含交付时间不确定性的供应链协调策略研究①

鲁其辉，朱道立
（复旦大学管理学院管理科学系，上海 200433）

摘要：分析含有交付时间不确定性的季节性供应链管理问题.如果在供应链中共享供应商的交付时间不确定性信息,零售商可以调整订货量,减少销售损失,就有可能提高供应链的整体利润.分析指出,当交付时间不确定性程度大时,信息共享能提高改进供应链绩效的可能性,但不一定能提高供应链的整体绩效,因而,仅仅采用信息共享有应用价值,但有一定的局限性.进一步分析发现,存在能协调这种含有交付时间不确定性供应链策略,能使供应链达到整体绩效最大化,并且对供应链的利润进行分配,协调策略能有效地弥补信息共享的局限性.

关键词：供应链；信息共享；协调；交付时间；Newsvendor 模型
中国分类号：F224 **文献标识码**：A **文章编号**：1007－9807(2008)02－0050－11

0 引 言

经济全球化和信息经济时代的到来,使供应链管理成为现代企业管理的一个最重要的组成部分之一.供应链管理的最主要目标是减少供应链中非效率因素,提高运作与交易效率,最终提高供应链的整体绩效.本文将研究季节性产品的供应链管理问题.

在销售季节开始之前,零售商根据市场需求信息进行订货,供应商在收到订单以后开始生产与物流配送.供应商将努力做到及时交付,因为如果交付延迟而销售季节已经开始,部分市场需求将得不到满足,会引起销售损失.但是交付时间在实际运作中很难完全控制,存在许多不确定性因素和约束条件使得交付时间变得不确定,例如,能力约束、排班困难、不确定物料供应、生产工序问题等等[1].

本文将首先分析在供应链中共享供应商的交付时间信息能否改进供应链的绩效,并分析信息共享带来的价值及其局限.供应链中的信息可以分为两种:公共信息(Common Information,指供应链成员都拥有的信息)和私有信息(Private Information,指供应链某一方拥有的独有信息)[2,3].例如在本文研究的供应链中,"销售季节的长度和单位时间段内的需求"是公共信息,"交付时间不确定性信息"是供应商的私有信息.信息共享被认为是解决供应链"牛鞭效用(Bullwhip Effect)"的主要方法之一[4,5].从被共享的信息类型看,可以分为6种信息共享:需求信息、库存信息、销售信息、预测信息、物流配送状况信息和生产制造计划信息共享[3].

目前,国内外研究工作者主要关注于库存信息与需求信息共享两类信息共享问题,对其他类型的信息共享问题研究较少.学术界对供应链信息共享问题的研究主要集中在信息共享的价值与信息共享的实现机制两个方面[3,6,7].绝大部分研究工作表明信息共享具有价值,但是由于假设条件和方法不同,信息共享的价值大小不同.以往的研究没有分析信息共享的局限性.下面将指出交付时间信息共享具有局限性.

本文进一步分析发现,若供应链中引入某种

① 收稿日期：2005－04－05；修订日期：2005－10－18
基金项目：国家自然科学基金资助项目(70432001)，中国博士后科学基金资助项目(20070410166).
作者简介：鲁其辉(1977—)，男，湖南益阳人，博士. Email：qihuilu@163.com

协调策略，就能达到供应链整体绩效最大化的目标，这说明了协调策略能弥补信息共享的局限性. 供应链协调管理的根源在于供应链的各个成员在利益、风险等方面存在不同程度的冲突，需要对供应链上下游进行必要的协调管理. 当供应链中的所有决策是为了达到一个系统全局目标时，供应链才是完全协调的；而当决策者们得不到完全信息或者他们受到一些违背系统目标的利益的激励时，供应链是缺乏协调的. 即便在能获取完全信息的情况下，若供应链中的各个决策者追求各自目标函数最优而不考虑系统的整体目标，这样的供应链绩效也只是次优的. 供应链协调管理的研究在近 20 年内得到了很多的研究成果，许多协调策略被深入研究[8~10]. 下面将表明采用回购策略等供应链策略能协调这种含有交付时间不确定性的供应链，并分析协调策略在这种供应链中的价值.

1　假设与记号

本文将研究最基本的供应链模型：供应 - 零售模型(supplier-buyer model). 在具有固定开始和结束时刻的销售季节里，零售商面对随机市场需求. 零售商在销售季节开始之前向供应商订货，并要求在销售季节开始之前交付. 零售商按照最大化自身期望利润为目标给出订货量. 供应商在收到订单后进行生产与配送. 虽然及时交付是供应商努力要去达到的目标，但各种不确定因素和约束往往造成交付时间的不确定. 如果交付时间早于销售开始时间，供应商必须付出相应的库存保管等费用直至销售开始为止. 反之，交付延迟的情况下，由于缺货使得零售商受到损失，这时零售商会要求供应商进行补偿. 考虑常见的做法：供应商降低批发价格，使零售商的期望利润保持与没有交付延迟情况下的期望利润一致. 本文采用这种假设主要出于两个主要原因：首先，因为在销售季节开始之前，零售商在及时交付的条件下订货，当交付延迟的情况出现时，供应商应该对零售商因到货延迟带来的销售损失进行补偿，这样假设零售商的期望利润始终保持不变是合理的；其次，主要考虑供应链的整体利润在信息不共享和信息共享后的关系，因此批发价的设定机制不会影响供应链的整体利润，因此令零售商的利润不变是可行的.

由于供应商的交付时间直接影响零售商的销售时间长度，因而在分析季节性产品的订货和定价决策问题之前，将首先分析含有交付时间不确定性的市场需求情况. 先给出一些记号.

n：销售季节的单位时间段的总数；

d_i：销售季节中单位时间段 i 内的随机需求量；

Y：产品到达零售商的时刻与销售季节开始时刻的时间差的相应销售季节的单位时间段的个数. Y 为离散型随机变量，记它的概率分布为 $g(y)$，即，$P\{Y = y\} = g(y)$. 则 $y > 0$ 表示交付时间迟于销售开始时间，$y \leqslant 0$ 表示交付时间先于或等于销售开始时间. 设 Y 的取值为 $T_1, T_1 + 1, \cdots, 0, 1, \cdots, T_2$，$(T_1 \leqslant 0, T_2 \geqslant 0)$ 且 $T_2 < n$.

M：当产品到达零售商以后，零售商面对的剩余销售季节内的第 1 个单位时间段的编号. 注意到：若 $y > 0, M = y + 1$；若 $y \leqslant 0, M = 1$.

