

Supply Chain Decision and Coordination of Demand with Product Green Degree and Service Level

Dongdong Zhang, Handong Wang

School of Economic and Management, Shanghai Maritime University, Shanghai
Email: yd_zhang1993@163.com

Received: Feb. 3rd, 2017; accepted: Feb. 20th, 2017; published: Feb. 23rd, 2017

Abstract

This article aims at a supply chain consisting of a manufacturer and a retailer, considers green degree and service level, and establishes centralized decision-making model and Stackelberg game model dominated by manufacturers, respectively. The two models are compared in terms of product green degree, service level, retail price, supply chain profits, etc. To realize Pareto improvement of supply chains, a two-part tariff coordination strategy should be further proposed. Finally, the influence of green product R&D cost factor, service cost factor on pricing and the gross profit of supply chain is discussed through model verification analyzed by calculation examples.

Keywords

Product Green Degree, Service Level, Stackelberg Game, Coordinating Mechanism

需求依赖产品绿色度和服务水平的 供应链决策与协调

张东东, 王汉东

上海海事大学经济管理学院, 上海
Email: yd_zhang1993@163.com

收稿日期: 2017年2月3日; 录用日期: 2017年2月20日; 发布日期: 2017年2月23日

摘要

本文针对由一个制造商和一个零售商组成的供应链系统, 考虑产品绿色度和服务水平, 分别建立集中决

策模型和以制造商为主导的Stackelberg博弈模型,对两种模型在产品绿色度、服务水平、零售价格和供应链利润等方面进行比较分析,进一步提出两部定价协调策略,以实现供应链帕累托改进。通过算例分析对模型进行验证,探讨了绿色产品研发成本因子、服务成本因子对定价和利润的影响。

关键词

产品绿色度, 服务水平, Stackelberg博弈, 协调机制

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球经济发展和科技进步的浪潮下,消费者的消费理念已发生巨大变化,他们不仅注重产品的质量和性能,对企业的服务水平和产品的绿色程度也提出更高要求。因此,在研究供应链中制造商和零售商的博弈行为时,考虑产品绿色度和服务水平具有现实意义。

近年来,国内外关于考虑产品绿色度和服务水平的供应链研究已有相关文献。Lu等[1]建立了制造商主导、零售商主导和垂直纳什三种渠道模型,研究了三种渠道下由制造商提供服务对渠道决策的影响。Wu[2]研究了再制造努力、服务和定价决策的均衡特征,探讨了价格和服务不同组合竞争下的成员利润。Zhao和Wang[3]研究了由一个制造商和两个零售商组成的供应链,在模糊不确定的环境下,确定最佳定价和零售服务策略。Jena和Sarmah[4]研究了在需求和收购情况不确定的条件下,两个再制造公司的定价和服务策略。Kolay[5]探讨了供应链成员应如何提供使需求增加的服务,并由此对制造商产品质量决策、渠道选择和消费者福利带来的影响。王磊等[6]针对由一个生产商和一个提供服务的零售商组成的供应链,分别在生产商Stackelberg(MS)、纵向纳什(VN)、零售商Stackelberg(RS)三种渠道权力结构下,研究了零售商的公平偏好对博弈均衡的影响机制。Dan等[7]采用两阶段优化技术和Stackelberg博弈方法,研究了集中式和分散式双渠道供应链下的最优定价和零售商服务,并分析了零售服务和顾客忠诚对厂商定价行为与零售商的零售渠道的影响。江世英和李随成[8]建立了考虑产品绿色度的四种绿色供应链博弈模型,对四种博弈模型在产品绿色度、产品价格以及批发价格等方面进行了比较分析,并进一步建立了收益共享契约下的博弈模型。Li等[9]在集中和分散的情况下,利用Stackelberg博弈模型确定供应链成员的最佳定价和产品绿化策略。Ghosh和Shah[10]研究了由一个制造商一个零售商组成的绿色供应链,确定最优定价和绿色化水平,并通过协调实现供应链的帕累托改进。Conrad等[11]建立了一个双寡头模型,假设两制造企业生产成本相同,采用博弈论研究消费者的环境意识如何影响产品绿色度、产品价格和企业市场份额。Liu等[12]等研究了消费者的绿色偏好和企业横向竞争程度对绿色供应链运作的影响。

上述研究仅仅考虑制造商提供服务、零售商提供服务或产品绿色度的某个方面,没有考虑到现实生活中三者对供应链决策的交叉影响。本文基于以上研究,综合考虑制造商与零售商的服务水平以及产品绿色化程度,分别讨论集中决策模型与分散决策模型下的最佳决策,通过设计协调机制促使供应链实现帕累托改进。

2. 符号说明与模型假设

本文所讨论的二级绿色供应链是由一个制造商和一个零售商组成的。制造商负责生产绿色度为 β 的

产品, 其生产单位该产品的边际成本为 c , 以价格 ω 把产品批发给零售商并向其提供一定的服务 s_m , 零售商则以价格 p 销售该产品并为顾客提供一定服务 s_r 。为方便研究, 本文做如下假设:

假设 1 制造商和零售商都处于完全信息状态下, 作为理性经济人, 都以各自的利润最大为决策原则, 且均为风险中性。

假设 2 产品市场需求函数 $D(p, s_r, s_m, \beta) = a - \lambda p + \theta_r s_r + \theta_m s_m + b\beta$, 消费者对该产品的需求量与 a 、 s_r 、 s_m 和 β 成正相关, 与 p 成负相关, 这表明消费者喜欢“物美价廉”的产品, 即产品绿色度和服务水平越高, 价格越低, 消费者越愿意购买。其中, λ 、 θ_r 、 θ_m 和 b 分别为市场对产品零售价格、零售商服务水平、制造商服务水平和产品绿色度的敏感系数。

假设 3 制造商和零售商在提供服务和提高产品绿色度时, 需要一定成本。参考 Tsay [13] 和 D'Aapremen [14], 则制造商和零售商的服务成本分别为 $c_{sr} = \frac{k_r}{2} s_r^2$ 和 $c_{sm} = \frac{k_m}{2} s_m^2$, 研发生产绿色产品的成本为 $c_g = \frac{h}{2} \beta^2$, k_r 、 k_m 和 h 分别为零售商服务成本因子、零售商服务成本因子和制造商研发绿色产品成本因子。

3. 集中决策模型

在集中决策模型下, 制造商和零售商以供应链整体利润最大化进行决策。

供应链总利润函数为:

$$\max_{p, s_r, s_m, \beta} \pi_{sc}^C = (p - c)(a - \lambda p + \theta_r s_r + \theta_m s_m + b\beta) - \frac{k_r}{2} s_r^2 - \frac{k_m}{2} s_m^2 - \frac{h}{2} \beta^2$$

命题 1 利润函数 π_{sc}^C 存在唯一最优解 $(p^{C*}, s_r^{C*}, s_m^{C*}, \beta^{C*})$ 的充分条件为:

$$hk_r \theta_m^2 + k_m \left((b^2 - 2h\lambda) k_r + h\theta_r^2 \right) < 0.$$

证明利润函数 π_{sc}^C 关于 p, s_r, s_m, β 的 Hessian 矩阵 $H(p, s_r, s_m, \beta) = \begin{bmatrix} -2\lambda & \theta_r & \theta_m & b \\ \theta_r & -k_r & 0 & 0 \\ \theta_m & 0 & -k_m & 0 \\ b & 0 & 0 & -h \end{bmatrix}$, 容易计算

得到, $|H_1| = -2\lambda < 0$, $|H_2| = 2\lambda k_r - \theta_r^2$, $|H_3| = k_r \theta_m^2 + k_m (-2\lambda k_r + \theta_r^2)$,

$|H_4| = -hk_r \theta_m^2 - k_m \left((b^2 - 2h\lambda) k_r + h\theta_r^2 \right)$, 当 $-hk_r \theta_m^2 - k_m \left((b^2 - 2h\lambda) k_r + h\theta_r^2 \right) > 0$, 即

$hk_r \theta_m^2 + k_m \left((b^2 - 2h\lambda) k_r + h\theta_r^2 \right) < 0$ 时, $|H_4| > 0$, 容易证得 $|H_2| > 0$ 且 $|H_3| < 0$, 此时 $H(p, s_r, s_m, \beta)$ 负定。

因此 π_{sc}^C 是关于 p, s_r, s_m, β 的严格凸函数, 故 π_{sc}^C 存在唯一最优解 $(p^{C*}, s_r^{C*}, s_m^{C*}, \beta^{C*})$ 。

求解得到:

$$p^{C*} = c - \frac{h(a - c\lambda)k_m k_r}{hk_r \theta_m^2 + k_m \left((b^2 - 2h\lambda) k_r + h\theta_r^2 \right)}$$

$$s_r^{C*} = \frac{h(-a + c\lambda)k_m \theta_r}{hk_r \theta_m^2 + k_m \left((b^2 - 2h\lambda) k_r + h\theta_r^2 \right)}$$

$$s_m^{C*} = \frac{h(-a + c\lambda)k_r \theta_m}{hk_r \theta_m^2 + k_m \left((b^2 - 2h\lambda) k_r + h\theta_r^2 \right)}$$

$$\beta^{C*} = \frac{b(-a + c\lambda)k_m k_r}{hk_r \theta_m^2 + k_m \left((b^2 - 2h\lambda) k_r + h\theta_r^2 \right)}$$

$$\pi_{sc}^{C*} = \frac{h(a-c\lambda)^2 k_m k_r}{-2(hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 2h\lambda)k_r + h\theta_r^2))}$$

