

零售商主导型绿色供应链激励机制设计

方 亮, 周志中

(上海交通大学 安泰经济与管理学院, 上海 200030)

摘 要: 以往有关绿色供应链激励机制的研究主要是围绕制造商为核心企业展开. 而 2014 年 12 月颁布的《企业绿色采购指南(试行)》强调了采购商(或零售商)在绿色供应链当中所起的作用. 以零售商(而不是供应商)作为核心企业, 建立供应商-零售商绿色供应链博弈模型, 用以研究零售商的激励制度设计以及绿色产品需求如何影响绿色供应链. 分别求解供应商不进行绿色工艺研发、供应商单独进行绿色工艺研发的供应链均衡解, 并且设计了转移支付激励机制. 研究表明: 1) 供应商和零售商不一定都有激励提高产品绿色度, 但在特定条件下, 他们都有动力提高产品绿色度; 2) 如果供应商和零售商都有动力提高产品绿色度, 那么供应商主导型的绿色供应链比零售商主导型的供应链在为整个供应链创造利润方面更佳; 3) 零售商主导型的绿色供应链可找到最优转移支付比例使得供应链整体利润最大化, 且转移支付激励手段有效.

关键词: 零售商主导; 绿色供应链; 激励机制; 转移支付

1 引言

随着人口快速增长、资源匮乏及环境恶化的问题日益严峻, 绿色、可持续的供应链管理成为政府、企业和学者关注的焦点. 2014 年 10 月召开的十八届四中全会明确提出, 要“强化生产者环境保护的法律责任”. 2014 年修订的《环境保护法》对企业的环境责任作出了一系列明确规定, 旨在通过引导、推动企业实施绿色采购, 倒逼原材料、产品和服务的供应商不断提高环境管理水平, 促进企业绿色生产, 带动全社会绿色消费, 逐步引导和推动形成绿色采购链.

文献 [1, 2] 从我国供应链发展的阶段分析我国商品流通主导权转变过程, 说明零售商主导型供应链逐渐形成. 盛朝迅 [3-4] 分析我国零售商主导型供应链形成原因, 并提出零售商主导型供应链发展必要途径. 李昊 [5] 通过仿真实验表明在需求不确定市场环境下, 主导供应商可以通过动态定价机制实现供应链视角下的帕累托改善. 易余胤 [6] 通过博弈分析表明, 在闭环供应链结构中零售商主导优于供应商主导. 朱庆华等 [7-11] 运用统计分析及实证分析的方法说明中国企业目前面对的外部环境压力及自身绿色供应链管理实践能力限制导致目前绿色供应链管理实践不足、经济效益不明显等问题. 文献 [12-13] 从环境保护、供应链管理角度出发, 分析说明实施绿色供应链管理的必要性以及需要解决的问题, 为绿色供应链管理

收稿日期: 2017-01-07

资助项目: 国家自然科学基金项目: 信息风险评价对信息系统产品供应商及使用者的影响研究 (71371121); 运营与创新管理 (71421002); 基于物联网的产品状态智能监控与质量管理 (71531010)

的发展提供了方向. 朱庆华^[14-15]指出随着消费者绿色消费意识提高, 企业应该实施绿色供应链管理形成竞争优势, 但是在绿色意识较低时不宜大量投资提高产品绿色度, 且补贴机制有助于提升产品绿色度及绿色供应链各方效益. 华中生、李四杰等^[16-18]通过博弈分析, 说明合作策略能够提高供应商和零售商各自的期望收益, 合作具有改善供应链企业应对市场需求不确定性变化和规避经营风险的能力. 文献[19-21]通过博弈分析表明绿色供应链集中决策有助于提升各方效益及产品绿色度. 文献[22-24]从国外大型零售企业自主品牌的发展过程及现状出发, 提出我国零售企业应该发展自有品牌战略, 即零售商通过获取产品需求信息、进行产品研发设计、自行生产或者指定供应商进行生产的竞争战略. 此外, 全球零售解决方案领导者 IBM 发布的绿色创新工程计划将环保的绿色设计和制作工艺作为零售行业解决方案有助于推动零售企业的研发能力.

以往有关绿色供应链激励机制的研究主要是以制造商为核心企业展开的, 而很少有学者以零售商为主导企业来进行绿色供应链激励机制的研究. 2014年12月由商务部、环境保护部和工信部颁布的《企业绿色采购指南(试行)》建议采购商(或零售商)在采购合同当中作出绿色约定, 还强调采购商(或零售商)可以通过市场机制的激励手段鼓励供应商强化环境保护, 切实减少环境污染, 降低环境风险. 2015年5月8日由国务院颁布的《中国制造2025》将绿色发展作为中国制造业发展的基本方针之一, 将绿色制造作为战略任务和重点. 2016年11月18日由工信部、财政部发布的《关于开展2016年绿色制造系统集成工作的通知》将绿色工艺突破、绿色供应链系统构建作为2016年发展重点. 在此背景下, 零售商如何通过激励手段建立运行良好的绿色供应链成为一个重要的研究课题. 本文从现实情况出发, 建立由一个零售商和一个供应商组成的零售商主导型供应链模型, 分析其利润变化的情况, 并建立零售商支持上游供应商进行绿色生产工艺研发的激励机制, 对零售商主导型绿色供应链激励理论提供有益的补充, 也对企业推动绿色供应链建设提供建议和参考.

2 问题的描述及假设

本文考虑由一个供应商、一个零售商和多个消费者组成的绿色供应链, 零售商处于主导地位. 假定供应商生产绿色产品的单位生产成本为 c_s , 将绿色产品卖给零售商的批发价格为 w . 零售商将绿色产品以单位价格 p_r 卖给消费者. 消费者使用绿色产品的效用为 $U = u_0 + \alpha g$. 其中 $u_0 > 0$ 为消费者使用绿色产品的基本效用, $g > 0$ 为绿色产品的绿色度, $\alpha > 0$ 是消费者类型, 代表消费者对绿色产品的偏好程度. 我们假设 α 均匀分布于 $[0, 1]$ 区间, 显然 α 越大, 代表消费者对绿色产品偏好程度越大, 从绿色产品当中得到更高的效用, 并愿意为绿色产品支付更高的价格. 绿色度越大代表产品越健康, 消费者使用该产品的效用越大, 因此 $dU/dg = \alpha > 0$. 我们还假设绿色供应链中的供应商、零售商与消费者等主体均为效用风险中性、信息完全. 决策次序如下: 供应商首先决定批发价格 w , 零售商根据批发价格 w 决定零售价格 p_r , 消费者根据自己的净效用 $U - p_r$ 决定是否购买产品. 如果 $U - p_r > 0$ 则购买该绿色产品, 否则不购买. 假设零售商和供应商均可以单独进行工艺研发, 从而提高产品绿色度.