X_0：货物交付时刻先于销售季节开始($y \leqslant 0$)时，零售商面对的销售季节内的市场需求量. 记它的概率密度函数为 $f_0(x)$；分布函数为 $F_0(x)$；均值与方差分别记为 μ_0, σ_0^2.

X_y：货物交付时刻晚于销售季节开始($y > 0$)时，零售商面对的销售季节内的市场需求量. 记它的概率密度函数为 $f_y(x)$；发布函数为 $F_y(x)$；均值与方差分别为 μ_y, σ_y^2.

X：在零售商得到了供应商交付时间不确定信息的情况下，零售商分析得出的市场需求量；设 X 的概率密度函数为 $f(x)$；分布函数为 $F(x)$；X 的均值与方差分别记为 μ_X, σ_X^2.

由于零售商面对的市场需求量 X 是销售季节中时间段内需求量 d_i 累加起来的，并且它与交付时间 Y 是相关的，而且 Y, d_i 都是随机变量，则需求 X 等于下列随机个随机变量之和

$$X \triangleq d_M + \cdots + d_n. \tag{1}$$

为了深入研究销售季节内市场需求的分布情况，作下列合理的假设.

假设 1　d_i 独立同分布，并服从正态分布. 均值与方差分别为 μ, σ^2.

假设 2　M 与 d_i 之间相互独立.

经典 Newsvendor 模型是分析季节性产品订货问题的基本模型，下列记号是模型中的几个

记号.

P: 零售商的产品销售单价.

c_0: 供应商及时配送的情况下,零售商的采购批发单价;

$c_1(y)$: 供应商延迟配送的时间等于 $y(y > 0)$ 时,供应商提供给零售商的采购批发单价;

c_2: 信息共享但不协调订货的情况下,零售商的采购批发单价;

r: 在销售过程中如果出现缺货的情况,零售商设定的缺货惩罚支出费用(Shortage Cost);

s: 在销售季节过后,剩余产品能最后挽回的价值(Salvage Value);

Q: 零售商的订货量;

k: 供应商生产单位产品的费用;

h: 若供应商在早于销售季节开始之前交付,单位产品在单位时间段内供应商的库存保管等费用;

$\phi(x)$: 标准正态分布密度函数;$\Phi(x)$: 标准正态分布函数,$\Phi^{-1}(\cdot)$ 为其反函数.

一般地这里设模型中参数满足:$p > c_0 > k > 0, r \geqslant 0, s \geqslant 0, h \geqslant 0$.

2 市场需求量

下面首先分析供应商及时交付与交付延迟时间等于 y 时,零售商面对的市场需求量的分布情况. 见下面两个命题.

命题 1 若供应商及时交付,零售商面对的市场需求量 X_0 服从正态分布 $N(n\mu, n\sigma^2)$.

证明 由于供应商及时交付,有 $y \leqslant 0$,则 $M = 1$. 即,$X_0 = d_1 + \cdots + d_n$. 那么由假设 1,2 可知市场需求量 X_0 等于 n 个独立同分布的正态分布之和,那么命题结论显然成立[11,12].

命题 2 若供应商延迟交付,当交付时间等于 y 时,零售商面对的市场需求量 X_y 服从正态分布 $N((n-y)\mu, (n-y)\sigma^2)$.

证明 由于供应商交付延迟,有 $y > 0$,则 $M = y + 1$. 即 $X_y = d_{y+1} + \cdots + d_n$. 由假设 1,2 可知市场需求量 X_y 等于 $n - y$ 个独立同分布的正态分布之和,那么命题成立.

如果零售商已知供应商的不确定交付时间 Y 的分布规律,那么零售商面对的市场需求量等于随机个随机变量之和,见式(1). 由经典概率论文献[11,12]和命题 1,2 可知,X 的分布密度函数与分布函数分别为

$$\begin{aligned} f(x) &= \sum_{y=T_1}^{T_2} f_y(x)g(y) \\ &= f_0(x)\sum_{y=T_1}^{0} g(y) + \sum_{y=1}^{T_2} f_y(x)g(y) \\ &= \frac{1}{\sqrt{n}\sigma}\phi\left(\frac{x-n\mu}{\sqrt{n}\sigma}\right)\sum_{y=T_1}^{0} g(y) + \\ &\quad \sum_{y=1}^{T_2}\frac{1}{\sqrt{n-y}\sigma}\phi\left(\frac{(x-(n-y)\mu)}{\sqrt{n-y}\sigma}\right)\times \\ &\quad g(y) \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} F(x) &= \sum_{y=T_1}^{T_2} F_y(x)g(y) \\ &= F_0(x)\sum_{y=T_1}^{0} g(y) + \sum_{y=1}^{T_2} F_y(x)g(y) \\ &= \Phi\left(\frac{x-n\mu}{\sqrt{n}\sigma}\right)\sum_{y=T_1}^{0} g(y) + \\ &\quad \sum_{y=1}^{T_2}\Phi\left(\frac{x-(n-y)\mu}{\sqrt{n-y}\sigma}\right)g(y) \end{aligned} \tag{3}$$

那么可以由式(2)计算出 X 的均值与方差

$$\mu_X = n\mu - \mu\sum_{y=1}^{T_2} yg(y) \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \sigma_X^2 &= \sigma^2\left(n\mu - \mu\sum_{y=1}^{T_2} yg(y)\right) + \\ &\quad \left[\sum_{y=1}^{T_2} y^2 g(y) - \left(\sum_{y=1}^{T_2} yg(y)\right)^2\right]\mu^2 \end{aligned} \tag{5}$$

可以从式(2),(3)看出,市场需求量 X 的分布函数实际上是由正态分布组合而成,而且是一个凸组合(由于系数 $\sum g(y) = 1$). 但是,这并不能肯定地认为 X 近似于一下正态分布. 见例 1.

例 1 设交付时间 Y 的取值和相应的概率如表 1.

表 1 交付时间的分布列(例 1)

Table 1 Distribution of delivery time (example 1)

y	-3	-2	-1	0	1	2	3
$g(y)$	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1

设销售季节内单位时间段需求的均值与标准方差分别为 $\mu = 100, \sigma = 10$. 销售季节的长度 $n = 20$. 那么 X 的密度函数和按式(4),(5)给出的正态分布 $N(\mu_X, \sigma_X^2)$ 的密度函数 $e(x)$ 的图示

如下.

