

文章编号: 1000-5862(2017)02-0204-08

# 主导模式与风险厌恶对绿色供应链决策的影响研究

曾剑锋<sup>1</sup> 柳 键<sup>2</sup>

(1. 江西师范大学学报杂志社, 江西 南昌 330022; 2. 江西财经大学信息管理学院, 江西 南昌 330032)

**摘要:** 利用主从博弈方法研究由一个制造商和一个风险厌恶零售商构成的绿色供应链, 建立 Stackelberg 博弈模型, 通过数理方法分析零售商的风险厌恶程度和主导模式对绿色供应链决策的影响, 研究结果表明: 随着零售商的风险厌恶程度增大, 制造商趋向于产品绿色度水平和产品批发价格的提高, 而零售商则趋向于产品销售价格的降低, 同时, 制造商的利润和绿色供应链系统的效益均增大, 而零售商的效用却减小; 对于消费者、零售商以及具有低风险厌恶零售商的供应链而言, 零售商主导的供应链模式优于制造商主导的供应链模式, 而对于制造商和具有高风险厌恶零售商的供应链, 制造商主导的供应链模式优于零售商主导的供应链模式。

**关键词:** 绿色供应链; 风险厌恶; 主导模式; Stackelberg 博弈

**中图分类号:** F 224.32 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2017.02.18

## 0 引言

随着人类社会工业化的快速发展, 全球环境受到严重污染, 正在日益恶化, 人们也渐渐认识到环境保护的重要性, 绿色产品越来越受到消费者的青睐, 这促使企业提升绿色创新技术水平和实施绿色供应链管理<sup>[1-3]</sup>。目前, 绿色供应链管理的研究已经成为运作管理中一个新的热点课题<sup>[4-5]</sup>, 引起国内外许多学者的关注, 不少学者专注于利用博弈论的理论, 与知识研究绿色供应链的优化决策与协调机制。文献[6]利用博弈论方法研究了绿色供应链成员的决策行为, 建立了多目标决策模型, 并给出了求解过程的相应算法; 文献[7-8]利用委托代理理论研究了绿色供应链企业间合作创新机制和知识共享机制; 文献[9-11]采用多阶段博弈方法研究绿色供应链管理中政府与企业之间的博弈决策机制; 文献[12-15]通过建立 Stackelberg 博弈模型研究了绿色供应链的定价决策; 文献[16-17]利用演化博弈论研究了绿色供应链中核心企业与政府、供应商之间的演化稳定策略; 文献[18-23]利用 Nash 协商模型和契约设计研究了绿色供应链的协调机制; 文献[24-25]对不同市

场结构下绿色供应链的均衡策略和渠道效率进行了比较分析。

然而, 目前较少有学者在考虑不同主导模式和决策者风险厌恶的基础上, 探究绿色供应链的优化决策问题。为了完善该方面的绿色供应链理论, 本文假设零售商是风险厌恶者, 分析以制造商和零售商为主导企业的 2 类绿色供应链模式, 在不同主导模式下探讨零售商的风险厌恶程度对绿色供应链决策的影响, 并比较制造商主导模式和零售商主导模式下供应链成员的均衡策略与供应链系统的效益, 以期为实施绿色供应链管理的企业提供理论支持。

## 1 问题描述

考虑由一个制造商和一个风险厌恶型零售商构成的绿色供应链系统, 其中制造商生产某一种绿色产品供应给零售商, 零售商再将该绿色产品销售到需求市场。在市场中, 绿色产品的需求量不仅受产品的销售价格的影响, 而且还与消费者的绿色度认识水平相关; 由于消费者和零售商之间的信息不对称, 消费者并不能够准确地识别产品的真实绿色度, 具有不确定性, 从而引起需求的随机性。在随机需求的

收稿日期: 2016-10-25

基金项目: 国家自然科学基金(71261006, 71461009)和江西省自然科学基金(20151BAB207061)资助项目。

作者简介: 曾剑锋(1977-), 男, 江西南康人, 讲师, 博士, 主要从事运营与供应链管理、博弈论等方面的研究。E-mail: jf\_zeng@

163.com

情形下,同一市场中制造商和零售商存在 2 种供应链模式. 一种是制造商主导的供应链. 制造商因对市场的垄断势力而获得强大的渠道控制力,如 Adidas、海尔等大型制造企业;在该模式中,制造商先确定产品的绿色度水平和产品的批发价格;在观察到制造商的决策后,零售商决定产品的销售价格. 其结构如图 1 所示. 另一种是零售商主导的供应链. 随着零售业的整体规模迅速成长,一些大型强势的零售商在销售渠道上比制造商具有更强的市场影响力,如沃尔玛等大型超市;在该模式中,零售商先选择产品的销售价格;制造商在产品的销售价格给定后确定产品的批发价格和产品的绿色度水平(见图 2). 本文利用博弈论方法建立了制造商主导的 Stackelberg 博弈模型和零售商主导的 Stackelberg 博弈模型,研究零售商的风险厌恶程度对绿色供应链决策的影响,并比较不同主导模式下产品的绿色度水平、产品的批发价格、产品的销售价格以及供应链成员的效用和系统的效益,为企业管理者提供理论依据.

