

风险厌恶下基于产品生命周期的供应链定价策略

庞卫宏¹, 陈卫华^{1,2}, 李 凯¹, 苑红涛^{1,2}
(1. 东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110169; 2. 沈阳华晨宝马汽车有限公司, 辽宁 沈阳 110403)

摘 要: 借助均值-方差方法研究基于产品生命周期的供应链定价决策问题. 根据导入期、成长期、成熟期和衰退期的产品需求的不同, 构建不同的决策目标函数, 分析不同时期的供应链定价策略, 并给出决策者的最优零售价格、批发价格以及运作绩效. 研究发现, 零售商越厌恶风险其零售价格越低而制造商批发价格越高, 制造商越厌恶风险其批发价格越低且零售商价格越低; 当制造商以市场需求量为决策目标, 市场需求度越高, 其批发价格越低且零售商零售价格越低; 产品生命周期越长, 其市场地位越稳定, 制造商与零售商的销售价格越高.

关 键 词: 供应链; 均值-方差; 风险态度; 产品生命周期; 定价策略; 运作绩效
中图分类号: F 274 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2018)05-0750-06

Supply Chain Pricing Strategy Based on Product Life Cycle Under Risk-Aversion

PANG Wei-hong¹, CHEN Wei-hua^{1,2}, LI Kai¹, YUAN Hong-tao^{1,2}
(1. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China; 2. BMW Brilliance Automotive, Shenyang 110403, China. Corresponding author: PANG Wei-hong, E-mail: pwhcn@163.com)

Abstract: Based on the product life cycle, the mean-variance method was adopted to investigate the supply chain pricing strategy. According to the demands in different periods of product life cycle, different decision-making functions were firstly constructed, then the pricing strategies of supply chain in different periods were analyzed, and finally the optimal retail price, wholesale price and operating performance were provided. It was revealed that the retailer price becomes lower and the wholesale price is higher when retailers' risk aversion increases; the retail price and wholesale price become lower when manufacturers' risk aversion increases; and the market position becomes more stable and the price of manufacturers and retailers becomes higher when the product life cycle is longer.

Key words: supply chain; mean-variance; risk attitude; product life cycle; pricing strategy; operating performance

当前很多企业通过新兴的线上销售渠道和传统线下销售渠道同时销售自己的商品, 实现了从单一的销售渠道模式向多种销售渠道模式转变^[1-2]. 销售渠道模式的转变加剧了原有市场的竞争, 企业需要寻找新的策略提高效率并降低运作成本. 许多企业发现改善市场营销战略可以提高企业运作效率, 而在改变市场营销战略中, 定价策略通常会产生最直接的影响和获得最高的回报^[3]. 在大量的顾客和供应信息以及所需定量决策技术的支持下, 定价已成为企业的战术和运营职能, 因此, 如何制定最优的定价决策成为企业获得竞争优势的关键. 此外, 由于产品具有不同的生命周期, 其市场需求、市场竞争程度以及定价策略不尽相同, 因此研究考虑产品生命周期的供应链决策问题具有重要意义. Mehrmanesh 等^[4]、Nagashima 等^[5]建立三级供应链系统, 考虑产品

生命周期研究不同时期的系统最优产品生产种类以及定价策略. Savaskan 等^[6]在制造商市场竞争环境下研究闭环供应链系统对制造商最优定价与生产策略的影响.

上述研究成果很好地解决了考虑产品生命周期的供应链决策问题,然而上述研究都忽略决策者的风险态度. 实证研究表明,传统基于期望利润或损失获得的最优策略往往与实际运作具有一定偏差. 近几年,由于均值-方差方法可以很好地度量决策者对待风险的态度,受到许多学者的关注与研究^[7-9]. Sayin 等^[10]运用均值-方差方法研究随机需求下,报刊经营者在考虑资金约束问题时的供应链定价决策问题.

本文在上述研究成果的基础上,考虑决策者的风险态度,研究不同产品生命周期下(导入期、成长期、成熟期以及衰退期)制造商与零售商的定价决策问题.

