

具有不确定交货期的供应链协调及效率研究

何楠

(上海交通大学 中美物流研究院, 上海 200240)

摘要:研究了制造商和销售商组成的二级供应链管理,销售商在有固定长度的销售季节内面临不确定性需求,制造商由于各种不可控因素交货期不能保证。文章建立了交货期延迟情形下制造商对销售商进行收益一致性补偿的模型,对比了分散决策与集中决策下的最优订货量和收益变化。通过算例仿真与数值求解,重点分析了制造商与销售商在应对需求与交货期不确定时,各种不同条件下供应链协调的效率,为企业决策提供理论支持。

关键词:交货期不确定性;供应链管理;一致性补偿;协调效率

中图分类号:F274 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2013)03-0094-06

在当前全球化市场竞争的环境下,企业之间的竞争由单纯产品质量、性能方面的竞争转向所在供应链之间的竞争。供应链管理^[1-3]是涉及协作和决策的复杂工程,其目的是为了提高制造商、销售商和顾客组成的供需网络的整体收益和效率。制造商和销售商组成的供应链系统面临的一个主要挑战就是如何在整个销售周期中,处理随机需求^[4]和不确定交货期^[5]的问题。不确定交货期使得制造商无法按时交货,销售商面临销售损失。当这种情况发生时,典型的行业惯例^[6]是,销售商得到制造商的补偿,用来弥补其销量损失,本文通过引入折扣控制参数建立了销售商的收益一致性模型。现有研究发现,供应链上信息共享与联合决策^[7-8]会提高决策的效率与准确性,使得供应链在满足市场需求时的反应更为迅速,收益有所增加;然而对信息共享与集中决策在各种不同条件下的效率并未考虑。

本文建立了交货期延迟情形下制造商对销售商进行收益一致性补偿的模型,对比了分散决策与集中决策下的最优订货量和收益增加。通过算例仿真与数值求解,重点分析了制造商与销售商在应对需求与交货期不确定时,各种不同条件下供应链协调的优势与局限性,为企业决策提供理论支持。

1 问题描述与符号表述

考虑一个由单一制造商和单一销售商组成的两级供应链系统,其生产和销售一种有相对固定的销售开始时间和结束时间的产品,两企业按照 MTO 模式运作,市场的随机需求只发生在销售商处,销售商和

制造商都是以利润最大化为目标。销售商会在销售季节开始之前选择能够使自己收益最大的订货量进行订货,而且规定的交货期正是销售季节开始的时刻;制造商会尽力在约定的交货期进行交货,但是会由于生产系统和物流系统等某些不可控的因素导致其交货期具有不确定性。如果制造商在交货期之前完成订单,那么制造商需要独自承担从订单完成到销售季节开始这期间的库存成本,如图 1 所示。反之,那么制造商需要补偿销售商因为缺货造成的收益降低。

模型中所应用的符号及其定义如下:

x : 销售商面临的产品随机需求;其中, $f(x)$ 是 x 的概率密度函数, $F(x)$ 是 x 的分布函数;

$E(x)$ 是期望需求;

y : 制造商交货期;其中, $y \leq 0$ 时,制造商按时交货; $y > 0$ 时,制造商延迟交货; $g(y)$ 是制造商交货期的概率密度;

E_b : 独立决策时,销售商的最大期望收益;

E_s : 独立决策时,制造商的最大期望收益;

E_j : 集中决策时,供应链的最大期望收益;

Q : 销售商的订货量;

Q_b : 独立决策时,销售商的订货量;

Q_j : 集中决策时,销售商的订货量;

t : 制造商的单位生产成本;

h : 制造商的单位库存成本;

r : 销售商的单位缺货成本;

s : 销售商的季末单位残值;

p : 销售商销售时的单位产品价格;

收稿日期:2013-01-25

作者简介:何楠(1988-),女,河南商丘人,上海交通大学中美物流研究院,硕士研究生,研究方向:物流与供应链管理。

c_0 :销售商在制造商按时交货时的单位产品批发价格;
 $c(y)$:销售商在制造商延迟交货时的单位产品批发价格;

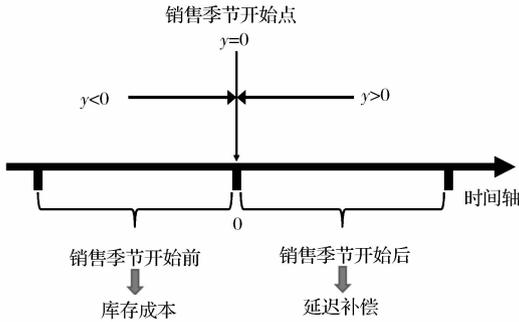


图 1 时间结构图

其中:

