贴来提升销售商环境投入的作用是有限的, 甚至不起作用.

将式(13)~式(17)代入目标函数得核心制造企业和销售商以及供应链的利润为

$$\pi_M^{**} = \frac{2(\theta - c - r)^2(16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2)}{(16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2)^2}, \quad (18)$$

$$\pi_R^{**} = \frac{4(\theta - c - r)^2(4 - 3\beta^2)}{(16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2)^2}, \quad (19)$$

$$\pi^{**} = \frac{2(\theta - c - r)^2(24 - 4\alpha - 15\beta^2)}{(16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2)^2}. \quad (20)$$

将式(7)~式(9), 式(18)~式(20)分别与没有环境投入情形(用 NE 表示)的核心制造企业和销售商以及供应链的利润(π_M^{NE} , π_R^{NE} , π^{NE})进行对比分析. 通过计算发现 π_M^{NE} , π_R^{NE} 和 π^{NE} 就是将环境投入的市场敏感系数 α, β 设置为 0 的结果. 因此可得 $\pi_M > \pi_M^{NE}$, $\pi_R > \pi_R^{NE}$.

结论 2 在非合作决策下, 核心制造企业与销售商进行环境投入合作是有利可图的. 这同时表明了受自身利润的驱动双方都会有环境投入的意愿. 在实践中, 我国企业实施绿色供应链管理的主要动力来自内部和外部的压力, 而非实施绿色供应链所带来的经济绩效^[17]. 这说明我国部分企业管理者一直对绿色供应链管理产生经济绩效持怀疑态度, 该结论为绿色供应链合作产生经济绩效提供了理论证据, 证明了绿色供应链环境投入不仅仅增加了成本的投入, 同时会更多的增加产品的价值和企业的利润. 同时需要指出的是, 尽管绿色供应链合作能够带来利润, 但是从环境投入到提升产品价值, 再到促进消费者绿色消费, 最终带来真正的经济绩效, 需要一个过程和一段时间.

4 合作均衡分析

上面分析了核心制造企业与销售商在非合作决策下的 Nash 均衡和 Stackelberg 主从博弈. 事实上, 绿色供应链中的核心制造企业与销售商常常通过合作协议, 以产生绿色合作的最大化绩效. 因此, 以下将探讨核心制造企业与销售商在绿色合作决策中处于地位对等情形下的合作博弈.

供应链能达成有约束力的合作协议时, 双方将以供应链利润最大化为目标. 供应链的利润最大化为

$$\begin{cases} \text{Max}_{p,x,y} \pi = (p - c - r)(\theta - p + \alpha x + \beta y) - (x^2 - y^2)/2 \\ \text{s.t.} \\ p > c + r \\ x \geq 0 \\ y \geq 0. \end{cases} \quad (21)$$

将式(21)分别对 x, y 和 p 求偏导, 令其等于零, 并联立求解, 求得合作均衡解为

$$\bar{x} = \frac{\alpha(\theta - c - r)}{2 - \alpha^2 - \beta^2}, \quad (22)$$

$$\bar{y} = \frac{\beta(\theta - c - r)}{2 - \alpha^2 - \beta^2}, \quad (23)$$

$$\bar{p} = \frac{\theta + (c + r)(1 - \alpha^2 - \beta^2)}{2 - \alpha^2 - \beta^2}. \quad (24)$$

由式(22)~式(24)可得供应链的利润为

$$\bar{\pi} = \frac{(\theta - c - r)^2}{4 - 2\alpha^2 - 2\beta^2}.$$

5 绿色供应链环境投入合作的进一步讨论

5.1 可行解条件分析

通过前期的模型假设, 可知绿色供应链双方环境投入前提条件是 $\theta > p$ 和 $p > c + r$, 所以模型的可行解为

$$\theta - p^{**} = 4(\theta - c - r)(1 - \alpha^2 - 3\beta^2/2)/(16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2) > 0,$$

$$\bar{p} - c - r = (\theta - c - r)/(2 - \alpha^2 - \beta^2) > 0.$$

又因为市场对核心制造企业和销售商环境投入的敏感系数 α, β 是非负数, 所以可得 $0 < \alpha^2 + \frac{3}{2}\beta^2 < 1$. 只有在该条件下, 绿色供应链环境投入合作问题才有可行解.

