

# 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

高举红 韩红帅 侯丽婷 王海燕  
(天津大学管理与经济学部, 天津 300072)

**摘要:** 为研究当产品绿色度和销售努力度影响市场需求时,零售商主导型闭环供应链的定价、产品绿色度、销售努力度、回收率决策和零售商营销策略选择问题,构建了单一制造商和单一零售商组成的零售商主导型闭环供应链。首先在集中决策和分散决策两种模式下,运用博弈论研究了闭环供应链决策,进行结果对比并分析了产品绿色效应和销售努力效应对企业决策和利润获取的影响;然后研究了零售商的绿色营销策略和低价促销策略对供应链绩效的提升作用;最后进行了数值分析。研究表明:分散决策相比集中决策存在利润损失,零售价、产品绿色度、销售努力度和回收率以及供应链利润均与产品绿色效应、销售努力效应正相关,低价促销策略优于绿色营销策略。

**关键词:** 闭环供应链; 产品绿色度; 销售努力; 博弈论; 营销策略

DOI:10.14120/j.cnki.cn11-5057/f.2015.04.019

## 引言

随着供应链传统的运作模式所带来的资源浪费、环境恶化等问题日益严重,绿色、可持续的供应链运作管理成为政府、企业和学者们关注的热点,闭环供应链由于实现了产品循环再利用而受到广泛认可。同时,公众的环保意识也不断提升,绿色消费理念逐步树立,对绿色产品的认可度不断增加,因此闭环供应链面临着提高产品的绿色度、减小运作对环境的不利影响、实现可持续运营的挑战。为在激烈的供应链竞争中取胜,供应链在凭借良好的形象受到消费者认可的同时,也需要成员紧密合作、增加销售努力,获得更高的市场份额。而供应链中绿色运作模式或管理实践多由渠道领导者发起和推行<sup>[1]</sup>。渠道领导权对于供应链绩效有重要影响<sup>[2]</sup>。当前零售业正快速发展,零售商拥有的市场权力不断增加,一些零售巨头已逐步发展为供应链领导者。基于此,在同时考虑产品绿色度和销售努力度的情况下,研究零售商主导型闭环供应链决策和零售商营销策略选择问题对指导闭环供应链的运作管理具有重要的意义。

闭环供应链的研究已取得大量成果,Guide 和 Van Wassenhove<sup>[3]</sup>详细回顾了闭环供应链研究的演变进程,闭环供应链的渠道决策问题正受到更多学者的关注。Choi 等<sup>[2]</sup>研究了不同渠道领导权下闭环供应链定

收稿日期:2013-05-15

基金项目:教育部留学回国人员科研启动基金项目(580-413007-0301);科技部科技人员服务企业计划项目(2009GJA10039)。

作者简介:高举红,天津大学管理与经济学部副教授,硕士生导师,博士;韩红帅,天津大学管理与经济学部硕士研究生;侯丽婷,天津大学管理与经济学部硕士研究生;王海燕,天津大学管理与经济学部硕士研究生。

价、转移支付价格、回收率决策以及渠道绩效,发现零售商主导下的闭环供应链效率最高。Shi 等<sup>[4]</sup>针对需求依赖于价格且不确定的情况,研究了闭环供应链中零售价格、订货数量和回收价格的决策问题。宋庆凤和赵静<sup>[5]</sup>在销售努力影响需求时,利用模糊变量刻画闭环供应链的不确定性,研究了集中决策和零售商主导下供应链的决策,指出销售努力可以提高零售商和系统的期望利润。易余胤和肖莉珺<sup>[6]</sup>在制造商为主导的闭环供应链中研究了成员定价、广告投入和回收率决策,并对比广告合作契约和特许经营契约的协调作用,发现后者可以实现闭环供应链的良好协调。易余胤和肖莉珺<sup>[7]</sup>进一步发现在具强零售商和广告影响的闭环供应链中最优回收模式为制造商回收,通道费契约可实现供应链的协调。郭峻<sup>[8]</sup>建立了供应商、制造商和消费者三方参与的定价博弈模型,研究可回收绿色产品的最优定价和绿色度问题。回顾文献可以看出,有关闭环供应链渠道决策的研究多着眼于价格和回收率,仅有少数关注非价格决策如产品绿色度和销售努力,较少研究关注非价格效应对成员决策及利润的影响。

产品绿色度是指产品对人和自然友好的程度<sup>[9]</sup>,例如产品有害物质含量、能耗水平、可回收性等等,已成为影响消费者购买决策的重要因素。在传统供应链中, Ghosh 和 Shah<sup>[1]</sup>研究渠道结构对供应链成员的产品绿色度、定价以及利润的影响,提出两部定价契约以实现供应链协调。Liu 等<sup>[10]</sup>利用博弈论研究竞争和消费者环保意识对供应链成员产品绿色度和价格决策的影响,指出消费者环保意识的提升可以使高环境友好度的企业受益。Zhang 和 Liu<sup>[11]</sup>研究市场需求和产品绿色度相关时三级供应链的决策情况,指出收入共享机制、Shapley 值法协调机制、不对称 Nash 谈判机制都可提升分散决策下供应链绩效。朱庆华和冀一杰<sup>[12]</sup>建立考虑产品绿色度和政府补贴的政府和两个竞争性生产商之间的博弈模型,研究生产商的定价和绿色度决策。马中华等<sup>[13]</sup>研究消费者有绿色度偏好下的供应链运作效率问题,指出绿色供应链存在效率损失,节点企业协同配合才能提高产品的绿色度。

