

doi: 10.12068/j.issn.1005-3026.2018.02.027

# 制造商资金约束下的双渠道供应链协调

赵亮, 庄新田, 石军  
(东北大学工商管理学院, 辽宁 沈阳 110169)

**摘 要:** 考虑由单一零售商和受资金约束的单一制造商组成的双渠道供应链, 在引入带有价格折扣因子的零售商提前付款融资模式时, 如何实现协调的问题. 在制造商主导的 Stackelberg 博弈下, 研究了制造商和零售商之间的库存协调问题, 并建立了使得双渠道供应链实现协调的收入共享契约模型. 给出了供应链协调时契约参数满足的表达式, 并分析了价格折扣因子、初始资金对供应链及其成员的影响. 最后, 通过算例验证了契约对双渠道供应链协调的有效性及相关参数的作用.

**关 键 词:** 提前付款融资; 随机需求; 双渠道供应链; 协调; 收入共享契约

**中图分类号:** F 830.9      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1005-3026(2018)02-0288-05

## Dual-Channel Supply Chain Coordination with Manufacturer's Capital Constraint

ZHAO Liang, ZHUANG Xin-tian, SHI Jun  
(School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110169, China. Corresponding author: ZHAO Liang, E-mail: zl3503@126.com)

**Abstract:** Considering a dual-channel supply chain involving one capital constrained manufacturer and one independent retailer under stochastic demands, the issue of dual-channel supply chain coordination with prepayment financing including the price discount factor was investigated. Under the condition that the manufacturer is the Stackelberg leader, the inventory coordination problem between the manufacturer and the retailer was studied, and a revenue-sharing contract model was established for the dual-channel supply chain coordination. Furthermore, the calculation formulas of contract parameters were given, and the effects of price discount and initial capital on the supply chain and its members were analyzed. Finally, a numerical example verified the effectiveness of the dual-channel supply chain coordination and the effects of the other relevant parameters.

**Key words:** prepayment financing; stochastic demand; dual-channel supply chain; coordination; revenue-sharing contract

随着互联网和电子商务的发展,整个电商行业呈现出迅猛发展的态势.大量的制造企业为了获取新的市场份额,纷纷在传统分销渠道外又开拓了电子直销渠道.然而,在双渠道模式中,制造商的角色较以往有很大区别,从而使供应链成员之间的冲突更加复杂,与此同时,新渠道的增加及潜在市场需求的扩大,也使得制造企业面临更大的资金压力.因此,研究存在资金约束的双渠道供应链协调问题具有重要意义.

关于双渠道供应链的研究主要集中在渠道间的价格竞争及协调问题.文献[1-3]在随机需求的情况下,研究了双渠道库存决策问题,但并未提出相应的库存协调机制.Boyaci<sup>[4]</sup>在随机需求、价格外生的基础上,设计了回购与奖惩的组合契约机制,使得双渠道供应链达到协调;在此基础上,Geng等<sup>[5]</sup>在零售商主导的 Stackelberg 博弈下,通过建立逆向收益共享与转移支付的组合契约实现双渠道协调.但斌等<sup>[6]</sup>则进一步研究了以制造

收稿日期: 2016-09-04  
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71671030,71571038).  
作者简介: 赵亮(1987-),男,河南郑州人,东北大学博士研究生;庄新田(1956-),男,吉林四平人,东北大学教授,博士生导师.

商为主导的 Stackelberg 博弈下,双渠道的库存协调问题.

针对资金约束供应链的研究,已有大量的成果. Buzacott 等<sup>[7]</sup>首次将基于资产的融资引入到企业生产决策中,讨论了生产和融资联合决策的问题. Lee 等<sup>[8]</sup>针对供应链中制造商和零售商均存在资金约束的情况,讨论了收益共享、回购等契约对供应链的影响. Yan 等<sup>[9]</sup>在有限融资的情况下,针对由制造商、资金约束零售商与银行组成的供应链金融系统,给出了批发价格契约实现系统协调的条件. Kouveils 等<sup>[10]</sup>从破产成本的角度出发,研究了收入共享、回购及数量折扣契约对资金约束供应链的协调作用.

鉴于上述文献并未考虑双渠道供应链存在资金约束的问题,本文在考虑制造商资金约束的基础上,对双渠道供应链如何实现协调进行相关研究. 主要内容如下:一方面,引入零售商提前付款融资模式,考虑制造商占主导的 Stackelberg 博弈;另一方面,设计考虑融资服务的改进收入共享契约,使得双渠道供应链实现协调.

