

## 基于产品生命周期的木质家具制造企业

宋文博, 董景峰\*, 陶新民  
(东北林业大学 土木与交通学院, 哈尔滨 150040)

**摘 要:** 在木质家具市场趋于饱和的当下, 木质家具制造企业供应链间的竞争愈发突出, 竞争策略优化已成为决定企业生存发展的核心命题。采用产品生命周期理论为基础, 以 2 条木质家具制造企业供应链为研究对象, 将木质家具产品价格、原木成本、线上线下宣传成本作为效用函数的决策变量, 并引入模糊随机方法处理函数中的敏感系数, 通过纳什博弈与斯坦克尔伯格博弈方法, 结合全渠道零售结构, 研究不同生命阶段下木质家具制造企业供应链竞争策略。研究表明, 斯坦克尔伯格博弈下的效用值更高, 较纳什博弈提高约 4%; 在不同博弈下, 2 个木质家具制造企业的效用均会随着木质家具生命阶段的发展而降低; 木质家具制造企业应根据产品所处生命周期阶段动态调整竞争策略, 尤其在引入期和发展期优先采用差异化定价与成本控制策略。

**关键词:** 木质家具; 产品生命周期; 纳什博弈; 斯坦克尔伯格博弈; 供应链竞争策略; 全渠道零售; 模糊随机需求

中图分类号: F274

文献标识码: A

DOI: 10.7525/j.issn.1006-8023.2026.01.010

## Wooden Furniture Manufacturing Enterprises Based on Product Life Cycle

SONG Wenbo, DONG Jingfeng\*, TAO Xinmin  
(College of Civil Engineering and Transportation, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

**Abstract:** In the wood furniture market tends to be saturated at the moment, the competition between the supply chains of wood furniture manufacturing enterprises has become more and more prominent, and the optimization of competitive strategy has become a core proposition to determine the survival and development of enterprises. This paper takes the product life cycle theory as the basis, takes two wooden furniture manufacturing enterprise supply chains as the research object, takes the wooden furniture product price, log cost, online and offline publicity cost as the decision variables of the utility function, and introduces the fuzzy stochastic method to deal with the sensitivity coefficients in the function, and studies the wooden furniture manufacturing enterprise supply chain competition strategy in different life stages through Nash game and Stankelberg game method, combined with the omnichannel retail structure. The study shows that: the utility value is higher under the Stankelberg game, which is about 4% higher than that of the Nash game; the utility of the two wooden furniture manufacturing enterprises will decrease with the development of the life stage of the wooden furniture under different games; the wooden furniture manufacturing enterprises should dynamically adjust their competitive strategies according to the life cycle stage of the products, and give priority to the use of differentiated pricing and cost control strategies, especially in the introduction period and the development period.

**Keywords:** Wooden furniture; product life cycle; Nash game; Stackelberg game; supply chain competition strategy; omnichannel retail; fuzzy random demand

收稿日期: 2025-04-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(62176050)。

第一作者简介: 宋文博, 硕士研究生。研究方向为供应链管理。E-mail: 2328384235@qq.com

\* 通信作者: 董景峰, 博士, 讲师。研究方向为可持续供应链优化和竞争策略、冷链物流协调机制及能源综合利用。E-mail: dongjingfeng74@126.com

引文格式: 宋文博, 董景峰, 陶新民. 基于产品生命周期的木质家具制造企业[J]. 森林工程, 2026, 42(1): 103-115.

SONG W B, DONG J F, TAO X M. Wooden furniture manufacturing enterprises based on product life cycle [J]. Forest Engineering, 2026, 42(1): 103-115.

## 0 引言

木质家具于21世纪初取代纸制品成为中国木质林产品第一大出口品类后,呈现出显著的持续增长态势,统计数据显示,1996~2018年,该产业出口额年均复合增长率持续保持在15%以上,出口规模扩张速度位居全球同行业前列<sup>[1]</sup>。尽管受国际贸易摩擦与新冠疫情冲击的双重影响,但产业韧性特征显著,截至2021年,全年林产品加工制品出口总额突破700亿美元,其中木质家具单项出口额达226亿美元,创历史新高<sup>[2]</sup>。然而,当前行业仍面临三重挑战:其一,产品同质化引发的价格竞争恶化,行业平均效用率由2010年的12%降至2020年的6%<sup>[3]</sup>;其二,国际环保规制趋严导致原材料成本攀升,欧盟新近实施的《森林法案》要求木材原料100%合法溯源,叠加国内天然林商业性禁伐政策的影响,原木采购成本较2015年基准值已上涨63%<sup>[4]</sup>;其三,市场饱和度显著提升,主要出口市场人均家具消费量趋近饱和阈值<sup>[5]</sup>。在此背景下,竞争策略优化已成为决定企业生存发展的核心命题。

现有对于木质家具的研究主要集中在国际贸易和可持续发展方面。王张恒等<sup>[6]</sup>通过开发绿色生产评价体系,以二级指标层实现木质家具环境绩效的全流程监控;田明华等<sup>[7]</sup>运用灰色关联分析法,以评估中美贸易摩擦对相关木质家具企业的政策效应;王克皓<sup>[8]</sup>针对欧盟对我国家具施加的碳关税,运用全球贸易分析模型(global trade analysis project, GTAP)考察欧盟碳关税对家具出口方面产生的影响。以上研究都是聚焦木质家具的宏观贸易层面,忽视了供应链间的竞争影响。

在供应链竞争策略的理论研究中,双供应链竞争范式占据主导地位。例如李明月<sup>[9]</sup>通过构建三阶段博弈模型,揭示了区块链技术支持下的协同减排策略对供应链碳减排效率及收益分配的调节效应。随着全渠道零售的快速发展,现有研究多聚焦双渠道供应链结构的优化问题,如Ranjan等<sup>[10]</sup>构建的动态定价框架显示,线上线下渠道价格弹性差异达23%时,跨渠道协同效应最为显著。

在博弈方法上,相比于其他单一博弈,斯坦克尔伯格和纳什的混合博弈框架不仅能够提升计算效率,而且能够提升系统的鲁棒性和适应性,已成为当前解析复杂竞争态势的主流范式<sup>[11]</sup>。如Balasubramanian等<sup>[12]</sup>用两期博弈模型证实,战略库存决策受渠道竞争强度影响呈现非线性特征;Karimi等<sup>[13]</sup>通过斯坦克尔伯格博弈的拓展应用,发现领导企业服务投入与市场占有率正相关;孙雪峰等<sup>[14]</sup>基于斯坦克尔伯格和纳什

的混合模型,将行为经济学引入双寡头模型,解释制造商的过度自信行为对于供应链的影响。

在智能化、绿色化的发展浪潮中,传统木质家具产品淘汰周期已大幅缩短<sup>[15]</sup>。从理论层面上,与经典的产品生命周期理论(product life cycle, PLC)相契合,该理论将产品的市场历程划分为引入、成长、成熟和衰退4个阶段<sup>[16-18]</sup>。然而既有文献对该理论的应用聚焦在木质家具环保评估方面,忽略了木质家具的市场销售,如邱棋<sup>[19]</sup>以产品生命周期评价为方法对环保型家具设计要素进行了分析和建议,江映其等<sup>[20]</sup>运用生命周期评价方法,对家具企业生产的木质家具进行环境影响评价。

本研究以产品生命周期为理论基础,选择斯坦克尔伯格博弈与纳什博弈2种博弈方法相结合的方式,构建效用函数,以分析木质家具制造企业不同产品生命阶段供应链的营销组合。通过模型研究处于不同产品生命阶段的木质家具制造企业供应链之间的竞争策略问题,并提出企业所面临问题的有效解决方案,丰富木质家具领域的研究,并为木质家具制造企业的供应链竞争策略研究提供理论参考。

## 1 问题描述和基本假设

### 1.1 问题描述

本研究构建了一个基于双供应链的竞争博弈模型,将营销组合(marketing mix)作为核心变量纳入分析框架。该营销组合不仅直接决定供应链中木质家具制造企业的效用函数,同时通过调节供应链间竞争强度影响木质家具制造企业的市场需求。营销组合包含以下3个核心要素:木质家具价格水平( $p_i$ )、木质家具品质水平( $q_i$ )和木质家具营销水平( $s_i$ ),如图1所示。

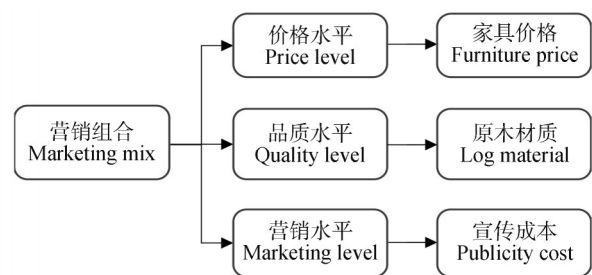


图1 木质家具企业供应链营销组合  
Fig. 1 Wooden furniture enterprise supply chain marketing mix

1)木质家具价格水平( $p_i$ ):该木质家具的售卖价格,体现产品的市场定位,受到设计工艺、家具品牌等多重影响,直接决定着供应链中木质家具制造企业的效用,能通过具体家具价格数值直观呈现。