广告投入、商品陈列、销售人员讲解和演示等企业销售努力行为同样是影响市场需求的重要因素。在考虑销售努力的供应链决策研究方面, Taylor<sup>[14]</sup>指出当零售商销售努力影响需求时,销售回扣契约和退货契约的组合可以使零售商投入最优促销努力,实现渠道协调。Karry<sup>[15]</sup>研究了一个制造商和一个零售商组成的分销渠道中成员定价和营销努力决策的最优顺序问题。Yue 等<sup>[16]</sup>在制造商和零售商都提供价格折扣时,研究供应链的定价和广告投入决策,发现制造商主导的情形相较于双方权力对等的情形对制造商更有利。Ma 等<sup>[17]</sup>在产品质量和销售努力同时影响需求的情况下,研究不同渠道权力结构下制造商和零售商的定价、质量提升和销售努力决策。Ma 等<sup>[18]</sup>又进一步提出了两部定价契约和费用共担契约相结合的新契约形式以实现制造商主导下的供应链的协调。徐最等<sup>[19]</sup>研究销售努力水平以加法形式和乘积形式影响需求时零售商的努力水平和订货数量决策,并提出限制性回购契约对供应链进行协调。张廷龙和梁樑<sup>[20]</sup>针对零售商销售努力影响的需求情况,指出零售商强势地位会影响制造商利润获取,信息结构是影响企业决策的重要因素,并探讨了基于努力成本分担的合作机制。

现有成果为进一步研究考虑产品绿色度和销售努力度的供应链决策提供了借鉴和思路,但可以看出较少研究同时考虑产品绿色度和销售努力度对需求的影响,少有研究在此背景下研究闭环供应链成员的决策和利润获取情况,更少有研究探讨具主导地位的零售商的营销策略选择问题。因此,本文以指导闭环供应链绿色运作为出发点,针对零售商主导的渠道结构,从循环再利用性、能耗水平、对环境和人的影响等方面考虑产品绿色度,从宣传绿色产品、促进绿色消费角度考虑销售努力度,并考虑绿色产品的定价和回收率决策,深入分析产品绿色效应和销售努力效应的变化对闭环供应链决策和利润获取的影响,探讨零售商的绿色营销策略和低价促销策略对供应链绩效的提升作用。

### 模型描述

本文研究单一制造商和单一零售商组成的由零售商主导的闭环供应链。制造商负责生产新产品和回收废旧品再制造,零售商负责销售制造商生产的产品。假设再造品和新产品同质,以相同的包装和价格销售<sup>[4, 21]</sup>,并且制造商有充分的供货能力,制造商与零售商之间的信息对称且完全。销售量依赖于销售价格、产品的绿色度以及零售商销售努力度。

本文中的符号说明如下:

$w$ : 制造商向零售商提供的单位批发价格;

$v$ : 零售商的单位零售利润;

$p$ : 零售商销售产品的单位销售价格  $p = w + v$ ;

$m$ : 回收单位产品支付给消费者的平均回收价格;

$g$ : 制造商产品绿色度, 假设制造商产品绿色投入(如技术创新、工艺调整、能耗检测等)成本为  $g$  的增函数, 且具有凸函数的性质, 设为  $\frac{1}{2}c_1g^2$ , 其中  $c_1$  是产品绿色成本系数;

$y$ : 零售商销售努力度, 假设零售商的销售努力(如卖场布置、广告宣传等)成本为  $y$  的增函数, 且具有凸函数的性质, 设为  $\frac{1}{2}c_2y^2$ , 其中  $c_2$  是销售努力成本系数;

$c_m$ : 制造商使用全新原材料生产的单位成本;

$c_r$ : 利用回收产品再制造的单位成本, 考虑到回收产品的质量和再造工艺不同,  $c_r$  为平均值, 且  $c_m > c_r$ , 制造商有回收再制造的动力, 即  $m \leq c_m - c_r$ ;

$\alpha$ : 废旧产品的回收率, 产品绿色度越高, 产品可回收再利用性越强, 制造商回收积极性越高, 假设制造商依据产品绿色度决定回收率  $\alpha = \theta g$ , 回收系数  $\theta$  是制造商的决策变量  $0 < \alpha < 1$ , 参考 Savaskan 等<sup>[21]</sup>的假设,  $\alpha = \sqrt{I/h}$ , 其中  $I$  代表对回收活动的投资,  $h$  代表规模参数, 因此有  $I = h\alpha^2$ 。制造商可回收产品的数量为  $\alpha D$ 。同时假设制造商生产产品时首先使用回收品作为原材料, 然后使用新材料生产, 因此制造商平均单位制造成本为  $c_m(1 - \alpha) + c_r\alpha$ ;

$D$ : 市场需求函数, 设  $D = a - bp + kg + ly$ , 其中  $a$  是没有产品绿色效应和销售努力效应时市场最大需求量,  $b$  是消费者对于零售价格的敏感系数,  $k$  是产品绿色效应, 代表产品绿色度对需求的影响程度,  $l$  是销售努力效应, 代表零售商销售努力对需求的影响程度, 且  $a, b, k, l > 0, a > bp$ ;

$\pi$ : 供应链总利润函数,  $\pi_m$  和  $\pi_r$  分别代表制造商和零售商的利润函数, 也分别是制造商和零售商的决策目标函数。  $w, g, \theta$  为制造商的决策变量,  $p$  和  $y$  是零售商的决策变量, 在集中决策模型中上标为  $c$ , 分散决策模型中上标为  $d$ 。

制造商、零售商和供应链的利润为:

$$\pi_m = (a - bp + kg + ly) [w - c_m(1 - \alpha) - c_r\alpha - m\alpha] - \frac{1}{2}c_1g^2 - h\alpha^2 \quad (1)$$

$$\pi_r = (a - bp + kg + ly) (p - w) - \frac{1}{2}c_2y^2 \quad (2)$$

$$\pi = (a - bp + kg + ly) [p - c_m(1 - \alpha) - c_r\alpha - m\alpha] - \frac{1}{2}c_1g^2 - \frac{1}{2}c_2y^2 - h\alpha^2 \quad (3)$$

