

控制与决策

Control and Decision

考虑体验服务和促销努力的时尚服装库存与定价优化决策

陈啟, 徐琪, 刘金荣

引用本文:

陈啟, 徐琪, 刘金荣. 考虑体验服务和促销努力的时尚服装库存与定价优化决策[J]. *控制与决策*, 2020, 35(8): 1935–1944.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1293>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

三级低碳供应链联合减排及宣传促销微分博弈研究

Differential game models for joint carbon emission reduction and promotion in three-echelon low carbon supply chain

控制与决策. 2019, 34(8): 1776–1788 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.1752>

基于提前支付的非瞬时变质产品批量订货定价策略

Research on pricing and inventory lot-size policies for non-instantaneous deteriorating items with stochastic demand and promotional efforts based on advance payments

控制与决策. 2018, 33(2): 301–308 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2016.1604>

基于混合契约的生鲜电商供应链协调策略

E-commerce of fresh agricultural products supply chain coordination based on compound contract

控制与决策. 2018, 33(11): 2104–2112 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.0850>

基于契约理论的服装双渠道利益协调建模与应用

Modeling and application of benefit coordination in apparel dual-channel based on contract theory

控制与决策. 2018, 33(10): 1825–1832 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2017.0778>

零售商竞争下考虑产品商誉的纵向联合促销微分博弈

Differential game on vertical joint promotion considering goodwill and retailers' competition

控制与决策. 2017, 32(12): 2210–2218 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2016.1298>

考虑体验服务和促销努力的时尚服装库存与定价优化决策

陈 启, 徐 琪[†], 刘金荣

(东华大学 旭日工商管理学院, 上海 200051)

摘 要: 时尚服装受季节性、时尚流行性等因素的影响,其时尚度随时间衰减,致使市场价值不断降低,造成服装行业一直面临高库存问题。鉴于此,研究需求依赖于价格和时尚程度的服装库存模型,考虑体验服务投资可提高服装时尚度、促销降价可改善销售需求的作用,构建一般情形、体验服务投资情形、促销努力情形以及服务与促销联合4种情形下的优化订货和定价模型,分析体验服务投资和促销努力联合时对服装零售商优化决策的影响。研究表明:体验服务投资对边际效益的影响是先增后减;服装零售商通过决策折扣促销力度和延后折扣时间点,优化库存水平和定价,可降低库存成本,增加利润;体验服务和促销努力联合作用时,产生利润互补或替代效应,这取决于服装时尚度衰减因子,当其大于某临界值时,体验服务和促销努力两者为互补关系,反之则为替代关系。

关键词: 体验服务; 促销努力; 定价; 服装库存; 时尚度

中图分类号: TP273

文献标志码: A

Joint optimal pricing and replenishment policies of fashion apparel retailer with considering experiential services and promotional efforts

CHEN Qi, XU Qi[†], LIU Jin-rong

(Glorious Sun School of Business and Management, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract: The decline in the degree of fashion for fashion apparel has caused its market value to continuously decrease, reducing market demand and creating a backlog of clothing inventory. Under these backgrounds, apparel retailers invest in experiential services to prolong the fashion level, thus to improve the demand. On the other hand, fashion apparel retailers adopt a promotional effort strategy, which is to choose an appropriate discount time point to provide a discount to consumers. We adopt a price and time dependent demand function to model the finite time horizon inventory and present a modeling framework that allows us to capture and isolate the key aspects that define a fast fashion system: Experiential services and promotional efforts. By employing this approach, we analyze four potential operating systems — traditional systems (neither provides experiential services nor discount), experiential services systems, promotional efforts systems, and fast fashion systems (with experiential services and discount). We characterize the properties of the optimal solution (the selling price, experiential services investment and discount time point) in each case. The results show that the impact of experiential services investment on marginal benefits is increased first and then decreased. The fashion apparel retailer can reduce inventory costs and increase the profitability by delaying the discounts time point. The interaction between experiential services and promotion efforts has both complementary and substitutional effects. If the deterioration rate of the fashion level of apparels is more than a critical value, the interaction of experiential services and promotional efforts has a complementarity effect, whereas the interaction of experiential services and promotional efforts has a substitutional effect when the deterioration rate is less than a critical value.

Keywords: experiential services; promotional efforts; pricing; apparel inventory; fashion level

0 引言

随着个性化消费时代的到来,消费者对服装时尚性的需求日益提升。时尚服装具有销售生命周期短、季节性强等特点,随着时间的流逝,服装的时尚度会下降,使得企业旧货未销就要跟随时尚潮流生

产新货,从而导致大量过时服装的库存积压,压缩了企业利润。据报道,海澜之家2018年上半年存货账面余额达90.26亿元,著名的快时尚品牌H&M公司在2018年末售出的衣物总值达到了40亿美元。可以说,时尚服装的库存一直都是制约服装企业发展的严重

收稿日期: 2018-09-21; 修回日期: 2019-04-04.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71832001, 71572033).

责任编委: 李国齐.

[†]通讯作者. E-mail: xuqi@dhu.edu.cn.

问题. 对时尚服装而言, 其时尚度越高, 产品的市场占有率便越高. 但时尚服装的时尚程度随时间衰减, 其市场价值不断降低, 导致市场需求减少. 为了减轻库存压力, 服装企业往往采用价格歧视策略, 如固定价格折扣策略即在销售后期将时尚服装打折销售, 以获取更多的消费者剩余, 降低总库存成本, 增加销售利润. 同时, 服装零售商越来越注重提供虚拟试穿、搭配、时尚展示等体验服务, 以提升消费者对服装的心理感受, 延长时尚度, 激励需求. 然而, 体验服务将带来额外的成本, 折扣促销又可能影响收益, 因此, 如何根据服装时尚度的变化, 强化体验服务与促销努力的联合作用、优化库存和定价等决策、提升时尚服装企业的收益具有重要的现实意义.

现有文献中与时尚服装相关的研究较多地集中在快速响应、促销降价以及需求预测等. 关于快时尚服装产品快速响应的研究, Choi等^[1]指出, 在时尚行业, 快速响应是许多国际公司如Zara、H&M实施的一种及时、有影响力的商业战略. Sen^[2]对美国时尚业及其供应链进行了分析, 认为实时跟踪商店销售情况的快速响应型零售商的库存可以保持最低. Choi等^[3]研究零售商和制造商的快速反应预期值, 分析了批发定价和减价合同在快速响应时尚供应链中的协调策略. Cachon等^[4]分析了时尚品供应链的快速响应生产能力和增强产品设计能力两个关键特征. Choi^[5]研究了以库存服务为目标的快速响应计划对时尚零售商、时尚制造商和时尚供应链系统利润的影响. 上述研究都侧重于快速响应对库存的影响, 未考虑销售期服装价格变动对服装库存的影响. 由于降价促销是服装零售商常用的手段, 促销策略得到了学者的广泛关注. Cachon等^[6]通过消费者购买行为的研究, 得出频繁的折扣能够吸引更多消费者且折扣策略往往比固定价格策略更加有效. Aviv等^[7]研究了季节性时尚商品卖家在销售季节采取动态定价和快速库存补货可以使得消费者以较高的价格提前购买时尚产品. Cosgun等^[8]考虑服装零售企业的多类型服装降价优化问题, 利用近似动态规划算法研究了每种产品的降价策略. 针对时尚产品生命周期短、市场需求不确定性高的特点, Demiriz^[9]通过线性回归模型预测时尚产品的每周需求, 构建动态定价模型以优化降价决策. Xia等^[10]利用极限学习机模型的混合算法, 提高了销售预测的准确性. Choi^[11]考虑两阶段库存策略, 根据销售季的实际需求数据, 利用贝叶斯方法优化时尚产品库存和定价策略.