- (a)假设需求 x , 交货期 y 都是独立的连续随机变量;
- (b)假设销售商和制造商都在竞争激烈的市场环境下运作, 因此销售商销售时的单位产品价格 p , 销售商的单位产品批发价格 c_0 都是由市场决定。

2 模型分析

2.1 销售商和制造商的分散决策分析

分散决策下, 销售商依据自身收益最大的原则选择订货量。假设制造商的交货期与销售商的订货量无关, 此时销售商的条件收益表示为需求小于订货量与需求大于订货量两情形下的收益之和, 如公式(1)所示:

$$EB(Q | y, y \leq 0) = \int_0^Q [(p - c_0)x - (c_0 - s) * (Q - x)] f(x | y, y \leq 0) dx + \int_Q^\infty [(p - c_0)Q - r(x - Q)] f(x | y, y \leq 0) dx \quad (1)$$

命题 1: 收益模型显然满足“报童模型”^[9], 最优订货量 Q_b^* 满足下式:

$$F(Q_b^* | y, y \leq 0) = \frac{p - c_0 + r}{p - s + r} \quad (2)$$

其中, $p > c_0 > s, r \geq 0$;

销售商的最大期望收益如公式(3)所示:

$$E_b = EB(Q_b^* | y, y \leq 0) = (p - c_0)Q_b^* - r[E(x | y, y \leq 0) - Q_b^*] - (p - s + r) \int_0^{Q_b^*} F(x | y, y \leq 0) dx \quad (3)$$

当制造商延迟交货时, 销售商能够从制造商处获得收益一致性补偿, 即销售商的收益与制造商按时交货时保持一致, 满足 $EB(Q_b^* | y, y > 0) = E_b$ 。本文假设通过对延迟交货时的批发价格进行折扣来实现收益一致性补偿, 折扣后的批发价格 $c(y)$ 如公式(4)所示:

$$c(y) = p - \frac{1}{Q_b^*} [E_b + (p - s + r) \int_0^{Q_b^*} F(x | y, y > 0) dx + r(E(x | y, y > 0) - Q_b^*)] \quad (4)$$

此时销售商的期望收益如公式(5)所示:

$$EB(Q_b^* | y, y > 0) = (p - c(y))Q_b^* - r[E(x | y, y > 0) - Q_b^*] - (p - s + r) \int_0^{Q_b^*} F(x | y, y > 0) dx \quad (5)$$

当销售商选择最优订货 Q_b^* 使得它的期望收益最大前提下, 制造商的目标是在销售季节开始时, 将 Q_b^* 的产品按时交货。由于生产系统和物流系统等某些不可控的因素的存在, 因此制造商的期望收益是其交货期 y 的函数, 制造商的期望收益表示为按时交货与延迟交货两情形下的收益之和, 如下:

$$E_s = Q_b^* \left[\int_0^\infty (c(y) - t)g(y)dy + \int_{-\infty}^0 (c_0 - t + hy)g(y)dy \right] \quad (6)$$

将公式(4)带入式(6)得期望收益如公式(7)所示:

$$E_s = Q_b^* [c_0 - t + (p - c_0 + r - (E_b/Q_b^*)) * \int_0^\infty g(y)dy + h \int_{-\infty}^0 yg(y)dy] - r \int_0^\infty E(x | y, y \leq 0)g(y)dy - (p - s + r) \int_0^\infty \left[\int_0^{Q_b^*} F(x | y, y \geq 0)dx \right] g(y)dy \quad (7)$$

从公式(7)可以看出, 制造商的收益与销售商选择的订货量 Q_b^* 和制造商的实际交货期 y 有关。事实上由于市场价格 c_0 , 交货期 y 和需求 x 的不确定性, E_s 有可能取负值, 此时制造商会拒绝销售商的订单。在大多数情况下, 制造商接受订单并进行生产的条件是: $E_s \geq 0$ 。

