

互补品制造供应链的集团采购与需求信息共享^①

周茂森^{1,2}, 但斌^{1,3*}, 于辉¹

(1. 重庆大学经济与工商管理学院, 重庆 400044; 2. 深圳大学管理学院, 深圳 518060;
3. 重庆大学现代物流重庆市重点实验室, 重庆 400030)

摘要: 研究了集团采购中信息共享的激励问题. 考虑两个互补品制造商通过一个集团采购组织 (group purchasing organization, GPO) 集中采购某种部件. 制造商分别观测到不完美需求预测信息, 并可选择向 GPO 共享任意水平信息量. 通过建立不完全信息下的动态博弈模型和求解博弈均衡, 分析互补性、信息精度和信息共享水平等因素对于系统绩效的影响, 揭示制造商的信息共享激励问题, 进而设计基于收益共享契约的信息共享激励机制. 研究发现, 批发价格契约下, 各制造商不愿共享任何信息, 信息共享会加剧双重边际效应, 削弱互补效应和预测效应, 从而降低系统利润; 收益共享契约下, 各制造商愿意共享全部信息, 且所有参与者实现帕累托改进, 而进一步消除制造商间的信息不对称可使系统达到最优.

关键词: 集团采购; 信息共享; 需求预测; 收益共享契约; 互补品

中图分类号: F253; F224 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2017)08-0063-17

0 引言

集团采购是由多个买家委托第三方集团采购组织 GPO 集中进行的采购活动. 与独立采购 (individual purchasing) 相比, 集团采购更容易获得规模和范围上的经济性. 近年来, 多品种、小批量化生产已成趋势, 伴随跨企业信息共享技术的发展, 集团采购日益成为众多企业实现降本增效的重要举措^②. 并且, 为增加产品价值、获得协同效应, 许多企业集团还实施了互补产品战略, 因而企业间的互补关系成为集团采购需要考虑的现实因素. 例如, 中煤集团在煤矿装备产业形成了以采煤机、刮板输送机、掘进机和液压支架为代表的互补产品体系, 并由旗下多个子公司分别制造, 并且, 通

过设立集团采购中心, 对各子公司所需的大宗物资、重要设备及配件进行集中采购, 采购集中度达到 70%^③. 另一方面, 需求多样化、产品生命周期缩短等因素日益加剧了供应链的不确定性, 而跨企业信息共享不仅是集团采购的技术支撑, 更是降低供应链不确定性和改进企业绩效的重要途径^[1]. 在大数据背景下, 市场信息的开发和利用已是当前企业的机遇和挑战^[2,3]. 如何通过 GPO 整合分散于成员企业中的市场信息, 对于增强需求预测能力、提升集团采购价值具有重要意义. 然而, 信息优势企业却常常因激励失调而不愿共享、或只共享部分信息. 因此, 研究集团采购中的需求预测信息共享和激励问题显得十分必要.

本研究涉及供应链中的集团采购和寡头企业

① 收稿日期: 2015-03-30; 修订日期: 2017-01-11.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71272086; 71572020); 国家社会科学基金重大资助项目(15ZDB169); 国家科技支撑计划资助项目(2015BAF05B01); 中国博士后科学基金资助项目(2016M602529).

通讯作者: 但斌(1966—), 男, 重庆人, 博士, 教授, 博士生导师. Email: danbin@cqu.edu.cn

② 邵宁在中央企业集中采购培训班上的讲话. <http://www.sasac.gov.cn/n1180/n1566/n258252/n258599/15375046.html>. 2013-06-06.

③ 中煤集团集中采购交流材料. <http://wzcg.chinacoal.com:7002/b2b/web/two/indexinfoAction.do?actionType=showMessage&xxbh=359E2A5E86D5DB96B49B1C6E2B4351C0>. 2013-05-31.

信息共享两个领域.与集团采购相关的现有文献侧重从运作层面研究集团采购在数量折扣、交易成本等方面的规模经济性.例如,Chen和Roma^[4]针对由一个制造商和两个竞争性零售商组成的供应链,从供应链视角研究集团采购问题.基于零售商对称、不对称两种情形,分别将集团采购与独立采购进行了对比分析;Hu和Schwarz^[5,6]针对医疗产品供应链中GPO是否降低采购成本以及合同管理费(CAF)等争议问题,先后基于采购商同质和异质两种假定,考察了GPO在降低采购成本和促进供应商竞争方面的能力;陈敬贤等^[7]针对由一个供应商和两个寡头零售商组成的供应链,考虑正常运作和需求突变两种情形,分别研究了集团采购对供应链绩效的影响;Geyskens等^[8]通过对欧洲138家大型杂货零售商长达15年的实证分析,发现集团采购能给零售商带来规模经济优势,但成员规模并非越大越好,还受到成员异质性、竞争程度和市场规模等因素的影响;Bolandifar等^[9]针对两个竞争性OEM的部件采购问题,发现面对策略性的供应商,大型OEM总是倾向于集团采购,而小型OEM则还可能选择独立采购.这些文献考虑下游企业间彼此独立或存在竞争关系,尚未考虑可能存在的互补关系.并且,GPO已趋向互联网化、平台化发展,在供应链中的信息中介与主导作用越来越显著,因而有必要从供应链的战略层面考察GPO在集团采购中的信息价值.