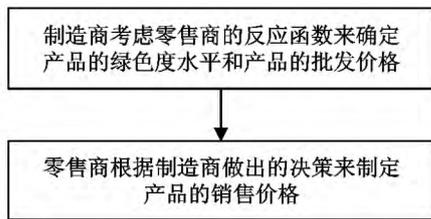


图 1 制造商主导的供应链模式

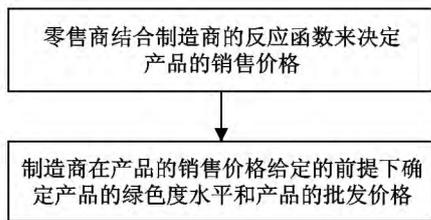


图 2 零售商主导的供应链模式

## 2 基本假设

在现实生活中,由于存在产品种类的多样性、行业的差异性以及成员之间利益关系的复杂性等现象,研究中所涉及的模型必然会非常复杂. 因此,为了便于问题阐述和分析,本文在不失合理性的前提下对复杂的现实情况进行一些简化,提出如下假设:

**假设 1** 绿色供应链是由单一制造商和单一零售商构成的,且供应链博弈参与者均以各自利益最大化为目标. 在绿色供应链中,制造商与零售商存在 2 种渠道权利模式,即制造商主导模式和零售商主

导模式. 在制造商主导的供应链中,制造商先通过市场分析来决定生产计划,确定产品的绿色度水平  $g_m (> 0)$  和产品的批发价格  $w$ ;零售商观察到制造商做出的决策后制定产品的销售价格  $p$ . 在零售商主导的供应链中,零售商先根据市场预测来制定产品的销售价格  $p$ ;在产品的销售价格确定后,制造商决定产品的绿色度水平  $g_m$  和产品的批发价格  $w$ .

**假设 2** 制造商与零售商之间关于产品的绿色度信息是对称的,而消费者与零售商之间关于产品的绿色度信息却是不对称的,即制造商、零售商均掌握了产品的实际绿色水平,而消费者并不了解产品的真实绿色度. 假设消费者的绿色度认识水平  $g_r = g_m + \varepsilon$ ,其中  $\varepsilon$  为外生的随机干扰因素,它服从均值为  $\mu$ ,方差为  $\sigma^2$  的某一种分布,其密度函数为  $f(\varepsilon)$ .  $\mu$  反映了消费者的平均绿色度认识水平与产品的真实绿色度水平之间的偏离程度(简称为绿色度偏离水平), $\sigma^2$  反映了消费者的绿色度认识水平的波动程度(简称为绿色度波动水平).

**假设 3** 产品的需求量  $Q$  受产品销售价格  $p$  和消费者绿色度认识水平  $g_r$  的影响,设市场需求函数为  $Q = a - bp + \lambda g_r$  ( $a > bp$ ,  $b > 0$ ,  $\lambda > 0$ ),其中  $a$  表示市场的潜在需求, $b$  表示市场需求的价格敏感系数, $\lambda$  表示消费者绿色度认识水平对需求的影响因子(简称为市场需求的绿色影响因子). 该需求函数反映了市场的需求量随着产品的销售价格增大而减小,随着消费者的绿色度认识水平增大而增大. 由于实际问题中消费者绿色度认识水平对产品需求量的影响程度低于产品销售价格对产品需求量的影响程度,因此,假设  $\lambda < b$ . 为了简化分析,假定绿色产品能够完全在市场中销售,即市场需求量就是产品的销售量,而不考虑缺货和未销售产品.

**假设 4** 制造商在产品的生产过程中需要承担一定的成本,为了简化模型,不考虑产品制造过程的差异性,假设产品的边际生产成本相同,均为  $c$ . 除生产成本外,制造商为了促进产品绿色度水平的提高,还需要支付一定的投资成本  $I$  (如研发成本、环保材料的选取成本和设计成本等),它与产品的绿色度水平  $g_m$  相关,且  $\partial I / \partial g_m > 0$ ,  $\partial^2 I / \partial g_m^2 > 0$ ;类似于文献 [26-27] 提出的研发成本与产品绿色度具有平方关系,假设  $I = \beta g_m^2$  ( $\beta > 0$ ),其中  $\beta$  为固定投资成本系数. 固定投资成本是产品绿色度水平的凸函数,这表明随着产品绿色度水平的提高,固定投资成本将急剧增大,即过分地追求高绿色度是不经济的.

假设5 零售商因更接近需求市场而要承担由需求的不确定性因素所带来的风险,从而对风险敏感.假设零售商是风险厌恶的,采用负指数函数形式来刻画其效用<sup>[28]</sup>.设零售商的效用函数  $U(\Pi_R) = -e^{-\rho\Pi_R}$ ,其中  $\rho$  为零售商的风险厌恶系数, $\rho = 0$  表示零售商是风险中性的, $\rho > 0$  表示零售商对风险持厌恶态度.随着  $\rho$  的增大,零售商越害怕风险.

本文中  $w^{MS}$ 、 $g_m^{MS}$  和  $p^{MS}$  分别表示制造商主导模式下绿色供应链的均衡策略; $w^{RS}$ 、 $g_m^{RS}$  和  $p^{RS}$  分别表示零售商主导模式下绿色供应链的均衡策略; $\Pi_j^i$  表示模式  $i$  中供应链成员  $j$  的利润,其中  $i$  取  $MS$ 、 $RS$ ,其分别表示制造商主导模式和零售商主导模式; $j$  取  $M$ 、 $R$ 、 $T$ ,其分别表示制造商、零售商和绿色供应链系统.如  $\Pi_M^{MS}$  表示制造商主导模式下制造商的利润; $\underline{g}_r$  和  $\bar{g}_r$  分别表示消费者的绿色度认识水平  $g_r$  取值的下限和上限.

基于上述假设,可以得到制造商的期望利润为

$$E(\Pi_M) = \int_{\underline{g}_r}^{\bar{g}_r} wQf(g_r) dg_r - \int_{\underline{g}_r}^{\bar{g}_r} cQf(g_r) dg_r - \beta g_m^2 = (w - c)[a - bp + \lambda(g_m + \mu)] - \beta g_m^2, \quad (1)$$

在第1个等式中第1项为产品的销售收益,第2项为产品的生产成本,第3项为固定投资成本.