在分散决策条件下, 供应链的期望收益是制造商的期望收益与销售商的期望收益之和, 如公式(8)所示:

$$\begin{aligned}
 E_b + E_s &= (p - t + r)Q_b^* \\
 &- r[E(x | y, y \leq 0) + \\
 &\int_0^\infty E(x | y, y > 0)g(y)dy] \\
 &+ hQ_b^* \int_{-\infty}^0 yg(y)dy - \\
 &Q_b^* [(E_b/Q_b^* - p + c_0 - r) \int_0^\infty g(y)dy] \\
 &- (p - s + r) \left[\int_0^{Q_b^*} F(x | y, y \leq 0)dx \right. \\
 &\left. + \int_0^\infty \left[\int_0^{Q_b^*} F(x | y, y > 0)dx \right] g(y)dy \right]
 \end{aligned} \tag{8}$$

2.2 销售商和制造商的集中决策分析

集中决策下,供应链的期望收益 E_J 如公式(9)所示:

$$\begin{aligned}
 E_J &= (p - t + r)Q \\
 &- r[E(x | y, y \leq 0) \int_{-\infty}^0 g(y)dy \\
 &+ \int_0^\infty E(x | y, y \leq 0)g(y)dy] \\
 &- (p - s + r) \left[\int_0^Q F(x | y, y \leq 0)dx \int_{-\infty}^0 g(y)dy \right. \\
 &\left. + \int_0^\infty \int_0^Q F(x | y, y > 0)dxg(y)dy \right] \\
 &+ hQ \int_{-\infty}^0 yg(y)dy
 \end{aligned} \tag{9}$$

命题 2:最优订货量 Q_J^* 满足公式(10)所示:

$$\begin{aligned}
 &\int_0^\infty F(Q_J^* | y, y > 0)g(y)dy + \\
 &\int_{-\infty}^0 F(Q_J^* | y, y \leq 0)g(y)dy \\
 &= \frac{p - t + r + h \int_{-\infty}^0 yg(y)dy}{p - s + r}
 \end{aligned} \tag{10}$$

证明:对 $E_J(Q)$ 求导得

$$\begin{aligned}
 E_J'(Q) &= (p - t + r) - (p - s + r) \\
 &\left[\int_0^\infty F(Q | y, y > 0)g(y)dy \right. \\
 &\left. + F(Q | y, y \leq 0) \int_{-\infty}^0 g(y)dy \right] \\
 &+ h \int_{-\infty}^0 yg(y)dy
 \end{aligned} \tag{11}$$

对 $E_J'(Q)$ 求导得:

$$\begin{aligned}
 E_J''(Q) &= -(p - s + r) \\
 &\left[\int_0^\infty f(Q | y, y > 0)g(y)dy \right. \\
 &\left. + f(Q | y, y \leq 0) \int_{-\infty}^0 g(y)dy \right] < 0
 \end{aligned} \tag{12}$$

因此, $E_J(Q)$ 是上凸函数;

故当 $E_J'(Q) = 0$ 时,求得最优订货量,公式(10)得证。

3 需求服从均匀分布模型拓展研究

模型假设需求服从 $[0, b]$ 的均匀分布,其中 b 表示销售季节的跨度,在不丧失一般性的基础上,假设在一个销售季节的需求为一个单位。制造商的交货期为 y ,此时需求的分布函数为:

当制造商按时交货时,需求的分布函数如公式(13)所示:

$$F(x | y, y < 0) = x/b \tag{13}$$

当制造商延迟交货时,需求的分布函数如公式(14)所示:

$$F(x | y, y \leq 0) = x/(b - y) \tag{14}$$

假设 α 为交货期的敏感系数,其中 $\alpha \in [0, 1]$ 。制造商的实际交货期在 $[-ab, +ab]$ 服从均匀分布。当 α 为 1 时,表示销售商会在销售季节正好结束时收到供应商交货,这时其销售收益为 0。当 α 为 0 时,销售商会在销售季节开始时收到供应商交货,这时其能取得最大期望收益。

通过制造商与销售商之间的成本与需求信息共享,集中决策下的供应链收益会相对于分散决策下的供应链收益增加。

命题 3:当需求服从均匀分布时,集中决策情况下的收益会增加: $a[Q_J^* - Q_b^*]$

其中, $a = [(p - s + r)(1 - \ln(1 - \alpha)/\alpha)]/(4b)$

证明:

$$\begin{aligned}
 E_b + E_s &= (p - s + r)((Q_b^*)^2/b) \\
 &\left[\left(\frac{p - t + r - \frac{abh}{4}}{p - c_0 + r} \right) - \frac{1}{4} + \frac{\ln(1 - \alpha)}{4\alpha} \right] \\
 &- \frac{rb(4 - \alpha)}{8}
 \end{aligned} \tag{15}$$