4. 分散决策模型

4.1. 分散决策模型下的均衡结果

在分散决策模型下, 制造商、零售商都以各自利益最大化来进行决策, 它们遵循的是非合作时的主从关系, 以制造商为主导、零售商跟从进行两阶段的 Stackelberg 博弈。博弈顺序为: 第一阶段, 制造商作为 Stackelberg 的领导者, 首先制定最优批发价格 ω 、最优服务水平 s_m 和最优产品绿色度 β ; 第二阶段, 零售商根据制造商的已知决策, 确定使自身利益达到最大的最优销售价格 p 和最优服务水平 s_r 。采用逆向归纳法求解该博弈。

零售商和制造商的利润函数分别为:

$$\begin{aligned} \max_{p, s_r} \pi_r^D &= (p - \omega)(a - \lambda p + \theta_r s_r + \theta_m s_m + b\beta) - \frac{k_r}{2} s_r^2 \\ \max_{\omega, s_m, \beta} \pi_m^D &= (\omega - c)(a - \lambda p + \theta_r s_r + \theta_m s_m + b\beta) - \frac{k_m}{2} s_m^2 - \frac{h}{2} \beta^2 \end{aligned}$$

命题 2 当 $2\lambda k_r > \theta_r^2$ 时, 目标函数 π_r^D 存在唯一最优解 (p^{D*}, s_r^{D*}) ; 当 $hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2) < 0$ 时, 目标函数 π_m^D 存在唯一最优解 $(\omega^{D*}, s_m^{D*}, \beta^{D*})$ 。

证明过程同命题 1, 受篇幅限制, 这里不再给出。

求解得到:

$$\begin{aligned} \omega^{D*} &= \frac{ch\lambda k_r \theta_m^2 + k_m(\lambda(b^2 c - 2h(a + c\lambda))k_r + h(a + c\lambda)\theta_r^2)}{\lambda(hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2))} \\ s_m^{D*} &= \frac{h(-a + c\lambda)k_r\theta_m}{hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2)} \\ \beta^{D*} &= \frac{b(-a + c\lambda)k_m k_r}{hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2)} \\ p^{D*} &= \frac{\lambda k_r((b^2 c - h((3a + c\lambda))k_m + ch\theta_m^2) + h(a + c\lambda)k_m\theta_r^2)}{\lambda(hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2))} \\ s_r^{D*} &= \frac{h(-a + c\lambda)k_m\theta_r}{hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2)} \end{aligned}$$

制造商利润、零售商利润和供应链总利润分别为:

$$\begin{aligned} \pi_r^{D*} &= \frac{h^2(a - c\lambda)^2 k_m k_r (2\lambda k_r - \theta_r^2)}{2(hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2))^2} \\ \pi_m^{D*} &= \frac{h(-a + c\lambda)^2 k_m k_r}{2k_r((b^2 - 4h\lambda)k_m + h\theta_m^2) + 4hk_m\theta_r^2} \end{aligned}$$

$$\pi_{sc}^{D^*} = \frac{h(a-c\lambda)^2 k_m k_r (hk_r \theta_m^2 + k_m ((b^2 - 6h\lambda)k_r + 3h\theta_r^2))}{-2(hk_r \theta_m^2 + k_m ((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2))^2}$$

4.2. 相关参数变化对均衡结果影响

针对上述均衡结果进行分析, 主要分析产品的绿色度与服务水平的反应强度对均衡结果影响, 以获得供应链管理和各成员决策方面的启示。可得到如下命题:

$$\text{命题 4 } \textcircled{1} \frac{\partial p^{D^*}}{\partial \theta_r} > 0, \frac{\partial p^{D^*}}{\partial \theta_m} > 0, \frac{\partial p^{D^*}}{\partial b} > 0; \textcircled{2} \frac{\partial \omega^{D^*}}{\partial \theta_r} > 0, \frac{\partial \omega^{D^*}}{\partial \theta_m} > 0, \frac{\partial \omega^{D^*}}{\partial b} > 0.$$

$$\text{证明 } \frac{\partial p^{D^*}}{\partial \theta_r} = \frac{2h(a-c\lambda)k_m k_r ((b^2 + 2h\lambda)k_m + h\theta_m^2)\theta_r}{\lambda(hk_r \theta_m^2 + k_m ((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2))^2} > 0, \text{ 同理可证其他各式。证毕。}$$