2)木质家具品质水平( $q_i$ ):产品物理属性与环保性能,反映消费者群体对于木质家具制造企业和产品的信任。根据资源基础观理论,原木价格与产品环保等级呈显著正相关,因此原木价格在一定程度上是木质家具品质的直观表征<sup>[21]</sup>。本研究采用原木采购价格( $a_i$ )作为代理变量表示木质家具品质水平。

3)木质家具营销水平( $s_i$ ):量化渠道推广投入强度,决定着该木质家具能否成功吸引消费者的注意,以提高其购买意愿。基于渠道协同理论,本研究以企业线上营销成本( $o_i$ )和线下营销成本( $r_i$ )2个变量表示木质家具营销水平,同时引入消费者对于线上营销的接受度指标( $\gamma_i$ )进行加权整合。

1.2 基本假设

1)本研究中的木质家具产品*i,j*( $i=1,2;j=1,2$ ),新推出的木质家具可以完全替代原有市场中竞争者企业的木质家具产品,在不考虑竞争程度的情况下,处于竞争状态的2条供应链木质家具对应的市场总需求( $u$ )相同,木质家具产品需求与价格、品质和营销水平线性相关。

2)根据产品生命周期阶段调节机制,衰退期的产品已退出主流市场的竞争,在供应链竞争分析时不予考虑,因此本研究在构建博弈分析方面,聚焦于木质家具产品的引入期、成长期和成熟期3个阶段。

3)本研究供应链中的木质家具制造企业均采用线上营销与线下营销2种方式相结合的双渠道产品营销方式,因此产品渠道推广营销水平( $s_i$ )与线上营销成本( $o_i$ )和线下营销成本( $r_i$ )相关,其表达式为

$$s_i = \gamma_i o_i + (1 - \gamma_i) r_i \quad (1)$$

4)木质家具的质量取决于很多方面,但是最能决定其质量的一般是木质家具所采用的原木等木材材

料。由于木材材料质量的优劣很大程度上取决于原木成本,因此本研究使用木质家具制造企业中的原木成本( $a_i$ )作为产品质量水平( $q_i$ )的决定变量,其木质家具质量水平( $q_i$ )表达式为

$$q_i = \beta_i a_i + (1 - \beta_i) H \quad (2)$$

式中的字母意义见表1。

5)由于木质家具市场趋于饱和,产品的同质化现象严重,木质家具制造企业之间的竞争激烈程度会影响到产品的需求和销量<sup>[22]</sup>。因此每条供应链中木质家具制造企业的木质家具产品所对应的家具需求( $D_i$ )取决于其家具竞争程度( $\theta_i$ ),家具需求( $D_i$ )与竞争程度( $\theta_i$ )表达式为

$$D_i = u - \theta_i \quad (3)$$

$$\theta_i = p_i b_i - b'_i (p_j - p_i) + c'_i (s_j - s_i) - c_i s_i + d'_i (q_j - q_i) - d_i q_i \quad (4)$$

式中的参数意义见表1。

6)产品的价格不是一成不变的,除市场因素外,会随着产品自身的质量等其他因素的变化而产生价格波动<sup>[23]</sup>。因此,木质家具产品的单位利润( $P$ )表达式为

$$P = p_i - f_i q_i - \tau_i s_i \quad (5)$$

式中的参数意义见表1。

在生产一批木质家具的过程中存在固定成本( $O_i$ ),且固定成本( $O_i$ )不是固定值,而是受到边际成本递增效应影响,与线上营销成本( $o_i$ )、线下营销成本( $r_i$ )以及原木成本( $a_i$ )非线性相关,会随着产品生命周期的变化存在固定成本变化率( $w_i$ ),其具体表达式为

$$O_i = w_i (o_i^2 + r_i^2 + a_i^2) / 2 \quad (6)$$

本研究的模型参数和决策变量见表1和表2。

表 1 模型参数

Tab. 1 Model parameter

参数 Parameter	定义 Definition	参数 Parameter	定义 Definition
$H$	木质家具非原木部分质量 Wooden furniture non-log part quality	$u$	木质家具产品市场总需求 Total market demand for wooden furniture products
$\gamma_i$	顾客对家具 <i>i</i> 线上营销接受度 Customer acceptance of online marketing for furniture <i>i</i>	$b_i$	家具 <i>i</i> 自身产品价格敏感系数 Price sensitivity coefficient of own products of furniture <i>i</i>
$\beta_i$	原木成本占家具 <i>i</i> 质量比重 Log costs as a proportion of furniture <i>i</i> quality	$b'_i$	家具 <i>i</i> 对方产品价格敏感系数 Price sensitivity coefficient of the other party's products of furniture <i>i</i>
$w_i$	家具 <i>i</i> 固定成本变化率 Rate of change in fixed costs of furniture <i>i</i>	$c_i$	家具 <i>i</i> 自身营销推广敏感系数 Sensitivity coefficient of own marketing promotion of furniture <i>i</i>
$s_i$	家具 <i>i</i> 营销水平 Marketing level of furniture <i>i</i>	$c'_i$	家具 <i>i</i> 对方营销推广敏感系数 Sensitivity coefficient of marketing promotion of furniture <i>i</i>
$q_i$	家具 <i>i</i> 质量水平 Quality level of furniture <i>i</i>	$d_i$	家具 <i>i</i> 自身产品质量敏感系数 Sensitivity coefficient of own product quality of furniture <i>i</i>
$\theta_i$	家具 <i>i</i> 产品竞争程度 Degree of product competition of furniture <i>i</i>	$d'_i$	家具 <i>i</i> 对方产品质量敏感系数 Sensitivity coefficient of product quality of furniture <i>i</i>
$D_i$	家具 <i>i</i> 需求 Demand for furniture <i>i</i>	$f_i$	家具 <i>i</i> 质量变化价格敏感系数 Price sensitivity coefficient of quality change of furniture <i>i</i>
$O_i$	家具 <i>i</i> 固定成本 Fixed costs of furniture <i>i</i>	$\tau_i$	家具 <i>i</i> 推广变化价格敏感系数 Promote change price sensitivity coefficient of furniture <i>i</i>

表2 模型决策变量  
Tab. 2 Model decision variable

决策变量 Decision variable	定义 Definition
$o_i$	家具 <i>i</i> 线上营销成本 Online costs of furniture <i>i</i>
$r_i$	家具 <i>i</i> 线下营销成本 Offline costs of furniture <i>i</i>
$a_i$	家具 <i>i</i> 原木成本 Log costs of furniture <i>i</i>
$p_i$	家具 <i>i</i> 产品价格 Furniture product price of furniture <i>i</i>

## 2 博弈模型的构建与分析

本研究为调查2个具有类似替代产品的木质家具产品之间的竞争,通过比较供应链中2家木质家具制造企业的生命周期阶段,选择2种经典的博弈模型——斯坦克尔伯格博弈(Stackelberg game, SG)与纳什博弈(Nash game, NG)进行深入分析,以确定木质家具制造企业的供应链竞争策略。具体来说,当2条供应链中的木质家具制造企业处于同一生命阶段时,由于此时企业面临的市场条件相同,都不可能成为市场中的领导者,即占据的市场份额不分上下。在市场上所面临的竞争条件具有高度的相似性,因此供应链之间的竞争博弈以纳什博弈(NG)形式展开,双方采用相似的供应链竞争策略<sup>[24]</sup>。

若2条供应链中的木质家具制造企业处于不同产品生命阶段,则意味着在竞争格局中,其中一条供应链处于产品生命周期的较晚阶段,例如供应链1处于成长期,而供应链2处于产品生命周期中的引入期。根据产品生命周期理论(product life cycle, PLC),处于较晚生命阶段的供应链产品处于优势的领先地位,这时供应链之间的竞争博弈会以斯坦克尔伯格博弈(SG)形式进行,2条供应链采用不同的供应链竞争策略。木质家具制造企业供应链在不同生命周期阶段竞争博弈结构与类型如图2所示。