时尚服装属于短生命周期产品, 其市场价值类似

易逝品的特点. 综观易逝品的研究现状, 围绕产品需求这个核心因素, 研究相应的库存优化问题, 相关的理论研究大致有两类不同的研究. 一类假设需求固定不变; 另一类假设需求受到其他因素的影响, 如库存水平、时间、价格以及产品质量等. 根据时尚服装的特性, 本文假设时尚服装需求依赖价格和时尚度两种要素, 属于第2类. 关于第1类研究, Covert等^[12]首次假设需求率不变, 提出了两参数Weibull分布变质率的情况. Wee^[13]研究了变质率为常量的库存与定价模型. 近年来, 学者们对易变质产品的库存模型进行了大量研究, 大部分可归入第2类. 陈克贵等^[14]研究了需求依赖价格和缺货加急订货时零售商最优定价订货联合决策问题. 吴胜等^[15]研究了产品的市场需求依赖于价格和消费者时间偏好情形下的供应链及其成员的最优定价与订货问题. 艾学轶等^[16]基于产品非立即变质的特征, 构建了需求依赖于变质时间的多品种联合补货库存模型. 在上述研究易逝品库存策略的文献中, 只考虑了价格决策, 而未考虑补货周期. 在一些库存系统中, 例如时尚品库存, 当商品缺货时每次补货的等待时间长度将直接影响消费者是否能接受货品延迟到货. 部分学者对同时考虑补货周期和定价联合方面进行了深入的研究. Zhang等^[17]考虑非立即易逝品需求依赖价格和产品质量, 研究了最优价格和补货周期的联合决策. Rabbani等^[18]假设价格是折扣率和初始价格的时变函数, 需求率依赖于价格和产品质量, 研究了易变质品的库存补货与定价决策. 上述文献未考虑销售期易逝品价格变动的影 响. Panda等^[19]分析了在产品变质开始之前进行价格折扣对单位利润的影响. 还有一些学者研究了零售商对易逝品所做的促销努力. Tsao等^[20]将易逝品的动态定价、促销努力和延迟支付考虑在内, 构建了相应的订购与定价联合决策模型. 王圣东等^[21]建立了动态易逝品销售商两阶段订货决策模型, 研究销售商的订货决策问题. Maihami等^[22]在考虑促销努力、价格敏感随机需求率和部分延迟订货的基础上, 研究了非立即变质品的联合定价与补货问题.

然而, 对时尚服装而言, 其与一般易逝品不同之处是时尚服装的时尚度作为质量的外在表征, 消费者能够直观地观察其特性, 是消费者购买行为的重要选择依据. 易逝品中的生鲜产品与时尚服装的特性相似. Liu等^[23]考虑了一个易腐食品的联合动态定价和保鲜技术投资决策问题. Zhang等^[24]考虑了易逝品在资源约束下, 如何权衡服务投资和保鲜技术投资的库存决策问题. 曹裕等^[25]考虑了顾客需求受产品价

格和新鲜度影响,分析产品新鲜度衰变系数和零售商风险偏爱系数对库存与订货决策的影响. 时尚服装产品与生鲜产品不同的是生鲜产品随着时间的推移,其数量和质量等物理性质都在衰减变化,但时尚服装随着时间的推移,其市场价值不断降低,而数量不会衰减.

综上,关于时尚服装已有较多文献从快速响应、补货、促销等方面进行了研究,但结合时尚度、体验服务投入和促销努力下运营优化策略的研究还鲜见文献. 本文针对时尚服装的时尚程度随时间衰减导致其市场价值不断降低,影响市场需求,从而造成服装库存积压的问题,研究服装零售商通过体验服务投资提高服装时尚度和借助促销降价来改善销售需求,构建了依赖价格和服装时尚度时变需求函数. 按基本情形、单独提供体验服务投资情形和单独促销努力情形以及服务与促销联合等4种情境,分别建立时尚服装产品库存模型和利润模型,通过比较这4种情形下的价格、订货量和收益等,分析体验服务投资和促销努力对服装零售商优化决策的影响,并试图回答以下问题:服装的时尚度如何影响需求? 如何评估体验服务投资对时尚服装零售商运营绩效的影响? 如何实施促销努力策略使得时尚服装零售商降低库存积压、提高利润? 体验服务和促销努力联合作用时,在何种情形下是替代关系,在何种情形下是互补关系? 这种同时以体验服务投资改善服装时尚度和促销努力提高需求的研究不同于已有文献关于易逝品物理价值衰减下的运作策略的研究,对时尚服装零售商应对需求快速变化的市场、减小库存积压、提升企业效益具有重要的指导意义.

1 问题描述与需求函数

1.1 问题描述

考虑某零售商销售一类时尚服装产品,其采取周期固定的补货策略. 假设消费者对服装的需求 $D(p, \omega_t)$ 与价格 p 和服装时尚度 ω_t 相关;每一周期开始时进行一次性订货,数量为 Q ,进货成本为 c ,销售价格为 p ,单位时间单位数量存储成本为 h ;该周期结束时,剩余产品清仓,库存将为零,且不考虑缺货; t 时刻服装的库存水平为 $I(t)$,无折扣促销时的服装库存水平如图1所示,有折扣促销时的服装库存水平如图2所示. 本文用到的符号和解释说明如表1所示.

首先讨论服装零售商在单周期 $t \in [0, T]$ 内如何实现利润最大化 $\max_p \{\pi_1(Q, p, T)\}$; 然后,讨论服装零售商增加体验服务投资 s ,通过为消费者提供一些体验服务,提高时尚度 ω_t ,增大需求 $D(p, \omega_t)$,

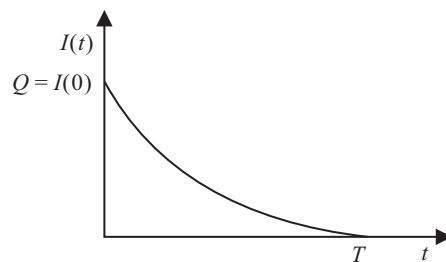


图1 无折扣促销时的服装库存水平

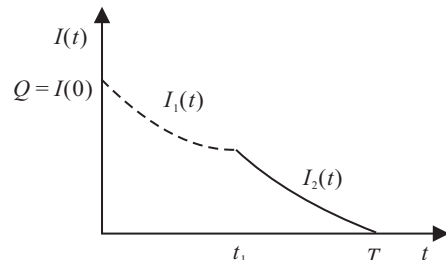


图2 有折扣促销时的服装库存水平

表1 关键符号及定义

符号	符号名称	符号	符号名称
a	初始需求量	Q	期初订货量
b	价格系数	T	补货周期
c	单位订购成本	I_0	初始库存水平
h	单位时间的库存成本	C_s	体验服务成本
η	时尚度衰减因子	t_1	折扣时间点
r	体验服务投资系数	ω_0	初始时尚度
s	体验服务投资	ω_t	服装时尚度
A	每次订货固定成本	$I(t)$	t 时刻的服装库存水平
D	单位时间的需求率	π	单周期服装零售商利润

从而最优化利润 $\max_{p,s} \{\pi_2(Q, p, s, T)\}$ 问题;接着,讨论服装零售商采取促销努力策略下的最优化问题 $\max_{p,t_1} \{\pi_3(Q, p, t_1, T)\}$,此时,零售商在 $t \in [0, T]$ 时间内选择一个合适折扣时间点 t_1 ,在 $t \in [0, t_1]$ 时段以价格 p 销售产品,在 $t \in (t_1, T]$ 时段以价格 $p\xi$ 销售产品,其中 $\xi \in (0, 1)$ 为折扣系数,反映了降价对需求 $D(p, \omega_t)$ 的影响;最后,讨论体验服务和促销努力联合情形下的利润最优化问题 $\max_{p,s,t_1} \{\pi_4(Q, p, s, t_1, T)\}$,并分析在何种情况下两种策略是互补关系或是替代关系.

