第16卷第6期 管 理 科 学 学 报 Vol. 16 No. 6
2013年6月 JOURNAL OF MANAGEMENT SCIENCES IN CHINA Jun. 2013

考虑顾客退货时在线企业的定价与订货策略①

张霖霖，姚 忠
(北京航空航天大学经济管理学院，北京 100191)

摘要： 电子商务环境中，顾客退货是非常普遍的现象，是在线零售企业运营决策不可忽视的重要考虑因素. 以此为背景，本文将顾客退货引入到在线零售企业的单周期和多周期定价订货策略研究中. 在确定性需求问题中给出了解析解，在随机性需求问题中证明了解的存在唯一性并做了相应的数值试验. 试验结果显示：单周期情况下，退货率与在线零售企业定价正相关，而与订货量和收益负相关；价格弹性与在线零售企业定价、收益负相关，对订货量的影响通过一个临界值发生相反的变化；市场随机波动对在线零售企业的决策行为也有很大影响. 多周期情况下，在线零售企业会在初始期采取低价高订货量策略，而在末期采取高价低订货量策略，退货率越高，企业总收益越低. 同时，针对单周期随机性需求问题，借助期望－方差分析法分析了考虑顾客退货时期望收益的波动，得出风险偏好不同的在线零售企业策略选择有很大不同. 无论哪种情况，努力控制顾客退货率都有利于在线零售企业获得高收益.

关键词： 定价策略；单期与多期库存；供应链风险管理；电子商务

中图分类号： F253 **文献标识码：** A **文章编号：** 1007－9807(2013)06－0010－12

0 引 言

近几年，随着电子商务技术的逐渐成熟，网上购物的诸多优点越来越明显，如时间空间上的便捷性和商品种类的多样性等，再加上现代人生活节奏的加快，网上购物在信息化时代渐成社会趋势. 本文将提供网上订购的零售企业称为在线零售企业，如亚马逊、天猫、麦考林、京东商城等. 电子商务环境下，顾客在交易结束前接触不到实体商品，并且得依赖快递配送才可取得商品，就会出现诸如尺码不对、与网上图片有色差、或者质量不过关、配送错误、配送破损等情况，因此，在线零售企业往往会接受顾客退货. 顾客在销售期末结束前可以通过邮寄或企业派专人收集来退货，得到全部或者部分补偿，甚至有些企业还为顾客提供由退货产生的运输等费用. 一般零售行业的顾客退货率在5%－9%[1]之间，季节性商品比如流行服装、电子产品的顾客退货率高达25%－40%[2]，偏高的顾客退货率给企业的进一步发展造成很大压力. 从供应链的角度来看，对于季节性商品，不论是B2B还是B2C，产品可替代性强，上下游实体之间的互相选择通常较为随机. 在线零售企业一般通过对商品零售价格和向上游订货量的确定来实现收益最大化. 当顾客退货成为在线零售企业的普遍现象时，如何把顾客退货考虑到定价和订货策略中是在线零售企业运营的特殊问题.

研究企业定价订货问题的一个重要领域是收益管理. 收益管理于20世纪70年代末在北美航空业兴起，获得了极大的成功，迅速被欧洲各航空公司采用，现已被普及应用到全世界的航空公司. 除了航空领域，收益管理目前还被推广到酒店、汽车出租等行业. 实践的普及助推着理论研究

① 收稿日期：2012－02－23；修订日期：2012－08－11.
基金项目：国家自然科学基金资助项目(71071006；71271012).
通信作者：姚 忠(1964—)，男，河北张北人，博士，教授，博士生导师. Email：iszhyao@buaa.edu.cn

的深入,其研究的核心问题是通过确定最优价格和最优订货量来实现利益最大化[3],并且根据具体问题进行深入研究,比如有的学者探讨了同时确定价格和补货量的多周期随机需求问题[4]. 近些年,将顾客行为考虑到收益管理研究中的文献屡见不鲜. Ovchinnikov 和 Milner[5] 将一部分顾客学习到商家的促销规则,等待打折购买的行为考虑到收益管理决策中,Mersereau 和 Zhang[6] 讨论了商家面对在购买中有远见的战略型顾客的降价决策问题. 大多数有关收益管理的文献没有讨论电子商务环境下顾客退货对企业收益的影响.

研究企业定价订货问题的另一个重要领域是库存管理. 报童模型是库存管理中研究季节性商品定价和订货量策略的经典模型. Whitin[7] 第一次提出了同时决定销售价格和采购数量的报童模型,并给出了均匀分布下的解,Petruzzi 和 Dada[8] 总结了加法和乘法两种随机需求模式报童模型解. 针对短生命周期产品的特点，国内有的学者探讨了当零售商为供应链的核心主导商时，由供应商和零售商构成的短生命周期产品二级供应链的订货决策模型[9]. Kocablylkolu 和 Popescu[10] 讨论了价格敏感报童模型的一种弹性方法,统一并补充了前人关于定价的报童模型的研究工作. 动态定价也是学者关注的热点问题[11]. 这些文献都没有考虑退货因素. 大多数考虑退货因素的研究报童模型的文献焦点集中于供应链的协调[12-15]，对终端顾客和零售企业之间退货因素的研究相对较少. Shulman 等[16] 在研究两个竞争零售商的定价和再订货费用问题时,考虑了顾客退货并指出要在不增加收益损失的情况下控制顾客退货率. Flapper 等[17] 研究了在不完全的顾客退货信息下的制造—库存系统的控制. 二者都没有考虑退货策略对在线零售企业运作的特殊实践价值.

当今市场竞争愈演愈烈,接受顾客退货成为企业营销的重要手段,尤其是随着在线零售的普及,顾客退货策略的重要性更为凸显,考虑终端顾客的退货对在线零售企业运营决策具有特殊的实践价值,越来越多的研究者开始关注这个领域. 有学者的研究表明顾客退货跟商品的价格有关,价格越高越容易被退货[18]. Anderson 等[19] 研究了女性的流行服装的在线销售,发现销售量与顾客退货有着很强的正相关性. 这些经验研究对在线零售企业的运营决策非常重要. Mostard and Teunter[20] 假设顾客的退货在销售季末前发生并且无损坏,不影响再次销售,研究顾客退货对在线零售企业决策的影响,但是研究仅限于单周期给定零售价格的报童问题. 薛顺利等[21] 建立了在电子商务供应链环境下,以商品价格和退货退款为决策变量的企业利润最大化模型. Chen 和 Bell[22] 假设需求的随机性独立于零售价格,并用加法模式表达,研究了顾客退货情况下零售企业的定价和订货策略,给出了加法模式的随机需求下的最优零售价格和最优订货量. 这两位学者在另一篇文章中也考虑了顾客退货因素,设计了零售商对供应商的包含两个退货价格的合同,一个是未销售产品的退货价格,一个是顾客退回商品的退货价格,证明这个合同能完全协调供应链[23].