### 2.1 纳什博弈模型的构建

纳什博弈(NG)强调在给定竞争对手策略的情况下,每个参与者均选择当前的最优策略,以实现自身利益的最大化。在纳什博弈模型的分析框架下,2条供应链中的木质家具制造企业均处于同一产品生命周期阶段,当另一条供应链*j*处于同一产品生命阶段时,供

$$H = \begin{bmatrix} -2(b_1 + b'_1) & \gamma_1(c_1 + c'_1 + (b_1 + b'_1)\tau_1) & -((-1 + \gamma_1)(c_1 + c'_1 + (b_1 + b'_1)\tau_1)) & (d_1 + d'_1 + (b_1 + b'_1)f_1)\beta_1 \\ \gamma_1(c_1 + c'_1 + (b_1 + b'_1)\tau_1) & -w_1 - 2(c_1 + c'_1)\gamma_1^2\tau_1 & 2(c_1 + c'_1)(-1 + \gamma_1)\gamma_1\tau_1 & -\beta_1\gamma_1((c_1 + c'_1)f_1 + (d_1 + d'_1)\tau_1) \\ -((-1 + \gamma_1)(c_1 + c'_1 + (b_1 + b'_1)\tau_1)) & 2(c_1 + c'_1)(-1 + \gamma_1)\gamma_1\tau_1 & -w_1 - 2(c_1 + c'_1)(-1 + \gamma_1)^2\tau_1 & \beta_1(-1 + \gamma_1)((c_1 + c'_1)f_1 + (d_1 + d'_1)\tau_1) \\ (d_1 + d'_1 + (b_1 + b'_1)f_1)\beta_1 & -\beta_1\gamma_1((c_1 + c'_1)f_1 + (d_1 + d'_1)\tau_1) & \beta_1(-1 + \gamma_1)((c_1 + c'_1)f_1 + (d_1 + d'_1)\tau_1) & -w_1 - 2(d_1 + d'_1)f_1\beta_1^2 \end{bmatrix}$$

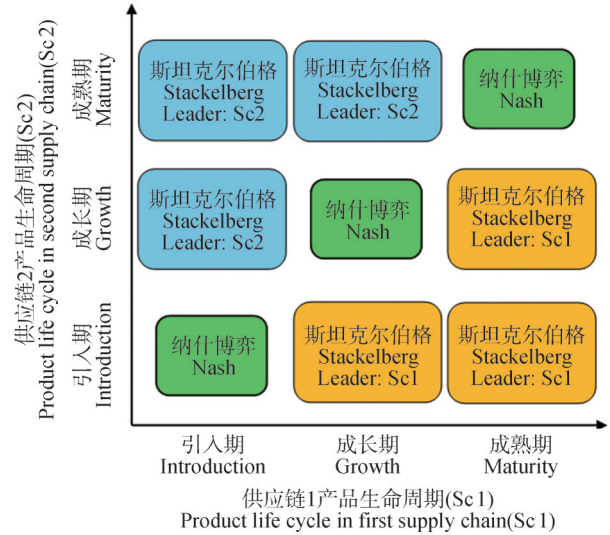


图2 供应链竞争博弈结构

Fig. 2 Supply chain competition game structure

供应链*i*的效用函数( $\pi_i$ )和约束条件为

$$\text{Max} \pi_i = D_i(p_i - f_i q_i - \tau_i s_i) - O_i - o_i - r_i \quad (7)$$

$$O_i = w_i(o_i^2 + r_i^2 + a_i^2)/2 \quad (8)$$

$$D_i = u - \theta_i \quad (9)$$

$$\theta_i = p_i b_i - b'_i(p_j - p_i) + c'_i(s_j - s_i) - c_i s_i + d'_i(q_j - q_i) - d_i q_i \quad (10)$$

$$s_i = \gamma_i o_i + (1 - \gamma_i) r_i \quad (11)$$

$$q_i = \beta_i a_i + (1 - \beta_i) H \quad (12)$$

在计算成本时,宣传成本对效用函数存在直接影响以及通过固定成本的间接影响,因此需要单独计算,而原木成本决定家具品质,通过资本化分摊,其直接影响已隐含在固定成本函数中,因此不需要单独计算。在本研究构建的效用函数中,决策变量均是连续的,但在计算效用函数的最优解时,首先应确定函数的凹凸性,即应确保本研究的2个供应链的效用函数为凹函数,才能求解出最优值和最优解。

**命题1** 若满足以下条件,供应链1的效用函数为凹函数,博弈模型有唯一均衡解

$$-S_{17}S_{18} + 2S_1c'_1S_{17}\tau_1 + 2S_1(w_1 + S_2f_1\beta_1^2 + S_1\gamma_1\tau_1^2) > S_2^2\beta_1^2 + S_2^2f_1^2\beta_1^2 + S_2^2\tau_1^2(1 + 2\gamma_1^2) + 2c_1S_{17}(c'_1 - S_1\tau_1)$$

式中的符号意义见表3。

**证明:**基于供应链1的效用函数和约束条件,可以求得供应链1的Hessian矩阵为

Hessian 矩阵中的元素均为模型参数的组合, 式中的参数意义见表 1。

要确保供应链 1 的函数为凹函数, 则供应链 1 的 Hessian 矩阵行列式应大于 0, 即

$$-S_{17}S_{18}+2S_1c_1S_{17}\tau_1+2S_1(w_1+S_2f_1\beta_1^2+S_1\gamma_1\tau_1^2)>S_2^2\beta_1^2+S_1^2f_1^2\beta_1^2+S_1^2\tau_1^2(1+2\gamma_1^2)+2c_1S_{17}(c_1'-S_1\tau_1)$$

**命题 2** 若满足以下条件, 供应链 2 的效用函数为凹函数, 博弈模型有唯一均衡解

$$-S_{19}S_{20}+2S_9c_2'S_{19}\tau_2+2S_9(w_2+S_{10}f_2\beta_2^2+S_9\gamma_2\tau_2^2)>S_{10}^2\beta_2^2+S_9^2f_2^2\beta_2^2+S_9^2\tau_2^2(1+2\gamma_2^2)+2c_2S_{19}(c_2'-S_9\tau_2)$$

$$p_1 = \frac{w_1^2[u + HS_1f_1(1 - \beta_1)] + S_3\beta_1^2(S_7 + S_6d_1') + S_5[S_8\tau_1 + c_1'(2Hf_1(1 - \beta_1))]}{Tw_1} \quad (13)$$

$$o_1 = \frac{-2S_1w_1 + S_3^2\beta_1^2 + S_5[c_1' + \gamma_1(S_7w_1 - S_6d_1'w_1 + c_1'S_8)]}{T} \quad (14)$$

$$r_1 = \frac{(c_1 + c_1')(S_7 - S_6d_1') + S_1^2f_1^2\beta_1^2 - S_1[2S_3f_1\beta_1^2 + w_1(S_8\tau_1 + c_1'S_8)]}{Tw_1} \quad (15)$$

$$a_1 = -\frac{S_3\beta_1[S_5 - w_1(S_7 - S_6d_1') - c_1'S_8]}{Tw_1} \quad (16)$$

$$p_2 = \frac{w_2^2[u + HS_9f_2(1 - \beta_2)] + S_{11}\beta_2^2(S_{15} + S_{14}d_2') + S_{13}[S_{16}\tau_2 + c_2'(2Hf_2(1 - \beta_2))]}{T^*w_2} \quad (17)$$

$$o_2 = \frac{-2S_9w_2 + S_{11}^2\beta_2^2 + S_{13}[c_2' + \gamma_2(S_{15}w_2 - S_{14}d_2'w_2 + c_2'S_{16})]}{T^*} \quad (18)$$

$$r_2 = \frac{(c_2 + c_2')(S_{15} - S_{14}d_2') + S_9^2f_2^2\beta_2^2 - S_9[2S_{11}f_2\beta_2^2 + w_2(S_{16}\tau_2 + c_2'S_{16})]}{T^*w_2} \quad (19)$$

$$a_2 = -\frac{S_{11}\beta_2[S_{13} - w_2(S_{15} - S_{14}d_2') - c_2'S_{16}]}{T^*w_2} \quad (20)$$

### 2.2 斯坦克尔伯格博弈模型的构建

斯坦克尔伯格博弈(SG)强调 2 条供应链中的木质家具制造企业处于不同生命阶段, 例如当供应链 2 处于引入期时, 供应链 1 处于成长期或成熟期, 这时供应链 1 的木质家具市场竞争优势更大, 因此供应链 1 被认为是领导者, 供应链 2 被认为是追随者, 且供应链 2 的决策是基于供应链 1 的决策而做出的。此时, 在确保上一节中 2 个命题的前提条件下, 仍假设供应链 1 为领导者, 供应链 2 为追随者, 则供应链 1 的决策变量表达式不变, 处于追随者地位的供应链 2 决策变量表达式为

$$p_2 = \frac{u + \delta_1}{2S_9 + \delta_2} \quad (21)$$

$$o_2 = \frac{\gamma_2 S_{21} S_{23} - 1}{w_2} \quad (22)$$

$$r_2 = \frac{(1 - \gamma_2) S_{21} S_{23} - 1}{w_2} \quad (23)$$

$$a_2 = \frac{\beta_2 S_{22} S_{23}}{w_2} \quad (24)$$

式中的符号意义见表 3。

**证明:** 同理, 由于供应链 2 与供应链 1 目标函数和约束的相似性, 要确保供应链 2 的函数为凹函数, 则供应链 2 的 Hessian 矩阵行列式应大于 0, 化简得

$$-S_{19}S_{20}+2S_9c_2'S_{19}\tau_2+2S_9(w_2+S_{10}f_2\beta_2^2+S_9\gamma_2\tau_2^2)>S_{10}^2\beta_2^2+S_9^2f_2^2\beta_2^2+S_9^2\tau_2^2(1+2\gamma_2^2)+2c_2S_{19}(c_2'-S_9\tau_2)$$