其中,

$$Q_b^* = b[(p - c_0 + r)/(p - s + r)] \tag{16}$$

公式(15)表明,分散决策下在需求服从均匀分布时的供应链期望收益,其中公式(16)为此时的最优订货量。

从公式(10)可得,集中决策下的最优订货量如公式(17)所示:

$$Q_J^* = \frac{ab[2(p - t + r) - abh/2]}{(p - s + r)(\alpha - \ln(1 - \alpha))} \tag{17}$$

从公式(9)可得,集中决策下的期望收益如公式(18)所示:

$$\begin{aligned}
 E_J &= [(p - s + r)(1 - \frac{\ln(1 - \alpha)}{\alpha}) (\frac{Q_J^*}{2b})^2 \\
 &- r(4 - \alpha)/8]b
 \end{aligned} \tag{18}$$

此时公式(15)可整理如公式(19)所示:

$$E_b + E_s = (p - s + r) \frac{(Q_b^*)^2}{4b} \quad (19)$$

$$\left[1 - \frac{\ln(1 - \alpha)}{\alpha}\right] \left[\frac{2Q_j^*}{Q_b^*} - 1\right] - \frac{rb(4 - \alpha)}{8}$$

化简公式(14)与公式(15),要证明

$E_j \leq E_b + E_s$, 我们必须证明公式成立:

$$(Q_j^*)^2 > (Q_b^*)^2 \left[\left(\frac{2Q_j^*}{Q_b^*} - 1\right)\right] \quad (20)$$

$$\text{即证明公式(21): } (Q_j^* - Q_b^*)^2 > 0 \quad (21)$$

由于 $(Q_j^* - Q_b^*)^2 > 0$ 显然成立,故命题得证。

4 数值实验与分析

本文数值分析的重点在于探讨不同条件下,供应链协调在制造商和销售商应对需求与交货期不确定时的效率。表1是本文数值试验所用的参数及其取值。

本文分析了时间参数 α 与成本参数 c_0, s, r, t, h 对供应链协调效率的影响。分别对单个参数变化进行敏感性分析,其它变量的固定取值分别为: $\alpha = 0.5$;

$c_0 = 55; s = 10; r = 12.5; t = 25; h = 0.0001$ 。

表1 相关参数及取值

参数	取值
α	0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8
c_0	35, 40, 45, 50, 55, 60, 65
s	5, 7.5, 10, 12.5, 15, 17.5, 20
r	6.25, 12.5, 18.75, 25, 31.25, 37.25, 43.75
t	15, 20, 25, 30, 35, 40, 45
p	100
h	0.0001, 0.0005, 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1
b	1000

图2描述了交货期不确定性敏感系数 α 对在集中决策下供应链增加收益比例的影响:随着 α 的增加,供应链收益增加百分比急剧下降。

图3描述了单位批发价格 c_0 对集中决策下供应链增加收益比例的影响:随着 c_0 的提高,供应链收益增加百分比急剧增加。

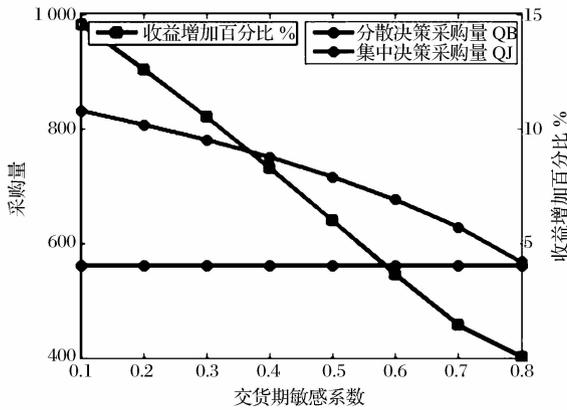


图2 α 对集中决策下供应链采购量和增加收益的影响

α	Q_b^*	Q_j^*	收益增加百分比
0.1	561	831	14.56
0.2	561	807	12.57
0.3	561	780	10.48
0.4	561	750	8.28
0.5	561	715	5.98
0.6	561	675	3.63
0.7	561	628	1.41

