

考虑政府补贴下具有公平偏好的绿色供应链博弈模型及契约协调研究

张红¹ 黄嘉敏¹ 崔琰琰²

¹(华南理工大学工商管理学院, 广州 510640)²(中国工商银行, 广州 510000)

〔摘要〕 以一个制造商、一个零售商和政府组成三级绿色供应链为背景, 本文建立了考虑供应链参与者具有公平偏好、产品绿色度和政府补贴的4种绿色供应链博弈模型: 制造商具有公平偏好的 Stackelberg 博弈模型、零售商具有公平偏好的 Stackelberg 博弈模型、制造商与零售商均为公平中性的 Stackelberg 博弈模型和集中决策模型, 并对4种博弈模型中各个参数进行比较。研究表明: 在只有零售商具有公平偏好的情形中, 政府补贴能减弱零售商公平偏好特性对供应链的消极作用, 使产品绿色度和社会福利提高到与制造商和零售商均为公平中性的情形相等; 而在只有制造商具有公平偏好的情形中, 产品绿色度、社会福利等参数仍受公平偏好特性影响。最后, 在只有制造商具有公平偏好的 Stackelberg 博弈模型基础上进一步建立了成本共担的收益共享契约下的博弈模型并进行数值仿真。

〔关键词〕 公平偏好 政府补贴 绿色度 成本共担型收益共享契约 绿色供应链 公平偏好

DOI: 10.3969/j.issn.1004-910X.2018.01.014

〔中图分类号〕 F272; F224.32 〔文献标识码〕 A

引言

随着全球经济高速发展, 环境恶化与资源匮乏问题日益严重。国际环保大趋势与消费者消费观念的转变促使传统供应链向绿色供应链发展, 要求在设计、采购、生产、分销、使用及再使用等环节均遵循环境友好的原则^[1]。世界部分国家和地区积极响应环保号召, 采取措施大力推动绿色供应链的发展。例如, 欧盟一直是全球环保的先锋, 2005年8月欧盟用能产品(EuP)生态设计框架指令正式实施, 该指令要求在产品的设计阶段需把产品的环保要求纳入考虑范围^[2]。“十三五”期间, 国务院印发的《中国制造2025》提出, 要全面推行绿色制造, 强化产品全生命周期绿色管理, 努力构建高效、清洁、低碳、循环的绿色制造体系。在这个背景下, 企业不得不对传统供应链进行绿色化改造。1992年, 惠普公司实行“为环保而设计项目(DfE)”, 该项目通过提高能源使用效率、减少材料使用量和开发使用寿

命长的材料等手段, 优化产品、流程及设备的环保特性^[3]。2013年4月, 华为的3款智能交换机成功通过德国莱茵TUV绿色产品认证, 此系列产品满足环保、回收、节能及社会责任等多方面的要求, 华为成为信息通讯(ICT)行业全球首个获颁该绿色产品标识的企业^[4]。但是, 对于我国许多中小型生产商来说, 由于缺少资金及技术, 实行绿色供应链管理有诸多阻力, 因此中国政府需要推出一系列补贴政策推进企业进行“绿色制造”。例如, 2013年, 黑龙江省人民政府制定的《黑龙江省绿色食品产业发展纲要》正式实施, 省内食品企业最高补贴达1000万。2017年, 东莞市初步设立了“绿色工厂”认定标准, 根据企业的实际规模和能效情况, 获得认定的企业可以获50~200万元的资金补贴。在此背景下, 政府如何制定财政补贴政策及供应链上下游企业如何应对政府补贴政策作出相应的决策, 以提高整个绿色供应链的绩效, 成为政府与绿色供应链参与

收稿日期: 2017-07-25

作者简介: 张红, 华南理工大学工商管理学院教授, 硕士生导师。研究方向: 物流与供应链管理。黄嘉敏, 华南理工大学工商管理学院硕士研究生。研究方向: 物流与供应链管理。崔琰琰, 中国工商银行职员。研究方向: 物流与供应链管理。

者所面临的现实问题。因此,探究政府与绿色产品制造商、零售商三者绿色供应链管理中的博弈行为具有重要的现实意义。

随着绿色供应链越来越受到人们关注,国内外学者对绿色供应链管理进行了较为深入的研究。Andic^[5]对绿色供应链的定义为最大化消除影响环境的负面效果的供应链。综合几个学者的研究成果,绿色供应链管理应包括:逆向物流^[6]、绿色设计^[7-9]、绿色采购^[10,11]、绿色制造^[12]、绿色包装^[13]、绿色物流^[14]和供应商与消费者之间的合作^[15]等层面及实践,这些研究从实证研究和博弈研究角度进行分析。江世英等^[16]考虑了产品绿色度,建立4种绿色供应链博弈模型,并用收益共享契约协调。彭涵卿等^[17]在绿色供应链背景下,分别构建以供应商为主导和以零售商为主导的收益共享契约协调模型。Xi等^[18]考虑了绿色产品的市场需求同时由产品绿色度与产品零售价格决定,讨论了绿色产品的投资策略的问题。Ghosh^[19]等考虑由1个制造商与1个零售商组成的二级供应链,绿色产品的市场需求同时由产品零售价格和绿色创新度决定,并运用两部制契约对供应链进行协调。

由于中小企业往往缺少实施有效的绿色供应链管理所需的大量资金及技术,因此需要政府推出一系列财政补贴支持。目前,国内外已有学者对绿色供应链中政府补贴与供应链参与者决策之间的博弈问题进行了广泛的研究。朱庆华等^[20]考虑了政府补贴、产品绿色度、两个竞争企业不同的绿色供应链管理因素,建立政府与生产商之间的博弈模型进行定量分析。田一辉等^[21]研究了在政府补贴背景下两个采取不同战略的竞争企业的绿色供应链管理的扩散过程。Sheu等^[22]基于三阶段博弈模型,研究了政府补贴对绿色供应链利润的影响。Mitra等^[23]建立了由1个生产商和1个再制造商组成的二阶博弈模型,对比了政府补贴生产商、补贴再制造商和同时补贴生产商和再制造商3个情况,分析讨论了政府补贴对再

制造供应链的重要影响。

在现有的关于绿色供应链管理的文献中,考虑了决策者行为因素的不多。江世英等^[24]建立了由1个风险中性制造商和1个风险规避零售商组成的绿色供应链,比较了集中决策下和制造商为领导者的Stackelberg博弈模型中的产品价格、绿色度、转移价格与风险规避度的相互影响,并且用收益共享契约协调该供应链。杜建国等^[25]建立了由1个供应商和1个零售商组成的Stackelberg模型,研究了在零售商具有公平偏好和风险规避背景下如何影响供应商最优绿色创新投入水平和供应链的效用。现实中,人的理性是有限的,尤其对公平表现出极大关注,即公平偏好。根据Loch等^[26]研究成果,这种偏好确定存在,通过实验探究社会偏好及供应链绩效,得出社会偏好能影响供应链决策者的决策行为的结论。Cui等^[27]在传统两级供应链背景下,探讨了公平关切对供应链契约的影响。杜少甫等^[28]在报童背景下,考虑供应链参与者具有公平关切行为并研究了公平关切对供应链契约协调性的影响。因此,将决策者的公平偏好考虑到政府补贴背景下的绿色供应链协调中,能使模型更贴合现实情景,为现实决策者实行绿色供应链协调过程提供更切合实际问题的方法。

