

制造商风险规避下考虑企业社会责任的绿色供应链决策研究

陈 静

江苏大学管理学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2023年12月1日; 录用日期: 2023年12月20日; 发布日期: 2024年2月23日

摘 要

本文构建了风险厌恶的制造商和风险中性的零售商组成的绿色供应链, 运用Stackelberg博弈模型研究供应链成员承担企业社会责任的合作策略, 并分析风险厌恶程度和承担企业社会责任水平对绿色创新投入、供应链均衡价格以及供应链利润的影响。研究表明无论上下游是否共同合作承担企业社会责任, 制造商的风险规避行为与绿色产品创新投入、产品定价、产品售价成负相关, 且当只有制造商承担企业社会责任时, 制造商绿色创新投入所收到风险规避的影响不依赖制造商承担企业社会责任的水平; 当零售商承担企业社会责任时绿色创新投入影响波动较大。

关键词

绿色供应链, 绿色投入, 风险规避, 企业社会责任

Research on Green Supply Chain Decision-Making Considering Corporate Social Responsibility under Manufacturer Risk Avoidance

Jing Chen

School of Management, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: Dec. 1st, 2023; accepted: Dec. 20th, 2023; published: Feb. 23rd, 2024

Abstract

This article constructs a green supply chain consisting of risk averse manufacturers and risk neu-

tral retailers. The Stackelberg game model is used to study the cooperative strategies of supply chain members in assuming corporate social responsibility, and the impact of risk aversion and level of corporate social responsibility on green innovation investment, supply chain equilibrium prices, and supply chain profits is analyzed. Research has shown that regardless of whether upstream and downstream cooperate to undertake corporate social responsibility, the risk avoidance behavior of manufacturers is negatively correlated with green product innovation investment, product pricing, and product selling price. Moreover, when only manufacturers bear corporate social responsibility, the impact of risk avoidance on manufacturers' green innovation investment does not depend on their level of corporate social responsibility; When retailers assume corporate social responsibility, the impact of green innovation investment fluctuates greatly.

Keywords

Green Supply Chain, Green Investment, Risk Avoidance, Corporate Social Responsibility

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

近年来，我国的经济从快速增长逐步转入高质量增长阶段，从国家层面来说对企业绿色生产有了更多的要求。2023年2月，中共中央、国务院印发的《质量强国建设纲要》明确指出要树立质量发展绿色导向，加速“低碳零碳负碳”的关键核心技术攻关，推动高耗能行业低碳转型。企业的绿色制造再次成为热点问题，随着群众的环保意识提高，消费者对绿色产品的需求也逐渐增加，对产品的绿色化要求也越来越高，绿色供应链管理的重要性进一步提升。

众多学者研究人员对绿色供应链的不同方面进行了深入研究，给我们后续的研究提供了很多基础。杨晓辉等[1]通过对不同消费者偏好研究，用政府补贴结果构建绿色研发模型；Zhu Wenge 和 He Yuanjie 等[2]研究了供应链产品绿色度与价格竞争。程粟粟等[3]研究绿色供应链管理决策时考虑企业的非价格战略，探究出绿色技术研发与绿色投资成本、价格敏感度、消费者环保意识有关；李婧婧等[4]基于绿色供应链，研究了不同协调机制对各方供应链收益影响。

关注合作商和消费者的利益而不只是关注自身利润的获取，是企业社会责任的重要体现，尤其是在以消费者为导向的供应链结构中。国内外供应链研究热点问题之一是考虑 CSR 的供应链决策问题，国内外学者从多种角度探讨了含 CSR 供应链的决策问题，包括消费者效用，CSR 投入方式，成本信息不对称，权利结构等。Liu 等[5]通过研究供应链在 CSR 成本信息对称与不对称两种情况下的决策效果，得到了供应链决策效果在对称信息下优于在不对称信息下的结论，并且设计了一种协调机制方法促使制造商产生真实 CSR 成本信息。Panda 等[6]对供应链协调机制在有企业社会责任情形下进行了研究，分析了两个重点问题，一个是供应链成员的利润分配，另一个是制造商自身利润所受到企业社会责任的影响。

基于供应链成员的风险规避，Gupta 和 Ivanov [7] (2020)对一种存在供应链中断的双渠道供应链决策模型进行了讨论，对供应商的风险规避特征基于均值 - 方差准则进行了刻画，对供应链绩效所受到的风险态度和不确定性影响进行了探讨。Li 等[8] (2016)探讨了一种双渠道供应链，其中包括风险中性的供应商和风险规避的零售商，基于风险值准则和条件风险值准则建立了 Stackelberg 模型，分析了供应链利润，产品零售价以及渠道订货量受到零售商风险指标的影响，改进风险共担契约以实现双渠道供应

链的协调。Ray [9] (2021)的研究对象主要为农产品供应链的风险管理，讨论了农产品供应链成员风险规避行为受到备份供应商的影响，包含产量中断和收获中断两种情况。Shen 等[10] (2020)分析了一个供应链系统，这个系统由一个资金约束制造商和两个零售商构成，研究了制造商融资选择决策受到零售商竞争的程度以及成员企业风险规避的何种影响。Chen 等[11] (2017)基于委托代理模型对零售商的最优契约设计问题进行了研究，研究建立在一种由制造商和风险厌恶的零售商构成的双渠道绿色供应链之上，其中制造商的生产成本是私人信息。

综上所述，大量学者对绿色供应链、供应链成员承担企业社会责任和风险规避展开了深入研究，然而鲜有学者会将三者融合共同研究，更有学者会深入剖析成员风险规避行为对绿色供应链决策机制影响。基于此，本文将企业社会责任和风险规避引入到绿色供应链中，探究制造商风险规避时，不同供应链成员承担企业社会责任对产品绿色研发投入和产品定价产生的影响，为供应链决策者的定价和绿色研发投入决策提供参考。