1.2 需求函数

时尚服装新品发布时受到消费者的青睐,但随着时间推移,新品出现,消费者对原来的时尚服装偏好降低,时尚服装的时尚度会随着时间的流逝逐渐减小,服装的市场价值在衰减. 这一特性通常使得消费者在不同时间对时尚服装的需求是不同的. 与Zhang等^[24]和曹裕等^[25]认为零售价、服务水平或其他因素与市场需求均为简单线性关系不同,Liu等^[23]将市场需求影响因素分为价格因素和非价格因素,并认为两种因素通过可分离相乘的形式对市场需求产生影响. 丁松等^[26]考虑生鲜农产品的需求受价格和新鲜

度的影响并处理为可分离的乘积形式,其他类似函数形式可参见文献[17-18,20,27].本文假设服装零售商面临的市场需求主要受到价格和服装的时尚程度两个主要因素的影响,因此时尚服装的市场需求函数为

$$D(p, \omega_t) = (a - bp)\omega_t.$$

其中:常数 a 为初始需求量, b 为价格系数, $a > 0, b > 0$; p 为销售价格, ω_t 为服装的时尚度.

为了描述时尚服装的时尚度随时间衰减造成需求下降,构建时尚度函数为 $\omega_t = \omega_0 e^{-\eta t}$.该时尚度函数刻画了时尚度的衰减规律,其中 $\omega_0 (\omega_0 > 0)$ 为初始时尚度,表示时尚服装刚上市时的时尚度; $\eta (\eta > 0)$ 为时尚度衰减因子,表示时尚度随时间推移而降低.从时尚度函数 $\omega_t = \omega_0 e^{-\eta t}$ 可以看到,时尚度随着时间 t 的增加而减小,初始时尚度 ω_0 越大,同一时间剩余时尚度越大.由此可以说明,初始时尚度对时尚服装时尚性的延缓作用明显.服装零售商可以通过提供体验服务,如试穿、时尚展示、服饰搭配等来提升消费者对服装时尚度的心理感受,从而在一定程度上提高服装的初始时尚度.同理,时尚度衰减因子 η 对时尚度函数也有影响, η 越小时时尚度衰减得越慢.服装的时尚度很大一部分取决于该服装所包含的时尚元素,如款式、颜色、花色图案、材质工艺、装饰等,这些时尚元素决定了服装时尚度衰减因子 η 的大小.加大对时尚元素的创意设计的投入可减小 η ,从而相对提高服装的时尚度.

2 模型构建与分析

2.1 一般情形

该情形指服装零售商在销售期内不直接提供体验服务且保持销售价格不变的情形.研究服装零售商在单周期 $t \in [0, T]$ 内如何实现利润最大化 $\max_p \{\pi(Q, p, T)\}$.将时尚度函数 $\omega_t = \omega_0 e^{-\eta t}$ 代入得到服装零售商面临的市场需求为

$$D_1(p) = (a - bp)\omega_0 e^{-\eta t}.$$

服装库存水平随时间的变化为

$$I(t) = Q_1 - \int_0^t D_1(p) dt = \int_t^T D_1(p) dt,$$

即服装库存满足微分方程

$$\frac{dI(t)}{dt} = -D_1(p) = -(a - bp)\omega_0 e^{-\eta t}. \quad (1)$$

根据边界条件 $I(T) = 0$,时尚服装在销售期末的库存为零,则式(1)库存水平可写为 $I(t) = \omega_0(a - bp)(e^{-t\eta} - e^{-T\eta})/\eta$.令

$$M_1 = \omega_0(1 - e^{-T\eta})/\eta,$$

$$M_2 = \omega_0(1 - e^{-\eta T} - \eta T e^{-\eta T})/\eta^2,$$

单周期服装零售商的订货量即初始库存为

$$Q_1 = I(0) = (a - bp)M_1. \quad (2)$$

服装零售商的相关成本包括库存持有成本、订购成本等,其中库存成本为 $H = h \int_0^T I(t) dt = h(a - bp)M_2$.若单位订购成本为 c ,固定订购成本为 A ,则零售商每次订购量为 Q_1 时的订购成本为 $C_0 = cQ_1 + A$;若销售价为 p ,则零售商的收入为 $SR = p(a - bp)M_1$.因此,零售商在一个订购周期内的利润为

$$\begin{aligned} \pi_1(p) &= SR - C_0 - H = \\ &= (p - c)(a - bp)M_1 - h(a - bp)M_2 - A. \end{aligned} \quad (3)$$

服装零售商在单个销售周期利润达到最大的必要条件是 $\frac{\partial \pi_1(p)}{\partial p} \Big|_{p_1^*} = 0$,可得到一般情形下的最优定价为

$$p_1^* = \frac{(a + bc)M_1 + bhM_2}{2bM_1}. \quad (4)$$

命题1 一般情形下,当服装零售商的定价 p 为最优定价 p^* 时, p 对应的订购量 Q 也是最优订购量 Q^* .

证明 零售商的最优订购量 Q^* 满足 $\frac{\partial \pi_1(p)}{\partial Q} = 0$, Q 是 p 的函数,于是有

$$\frac{\partial \pi_1(p)}{\partial p} = \frac{\partial \pi_1(p)}{\partial Q} \frac{\partial Q}{\partial p}.$$

当 $p = p^*$ 时,有 $\frac{\partial \pi_1(p)}{\partial p} \Big|_{p^*} = 0$,则 $\frac{\partial \pi_1(p)}{\partial Q} \frac{\partial Q}{\partial p} = 0$.因为 $\frac{\partial Q}{\partial p} = -b\omega_0 e^{-\eta t} < 0$,所以 $\frac{\partial \pi_1(p)}{\partial Q} \Big|_{Q^*} = 0$. \square

2.2 服装零售商提供体验服务的情形

此情形是指服装零售商在一般情形的基础上,通过体验服务资金投入为消费者提供试穿、时尚展示、服饰搭配等体验服务,以提升消费者对服装时尚度的感受,从而提高时尚服装的消费者心理价值.借鉴文献[28-29]考虑对生鲜产品进行保鲜投资,保鲜后的新鲜度相比保鲜前相对增加且保鲜投资满足边际递减规律.本文考虑体验服务投资提高服装初始时尚程度.假设体验服务投资 s 为连续变量, $s \in [0, +\infty)$, s 越大表示单位时间内零售商的体验服务努力投入越大,其付出的努力越多.提供体验服务情形下,上述时尚度函数 $\omega_t = \omega_0 e^{-\eta t}$ 改写为 $\omega_t = (2 - e^{-rs})\omega_0 e^{-\eta t}$.其中:常数 r 为服务努力系数, $(2 - e^{-rs})\omega_0$ 为此情形下的初始时尚度, $\lim_{s \rightarrow \infty} (2 - e^{-rs})\omega_0 = 2\omega_0$.假设体验服务对时尚度的影响可表示为 $y = 2 - e^{-rs}$,即初始时尚度随服务努力的增加而增加,但是增加的幅度越来越小,最终达到一个极限值2.这

样体验服务努力能够使消费者心理上对初始时尚度的认可提高两倍,这种刻画也符合经济学中边际递减的规律,即服装零售商前期通过体验服务努力投入,可以提高市场需求,但当服务投入达到一定程度后,其对需求的影响越来越小。

