

考虑零售商和制造商公平关切的双渠道绿色供应链定价策略

孟建业

南京邮电大学管理学院, 江苏 南京

收稿日期: 2024年9月2日; 录用日期: 2024年9月29日; 发布日期: 2024年11月12日

摘要

公平关切是零售商和制造商定价决策中的一个重要影响因素, 以往相关研究大多假设仅零售商或制造商存在公平关切。本文建立了制造商和零售商均考虑公平关切时的双渠道模型, 分析了公平关切水平、绿色制造水平、绿色投资水平和零售渠道忠诚度对最优绿色度、批发价格、零售价格、供应链及其成员利润的影响。此外, 本文比较了有无公平关切时供应链及其成员的最优利润, 且分析了公平关切水平对有无公平关切时供应链及其成员利润差的影响。结果表明, 公平关切水平对供应链和制造商利润起着负向影响, 当绿色投资水平较大时对零售商利润起着正向影响。其次, 绿色投资水平和绿色制造水平对最优绿色度、批发价格、零售价格、供应链及其成员利润始终起着相反的作用。最后, 通过数值实验验证了理论部分的正确性, 并在批发价格为零的情况下分析了公平关切水平对最优绿色度、批发价格、零售价格、供应链及其成员利润的影响。

关键词

双渠道, 绿色供应链, 公平关切, 绿色投资, 定价策略

Pricing Strategy for a Dual-Channel Green Supply Chain under Fairness Concerns of Retailers and Manufacturers

Jianye Meng

School of Management, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing Jiangsu

Received: Sep. 2nd, 2024; accepted: Sep. 29th, 2024; published: Nov. 12th, 2024

文章引用: 孟建业. 考虑零售商和制造商公平关切的双渠道绿色供应链定价策略[J]. 电子商务评论, 2024, 13(4): 2650-2660. DOI: 10.12677/ecl.2024.1341440

Abstract

Fairness concerns are an important influence in the pricing strategy of retailers and manufacturers, however most of the previous studies on the subject assumed the existence of fairness concerns only for retailers or manufacturers. This paper developed a dual-channel model when both manufacturers and retailers consider fairness concerns, and analyzed the impact of the levels of fairness concerns, green manufacturing, green investment, and retail channel loyalty on the optimal greenness, the wholesale price, the retail price, and the profits of the supply chain and its members. In addition, this paper compared the optimal profits of supply chain and its members with and without fairness concerns, and analyzed the impact of fairness concerns on the profit difference of the supply chain and its members between the existence and non-existence of fairness concerns. The results show that the level of fairness concerns negatively affects profits of the supply chain and the manufacturer, and positively affects retailer profits when the level of green investment is large. Secondly, the level of green investment and the level of green manufacturing always play opposite roles to the optimal greenness, the wholesale price, the retail price, and the profits of the supply chain and its members. Finally, we verified the correctness of the theoretical part through numerical experiments and analyzed the impact of the levels of fairness concerns on the optimal greenness, the wholesale price, the retail price, and the profits of the supply chain and its members in the case of zero wholesale price.

Keywords

Dual-Channel, Green Supply Chains, Fairness Concern, Green Investment, Pricing Strategy

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

由西方主导的前三次工业革命在带来科技进步、财富积累的同时，也带来了气候变化、环境污染等生态危机，“黑色发展”模式不可持续已逐渐成为全球共识。为应对环境问题，世界各国纷纷致力于绿色可持续性发展。例如，2011年3月16日，我国《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》正式将绿色发展和应对气候变化议题纳入“十二五”国民经济和社会发展规划，被认为是中国首个国家级绿色发展规划[1]。2019年12月11日，欧盟委员会发布了《欧洲绿色新政(European Green Deal)》，提出到2050年欧洲要在全球范围内率先实现气候中和。随着这些环境保护政策的出台，建设环保型企业已成为全球企业发展面临的迫切任务之一。例如，联合利华(Unilever)在供应链中积极推动绿色和可持续实践。该公司计划在2030年前，将全球工厂生产过程中的直接碳排放降至零，并致力于在2039年前实现其整个价值链上的净零碳排放。为了实现这些目标，该公司对供应链中所有关键原材料的碳足迹进行了评估，并采取措施减少供应链中的间接排放。

近年来，我国电子商务行业发展迅速，这导致许多制造商如国美和戴尔纷纷开设在线直销渠道来销售产品。在线销售产品有助于提高产品的市场总需求，但也导致了制造商和零售商之间的竞争更加激烈。此外，行为研究发现，在现实生活中人们往往对公平性表现出极大的关注，即公平关切[2]。在公平关切行为的作用下，人们有可能会在感到不公平时以己方利益受损为代价采取行动达到惩罚对方的目的。例

如,全球最大的袜业企业浪沙针织有限公司在2007年停止了与沃尔玛的业务往来,就是因为其认为利润分配不公平。电子商务的发展和公平关切因素增加了供应链的复杂性。因此,本文研究了零售商和制造商公平关切下双渠道绿色供应链中绿色产品的定价策略。具体地,主要研究了以下问题:当制造商和零售商考虑公平关切时,公平关切水平、零售渠道忠诚度、绿色投资水平和绿色制造水平如何影响最优绿色度、批发价格、零售价格、供应链及其成员利润,及公平关切水平如何影响有无公平关切时供应链及其成员利润差?