2. 问题描述与模型假设

2.1. 问题描述

本小节将构建一个风险规避的制造商和一个风险中性零售商的绿色供应链模型，在该模型中，风险规避下的制造商负责市场中绿色技术的研发和绿色产品的生产，零售商则负责在线下渠道中，对绿色产品进行销售。在该绿色供应链的决策过程中，制造商直接以批发价 w 将绿色产品批发给零售商，零售商则通过线下渠道以 p_0 的价格销售绿色产品。通过上述分析建立制造商风险规避下供应链成员承担企业社会责任的绿色供应链博弈模型，求解并对比分析制造商承担企业社会责任，零售商承担企业社会责任以及两者共担(分别用上标 ac , bc 和 cc 表示)时该绿色供应链相关决策的均衡解，得出该绿色供应链中成员在不同情形下的最优决策，探究制造商风险规避程度和不同供应链成员对企业社会责任的分担对绿色创新投入，供应链定价以及利润影响。其决策顺序(见图 1)：

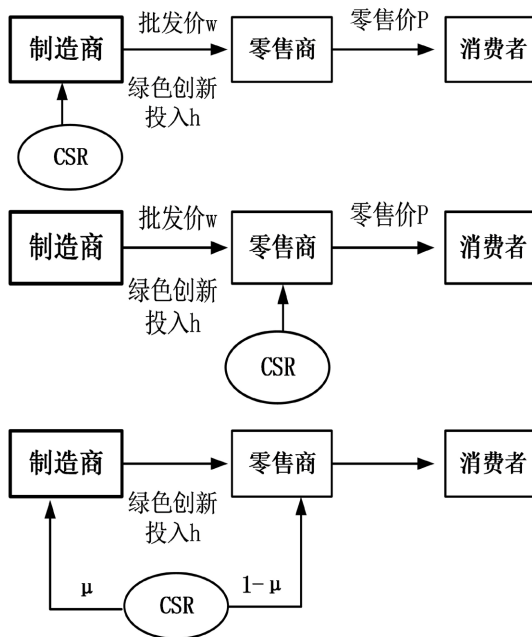


Figure 1. Green supply chain structure diagram under manufacturer risk avoidance

图 1. 制造商风险规避下绿色供应链结构图

2.2. 模型假设与参数设置

用随机变量 Q 来描述消费者对绿色产品的功能属性效用，消费者获得的产品效用与产品绿色度正相关，与零售价格负相关。制造商作为斯坦伯格博弈的主导者，率先决定产品价格 w 以及绿色产品水平 g ，然后零售商确定产品零售价格 p ，制造商为了提高产品绿色水平需要对产品进行绿色研发。具体参数设置见表 1:

Table 1. Symbol definition

表 1. 符号定义

参数设置	含义
D	市场容量
p	零售价
w	批发价
α	价格敏感系数
β	消费者绿色偏好
g	产品绿色度
c	生产成本
k	绿色研发成本系数
λ	供应链成员社会责任意识
C_{si}	第 i 种决策模型下均衡的消费者剩余
Π_m^i	制造商的均衡收益以及在第 i 种决策模型下均衡制造商经济收益
Π_r^i	零售商的均衡收益以及在第 i 种决策模型下均衡零售商经济收益
r	制造商风险规避系数
h	绿色研发投入

根据研究内容，做出相关假设：

(1) 制造商引入新设备，运用新技术，以此来提高产品绿色度 g 而增加绿色研发成本为 $\frac{1}{2}kg^2$ ，其中 k 表示绿色投入成本系数[12]。

(2) 由于市场需求具有随机性，考虑产品需求与产品价格以及产品研发水平有关，是一个线性代数。定义需求函数为 $D = Q - \alpha p + \beta g + \varepsilon$ ，其中 $Q > 0$ 是市场需求基本容量， ε 是随机变量并且满足 $\varepsilon \in N(0, \sigma^2)$ ，仅考虑产品供应能满足消费者需求的情况。

(3) Panda 等研究中将企业社会责任定义为企业为提高改善自身利益而进行了一定量的成本投入。因此，在本研究中会用成员对消费者剩余对关注来衡量代替供应链成员的企业社会责任。消费者剩余是指消费者对于产品的接受度并且支付的最高价格与实际市场价格的差值。表示为

$$C_S = \int_{p_{\min}}^{p_{\max}} D dp = \frac{1}{2\alpha} D^2。$$

(4) 制造商风险规避程度用 r 表示， $r \in [0, 1]$ ， $r = 0$ 时为制造商风险中性， r 越大表明制造商越厌恶风险。本文用均值 - 方差理论计算制造商的效用以简化计算。借鉴 Chiu 等[13]与 Gan 等[14]的研究，定义制造商 m 的风险效用函数为 $V_{\pi_m} = E[\pi_m] - \lambda SD[\pi_m]$ 。

为了简化说明， π_z 为利润， $E(\pi_z)$ 为期望利润， $V(\pi_z)$ 为利润方差。 $Z = m, r$ 。下标 m 为制造商，下标 r 为零售商。用上标 ac, bc, cc 代表制造商承担企业社会责任，零售商承担企业社会责任和两者共担企业社会责任三种情形。

3. 模型建立与求解

当制造商存在风险规避时，借助 Chiu 等和 Gan 等的研究，定义制造商的风险规避函数为：

$$V(\pi_m) = E(\pi_m) - rD(\pi_m) \quad (1)$$

本节利用海瑟矩阵(Hessian Matrix)和逆向归纳法(Backward Induction)求解完全信息下动态博弈的最优均衡解，并得出相关命题。对三种不同的企业社会责任承担情形进行分析，探讨制造商风险规避与企业社会责任双重影响下的产品参数。