涉及寡头企业信息共享的供应链文献主要通过比较“完全信息共享、没有信息共享”两种边界信息环境,考察信息共享的激励问题及其对供应链绩效的影响^[10-20].其中,Li^[10]和Zhang^[11]针对一个供应商和下游多个竞争性零售商组成的供应链,假定零售商依据批发价格可完全推断出竞争对手的共享信息,即考虑存在“泄漏效应(leakage effect)”^④,并通过两种信息环境的比较揭示零售商的纵向信息共享激励问题;Jain和Sohoni^[14]进而考虑供应商可差异化定价、两个零售商先后决策的情形,发现当后者可推断前者需求信息时,前者与供应商签订信息保密协定未必对其有利;Shamir和Shin^[15]研究了各由一个制造商和

一个零售商组成的两条竞争性供应链,发现当在位零售商向制造商、竞争对手同时公开需求信息时,所有参与企业和消费者均可能获益;Jiang和Hao^[16]基于四种供应链结构考察零售商横向与纵向信息共享的激励问题,发现当零售商间竞争较小、信息相关度较高时,零售商可能同时进行横向与纵向的信息共享.较多文献将是否信息共享作为外生的环境,而本文将信息共享作为内生的决策.在与之相关的文献中,Ha等^[21]针对两条分别由一个制造商和一个零售商组成的竞争性供应链,研究了零售商的信息共享激励问题以及批发价格和固定转移支付的激励作用,并分析了规模不经济、竞争强度和信精度等因素对激励的影响;Anand和Goyal^[22]针对一个供应商和两个竞争性零售商(在位者和进入者)组成的供应链,发现在批发价格契约下,供应商总是会将在位者的需求信息泄漏给进入者,而在位者会因此通过扭曲物流而隐藏信息;Kong等^[23]在文献[22]的基础上进一步考察了收益共享契约在防止信息泄漏方面的潜力;Shang等^[24]研究了由两个竞争性制造商和一个零售商组成的供应链,分析了制造商的非线性成本、竞争强度以及零售商是否提供信息共享收费契约等因素对于信息共享激励的影响.上述研究都是基于“完全共享、完全不共享”的视角,而在现实供应链中,“部分信息的共享”也是常见的情形.近年来,开始有少量文献基于部分信息共享的视角考察供应链中的信息共享问题,如文献[25-27].然而,这些文献主要研究“一对一”型的供应链,而未研究考虑寡头关系的“一对多”型集团采购供应链.

在现有研究基础上,以一个GPO和两个互补品制造商组成的供应链为研究框架,拟考察需求预测信息的纵向共享对供应链均衡的影响,并解决制造商的信息共享激励问题.本文也重新考察了批发价格契约下互补品供应链的纵向信息共享问题,但不同于文献[11],本文考虑不存在信息泄露的情形.现实中,往往还存在许多来自供应侧的不确定性因素,如成本结构、战略定位、利润目标等,都会影响上游企业价格的制定,故下游企业

④ 附录A表明,仅仅假定“知道批发价格即知道共享信息”会混淆“信息推断引起的间接泄露”与上游企业的“直接泄露”,故文献[12]也对此假定进行了修正.

很难依据批发价格产生完全推断行为; 并且, 即使忽略这些不确定性因素, 要使这种推断行为达到唯一均衡, 现有研究还要给出推断函数为线性的假定^[12, 13]; 特别地, 推断行为是否存在还取决于其能否为推断者带来好处. 此外, 除了推断行为引起的间接信息泄露, 企业也可能直接泄露信息. 文献 [22, 23] 表明, 信息泄露和信息保密也是企业重要的策略性行为. 由此可见, 现有文献考虑的信息泄露情形并非常态, 而研究不存在信息泄露的情形能够与其形成互补.