由于提供体验服务意味着服装零售商需要付出成本,本文关于服装零售商提供的体验服务成本函数设为 $C_s = \tau Ts$ 。其中常数 τ 是体验服务投资成本系数,表示零售商单个补货周期 $t \in [0, T]$ 内总的体验服务成本。将时尚度 $\omega_t = (2 - e^{-rs})\omega_0 e^{-\eta t}$ 代入 $D(p, \omega_t)$, 得到服装零售商提供体验服务情形下的需求函数为 $D_2(p, s) = (a - bp)(2 - e^{-rs})\omega_0 e^{-\eta t}$ 。由 $dD_2/ds > 0$ 可知,消费者对时尚服装的需求随零售商体验服务努力的增加而增大。由 $d^2D_2/ds^2 < 0$ 可知,体验服务投资存在边际递减规律。当 $s = 0$ 时,此时时尚度为 $\omega_t = \omega_0 e^{-\eta t}$, 体验服务成本为 $C_s = 0$, 当服装零售商不提供体验服务时,时尚度未改变,既没有提高需求,也没有产生服务成本。

类似2.1节的建模思路,在单周期时间 $t \in [0, T]$ 内,服装零售商提供体验服务情形下,库存水平 $I(t)$ 、库存成本 H 、订购量 Q_2 、订购成本 C_0 和销售收入 SR 分别为

$$\begin{aligned} I(t) &= (2 - e^{-rs})\omega_0(a - bp)(e^{-t\eta} - e^{-T\eta})/\eta, \\ H &= h \int_0^T I(t)dt = h(a - bp)(2 - e^{-rs})M_2, \\ Q_2 &= I(0) = (a - pb)(2 - e^{-rs})M_1, \\ C_0 &= cQ_2 + A = c(a - pb)(2 - e^{-rs})M_1 + A, \\ SR &= pQ_2 = p(a - pb)(2 - e^{-rs})M_1. \end{aligned}$$

因此,服装零售商提供体验服务情形下,一个订货周期内的利润为

$$\begin{aligned} \pi_2(p, s) &= SR - C_0 - C_s - H = \\ &= (p - c)(a - bp)(2 - e^{-rs})M_1 - \\ &= h(a - bp)(2 - e^{-rs})M_2 - \tau Ts - A. \end{aligned} \quad (5)$$

服装零售商一个订货周期内的总利润达到最大的必要条件是 $\partial\pi_2(p, s)/\partial p = 0$ 和 $\partial\pi_2(p, s)/\partial s = 0$ 。求解方程 $\partial\pi_2(p, s)/\partial p = 0$, 可得到服装零售商在一个销售周期内的最优定价

$$p_2^* = \frac{(a + bc)M_1 + bhM_2}{2bM_1}. \quad (6)$$

同理,由 $\partial\pi_2(p, s)/\partial s = 0$ 推导出

$$\begin{aligned} \partial\pi_2(p, s)/\partial s &= e^{-rs}(a - bp)(p - c)M_1 - \\ &= e^{-rs}(a - bp)hM_2 - \tau T = 0, \end{aligned}$$

即服装零售商在一个销售周期内的最优体验服务投

资 s^* 满足方程

$$re^{-rs}(a - bp)\{(p - c)M_1 - hM_2\} = \tau T. \quad (7)$$

2.3 服装零售商提供促销努力的情形

服装的时尚性随着时间的流逝将会下降,消费者的需求也随之下降。许多服装零售商在销售季末不得不进行折扣促销剩余服装产品。本节考虑服装零售商采取促销努力策略,将销售期分成两个阶段,在 $t \in [0, T]$ 内选择一个合适折扣时间点 t_1 , 在 $t \in [0, t_1]$ 以价格 p 销售,在 $t \in (t_1, T]$ 以价格 $p\xi$ 销售,其中 $\xi \in (0, 1)$ 为折扣系数,即通过降价增大需求 $D(p, \omega_t)$, 以最优化收益。因折扣促销前后需求有变化,按折扣时间点分段考虑,促销努力策略下的需求函数可表示为

$$D_3(p, t_1) = \begin{cases} (a - bp)\omega_0 e^{-\eta t}, & 0 \leq t \leq t_1; \\ (a - bp\xi)\omega_0 e^{-\eta t}, & t_1 < t \leq T. \end{cases} \quad (8)$$

此情形下的库存水平如图2所示。在折扣时间点前,即 $t \in [0, t_1]$ 时间内,时尚服装的库存水平随时间的变化为 $dI_1(t)/dt = -(a - bp)\omega_0 e^{-\eta t}$, 其中在 $0 \leq t \leq t_1$ 区间内边界条件为 $I_1(0) = I_0$ 。则折扣时间点前的库存为

$$I_1(t) = \frac{(a - bp)\omega_0}{\eta}(e^{-\eta t} - 1) + I_0.$$

在折扣时间点后,即在销售期 $t \in (t_1, T]$ 内,服装库存水平关于时间的变化为 $dI_2(t)/dt = -(a - bp\xi)\omega_0 e^{-\eta t}$, $t_1 < t \leq T$ 区间内,边界条件为 $I_2(T) = 0$, 这样折扣时间点后服装库存为

$$I_2(t) = (a - bp\xi)\omega_0(e^{-\eta t} - e^{-\eta T})/\eta.$$

由此得到零售商的初始库存,即期初订货量

$$\begin{aligned} Q_3 = I_0 &= \frac{1}{\eta}\{bp(1 - \xi)\omega_0 e^{-\eta t_1} + \\ &= (a - bp)\omega_0 - (a - bp\xi)\omega_0 e^{-\eta T}\}. \end{aligned} \quad (9)$$

进而得到该情形下服装零售商的订购成本 $C_0 = cQ_3 + A$ 、销售收入 $SR = pQ_3$ 、库存成本

$$\begin{aligned} H &= h \int_0^T I(t)dt = h \int_0^{t_1} I_1(t)dt + h \int_{t_1}^T I_2(t)dt = \\ &= \omega_0(a - bp\xi)(\eta t_1 e^{-\eta t_1} - \eta T e^{-\eta T} - e^{-\eta T})/\eta^2 + \\ &= \{\omega_0(a - bp)(1 - \eta t_1) + bp(1 - \xi)e^{-\eta t_1}\}/\eta^2 + Q_3 t_1. \end{aligned}$$

因此,促销情形下库存系统利润最大化的问题为

$$\begin{aligned} \max_{p, t_1} \pi_3(p, t_1) &= SR - C_0 - H - A; \\ \text{s.t. } & 0 \leq t_1 \leq T, c < p < a/b. \end{aligned} \quad (10)$$

命题2 $\pi_3(p, t_1)$ 是关于 t_1 的严格凹函数。

证明 有

$$\frac{\partial \pi_3^2(p, t_1)}{\partial t_1^2} = -(p - c)\eta bp(1 - \xi)e^{-\eta t_1} +$$

$$\omega_0(a - bp\xi)(-2e^{-\eta t_1} - \eta t_1 e^{-\eta t_1}) + (\eta - 1)bp(1 - \xi)\omega_0 e^{-\eta t_1}.$$

由假设可知 $p > c, \xi < 1, \eta < 1, a - bp\xi > 0$, 所以 $\partial\pi_3^2(p, t_1)/\partial t_1^2 < 0$, 故 $\pi_3(p, t_1)$ 是关于折扣时间点 t_1 的严格凹函数. \square

命题3 对于任意给定的价格 $p \in (c, a/b)$, $\pi_3(p, t_1)$ 存在唯一的全局最大值点 $t_1^* \in (0, T)$ 满足一阶必要条件 $\partial\pi_3(p, t_1)/\partial t_1 = 0$.

证明 设 λ_1, λ_2 为拉格朗日乘子, 对于任意给定的 p , 由 Kuhn-Tucker(库恩-塔克)条件可得

$$\begin{cases} \partial\pi_3(p, t_1)/\partial t_1 + \lambda_1 - \lambda_2 = 0, \\ \lambda_1 t_1 = 0, \\ \lambda_2(T - t_1) = 0, \\ \lambda_1, \lambda_2 \geq 0. \end{cases} \quad (11)$$

由 $t_1 > 0$ 得 $\lambda_1^* = 0$.