结论 3 核心制造企业和销售商的环境投入对市场需求的拉动作用将低于产品价格对需求的拉动. 也就是当环境投入对市场需求拉动比较温和时双方才可能开展由核心企业进行一定补贴的绿色供应链合作. 这很好解释, 如果核心制造商制造出一款不可代替的绿色产品, 将会以较高或者垄断的价格售卖给销售商, 而不是和销售商相互博弈合作寻求利润平衡点. 反之, 如果销售商通过收集绿色需求发现新的“蓝海”市场, 将会打破现有的合作方式或者直接涉足研发生产领域. 这同时也指明了该模型的适用范围. 该模型只适用于核心制造企业和销售商双方以普通的环境投入活动为基础展开的绿色供应链合作. 这里所指的普通的环境投入活动是指这些环境投入活动不会对产品的属性产生质的影响, 也就是环境投入对产品销量的影响不会超过价格变化对产品销量的影响.

5.2 环境投入与环境绩效分析

通过非合作和合作均衡解, 可以发现核心制造企业和销售商的环境投入量之间存在着一定的比例关系.

在 Nash 均衡和合作均衡下, 核心制造企业与销售商的环境投入的比例为

$$\frac{x^*}{y^*} = \frac{\bar{x}}{\bar{y}} = \frac{\alpha}{\beta}.$$

在 Stackelberg 主从博弈下, 核心制造企业与销售商的环境投入的比例为

$$\frac{x^{**}}{y^{**}} = \frac{2\alpha}{3\beta}.$$

结论 4 核心制造企业与销售商之间的环境投入量比例与市场对其环境投入敏感系数成正比. 这是因为环境投入敏感系数越高, 那企业单位的环境投入对市场需求提升越多, 进而企业越乐意投入更多的资源来与对方开展绿色合作. 由于不同的环境投入活动会反映出不同的市场敏感系数, 为了达到双方利润最大化, 企业必须根据环境投入的预算来决定具体的环境投入活动. 另外, 核心制造企业为了让销售商增加环境投入, 可以投入一定资源帮助销售商提高其环境投入的敏感系数, 或者引导销售商实施敏感系数高的环境投入活动.

由于环境投入多少可以客观反映出企业的环境绩效大小, 进一步分析非合作和合作决策之间核心制造企业与销售商的环境投入量可得

$$\begin{cases} \bar{x} > x^{**} > x^*, \\ \bar{y} > y^{**} > y^*. \end{cases} \quad (25)$$

结论 5 绿色合作情形下, 核心制造企业与销售商的环境投入皆比非合作决策时的高. 这表明核心制造企业和销售商在绿色合作决策下不仅可以提升自身的环境绩效, 还可以提升供应链系统的环境绩效水平. 然而从另一方面来说, 为了达到绿色合作决策双方必须付出更多的环境投入量, 这也对双方企业实力提出

了更高的要求. 这也为资源不足的企业提出绿色供应链合作的可行路径, 先从非合作开始向合作转变.

5.3 企业利润分析

无论是在合作还是非合作决策下, 企业最关心的就是各自的利润. 在 Nash 均衡中, 核心制造企业与销售商双方利润比为

$$\frac{\pi_M^*}{\pi_R^*} = \frac{2 - \alpha^2}{2 - \beta^2}.$$

结论 6 在 Nash 均衡中, 核心制造企业利润额随着其市场敏感系数 α 的增大而增加, 但是所占供应链整体利润的比例却在降低. 这表明企业一方如果采取高水平的环境投入活动, 对方却会获得更多的增值利润. 因此, 企业都希望并鼓励对方实施高水平的环境投入活动, 这也同样会产生企业自身实施低水平环境投入的投机行为甚至出现“搭便车”道德风险的可能性.