市场需求随机因素的引入在经济学文献中通常有加法模式 $X = D(p) + \xi$ 和乘法模式 $X = D(p)\xi$ 两种表达形式,其中 $D(p)$ 表示市场确定时的需求,ξ 是表达市场随机性的随机变量. 加法模式中 $D(p) = a - bp(a > 0, b > 0)$,乘法模式中 $D(p) = ap^{-b}(a > 0, b > 1)$. Chen 和 Bell[22] 中已经讨论过市场随机需求为加法模式时考虑顾客退货的定价订货策略问题. 但随机需求的乘法模式也是经济学文献中比较常见的市场随机需求表达形式[24]. 这两种需求表达形式的根本不同在于价格影响需求随机性的方式不同: 加法模式中价格影响需求分布的位置，而不影响需求的方差[8,25]; 乘法模式中价格影响需求分布的规模，而不影响需求的变异系数(coefficient of variation)[8]. 这种区别是非常重要的,它构建了两种需求模式下同时确定价格和订货量决策的结构不同的理论分析基础. Salinger 和 Ampudia[26] 用勒纳关系(Lerner relationship) 解释了为什么加法模式的随机需求和乘法模式的随机需求对定价的报童模型最优解有不同的影响: 用乘法模式引入需求随机性时提价是因为乘法模式提高了销售一单位产品的边际成本,但没有影响涨价因子(markup factor); 用加法模式引入需求随机性时降价是因为加法模式对销售一单位产品的边际成本没有影响,但降低了涨价因子. 鉴于乘法模式随机需求反应了与加法模式随机需求不同的市场需求结构,因此,本文有必要对市场随机需求是乘法

模式时的情况进行讨论.

由于市场需求随机波动,使企业实际收益与预期收益发生偏差,在线零售企业的目标是最大化期望收益. 但期望收益不能反映市场需求随机波动带来的风险. 用期望 – 方差来度量风险的方法是金融风险管理中常用的基础理论之一,该方法近些年被很多学者应用在供应链风险管理研究领域. 如,Tan[27] 研究了通过与短周期制造商签订临时增加生产能力的合同来控制由需求波动引起的风险,Gan 等[28] 设计了风险共享合同来协调由一个风险中性的供应商和一个风险规避的零售商组成的供应链,吴军等[29] 给出了供应链风险管理中的几个重要问题. Choi 等[30] 用期望 – 方差方法分析了顾客的退货可以到电子商务市场上再次销售情况下最优的退货策略. 王丽梅等[31] 用期望 – 方差方法建立了在线市场的订货策略和定价优化模型,对在线市场与现货市场并存情况下的优化定价和订货策略进行了分析. 由此可见,采用期望 – 方差度量风险的方法在供应链管理研究中已得到初步认可.

基于以上研究,本文将顾客退货考虑到在线零售企业的定价订货策略研究中,假设顾客的退货量与销售量成比例,市场需求的随机性独立于价格,用乘法模式表达. 讨论在线零售企业接受顾客退货时,如何确定向下游的定价策略和向上游的订货策略. 并拟用收益的方差变化表示市场需求随机性的变化,方差越大,说明相应情况下的收益偏离最大期望收益的机率越高,分析需求随机波动带来的风险对在线零售企业收益及最优决策的影响.

1 模型描述

考虑在线零售企业销售一种商品,市场需求 X 是随机的,由于在线销售的特性,假设企业接受顾客的退货,顾客退货可以获得全价赔偿,并假设退货函数与市场需求成比例,记为 $R(p) = \alpha X$,其中 α 称为退货率. 企业的目标是通过确定最优的零售价格 p 和订货量 Q,来最大化自身的收益 Π(期望收益 $\mathrm{E}(\Pi)$). 假设市场需求的随机性独立于价格,用乘法模式表达,即 $X = D(p)\xi$,其中,$D(p) = ap^{-b}(a > 0, b > 1)$. b 是需求(期望需求)的价格弹性指数,b 越大,需求对价格改变的敏感度越高. $b > 1$ 时,称产品是价格弹性的; $b < 1$ 时,称产品是价格非弹性的. 这里考虑的是价格弹性的商品. ξ 是定义在 $[A, \infty]$ $(A > 0)$ 上的随机变量,其均值是 μ,标准差是 σ,$f(\cdot)$,$F(\cdot)$ 分别为 ξ 的密度函数和分布函数. 假设企业的订货单位成本为 w,单位缺货成本为 g,单位持有成本为 h,期末未销售商品的单位残值为 s. 下面先给出市场需求确定时的情况作为比较的标尺. 对于多周期问题,相应的变量加一个表示周期的下标 i $(i = 1, 2, \cdots, N)$.

2 确定性问题

2.1 单周期确定性问题

一个销售周期内,市场需求确定时,订货量即为市场需求量: $X = D(p) = Q$,顾客退货函数为 $R(p) = \alpha D(p)$. 在线零售企业的收益模型为

$$\max_p \Pi(p) = (p - w) D(p) - (p - s) R(p) \tag{1}$$

一阶条件为

$$\Pi'(p) = D(p) + (p - w) D'(p) - R(p) - (p - s) R'(p) = 0 \tag{2}$$

存在唯一解的二阶条件为

$$\Pi''(p) = 2[D'(p) - R'(p)] + (p - w) D''(p) - (p - s) R''(p) \leqslant 0 \tag{3}$$

由式(2)得 $p^* = \dfrac{bw}{b-1} + \dfrac{\alpha b(w - s)}{(b-1)(1-\alpha)}$,且二阶条件 $\Pi''(p^*) = \dfrac{D(p)}{p^2}(-b)(w - \alpha s) < 0$,以上的讨论总结为下面的定理.

定理 1 市场需求确定时,存在最优零售价格 $p^* = \dfrac{b(w - \alpha s)}{(b-1)(1-\alpha)}$.

由定理 1,很容易得到最优的订货量和企业收益,$D(p^*) = a(p^*)^{-b}$,$\Pi(p^*) = a(p^* - w)(p^*)^{-b} - \alpha a(p^* - s)(p^*)^{-b}$.

当没有退货时($\alpha \to 0$)得 $p_0^* = \dfrac{bw}{b-1}$,由 $p^* - p_o^* = \dfrac{\alpha b(w - s)}{(1-\alpha)(b-1)} > 0$ 得,$p^* > p_o^*$,从

而，$Q^* < Q_o^*$，$\Pi(p^*) < \Pi(p_o^*)$. 说明在线零售企业接受退货时的零售价比不允许退货时的零售价格更高，订货量更低，收益更少. 但如果在线零售企业不接受退货，就有可能失去整个市场，从而收益变为零.

考察 p^*，Q^*，Π^* 随退货率 α 的变化 $\frac{\mathrm{d}p^*}{\mathrm{d}\alpha} = \frac{b(w-s)}{(b-1)(1-\alpha)^2} > 0$ 说明 p^* 是关于 α 的增函数，退货率越高，在线零售企业确定的零售价格越高. $\frac{\mathrm{d}Q^*}{\mathrm{d}\alpha} = (-b)a(p^*)^{-b-1}(\frac{\partial p^*}{\partial \alpha}) < 0$，说明 Q^* 是关于 α 的减函数，退货率越高，在线零售企业确定的订货量越低.

$$\frac{\mathrm{d}\Pi(p^*)}{\mathrm{d}\alpha} = -\frac{\alpha s}{b-1}(p^*)^{-b} + (-b)\frac{a(w-\alpha s)}{b-1}$$

$(p^*)^{-b-1}\frac{\partial p^*}{\partial \alpha} < 0$，说明 $\Pi(p^*)$ 是关于 α 的减函数，退货率越高，在线零售企业的收益越低. p^*，Q^* 随 α 的变化趋势与加法模式随机需求中顾客退货是市场销售量的固定比例时的情形类似[22]. 因此，不管市场需求的随机性是什么模式，在线零售企业在不可避免的要接受顾客退货的基础上，必须采取措施，提高自身的服务水平和顾客的购物体验，控制退货率.