与本文相关的第一类文献是绿色供应链最优定价策略的研究。冯颖等[3]以一个绿色制造商和一个零售商组成的绿色供应链为研究对象,探究了制造商承担社会责任及政府对制造商实施补贴对供应链运作的影响。Hou等[4]构建了一个基于演化博弈的决策模型来评估政府行为对从事绿色供应链的企业的影响。结果表明,政府罚款和补贴均激励企业选择绿色供应链。陈克兵等[5]根据制造商间不同的渠道权力结构建立了绿色供应链模型,研究了渠道权力结构对产品定价、绿色成本投入以及供应链成员利润的影响。上述研究考虑的仅是单渠道绿色供应链,而本文考虑的是双渠道绿色供应链。

与本文相关的第二类文献是双渠道供应链中的决策研究。陈克兵和王雨琦[6]构建了一个由政府为领导者,制造商和零售商为跟随者组成的供应链博弈模型,研究了绿色技术投入对制造商渠道结构选择的影响。王文隆等[7]构建了考虑低碳努力的双渠道供应链模型,得到了制造商和零售商分别在批发价格契约和收益共享契约下的最优决策。研究发现,制造商偏好批发价格契约,零售商偏好收益共享契约。Qiu等[8]将虚拟陈列室行为(VSB)引入双渠道供应链,探讨了制造商建立虚拟展厅和零售商支持消费者VSB的条件。与上述大多数文献不同的是,本文研究的是双渠道绿色供应链。文献[6][7]虽然考虑的是双渠道绿色供应链,然而本文还引入了公平关切因素。

与本文相关的第三类文献是公平关切对供应链决策的影响研究。张玲红等[9]通过考虑零售商公平中性或公平关切时是否进行碳减排成本分担建立了四个模型,研究发现零售商考虑公平关切不利于提高环境质量。Xue和Wang[10]提出了一种由收益共享和回购契约组成的联合契约来协调具有公平关切的风险规避型零售商的双渠道供应链。上述文献研究了单个主体公平关切对环境质量、协调机制等的影响,而本文研究的是零售商和制造商相同公平关切水平下的供应链定价问题。

基于此,本文在两种渠道定价一致的前提下,构建了制造商和零售商考虑公平关切时的双渠道模型,分析了公平关切水平、零售渠道忠诚度、绿色制造水平和绿色投资水平对最优绿色度、批发价格、零售价格、供应链及其成员利润的影响。其次,比较了有无公平关切时供应链及成员的最优利润,且分析了公平关切水平对有无公平关切时供应链及其成员利润差的影响。最后,通过数值实验证了理论部分的正确性,并在批发价格为零的情况下分析了公平关切水平对最优绿色度、批发价格、零售价格、供应链及其成员利润的影响。

2. 问题描述与假设

考虑一个绿色制造商和一个绿色零售商构成的供应链。制造商作为Stackelberg博弈领导者,零售商为跟随者。制造商通过直销渠道和零售渠道销售绿色产品。在双渠道供应链中,为了避免渠道冲突,假设制造商采用一致定价策略,即直销价格与零售价格一致。该供应链的决策顺序是:(1)制造商决定产品的绿色度和批发价格;(2)零售商根据产品的绿色度与批发价格决定产品的零售价格。为了建立模型,提出以下假设:

假设1:制造商和零售商均是公平关切的,即制造商和零售商的决策原则均是期望效用最大化原则[11]。

假设2:绿色产品的需求是由零售价格和绿色度决定。为了减少渠道冲突,假设制造商在双渠道中采

用一致的定价策略, 即直销渠道的价格与零售渠道的价格相等。不失一般性, 假设 $c \leq w \leq p$, 其中 c 是产品的单位生产成本, w 是单位批发价格, p 是单位零售价格。为了简化模型, 假设 $c=0$ [12]。因此, 需求函数为:

$$Q_t^D = \rho - bp + \beta\theta, \quad (1)$$

$$Q_d^D = 1 - \rho - bp + \beta\theta, \quad (2)$$

其中, 上标 D 代表双渠道模型, 下标 t 和 d 分别表示零售渠道和直销渠道, Q_t 和 Q_d 分别表示零售渠道和直销渠道中绿色产品的需求; ρ 和 $1 - \rho$ 分别表示消费者对零售渠道和直销渠道的忠诚度($0 \leq \rho \leq 1$); p 代表零售渠道和直销渠道的价格; θ 为产品的绿色度; β ($0 < \beta < 1$) 为顾客对绿色度的敏感度, 即绿色制造水平; $b = 1 - k$ ($0 < b < 1$), 其中 k ($0 < k < 1$) 代表交叉价格敏感性。

假设 3: 制造商成本由两部分组成: 产品的生产成本和绿色创新成本。绿色创新成本为 $\frac{1}{2}h\theta^2$, 其中 h 表示绿色投资水平[13]。为了使得本文模型中制造商利润和效用函数的黑塞矩阵负定, 假设 $h > \frac{2\beta^2}{3b}$ 。

3. 制造商和零售商考虑公平关切的双渠道模型

本节研究了制造商和零售商均考虑相同的公平关切水平时的双渠道模型中制造商和零售商的定价决策, 及公平关切水平、绿色制造水平、绿色投资水平和零售渠道忠诚度对该模型中最优绿色度、批发价格、零售价格、供应链及成员利润的影响。当制造商和零售商考虑公平关切时, 在双渠道模型中, 零售商和制造商的利润和效用函数为:

$$\pi_r^{BFD} = (p - w)(\rho - bp + \beta\theta), \quad (3)$$

$$\pi_m^{BFD} = w(\rho - bp + \beta\theta) + p(1 - \rho - bp + \beta\theta) - \frac{1}{2}h\theta^2, \quad (4)$$

$$U_r^{BFD} = \pi_r^{BFD} - \lambda(\pi_m^{BFD} - \pi_r^{BFD}), \quad (5)$$

$$U_m^{BFD} = \pi_m^{BFD} - \lambda(\pi_r^{BFD} - \pi_m^{BFD}), \quad (6)$$

其中, 上标 BFD 表示制造商和零售商考虑相同公平关切水平时的双渠道模型, λ ($\lambda > 0$) 为公平关切水平。命题 1 给出了该模型中的最优解(* 表示最优解)。