命题 4 说明, 当对产品的绿色度和服务水平要求提高时, 消费者会付出更高的交易成本。具体表现为: 随着产品的绿色化程度和服务水平增加时, 制造商和零售商的运营成本会增加, 批发价格和零售价格都会相应增加, 消费者若消费该产品, 必然需要付出更高成本。

$$\text{命题 5 } \textcircled{1} \frac{\partial s_r^{D^*}}{\partial \theta_r} > 0, \frac{\partial s_r^{D^*}}{\partial \theta_m} > 0, \frac{\partial s_r^{D^*}}{\partial b} > 0; \textcircled{2} \frac{\partial s_m^{D^*}}{\partial \theta_r} > 0, \frac{\partial s_m^{D^*}}{\partial \theta_m} > 0, \frac{\partial s_m^{D^*}}{\partial b} > 0; \textcircled{3} \frac{\partial \beta^{D^*}}{\partial \theta_r} > 0, \frac{\partial \beta^{D^*}}{\partial \theta_m} > 0, \frac{\partial \beta^{D^*}}{\partial b} > 0.$$

$$\text{证明 } \frac{\partial s_r^{D^*}}{\partial \theta_r} = \frac{h(a-c\lambda)k_m (hk_r \theta_m^2 - k_m ((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2))}{(hk_r \theta_m^2 + k_m ((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2))^2} > 0, \text{ 同理可证其他各式。证毕。}$$

命题 5 表明, 当消费者对产品绿色化程度和服务水平提出更高要求时, 制造商、零售商会生产、销售更为绿色产品并改善自身的服务水平。由③可以看出, 随着市场对服务水平敏感系数增加时, 制造商生产的产品会更为绿色。

$$\text{命题 6 } \textcircled{1} \frac{\partial \pi_r^{D^*}}{\partial \theta_r} > 0, \frac{\partial \pi_r^{D^*}}{\partial \theta_m} > 0, \frac{\partial \pi_r^{D^*}}{\partial b} > 0; \textcircled{2} \frac{\partial \pi_m^{D^*}}{\partial \theta_r} > 0, \frac{\partial \pi_m^{D^*}}{\partial \theta_m} > 0, \frac{\partial \pi_m^{D^*}}{\partial b} > 0.$$

$$\text{证明 } \frac{\partial \pi_r^{D^*}}{\partial \theta_r} = \frac{h^2(a-c\lambda)^2 k_m^2 k_r \theta_r (hk_r \theta_m^2 + k_m ((b^2 + 4h\lambda)k_r - 2h\theta_r^2))}{-(hk_r \theta_m^2 + k_m ((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2))^3} > 0, \text{ 同理可证其他各式。证毕。}$$

命题 6 表明, 随着市场需求越来越看重产品的绿色度和服务水平, 制造商零售商会跟随市场提高产品的绿色度和服务水平, 虽然这会引发批发价格和零售价格的增加, 但消费者更愿意接受高品质服务水平和较为绿色的产品, 从而刺激对该产品的需求, 最终带动制造商和零售商利润的增加。

5. 基于两部定价合约的供应链协调策略

将集中决策和分散决策下的均衡结果进行比较, 会得出以下命题:

命题 7 $p^{C^*} < p^{D^*}$, $s_r^{C^*} > s_r^{D^*}$, $s_m^{C^*} > s_m^{D^*}$, $\beta^{C^*} > \beta^{D^*}$, 即集中决策下产品零售价格低于分散决策下的零售价格, 而服务水平和产品的绿色度要高于分散决策时的服务水平和产品的绿色度。

$$\text{证明 } p^{C^*} - p^{D^*} = \frac{h(a-c\lambda)k_m (2\lambda k_r - \theta_r^2)(hk_r \theta_m^2 + k_m ((b^2 - h\lambda)k_r + h\theta_r^2))}{\lambda(hk_r \theta_m^2 + k_m ((b^2 - 2h\lambda)k_r + h\theta_r^2))(hk_r \theta_m^2 + k_m ((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2))} < 0, \text{ 同理可得,}$$

$s_r^{C^*} - s_r^{D^*} \Rightarrow 0$; $s_m^{C^*} - s_m^{D^*} \Rightarrow 0$; $\beta^{C^*} - \beta^{D^*} \Rightarrow 0$ 。证毕。

命题 7 表明, 集中决策时不仅能降低产品的零售价格, 而且使得零售商和制造商的服务水平有所提高, 同时还提高了制造商生产产品的绿色程度。此时消费者可以获得更高的效用, 环境也得到保护。

命题 8 $\pi_{sc}^{C^*} > \pi_{sc}^{D^*}$, 即集中决策时供应链的总利润高于分散决策下供应链总利润。

证明 $\pi_{sc}^{C^*} - \pi_{sc}^{D^*} = \frac{h^3(a-c\lambda)^2 k_m^3 k_r (2\lambda k_r - \theta_r^2)^2}{-2(hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 2h\lambda)k_r + h\theta_r^2))(hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2))^2} > 0$ 。证毕。

命题 8 表明, 分散决策存在双重边际效应, 使得制造商和零售商的利润尚未达到最优, 存在进一步优化的空间。由命题 7 和命题 8 可知, 分散决策存在的双重边际效应使供应链整体利润造成损失。因此, 制造商和零售商可以考虑通过合作协调的方式对供应链进行优化, 使双方都能获得比原来更多的利润。

