文章编号: 1001-0920(2017)05-0920-05　　DOI: 10.13195/j.kzyjc.2016.0478

随机需求和产量下基于损失规避的零售商博弈

刘　伟[1†], 宋士吉[2], 乔　颖[3], 罗伟伟[1]

(1. 军事经济学院 基础部，武汉 430035；2. 清华大学 自动化系，北京 100084；
3. 湖北经济学院 工商管理学院，武汉 430205)

摘　要: 研究在需求和产量均为随机变量的情况下,带有损失规避偏好的零售商之间的博弈. 当多个相同的零售商向同一供应商订购时,如果总需求按照每个零售商的订购量在总订购量中所占比例进行分配,则该博弈中存在唯一的对称性Nash均衡,且总均衡订购量关于损失规避水平递减,关于零售商数量递增. 此外,如果损失规避水平(零售商数量)高于(低于)临界值,则竞争情况下供应链总库存水平比集中管理情况下的低. 仿真实验验证了上述结果.

关键词: 损失规避；随机产量；博弈；库存

中图分类号: F274　　**文献标志码:** A

Loss-averse retailer game with random demand and yield

LIU Wei[1†], *SONG Shi-ji*[2], *QIAO Ying*[3], *LUO Wei-wei*[1]

(1. Department of Basic Science, Military Economy Academy，Wuhan 430035，China；2. Department of Automation，Tsinghua University，Beijing 100084，China；3. School of Business Administration，Hubei University of Economics，Wuhan 430205，China)

Abstract: A loss-averse retailer game with random demand and yield is studied. When multiple identical retailers order from a single supplier, the total demand is allocated among the retailers proportional to their order quantities. Then there exists a symmetric Nash equilibrium in this game and it is unique. The total equilibrium order quantity is decreasing in the loss aversion level, while increasing in the number of retailers. Moreover, there exists a threshold of loss aversion level (number of retailers), above (below) which the total inventory level of a competitive supply chain is lower than that of a centralized one. The numerical experiments are conducted to demonstrate the above theoretical results.

Keywords: loss aversion；random yield；game；inventory

0　引　言

传统的库存模型主要聚焦于产品需求的不确定性, 而认为供应是确定的. 但是现实中,供应的不确定性在许多生产和服务领域也经常发生. 也就是说,当订购发生时,库存管理者从供应商处实际收到的产品数量和订购量经常不一致.

生产和运输过程中所导致的产量不确定是供应不确定性的一个主要原因. 一方面, 很多供应商直接生产产品来满足下游的需求,虽然进行了大量提高生产质量的努力,仍然没有哪条生产线能保证生产出的产品全是正品. 例如,半导体制造行业的产量通常都低于50%, 塑料生产商的产量一般都在75%左右[1]. 从时间和成本方面考虑,供应商不可能对所生产的全部产品进行检查,因此在提供给管理者的产品中经常有部分次品. 另一方面,在运输过程中,部分产品可能会被损坏,变成次品. 由于订购的产品中存在随机数量的次品,为了满足顾客需求,管理者的订购量应该高于最初计划的订购量. 这就要求管理者调整订购策略.

Karlin[2] 首先研究了带有随机产量的库存问题. 从那以后,该问题逐渐受到关注,研究者从多方面对带有随机产量的库存/生产模型进行了研究. 相关的综述可以参见文献[3]. 他们总结了几种随机产量的建模方法,其中应用最广泛的是随机成比例产量,即假设产品中正品的比例是与订购量相互独立的随机变量. 在这一假设下,Gerchak等[4] 研究了带有随机

收稿日期: 2016-04-20；**修回日期:** 2016-07-04.

基金项目: 国家自然科学基金项目(61273233)；高等学校博士点基金项目(20120002110035, 20130002130010).

作者简介: 刘伟(1981−), 男, 讲师, 博士, 从事供应链管理的研究；宋士吉(1965−), 男, 教授, 博士生导师, 从事供应链库存管理协调优化和随机不确定系统理论分析等研究.