3 供应商、零售商均不提高产品绿色度

在该情形中, 供应商及零售商均不采取任何措施提高产品绿色度 g . 首先考虑消费者的

购买决策,由 $U - p_r = u_0 + \alpha g - p_r \geq 0$ 可以推出 $\alpha \geq (p_r - u_0)/g$. 令 $\hat{\alpha} = (p_r - u_0)/g$, 如果 $\hat{\alpha}$ 在 $[0,1]$ 区间, 则对绿色产品的需求为 $1 - \hat{\alpha}$. 零售商的利润为 $\pi_r = (p_r - w)(1 - \hat{\alpha})$. 因零售商的决策变量为 p_r , 求解一阶条件 $d\pi_r/dp_r = 0$ 可得: $p_r = (g + w + u_0)/2$. 检查二阶条件可得: $d^2\pi_r/dp_r^2 = -2/g < 0$. 因此 π_r 在 $p_r = (g + w + u_0)/2$ 处取极大值. 此时 $\hat{\alpha} = (g + w - u_0)/(2g)$, $\pi_r = (g - w + u_0)^2/(4g)$. 供应商的利润函数为 $\pi_s = (w - c_s)(1 - \hat{\alpha})$. 因供应商的决策变量为 w , 求一阶条件 $d\pi_s/dw = 0$ 可得 $w^* = (g + c_s + u_0)/2$. 检查二阶条件可得: $d^2\pi_s/dw^2 = -1/g < 0$. 因此 π_s 在 w^* 取得最大值. 将 w^* 代入 $\hat{\alpha}$ 、 p_r 、 π_r 、 π_s 并汇总以上结果, 我们有:

$$\begin{cases} \hat{\alpha} = (3g + c_s - u_0)/(4g) \\ p_r^* = (c_s + 3g + 3u_0)/4 \\ w^* = (g + c_s + u_0)/2 \\ \pi_s^* = (g - c_s + u_0)^2/(8g) \\ \pi_r^* = (g - c_s + u_0)^2/(16g) \end{cases} \quad (1)$$

上述结果要成立, 则需满足两个条件: (1) $w - c_s \geq 0$, 否则在供应商的利润函数 $\pi_s = (w - c_s)(1 - \hat{\alpha})$ 中, 供应商每售出 1 个产品的利润为负值; (2) $\hat{\alpha}$ 在 $[0,1]$ 区间. 首先考虑第一个条件: $w - c_s \geq 0$, 由此约束条件我们可以得到: $g \geq c_s - u_0$. 如果 $c_s - u_0 \leq 0$, 那么 $g \geq c_s - u_0$ 总是得到满足, 因为参数 $g > 0$. 但如果 $c_s - u_0 > 0$, 那么我们要求 $g \geq c_s - u_0$. 考虑第二个条件: $0 \leq \hat{\alpha} \leq 1$. 由 $0 \leq \hat{\alpha}$ 可以推出 $g \geq -(c_s - u_0)/3$. 如果 $c_s - u_0 > 0$, 那么 $g \geq -(c_s - u_0)/3$ 这个条件总可以得到满足. 但如果 $c_s - u_0 \leq 0$, 我们仍然要求 $g \geq -(c_s - u_0)/3$. 由 $\hat{\alpha} \leq 1$ 可以推出 $g \geq c_s - u_0$. 这个条件和 $w - c_s \geq 0$ 推出的条件一致. 因此均衡解 (1) 要成立, 需要满足以下条件:

$$(c_s - u_0 > 0 \text{ 且 } g \geq c_s - u_0) \text{ 或者 } (c_s - u_0 \leq 0 \text{ 且 } g \geq -(c_s - u_0)/3)$$

那么如果以上条件不成立, 均衡解将会如何呢? 我们首先考虑 $c_s - u_0 \leq 0$ 且 $g < -(c_s - u_0)/3$ 的情况. 在此情况下, 均衡解 (1) 中的 $\hat{\alpha}$ 严格小于 0, 说明在此情况下, 供应商和零售商都试图尽可能把产品卖给用户, 甚至连消费者类型为负 ($\alpha \leq 0$) 都没关系. 但根据我们的假设, 市场上的消费者没有那么多, 最小的 α 只能取值为 0. 如果将产品尽可能卖给所有的客户, 也就是 $\hat{\alpha} = 0$, 那么我们有 $p_r = u_0$ (因为 $\hat{\alpha} = (p_r - u_0)/g$). 对于供应商而言, $\pi_s = (w - c_s)(1 - \hat{\alpha}) = w - c_s$, 因此供应商应该把批发价格 w 尽可能订到最高, 而且能够确保零售商将它的最优价格 p_r 订为 u_0 . 将 $\hat{\alpha} = (p_r - u_0)/g$ 代入零售商的利润函数 $\pi_r = (p_r - w)(1 - \hat{\alpha})$ 并对 p_r 求导, 可得 $d\pi_r/dp_r = (p_r - w)(g + u_0 - p_r)/g$, 并且 $d\pi_r/dp_r|_{p_r=u_0} = (g + w - u_0)/g$. 供应商要确保零售商将它的最优价格 p_r 订为 u_0 , 就要确保 $d\pi_r/dp_r|_{p_r=u_0} \leq 0$, 也就是说 $w \leq u_0 - g$, 否则零售商会把零售价格订 $p_r > u_0$. 因此均衡解是:

$$\begin{cases} \hat{\alpha} = 0 \\ p_r^* = u_0 \\ w^* = u_0 - g \\ \pi_s^* = u_0 - c_s - g \\ \pi_r^* = g \end{cases} \quad (2)$$