## 1 模型假设与符号说明

考虑单一制造商和单一零售商组成的双渠道供应链系统,制造商通过电子直销渠道和传统渠道出售同一种短生命周期的产品.  $w$  是制造商在传统渠道的批发价格,  $p_r$  是零售商的销售价格,  $p_m$  是制造商的电子直销渠道价格. 产品在传统渠道和电子直销渠道的单位成本和季末残值分别记为  $c_r, c_m$  和  $s_r, s_m$ , 且有  $p_r > c_r > s_r, p_m > c_m > s_m$ .

假设传统销售渠道和电子直销渠道的需求是相互独立的连续随机变量,记为  $\tilde{D}_r$  和  $\tilde{D}_m$ , 其概率密度函数分别为  $f(x)$  和  $g(y)$ . 由于市场竞争的影响,双渠道间存在需求替代的情况,需求替代率分别为  $\lambda_r (0 \leq \lambda_r \leq 1)$  和  $\lambda_m (0 \leq \lambda_m \leq 1)$ . 为保证制造商和零售商满足自身渠道需求更有利<sup>[4-5]</sup>,需满足条件  $(p_r - s_r) > \lambda_r (p_m - s_m)$  和  $(p_m - s_m) > \lambda_m (p_r - s_r)$ . 此外,零售商在传统销售渠道下库存量和制造商在电子直销渠道下的库存量分别记为  $q_r$  和  $q_m$ .

考虑需求替代情况的渠道需求如下:

$$D_r = \tilde{D}_r + \lambda_m (\tilde{D}_m - q_m)^+, \quad (1)$$

$$D_m = \tilde{D}_m + \lambda_r (\tilde{D}_r - q_r)^+. \quad (2)$$

为了避免出现缺货风险,零售商有动力采用提前付款的方式. 同时,资金约束的制造商为了激励零售商采用提前付款融资模式,会向其提供提

前付款价格折扣率  $r_m$ , 此时制造商的初始资金  $B$  应满足  $B < c_m q_m + c_r q_r$ . 另外,假设资金充足的零售商在满足传统零售商渠道需求的情况下,可以解决制造商的资金约束问题,即

$$B \geq \left[ c_m q_m + c_r q_r - \frac{w q_r}{(1 + r_m)} \right]^+.$$

本文进一步假设:①Stackelberg 博弈中,制造商是主方,零售商是从方;②博弈双方完全理性并且风险中立;③供应链模型中的所有价格均是外生变量.

## 2 模型建立与分析

### 2.1 集中决策下双渠道供应链模型

在集中决策情形下,供应商和零售商将作为整体,共同追求供应链利润的最大化.

记  $\Pi_c(q_r, q_m)$  是集中决策下供应链的期望利润函数,则有

$$\begin{aligned} \Pi_c(q_r, q_m) = & p_r E\{\min(q_r, D_r)\} + \\ & s_r E(q_r - D_r)^+ + p_m E\{\min(q_m, D_m)\} + \\ & s_m E(q_m - D_m)^+ - c_m q_m - c_r q_r. \end{aligned} \quad (3)$$

由式(3)可以看出,在集中决策的双渠道供应链中,如果供应商面临资金约束,零售商将无偿支持供应商的生产需要,故期望利润函数中没有体现出供应链的内部融资问题.

为了便于分析,记

$$\begin{aligned} A_r = & \int_0^{q_r} \int_0^{q_m} f(x) g(y) dy dx + \\ & \int_{q_m}^{q_m + \frac{q_r}{\lambda_m}} \int_0^{q_r - \lambda_m(y - q_m)} f(x) g(y) dx dy, \\ A_m = & \int_{q_r}^{q_r + \frac{q_m}{\lambda_r}} \int_0^{q_m - \lambda_r(x - q_r)} f(x) g(y) dy dx, \\ B_r = & \int_0^{q_r} \int_0^{q_m} f(x) g(y) dy dx + \\ & \int_{q_r}^{q_r + \frac{q_m}{\lambda_r}} \int_0^{q_m - \lambda_r(x - q_r)} f(x) g(y) dy dx, \\ B_m = & \int_{q_m}^{q_m + \frac{q_r}{\lambda_m}} \int_0^{q_r - \lambda_m(y - q_m)} f(x) g(y) dx dy. \end{aligned}$$