†通讯作者. E-mail: liuwei050072@sina.com

产量的周期性检查生产模型,只有当每个周期的初始库存小于临界值时才需要生产; Xu等[5]研究了公司在内部生产和外部订购两种情况下,如何作出库存和定价决定; 在产量和需求都是均匀分布的情况下, Inderfurth[6]分析了最优生产策略,并表明它可能是非线性的. 在两种不同的风险模式下, Keren[7]研究了带有确定需求和随机产量的单周期问题,然后对由经销商和生产商组成的供应链进行了分析, He[8]研究了在产量和需求不确定的情况下,公司如何依次作出价格决定和生产量决定.

上述研究一般假设决策者是风险中立的,将按照期望利润最大或者期望成本最小来决定订购量. 但是现实中的很多例子表明决策者往往具有风险偏好. 近年来,一些学者已经意识到采用风险中立来分析决策者行为的局限性,而将损失规避偏好引入到库存问题的研究中. 在不考虑缺货成本的情况下, Schweitzer等[9]发现损失规避报童的最优订购量比风险中立报童的小; Wang等[10]进一步考虑了缺货成本,并指出在不同的条件下,损失规避报童的最优订购量,可以大于、等于或小于风险中立报童的最优订购量; Liu等[11]研究了带有产品替代的报童博弈,并给出了Nash均衡唯一性的充分条件; 刘咏梅等[12]和刘珩等[13]分别在不同的契约模式下,研究了带有损失规避零售商的供应链协调问题; 柳键等[14]考虑了顾客的损失规避偏好,分析了零售商的订购和定价策略.

在基于损失规避的库存研究中, Wang[15]的工作与本文最为相关. 他们研究了多个损失规避报童之间的博弈,并表明存在唯一的Nash均衡. 但他们只考虑了需求的不确定性,而忽略了产量的不确定性. 本文在Wang[15]研究的基础上,同时考虑随机需求与随机产量,研究多个损失规避零售商之间的博弈. 当多个相同的零售商向同一供应商订购时,假设产品总需求按照每个零售商的订购量在总订购量中所占比例进行分配. 首先建立模型并分析该博弈中Nash均衡的存在性和唯一性,然后研究损失规避和零售商数量对供应链总订购量的影响,最后分析损失规避和竞争对供应链的联合影响.

1　模型假设与建立

考虑一个单周期库存模型. 在零售周期开始时, n个带有损失规避偏好的相同的零售商分别决定订购量,然后向同一供应商订购,所订购产品可以立即送达. 零售商对产品进行检查,然后只购买正品,而把次品返还给供应商,不考虑检查时间和成本. 采用常见的随机成比例产量模型(例如文献[4-8]),即假设产品中正品的比例是与订购量相互独立的随机变量. 不考虑缺货成本. 在周期末,未售完的产品具有残值. 每个零售商的目标是选择订购量使自己的期望效用最大.

本文采用的符号如下($i=1,2,\cdots,n$).

表1　符号及其含义

符号	含义
p	单位产品的零售价格
w	单位产品的购买成本
v	单位产品的残值, $p>w>v$
Q_i	零售商i的订购量
Q_{-i}	其他$n-1$个零售商的总订购量
X_i	零售商i的需求, 密度函数$g(x_i)$
X	总需求, 密度函数$f(x)$, 分布函数$F(x)$
Y	产品中正品的比例, 即正品的数量为YQ_i, $Y\in[0,1]$与X_i相互独立, 密度函数$h(y)$, 均值μ
Q_i^*	零售商i的均衡订购量
Q_{-i}^*	其他$n-1$个零售商的总均衡订购量
Q^*	n个零售商的总均衡订购量
Q^c	集中管理下的最优库存水平