1 基本问题描述

假设风险厌恶制造商与风险厌恶零售商组成的简单二级供应链系统,制造商与零售商生产销售同一类产品 A. 同时考虑产品 A 的整个生命周期(导入期、成长期、成熟期和衰退期),每一时期,产品 A 的市场需求量不同,其定价策略也会不同(如图 1 所示). 此外,运用均值-方差准则衡量制造商与零售商的期望效用函数,决策者的目标函数由其期望收益与均方差构成,即:

$$U(\pi) = E(\pi) - k \sqrt{\text{var}(\pi)}, \quad (1)$$

$$\text{var}(\pi) = E[\pi - E(\pi)]^2. \quad (2)$$

其中, $k(k \geq 0)$ 表示决策者的风险厌恶程度, k 越大表明决策者越厌恶风险,越害怕风险带来损失, $k=0$ 表示决策者是风险中性.

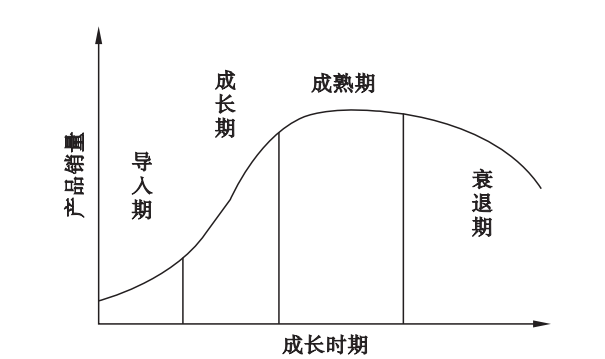


图 1 产品生命周期曲线
Fig. 1 The curve of production life cycle

制造商作为渠道领导者,首先做出最优决策;零售商作为渠道跟随者,观察到制造商决策后,做

出有利于自己的最优决策,因此,本文借助 Stackelberg 博弈理论,采用逆向归纳法求解,运用均值-方差准则,研究不同时期风险厌恶制造商与零售商的价格决策行为,分析风险厌恶程度、生命周期等对决策者定价以及运作绩效的影响. 不考虑库存与缺货损失的影响,假设零售商观测到市场需求后下订单,制造商按零售商的订单进行生产.

2 产品生命周期供应链定价模型

2.1 导入期定价模型

在产品导入期,新产品还没有得到市场消费者的认可,市场需求量不会很大且比较稳定. 此时期制造商需要进行产品宣传和开拓市场. 因此假设该时期市场需求量是销售价格 p 的线性减函数,即 $D(p) = a - bp$,其中 $a = a_0 + \varepsilon$ 为市场需求量, a_0 为基本市场需求量, ε 为市场需求波动的随机变量且满足 $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$, b 为价格交叉敏感系数, p 为零售商市场销售价格.

风险厌恶制造商既希望扩大市场份额又希望通过产品销售维持企业正常运转. 因此建立制造商综合决策目标函数,同时运用均值-方差度量其风险厌恶程度,其决策目标函数为

$$\max F(w, p) = [U(\pi_s)]^{(1-\theta)} \{E[D(p)]\}^\theta. \quad (3)$$

其中, θ 表示决策者对于扩大产品市场需求的期望程度(以下简称市场需求度), θ 越大,其决策者越注重市场需求量的增长. 当 $\theta=0$ 时,制造商以期望收益为决策目标;当 $\theta=1$ 时,制造商以市场需求量为决策目标. 制造商利润函数 $\pi_s = (w - c)(a - bp)$,根据均值-方差原则,其效用函数为

$$U(\pi_s) = (w - c)(a_0 - bp) - k_s(w - c)\sigma. \quad (4)$$

对于风险厌恶的零售商,其决策目标函数为

$$\max G(w, p) = U(\pi_r). \quad (5)$$

零售商利润函数 $\pi_r = (p - w)(a - bp)$,根据均值-方差法则,式(5)等价于:

$$U(\pi_r) = (p - w)(a_0 - bp) - k_r(p - w)\sigma. \quad (6)$$

其中: w 为制造商批发价格; $k_i (i = s, r)$ 代表决策者的风险厌恶程度.

根据 Stackelberg 博弈理论,先对零售商的目标函数求偏导,令 $\partial G(w, p) / \partial p = 0$,得 $p = (a_0 + bw + k_r \sigma) / 2b$,代入式(3)中,令 $\partial F(w, p) / \partial w = 0$,进而获得最优定价策略 (p^*, w^*) .