基于两部定价合约[15], 零售商以制造商设定的批发价格销售产品, 并与集中决策一样提供更多的服务, 而零售商向制造商收取固定费用 F 作为补贴。为了实现供应链的协调, 所有定价和服务水平决策应与集中决策相同, 以此来达到集中决策的绩效。固定费用 F 是由双方协商得到, 受成员讨价还价能力的影响。为了保证协调策略顺利实施, 制造商和零售商的利润不应小于它们各自在分散决策中的利润。

制造商和零售商的利润函数如下:

$$\pi_m^F = (\omega - c)(a - \lambda\omega + \theta_r s_r + \theta_m s_m + b\beta) - \frac{k_m}{2} s_m^2 - \frac{h}{2} \beta^2 - F$$

$$\pi_r^F = F - \frac{k_r}{2} s_r^2$$

命题 9 在两部定价策略下, 制造商和零售商的最优决策如下:

$$p^{F^*} = \omega^{F^*} = c - \frac{h(a-c\lambda)k_m k_r}{hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 2h\lambda)k_r + h\theta_r^2)}$$

$$s_r^{F^*} = \frac{h(-a+c\lambda)k_m\theta_r}{hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 2h\lambda)k_r + h\theta_r^2)}$$

$$s_m^{F^*} = \frac{h(-a+c\lambda)k_r\theta_m}{hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 2h\lambda)k_r + h\theta_r^2)}$$

$$\beta^{F^*} = \frac{b(-a+c\lambda)k_m k_r}{hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 2h\lambda)k_r + h\theta_r^2)}$$

从而得到利润如下:

$$\pi_m^{F^*} = \frac{h(a-c\lambda)^2 k_m k_r^2 ((2h\lambda - b^2)k_m - h\theta_m^2)}{2(hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 2h\lambda)k_r + h\theta_r^2))^2} - F$$

$$\pi_r^{F^*} = F - \frac{h^2(a-c\lambda)^2 k_m^2 k_r \theta_r^2}{2(hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 2h\lambda)k_r + h\theta_r^2))^2}$$

$$\pi_{sc}^{F^*} = \frac{h(a-c\lambda)^2 k_m k_r}{-2(hk_r\theta_m^2 + k_m((b^2 - 2h\lambda)k_r + h\theta_r^2))}$$

由于制造商和零售商的利润都必须不小于它们各自在分散决策中的利润, 即

$\pi_m^{F*} \geq \pi_m^{D*}$, $\pi_r^{F*} \geq \pi_r^{D*}$ 。因此, 固定费用 F 的取值范围为:

$$\begin{aligned} & h^2(a-c\lambda)^2 k_m^2 k_r \left(2\lambda k_r^3 \left((b^2 - 2h\lambda)k_m + h\theta_m^2 \right)^2 + 4h^2 \lambda^2 k_m^2 k_r^2 \theta_r^2 \right. \\ & \quad \left. + 2hk_m k_r \left((b^2 - 5h\lambda)k_m + h\theta_m^2 \right) \theta_r^4 + 3h^2 k_m^2 \theta_r^6 \right) \\ \bar{F}^* = & \frac{}{2 \left(hk_r \theta_m^2 + k_m \left((b^2 - 2h\lambda)k_r + h\theta_r^2 \right) \right)^2 \left(hk_r \theta_m^2 + k_m \left((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2 \right) \right)^2} \\ \bar{F}^* = & \frac{h^2(a-c\lambda)^2 k_m^2 k_r \left(2\lambda k_r^3 \left((b^2 - 2h\lambda)k_m + h\theta_m^2 \right) + hk_m \theta_r^4 \right)}{2 \left(hk_r \theta_m^2 + k_m \left((b^2 - 2h\lambda)k_r + h\theta_r^2 \right) \right)^2 \left(hk_r \theta_m^2 + k_m \left((b^2 - 4h\lambda)k_r + 2h\theta_r^2 \right) \right)} \end{aligned}$$

命题 10 $p^{F*} = p^{C*}$, $s_r^{F*} = s_r^{C*}$, $s_m^{F*} = s_m^{C*}$, $\beta^{F*} = \beta^{C*}$, $\pi_{sc}^{F*} = \pi_{sc}^{C*}$; $\pi_m^{F*} \geq \pi_m^{D*}$, $\pi_r^{F*} \geq \pi_r^{D*}$ 。

命题 10 意味着两部定价策略可以将分散决策下的供应链的绩效改进到集中决策的水平。制造商和零售商同意 F , 因为可以确保他们的利润不会比分散决策模型降低, 虽然没有零售利润率, 零售商得到制造商的补偿 F 在可使零售商获利, 制造商的利益来源于不断增加的市场需求, 获得更多的销售和回报。整体而言, 两部定价策略有利于整个供应链协调, 并提升消费者满意度和环境保护, 供应链成员的协作可以长期促进供应链的持续运营。