关于总需求在各个零售商之间的分配方式,采用成比例需求分配方法,即假设产品总需求按照每个零售商的订购量在总订购量中所占比例进行分配:

$$X_i=\frac{Q_i}{Q_i+Q_{-i}}X. \tag{1}$$

该分配方法被多个研究者所采用(例如文献[15-16]),并适用于顾客有较低搜索成本的情况(详见文献[16]),从而有

$$g(x_i)=\frac{Q_i+Q_{-i}}{Q_i}f\Big(\frac{Q_i+Q_{-i}}{Q_i}x_i\Big). \tag{2}$$

当零售商i的订购量为Q_i时,他的利润为

$$\pi_i=\begin{cases}pYQ_i-wYQ_i,\ X_i>YQ_i;\\ pX_i-wYQ_i+v(YQ_i-X_i),\ X_i\leqslant YQ_i.\end{cases} \tag{3}$$

假设零售商具有如下分段线性形式的损失规避效用函数(例如文献[11-15]):

$$U(\pi_i)=\begin{cases}\pi_i,\ \pi_i\geqslant 0;\\ \lambda\pi_i,\ \pi_i<0.\end{cases} \tag{4}$$

其中$\lambda\geqslant 1$为零售商的损失规避水平,且当$\lambda=1$时,零售商是风险中立的. 则零售商i的期望效用为

$$E[U(\pi_i)]=$$
$$\int_0^1\int_0^\infty U(\pi_i)g(x_i)h(y)\mathrm{d}x_i\mathrm{d}y=$$
$$(\lambda-1)\int_0^1\int_0^{\frac{w-v}{p-v}yQ_i}[(p-v)x_i-(w-v)yQ_i]\times$$

$$g(x_i)h(y)\mathrm{d}x_i\mathrm{d}y+\int_0^1\int_0^{yQ_i}[(p-v)x_i-(w-v)yQ_i]g(x_i)h(y)\mathrm{d}x_i\mathrm{d}y+\int_0^1\int_{yQ_i}^{\infty}(p-w)yQ_ig(x_i)h(y)\mathrm{d}x_i\mathrm{d}y.\tag{5}$$

将式(2)代入(5),可进一步得到

$$E[U(\pi_i)]=\frac{Q_i}{Q_i+Q_{-i}}\Big\{(\lambda-1)\int_0^1\int_0^{\frac{w-v}{p-v}y(Q_i+Q_{-i})}[(p-v)x-(w-v)y(Q_i+Q_{-i})]f(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y+\int_0^1\int_0^{y(Q_i+Q_{-i})}[(p-v)x-(w-v)y(Q_i+Q_{-i})]f(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y+\int_0^1\int_{y(Q_i+Q_{-i})}^{\infty}(p-w)y(Q_i+Q_{-i})\times f(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y\Big\}.\tag{6}$$

零售商$i(i=1,2,\cdots,n)$的目标是选择订购量Q_i使得期望效用$E[U(\pi_i)]$最大.

2 模型分析

由于每个零售商的订购决定受到其他零售商订购决定的影响,使用博弈论来研究该模型. 首先分析零售商i的最优反应.

定理1 对于任意给定的Q_{-i},零售商i的期望效用函数$E[U(\pi_i)]$是关于Q_i的凹函数,因此存在唯一的最优订购量$Q_i^*(Q_{-i})$满足如下一阶最优性条件:

$$-(\lambda-1)(w-v)\int_0^1 yF\Big[\frac{w-v}{p-v}y(Q_i^*(Q_{-i})+Q_{-i})\Big]\times h(y)\mathrm{d}y-(p-v)\int_0^1 yF[y(Q_i^*(Q_{-i})+Q_{-i})]\times h(y)\mathrm{d}y+(p-w)\mu+\frac{(p-v)Q_{-i}}{(Q_i^*(Q_{-i})+Q_{-i})^2}\times\Big[(\lambda-1)\int_0^1\int_0^{\frac{w-v}{p-v}y(Q_i^*(Q_{-i})+Q_{-i})}xf(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y+\int_0^1\int_0^{y(Q_i^*(Q_{-i})+Q_{-i})}xf(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y\Big]=0.\tag{7}$$