零售商的期望利润为

$$E(\Pi_R) = \int_{\underline{g}_r}^{\bar{g}_r} pQf(g_r) dg_r - \int_{\underline{g}_r}^{\bar{g}_r} wQf(g_r) dg_r = (p - w)[a - bp + \lambda(g_m + \mu)], \quad (2)$$

在第1个等式中第1项为产品的销售收益,第2项为产品的购买成本.

零售商利润的方差为

$$\text{Var}(\Pi_R) = E[(\Pi_R - E(\Pi_R))^2] = \lambda^2(p - w)^2\sigma^2. \quad (3)$$

考虑零售商的风险厌恶特性,由确定性等价方法<sup>[29]</sup>(2)~(3)式得零售商期望效用的等价形式为

$$E(U(\Pi_R)) = E(\Pi_R) - \rho\text{Var}(\Pi_R)/2 = (p - w)[a - bp + \lambda(g_m + \mu)] - \rho\lambda^2\sigma^2(p - w)^2/2. \quad (4)$$

绿色供应链系统的期望效益为

$$E(\Pi_T) = E(\Pi_M + U(\Pi_R)) = (p - c)[a - bp + \lambda(g_m + \mu)] - \beta g_m^2 - \rho\lambda^2\sigma^2(p - w)^2/2. \quad (5)$$

### 3 不同主导模式下绿色供应链决策模型

#### 3.1 制造商主导的 Stackelberg 博弈均衡策略

在制造商主导的供应链中,制造商与零售商进

行2阶段动态博弈,博弈的决策过程为:第1阶段,制造商制定产品的绿色度水平和产品的批发价格;第2阶段,零售商决定产品的销售价格.下面建立绿色供应链的 Stackelberg 博弈模型,并利用逆向归纳法进行求解,即先求解第2阶段中零售商的均衡策略,再计算第1阶段中制造商的均衡策略.

首先,分析零售商的决策行为.由(4)式得

$$\partial E(U(\Pi_R))/\partial p = -(2b + \rho\lambda^2\sigma^2)p + (b + \rho\lambda^2\sigma^2)w + \lambda g_m + a + \lambda\mu, \quad (6)$$

$$\partial^2 E(U(\Pi_R))/\partial p^2 = -(2b + \rho\lambda^2\sigma^2) < 0. \quad (7)$$

由(7)式知,零售商的期望效用存在最大值.由(6)式和  $\partial E(U(\Pi_R))/\partial p = 0$  得产品的销售价格为

$$p = \frac{(b + \rho\lambda^2\sigma^2)w + \lambda g_m + a + \lambda\mu}{2b + \rho\lambda^2\sigma^2}. \quad (8)$$

然后,分析制造商的决策行为.由(1)式和(8)式得

$$\partial E(\Pi_M)/\partial w = -2bHw + \lambda Hg_m + (a + \lambda\mu + bc)H, \quad (9)$$

$$\partial E(\Pi_M)/\partial g_m = \lambda Hw - 2\beta g_m - \lambda cH, \quad (10)$$

其中  $H = (b + \rho\lambda^2\sigma^2)/(2b + \rho\lambda^2\sigma^2)$ .

由(9)式和(10)式知, $\partial^2 E(\Pi_M)/\partial w^2 = -2bH < 0$ , $\partial^2 E(\Pi_M)/\partial g_m^2 = -2\beta < 0$ , $\partial^2 E(\Pi_M)/(\partial w\partial g_m) = \lambda H$ .因此,当  $\beta > \lambda^2 H/(4b)$  时,制造商的期望利润存在最大值.在实际问题中制造商为提高产品的绿色度水平往往要投入大量的成本,即固定投资成本系数  $\beta$  往往足够大.为表述简洁,后续内容不再对参数  $\beta$  进行讨论,总是假设  $\beta$  的取值能够保证均衡解存在.

由(9)式,(10)式以及1阶条件  $\partial E(\Pi_M)/\partial w = 0$ , $\partial E(\Pi_M)/\partial g_m = 0$  得产品的批发价格和产品的绿色度水平分别为

$$w^{MS*} = \frac{2\beta K}{4b\beta - \lambda^2 H} + c, \quad g_m^{MS*} = \frac{\lambda HK}{4b\beta - \lambda^2 H}, \quad (11)$$

其中  $K = a + \lambda\mu - bc$ .

最后,逆向求解零售商的最优决策.将(11)式代入(8)式得产品的销售价格为

$$p^{MS*} = \frac{2\beta K(2 - H)}{4b\beta - \lambda^2 H} + c. \quad (12)$$

进一步地,将(11)式和(12)式代入(1)式,(4)式和(5)式得制造商的期望利润、零售商的期望效用和绿色供应链系统的期望效益分别为

$$E(\Pi_M^{MS*}) = \frac{\beta HK^2}{4b\beta - \lambda^2 H}, \quad (13)$$

$$E(U(\Pi_R^{MS*})) = \frac{2b\beta^2 K^2(1 - H)}{(4b\beta - \lambda^2 H)^2}, \quad (14)$$

$$E(\Pi_T^{MS*}) = \frac{\beta K^2 [2b\beta(1+H) - \lambda^2 H^2]}{(4b\beta - \lambda^2 H)^2}. \quad (15)$$

### 3.2 零售商主导的 Stackelberg 博弈均衡策略

在零售商主导的供应链中,类似于文献[30]所提出的方法:产品的销售价格由产品的批发价格和批发价格基础上产品的单位增加价格组成,本文假设产品的单位加价为  $s = p - w$ . 虽然此情形中零售商的决策变量为产品的单位加价  $s$ ,然而,为了比较 2 种主导模式的均衡策略,后续内容仍然将产品的销售价格  $p$  看作为零售商的最终决策变量,即  $p = w + s$  为零售商的决策.