2.2 成长期定价模型

在产品成长期,新产品已经得到市场消费者的认可并且具有一定知名度,此时期的市场销售

量将会呈指数形式增长,同样制造商也会关注产品市场份额和收益的影响,假设市场需求量为

$$D(p) = a(t) - bp = \frac{K}{1 + Be^{(-\beta t)}} + a - bp.$$

其中: $a(t) = \frac{K}{1 + Be^{(-\beta t)}} + a$ 为 Logistic 曲线函数; t 为产品生命周期的某个时刻; $a(t)$ 为市场需求规模; K 为市场需求变化量的上限; B 为常量; β 为增长率常量^[10].

制造商利润函数: $\pi_s = (w - c) \left(\frac{K}{1 + Be^{-\beta t}} + a - bp \right)$, 根据均值 - 方差准则, 风险厌恶制造商的决策目标函数为

$$\max F(w, p) = [(w - c) \left(\frac{K}{1 + Be^{-\beta t}} + a_0 - bp \right) - k_s(w - c)\sigma]^{(1-\theta)} \left(\frac{K}{1 + Be^{-\beta t}} + a_0 - bp \right)^\theta. \quad (7)$$

零售商利润函数 $\pi_r = (p - w) \left(\frac{K}{1 + Be^{-\beta t}} + a - bp \right)$, 则风险厌恶零售商决策目标函数为

$$\max G(w, p) = U(\pi_r) = (p - w) \left(\frac{K}{1 + Be^{-\beta t}} + a_0 - bp - k_r\sigma \right). \quad (8)$$

根据 Stackelberg 博弈理论, 可以获得成长期的供应链渠道最优定价策略 (p^*, w^*) , 即

$$p^* = \frac{bw^* + a_0 - k_r\sigma + \frac{K}{1 + Be^{-\beta t}}}{2b}. \quad (9)$$

将式(9)代入式(8)中, 可得最优批发价格 w^* , 但由于其复杂性, 将在算例中进一步分析.

2.3 成熟期定价模型

在产品成熟期, 市场需求基本稳定, 此时制造商不再追求市场需求量, 因此风险厌恶制造商与零售商均以最大化期望效用为决策目标函数.

制造商决策目标函数:

$$\max F(w, p) = (w - c)(a_0 - bp - k_s\sigma).$$

零售商决策目标函数:

$$\max G(w, p) = (p - w)(a_0 - bp - k_r\sigma).$$

其中: 制造商利润函数 $\pi_s = (w - c)(a - bp)$; 零售商利润函数 $\pi_r = (p - w)(a - bp)$. 运用 Stackelberg 博弈理论, 可以获得成熟期的供应链渠道最优定价策略, 即:

$$p^* = \frac{3a_0 - k_r\sigma - 2k_s\sigma + bc}{4b}, \quad (10)$$

$$w^* = \frac{a_0 - k_r\sigma - 2k_s\sigma + bc}{2b}. \quad (11)$$

此时期决策者的最优价格只受其风险厌恶程

度的影响, 与其他系数无关.

2.4 衰退期定价模型

在产品衰退期, 由于新替代产品的出现以及消费者对市场老产品的饱和, 使得市场需求量下降, 此时制造商需要考虑零售商未销售出去的产品, 即可能存在退货情形.

1) 假设存在退货情况, 即市场需求量小于订货量, 此时制造商利润函数为

$$\pi_s = (w - c)Q - n[Q - D(p)] = (w - c) \left(\frac{K}{1 + Be^{-\beta t}} + a_0 - bp + z \right) - n(z - \varepsilon).$$

零售商利润函数为

$$\pi_r = (p - w)D(p) + (n - w)[Q - D(p)] = (p - w) \left(\frac{K}{1 + Be^{-\beta t}} + a_0 - bp + \varepsilon \right) + (n - w)(z - \varepsilon).$$

其中: $D(p) = \frac{K}{1 + Be^{-\beta t}} + a_0 - bp + \varepsilon$; Q 为零售商订货量, $Q = \frac{K}{1 + Be^{-\beta t}} + a_0 - bp + z$; z 为库存因子; n 为退货价格 ($n < w$).

