

# 考虑碳交易的品牌商主导型绿色供应链融资策略研究

徐智坤, 张科静

东华大学旭日工商管理学院, 上海

收稿日期: 2021年11月25日; 录用日期: 2022年1月4日; 发布日期: 2022年1月26日

## 摘要

随着“碳达峰”、“碳中和”等理念的提出,以碳配额交易为代表的碳金融工具得到了越来越多人的关注。从绿色供应链金融的角度出发,碳交易过程则给予供应链额外绿色收益激励,进一步鼓励供应链双方提升供应链绿色度,追求供应链经济效益和绿色效益的双重提升。本文在品牌商主导型绿色供应链中引入了绿色度和碳交易的概念,并将绿色度和碳交易相联系,探讨供应商由于加大供应链绿色度投入而面临资金约束,采用供应商内部融资(即由品牌商提供提前支付融资)是否是更为经济的选项。从决策角度出发,研究了存在资金约束的供应商采用外部绿色信贷融资和内部品牌商提前支付融资分别对供应链各方最优决策的影响。研究表明,在供应商存在资金约束的绿色产品供应链中,品牌商应该采取提前付款折扣尽可能低(最低可以为市场无风险利率)的融资策略参与供应商融资。同时,由于提前支付融资相较外部银行绿色信贷融资经济和社会效益均有显著提升,对于政策方而言,也有足够的理由鼓励和推动各方采取提前支付融资手段,以同时实现供应链绿色效益和经济效益的双重提升。最后,本文采用数值分析对结论进行了验证。

## 关键词

绿色供应链金融, 品牌商主导, 资金约束, 碳交易, 融资策略

# Research on Brand Led Green Supply Chain Financing Strategy Considering Carbon Trading

Zhikun Xu, Kejing Zhang

Glorious Sun School of Business and Management, Donghua University, Shanghai

Received: Nov. 25<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jan. 4<sup>th</sup>, 2022; published: Jan. 26<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

With the concept of “carbon peaking” and “carbon neutralization”, carbon financial instruments represented by carbon quota trading have attracted more and more attention. From the perspective of green supply chain finance, the carbon trading process gives the supply chain additional green income incentives, further encourages both sides of the supply chain to improve the green degree of the supply chain, and pursues the dual improvement of economic and green benefits of the supply chain. This paper introduces the concepts of green degree and carbon trading in the brand led green supply chain, connects green degree and carbon trading, and discusses whether it is a more economical option for suppliers to adopt internal financing (*i.e.* advance payment financing provided by brands) because suppliers face capital constraints due to increasing green degree investment in the supply chain. From the perspective of decision-making, this paper studies the impact of external green credit financing and internal brand prepayment financing on the optimal decision-making of all parties in the supply chain. The research shows that in the green product supply chain with capital constraints, brands should adopt the financing strategy of early payment discount as low as possible (the lowest can be the market risk-free interest rate) to participate in supplier financing. At the same time, compared with the green credit financing of external banks, the economic and social benefits of early payment financing have been significantly improved. For policy parties, there are also sufficient reasons to encourage and promote all parties to adopt early payment financing means, so as to realize the dual improvement of green and economic benefits of the supply chain at the same time. Finally, the conclusion is verified by numerical analysis.

## Keywords

Green Supply Chain Finance, Brand Leader, Capital Constraints, Carbon Trading, Financing Strategies

Copyright © 2022 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

绿色供应链金融是在绿色供应链和供应链金融及绿色金融等概念的基础上发展沿革而来的[1]。而在新的时代背景下,中国经济发展愈加追求发展品质和永续发展理念,为了更好地发挥市场的作用,促进中小企业的绿色转型和永续发展,绿色供应链金融成为不二之选[2]。传统的绿色供应链和绿色金融在兼顾环保与经济的同时,由于对企业资质和运营能力有较高的要求,不可避免地给中小企业带来了更大的生存压力和发展要求,而供应链金融则正是针对中小企业融资难问题,可以在很大程度上给绿色供应链及绿色金融以补充[3]。因此,将绿色供应链、绿色金融和供应链金融相融合[4],将广大中小企业也纳入到新的发展模式中,已成为势在必行的绿色供应链管理和产业融资新趋势[5]。

与此同时,随着全球气候变暖的节奏加快,对作为罪魁祸首的二氧化碳的管控成为世界各国的共识[6]。而“碳达峰”和“碳中和”是全球碳市场最主要的阶段性目标,我国也做出了具体的目标规划。第七十五届联合国大会上,习近平主席宣布将提高国家自主贡献力度,采取更加有力的政策和措施,使二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和。而碳交易,就是控制碳排放的

一项金融工具。碳交易赋予企业在碳配额范围内交易碳减排量获取绿色收益的权利, 业已成为一项十分有效的绿色工具运用在各行各业[7]。本文则在绿色供应链中引入碳交易, 将绿色度赋予碳交易市场的实际意义, 规划和决策供应链时通过调节绿色度实现对碳减排的规划, 在提高供应链绿色度的同时, 也考虑市场最新的绿色工具, 帮助供应链获得更大绿色激励。

目前, 国内外学者对于绿色供应链金融的激励机制的研究主要还是强调绿色供应链中各个主体之间可以采用激励策略, 而对这些激励策略的具体运营实践方式尚未进行更深一层的研究[8]。也有一些学者运用了博弈论等理论对绿色供应链金融的推动因素进行了研究, 但主要还是集中于政策层面对绿色供应链中供应商的奖惩制度建设, 较少以品牌商作为激励主体进行研究[9]。事实上, 具体的决策和激励措施的研究在绿色供应链金融研究领域应当占据一定的地位[10]。品牌商作为其中重要的一环, 并且在运营层面上越来越占据主要地位的背景下, 理应得到更多关注[11]。

随着社会经济发展以及新零售等业态等蓬勃兴起, 品牌商由于靠近市场, 掌握着海量用户信息和资源调度能力, 越来越成为商品流通市场的主导者, 在供应链中的地位随消费者需求的多样化、绿色化而日趋重要[12]。因此, 以品牌商作为主导企业来通盘考虑具有较强的现实意义。

综上所述, 本文的研究致力于构建一个以品牌商为主导地位的考虑碳交易和消费者绿色偏好的供应商资金缺乏型绿色供应链金融博弈模型, 分析在同时考虑品牌商主导和碳交易和消费者绿色偏好的情况下, 对供应链中供应商面临资金约束时供应链中各企业的最优定价和绿色度决策以及最优利润进行了比较分析, 并以此为基础, 对供应链融资策略进行研究。

## 2. 基本模型与假设

### 2.1. 问题描述与分析

在全球的碳交易市场上, 最主要的标准交易标的即为碳排放配额, 而碳排放配额指的是 1 个单位碳排放配额相当于向大气排放 1 吨的二氧化碳当量。而在如 PUMA 等公司的尝试中, 供应链绿色度已成为掌控和督促供应链提高绿色度的一种行之有效的方 式。本文则将两者有机联系起来, 将绿色度赋予与碳交易相关的实际意义, 使越高绿色度的供应链将会获得更高的碳交易收入。结合实际供应链管理中的供应链绿色评级及前人的研究, 同时设定绿色度越高, 环境友好度越高, 消费者越对其有绿色偏好。绿色度可表示为  $\theta = \frac{\text{碳配额} - \text{实际排放}}{\text{碳配额}} * 100$ 。本章同时将研究范围拓展到考虑碳交易背景下的绿色信贷融资和品牌商提前支付融资模式中。