6. 算例分析

6.1. 均衡结果分析

假设将参数设定为: $a=100$, $c=2$, $\lambda=5$, $\theta_r=3$, $\theta_m=2$, $b=1$, $k_r=4$, $k_m=3$, $h=6$ 。经验证, 设定的参数值满足前述中所有命题成立条件, 各模型存在最优解。将参数代入 (\bar{F}^*, \bar{F}^*) 中, 得到固定费用 F 的范围: $393.420 \leq F \leq 591.994$, 相关计算结果如表 1 所示。从表 1 中可以看出, 集中决策下产品零售价格低于分散决策下的零售价格, 在集中决策下, 制造商和零售商能提供更高的服务水平, 此时制造商生产的产品的绿色度更高, 供应链总利润较分散决策时有所提高。通过两部定价合约协调后, 供应链所有的定价、服务水平和产品绿色度都能达到集中决策时的均衡结果, 并且制造商和零售商的利润都比分散决策时有所提高。这与前述命题一致。

6.2. 灵敏度分析

在 4.2 部分, 通过理论证明分析了产品的绿色度与服务水平的反应强度对均衡结果影响, 受篇幅限制, 本部分将不利用数值重复论述, 仅对产品的绿色度与服务水平的成因子进行灵敏度分析。

令 $a=100, c=2, \lambda=5, \theta_r=3, \theta_m=2, b=1, k_r=4, k_m=3$, 得到图 1、图 2。当制造商产品绿色度的成本因子增加时, 制造商生产单位产品的成本增加, 此时制造商会降低产品绿色度以此降低生产成本, 产品绿色度的降低会引起消费者对该产品的需求减少, 为弥补这种需求减少, 制造商会降低批发价格, 从而带动产品零售价格的降低, 这时供应链整体利润减少。

令 $a=100, c=2, \lambda=5, \theta_r=3, \theta_m=2, b=1, h=6$, 得到图 3、图 4。当制造商和零售商的服务成本因子增加时, 提供单位服务水平其成本会增加, 制造商和零售商会通过降低其服务水平来减少服务成本, 服务水平的下降会影响消费者对该产品的需求, 为刺激对该产品的需求, 此时制造商和零售商会降低产品的批发价格和零售价格, 从而供应链利润减少。

7. 结语

本文探讨了由一个制造商和一个零售商组成的二级绿色供应链, 引入产品绿色度和服务水平, 分别

Table 1. Equilibrium results under three decision-making models

表 1. 三种决策模型下均衡结果

决策模型	均衡结果							
	ω	p	s_m	s_r	B	π_m	π_r	π_{sc}
集中决策	-	16.400	9.600	10.080	2.400	-	-	648.000
分散决策	11.964	18.393	4.286	4.821	1.071	289.286	160.140	449.426
协调决策	16.400	16.400	9.600	10.080	2.400	(289.286, 487.860)	(160.140, 358.714)	648.000