### 1、集中决策模型——模型 C

在集中决策下, 制造商和零售商作为一个整体, 以闭环供应链总利润最大化为目标决定零售价、产品绿色度、销售努力度和回收系数, 即最大化式(3), 将  $\alpha = \theta g$  代入式(3) 然后求  $p, g, y, \theta$  的一阶导数, 联立  $\frac{\partial \pi}{\partial p} = 0$ ,

$\frac{\partial \pi}{\partial g} = 0, \frac{\partial \pi}{\partial y} = 0, \frac{\partial \pi}{\partial \theta} = 0$  求解可得:

$$p^{c*} = \frac{c_1c_2(a - bc_m) [2h - b(c_m - c_r - m)^2]}{2h(2bc_1c_2 - c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2} + c_m \quad (4)$$

$$g^{c*} = \frac{2c_2hk(a - bc_m)}{2h(2bc_1c_2 - c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2} \quad (5)$$

$$y^{c*} = \frac{2c_1hl(a - bc_m)}{2h(2bc_1c_2 - c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2} \quad (6)$$

$$\theta^* = \frac{bc_1(c_m - c_r - m)}{2hk} \quad (7)$$

$$\alpha^{c^*} = \theta^{c^*} g^{c^*} = \frac{bc_1c_2(c_m - c_r - m)(a - bc_m)}{2h(2bc_1c_2 - c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2} \quad (8)$$

把  $p^{c^*}$   $g^{c^*}$   $\theta^{c^*}$   $\alpha^{c^*}$  带入式(3)中,可得供应链的最优总利润为

$$\pi^{c^*} = \frac{hc_1c_2(a - bc_m)^2}{2h(2bc_1c_2 - c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2} \quad (9)$$

为保证均衡结果均为正值,回收率  $0 < \alpha^{c^*} < 1$  以及  $a > bp^c$ ,参数需要满足

$$h > \frac{bc_1c_2(c_m - c_r - m)(a - bc_r - bm)}{2(2bc_1c_2 - c_1k^2 - c_2l^2)} \quad c_2k^2 + c_1l^2 < bc_1c_2 \quad (10)$$

## 2、分散决策模型——模型 D

分散决策时,决策各方以自身利润最大化为目标。零售商作为 Stackelberg 博弈的主导者,在博弈第一阶段选择单位零售利润  $v$  和最优销售努力度  $y$ ,制造商在观察到零售商决策后决定最优的批发价格  $w$ ,产品绿色度  $g$  和回收系数  $\theta$ ,采用逆向归纳法求解如下:

制造商以自身利润最大化为目标决策,

$$\pi_m^d = [a - b(w + v) + kg + ly][w - c_m(1 - \theta g) - c_r\theta g - m\theta g] - \frac{1}{2}c_1g^2 - h(\theta g)^2 \quad (11)$$

对(11)式分别求  $w$   $g$   $\theta$  的导数,并联立一阶条件,可得到

$$w^d = \frac{c_1[a - b(c_m + v) + ly][2h - b(c_m - c_r - m)^2]}{2h(2bc_1 - k^2) - b^2c_1(c_m - c_r - m)^2} + c_m; \quad g^d = \frac{2hk[a - b(c_m + v) + ly]}{2h(2bc_1 - k^2) - b^2c_1(c_m - c_r - m)^2};$$

$$\theta^d = \frac{bc_1(c_m - c_r - m)}{2hk}$$

由于  $p = w + v$ ,将  $w^d$   $g^d$   $\theta^d$  带入零售商利润函数式(2),然后求  $v$   $y$  的导数,并联立一阶条件,可得到:

$$v^{d*} = \frac{(a - bc_m)c_2[2h(2bc_1 - k^2) - b^2c_1(c_m - c_r - m)^2]}{2b[h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]} \quad (12)$$

$$y^{d*} = \frac{c_1hl(a - bc_m)}{h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2} \quad (13)$$

将  $v^{d*}$  和  $y^{d*}$  带入  $w^d$   $g^d$   $\theta^d$  中,可得到

$$w^{d*} = \frac{c_1c_2(a - bc_m)[2h - b(c_m - c_r - m)^2]}{2[h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]} + c_m \quad (14)$$

$$g^{d*} = \frac{c_2hk(a - bc_m)}{h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2} \quad (15)$$

$$\theta^{d*} = \frac{bc_1(c_m - c_r - m)}{2hk} \quad (16)$$

进一步可得,

$$p^{d*} = \frac{(a - bc_m)c_2[h(3bc_1 - k^2) - b^2c_1(c_m - c_r - m)^2]}{b[h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]} + c_m \quad (17)$$

$$\alpha^{d*} = \frac{bc_1c_2(c_m - c_r - m)(a - bc_m)}{2[h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]} \quad (18)$$

再将结果带入式(1)、式(2)、式(3),可得制造商、零售商以及供应链的最优利润。

$$\pi_m^{d*} = \frac{hc_1c_2^2(a - bc_m)^2[2h(2bc_1 - k^2) - b^2c_1(c_m - c_r - m)^2]}{4[h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]^2} \quad (19)$$

$$\pi_r^{d*} = \frac{hc_1c_2(a - bc_m)^2}{2[h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]} \quad (20)$$

$$\pi^{d*} = \frac{hc_1c_2(a - bc_m)^2 [2h(6bc_1c_2 - 3c_2k^2 - c_1l^2) - 3b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]}{4[h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]^2} \quad (21)$$

在满足式(10)的情况下,以上结果均为正值,且回收率  $0 < \alpha^{d*} < 1$ ,  $a > bp^{d*}$ 。通过分析集中决策模型和分散决策模型的解可以得出结论1和结论2。