本文以品牌商为主导的绿色供应链为研究对象, 借鉴国内外的最新研究成果, 以博弈论为基础, 设置了考虑碳交易的供应链金融模型, 假定品牌商能获得的碳交易收入与供应链绿色度线性相关, 对供应链中面临资金约束的供应商选择不同的融资策略时, 供应链中企业的最优定价决策以及最优利润进行比较分析。在此基础之上, 思考品牌商向供应商提供转移支付的激励机制, 以研究促进供应商采取更为绿色化生产方式的可行方案, 以市场化的手段推动绿色供应链更加环保和永续发展。

模型假设市场实际需求由零售价格和绿色度决定, 供应商由于提高供应链绿色度而增加投资, 面临资金约束的财务困境, 品牌商与供应商经过长期的贸易往来, 产生了良好的合作关系, 为稳定产品的供应, 使供应链稳定有效的运行, 有两种方式可以帮助供应商解决资金困难。第一种, 绿色信贷融资, 即品牌商凭借自己良好的信誉为供应商提供信用担保, 使供应商向金融机构申请绿色信贷融资, 缓解其资金缺乏的困境; 第二种, 品牌商提前支付融资模式, 即品牌商向供应商提前支付货款, 供应商给予一定资金折扣, 以此缓解供应商资金缺乏困境。

考虑碳交易和消费者绿色度偏好的供应链结构如图 1 所示。首先, 品牌商决定零售价格; 其次, 供应商决定出厂价格和绿色度; 同时, 由于碳交易收入与供应链绿色度线性相关, 绿色度确定的同时碳交易收入随之确定。

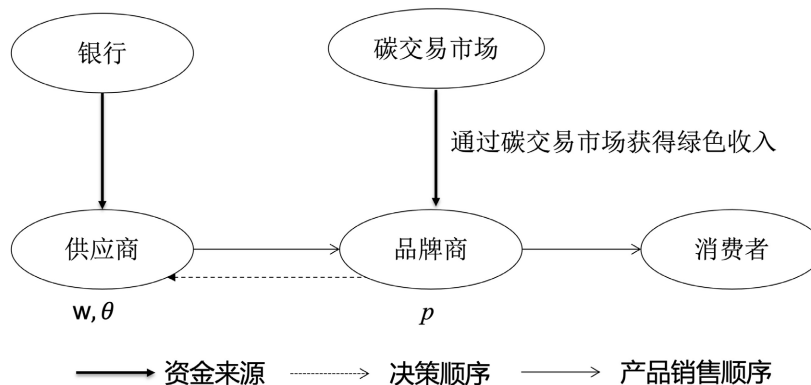


Figure 1. The structure of basic supply chain  
图 1. 基本供应链结构

## 2.2. 符号说明

碳交易场景下, 考虑消费者绿色度偏好的博弈模型参数和决策变量的描述如表 1 所示:

Table 1. Notations of model  
表 1. 模型符号描述表

符号	参数描述
$\alpha$	市场总需求
$\beta$	价格对需求的影响系数
$\mu$	绿色度对需求的影响系数
$D$	市场实际需求
$c$	产品制造变动成本
$k$	绿色度成本系数
$r_b$	绿色信贷融资利率
$r_i$	品牌商提前支付融资折扣
$\pi_M$	供应商利润
$\pi_R$	品牌商利润
$\pi_M^B$	绿色信贷融资状态下供应商利润
$\pi_R^B$	绿色信贷融资状态下品牌商利润
$\pi_M^T$	品牌商提前支付融资状态下供应商利润
$\pi_R^T$	品牌商提前支付融资状态下品牌商利润
$r_f$	市场无风险利率
$G$	碳交易价值系数

## Continued

符号	决策变量描述
$p$	产品零售价格
$w$	产品出厂价格
$\theta$	绿色度

## 2.3. 假设条件

**假设 1:** 碳交易的收入表达为  $G\theta$ , 且有  $G = \frac{\text{碳配额} \times \text{价格}}{100}$ ,  $\theta = \frac{\text{碳配额} - \text{实际排放}}{\text{碳配额}} \times 100$ ,  $G\theta = (\text{碳配额} - \text{实际排放}) \times \text{价格}$ 。

**假设 2:** 市场实际需求由价格和绿色度决定。 $\alpha$  为市场总需求,  $p$  为产品零售价格,  $\beta$  是价格对需求的影响系数,  $\theta$  为绿色度,  $\mu$  为绿色度对需求的影响系数。

**假设 3:** 供应商生产产品为提高绿色度所要付出的额外成本为  $k\theta^2$ , 且此部分为一次性投入。

**假设 4:** 供应商通过绿色供应链金融获取的资金无论其来源均不考虑时间成本。

**假设 5:** 在本部分的研究中, 绿色信贷融资的利率、品牌商提前支付融资的折扣均可视为外界变量, 不会受到供应链的影响。

## 2.4. 基础模型与推论

基本模型如下:

在未进行供应链融资时, 市场实际需求为:

$$D = \alpha - \beta p + \mu \theta \quad (1)$$

品牌商的利润为:

$$\pi_R = (\alpha - \beta p + \mu \theta)(p - w) + G\theta \quad (2)$$

供应商的利润为:

$$\pi_M = (\alpha - \beta p + \mu \theta)(w - c) - k\theta^2 \quad (3)$$

为简化模型, 对模型参数施加以下约束:

- 1)  $\mu < \sqrt{2k\beta}$ , 通过此条约束保证利润函数和主要参数为正。
- 2)  $c < \frac{\alpha}{\beta}$ , 通过此条约束保证市场需求与销售价格为正。

在此模型下, 通过逆向归纳法可以得出最优出厂价格、绿色度、零售价格、市场实际需求如下:

$$w^* = \frac{2k(\alpha + 3c\beta) + \mu(G - 2c\mu)}{8k\beta - 2\mu^2}, \quad \theta^* = \frac{2k\alpha\mu - 2ck\beta\mu + G\mu^2}{16k^2\beta - 4k\mu^2},$$

$$p^* = \frac{4k^2\beta(3\alpha + c\beta) + G\mu^3 - 2k\mu(G\beta + (\alpha + c\beta)\mu)}{4k\beta(4k\beta - \mu^2)}, \quad D^* = \frac{\beta(2k(\alpha - c\beta) + G\mu)}{8k\beta - 2\mu^2}.$$

通过代入最优出厂价格  $w^*$ 、绿色度  $\theta^*$  和零售价格  $p^*$ , 并根据等式(2)和(3)中品牌商和供应商的利润函数, 品牌商和供应商的最优利润可表示为:

$$\pi_R^* = \frac{(2k(\alpha - c\beta) + G\mu)^2}{8k(4k\beta - \mu^2)} \quad (4)$$

$$\pi_M^* = \frac{(2k(\alpha - c\beta) + G\mu)^2}{16k(4k\beta - \mu^2)} \quad (5)$$