此时在满足 2 个命题的条件下, 由于 2 条供应链的决策在纳什博弈下独立进行, 都是求解满足供应链效用函数的最佳决策变量值, 且不会因对方的竞争策略而改变, 因此决策变量表达式为

表 3 符号表达式

Tab. 3 Symbolic definition

符号 Symbol	定义 Definition	符号 Symbol	定义 Definition
$S_1$	$b_1 + b_1'$	$S_{14}$	$H\beta_2 - (H - a_1)\beta_1$
$S_2$	$d_1 + d_1'$	$S_{15}$	$u + Hd_2 - HS_2f_2 + b_2'p_1$
$S_3$	$S_2 - S_1f_1$	$S_{16}$	$r_1(1 - \gamma_1) + o_1\gamma_1$
$S_4$	$1 + 2(\gamma_1 - 1)\gamma_1$	$S_{17}$	$1 - 2\gamma_1 + 2\gamma_1^2$
$S_5$	$c_1 + c_1' - S_1\tau_1$	$S_{18}$	$c_1^2 + (c_1')^2$
$S_6$	$H\beta_1 - (H - a_2)\beta_2$	$S_{19}$	$1 - 2\gamma_2 + 2\gamma_2^2$
$S_7$	$u + Hd_1 - HS_1f_1 + b_1'p_2$	$S_{20}$	$c_2^2 + (c_2')^2$
$S_8$	$r_2(1 - \gamma_2) + o_2\gamma_2$	$S_{21}$	$c_2' + c_2 - \tau_2S_9$
$S_9$	$b_2 + b_2'$	$S_{22}$	$d_2' + d_2 - f_2S_9$
$S_{10}$	$d_2 + d_2'$	$S_{23}$	$p_2 - f_2q_2 - \tau_2s_2$
$S_{11}$	$S_{10} - S_9f_2$	$T$	$2S_1w_1 - S_3^2\beta_1^2 - S_4S_5^2$
$S_{12}$	$1 + 2(\gamma_2 - 1)\gamma_2$	$T^*$	$2S_9w_2 - S_{11}^2\beta_2^2 - S_{12}S_{13}^2$
$S_{13}$	$c_2 + c_2' - S_9\tau_2$		

决策变量的表达式均可由表 1 中的模型参数表示,为精简表达式,本研究以符号表达式代表部分模型参数的组合,其中 $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 的具体表达式与供应链 1 的具体参数值有关,其他符号见表 3 符号表达式。

### 2.3 模糊随机模型的构建

一方面,近年来木质家具制造企业之间的激烈竞争,导致了产品市场需求方面往往具有不确定性,因此供应链需求率的不确定性可以使模型中的问题更接近于实际情况。另一方面,在供应链建模过程中,很多情况下缺乏足够的信息,因此本研究在考虑供应链需求时选择模糊随机模型,将需求函数中的价格敏感系数等敏感系数设置为模糊参数,具体流程为:

1) 本研究选择三角模糊数的方式来计算模型中的敏感系数。三角模糊数作为一种用于表示模糊概念的数学工具,通过 3 个参数(最小可能值、最可能值和最大可能值)来描述一个模糊数的隶属度函数,常用于处理不确定性和模糊性问题<sup>[25]</sup>。本研究中的三角模糊数隶属函数采用以下方式来求解

$$\begin{cases} \text{Max} C^T X \\ 4A^0 + A^- + A^+ \\ 6 X \leq b \end{cases} \quad (25)$$

$$X \geq 0 \quad (26)$$

式中: $X$ 为决策变量; $C$ 为决策变量的单位收益值; $A^-$ 为生成样本集中的最小值; $A^0$ 为生成样本集中的平均值; $A^+$ 为生成样本集中的最大值。

2) 基于木质家具制造企业的周期性数据,可以确定正态分布通常被认为是模糊随机模型中比较合适的概率分布,并根据现有数据获得每个约束的 $\mu$ 和 $\sigma$ 。

3) 根据得到的均值和方差,生成每个约束所对应的正态分布函数样本,每个样本中的数量 $N$ 足够大(模型设置的样本数量 $N = 10\ 000$ )。

4) 在生成的样本集中,本研究的敏感系数采用三角模糊方法,决策变量的敏感系数 $A = (A^-, A^0, A^+)$ 。

## 3 案例分析

### 3.1 数据来源

本研究根据天猫、淘宝等电商平台公开销量和《2024 年中国家居市场消费洞察报告》,选用了全友家具和红苹果家具 2 家中国木质家具生产制造企业的相关数据进行分析。全友家具的木质家具更追求环保性,更趋向于使用原木成本较低的环保材料,有较高的性价比,同时企业在线上宣传方面投入的力度较大。而红苹果家具的木质家具更注重实木质感,更多地使用橡木等实木材料,有较高的原木成本,线上宣传投入相对较少,依赖线下体验店吸引客户。本研究对原始

数据处理如下:将全友家具设置为供应链 1(Sc 1),将红苹果家具设置为供应链 2(Sc 2),将市场需求设置为同一值,根据 2 家木质家具制造企业的原木材料成本、侧重宣传方式以及面向客户群体设置竞争参数值,例如供应链 1 比供应链 2 更侧重线上营销,因此 $\gamma_1 > \gamma_2$ ,将 $\gamma_1$ 设置为 0.6, $\gamma_2$ 设置为 0.4,本研究的供应链竞争参数值见表 4。

表 4 供应链竞争参数值

Tab. 4 Value of supply chain competition parameter

参数 Parameter	参数值 Parameter value
$H$	100
$u$	500
$\gamma_1$	0.6
$\beta_1$	0.6
$w_1$	0.1
$\gamma_2$	0.4
$\beta_2$	0.5
$w_2$	0.3

在供应链竞争敏感系数方面,通过 2.3 模糊随机模型中所详细介绍的方法,对这 2 家企业的供应链竞争敏感系数参数进行确定,例如在第一个供应链中,在产品引入期间,产品价格敏感系数 $b_1$ 的均值为 0.79,方差为 0.02,对方产品价格敏感系数 $b'_1$ 的均值为 0.71,方差为 0.02,计算的过程为

$$\begin{cases} b_1 = (b_1^-, b_1^0, b_1^+) \\ \mu = 0.79, \sigma = 0.02 \\ b_1 = (0.71, 0.79, 0.87) \\ b_1 = \frac{(4(0.79) + 0.71 + 0.87)}{6} = 0.79 \\ b'_1 = (b'_1^-, b'_1^0, b'_1^+) \\ \mu = 0.71, \sigma = 0.02 \\ b'_1 = (0.62, 0.71, 0.79) \\ b'_1 = \frac{(4(0.71) + 0.62 + 0.79)}{6} = 0.71 \end{cases}$$

同理可得其他供应链竞争敏感系数参数,供应链竞争敏感系数见表 5。因为敏感系数与产品生命阶段正相关,为方便后续的计算,本研究将敏感系数随产品生命阶段的增长值统一设置为 0.01,敏感系数的变化对于决策变量的影响将会在本研究中的敏感性分析中介绍。

**表 5 供应链竞争敏感系数**  
**Tab. 5 Supply chain competitive sensitivity factor**

敏感系数 Sensitivity factor	引入期 Introduction	成长期 Growth	成熟期 Maturity	敏感系数 Sensitivity factor	引入期 Introduction	成长期 Growth	成熟期 Maturity
$b_1$	0.79	0.80	0.81	$b_2$	0.81	0.82	0.83
$b'_1$	0.71	0.72	0.73	$b'_2$	0.77	0.78	0.79
$c_1$	0.42	0.43	0.44	$c_2$	0.53	0.54	0.55
$c'_1$	0.39	0.40	0.41	$c'_2$	0.47	0.48	0.49
$d_1$	0.48	0.49	0.50	$d_2$	0.71	0.72	0.73
$d'_1$	0.42	0.43	0.44	$d'_2$	0.66	0.67	0.68
$f_1$	0.51	0.52	0.53	$f_2$	0.45	0.46	0.47
$\tau_1$	0.33	0.34	0.35	$\tau_2$	0.27	0.28	0.29

**3.2 结果与分析**

根据 2.1 纳什博弈模型和 2.2 斯坦克尔伯格博弈模型中的决策变量表达式, 基于表 4 供应链竞争参数

值和表 5 供应链竞争敏感系数, 纳什博弈下供应链最佳营销组合见表 6, 斯坦克尔伯格博弈下供应链最佳营销组合见表 7。

**表 6 纳什博弈的营销组合**  
**Tab. 6 The marketing mix of the Nash game**

供应链 1 Sc1	价格/元 Price	线上成本/元 Online costs	线下成本/元 Offline costs	原木成本/元 Log costs	效用 Utility	供应链 2 Sc2	价格/元 Price	线上成本/元 Online costs	线下成本/元 Offline costs	原木成本/元 Log costs	效用 Utility
引入期 Introduction	475.816	474.775	313.184	207.761	79 563.5	引入期 Introduction	426.945	201.157	303.402	293.772	79 706.6
成长期 Growth	469.437	462.886	305.257	195.677	78 197.3	成长期 Growth	424.593	197.538	297.973	287.084	78 960.9
成熟期 Maturity	462.619	450.661	297.108	183.376	76 858.2	成熟期 Maturity	422.127	193.854	292.448	280.375	78 235.0