1) 若 $\lambda_2 \neq 0$, 则 $t_1 = T$, 可得

$$\begin{aligned} \lambda_2^* &= \frac{\partial\pi_3(p, t_1)}{\partial t_1} \Big|_{t_1=T} = \\ & - \{ \omega_0(a - bp) + bp(1 - \xi)e^{-\eta T} + Te^{-\eta T} \} / \eta - \\ & \omega_0(a - bp\xi)(e^{-\eta T} / \eta + Te^{-\eta T}) - \\ & (p - c)bp(1 - \xi)\omega_0 e^{-\eta T} < 0 \end{aligned}$$

与 $\lambda_2 \geq 0$ 矛盾, 所以 $t_1 = T$ 不是 K-T 点.

2) 若 $\lambda_2 = 0$, 则式(11)等价于 $\partial\pi_3(p, t_1)/\partial t_1 = 0$. 因为

$$\frac{\partial\pi_3(p, t_1)}{\partial t_1} = \frac{\frac{\partial\pi_3(p, t_1)}{\partial t_1} t_1 - \pi_3(p, t_1)}{t_1^2},$$

由 $t_1 > 0$ 可知, 式(11)进一步等价于 $\frac{\partial\pi_3(p, t_1)}{\partial t_1} t_1 - \pi_3(p, t_1) = 0$. 令 $F(t_1) = \frac{\partial\pi_3(p, t_1)}{\partial t_1} t_1 - \pi_3(p, t_1)$,

易知 $\frac{dF(t_1)}{dt_1} = \frac{\partial\pi_3^2(p, t_1)}{\partial t_1^2} t_1$, 由命题1可得 $\frac{dF(t_1)}{dt_1} < 0$, $F(t_1)$ 是关于 t_1 的严格递减凹函数. 因为

$$\begin{aligned} \lim_{t_1 \rightarrow T} F(t_1) &= \\ & \{ -(p - c)bp(1 - \xi)\omega_0 e^{-\eta T} - \pi_3(p, t_1) \Big|_{t_1=T} - \\ & \omega_0(a - bp\xi)(e^{-\eta T} / \eta + Te^{-\eta T}) - \\ & (\omega_0(a - bp) + bp(1 - \xi)e^{-\eta T} + Te^{-\eta T}) / \eta \} < 0, \end{aligned}$$

而 $\lim_{t_1 \rightarrow 0} F(t_1) = A > 0$, 所以存在唯一的 $t_1^* \in (0, T)$

满足一阶必要条件 $\frac{\partial\pi_3(p, t_1)}{\partial t_1} = 0$, 此为 K-T 点. \square

命题4 对于任意给定的 $t_1 \in (0, T)$, $\pi_3(p, t_1)$ 是关于 p 的严格凹函数, 且存在唯一的全局最大值点 $p^* \in (c, a/b)$ 满足一阶必要条件 $\frac{\partial\pi_3(p, t_1)}{\partial p} = 0$.

证明 $\pi_3(p, t_1)$ 关于 p 的二阶偏导数为

$$\frac{\partial\pi_3^2(p, t_1)}{\partial p^2} \Big|_{p=p^*} = \frac{2b\omega_0}{\eta} \{ (1 - \xi)e^{-\eta t_1} + \xi e^{-\eta T} - 1 \}.$$

对于 $t_1 < T$, 有 $e^{-\eta T} < e^{-\eta t_1}$, 所以有

$$(1 - \xi)e^{-\eta t_1} + \xi e^{-\eta T} - 1 < (1 - \xi)e^{-\eta t_1} + \xi e^{-\eta t_1} - 1 = e^{-\eta t_1} - 1 < 0.$$

可知 $\frac{\partial\pi_3^2(p, t_1)}{\partial p^2} \Big|_{p=p^*} < 0$, 故 $\pi_3(p, t_1)$ 是关于 p 的严格凹函数, 且 $p^* \in (c, a/b)$ 满足一阶必要条件 $\frac{\partial\pi_3(p, t_1)}{\partial p} = 0$. \square

由命题3和命题4可知, 存在唯一组合 (p^*, t_1^*) 使得式(10)中的 $\pi_3(p, t_1)$ 达到最大值. 此时 (p^*, t_1^*) 满足

$$\frac{\partial\pi_3(p, t_1)}{\partial p} = 0, \quad \frac{\partial\pi_3(p, t_1)}{\partial t_1} = 0. \quad (12)$$

本文采用高斯-牛顿迭代法求解二元非线性方程(12), 对该联立的二元非线性方程组设计如下算法进行搜索求解: 令 $f_1 = \partial_p \pi_3(p, t_1) = 0, f_2 = \partial_{t_1} \pi_3(p, t_1) = 0$, 将上述联立方程组记作 $\vec{f}(\vec{x}) = 0$, 其中 $\vec{x} = (p, t_1)^T, \vec{f}(\vec{x}) = (f_1, f_2)^T, \vec{f}(\vec{x})$ 的雅克比矩阵记作 $J(\vec{x})$. 设 $\vec{x}^{(i)} = (p^{(i)}, t_1^{(i)})^T$ 是 $\vec{f}(\vec{x}) = 0$ 的第 i 步近似解, $\vec{f}(\vec{x})$ 在 $\vec{x}^{(i)}$ 处进行泰勒多项式展开, 并通过矩阵运算可得

$$\vec{x}^{(i+1)} = \vec{x}^{(i)} - [J(\vec{x}^{(i)})]^{-1} \vec{f}(\vec{x}^{(i)}).$$

step 1: 令 $i = 1$, 给定合适的初值 p^1, t_1^1 .

step 2: 分别计算 $\vec{x}^{(i)} = (p^{(i)}, t_1^{(i)})^T$ 和 $\vec{x}^{(i+1)} = (p^{(i+1)}, t_1^{(i+1)})^T$.

step 3: 如果 $\max\{|p^i - p^{i+1}|, |t_1^i - t_1^{i+1}|\} < 10^{-6}$, 则最优解 $(p^*, t_1^*)^T = (p^{(i)}, t_1^{(i)})^T$, 否则令 $i = i + 1$, 返回 step 2.

step 4: 通过计算式(9)和(10), 求得最优的订购量 Q_3^* 和最优利润 π_3^* .

2.4 体验服务和促销努力联合情形

前文分别讨论了一般情形、单独提供体验服务和单独采取促销策略3种情形下服装商的最优定价和订购量等决策, 分析了体验服务努力及促销努力提升需求对零售商运作决策的影响. 由研究结果可见, 体验服务和促销努力都有助于提高服装零售商的绩效, 但两者联合作用时, 体验服务努力和促销努力是替代关系还是互补关系需要进一步讨论, 因为不同的关系对零售商绩效的影响不同. 进一步, 若它们是互补关系, 则在投入体验服务努力的基础上, 促销会使得零售商得到超线性利润(super additive benefit). 将体验服务和促销努力联合作用的利润记作 π_4 , 如果二者是互补关系, 则超线性利润等价于

$$\pi_4 - \pi_1 > (\pi_2 - \pi_1) + (\pi_3 - \pi_1).$$

即 $\pi_4 - \pi_2 > \pi_3 - \pi_1$ 表示体验服务和促销努力两者为互补的关系. 为方便表述, 令 $\Delta\pi_{42} = \pi_4 - \pi_2$, $\Delta\pi_{31} = \pi_3 - \pi_1$. 当 $\Delta\pi_{42} > \Delta\pi_{31}$ 时两者为互补关系, 否则为替代关系.

由2.2节可知, 体验服务努力存在边际递减规律, 同时在现实情况中, 企业运营投入也受到一定的资本约束, 因此进一步假设服装零售商体验服务投资投入 $s \in (0, \phi)$, 其中常数 ϕ 是体验服务努力投资的最大资本约束.