此外, 本文与现有文献还存在以下区别. 首先, 以供应链视角研究集团采购中的信息共享与激励问题, 并考虑制造商间的互补关系, 得以探索 GPO 在集团采购中的信息协调价值; 其次, 用信息共享水平对完全信息共享、没有信息共享两种边界情形进行连续化, 从而能对供应链中的信息共享行为及其对供应链均衡的影响进行更具一般性的分析; 最后, 将收益共享契约应用于信息流内生的不完全信息环境, 可为契约机制同时协调物流和信息流提供实例验证. 这不仅有利于供应链的信息共享, 还能为拓展供应链的优化空间提供理论依据和实践参考.

1 问题描述

考虑不确定性需求下, 由一个 GPO 和两个制造商组成的集团采购供应链, 各参与者风险中性. 其中, 各制造商通过 GPO 采购某种相同部件, 分别将其加工为一种互补性产品, 直接面向市场销售. 不失一般性, 假设 GPO 采购该部件的单位成本为常数 c , 该部件转化为产品的数量比例为 1:1, 各制造商的单位加工成本为相等的常数, 标准化为零. 考虑产能、提前期等因素的限制, 两种产品在销售季不易调整产量, 因此, 聚焦于两个制造商在销售季来临前基于需求预测确定各自的产量, 并在销售季来临时实现出清销售的情形. 并且, 为简化分析, 假定两种产品的需求具有对称性. 依据文献 [28, 29], 采用线性的逆需求函数表达两种互补品的对称性需求, 即

$$p_i = a + \varepsilon - d_i + \gamma d_j, i \in \{1, 2\}, j = 3 - i \quad (1)$$

其中 d_i 和 p_i 分别表示制造商 i 的产品数量及其市场出清价格; γ 为互补品的数量对于产品价格的影响系数, 表示两种产品的互补性, 满足 $0 < \gamma < 1$ ^⑤; $a + \varepsilon$ 表示顾客对产品的认同价值, $a > c$, ε 为随机变量, 表示市场不确定性因素导致的随机扰动, 均值为 0, 方差为 σ^2 . 由于各制造商直接面向市场, 考虑其在销售季来临前, 可通过观测需求获得关于 ε 的部分信息, 而 GPO 不能直接观测需求.

1.1 需求观测

考虑各制造商分别得到实际需求 ε 的一个观测样本, 样本容量相等, 设为 n . 制造商 i 的样本由 n 份观测值 (r_{i1}, \dots, r_{in}) 组成, 满足 $r_{ik} = \varepsilon + u_{ik}$, $\forall u_{ik} \in \{u_{ik} | i = 1, 2; k = 1, \dots, n\}$ 为噪音项. 假定所有 u_{ik} 是均值为 0、方差为 σ_u^2 的独立同分布, 且与 ε 独立. 用样本均值 $Y_i = \varepsilon + \sum_{k=1}^n u_{ik}/n$ 表示制造商 i 的观测信息, 则 Y_i 是 ε 的无偏估计量, 即 $E[Y_i | \varepsilon] = \varepsilon$. 易知 Y_1 和 Y_2 是 ε 条件下的独立同分布, 且期望条件方差为 $E[\text{Var}(Y_i | \varepsilon)] = \sigma_u^2/n$. 可用期望条件方差表征观测信息 Y_i 与真实 ε 的偏差程度, 则 Y_i 的信息精度可定义为

$$t_i = \text{Var}(\varepsilon) / E[\text{Var}(Y_i | \varepsilon)] = t \quad (2)$$

式中 $t = n\sigma^2/\sigma_u^2$, 故考虑各制造商存在相同信息精度的情形. 特别地, 当 $n \rightarrow \infty, \sigma_u \rightarrow 0$ 时, $t \rightarrow \infty$, 表示需求完全可观测; 反之, 当 $n \rightarrow 0, \sigma_u \rightarrow \infty$ 时 $t \rightarrow 0$, 表示需求完全不可观测. 考虑 ε, u_{ik} 的先验分布以及 n 均为各参与者的共同知识.