3.1. 制造商承担企业社会责任

当只有制造商承担企业社会责任时，考虑效用最大化为自身决策目标，将既定的社会责任行为准则融入生产研发的决策过程中，制定批发价定价策略以及绿色产品的研发投入策略。 π_m 为制造商利润函数， π_r 为零售商利润函数，则其表达式分别为：

$$\pi_m = (w - c)D + \lambda C_s - \frac{1}{2}kg^2 \quad (2)$$

$$\pi_r = (p - w)D \quad (3)$$

则有：

$$E(\pi_m) = (w - c)D + \lambda C_s - \frac{1}{2}kg^2 \quad (4)$$

$$D(\pi_m) = r(w - c)\sigma \quad (5)$$

故此时制造商风险规避函数为：

$$V(\pi_m)^{ac} = (w - c)D + \lambda C_s - \frac{1}{2}kg^2 - r(w - c)\sigma \quad (6)$$

命题一：当 $\frac{1}{8} \left\{ -(-2\beta(-2+\lambda)) \left[-\frac{1}{4}\beta(-2+\lambda) \right] + \left(8k + \frac{2\beta^2\lambda}{\alpha} \right) \left[\frac{1}{4}\alpha(-4+\lambda) \right] \right\} > 0$ 制造商主导供应链时，此博弈的纳什均衡解即制造商最优利润，定价以及产品绿色度为：

$$p^{ac} = \frac{Q - \frac{\beta^2(Q - c\alpha + r(-2+\lambda)\sigma)}{\beta^2 + k\alpha(-4+\lambda)} + \frac{k\alpha(-2c\alpha + Q(-2+\lambda) + 4r\sigma) + \beta^2(c\alpha - r\lambda\sigma)}{\beta^2 + k\alpha(-4+\lambda)}}{2\alpha} \quad (7)$$

$$g^{ac} = -\frac{\beta(Q - c\alpha + r(-2+\lambda)\sigma)}{\beta^2 + k\alpha(-4+\lambda)} \quad (8)$$

$$w^{ac} = \frac{\beta^2(c\alpha - r\lambda\sigma) + (-2c\alpha + Q(-2+\lambda) + 4r\sigma)k\alpha}{\alpha(\beta^2 + k\alpha(-4+\lambda))} \quad (9)$$

$$V(\pi_m)^{ac} = \frac{-k\alpha(Q - c\alpha)^2 + 2kr\alpha(-Q + c\alpha)(-2+\lambda)\sigma + r^2(4k\alpha - \beta^2\lambda)\sigma^2}{2\alpha(\beta^2 + k\alpha(-4+\lambda))} \quad (10)$$

证明：先对零售商利润函数式(3)式求 p 的一阶偏导数并令一阶偏导数为零求出 p 的最优值为：

$$\frac{\partial \pi_r}{\partial p^{ac}} = Q - 2p\alpha + w\alpha + g\beta \quad (11)$$

$$p^{ac} = \frac{Q + w\alpha + g\beta}{2\alpha} \quad (12)$$

制造商风险规避函数为:

$V(\pi_m)^{ac} = \frac{1}{8}(-4g^2k - 4(c-w)(Q - w\alpha + g\beta)) + \frac{(Q - w\alpha + g\beta)^2 \lambda}{\alpha} + 8r(c-w)\sigma$, 对制造商利润对产品定价以及产品绿色度求偏导得到:

$$\frac{\partial V(\pi_m)^{ac}}{\partial w^{ac2}} = \frac{1}{4}\alpha(-4 + \lambda) \quad (13)$$

$$\frac{\partial V(\pi_m)^{ac}}{\partial w^{ac} g^{ac}} = -\frac{1}{4}\beta(-2 + \lambda) \quad (14)$$

$$\frac{\partial V(\pi_m)^{ac}}{\partial g^{ac} \partial w^{ac}} = \frac{1}{8}(4\beta - 2\beta\lambda) \quad (15)$$

$$\frac{\partial V(\pi_m)^{ac}}{\partial g^{ac2}} = \frac{1}{8}\left(-8k + \frac{2\beta^2 \lambda}{\alpha}\right) \quad (16)$$

从而得到 π_m^{ac} 关于 g 和 w 的海瑟矩阵 $\begin{bmatrix} \frac{1}{4}\alpha(-4 + \lambda) & -\frac{1}{4}\beta(-2 + \lambda) \\ \frac{1}{8}(4\beta - 2\beta\lambda) & \frac{1}{8}\left(-8k + \frac{2\beta^2 \lambda}{\alpha}\right) \end{bmatrix}$ 。

因为一阶顺序主子式 $\frac{1}{4}\alpha(-4 + \lambda) < 0$, 二阶顺序主子式 $\frac{1}{8}\left\{-[-2\beta(-2 + \lambda)]\left[-\frac{1}{4}\beta(-2 + \lambda)\right] + \left(8k + \frac{2\beta^2 \lambda}{\alpha}\right)\left[\frac{1}{4}\alpha(-4 + \lambda)\right]\right\} > 0$, 故 $V(\pi_m)^{ac}$ 是关于绿色度 g 和批发价 w 的严格意义上的凹函数, 即点 (g^{ac*}, w^{ac*}) 取得最大值的唯一解, 再对式(10)求 $V(\pi_m)^{ac}$ 关于 g 和 w 的一阶偏导数, 再令所求偏导数为零, 最后联立为方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial V(\pi_m)^{ac}}{\partial w^{ac}} = \frac{1}{4}(2c\alpha - 4w\alpha + 2g\beta - Q(-2 + \lambda) + w\alpha\lambda - g\beta\lambda - 4r\sigma) \\ \frac{\partial V(\pi_m)^{ac}}{\partial g^{ac}} = \frac{1}{8}\left(-8gk + 4(-c + w)\beta + \frac{2\beta(Q - w\alpha + g\beta)\lambda}{\alpha}\right) \end{cases} \quad (17)$$

