

# 基于响应时间的供应链协调策略研究

高波,石书生

(重庆大学经济与工商管理学院,重庆 400044)

**摘要:**在市场需求价格和响应时间敏感下,本文以一个供应商和一个制造商构成的两级 MTO 供应链为背景,通过建立供应链收益函数模型,分析响应时间对供应链企业决策的影响。给出了供应商和制造商在分散决策下的最优响应策略,得出了供应链双方在分散决策下无法实现供应链完美协调的结论。而后,对供应链协调问题进行了探讨,发现两部收费制契约在满足一定条件下能够实现供应链完美协调,并通过数值实例对上面的结论进行了释义和说明。

**关键词:**供应链协调;响应时间;时间价格敏感型需求;两部收费制契约

**中图分类号:**F272.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-980X(2010)06-0119-05

## 1 研究背景

现今,顾客对产品和服务的响应时间关注度越来越高,供应链各节点企业也在致力于不断缩短其响应时间,以赢得更大的市场份额。但供应链是由多个企业组成的复杂网络体系,它在运作过程中受到各种随机因素的干扰,使得供应链响应时间具有严重的不确定性。因此对价格和响应时间敏感型需求的研究,对于协调供应链成员相互协作,形成供应链整体竞争优势具有重要意义。

文献上,一方面是关于时间价格敏感型需求对供应链决策影响的研究,另一方面是供应链协调机制的研究。Celik 指出在市场需求价格和响应时间敏感下,通过动态管理产品定价和响应时间,可以达到调节市场需求的目的,并在此基础上分析了企业的最优决策<sup>[1]</sup>。So 和 Song 研究了当市场需求价格和响应时间敏感且呈对数线性变化时,企业的最优定价、响应时间和产量<sup>[2]</sup>。So 在随后的研究中又探讨了多个企业在不同竞争程度市场的最优响应策略<sup>[3]</sup>。Ray 和 Jewkes 分析了当价格是响应时间函数的情况下企业的最优决策,并得出了假定响应时间和价格相互独立会导致次优决策的结论<sup>[4]</sup>。邵建军等以一个由两个供应商和一个制造商组成的两阶段 MTO 供应链为背景,研究发现无论企业面临价格竞争市场还是时间竞争市场,不管市场竞争程度如何,交付期短的产品可获得相对高的价格及市场需求率,从而可获得较高的收益<sup>[5]</sup>。当然,上述文献

主要是从企业的角度出发,研究企业的最优响应策略。与此同时,也有很多学者从供应链的角度出发,研究供应链的最优响应策略。Shen 等以一个制造商和两个相互竞争的零售商组成的供应链为背景,研究需求时间价格敏感下,供应链节点企业的最优决策<sup>[6]</sup>。文献[7-9]探讨了在市场需求时间价格敏感下,供应链的决策方式不同对供应链运行绩效的影响,说明分散决策会降低供应链的整体效率。事实上,由于“双重边际化”现象的存在,因此分散决策肯定会降低供应链整体效率。的确,供应链成员都是独立决策的主体,决策目标很难一致。但是各节点企业应该从供应链整体利益出发,建立相应的协调机制,协调各企业的决策行为,实现供应链整体效益最优化。

目前,供应链协调主要是通过建立企业间合作合同来实现的。这其中主要包括:数量(价格)折扣合同、收益共享合同、回购合同等。Lin 和 Hsieh 探讨了利用数量折扣合同协调面临时间价格敏感型需求供应链的相关问题<sup>[10]</sup>。另外,曹宗宏等利用数量折扣契约协调供应链的方法也值得借鉴<sup>[11]</sup>。还有很多学者对收益共享合同<sup>[12]</sup>、回购合同<sup>[13-14]</sup>也做了大量的研究工作并取得了丰硕的研究成果。除了上述主要方法外,协调供应链还有一些其他方法。Pekgun 等就利用两部收费制合同协调市场需求时间价格敏感型供应链进行了初步探讨分析<sup>[15]</sup>。另外,补偿契约<sup>[16]</sup>、返利合同<sup>[17]</sup>等在特定的环境下都能实现供应链协调。