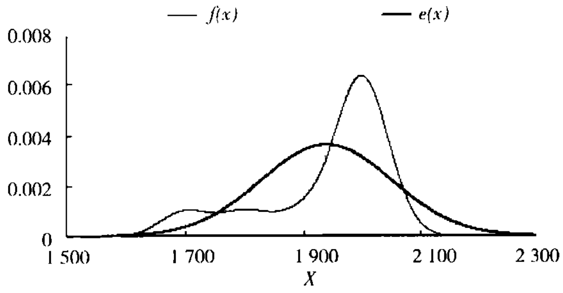

图 1　X 的分布密度函数(例 1)

Fig. 1 Density function of X (example 1)

由图 1 可以看出本例中 X 的分布不近似于正态分布,因此用正态分布来作为 X 的分布不一定可行. 在分析季节性产品的库存决策问题时,研究者经常分析市场需求是否能用正态分布近似的问题[13,14],文献[15]对这个方面的研究进行了评述.

3　信息不共享情况

下面分析在供应链信息不共享的情况下,零售商的订货决策问题,以及分析信息不共享带来的一些问题.

按命题 1,当供应商及时交付时,零售商面对的市场需求量为 X_0,满足正态分布 $N(n\mu, n\sigma^2)$. 零售商按经典报童模型确定最优订货量,这时供应商给出的批发价为 c_0. 见附录 A,最优订货量为,$Q_0^* = \mu_0 + \phi^{-1}(\lambda_0)\sigma_0$. 基中 $\lambda_0 \triangleq \dfrac{p+r-c_0}{p+r-s}$. 由附录 A,B,易知零售商的最大期望利润为

$$EP_{R0} = (p-s)\mu_0 - (c_0 - s)Q_0^* - (p+r-s)\sigma_0 b_r\left(\frac{Q_0^* - \mu_0}{\sigma_0}\right)$$

其中,$b_r(Q) \triangleq \int_Q^{+\infty}(x-Q)\phi(x)\mathrm{d}x$ 表示标准正态损失函数.

由命题 2 可知,当交付时间等于 y 时,零售商将面对 $n-y$ 个单位时间段内的需求 X_y. 记 $\Theta(Q, y)$ 为交付时间等于 y 时零售商的期望收益函数. 这里考虑在没有信息共享的情况下,供应商按满足零售商在及时交付时的最大期望利润不变的机制设定批发价格. 当 $y>0$ 时,批发价 $c_1(y)$ 满足方程:$\Theta(Q_0^*, y) = EP_{R0}$. 由附录 A 中式(16)有,

$$(p+r-s)\left(\int_{-\infty}^{Q_0^*} x f_y(x)\mathrm{d}x - Q_0^* F_y(Q_0^*)\right) + (p+r-c_1(y))Q_0^* - r\mu_y = EP_{R0} \tag{6}$$

由式(6)和附录 B 得到批发价的计算公式

$$\begin{aligned}
c_1(y) &= p - \frac{1}{Q_0^*}\Big[EP_{R0} + (p-s)\int_{-\infty}^{Q_0^*}(Q_0^* - x)f_y(x)\mathrm{d}x + r\Big(\mu_y - Q_0^* + \int_{-\infty}^{Q_0^*}(Q_0^* - x)f_y(x)\mathrm{d}x\Big)\Big] \\
&= p - \frac{1}{Q_0^*}\Big[EP_{R0} + (p-s)\int_{-\infty}^{Q_0^*}(Q_0^* - x)f_y(x)\mathrm{d}x + r\int_{Q_0^*}^{+\infty}(x - Q_0^*)f_y(x)\mathrm{d}x\Big] \\
&= p - \frac{1}{Q_0^*}\Big[EP_{R0} + (p-s)(Q_0^* - \mu_y) + (p+r-s)\int_{Q_0^*}^{+\infty}(x - Q_0^*)f_y(x)\mathrm{d}x\Big] \\
&= p - \frac{1}{Q_0^*}\Big[EP_{R0} + (p-s)(Q_0^* - \mu_y) + (p+r-s)\sigma_y b_r\Big(\frac{Q_0^* - \mu_y}{\sigma_y}\Big)\Big]
\end{aligned} \tag{7}$$

由于 $\int_{-\infty}^{Q_0^*}(Q_0^* - x)f_y(x)\mathrm{d}x > 0$, $\int_{Q_0^*}^{+\infty}(x - Q_0^*)f_y(x)\mathrm{d}x > 0$ 显然成立,因此由式(7)知对任意固定的 y 有 $c_1(y) < p$.

在供应商设定的批发价机制的基础上,可以得出供应商的最大期望利润

$$\begin{aligned}
EP_{M0} &= Q_0^*\Big[\sum_{y=1}^{T_2}(c_1(y) - k)g(y) + \sum_{y=T_1}^{0}(c_0 - k + hy)g(y)\Big] \\
&= Q_0^*\sum_{y=1}^{T_2}c_1(y)g(y) + hQ_0^*\sum_{y=T_1}^{0}yg(y) + c_0Q_0^*\sum_{y=T_1}^{0}g(y) - kQ_0^*
\end{aligned}$$

将 $c_1(y)$ 代入上式得到

$$\begin{aligned}
EP_{M0} = {} & (pQ_0^* - EP_{R0})\sum_{y=1}^{T_2}g(y) - \sum_{y=1}^{T_2}\Big[(p-s)(Q_0^* - \mu_y) + \\
& (p+r-s)\ \sigma_y b_r\Big(\frac{Q_0^* - \mu_y}{\sigma_y}\Big)\Big]g(y) +
\end{aligned}$$

$$hQ_0^*\sum_{y=T_1}^{0}yg(y)+c_0Q_0^*\sum_{y=T_1}^{0}g(y)-kQ_0^* \quad (8)$$

记信息不共享的情况下，供应链的利润总量为 $EP_{SC0}=EP_{R0}+EP_{M0}$.

由附录 B 知，标准正态损失函数容易计算，这样使得以上所有最优解的计算也很简单. 下面给出一个数值示例.

例 2 设某产品供应商交付时间的分布及销售季节的需求按例 1 中给出. 产品的销售参数为：$p=15$, $c_0=10$, $r=1$, $s=1$，设 $k=5$, $h=0.05$.

容易求出及时交付时供应链的服务水平 $\lambda_0=0.4$. 当信息不共享时，零售商的最优订货量为 $Q_0^*=1\ 988$，零售商的最大期望利润为 $EP_{R0}=9\ 741$.

如果供应商的交付时间 $y>0$，为了保证零售商的期望利润 EP_{R0} 不变，那么供应商给出的批发价格为 $c_1(1)=9.48$, $c_1(2)=8.77$, $c_1(3)=8.07$. 这样可以求出供应商的期望利润 $EP_{M0}=9\ 122$. 供应链的期望总利润为 $EP_{SC0}=18\ 863$.