根据文献[3-4]可知,集中决策下供应链的期望利润是关于  $q_r$  和  $q_m$  的连续可微的凹函数和子模函数,则集中决策下的传统渠道最优订购量  $q_{rc}^*$  和网络直销渠道的最优订购量  $q_{mc}^*$  满足一阶条件:  $\frac{\partial \Pi_c}{\partial q_r} = 0$  和  $\frac{\partial \Pi_c}{\partial q_m} = 0$ , 即

$$p_r - c_r - (p_r - s_r) A_r - \lambda_r (p_m - s_m) A_m = 0, \quad (4)$$

$$p_m - c_m - (p_m - s_m)B_r - \lambda_m(p_r - s_r)B_m = 0. \quad (5)$$

根据文献[3-5]可知,分散决策下的双渠道供应链不能达到协调,故下文直接引入改进收入共享契约,并对制造商资金约束的双渠道供应链如何实现协调进行分析。

## 2.2 制造商资金约束的双渠道供应链协调模型

由于收入共享契约不能使双渠道供应链实现协调<sup>[5]</sup>,因此,本文的制造商考虑提供如下的改进收入共享契约。

生产前,制造商首先收到零售商的订单及预付款  $L = c_m q_m + c_r q_r - B$ ,并根据零售商的订单及电子直销渠道的需求进行生产.生产完成后,制造商根据预付款  $L$  首先交付  $(1 + r_m)L/w$  的产品,然后零售商根据市场需求以批发价  $w$  采购剩余  $q_r - (1 + r_m)L/w$  的产品.销售期末,制造商以  $(1 - \varphi_2)$  的比例向零售商分享其在电子直销渠道销售收益;同时,提供较低的批发价格并以  $(1 - \varphi_1)$  的比例分享零售商传统销渠道销售收益。

零售商期望利润为

$$\begin{aligned} \Pi_r(q_r, q_m) = & (1 - \varphi_2)[p_m E\{\min(q_m, D_m)\} + \\ & s_m E(q_m - D_m)^+] + \varphi_1[p_r E\{\min(q_r, D_r)\} + \\ & s_r E(q_r - D_r)^+] - wq_r + r_m L. \end{aligned} \quad (6)$$

传统销售渠道最优库存量  $q_r^*$  满足一阶条件

$$\frac{\partial \Pi_r}{\partial q_r} = 0, \text{ 即}$$

$$\varphi_1[p_r - (p_r - s_r)A_r] - w - (1 - \varphi_2)\lambda_r(p_m - s_m)A_m + r_m c_r = 0. \quad (7)$$

制造商期望利润为

$$\begin{aligned} \Pi_m(q_m, q_r(q_m)) = & wq_r - c_m q_m - c_r q_r - r_m L + \\ & \varphi_2[p_m E\{\min(q_m, D_m)\} + s_m E(q_m - D_m)^+] + \\ & (1 - \varphi_1)[p_r E\{\min(q_r, D_r)\} + s_r E(q_r - D_r)^+]. \end{aligned} \quad (8)$$

采用逆向归纳法求解,制造商电子直销渠道最优库存量  $q_m^*$  满足如下一阶条件:

$$\frac{d\Pi_m}{dq_m} = \frac{\partial \Pi_m}{\partial q_r} \frac{dq_r}{dq_m} + \frac{\partial \Pi_m}{\partial q_m} = 0. \quad (9)$$

故最优库存量  $q_r^*, q_m^*$  同时满足一阶条件:

$$\frac{d\Pi_m}{dq_m} = 0, \frac{\partial \Pi_r}{\partial q_r} = 0.$$

命题 1 基于双渠道的制造商和零售商,在收入共享机制下,若契约参数  $(w, \varphi_1, \varphi_2)$  满足以下条件,则实现供应链协调:

$$w = (\varphi_1 + r_m) \left[ c_r + \frac{p_r - c_r - (p_r - s_r)A_r^*}{p_m - (p_m - s_m)B_r^*} c_m \right], \quad (10)$$

$$\varphi_2 = (1 - \varphi_1) + (\varphi_1 + r_m) \frac{c_m}{p_m - (p_m - s_m)B_r^*}. \quad (11)$$

证明 令  $q_{rc}^* = q_r^*, q_{mc}^* = q_m^*$ .