联合情形下服装时尚度为 $\omega_t = (2 - e^{-rs})\omega_0 e^{-\eta t}$, 类似式(8), 该情形的需求可表示为

$$D_4(p, s, t_1) = \begin{cases} (a - bp)(2 - e^{-rs})\omega_0 e^{-\eta t}, & 0 \leq t \leq t_1; \\ (a - bp\xi)(2 - e^{-rs})\omega_0 e^{-\eta t}, & t_1 < t \leq T. \end{cases} \quad (13)$$

此情形下的库存水平如图2所示. 在折扣时间点前, 即 $t \in [0, t_1]$ 时间内, 服装库存水平随时间的变化为 $dI_1(t)/dt = -(a - bp)(2 - e^{-rs})\omega_0 e^{-\eta t}$, 其中 $0 \leq t \leq t_1$ 区间内, 边界条件为 $I_1(0) = I_0$. 则折扣时间点前的库存为

$$I_1(t) = \frac{(a - bp)(2 - e^{-rs})\omega_0}{\eta} (e^{-\eta t} - 1) + I_0.$$

折扣时间点后, 在销售期 $t \in (t_1, T]$ 内, 零售商的库存水平关于时间的变化为

$$\frac{dI_2(t)}{dt} = -(a - bp\xi)(2 - e^{-rs})\omega_0 e^{-\eta t},$$

即 $t_1 < t \leq T$ 区间内, 边界条件为 $I_2(T) = 0$, 这样, 折扣时间点后零售商的库存为

$$I_2(t) = (a - bp\xi)(2 - e^{-rs})\omega_0 (e^{-\eta t} - e^{-\eta T})/\eta.$$

由 $I_1(t_1) = I_2(t_1)$ 得到零售商的初始库存, 也即期初订货量

$$Q_4 = I_0 = \frac{(2 - e^{-rs})}{\eta} \{bp(1 - \xi)\omega_0 e^{-\eta t_1} - (a - bp\xi)\omega_0 e^{-\eta T} + (a - bp)\omega_0\}. \quad (14)$$

进而得到在单个周期时间 $t \in [0, T]$ 内, 订购成本 $C_o = cQ_4 + A$, 体验努力成本 $C_s = \tau Ts$, 销售收入

$$SR = p \int_0^{t_1} D_4(p, s, t_1) dt + \theta p \int_{t_1}^T D_4(p, s, t_1) dt,$$

库存成本

$$H = h \int_0^T I(t) dt = h \int_0^{t_1} I_1(t) dt + h \int_{t_1}^T I_2(t) dt = \frac{\omega_0(2 - e^{-rs})}{\eta^2} \{(a - bp)(1 - \eta t_1) + bp(1 - \xi)e^{-\eta t_1} + (a - bp\xi)(\eta t_1 e^{-\eta t_1} - \eta T e^{-\eta T} - e^{-\eta T})\} + Q_4 t_1.$$

因此, 使得该库存系统利润最大化的问题为

$$\begin{aligned} \max_{p, s, t_1} \pi_4(p, s, t_1) &= SR - C_o - C_s - H; \\ \text{s.t. } 0 \leq t_1 \leq T, c < p < a/b, 0 < s < \phi. \end{aligned} \quad (15)$$

显然命题3和命题4仍然适用 $\pi_4(p, s, t_1)$. 下面讨论体验服务努力投资 s 的存在性.

命题5 对应任意给定的价格 $p \in (c, a/b)$ 和时间点 $t_1 \in (0, T)$, $\pi_4(p, s, t_1)$ 是关于体验服务投资 s 的严格凹函数, 令 \bar{s} 表示 $\frac{\partial \pi_4(p, s, t_1)}{\partial s} = 0$ 的解, 则最大价值点

$$s^* = \begin{cases} \phi, & \bar{s} \geq \phi; \\ \bar{s}, & 0 \leq \bar{s} < \phi; \\ 0, & \bar{s} < 0. \end{cases}$$

证明 $\pi_4(p, s, t_1)$ 关于 s 的二阶偏导数

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \pi_4(p, s, t_1)}{\partial s^2} &= -2\tau Q_4 - 4\tau s \frac{dQ_4}{ds} + (p - c - \tau s) \frac{d^2 Q_4}{ds^2}. \end{aligned}$$

由 $dQ_4/ds > 0$, $d^2 Q_4/ds^2 < 0$, $(p - c - \tau s)$ 可理解为单位产品未除去存储费用的销售利润, 为保证利润为正, 有 $(p - c - \tau s) > 0$, 所以 $\partial^2 \pi_4(p, s, t_1)/\partial s^2 < 0$. 因为 $s \in (0, \phi)$, 若存在 $0 \leq \bar{s} \leq \phi$ 满足 $\partial \pi_4(p, s, t_1)/\partial s = 0$, 则 $s^* = \bar{s}$; 若 $\bar{s} \geq \phi$, 则 $\pi_4(p, s, t_1)$ 关于 s 严格递增, 有 $s^* = \phi$; 若 $\bar{s} \leq 0$, 则 $\pi_4(p, s, t_1)$ 关于 $s \in (0, \phi)$ 严格递减, 有 $s^* = 0$. \square

由命题3~命题5可知, 存在唯一组合 (p^*, s^*, t_1^*) 使得式(15)中的 $\pi_4(p, s, t_1)$ 达到最大值. 此时 (p^*, s^*, t_1^*) 满足 $\partial \pi_4(p, s, t_1)/\partial p = 0$, $\partial \pi_4(p, s, t_1)/\partial t_1 = 0$, $\partial \pi_4(p, s, t_1)/\partial s = 0$. 同样利用高斯-牛顿迭代法对该联立三元非线性方程组求解.

3 算例分析

通过数值计算方法对上述模型进行比较讨论, 并对模型主要参数进行灵敏度分析. 参数设计如下: $a = 100, b = 2.5, c = 3, h = 2, k = 1.5, \tau = 2, \eta = 0.02, \xi = 0.6, \omega_0 = 0.9, A = 120, T = 30$. 所有实验通过 Matlab 2016a 实现, 计算机配置为 CPU 2.27 GHz 和 2.00 GB RAM.

3.1 体验服务投资分析

体验服务投资系数 r 对最优价格 p^* 、最优折扣时间点 t_1^* 、最优体验服务投资 s^* 、订购量 Q^* 、服装零售商的利润 $\pi_4^*(p, s, t_1)$ 的影响见表2. 由表2可知, p^* 、 t_1^* 、 Q^* 、 $\pi_4^*(p, s, t_1)$ 随着体验服务投资系数的增加而增加, 但体验服务投资系数 r 对最优体验服务投资 s^* 的影响不是单调的, 而是先增加后减少. 时尚度函数

关于 r 的二阶导数为 $\omega''(r) = -s^2e^{-rs}\omega_0e^{-\eta t} < 0$. 根据经济学中边际报酬递减规律, 当体验服务投资系数 r 较小时(如0.2), 使得时尚度有较大增加, 进而使得利润有较大增幅($8934.62 - 6327.59 \approx 2607$), 此时零售商有动机增加体验服务投资; 相反, 当 r 较大时(如0.7), 利润增幅较小($18919.06 - 17535.56 \approx 1383$), 同时零售商的最优的体验服务努力投资也相对较小. 因为若大幅地增大体验服务努力, 则会导致服务成本急速上升, 利润的增幅将很小, 即体验服务投资的边际效益较小, 零售商应该减少体验服务投资.