命题 1 在制造商和零售商考虑公平关切的双渠道模型中, 产品的最优绿色度、批发价格、零售价格、供应链及成员利润如下: $\theta^{BFD*} = \frac{\beta(1 - A_5 - \rho)}{A_4}$, $w^{BFD*} = \frac{A_6}{bA_3A_4}$, $p^{BFD*} = \frac{A_7}{2bA_4}$, $\pi_r^{BFD*} = \frac{(\lambda+1)^2(2A_3-1)A_8^2}{4bA_3A_4^2}$,

$\pi_m^{BFD*} = \frac{A_9 + A_{10}}{4bA_3A_4^2}$, $\pi^{BFD*} = \pi_m^{BFD*} + \pi_r^{BFD*}$ 。其中, $A_1 = 2\rho - 1$, $A_2 = 4\rho - 1$, $A_3 = 2\lambda + 1$, $A_4 = 3bh(\lambda+1) - 2\beta^2$,

$A_5 = 3\lambda A_1 + \rho - 1$, $A_6 = \lambda A_1 - bh\beta^2 A_5(\lambda+1)$, $A_7 = bh(\lambda+1)(A_1+2) - 2\beta^2 A_1 A_3$, $A_8 = bhA_2 - 2\beta^2 A_1$,

$A_9 = 4\lambda^3 [2bh\beta^2 A_1 (A_1 - 4) + 4\beta^4 A_1^2 - b^2 h^2 (10\rho A_1 - 1)] + \lambda^2 [bh\beta^2 A_1 (25A_1 + 2) - b^2 h^2 (92\rho A_1 - 11) - 4\beta^4 A_1^2]$,

$A_{10} = \lambda [4bh\beta^2 A_2 (12\rho - 7) - 2b^2 h^2 (8\rho + 1)(8\rho - 5) - 16\beta^4 A_1^2] - (3hb - 2\beta^2) [bh(4\rho A_1 - 1) - 2\beta^2 A_1^2]$ 。

证明: 求式(5)对 p 的一阶条件, 得到: $\frac{\partial U_r^{BFD}}{\partial p} = \lambda A_1 + bwA_3 - 2bp + \beta\theta + \rho = 0$ 。由上式求得,

$p = \frac{\lambda A_1 + bwA_3 + \beta\theta + \rho}{2b}$ 。将所求 p 代入式(6)可得 $U_m^{BFD}(\theta, w)$ 。易知 $U_m^{BFD}(\theta, w)$ 的黑塞矩阵为

$\begin{bmatrix} \beta^2 - 2bh(\lambda+1) & \beta A_3 \\ b & \beta A_3 \\ \beta A_3 & -3bA_3^2 \end{bmatrix}$ 。由假设 3 可知, $h > \frac{2\beta^2}{3b} > \frac{2\beta^2}{3b(\lambda+1)}$ 。因此, 该矩阵为负定矩阵, 即 $U_m^{BFD}(\theta, w)$

存在极大值。令 $\frac{\partial U_m^{BFD}(\theta, w)}{\partial \theta} = 0$ 和 $\frac{\partial U_m^{BFD}(\theta, w)}{\partial w} = 0$, 联立后可得命题 1 中的 θ^{BFD*} 和 w^{BFD*} 。将 θ^{BFD*} 和 w^{BFD*} 代入 $p = \frac{\lambda A_1 + bwA_3 + \beta\theta + \rho}{2b}$ 可得 p^{BFD*} 。将 θ^{BFD*} 、 w^{BFD*} 和 p^{BFD*} 代入式(3)和(4)可得 π_r^{BFD*} 和 π_m^{BFD*} 。因此, 易得 π^{BFD*} 。证毕。

命题 2 研究了公平关切水平对最优绿色度、批发价格、零售价格、供应链及成员利润的影响。

命题 2(1) 若 $0 \leq \rho < \frac{1}{4}$, 当 $h \geq \frac{2\beta^2 A_1}{bA_2}$ 时, $\frac{\partial \theta^{BFD*}}{\partial \lambda} \geq 0$, $\frac{\partial p^{BFD*}}{\partial \lambda} \geq 0$, 反之相反; 若 $\frac{1}{4} \leq \rho \leq 1$, $\frac{\partial \theta^{BFD*}}{\partial \lambda} \leq 0$,

$$\frac{\partial p^{BFD*}}{\partial \lambda} \leq 0;$$

(2) 若 $0 \leq \rho \leq K_1$, 当 $h \geq \frac{2\beta^2}{b}$ 时, $\frac{\partial w^{BFD*}}{\partial \lambda} \geq 0$, 反之相反; 若 $K_1 < \rho \leq 1$, $\frac{\partial w^{BFD*}}{\partial \lambda} \leq 0$;

(3) 当 $h \geq K_2$ 时, $\frac{\partial \pi_r^{BFD*}}{\partial \lambda} \geq 0$, 反之相反; $\frac{\partial \pi_m^{BFD*}}{\partial \lambda} < 0$, $\frac{\partial \pi^{BFD*}}{\partial \lambda} < 0$ 。其中, $K_1 = \frac{bh - 2\beta^2}{4(bh - \beta^2)}$,

$$K_2 = \frac{2\beta^2(8\lambda^2 + 7\lambda + 2)}{3b(\lambda+1)^2}.$$

证明: 易知 $\frac{\partial \theta^{BFD*}}{\partial \lambda} = -\frac{3\beta A_8}{A_4^2}$ 。因此判断 $\frac{\partial \theta^{BFD*}}{\partial \lambda}$ 的正负性, 即判断 $-A_8$ 的正负性。若 $0 \leq \rho < \frac{1}{4}$, 当 $h \geq \frac{2\beta^2 A_1}{bA_2}$ 时, $-A_8 \geq 0$, 即 $\frac{\partial \theta^{BFD*}}{\partial \lambda} \geq 0$; 当 $\frac{2\beta^2}{3b} < h < \frac{2\beta^2 A_1}{bA_2}$ 时, $-A_8 < 0$, 即 $\frac{\partial \theta^{BFD*}}{\partial \lambda} < 0$ 。若 $\frac{1}{4} \leq \rho \leq 1$, 则 $-A_8 \leq 0$, 即 $\frac{\partial \theta^{BFD*}}{\partial \lambda} \leq 0$ 。其余证明过程与上述的证明过程类似, 故省略。证毕。