商品的需求价格弹性不同，对企业最优策略的决策也有很大影响. 假设其它参数不变，讨论不同商品的需求价格弹性 b 对企业决策的影响. $\frac{\mathrm{d}p^*}{\mathrm{d}b} = -\frac{w-s\alpha}{(b-1)^2(1-\alpha)} < 0$，说明 p^* 是关于价格弹性 b 的减函数. 商品的价格弹性指数越大，企业的定价就越低.

$$\frac{\mathrm{d}Q^*}{\mathrm{d}b} = -a\left(\frac{b(w-\alpha s)}{(1-\alpha)(b-1)}\right)^{-b}\left(\ln\frac{b(w-\alpha s)}{(1-\alpha)(b-1)} - \frac{1}{b-1}\right)$$

，记 $\ln\frac{b(w-\alpha s)}{(1-\alpha)(b-1)} = \frac{1}{b-1}$ 时 b 的取值为 b_d，则当 $b > b_d$ 时，订货量与价格弹性负相关；反之，订货量与价格弹性正相关.

$$\frac{\mathrm{d}\Pi^*}{\mathrm{d}b} = -\left(\frac{b(w-\alpha s)}{(1-\alpha)(b-1)}\right)^{-b}\cdot\ln\frac{b(w-\alpha s)}{(1-\alpha)(b-1)}\cdot\frac{1}{b-1} < 0$$

说明确定性情况下，价格弹性越大，在线零售企业收益越小.

2.2　N－周期确定性问题

假设 i 期末的退货为 $R_i(p_i) = \alpha D_i(p_i)$，忽略检测和重新包装的成本，可以在 $i+1(i=1,2\cdots,N-1)$ 期重新销售，且只在最后一个销售期考虑产品的残值. 因此，第 i 期的订货量 $Q_i = D_i(p_i) - R_{i-1}(p_{i-1})$. N－周期需求确定性问题模型可以表述为

$$\max_{p_i, i=1,2,\cdots,N} \Pi = \sum_{i=1}^{N}\left[(1-\alpha)p_iD_i(p_i) - w_i(D_i(p_i) - R_{i-1}(p_{i-1}))\right] + sR_N(p_N) \quad (4)$$

最优解存在的一阶条件

$$\Pi'(p_i) = R_i(p_i) - D_i(p_i) - (p_i - w_i)D_i'(p_i) + (p_i - w_{i+1})R_i'(p_i) = 0,\quad i = 1,2,\cdots,N-1 \quad (5)$$

$$\Pi'(p_N) = R_N(p_N) - D_N(p_N) - (p_N - w_N)D_N'(p_N) + (p_N - s)R_N'(p_N) = 0 \quad (6)$$

存在唯一最优解的二阶条件为

$$\Pi''(p_i) = 2\left[D_i'(p_i) - R_i'(p_i)\right] + (p_i - w_i)D_i''(p_i) - (p_i - w_{i+1})R_i''(p_i) \leqslant 0 \quad (7)$$

$$\Pi'(p_N) = 2\left[D_N'(p_N) - R_N'(p_N)\right] + (p_N - w_N)D_N''(p_N) - (p_N - s)R_N''(p_N) \leqslant 0 \quad (8)$$

定理 2　N－周期确定性问题存在最优零售价格 $p_i = \frac{b_i(w_i - \alpha w_{i+1})}{(1-\alpha)(b_i-1)}(i=1,2,\cdots,N-1)$，$p_N = \frac{b_N(w_N - \alpha s)}{(1-\alpha)(b_N-1)}$，由定理 2 可以得到 $D_i(p_i^*) = a_i(p_i^*)^{-b}$，$Q_i^* = D_i(p_i^*) - R_{i-1}(p_{i-1}^*)$. 如果订货成本是一个常数 $w_i = w$，令 p_{i0}^*，p_{N0}^* 分别表示第 $i(i=1,2,\cdots,N-1)$，第 N 周期无退货时的最优价格，则有 $p_i^* = \frac{b_iw}{(b_i-1)} = p_{i0}^*$，$D_i(p_i^*) = a_i\left[\frac{b_iw_i}{(b_i-1)}\right]^{-b_i} = D_i(p_{i0}^*)$，$i = 1,2,\cdots,N-1$.

说明除第 N 周期以外，由于上一周期的退货还可以再次销售，销售商在确定最优零售价时忽略了退货的影响. 只有在第 N 周期时零售商提高价格($p_N^* > p_{N0}^*$)来减少退货. 此时的退货为 $R_N(p_N^*) = \alpha D_N(p_N^*)$. 文献[22]中市场随机需求

用加法模式表达，顾客退货是市场销售量的固定比例，订货成本为常数时，得到的最优价格也与退货率无关，只在第 N 周期提高价格.

如果订货成本不是常数，不妨设 $w_{i+1} = w_i + \varepsilon$，则有 $p_i^* = p_{i0}^* - \frac{\alpha b_i \varepsilon}{(1-\alpha)(b_i-1)} < p_{i0}^* \cdot \frac{\mathrm{d}p_i^*}{\mathrm{d}\alpha} = \frac{b_i}{b_i-1}\frac{w_i-(1+\alpha)w_{i+1}}{(1-\alpha)^2}$，当 $\frac{w_i}{w_{i+1}} > 1+\alpha$ 时，$\frac{\mathrm{d}p_i^*}{\mathrm{d}\alpha} > 0$，$p_i^*$ 随着 α 的增加而增加. 说明如果订货成本是递增的（$\varepsilon > 0$），零售商在第一期的定价较高，以后会降低价格. 这会引起退货的增加，但由于退货意味着下个周期有比较低的库存，所以零售商会接受. 退货率 α 增加时，零售商会相应的提高价格.

3 随机性问题

3.1 单周期随机问题

单周期内，需求完全满足时（$Q > X$），顾客退货 $R(p,X) = \alpha X$；需求不能完全满足时（$Q < X$），顾客退货 $R(p,Q) = \alpha Q$. 在线零售企业面对的需求不确定时，企业的收益模型可以分段表示如下

$$\Pi = \begin{cases} p(X - R(p,X)) + s(Q - X + R(p,X)) - h(Q-X) - wQ & X \leqslant Q \\ p(Q - R(p,Q)) + sR(p,Q) - g(X-Q) - wQ & X > Q \end{cases} \tag{9}$$

令 $z = \frac{Q}{D(p)}$，企业以最大化期望收益为目标，则单周期随机问题模型可以描述为

$$\begin{aligned} \max\ \mathrm{E}_{p,z}(\Pi) = {} & (p-w)D(p)\mu - (p-s)\int_A^z R(p,D(p)\xi)f(\xi)\,\mathrm{d}\xi - (p-s)\\ & \int_z^\infty R(p,zD(p))f(\xi)\,\mathrm{d}\xi - (w+h-s)D(p)\\ & \int_A^z (z-\xi)f(\xi)\,\mathrm{d}\xi - (p+g-w)D(p)\\ & \int_z^\infty (\xi - z)f(\xi)\,\mathrm{d}\xi \end{aligned} \tag{10}$$

令 $\Lambda(z) = \int_A^z (z-\xi)f(\xi)\,\mathrm{d}\xi$，$\Theta(z) = \int_z^\infty (\xi - z)f(\xi)\,\mathrm{d}\xi$，$\Omega(z,p) = \int_A^z R(p,D(p)\xi)f(\xi)\,\mathrm{d}\xi + \int_z^\infty R(p,zD(p))f(\xi)\,\mathrm{d}\xi$. 期望利润可以表示为

$$\mathrm{E}_{p,z}(\Pi) = \Psi(p) - L(z,p) - K(z,p),$$

其中 $\Psi(p) = (p-w)D(p)\mu$，表示不考虑随机因素时在线零售企业的收益；$L(z,p) = (w+h-s)D(p)\Lambda(z) + (p+g-w)D(p)\Theta(z)$，表示需求随机性造成的期望成本，其中第一项是过量库存的期望成本，第二项是缺货的期望成本；$K(z,p) = (p-s)\Omega(z,p)$，表示退货造成的期望成本.