1.2 信息共享

考虑制造商 i 从其观测样本中随机抽取 $\lambda_i n$ 份观测值共享给 GPO, λ_i 表示信息共享水平, $0 \leq \lambda_i \leq 1$. 分别用均值 $y_i = \varepsilon + \sum_{k=1}^{\lambda_i n} u_{ik}/(\lambda_i n)$ 和 $\bar{y}_i = \varepsilon + \sum_{k=\lambda_i n+1}^n u_{ik}/(n - \lambda_i n)$ 表示制造商 i 的共享信息和未共享信息. 易知 $E[y_i | \varepsilon] = E[\bar{y}_i | \varepsilon] = \varepsilon$, 且 y_1, y_2, \bar{y}_1 和 \bar{y}_2 在 ε 条件下彼此独立. 则有

⑤ 针对互补性产品, 文献 [28] 排除了 $\gamma = 1$ 时完全互补的情形, 以保证消费者效用是严格凹函数. 本文保留其假定, 保证了集中式决策下存在唯一最优解, 并且, 排除了 $\gamma = 0$ 时的独立情形.

$$\tau_i \equiv \text{Var}(\varepsilon) / E[\text{Var}(y_i | \varepsilon)] = \lambda_i t \quad (3)$$

当 $\lambda_i = 0$ 时 $\tau_i = 0$, 表示没有信息共享; 当 $\lambda_i = 1$ 时 $\tau_i = t$, 表示完全信息共享; 而当 $0 < \lambda_i < 1$ 时 $0 < \tau_i < t$, 则表示部分信息共享. 因此, 可用 τ_i 表征制造商 i 的信息共享水平. 因此, 信息共享后, GPO 获得需求预测信息 (y_1, y_2) , 而制造商 i 的需求预测信息不变, 仍为 Y_i 或 (y_i, \bar{y}_i) .

1.3 信息结构

考虑各参与者对需求的预测基于线性回归模型, 即 ε 的预测值为预测信息的仿射函数, 该模型适用于多种共轭先验形式的贝叶斯推断, 并被现有文献广泛采用^[19, 24, 30]. 由文献[31], 可得

引理 1 若随机变量 $Z = (z_1, z_2, \dots, z_n)$ 满足, $\forall i = 1, \dots, n$, 有 $E[z_i | \varepsilon] = \varepsilon$; $E[\varepsilon | Z] = \eta_0 + \eta Z^T$, $\eta = (\eta_1, \dots, \eta_n)$, $\eta_0, \eta_1, \dots, \eta_n$ 为常数; 且 z_i 在 ε 条件下彼此独立. 令 $t_i = \text{Var}(\varepsilon) / E[\text{Var}(z_i | \varepsilon)]$, 则可得到 1) $E[\varepsilon | z_i] = E[z_j | z_i] = [t_i / (1 + t_i)] z_i, \forall j = 1, \dots, n, i \neq j$; 2) 令 $h_i = t_i / \sum_{j=1}^n t_j, \bar{z} = \sum_{i=1}^n h_i z_i$, 则 $E[\varepsilon | Z] = E[\varepsilon | \bar{z}] = \eta_0 + \sum_{i=1}^n \eta_i z_i$ 且 $E[\bar{z} | \varepsilon] = \varepsilon$, 其中 $\eta_0 = E[\varepsilon] / (1 + \sum_{j=1}^n t_j), \eta_i = t_i / (1 + \sum_{j=1}^n t_j)$.

依据引理 1, 且已知 $E[\varepsilon] = 0$, 可得

$$E[\varepsilon | Y_i] = E[Y_j | Y_i] = \frac{t}{1+t} Y_i \quad (4)$$

$$E[\varepsilon | y_i] = E[y_j | y_i] = \frac{\tau_i}{1+\tau_i} y_i \quad (5)$$

$$E[\varepsilon | Y_1, Y_2] = \frac{t(Y_1 + Y_2)}{1+2t} \quad (6)$$

$$E[\varepsilon | y_1, y_2] = E[\bar{y}_i | y_1, y_2] = \frac{\tau_1 y_1 + \tau_2 y_2}{1+\tau_1+\tau_2} \quad (7)$$

$$E[Y_i | y_1, y_2] = \lambda_i y_i + (1-\lambda_i) E[\varepsilon | y_1, y_2] \quad (8)$$

由统计学原理, 还能推导得到

$$E[Y_i^2] = E[Y_i y_i] = \left(1 + \frac{1}{t}\right) \sigma^2 \quad (9)$$

$$E[y_i^2] = \left(1 + \frac{1}{\tau_i}\right) \sigma^2, E[y_i y_j] = E[\varepsilon y_i] = \sigma^2 \quad (10)$$

$$E[Y_i Y_j] = E[Y_i y_j] = E[\varepsilon Y_i] = E[\varepsilon^2] = \sigma^2 \quad (11)$$

1.4 事件过程

考察单个销售周期, 在销售季来临前, 各制造商首先观测市场需求, 然后订购部件, 并完成产品的生产; 在销售季来临时, 各制造商完成产品销售. 考虑各制造商在销售周期开始之前进行信息共享决策.