命题 2 表明, 在考虑公平关切的双渠道模型中, λ 对最优绿色度、批发价格和零售价格的影响类似。

当零售渠道忠诚度较低且绿色投资水平较高时($0 \leq \rho < \frac{1}{4}$ 且 $h \geq \frac{2\beta^2 A_1}{bA_2}$ 或 $0 \leq \rho \leq K_1$ 且 $h \geq \frac{2\beta^2}{b}$), 最优绿色

度、批发价格、零售价格均随着 λ 的增大而提高, 反之相反。另一方面, 当零售渠道忠诚度较低且绿色投资水平较高时, 与不考虑公平关切时比较, 考虑公平关切时制造商应该提高最优绿色度和批发价格, 零售商应该提高零售价格, 否则, 考虑公平关切时制造商应降低最优绿色度和批发价格, 零售商应该降低零售价格。

命题 2 还表明, 在考虑公平关切的双渠道模型中, 当绿色投资水平较高时($h \geq K_2$), 零售商最优利润随着 λ 的增大而提高, 反之相反。此外, 在考虑公平关切的双渠道模型中, 供应链和制造商的最优利润始终随着 λ 的增大而降低。因此, 与不考虑公平关切时比较, 考虑公平关切时供应链和制造商的最优利润较低, 零售商的最优利润在一定条件下(绿色投资水平较高时)较高。命题 3 研究了零售渠道忠诚度对最优绿色度、批发价格、零售价格、供应链及成员利润的影响。

命题 3(1) $\frac{\partial \theta^{BFD*}}{\partial \rho} \leq 0$, $\frac{\partial w^{BFD*}}{\partial \rho} \leq 0$; 当 $h \geq \frac{2\beta^2 A_3}{b(\lambda+1)}$ 时, $\frac{\partial p^{BFD*}}{\partial \rho} \geq 0$, 反之相反;

(2) 若 $0 \leq \rho \leq K_1$, 当 $\frac{\beta^2}{b} \leq h \leq \frac{2\beta^2}{b}$ 时, $\frac{\partial \pi_r^{BFD*}}{\partial \rho} \geq 0$, 反之相反; 若 $K_1 < \rho \leq 1$, 当 $h \geq \frac{\beta^2}{b}$ 时, $\frac{\partial \pi_r^{BFD*}}{\partial \rho} \geq 0$,

反之相反；

(3) 若 $0 \leq \rho \leq K_1$, 当 $h \geq \frac{2\beta^2}{b}$ 时, $\frac{\partial \pi_m^{BFD*}}{\partial \rho} \geq 0$, 反之相反; 若 $K_1 < \rho \leq 1$, $\frac{\partial \pi_m^{BFD*}}{\partial \rho} \leq 0$;

(4) 若 $0 \leq \rho < \frac{1}{4}$, 当 $h \geq \frac{2\beta^2 A_1}{b A_2}$ 时, $\frac{\partial \pi^{BFD*}}{\partial \rho} \geq 0$, 反之相反; 若 $\frac{1}{4} \leq \rho \leq 1$, $\frac{\partial \pi^{BFD*}}{\partial \rho} \leq 0$ 。

证明：该证明和命题 2 证明类似, 因此省略。证毕。

命题 3 表明, 在考虑公平关切的双渠道模型中, ρ 对最优绿色度和批发价格起着负向影响。当绿色投资水平较大时($h \geq \frac{2\beta^2 A_3}{b(\lambda+1)}$), 最优零售价格随着 ρ 的增大而提高, 反之相反。

命题 3 还表明, 在考虑公平关切的双渠道模型中, ρ 对供应链及成员利润的影响主要取决于零售渠道忠诚度和绿色投资水平(ρ 和 h)的大小。具体地, 若零售渠道忠诚度较小($0 \leq \rho \leq K_1$), 当绿色投资水平处于中间值时($\frac{\beta^2}{b} \leq h \leq \frac{2\beta^2}{b}$), 零售商利润随着 ρ 的增大而提高, 反之相反; 若零售渠道的忠诚度较大($K_1 < \rho \leq 1$), 当绿色投资水平较大时($h \geq \frac{\beta^2}{b}$), 零售商利润随着 ρ 的增大而提高, 反之相反。 ρ 对制造商和供应链最优利润的影响类似。当零售渠道忠诚度较低且绿色投资水平较高时($0 \leq \rho \leq K_1$ 且 $h \geq \frac{2\beta^2}{b}$ 或 $0 \leq \rho < \frac{1}{4}$ 且 $h \geq \frac{2\beta^2 A_1}{b A_2}$), 制造商和供应链最优利润随着 ρ 的增大而提高, 反之相反。命题 4 研究了绿色投资水平和绿色制造水平对最优绿色度、批发价格、零售价格、供应链及成员利润的影响。

命题 4(1) 若 $0 \leq \rho \leq \frac{1}{2}$, $\frac{\partial \theta^{BFD*}}{\partial h} \leq 0$, $\frac{\partial w^{BFD*}}{\partial h} \leq 0$, $\frac{\partial p^{BFD*}}{\partial h} \leq 0$, $\frac{\partial \theta^{BFD*}}{\partial \beta} \geq 0$, $\frac{\partial w^{BFD*}}{\partial \beta} \geq 0$, $\frac{\partial p^{BFD*}}{\partial \beta} \geq 0$;
若 $\frac{1}{2} < \rho \leq 1$, 当 $\lambda > \frac{2(1-\rho)}{3A_1}$ 时, $\frac{\partial \theta^{BFD*}}{\partial h} \geq 0$, $\frac{\partial w^{BFD*}}{\partial h} \geq 0$, $\frac{\partial p^{BFD*}}{\partial h} \geq 0$, $\frac{\partial \theta^{BFD*}}{\partial \beta} \leq 0$, $\frac{\partial w^{BFD*}}{\partial \beta} \leq 0$, $\frac{\partial p^{BFD*}}{\partial \beta} \leq 0$,
反之相反;