收稿日期:2010-04-07

**作者简介:**高波(1972—),男,重庆人,重庆大学经济与工商管理学院副教授,硕士生导师,研究方向:供应链管理、决策支持系统、复杂系统管理等;石书生(1985—),男,重庆人,重庆大学经济与工商管理学院硕士研究生,研究方向:供应链管理。

如前文所述,对于市场需求时间价格敏感的研究多集中在供应链企业决策行为的变化上,对于协调机制的研究相对较少。本文基于上述文献,研究需求时间价格敏感下供应链的最优响应策略,并探讨供应商和制造商分散决策下供应链的协调问题。

## 2 问题描述与符号说明

本文以一个由单一供应商与制造商组成的两阶段 MTO 供应链为背景,研究在市场需求时间和价格敏感下供应链企业的最优响应策略,以及分散决策下供应链的协调问题。为了简化问题,假设供应链生产单一产品,零部件全部由供应商提供。销售季节开始前,制造商预测市场需求  $D$ ,并据此向供应商下订单并组织生产,确定交货策略  $(P, T)$ 。其中,  $p$  为制造商制订的销售价格,  $T$  为供应链响应时间,且有  $T = T_s + l_t$ 。  $T_s$  为供应商响应时间,为随机变量。根据外国学者的实证研究表明<sup>[18-19]</sup>,  $T_s$  服从参数为  $\lambda$  的渐进指数分布。设  $f(x)$ 、 $F(x)$  分别为其概率密度函数和分布函数。  $l_t$  为制造商响应时间(即装配生产时间)。一般情况下制造商采取流水作业,响应时间  $l_t$  为常数。所以供应链的响应时间由供应商的响应时间  $T_s$  唯一确定。设市场需求函数为  $D(p, T) = a - b_1 p - b_2 T (a > 0; b_1, b_2 > 0)$ 。

符号说明:  $c_s$  为供应商单位产品单位时间持有成本;  $c_m$  为供应商单位产品单位时间延迟成本;  $w$  为制造商单位产品单位时间延迟成本;  $c_s$  为供应商边际单位成本;  $c_m$  为制造商边际单位成本;  $w$  为供应商供应价格;  $c$  为集中决策下供应链收益;  $s$  为分散决策下供应商收益;  $m$  为分散决策下制造商收益。

## 3 模型建立与求解

### 3.1 集中决策供应链

为了得到供应链潜在的最大收益,首先考虑供应商和制造商集中决策的情况。在 MTO 模式下,制造商不允许供应商提前交货,所以这里不考虑制造商持有成本。此外,如果延迟交货,制造商和供应商将产生延期惩罚成本。因此,集中决策下供应链总收益函数可表示为:

$$c = (a - b_1 p - b_2 T) [p - c_s - c_m (T_s) - (\lambda + \lambda T_s) (T_s)] \quad (1)$$

其中,  $(T_s) = \int_0^{T_s} (t - T_s) f(t) dt$ , 表示供应商期望持有时间;  $(T_s) = \int_{T_s}^{\infty} (t - T_s) f(t) dt$ , 表示期望延迟时间。为了对期望收益函数  $c$  进行优化,我

们首先注意到函数  $(T_s)$  和  $(T_s)$  可以重写为:

$$(T_s) = T_s F(T_s) - \int_0^{T_s} t f(t) dt;$$

$$(T_s) = 1 - T_s [1 - F(T_s)] - \int_0^{T_s} t f(t) dt.$$

式(1)对  $p$  求一阶、二阶导数得:

$$\frac{\partial c}{\partial p} = -b_1 [2p - c_s - c_m - (\lambda + \lambda T_s) (T_s)] + [a - b_2 (T_s + l_t)];$$

$$\frac{\partial^2 c}{\partial p^2} = -2b_1 < 0.$$

由此可知,收益函数  $c$  是价格  $p$  的凹函数,在定义区间  $[0, \infty)$  存在最大值,令  $\partial c / \partial p = 0$ , 得

$$p^* = \frac{1}{2} [c_s + c_m + (\lambda + \lambda T_s) (T_s)] + \frac{1}{2b_1} [a - b_2 (T_s + l_t)]. \quad (2)$$