我们可以验证: 如果供应商将批发价格订得比 $u_0 - g$ 高 ε ($\varepsilon > 0, \varepsilon \rightarrow 0$), 那么零售商定价为 $p_r = (g + w + u_0)/2 = u_0 + \varepsilon/2$, $\hat{\alpha} = \varepsilon/2g$. 代入供应商的利润函数得到 $\pi_s = (w - c_s)(1 - \hat{\alpha}) =$

$u_0 - c_s - g - \varepsilon(u_0 - c_s - 3g + \varepsilon) < u_0 - c_s - g = \pi_s^*$ 最后一个不等式成立是因为我们已经假设 $g < -(c_s - u_0)/3$. 如果供应商将批发价格订得比 $u_0 - g$ 低, 那么容易验证零售商向供应商的订货仍然不变还是 1, 而供应商的利润严格小于 π_s^* . 因此式 (2) 是 $c_s - u_0 \leq 0$ 且 $g < -(c_s - u_0)/3$ 条件下的均衡解.

接下来考虑 $c_s - u_0 > 0$ 且 $g < c_s - u_0$ 的情况. 我们知道供应商定的批发价 w 最小值为 c_s , 小于这个值那么供应商的单件产品利润 $w - c_s$ 为负数. 对于零售商而言, 零售价最低价格为批发价格 w , 低于这个价格那么零售商的单位售出产品的利润也为负数. 假设供应商和零售商都订了他们所能够承受的最低价格 $p_r = w = c_s$, 那么 $\hat{\alpha} = (c_s - u_0)/g$. 但因为 $g < c_s - u_0$, 我们有 $\hat{\alpha} = (c_s - u_0)/g > 1$. 这意味着没有用户购买产品, 因为只有 $\hat{\alpha}$ 落在 $[0, 1]$ 区间内才会有用户购买产品. 这说明供应商的成本过高, 导致定价过高, 消费者无法承受. 因此在这种情况下 ($c_s - u_0 > 0$ 且 $g < c_s - u_0$), 供应商不会生产. 总结以上结果, 我们有:

命题 1 情形 1A: 如果 ($c_s - u_0 > 0$ 且 $g \geq c_s - u_0$) 或者 ($c_s - u_0 \leq 0$ 且 $g \geq -(c_s - u_0)/3$), 那么绿色供应链博弈均衡解为式 (1); 情形 1B: 如果 ($c_s - u_0 \leq 0$ 且 $g < -(c_s - u_0)/3$), 那么绿色供应链博弈均衡解为式 (2); 情形 1C: 如果 ($c_s - u_0 > 0$ 且 $g < c_s - u_0$), 那么供应商不会生产.

如果零售商或者供应商可以通过绿色生产工艺的研发提高产品绿色度 g , 他们是否有动力这么做呢? 情形 1C 是退化解, 不予考虑. 下文分析基于情形 1A 和情形 1B 零售商或供应商是否有动力进行绿色生产工艺的研发.

4 供应商或者零售商单独提高产品绿色度

考虑命题 1 的情形 1B, 从均衡解结果式 (2) 容易看出, 供应链的总利润为 $u_0 - c_s$, 与绿色度无关. 而绿色度 g 只是决定了利润如何在供应商和零售商之间分配, 即进行绿色工艺研发无法提高供应链整体效益. 但是对于零售商而言, 提高绿色度有助于提高它的利润; 对于供应商而言, 绿色度的提高则降低它的利润. 这是因为供应商的生产成本足够低, 希望能够将绿色产品卖给所有顾客, 因此需要给零售商提供一定利润确保零售商压低零售价格. 但从零售商角度看, 产品绿色度越高, 对绿色产品偏好度高的消费者支付意愿就越高, 这样就没必要压低价格卖给所有消费者, 把产品卖给部分偏好绿色产品的消费者也可以. 这样一来, 供应商需要压低批发价格, 使得零售商即使把产品卖给对绿色产品偏好低的用户也能赚到足够利润, 这样供应商才能确保有足够多的使用绿色产品的用户. 因此供应商生产成本足够低的情况下, 并不希望产品绿色度提升.

考虑命题 1 的情形 1A, 从均衡解结果式 (1) 得到 π_s^* 和 π_r^* . 对 π_s^* 、 π_r^* 求导得到

$$\begin{aligned} d\pi_s^*/dg &= (g + c_s - u_0)(g - c_s + u_0)/(8g^2) \\ d\pi_r^*/dg &= (g + c_s - u_0)(g - c_s + u_0)/(16g^2). \end{aligned}$$

可见在情形 1A 下, 如果 ($c_s - u_0 > 0$ 且 $g \geq c_s - u_0$) 或者 ($c_s - u_0 \leq 0$ 且 $g \geq u_0 - c_s$), 则 $d\pi_s^*/dg \geq 0$ 且 $d\pi_r^*/dg \geq 0$. 供应商和零售商都有激励提高产品绿色度. 但如果 ($c_s - u_0 < 0$ 且 $(u_0 - c_s)/3 \leq g < u_0 - c_s$), 则 $d\pi_s^*/dg < 0$ 且 $d\pi_r^*/dg < 0$, 供应商和零售商都没有激励提高产品绿色度. 总结以上分析, 我们有以下命题:

命题 2 情形 2A: 如果 ($c_s - u_0 > 0$ 且 $g \geq c_s - u_0$) 或者 ($c_s - u_0 \leq 0$ 且 $g \geq u_0 - c_s$), 供应

商和零售商都有激励提高产品绿色度. 情形 2B: 如果 $(c_s - u_0 < 0$ 且 $(u_0 - c_s)/3 \leq g < u_0 - c_s)$, 供应商和零售商都没有激励提高产品绿色度. 情形 2C: 如果 $(c_s - u_0 > 0$ 且 $g < c_s - u_0)$, 零售商有激励提高产品绿色度, 但供应商没有激励提高产品绿色度.