根据均值 - 方差理论, 风险厌恶制造商与零售商的决策目标函数分别为

$$\max F(w, p) = (w - c) \left(\frac{K}{1 + Be^{-\beta t}} + a_0 - bp + z \right) - nz - k_s n \sigma, \quad (12)$$

$$\max G(w, p) = (p - w) \left(\frac{K}{1 + Be^{-\beta t}} + a_0 - bp \right) + (n - w)z - k_r(p - n)\sigma. \quad (13)$$

同理运用 Stackelberg 博弈理论, 可以获得衰退期的供应链渠道最优定价策略, 即:

$$p^* = \frac{\frac{3K}{1 + Be^{-\beta t}} - k_r\sigma + 2z + bc}{4b}, \quad (14)$$

$$w^* = \frac{\frac{K}{1 + Be^{-\beta t}} + a_0 + k_r\sigma + 2z + bc}{2b}. \quad (15)$$

决策者价格策略 (p^*, w^*) 只受零售商风险厌恶程度 k_r 影响, 与制造商风险厌恶程度无关.

2) 假设不存在退货情况, 即市场需求量大于订货量, 此时制造商的利润函数为

$$\pi_s = (w - c)Q = (w - c) \left(\frac{K}{1 + Be^{-\beta t}} + a_0 - bp + z \right).$$

零售商利润函数为

$$\pi_r = (p - w)Q = (p - w) \left(\frac{K}{1 + Be^{-\beta t}} + a_0 - bp + z \right).$$

根据均值 - 方差原则, 风险厌恶制造商与零售商的决策目标函数为

$$\max F(w,p) = (w - c) \left(\frac{K}{1 + B e^{-\beta t}} + a_0 - b p - z \right),$$

(16)

$$\max G(w,p) = (p - w) \left(\frac{K}{1 + B e^{-\beta t}} + a_0 - b p - z \right).$$

(17)

同样运用 Stackelberg 博弈理论,可以获得衰退期的供应链渠道最优定价策略,即:

$$p^* = \frac{\frac{3K}{1 + B e^{-\beta t}} + b c + 3 z}{4 b},$$

(18)

$$w^* = \frac{\frac{K}{1 + B e^{-\beta t}} + a_0 + b c + z}{2 b}.$$

(19)

对比式(14)与式(18)、式(15)与式(19)发现,存在退货的零售价格低于不存在退货的零售价格;而存在退货的制造商批发价格大于不存在退货的制造商价格.零售商为了减少退货增加收益,宁愿降低销售价格,尽量多销售产品,制造商通过提高批发价格弥补零售商退货造成的损失.

3 数值算例与分析

进一步分析验证系统变量对供应链系统以及制造商与零售商运作情况的影响,现进行数值算例与分析.假设 $a_0 = 100, b = 4, c = 5, K = 1\,000, B = 400, \beta = 1.5, z = 10, n = 2$. 风险厌恶零售商直接接触随机市场,导致其面临的不确定因素更大,因此其厌恶程度高于制造商, $k_r \in \{1, \cdots, 0.1, \cdots, 1.8\}, k_s \in \{0.1, \cdots, 0.1, \cdots, 0.9\}$.

1) 产品导入期. 首先假设 $\theta = 0.6$, 分析决策者风险厌恶程度对价格与运作绩效的影响. 由图 2 可知,零售商越厌恶风险其零售价格越低,零售商宁愿减少收益也不愿意损失消费者,只能通过降低销售价格规避市场需求不确定性,在产品导入期,较低的销售价格可以吸引更多的消费者;而对于制造商来说,在产品导入期,零售商越厌恶风险,其制造商批发价格越高,进而使制造商运作绩效升高而零售商运作绩效降低. 制造商越厌恶风险,其批发价格越低,制造商害怕零售商降低进货数量,而零售商将新产品导入市场,可以降低销售价格,提高消费者对新产品的关注度,进而占据市场份额,制造商因其批发价格降低,导致其运作绩效降低,零售商运作绩效升高.