将(2)代入式(1),收益函数  $c$  对  $T_s$  求一阶、二阶导数得

$$\frac{\partial c}{\partial T_s} = -\frac{1}{2} [(\lambda + \lambda T_s) F(T_s) +$$

$$\frac{b_2}{b_1} - (\lambda + \lambda T_s)] D;$$

$$\frac{\partial^2 c}{\partial T_s^2} = -\frac{1}{2} (\lambda + \lambda T_s) f(T_s) D.$$

由此可知,当市场需求率  $D$  确定时,收益函数  $c$  是响应时间  $T_s$  的凹函数,在定义区间  $[0, \infty)$  存在最大值。令  $\frac{\partial c}{\partial T_s} = 0$  可得

$$T_s^* = F^{-1} \left[ \frac{\lambda + \frac{b_2}{b_1}}{\lambda + \lambda T_s} \right] = \frac{1}{\lambda} \ln \left[ \frac{\lambda + \frac{b_2}{b_1}}{\lambda + \frac{b_2}{b_1}} \right]. \quad (3)$$

综合式(2)和式(3)可知集中决策下供应链的最优响应策略  $(P^*, T_s^*)$ 。

### 3.2 分散决策供应链

分散决策下,供应商和制造商作为理性的“经济人”,以各自利益最大化为决策目标。制造商根据市场需求,确定产品价格  $p$  和响应时间  $T$ , 并组织生产。供应商得到制造商订货后,确定原料供应价格  $w$  和响应时间  $T_s$ , 使其收益最大化。制造商与供应商的收益函数分别为:

$$m(T_s, p) = (a - b_1 p - b_2 T) [p - w - c_m - (\lambda + \lambda T_s) (T_s)]; \quad (4)$$

$$s(T_s, w) = (a - b_1 p - b_2 T) [w - c_s - (\lambda + \lambda T_s) (T_s)]. \quad (5)$$

对于收益函数  $m$  的优化类似于  $c$ , 对其求一阶、二阶导数得

$$\frac{\partial \pi_m}{\partial p} = -b_1[2p - w - c_m - (T_s)] + [a - b_2(T_s + l_1)];$$

$$\frac{\partial^2 \pi_m}{\partial p^2} = -2b_1 < 0.$$

所以,收益函数  $\pi_m$  是价格  $p$  的凹函数,在定义区间  $[0, \infty)$  存在最大值,令  $\frac{\partial \pi_m}{\partial p} = 0$ , 得

$$p^{**} = \frac{1}{2}[w + c_m + (T_s)] + \frac{1}{2b_1}[a - b_2(T_s + l_1)]. \quad (6)$$

将式(6)代入式(5),求  $\pi_s$  关于供应价格  $w$  的一阶、二阶导数得

$$\frac{\partial \pi_s}{\partial w} = -b_1 w + \frac{1}{2}[a - b_2(T_s + l_1)] + \frac{1}{2}b_1[c_s - c_m + (T_s) + (-)(T_s)];$$

$$\frac{\partial^2 \pi_s}{\partial w^2} = -b_1 < 0.$$

由此可知,收益函数  $\pi_s$  是供应价格  $w$  的凹函数,在定义区间  $[0, \infty)$  存在最大值,令  $\frac{\partial \pi_s}{\partial w} = 0$ , 可得供应商最优供应价格。

$$w^* = \frac{1}{2}[c_s - c_m + (T_s) + (-)(T_s)] + \frac{1}{2b_1}[a - b_2(T_s + l_1)]. \quad (7)$$

将式(7)代入式(5),求  $\pi_s$  关于供应价格  $T_s$  的一阶、二阶导数得

$$\frac{\partial \pi_s}{\partial T_s} = -\frac{1}{2}[(+ +)F(T_s) +$$

$$\frac{b_2}{b_1} - (+)]D;$$

$$\frac{\partial^2 \pi_s}{\partial T_s^2} = -\frac{1}{2}(+ +)f(T_s)D.$$

由此可知,当市场需求率  $D$  确定时,收益函数  $\pi_s$  是响应时间  $T_s$  的凹函数,在定义区间  $[0, \infty)$  存在最大值。令  $\frac{\partial \pi_s}{\partial T_s} = 0$ , 可得

$$T_s^{**} = F^{-1}\left(\frac{+ - \frac{b_2}{b_1}}{+ +}\right) = \frac{1}{b_1} \ln\left(\frac{+ +}{+ \frac{b_2}{b_1}}\right). \quad (8)$$