考虑需求随机情况下退货方程的一般形式，

$$\begin{aligned} \mathrm{E}[R(p,z)] &= \alpha D(p)\left(\int_A^z \xi f(\xi)\,\mathrm{d}\xi + \int_z^\infty z f(\xi)\,\mathrm{d}\xi\right) \\ &= \alpha D(p)(\mu - \Theta(z)) \end{aligned}$$

则期望收益表达为以下形式，$\mathrm{E}_{p,z}(\Pi) = \tilde{\Psi}(p) - \tilde{L}(z,p)$，其中，$\tilde{\Psi}(p) = [(1-\alpha)p - w + s\alpha]D(p)\mu$，$\tilde{L}(z,p) = [(w+h-s)\Lambda(z) + ((1-\alpha)p + g - w + \alpha s)\Theta(z)]D(p)$ 采用两阶段优化技术，首先给定 z，求出最优解 $p^*(z)$，然后将 $p^*(z)$ 代入收益方程 $\mathrm{E}_{p^*(z),z}(\Pi)$，最后求出最优解 z^*.

给定 z，收益关于价格 p 的一阶导数为

$$\frac{\partial \mathrm{E}(\Pi)}{\partial p} = (1-\alpha)D(p)\mu + [(1-\alpha)p - w + \alpha s]D'(p)\mu - (1-\alpha)\Theta(z)D(p) - [(1-\alpha)p + g - w + \alpha s]\Theta(z)D'(p)$$

令一阶导数等于零，得到如下定理 3.

定理 3 给定 z，得到最优零售价格为

$$p^*(z) = \frac{b[(w+h-s)\Lambda(z) + (g+\alpha s-w)\Theta(z) + \mu(w-\alpha s)]}{(1-\alpha)(b-1)(\mu - \Theta(z))}.$$

考察需求随机时，最优价格受顾客退货的影响.

$$\frac{\mathrm{d}p^*}{\mathrm{d}\alpha} = \frac{b}{(b-1)(\mu-\Theta(z))} \cdot \frac{(\Theta(z)-\mu)(s-w) + (w+h-s)\Lambda(z) + g\Theta(z)}{(1-\alpha)^2} > 0,$$

最优价格是退货率的增函数. 记不允许退货（$\alpha \to 0$）时的价格为 p_0^*，则 $p_0^* < p^*$.

考察市场不确定性对企业决策价格的影响. 记确定性问题得到的最优解为 p_d^*，则

$$p^* - p_d^* = \frac{b[(w+h-s)\Lambda(z) + g\Theta(z) + 2(w-\alpha s)(\mu - \Theta(z))]}{(1-\alpha)(b-1)(\mu-\Theta(z))} > 0,$$

从而，$p^* > p_d^*$. 说明在乘法模式的随机需求下，企业为了应付市场的不确定性，会提高价格. 而在 Chen 和 Bell[22] 中市场随机需求用加法模式表

达，顾客退货是市场销售量的固定比例时得到的结果却是随机需求情况下的价格小于确定性需求下的价格. 这是由于考虑的两种不同随机需求表达形式反映的市场需求结构不同造成的. 在不考虑顾客退货的报童模型中[8]，这两种引入需求随机的不同方式对企业定价的影响，也是不一致的. Salinger 和 Ampudia[30] 通过勒纳法则（Lerner rule）分析了影响不一致性的经济学原因. 当没有过量库存和缺货时（$\Lambda(z)=0, \Theta(z)=0$），得到 $p^* = p_d^*$，也就是随机需求下的定价等于确定性需求下的定价. 说明理论上，确定性需求是随机需求的特例.

下面讨论 p^* 受 b 的影响：令 $\eta = \frac{(w+h-s)\Lambda(z)+(g+\alpha s-w)\Theta(z)+\mu(w-\alpha s)}{(1-\alpha)(\mu-\Theta(z))}$，则 $\eta>0$，$\frac{dp^*}{db} = -\frac{\eta}{(b-1)^2} < 0$，说明 p^* 是关于价格弹性 b 的减函数. 这与市场需求确定时的结论一样，商品的价格弹性指数越大，企业的定价就越低. 当 z 一定时，$Q^* = zD(p) = zap^{-b}$，则 $\frac{dQ^*}{db} = -za\left(\frac{b\eta}{b-1}\right)^{-b}\left(\ln\frac{b\eta}{b-1} - \frac{1}{b-1}\right)$，记 $\ln\frac{b\eta}{b-1} = \frac{1}{b-1}$ 时 b 的取值为 b_s，$b > b_s$ 时，Q^* 与 b 负相关；反之正相关. 对于随机需求情况下，收益受价格弹性 b 的影响的解析分析非常复杂，仅仅从确定性需求是随机性需求特例的角度推断，随机性需求情况下企业收益与需求价格弹性负相关，并在数值试验部分给出验证.

定理 4　当 $dr(z)/dz + 2r(z)^2 > \frac{(2-b)(w+h-s)f(z)}{(b-1)(\mu-\Theta(z))}$ 时，存在唯一最优解 z^* 使期望收益 $E_{p^*(z),z}(\pi)$ 达到最大，其中 $r(\cdot) = \frac{f(\cdot)}{1-F(\cdot)}$.

给定价格 p，由一阶条件，令 $\frac{\partial E(\Pi)}{\partial z} = -D(p)\left[(w+h-s)F(z) - ((1-\alpha)p+g-w+\alpha s)(1-F(z))\right] = 0$ 得 $F(z^*) = \frac{(1-\alpha)p+g+s\alpha-w}{(1-\alpha)(p-s)+h+g}$，令 $\rho = \frac{(1-\alpha)p+g+s\alpha-w}{(1-\alpha)(p-s)+h+g}$，从而，$Q^* = z^*D(p) = F^{-}\left(\frac{(1-\alpha)p+g+s\alpha-w}{(1-\alpha)(p-s)+h+g}\right)D(p) = F^{-}(\rho)D(p)$. $\alpha = 0$ 时，令 $\rho_0 = \frac{p+g-w}{p+h+g-s}$ 得到没有退货时的订货量，$Q_0^* = F^{-}(\rho_0)D(p)$，$\rho_0-\rho>0$，$F(\cdot)$ 是非减函数，所以，$Q^* \leqslant Q_0^*$，即给定零售价格，不允许退货时的订货量要多于允许退货时的订货量.

考察价格确定时，最优订货量受顾客退货的影响. $\frac{dz^*}{d\alpha} = \frac{1}{f(z^*)}\cdot\frac{(s-p)(w+h-s)}{(g+h+(p-s)(1-\alpha))^2} < 0$，所以退货增加时，企业会减少订货量.