求解得:

$$\begin{cases} g^{ac} = \frac{-\beta(Q - c\alpha + r(-2 + \lambda)\sigma)}{\beta^2 + k\alpha(-4 + \lambda)} \\ w^{ac} = \frac{\beta^2(c\alpha - r\lambda\sigma) + (-2c\alpha + Q(-2 + \lambda) + 4r\sigma)k\alpha}{\alpha(\beta^2 + k\alpha(-4 + \lambda))} \end{cases} \quad (18)$$

将(18)代入到(12)中得:

$$p^{ac} = \frac{Q - \frac{\beta^2(Q - c\alpha + r(-2 + \lambda)\sigma)}{\beta^2 + k\alpha(-4 + \lambda)} + \frac{k\alpha(-2c\alpha + Q(-2 + \lambda) + 4r\sigma) + \beta^2(c\alpha - r\lambda\sigma)}{\beta^2 + k\alpha(-4 + \lambda)}}{2\alpha} \quad (19)$$

将(19)代入(13)中得到制造商最优利润均衡解为:

$$V(\pi_m)^{ac} = \frac{-k\alpha(Q - c\alpha)^2 + 2kr\alpha(-Q + c\alpha)(-2 + \lambda)\sigma + r^2(4k\alpha - \beta^2\lambda)\sigma^2}{2\alpha(\beta^2 + k\alpha(-4 + \lambda))} \quad (20)$$

命题 1 证毕。

由命题一可得以下推论:

$$\frac{\partial h^{ac^*}}{\partial \lambda} > 0, \frac{\partial g^{ac^*}}{\partial \lambda} > 0, \frac{\partial w^{ac^*}}{\partial \lambda} < 0, \frac{\partial p^{ac^*}}{\partial \lambda} < 0, \frac{\partial w^{ac^*}}{\partial r} < 0, \frac{\partial p^{ac^*}}{\partial r} < 0, \frac{\partial h^{ac^*}}{\partial r} < 0, \frac{\partial g^{ac^*}}{\partial r} < 0$$

推论表明当制造商单独承担企业社会责任时, 产品的绿色研发投入以及绿色度与企业社会责任有正相关关系。在消费者绿色偏好作用下, 绿色度较高的产品拥有更大的市场需求, 而制造商的社会责任使得其在保证整体利润的情况下, 批发价降低, 从而零售价格下降。而当风险规避系数越大时, 制造商厌恶风险, 会采用降低批发价的措施以刺激市场需求, 零售价也会相应降低, 制造商为减少风险不会对产品绿色研发投入过多。

3.2. 零售商承担企业社会责任

当供应链上下游不合作, 只有零售商独自支付由于承担企业社会责任产生的成本, 该模型下零售商为主导, 制造商从属。决策顺序: 零售商首先定下产品零售价以及自己所承担的企业社会责任水平 λ , 制造商根据零售商的决策在效用最大化的目标下进行决策产品的批发价 w , 通过逆向求解法进行求解。此时制造商风险规避函数与零售商利润函数分别为:

$$V(\pi_m^{bc}) = (w^{bc} - c)D - \frac{1}{2}kg^{bc^2} - r(w^{bc} - c)\sigma \quad (21)$$

$$\pi_r^{bc} = (p^{bc} - w^{bc})D + \lambda^{bc}C_S \quad (22)$$

命题二: 当 $\beta^2 + 2k\alpha(-2 + \lambda) < 0$, 根据式(21)和式(22)求出各变量均衡解以及制造商最优利润为:

$$p^{bc} = \frac{Q(-1 + \lambda) - \frac{\beta^2(-1 + \lambda)(Q - c\alpha + r(-2 + \lambda)\sigma)}{\beta^2 + 2k\alpha(-2 + \lambda)} + \frac{\alpha(c\beta^2 + k(-2 + \lambda)(Q + c\alpha + r(-2 + \lambda)\sigma))}{\beta^2 + 2k\alpha(-2 + \lambda)}}{\alpha(-2 + \lambda)} \quad (23)$$

$$g^{bc} = \frac{-\beta(Q - c\alpha + r(-2 + \lambda)\sigma)}{\beta^2 + 2k\alpha(-2 + \lambda)} \quad (24)$$

$$w^{bc} = \frac{c\beta^2 + k(-2 + \lambda)(Q + c\alpha + r(-2 + \lambda)\sigma)}{\beta^2 + 2k\alpha(-2 + \lambda)} \quad (25)$$

$$V(\pi_m)^{bc} = \frac{-k(Q - c\alpha + r(-2 + \lambda)\sigma)^2}{2(\beta^2 + 2k\alpha(-2 + \lambda))} \quad (26)$$

与命题一证明过程类似, 具体证明过程略。由以上结果可以得到推论:

$$\frac{\partial h^{bc^*}}{\partial \lambda} > 0, \frac{\partial g^{bc^*}}{\partial \lambda} > 0, \frac{\partial w^{bc^*}}{\partial \lambda} > 0, \frac{\partial p^{bc^*}}{\partial \lambda} < 0, \frac{\partial w^{bc^*}}{\partial r} < 0, \frac{\partial p^{bc^*}}{\partial r} < 0, \frac{\partial h^{bc^*}}{\partial r} < 0, \frac{\partial g^{bc^*}}{\partial r} < 0$$

推论表明, 当零售商承担企业社会责任时, 产品的定价、售价和对产品的绿色创新投入都与制造商的风险规避程度呈负相关, 绿色创新投入与企业社会责任系数呈正相关, 定价与企业社会责任系数呈现