命题 2 中的情形 2C 是命题 1 中情形 1B 自然推出的结果, 但相对于命题 1 中的情形 1B(所有用户都购买使用绿色产品), 情形 1A 更符合现实情况(部分用户购买使用绿色产品). 而命题 2 中的情形 2A 和情形 2B 则是根据命题 1 中情形 1A 推出的结果. 下面我们聚焦于命题 2 中的情形 2A, 研究在供应商和零售商都有激励提高产品绿色度的情况下, 他们的最优投资为何.

4.1 供应商单独进行绿色工艺研发

假设供应商和零售商均可以通过研发提高产品绿色度, 将产品绿色度从 g 增加到 $(1 + \lambda)g$, 研发成本为 $\lambda^2 g (\lambda > 0)$. 首先考虑 $(c_s - u_0 > 0$ 且 $g \geq c_s - u_0)$ 的情况, 令 $c_s - u_0 = \rho g$ (其中 $0 < \rho \leq 1$). 如果供应商将产品绿色度从 g 增加到 $(1 + \lambda)g$, 那么他的利润为: $\pi_s(\lambda) = [\pi_s |_{g \rightarrow (1+\lambda)g}] - \lambda^2 g = [g(1 + \lambda) - c_s + u_0]^2 / [8g(1 + \lambda)] - \lambda^2 g$. 将 $c_s = u_0 + \rho g$ 代入得到

$$\pi_s(\lambda) = g(1 + \lambda - \rho)^2 / [8(1 + \lambda)] - g\lambda^2 \tag{3}$$

优化 $\pi_s(\lambda)$ 的二阶条件是 $d^2\pi_s(\lambda)/d\lambda^2 = (-8 - 24\lambda - 24\lambda^2 - 8\lambda^3 + \rho^2) / [4(1 + \lambda)^3]$, 容易验证 $d^2\pi_s(\lambda)/d\lambda^2 < 0$, 满足二阶条件. 优化 $\pi_s(\lambda)$ 的一阶条件是: $d\pi_s(\lambda)/d\lambda = -(-1 + 14\lambda + 31\lambda^2 + 16\lambda^3 + \rho^2)g / [8(1 + \lambda)^2]$. 可见求解 $d\pi_s(\lambda)/d\lambda = 0$ 需要求解一个关于 λ 的一元三次方程

$$f_1(\lambda) = -1 + 14\lambda + 31\lambda^2 + 16\lambda^3 + \rho^2 = 0 \tag{4}$$

一元三次方程 $a\lambda^3 + b\lambda^2 + c\lambda + d = 0$ 的求根判别式 Δ_{f_1} 表达式如下: $\Delta_{f_1} = (\frac{bc}{6a^2} - \frac{b^3}{27a^3} - \frac{d}{2a})^2 + (\frac{c}{3a} - \frac{b^2}{9a^2})^3$, $f_1(\lambda)$ 的求根判别式 Δ_{f_1} 与 ρ 的关系如图 1 所示, 当 $0 < \rho \leq 1$ 时, $\Delta_{f_1} < 0$ 恒成立, 即此一元三次方程存在三个实数根. 通过求解可得, $\lambda_s^* = \frac{1}{48}[-31 + 34 \cos(\frac{1}{3} \arccos(1 - \frac{3456\rho^2}{4913}))]$, 另外两个根小于 0, 故舍去. λ_s^* 与 ρ 的关系如图 2 所示, 随着 ρ 增大(即 g 越趋近于 $c_s - u_0$), 绿色工艺研发投入减小, 产品绿色度增加率 λ 逐渐变小.

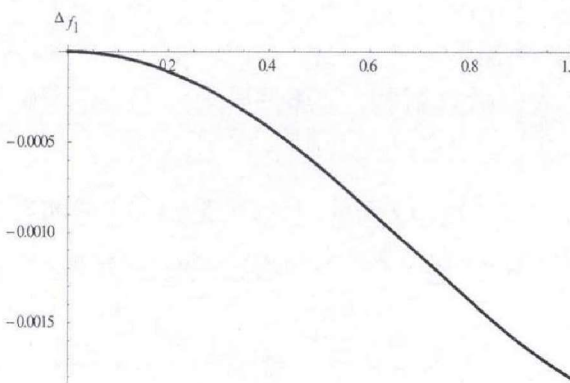


图 1 Δ_{f_1} 与 ρ 关系图

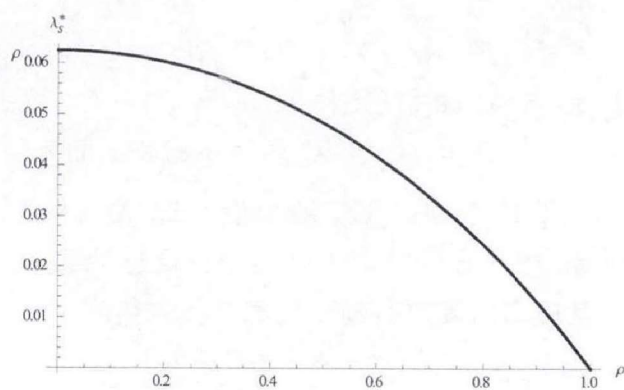


图 2 λ_s^* 与 ρ 关系图

4.2 零售商单独进行绿色工艺研发

若零售商进行生产工艺的研发, 则零售商利润为

$$\pi_r(\lambda) = g(1 + \lambda - \rho)^2 / [16(1 + \lambda)] - \lambda^2 g \tag{5}$$

优化 $\pi_r(\lambda)$ 的二阶条件是 $d^2\pi_r(\lambda)/d\lambda^2 = (-16 - 48\lambda - 48\lambda^2 - 16\lambda^3 + \rho^2) / [8(1 + \lambda)^3]$, 容易验证 $d^2\pi_r(\lambda)/d\lambda^2 < 0$, 满足二阶条件. 零售商利润对 λ 求导可得 $d\pi_r(\lambda)/d\lambda = -(-1 + 30\lambda +$

$63\lambda^2 + 32\lambda^3 + \rho^2)g/[16(1+\lambda)^2]$. 同样, 求解最大化 $\pi_r(\lambda)$ 的一阶条件 $d\pi_r(\lambda)/d\lambda = 0$ 需要求解一个关于 λ 的一元三次方程

$$f_2(\lambda) = -1 + 30\lambda + 63\lambda^2 + 32\lambda^3 + \rho^2 = 0 \quad (6)$$

该方程 $f_2(\lambda) = 0$ 的求根判别式 Δ_{f_2} 与 ρ 的关系如图 3 所示, 当 $0 < \rho \leq 1$ 时, $\Delta_{f_2} < 0$ 恒成立, 即此一元三次方程存在三个实数根. 通过求解可得, $\lambda_r^* = \frac{1}{32}[-21 + 22 \cos(\frac{1}{3} \arccos(1 - \frac{512\rho^2}{1331}))]$, 另外两个根小于 0, 故舍去. λ_r^* 与 ρ 的关系如图 4 所示, 随着 ρ 增大 (即 g 越趋近于 $c_s - u_0$), 零售商工艺研发投入变小, 产品绿色度增加率 λ 逐渐变小.