**表 7 斯坦克尔伯格博弈的营销组合**  
**Tab. 7 The marketing mix of the stackelberg game**

供应链 1 Sc1	价格/元 Price	线上成本/元 Online costs	线下成本/元 Offline costs	原木成本/元 Log costs	效用 Utility	供应链 2 Sc2	价格/元 Price	线上成本/元 Online costs	线下成本/元 Offline costs	原木成本/元 Log costs	效用 Utility
成长期 Growth	473.527	467.165	308.11	197.448	79 618.6	引入期 Introduction	436.721	198.945	300.084	298.141	81 056.9
成熟期 Maturity	466.544	454.726	299.817	184.994	78 220.4	引入期 Introduction	440.042	199.908	301.528	300.183	82 290.8
成熟期 Maturity	466.843	455.035	300.024	185.117	78 324.5	成长期 Growth	434.563	195.187	294.447	291.542	80 297.8
引入期 Introduction	444.162	419.185	276.124	125.775	80 543.7	成长期 Growth	442.428	206.438	311.323	299.804	86 112.6
引入期 Introduction	443.355	417.208	274.806	123.987	80 719.7	成熟期 Maturity	437.507	201.444	303.832	291.166	84 373.0
成长期 Growth	438.040	408.866	269.244	115.726	79 148.1	成熟期 Maturity	439.305	202.331	305.163	292.428	85 105.8

据案例分析结果,首先对2种博弈进行对比分析,计算供应链在不同博弈下的平均效用值。在纳什博弈下,处于同一产品生命阶段的供应链效用即为平均效用值。在斯坦克尔伯格博弈下,引入期的平均效用为

供应链追随者地位时期的效用值均值,成熟期的平均效用为供应链领先者地位时期的效用值均值,成长期的平均效用为追随者地位效用值和领先者地位效用值的均值。供应链的平均效用如图3所示。

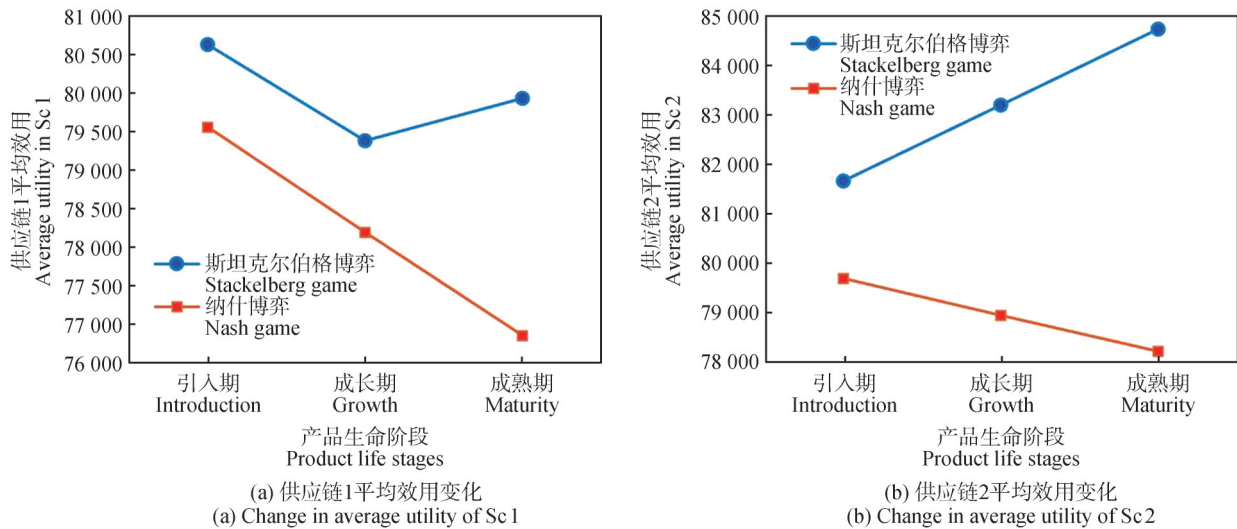


图3 不同博弈下2条供应链平均效用变化

Fig. 3 Changes in average utility of two supply chains under Stackelberg and Nash games

通过图3不同博弈下2条供应链平均效用变化,可以看出:

1) 供应链在斯坦克尔伯格博弈下的平均效用更高,斯坦克尔伯格博弈下的总效用比纳什博弈下的总效用高出4%,约18 046。具体来说,在纳什博弈下,供应链平均效用与产品生命阶段负相关,在斯坦克尔伯格博弈下,供应链2平均效用与生命阶段呈正相关,供应链1平均效用则是先下降再上升的趋势。

2) 对于供应链1,在引入期,尽管在斯坦克尔伯格博弈下的价格和需求低于纳什博弈下的价格和需求,但由于成本的下降,使得斯坦克尔伯格博弈下的平均效用要比纳什博弈下的平均效用高出1 068。在成长期,由于第1条供应链部分处于领先地位,斯坦克尔伯格博弈下的平均效用比纳什博弈下的平均效用高出1 186。在成熟期,第1条供应链在斯坦克尔伯格博弈下完全处于领先地位,其平均效用比纳什博弈下的平均效用高出3 075。

3) 对于供应链2,除宣传成本和市场需求在斯坦克尔伯格博弈下的追随者位置外低于纳什博弈,其价格、原木成本以及总的效用都要高于纳什博弈下的价格、原木成本以及总的效用。具体来说,在引入期,斯坦克尔伯格博弈下的平均效用比纳什博弈下的平均效用高出1 967,在成长期,斯坦克尔伯格博弈下的平均效用比纳什博弈下的平均效用高出4 244,在成熟期,

斯坦克尔伯格博弈下的平均效用比纳什博弈下的平均效用高出6 504。

### 3.3 斯坦克尔伯格博弈敏感性分析

在斯坦克尔伯格博弈下,2条供应链处于不同的生命阶段,因此在结果敏感性分析时需要将其中一条供应链的生命阶段固定,分析另一条供应链效用变化,2条供应链的效用变化如图4所示。

由图4(a)可以看出,在对方供应链处于引入期时,由于自身供应链在技术、品牌或市场策略上具有一定的优势,因此供应链处于斯坦克尔伯格博弈下的领先者地位。然而供应链效用与产品生命阶段负相关,这可能是因为随着市场的发展和竞争的加剧,成本增加或市场需求变化导致效用下降。同时供应链2在各个阶段的效用均高于供应链1,表明供应链2在运营效率、成本控制或市场策略上更为有效。

由图4(b)可以看出,在对方供应链处于成长期时,供应链从追随者到领先者的效用变化。可以看出供应链2从引入期到成熟期后,效用有了较大的提升,而供应链1从引入期到成熟期后,效用则在降低。可能由于供应链2目标群体为中高端人群,因此到成熟期即领先者地位时,效用增长较大。而供应链1在后续的发展中,市场份额被稀释,为争夺客户而降低价格,导致效用空间被压缩。