表2 体验服务投资系数 r 的影响

r	p^*	t_1^*	s^*	Q^*	$\pi_4^*(p, s, t_1)$
0	78.75	10.349	0	945.58	3595.65
0.1	78.84	10.353	3.54	1196.85	6327.59
0.2	78.94	10.353	3.44	1306.61	8934.62
0.3	79.05	10.354	3.21	1373.50	11456.07
0.4	79.18	10.355	2.98	1418.37	13865.43
0.5	79.33	10.356	2.77	1450.55	15869.02
0.6	79.47	10.357	2.59	1474.75	17535.56
0.7	79.53	10.358	2.43	1493.63	18919.06
0.8	79.68	10.359	2.29	1508.78	20073.94

3.2 促销努力分析

促销努力的影响主要通过折扣时间点 t_1^* 和折扣系数 ξ 体现, 不同的 ξ 意味着不同程度的促销努力, $\xi = 1$ 表示服装零售商不采取折扣促销, 折扣系数 ξ 越小表示促销努力越大. 折扣系数 ξ 对最优定价 p^* 、最优折扣时间点 t_1^* 、 t_1^* 时刻的库存积压率 $I_1(t_1^*)/I_0$ 及服装零售商的利润 $\pi_3^*(p, t_1)$ 的影响见表3. 由表3可知, 折扣时间点 t_1^* 对应的库存与期初库存的比值 $I_1(t_1^*)/I_0$ 都随着折扣系数 ξ 的减少而增大, 当 $I_1(t_1)/I_0$ 较小时, 时尚服装库存压力较小, 折扣系数 ξ 可以大一些, 即促销努力较小; 反之, 当库存压力较大时, 应采取较大的促销努力. 此外, 折扣时间点 t_1^* 和 $\pi_3^*(p, t_1)$ 均随着折扣系数 ξ 的减少而增大, 尽管服装零售商采取折扣促销导致 t_1^* 之后的销售价格降低, 但此时 t_1^* 的延后使得促销折扣时间点 t_1^* 与销售期期末

表3 促销努力情形下折扣系数 ξ 对相关指标的影响

ξ	p^*	t_1^*	$I_1(t_1^*)/I_0$	$\pi_3^*(p, t_1)$
0.9	78.23	8.919	0.81	15695.16
0.8	78.17	8.923	0.83	15936.89
0.7	78.03	8.923	0.86	16185.42
0.6	77.88	8.924	0.88	16440.44
0.5	77.75	8.925	0.90	16701.65
0.4	77.64	8.926	0.92	17068.74
0.3	77.54	8.927	0.94	17241.35
0.2	77.45	8.928	0.95	17519.12

之间的存储时间 $|T - t_1^*|$ 越来越小, 库存成本也越小, 库存成本的减少和销售量的增加抵消了促销的损失, 净利润反而随促销力度的增加而增大.

3.3 体验服务与促销努力联合作用分析

前文分别分析了体验服务投资和促销努力对服装零售商运营指标的影响, 下面进一步分析两者联合作用时, 体验服务努力和促销努力是替代的关系还是互补关系. 考虑到一般情形下(服装零售商不提供体验服务且无促销努力的情形)、单独提供体验服务情形、单独采取促销努力情形、体验服务和促销努力联合情形4种不同情形时尚服装零售商的利润都受到服装时尚度的影响, 本文选择时尚度衰减因子 η 对最优利润的影响, 进而分析体验服务努力和促销努力是替代关系还是互补关系. 时尚度衰减因子 η 的灵敏度分析结果如表4所示.

表4 时尚度衰减因子对最优利润的影响

η	$\pi_1^*(p)$	$\pi_2^*(p, s)$	$\pi_4^*(p, s, t_1)$	$\pi_4^* - \pi_2^*$
0.058	16038.85	18981.16	19966.77	985.61
0.054	15781.29	18113.29	18826.95	713.66
0.050	15709.37	17953.83	18457.06	503.23
0.046	15682.24	17654.65	18008.84	354.19
0.042	15561.93	17457.12	17675.14	218.02
0.038	15472.06	17149.73	17210.26	60.53
0.034	15399.52	17058.15	16912.88	-145.27
0.030	15314.23	16996.02	16750.51	-245.51
0.026	15274.91	16479.08	16056.54	-422.54
0.022	15195.84	16390.17	15855.59	-534.58
0.018	15021.38	15900.37	15232.38	-667.99

由表4可见, 与一般情形相比, $\pi_2^*(p, s) > \pi_1^*(p)$ 表明单独提供体验服务努力投资能提高零售商的利润. 体验服务和促销努力联合情形下的利润 $\pi_4^*(p, s, t_1)$ 总是大于一般情形下的利润 $\pi_1^*(p)$, 但是只在一些时刻(如 $0.018 \leq \eta \leq 0.034$), 只提供体验服务的利润 $\pi_2^*(p, s)$ 大于体验服务与促销努力联合的利润 $\pi_4^*(p, s, t_1)$; 在另外一些情况下(如 $0.038 \leq \eta \leq 0.058$), $\pi_2^*(p, s) < \pi_4^*(p, s, t_1)$, 此时体验服务努力和促销努力的联合能够起到互补提升收益的作用, 表明体验服务和促销努力联合作用时, 既可能产生互补效应, 也可能产生替代效应, 具体产生何种效应如图3所示.

由图3可见, 时尚度衰减因子 η 小于某临界值时, 在 $0.018 \leq \eta \leq 0.034$ 范围内, 黑色虚线位于实线之上, 即 $\Delta\pi_{42} < \Delta\pi_{31}$, 表明此范围内体验服务和促销努力两者为替代关系, 且 η 越小, 替代效应越显著, 此时服装的时尚度衰减率较小, 零售商提供体验服务,

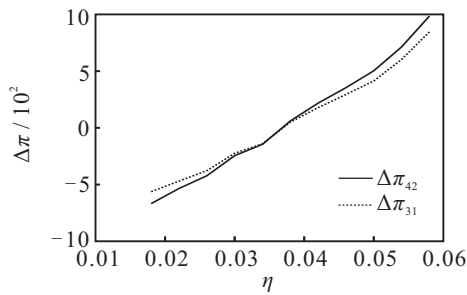


图3 时尚度衰减因子对体验服务和促销努力联合的影响

进一步使得服装时尚度提高,消费者对服装需求旺盛,促销减价会导致零售商的利润受到损失.对应表4,当 $0.018 \leq \eta \leq 0.034$ 时,只提供体验服务的利润 $\pi_2^*(p, s)$ 大于体验服务与促销努力联合作用时的利润 $\pi_4^*(p, s, t_1)$.反之,当 $\eta > 0.034$,即大于某临界值时,有 $\Delta\pi_{42} > \Delta\pi_{31}$,即体验服务和促销努力两者为互补关系,表明此时服装的时尚度衰减率较大,服装设计一般,即使通过体验服务努力,服装的时尚度也难以提升,服装易过时,试图通过体验服务投资改变需求效果不显著,造成库存积压;但此时采取折扣促销,能够显著提高需求和降低库存成本,库存成本的减少和销售量的增加抵消了折扣促销的损失,净利润反而增大.对应表4,当 $0.038 \leq \eta \leq 0.058$ 时,只提供体验服务的利润 $\pi_2^*(p, s)$ 小于体验服务与促销努力联合作用时的利润 $\pi_4^*(p, s, t_1)$.

4 结 论

由于时尚服装的季节性等特点,其时尚性随时间的流逝而降低,导致市场价值不断降低,并影响市场需求,从而造成服装库存积压.随着信息技术的发展,服装零售商可借助网络与实体渠道的融合,进行体验服务投资,提供虚拟或实体试穿、搭配等体验服务,由此提高服装的初始时尚度.在考虑服装时尚性的同时,通过优化折扣促销努力来最大化收益也是服装零售企业需要解决的重要问题.