在 Stackelberg 均衡中, 核心制造企业与销售商双方利润比为

$$\frac{\pi_M^{**}}{\pi_R^{**}} = \frac{16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2}{8 - 4\alpha^2 - 6\beta^2}.$$

结论 7 在 Stackelberg 主从博弈中, 无论市场敏感系数 α 或 β 的增加, 核心制造企业不仅其利润额在增加, 所占供应链利润的比例也在增加. 这时核心制造企业是最大的赢家, 将获取更多的随着市场敏感系数 α 或 β 的增大而产生的增值利润. 在这种情形下, 核心制造企业不仅自身要进行高水平的环境投入活动, 更应该凭借自身主导地位对销售商高水平的环境投入活动进行引导与补贴, 最终来获得更多的增值利润.

进一步比较 Nash 均衡、Stackelberg 主从博弈均衡解, 有

$$\pi_M^{**} > \pi_M^*, \quad \pi_R^{**} < \pi_R^*. \quad (26)$$

结论 8 Stackelberg 主从博弈时核心制造企业会获得比 Nash 均衡时更多的利润, 也就是在非合作决策下, 核心制造企业更会与地位较低的销售商合作, 使自身处于供应链的主导地位获取高额利润. Nash 均衡时销售商会获得比 Stackelberg 主从博弈时更多的利润, 也就是在非合作情况下, 销售商更愿意与自身地位相当的核心制造企业合作. 这表明在非合作决策下核心制造企业和销售商各自选取绿色合作伙伴标准存在不一致性. 为了解决这种不一致性, 可以引入供应链系统外部的驱动力. 新制度主义理论把绿色供应链外部驱动力分为三个部分: 来自政策法规的强制同形性, 来自竞争对手的模仿同形性和来自其他利益相关者的规范同形性^[17].

5.4 供应链系统利润分析

下面将对供应链系统利润进行深入分析. 首先对比分析合作均衡下与非合作 Stackelberg 主从博弈之间的供应链系统利润, 有

$$\bar{\pi} - \pi^{**} = \frac{64 + 21\beta^4 - \beta^2(4\alpha^2 + 72)}{2(2 - \alpha^2 - \beta^2)(16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2)^2} > 0.$$

其中 $64 - \beta^2(4\alpha^2 + 72) > 0$.

其次对比分析合作均衡下与非合作 Nash 均衡之间的供应链系统利润, 有

$$\bar{\pi} - \pi^* = \frac{\alpha^2 + \beta^2}{(2 - \alpha^2 - \beta^2)(4 - \alpha^2 - \beta^2)^2} > 0.$$

比较三种情形下供应链系统利润, 有

$$\bar{\pi} \geq \pi^* > \pi^{**}. \quad (27)$$

结论 9 绿色合作可以有效提高供应链系统利润, 提升的程度与双方环境投入的市场敏感系数相关. 这同样说明核心制造企业和销售商之间的关系对供应链系统利润起决定性作用. 但是, 当环境投入敏感系数极小时, 双方是否进行合作对供应链系统的利润没有太大的影响. 结合式(26)发现, 与 Nash 均衡比

较, Stackelberg 主从博弈时虽然会提升核心制造企业的利润, 但这会严重损坏销售商以及供应链系统的利润. 这表明了供应链成员主从结构严重阻碍了供应链“1 + 1 > 2”的协作效应. 结合式(25)发现, 与 Nash 均衡比较, Stackelberg 主从博弈虽然较大的环境投入量却得到了较小的供应链系统利润. 这表明供应链成员主从结构不利于环境投入资源的合理配置. 结合结论 6 和结论 7, 可知在非合作情形下绿色供应链合作利润的分配首先受核心制造企业和销售商之间关系的影响, 其次受双方环境投入活动的敏感系数的影响.

5.5 产品价格分析

对比合作与非合作决策下绿色产品的零售价格, 有

$$p^{**} \geq \bar{p} \geq p^*. \quad (28)$$

结论 10 核心制造企业与销售商非合作主从关系更有利于提升绿色产品价格. 相对于非合作决策, 核心制造企业与销售商的绿色合作对绿色产品的零售价格没有明确影响. 这表明核心制造企业与销售商环境投入对利润的影响路径是提高绿色产品的市场需求量, 而不是提高绿色产品的市场价格. 企业如果在实施环境投入活动的同时提高绿色产品价格, 会使其环境投入作用甚微, 使得绿色产品失去市场竞争力.

结合式(25)和式(27), 可以得到如下结论.