(2) 若 $0 \leq \rho < \frac{1}{4}$, 当 $h \geq \frac{2\beta^2 A_1}{b A_2}$ 时, $\frac{\partial \pi_r^{BFD*}}{\partial h} \geq 0$, $\frac{\partial \pi_r^{BFD*}}{\partial \beta} \leq 0$, 反之相反; 若 $\frac{1}{4} \leq \rho \leq \frac{1}{2}$, $\frac{\partial \pi_r^{BFD*}}{\partial h} \leq 0$,
 $\frac{\partial \pi_r^{BFD*}}{\partial \beta} \geq 0$; 若 $\frac{1}{2} < \rho \leq 1$, 当 $\lambda > \frac{2(1-\rho)}{3A_1}$ 时, $\frac{\partial \pi_r^{BFD*}}{\partial h} \geq 0$, $\frac{\partial \pi_r^{BFD*}}{\partial \beta} \leq 0$, 反之相反;

(3) 若 $0 \leq \rho \leq K_3$ 时, $\frac{\partial \pi_m^{BFD*}}{\partial h} \leq 0$, $\frac{\partial \pi_m^{BFD*}}{\partial \beta} \geq 0$; 若 $K_3 < \rho \leq K_4$ 时, $\frac{\partial \pi_m^{BFD*}}{\partial h} \geq 0$, $\frac{\partial \pi_m^{BFD*}}{\partial \beta} \leq 0$; 若 $K_4 < \rho \leq 1$ 时, 当 $h \geq K_5$ 时, $\frac{\partial \pi_m^{BFD*}}{\partial h} \geq 0$, $\frac{\partial \pi_m^{BFD*}}{\partial \beta} \leq 0$, 反之相反;

(4) 若 $0 \leq \rho \leq K_3$, $\frac{\partial \pi^{BFD*}}{\partial h} \leq 0$, $\frac{\partial \pi^{BFD*}}{\partial \beta} \geq 0$; 若 $K_3 < \rho < K_6$, $\frac{\partial \pi^{BFD*}}{\partial h} \geq 0$, $\frac{\partial \pi^{BFD*}}{\partial \beta} \leq 0$; 若 $K_6 \leq \rho \leq 1$,
当 $h \geq K_7$ 时, $\frac{\partial \pi^{BFD*}}{\partial h} \geq 0$, $\frac{\partial \pi^{BFD*}}{\partial \beta} \leq 0$, 反之相反。其中, $K_3 = \frac{3\lambda+2}{2(3\lambda+1)}$, $K_4 = \frac{34\lambda^2+41\lambda+10}{2(26\lambda^2+25\lambda+5)}$,

$$K_5 = \frac{2\beta^2 [2\rho(8\lambda^3+4\lambda^2-3\lambda-1)-8\lambda^3-4\lambda^2+5\lambda+2]}{b[10\lambda^3+29\lambda^2+25\lambda+6-2\rho(2\lambda^3+13\lambda^2+14\lambda+3)]}, \quad K_6 = \frac{25\lambda^2+26\lambda+4}{2(17\lambda^2+13\lambda+2)},$$

$$K_7 = \frac{2\beta^2 [2\rho(8\lambda^2+7\lambda+1)-\lambda(8\lambda+7)]}{b[2\rho(7\lambda^2+8\lambda+1)+\lambda^2+5\lambda+4]}.$$

证明：该证明和命题 2 证明类似，因此省略。证毕。

命题 4 表明，在考虑公平关切的双渠道模型中，当零售渠道忠诚度较大且公平关切水平较大($\frac{1}{2} < \rho \leq 1$ 且 $\lambda > \frac{2(1-\rho)}{3A_1}$)时， h 对最优绿色度、批发价格和零售价格起着正向影响，而 β 起着负向影响，反之相反。

命题 4 还表明，在考虑公平关切的双渠道模型中， h 和 β 对零售商最优利润的影响主要取决于零售渠道忠诚度、绿色投资水平和公平关切水平(ρ 、 h 和 λ)的大小。具体地，若零售渠道忠诚度较小($0 \leq \rho < \frac{1}{4}$)，当绿色投资水平较大时($h \geq \frac{2\beta^2 A_1}{bA_2}$)， h 对零售商最优利润起着正向影响，而 β 起着负向影响，反之相反；若零售渠道忠诚度处于中间值($\frac{1}{4} \leq \rho \leq \frac{1}{2}$)， h 对零售商最优利润起着负向影响，而 β 起着正向影响；若零售渠道忠诚度较大($\frac{1}{2} < \rho \leq 1$)，当公平关切水平较大时($\lambda > \frac{2(1-\rho)}{3A_1}$)， h 对零售商最优利润起着正向影响，而 β 起着负向影响，反之相反。

最后，在考虑公平关切的双渠道模型中， h 和 β 对制造商和供应链最优利润的影响主要取决于零售渠道忠诚度和绿色投资水平(ρ 和 h)的大小。具体地，若零售渠道忠诚度较小($0 \leq \rho \leq K_3$)， h 对制造商和供应链最优利润起着负向影响，而 β 起着正向影响；若零售渠道的忠诚度处于中间值($K_3 < \rho \leq K_4$ 或 $K_3 \leq \rho < K_6$)， h 对制造商和供应链最优利润起着正向影响，而 β 起着负向影响；若零售渠道忠诚度较大($K_4 < \rho \leq 1$ 或 $K_6 \leq \rho \leq 1$)，当绿色投资水平较大时($h \geq K_5$ 或 $h \geq K_7$)， h 对制造商和供应链最优利润起着正向影响，而 β 起着负向影响，反之相反。