下面分析在信息不共享的情况下，供应链出现的一些问题：

首先，供应商承担所有由交付时间不确定引起的损失. 由于供应商交付时间不确定性信息没有共享，零售商的订货量按没有出现延迟交付情况的最大期望利润给出，这时供应商将承担所有由交付时间不确定引起的损失. 该损失包括两部分：一是在交付延迟的情况下，由于没有满足顾客需求而引起的损失，另一个是在早于销售季节开始交付的情况下，库存保管等费用的支出.

其次，零售商的订货量不一定是最优订货量. 在信息不共享的情况下，零售商按照需求量 X_0 给出订货量. 但是由于在有交付时间不确定的情况下，真实的市场需求为 X，它与交付时间 Y 相关. 那么，零售商的订货量 Q_0^* 就不一定是最优订货量.

另外，供应商的利润有可能为负. 由于供应商必须保证零售商的利润不会由于交付时间的不确定而改变，供应商必须在交付延迟的情况下，以降低批发单价的形式补偿零售商由于没有满足市场需求带来的销售损失. 在有些情况下，供应商的期望利润可能为负数. 例如，在例 2 中如果供应商的生产费用为 $k=8$，在其他参数不变的条件下，供应商的期望利润 $EP_{M0}=-232$. 那么供应商就不会接受零售商的订货而退出这次交易.

从上面的分析可以看出，在信息不共享的情况下，供应链是低效率的. 下面从信息共享而无协调订货和信息共享协调订货两个方面来分析这种供应链管理问题.

4 信息共享无协调策略情况

当供应商将交付时间的不确定性信息传送给零售商以后，零售商根据交付时间 Y 的分布情况，分析得出市场需求 X 的分布情况，(由式(2)，(3)给出). 当没有协调策略时，零售商的订货量按最大化自身期望利润给出. 这里同样考虑供应商的批发价订价机制为保证零售商在及时交付情况下的最大期望利润不变. 设供应商给出的批发价为 c_2，零售商的期望收益为

$$EP_{R2}(Q)=(p+r-s)\left(\int_{-\infty}^{Q}xf(x)\mathrm{d}x-QF(Q)\right)+(p+r-c_2)Q-r\mu_X$$

那么最优订货量 Q_2^* 满足下式

$$F(Q_2^*)=\lambda_2=\frac{p+r-c_2}{p+r-s} \quad (9)$$

相应地零售商的最大期望利润为

$$\begin{aligned}EP_{R2}&=(p+r-s)\left(\int_{-\infty}^{Q_2^*}xf(x)\mathrm{d}x-Q_2^*F(Q_2^*)\right)+(p+r-c_2)Q_2^*-r\mu_X\\&=(p+r-s)\sum_{y=T_1}^{0}g(y)\int_{-\infty}^{Q_2^*}xf_0(x)\mathrm{d}x+\\&\quad(p+r-s)\sum_{y=1}^{T_2}\left(\int_{-\infty}^{Q_2^*}xf_y(x)\mathrm{d}x\right)g(y)-r\mu_X\\&=(p-s)\mu_X-(c_2-s)Q_2^*-(p+r-s)\sigma_0\sum_{y=T_1}^{0}g(y)b_r\left(\frac{Q_2^*-\mu_0}{\sigma_0}\right)-\\&\quad(p+r-s)\sum_{y=1}^{T_2}\sigma_yb_r\left(\frac{Q_2^*-\mu_y}{\sigma_y}\right)g(y)\end{aligned} \quad (10)$$

下面分析供应商的批发价 c_2 的求解方法. 从上面描述的供应商的定价机制，批发价 c_2 满足 $EP_{R2}(c_2)=EP_{R0}$. 由式(10)可知

$$\frac{\mathrm{d}EP_{R2}(c_2)}{\mathrm{d}c_2}=(p+r-s)\sum_{y=T_1}^{0}g(y)\times$$

$$Q_2^*(c_2)f_0(Q_2^*(c_2))\frac{\mathrm{d}Q_2^*(c_2)}{\mathrm{d}c_2}+$$
$$(p+r-s)\sum_{y=1}^{T_2}(Q_2^*(c_2)\times$$
$$f_y(Q_2^*(c_2))g(y))\frac{\mathrm{d}Q_2^*(c_2)}{\mathrm{d}c_2}$$

又由式(9)可以求出

$$\frac{\mathrm{d}Q_2^*(c_2)}{\mathrm{d}c_2}=-\frac{1}{(p+r-s)f(Q_2^*(c_2))}<0.$$

因此有$\frac{\mathrm{d}EP_{R2}(c_2)}{\mathrm{d}c_2}<0$. 那么 $EP_{R2}(c_2)-EP_{R0}$ 关于c_2单调下降,可以用一元搜索方法求解c_2. 在求解过程中必须注意:在每一步迭代中,给定一个新的批发价 c_2,需要更新最优订货量 Q_2^* 的值,然后代入计算 $EP_{R2}(c_2)$ 的函数值. 本文下面的算例中使用二分法迭代求解. 得到了供应商的批发价 c_2 以后,就可以求出供应商的期望利润

$$EP_{M2}=Q_2^*\left[\sum_{y=1}^{T_2}(c_2-k)g(y)+\sum_{y=T_1}^{0}(c_2-k+hy)g(y)\right]$$
$$=(c_2-k)Q_2^*+hQ_2^*\sum_{y=T_1}^{0}yg(y)$$

这样得到信息共享无协调情况下供应链的最大期望总利润

$$EP_{SC2}=EP_{R2}+EP_{M2}.$$

例3　设供应链的所有参数与例2中参数相同. 若批发价格 c_2 也保持与 c_0 相同,那么最优订货量为1 955,相应的零售商的最大期望利润为9 051,供应商的利润为9 688.

当供应商设定的批发价保证零售商的期望利润时,按上面给出的方法可以容易求解得到批发价 $c_2=9.647\,5$,最优订货量为 $Q_0^*=1\,961$. 可以求得供应商的利润为 $EP_{M2}=9\,023$. 供应链的期望总利润为 $EP_{SC2}=18\,738$.

由例2和例3可以看出,信息共享以后,若不采用协调策略,供应链的期望总利润与没有信息共享的期望利润相差无几,这一点引起了分析信息共享的价值与局限的必要性.

5　信息共享协调情况

当供应链成员仅仅考虑最大化自身的目标时,供应链成员的行动与供应链的总体目标不相一致,供应链的总体绩效往往较低,很难达到供应链的最优绩效(Optimal Supply Chain Performance). 研究指出,通过形成某种形式的转移支付(Transfer Payment)合同,使供应链成员的目标与供应链的总体目标相一致,就可以达到供应链的最优绩效,这里称之为供应链协调,其中的转移支付合同称之为协调策略(Coordinating Strategy或Coordinating Contracts). 文献[8]回顾了在不同的供应链背景环境中,一些可行的协调策略.