结论1:与集中决策相比,分散决策下的零售价更高,制造商产品的绿色度和零售商的销售努力度更低,最优回收率更低,供应链总利润更低。

证明:

$$p^{d*} - p^{c*} = \frac{c_2h(a - bc_m)(bc_1c_2 - c_2k^2 - c_1l^2)[2h(2bc_1 - k^2) - b^2c_1(c_m - c_r - m)^2]}{b[h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2][2h(2bc_1c_2 - c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]} > 0,$$

$$g^{d*} - g^{c*} = \frac{2c_2hk(a - bc_m)}{2[h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]} - \frac{2c_2hk(a - bc_m)}{2h(2bc_1c_2 - c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2} < 0,$$

$$\pi^{d*} - \pi^{c*} = \frac{-hc_1c_2(a - bc_m)^2 [2h(2bc_1c_2 - c_2k^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]^2}{4[h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2][h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]^2} < 0.$$

同理可证  $y^{d*} < y^{c*}$ ,  $\theta^{d*} < \theta^{c*}$ ,  $g^{d*} < g^{c*}$ 。

结论1表明,分散决策下供应链绩效低于集中决策。这是因为分散决策下制造商和零售商均追求自身利益最大化而导致“双重边际效应”,造成效率损失。所以供应链成员企业应积极合作以实现供应链绩效的提升。

结论2:零售价、制造商产品绿色度、零售商销售努力度、回收率、制造商和零售商的利润均与产品绿色效应和销售努力效应正相关。

证明:  $p^{c*}$ ,  $p^{d*}$ ,  $g^{c*}$ ,  $g^{d*}$ ,  $y^{c*}$ ,  $y^{d*}$ ,  $\alpha^{c*}$ ,  $\alpha^{d*}$ ,  $\pi_m^{c*}$ ,  $\pi_m^{d*}$ ,  $\pi_r^{c*}$ ,  $\pi_r^{d*}$  对  $k, l$  求偏导并与零比较,例如

$$\frac{\partial p^{d*}}{\partial k} = \frac{2c_2hk(a - bc_m)[h(2bc_1c_2 + c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]}{b[h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]^2} > 0,$$

$$\frac{\partial p^{d*}}{\partial l} = \frac{2c_1c_2hl(a - bc_m)[h(3bc_1 - k^2) - b^2c_1(c_m - c_r - m)^2]}{b[h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]^2} > 0,$$

类似可证明其余结果皆为正。

结论2表明,制造商和零售商都受益于产品绿色效应和销售努力效应的增加,获得更高的利润。其原因在于,产品绿色效应越大,绿色产品的市场反应越好,越能激励制造商增加承担绿色责任的投入,提高产品的绿色度,零售商投入更多的销售努力,从而迎合顾客绿色消费意愿,销售量随之增加,这又激励制造商提高废旧品的回收率以满足生产需求,零售商也会相应提高售价以弥补增加的成本投入,双方利润均增加。类似地,销售努力效应越大,越能激励零售商付出更多的销售努力,扩大其市场份额,而制造商也会借助此效应,提高产品绿色度,相应提高回收率,塑造绿色形象。

## 营销策略研究

由于分散决策时供应链绩效低于集中决策时,零售商作为供应链的主导者,需要采取营销策略以提高制造商合作的积极性,增加产品销售收入,从而提升供应链绩效。本文研究当零售商采取绿色营销策略和低价促销策略时,制造商和零售商的决策以及利润获取情况,以指导零售商的营销策略选择。

### 1、绿色营销策略——模型 DT

在此策略中,零售商根据制造商产品绿色度确定销售努力度,设  $y = tg$ ,即销售努力度随制造商产品绿色度的提高而提高,  $t$  为销售努力度随产品绿色度增加的程度,  $t > 0$ 。零售商作为供应链主导者,在博弈第一阶

段选择单位零售利润  $v$  ,制造商随后决定最优的产品绿色度  $g$  ,批发价格  $w$  和回收系数  $\theta$  。此时制造商和零售商的利润为:

$$\pi_m^{dt} = [a - b(w + v) + kg + ltg][w - c_m(1 - \theta g) - c_r\theta g - m\theta g] - \frac{1}{2}c_1g^2 - h(\theta g)^2 \quad (22)$$

$$\pi_r^{dt} = [a - b(w + v) + kg + ltg]v - \frac{1}{2}c_2t^2g^2 \quad (23)$$

同样采用逆向归纳法进行求解 ,制造商最大化式(22) ,类似分散决策模型的求解过程 ,可得到制造商对零售商决策的反应式:

$$w^{dt} = \frac{c_1[a - b(c + v)][2h - b(c_m - c_r - m)^2]}{2h[2bc_1 - (k + lt)^2] - b^2c_1(c_m - c_r - m)^2} + c_m; g^{dt} = \frac{2h[a - b(c + v)](k + lt)}{2h[2bc_1 - (k + lt)^2] - b^2c_1(c_m - c_r - m)^2};$$

$$\theta^{dt} = \frac{bc_1(c_m - c_r - m)}{2h(k + lt)}.$$

将  $w^{dt}$  ,  $g^{dt}$  ,  $\theta^{dt}$  带入零售商利润函数 ,最大化式(23) ,求  $v$  的导数并令其为 0 ,可得

$$v^{dt*} = \frac{(a - bc_m)[2h(2bc_1^2 - (c_1 - c_2t^2)(k + lt)^2) - b^2c_1^2(c_m - c_r - m)^2]}{2b[h(4bc_1^2 - (2c_1 - c_2t^2)(k + lt)^2) - b^2c_1^2(c_m - c_r - m)^2]} \quad (24)$$