命题1:当市场需求率  $D$  确定时,分散决策下制造商最优定价大于集中决策下最优定价,供应商最优响应时间不变,分散决策总收益小于集中决策总收益。即  $p^{**} > p^*$ ,  $T_s^{**} = T_s^*$ ,  $R + s < c_0$ 。

证明:由式(6)可得

$$p^{**} = \frac{1}{2}[w + c_m + (T_s)] + \frac{1}{2b_1}[a - b_2(T_s +$$

$$l_1)] = p^* + \frac{s}{2D} > p^*.$$

比较式(3)和式(8),显然有  $T_s^{**} = T_s^*$  成立。

另外,对于收益函数  $\pi_c$  的一阶导数  $\frac{\partial \pi_c}{\partial p}$ , 当  $p > p^*$  时,  $\frac{\partial \pi_c}{\partial p} < 0$ , 即是说当  $p > p^*$  时,供应链收益随价格  $p$  单调减少。所以有

$$\pi_c = (a - b_1 p^* - b_2 T) [p^* - c_s - c_m - (T_s) - (+)(T_s)] > (a - b_1 p^{**} - b_2 T) [p^{**} - c_s - c_m - (T_s) - (+)(T_s)] = \pi_m + s$$

显然,分散决策降低了供应链整体效率。

## 4 两种决策下收益比较数值分析

命题1的分析结果表明,供应商与制造商分散决策降低了供应链的整体效率。为了进一步对供应链的决策行为进行研究,我们对相关参数模拟赋值,进行计算分析。假设  $\beta = 0.8$ 、 $c_m = 8$ 、 $c_s = 10$ 、 $b_1 = 1.5$ 、 $b_2 = 1.2$ 、 $l_d = 2$ 、 $a = 100$ 、 $\beta = 2$ 、 $\beta = 3$ 、 $\beta = 5$ 。集中决策下,根据式(1)~式(3)计算知  $p = 41.968$ 、 $T_s = 1.591$ 、 $\pi_c = 713.248$ 。分散决策下,根据式(4)~式(8)计算知  $w = 33.488$ 、 $p = 52.891$ 、 $T_s = 1.591$ 、 $\pi_s = 356.622$ 、 $\pi_m = 178.311$ 。 $\pi_s + \pi_m = 534.933$ , 显然命题一的结论成立。

在表1中,我们展示了不同供应价格下,供应链的收益情况,并绘制了趋势图(见图1)。根据表1和图1我们可以得到如下结论:制造商和供应链整体收益随供应价格  $w$  单调递减;供应商有一个扁平的收益曲线,其收益随供应价格  $w$  先增后减。

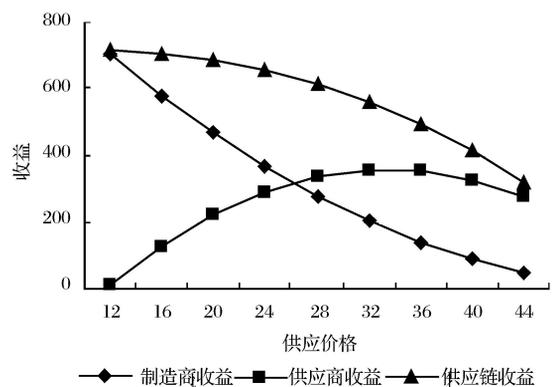


图1 不同供应价格下供应链各方收益

## 5 供应链协调

前文的分析结果表明,制造商与供应商之间分散决策,提高了产品价格,削减市场需求,减少了供应链利润,降低了供应链整体效率。由于制造商和供应商都是独立决策主体,因此,要使制造商和供应

商的决策实现集中决策的最优结果,就需要设计有效的协调机制,使制造商和供应商的分配收益大于分散决策收益,提高决策效率,同时促使双方选择集中决策均衡策略  $(P^*, T_s^*)$ 。

我们知道制造商和供应链收益是随供应价格  $w$  单调递减的。同时,我们不难发现,随着供应价格  $w$  不断降低,供应链收益不断向制造商转移,所以制造商有动机去说服供应商降低供应价格,以达到增加