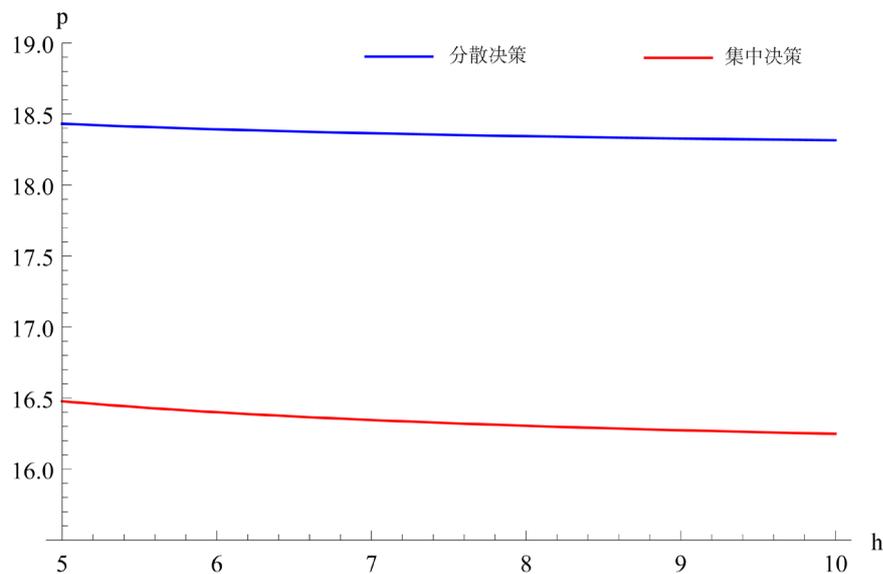


Figure 1. The relationship between the product retail price and R&D cost factor

图 1. 产品零售价格与研发成本因子之间的关系图

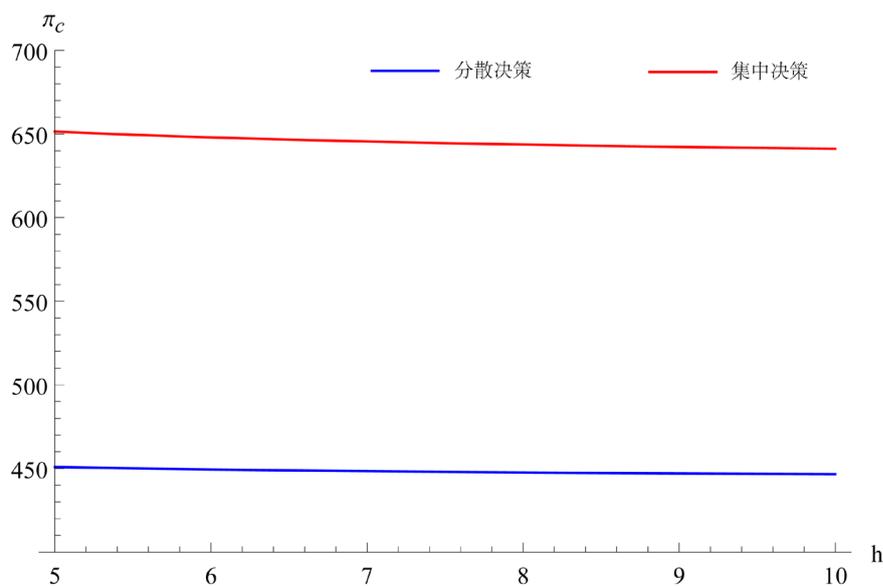


Figure 2. The relationship between the gross profit of supply chain and R&D cost factor

图 2. 供应链总利润与研发成本因子之间的关系

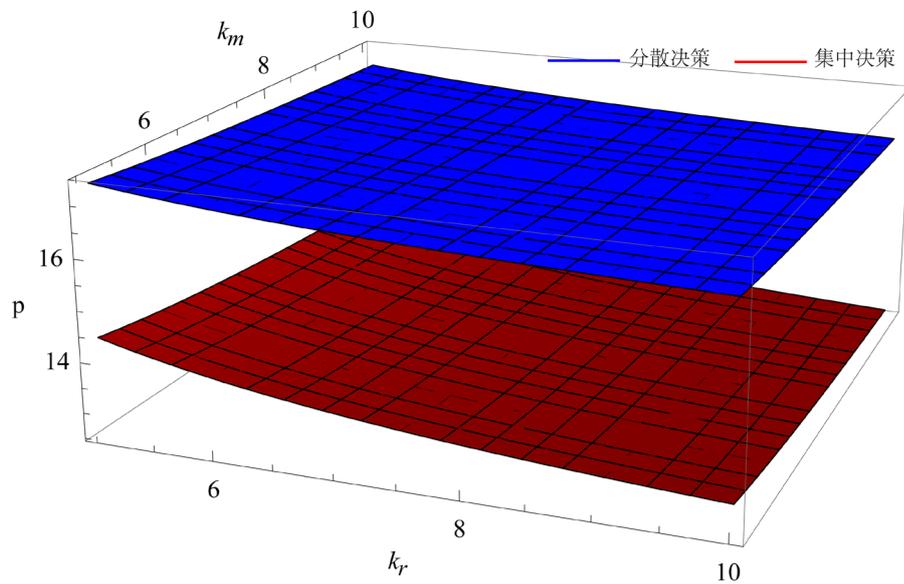


Figure 3. The relationship between the product retail price and service cost factor
图 3. 产品零售价格与服务成本因子之间的关系图

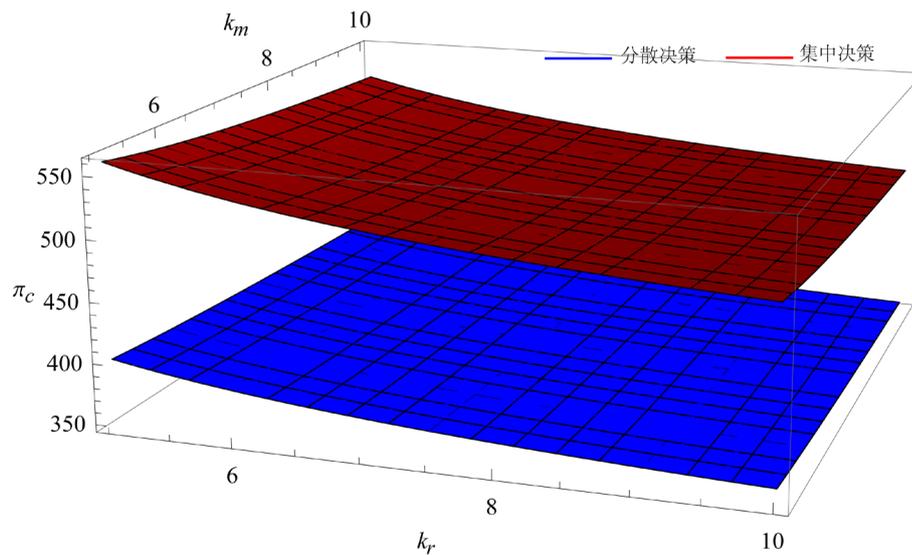


Figure 4. The relationship between the gross profit of supply chain and service cost factor
图 4. 供应链利润与服务成本因子之间的关系