假设风险厌恶程度 $k_r = 1.2, k_s = 0.6, \theta$ 越大表明决策者希望获得更大的市场需求量,制造商希望在产品导入期获得更大的市场需求,因此必

须降低批发价格,吸引零售商多订货,而零售商在较低的批发价格下,可以通过降低销售价格吸引市场消费者对新产品的关注度,进而打开市场. 当 $\theta = 0$ 时,制造商以期望收益为决策目标,其批发价格和运作绩效最大;当 $\theta = 1$ 时,制造商以市场需求量为决策目标,其批发价格和运作绩效最低. 因此,当决策者以市场需求量为决策目标,只能通过降低价格才能获得最高的市场份额. 当 $\theta = 0.84$ 时,制造商与零售商运作绩效一致,如图 3 所示.

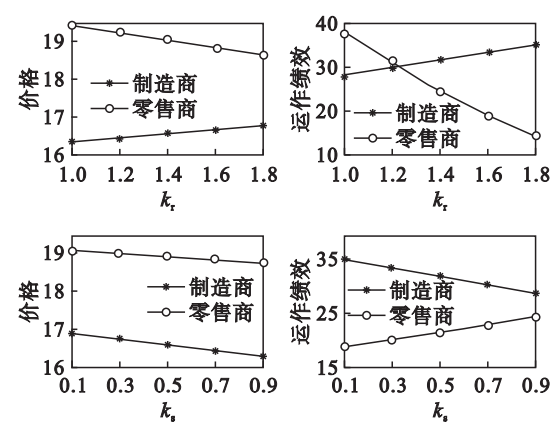


图 2 风险厌恶程度对决策者价格以及运作绩效的影响
Fig. 2 Influence of risk-aversion on price and operation performance at start-up stage

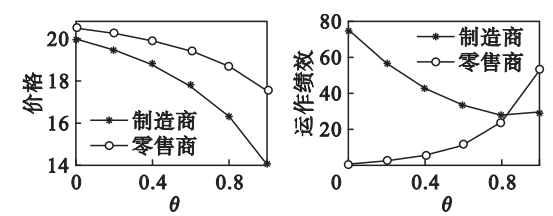


图 3 市场需求度对价格与运作绩效的影响
Fig. 3 Influence of market demand on price and operation performance at start-up stage

2) 产品成长期. 在产品成长期(图 4),决策者的风险厌恶程度对价格决策以及运作绩效影响与产品导入期趋势一致. 但在此阶段,产品得到市场消费者认可,产品需求量增加,制造商与零售商可以提高批发价格与零售商价格,进而获得更高收益. 此外,此时期零售商收益永远高于制造商收益,零售商完全了解市场行情,通过市场价格的提升,满足其收益增长.

在图 5 中,成长期市场需求度 θ 对决策者价格与运作绩效的影响情况与产品导入期一致,但当 $\theta = 0.44$ 时,制造商与零售商运作绩效一致,也就是说此时期制造商对产品的市场需求量没有产品导入期大,在此阶段,市场需求量已经不是制造商主要决策变量,决策者希望获得最高收益. 同样

决策者的运作绩效远大于产品导入期的运作绩效.而产品成长期越长,制造商批发价格与运作绩效基本保持不变,产品市场导入成功,制造商根据零售商需求进行生产,生产稳定.而对于零售商不同,随着时间的增长,市场需求越来越多,零售商可以自主提升销售价格增加自己收益,不受限于其他产品.此外成长期市场价格高于导入期市场价格.

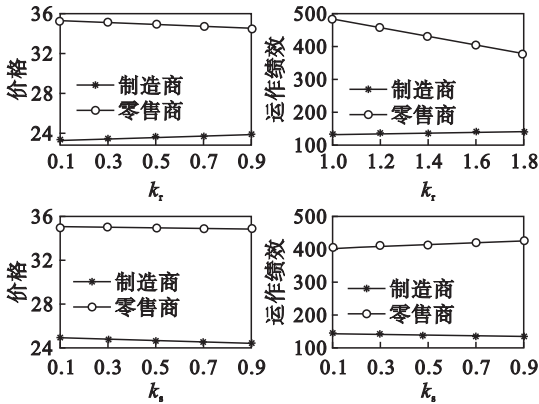


图 4 风险厌恶程度对决策者价格与运作绩效的影响
Fig. 4 Influence of risk-aversion on price and operation performance at growth stage