命题 5 研究了公平关切水平对有无公平关切时供应链及其成员利润差的影响。

命题 5 当 $h \geq K_2$ 时， $\frac{\partial(\pi_r^{BFD*} - \pi_r^{ND*})}{\partial \lambda} \geq 0$ ，反之相反； $\frac{\partial(\pi_m^{BFD*} - \pi_m^{ND*})}{\partial \lambda} \leq 0$ ， $\frac{\partial(\pi^{BFD*} - \pi^{ND*})}{\partial \lambda} \leq 0$ 。其中，上标 ND 表示不考虑公平关切时的双渠道模型。

证明：该证明和命题 2 证明类似，因此省略。证毕。

命题 5 表明，在双渠道模型中， λ 对有无公平关切时零售商利润差、制造商利润差和供应链利润差的影响与 λ 对考虑公平关切时的零售商利润、制造商利润和供应链利润的影响是一致的。即，随着公平关切水平的增加，考虑公平关切时制造商的利润和供应链的利润越小于不考虑公平关切时制造商的利润和供应链的利润，考虑公平关切时零售商的利润在一定条件下(绿色投资水平较高时)越大于不考虑公平关切时零售商的利润。

4. 算例分析

首先，分析了公平关切水平对双渠道模型中最优绿色度、批发价格、零售价格、供应链及其成员利润的影响。此外，分析了公平关切水平对有无公平关切时零售商利润差、制造商利润差和供应链利润差的影响。其中， $b = 0.7$ ， $\beta = 0.6$ ， $h \in [0.5, 5]$ ， $\rho \in [0.2, 0.6]$ ， $\lambda \in [0, 1]$ 。

4.1. λ 对双渠道供应链中最优绿色度、批发价格、零售价格的影响

图 1 在零售渠道忠诚度较大($\rho = 0.6 \in \left[\max \left\{ \frac{1}{4}, K_1 \right\}, 1 \right]$)时探索了公平关切水平对双渠道模型中最优绿色度、批发价格和零售价格的影响，其中， $h = 2$ ，其余参数保持不变。这与命题 2 (1)和(2)相对应。

图 1(a)和图 1(b)表明，当零售渠道忠诚度较大时，随着 λ 的增加，最优绿色度降低，最优批发价格降低

至 0 后保持为 0, 最优批发价格先降低后提高。这是因为, 当 λ 增加至临界值($\lambda=0.7$)时, w 刚好降为 0, 再随着 λ 的增加, w 只能保持不变从而使得制造商获得非负的利润。

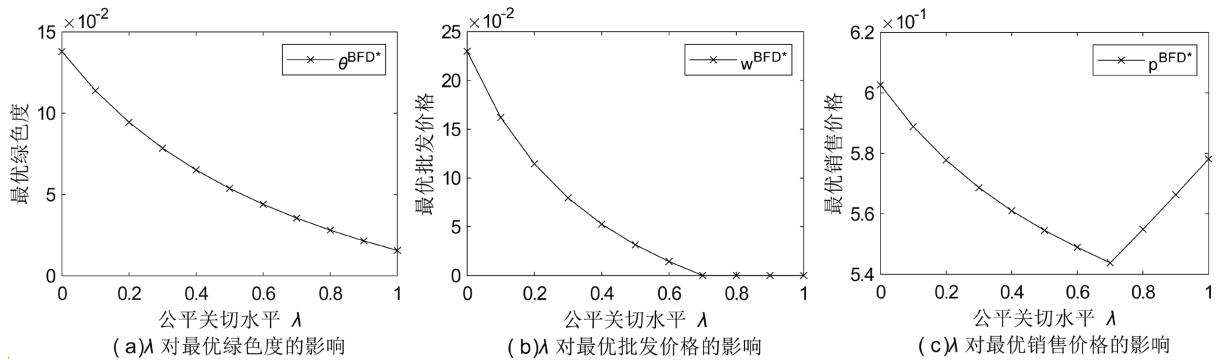


Figure 1. The impact of λ on optimal greenness, wholesale price, and retail price in a dual channel when ρ is large
图 1. 当 ρ 较大时 λ 对双渠道中最优绿色度、批发价格、零售价格的影响

图 2 在零售渠道忠诚度较小($\rho=0.2 \in \left[0, \min\left\{\frac{1}{4}, K_1\right\}\right]$)且绿色投资水平较大($h=5$)时探索了公平关切水平对双渠道模型中最优绿色度、批发价格和零售价格的影响, 其余参数同图 1。这与命题 2 (1)和(2)相对应。图 2 表明, 当零售渠道忠诚度较小且绿色投资水平较大时, 随着 λ 的增加, 最优绿色度、批发价格和零售价格均提高。这与零售渠道忠诚度较大时的情形不同。此外, 当零售渠道忠诚度和绿色投资水平均较小($\rho=0.2 \in \left[0, \frac{1}{4}\right]$, $h=2$)时, 本文也进行了类似的算例分析, 得到的结论与图 2 中的结果相反, 即最优绿色度、批发价格和零售价格随着 λ 的增大而降低。命题 2 (1)和(2)是在 $w>0$ 的前提下得出的结论。因此, 在 $w>0$ 的情况下(当 $\lambda<0.7$ 时), 图 1 和图 2 验证了命题 2 (1)和(2)中的结论。