建立集中决策模型和分散决策模型,研究了产品绿色度和服务水平的相关影响因素对供应链决策的影响,最后设计两部定价协调机制对供应链进行协调,以实现帕累托改进。通过研究,得到以下结论。市场对产品的绿色度和服务水平的反应强度增加会促使制造商和零售商提供更高的服务水平,且制造商生产的产品绿色度也会提高,与此同时,产品的批发价格和零售价格会相应增加,从而带动供应链利润的增加。产品绿色度和服务水平的成本因子增加会导致制造商和零售商降低各自提供的服务水平,同时制造商生产的产品绿色度也会降低,此时为了弥补市场需求的下跌,制造商和零售商对降低各自的产品价格,但供应链的利润依然会降低。由于集中决策模型下供应链各成员决策优于分散决策模型下供应链各成员的决策,通过两部定价协调机制,不仅可以使供应链决策达到集中决策时的水平,也可使制造商和零售商

的利润提高。

本文存在进一步研究的空间, 可在本文的供应链模型基础上引入碳排放限制, 也可通过引入奖惩机制来分析制造商生产产品的绿色度和供应链服务水平。

参考文献 (References)

- [1] Lu, J.C., Tsao, Y.C. and Charoensiriwath, C. (2011) Competition under Manufacturer Service and Retail Price. *Economic Modelling*, **28**, 1256-1264. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2011.01.008>
- [2] Wu, C.H. (2012) Price and Service Competition between New and Remanufactured Products in a Two-Echelon Supply Chain. *International Journal of Production Economics*, **140**, 496-507. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.06.034>
- [3] Zhao, J. and Wang, L.S. (2015) Pricing and Retail Service Decisions in Fuzzy Uncertainty Environments. *Applied Mathematics and Computation*, **250**, 580-592. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2014.11.005>
- [4] Jena, S.K. and Sarmah, S.P. (2016) Price and Service Co-Opetition under Uncertain Demand and Condition of Used Items in a Remanufacturing System. *International Journal of Production Economics*, **173**, 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.11.019>
- [5] Kolay, S. (2015) Manufacturer-Provided Services vs. Retailer-Provided Services: Effect on Product Quality, Channel Profits and Consumer Welfare. *International Journal of Research in Marketing*, **32**, 124-154. <https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2015.02.006>
- [6] 王磊, 戴更新, 孙浩. 零售商提供服务且具有公平偏好的供应链博弈研究[J]. 系统工程, 2015, 33(6): 1-9.
- [7] Dan, B., Xu, G.Y. and Liu, K. (2012) Pricing Policies in a Dual-Channel Supply Chain with Retail Services. *International Journal of Production Economics*, **139**, 312-320. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.05.014>
- [8] 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, 2016, 23(6): 169-176.
- [9] Li, B., Zhu, M.Y., Jiang, Y.S. and Li, Z.H. (2016) Pricing Policies of a Competitive Dual-Channel Green Supply Chain. *Journal of Cleaner Production*, **112**, 2029-2042. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.017>
- [10] Ghosh, D. and Shah, J. (2015) Supply Chain Analysis under Green Sensitive Consumer Demand and Cost Sharing Contract. *International Journal of Production Economics*, **164**, 319-329. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.005>
- [11] Conrad, K. (2005) Price Competition and Product Differentiation When Consumers Care for the Environment. *Environmental & Resource Economics*, **31**, 1-19. <https://doi.org/10.1007/s10640-004-6977-8>
- [12] Liu, Z.G., Anderson, T.D. and Cruz, J.M. (2012) Consumer Environmental Awareness and Competition in Two-Stage Supply Chains. *European Journal of Operational Research*, **218**, 602-613. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.11.027>
- [13] Tsay, A.A. and Agrawal, N. (2000) Channel Dynamics under Price and Service Competition. *Manufacturing and Service Operations Management*, **2**, 372-391. <https://doi.org/10.1287/msom.2.4.372.12342>
- [14] D'Aspremont, C. and Jacquemin, A. (1988) Cooperative and Noncooperative R&D in Duopoly with Spillovers. *American Economic Review*, **78**, 1133-1137.
- [15] Gao, J.H., Han, H.S., Hou, L.T. and Wang, H.Y. (2016) Pricing and Effort Decisions in a Closed-Loop Supply Chain under Different Channel Power Structures. *Journal of Cleaner Production*, **112**, 2043-2057. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.066>

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ass@hanspub.org