当供应链信息共享时,供应链得到含有交付时间不确定性信息的随机市场需求 X,分布函数为 $F(x)$,那么在订货决策过程中,若订货量为 Q,由附录A易得供应链的期望收益函数

$$EP_{SC1}(Q)=(p+r-s)\left(\int_{-\infty}^{Q}xf(x)\mathrm{d}x-QF(Q)\right)+(p+r-k)Q-r\mu_X+hQ\sum_{y=T_3}^{0}yg(y)\tag{11}$$

由于

$$\frac{\mathrm{d}EP_{SC1}(Q)}{\mathrm{d}Q}=-(p+r-s)F(Q)+(p+r-k)+h\sum_{y=T_1}^{0}yg(y)$$

$$\frac{\mathrm{d}^2EP_{SC1}(Q)}{\mathrm{d}Q^2}=-(p+r-s)f(Q)<0$$

那么对于整个供应链来说,最优的订货量 Q_1^* 满足

$$F(Q_1^*)=\lambda_1=\frac{p+r-k+h\sum_{y=T_1}^{0}yg(y)}{p+r-s}$$

由于分布函数 $F(\cdot)$ 单调递增,容易一维搜索方法求解最优订货量 Q_1^*(本文在算例中都采用最简单的二分法). 当求出最优订货量 Q_1^* 以后,由式(11)就可以得到信息共享协调情况下,供应链的最大期望利润.

$$EP_{SC1}=(p+r-s)\left(\int_{-\infty}^{Q_1^*}xf(x)\mathrm{d}x-Q_1^*F(Q_1^*)\right)+(p+r-k)Q_1^*-r\mu_X+hQ_1^*\sum_{y=T_1}^{0}yg(y)$$
$$=(p+r-s)\sum_{y=T_1}^{0}g(y)\int_{-\infty}^{Q_1^*}xf_0(x)\mathrm{d}x+$$

$$(p+r-s)\int_{-\infty}^{Q_1^*}\Big(\sum_{y=1}^{T_2}f_y(x)g(y)\Big)\mathrm{d}x-$$
$$(p+r-s)\ Q_1^*F_0(Q_1^*)\ \sum_{y=T_1}^{0}g(y)-$$
$$(p+r-s)Q_1^*\sum_{y=1}^{T_2}F_y(Q_1^*)g(y)+$$
$$(p+r-k)Q_1^*-r\mu_X+hQ_1^*\sum_{y=T_1}^{0}yg(y)$$
$$=(p-s)\mu_X-(k-s)Q_1^*-(p+r-s)\sigma_0\times$$
$$\sum_{y=T_1}^{0}g(y)b_r\Big(\frac{Q_1^*-\mu_0}{\sigma_0}\Big)-(p+r-s)\times$$
$$\sum_{y=1}^{T_2}\sigma_y b_r\Big(\frac{Q_1^*-\mu_y}{\sigma_y}\Big)g(y)+hQ_1^*\sum_{y=T_1}^{0}yg(y) \tag{12}$$

下面借鉴文献[8]中的分析方法,分析回购策略能否协调含有交付时间不确定性的供应链. 在分析供应链策略能否协调供应链时,主要分析供应链策略的支付参数设计能否满足:1)供应链成员在分散决策时的最优决策解(本文中为最优订货量)与供应链达到协调时的最优解相等;2)供应链各个成员都接受协调后的利润分配.

在回购策略中,供应商收取零售商的批发价为 c,并且在销售季节过后对未售出的商品予以回购,设回购单价为 b. 那么易知零售商的期望利润函数为[8],

$$EP_{\mathrm{R}}(Q,c,b)=(p+r-b)\Big(\int_{-\infty}^{Q}xf(x)\mathrm{d}x-$$
$$QF(Q)\Big)+(p+r-c)Q-r\mu_X.$$

那么在含有回购策略的供应链中,当零售商单独决策时的最优订货量 Q_{BB}^* 必须满足

$$F(Q_{BB}^*)=\frac{p+r-c}{p+r-b}$$

考虑回购策略的参数集 $\{c,b\}$,若使得对某个 $\beta\geqslant 0$,有

$$p+r-b=\beta(p+r-s),$$
$$p+r-c=\beta(p+r-k+h\sum_{y=T_1}^{0}yg(y)).$$

那么当采用满足上式的参数集 $\{c,b\}$ 以后,零售商的期望利润函数满足

$$EP_{\mathrm{R}}(Q,c,b)=\beta EP_{\mathrm{SC1}}(Q)-(1-\beta)r\mu_X.$$

由上式可知,零售商的最优订货量 Q_{BB}^* 等于供应链协调订货时的最优订货量 Q_1^*. 相应的供应商的利润函数为

$$EP_{\mathrm{M}}(Q_1^*,c,b)=EP_{\mathrm{SC1}}(Q_1^*)-EP_{\mathrm{R}}(Q_1^*,c,b)$$
$$=(1-\beta)(EP_{\mathrm{SC1}}(Q_1^*)+r\mu_X).$$

因此,当 $0\leqslant\beta<1$ 时,供应商将参与交易. 设 β_0 使 $EP_{\mathrm{R}}(Q_1^*,c,b)=EP_{\mathrm{R0}}$. 显然零售商的期望利润与参数 β 单调增加,则当 $\beta_0\leqslant\beta<1$ 时,供应链成员都将自愿采用回购策略. 因此,回购策略能协调含有交付时间不确定性的供应链. 文献[8]分析指出,有多种策略能协调标准形式的二层供应链. 限于本文的篇幅,这里不再分析其他形式的策略. 在这里,回购策略已经充分说明了可以采用协调策略来使供应链的绩效最大化.

6 信息共享和协调策略的价值与局限

得到了在不同信息结构中供应链的最优解后,这里首先用数值分析的方法,分析信息共享在含交付时间不确定性供应链中的价值与局限. 表2给出数值分析中参数的各种取值. 在数值计算时,分析每种取值组合的解,然后分析解的变化规律,这样表2中所有满足条件($p>c_0>k$)的取值组合,共有15 840个.