由图4(c)可以看出,在对方供应链处于成熟期

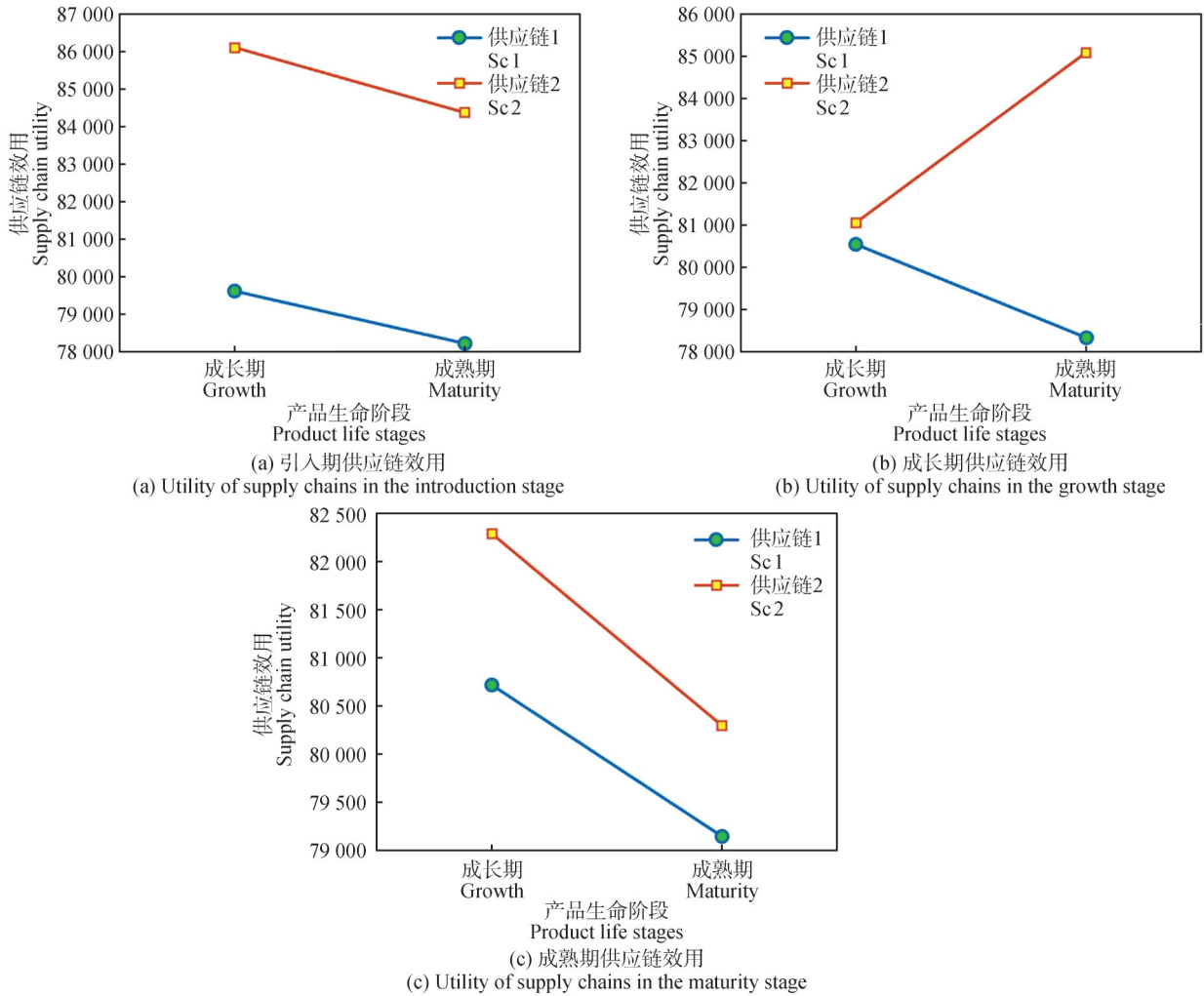


图 4 斯坦克尔伯格博弈下两条供应链不同阶段效用变化

Fig. 4 Utility changes at different stages of two supply chains under the Stackelberg game

时,由于供应链处于追随者地位,因此在技术、品牌或市场策略上处于劣势地位。同时随着产品生命周期的推进,效用均呈现下降趋势,可能是因为产品进入新的阶段时期,生产规模扩大,原材料、劳动力和运营成本上升,导致效用空间被压缩。

### 3.4 纳什博弈敏感性分析

在纳什博弈下,2条供应链中的木质家具制造企业处于同一产品生命阶段时,效用的变化如图5所示。

由图5可以看出,当供应链中木质家具制造企业处于较低的产品生命阶段时,由于市场需求尚未完全释放,竞争压力相对较小,因此木质家具成本相对较低,2条供应链此时的效用值都较高。但随着产品生命阶段的递进,市场需求增加,竞争日益激烈,为获得更多的木质家具市场份额,均采用降低效用值的方式扩大市场份额,而效用值与其产品生命阶段负相关,因为市场需求有限,当需求逐渐趋于饱和,而竞争却在不断加剧,为争夺市场份额,双方降低价格,增加营销投入,导致成本上升,效用值下降。

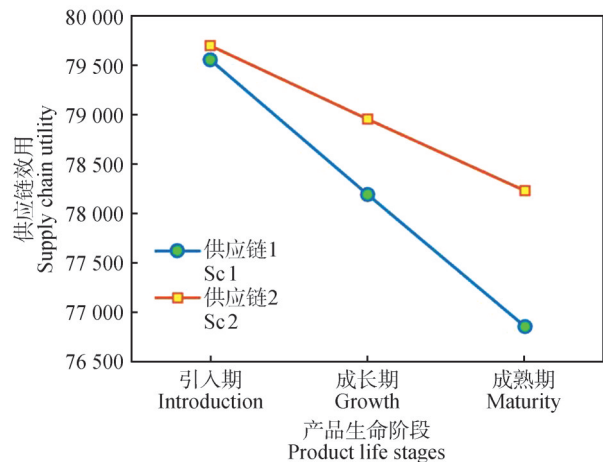


图 5 纳什博弈下 2 条供应链效用变化

Fig. 5 Utility changes in two supply chains under the Nash game

### 3.5 敏感系数的敏感性分析

本研究选择在案例下的纳什博弈,其中双方均处于引入期这一阶段对敏感系数进行分析计算,此时供应链1的决策变量表达式为(小数点保留两位小数)

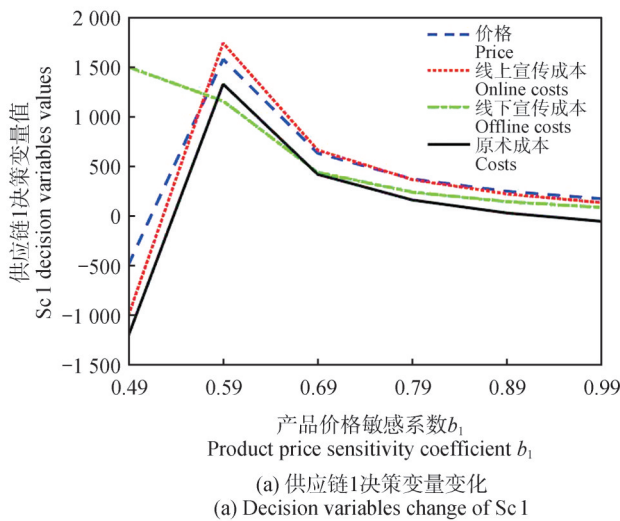
$$p_1 = 372.98 - 0.16a_2 - 0.12o_2 + 0.53p_2 - 0.17r_{2o} \quad (27)$$

$$o_1 = 366.09 - 0.16a_2 - 0.12o_2 + 0.55p_2 - 0.18r_{2o} \quad (28)$$

$$r_1 = 240.73 - 0.11a_2 - 0.08o_2 + 0.37p_2 - 0.12r_{2o} \quad (29)$$

$$a_1 = 161.18 - 0.07a_2 - 0.05o_2 + 0.24p_2 - 0.08r_{2o} \quad (30)$$

只取决策变量表达式前不含系数的部分进行计算,即  $p_1=372.98$ ,  $o_1=366.09$ ,  $r_1=240.73$ ,  $a_1=161.18$ 。在上述参数设置的基础上,构建本研究中的敏感系数与决策变量的函数关系图。



在木质家具市场竞争中,产品价格敏感系数  $b_i$  表示消费者对木质家具价格变化的敏感程度的指标,  $b_i$  越高代表消费者对价格变化非常敏感,价格的微小变动会显著影响木质家具需求量。由图6可以看出,在  $b_i$  较低时,决策变量的变化较为复杂,当  $b_i$  超过某个临界值后,  $b_i$  与决策变量呈负相关,对于2条木质家具制造企业供应链,共同点为价格减少幅度最大的,其次是宣传成本的减少幅度,最慢的是原木成本的减少幅度,不同点在于供应链1顾客线上营销接受度更高,供应链1投入的线上宣传成本更高,因此供应链1线上宣传成本的减少速率更快,供应链2线下宣传成本的减少速率更快。

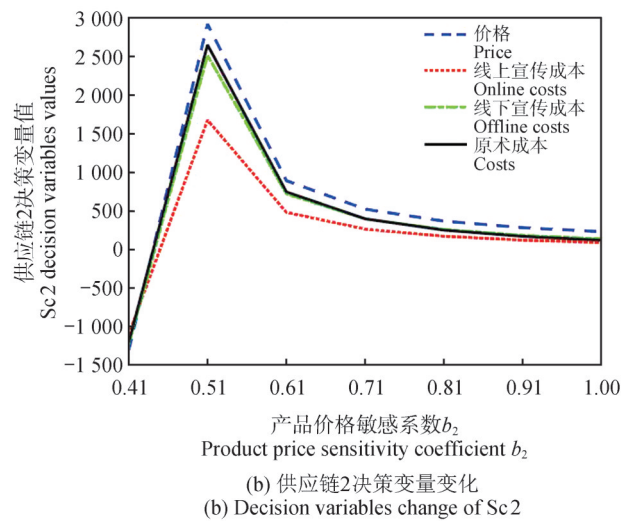


图6 产品价格敏感系数敏感性分析

Fig. 6 Product price sensitivity coefficient sensitivity analysis

产品推广敏感系数  $c_i$  表示在木质家具推广营销过程中,销量对某个推广因素变化的敏感程度。由图7可以看出,产品推广敏感系数  $c_i$  在其取值范围内与决策变量呈正相关,即决策变量会随着产品推广敏感系数  $c_i$  的增大而逐渐增大,同理可得产品质量敏感系数  $d_i$  与供应链决策变量的变化趋势,如图8所示。对于案例中的2条木质家具制造企业供应链,因为产品推广敏感系数  $c_i$  影响最多的决策变量是线上、线下宣传成本,因此宣传成本是增长幅度最大的,其次是产品价格和原木成本,与产品价格敏感系数分析相同,由于供应链1顾客线上营销接受度更高,供应链1投入的线上宣传成本更高,因此供应链1线上宣传成本的增长速率更快,供应链2线下宣传成本的增长速率更快。