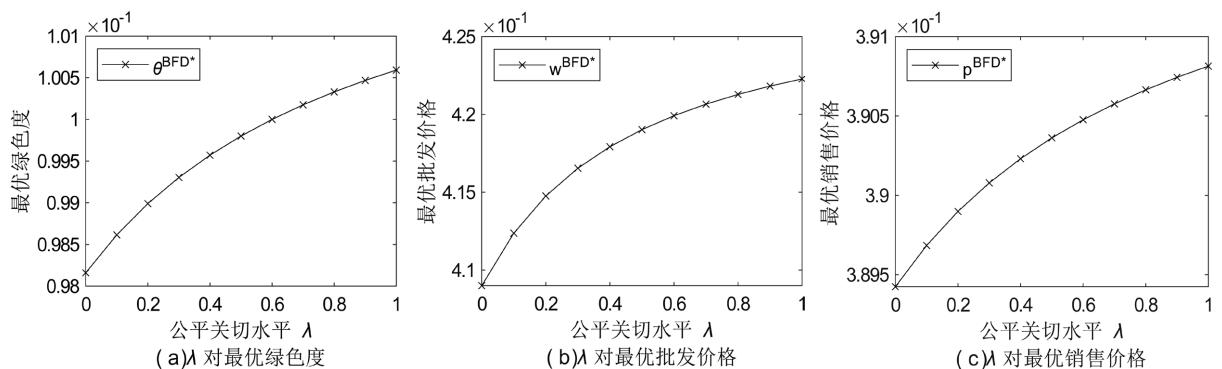


Figure 2. The impact of λ on optimal greenness, wholesale price, and retail price in a dual channel when ρ is small and h is large
图 2. 当 ρ 较小且 h 较大时 λ 对双渠道中最优绿色度、批发价格、零售价格的影响

4.2. λ 对公平关切时供应链及成员利润的影响

图 3 探索了当绿色投资水平较小($h=0.5 < K_2$)或较大($h=5 > K_2$)时公平关切水平对双渠道模型中供应链及其成员利润的影响, 其余参数同图 1。这与命题 2 (3)相对应。若绿色投资水平较小($h=0.5$), 当 λ 小于临界值($\lambda<0.8$)时, $w>0$, 否则, $w=0$ 。图 3(a)表明, 当绿色投资水平较小时, 供应链及其成员最

优利润均随着 λ 的增大而降低。若绿色投资水平较大($h=5$), 当 λ 小于临界值($\lambda < 0.7$)时, $w > 0$, 否则, $w = 0$ 。图 3(b)表明, 若绿色投资水平较大, 当 λ 小于临界值时, 制造商和供应链利润随着 λ 的增大而降低, 而零售商利润随着 λ 的增大而提高; 当 λ 大于临界值时, 供应链及其成员利润均随着 λ 的增大而降低。命题 2(3)是在 $w > 0$ 的前提下得出的结论。因此, 在 $w > 0$ 的情况下(当 $\lambda < 0.8$ 或 $\lambda < 0.7$ 时), 图 3 验证了命题 2(3)中的结论。

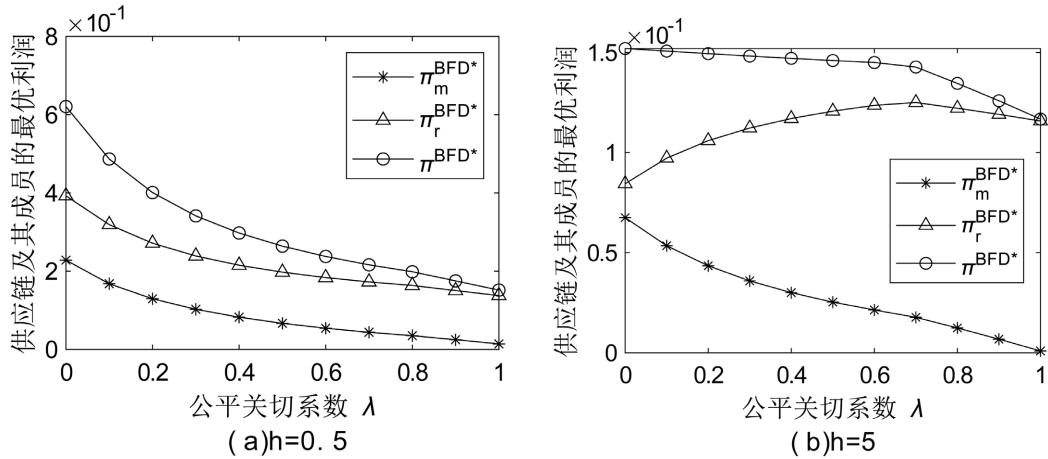


Figure 3. The impact of λ on the profitability of the supply chain and its members in a dual-channel model
图 3. λ 对双渠道模型中供应链及其成员利润的影响

4.3. 有无公平关切时双渠道供应链及成员利润的比较

图 4 比较了当绿色投资水平较小($h=0.5 < K_2$)或较大($h=5 > K_2$)时有无公平关切时的双渠道供应链及成员的最优利润, 且分析了公平关切水平对有无公平关切时供应链及其成员利润差的影响, 其余参数同图 1。这与命题 5 相对应。此时, 当 $w > 0$ 时的 λ 范围与图 3 一致。图 4(a)表明, 当绿色投资水平较小时, 制造商和零售商考虑公平关切时的供应链及成员利润分别低于不考虑公平关切时的供应链及成员利润, 且有无公平关切的供应链及其成员利润差均随着 λ 的增大而降低。图 4(b)表明, 若绿色投资水平较大, 制造

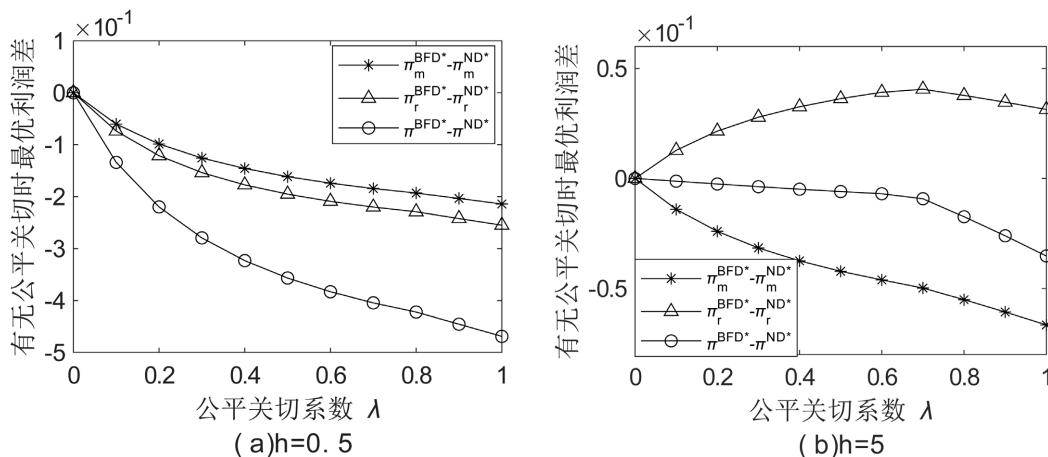


Figure 4. The impact of λ on the profit margins of the supply chain and its members in the presence and absence of fairness concerns
图 4. λ 对有无公平关切时双渠道供应链及成员利润差的影响