通过对基础模型进行分析, 可以得到以下推论:

**推论 1:** 1)  $\frac{\partial p^*}{\partial \alpha} > 0, \frac{\partial p^*}{\partial \mu} > 0, \frac{\partial p^*}{\partial c} > 0, \frac{\partial p^*}{\partial G} < 0, \frac{\partial p^*}{\partial k} < 0$ ; 2)  $\frac{\partial w^*}{\partial \alpha} > 0, \frac{\partial w^*}{\partial G} > 0, \frac{\partial w^*}{\partial \mu} > 0, \frac{\partial w^*}{\partial c} > 0, \frac{\partial w^*}{\partial k} < 0, \frac{\partial w^*}{\partial \beta} < 0$ ; 3)  $\frac{\partial \theta^*}{\partial \alpha} > 0, \frac{\partial \theta^*}{\partial \mu} > 0, \frac{\partial \theta^*}{\partial G} > 0, \frac{\partial \theta^*}{\partial k} < 0, \frac{\partial \theta^*}{\partial \beta} < 0, \frac{\partial \theta^*}{\partial c} < 0$ 。

当市场总需求  $\alpha$  和需求的消费者绿色度偏好  $\mu$  增大时, 市场实际需求增大, 品牌商倾向于提高零售价格获取更多利润, 而供应商也会通过提高出厂价格的方式来提高利润, 利润的增长促使供应商有更大的动力通过增加对绿色度的投入, 通过提高绿色度进一步提高市场实际需求。单位产品成本  $c$  的提升则会使品牌商获得供应商即将提高出厂价的预判, 此时, 品牌商会倾向于选择提高零售价格来维持利润。同理, 当绿色度成本系数  $k$  增大时, 品牌商会预判供应商将会通过减小绿色度的方式来维持或减少绿色度投入, 以避免绿色度投入过多占据供应商资金成本。供应商降低绿色度, 会导致市场实际需求的萎缩, 此时, 品牌商会倾向于降低零售价格来维持市场实际需求, 以此维持利润。而当新的参数碳交易价值系数  $G$  增大, 品牌商获得更多碳交易收入, 也有更强的动力通过供应链影响使供应商投入更多绿色度, 以使自己获益, 因此会倾向于通过降低零售价格的方式来扩大市场实际需求, 以此让利供应商, 使供应商有更大动力加大对绿色度的投入。供应商发现市场实际需求增大, 会一方面提高出厂价格, 一方面加大对绿色度投入, 使自己获益的同时, 客观上也增强了供应链绿色效益。

有意思的是, 虽然碳交易收入的直接获益者是品牌商, 但由于品牌商的碳交易收入实质由绿色度  $\theta$  决定, 为使自己更多获益, 需要供应商更大程度地提升供应链绿色度, 因此必须在利润上作出让步, 通过降低零售价格让渡一部分收益, 供应商则会因品牌商零售价格降低而收益, 也会因判断市场实际需求扩大而提高出厂价格, 并增大绿色度投入。显然, 在这种场景下, 供应商也会因品牌商碳交易收入而获益, 供应链绿色效益也有所上升。

### 3. 融资策略研究

#### 3.1. 绿色信贷融资策略

在绿色信贷融资模式下, 供应商凭借品牌商和自身的信用状况向银行申请与提升供应链绿色度所支出的绿色投入同等金额的贷款, 并支付利率为  $r_b$  的利息。

此时事件决策顺序图如图 2 所示:

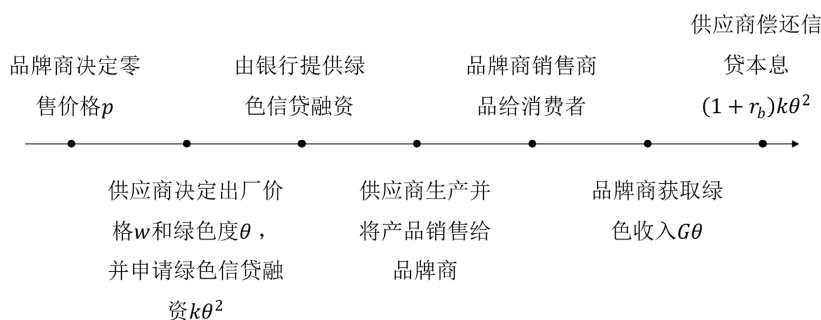


Figure 2. Event sequence of green credit financing model

图 2. 绿色信贷融资模式事件顺序

此时, 供应商和品牌商的利润函数(上标为  $B$ )如下:

$$\pi_M^B = (\alpha - \beta p + \mu\theta)(w - c) - (1 + r_b)k\theta^2 \quad (6)$$

$$\pi_R^B = (\alpha - \beta p + \mu\theta)(p - w) + G\theta \quad (7)$$

其中, 贷款金额为绿色投入  $k\theta^2$ , 供应商需要偿还  $(1 + r_b)k\theta^2$  的本息。最优出厂价格、绿色度、零售价格、市场实际需求可以通过逆向归纳法得出:

$$w^{B*} = \frac{2k(1+r_b)(\alpha+3c\beta)+\mu(G-2c\mu)}{8k(1+r_b)\beta-2\mu^2}, \quad \theta^{B*} = \frac{\mu(2k(1+r_b)(\alpha-c\beta)+G\mu)}{4k(1+r_b)(4k(1+r_b)\beta-\mu^2)},$$

$$p^{B*} = \frac{2k(1+r_b)(\alpha-c\beta)-G\mu}{4k(1+r_b)\beta} + \frac{2k(1+r_b)(\alpha+3c\beta)+\mu(G-2c\mu)}{8k(1+r_b)\beta-2\mu^2},$$

$$D^{B*} = \frac{\beta(2k(1+r_b)(\alpha-c\beta)+G\mu)}{8k(1+r_b)\beta-2\mu^2}。$$

通过代入最优出厂价格  $w^{B*}$ 、绿色度  $\theta^{B*}$  和零售价格  $p^{B*}$ , 并根据等式(6)和(7)中品牌商和供应商的利润函数, 品牌商和供应商的最优利润可表示为:

$$\pi_R^{B*} = \frac{(2k(1+r_b)(\alpha-c\beta)+G\mu)^2}{8k(1+r_b)(4k(1+r_b)\beta-\mu^2)} \quad (8)$$

$$\pi_M^{B*} = \frac{(2k(1+r_b)(\alpha-c\beta)+G\mu)^2}{16k(1+r_b)(4k(1+r_b)\beta-\mu^2)} \quad (9)$$

通过计算和分析, 可以有如下推论:

**推论 2:** 1)  $\frac{\partial p^{B*}}{\partial r_b} < 0$ ,  $\frac{\partial w^{B*}}{\partial r_b} < 0$ ,  $\frac{\partial \theta^{B*}}{\partial r_b} < 0$ ,  $\frac{\partial D^{B*}}{\partial r_b} < 0$ ; 2)  $\frac{\partial \pi_R^{B*}}{\partial r_b} < 0$ ,  $\frac{\partial \pi_M^{B*}}{\partial r_b} < 0$ 。