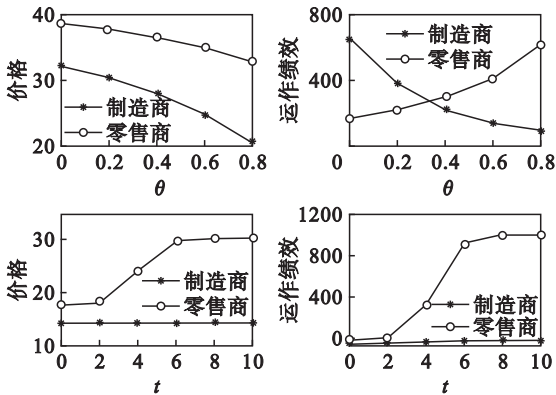


图 5 市场需求度和生命周期时刻对价格与运作绩效的影响
Fig. 5 Influence of market demand and life cycle time on price and operation performance at growth stage

3) 产品成熟期. 在产品成熟期(图 6), 市场需求已经稳定, 市场需求量等于零售商订货量, 此时期只有制造商与零售商的风险厌恶程度(k_s , k_r)对价格与运作绩效有影响, 不受其他因素限制. 式(10)与式(11)以及图 6 完全反映了风险厌恶程度对价格与运作绩效的影响, 销售价格随着零售商(制造商)风险厌恶的增加而减少, 批发价格随着零售商(制造商)风险厌恶的增加而增加(减少); 零售商运作绩效随着零售商(制造商)风险厌恶的增加而减少(增加), 制造商运作绩效随着零售商(制造商)风险厌恶的增加而增加(减

少). 此外产品价格波动小, 已经形成稳定的市场局面.

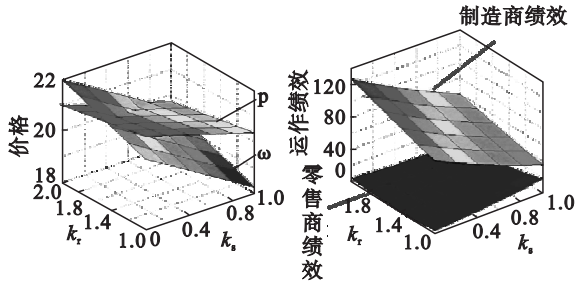


图 6 风险厌恶程度对价格与运作绩效的影响
Fig. 6 Influence of risk-aversion on price and operation performance at mature stage

4) 产品衰退期. 此时期, 产品生命周期严重影响制造商与零售商运作绩效, 当 $0 < t < 5$ 时, 零售商运作绩效小于 0 (图 8), 因此图 7 假设 $t = 6$, 图 8 假设 $5 \leq t \leq 10$, 导致其价格与运作绩效与前三时期不同 ($0 < t < 10$), 无法比较其运作绩效情况, 只能分析其趋势.

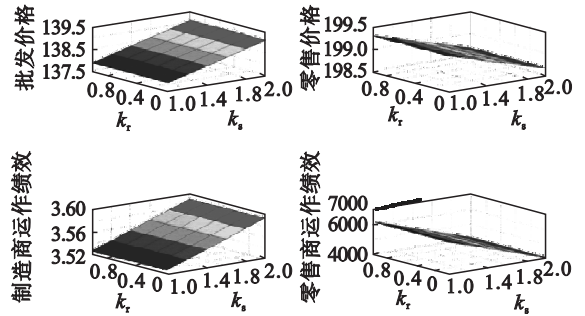


图 7 风险厌恶程度对价格决策与运作绩效的影响
Fig. 7 Influence of risk-aversion on price and operation performance at recession stage

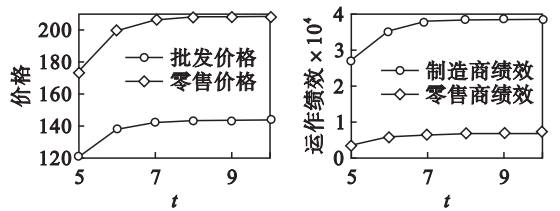


图 8 生命周期时刻对价格决策与运作绩效的影响(有退货)
Fig. 8 Influence of life cycle time on price and operation performance at recession stage

根据式(14)和式(15)可知, 对于存在退货的情况, 决策者价格行为只受零售商风险厌恶程度 k_r 影响, 零售商越厌恶风险, 其销售价格越低, 批发价格越高, 与前几时期趋势一致, 但此时价格决策不受制造商风险厌恶程度 k_s 的影响, 如图 7 所示. 零售商运作绩效与制造商风险厌恶程度无关, 此时期已经是产品最后时期, 制造商已经减少产

品关注度. 批发价格的增加导致制造商绩效升高, 降低订货数量过少给制造商带来的损失, 而制造商越厌恶风险, 其绩效越低. 零售商风险态度导致其零售价格降低, 其绩效必然降低.