进一步可得到

$$w^{dt*} = \frac{c_1^2(a - bc_m)[2h - b(c_m - c_r - m)^2]}{2h[4bc_1^2 - (2c_1 - c_2t^2)(k + lt)^2] - 2b^2c_1^2(c_m - c_r - m)^2} + c_m \quad (25)$$

$$p^{dt*} = \frac{(a - bc_m)[h(3bc_1^2 - (c_1 - c_2t^2)(k + lt)^2) - b^2c_1^2(c_m - c_r - m)^2]}{b[h(4bc_1^2 - (2c_1 - c_2t^2)(k + lt)^2) - b^2c_1^2(c_m - c_r - m)^2]} + c_m \quad (26)$$

$$g^{dt*} = \frac{c_1h(a - bc_m)(k + lt)}{h[4bc_1^2 - (2c_1 - c_2t^2)(k + lt)^2] - b^2c_1^2(c_m - c_r - m)^2} \quad (27)$$

$$\alpha^{dt*} = \frac{bc_1^2(a - bc_m)(c_m - c_r - m)}{2h[4bc_1^2 - (2c_1 - c_2t^2)(k + lt)^2] - 2b^2c_1^2(c_m - c_r - m)^2} \quad (28)$$

$$y^{dt*} = \frac{tc_1h(a - bc_m)(k + lt)}{h[4bc_1^2 - (2c_1 - c_2t^2)(k + lt)^2] - b^2c_1^2(c_m - c_r - m)^2} \quad (29)$$

再将结果带入式(22)和式(23)中 ,进而可得制造商、零售商以及供应链的最优利润。

$$\pi_m^{dt*} = \frac{hc_1^3(a - bc_m)^2[2h(2bc_1 - (k + lt)^2) - b^2c_1(c_m - c_r - m)^2]}{4[h(4bc_1^2 - (2c_1 - c_2t^2)(k + lt)^2) - b^2c_1^2(c_m - c_r - m)^2]^2} \quad (30)$$

$$\pi_r^{dt*} = \frac{hc_1^2(a - bc_m)^2}{2[h(4bc_1^2 - (2c_1 - c_2t^2)(k + lt)^2) - b^2c_1^2(c_m - c_r - m)^2]} \quad (31)$$

$$\pi^{dt*} = \frac{hc_1^2(a - bc_m)^2[2h(6bc_1^2 - (3c_1 - c_2t^2)(k + lt)^2) - 3b^2c_1^2(c_m - c_r - m)^2]}{4[h(4bc_1^2 - (2c_1 - c_2t^2)(k + lt)^2) - b^2c_1^2(c_m - c_r - m)^2]^2} \quad (32)$$

为保证均衡结果均为正值 ,回收率  $0 < \alpha^{dt*} < 1$  以及  $a > bp^{dt*}$  ,参数需要满足

$$h > \frac{bc_1^2(c_m - c_r - m)(a + bc_m - 2bc_r - 2bm)}{2[4bc_1^2 - (2c_1 - c_2t^2)(k + lt)^2]} (k + lt)^2 < bc_1 \quad (33)$$

绿色营销策略的实施效果与  $t$  值的选择密切相关 ,零售商采取此策略的前提是可以获得高于未采取此策略的利润 ,即保证  $\pi_r^{dt} \geq \pi_r^{dt*}$  。实施此策略的目标之一是激励制造商提高产品绿色度 ,即实现  $g^{dt} \geq g^{dt*}$  ;此策略的目标之二是提升供应链总利润 ,即实现  $\pi^{dt} \geq \pi^{dt*}$  。取三个不等式解的交集可以得到  $t$  的取值范围。 $t$  取值越大 ,即销售努力随产品绿色度增加的程度越大 ,越能激励制造商提高产品绿色度 ,零售商随之投入更多的销售努力 ,提高产品的销量。同时 ,零售商作为渠道的主导者 ,具有优先定价权 ,它倾向于提高零售利润来弥补对销售努力的投资。但制造商受零售商主导力量的制约 ,批发价格提升幅度较小 ,当其产品绿色度的投入大于销量提高为其带来的销售收入增加时 ,制造商的利润或将受损。 $t$  的取值对各均衡结果的影响以及此策

略对供应链绩效的提升作用将在算例分析中详细说明。

### 2、低价促销策略——模型 DC

在产品绿色度和销售努力度都影响需求的情况下,基于传统的两部定价契约思想,本文提出低价促销策略,研究在零售商的主导下双方采取此策略时对供应链绩效的提升作用。在此策略中,零售商提出当产品绿色度达到一定水平时,将采取以批发价格直销、增加销售努力以大力促销产品,但是要向制造商收取费用  $F$  作为利润分成。此时制造商和零售商的利润表示为:

$$\pi_m^{dc} = [a - b(w + v) + kg + ly][w - c_m(1 - \theta g) - c_r\theta g - m\theta g] - \frac{1}{2}c_1g^2 - h(\theta g)^2 - F \quad (34)$$

$$\pi_r^{dc} = [a - b(w + v) + kg + ly]v - \frac{1}{2}c_2y^2 + F \quad (35)$$

为达到集中决策时供应链的绩效,双方约定零售商在制造商产品的绿色度达到集中决策水平时,将投入集中决策下较高的销售努力度,并以批发价格销售产品,确定利润分成。即  $g^{dc*}$  满足式(5),  $y^{dc*}$  满足式(6),  $v^{dc*} = 0$ 。如果制造商同意采纳此策略,则在此基础上做出最优决策,最大化式(34),求解可得:

$$w^{dc*} = \frac{c_1c_2(a - bc_m)[2h - b(c_m - c_r - m)^2]}{2h(2bc_1c_2 - c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2} + c_m \quad (36)$$

$$\theta^{dc*} = \frac{bc_1(c_m - c_r - m)}{2hk} \quad (37)$$

$$\alpha^{dc*} = \frac{bc_1c_2(c_m - c_r - m)(a - bc_m)}{2h(2bc_1c_2 - c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2} \quad (38)$$