证明 $E[U(\pi_i)]$关于Q_i的一阶导数为

$$\frac{\mathrm{d}E[U(\pi_i)]}{dQ_i}=-(\lambda-1)(w-v)\int_0^1 yF\Big[\frac{w-v}{p-v}y(Q_i+Q_{-i})\Big]\times h(y)\mathrm{d}y-(p-v)\int_0^1 yF[y(Q_i+Q_{-i})]\times h(y)\mathrm{d}y+(p-w)\mu+\frac{(p-v)Q_{-i}}{(Q_i+Q_{-i})^2}\times\Big[(\lambda-1)\int_0^1\int_0^{\frac{w-v}{p-v}y(Q_i+Q_{-i})}xf(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y+\int_0^1\int_0^{y(Q_i+Q_{-i})}xf(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y\Big].\tag{8}$$

进一步,可以求得

$$\mathrm{d}^2E[U(\pi_i)]/\mathrm{d}Q_i^2<0.$$

因此,对于任意给定的Q_{-i}, $E[U(\pi_i)]$是关于Q_i的凹函数,存在唯一的最优订购量$Q_i^*(Q_{-i})$满足一阶最优性条件(7). □

如下定理说明了Nash均衡的存在性和唯一性.

定理2 该博弈中存在着唯一的对称性Nash均衡,零售商i的均衡订购量$Q_i^*=Q^*/n$,且所有零售商的总均衡订购量Q^*满足$M(Q^*,n,\lambda)=0$,其中

$$M(Q,n,\lambda)=-(\lambda-1)(w-v)\int_0^1 yF\Big(\frac{w-v}{p-v}yQ\Big)\times h(y)\mathrm{d}y-(p-v)\int_0^1 yF(yQ)h(y)\mathrm{d}y+(p-w)\mu+\frac{(n-1)(p-v)}{nQ}\times\Big[(\lambda-1)\int_0^1\int_0^{\frac{w-v}{p-v}yQ}xf(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y+\int_0^1\int_0^{yQ}xf(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y\Big].\tag{9}$$

证明 因为策略空间$[0,S]\times[0,S]\times\cdots\times[0,S]$为紧凸集,其中$S$为充分大的实数;由定理1可知$E[U(\pi_i)]$为连续的凹函数,因此该博弈中存在着Nash均衡. 又因为所有的零售商都相同,所以该均衡是对称的. 下面证明Nash均衡的唯一性.

当零售商i的均衡订购量为Q_i^*时,因为所有零售商的均衡订购量相同,其他$n-1$个零售商总的均衡订购量$Q_{-i}^*=(n-1)Q_i^*$,所有零售商总的均衡订购量$Q^*=nQ_i^*$. 将式(7)中的$Q_i^*(Q_{-i})$和Q_{-i}分别替换成Q_i^*和Q_{-i}^*,且注意到$Q^*=Q_i^*+Q_{-i}^*$,可知Q^*满足$M(Q^*,n,\lambda)=0$. 因为

$$\frac{\partial M(Q,n,\lambda)}{\partial Q}=-\frac{1}{n}\Big[\frac{(\lambda-1)(w-v)^2}{p-v}\int_0^1 y^2\times f\Big(\frac{w-v}{p-v}yQ\Big)h(y)\mathrm{d}y+(p-v)\times\int_0^1 y^2f(yQ)h(y)\mathrm{d}y\Big]-\frac{(n-1)(p-v)}{nQ^2}\times\Big[(\lambda-1)\int_0^1\int_0^{\frac{w-v}{p-v}yQ}xf(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y+\int_0^1\int_0^{yQ}xf(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y\Big]<0,\tag{10}$$

所以$M(Q,n,\lambda)$关于Q递减. 又因为

$$M(0,n,\lambda)=(p-w)\mu>0,$$

且$\lim\limits_{Q\to\infty}M(Q,n,\lambda)=-\lambda(w-v)\mu<0$,存在唯一$Q^*$使$M(Q^*,n,\lambda)=0$,故$Q_i^*=Q^*/n$也唯一. □

上述定理表明,该博弈中存在着唯一的Nash均衡,且各个零售商的均衡订购量相同. 进一步地,损失规避水平和零售商数量对总均衡订购量的影响如下:

推论1　总均衡订购量Q^*关于λ递减.