此外,在供应链协调中,供应链协调契约发挥着重要作用。但在绿色供应链管理中,鲜有在政府补贴背景下考虑供应链参与者具有公平偏好的供应链协调契约的研究。鉴于此,本文综合考虑政府补贴、产品绿色度、契约协调和供应商与零售商的公平偏好,建立了4个模型进行比较分析。在此基础上,进一步建立成本共担的收益共享契约的博弈模型,为制造商与零售商在绿色供应链博弈过程中提供决策参考。

1 模型建立及假设

考虑由政府、1个制造商和1个零售商构成的三级供应链。三者动态博弈顺序为:(1)政府以社会福利最大化为目标决定补贴比例 η ;(2)

处于主导地位的制造商生产绿色度为 g 的绿色产品,同时决定批发价格 w ; (3) 处于从方的零售商从制造商处购买绿色产品,并在销售季节以零售价格 p 将产品销售给消费者。由于消费观念的转变,消费者越来越重视产品的绿色度,同时偏好购买价格较低的产品,因此市场需求由产品零售价格与产品绿色度共同决定。本文做出如下假设:

(1) 市场需求函数为 $D(p, g) = a - bp + kg$, 其中 a 为市场总需求, p 为产品零售价格, g 为产品绿色度。产品零售价格越低,绿色度越高,消费者越容易发生购买行为。 b 为市场需求对产品零售价格的敏感系数,且 $a > bp$, k 为市场需求对产品绿色度的敏感系数。

(2) 制造商单位固定生产成本为 c_m 。此外,制造商采取绿色供应链管理措施提高产品绿色度,需付出额外的研发成本 $c_d = \frac{1}{2}zg^2$, 与产品绿色度成二次方的关系, z 为较大的正常量。

(3) 供应链各节点成员之间的信息对称。制造商 M 以批发价格 w 向零售商 R 销售绿色产品,零售商对产品定价 p 在市场上进行销售, $p > w$ 。为激励供应商增加绿色产品的研发,政府按照绿色产品研发成本的一定比例 $\eta \in (0, 1)$ 进行补贴。

(4) 社会福利线性可加,即社会福利 $(SW) =$ 消费者剩余 $(CS) +$ 生产者剩余 $(PS) -$ 政府补贴 (S) 。

(5) 本文以对方的利润作为己方的参考点,通过引入参数来刻画公平偏好效用函数, $f_r = -\alpha \max\{\pi_i - \pi_j, 0\} - \beta \max\{\pi_j - \pi_i, 0\}$, α 表示己方的利润低于对方利润时,由不利的不公平的产生的负效用等于公平收益与货币收益的差值的 α 倍; β 表示己方的利润高于对方利润时,由有利的不公平的产生的负效用等于货币收益与公平收益的差值的 β 倍。Fehr E 等^[29]指出面对不公平分配时,不利的不公平带来的感受程度大于有利的不公平带来的感受程度,故, $0 < \beta < 1, \alpha > \beta$ 。本文仅

考虑供应商或零售商具有不利的不公平分配。

根据以上假设可得,零售商利润函数为:

$$\pi_r = (p - w)(a - bp + kg) \quad (1)$$

制造商利润函数为:

$$\pi_m = (w - c_m)(a - bp + kg) - \frac{1}{2}(1 - \eta)zg^2 \quad (2)$$

社会福利为:

$$SW = CS + PS - S = \frac{1}{2}D^2 + (p - c_m)D - \frac{1}{2}zg^2 \quad (3)$$

2 具有公平偏好的绿色供应链博弈模型

2.1 公平偏好的制造商——公平中性的零售商的 Stackelberg 博弈模型

当制造商具有公平偏好,零售商为公平中性时,制造商的效用函数为:

$$u(\pi_m) = \pi_m - \alpha(\pi_r - \pi_m) = (1 + \alpha)\pi_m - \alpha\pi_r \quad (4)$$

参考杜少甫^[28]方法,为便于模型分析,不妨记 $U_m(\pi) \equiv u(\pi_m)/(1 + \alpha)$, $\hat{\alpha} = \alpha/(1 + \alpha)$ 。 $U_m(\pi)$ 是对 $u(\pi_m)$ 的一种辐射变化,只涉及量纲的变化,仍可作为制造商效用的度量。由恒等式可知, $\hat{\alpha}$ 是关于 α 的增函数且 $\hat{\alpha} \in [0, 1)$, 当 $\alpha = 0$, 即 $\hat{\alpha} = 0$ 时,制造商为公平中性;当 $\alpha \rightarrow +\infty$, 即 $\hat{\alpha} = 1$ 时,制造商对公平极度偏好。在上述变换基础上进一步分析。

此时,零售商的效用函数与其利润函数相等,为:

$$U(\pi_{r1}) = \pi_r = (p - w)(a - bp + kg) \quad (5)$$

同时,式(4)效用函数变换为:

$$U(\pi_{m1}) = \pi_m - \hat{\alpha}\pi_r = (w - c_m)(a - bp + kg) - \frac{1}{2}(1 - \eta)zg^2 - \hat{\alpha}(p - w)(a - bp + kg) \quad (6)$$

采用逆向归纳法求解:

对式(5)对 p 求一阶偏导数,得:

$$\frac{\partial U_r(\pi)}{\partial p} = a - 2bp + kg + bw$$

二阶条件为 $\frac{\partial^2 U_r(\pi)}{\partial p^2} = -2b < 0 (b > 0)$, 所以

$U_r(\pi)$ 是关于 p 的严格凹函数。

令一阶偏导数等于 0, 得零售价格为:

$$p_1 = \frac{a+kg+bw}{2b} \quad (7)$$

联合式(6)、(7), 计算得到 $U_m(\pi)$ 的 Hessian 矩阵为:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 U_m(\pi)}{\partial w^2} & \frac{\partial^2 U_m(\pi)}{\partial w \partial g} \\ \frac{\partial^2 U_m(\pi)}{\partial g \partial w} & \frac{\partial^2 U_m(\pi)}{\partial g^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(2+\hat{\alpha})b}{2} & \frac{(1+\hat{\alpha})k}{2} \\ \frac{(1+\hat{\alpha})k}{2} & -(1-\eta)z - \frac{\hat{\alpha}k^2}{2b} \end{bmatrix}$$