根据式(4)、式(7),易证  $\frac{\partial \Pi_m}{\partial q_r} = 0$ ,故由式

(9)化简可得

$$\frac{d\Pi_m}{dq_m} = \frac{\partial \Pi_m}{\partial q_m} = 0. \quad (12)$$

联立式(4)、式(7)及式(5)和式(12)可得

$$w = \varphi_1[p_r - (p_r - s_r)A_r^*] - (1 - \varphi_2)\lambda_r(p_m - s_m)A_m^* + r_m c_r, \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \varphi_2 = & \frac{(1 - \varphi_1)\lambda_m(p_r - s_r)B_m^*}{p_m - (p_m - s_m)B_r^*} + \\ & \frac{(1 + r_m)c_m}{p_m - (p_m - s_m)B_r^*}, \end{aligned} \quad (14)$$

$$\lambda_m = \frac{p_m - c_m - (p_m - s_m)B_r^*}{(p_r - s_r)B_m^*}, \quad (15)$$

$$\lambda_r = \frac{p_r - c_r - (p_r - s_r)A_r^*}{(p_m - s_m)A_m^*}. \quad (16)$$

联立式(13)~(16),化简,即可证得命题 1.

命题 1 表明:在考虑改进收入共享契约的情况下,若契约参数  $(w, \varphi_1, \varphi_2)$  同时满足公式(10)、式(11),则制造商和零售商分散决策下与集中决策下的最优库存水平相等,即双渠道供应链实现协调.此外,通过式(10)和式(11)可以看出,契约参数之间相互制约并具有一一对应的关系,制造商通过对传统渠道分享系数  $\varphi_1$  和价格折扣因子  $r_m$  的调节,就可以实现对电子直销渠道分享系数  $\varphi_2$  和批发价格  $w$  的控制。

$$\text{推论 1 } \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} < 0, \frac{dw}{d\varphi_1} > 0.$$

证明 对式(10)、式(11)求关于  $\varphi_1$  的一阶导数,可得

$$\frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \frac{c_m}{p_m - (p_m - s_m)B_r^*} - 1,$$

$$\frac{dw}{d\varphi_1} = c_r + \frac{p_r - c_r - (p_r - s_r)A_r^*}{p_m - (p_m - s_m)B_r^*} c_m.$$

根据式(15)可知

$$p_m - c_m - (p_m - s_m)B_r^* > 0, \text{ 并且有}$$

$$0 < \frac{c_m}{p_m - (p_m - s_m)B_r^*} < 1, \text{ 故 } \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} < 0.$$

根据式(16)可知

$$p_r - c_r - (p_r - s_r)A_r^* > 0, \quad \text{故} \frac{dw}{d\varphi_1} > 0.$$

推论 1 表明:共享系数  $\varphi_2$  是关于  $\varphi_1$  的减函数,  $w$  是关于  $\varphi_1$  的增函数. 给定价格折扣因子  $r_m$ , 共享系数  $\varphi_1$  的增大会造成制造商的边际利润的减少和零售商边际利润的增加, 并进一步导致传统渠道库存量的上升和电子直销渠道库存量的下降. 为实现供应链协调, 制造商会通过提高批发价格并减少自身从电子直销渠道分享收益的比例, 使两个渠道的库存量重新调节至最优库存水平; 类似地, 当共享系数  $\varphi_1$  减小时, 可得相应结论.

推论 2  $\frac{d\varphi_2}{dr_m} > 0, \frac{dw}{dr_m} > 0.$

证明 结合式(10)、式(11)及推论 1 易证.

推论 2 表明:批发价格  $w$ 、共享系数  $\varphi_2$  是关于价格折扣因子  $r_m$  的增函数. 给定分享系数  $\varphi_1$ , 价格折扣因子的增大会造成制造商的边际利润的减少和零售商边际利润的增加, 并进一步导致传统渠道库存量的上升和电子直销渠道库存量的下降. 为实现供应链协调时的最优库存水平, 制造商在以提高批发价格的方式降低零售商订购量的同时, 会通过增加电子直销渠道所获得收益的分享比例来增加电子直销渠道的库存量. 类似地, 当价格折扣因子减小时, 可得相应结论.