证明　对于任意给定的n和$1<\lambda_1<\lambda_2$,设Q_1^*和Q_2^*分别为总的均衡订购量,则$M(Q_1^*,n,\lambda_1)=M(Q_2^*,n,\lambda_2)=0$. 容易算出$\partial M(Q,n,\lambda)/\partial\lambda<0$,因此$M(Q_1^*,n,\lambda_2)<M(Q_1^*,n,\lambda_1)=M(Q_2^*,n,\lambda_2)$. 又由式(10)可知$\partial M(Q,n,\lambda)/\partial Q<0$,故$Q_1^*>Q_2^*$. □

推论2　总均衡订购量Q^*关于n递增.

证明　对于任意给定的λ和$1<n_1<n_2$,设Q_1^*和Q_2^*分别为总的均衡订购量,则$M(Q_1^*,n_1,\lambda)=M(Q_2^*,n_2,\lambda)=0$. 容易算出$\partial M(Q,n,\lambda)/\partial n>0$,因此$M(Q_1^*,n_2,\lambda)>M(Q_1^*,n_1,\lambda)=M(Q_2^*,n_2,\lambda)$. 又由式(10)可知$\partial M(Q,n,\lambda)/\partial Q<0$,故$Q_1^*<Q_2^*$. □

推论1表明,零售商的损失规避水平越高,供应链的总库存水平越低;特别地,损失规避偏好下($\lambda>1$)的总库存水平将低于风险中立的情况($\lambda=1$),称之为损失规避影响. 推论2表明,零售商的数量越多,供应链的总库存水平越高;特别地,竞争情况下($n>1$)的总库存水平将高于非竞争的情况($n=1$),称之为竞争影响.

与库存集中管理情况(一个风险中立的供应商拥有自己的销售链)相比,在多个损失规避零售商竞争的情况下,一方面,竞争影响使供应链的总库存水平增加,另一方面,损失规避影响使供应链的总库存水平减少. 为了研究竞争和损失规避对供应链的联合影响,将集中管理情况下供应链总库存水平与竞争情况下总订购量进行对比. 设Q^c为集中管理情况下的最优库存水平,且λ_0和n_0为

$$\begin{aligned}&\lambda_0=\\&1+\Big((p-w)\mu nQ^c+\\&(n-1)(p-v)\int_0^1\int_0^{yQ^c}xf(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y-\\&(p-v)nQ^c\int_0^1 yF(yQ^c)h(y)\mathrm{d}y\Big)\Big/\Big((w-\\&v)nQ^c\int_0^1 yF\Big(\frac{w-v}{p-v}yQ^c\Big)h(y)\mathrm{d}y-\\&(n-1)(p-v)\int_0^1\int_0^{\frac{w-v}{p-v}yQ^c}xf(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y\Big),\end{aligned}\tag{11}$$

$$\begin{aligned}&n_0=\\&\Big((p-v)\Big[(\lambda-1)\int_0^1\int_0^{\frac{w-v}{p-v}yQ^c}xf(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y+\\&\int_0^1\int_0^{yQ^c}xf(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y\Big]\Big)\Big/\Big((p-w)\mu Q^c+\\&(p-v)\Big[(\lambda-1)\int_0^1\int_0^{\frac{w-v}{p-v}yQ^c}xf(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y+\\&\int_0^1\int_0^{yQ^c}xf(x)h(y)\mathrm{d}x\mathrm{d}y\Big]-\\&(\lambda-1)(w-v)Q^c\int_0^1 yF\Big(\frac{w-v}{p-v}yQ^c\Big)h(y)\mathrm{d}y-\\&(p-v)Q^c\int_0^1 yF(yQ^c)h(y)\mathrm{d}y\Big).\end{aligned}\tag{12}$$

定理3　1)对于任意给定的n,如果$\lambda\geqslant\lambda_0$,则$Q^*\leqslant Q^c$,否则$Q^*>Q^c$; 2)对于任意给定的$\lambda>1$,如果$n\leqslant n_0$,则$Q^*\leqslant Q^c$,否则$Q^*>Q^c$.