零售商和制造商之间 2 阶段动态博弈的运作顺序为:先由零售商进行决策,确定产品的销售价格;再由制造商进行决策,制定产品的绿色度水平和产品的批发价格.下面利用逆向归纳法对绿色供应链的均衡策略进行求解.

首先,分析第 2 阶段中制造商的决策行为.由 (1) 式得

$$\partial E(\Pi_M) / \partial w = -2bw + \lambda g_m + a + \lambda \mu - bs, \quad (16)$$

$$\partial E(\Pi_M) / \partial g_m = -2\beta g_m + \lambda w - \lambda c. \quad (17)$$

由 (16) 式 (17) 式以及 1 阶条件  $\partial E(\Pi_M) / \partial w = 0$   $\partial E(\Pi_M) / \partial g_m = 0$  得产品的批发价格和产品的绿色度水平分别为

$$w = \frac{2\beta(K - bs)}{4b\beta - \lambda^2} + c, \quad g_m = \frac{\lambda(K - bs)}{4b\beta - \lambda^2}. \quad (18)$$

然后,分析第 1 阶段中零售商的决策行为.由  $s = p - w$  (4) 式和 (18) 式得

$$\partial E(U(\Pi_R)) / \partial s = -(4b^2\beta / (4b\beta - \lambda^2) + \rho\lambda^2\sigma^2)s + 2b\beta K / (4b\beta - \lambda^2), \quad (19)$$

$$\frac{\partial^2 E(U(\Pi_R))}{\partial s^2} = -\left(\frac{4b^2\beta}{4b\beta - \lambda^2} + \rho\lambda^2\sigma^2\right) < 0. \quad (20)$$

由 (20) 式知,零售商的期望效用存在最大值.由 (19) 式和  $\partial E(U(\Pi_R)) / \partial s = 0$  得产品的加价为

$$s^{RS*} = 2b\beta K / N, \quad (21)$$

其中  $N = 4b^2\beta + \rho\lambda^2\sigma^2(4b\beta - \lambda^2)$ .

最后,逆向求解制造商的最优决策.将 (21) 式代入 (18) 式得产品的批发价格和产品的绿色度水平分别为

$$w^{RS*} = \frac{2\beta K(N - 2b^2\beta)}{(4b\beta - \lambda^2)N} + c, \quad g_m^{RS*} = \frac{\lambda K(N - 2b^2\beta)}{(4b\beta - \lambda^2)N}, \quad (22)$$

由 (21) 式 (22) 式及  $p = w + s$  得产品的销售价格为

$$p^{RS*} = \frac{2\beta K(N + 2b^2\beta - \lambda^2 b)}{(4b\beta - \lambda^2)N} + c. \quad (23)$$

进一步地,将 (22) 式和 (23) 式代入 (1) 式、(4)

式和 (5) 式得制造商的期望利润、零售商的期望效用和绿色供应链系统的期望效益分别为

$$E(\Pi_M^{RS*}) = \frac{\beta K^2 (N - 2b^2\beta)^2}{(4b\beta - \lambda^2)N^2}, \quad (24)$$

$$E(U(\Pi_R^{RS*})) = \frac{2b^2\beta^2 K^2}{(4b\beta - \lambda^2)N}, \quad (25)$$

$$E(\Pi_T^{RS*}) = \frac{\beta K^2 [N(N - 2b^2\beta) + 4b^4\beta^2]}{(4b\beta - \lambda^2)N^2}. \quad (26)$$

由于  $\partial H / \partial \rho = b\lambda^2\sigma^2 / (2b + \rho\lambda^2\sigma^2)^2 > 0$  以及  $\partial g_m^{MS*} / \partial H > 0$ ,  $\partial w^{MS*} / \partial H > 0$ ,  $\partial p^{MS*} / \partial H < 0$ ,  $\partial E(\Pi_M^{MS*}) / \partial H > 0$ ,  $\partial E(U(\Pi_R^{MS*})) / \partial H < 0$ ,  $\partial E(\Pi_T^{MS*}) / \partial H > 0$ , 这里为了突出主题和限于篇幅的需要,对计算过程进行了省略.所以,由 (11) 式 ~ (15) 式得

$$\begin{aligned} \partial g_m^{MS*} / \partial \rho > 0, \quad \partial w^{MS*} / \partial \rho > 0, \quad \partial p^{MS*} / \partial \rho < 0, \\ \partial E(\Pi_M^{MS*}) / \partial \rho > 0, \quad \partial E(U(\Pi_R^{MS*})) / \partial \rho < 0, \\ \partial E(\Pi_T^{MS*}) / \partial \rho > 0. \end{aligned} \quad (27)$$

同理,由  $\partial N / \partial \rho = \lambda^2\sigma^2(4b\beta - \lambda^2) > 0$  以及 (22) 式 ~ (26) 式得,

$$\begin{aligned} \partial g_m^{RS*} / \partial \rho > 0, \quad \partial w^{RS*} / \partial \rho > 0, \quad \partial p^{RS*} / \partial \rho < 0, \\ \partial E(\Pi_M^{RS*}) / \partial \rho > 0, \quad \partial E(U(\Pi_R^{RS*})) / \partial \rho < 0, \\ \partial E(\Pi_T^{RS*}) / \partial \rho > 0. \end{aligned} \quad (28)$$

因此,由 (27) 式和 (28) 式得到如下一些结论.