自身收益的目的。但是如果供应商降低供应价格自己的利润就会降低,供应商肯定是不愿意的,除非能够得到一定的补偿,而这补偿必须大于因价格降低而损失的利润。本文中,我们利用两部收费制契约协调供应链。在两部收费制契约下,供应商除了向制造商收取较低供应价格  $w_t$  外,还额外收取固定费用,以弥补收益损失。此时,制造商和供应商的收益函数分别为

表 1 不同转移价格  $w$  供应链收益表

供应价格 $w$	12	16	20	24	28	32	36	40	44	
分散决策	$p$	42.147	44.147	46.147	48.147	50.147	52.147	54.147	56.147	58.147
供应链	$m$	702.878	578.997	467.116	367.235	279.354	203.473	139.592	87.711	47.830
	$s$	10.325	127.251	220.177	289.103	334.029	354.955	351.881	324.807	273.733
	$c$	713.203	706.248	687.293	656.338	613.383	558.428	491.473	412.518	321.563

$$m(T_s, p) = (a - b_1 p - b_2 T) [p - w_t - c_m - (T_s)] - ;$$

$$s(T_s, w) = (a - b_1 p - b_2 T) [w_t - c_s - \pi (T_s) - (T_s)] + 。$$

同理,令  $\partial m / \partial p = 0$  可得制造商最优价格

$$p^{***} = \frac{1}{2} [w_t + c_m + (T_s)] + \frac{1}{2b_1} [a - b_2 (T_s + l_t)]。$$
 (9)

命题 2:对于固定需求率  $D$ ,当两部收费制契约参数  $(w_t, )$  满足以下条件时,该契约能够发挥协调作用,供应链整体利润实现最优化。即

$$\begin{cases} w_t = c_s + (T_s) + (T_s) \\ s - (a - b_1 p^* - b_2 T) [w_t - c_s - (T_s) - (T_s)] \\ (a - b_1 p^* - b_2 T) [p^* - w_t - c_m - (T_s)] - m \end{cases}$$

证明:在两部收费制契约下,要使分散决策供应链和集中决策供应链运作绩效相等,必须满足  $p^* = p^{***}$ 。比较式(2)和式(9)可以解得

$$w_t = c_s + (T_s) + (T_s)。$$

另外,要实现供应链协调还需满足两个条件:

$$m(T_s, p) = m(T_s, p) \text{ 和 } s(T_s, p) = s(T_s, p)。$$

由  $m(T_s, p) = m(T_s, p)$  可得

$$(a - b_1 p^* - b_2 T) [p^* - w_t - c_m - (T_s)] - m。$$

由  $s(T_s, p) = s(T_s, p)$ , 可得

$$s - (a - b_1 p^* - b_2 T) [w_t - c_s - (T_s) - (T_s)]。$$

所以有

$$s - (a - b_1 p^* - b_2 T) [w_t - c_s - (T_s) - (T_s)] = (a - b_1 p^* - b_2 T) [p^* - w_t - c_m - (T_s)] - m。$$

证毕。

根据前文对相关参数的假设。经过计算得到:  $w_t = 11.682, 356.622, 534.937$ 。此时,  $s = 、 m = 738.248 - 、 s + m = 713.248$ 。显然,供应链运行绩效与集中决策供应链相同,两部收费制契约发挥协调作用,供应链实现完美协调。

另外,我们不难看出,如果供应价格满足条件  $11.682 < w < 33.488$ , 则供应链的运行绩效要优于分散决策。虽然供应商收益会减少,但是制造商和供应链总收益都将增加。如果双方能够建立两部收费制契约,通过调整契约参数,则能实现双方收益任意分配,供应链同样能够实现协调。

## 6 结论

本文以一个由供应商与制造商组成的两阶段 MTO 供应链为背景,研究市场需求时间价格敏感时,供应链的决策行为。在考虑持有成本和延迟交货成本的情况下,通过研究发现在制造商和供应商独立决策的条件下,产品价格高于集中决策下产品价格;两种决策方式下得到的供应链最优响应时间相等;分散决策下市场需求低于集中决策下市场需求;分散决策下制造商与供应商获取的利润总和小于集中决策总利润。说明分散决策降低了供应链的整体效率。基于此,我们提出了通过两部收费制契约协调供应链的策略,并证明在契约参数  $(w_t, )$  满足一定条件的情况下,该契约能够发挥协调作用,使供应链收益实现最优化。为便于分析,我们假定制造商只能从单一供应商获取原料且只生产单一产品,为了更接近实际运用,我们将来应该加强对多原材料供应商多产品品种的研究。