商和零售商考虑公平关切时的供应链和制造商利润分别低于不考虑公平关切时的供应链和制造商利润，制造商和零售商考虑公平关切时的零售商利润高于不考虑公平关切时的零售商利润。图 4(b)还表明，若绿色投资水平较大，当 λ 小于等于临界值时，有无公平关切的制造商和供应链的利润差随着 λ 的增大而降低，而有无公平关切的零售商利润差随着 λ 的增大而提高；当 λ 大于临界值时，有无公平关切的供应链及其成员利润差均随着 λ 的增大而降低。命题 5 是在 $w > 0$ 的前提下得出的结论。因此，在 $w > 0$ 的情况下，图 4 验证了命题 5 中的结论。

5. 结论

本文主要研究了绿色供应链定价策略的问题。与以往文献不同的是，本文考虑的是线上线下双渠道的绿色供应链。此外，本文引入了公平关切因素，且制造商和零售商同时考虑相同水平的公平关切。研究结果表明，公平关切对最优绿色度、批发价格、零售价格、供应链及其成员利润的影响受到零售渠道忠诚度和绿色投资水平的改变而改变。其中公平关切对供应链及成员利润的影响为：若绿色投资水平较低，随着公平关切水平的增大，供应链及其成员利润随之降低；若绿色投资水平较高，当公平关切水平小于临界值时，随着公平关切水平的增大，供应链和制造商利润随之降低，零售商利润随之提高，反之，供应链及其成员利润均降低。因此，在考虑公平关切的情况下，绿色制造商和绿色零售商应该根据绿色投资水平确定适当的公平关切水平，以平衡绿色投资与利润之间的关系。

此外，相较于不考虑公平关切的情形，考虑公平关切时供应链和制造商的最优利润始终较低；考虑公平关切时零售商的最优利润在绿色投资水平高时较高，绿色投资水平低时较低。因此，在不确定是否考虑公平关切的情况下，制造商应该尽量避免出现零售商和自身考虑公平关切的情况，而零售商应该根据制造商所决定的绿色投资水平来决定是否考虑公平关切。

本文是在信息对称的基础下研究的，未来还可以研究绿色投资在信息不对称下的供应链定价问题。此外，本文假设供应链中只存在一种绿色产品，未来可以研究多种绿色产品的供应链最优定价决策和渠道选择的问题。

参考文献

- [1] 刘纪远, 邓祥征, 刘卫东, 等. 中国西部绿色发展概念框架[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(10): 1-7.
- [2] Fehr, E. and Schmidt, K.M. (1999) A Theory of Fairness, Competition, and Cooperation. *The Quarterly Journal of Economics*, **114**, 817-868. <https://doi.org/10.1162/00335539556151>
- [3] 冯颖, 汪梦圆, 张炎治, 等. 制造商承担社会责任的绿色供应链政府补贴机制[J]. 管理工程学报, 2022, 36(6): 156-167.
- [4] Hou, L., Zhang, Y., Wu, C. and Song, J. (2023) Improving the Greenness of Enterprise Supply Chains by Designing Government Subsidy Mechanisms: Based on Prospect Theory and Evolutionary Games. *Frontiers in Psychology*, **14**, Article 1283794. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1283794>
- [5] 陈克兵, 孔颖琪, 雷东. 考虑消费者偏好及渠道权力的可替代产品供应链的定价和绿色投入决策[J]. 中国管理科学, 2023, 31(5): 1-10.
- [6] 陈克兵, 王雨琦. 基于政府不同补贴形式下的绿色产品制造商渠道选择策略分析[J]. 中国管理科学, 2024, 32(3): 167-177.
- [7] 王文隆, 王福乐, 张涑贤. 考虑低碳努力的双渠道供应链协调契约研究[J]. 管理评论, 2021, 33(4): 315-326.
- [8] Qiu, R., Li, C. and Sun, M. (2024) Impacts of Consumer Virtual Showrooming Behavior on Manufacturer and Retailer Strategic Decisions in a Dual-Channel Supply Chain. *European Journal of Operational Research*, **313**, 325-342. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.08.025>
- [9] 张玲红, 刘方媛, 朱立龙, 等. 考虑零售商公平关切与广告努力水平的碳减排策略研究[J]. 中国管理科学, 2021, 29(4): 138-148.
- [10] Xue, L. and Wang, K. (2023) Dual-Channel Supply Chain Coordination under Risk Aversion and Fairness Concerns.

Managerial and Decision Economics, **44**, 3289-3307. <https://doi.org/10.1002/mde.3878>

- [11] Yang, H., Shao, E., Gong, Y. and Guan, X. (2021) Decision-Making for Green Supply Chain Considering Fairness Concern Based on Trade Credit. *IEEE Access*, **9**, 67684-67695. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3073472>
- [12] Niu, B., Cui, Q. and Zhang, J. (2017) Impact of Channel Power and Fairness Concern on Supplier's Market Entry Decision. *Journal of the Operational Research Society*, **68**, 1570-1581. <https://doi.org/10.1057/s41274-016-0169-0>
- [13] 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>