负相关。这是由于消费者的绿色偏好的提高意味着消费者更乐意购买绿色产品，市场需求增加，因此制造商更乐意对产品的绿色创新进行投入。制造商越厌恶风险，其越担心产品会出现滞销情况，进而会选择降低批发价的措施以刺激需求，零售商也会受供应链中主导者风险规避的影响将销售价格降低进而达到提高市场需求量抵御市场风险的目的。

3.3. 供应链成员共同承担企业社会责任

当供应链成员均具有企业社会责任，并且共同承担时，两者按照一定的比例承担自身的社会责任，假设制造商的社会责任分担比例为 μ ，则零售商的社会责任分担比例就为 $1-\mu$ ，其中 $\mu \in (0,1)$ ，则此时制造商的风险规避函数和零售商利润函数为：

$$V(\pi_m) = (w-c)D - \frac{1}{2}kg^2 - r(w-c)\sigma + \mu\lambda C_s \quad (27)$$

$$\pi_r = (p-w)D + (1-\mu)\lambda C_s \quad (28)$$

命题三：零售商与制造商共同承担企业社会责任的模型下最优供应链定价，最优产品绿色度和最优绿色创新投入：

$$p^{cc} = \frac{\left[\begin{aligned} & Q + Q\lambda(-1+\mu) - \frac{\beta^2(1+\lambda(-1+\mu))(Q-c\alpha+r(-2+\lambda+(-1+\alpha^2)\lambda\mu)\sigma)}{\beta^2+k\alpha(-4+\lambda(2+(-2+\alpha^2)\mu))} \\ & + \alpha \frac{kQ(-2+\lambda(-1+\alpha^2)\lambda\mu) + k(2+\lambda(-1+\mu))(-c\alpha+r(2+\lambda(-1+\mu)))\sigma + \beta^2(c-r\alpha\lambda\mu\sigma)}{\beta^2+k\alpha(-4+\lambda(2+(-2+\alpha^2)\mu))} \end{aligned} \right]}{\left[\alpha(2+\lambda(-1+\mu)) \right]} \quad (29)$$

$$g^{cc} = -\frac{\beta(Q-c\alpha+r(-2+\lambda+(-1+\alpha^2)\lambda\mu)\sigma)}{\beta^2+k\alpha(-4+\lambda(2+(-2+\alpha^2)\mu))} \quad (30)$$

$$w^{cc} = \frac{kQ(-2+\lambda(-1+\alpha^2)\lambda\mu) + k(2+\lambda(-1+\mu))(-c\alpha+r(2+\lambda(-1+\mu)))\sigma + \beta^2(c-r\alpha\lambda\mu\sigma)}{\beta^2+k\alpha(-4+\lambda(2+(-2+\alpha^2)\mu))} \quad (31)$$

$$V(\pi_m)^{cc} = \frac{k(Q-c\alpha)^2 + 2kr(Q-c\alpha)(-2+\lambda+(-1+\alpha^2)\lambda\mu)\sigma + r^2(k(2+\lambda(-1+\mu))^2 - \mu\beta^2\alpha\lambda)\sigma^2}{2(\beta^2+k\alpha(-4+\lambda(2+(-2+\alpha^2)\mu)))} \quad (32)$$

由以上结果可得推论：

$$\frac{\partial h^{cc^*}}{\partial \lambda} > 0, \frac{\partial w^{cc^*}}{\partial \lambda} > 0, \frac{\partial g^{cc^*}}{\partial \lambda} > 0, \frac{\partial p^{cc^*}}{\partial \lambda} < 0, \frac{\partial h^{cc^*}}{\partial r} < 0, \frac{\partial w^{cc^*}}{\partial r} < 0, \frac{\partial g^{cc^*}}{\partial r} < 0, \frac{\partial p^{cc^*}}{\partial r} < 0$$

所得推论表明，制造商和零售商共同承担企业社会责任时，当消费者对企业社会责任以及绿色产品的偏好度提高时，承担更多的企业社会责任以及投入更多的绿色技术创新会刺激需求进而提高利润，此时零售商为了得到更高的长期利润会主动分担更多的制造商承担企业社会责任时候的生产成本，从而可以减轻制造商承担企业社会责任时的成本压力，鼓励制造商进行绿色创新投入。

4. 均衡分析

本章节将考虑制造商风险规避情况，对比不同模型的最优决策变量以及制造商利润，分析哪种企业

社会责任分担方式能够优化供应链效用。

4.1. 不同决策情形下绿色投入最优解对比分析

企业经营战略和消费者购买行为都会受到企业社会责任影响。因此需要对不同供应链成员承担企业社会责任对制造商绿色投入和供应链成员价格策略的影响进行分析，明确企业承担社会责任的条件。探究不同供应链成员承担企业社会责任对制造商绿色投入影响如下：

命题四： $h^{bc} > h^{ac}, h^{bc} > h^{cc}$ 。

证明：制造商绿色投入成本 $h = \frac{1}{2}kg^2$ ，将三种模型的产品绿色度均衡解代入，得到最优制造商绿色投入结果为：

$$h^{ac} = \frac{k\beta^2(Q - c\alpha + r(-2 + \lambda)\sigma)^2}{2(\beta^2 + k\alpha(-4 + \lambda))^2} \quad (33)$$

$$h^{bc} = \frac{k\beta^2(Q - c\alpha + r(-2 + \lambda)\sigma)^2}{2(\beta^2 + 2k\alpha(-2 + \lambda))^2} \quad (34)$$

$$h^{cc} = \frac{k\beta^2(Q - c\alpha + r(-2 + \lambda + (-1 + \alpha^2)\lambda\mu)\sigma)^2}{2(\beta^2 + k\alpha(-2 + \lambda(2 + (-2 + \alpha^2)\mu)))^2} \quad (35)$$