结论 11 核心制造企业与销售商绿色合作时, 不仅会提高供应链经济绩效, 还可以提高供应链的环境绩效. 也就是说核心制造企业和销售商绿色合作承担环境责任更大程度的提升了品牌形象和开发了潜在价值, 拓展了更多的目标市场, 并激发了消费者的潜在需求, 从而增加了整个供应链的总利润. 这表明在合作模式下, 核心制造企业与销售商的绿色供应链合作会带来经济与环境的双赢局面.

5.6 利润分配契约

通过式(27), 可以发现合作决策下的供应链系统利润要比非合作决策时大, 但是整条供应链的收益增加并不能保证合作双方的利润均能增加, 因此需要通过利润分配来激励供应链上的各方积极参与绿色合作. 因此实现合作双方的双赢, 也就是必须满足合作时核心制造企业和销售商获得的利润不小于非合作时各自的利润才能促使双方进行合作选择, 即 $\pi_M \geq \pi_M^*$ 和 $\pi_R \geq \pi_R^*$, 否则, 合作便不能实现. 为此, 本文引入利润分配契约, 使核心制造企业和销售商获得大于非合作时的利润. 在该合同约定下, 核心制造企业以成本价格将其生产的成品转给销售商, 然后销售商以合作均衡的价格卖给消费者. 最后得到的销售利润核心制造企业和销售商按照 $\gamma/(1-\gamma)$ 比例分配, γ 可以称为分配因子. 可得以下关系, 即

$$\frac{4(2-\alpha^2-\beta^2)}{16-4\alpha^2-9\beta^2} \leq \gamma \leq \frac{8+\alpha^4+\alpha^2\beta^2-4\alpha^2-2\beta^2}{(4-\alpha^2-\beta^2)^2}. \quad (29)$$

结论 12 调整分配因子参数可以达到分配供应链利润, 使核心制造企业和销售商获得的利润不小于非合作时各自利润的目的. 当分配因子处于下限时, 销售商获取了合作决策带来的超额利润; 当分配因子处于上限时, 核心制造企业获取了合作决策带来的超额利润.

在利润分配契约中, 核心制造企业与销售商之间利润分配的结果取决于双方所处供应链地位因素有关, 主导地位的成员可以有较高比例的利润. 当核心制造企业或销售商的环境投入量对市场敏感系数发生变化时, 利润分配比例范围也将进行调整. 可以证明, 利润分配因子 γ 在式(29)范围内可以实现绿色供应链环境投入合作帕累托最优解.

6 算例分析

设有某核心制造企业 M, 为了保持其在市场上的竞争优势, 需要与该产业链条上的销售商 R 实施绿色供应链渠道协调, 才能推动该绿色产品的销售.

假设产品市场潜在需求为 $\theta = 20$; 该产品的制造成本为 $c = 6$; 销售成本为 $r = 3$; 销售商环境投入对需求影响弹性为 $\beta = 0.5$; 以上都是常数.

在这里只讨论核心制造企业 M 环境投入对市场需求影响系数变动的情况, 系数变动范围是 $0.05 \leq \alpha \leq 0.50$, 以 0.05 为步长. 非合作 Nash 均衡结果如表 1, 非合作 Stackelberg 均衡结果如表 2.

表 1 非合作 Nash 博弈均衡结果

Table 1 Equilibrium results of the non-cooperative Nash game

α	x^*	y^*	t^*	p^*	w^*	π^*	π_M^*	π_R^*
0.05	0.14	0.84	0.00	14.63	8.82	31.33	15.84	15.49
0.10	0.28	0.85	0.00	14.64	8.82	31.42	15.87	15.55
0.15	0.42	0.85	0.00	14.66	8.83	31.58	15.92	15.65
0.20	0.57	0.85	0.00	14.68	8.84	31.79	16.00	15.79
0.25	0.71	0.86	0.00	14.72	8.86	32.07	16.09	15.98
0.30	0.86	0.86	0.00	14.76	8.88	32.42	16.21	16.21
0.35	1.02	0.87	0.00	14.81	8.90	32.84	16.35	16.49
0.40	1.17	0.88	0.00	14.87	8.93	33.34	16.52	16.82
0.45	1.34	0.89	0.00	14.93	8.97	33.92	16.71	17.21
0.50	1.50	0.90	0.00	15.01	9.01	34.60	16.94	17.66