上式可得, $|H| = \frac{2(1-\eta)(2+\alpha)bz-k^2}{4}$, 因

本文假设 z 是一个较大正常量, 可知 $|H| > 0$, 又由于其一阶顺序主子式 $|H_1| = -\frac{(2+\hat{\alpha})b}{2} < 0$, 所以

Hessian 矩阵负定, 则 $U_m(\pi)$ 为关于 w 和 g 的联合凹函数。分别求 $U_m(\pi)$ 关于 w 和 g 的一阶偏导数并令其等于 0, 联立方程组, 解得制造商批发价格与产品绿色度为:

$$w_1 = \frac{2z(1-\eta)(a+bc_m+\hat{\alpha}a)-k^2c_m}{2bz(1-\eta)(2+\hat{\alpha})-k^2},$$

$$g_1 = \frac{k(a-bc_m)}{2bz(1-\eta)(2+\hat{\alpha})-k^2}$$

进而求得零售价格为:

$$p_1 = \frac{z(1-\eta)(3a+bc_m+2\hat{\alpha}a)-k^2c_m}{2bz(1-\eta)(2+\hat{\alpha})-k^2}$$

将 p_1 、 g_1 代入式(3), 对 η 求一阶偏导数并令其等于 0, 解得政府最佳补贴比率为:

$$\eta_1^* = \frac{3+2\hat{\alpha}}{7+4\hat{\alpha}}$$

至此, 可以解得最优零售价格、最优批发价格、最优绿色度分别为:

$$p_1^* = \frac{2z(2+\hat{\alpha})(3a+bc_m+2\hat{\alpha}a)-(7+4\hat{\alpha})k^2c_m}{4bz(2+\hat{\alpha})^2-k^2(7+4\hat{\alpha})}$$

$$w_1^* = \frac{4z(2+\hat{\alpha})(a+bc_m+\hat{\alpha}a)-(7+4\hat{\alpha})k^2c_m}{4bz(2+\hat{\alpha})^2-k^2(7+4\hat{\alpha})}$$

$$g_1^* = \frac{k(7+4\hat{\alpha})(a-bc_m)}{4bz(2+\hat{\alpha})^2-k^2(7+4\hat{\alpha})}$$

将 p_1^* 、 w_1^* 、 g_1^* 分别代入式(3)、(5)、(6)中, 可得此时零售商与制造商各自的最大效用函

数及最大社会福利:

$$U(\pi_{r1})^* = \frac{4bz^2(2+\hat{\alpha})^2(a-bc_m)^2}{[4bz(2+\hat{\alpha})^2-k^2(7+4\hat{\alpha})]^2}$$

$$U(\pi_{m1})^* = \frac{z(2+\hat{\alpha})(a-bc_m)^2}{4bz(2+\hat{\alpha})^2-k^2(7+4\hat{\alpha})}$$

$$SW_1^* = \frac{z(7+4\hat{\alpha})(a-bc_m)^2}{8bz(2+\hat{\alpha})^2-2k^2(7+4\hat{\alpha})}$$

2.2 公平中性的制造商—公平偏好的零售商的 Stackelberg 博弈模型

当制造商为公平中性, 零售具有公平偏好时, 类似 2.1 节, 零售商的效用函数为:

$$U(\pi_{r2}) = \pi_r - \hat{\alpha}\pi_m = (p-w)(a-bp+kg) - \hat{\alpha}[(w-c_m)(a-bp+kg) - \frac{1}{2}(1-\eta)zg^2] \quad (8)$$

同时, 制造商的效用函数为:

$$U(\pi_{m2}) = \pi_m = (w-c_m)(a-bp+kg) - \frac{1}{2}(1-\eta)zg^2 \quad (9)$$

采用逆向归纳法求解:

对式(8)对 p 求一阶偏导数, 并令一阶偏导数等于 0, 得零售价格为:

$$p_2 = \frac{a+kg+(1+\hat{\alpha})bw-\hat{\alpha}bc_m}{2b} \quad (10)$$

将式(10)代入式(9), 分别对 g 、 w 求一阶偏导数, 联立方程组, 解得制造商批发价格与产品绿色度为:

$$w_2 = \frac{2z(1-\eta)[a+(1+2\hat{\alpha})bc_m]-k^2c_m}{4bz(1-\eta)(1+\hat{\alpha})-k^2},$$

$$g_2 = \frac{k(a-bc_m)}{4bz(1-\eta)(1+\hat{\alpha})-k^2}$$

进而求得零售价格为:

$$p_2 = \frac{z(1-\eta)(1+\hat{\alpha})(3a+bc_m)-k^2c_m}{4bz(1-\eta)(1+\hat{\alpha})-k^2}$$

将 p_2 、 g_2 代入式(3), 对 η 求一阶偏导数并令其等于 0, 解得政府最佳补贴比率为:

$$\eta_2^* = \frac{3+7\hat{\alpha}}{7(1+\hat{\alpha})}$$

至此, 可以解得最优零售价格、最优批发价

格、最优绿色度分别为:

$$p_2^* = \frac{4z(3a+bc_m) - 7k^2c_m}{16bz - 7k^2}$$

$$w_2^* = \frac{8z[(a+(1+2\hat{\alpha})bc_m)] - 7(1+\hat{\alpha})k^2c_m}{(16bz - 7k^2)(1+\hat{\alpha})}$$

$$g_2^* = \frac{7k(a-bc_m)}{16bz - 7k^2}$$

将 p_2^* 、 w_2^* 、 g_2^* 分别代入式 (3)、(8)、(9) 中, 可得此时零售商与制造商各自的最大效用函数及最大社会福利:

$$U(\pi_{r2})^* = \frac{2z(8\hat{\alpha}bz + 8bz + 7\hat{\alpha}k^2)(a-bc_m)^2}{(16bz - 7k^2)^2(1+\hat{\alpha})}$$

$$U(\pi_{m2})^* = \frac{2z(a-bc_m)^2}{(16bz - 7k^2)(1+\hat{\alpha})}$$

$$SW_2^* = \frac{7z(a-bc_m)^2}{32bz - 14k^2}$$

2.3 制造商、零售商均为公平中性的 Stackelberg 博弈模型

制造商与零售商均为公平中性, 采用逆向归纳法求解:

对式 (1) 对 p 求一阶偏导数, 并令一阶偏导数等于 0, 得零售价格为:

$$p_3 = \frac{a+kg+bw}{2b} \quad (11)$$

将式 (11) 代入式 (2), 分别对 g 、 w 求一阶偏导数, 联立方程组, 解得制造商批发价格与产品绿色度为:

$$w_3 = \frac{2z(a+bc_m)(1-\eta) - k^2c_m}{4bz(1-\eta) - k^2},$$

$$g_3 = \frac{k(a-bc_m)}{4bz(1-\eta) - k^2}$$

进而求得零售价格为:

$$p_3 = \frac{z(1-\eta)(3a+bc_m) - k^2c_m}{4bz(1-\eta) - k^2}$$

将 p_3 、 g_3 代入式 (3), 对求一阶偏导数并令其等于 0, 解得政府最佳补贴比率为:

$$\eta_3^* = \frac{3}{7}$$

至此, 可以解得最优零售价格、最优批发价

格、最优绿色度分别为:

$$p_3^* = \frac{4z(3a+bc_m) - 7k^2c_m}{16bz - 7k^2},$$

$$w_3^* = \frac{8z(a+bc_m) - 7k^2c_m}{16bz - 7k^2},$$

$$g_3^* = \frac{7k(a-bc_m)}{16bz - 7k^2}$$

将 p_3^* 、 w_3^* 、 g_3^* 分别代入式 (1)、(2)、(3) 中, 可得此时零售商、制造商的最大利润及最大社会福利:

$$\pi_{r3}^* = \frac{16bz^2(a-bc_m)^2}{(16bz - 7k^2)^2}, \pi_{m3}^* = \frac{2z(a-bc_m)^2}{16bz - 7k^2},$$

$$SW_3^* = \frac{7z(a-bc_m)^2}{32bz - 14k^2}$$

2.4 集中决策博弈模型

此时, 制造商和零售商进行集中决策, 以供应链整体利益最大化为目标。

供应链整体利润函数为:

$$\pi_{sc} = (p-c_m)(a-bp+kg) - \frac{1}{2}(1-\eta)zg^2 \quad (12)$$

对式 (12) 分别关于 p 和 g 求一阶偏导数, 并令一阶偏导数等于 0, 联立方程组可得:

$$p_4 = \frac{z(1-\eta)(a+bc_m) - 7k^2c_m}{2bz(1-\eta) - 7k^2},$$

$$g_4 = \frac{k(a-bc_m)}{2bz(1-\eta) - k^2}$$

将 p_4 、 g_4 代入式 (3), 对 η 求一阶偏导数并令其等于 0, 解得政府最佳补贴比率为:

$$\eta_4^* = \frac{1}{3}$$

至此, 可以解得最优零售价格、最优批发价格、最优绿色度分别为:

$$p_4^* = \frac{2z(a+bc_m) - 3k^2c_m}{4bz - 3k^2}, g_4^* = \frac{3k(a-bc_m)}{4bz - 3k^2}$$

将 p_4^* 、 g_4^* 分别代入式 (3)、(12) 中, 可得此时零售商、制造商的最大利润及最大社会福利:

$$\pi_{sc4}^* = \frac{z(a-bc_m)^2}{4bz - 3k^2}, SW_4^* = \frac{3z(a-bc_m)^2}{8bz - 6k^2}$$

总结以上 4 个博弈模型, 可得下表:

表1 4种博弈模型比较

决策变量	公平偏好的制造商——公平中性的零售商的 Stackelberg	公平中性的制造商——公平偏好的零售商的 Stackelberg	制造商、零售商均为公平中性的 Stackelberg	集中决策
w^*	$\frac{4z(2+\hat{\alpha})(a+bc_m+\hat{\alpha}a)-(7+4\hat{\alpha})k^2c_m}{4bz(2+\hat{\alpha})^2-k^2(7+4\hat{\alpha})}$	$\frac{8z[a+(1+2\hat{\alpha})bc_m]-7(1+\hat{\alpha})k^2c_m}{(16bz-7k^2)(1+\hat{\alpha})}$	$\frac{8z(a+bc_m)-7k^2c_m}{16bz-7k^2}$	
g^*	$\frac{k(7+4\hat{\alpha})(a-bc_m)}{4bz(2+\hat{\alpha})^2-k^2(7+4\hat{\alpha})}$	$\frac{7k(a-bc_m)}{16bz-7k^2}$	$\frac{7k(a-bc_m)}{16bz-7k^2}$	$\frac{3k(a-bc_m)}{4bz-3k^2}$
p^*	$\frac{2z(2+\hat{\alpha})(3a+bc_m+2\hat{\alpha}a)-(7+4\hat{\alpha})k^2c_m}{4bz(2+\hat{\alpha})^2-k^2(7+4\hat{\alpha})}$	$\frac{4z(3a+bc_m)-7k^2c_m}{16bz-7k^2}$	$\frac{4z(3a+bc_m)-7k^2c_m}{16bz-7k^2}$	$\frac{2z(a+bc_m)-3k^2c_m}{4bz-3k^2}$
η^*	$\frac{3+2\hat{\alpha}}{7+4\hat{\alpha}}$	$\frac{3+7\hat{\alpha}}{7(1+\hat{\alpha})}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{1}{3}$
$U(\pi_r)^*$	$\frac{4bz^2(2+\hat{\alpha})^2(a-bc_m)^2}{[4bz(2+\hat{\alpha})^2-k^2(7+4\hat{\alpha})]^2}$	$\frac{2z(8\hat{\alpha}bz+8bz+7\hat{\alpha}k^2)(a-bc_m)^2}{(16bz-7k^2)^2(1+\hat{\alpha})}$	$\frac{16bz^2(a-bc_m)^2}{(16bz-7k^2)^2}$	$\frac{z(a-bc_m)^2}{4bz-3k^2}$
$U(\pi_m)^*$	$\frac{z(2+\hat{\alpha})(a-bc_m)^2}{4bz(2+\hat{\alpha})^2-k^2(7+4\hat{\alpha})}$	$\frac{2z(a-bc_m)^2}{(16bz-7k^2)(1+\hat{\alpha})}$	$\frac{2z(a-bc_m)^2}{16bz-7k^2}$	
SW^*	$\frac{z(7+4\hat{\alpha})(a-bc_m)^2}{8bz(2+\hat{\alpha})^2-2k^2(7+4\hat{\alpha})}$	$\frac{7z(a-bc_m)^2}{32bz-14k^2}$	$\frac{7z(a-bc_m)^2}{32bz-14k^2}$	$\frac{3z(a-bc_m)^2}{8bz-6k^2}$

命题1 在以上4个模型中,在其他条件一定的情况下,政府补贴对制造商加大绿色度的投入具有积极的影响,而供应链成员的公平偏好与产品绿色度成反比。

证明: 观察在政府未决策出最优补贴系数时

的产品绿色度表达式: $g_1 = \frac{k(a-bc_m)}{2bz(1-\eta)(2+\hat{\alpha})-k^2}$,

$g_2 = \frac{k(a-bc_m)}{4bz(1-\eta)(1+\hat{\alpha})-k^2}$, $g_3 = \frac{k(a-bc_m)}{4bz(1-\eta)-k^2}$, $g_4 =$

$\frac{k(a-bc_m)}{2bz(1-\eta)-k^2}$, 不难发现在以上4个模型的情形

中,如果政府补贴系数增大,产品绿色度都将随之增加,说明政府补贴政策能有效促进制造商增加绿色产品研发成本的投入。观察前两个式子,可以看出当供应链参与者的公平偏好系数增大,产品绿色度降低,说明无论制造商还是零售商具有公平偏好,制造商都会减少对绿色产品研发的投入,从而对绿色供应链产生负面效应。