则由海瑟矩阵 $\beta^2 + 2k\alpha(-2 + \lambda) < 0$ 可以判定出此值小于 0，则 $h^{bc} > h^{ac}$ 即零售商承担企业社会责任制造商对产品的绿色投入高于制造商承担企业社会责任。同理可得 $h^{bc} > h^{cc}$ 。

令 $h^{ac} - h^{cc} = 0$ ，得到：

$$r = \frac{k\alpha(-Q + c\alpha)(1 - 2\mu + \alpha^2\mu)}{(-2k\alpha + k\alpha\lambda + 2k\alpha^3\mu + \beta^2\mu - \alpha^2\beta^2\mu - k\alpha\lambda\mu)\sigma} \quad (36)$$

当 $r > \frac{k\alpha(-Q + c\alpha)(1 - 2\mu + \alpha^2\mu)}{(-2k\alpha + k\alpha\lambda + 2k\alpha^3\mu + \beta^2\mu - \alpha^2\beta^2\mu - k\alpha\lambda\mu)\sigma}$ 时， $h^{ac} > h^{cc}$ ，反之，当 $r < \frac{k\alpha(-Q + c\alpha)(1 - 2\mu + \alpha^2\mu)}{(-2k\alpha + k\alpha\lambda + 2k\alpha^3\mu + \beta^2\mu - \alpha^2\beta^2\mu - k\alpha\lambda\mu)\sigma}$ 时， $h^{ac} < h^{cc}$ ，供应链成员共同承担企业社会责任制造商对产品的绿色投入低于制造商承担企业社会责任时对产品的绿色投入。

命题四表明，零售商作为承担企业社会责任的主体为了增加社会福利，会降低售价以刺激市场需求，从而使消费者绿色偏好增加，此时制造商为了满足市场需求提高竞争力则会增大对产品的绿色创新投入，制造商对产品绿色投入也因此最高。而当制造商风险规避系数高于某一阈值时，制造商与零售商共担企业社会责任会比制造商单独承担时更厌恶对产品进行绿色研发投入，这是因为制造商越厌恶风险其顾虑会越多，当零售商与制造商合作需要共同承担企业社会责任成本，零售商为保证利润会向制造商提出降低批发价或分担研发投入比例等行为，而制造商因为过度厌恶风险，为了保证利润会减少对产品的绿色研发投入。

4.2. 不同决策情形下制造商利润对比分析

命题五： $V(\pi_m)^{bc} > V(\pi_m)^{ac} > V(\pi_m)^{cc}$ 。

命题五表明在制造商风险规避且零售商呈风险中性时,仅零售商承担企业社会责任时制造商的利润达到峰值,而制造商和零售商共同承担企业社会责任时制造商的利润达到最低点。供应链的社会责任感增强,意味着制造商与零售商提升了各自目标函数中消费者剩余的比重,消费者能从制造商与零售商的行为中获得更多的利益,刺激了消费者对于产品的需求,这对于供应链中以利润最大化为目标的成员是有利的,为了积极履行社会责任,供应链成员将自己的部分利润让出,增加了消费者剩余,实现了社会福利的增加。

5. 算例分析

由于部分命题较为复杂,为验证以上结果的正确性,本文将对上述不同供应链成员承担社会责任情形下考虑风险规避时社会责任的各命题推论结果进行数值分析,从而使变量之间的关系更直观的表现出来,以验证模型有效性。

5.1. 制造商风险规避与各参数之间关系

制造商风险规避系数 r 与各决策变量之间的关系(见图 2、图 3、图 4、图 5)所示。为了对上述结论进一步讨论检验,本节建立了数值算例。对所建立数值算例进行分析,根据已有模型将参数设定如下: $Q = 20, \beta = 0.4, \lambda = 0.5, \sigma = 4, \alpha = 0.6, \mu = 0.5, k = 3, c = 10$ 。

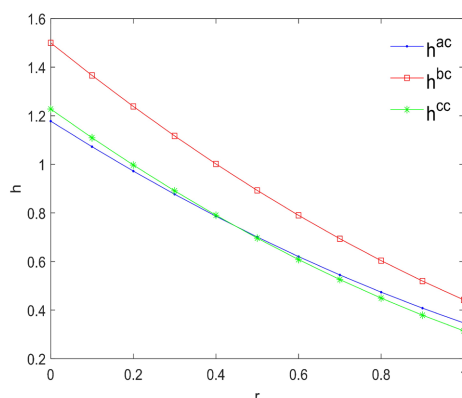


Figure 2. The relationship between manufacturer's green investment and risk avoidance coefficient r
图 2. 制造商绿色投入和风险规避系数 r 关系

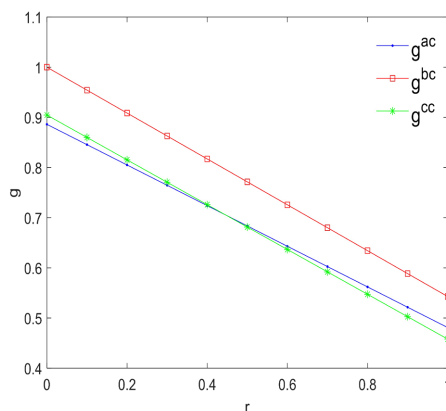


Figure 3. The relationship between product greenness g and risk avoidance coefficient r
图 3. 产品绿色度 g 和风险规避系数 r 的关系