### 3.6 鲁棒性分析

本研究选用纳什博弈与斯坦克尔伯格博弈相结合的博弈框架对双供应链竞争策略问题进行分析,纳什博弈的博弈条件下为处于同一阶段的供应链同时决

策,而斯坦克尔伯格博弈的博弈条件下为处于不同阶段的供应链顺序决策,即领导者先行,追随者后行。本研究将互换2个模型的博弈条件,将同一阶段的纳什博弈改为斯坦克尔伯格博弈,将不同阶段的斯坦克尔伯格博弈改为纳什博弈。由于双供应链每个阶段对应的参数值不同,因此互换博弈条件的新模型参数值也会变化。对新模型效用与原模型的结果进行差异率检验,计算2个模型对博弈结构的假设是否具有较强的鲁棒性。其中,效用的相对差异率  $\delta$  为

$$\delta = \frac{|\pi_1 - \pi_2|}{\pi_2} \times 100\% \quad (31)$$

式中:  $\pi_1$  为新模型的效用;  $\pi_2$  为原模型的效用。

本研究选用供应链1在纳什博弈和斯坦克尔伯格博弈下的情形进行模型鲁棒性分析,将对方供应链产品生命阶段固定,新模型在不同博弈下会产生2个新的效用值 ( $U_1, U'_1$ ),新模型在不同博弈下的效用值与效用相对差异率 ( $\delta_1, \delta'_1$ ) 见表8。

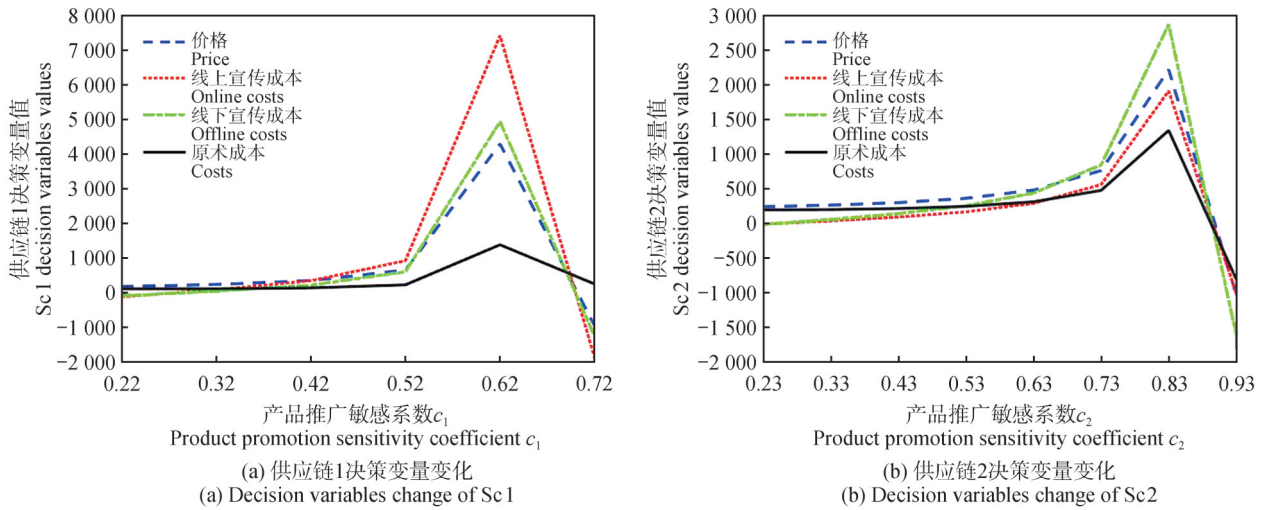


图 7 产品推广敏感系数敏感性分析

Fig. 7 Product promotion sensitivity coefficient sensitivity analysis

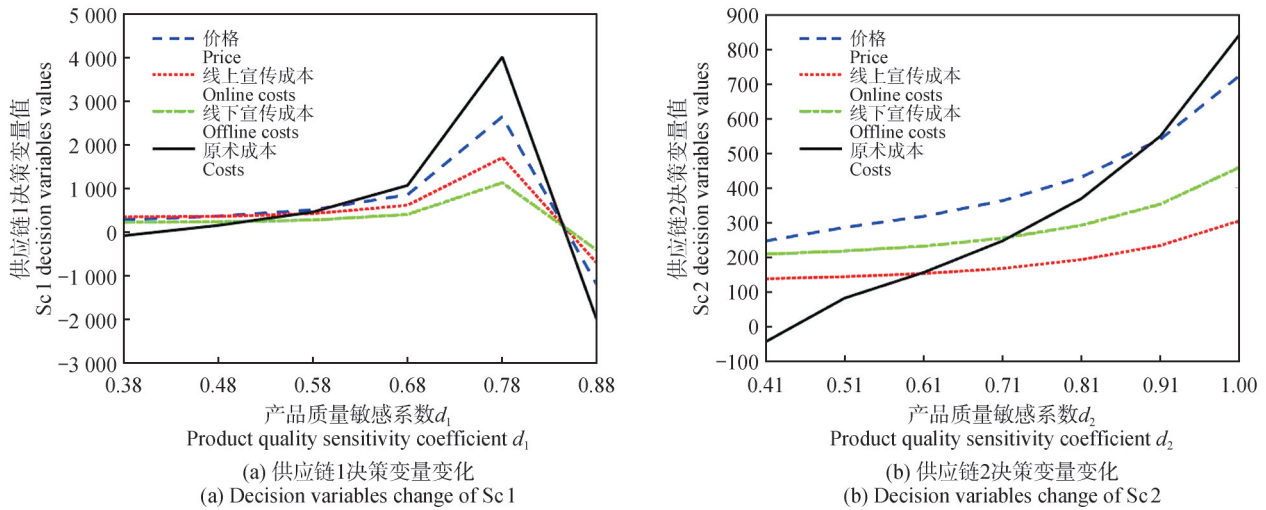


图 8 产品质量敏感系数敏感性分析

Fig. 8 Product quality sensitivity coefficient sensitivity analysis

表 8 新模型不同博弈下效用与效用相对差异率

Tab. 8 Profit and profit relative variance rate under different games of the new model

对方供应链产品生命阶段 Counterparty supply chain product life stages	纳什博弈的效用 Profits of the Nash game		纳什博弈效用相对差异率/% Relative variance of profits in Nash game		斯坦克尔伯格博弈的效用 Profits of the Stackelberg game		斯坦克尔伯格博弈效用相对差异率/% Relative variance of profits in Stackelberg game	
	$U_1$	$U'_1$	$\delta_1$	$\delta'_1$	$U_1$	$U'_1$	$\delta_1$	$\delta'_1$
引入期 Introduction	78 027.5	76 500.7	1.97	4.00	81 028.1	80 349.2	1.77	3.59
发展期 Growth	79 714.3	76 688.9	1.90	1.97	78 324.5	77 382.3	3.92	0.01
成熟期 Maturity	79 846.0	78 348.1	3.74	1.90	78 415.0	77 590.5	3.88	1.97

在计算纳什博弈下的效用相对差异率时,只考虑供应链 1 处于不同产品生命周期的情形并同时决策,得出新模型的 2 个效用值,并与原效用值进行相对差

异率计算,得出结果。但在计算纳什博弈下的效用相对差异率时,则首先需要考虑供应链 1 在原模型中是否处于领导者地位,确定顺序决策后计算新模型的效

用值,再与原模型的2个效用值进行相对差异率计算,得出结果。根据表8新模型不同博弈下效用与效用相对差异率可以看出,在纳什博弈和斯坦克尔伯格博弈下效用的相对差异率 $\delta$ 平均值均不超过2.6%,纳什博弈下效用的相对差异率 $\delta$ 最大为4%(<5%),斯坦克尔伯格博弈下效用的相对差异率 $\delta$ 最大为3.92%(<5%),因此本研究的模型鲁棒性强,效用分配稳定。

## 4 结论

本研究基于产品生命周期理论,深入研究了木质家具制造企业在木质家具产品不同生命阶段的供应链竞争策略。具体来说,以2条具有独家零售商和制造商的木质家具制造企业供应链为研究对象,考虑到全渠道销售方式,以木质家具制造企业效用最大化为目标,构建以价格、原木成本、线上及线下营销成本为决策变量的模型,运用纳什博弈与斯坦克尔伯格博弈方法,分析了在引入期、成长期和成熟期的竞争态势,为供应链竞争决策提供了更贴近现实的量化工具,通过敏感性和鲁棒性分析研究了不同博弈下木质家具制造企业供应链的效用变化以及敏感系数等参数对决策变量的影响,研究结论如下。