此时,零售商、制造商和供应链的总利润分别为:

$$\pi_r^{dc*} = F - \frac{2c_1^2c_2h^2l^2(a - bc_m)^2}{[2h(2bc_1c_2 - c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]^2} \quad (39)$$

$$\pi_m^{dc*} = \frac{hc_1c_2(a - bc_m)^2[2hc_2(2bc_1 - k^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]}{[2h(2bc_1c_2 - c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]^2} - F \quad (40)$$

$$\pi^{dc*} = \frac{hc_1c_2(a - bc_m)^2}{2h(2bc_1c_2 - c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2} \quad (41)$$

为保证此契约的顺利实施,需要满足  $\pi_r^{dc} \geq \pi_r^{d*}$ ,  $\pi_m^{dc} \geq \pi_m^{d*}$ , 其中  $\pi_r^{d*}$  是零售商的保留利润,  $\pi_m^{d*}$  是制造商的保留利润。 $F$  的取值范围是  $[F_-, \bar{F}]$ , 其中

$$F_- = \frac{hc_1c_2^3(a - bc_m)^2[2h(2bc_1 - k^2) - b^2c_1(c_m - c_r - m)^2]^2}{2[h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2][2h(2bc_1c_2 - c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]^2} \quad (42)$$

$$\bar{F} = \frac{hc_1c_2^3(a - bc_m)^2[2h(2bc_1 - k^2) - b^2c_1(c_m - c_r - m)^2]^2[2h(6bc_1c_2 - 3c_2k^2 - 2c_1l^2) - 3b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]}{4[h(4bc_1c_2 - 2c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]^2[2h(2bc_1c_2 - c_2k^2 - c_1l^2) - b^2c_1c_2(c_m - c_r - m)^2]^2} \quad (43)$$

在满足式(10)的前提下,以上结果均为正值,通过比较低价促销策略模型和集中决策模型的解可以得出结论3。

结论3: 低价促销策略下零售价、产品绿色度、销售努力度以及回收率都达到了集中决策下的水平,零售商的利润和制造商的利润不低于分散决策下的利润,整个系统的利润达到集中决策的水平。

结论3表明,低价促销策略不仅可以有效地激励制造商提升产品绿色度和回收率,减小闭环供应链运作过程中对环境的不利影响,而且零售商以低价将产品销售给消费者、投入更多的销售努力,有利于宣传绿色理念、倡导绿色生活。得益于销售量的增加,闭环供应链利润获得大幅提升。

## 算例分析

通过算例比较不同决策情形下零售商主导的闭环供应链的定价、产品绿色度、销售努力和回收率决策,以及利润获取情况,进一步分析相关参数对绿色营销策略和低价促销策略的影响,比较两种营销策略,为闭环供

供应链成员决策的制定提供指导。闭环供应链中相关参数为:  $a = 400$   $b = 4$   $k = 20$   $l = 10$   $c_m = 50$   $c_r = 30$   $m = 10$   $c_1 = 300$   $c_2 = 300$   $h = 800$ 。

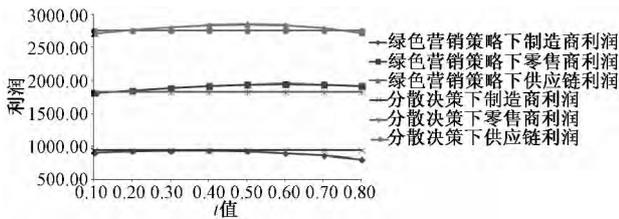
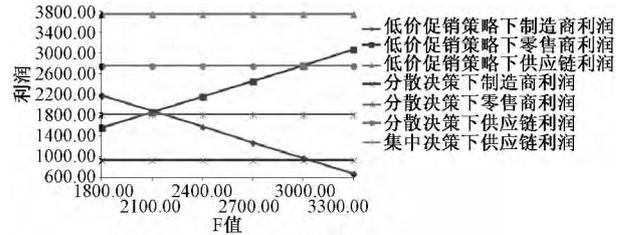
基于以上参数,不同决策情形下供应链的最优决策和利润如表 1 所示。在集中决策情形下求解得到表 1 中模型 C 所对应的结果。在分散决策情形下计算可得表 1 中模型 D 所对应的结果。在绿色营销策略中,零售商依据制造商产品绿色度来确定销售努力度  $y = tg$ ,为保证零售商获得高于未采取此策略的利润,将参数值代入式(31)和式(20)计算  $\pi_r^{dt} \geq \pi_r^{d*}$  可得  $t$  值取值区间(0.13, 1.00];为实现产品绿色度的提升,将参数值代入式(27)和式(15)计算  $g^{dt} \geq g^{d*}$  可得  $t$  值取值区间(0.04, 1.86);为实现供应链总利润的提高,将参数值代入式(32)和(21)计算  $\pi^{dt} \geq \pi^{d*}$  可得  $t$  值取值区间(0.18, 0.76)。取三个区间的交集可得  $t$  的取值区间(0.18, 0.76)。为分析  $t$  值的变动对成员最优决策和利润的影响,计算  $t$  在 [0.1, 0.8] 内,以 0.1 为间隔取值时,不同值所对应的最优决策和利润如表 1 中模型 DT 对应的结果所示。在低价促销策略中,将参数值代入式(42)和式(43)可以得到固定费用  $F$  的取值范围 [2052.56, 3047.74],  $F$  的具体取值由双方谈判确定,其上、下限所对应的均衡解和利润即表 1 中模型 DC 所对应的结果。