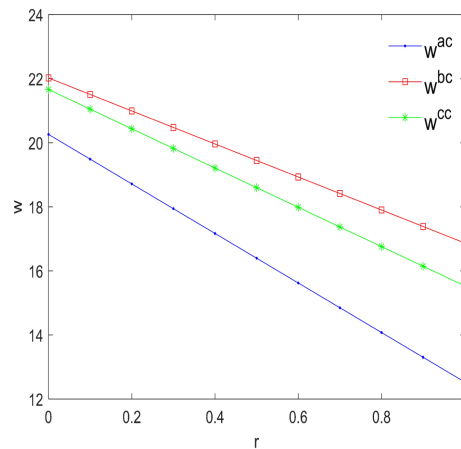


Figure 4. The relationship between wholesale price w and risk aversion coefficient r
图 4. 批发价 w 和风险规避系数 r 的关系

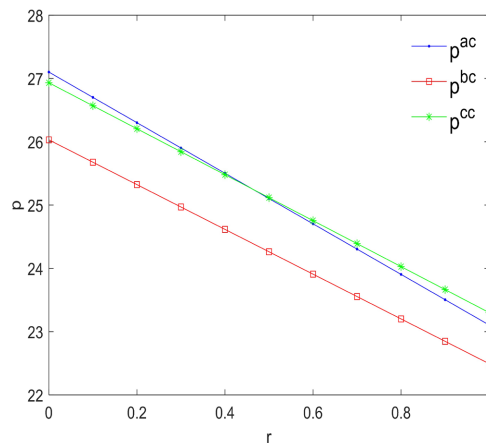


Figure 5. The relationship between selling price p and risk aversion coefficient r
图 5. 售价 p 和风险规避系数 r 的关系

从图 2 到图 5 可以看出,随着制造商风险规避系数越大,批发价格以及零售商的销售价格都会越低。从上面的关系图中可以看出,随着制造商风险规避系数越大,产品批发价格以及零售商的销售价格都会越低。在同样的批发价下,较大的风险规避系数对制造商效用会带来更加负面的影响。因此,制造商会通过降低批发价来稳定市场需求量。批发价格的降低定会使得制造商的总体收益减少,制造商会选择减少对产品的绿色研发投入来维持一定的经济效用,产品的绿色度也随之降低,此时零售商也会选择降低产品售价来刺激产品市场需求,从而实现薄利多销。相较于只有制造商承担企业社会责任或两者共担时,只有零售商承担企业责任时,相同风险规避系数下的产品绿色投入以及产品绿色度均最高,这是因为,零售商为刺激消费,其降低售价的幅度会远大于制造商降低批发价的幅度,制造商的产品效益空间增大,继而制造商也会通过提高产品绿色度来稳定市场。

5.2. 供应链成员企业社会责任与各参数之间关系

为验证上文的主要结论,参考相关文献并结合本文决策模型的约束条件将参数赋值为: $Q = 15, \beta = 0.6, r = 0.5, \sigma = 2, \alpha = 0.6, \mu = 0.5, k = 4, c = 10$ 。对上述结果进行数值仿真(见图 6, 图 7, 图 8, 图 9)。

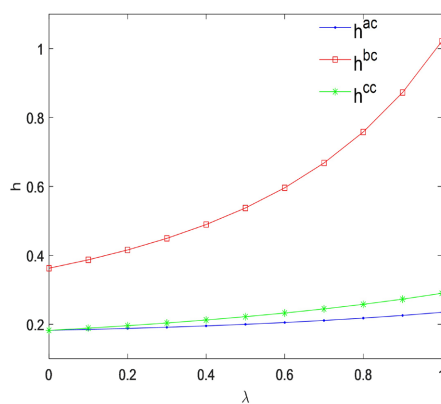


Figure 6. The relationship between manufacturers' green investment and corporate social responsibility λ
图 6. 制造商绿色投入和企业社会责任 λ 关系

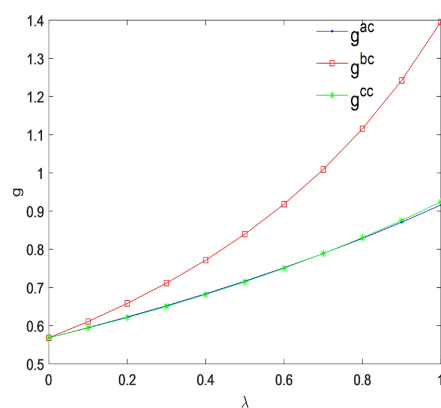


Figure 7. The relationship between product greenness and corporate social responsibility λ
图 7. 产品绿色度 g 和企业社会责任 λ 的关系

由图 6, 图 7 可以看出, 供应链成员企业社会责任系数与产品绿色度, 产品绿色投入呈正相关。当零售商承担企业社会责任时制造商对产品对绿色投入最大, 因为零售商承担企业社会责任的行为在一定程度上损害了自己的利润, 但会促进市场消费, 进而制造商的利润会上升, 此时制造商会增加绿色投入来刺激消费者购买绿色产品, 当消费者绿色偏好增加时, 其支付意愿也相应提高。

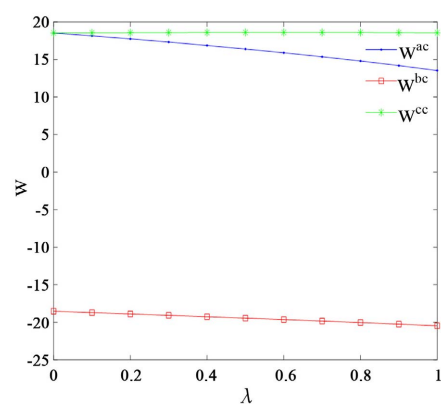


Figure 8. The relationship between wholesale price w and corporate social responsibility λ
图 8. 批发价 w 和企业社会责任 λ 的关系