1)在博弈策略的选择上,当2条供应链中的木质家具制造企业处于同一生命周期阶段时,纳什博弈下的效用值因同质化竞争加剧而持续下降;而在不同阶段时,斯坦克尔伯格博弈下领导者供应链通过先发优势显著提升效用,总效用值较纳什博弈高出4%,验证了动态博弈策略的有效性。

2)在敏感系数的影响方面,价格敏感系数 $b_i$ 、质量敏感系数 $c_i$ 等关键参数对决策变量具有显著非线性影响。例如,价格敏感系数与决策变量负相关,而质量敏感系数与决策变量正相关,这揭示了企业在制定决策时,必须系统性地考量多个市场参数的交互影响,而非孤立地调整单一变量,从而在成本、价格与质量之间寻求最优平衡。

3)在生命周期的适配方面,处于引入期的企业应侧重线上营销以吸引年轻消费者,成熟期企业则应侧重通过品质提升以巩固市场地位,该案例成功验证了成熟期的企业通过聚焦高价值市场与稳健的线下渠道,能够有效抵御竞争、提升品牌溢价,实现可持续的效用增长。

本研究的结果为企业制定供应链竞争策略提供了参考,企业应根据产品生命周期的不同阶段,灵活调整竞争策略,以提高市场竞争力。同时,也为企业在面对市场需求不确定性时提供了决策支持。此外,未来的研究可以结合更多实际市场数据,进行更深入的实证

研究,考虑如物流成本、库存水平等更多因素的影响,进一步拓展模型的适用范围。

## 参 考 文 献

- [1] 吴红梅,田禾,严子捷. 中国木质家具出口的三元边际及其影响因素分析[J]. 世界林业研究, 2019, 32(6): 67-72.  
WU H M, TIAN H, YAN Z J. Analysis of dual margin and influencing factors of China's wooden furniture export [J]. World Forestry Research, 2019, 32(6): 67-72.
- [2] 田明华,余梦妍,魏僮,等. 中美贸易摩擦双方木质林产品加征关税的经济效应[J]. 林业经济问题, 2022, 42(2): 113-121.  
TIAN M H, YU M Y, WEI T, et al. The economic effect of imposing tariffs on wood products in US-China trade friction [J]. Issues of Forestry Economics, 2022, 42(2): 113-121.
- [3] 陈诗卉. 我国木家具出口企业实施森林认证的动力与影响分析[D]. 北京:北京林业大学, 2020.  
CHEN S H. Analysis on the motivation and influence of forest certification in China's wood furniture export enterprises [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2020.
- [4] 陈晓倩,陈勇,李小勇. 林产品绿色政府采购政策国际比较与借鉴[J]. 世界林业研究, 2024, 37(4): 23-29.  
CHEN X Q, CHEN Y, LI X Y. Green public procurement policies for forest products: Comparison and enlightenment of international experience [J]. World Forestry Research, 2024, 37(4): 23-29.
- [5] 汪洪波. 基于供应链的家具生产企业协同运作机理研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2013.  
WANG H B. Research on the collaborative operation mechanism of furniture manufacturing enterprises based on supply chain [D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2013.
- [6] 王张恒,孙德林,黄丽,等. 木质家具绿色生产关键影响因素及评价体系构建[J]. 家具与室内装饰, 2021, 28(2): 1-5.  
WANG Z H, SUN D L, HUANG L, et al. Construction of key influencing factors and evaluation system for green production of wood furniture [J]. Furniture & Interior Design, 2021, 28(2): 1-5.
- [7] 田明华,牛捷,陈柯如,等. 中美贸易摩擦对中国木质林产品国际贸易的影响分析[J]. 林业经济问题, 2022, 42(5): 449-461.  
TIAN M H, NIU J, CHEN K R, et al. Analysis of the impact of Sino-US trade friction on international trade of Chinese wood forest products [J]. Issues of Forestry Economics, 2022, 42(5): 449-461.

- [8] 王克皓. 欧盟碳关税对我国家具业出口贸易的影响研究[D]. 兰州:兰州理工大学,2024.  
WANG K H. Study on the impact of EU carbon tariff on China's furniture export trade [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2024.
- [9] 李明月. 基于区块链技术下两条竞争供应链的运营策略研究[D]. 桂林:桂林电子科技大学,2023.  
LI M Y. Research on operation strategy of two competitive supply chains based on blockchain technology [D]. Guilin: Guilin University of Electronic Technology, 2023.
- [10] RANJAN A, JHA J K. Continuous dynamic pricing strategy under competition for deteriorating products in a dual-channel supply chain [J]. *Sādhanā*, 2024, 49 (2):132.
- [11] HADADI Z, GHOLAMIAN M R, NOROOZI M. The sale services, bundling, and jointly advertising strategies under profit sharing contract in closed-loop competitive supply chain [J]. *European Journal of Industrial Engineering*, 2024, 18(2):157-190.
- [12] BALASUBRAMANIAN G, PONNACHIYUR MARUTH-ASALAM A P. Impact of store brand competition on retailer's strategic inventory in decentralized supply chains [J]. *Naval Research Logistics (NRL)*, 2024, 71 (2): 161-173.
- [13] KARIMI M, KHADEMI-ZARE H, ZARE-MEHRJERDI Y, et al. Optimizing service level, price, and inventory decisions for a supply chain with retailers' competition and cooperation under VMI strategy [J]. *RAIRO-Operations Research*, 2022, 56(2):1051-1078.
- [14] 孙雪峰,冯梦金,张成堂. 考虑自信和后悔对寡头企业市场竞争策略研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版),2023,39(1):110-120.  
SUN X F, FENG M J, ZHANG C T. Research on market competition strategy of oligopoly enterprises considering self-confidence and regret [J]. *Journal of Harbin University of Commerce (Natural Sciences Edition)*, 2023, 39 (1):110-120.
- [15] 谢加封,沈文星. 中国木质家具品牌价值链治理:基于实证调查的分析[J]. 世界林业研究,2011,24(6):49-54.  
XIE J F, SHEN W X. Brand value chain governance of Chinese wooden furniture: analysis based on empirical survey [J]. *World Forestry Research*, 2011, 24 (6): 49-54.
- [16] SUBRAMONIAM R, SUNDIN E, SUBRAMONIAM S, et al. Riding the digital product life cycle waves towards a circular economy [J]. *Sustainability*, 2021, 13(16):8960.
- [17] LOURENÇO F, GONÇALVES M C, CANGIOLIERI JÚNIOR O, et al. A systemic approach to the product life cycle for the product development process in agriculture [J]. *Sustainability*, 2024, 16(10):4207.
- [18] KHANG D S, LINH N H K, HOAI B T M. Life cycle assessment of cocoa products in Vietnam [J]. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 2024, 8 (4): 1003-1016.
- [19] 邱棋. 基于产品生命周期评价(LAC)的家具环保设计方案优化[J]. 包装工程,2023,44(S2):259-263.  
QIU Q. Optimization of furniture environmental protection design scheme based on product life cycle assessment (LAC) [J]. *Packaging Engineering*, 2023, 44 (S2): 259-263.
- [20] 江映其,雷亚芳,孟祥彬. 基于生命周期评价的3种木质类家具环境影响比较研究[J]. 西北林学院学报,2014,29(4):232-236.  
JIANG Y Q, LEI Y F, MENG X B. Life cycle assessment based study of the influences of three wooden furniture on environment [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2014, 29(4):232-236.
- [21] 黄晓露,关靖莹,郑义. 购物渠道对消费者木质家具质量感知的影响[J]. 中国林业经济,2023(2):31-37.  
HUANG X L, GUAN J Y, ZHENG Y. The impact of shopping channels on consumers' perception of the quality of wooden furniture [J]. *China Forestry Economics*, 2023 (2):31-37.
- [22] 黄港. 中国木质家具出口潜力研究[D]. 杭州:浙江农林大学,2022.  
HUANG G. Study on the export potential of Chinese wooden furniture [D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2022.
- [23] 陈竞. 中国木质家具出口与出口市场占有率的关系研究[D]. 北京:北京林业大学,2022.  
CHEN J. Study on the relationship between the export of wooden furniture and the export market share in China [D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2022.
- [24] HE B, YU Q Y. Product sustainable design for carbon footprint during product life cycle [J]. *Journal of Engineering Design*, 2021, 32(9):478-495.
- [25] 田成诗,袁宏俊,相瑞兵. 基于联系数投影的三角模糊数组合预测模型及其应用[J]. 运筹与管理,2024,33(1):115-122.  
TIAN C S, YUAN H J, XIANG R B. Connection number projection based triangular fuzzy number combination forecasting model and its application [J]. *Operations Research and Management Science*, 2024, 33(1):115-122.