表2　参数值

Table 2 Parameter Values

参　数	取　　值
市场需求	$n=20,\mu=100,\sigma=10$
交付时间	$y=[-N,N],g(y)=1/(2N+1),N=1,\cdots,10$
零售单价(p)	135,145,155
批发单价(c_0)	100,110,120,130
生产支出(k)	85,95,105
缺货惩罚(r)	$0,0.3k,0.6k,0.9k$
挽回价值(s)	$0,0.3k,0.6k,0.9k$
库存费用(h)	$0.01k,0.001k,0.000\,1k$

为了分析的方便,交付时间的取值是关于0对称的,并且相应的概率相等. 这种取值方式的设计反映了交付时间不确定性程度的不同. 在数值分析中发现,在各种不同取值组合中,供应链成员中的一方或两方的期望利润可能为负值(信息共享与不共享中均出现). 当供应商的期望利润为负时,供应商不会接受零售商的订货与配送,当零

售商的期望利润为负时，零售商不会订货，那么在这些情况中，供应链的交易不会实现. 当剔除这些特殊情况以后，余下 13 753 个可行示例.

图2给出了当 N 取不同值时，有信息共享供应链的总利润 EP_{SC2} 大于无信息共享供应链的总利润 EP_{SC0} 的示例数占相应可行示例总数的比率. 由于当 N 的取值越大时，交付时间的不确定程度越高，那么从图2中可以看出，虽然信息共享不一定能使供应链的绩效改进，但是当交付时间不确定性增加时，信息共享能提高供应链绩效的可能性增大.

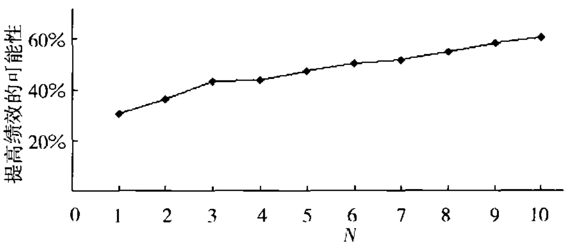

图2 信息共享与供应链绩效提高的可能性

Fig. 2 Percentage of supply chain performance improving with information sharing

图3中给出了信息共享后供应链利润增加的比率($(EP_{SC2}/EP_{SC0} - 1) \times 100\%$)的规律图，这个比率值在 -25.81% 至 51.02% 中变化，均值为 -0.68%. 在可行示例中 $EP_{SC2} > EP_{SC0}$ 的情况出现 4 155 次，$EP_{SC2} < EP_{SC0}$ 的情况出现 9 598 次.

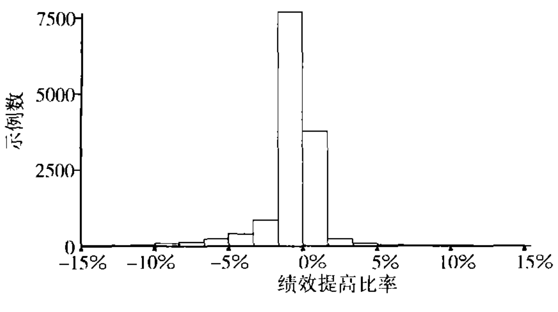

图3 信息共享对供应链绩效提高的比率(无协调策略)

Fig. 3 Supply chain performance improving with information sharing (without coordination strategy)

供应商由于需要满足零售商的期望利润，那么它的期望利润与供应链的利润变化规律相一致. 又因为供应链的总利润在信息共享后不一定提高，因而，信息共享不一定提高供应商的期望利润，在交付时间不确定性程度增加时信息共享能使供应链绩效提高的可能性增加.

上面所有的数值分析结果都说明了信息共享不一定使供应链的绩效改进. 表明虽然供应链的所有成员都得到了全部信息，若在追求各自利润最大化的同时却没有考虑供应链系统的总体利益的时候，供应链的绩效将不一定得到改进. 这体现了信息共享的局限性.

供应链的协调理论指出，在供应链成员之间达成某种形式的转移支付合同，就能使供应链成员的决策结果与供应链的总体目标相同，从而得到供应链的最优绩效. 以下命题证明了协调后的供应链期望利润比仅有信息共享的情况要大，这一点说明了协调策略在含交付时间不确定性的供应链中的价值.

命题3 供应链信息共享的条件下，协调订货策略能提高供应链的总利润，即：

$$EP_{SC1} \geqslant EP_{SC2}. \tag{13}$$

证明： 由于在信息共享但不协调订货的情况下，供应链的利润总和为：

$$\begin{aligned} EP_{SC2} &= EP_{R2} + EP_{M2} \\ &= (p + r - s)\sum_{y=T_1}^{0} g(y)\int_{-\infty}^{Q_2^*} xf_0(x)\,\mathrm{d}x + \\ &\quad (p + r - s)\sum_{y=1}^{T_2}\left(\int_{-\infty}^{Q_2^*} xf_y(x)\,\mathrm{d}x\right)g(y) - \\ &\quad r\mu_X + (c_2 - k)Q_2^* - hQ_2^*\sum_{y=T_1}^{0} yg(y) \end{aligned} \tag{14}$$

又由式(3)，(9)可得

$$\begin{aligned} &-(p + r - s)Q_2^* F_0(Q_2^*)\sum_{y=T_1}^{0} g(y) - \\ &\quad (p+r-s)Q_2^*\sum_{y=1}^{T_2} F_y(Q_2^*)g(y) + (p+r-k)Q_2^* \\ &= -(p + r - s)Q_2^* F(Q_2^*) + (p + r - k)Q_2^* \\ &= -(p + r - c_2)Q_2^* + (p + r - k)Q_2^* \\ &= (c_2 - k)Q_2^* \end{aligned}$$

那么由上式，式(14)及式(12)可得

$$EP_{SC2} = EP_{SC1}(Q_2^*) \leqslant EP_{SC1}(Q_1^*) = EP_{SC1}.$$

那么命题成立.

上面的分析发现，仅仅只有信息共享而没有采用某种协调策略时，供应链的绩效不一定改进. 在上面的分析指出，采用协调策略能够达到供应链的最优绩效. 这时就让我们想到，如果"采用协调策略供应链的总利润比没有信息共享的总利润高"成立，那么就能说明采用协调策略是提高供应链

的整体绩效的有效方法，下面的命题论证这一点.