证明　1)将Q^c代入式(9). 如果$\lambda\geqslant\lambda_0$,则可以得到$M(Q^c,n,\lambda)\leqslant 0=M(Q^*,n,\lambda)$. 因为由式(10)可知$\partial M(Q,n,\lambda)/\partial Q<0$,所以$Q^*\leqslant Q^c$; 否则,$Q^*>Q^c$.

2)证明方法与1)类似. □

定理3表明,分别存在着损失规避水平和零售商数量的临界值,如果损失规避水平(零售商数量)高于(低于)该临界值,则损失规避影响(使供应链库存水平变低)将支配竞争影响(使供应链库存水平变高),从而竞争情况下供应链的总库存水平将比集中管理情况下低. 这在基于风险中立的模型中不会发生.

3　数值分析

首先说明损失规避、竞争和随机产量对总均衡订购量的影响. 参数设置如下: $p=50$, $w=30$, $v=5$. 随机需求X服从均值200和标准差100的截尾正态分布,随机产量Y在[0,1]上服从均匀分布. 为了研究损失规避对总均衡订购量的影响,令$n=6$,且将λ从1递增到4,步长为0.1;为了研究竞争的影响,令$\lambda=2$,且将n从1递增到20,步长为1.

图1说明了在不同的损失规避水平下,供应链总的均衡订购量的变化情况. 损失规避偏好下($\lambda>1$)总库存水平比风险中立情况下($\lambda=1$)的低,且关于损失规避水平递减. 图2说明了在不同的零售商数量下,供应链总的均衡订购量的变化情况. 竞争情况下($n>1$)总库存水平比非竞争情况下($n=1$)的高,且关于零售商数量递增. 这些与推论1和推论2一致. 此外,由这两个图可以看出,对于任意给定的损失规避水平或零售商数量,与确定产量的情况相比,产量的不确定性使总均衡订购量增加,这一结果是直观的. 由于订购的产品中存在着次品,每个零售商的订购量将高于最初计划的订购量.

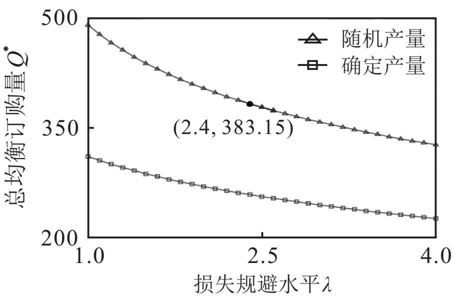

图1　不同的损失规避水平下的总均衡订购量

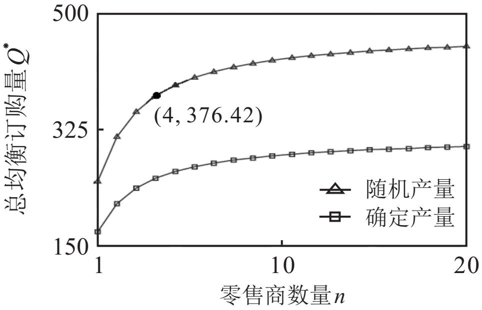

图2　不同的零售商数量下的总均衡订购量

然后研究损失规避和竞争对供应链的联合影响. 在集中管理情况下,假设供应商生产单位产品的成本为10,容易算出最优生产量$Q^c = 387.64$. 由图1和图2可以看出,当$\lambda \geqslant 2.4$或$n \leqslant 4$时,竞争情况下供应链的总库存水平将比集中管理情况下的低. 这一结果与定理3一致,并表明临界值$\lambda_0 = 2.4, n_0 = 4$.