命题2 (1) 制造商最优批发价格满足:

- $w_1^* > w_3^* > w_2^*$;
- (2) 最优产品绿色度满足: $g_4^* > g_3^* = g_2^* > g_1^*$;
- (3) 最优零售价格满足: $p_1^* > p_2^* = p_3^* > p_4^*$;
- (4) 最优补贴系数满足: $\eta_2^* > \eta_1^* > \eta_3^* > \eta_4^*$ 。

证明:

$$w_1^* - w_3^* = \frac{4\hat{\alpha}z(a-bc_m)[\hat{\alpha}(8bz-7k^2)+16bz-13k^2]}{[4\hat{\alpha}^2bz+4\hat{\alpha}(4bz-k^2)+16bz-7k^2](16bz-7k^2)}$$

因为本文假设 z 是一个较大正常量,故上式大于0。

$$w_3^* - w_2^* = \frac{8\hat{\alpha}z(a-bc_m)}{(16bz-7k^2)(1+\hat{\alpha})} > 0$$

由此可得, $w_1^* > w_3^* > w_2^*$

$$g_2^* - g_1^* = \frac{4\hat{\alpha}bz k(a-bc_m)(7\hat{\alpha}+12)}{[4\hat{\alpha}^2bz+4\hat{\alpha}(4bz-k^2)+16bz-7k^2](16bz-7k^2)} > 0$$

$$g_4^* - g_3^* = \frac{20bz k(a-bc_m)}{(16bz-7k^2)(4bz-3k^2)} > 0$$

由表1可知, $g_2^* = g_3^*$, 由此可得 $g_4^* > g_3^* = g_2^* > g_1^*$ 。

$$p_1^* - p_2^* = \frac{2\hat{\alpha}z(a-bc_m)[2\hat{\alpha}(4bz-7k^2)+16bz-25k^2]}{[4\hat{\alpha}^2bz+4\hat{\alpha}(4bz-k^2)+16bz-7k^2](16bz-7k^2)} > 0$$

$$p_3^* - p_4^* = \frac{2z(8bz-11k^2)(a-bc_m)}{(4bz-3k^2)(16bz-7k^2)} > 0$$

由表1可知, $p_2^* = p_3^*$, 由此可得 $p_1^* > p_2^* = p_3^* > p_4^*$ 。

$$\eta_2^* - \eta_1^* = \frac{2\hat{\alpha}(7\hat{\alpha}+13)}{7(7+4\hat{\alpha})(1+\hat{\alpha})} > 0$$

$$\eta_1^* - \eta_3^* = \frac{2\hat{\alpha}}{7(7+4\hat{\alpha})} > 0$$

由此可得 $\eta_2^* > \eta_1^* > \eta_3^* > \eta_4^*$ 。

从命题2看出：(1) 当只有制造商具有公平偏好时，批发价格大于制造商和零售商均为公平中性时的情形，而绿色度低于制造商和零售商均为公平中性时的情形，即具有公平偏好的制造商会通过提高批发价格和降低产品绿色度获得更大的利润，而此时处于从方的零售商只能提高产品零售价格增加自身收益；(2) 当只有零售商具有公平偏好时，产品零售价与产品绿色度分别与制造商和零售商均为公平中性时的情形相等，同时制造商适当减少批发价格增加自身收益。综合命题1来看，说明政府通过财政补贴的激励，使产品绿色度提高到与制造商和零售商均为公平中性时的情形相等；(3) 当供应链参与者具有公平偏好时，政府的最优补贴系数大于制造商和零售商均为公平中性时的情形，而在集中决策的情况下，政府补贴最少；(4) 在集中决策下，产品绿色度最高，能使顾客获得最大绿色度产品。

命题3 (1) 最优供应链总效用(总利润)满足： $\pi_{sc4}^* > \pi_{m3}^* + \pi_{r3}^* > U(\pi_{r2})^* + U(\pi_{m2})^* > U(\pi_{r1})^* + U(\pi_{m1})^*$ ，(2) 最优社会福利满足： $SW_4^* > SW_3^* = SW_2^* > SW_1^*$ 。

$$SW_2^* = \frac{7b^2c_mz^2(\hat{\alpha}^2+2\hat{\alpha}+1)(bc_m-2a)+bc_mzk^2(2a-bc_m)+7a^2\hat{\alpha}bz^2(\hat{\alpha}+2)+a^2z(7bz-k^2)}{2[4bz(1+\hat{\alpha})-k^2]^2}$$

$$SW_2^* - SW_1^* = \frac{k^2bz^2(49\hat{\alpha}^2+42\hat{\alpha}+9)(a-bc_m)^2}{2(16bz-7k^2)[4bz(\hat{\alpha}+1)-k^2]^2} > 0$$

在该模型中，政府补贴能增加社会福利，使其等于制造商和零售商均为公平中性时的情形。

从命题3可以看出，当只有零售商具有公平偏好时，社会福利与制造商和零售商均为公平中性时的情形相等，说明在政府补贴的激励下，零售商的公平偏好特性对社会福利没有影响。在集中决策下的供应链总体效用和社会福利均大于分散决策的情形。制造商和零售商均为公平中性时的供应链总体效用大于制造商或零售商具有公平偏好时的情形，说明了供应链参与者的公平偏好

证明：

$$\pi_{sc4}^* - (\pi_{m3}^* + \pi_{r3}^*) = \frac{z(a-bc_m)^2[8bz(8bz-3k^2)+7k^4]}{(4bz-3k^2)(16bz-7k^2)^2} > 0$$

$$\pi_{m3}^* + \pi_{r3}^* - (U(\pi_{r2})^* + U(\pi_{m2})^*) = \frac{4\alpha z(a-bc_m)^2(8bz-7k^2)}{(16bz-7k^2)^2(1+\hat{\alpha})} > 0$$

$$U(\pi_{r2})^* + U(\pi_{m2})^* - (U(\pi_{r1})^* + U(\pi_{m1})^*) = z\hat{\alpha}(a-bc_m)^2[32\hat{\alpha}^3b^2z^2(8\hat{\alpha}^3bz+7\hat{\alpha}^3k^2+56\hat{\alpha}^2bz+128\hat{\alpha}bz+96bz)+21k^6(20\hat{\alpha}^2+71\hat{\alpha}+63)+4\hat{\alpha}^3k^2bz(488bz-161k^2)+16\hat{\alpha}^2k^2bz(456bz-271k^2)+4\hat{\alpha}bz k^2(32000bz-2363k^2)+64bz k^2(132bz-105k^2)+21k^6(20\hat{\alpha}^2+71\hat{\alpha}+63)] / \{(\hat{\alpha}+1)(16bz-7k^2)^2[4\hat{\alpha}^2bz+4\hat{\alpha}(4bz-k^2)+16bz-7k^2]\} > 0$$