产品衰退期, 市场占有率已经不再重要(新产品已经取代老产品), 消费者已经寻找新的产品, 在产品末期, 制造商和零售商可以增加自己的价格, 提高最后产品收益, 减少期末绩效的损失, 如图 8 所示.

如果不存在退货情形(图 9), 即市场需求大于零售商订货量, 图 9 与图 8 变化趋势一致, 此时制造商和零售商最大化自身收益, 其价格决策与运作绩效只与生命周期时刻有关, 时间越长其收益越大. 同时发现, 存在退货现象时对制造商有利, 而对零售商不利, 证明在产品衰退期, 同样要保证市场需求量, 满足市场需求才能获得最高收益.

t	批发价格	零售价格	制造商绩效 (x 10 ⁴)	零售商绩效 (x 10 ⁴)
5	110	180	14	10
6	120	190	18	12
7	130	200	21	13
8	140	210	22	14
9	150	215	22	14

图 9 生产周期时刻对价格决策与运作绩效的影响(无退货)

Fig. 9 Influence of life cycle time on price and operation performance at recession stage

4 结 语

本文基于产品生命周期理论, 研究了风险厌恶决策者的定价决策行为, 分析系统参数对不同生命周期定价决策的影响, 并进行了数值算例分析. 研究发现: 零售商越厌恶风险其零售价格越低, 而制造商批发价格越高, 制造商越厌恶风险其批发价格越低且零售商价格越低; 制造商以市场需求量为目标, 市场需求度越大, 其批发价格越低且零售商零售价格越低; 产品生命周期越长, 其市场地位越稳定, 制造商与零售商销售价格越高(成长期和衰退期), 同时给出了不同时期决策者的运作绩效情况. 本文的研究结论对于企业的定价策略具有重要的现实意义.

参考文献:

[1] Dumrongsiri A, Fan M, Jain A, et al. A supply chain model with direct and retail channels [J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 187 (3) : 691 – 718.

[2] 李凯, 陈卫华. 零售商资金约束的多渠道供应链定价策略 [J]. 东北大学学报 (自然科学版), 2015, 36 (10) : 1511 – 1515.

(Li Kai, Chen Wei-hua. Pricing strategy of multi-channel supply chain with retailer's capital constraint [J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 2015, 36 (10) : 1511 – 1515.)

[3] Yue J, Austin J, Huang Z, et al. Pricing and advertisement in a manufacturer – retailer supply chain [J]. *European Journal of Operational Research*, 2013, 231 (2) : 492 – 502.

[4] Mehrmanesh H, Parikhi S, Fazlollahtabar H. Modelling the customer relationship management in a multi-layer supply chain considering product life cycle [J]. *International Journal of Services & Operations Management*, 2013 (4) : 525 – 547.

[5] Nagashima M, Wehrle F T, Kerbache L, et al. Impacts of adaptive collaboration on demand forecasting accuracy of different product categories throughout the product life cycle [J]. *Supply Chain Management*, 2015, 20 (4) : 415 – 433.

[6] Savaskan R C, Bhattacharya S, Wassenhove L N V. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing [J]. *Management Science*, 2004, 50 (2) : 239 – 252.

[7] Wei Y, Choi T M. Mean-variance analysis of supply chains under wholesale pricing and profit sharing schemes [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 204 (2) : 255 – 262.

[8] Rubio-Herrero J, Baykal-Gürsoy M, Jakiewicz A. A price-setting newsvendor problem under mean-variance criteria [J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 247 (2) : 575 – 587.

[9] Ray P, Jenamani M. Mean-variance analysis of sourcing decision under disruption risk [J]. *European Journal of Operational Research*, 2015, 250 (2) : 679 – 689.

[10] Sayin F, Karaesmen F, Özekici S. Newsvendor model with random supply and financial hedging: utility-based approach [J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 154 (4) : 178 – 189.