3.2　N – 周期随机性问题

假设第 $i(i=1,2,\cdots,N)$ 期开始时的库存水平为 y_i，订货量为 Q_i，退货方程为以下形式：

$$R_i(p_i) = \alpha\min[Q_i+y_i, X_i], 0\leqslant\alpha\leqslant1$$

第 i 期的收益为

$$\Pi_i(p_i,Q_i) = \begin{cases} p_i(1-\alpha)X_i - w_iQ_i - h(Q_i+y_i-X_i) & X_i \leqslant Q_i+y_i \\ p_i(1-\alpha)(Q_i+y_i) - w_iQ_i - g[X_i-(Q_i+y_i)] & X_i \geqslant Q_i+y_i \end{cases}$$

其中 $y_i = \max[Q_{i-1}+y_{i-1}-X_{i-1}, 0] + \alpha\min[Q_{i-1}+y_{i-1}, X_{i-1}]$，$y_1 = 0$，则

$$y_i = \begin{cases} Q_{i-1}+y_{i-1}-(1-\alpha)X_{i-1} & X_{i-1}\leqslant Q_{i-1}+y_{i-1} \\ \alpha(Q_{i-1}+y_{i-1}) & X_{i-1}\geqslant Q_{i-1}+y_{i-1} \end{cases},$$

令 $z_i = \frac{Q_i+y_i}{D_i(p_i)}$，$D_i(p_i) = a_ip_i^{-b_i}$，$X = D_i(p_i)\xi_i$，

$$\max_{p_i,z_i,i=1,2,\cdots,N} E(\Pi) = \sum_{i=1}^{N}\{[p_i(1-\alpha)-w_i]D_i(p_i)\mu + \alpha w_iD_{i-1}(p_{i-1})\mu - (w_i+h)D_i(p_i)\Lambda_i(z_i) - [p_i(1-\alpha)+g-w_i]D_i(p_i)\Theta_i(z_i) + w_iD_{i-1}(p_{i-1})\Lambda_{i-1}(z_{i-1}) - \alpha w_iD_{i-1}(p_{i-1})\Theta_{i-1}(z_{i-1})\} + \alpha sD_N(p_N)\mu - \alpha sD_N(p_N)\Theta_N(z_N) + sD_N(p_N)\Lambda_N(z_N)$$

. 令 $\Psi_i(p_i) = [p_i(1-\alpha)-w_i]D_i(p_i)\mu+\alpha w_iD_{i-1}(p_{i-1})\mu$，$i=1,2,\cdots,N-1$，$\widetilde{\Psi}_N(P_N) = \Psi_N + \alpha sD_N(p_N)\mu$，其中 $\Psi_N(p_N) = p_N(1-\alpha)-w_N]D_N(p_N)\mu+\alpha w_ND_{N-1}(p_{N-1})\mu$ $L_i(z_i,p_i) = (w_i+h)D_i(p_i)\Lambda_i(z_i) + [p_i(1-\alpha)+g-w_i]D_i(p_i)\Theta_i(z_i)$ $J_i(z_{i-1},p_{i-1}) = w_iD_{i-1}(p_{i-1})\Lambda_{i-1}(z_{i-1}) - \alpha w_iD_{i-1}(p_{i-1})\Theta_{i-1}(z_{i-1})$

$$S_N(z_N) = sD_N(p_N)\Lambda_N(z_N) - \alpha sD_N(p_N)\Theta_N(z_N)$$

则 $\max_{p_i,z_i,i=1,2,\cdots,N} E(\Pi) = \sum_{i=1}^{N}\{\Psi_i(p_i) - L_i(z_i,p_i) + J_i(z_{i-1},p_{i-1})\} + S_N(z_N) + \alpha sD_N(p_N)\mu$

定理 5　N – 周期随机性问题存在唯一最优

解 p_i^*，z_i^* ($i = 1, 2, \cdots, N$)

(1) 当 $w_i + h > w_{i+1}$，且 $\mathrm{d}r_i(z_i)/\mathrm{d}z_i + 2r_i(z_i)^2 > \frac{(2-b)(w_i + h - w_{i+1})f_i(z_i)}{(b-1)(\mu - \Theta_i(z_i))}$ 时;

(2) 当 $w_i + h < w_{i+1}$，且 $\mathrm{d}r_i(z_i)/\mathrm{d}z_i + 2r_i(z_i)^2 < \frac{(2-b)(w_i + h - w_{i+1})f_i(z_i)}{(b-1)(\mu - \Theta_i(z_i))}$ 时.

(3) 当 $\mathrm{d}r_N(z_N)/\mathrm{d}z_N + 2r_N(z_N)^2 > \frac{(2-b)(w_N + h - s)f_N(z_N)}{(b-1)(\mu - \Theta_N(z_N))}$ 时，存在第 N 周期最优解 p_N^*，z_N^*.

给定第 i ($i = 1, 2, \cdots, N$) 周期的价格 p_i，得

$$z_i^* = F_i^-\left(\frac{(1-\alpha)p_i + \alpha w_{i+1} - w_i + g}{(p_i - w_{i+1})(1-\alpha) + g + h}\right), z_N^* = F_N^-\left(\frac{(1-\alpha)p_N + \alpha s - w_N + g}{(p_N - s)(1-\alpha) + g + h}\right),$$

给定 z_i，得最优价格

$$p_i^* = \frac{b_i}{(1-\alpha)(b_i - 1)} \cdot \frac{(w_i - \alpha w_{i+1})\mu + (w_i + h - w_{i+1})\Lambda_i(z_i) + (g - w_i + \alpha w_{i+1})\Theta_i(z_i)}{\mu - \Theta_i(z_i)}$$

$$p_N^* = \frac{b_N}{(1-\alpha)(b_N - 1)} \cdot \frac{(w_N - s\alpha)\mu + (w_N + h - s)\Lambda_N(z_N) + (g - w_N + s\alpha)\Theta_N(z_N)}{\mu - \Theta_N(z_N)}.$$

显然，当在线零售商由于需求随机引起的每周期的订货过量或者缺货都为零($\Lambda_i(z_i) = 0$，$\Theta_i(z_i) = 0$)时，随机需求多周期的定价与需求确定时多周期的定价一致，说明理论上，需求确定的多周期问题是需求随机的多周期问题的特例.

对于市场需求随机性问题，由于很难求出解析解，只证明了最优解存在唯一. 本文将在第 5 部分给出市场需求随机性问题的数值试验，给出数值解并得到一些新的启示.

4 收益的方差分析

在线零售企业的目的是最大化自己的期望收益，但是，面对不确定的市场需求，期望收益仅仅反映了收益的平均值，不能反映出收益的波动情况. 所以，这一部分用收益的方差来刻画其波动情况，企业对风险偏好的不同，决定了其最优策略的选择不同. 本文只考虑单周期需求随机的情况. 用 $V(\cdot)$ 表示方差.