由此可得 $\pi_{sc4}^* > \pi_{m3}^* + \pi_{r3}^* > U(\pi_{r2})^* + U(\pi_{m2})^* > U(\pi_{r1})^* + U(\pi_{m1})^*$ 。

$$SW_4^* - SW_3^* = \frac{10bz^2(a-bc_m)^2}{(4bz-3k^2)(16bz-7k^2)} > 0$$

$$SW_2^* - SW_1^* = \frac{2z2\hat{\alpha}b(12+7\hat{\alpha})(a-bc_m)^2}{(16bz-7k^2)[4\hat{\alpha}^2bz+4\hat{\alpha}(4bz-k^2)+16bz-7k^2]} > 0$$

由表1可知， $SW_2^* = SW_3^*$ ，由此可得 $SW_4^* > SW_3^* = SW_2^* > SW_1^*$ 。

对于只有零售商具有公平偏好的模型来说，若政府没有进行补贴，其社会福利为：

特性导致供应链总体效用降低。所以，为了达到供应链系统的最佳协调状态，作为供应链的领导者的制造商从整体性出发，需要设计一个协调契约来激励供应链参与者之间的合作。

3 绿色供应链收益共享协调契约

基于以上4种博弈模型，为促进博弈双方进行合作，趋向集中决策博弈模型，增加双方各自利润及整个供应链绩效，制造商作为领导者提出收益共享契约，按比例分享零售商的收入。双方以效用最大化为目标，若采取契约协调后制造商与零售商各自的效用比分散决策下获得的效用高，则接受该契约。由于篇幅有限，考虑到在制造商

具有公平偏好、零售商为公平中性的 Stackelberg 博弈模型中, 在政府补贴政策调控下产品绿色度与社会福利仍受到公平偏好系数的影响, 因此本文只谈论该情况下的契约协调情况。

此时, 制造商与零售商的效用函数分别为:

$$U(\pi_m(\lambda)) = \pi_m = (\lambda p + w - c_m)(a - bp + kg) - \frac{1}{2}(1-\eta)zg^2 - \hat{\alpha}[(1-\lambda)p - w](a - bp + kg) \quad (13)$$

$$U(\pi_r(\lambda)) = [(1-\lambda)p - w](a - bp + kg) \quad (14)$$

对式(14)关于 p 求一阶偏导数, 并令一阶偏导数等于 0, 可得:

$$p(\lambda)^* = \frac{(1-\lambda)(a + kg) + bw}{2b(1-\lambda)} \quad (15)$$

要实现供应链协调, 则需使分散决策下的策略与集中决策下的相同, 即 $p(\lambda)^* = p_4$, 可求得: $w(\lambda)^* = (1-\lambda)c_m$, 进一步可求得此时零售商和制造商的效用函数分别为:

$$U(\pi_r(\lambda)) = (1-\lambda)(p - c_m)(a - bp + kg)$$

$$U(\pi_m(\lambda)) = \lambda(p - c_m)(a - bp + kg) - \frac{1}{2}(1-\eta)$$

$$zg^2 - \hat{\alpha}(1-\lambda)(p - c_m)(a - bp + kg)$$

类似 2.1 节的分析可得:

$$p(\lambda)^* = \frac{z(1-\eta)(a + bc_m) - k^2c_m(\lambda + \hat{\alpha}\lambda - \hat{\alpha})}{2bz(1-\eta) - k^2(\lambda + \hat{\alpha}\lambda - \hat{\alpha})}$$

$$g(\lambda)^* = \frac{k(\lambda + \hat{\alpha}\lambda - \hat{\alpha})(a - bc_m)}{2bz(1-\eta) - k^2(\lambda + \hat{\alpha}\lambda - \hat{\alpha})}$$

比较 $g(\lambda)^*$ 和 g_4 , 由于 $\hat{\alpha}, \lambda \in (0, 1)$, 则 $g(\lambda)^* < g_4$, 即传统收益共享契约无法协调供应链。其原因为: 在传统收益契约协调下, 制造商虽能获得零售商的销售收入, 但仍独自承担所有绿色产品研发成本, 因而会降低其产品绿色度。据此, 提出绿色产品研发成本分担的改进收益共享契约 (λ, δ) , 即零售商与制造商分享销售收入的同时, 还需要承担部分绿色产品研发成本 $\frac{1}{2}\delta zg^2$ 。此时, 制造商与零售商的效用函数分别为:

$$U(\pi_m(\lambda, \delta)) = (\lambda p + w - c_m)(a - bp + kg) - \frac{1}{2}(1-\eta - \delta)zg^2 - \hat{\alpha}\left\{[(1-\lambda)p - w](a - bp + kg) - \frac{1}{2}\delta zg^2\right\} \quad (16)$$

$$U(\pi_r(\lambda, \delta)) = [(1-\lambda)p - w](a - bp + kg) - \frac{1}{2}\delta zg^2 \quad (17)$$

求解可得:

$$p(\lambda, \delta)^* = \frac{z(1-\eta - \delta - \hat{\alpha}\delta)(a + bc_m) - k^2c_m(\lambda + \hat{\alpha}\lambda - \hat{\alpha})}{2bz(1-\eta - \delta - \hat{\alpha}\delta) - k^2(\lambda + \hat{\alpha}\lambda - \hat{\alpha})}$$

$$g(\lambda, \delta)^* = \frac{k(\lambda + \hat{\alpha}\lambda - \hat{\alpha})(a - bc_m)}{2bz(1-\eta - \delta - \hat{\alpha}\delta) - k^2(\lambda + \hat{\alpha}\lambda - \hat{\alpha})}$$

要实现供应链协调, 则需使分散决策下的策略与集中决策下的相同, 即 $p(\lambda, \delta)^* = p_4$, 且 $g(\lambda, \delta)^* = g_4$, 该组合契约能够协调供应链, 则:

$$\begin{cases} \delta = (1-\lambda)(1-\eta) \\ w(\lambda, \delta)^* = (1-\lambda)c_m \end{cases} \quad (18)$$

在契约协调下, 产品绿色度 g 和零售价格 p 均与集中决策下的绿色度与零售价格相等, 因此此时社会福利与集中决策的社会福利相等, 政府按集中决策下的最优补贴系数对制造商研发绿色产品成本进行补贴, 即 $\eta(\lambda, \delta)^* = \frac{1}{3}$ 。

命题 4 当 δ 和 w 满足式(18)且 $\lambda \in$

$\left[\frac{2(2\hat{\alpha}^2bz + 2\hat{\alpha}(3bz - k^2) + 4bz - 3k^2)}{4\hat{\alpha}^2bz + 4\hat{\alpha}(4bz - k^2) + 16bz - 7k^2}, [16\hat{\alpha}^4b^2z^2 + (16\hat{\alpha}^2 + 56\hat{\alpha} + 49)k^4 + 32\hat{\alpha}^3bz(4bz - k^2) + 4\hat{\alpha}^2bz(92bz - 43k^2) + 16\hat{\alpha}bz(28bz - 19k^2) + 16bz(12bz - 11k^2)] / [4\hat{\alpha}^2bz + 4\hat{\alpha}(4bz - k^2) + 16bz - 7k^2]^2 \right]$ 时, 绿色产品研发成本分担的改进收益共享契约能够实现供应链协调。