表 2 非合作 Sackelberg 博弈均衡结果

Table 2 Equilibrium results of the non-cooperative Stackelberg game

α	x^{**}	y^{**}	t^{**}	p^{**}	w^{**}	π^{**}	π_M^{**}	π_R^{**}
0.05	0.14	1.30	0.33	17.50	11.60	23.78	15.94	7.83
0.10	0.29	1.31	0.33	17.52	11.61	23.84	15.97	7.87
0.15	0.44	1.31	0.33	17.55	11.63	23.94	16.03	7.92
0.20	0.59	1.32	0.33	17.58	11.66	24.09	16.10	7.99
0.25	0.74	1.33	0.33	17.64	11.69	24.29	16.20	8.09
0.30	0.89	1.34	0.33	17.70	11.73	24.53	16.32	8.21
0.35	1.05	1.35	0.33	17.78	11.78	24.82	16.46	8.35
0.40	1.21	1.36	0.33	17.87	11.84	25.16	16.63	8.53
0.45	1.38	1.38	0.33	17.97	11.91	25.56	16.83	8.73
0.50	1.55	1.40	0.33	18.09	11.99	26.02	17.05	8.97

当分配因子 γ 满足式(29)时, 利润分配契约可以有效地协调核心制造企业和销售商之间的利润分配, 即 $0.503 \leq \gamma \leq 0.511$, 对于 $0.05 \leq \alpha \leq 0.50$ 且 $\beta = 0.3$. 此时, 核心制造企业和销售商采取合作策略, 各成员和供应链整体利润均高于 Stackelberg 均衡和 Nash 均衡时的利润, 合作均衡结果如表 3 所示.

表 3 合作博弈均衡结果($\gamma = [0.503, 0.511]$)

Table 3 Equilibrium results of the cooperative game ($\gamma = [0.503, 0.511]$)

α	$\bar{x}$	$\bar{y}$	$\bar{p}$	$\bar{\pi}$	$\bar{\pi}_M$	$\bar{\pi}_R$	$\bar{\pi}_M$	$\bar{\pi}_R$
					$\gamma = 0.503$	$\gamma = 0.503$	$\gamma = 0.511$	$\gamma = 0.511$
0.05	0.29	1.73	14.77	31.72	15.95	15.76	16.21	15.51
0.10	0.58	1.74	14.79	31.84	16.02	15.83	16.27	15.57
0.15	0.87	1.75	14.83	32.05	16.12	15.93	16.38	15.67
0.20	1.18	1.76	14.88	32.35	16.27	16.08	16.53	15.82
0.25	1.49	1.79	14.95	32.75	16.47	16.28	16.73	16.01
0.30	1.81	1.81	15.04	33.24	16.72	16.52	16.99	16.26
0.35	2.15	1.85	15.15	33.85	17.02	16.82	17.30	16.55
0.40	2.51	1.89	15.29	34.57	17.39	17.18	17.67	16.91
0.45	2.90	1.93	15.44	35.43	17.82	17.61	18.11	17.33
0.50	3.31	1.99	15.63	36.45	18.33	18.11	18.62	17.82

根据 Nash 均衡和 Stackelberg 均衡特征对比分析, 印证了本文非合作博弈分析的结论: 根据合作均衡与非合作均衡特征对比分析, 印证了本文合作博弈分析的结论. 同时也印证了, 供应链成员选择合作决策时不仅可以得到更高的经济绩效, 还可以得到更高的环境绩效, 这正是绿色供应链合作的主要目标. 另外, 随着环境投入的市场敏感系数 α 的增大, 不仅核心制造企业会加大环境投入量 x , 同时也会影响销售商增加环境投入量 y , 双方的利润及供应链的整体利润与此同时也会增加, 也就是说市场更倾向于选择具有环境责任的产品, 因而核心制造企业和销售商应该积极实施高水平的环境投入活动.