推论 3  $\frac{\partial \Pi_r}{\partial B} \leq 0, \frac{\partial \Pi_m}{\partial B} \geq 0,$

且  $\left| \frac{\partial \Pi_r}{\partial B} \right| = \left| \frac{\partial \Pi_m}{\partial B} \right|.$

证明 由式(6)、式(8)易证.

推论 3 说明:制造商和零售商的利润分别是关于制造商初始资金的增函数和减函数, 且随着初始资金的变化, 各自利润的变化幅度相等. 即当双渠道供应链实现协调时, 制造商初始资金的变化不影响供应链的整体利润水平, 只是间接起到供应链利润分配的作用. 其意义主要体现在:当制造商初始资金增加时, 其为激励零售商采用提前付款融资方式而付出的价格折扣成本逐步下降, 从而提高了自身利润. 类似地, 当制造商初始资金不断减少时, 可得相应结论.

3 算例分析

为验证文中的相关结论以及供应链协调的有效性, 以下通过算例进行相关的分析. 假设传统零售渠道需求和电子直销渠道的需求分别服从区间  $[0, 100]$  和  $[0, 90]$  的均匀分布, 其他参数值如表 1

所示.

根据表 1 的相关参数, 计算可得  $\Pi_c = 978.64, q_{rc}^* = 56.05, q_{mc}^* = 61.61$ . 同时, 根据前文可知,  $q_{rc}^* = q_r^*, q_{mc}^* = q_m^*.$

表 1 相关的模型参数值

Table 1 Related model's parameter values							
$s_r$	$s_m$	$c_r$	$c_m$	$p_r$	$p_m$	$\lambda_r$	$\lambda_m$
2	2	3	3	16	15	0.5	0.6

由于在双渠道供应链协调模型中, 契约参数之间互相约束并具有对应关系, 故在讨论收入共享系数时, 仅对传统零售渠道的分享系数  $\varphi_1$  进行分析. 取  $r_m = 0.05, B = 200$ , 通过 MATLAB 可得表 2.

表 2 参数  $\varphi_1$  的灵敏度分析

Table 2 Sensitivity analysis of parameter $\varphi_1$					
$\varphi_1$	$w$	$\varphi_2$	$\Pi_r$	$\Pi_m$	$\Pi_{m+r}$
0.2	1.13	0.94	117.54	861.09	978.63
0.4	2.03	0.85	258.72	719.92	978.64
0.6	2.93	0.76	399.90	578.74	978.64
0.8	3.83	0.67	541.08	437.56	978.64
1.0	4.74	0.58	682.25	296.38	978.63

根据表 2 后 3 列可以看出, 虽然随着  $\varphi_1$  的增大, 制造商利润减少, 零售商利润增加, 但是双方利润之和与供应链集中决策下的最大利润相等; 又因为  $q_r^*, q_m^*$  满足  $q_{rc}^* = q_r^*, q_{mc}^* = q_m^*$ , 所以, 改进收入共享契约能够使供应链实现协调, 并验证了命题 1.

由表 2 第 2、第 3 列还可以看出, 随着收入共享系数  $\varphi_1$  的增加, 批发价格  $w$  提高而共享系数  $\varphi_2$  减小, 与推论 1 的结论相同.

对零售商提前付款时的价格折扣因子  $r_m$  进行灵敏度分析, 取  $\varphi_1 = 0.9, B = 200$ , 假设其他参数不变, 可得到表 3.

表 3 参数  $r_m$  的灵敏度分析

Table 3 Sensitivity analysis of parameter $r_m$					
$r_m$	$w$	$\varphi_2$	$\Pi_r$	$\Pi_m$	$\Pi_{m+r}$
0.06	4.33	0.63	606.94	371.70	978.64
0.12	4.60	0.66	578.57	400.06	978.63
0.18	4.87	0.70	550.21	428.43	978.64
0.24	5.14	0.73	521.84	456.79	978.63
0.30	5.41	0.76	493.48	485.16	978.64

根据表 3 第 2、第 3 列可以看出, 随着价格折扣因子  $r_m$  的变大, 批发价格  $w$  和收入共享系数



$\varphi_2$  均增加,验证了推论 2 的有效性.