本文针对时尚服装的时尚性随时间变化的特点,考虑体验服务投资对服装时尚度的影响,建立需求依赖时尚度和销售价格时尚服装基本情形下的利润模型,单独提供体验服务、单独促销努力、体验服务和促销努力联合3种情形进行比较,研究4种情形下的最优定价和库存订货策略,分析体验服务投资系数、折扣力度和服装时尚度衰减因子等对服装零售商效益的影响.研究发现:单独投入体验服务时,当体验服务投资系数较小时,服装零售商有动机采取更大的体验服务努力;体验服务投资系数越大时,体验服务投资的边际效益越小,此时零售商应该减少体验服务投资.单独采取促销努力策略时,服装零售商通过优化

定价、根据自身的库存水平采取合适的折扣促销力度和延后折扣时间点,可降低总库存成本,增加销售利润.体验服务和促销努力联合作用时,产生利润或互补或替代效应,取决于服装时尚度衰减因子,当其大于某临界值时,体验服务和促销努力两者为互补关系,反之则为替代关系.

参考文献(References)

- [1] Choi T M, Hui C L, Liu N, et al. Fast fashion sales forecasting with limited data and time[J]. *Decision Support Systems*, 2014, 59(1): 84-92.
- [2] Sen A. The US fashion industry: A supply chain review[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 114(2): 571-593.
- [3] Choi T M, Gao J, Lambert J, et al. Quick response fashion supply chains in the big data era[C]. *Optimization and Control for Systems in the Big-data Era*. Cham: Springer, 2017: 253-267.
- [4] Cachon G P, Swinney R. The value of fast fashion: Quick response, enhanced design, and strategic consumer behavior[J]. *Management Science*, 2011, 57(4): 778-795.
- [5] Choi T M. Inventory service target in quick response fashion retail supply chains[J]. *Service Science*, 2016, 8(4): 406-419.
- [6] Cachon G P, Feldman P. Price commitments with strategic consumers: Why it can be optimal to discount more frequently than optimal[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2015, 17(3): 399-410.
- [7] Aviv Y, Wei M M, Zhang F. Responsive pricing of fashion products: The effects of demand learning and strategic consumer behavior[J]. *Management Science*, 2019, 65(17): 2982-3000.
- [8] Cosgun O, Kula U, Kahraman C. Markdown optimization for an apparel retailer under cross-price and initial inventory effects[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2017, 120(3): 186-197.
- [9] Demiriz A. A data mining-based framework for multi-item markdown optimization[M]. Singapore: Springer, 2018: 47-70.
- [10] Xia M, Zhang Y, Weng L, et al. Fashion retailing forecasting based on extreme learning machine with adaptive metrics of inputs[J]. *Knowledge-Based Systems*, 2012, 36(12): 253-259.
- [11] Choi T M. Pre-season stocking and pricing decisions for fashion retailers with multiple information updating[J]. *International Journal of Production Economics*, 2007, 106(1): 146-170.
- [12] Covert R P, Philip G C. An EOQ model for items with Weibull distribution deterioration[J]. *AIIE Transactions*, 1973, 5(4): 323-326.
- [13] Wee H M. Deteriorating inventory model with quantity discount, pricing and partial backordering[J]. *International Journal of Production Economics*, 1999, 59(1/2/3): 511-518.

- [14] 陈克贵, 王新宇, 黄敏, 等. 两种需求模式下过度自信零售商的最优定价和订货联合决策[J]. 控制与决策, 2018, 33(1): 101-110.
(Chen K G, Wang X Y, Huang M, et al. Joint pricing and order quantities decisions for overconfident retailers with two demand cases[J]. Control and Decision, 2018, 33(1): 101-110.)
- [15] 吴胜, 雒兴刚, 陈振颂, 等. 需求依赖于产品价格和消费者时间偏好的定价与订货决策[J]. 控制与决策, 2016, 31(9): 1594-1602.
(Wu S, Luo X G, Chen Z S, et al. Pricing and ordering decisions with price-and consumer time preference-dependent demand[J]. Control and Decision, 2016, 31(9): 1594-1602.)
- [16] 艾学轶, 张金隆, 徐浩轩, 等. 需求依赖于变质时间的非立即变质品联合补货优化[J]. 控制与决策, 2018, 33(4): 671-678.
(Ai X Y, Zhang J L, Xu H X, et al. Optimal joint replenishment policy for multiple non-instantaneous deteriorating products with deterioration-time-dependent demand[J]. Control and Decision, 2018, 33(4): 671-678.)
- [17] Zhang J, Wang Y, Lu L, et al. Optimal dynamic pricing and replenishment cycle for non-instantaneous deterioration items with inventory-level-dependent demand[J]. International Journal of Production Economics, 2015, 170(1): 136-145.
- [18] Rabbani M, Zia N P, Rafiei H. Joint optimal dynamic pricing and replenishment policies for items with simultaneous quality and physical quantity deterioration[J]. Applied Mathematics and Computation, 2016, 287(1): 149-160.
- [19] Panda S, Saha S, Basu M. An EOQ model for perishable products with discounted selling price and stock dependent demand[J]. Central European Journal of Operations Research, 2009, 17(1): 31-42.
- [20] Tsao Y C, Sheen G J. Dynamic pricing, promotion and replenishment policies for a deteriorating item under permissible delay in payments[J]. Computers & Operations Research, 2008, 35(11): 3562-3580.
- [21] 王圣东, 汪峻萍, 周永务. 两阶段需求相关的动态易逝品最优订货策略[J]. 控制与决策, 2013, 28(4): 579-584.
(Wang S D, Wang J P, Zhou Y W. Optimal order policy for dynamic perishable product with demand correlation between two periods[J]. Control and Decision, 2013, 28(4): 579-584.)
- [22] Maihami R, Karimi B. Optimizing the pricing and replenishment policy for non-instantaneous deteriorating items with stochastic demand and promotional efforts[J]. Computers & Operations Research, 2014, 51(1): 302-312.
- [23] Liu G, Zhang J, Tang W. Joint dynamic pricing and investment strategy for perishable foods with price-quality dependent demand[J]. Annals of Operations Research, 2015, 226(1): 397-416.
- [24] Zhang J, Wei Q, Zhang Q, et al. Pricing, service and preservation technology investments policy for deteriorating items under common resource constraints[J]. Computers & Industrial Engineering, 2016, 95(1): 1-9.
- [25] 曹裕, 易超群, 万光羽. 易逝品随机生产库存模型动态定价、服务水平和生产控制策略[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(7): 1717-1731.
(Cao Y, Yi C Q, Wan G Y. Dynamic pricing, service and production control strategy of stochastic production inventory models with perishable products[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2018, 38(7): 1717-1731.)
- [26] 丁松, 但斌. 随机需求下考虑零售商风险偏好的生鲜农产品最优订货策略[J]. 管理学报, 2012, 9(9): 1382-1387.
(Ding S, Dan B. Optimal ordering policy for fresh agricultural products with stochastic demand considering retailers' risk preference[J]. Chinese Journal of Management, 2012, 9(9): 1382-1387.)
- [27] Maihami R, Kamalabadi I N. Joint pricing and inventory control for non-instantaneous deteriorating items with partial backlogging and time and price dependent demand[J]. International Journal of Production Economics, 2012, 136(1): 116-122.
- [28] Dye C Y. The effect of preservation technology investment on a non-instantaneous deteriorating inventory model[J]. Omega, 2013, 41(5): 872-880.
- [29] Li G, He X, Zhou J, et al. Pricing, replenishment and preservation technology investment decisions for non-instantaneous deteriorating items[J]. Omega, 2019, 84(4): 114-126.

作者简介

陈啟 (1992—), 男, 博士生, 从事库存与供应链管理的研究, E-mail: 1120560780@qq.com;

徐琪 (1963—), 女, 教授, 博士生导师, 从事供应链管理、运作管理等研究, E-mail: xuqi@dhu.edu.cn;

刘金荣 (1975—), 女, 博士生, 从事电子商务与供应链管理的研究, E-mail: 8784796@qq.com.

(责任编辑: 郑晓蕾)