**结论 1** 在制造商主导的供应链模式或零售商主导的供应链模式中,随着风险厌恶系数的增大,产品的绿色度水平和产品的批发价格均呈上升的变化趋势,而产品的销售价格却呈下降的变化趋势.这表明,在制造商与零售商构成的 2 级绿色供应链中,无论谁处于主导地位,零售商的风险厌恶程度越高,零售商更倾向于降低产品的销售价格以吸引消费者购买更多的产品,减弱因市场需求的不确定性所带来的风险,而为了抵抗风险和扩大市场的需求量,制造商将提升产品的绿色度水平,这使得固定投资成本相应地增加,从而制造商只能提高产品的批发价格以赚取更多的收益.

**结论 2** 在制造商主导的供应链模式或零售商主导的供应链模式中,随着风险厌恶系数的增大,制造商的利润呈增大的变化趋势,而零售商的效用却呈减小的变化趋势.这表明,在绿色供应链中,不论制造商处于强势地位,还是零售商处于强势地位,当零售商越害怕风险,其效用由于销售价格降低所带来的损失不足以弥补销售量提高所带来的收益而出现下降的现象,但风险中性的制造商却通过提高产品的销售量和产品的批发价格获得更多的利润,即

当面对需求不确定所带来的风险时,风险厌恶型零售商如果不能转移风险而仅是采取保守的决策行为只会使自身的利益受损,而制造商并不会受零售商决策行为的保守程度增大的影响让自己的利润下降,反而使自身的收益增大.

**结论 3** 在制造商主导的供应链模式或零售商主导的供应链模式中,绿色供应链系统的效益随着风险厌恶系数增大而增大.这表明,在供应链系统中,零售商的风险厌恶程度越高,产品的销售价格越低,产品的绿色度水平越高,这有利于吸引更多的消费者购买产品,因市场需求量扩大所带来的收益高于销售价格下降或绿色投资成本增加所造成的损失.绿色供应链系统的效益得到提高,即零售商的风险厌恶特性对提升绿色供应链整体绩效起到一定的促进作用.然而,由于风险厌恶性对零售商是不利的,供应链总收益因风险而增大的程度是有限的.

### 3.3 两种主导模式的均衡策略比较分析

将不同主导模式下的优化决策结果列于表 1 中.

表 1 两种主导模式的绿色供应链均衡策略

最优决策与期望效益	制造商主导的供应链模式( MS)	零售商主导的供应链模式( RS)
$g_m^*$	$\frac{\lambda HK}{4b\beta - \lambda^2 H}$	$\frac{\lambda K(N - 2b^2\beta)}{(4b\beta - \lambda^2)N}$
$w^*$	$\frac{2\beta K}{4b\beta - \lambda^2 H} + c$	$\frac{2\beta K(N - 2b^2\beta)}{(4b\beta - \lambda^2)N} + c$
$p^*$	$\frac{2\beta K(2 - H)}{4b\beta - \lambda^2 H} + c$	$\frac{2\beta K(N + 2b^2\beta - \lambda^2 b)}{(4b\beta - \lambda^2)N} + c$
$E(\Pi_M^*)$	$\frac{\beta HK^2}{4b\beta - \lambda^2 H}$	$\frac{\beta K^2(N - 2b^2\beta)^2}{(4b\beta - \lambda^2)N^2}$
$E(U(\Pi_R^*))$	$\frac{2b\beta^2 K^2(1 - H)}{(4b\beta - \lambda^2 H)^2}$	$\frac{2b^2\beta^2 K^2}{(4b\beta - \lambda^2)N}$
$E(\Pi_T^*)$	$\frac{\beta K^2[2b\beta(1 + H) - \lambda^2 H^2]}{(4b\beta - \lambda^2 H)^2}$	$\frac{\beta K^2[N(N - 2b^2\beta) + 4b^4\beta^2]}{(4b\beta - \lambda^2)N^2}$

**命题 1** 产品的绿色度水平满足  $g_m^{MS*} < g_m^{RS*}$ , 即制造商主导的供应链模式下产品的绿色度水平低于零售商主导的供应链模式下产品的绿色度水平.

证  $g_m^{MS*} - g_m^{RS*} = -2b\beta\lambda K[4b^2\beta + 2(1 - H)N + b\lambda^2 H] / [(4b\beta - \lambda^2 H)(4b\beta - \lambda^2)N] < 0$ .

命题 1 表明,在绿色供应链中,制造商承担了绿色产品的固定投资成本,这削弱了制造商提升产品绿色度水平的积极性.因此,当制造商在供应链中处于主导地位时,制造商为降低自身成本会采取较低的产品绿色度水平策略;而当零售商在渠道中具有较强的控制力时,零售商更为关注的是高绿色度产品的推出以吸引消费者购买更多的产品,而很少考

虑绿色产品的固定投资成本问题.因此,为了维护与零售商的合作关系,处于从属地位的制造商只有选择较高的产品绿色度水平策略.这意味着零售商主导的供应链模式更有利于推进产品的绿色创新.

**命题 2** 产品的批发价格满足  $w^{MS*} > w^{RS*}$ , 即制造商主导的供应链模式下产品的批发价格高于零售商主导的供应链模式下产品的批发价格.

证  $w^{MS*} - w^{RS*} = 2b\beta K[2b^2\beta(4b\beta - 3\lambda^2 H) + \rho\lambda^6\sigma^2(1 - H)] / [(4b\beta - \lambda^2 H)(4b\beta - \lambda^2)N] > 0$ .

命题 2 表明,在制造商与零售商构成的 2 级绿色供应链中,当制造商处于强势地位时,制造商具有较强的议价能力,而当零售商处于主导地位时,制造商的议价能力被相对削弱.这反映了在 Stackelberg 博弈中决策者的先动优势.