推论 2 表明 1) 最优零售价格、出厂价格、绿色度、市场实际需求都与绿色信贷融资利率负相关。当融资利率上升, 供应商判断品牌商会由于融资利率上升而降低绿色度投入和少借贷, 市场实际需求会降低, 因此会倾向于通过降低零售价格, 以使市场需求增加的方式来维持或提高利润。零售价格降低, 供应商也倾向于通过降低出厂价格的方式来促使品牌商多购买, 并通过降低绿色度来减少绿色度投入和少借贷, 最终导致市场实际需求进一步下降, 并进一步影响到供应链整体的效益, 这也佐证了 2)。

2) 品牌商和供应商的最优利润均与绿色信贷融资利率负相关。也即若银行以高融资利率放贷, 则供应商和品牌商的利润均会遭到侵蚀, 供应链整体收益萎缩。当融资利率上升, 更多的利润被从供应链中拿走, 市场实际需求下降、零售价格和出厂价格下跌, 供应链双方都受到负面影响。此外, 结合 1) 可知, 当利率在较高水平时,  $p^{B*}$ ,  $w^{B*}$ ,  $\theta^{B*}$ ,  $D^{B*}$ ,  $\pi_R^{B*}$ ,  $\pi_M^{B*}$  全面下降, 这意味着较高利率水平导致供应链均衡值整体下移, 对所有关切因素都有负面影响。

值得注意的是, 最优绿色度  $\theta^{B*}$  也与银行贷款利率  $r_b$  负相关, 即高银行融资利率不仅会降低供应链收益, 也会打击供应商提高绿色度的意愿, 降低绿色度, 不利于供应商的节能减排。

**推论 3:** 1)  $\frac{\partial p^{B*}}{\partial G} < 0$ ,  $\frac{\partial w^{B*}}{\partial G} > 0$ ,  $\frac{\partial \theta^{B*}}{\partial G} > 0$ ,  $\frac{\partial D^{B*}}{\partial G} > 0$ ,  $\frac{\partial \pi_R^{B*}}{\partial G} > 0$ ,  $\frac{\partial \pi_M^{B*}}{\partial G} > 0$ ; 2)  $\frac{\partial p^{B*}}{\partial \mu} > 0$ ,  $\frac{\partial w^{B*}}{\partial \mu} > 0$ ,  $\frac{\partial \theta^{B*}}{\partial \mu} > 0$ ,  $\frac{\partial D^{B*}}{\partial \mu} > 0$ ,  $\frac{\partial \pi_R^{B*}}{\partial \mu} > 0$ ,  $\frac{\partial \pi_M^{B*}}{\partial \mu} > 0$ ; 3)  $\frac{\partial p^{B*}}{\partial k} < 0$ ,  $\frac{\partial w^{B*}}{\partial k} < 0$ ,  $\frac{\partial \theta^{B*}}{\partial k} < 0$ ,  $\frac{\partial D^{B*}}{\partial k} < 0$ ,  $\frac{\partial \pi_R^{B*}}{\partial k} < 0$ ,

$$\frac{\partial \pi_M^{B*}}{\partial k} < 0。$$

推论 3 表明, 1) 最优零售价格与碳交易价值系数  $G$  负相关, 最优出厂价格、绿色度、市场实际需求、品牌商利润、供应商利润都与碳交易价值系数  $G$  正相关。当碳交易价值系数  $G$  增大, 品牌商获得更多的碳交易收入, 有更强的动力通过供应链影响使供应商投入更多绿色度, 以使自己获益, 因此会倾向于通过降低零售价格的方式来扩大市场实际需求, 以此让利供应商, 使供应商有更大动力加大对绿色度的投入。供应商发现市场实际需求增大, 会一方面提高出厂价格, 一方面加大对绿色度投入, 使自己获益的同时, 客观上也增强了供应链绿色效益。

2) 最优零售价格、出厂价格、绿色度、市场实际需求、品牌商利润、供应商利润都与需求的消费者绿色度偏好正相关, 3) 而与绿色度成本系数负相关。当需求的消费者绿色度偏好增大, 意味着市场实际需求增大, 品牌商倾向于提高零售价格获取更多利润, 而供应商也会通过提高出厂价格的方式来提高利润, 利润的增长促使供应商有更大的动力通过增加对绿色度的投入, 并通过提高绿色度进一步提高市场实际需求。最终使得市场实际需求更大, 增加的市场需求叠加更高的出厂价格和零售价格, 全面提升了整条供应链的利润, 同时也带来更高的绿色效益。反之, 当绿色度成本系数增大, 品牌商预判供应商将会通过减小绿色度的方式来维持或减少绿色度投入, 以避免绿色度投入过多占据供应商资金成本, 市场实际需求将会萎缩。此时, 品牌商倾向于降低零售价格以卖出更多商品, 供应商同样倾向于降低出厂价格和绿色度投入来维持利润, 市场实际需求萎缩, 进而全面降低了供应链利润, 也降低了供应链的绿色效益。

### 3.2. 品牌商提前支付融资策略

在品牌商提前支付融资模式下, 品牌商提前向供应商全额支付货款, 供应商则需要给予  $r_i$  的折扣。这里将  $r_i$  视为外生变量。考虑到提前支付的资金成本, 需考虑品牌商的无风险利率  $r_f$ , 且有  $r_i > r_f$ 。

此时, 事件决策顺序如下图 3 所示:

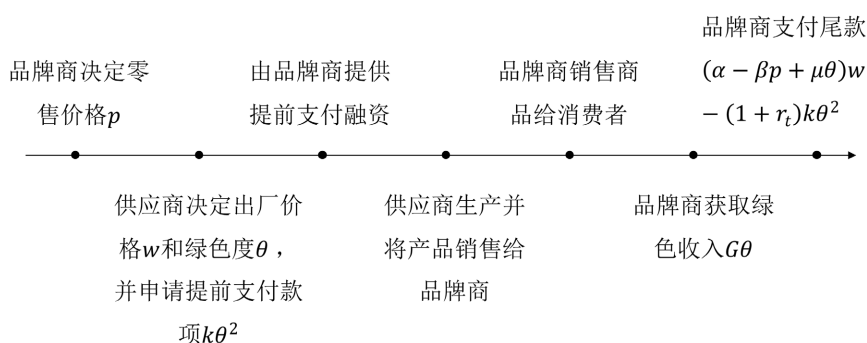


Figure 3. Event sequence of advance payment financing model

图 3. 提前支付融资模式的事件顺序

此时, 供应商和品牌商的利润函数(上标为  $T$ )如下:

$$\pi_R^T = (\alpha - \beta p + \mu\theta)(p - w) + (r_i - r_f)k\theta^2 + G\theta \quad (10)$$

$$\pi_M^T = (\alpha - \beta p + \mu\theta)(w - c) - (1 + r_i)k\theta^2 \quad (11)$$