将 3.1 中的企业收益模型式(8)重新整理写成以下形式

$$\Pi = D(p)[p(1-\alpha) + s\alpha - w)z - ((p-s)(1-\alpha) + h)M - g\widetilde{M}]$$

其中 $M = \max[0, z - \xi]$，$\widetilde{M} = \max[0, \xi - z]$. 则有 $V(\Pi) = [D(p)((p-s)(1-\alpha) + h)]^2 V(M) + g^2 V(\widetilde{M})$ 其中，

$$V(M) = \int_0^z (z-\xi)^2 f(\xi)\,\mathrm{d}\xi - \left[\int_0^z (z-\xi) f(\xi)\,\mathrm{d}\xi\right]^2,$$

$$V(\widetilde{M}) = \int_z^\infty (\xi - z)^2 f(\xi)\,\mathrm{d}\xi - \left[\int_z^\infty (\xi - z) f(\xi)\,\mathrm{d}\xi\right]^2$$

下面考察市场需求波动引起的收益波动对在线零售企业定价和订货决策的影响. $\frac{\partial V(M)}{\partial z} = 2[1 - F(z)]\int_0^z (z-\xi) f(\xi)\,\mathrm{d}\xi > 0$，$\frac{\partial V(\widetilde{M})}{\partial z} = 2[1 - F(z)]\int_z^\infty (\xi - z) f(\xi)\,\mathrm{d}\xi > 0$，因此，$\frac{\partial V(\Pi)}{\partial z} > 0$，其他条件不变时，订货量越多，引起的收益波动越大.

$$\frac{\partial V(\Pi)}{\partial p} = \frac{(1-b)(1-\alpha)p + (1-\alpha)(s-h)b}{p} < 0,$$

此处，由于报童模型易逝商品的销售期末残值非常低，假设 $s \leqslant h$ 是合理的，则 $\frac{\partial V(\Pi)}{\partial p} < 0$. 因此，零售价格越高，引起的收益波动越小.

当需求确定时，订货量即等于市场需求，此时，$V(M) = 0$，$V(\widetilde{M}) = 0$，收益方差 $V(\Pi)$ 为零，进一步从理论上说明，确定性问题是随机性问题的特例.

因此，对于风险规避的在线零售企业来说，他们可以接受稍高的退货率，减少订货量，提高价格，这样虽然使收益减少，但收益的波动也随之降低. 对于风险偏好的在线零售企业来说，他们较难容忍较高的退货率，而是选择承担高风险，追求高收益.

5 随机性问题数值试验

对于市场需求随机性问题，既然很难得出解析解，下面分别就单周期的随机性问题和多周期

的随机性问题给出数值试验，由数值解来观察顾客退货率等参数对在线零售企业的最优策略的影响.

单周期随机性问题，假定 $a = 5\ 000$，企业的单位订货成本为 $w = 8$，单位缺货成本为 $g = 1$，单位持有成本为 $h = 1$，单位商品残值为 $s = 1$，市场随机性变量 ξ 的均值是 $\mu = 1$. 本文做了 b，σ，α 分别取不同值时的多组试验，并选择其中几组试验数据做出图形研究价格、订货量及企业收益随需求价格弹性、市场随机性和退货率的变化.

由图 1— 图 4 可以看出，其它条件不变时，价格弹性越低，企业定价越高，收益越高. 价格弹性与企业订货量之间的关系有负、正相关两种情况: 高价格弹性低订货量(图 1，图 2) 和高价格弹性高订货量(图 3，图 4) . 数值试验显示的这一结果与 3. 1 节中价格弹性对定价订货影响的理论分析结果一致. 这里需要指出的是，在单周期确定性问题中代入以上各参数的取值，会得到 $b_d = 1.268\ 5$ 是价格弹性与订货量正负相关的临界值，但随机性问题中此临界值的求解是很难的 b_s. 从图 1—图 4 可以得到，临界值 b_s 在 $1.2 \sim 1.5$ 之间并更接近 1.5. 也可以理解为 b_s 是订货量曲线关于 b 的驻点，因此，价格弹性 b 的取值越接近 b_s，在市场随机波动不是很剧烈的情况下，其变化对订货量的影响越小. 如图 2(b) 显示，$\sigma = 2$ 和 $\sigma = 5$ 时的订货量曲线几乎重合，差别很小，就是这个原因.

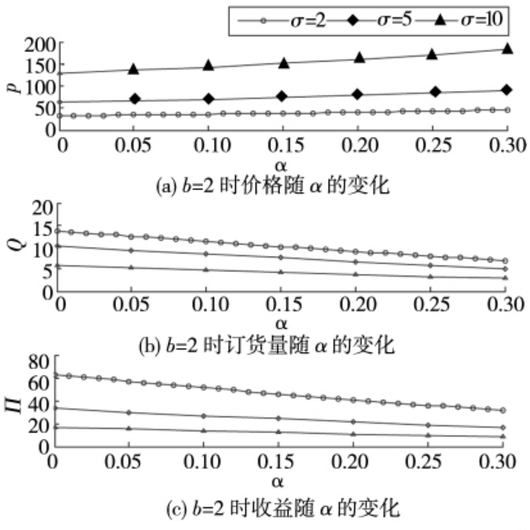

图 1　$b = 2$ 时价格，订货量和收益受退货率的影响

Fig. 1 The impact of return rate on price, order quantity and profit when $b = 2$

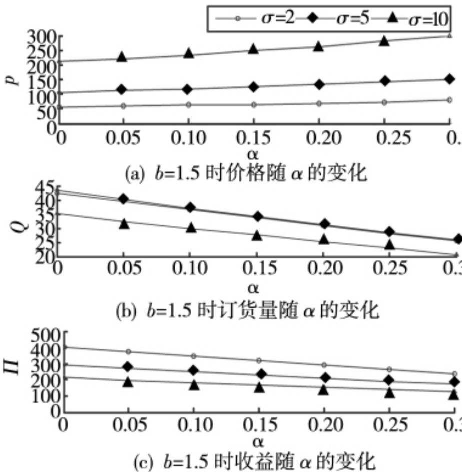

图 2　$b = 1.5$ 时价格，订货量和收益受退货率的影响

Fig. 2 The impact of return rate on price, order quantity and profit when $b = 1.5$

当价格弹性和退货率一定时，σ 的不同取值刻画了市场随机性程度，σ 的值越大说明市场随机波动越大. 图 1— 图 4 显示，当市场随机波动较大时，为应对风险，在线零售企业会抬高价格，降低订货量(图 1，图 2) 或增加订货量(图 3，图 4) ，最终都降低企业收益. 根据价格弹性理论，需求确定时，价格弹性的商品需求量下降的幅度高于价格上涨的幅度，涨价反而导致企业收益降低. 在本文的需求随机性模型中，图 1，图 2 显示的结果与需求确定时一致，但当价格弹性更小时(图 3，图 4) ，随着 σ 的增加企业反而提高订货量. 因为此时零售价格很高，企业缺货的机会成本也就提升，远大于风险波动带来的损失，企业宁愿选择提高订货量避免缺货所造成的损失.