表 1 模型求解结果

模型	$t$ 值 或 $F$ 值	批发 价格 $w$	销售 价格 $p$	产品绿色 度 $g$	销售努力 度 $y$	回收率 $\alpha$	制造商 利润 $\pi_m$	零售商 利润 $\pi_r$	供应链 利润 $\pi$
C	—	—	78.13	2.50	1.25	0.94	—	—	3750.00
D	—	63.64	89.39	1.21	0.61	0.45	936.64	1818.18	2754.82
DT	0.10	63.54	88.58	1.26	0.13	0.45	901.76	1805.92	2707.68
DT	0.20	63.84	88.99	1.35	0.27	0.46	917.20	1845.38	2762.58
DT	0.30	64.11	89.48	1.44	0.43	0.47	926.51	1881.11	2807.62
DT	0.40	64.33	90.06	1.53	0.61	0.48	927.33	1910.73	2838.06
DT	0.50	64.49	90.74	1.61	0.80	0.48	917.21	1931.59	2848.80
DT	0.60	64.56	91.52	1.68	1.01	0.49	894.05	1940.89	2834.94
DT	0.70	64.52	92.40	1.74	1.22	0.48	856.42	1935.98	2792.40
DT	0.80	64.36	93.36	1.79	1.43	0.48	804.04	1914.63	2718.67
DC	2052.56	78.13	78.13	2.50	1.25	0.94	1931.82	1818.18	3750.00
DC	3047.74	78.13	78.13	2.50	1.25	0.94	936.64	2813.36	3750.00

在表 1 中对比模型 C 和模型 D 的均衡结果,可知闭环供应链在集中决策下具有更高的绩效表现。对比模型 C、模型 D 和模型 DT 的结果可以发现,绿色营销策略下产品的绿色程度  $g$  和回收率  $\alpha$  都大于分散决策的水平,当  $t$  大于 0.40 时,零售商的销售努力度  $y$  也高于分散决策的水平,但是此时销售价格  $p$  相应提高了。在 [0.1, 0.8] 内,供应链成员利润和总利润随  $t$  值的变动趋势如图 1 所示。图 1 直观地反映出当  $t$  在区间 (0.18, 0.76) 内取值时,零售商利润和供应链总利润都大于分散决策所对应的结果,但此时制造商利润略有减少。结合表 1 可知其原因在于零售商的销售努力虽然逐步提高,但是它通过提高销售价格弥补了增加的成本,提升了自身的利润;制造商产品的绿色度比分散决策下有较大提高,回收率有所提高,承担绿色责任付出的成本相应增加,且受零售商压制无法大幅提高批发价格,造成利润下滑;总体而言绿色营销策略可增加供应链利润。值得注意的是:对于制造商而言,短期利润虽略有受损,但是绿色营销策略可以提升企业绿色形象,增加品牌声誉,此无形资产的增加有利于制造商获取市场份额。因此,只要利润损失在可接受范围内,制造商可接受此策略。对于消费者而言,产品绿色度和价格同时提高,购买决策依赖于消费者的绿色消费意识。这启示零售商在绿色销售宣传时应当着力突出产品为消费者、为环境带来的潜在利益,以助消费者购买决策的做出。

在表 1 中对比模型 C、模型 D、模型 DC 的均衡结果发现,低价促销策略下,零售商以批发价格销售产品,价格  $p$ 、产品绿色度  $g$ 、销售努力程度  $y$ 、产品回收率  $\alpha$  都与集中决策相同,供应链成员利润和总利润随  $F$  值的变动趋势如图 2 所示。由图 2 可知当  $F$  在 [2052.56, 3047.74] 中取值时,随着  $F$  值的增加制造商利润减少而

图1 绿色营销策略下  $t$  值对供应链利润的影响图2 低价促销策略下  $F$  值对供应链利润的影响

零售商利润增加,但制造商和零售商的利润都不低于分散决策下的利润,总利润可以提升至集中决策时的水平。其原因在于虽然制造商为达到零售商规定的产品绿色度所承担的成本增加,但制造商大幅提升回收率以节约原材料成本,且零售商以批发价格促销,销量大幅提高、销售收入随之增加,制造商利润提高,零售商收取的固定费用  $F$  不仅弥补了其低价促销的损失而且增加了利润。此时,消费者可以以较低的价格购买绿色程度较高的产品,因此低价促销策略在短期和长期对制造商、零售商以及消费者都有利。

对比绿色营销策略和低价促销策略可知,低价促销策略对闭环供应链绩效提升作用更显著,实现了闭环供应链的良好协调。这是因为在绿色营销策略中,零售商虽然将销售努力与产品绿色度相关联达到激励制造商提高产品绿色度、增加销量的目的,但是零售商的加价行为妨碍了销量的增加,利用主导优势压制批发价格的行为对制造商利润造成不利影响,从而使供应链总利润并未大幅提升。在低价促销策略中,零售商与制造商达成共识以低价销售高绿色度的产品、通过费用  $F$  进行利润再分配,促使销量增加,制造商的批发价格也获得相应提高,双方利润均不受损,供应链利润获得显著增加,制造商和零售商可建立长期战略合作关系以致力于闭环供应链的可持续发展,实现共赢。

## 结 论

本文研究了由单一制造商和单一零售商组成的零售商主导的闭环供应链,在考虑产品绿色度和销售努力度影响市场需求的情况下,运用博弈论研究了集中决策和分散决策模型下供应链成员的定价、产品绿色度、销售努力度和回收率决策,进行对比并分析了产品绿色效应和销售努力效应对企业决策和利润的影响,在此基础上考察了零售商的绿色营销策略和低价促销策略对闭环供应链绩效的提升作用,为零售商营销策略的选择提供参考,最后进行了数值分析。