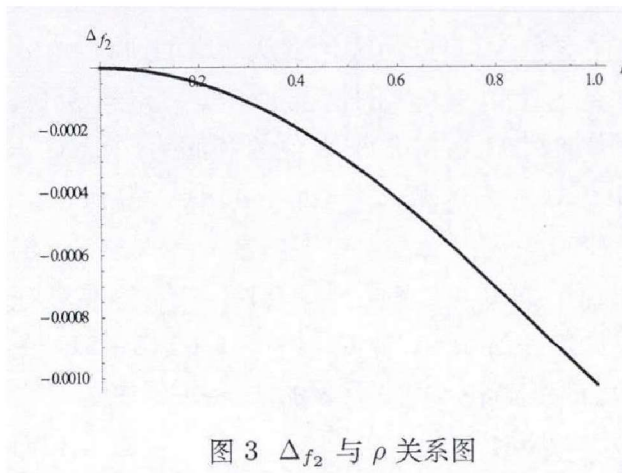


图 3 Δ_{f_2} 与 ρ 关系图

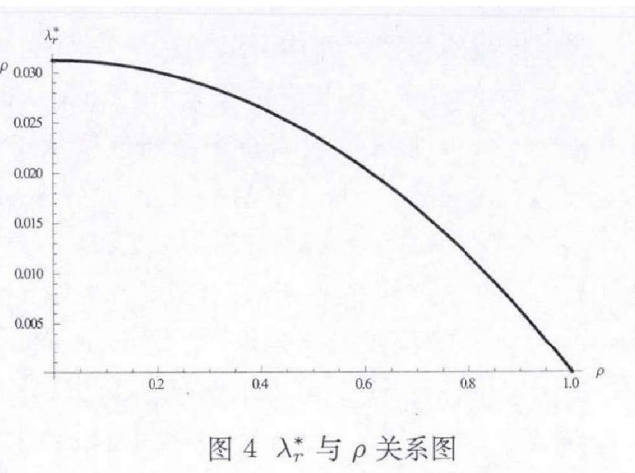


图 4 λ_r^* 与 ρ 关系图

考虑 ($c_s - u_0 \leq 0$ 且 $g \geq u_0 - c_s$) 的情况, 令 $u_0 - c_s = \rho g$ (其中 $0 \leq \rho \leq 1$), 代入 $\pi_{2s}(\lambda) = [\pi_s |_{g \rightarrow (1+\lambda)g}] - \lambda^2 g$ 以及 $\pi_{2r}(\lambda) = [\pi_r |_{g \rightarrow (1+\lambda)g}] - \lambda^2 g$ 之后, 我们得到

$$\begin{aligned} \pi_{2s}(\lambda) &= g(1 + \lambda - \rho)^2 / [8(1 + \lambda)] - g\lambda^2 \\ \pi_{2r}(\lambda) &= g(1 + \lambda - \rho)^2 / [16(1 + \lambda)] - g\lambda^2 \end{aligned} \quad (7)$$

对 λ 求导得到: $d\pi_{2s}(\lambda)/d\lambda = -f_1(\lambda)g/[8(1+\lambda)^2]$, $d\pi_{2r}(\lambda)/d\lambda = -f_2(\lambda)g/[16(1+\lambda)^2]$, 其中 $f_1(\lambda)$ 和 $f_2(\lambda)$ 如式 (4) 和式 (6) 所示. 一阶条件和上面的分析相同, 都需要求解 $f_1(\lambda) = 0$ 及 $f_2(\lambda) = 0$, 得到的 λ_s^* 及 λ_r^* 的表达式和上面相同. 总结以上分析, 我们有以下命题:

命题 3 如果供应商和零售商都有激励提高产品绿色度, 他们的最优产品绿色度增加率 λ 分别为: $\lambda_s^* = \frac{1}{48}[-31 + 34 \cos(\frac{1}{3} \arccos(1 - \frac{3456\rho^2}{4913}))]$ 和 $\lambda_r^* = \frac{1}{32}[-21 + 22 \cos(\frac{1}{3} \arccos(1 - \frac{512\rho^2}{1331}))]$.

4.3 供应商研发更有利于提高产品绿色度

如果供应链由供应商主导, 那么产品绿色增加率为 λ_s^* . 而如果供应链由零售商主导, 那么产品绿色增加率为 λ_r^* . 到底哪种情况 (供应商主导, 零售商主导) 最能给整个供应链带来最多的利润呢? 如果 $c_s - u_0 > 0$, 产品绿色度增加率 λ 对应的供应链利润总和为: $\pi_{sc} = g[\frac{3(1+\lambda-\rho)^2}{16(1+\lambda)} - \lambda^2]$. 如果 $c_s - u_0 \leq 0$, 产品绿色度增加率 λ 对应的供应链利润总和为: $\pi_{sc} = g[\frac{3(1+\lambda-\rho)^2}{16(1+\lambda)} - \lambda^2] = g[\frac{3(1+\lambda-\rho)^2}{16(1+\lambda)} + \frac{3\rho}{4} - \lambda^2]$. 通过数值计算容易验证: $[\pi_{sc}(\lambda_s^*) - \pi_{sc}(\lambda_r^*)]/g \geq 0$ (见图 5). 可见供应链由供应商主导较好, 因为能够提高供应链整体利润, 不过这是以牺牲零售商的利润而得到的结果 (注意到 λ_s^* 最大化 $\pi_s(\lambda)$, 而 $\lambda_s^* \neq \lambda_r^*$. 比较 λ_s^* 和 λ_r^* , 同样通过数值计算容易验证: $\lambda_s^* \geq \lambda_r^*$ (见图 6). 可见供应商主导的供应链当中, 产品绿色度提升更大.