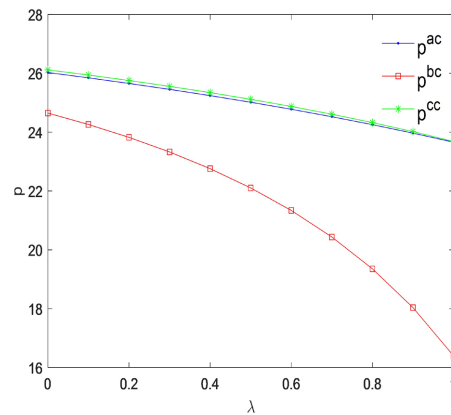


Figure 9. The relationship between price p and corporate social responsibility λ
图 9. 售价 p 和企业社会责任 λ 的关系

从图 8, 图 9 可以得出以下结论, 制造商的产品定价和零售商的售价均会随着企业社会责任系数增加而大幅下降, 当消费者的绿色偏好逐渐提升, 对绿色产品的市场需求也在提升, 制造商会承担更多的企业社会责任和投入更多的绿色技术会刺激需求从而提升利润, 因此为了鼓励制造商多去进行绿色创新研发投入, 零售商选择降低产品售价使得制造商有更多的盈利空间, 此时零售商的利润空间被压缩。

6. 结论与展望

本文探讨在绿色供应链背景下, 制造商风险规避时不同供应链成员承担企业社会责任对定价, 绿色研发投入和供应链成员效用的影响, 将企业社会责任行为定义为供应链成员对消费者的净收益关注建立模型并求解, 运用 Matlab 仿真对结果进一步验证。研究结果表明:

无论何种合作策略, 制造商的风险规避与产品绿色度, 产品绿色投入呈负相关, 企业社会责任与产品的绿色水平呈正相关, 且企业社会责任水平对产品绿色投入和市场需求的影响大于制造商风险规避对其的影响。这启示企业需要更加主动地去承担企业社会责任, 可以带来更多的品牌溢价。

无论制造商风险规避的高低, 零售商承担企业社会责任时供应链总效用最高, 当上下游不合作承担企业社会责任时, 随着制造商风险厌恶的增加, 零售商利润降低, 制造商利润升高。当制造商风险厌恶水平较低时, 制造商承担企业社会责任时的效用会高于两者共担。这说明并不是只有供应链上下游展开合作才能实现利益最大化。

本文研究仍存在许多不足。本文的研究对象为单一制造商与单一零售商组成的绿色供应链, 而现实中供应链多为复杂网络结构, 往往包含多个制造商和零售商。因此, 未来可进一步研究包含多个决策主体的绿色供应链决策问题; 此外, 现实中的零售商也可能存在风险规避行为, 且供应链成员之间的信息并非完全透明。因此, 信息不对称和零售商风险规避对绿色供应链决策的影响也需要进一步去探究。

参考文献

- [1] 杨晓辉, 游达明. 考虑消费者环保意识与政府补贴的企业绿色技术创新决策研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(9): 263-274.
- [2] Zhu, W. and He, Y. (2016) Green Product Design in Supply Chains under Competition. *European Journal of Operational Research*, **258**, 165-180.
- [3] 程粟粟, 张帆, 李冬冬. 基于绿色技术研发的绿色供应链微分博弈及协调模型[J]. 中国管理科学, 2022, 30(8): 95-105.
- [4] 李婧婧, 李勇建, 刘露, 等. 激励绿色供应链企业开展生态设计的机制决策[J]. 系统工程理论与实践, 2019,

- 39(9): 2287-2299.
- [5] Liu, Y., Li, J., Quan, B.T., *et al.* (2019) Decision Analysis and Coordination of Two-Stage Supply Chain Considering Cost Information Asymmetry of Corporate Social Responsibility. *Journal of Cleaner Production*, **228**, 1073-1087.
- [6] Panda, S. (2014) Coordination of a Socially Responsible Supply Chain Using Revenue Sharing Contract. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **67**, 92-104.
- [7] Gupta, V. and Ivanov, D. (2020) Dual Sourcing under Supply Disruption with Risk-Averse Suppliers in the Sharing Economy. *International Journal of Production Research*, **58**, 291-307. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1686189>
- [8] Li, B., Hou, P., Chen, P., *et al.* (2016) Pricing Strategy and Coordination in a Dual Channel Supply Chain with a Risk-Averse Retailer. *International Journal of Production Economics*, **178**, 154-168.
- [9] Ray, P. (2021) Agricultural supply Chain Risk Management under Price and Demand Uncertainty. *International Journal of System Dynamics Applications*, **10**, 17-32. <https://doi.org/10.4018/IJSDA.2021040102>
- [10] Shen, B., Wang, X., Cao, Y., *et al.* (2020) Financing Decisions in Supply Chains with a Capital-Constrained Manufacturer: Competition and Risk. *International Transactions in Operational Research*, **7**, 1-27. <https://doi.org/10.1111/itor.12670>
- [11] Chen, P., Li, B., Jiang, Y., *et al.* (2017) The Impact of Manufacturer's Direct Sales and Cost Information Asymmetry in a Dual-Channel Supply Chain with a Risk-Averse Retailer. *International Journal of Electronic Commerce*, **21**, 47-70. <https://doi.org/10.1080/10864415.2016.1204189>
- [12] 尚文芳, 滕亮亮. 考虑政府补贴和销售努力的零售商主导型绿色供应链博弈策略[J]. 系统工程, 2020, 38(2): 40-50.
- [13] Chiu, C.H., Choi, T.M. and Tang, C. (2011) Price, Rebate, and Returns Supply Contracts for Coordinating Supply Chains with Price Dependent Demand. *Production & Operations Management*, **20**, 81-91. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2010.01159.x>
- [14] Gan, X., Sethi, S.P. and Yan, H. (2004) Coordination of Supply Chains with Risk-Averse Agents. *Production & Operations Management*, **13**, 135-149. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2004.tb00150.x>