其中, 供应商给予品牌商折扣为  $r_i k\theta^2$ , 品牌商提前支付金额为  $(\alpha - \beta p + \mu\theta)w - r_i k\theta^2$ 。最优出厂价格、绿色度、零售价格、市场实际需求可以通过逆向归纳法得出:



$$w^{T*} = \frac{2k(1+r_i)^2(\alpha+3c\beta)+\mu(G(1+r_i)+c(-2-3r_i+r_f)\mu)}{8k(1+r_i)^2\beta+(-2-3r_i+r_f)\mu^2},$$

$$\theta^{T*} = \frac{\mu(2k(1+r_i)(\alpha-c\beta)+G\mu)}{2k(8k(1+r_i)^2\beta+(-2-3r_i+r_f)\mu^2)},$$

$$p^{T*} = \frac{4k^2(1+r_i)^2\beta(3\alpha+c\beta)+G\mu^3-2k\mu(G(1+r_i)\beta+(1+2r_i-r_f)\alpha\mu+c(1+r_i)\beta\mu)}{2k\beta(8k(1+r_i)^2\beta+(-2-3r_i+r_f)\mu^2)},$$

$$D^{T*} = \frac{(1+r_i)\beta(2k(1+r_i)(\alpha-c\beta)+G\mu)}{8k(1+r_i)^2\beta+(-2-3r_i+r_f)\mu^2}.$$

通过代入最优出厂价格  $w^{T*}$ 、绿色度  $\theta^{T*}$  和零售价格  $p^{T*}$ ，并根据等式(10)和(11)中品牌商和供应商的利润函数，品牌商和供应商的最优利润可表示为：

$$\pi_R^{T*} = \frac{(2k(1+r_i)(\alpha-c\beta)+G\mu)^2}{4k(8k(1+r_i)^2\beta+(-2-3r_i+r_f)\mu^2)} \quad (12)$$

$$\pi_M^{T*} = \frac{(1+r_i)(2k(1+r_i)(\alpha-c\beta)+G\mu)^2(4k(1+r_i)\beta-\mu^2)}{4k(8k(1+r_i)^2\beta+(-2-3r_i+r_f)\mu^2)^2} \quad (13)$$

通过计算和分析，可以有如下推论：

**推论 4:** 1)  $\frac{\partial p^{T*}}{\partial r_i} < 0$ ,  $\frac{\partial w^{T*}}{\partial r_i} < 0$ ,  $\frac{\partial \theta^{T*}}{\partial r_i} < 0$ ,  $\frac{\partial D^{T*}}{\partial r_i} < 0$ ; 2)  $\frac{\partial \pi_R^{T*}}{\partial r_i} < 0$ ,  $\frac{\partial \pi_M^{T*}}{\partial r_i} < 0$ 。

推论 4 表明，1) 最优零售价格、出厂价格、绿色度、市场实际需求都与提前支付融资折扣负相关，与绿色信贷融资模式下相似。当融资利率上升，供应商判断品牌商会由于融资利率上升而降低绿色度投入和少借贷，市场实际需求会降低，因此会倾向于通过降低零售价格，以使市场需求增加的方式来维持或提高利润。零售价格降低，供应商也倾向于通过降低出厂价格的方式来促使品牌商多购买，并通过降低绿色度来减少绿色度投入和少借贷，最终导致市场实际需求进一步下降，并进一步影响到供应链整体的效益，这也佐证了 2)。

2) 品牌商和供应商的最优利润均与提前支付融资折扣负相关。也即若品牌商要求高提前支付折扣，虽然会获得更高的利率收入，但实际上供应商和品牌商的利润均会遭到侵蚀，供应链整体收益萎缩。当折扣上升，供应商倾向于少投入绿色度，品牌商虽降价销售，但幅度不足以弥补绿色度降低带来的损失，市场实际需求下降、零售价格和出厂价格下跌，供应链双方都受到负面影响。此外，结合 1)可知，当折扣在较高水平时， $p^{T*}$ ,  $w^{T*}$ ,  $\theta^{T*}$ ,  $D^{T*}$ ,  $\pi_R^{T*}$ ,  $\pi_M^{T*}$  全面下降，这意味着较高折扣水平导致供应链均衡值整体下移，对所有关切因素都有负面影响。

值得注意的是，品牌商利润  $\pi_R^{T*}$  和最优绿色度  $\theta^{T*}$  也与提前支付折扣  $r_i$  负相关，即高提前支付折扣不仅会降低供应链整体效益，打击供应商提高绿色度的意愿，降低绿色度，不利于供应商的节能减排，同时也并不会为品牌商带来足够多收益，品牌商也同样受损。

**推论 5:** 1)  $\frac{\partial p^{T*}}{\partial G} < 0$ ,  $\frac{\partial w^{T*}}{\partial G} > 0$ ,  $\frac{\partial \theta^{T*}}{\partial G} > 0$ ,  $\frac{\partial D^{T*}}{\partial G} > 0$ ,  $\frac{\partial \pi_R^{T*}}{\partial G} > 0$ ,  $\frac{\partial \pi_M^{T*}}{\partial G} > 0$ ; 2)  $\frac{\partial p^{T*}}{\partial \mu} > 0$ ,  $\frac{\partial w^{T*}}{\partial \mu} > 0$ ,

$$\frac{\partial \theta^{T^*}}{\partial \mu} > 0, \frac{\partial D^{T^*}}{\partial \mu} > 0, \frac{\partial \pi_R^{T^*}}{\partial \mu} > 0, \frac{\partial \pi_M^{T^*}}{\partial \mu} > 0; 3) \frac{\partial p^{T^*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial w^{T^*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial \theta^{T^*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial D^{T^*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial \pi_R^{T^*}}{\partial k} < 0, \frac{\partial \pi_M^{T^*}}{\partial k} < 0.$$

推论 5 表明, 与绿色信贷模式下一致, 最优零售价格与碳交易价值系数  $G$  负相关, 最优出厂价格、绿色度、市场实际需求、品牌商利润、供应商利润都与碳交易价值系数  $G$ 、需求的消费者绿色度偏好  $\mu$  正相关, 而与绿色度成本系数负相关。当碳交易价值系数  $G$  增大, 品牌商获得更多的碳交易收入, 有更强的动力通过供应链影响使供应商投入更多绿色度, 以使自己获益, 因此会倾向于通过降低零售价格的方式来扩大市场实际需求, 以此让利供应商, 使供应商有更大动力加大对绿色度的投入。供应商发现市场实际需求增大, 会一方面提高出厂价格, 一方面加大对绿色度投入, 使自己获益的同时, 客观上也增强了供应链绿色效益。

### 3.3. 融资策略分析

通过比较绿色信贷融资和品牌商提前支付融资下品牌商和供应商的最优解决方案, 可以得出以下推论:

**推论 6:** 当两种方案的资金成本相同(利率  $r_b =$  提前支付折扣  $r_i$ )或相近(如  $r_i$  略高)时,  $w^{B^*} < w^{T^*}$ ,  $\theta^{B^*} < \theta^{T^*}$ ,  $D^{B^*} < D^{T^*}$ ,  $\pi_R^{B^*} < \pi_R^{T^*}$ ,  $\pi_M^{B^*} < \pi_M^{T^*}$ , 无论供应商还是品牌商都会倾向于选择品牌商提前支付的融资方案。