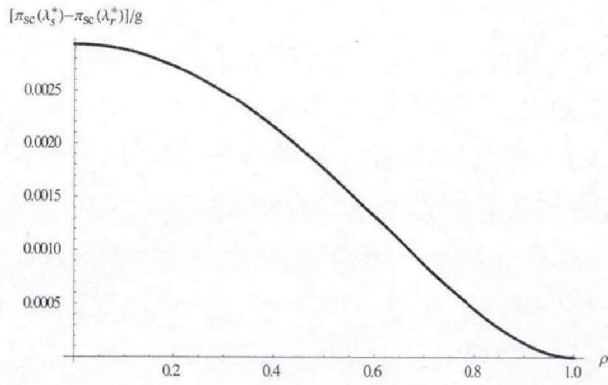


图 5 $[\pi_{sc}(\lambda_s^*) - \pi_{sc}(\lambda_r^*)]/g$ 与 ρ 关系图

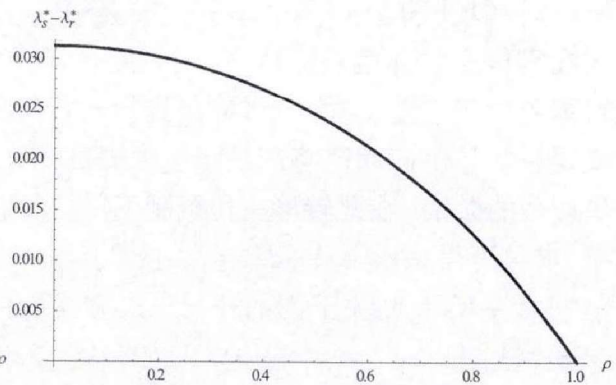


图 6 $\lambda_s^* - \lambda_r^*$ 与 ρ 关系图

命题 4 由供应商主导的供应链总利润大于由零售商主导的供应链总利润. 供应商对提高产品绿色度的研发投入大于零售商最优研发投入.

命题 4 说明零售商主导的绿色供应链对供应链整体而言并非最优设计. 而本文研究的恰是零售商主导的绿色供应链, 那么在此供应链下能否通过转移支付等制度设计确保供应链总利润最大呢? 下面我们研究这个问题.

5 零售商主导型绿色供应链的转移支付机制

首先我们求解使得供应链整体利润最大的产品绿色度增加率 λ_{sc}^* . 如果 $c_s - u_0 > 0$, 产品绿色度增加率 λ 对应的供应链利润总和为: $\pi_{sc}(\lambda) = g[\frac{3(1+\lambda-\rho)^2}{16(1+\lambda)} - \lambda^2]$. 令供应链整体利润 $\pi_{sc}(\lambda)$ 对 λ 求导可得 $d\pi_{sc}(\lambda)/d\lambda = -(-3 + 26\lambda + 61\lambda^2 + 32\lambda^3 + 3\rho^2)g/[16(1+\lambda)^2]$, 关于 λ 的一元三次方程 $f_3(\lambda) = -3 + 26\lambda + 61\lambda^2 + 32\lambda^3 + 3\rho^2 = 0$ 的求根判别式 Δ_{f_3} 与 ρ 的关系如图 7 所示, 当 $0 < \rho < 1$ 时, $\Delta_{f_3} < 0$ 恒成立, 即此一元三次方程存在三个实数根. 通过求解可得, $\lambda_{sc}^* = \frac{1}{96}[-61 + 70 \cos(\frac{1}{3} \arccos(1 - \frac{41472\rho^2}{42875}))]$, 另外两个根小于 0, 故舍去. λ_{sc}^* 与 ρ 的关系如图 8 所示, 随着 ρ 增大, 产品绿色度增加率 λ_{sc}^* 逐渐变小. 如果 $c_s - u_0 \leq 0$, 产品绿色度增加率 λ 对应的供应链利润总和为: $\pi_{sc}(\lambda) = g[\frac{3(1+\lambda-\rho)^2}{16(1+\lambda)} + \frac{3\rho}{4} - \lambda^2]$. 显然 λ_{sc}^* 没有发生变化, 因为优化 $\pi_{sc}(\lambda)$ 的一阶条件没有发生变化.

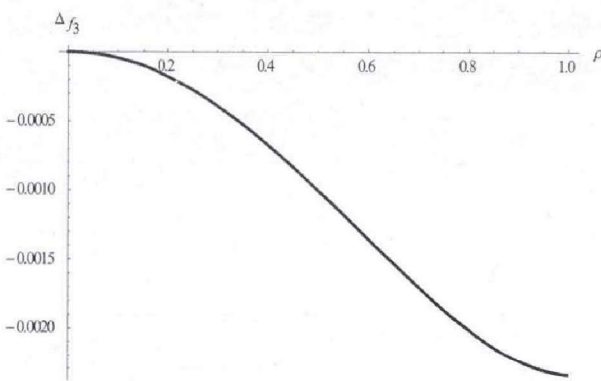


图 7 Δ_{f_3} 与 ρ 关系图

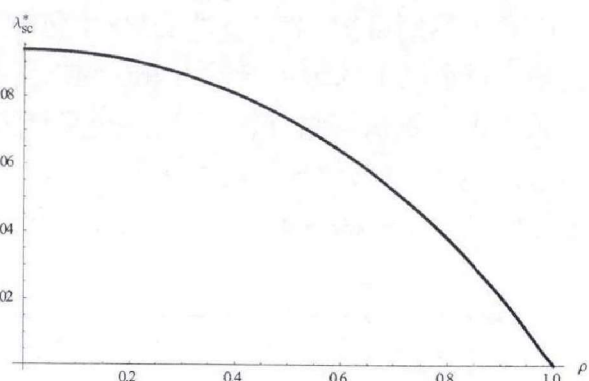


图 8 λ_{sc}^* 与 ρ 关系图

命题 5 使得供应链整体利润达到最大的产品绿色度增加率 λ 为:

$$\lambda_{sc}^* = \frac{1}{96}[-61 + 70 \cos(\frac{1}{3} \arccos(1 - \frac{41472\rho^2}{42875}))].$$