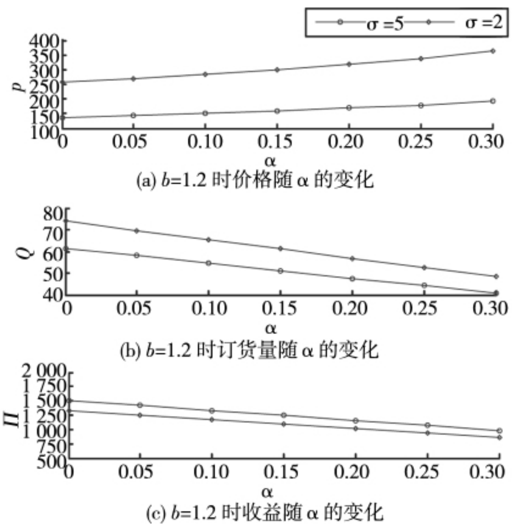

图 3　$b = 1.2$ 时价格，订货量和收益受退货率的影响

Fig. 3 The impact of return rate on price, order quantity and profit when $b = 1.2$

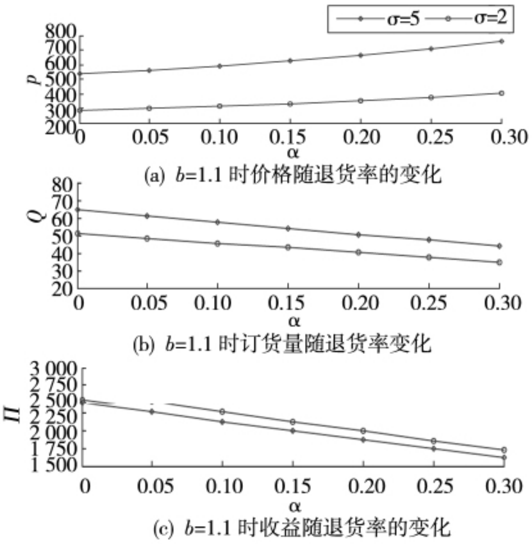

图 4 $b = 1.1$ 时价格,订货量和收益受退货率的影响

Fig. 4 The impact of return rate on price, order quantity and profit when $b = 1.1$

当价格弹性和市场随机性一定时,在线零售企业的最优零售价格随着退货率的增加而提高,订货量和收益随着退货率的增加而降低. 加法模式下也有这种规律. 说明不管以何种方式引入需求的随机性,退货率对各个决策变量和收益的影响规律是一致的. 在这种情况下,高退货率虽然可以使企业定高价,但同时其退货所造成的运作管理成本和机会成本更大,导致企业收益的降低. 所以,退货率的控制显得更具战略意义. 为此,线上零售企业在提供退货服务的同时,应该采取适当措施,尽量控制顾客退货率,这样才能保证获得尽可能大的收益.

由以上分析可知,单周期需求随机问题中,在线零售企业需要根据不同的价格弹性调整最优策略,及时有效的收集顾客的订单数据,了解市场随机波动情况并能做出好的需求预测,通过高品质个性化的服务控制顾客退货率. 这些措施能有效的使在线零售企业获得更高的收益.

对于多周期随机问题给出三个周期的试验结果,假设 $a_i = 5\ 000, b_i = 1.5, w_1 = 8, w_2 = 6, w_3 = 4, s = 1, g = 1, h = 1, \mu = 1$ 时用 Matlab 以初值为 [30,40,50,10,9,8] 做出来的三个周期的最优价格,订货量和收益见表 1.

表 1 批发价递减时退货率对企业定价、订货量和收益的影响

Table 1 The impact of return rate on price, order quantity and profit when the wholesale price is declining

α	p			$Q + y_i$			Π
	Period 1	Period 2	Period 3	Period 1	Period 2	Period 3	
0.00	30.933 9	41.428 2	51.428 2	332.120 3	195.539 6	127.819 2	1 427.049 4
0.05	30.947 9	41.426 5	51.426 5	331.845 8	195.520 1	127.802 7	1 321.668 6
0.10	30.961 1	41.424 9	51.424 9	331.587 3	195.501 3	127.786 9	1 216.286 4
0.15	30.973 5	41.423 4	51.423 4	331.343 4	195.483 3	127.771 8	1 110.902 8
0.20	30.985 2	41.421 9	51.421 9	331.113 1	195.466 1	127.757 3	1 005.517 8

$a_i = 5\ 000, b_i = 1.5, w_1 = 4, w_2 = 6, w_3 = 8, s = 1, g = 1, h = 1, \mu = 1$ 时用 Matlab 以初值为 [30,40,50,10,9,8] 做出来的三个周期的最优价格,订货量和收益见表 2.

表 2 批发价递增时退货率对企业定价、订货量和收益的影响

Table 2 The impact of return rate on price, order quantity and profit when the wholesale price is increasing

α	p			$Q + y_i$			Π
	Period 1	Period 2	Period 3	Period 1	Period 2	Period 3	
0.00	21.791 2	29.759 0	36.733 2	384.601 4	217.395 6	141.218 7	1 960.550 3
0.05	21.768 2	29.962 3	36.925 4	390.493 5	218.204 1	142.127 3	1 852.550 8
0.10	21.655 0	29.995 1	36.940 3	395.318 3	218.857 6	142.724 8	1 743.748 3
0.15	21.550 3	30.027 1	36.960 9	399.723 3	219.372 0	143.190 9	1 634.712 9
0.20	21.454 0	30.057 5	36.984 4	403.748 4	219.790 9	143.565 1	1 525.453 2

从上表中可以看出，当 α 一定时，最后一个周期企业会提高价格，从而降低销售量，退货相应减少. 由于上一周期的退货以及超额订购的商品可以在下一周期继续销售，并且对每周期内的需求量信息的知晓较为有限，所以第一周期的订货量明显高于以后各周期. 最后一个周期的退货不能再次销售，并且超额订购的商品会成为滞销商品，残值很低. 因此最后一个周期订货量较低. 特别是，虽然退货率 α 增加，但每周期的价格和订货量变化不大. 这是由于企业上一周期的退货可以在下一周期继续销售，企业可以承受既定的退货量. 当然，退货会产生多方面的成本，因此收益减少.

6 结束语

随着电子商务市场的蓬勃发展，相关问题研究已经成为近几年国内外学者研究的热点，并取得显著成果. 由于电子商务市场上交易的固有特性，在线零售企业接受顾客退货成为非常重要的营销手段. 因此，本文将顾客退货因素考虑到在线零售企业的单周期和多周期定价订货策略研究中，以需求确定时的情况为比较标杆，证明了乘法模式的市场随机需求下，单周期和多周期最优零售价格和最优订货量的存在唯一性，并给出了数值解. 数值试验结果表明，单周期情况下，在线零售企业的定价分别随市场随机性，退货率的增加而提高，相反订货量和收益却降低. 价格弹性分别与在线零售企业的定价和收益负相关，对订货量的影响通过一个临界值发生相反的变化. 多周期情况下，在线零售企业会在初始销售期采取低价高订货量策略，而在最后一个销售期采取高价低订货量策略. 风险厌恶型在线零售企业容忍低收益，选择低风险；风险偏好型在线零售企业追求高收益，承担高风险. 不管是单周期还是多周期，高顾客退货率都会给在线零售企业的收益带来负面影响.

根据本文的研究结果，在线零售企业需要根据不同的市场条件，及时调整最优策略以期获得高收益. 其中比较有效的方法是通过高品质个性化的服务控制顾客退货率. 主要方式有：提高配送质量，减少由于商品破损、配送错误、配送延迟导致的顾客退货；提高网页服务质量，减少由于图文不符导致的顾客退货；提高退货门槛，减少个别顾客的无理由退货. 这些措施能使在线零售企业获得更高的收益. 另外，采取有效措施，培养顾客忠诚度，稳定市场，降低需求的随机波动，提高对市场需求预测的准确度，这些措施都有利于企业获得高收益.

本文的局限性在于假设顾客退货只与销售量有关，没有考虑其他因素对顾客退货的影响. 未来可以从以下几个方面做进一步的研究：在线零售企业考虑顾客退货时，制定哪种策略能达到和上游供应商的协调；顾客的退货率如何影响电子商务市场的需求；结合文献[8]和文献[22]，可以进一步研究加法和乘法两种随机需求模式下的模型是否存在统一的求解结构.