结果表明:(1)与集中决策相比,分散决策下零售价更高,制造商产品绿色度和零售商的销售努力度更高、回收率更低,供应链总利润更低;(2)零售价、制造商产品绿色度、零售商销售努力度、回收率、制造商和零售商的利润均与产品绿色效应和销售努力效应正相关;(3)绿色营销策略可使产品绿色度提高、零售商和供应链总利润增加,制造商短期利润受损但品牌声誉的增加有利于长期利润的获取,消费者需要为绿色产品支付的价格提高;(4)低价促销策略可以使零售价、产品绿色度、销售努力度、回收率以及总利润均达到集中决策的水平,同时零售商利润和制造商利润均不受损,消费者以较低的价格获得绿色产品;(5)绿色营销策略和低价促销策略均可以提高产品的绿色度和闭环供应链总利润,但是低价促销策略对供应链绩效的提升作用更显著,对制造商、零售商和消费者均有利。

本文基于已有成果在零售商主导型闭环供应链中研究了产品绿色度和销售努力度影响市场需求时闭环供应链成员的决策,探讨了零售商的营销策略选择,对闭环供应链的可持续运营具有指导意义。本文在许多方面仍可进一步深化,如研究多级闭环供应链中成员决策问题、考虑新产品和再造品差别定价的情况、考虑供应不确定和需求不确定的情况等等,这些都是值得拓展研究的方向,我们将在后续的工作中完成。

### 参考文献:

- [1] 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
- [2] Choi T., Li Y., Xu L. Channel Leadership Performance and Coordination in Closed Loop Supply Chains [J]. *International Journal of*

- nal of Production Economics ,2013 ,146( 1) : 371-380
- [3] Guide V. D. R. ,Van Wassenhove L. N. OR FORUM—The Evolution of Closed-loop Supply Chain Research [J]. Operations Research ,2009 ,57( 1) : 10-18
- [4] Shi J. ,Zhang G. ,Sha J. Optimal Production and Pricing Policy for a Closed Loop System [J]. Resources ,Conservation and Recycling ,2011 ,55( 6) : 639-647
- [5] 宋庆凤,赵静. 模糊闭环供应链的定价与销售努力决策 [J]. 计算机工程与应用 ,2011 ,47( 36) : 21-24
- [6] 易余胤,肖莉珺. 考虑广告影响的闭环供应链协调 [J]. 管理评论 ,2012 ,24( 11) : 44-50 69
- [7] 易余胤,肖莉珺. 具强零售商和广告影响的闭环供应链模型 [J]. 系统科学与数学 ,2011 ,31( 11) : 1467-1477
- [8] 郭峻. 可回收绿色产品的最优定价 [J]. 云南财经大学学报 ,2011 ,5( 5) : 24-30
- [9] Dangelico R. M. ,Pontrandolfo P. From Green Product Definitions and Classifications to the Green Option Matrix [J]. Journal of Cleaner Production ,2010 ,18( 16-17) : 1608-1628
- [10] Liu Z. L. ,Anderson 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
- [11] Zhang C. ,Liu L. Research on Coordination Mechanism in Three-level Green Supply Chain under Non-cooperative Game [J]. Applied Mathematical Modelling ,2013 ,37( 5) : 3369-3379
- [12] 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
- [13] 马中华,贾晓霞,何娟. 需求与产品绿色度相关条件下供应链的运作效率分析 [J]. 科技与管理 ,2012 ,14( 4) : 40-46
- [14] Taylor T. A. Supply Chain Coordination Under Channel Rebates with Sales Effort Effects [J]. Management Science ,2002 ,48( 8) : 992-1007
- [15] Karry S. Periodicity of Pricing and Marketing Efforts in a Distribution Channel [J]. European Journal of Operational Research ,2013 ,228( 3) : 635-647
- [16] Yue J. ,Austin J. ,Huang Z. ,et al. Pricing and Advertisement in a Manufacturer-Retailer Supply Chain [J]. European Journal of Operational Research ,2013 ,231( 2) : 492-502
- [17] Ma P. ,Wang H. ,Shang J. Supply Chain Channel Strategies with Quality and Marketing Effort-dependent Demand [J]. International Journal of Production Economics ,2013 ,144( 2) : 572-581
- [18] Ma P. ,Wang H. ,Shang J. Contract Design for Two-stage Supply Chain Coordination: Integrating Manufacturer-quality and Retailer-marketing Efforts [J]. International Journal of Production Economics ,2013 ,146( 2) : 745-755
- [19] 徐最,朱道立,朱文贵. 销售商努力水平影响需求情况下的供应链回购契约 [J]. 系统工程理论与实践 ,2008 ,4( 1) : 1-11
- [20] 张廷龙,梁樑. 不同渠道权力结构和信息结构下供应链定价和销售努力决策 [J]. 中国管理科学 ,2012 ,20( 2) : 68-77
- [21] Savaskan R. C. ,Bhattacharya S. ,Wassenhove L. V. Closed-loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing [J]. Management Science ,2004 ,50( 2) : 239-253

*Decision-making in Closed-loop Supply Chain with Dominant Retailer Considering Products' Green Degree and Sales Effort*

*Gao Juhong ,Han Hongshuai ,Hou Liting and Wang Haiyan*

( School of Management and Economics ,Tianjin University ,Tianjin 300072)

**Abstract:** Considering the impact of products' green degree and retailer's sales effort on demand , to study the decision-making in a Closed-Loop Supply Chain ( CLSC) with dominant retailer , a CLSC model composed of a single manufacturer and a single retailer is constructed. Under centralized and decentralized decision-making models , the decisions of pricing , products' green degree , retailer's sales effort and return rate are studied by using game theory , and the impact of green effect and sales effort effect on decisions and profit of the CLSC system is analyzed. Then the role of green marketing strategy and low-price promotion strategy on enhancing the performance of CLSC is studied and the numerical analysis is presented. The results show that the total profit in decentralized decision-making is less than that in centralized decision-making; all decision variables and profits of the CLSC are positively correlated to green effect and sales effort effect; the low-price promotion strategy is better than green marketing strategy in improving the performance of CLSC.

**Key words:** closed-loop supply chain , products' green degree , sales effort , game theory , marketing strategy