在零售商主导型供应链下, 供应商进行提高产品绿色度的研发, 而零售商为激励供应商进行绿色生产工艺研发, 对供应商进行一定的激励, 假设转移支付量为 $k\lambda g$ (其中 $0 < k < 1$), 也就是说如果供应商能将产品绿色度提高 λg , 则零售商将按比例 k 给供应商支付 $k\lambda g$ 作为给供应商的激励. 在此转移支付机制下, 供应商的利润函数为 $\pi_s(k, \lambda) = [\frac{(1+\lambda-\rho)^2}{8(1+\lambda)} - \lambda^2 + k\lambda]g$, 对 λ 求导可得 $d\pi_s(k, \lambda)/d\lambda = f_4(k, \lambda) = (1 + 8k - 14\lambda + 16k\lambda - 31\lambda^2 + 8k\lambda^2 - 16\lambda^3 - \rho^2)g/[8(1+\lambda)^2]$, 则关于 λ 的一元三次方程 $1 + 8k - 14\lambda + 16k\lambda - 31\lambda^2 + 8k\lambda^2 - 16\lambda^3 - \rho^2 = 0$ 的求根判别式 $\Delta_{f_4} = \rho^2(-4913 - 6936k - 3264k^2 - 512k^3 + 1728\rho^2)/1769472$. 使用数值解法容易验证, Δ_{f_4} 在 $\{k = 0, \rho = 0\}$ 处取最大值 0, 因此当 $0 < \rho < 1$ 时, $\Delta_{f_4} < 0$ 恒成立, 即此一元三次方程存在三个实数根. 求解一元三次方程可得: $\lambda^*(k) = \frac{1}{48}[-31 + 8k + 2(17 + 8k) \cos(\frac{1}{3} \arccos(\frac{4913 + 6936k + 3264k^2 + 512k^3 - 3456\rho^2}{(17 + 8k)^3}))]$ 另外两个根小于 0, 故舍去. 那么是否存在一个 k , 使得 $\lambda^*(k)$ 恰好等于 λ_{sc}^* 呢? 也就是说, 能否通过零售商的转移支付使得整个绿色供应链达到利润最大呢?

使用数值解法容易验证: 在 $0 < \rho < 1$ 内, $\lambda^*(0) - \lambda_{sc}^* < 0$ (见图 9), $\lambda^*(1) - \lambda_{sc}^* > 0$ (见图 10), 这说明在 $0 < k < 1$ 中至少存在一个 k , 使得 $\lambda^*(k) = \lambda_{sc}^*$.

命题 6 零售商主导型绿色供应链中, 至少存在一个转移支付安排 \hat{k} , 使得供应商在产品绿色度的研发力度达到整个绿色供应链的最优水平. 即存在 \hat{k} , 使得 $\lambda^*(\hat{k}) = \lambda_{sc}^*$.

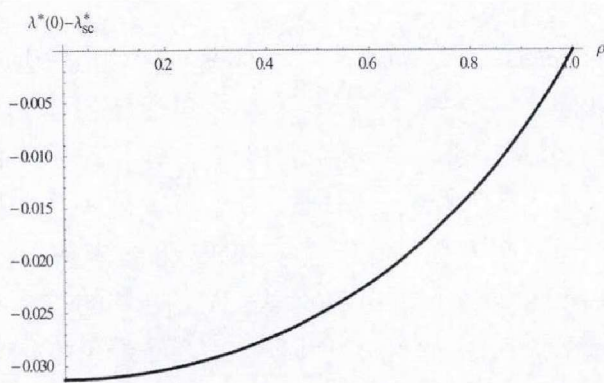


图 9 Δ_{f_3} 与 ρ 关系图

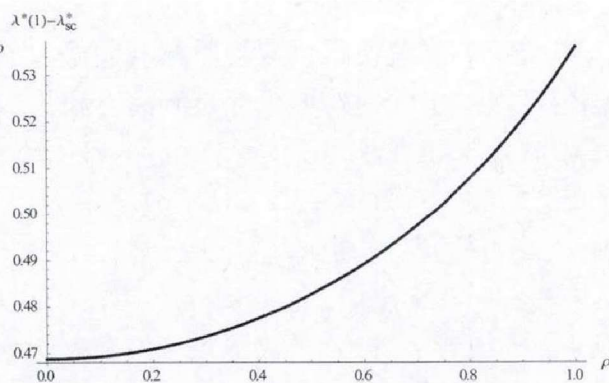


图 10 λ_{sc}^* 与 ρ 关系图

由表 1 算例可知, 随着 ρ 的变化, 零售商总能找到与之相应的转移支付比例 \hat{k} , 可使得存在转移支付情况下的绿色研发投入达到供应链整体最优绿色研发投入水平.

通过表 2 算例可知, 由供应商进行绿色工艺研发、零售商对供应商提供转移支付激励措施, 并且以供应链整体效益最大化为目标时, 各方利润均高于不研发、供应商单独研发、零售商单独研发情况下的各方利润. 转移支付手段有效.