参考文献：

[1] Toktay L B. Forecasting Product Returns[M]// Business Aspect of Closed-Loop Supply Chains. Pittsburgh: Carnegie Mellon University Press, 2003.

[2] Barry C. Happy returns: How to reduce customer returns-and their costs[Z]. Catalog Age, 2000, 17, 12, ABI/INFORM Global, 108 – 110.

[3] McGill J, van Ryzin G. Revenue management: Research overview and prospects[J]. Transportation Science, 1999, 33: 233 – 256.

[4] Federgruen A, Heching A. Combined pricing and inventory control under uncertainty[J]. Operations Research, 1999, 47: 454 – 475.

[5] Ovchinnikov A, Milner J M. Revenue management with end-of-period discounts in the presence of customer learning[J].

Production and Operations Management, 2012, 21(1): 69 – 84.

[6] Mersereau A J, Zhang D. Markdown pricing with unknown fraction of strategic customers [J]. MSOM msom.1120.0376; published online before print May 4, 2012, doi: 10.1287/msom.1120.0376.

[7] Whitin T. Inventory control and price theory [J]. Management Science, 1955, 2: 61 – 68.

[8] Petruzzi N C, Dada M. Pricing and the newsvendor problem: A review with extensions [J]. Operations Research, 1999, 47: 183 – 194.

[9] **徐贤浩, 聂思玥. 零售商主导的短生命周期产品供应链订货策略 [J]. 管理科学学报**, 2009, 12(4): 83 – 93.

Xu Xianhao, Nie Siyue. Game analysis of ordering strategy based on short life-cycle products in a retailer dominated supply chain [J]. Journal of Management Sciences in China, 2009, 12(4): 83 – 93. (in Chinese)

[10] Kocabiyikoglu A, Popescu I. An elasticity approach to the newsvendor with price-sensitive demand [J]. Operations Research, 2011, 59(2): 301 – 312.

[11] Qi Feng. Integrating dynamic pricing and replenishment decision under supply capacity uncertainty [J]. Management Science, 2010, 56(12): 2154 – 2172.

[12] Pasternack B A. Optimal pricing and returns policies for perishable commodities [J]. Marketing Science, 1985, 4: 166 – 176.

[13] Emmons H, Gilbert S. Note: The role of returns policies in pricing and inventory decisions for catalogue goods [J]. Management Science, 1998, 44: 276 – 283.

[14] Yao Z, Leung S C H, Lai K K. Analysis of the impact of price-sensitivity factors on the returns policy in coordinating supply chain [J]. European Journal of Operational Research, 2008, 187(1): 275 – 282.

[15] **姚 忠. 风险约束下退货合同对供应链的协调性分析 [J]. 管理科学学报**, 2008, 11(3): 96 – 105.

Yao Zhong. Analysis of return policy for coordinating supply chain under downside risk constraints [J]. Journal of Management Sciences in China. 2008, 11(3): 96 – 105. (in Chinese)

[16] Shulman J D, Coughlan A T, Savaskan R C. Managing consumer returns in a competitive environment [J]. Management Science, 2011, 57(2): 347 – 362.

[17] Flapper S D P, Gayon J P, Vercraene S. Control of a production-inventory system with returns under imperfect advance return information [J]. European Journal of Operationan Research, 2012, 218: 392 – 400.

[18] Hess J, Mayhew G. Modeling merchandise returns in direct marketing [J]. Journal of Direct Marketing, 1997, 11: 20 – 35.

[19] Anderson E T, Hansen K, Simister D, et al. How are demand and returns related? Theory and empirical evidence [R]. Working paper, Kellogg School of Management, Northwestern University, February, 2006.

[20] Mostard J, Teunter R. The newsboy problem with resalable returns: A single period model and case study [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 169: 81 – 96.

[21] **薛顺利, 徐 渝, 宋悦林, 等. 电子商务环境下定价与退货策略整合优化研究 [J]. 运筹与管理**, 2006, 15(5): 133 – 137.

Xue Shunli, Xu Yu, Song Yuelin, et al. Integrative-optimal investigation of pricing and return policies in e-business [J]. Operations Research and Management Science, 2006, 15(5): 133 – 137. (in Chinese)

[22] Chen J, Bell P C. The impact of customer returns on pricing and order decision [J]. European Journal of Operational Research, 2009, 195 (1): 280 – 295.

[23] Chen J, Bell P C. Coordinating a decentralized supply chain with customer returns and price-dependent stochastic demand using a buyback policy [J]. European Journal of Operational Research, 2011, 212: 293 – 300.

[24] Karlin S, Carr C R. Prices and optimal inventory policy [M]. Studies in Applied Probability and Management Science. Stanford University Press, Stanford, CA, 1962, 159 – 172.

[25] Mills E S. Uncertainty and price theory [J]. The Quarterly Journal of Econamics, 1959, 73(1): 116 – 130.

[26] Salinger M, Ampudia M. Simple economics of the price-setting newsvendor problem [J]. Management Science, 2011, 57

(11): 1996 – 1998.

[27] Tan B. Managing manufacturing risks by using capacity options [J]. Journal of the Operational Research Society, 2002, 53: 232 – 242.

[28] Gan X, Sethi S, Yan H. Channel coordination with a risk neutral supplier and a downside risk-averse retailer [J]. Production and Operations Management, 2005, 14: 80 – 89.

[29] 吴 军, 李 健, 汪寿阳. 供应链风险管理中的几个重要问题 [J]. 管理科学学报, 2006, 9(6): 1 – 12.
Wu Jun, Li Jian, Wang Shouyang. Some key problems in supply chain risk management [J]. Journal of Management Sciences in China, 2006, 9(6): 1 – 12. (in Chinese)

[30] Choi T M, Li D, Yan H. Optimal returns policy for supply chain with e-marketplace [J]. International journal of Production Economics, 2004, 88: 205 – 227.

[31] 王丽梅, 姚 忠, 刘 鲁. 现货供应不确定下的优化采购策略研究 [J]. 管理科学学报, 2011, 14(4): 24 – 35.
Wang Limei, Yao Zhong, Liu Lu. Dual sourcing optimal procurement under spot market supply uncertainty [J]. Journal of Management Sciences in China, 2011, 14(4): 24 – 35. (in Chinese)

Pricing and order decisions with customer returns in online retailing

ZHANG Lin-lin, YAO Zhong

School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100191, China

Abstract: Customers' returning products is very common in online retailing and it significantly impacts on the seller's operations decisions. In this paper, we investigate an online retailer who simultaneously determines the retail price and order quantity while experiencing customer returns and price dependent stochastic demand with a multiplicative mode. We assume that the customer's returned product quantity is a function of both the quantity sold and the price and the online retailer's operations can be either single or multi-period with and without uncertainty in demand. We analytically derive results for optimal prices and order quantities under certainty demand in both the single and multi-period situations and demonstrate the unique solution existence in the single period stochastic situation. For the multi-period stochastic demand situation, we numerically analyze how the firm should change prices and inventory quantities in order to mitigate the negative effects of returns from customers in the stochastic demand situation. We also model the online retailer's expected profit with mean-variance to examine the change of the expected revenue with customer's returns. The risk preference of a retailer has a significant impact on the retailer's optimal decisions with customer's returns.

Key words: pricingdecisions; single-and multiple-period inventory; supply chain risk management; electronic commerce