命题 4 采用信息共享和协调订货策略订货后，供应链的期望总利润大于没有信息共享供应链期望总利润，即：

$$EP_{\mathrm{SC1}} \geqslant EP_{\mathrm{SC0}}. \tag{15}$$

证明： 由于无信息共享供应链的最大期望利润函数为：

$$\begin{aligned}
EP_{\mathrm{SC0}} &= pQ_0^* \sum_{y=1}^{T_2} g(y) + EP_{\mathrm{R0}} \sum_{y=T_1}^{0} g(y) - \\
&\quad hQ_0^* \sum_{y=T_1}^{0} yg(y) + c_0 Q_0^* \sum_{y=T_1}^{0} g(y) - kQ_0^* - \\
&\quad (p-s) \sum_{y=1}^{T_2} (Q_0^* - \mu_y) g(y) - (p+r-s) \times \\
&\quad \sum_{y=1}^{T_2} \int_{Q_0^*}^{+\infty} (x - Q_0^*) f_y(x) \mathrm{d}x g(y) \\
&= pQ_0^* \sum_{y=1}^{T_2} g(y) + (p+r-s) \int_{Q_0^*}^{+\infty} (x - \\
&\quad Q_0^*) f_0(x) \mathrm{d}x \sum_{y=T_1}^{0} g(y) + (p+r-c_0) Q_0^* \times \\
&\quad \sum_{y=T_1}^{0} g(y) - r\mu_0 \sum_{y=T_1}^{0} g(y) - hQ_0^* \times \\
&\quad \sum_{y=T_1}^{0} yg(y) + c_0 Q_0^* \sum_{y=T_1}^{0} g(y) - kQ_0^* - \\
&\quad (p-s) \sum_{y=1}^{T_2} (Q_0^* - \mu_y) g(y) - \\
&\quad (p+r-s) \sum_{y=1}^{T_2} \int_{Q_0^*}^{-\infty} (x - Q_0^*) f_y(x) \mathrm{d}x g(y)
\end{aligned}$$

由于 $\mu_X = \mu_0 \sum_{y=T_1}^{0} g(y) + \sum_{y=1}^{T_2} \mu_y g(y)$，且

$$\mu_y - Q_0^* + \int_{Q_0^*}^{+\infty} (x - Q_0^*) f_y(x) \mathrm{d}x = \int_{-\infty}^{Q_0^*} (x - Q_0^*) f_y(x) \mathrm{d}x$$

可以得到

$$\begin{aligned}
EP_{\mathrm{SC0}} &= (p+r-s) \sum_{y=T_1}^{0} g(y) \int_{-\infty}^{Q_0^*} x f_0(x) \mathrm{d}x + \\
&\quad (p+r-s) \int_{-\infty}^{Q_0^*} \Big(\sum_{y=1}^{T_2} f_y(x) g(y) \Big) \mathrm{d}x - \\
&\quad (p+r-s) Q_0^* F_0(Q_0^*) \sum_{y=T_1}^{0} g(y) - \\
&\quad (p+r-s) Q_0^* \sum_{y=1}^{T_2} F_y(Q_0^*) g(y) + \\
&\quad (p+r-k) Q_0^* - r\mu_X - hQ_0^* \sum_{y=T_1}^{0} yg(y) \\
&= EP_{\mathrm{SC1}}(Q_0^*).
\end{aligned}$$

由于最大期望利润满足 $EP_{\mathrm{SC1}} = EP_{\mathrm{SC1}}(Q_1^*) \geqslant EP_{\mathrm{SC1}}(Q_0^*)$. 因此 $EP_{\mathrm{SC1}} \geqslant EP_{\mathrm{SC0}}$ 成立.

下面我们给出一个算例来说明以上结论. 设供应链中市场需求参数、交付时间不确定性参数和销售参数与例 2 相同. 例 3 指出，仅仅采用信息共享而不使用协调策略，供应链的总利润比没有信息共享时的总利润小. 若我们使用回购策略，这时不难计算得出供应链的总利润为 $EP_{\mathrm{SC1}} = 19\ 890$，它要大于没有信息共享和仅有信息共享时的总利润.

为了进一步地理解协调策略在含有交付时间不确定性供应链中的作用和价值，下面同样使用数值分析的方法来分析模型中参数的各种取值的组合变化来得到其中的主要变化规律. 在分析协调策略的价值时，这里分析采用协调策略后利润提高比率的变化规律，即分析值（$(EP_{\mathrm{SC1}}/EP_{\mathrm{SC2}} - 1) \times 100\%$）的分析规律. 从示例的计算结果可知，供应链的利润增加的比例在0%至36.34%中变化，其均值为1.26%. 图4 给出了汇总后的取值变化规律.

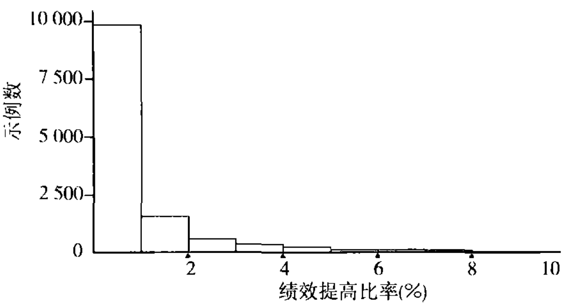

图 4 协调策略对供应链绩效提高的比率

Fig. 4 Supply chain performance increasing with coordination

由上图不难发现，协调策略对供应链的绩效提高有较大的作用. 在采用协调策略以后，虽然供应链的成员仍以最大化自身收益为目标，但是这时的行动却将与供应链的总体目标相一致，能够达到最优绩效的目标，这些都说明了协调策略的巨大价值，也为供应链的一体化管理提供了理论参考依据.

7 结 论

在本文的研究中，考虑了含有交付时间不确

定性的季节性产品供应链. 在现实商业的运作中，供应链管理者可能会经常遇到这种交付时间不确定性问题，它们的起因可能是各种各样的，比如说供应商的物料供应问题可能经常引起制造商的生产减缓或停滞，从而使交付延期；物流承运商的运输时间的不确定性也是交付时间不确定性的一个因素之一. 并且供应商的交付时间经常很难完全控制. 这种交付时间不确定性信息经常为供应商所独有，是一种私有信息，这种信息不对称问题是供应链管理中经常需要面对的问题. 在现代信息技术的快速发展的环境中，使管理者能够越来越多的共享这种交付时间不确定信息.

本文的研究与以往关于信息共享的研究工作有一个重要的不同之处. 我们的研究仔细考虑了供应链中信息的结构，区分了公共信息和私有信息，并且考虑了信息共享后的供应链的总信息. 从而使我们能非常清晰的刻画在不同信息结构条件下的市场需求. 这样就能用数学分析方法研究在不同信息结构下市场的需求分布，并用来分析在供应链信息不共享、信息共享无协调、信息共享协调三种情况下的供应链的期望收益函数，供应链的最优解的计算也变得很容易.

通过本文的研究发现，仅仅采用信息共享不一定能提高供应链的总利润，但是存在供应链策略能协调这种含有交付时间不确定性的供应链，采用某种协调策略能够弥补信息共享的不足，使供应链的总利润达到最大化. 信息共享协调后的供应链的总利润比无信息共享和仅有信息共享的总利润都要高. 本文从理论上给供应链的管理实践提供了理论依据.