## 参考文献

[1] CELIK S, MAGLARAS C. Dynamic pricing and lead-time

- quotation for a multiclass make-to-order queue[J]. *Management Science*, 2008, 54(6): 1132-1146.
- [2] SO K C, SONG J S. Price, delivery time guarantees and capacity selection[J]. *European Journal of Operational Research*, 1998, 111: 28-49.
- [3] SO K C. Price and time competition for service delivery[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2000, 2(4): 392-409.
- [4] 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.
- [5] 邵建军, 柯大纲. 价格、时间敏感需求下的供应链价格与交付期管理[J]. *管理工程学报*, 2008, 22(4): 90-95.
- [6] SHEN C L, ZHANG X X. Pricing and Lead Time Joint Decisions in Two-echelon Supply Chain with Retailers' Competition[C]// *International Conference on Management Science & Engineering-16th Annual Conference Proceedings*, Moscow, 2009: 630-635.
- [7] 马士华, 王福寿. 时间价格敏感型需求下的供应链决策模式研究[J]. *中国管理科学*, 2006, 14(3): 13-19.
- [8] 杨文胜, 李莉. 基于响应时间的供应链契约协同分析[J]. *系统工程学报*, 2006, 21(1): 24-32.
- [9] LIU L M, PARLAR M, ZHU S X. Pricing and lead time decisions in decentralized supply chains[J]. *Management Science*, 2007, 53(5): 713 - 725.
- [10] LIN C P, HSIEH C C. Lead time decisions under lead-time sensitive demand with demand disruptions [C]// *International Conference on Service Systems and Service Management*, Xiamen, 2009: 552-557.
- [11] 曹宗宏, 周永务. 价格和库存量影响需求的供应链量折扣定价模型[J]. *系统工程学报*, 2008, 23(1): 67-73.
- [12] CACHON G P, LARIVIERE M A. Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: strengths and limitations[J]. *Management Science*, 2005, 51(1): 30 - 44.
- [13] 廖成林, 石刚, 李菡. 一种需求不确定下的回购策略设计[J]. *技术经济*, 2009, 28(11): 116-120.
- [14] 肖玉明, 汪贤裕. 基于回购契约的供应链协调与风险分担分析[J]. *控制与决策*, 2008, 23(8): 905-909.
- [15] PEKGUN P, GRIFFIN P, KESKINOCAK P. Coordination of marketing and production for price and leadtime decisions[J]. *IIE Transactions*, 2008, 40: 12-30.
- [16] 邵晓峰, 季建华. 基于补偿合约的供应链定价与能力设计的协调问题研究[J]. *中国管理科学*, 2008, 16(4): 62-67.
- [17] 熊中楷, 李根道, 唐彦昌等. 网络环境下考虑动态定价的渠道协调问题研究[J]. *管理工程学报*, 2007, 21(3): 49-55.
- [18] SHANTHIKUMAR J G, SUMITA U. Approximations for the time spent in a dynamic job shop with applications to due date assignment [J]. *International Journal of Production Research*, 1988, 26: 1329-13521.
- [19] KARMARKAR U. Manufacturing lead times, order release and capacity loading [C]// GRAVES S, RINNOOY KAN A, ZIPKIN P, eds. *Handbooks in Operations Research and Management Science*, Amsterdam: North-Holland, 1993.

## Research on Supply Chain Coordination Policy Based on Response Time

Gao Bo, Shi Shusheng

(College of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** Under time and price sensitive demand situation, based on a two-level MTO supply chain consisting of one supplier and one manufacturer, through establishing supply chain revenue model analyzes the impact of response time on supply chain enterprises decision-making. First, the optimal response strategy for the supplier and manufacturer is demonstrated, and then it find the supply chain cannot be the perfect coordination under decentralized decision-making situation. It also discusses the coordination problem under decentralized decision-making situation and find that two-part tariff contract can perfect coordinate the supply chain if it satisfy certain conditions. Finally, a numeric example is raised in order to interpret the above conclusions.

**Key words:** supply chain coordination; response time; time and price sensitive demand; two-part tariff contract