**命题 3** 产品的销售价格满足  $p^{MS*} > p^{RS*}$ , 即制造商主导的供应链模式下产品的销售价格高于零售商主导的供应链模式下产品的销售价格.

证  $p^{MS*} - p^{RS*} = 2\lambda^2\beta K(2b\beta - \lambda^2)[2\rho\sigma^2 \cdot (2b\beta - \lambda^2)(1 - H) + bH] / [(4b\beta - \lambda^2 H)(4b\beta - \lambda^2)N] > 0$ .

命题 3 表明,在制造商主导的供应链模式中,制造商制定较高的产品批发价格,这大大压缩了零售商的边际收益空间,从而零售商只有采取较高产品的销售价格来提高自身的边际效用,而在零售商主导的供应链模式中,制造商处于从属地位,其制定的产品批发价格相对较低,这使得零售商更易于保证一定的边际收益,从而零售商能够在销售渠道中采取低价策略来获取更多的需求.

**命题 4** 制造商的期望利润满足  $E(\Pi_M^{MS*}) > E(\Pi_M^{RS*})$ , 零售商的期望效用满足  $E(U(\Pi_R^{MS*})) < E(U(\Pi_R^{RS*}))$ , 即制造商主导的供应链模式下制造商的期望利润高于零售商主导的供应链模式下制造商的期望利润,而制造商主导的供应链模式下零售商的期望效用低于零售商主导的供应链模式下零售商的期望效用.

证  $E(\Pi_M^{MS*}) - E(\Pi_M^{RS*}) = 4b^2\beta^2 K^2 W(1 - H) / [(4b\beta - \lambda^2 H)(4b\beta - \lambda^2)N^2] > 0$ ,

$E(U(\Pi_R^{MS*})) - E(U(\Pi_R^{RS*})) = -2b^2\beta^2 K^2(1 - H)[(4b\beta - \lambda^2)^2 + \lambda^2(4b\beta - \lambda^2 H)] / [(4b\beta - \lambda^2 H)^2(4b\beta - \lambda^2)N] < 0$ ,

其中  $W = 4b^2\beta(2b\beta - \lambda^2) + \rho\lambda^2\sigma^2(3b\beta - \lambda^2)(4b\beta - \lambda^2) + b^2\beta\lambda^2$ .

命题 4 表明,在绿色供应链中,对于同一企业(如制造商或零售商),主导者相对于跟随者能够获得更多的收益,即制造商主导的供应链模式对制造商最有利,零售商主导的供应链模式对零售商最有利。这是因为处于强势地位的博弈参与者拥有先行决策的优势,从而使得供应链其他成员采取对主导者的收益最有利的决策行为。这在一定程度上体现了主导者(leader)相对于跟随者(follower)的决策优势。

由命题 1 ~ 命题 4,以及结合文献 [25] 研究的结论可知,无论零售商是风险中性还是风险厌恶,在供应链成员的决策及其利润上 2 种主导模式之间的大小关系是一致的。然而,更令人关注的是,在供应链系统的总收益上,零售商风险态度的不同是否会改变 2 种主导模式之间的大小关系?下面对此给出肯定的回答。

为了便于叙述,引入如下记号:

$$V = (4b\beta - \lambda^2)(2b + \rho\lambda^2\sigma^2) + 2\lambda^2(2H - 1),$$

$$X = V + b\lambda^2(16b\beta - \lambda^2)(1 - H)/(4b\beta - \lambda^2),$$

$$Y = [32b^2\beta^2 + 2\lambda^4 + (16b\beta - \lambda^2)\lambda^2(1 - H)]/(4b\beta - \lambda^2)^2,$$

$$L(\rho) = b(2H - 1)X + 2b^3\beta(1 - H)Y - \rho b\sigma^2\lambda^2.$$

且称  $\rho^* = L^{-1}(2b^3\beta)$  为风险厌恶系数的临界水平,其中  $L^{-1}(\cdot)$  为  $L$  的反函数。

命题 5 绿色供应链系统的期望效益满足:当  $\rho = \rho^*$  时  $E(\Pi_T^{MS*}) = E(\Pi_T^{RS*})$ ; 当  $\rho < \rho^*$  时,  $E(\Pi_T^{MS*}) < E(\Pi_T^{RS*})$ ; 当  $\rho > \rho^*$  时  $E(\Pi_T^{MS*}) > E(\Pi_T^{RS*})$ , 即当零售商的风险厌恶程度达到临界水平  $\rho^*$  时 2 种主导模式下绿色供应链系统的期望效益无差异,当零售商的风险厌恶程度低于临界水平  $\rho^*$  时,制造商主导的供应链模式下绿色供应链系统的期望效益小于零售商主导的供应链模式下绿色供应链系统的期望效益,而当零售商的风险厌恶程度高于临界水平  $\rho^*$  时,制造商主导的供应链模式下绿色供应链系统的期望效益大于零售商主导的供应链模式下绿色供应链系统的期望效益。这意味着从供应链系统的总收益视角,零售商的风险厌恶态度改变了供应链主导模式的优劣性。

证  $E(\Pi_T^{MS*}) - E(\Pi_T^{RS*}) = 2b\beta^2K^2(4b\beta - \lambda^2)[2b^3\beta - L(\rho)]/[(4b\beta - \lambda^2H)^2N^2]$ , 从而当  $L(\rho) = 2b^3\beta$  时,即  $\rho = \rho^*$ ,  $E(\Pi_T^{MS*}) = E(\Pi_T^{RS*})$ 。