4　结　论

本文研究了在需求和产量均为随机变量的情况下,带有损失规避偏好的零售商之间的博弈. 当多个相同的零售商向同一供应商订购时,假设产品总需求按照每个零售商的订购量在总订购量中所占比例进行分配,则对于每个零售商而言,任意给定其他零售商总的订购量,该零售商存在唯一的最优反应. 进一步地,该博弈中存在唯一的对称性Nash均衡,且总均衡订购量关于损失规避水平递减,关于零售商数量递增. 此外,如果损失规避水平(零售商数量)高于(低于)临界值,则损失规避影响将支配竞争影响,从而竞争情况下供应链的总库存水平将比集中管理情况下低. 最后,仿真实验验证了上述结果,并表明产量的不确定性使得总订购量增加.

本文采用了分段线性形式的损失规避效用函数,虽然该函数因为形式简单而在文献中被广泛使用,但是并没有体现出边际效用递减的特征. 如何采用更一般的效用函数分析该模型值得进一步的研究. 此外,本文采用了成比例需求分配方法,未来可以考虑采用其他分配方法建立模型并进行分析.

参考文献(References)

[1] Grasman S E, Olsen T L, Birge J R. Setting basestock levels in multi-product systems with setups and random yield[J]. IIE Trans, 2008, 40(12): 1158-1170.

[2] Karlin S. One stage inventory models with uncertainty[M]. Stanford, CA: Stanford University Press, 1958.

[3] Yano C A, Lee H L. Lot sizing with random yields: A review[J]. Operations Research, 1995, 43(2): 311-334.

[4] Gerchak Y, Vickson R G, Parlar M. Periodic review production models with variable yield and uncertain demand[J]. IIE Trans, 1988, 20(2): 144-150.

[5] Xu M, Lu Y. The effect of supply uncertainty in price-setting newsvendor models[J]. European J of Operational Research, 2013, 227(3): 423-433.

[6] Inderfurth K. Analytical solution for a single-period production-inventory problem with uniformly distributed yield and demand[J]. Central European J of Operations Research, 2004, 12(2): 117-127.

[7] Keren B. The single-period inventory problem: extension to random yield from the perspective of the supply chain[J]. Omega-International J of Management Science, 2009, 37(4): 801-810.

[8] He Y. Sequential price and quantity decisions under supply and demand risks[J]. Int J of Production Economics, 2013, 141(2): 541-551.

[9] Schweitzer M E, Cachon G P. Decision bias in the newsvendor problem with a known demand distribution: experimental evidence[J]. Management Science, 2000, 46(3): 404-420.

[10] Wang C X, Webster S. The loss-averse newsvendor problem[J]. Omega-Int J of Management Science, 2009, 37(1): 93-105.

[11] Liu W, Song S, Wu C. Impact of loss aversion on the newsvendor game with product substitution[J]. Int J of Production Economics, 2013, 141(1): 352-359.

[12] 刘咏梅, 成尚汶, 谢虎. 具有损失厌恶偏好零售商的供应链弹性数量契约[J]. 控制与决策, 2012, 27(7): 975-982.
(Liu Y M, Cheng S W, Xie H. Research on supply chain quantity flexibility contract with a loss-averse preference retailer[J]. Control and Decision, 2012, 27(7): 975-982.)

[13] 刘珩, 潘景铭, 唐小我. 基于损失厌恶型零售商的易逝品供应链价格补贴契约研究[J]. 控制与决策, 2010, 25(8): 1149-1154.
(Liu H, Pan J M, Tang X W. Research on perishable product supply chain markdown money contract with a loss-averse retailer[J]. Control and Decision, 2010, 25(8): 1149-1154.)

[14] 柳键, 邱国斌, 黄健. 面对损失厌恶顾客的零售商订货定价策略及激励问题[J]. 控制与决策, 2014, 29(1): 107-112.
(Liu J, Qiu G B, Huang J. Pricing and ordering strategies and stimulated issue of retailer facing lossaversion customer[J]. Control and Decision, 2014, 29(1): 107-112.)

[15] Wang C X. The loss-averse newsvendor game[J]. Int J of Production Economics, 2010, 124(2): 448-452.

[16] Cachon G P. Supply chain coordination with contracts[J]. Handbooks in Operations Research and Management Science, 2003, 11: 227-339.

（责任编辑：齐　霁）