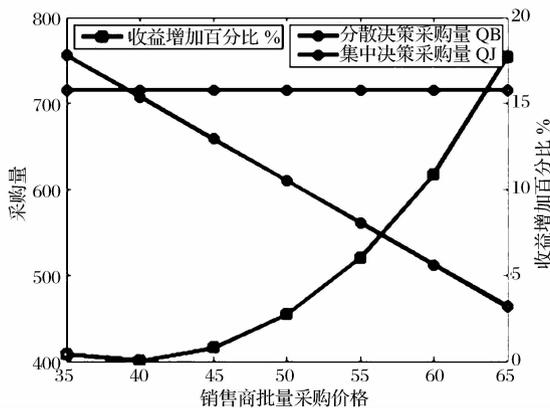


图3 c_0 对集中决策下供应链采购量和增加收益的影响

c_0	Q_b^*	Q_j^*	收益增加百分比
35	756	715	0.39
40	707	715	0.02
45	659	715	0.77
50	610	715	2.71
55	561	715	5.98
60	512	715	10.83
65	463	715	17.69

图4描述了单位残值 s 对在集中决策下供应链增加收益比例的影响:单位残值对供应链收益增加百

分比的影响微乎其微。这是由于单位残值受到单位生产成本的限制(即 $s \leq t$),变化幅度相对较小造成的。

图 5 描述了缺货成本 r 对在集中决策下供应链增加收益比例的影响:随着缺货成本的增加,供应链收益增加百分比也逐渐降低。

图 6 描述了生产成本 t 对在集中决策下供应链增加收益比例的影响:随着生产成本的增加,供应链收益增加百分比急剧下降。这是由于决定集中决策

下供应链最优订货量的是生产成本 t ,而不是批发价格成本 c_0 。而左右供应链协调带来的收益的主要因素就是最优订货量。

图 7 描述了库存持有成本系数 h 对集中决策下供应链增加收益比例的影响:随着 h 的增加,供应链增加收益比例逐步降低。

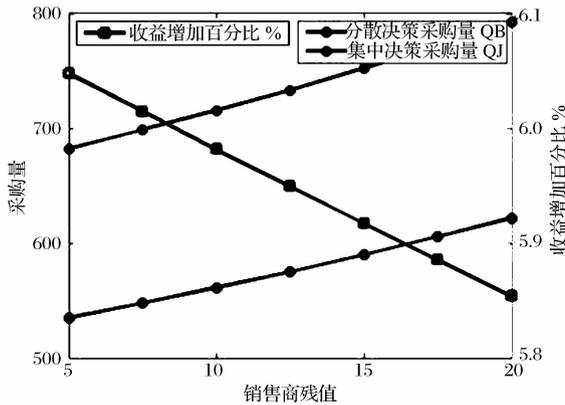


图 4 s 对集中决策下供应链采购量和增加收益的影响

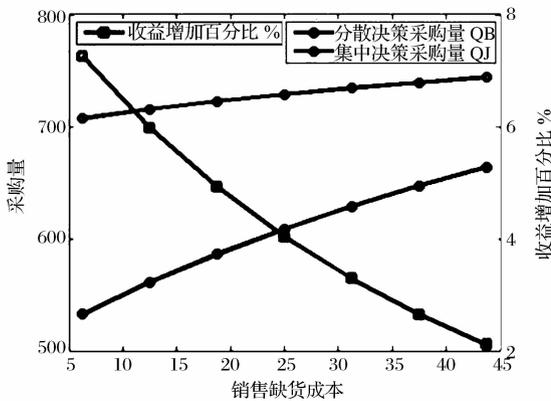


图 5 r 对集中决策下供应链采购量和增加收益的影响

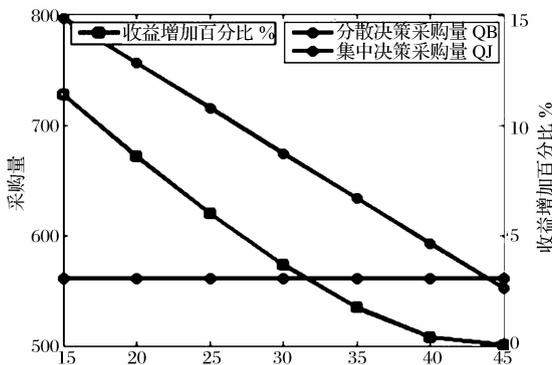


图 6 t 对集中决策下供应链采购量和增加收益的影响

s	Q_b^*	Q_j^*	收益增加百分比
5	535	682	6.05
7.5	548	698	6.01
10	561	715	5.98
12.5	575	733	5.95
15	590	752	5.92
17.5	605	772	5.89
20	622	793	5.85

r	Q_b^*	Q_j^*	收益增加百分比
6.25	532	707	7.25
12.5	561	715	5.98
18.75	586	722	4.92
25	609	729	4.03
31.25	629	734	3.28
37.5	647	739	2.65
43.75	664	744	2.11

t	Q_b^*	Q_j^*	收益增加百分比
15	561	797	11.38
20	561	756	8.58
25	561	715	5.98
30	561	674	3.65
35	561	634	1.72
40	561	593	0.39
45	561	552	0.04