证明: 将式(18)分别代入式(16)和(17), 可得:

$$U(\pi_r(\lambda, \delta)) = (1-\lambda)\pi_{sc4}^*, U(\pi_m(\lambda, \delta)) = (\lambda - \hat{\alpha} + \lambda\hat{\alpha})\pi_{sc4}^*$$

有效的协调机制应满足约束条件:

$$\begin{cases} U(\pi_m(\lambda, \delta))^* \geq U(\pi_{r2})^* \\ U(\pi_r(\lambda, \delta))^* \geq U(\pi_{m2})^* \end{cases}$$

求解可得 λ 的取值区间为:

$$\left[\frac{2(2\hat{\alpha}^2bz + 2\hat{\alpha}(3bz - k^2) + 4bz - 3k^2)}{4\hat{\alpha}^2bz + 4\hat{\alpha}(4bz - k^2) + 16bz - 7k^2}, [16\hat{\alpha}^4b^2z^2 + \dots] \right]$$

$$[(16\hat{\alpha}^2 + 56\hat{\alpha} + 49)k^4 + 32\hat{\alpha}^3bz(4bz - k^2) + 4\hat{\alpha}^2bz(92bz - 43k^2) + 16\hat{\alpha}bz(28bz - 19k^2) + 16bz(12bz - 11k^2)] / [4\hat{\alpha}^2bz + 4\hat{\alpha}(4bz - k^2) + 16bz - 7k^2]^2]$$

命题得证。

4 数值仿真

为了检验所得到的模型的正确性, 本节将对绿色产品研发成本分担的改进收益共享契约情况进行数值仿真。赋值情况如表2所示:

表2 参数赋值情况

参数	a	b	k	z	c_m	η
赋值	200	2	1	100	30	1/3

由表2得, 在集中决策下, 产品的绿色度为0.53, 供应链总利润为2459.22。在无契约协调情况下, 具有公平偏好的制造商的最佳效用为981.77, 公平中性的零售商的最佳效用为393.42, 产品绿色度为0.25。当收益共享系数 $\lambda \in [0.60, 0.84]$ 和绿色产品研发成本分担系数 $\delta \in [0.11, 0.27]$, 此时产品绿色度为0.53, 与集中决策下的绿色度相等。零售商和制造商的效用均大于无契约协调分散决策下的效用, 即两者均接受契约, 使得供应链达到协调。为得到收益共享系数对各

个决策量及最优效用的影响, 以0.01的步长求得 λ 取不同值时各个决策量和最优效用的值, 如图1所示:

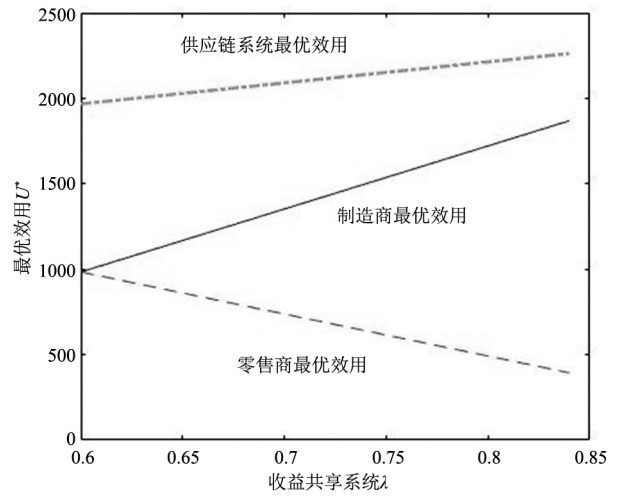


图1 收益共享系数 λ 对制造商、零售商和供应链系统的最优效用的影响

由图1可以看出, 在绿色产品研发成本分担的改进收益共享契约情况下, 给定公平偏好系数 $\hat{\alpha}=0.5$, 随着收益共享系数 λ 的增大, 即制造商获得共享收益增加, 制造商的最优效用 $U(\pi_m)^*$ 递增, 而零售商的最优效用 $U(\pi_r)^*$ 递减, 但均比没有契约协调下的效用大, 供应链系统效用 U_{sc}^* 增加。因此可以认为该契约能协调该类型的绿色供应链。

表3 $\hat{\alpha}$ 变化对其他参数的影响情况 ($\lambda=0.70$)

$\hat{\alpha}$	$w(\lambda, \delta)^*$	$p(\lambda, \delta)^*$	$g(\lambda, \delta)^*$	$U(\pi_m(\lambda, \delta))^*$	$U(\pi_r(\lambda, \delta))^*$	$U(\pi(\lambda, \delta))^*$
0.00	9.00	65.13	0.53	1721.46	737.77	2459.22
0.10	9.00	65.13	0.53	1647.68	737.77	2385.45
0.20	9.00	65.13	0.53	1573.90	737.77	2311.67
0.30	9.00	65.13	0.53	1500.13	737.77	2237.89
0.40	9.00	65.13	0.53	1426.35	737.77	2164.12
0.50	9.00	65.13	0.53	1352.57	737.77	2090.34
0.60	9.00	65.13	0.53	1278.80	737.77	2016.56
0.70	9.00	65.13	0.53	1205.02	737.77	1942.79
0.80	9.00	65.13	0.53	1131.24	737.77	1869.01
0.90	9.00	65.13	0.53	1057.47	737.77	1795.23
1.00	9.00	65.13	0.53	983.69	737.77	1721.46

从表3可以看出,随着制造商的公平偏好系数的增大,产品绿色度与零售商的效用不变,制造商的效用减小,从而供应链整体效用减小,说明了供应链参与者的公平偏好对供应链整体绩效具有消极作用。

5 结 论

假设市场需求依赖于产品绿色度与零售价格的情况下,本文建立了4种模型,通过分析比较4个模型中的各个参数,我们发现:(1)政府通过财政补贴政策,能够有效激励制造商提高产品的绿色度;(2)当只有零售商具有公平偏好时,在政府补贴政策的激励下,产品绿色度与社会福利提高到和制造商与零售商均为公平中性的情形下相等的水平,说明政府补贴能够减弱零售商的公平偏好特性对供应链的消极作用;(3)当只有制造商具有公平偏好时,产品绿色度、供应链系统效用和社会福利均比制造商与零售商均为公平中性的情形小,说明制造商的公平偏好特性对供应链绩效有较大的消极作用。针对只有制造商具有不公平厌恶的Stackelberg博弈模型,用传统的收益共享契约无法进行协调,本文建立了绿色产品研发成本共担的收益共享契约进行协调,可使产品绿色度维持较高水平,此时收益共享的系数范围为 $[0.60, 0.84]$ 。在该契约协调下,制造商和零售商的效用均大于无契约协调下的效用。因此,可以认为绿色产品研发成本共担的收益共享契约能够协调该类型的绿色供应链。