推论 6 说明在两种方案资金成本接近时, 绿色信贷融资的最优零售价格始终高于品牌商提前支付融资。这说明当供应链使用提前支付融资时, 品牌商的最佳反应是降低零售价格, 以促进更大的销售额, 从而产生更多的利润。从  $\pi_R^{B^*} < \pi_R^{T^*}$  中我们也能看出, 提前支付融资的收入高于绿色信贷融资, 这足以弥补零售价格的下降。零售价格的下降带来市场实际需求的增大, 供应商会选择提高出厂价格, 并提高绿色度, 以进一步扩大市场需求。虽然出厂价格提高, 但由于融资成本留在了供应链内部, 品牌商并不会因为单位产品收入的下降而影响到收入, 相反供应商和品牌商均受益于此。这说明将更多的利润留在供应链内, 可能会促使供应链各方作出更为激进的选择, 但对于供应链的绿色度追求而言, 显然有较大优势。因此, 在这种情形下, 无论供应商或是品牌商都会倾向于选择品牌商提前支付的融资方案, 对于政策方而言, 也应鼓励这种方式来提升供应链绿色度。

**推论 7:** 结合推论 4 和推论 6, 当供应链中供应商面临资金时, 品牌商应选择提供提前支付的融资方式为供应商融资, 且应提供尽量低的提前支付折扣(可以仅略大于无风险利率)。采取低提前支付折扣的融资模式将对供应链双方均有利, 且供应链整体经济效益和绿色效益均会得到提升。

推论 7 结合了推论 4 和推论 6, 由于  $\frac{\partial p^{T^*}}{\partial r_i} < 0$ ,  $\frac{\partial w^{T^*}}{\partial r_i} < 0$ ,  $\frac{\partial \theta^{T^*}}{\partial r_i} < 0$ ,  $\frac{\partial D^{T^*}}{\partial r_i} < 0$ ,  $\frac{\partial \pi_R^{T^*}}{\partial r_i} < 0$ ,  $\frac{\partial \pi_M^{T^*}}{\partial r_i} < 0$ ;  $w^{B^*} < w^{T^*}$ ,  $\theta^{B^*} < \theta^{T^*}$ ,  $D^{B^*} < D^{T^*}$ ,  $\pi_R^{B^*} < \pi_R^{T^*}$ ,  $\pi_M^{B^*} < \pi_M^{T^*}$ , 即选择提前支付融资模式会使得零售价格以外的均衡值全面上移, 同时提前支付折扣越低, 上移越明显。这说明采用提前支付融资和更低的支付折扣会促使产生更高的市场实际需求, 而供应商也会制定比在绿色信贷融资下更高的出厂价格, 使供应链双方均受益。此外, 当提前支付折扣越低时, 供应商更愿意投入努力, 提升绿色度, 显然从绿色度的目标来看, 政府也应鼓励采取提前支付的融资方案, 并且采取措施帮助供应链内部建立以合作信誉、社会征信等为核心的最低可以等于无风险利率的折扣的提前支付融资方案, 将会使供应链绿色效益和经济效益得到全面提升。

## 4. 数值分析

通过数值仿真, 可以比较不同情况下供应链各方的定价和产品绿色度决策, 以及不同消费者绿色偏

好和不同绿色信贷利率(提前支付折扣)下的供应链各方利润情况,为面临资金约束的绿色供应链中各成员的融资决策提供支持和指导。

根据现实情况和理论假设,约定相关参数:

1) 市场总需求  $\alpha = 10000$ , 消费者价格敏感系数  $\beta = 32$ , 产品变动成本  $c = 100$ , 绿色度成本系数  $k = 20$ 。

2) 根据我国几大碳交易市场最新的碳交易成交收盘均价,碳配额交易为 43 元/吨,同时设碳配额为 5000 吨。则碳交易价值系数  $G = \frac{\text{碳配额} * \text{价格}}{100} = 2150$ 。可以 2150 为基准研究碳交易价值系数涨跌的影响。

3) 参数基准值为:  $r = r_b = r_i = 0.1$ , 无风险利率  $r_f = 0$ , 消费者绿色度偏好  $\mu = 20$ 。

为直观展示根据不同融资策略下, 供应商与品牌商的最优决策及两种融资模式的差异, 令  $\Delta p = p^{T*} - p^{B*}$ ,  $\Delta w = w^{T*} - w^{B*}$ ,  $\Delta \theta = \theta^{T*} - \theta^{B*}$ ,  $\Delta D = D^{T*} - D^{B*}$ ,  $\Delta \pi_M = \pi_M^{T*} - \pi_M^{B*}$ ,  $\Delta \pi_R = \pi_R^{T*} - \pi_R^{B*}$ 。

比较提前付款折扣模型和银行贷款模型在  $r = r_b = r_i$  的时候各最优变量之间的关系, 能够得到供应商和品牌商的最优决策和融资利率(折扣)之间的关系。则当  $r = 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3$  时, 两种融资方案的关系如下表 2 所示:

**Table 2.** Supply chain decision and financing interest rate

**表 2.** 供应链决策与融资利率

$r$	$\Delta p$	$\Delta w$	$\Delta \theta$	$\Delta D$	$\Delta \pi_M$	$\Delta \pi_R$
0.01	-0.1814	0.476	0.235644	7.616	2255.02	2252.52
0.05	-0.8648	2.13657	1.01741	34.1851	10,118.6	10,067.3
0.1	-1.62338	3.75942	1.70883	60.1507	17,788.4	17,626.5
0.2	-2.84474	5.93685	2.47369	94.9895	28,011	27,594
0.3	-3.73473	7.19281	2.76647	115.085	33,812.6	33,183.8

保持其他参数为基准参数, 仅使消费者绿色度偏好  $\mu$  变动, 可以比较两种融资模式下, 供应链双方的最优决策及利润与消费者绿色度偏好  $\mu$  的关系。则当消费者绿色偏好  $\mu = 10, 15, 20, 25, 30$  时, 两种融资方案的关系如下表 3 所示:

**Table 3.** Supply chain decision and consumers' green preference

**表 3.** 供应链决策与消费者绿色度偏好

$\mu$	$\Delta p$	$\Delta w$	$\Delta \theta$	$\Delta D$	$\Delta \pi_M$	$\Delta \pi_R$
10	-0.447297	0.521353	0.118489	8.34164	2321.1	2317.06
15	-1.00776	1.48114	0.504933	23.6982	6793.07	6763.58
20	-1.62338	3.75942	1.70883	60.1507	17,788.4	17,626.5
25	-1.14211	10.1778	5.78284	162.845	49,885	48,963.3
30	10.4183	37.4209	25.5143	598.735	192,679	184,596

保持其他参数为基准参数, 仅使碳交易价值系数  $G$  变动, 可以比较两种融资模式下, 供应链双方的

最优决策及利润与碳交易价值系数  $\mu$  的关系。则当碳交易价值系数  $G = 1150, 1650, 2150, 2650, 3150$  时, 两种融资方案的关系如下表 4 所示:

**Table 4.** Supply chain decision and carbon trading value coefficient

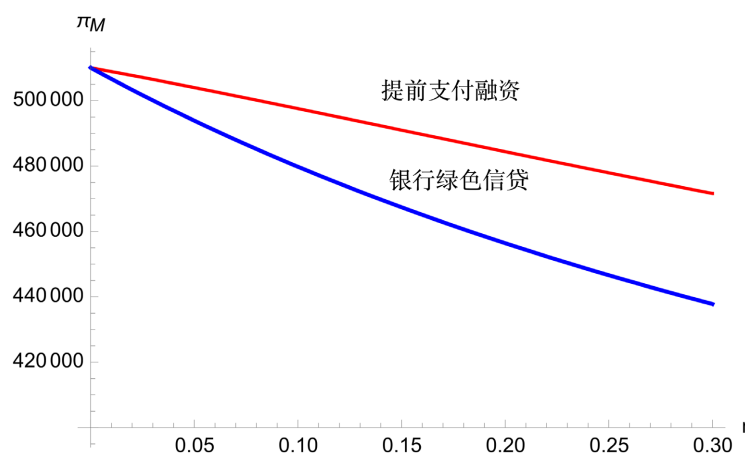
**表 4.** 供应链决策与碳交易价值系数

$G$	$\Delta p$	$\Delta w$	$\Delta \theta$	$\Delta D$	$\Delta \pi_M$	$\Delta \pi_R$
1150	-1.54469	3.57719	1.62599	57.235	16,105.7	15,959.1
1650	-1.58404	3.6683	1.66741	58.6928	16,936.6	16,782.5
2150	-1.62338	3.75942	1.70883	60.1507	17,788.4	17,626.5
2650	-1.66273	3.85053	1.75024	61.6085	18,661.1	18,491.3
3150	-1.70208	3.94165	1.79166	63.0664	19,554.7	19,376.8

表 2~4 可以看出在时  $r_b = r_t$  时, 无论是品牌商还是供应商都会选择提前支付模式。在品牌商提前支付融资模式下, 一方面, 供应商可以生产出绿色度更高的产品使得供应链拥有更广阔的市场前景, 并以更高的出厂价把产品销售给品牌商获取更多收益。另一方面, 品牌商将以更为低廉的价格销售给最终用户, 使消费者也可以同时获益, 更高的绿色度和更低的销售价格将有利于进一步开拓市场。与此同时, 更高的绿色度也为供应链赢得了更多的碳交易收入, 并使全社会的绿色效益得到提升。

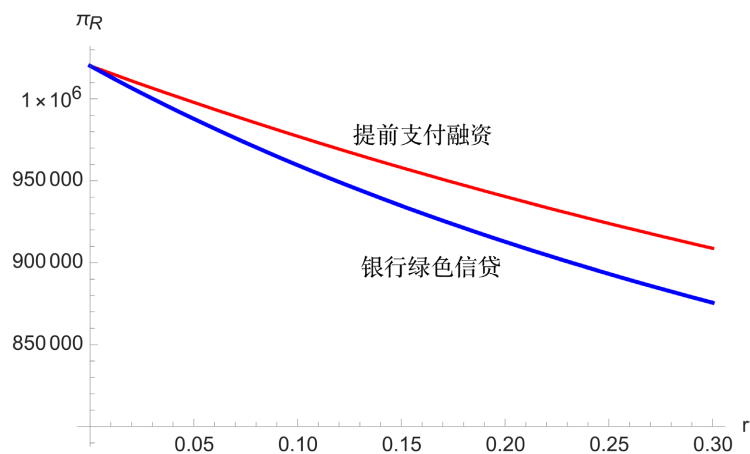
图 4、图 5 直观展示了两种融资方式下品牌商和供应商的利润与银行绿色信贷利率和提前支付融资折扣之间的关系。可以很明显的看出, 无论是品牌商或供应商, 提前支付融资的利润均大于银行绿色信贷的利润, 且利润均随资金成本上升而降低。同时, 两种融资模式的利润差随资金成本上升而扩大。由此, 无论对于品牌商和供应商而言, 都应采用提前支付融资模式, 且提前支付折扣越低越好, 只要能覆盖无风险利率即可。

图 6、图 7 展示了品牌商和供应商的利润与消费者绿色偏好之间的关系。显然, 无论是哪种融资模式, 品牌商或供应商的利润均随消费者绿色偏好上升而上升。同时, 两种融资模式的利润差随消费者绿色度偏好上升而扩大。这表明消费者绿色度偏好更大的市场, 更能为绿色供应链带来利润, 也更能激励供应链绿色生产。