表 1

变量	转移支付最优研发投入	供应链整体效益最大化研发投入	ρ	\hat{k}
算例 1	0.0734086	0.734086	0.5	0.0489391
算例 2	0.0639344	0.0639344	0.6	0.0426229

表 2

(ρ, k)		(0.5, 0.0489391)	(0.6, 0.0426229)
供应商利润	均不研发	0.031250	0.020000
	供应商研发	0.033515	0.021672
	零售商研发	0.033498	0.021654
	转移支付	0.039550	0.025323
零售商利润	均不研发	0.015625	0.010000
	供应商研发	0.017923	0.011708
	零售商研发	0.014418	0.009083
	转移支付	0.016782	0.010864

6 结语

由于我国供应链管理起步较晚、居民绿色消费意识较弱、政策支持较少等因素导致目前国内绿色供应链发展较慢、企业进行绿色供应链管理效果不明显等问题。2014年12月颁布的《企业绿色采购指南(试行)》强调了零售商在绿色供应链当中所起的作用。本文结合我国绿色市场初步形成、消费者环保意识开始显现的现实国情,研究零售商主导型供应链在进行环保转化的过程中激励不足的问题。主要的研究结论和管理启示包括:1) 供应商和零售商不一定都有激励提高产品绿色度,但在特定条件下,他们都有激励提高产品绿色度;2) 如果供应商和零售商都有激励提高产品绿色度,那么供应商主导型的绿色供应链比零售商主导型的供应链在为整个供应链创造利润方面更佳;3) 零售商主导型的绿色供应链可找到最优转移支付比例使得供应链整体利润最大化,即转移支付激励手段有效。

本文建立的供应商和零售商分别决定产品批发价格和零售价格、消费者根据自身效用决定是否购买的零售商主导型绿色供应链博弈模型,有别于传统的产量竞争博弈和价格竞争博弈,具有一定的理论意义。此外,以往的研究多数将供应商作为绿色工艺研发核心企业、将政府作为绿色工艺研发补贴来源,本文将零售商作为供应链核心企业对供应商进行绿色工艺研发激励,并证明转移支付激励手段的有效性,对于绿色供应链的管理具有一定的现实意义。

参考文献

- [1] 韩鑫,孙新章. 零售商主导商品物流渠道控制权的经济分析[J]. 中国市场, 2007, 36: 98-99.
- [2] 郭晶晶. 我国零售市场买方势力的形成原因[J]. 经济师, 2008, 03: 222.
- [3] 盛朝迅,徐从才. 大型零售商主导产业链: 动因、机制与路径[J]. 广东商学院学报, 2012, 01: 4-10+96.
- [4] 徐从才,盛朝迅. 大型零售商主导产业链: 中国产业转型升级新方向[J]. 财贸经济, 2012, 01: 71-77.
- [5] 李昊,赵道致. 零售商主导型供应链动态定价模型[J]. 统计与决策, 2013, 07: 50-52.
- [6] 易余胤. 不同主导力量下的闭环供应链模型[J]. 系统管理学报, 2010, 04: 389-396.
- [7] 朱庆华. 绿色供应链管理动力/压力影响模型实证研究[J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2008, 02: 6-12.
- [8] 朱庆华,耿涌. 基于统计分析的中国制造业绿色供应链管理动力研究[J]. 管理学报, 2009, 08: 1029-1034.
- [9] 朱庆华. 基于资源基础观的政府法规推动企业绿色采购实现机理研究[J]. 管理评论, 2012, 10: 143-149.

- [10] 刘彬, 朱庆华. 制造企业绿色采购实践对绩效影响的实证研究 [J]. 管理学报, 2009, 07: 924-929.
- [11] 朱庆华, 耿勇. 中国制造企业绿色供应链管理实践类型及绩效实证研究 [J]. 数理统计与管理, 2006, 04: 392-399.
- [12] Hall J. Environmental supply chain dynamics[J]. Journal of cleaner Production, 2000(8): 455-471
- [13] Preuss L. Rhetoric and reality of corporate greening: a view from the supply chain management function[J]. Business Strategy and the Environment, 2005, 14(2): 123-129.
- [14] 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 [J]. 管理科学学报, 2011, 06: 86-95.
- [15] 田一辉, 朱庆华. 政府价格补贴下绿色供应链管理扩散博弈模型 [J]. 系统工程学报, 2016, 04: 526-535.
- [16] 徐晓燕, 李四杰. 单周期产品两层供应链的合作行为分析 [J]. 系统工程学报, 2005, 05: 34-40.
- [17] 张斌, 华中生. 供应链质量管理中抽样检验决策的非合作博弈分析 [J]. 中国管理科学, 2006, 03: 27-31.
- [18] 华中生, 孙毅彪, 李四杰. 单周期产品需求不确定性对供应链合作的影响 [J]. 管理科学学报, 2004, 05: 40-48.
- [19] 江世英, 李随成. 考虑产品绿色度的绿色供应链博弈模型及收益共享契约 [J]. 中国管理科学, 2015, 06: 169-176.
- [20] 高举红, 韩红帅, 侯丽婷, 王海燕. 考虑产品绿色度和销售努力的零售商主导型闭环供应链决策研究 [J]. 管理评论, 2015, 04: 187-196.
- [21] 陈志松. 政府激励政策下人造板绿色供应链谈判 - 协调机制研究 [J]. 中国管理科学, 2016, 02: 115-124.
- [22] 本报记者郑娜原建猛. 自有品牌助推零售业转型 [N]. 发展导报, 2014-11-18003.
- [23] 零售业自有品牌发展形势及营销策略分析 [J]. 人民论坛, 2012, 35: 70-71.
- [24] 祝合良. 我国商贸流通业自主品牌培育发展思路 [J]. 中国流通经济, 2011, 08: 97-101.

The Incentive Mechanism Design of Retailer Leading Green Supply Chain

FANG Liang, ZHOU Zhi-zhong

(Antai College of Economics & Management, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: Prior research on green supply chain incentive mechanism considered manufacturer as focal firm. Yet, "Guidebook of Green Procurement for Enterprises" released on December 2014 emphasized the importance of retailer in the green supply chain. This paper considers retailer, not manufacturer, as a focal firm, builds a supplier-retailer green supply chain game-theoretic model, and uses it to study the design of incentive mechanism and how the demand of green products may affect the design of the green supply chain. We get the equilibrium solutions for cases where there is no R&D on green technology, R&D of green technology conducted by manufacturer only, and R&D of green technology conducted by both manufacturer and retailer. We design a transfer payment incentive mechanism. We find that: (1) The smaller the initial demand of green products, the lower benefits obtained by both manufacturer and retailer from the green technology R&D; (2) Green technology development should be carried out by the supplier; (3) Transfer payment is an effective incentive mechanism.

Keywords: retailer leading; green supply chain; incentive mechanism; transfer payment