本文考虑的供应链博弈是基于完全信息情况下的,并没有考虑不完全信息的情况,下一步可以考虑不完全信息下的供应链博弈模型。另外,本文仅考虑了企业成员的不利的不公平偏好,还可以探讨企业成员具有有利的不公平偏好时的情形。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 王颖.欧盟“用能产品生态设计框架指令”的实施动态及应对措施[J].经营与管理,2009,(6):16~17.
- [3] 周冰.惠普的“绿色制造”行动[J].微型机与应用,2007,

- 26(4):85.
- [4] 佚名.华为获ICT行业全球首个德国莱茵TüV绿色产品认证[J].质量与认证,2013,(7):35.
- [5] Andiç E, Yurt Ö, Baltacıoğlu T. Green Supply Chains: Efforts and Potential Applications for the Turkish Market [J]. Resources Conservation & Recycling, 2012, 58: 50~68.
- [6] Büyüközkan G, Çifçi G. A Novel Hybrid MCDM Approach Based on Fuzzy DEMATEL, Fuzzy ANP and Fuzzy TOPSIS to Evaluate Green Suppliers [J]. Expert Systems with Applications, 2012, 39(3): 3000~3011.
- [7] Arena U, Mastellone M L, Perugini F. The Environmental Performance of Alternative Solid Waste Management Options: A Life Cycle Assessment Study [J]. Chemical Engineering Journal, 2003, 96(1~3): 207~222.
- [8] Zhu Q, Sarkis J, Lai K H. Green Supply Chain Management: Pressures, Practices and Performance Within the Chinese Automobile Industry [J]. Journal of Cleaner Production, 2007, 15(11~12): 1041~1052.
- [9] Eltayeb T K, Zailani S, Ramayah T. Green Supply Chain Initiatives Among Certified Companies in Malaysia and Environmental Sustainability: Investigating the Outcomes [J]. Resources Conservation & Recycling, 2011, 55(5): 495~506.
- [10] Saghiri S, Hill A. Supplier Relationship Impacts on Postponement Strategies [J]. International Journal of Production Research, 2014, 52(7): 2134~2153.
- [11] Kannan D, Jabbour C J C. Selecting Green Suppliers Based on GSCM Practices: Using Fuzzy TOPSIS Applied to a Brazilian Electronics Company [J]. European Journal of Operational Research, 2014, 233(2): 432~447.
- [12] Walker H, Sisto L D, Mcbain D. Drivers and Barriers to Environmental Supply Chain Management Practices: Lessons From the Public and Private Sectors [J]. Journal of Purchasing & Supply Management, 2008, 14(1): 69~85.
- [13] Liu H, Ke W, Wei K K, et al. Effects of Supply Chain Integration and Market Orientation on Firm Performance [J]. International Journal of Operations & Production Management, 2014, 33(3): 322~346.
- [14] González-Benito J, González-Benito Ó. The Role of Stakeholder Pressure and Managerial Values in the Implementation of Environmental Logistics Practices [J]. International Journal of Production Research, 2006, 44(7): 1353~1373.
- [15] Azevedo S G, Carvalho H, Machado V C. The Influence of Green Practices on Supply Chain Performance: A Case Study Approach [J]. Transportation Research Part E Logistics & Transportation Review, 2011, 47(6): 850~871.

- [16] 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, 23 (6): 169~176.
- [17] 彭涵卿, 周根贵, 江南一锦. 不确定环境下绿色供应链收益共享契约研究——基于消费者绿色偏好 [J]. 经营与管理, 2016, (11): 112~116.
- [18] Xi S, Lee C. A Game Theoretic Approach for the Optimal Investment Decisions of Green Innovation in a Manufacturer-retailer Supply Chain [J]. International Journal of Industrial Engineering Theory Applications & Practice, 2015, 22 (1): 147~158.
- [19] 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.
- [20] 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, 14 (6): 86~95.
- [21] 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, 31 (4): 526~535.
- [22] Sheu J B, Chen Y J. Impact of Government Financial Intervention on Competition among Green Supply Chains [J]. International Journal of Production Economics, 2012, 138 (1): 201~213.
- [23] Mitra S, Webster S. Competition in Remanufacturing and the Effects of Government Subsidies [J]. International Journal of Production Economic, 2008, 111 (2): 287~298.
- [24] 江世英, 马春艳. 考虑零售商风险态度的绿色供应链契约协调模型 [J]. 工业工程, 2015, (3): 30~35.
- [25] 杜建国, 窦品品, 赵刘威. 零售商的风险规避特性和公平偏好对绿色供应链运作的影响 [J]. 工业技术经济, 2017, (7): 3~9.
- [26] Loch C H, Wu Y. Social Preferences and Supply Chain Performance: An Experimental Study [J]. Management Science, 2008, 54 (11): 1835~1849.
- [27] Cui T H, Raju J S, Zhang Z J. Fairness and Channel Coordination [J]. Management Science, 2007, 53 (8): 1303~1314.
- [28] 杜少甫, 杜婵, 梁樑, 等. 考虑公平关切的供应链契约与协调 [J]. 管理科学学报, 2010, 13 (11): 41~48.
- [29] Fehr E, Schmidt K M. A Theory of Fairness, Competition, and Cooperation [J]. Quarterly Journal of Economics, 1999, 114 (3): 817~868.

Game Models and Contract of Green Supply Chain Considering Fairness Preference and Government Subsidies

Zhang Hong¹ Huang Jiamin¹ Cui Yanyan²

(1. School of Business Administration, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;

2. Industrial and Commercial Bank of China, Guangzhou 510000, China)

[Abstract] Based on a three-stage green supply chain consisting of a manufacturer, a retailer and the government, this paper considering the fairness preference, product greenness and government subsidies, four green supply chain game models are established: a Stackelberg game model based on a manufacturer with fairness preference, a Stackelberg game model based on a retailer with fairness preference, a Stackelberg game model based on both manufacturer and retailer without fairness preference and a centralized decision-making game model. Meanwhile, four game models are conducted a comparative analysis in terms of each parameter. Results show that: when only retailer has fairness preference, the negative effects on supply chain caused by the fairness preference can be weakened by government subsidy, making the product greenness and social welfare equal to the situation where neither manufacturer nor retailer has fairness preference; when only manufacturer has fairness preference, the parameters of product greenness and social welfare are still influenced by the fairness preference. At last, for the Stackelberg game model based on a manufacturer with fairness preference, a revenue-sharing contrast based on research and development cost is established to coordinate the supply chain. Finally, a numerical simulation is conducted.

[Key words] fairness preference; government subsidies; greenness; revenue-sharing contrast based on research and development cost; green supply chain; fairness preference

(责任编辑: 史琳)