又由于  $\partial L(\rho)/\partial\rho < 0$ , 所以,当  $\rho < \rho^*$  时,  $E(\Pi_T^{MS*}) < E(\Pi_T^{RS*})$ ; 当  $\rho > \rho^*$  时,  $E(\Pi_T^{MS*}) >$

$E(\Pi_T^{RS*})$ 。

命题 5 表明,从供应链总效率的角度来看,当零售商的风险厌恶程度较高时,制造商主导的供应链模式是相对更好的零售商与制造商之间纵向合作方式,而当零售商的风险厌恶程度较低时,尤其是零售商为风险中性者,零售商主导的供应链比制造商主导的供应链具有更强的渠道竞争力。因此,从社会资源的最优配置视角来看,受市场需求不确定性因素的影响,中小零售企业在发展过程中会遇到风险,而自身抵抗风险能力相对较弱,害怕风险的程度较高,此时,零售商参与制造商主导的供应链模式是其更好的选择;随着零售企业规模的扩大和转移风险能力的提高,零售商对风险的厌恶程度会降低,从而情形将发生变化,零售商更倾向于采取自身主导的供应链模式,且不会对整个供应链产生不利的影响。

## 4 结束语

本文主要针对一个风险中性制造商和一个风险厌恶零售商构成的绿色供应链系统进行研究,着重分析在不同主导模式下零售商的风险厌恶性对制造商与零售商的决策、供应链成员及系统的收益的影响,并比较分析风险厌恶情形下不同主导模式的供应链均衡策略。研究结果表明:

1) 零售商的风险厌恶性促使其通过降低产品销售价格的方式扩大绿色产品销售量以降低风险,并刺激制造商提高产品的绿色度水平和产品的批发价格来降低市场需求不确定的影响,这 2 种方式提高制造商的利润和供应链系统的效益,而降低零售商的效用。

2) 从消费者视角,在零售商为风险厌恶的情形下,零售商主导的供应链模式优于制造商主导的供应链模式,这是因为在零售商主导的供应链模式中,制造商将更高绿色度水平的产品以更低的价格批发给零售商,从而消费者能够以更低的价格购买更为环保的绿色产品。

3) 从供应链成员视角,在零售商为风险厌恶的情形下,制造商主导的供应链模式对制造商更有利,零售商主导的供应链模式对零售商更有利。

4) 从社会资源配置视角,当零售商的风险厌恶程度较低时,尤其是零售商为风险中性者,零售商主导的供应链模式优于制造商主导的供应链模式;当零售商的风险厌恶程度较高时,情形恰好相反,制造

商主导的供应链模式对供应链整体绩效更为有利。

本文仅假设零售商为风险厌恶者,作为进一步研究可以考虑制造商为风险厌恶的情形。另外,基于风险厌恶的不同主导模式下绿色供应链的协调机制研究也是值得探讨的问题,这将在今后的研究工作中完善。

## 5 参考文献

- [1] Sarkis J. Greening the supply chain [M]. Berlin: Springer 2006.
- [2] Vachon S, Klassen R D. Environmental management and manufacturing performance: the role of collaboration in the supply chain [J]. International Journal of Production Economics 2008, 111(2): 299-315.
- [3] Delmas M, Montiel I. Greening the supply chain: when is customer pressure effective? [J]. Journal of Economics and Management Strategy 2009, 18(1): 171-201.
- [4] 王能民, 汪应洛, 杨彤. 绿色供应链管理的研究进展及趋势 [J]. 管理工程学报 2007, 21(2): 118-122.
- [5] Bose I, Pal R. Do green supply chain management initiatives impact stock prices of firms? [J]. Decision Support Systems 2012, 52(3): 624-634.
- [6] Nagurney A, Toyasaki F. Supply chain super networks and environmental criteria [J]. Transportation Research Part D 2003, 39(8): 185-213.
- [7] 张德海. 绿色供应链的多代理人合作创新机制研究 [J]. 科技管理研究 2010, 30(5): 106-108.
- [8] 王怡, 罗杰, 孙裔德, 等. 绿色供应链企业间知识共享战略联盟动态博弈研究: 帕累托有效协同视角 [J]. 工业技术经济 2013, 3(3): 61-66.
- [9] 徐伟, 郑燕飞. 绿色供应链管理中有举报行为的政企博弈分析 [J]. 中国管理科学 2008, 16(12): 450-454.
- [10] 朱庆华, 龚一杰. 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, 14(6): 86-95.
- [11] 金常飞. 政府监管策略与供应链生产商绿色行为博弈研究 [J]. 世界科技研究与发展, 2011, 33(5): 920-922.
- [12] Li Zugang, Anderso T D, Cruz J M. Consumer environmental awareness and competition in two-stage supply chains [J]. European Journal of Operational Research 2012, 218(3): 602-613.
- [13] 王玉燕, 申亮. 潜在绿色产品制造商进入市场的生产策略研究 [J]. 运筹与管理 2012, 21(5): 242-246.
- [14] 曹海英, 温孝卿. 零售商主导型绿色供应链企业间的合作博弈分析 [J]. 统计与决策 2012(7): 186-188.
- [15] 邱国斌. 基于损失厌恶的绿色供应链博弈研究 [J]. 当代经济管理 2013, 35(12): 18-23.
- [16] Zhu Qinghua, Dou Yijie. Evolutionary game model between governments and core enterprises in green supply chains [J]. Systems Engineering Theory and Practice 2007, 27(12): 85-89.
- [17] 王世磊, 严广乐. 绿色供应链中供应商与核心企业的演化博弈模型分析 [J]. 科技与管理 2009, 11(3): 59-62.
- [18] Swami S, Shah J. Channel coordination in green supply chain management: The case of package size and shelf-space allocation [J]. Technology and Operations Management 2011, 2(1): 50-59.
- [19] 曹柬, 吴晓波, 周根贵. 基于产品效用异质性的绿色供应链协调策略 [J]. 计算机集成制造系统 2011, 17(6): 1279-1287.
- [20] Barari S, Agarwal G, Zhang W J, et al. A decision framework for the analysis of green supply chain contracts: an evolutionary game approach [J]. Expert Systems with Applications 2012, 39(3): 2965-2976.
- [21] 桑圣举. 绿色供应链的收益共享契约机制研究 [J]. 北京邮电大学学报: 社会科学版 2013, 15(2): 95-100.
- [22] Zhang Chengtang, Liu Liping. Research on coordination mechanism in three-level green supply chain under non-cooperative game [J]. Applied Mathematical Modeling, 2013, 37(5): 3369-3379.
- [23] Swami S, Shah J. Channel coordination in green supply chain management [J]. Journal of the Operational Research Society 2013, 64(3): 336-351.
- [24] 李瑞海, 张涛. 减量化生产模式下绿色供应链效率比较 [J]. 系统管理学报 2009, 18(4): 432-435.
- [25] Ghosh D, Shah J. A comparative analysis of greening policies across supply chain structures [J]. International Journal of Production Economics 2012, 135(2): 568-583.
- [26] Banker R D, Khosla I, Sinha K K. Quality and competition [J]. Management Science 1998, 44(9): 1179-1192.
- [27] 曹柬, 吴晓波, 周根贵. 不对称信息下绿色采购激励机制设计 [J]. 系统工程理论与实践 2013, 33(1): 106-116.
- [28] Xiao Tiaojun, Yang Danqin. Price and service competition of supply chains with risk-averse retailers under demand uncertainty [J]. International Journal of Production Economics 2008, 114(1): 187-200.
- [29] 林志炳, 蔡晨, 许保光. 风险厌恶下的供应链定价策略分析 [J]. 运筹与管理 2008, 17(4): 29-33, 38.
- [30] Choi S C. Price competition in a channel structure with a common retailer [J]. Marketing Science, 1991, 10(4): 271-279.