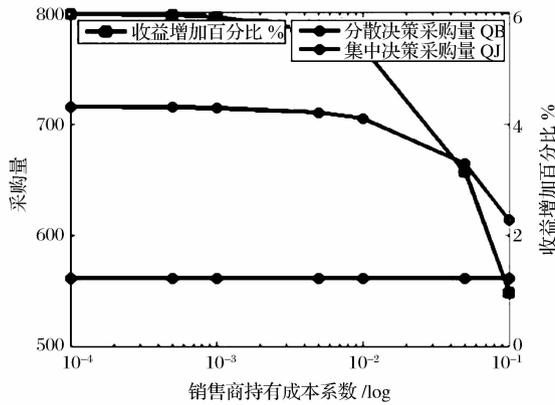


图7 h对集中决策下供应链采购量和增加收益的影响

h	Q_b^*	Q_j^*	收益增加百分比
0.000 1	561	715	5.98
0.000 5	561	715	5.96
0.001	561	714	5.93
0.005	561	710	5.68
0.01	561	705	5.38
0.05	561	664	3.13
0.1	561	613	0.96

比较图7,可知,交货期不确定敏感系数 α ,单位批发价格 c_0 ,单位生产成本 t ,对供应链协调增加收益百分比影响巨大。故管理者考虑通过供应链协调来增加收益时,应着重考虑实际的交货期不确定敏感系数 α ,单位批发价格 c_0 ,单位生产成本 t 。

5 结论

本文研究了制造商和销售商组成的二级供应链,通过建立交货期延迟情形下制造商对销售商进行收益一致性补偿的模型,对比分析了分散决策模式与集中决策模式下的最优订货量和收益变化,重点分析了制造商与销售商在应对需求与交货期不确定时,各种不同条件下供应链协调的优势与局限性,为企业决策提供理论支持。

参考文献

[1] JOHN T MENTZER, et al. Defining supply chain management[J]. Journal of Business Logistics, 2001, 22(2): 1-25.
 [2] 马士华. 新编供应链管理[M]. 北京:中国人民大学出版社, 2008.
 [3] ILARIA GIANNOCCARO, PIERPAOLO PONTRAN-

DOLFO. Supply Chain Coordination By Revenue Sharing Contracts[J]. Production Economics, 2004, 89:131-139.
 [4] J GONG, Y JIANG, G XIONG, et al. Dynamic uncapacitated lot sizing with random demand under a fillrate constraint[J]. European Journal of Operational Research, 2011, 212 (3): 497-507.
 [5] Y LI, YEW LEE. Pricing and Delivery-Time Performance in a Competitive Environment[J]. Management Science, 1994, 40 (5): 633-646.
 [6] Z KEVIN WENG, TIM MCCLURG. Coordinated ordering decisions for short life cycle products with uncertainty in delivery time and demand [J]. European Journal of Operational Research, 2003, 151(1): 12-24.
 [7] 陈豪雅. 一类短生命周期产品的供应链协调[D]. 北京:清华大学, 2003.
 [8] BYRNE PJ, HEAVEY. The impact of information sharing and forecasting in capacitated industrial supply chains: A case study [J]. International Journal of Production Economics, 2006, 103(1): 420-437.
 [9] JAMES D DANA, NICHOLAS C. Petruzzi. Note: The Newsvendor Model with Endogenous Demand[J]. Management Science, 2001, 47:1488-1497.

Supply Chain Coordination with Delivery Time Uncertainty and Effectiveness Study

HE Nan

(Sino-US Global Institute Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: We study a two-echelon supply chain that consists of a manufacturer and a seller who is facing uncertain demand in a selling period with a fixed length. Due to a variety of uncontrollable factors, the delivery time is uncertain. We build a revenue consistency compensation model which describes delivery delay situation. Besides, we compare decentralized decision with centralized decisions through the optimal order quantity and revenues changes. Based on a numerical case example, we focus on assessing advantages and limitations of coordination in response to demand and delivery time uncertainty. Thus, a theoretical support for business decisions is provided.

Key words: delivery time uncertain; supply chain management; consistency compensation; coordination effectiveness