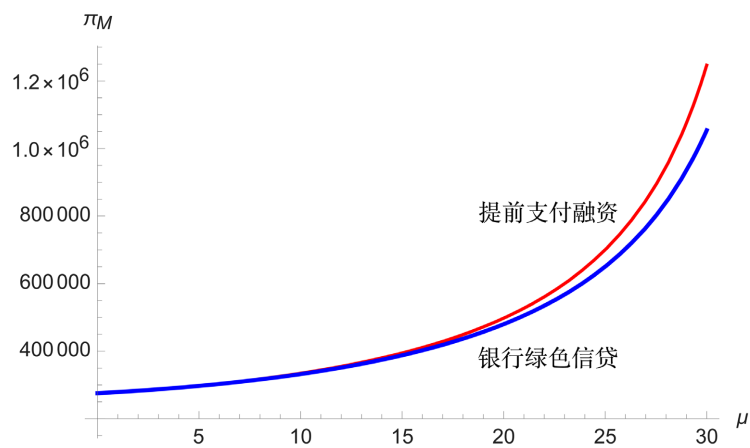


**Figure 4.** Supplier profit & financing interest rate

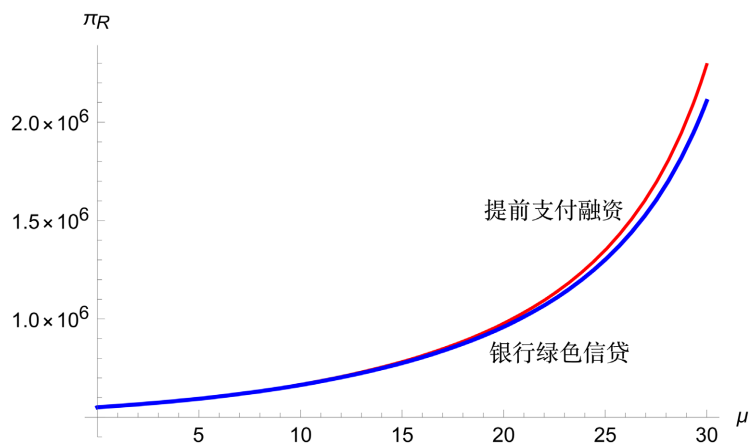
**图 4.** 供应商利润与融资利率



**Figure 5.** Brand profit & financing interest rate  
**图 5.** 品牌商利润与融资利率



**Figure 6.** Supplier profit & consumers' green preference  
**图 6.** 供应商利润与消费者绿色偏好



**Figure 7.** Brand profit & consumers' green preference  
**图 7.** 品牌商利润与消费者绿色偏好

图 8、图 9 展示了品牌商和供应商的利润与碳交易价值系数之间呈正向关系，即。碳配额交易价值越高，品牌商和供应商所获得的收益水平越高。

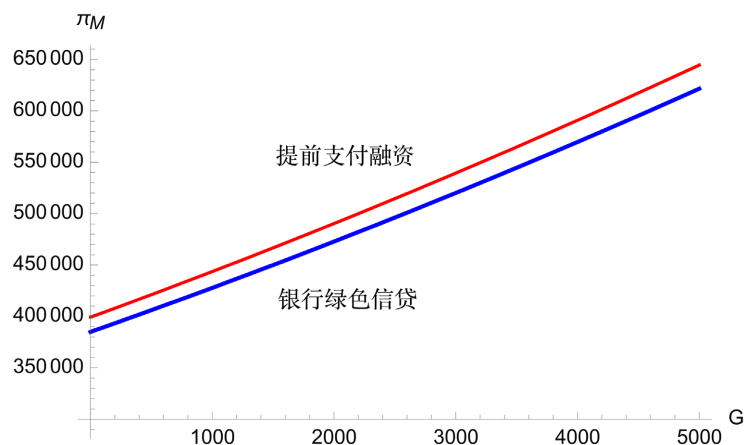


Figure 8. Supplier profit & carbon trading value coefficient

图 8. 供应商利润与碳交易价值系数

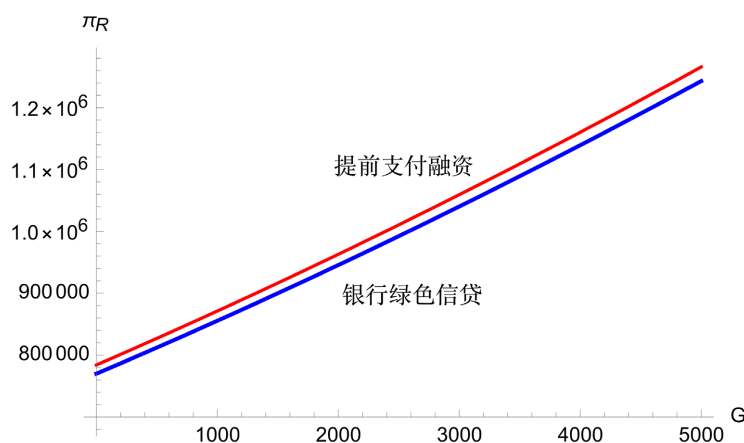


Figure 9. Brand profit & carbon trading value coefficient

图 9. 品牌商利润与碳交易价值系数

## 5. 结论

绿色供应链金融已被认为是当代解决供应链企业资金缺乏问题, 促进供应链绿色、永续发展的行之有效的金融工具。本研究以供应商由于加大绿色度投入而面临资金约束的绿色供应链为研究对象, 对考虑到最新的碳交易和消费者绿色度偏好的供应商存在资金约束的供应商所采取的融资决策展开了研究。通过构建、比较和分析提前付款折扣融资策略和银行绿色借贷融资策略两种融资模式下供应链双方的最优决策。得出以下结论:

1) 当供应商由于加大对供应链的绿色度投入而面临资金约束问题时, 无论是品牌商还是供应商都会更倾向于由品牌商参与供应链融资, 提供提前付款折扣模式的融资方案。采用提前支付融资模式会使供应链整体均衡值上移, 供应链双方及供应链整体均能实现利润最大化。

2) 采取提前支付融资方式的情况下, 提前支付折扣越低, 对供应链双方及绿色社会效益越有利。采取低折扣(最低可以等于无风险利率)方式, 不仅使供应商因较低的融资成本而收益, 也会使市场需求、供应链绿色度等全面提升, 从而使品牌商也受益。由于绿色度的提升, 供应链不仅实现了经济效益的提升, 也大大提升了绿色和社会效益。

3) 对有消费者绿色度偏好的绿色供应链, 品牌商和供应商的利润水平与消费者的绿色偏好均呈正相

关。即消费者对产品的绿色度偏好越强, 品牌商和供应商所获得的收益水平越高。因此, 作为主导者的品牌商应对面临资金约束的供应商采取更多激励措施, 包括但不限于提供低成本的提前支付融资方式、碳交易利润共享等措施, 鼓励供应商进行绿色创新, 提升供应链绿色度, 以吸引更多强绿色度偏好的消费者, 拓展市场需求, 同时获取更高的碳交易收入。

4) 考虑了碳交易的绿色供应链, 品牌商和供应商的利润水平、供应链绿色度与碳配额交易价值均呈正相关。即碳配额交易价值越高, 品牌商和供应商所获得的收益水平越高。因此, 从政策方出发, 使碳配额保持在一个较高水准, 将有利于促进供应链绿色度的提升和为供应链双方提供更大利润空间, 也更能激励供应链双方采取措施着力提升供应链绿色度, 对供应链的经济效益和社会效益均有利好。

本文基于已有成果, 在考虑了碳交易和消费者绿色偏好的品牌商主导的供应商面临资金约束的绿色供应链中研究了和银行绿色借贷和提前支付两种融资策略下供应链双方的决策, 对有资金约束的绿色供应链进行融资策略抉择具有一定的现实指导意义。本文在许多方面可以进行更深入的研究, 如: 更进一步研究在考虑碳交易的场景下, 供应链双方可否达成一定的成本分摊和利润共享方案, 从而使供应链达到效率和公平的双重提升、考虑供求不确定的情况、更多考虑资金的时间成本、多渠道绿色供应链融资等等, 这些尚待进一步拓展和探索。

## 参考文献

- [1] 钱立华, 鲁政委, 方琦. 绿色供应链金融三大发展模式[J]. 中国银行业, 2019(8): 2.
- [2] 单明威. 多方参与下的绿色供应链金融模式研究[J]. 环境与可持续发展, 2019(3): 64-67.
- [3] Kempa, D. (2013) Environmental Services Coupled to Food Products and Brands: Food Companies Interests and On-Farm Accounting. *Journal of Environmental Management*, **127**, S184-S190. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.06.006>
- [4] 戴源桢. 核心企业主导的绿色供应链金融模式优化研究[D]: [硕士学位论文]. 保定: 河北大学, 2021.
- [5] Kern, J.D., Characklis, G.W. and Foster, B.T. (2015) Natural Gas Price Uncertainty and the Cost-Effectiveness of Hedging against Low Hydropower Revenues Caused by Drought. *Water Resources Research*, **51**, 2412-2427. <https://doi.org/10.1002/2014WR016533>
- [6] 刘会燕, 戢守峰. 考虑消费者绿色偏好的竞争性供应链的产品选择与定价策略[J]. 管理学报, 2017, 14(3): 451-458.
- [7] 李齐. 碳链金融初探[J]. 生态经济, 2010(12): 69-74.
- [8] 方亮, 周志中. 零售商主导型绿色供应链激励机制设计[J]. 数学的实践与认识, 2017, 47(10): 79-88.
- [9] Marchand, R.D., Koh, C.L. and Morris, J.C. (2015) Delivering Energy Efficiency and Carbon Reduction Schemes in England: Lessons from Green Deal Pioneer Places. *Energy Policy*, **84**, 96-106. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.04.035>
- [10] Ghosh, D. and Shah, J. (2014) 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] Swami, S. and Shah, J. (2013) Channel Coordination in Green Supply Chain Management. *The Journal of the Operational Research Society*, **64**, 336-351. <https://doi.org/10.1057/jors.2012.44>
- [12] 杨浩雄, 段炜钰. 面向制造商资金约束的绿色供应链融资策略研究[J]. 运筹与管理, 2019, 28(8): 126-133.