附录 A：经典报童模型的最优解

设零售商面对随机市场需求量 X 满足的分布函数为 $F(x)$，那么在订货决策过程中，若零售商的订货量为 Q 时，零售商的期望收益函数为[8]：

$$\Theta(Q)=(p+r-s)\left(\int_{-\infty}^{Q}xf(x)\mathrm{d}x-QF(Q)\right)+(p+r-c)Q-r\mu. \tag{16}$$

容易知道最优订货量 Q^* 满足 $F(Q^*)=\lambda$，其中 $\lambda\triangleq=\frac{p+r-c}{p+r-s}$，在库存管理中称为服务水平. 若需求量 X 满足正态分布 $N(\mu_X,\sigma_X^2)$，最优订货量为 $Q^*=\mu_X+\Phi^{-1}(\lambda)\sigma_X$. 相应的，零售商的最大期望利润为，

$$EP_{\mathrm{R}}=(p-c)\mu_X-\Big((c-s)\Phi^{-1}(\lambda)+(p+r-s)b_r(\Phi^{-1}(\lambda))\Big)\sigma_X.$$

附录 B：一般正态分布的损失函数的计算

设 $f_y(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y}e^{-\frac{(x-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}}$，那么一般正态分布的损失函数为，

$$\begin{aligned}\int_Q^{+\infty}(x-Q)f_y(x)\mathrm{d}x&=\int_Q^{+\infty}(x-Q)\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_y}e^{-\frac{(x-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}}\mathrm{d}x\\&=\int_{\frac{Q-\mu_y}{\sigma_y}}^{+\infty}(\mu_y+\sigma_y z-Q)\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{z^2}{2}}\mathrm{d}z\\&=\sigma_y\int_{\frac{Q-\mu_y}{\sigma_y}}^{+\infty}\left(z-\frac{Q-\mu_y}{\sigma_y}\right)\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{z^2}{2}}\mathrm{d}z\\&=\sigma_y b_r\left(\frac{Q-\mu_y}{\sigma_y}\right)\end{aligned}$$

有一些概率论书籍给出了标准正态损失函数 $b_r(y)$ 的查询表，但是它的计算也可以很容易用标准正态分布的密度和分布函数计算得出：

$$\begin{aligned}b_r(Q)&=\int_Q^{+\infty}(x-Q)\phi(x)\mathrm{d}x\\&=-\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_Q^{+\infty}e^{-\frac{x^2}{2}}\mathrm{d}\left(-\frac{x^2}{2}\right)-Q\int_Q^{+\infty}\phi(x)\mathrm{d}x\\&=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{Q^2}{2}}-Q(1-\Phi(Q))\\&=\phi(Q)-Q(1-\Phi(Q))\end{aligned}$$

参 考 文 献：

[1]Weng Z K, McClurg T. Coordinated ordering decisions for short life cycle products with uncertainty in delivery time and demand[J]. European Journal of Operational Research, 2003, 151: 12—24.

[2]Lau A H-L, Lall H-L. Some two-echelon style-goods inventory models with asymmetric market information[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 134: 29—42.

[3]李　刚，夏玉森，汪寿阳，等. 信息共享在供应链中的价值，运筹学与系统工程新进展[M]. 北京：科学出版社，2002.

Li Gang, Xia Yusheng, Wang Shouyang, *et al.* The Value of Information Sharing in Supply Chains, New Advances in Operation Research and System Enginneering[M]. Beijing: Science Press, 2002. (in Chinese)

[4]Lee H L, Padmanabhan P, Whang S. Information distortion in a supply chian: The bullwhip effect[J]. Management Science, 1997, 43: 546—558.

[5]达庆利，张 钦，沈厚才. 供应链中牛鞭效应问题研究[J]. 管理科学学报，2003，6(3)：86—93.

Da Qing-li, Zhang Qin, Sheng Hou-cai. Study on bullwhip effect in supply chain[J]. Journal of Management Sciences in China, 2003, 6(3): 86—93. (in Chinese)

[6]Lee H L, So K C, Tang C S. The value of information sharing in a two-level supply chain[J]. Management Science, 2000, 46(5): 626—643.

[7]陈 冬，顾培亮. 供应链管理若干问题研究与进展评述[J]. 系统工程理论与实践，2003，23(10)：1—11.

Cheng Dong, Gu Pei-liang. Overview of the theory, methodology, application and the likely new aspects of supply chain management[J]. Systems Engineering—Theory and practice, 2003, 23(10): 1—11.

[8]Cachon G P. Supply Chain Coordination with Contracts. Handbooks in Operations Research and Management Science: Supply Chain Management[M]. North Holland: Edited by Steve Graves and Ton de Kok. 2003.

[9]Padmanabhan V, Png I P L. Manufacturer's returns policies and retail competition[J]. Marketing Science, 1997: 81—94.

[10]Tsay A A. Managing retail channel overstock: Markdown money and return policies[J]. Journal of Retailing, 2001, 77: 457—492.

[11]Grimmtt G R, Stirzaker D R. Probability and Ramdon Process[M]. Second Edition, New York: Oxford University Press. 1992.

[12]费勒 W. 概率论及其应用[M]. 北京：人民邮电出版社，2006.

Feller W. An Introduction to Probability Theory and Its Applications[M]. Beijing: Posts & Telecom Pross, 2006. (in Chinese)

[13]Eppen G D, Martin R K. Determinning safety stock in the presenese of stochastic lead time and demand[J]. Management Science, 1998, 34(11): 1380—1390.

[14]Ray S, Jewkes E M. Customer lead time management when both demand and price are lead time sensitive[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 153: 769—781.

[15]Silver E A, Pyke D F, Peterson R. Inventory Management and Production Planning and Scheduling[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1998.

Research on coordination contacts in supply chains with uncertainty of delivery lead-time

LU Qi-hui, ZHU Dao-li

School of Management, Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract: In this paper, we analyze the seasonal products supply chain with uncertainty in delivery lead-time. If supplier's private information about delivery lead-time is shared in the supply chain, then retailer can adjust her order quantity to decrease the sale lost. The supply chain performance would be improved with information sharing. We point out that information sharing can increase the probability of performance of supply chain when the uncertainty of delivery time is larger. But it isn't sure that supply chain performance will be improved with information sharing. Then there exists value and limitation of information sharing in this type of supply chain. Under further analysis, we find that there exist supply chain contracts which can coordinate this kind of supply chain with delivery uncertainty and lead to the optimal supply chain performance. The coordination contracts can efficiently get rid of the limits of information sharing.

Key words: supply chain; information sharing; coordination; delivery lead time; newsvendor model