7 结束语

本文研究了基于环境投入的单一核心制造企业和单一销售商组成的两级绿色供应链合作问题. 创新性结果表明: 市场对核心制造企业与销售商环境投入敏感系数决定着各自的环境投入量; 相对于非合作决策, 合作决策时可以有效提升企业以及供应链系统利润和环境绩效; 环境投入活动对利润的影响路径是通过提高市场需求量而不是提高绿色产品价格; 在非合作决策供应链中, 核心制造企业与销售商选择绿色合作伙伴存在一定的差异性; 利润分配因子介于一定范围可以保证核心制造企业和销售商合作的有效性.

需要指出的是, 本文只针对绿色供应链合作建立了一个通用型的模型, 在以后的研究中需要进一步针对某一类绿色产品开展实际运作研究. 另外, 本文一些结论是在一定假设下得出的, 推广应用还需进一步验证.

参考文献:

- [1] 朱庆华, 窦一杰. 基于政府补贴分析的绿色供应链管理博弈模型. 管理科学学报, 2011, 14(6): 86–95.
Zhu Q H, Dou Y J. A game model for green supply chain management based on government subsidies. Journal of Management Sciences in China, 2011, 14(6): 86–95. (in Chinese)
- [2] 但 斌, 徐广业. 随机需求下双渠道供应链协调的收益共享契约. 系统工程学报, 2013, 28(4): 514–521.
Dan B, Xu G Y. Revenue sharing contract for dual-channel supply chain coordination with stochastic demand. Journal of Systems Engineering, 2013, 28(4): 514–521. (in Chinese)
- [3] 孙海雷, 王 勇, 陈晓旭, 等. 基于价格折扣的改良品供应链的协调策略研究. 系统工程学报, 2014, 29(1): 75–84.
Sun H L, Wang Y, Chen X X, et al. Study of coordination in supply chain of ameliorating items with price discount. Journal of Systems Engineering, 2014, 29(1): 75–84. (in Chinese)
- [4] Corbett C J, DeCroix, G A. Shared-savings contracts for indirect materials in supply chains: Channel profits and environmental impacts. Management Science, 2001, 47(7): 881–893.
- [5] Barari S, Agarwal G, Zhang W C, et al. A decision framework for the analysis of green supply chain contracts: An evolutionary game approach. Expert Systems with Applications, 2012, 39(3): 2965–2976.
- [6] Ghosh D, Shah J. A comparative analysis of greening policies across supply chain structures. International Journal of Production Economics, 2012, 135(2): 568–583.
- [7] 王能民, 孙林岩, 汪应洛. 绿色供应链管理. 北京: 清华大学出版社, 2005.
Wang N M, Sun L Y, Wang Y L. Green Supply Chain Management. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. (in Chinese)
- [8] 郭春香, 李旭升, 郭耀煌. 社会责任环境下供应链的协作与利润分享策略研究. 管理工程学报, 2011, 25(2): 103–108.
Guo C X, Li X S, Guo Y H. Coordination and profit sharing strategies for supply chains to perform corporate social responsibilities. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2011, 25(2): 103–108. (in Chinese)
- [9] 金常飞, 曹二保, 赖明勇. 双寡头零售市场绿色营销演化博弈分析. 系统工程学报, 2012, 27(3): 383–389.
Jin C F, Cao E B, Lai M Y. Analysis on green marketing strategy of duopoly retailing market based on the evolutionary game theory. Journal of Systems Engineering, 2012, 27(3): 383–389. (in Chinese)
- [10] 曹 柬, 吴晓波, 周根贵, 等. 制造企业绿色产品创新与扩散过程中的博弈分析. 系统工程学报, 2012, 27(5): 617–625.
Cao J, Wu X B, Zhou G G, et al. Game analysis on innovation and diffusion of green product among manufacturers. Journal of Systems Engineering, 2012, 27(5): 617–625. (in Chinese)
- [11] 李海燕, 但 斌, 张旭梅, 等. 面向废弃物再利用的关联供应链合作决策模型. 预测, 2012, 31(1): 49–53.
Li H Y, Dan B, Zhang X M, et al. Study on the cooperation decision-making model in interrelated supply chains for wastes reusing considerations. Forecasting, 2012, 31(1): 49–53. (in Chinese)
- [12] Berger P D, Lee J, Weinberg B D. Optimal cooperative advertising integration strategy for organizations adding a direct online channel. Journal of the Operational Research Society, 2006, 57(8): 920–927.
- [13] Gurnani H, Erkoc M, Luo Y. Impact of product pricing and timing of investment decisions on supply chain co-opetition. European Journal of Operational Research, 2007, 180(1): 228–248.
- [14] Gurnani H, Erkoc M. Supply contracts in manufacturer-retailer interactions with manufacturer-quality and retailer effort-induced demand. Naval Research Logistics, 2008, 55(3): 200–217.
- [15] Desai P S. Advertising fee in business-format franchising. Management Science, 1997, 43(10): 1401–1419.
- [16] Jørgensen S, Zaccour G. Channel coordination over time: Incentive equilibria and credibility. Journal of Economic Dynamics and Control, 2003, 27(5): 801–822.
- [17] Zhu Q, Sarkis J, Lai K H. Institutional-based antecedents and performance outcomes of internal and external green supply chain management practices. Journal of Purchasing and Supply Management, 2013, 19(2): 106–117.