由表 3 第 4、第 5 列还可以看出,随着价格折扣因子的增大,零售商利润减小,制造商利润增加.这说明供应链处于协调状态时,并非折扣因子越大对零售商越有利,相反,折扣价格因子越小越好.由表 3 后三列可知,价格折扣因子不影响供应链的协调状态,只起到分配供应链成员利润的作用.

由前文假设可知,制造商采用零售商提前付款融资模式时的初始资本应满足如下条件:  $B \in [64.2, 353.0)$ . 取  $\varphi_1 = 0.9, r_m = 0.05$ , 假设其他参数不变,对制造商的初始资本  $B$  进行分析,可得表 4.

表 4 参数 $B$ 的灵敏度分析					
Table 4 Sensitivity analysis of parameter $B$					
$B$	$q_r^*$	$q_m^*$	$\Pi_r$	$\Pi_m$	$\Pi_{m+r}$
75	56.05	61.61	617.91	360.72	978.63
125	56.05	61.61	615.41	363.22	978.63
175	56.05	61.61	612.91	365.72	978.63
225	56.05	61.61	610.41	368.22	978.63
275	56.05	61.61	607.91	370.72	978.63
325	56.05	61.61	605.41	373.22	978.63

由表 4 可以看出,随着制造商初始资本的增加,尽管制造商利润增大,零售商利润不断减小,但是双方的库存水平及供应链利润均保持不变.即制造商初始资本只影响供应链利润的分配,而不改变供应链的协调状态.推论 3 得到验证.

## 4 结 论

1) 在制造商存在资金约束的情况下,引入改进收入共享契约,当契约参数满足一定条件时,双渠道供应链可以达到集中决策下的最优库存水平并实现协调.

2) 契约参数之间相互制约,并存在确定性的对应关系,通过对折扣因子和传统渠道共享系数

的调节,就可以改变电子直销渠道共享系数和批发价格.

3) 价格折扣因子和制造商初始资金不影响供应链协调的状态,只起到供应链利润的再分配作用.

## 参考文献:

[ 1 ] Chiang W K, Monahan G E. Managing inventories in a two-echelon dual-channel supply chain [ J ]. *European Journal of Operational Research*, 2005, 162 ( 2 ) : 325 – 341.

[ 2 ] Yao D, Yue X, Mukhopadhyay S K, et al. Strategic inventory deployment for retail and e-tail stores [ J ]. *Omega*, 2009, 37 ( 3 ) : 646 – 658.

[ 3 ] 侯琳琳, 邱苑华. 混合渠道的易逝品分销系统的库存竞争 [ J ]. *系统工程理论与实践*, 2009, 29 ( 2 ) : 44 – 52.

( Hou Lin-lin, Qiu Wan-hua. Inventory competition for perishable product in hybrid distribution system [ J ]. *Systems Engineering— Theory & Practice*, 2009, 29 ( 2 ) : 44 – 52. )

[ 4 ] Boyaci T. Competitive stocking and coordination in a multiple-channel distribution system [ J ]. *IIE Transactions*, 2005, 37 ( 5 ) : 407 – 427.

[ 5 ] Geng Q, Mallik S. Inventory competition and allocation in a multi-channel distribution system [ J ]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 182 ( 2 ) : 704 – 729.

[ 6 ] 但斌, 徐广业. 随机需求下双渠道供应链协调的收益共享契约 [ J ]. *系统工程学报*, 2013, 28 ( 4 ) : 514 – 521.

( Dan Bin, Xu Guang-ye. Revenue sharing contract for dual-channel supply chain coordination with stochastic demand [ J ]. *Journal of Systems Engineering*, 2013, 28 ( 4 ) : 514 – 521. )

[ 7 ] Buzacott J A, Zhang R Q. Inventory management with asset-based financing [ J ]. *Management Science*, 2004, 50 ( 9 ) : 1274 – 1292.

[ 8 ] Lee C H, Rhee B D. Coordination contracts in the presence of positive inventory financing costs [ J ]. *International Journal of Production Economics*, 2010, 124 ( 2 ) : 331 – 339.

[ 9 ] Yan N, Sun B. Coordinating loan strategies for supply chain financing with limited credit [ J ]. *OR Spectrum*, 2013, 35 ( 4 ) : 1039 – 1058.

[ 10 ] Kouvelis P, Zhao W. Supply chain contract design under financial constraints and bankruptcy costs [ J ]. *Management Science*, 2015, 62 ( 8 ) : 2341 – 2357.