## The Effect of Dominant Mode and Risk Aversion on Green Supply Chain Decision

ZENG Jianfeng<sup>1</sup>, LIU Jian<sup>2</sup>

(1. Journal of Periodical Office, Jiangxi Normal University, Nanchang Jiangxi 330022, China;

2. School of Information Management, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang Jiangxi 330032, China)

**Abstract:** The green supply chain with one manufacturer and one risk-averse retailer is studied by the lead-follow game and the Stackelberg game model is established. By the mathematical methods, the effects of retailer's risk aversion and dominant mode on decision-making policies of green supply chain are analyzed. The results show that with the increasing of risk aversion, the manufacturer tends to advance green degree level and wholesale price of the product, but the retailer tends to reduce sale price of the green product. Simultaneously, the profits of the manufacturer and the benefit of the supply chain system both are increase, while the utility of the retailer decrease; the retailer-dominated supply chain is better for the consumers, the retailer and the supply chain with low-risk-averse retailer than the manufacturer-dominated supply chain, on the contrary, the manufacturer-dominated supply chain is better for the manufacturer and the supply chain with high-risk-averse retailer than the retailer-dominated supply chain.

**Key words:** green supply chain; risk aversion; dominant mode; Stackelberg game

(责任编辑: 王金莲)

(上接第 174 页)

## The Empirical Research on Relationship between Industrial Restructuring and Ammonia Nitrogen Emissions Efficiency Based on DEA Model

—A Case of Poyang Lake Eco-Economic Zone

LIAO Guixuan<sup>1</sup>, YUAN Juhong<sup>2</sup>, HU Mianhao<sup>3\*</sup>, LU Fucui<sup>3</sup>

(1. School of Tourism and Urban Management, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang Jiangxi 330032, China;

2. Institute of Environment and Plant Science, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang Jiangxi 330032, China;

3. Institute of Poyang Lake Eco-economics, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang Jiangxi 330032, China)

**Abstract:** The harmonious development of economy and environment has become an important problem that cannot be ignored in the regional development. As one of the national regional development strategy, Poyang Lake eco-economic zone is crucial to the coordinated development of ecology and economy. The efficiency and variation of ammonia nitrogen emissions of 36 counties (cities/districts) in the Poyang Lake eco-economic zone from 2009 to 2013 were carried out with data envelopment analysis (DEA) method. The results showed that there were obvious differences for the ammonia nitrogen emissions efficiency among the counties (cities/districts), hereinto, the ammonia nitrogen emissions efficiency in the eight counties (cities/districts) (e. g. Donghu, Xihu, Qingyunpu, and Yushui, etc.) was higher, and was medium or low in other counties (cities/districts). Except for Nanchang, Yujiang, Gaoan and Wannian, the comprehensive efficiency of ammonia nitrogen emissions increased or unchanged in other counties (cities/districts) based on Malmquist productivity index. The 36 counties (cities/districts) in the Poyang Lake eco-economic zone were divided into 8 categories according to dominant industry and ammonia nitrogen emissions efficiency, such as high efficiency of ammonia nitrogen emissions in the dominant regions of secondary industry, medium efficiency of ammonia nitrogen emissions in the dominant regions of secondary industry, and low efficiency of ammonia nitrogen emissions in the dominant regions of secondary industry, and so on. In addition, the related suggestions of industrial structure adjustment were put forward.

**Key words:** ammonia nitrogen emissions efficiency; industrial structure adjustment; data envelopment analysis; Poyang Lake eco-economic zone

(责任编辑: 刘显亮)