作者简介:

白春光(1977—), 女, 辽宁抚顺人, 博士, 副教授, 研究方向: 逆向物流, 博弈论, Email: chunguang.bai@dufe.eud.cn;

唐加福(1965—), 男, 湖南东安人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 运作管理与决策, Email: jftang@mail.neu.edu.cn.

附录 重要公式的证明

式(25)的证明

$$\bar{x} - x^{**} = \frac{\alpha(\theta - r - c)(8 - 5\beta^2)}{(2 - \alpha^2 - \beta^2)(16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2)} > 0,$$

$$x^{**} - x^* = \frac{5\alpha\beta^2(\theta - r - c)}{(4 - \alpha^2 - \beta^2)(16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2)} > 0,$$

$$\bar{y} - y^{**} = \frac{\beta(\theta - r - c)(4 + 2\alpha^2 - 3\beta^2)}{(2 - \alpha^2 - \beta^2)(16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2)} > 0,$$

$$y^{**} - y^* = \frac{\beta(\theta - r - c)(8 + 2\alpha^2 - 3\beta^2)}{(4 - \alpha^2 - \beta^2)(16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2)} > 0.$$

证毕.

式(26)的证明

$$\pi_M^{**} - \pi_M^* = \frac{1}{2} \frac{(\theta - r - c)^2(4\beta^4 + \beta^2(4 - \alpha^2))}{(4 - \alpha^2 - \beta^2)^2(16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2)} > 0,$$

$$\pi_R^* - \pi_R^{**} = (\theta - r - c)^2 \frac{(512 - 768\beta^2 - 256\alpha^2) + \beta^4(388 - 57\beta^2) + 32\alpha^4 + \alpha^2\beta^2(160 + 8\alpha^2 - 24\beta^2)}{2(4 - \alpha^2 - \beta^2)^2(4 - \alpha^2 - 9/4\beta^2)^2} > 0.$$

证毕.

式(27)的证明

$$\pi^* = \frac{1}{2} \frac{(\theta - r - c)^2(8 - \alpha^2 - \beta^2)}{(4 - \alpha^2 - \beta^2)^2},$$

$$\pi^{**} = 2 \frac{(\theta - c - r)^2(24 - 4\alpha - 15\beta^2)}{(16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2)^2},$$

$$\pi^* - \pi^{**} = (\theta - r - c)^2 \frac{(512 - 832\beta^2 - 256\alpha^2) + \beta^4(360 - 21\beta^2) + 32\alpha^4 + \alpha^2\beta^2(192 + 4\alpha^2 - 17\beta^2)}{2(4 - \alpha^2 - \beta^2)^2(4 - \alpha^2 - 9/4\beta^2)^2} > 0.$$

证毕.

式(28)的证明

$$\bar{p} - p^* = \frac{(\alpha^2 + \beta^2)(\theta - r - c)}{(2 - \alpha^2 - \beta^2)(4 - \alpha^2 - \beta^2)} > 0,$$

$$p^{**} - \bar{p} = \frac{(8 - 8\alpha^2 - 3\beta^2(3 - \alpha^2 - \beta^2))(\theta - r - c)}{(2 - \alpha^2 - \beta^2)(16 - 4\alpha^2 - 9\beta^2)} > 0.$$

证毕.