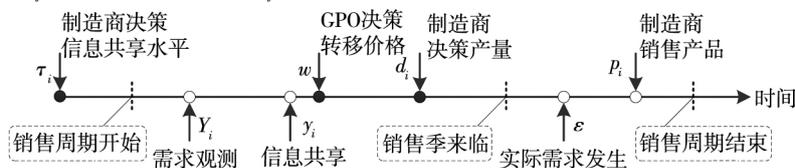


图 1 事件时序图

Fig.1 Sequence of events

如图 1 所示, 主要事件和决策顺序如下.

1) 在销售周期开始之前, 各制造商决策信息共享水平为 λ_i , 即确定 τ_i .

2) 销售周期开始, 各制造商观测到需求预测信息 Y_i , 并将 $\lambda_i n$ 份观测值共享给 GPO. 考虑 GPO 不会泄露信息的情形^⑥, 故在信息共享后, GPO 的信息更新为 (y_1, y_2) , 而各制造商的信息不变.

3) GPO 制定统一的部件转移价格 w , 并向各制造商公开发布. 现实中, 差异化定价策略常常会受到公平性、合规性、实施成本等方面因素的制约, 因而

统一定价更具普遍性. 并且, 依据文献[10, 11], 面对对称性的制造商, 统一定价也是 GPO 的占优策略.

4) 各制造商同时决策产量 d_i , 由于部件数量与产品数量相同, 因而其向 GPO 提交的部件订购量也为 d_i . 然后, GPO 汇总各制造商的部件订购量, 并通过集中采购满足所有制造商的部件需求, 各制造商完成产品生产.

5) 销售季来临, 实际需求发生, 各制造商 i 按价格 p_i 出售所有产品; 销售周期结束, 各制造

⑥ 为便于对比, 附录 A 补充考察了 GPO 直接泄露信息的情形, 该情形也等同于文献[11]考察的“间接泄露”.

商 i 获得利润 π_i , GPO 获得利润 π_g , 供应链的系统利润为 $\pi_{sc} = \pi_g + \pi_1 + \pi_2$.

其中

$$\pi_i = (a + \varepsilon - d_i + \gamma d_j - w) d_i, j = 3 - i \quad (12)$$

$$\pi_g = (w - c)(d_1 + d_2) \quad (13)$$

上述过程包含三阶段的动态博弈, 首先是信息共享决策, 各制造商确定 τ_i ; 其次是转移价格决策, GPO 依据 (y_1, y_2) 确定 w ; 最后是产量决策, 各制造商依据 w 和 Y_i , 同时决策 d_i .

2 集中式决策

为建立基准参考, 首先分析集中式决策模型 (用上标 C 表示). 即在销售周期内, 依据完全信息 (Y_1, Y_2) , 决策 (d_1, d_2) 以最大化系统利润

$$\max_{d_1, d_2} E[\pi_{sc} | Y_1, Y_2]$$

定理 1 集中式决策下的最优产量决策为

$$d_i^C = \bar{d}_i^C + \beta_0 E[\varepsilon | Y_1, Y_2], i \in \{1, 2\}$$

其中

$$\bar{d}_i^C = (a - c) / (2 - 2\gamma) \quad \beta_0 = 1 / (2 - 2\gamma)$$

证明 易知 $E[\pi_{sc} | Y_1, Y_2]$ 是关于 d_1 和 d_2 的联合凹函数, 由一阶条件联立求解得到. 证毕.

定理 1 中, $E[\varepsilon | Y_1, Y_2]$ 为依据完全信息对 ε 的预测, \bar{d}_i^C 为不受预测行为影响的确定性产量. 由 $\beta_0 > 0, \partial\beta_0/\partial\gamma > 0$ 可知, 最优产量受到需求预测行为的正影响, 并且, 随着互补性增强, 这种正影响更加显著. 由定理 1, 可得系统先验利润

$$\Pi_{sc}^C = E[\pi_{sc}] = \bar{\Pi}_{sc}^C + F_{sc}^C \quad (14)$$

其中 $\bar{\Pi}_{sc}^C = (a - c)^2 / (2 - 2\gamma)$ 为确定性利润, $F_{sc}^C = \sigma^2 t / [(2t + 1)(1 - \gamma)]$ 为预测产生的利润.

由式(14)易知, 集中式决策下的系统利润会受到两方面影响, 一方面, 由 $\partial\Pi_{sc}^C/\partial t > 0$ 可知, 系统利润受到信息精度正影响, 表明增强需求预测能力有利于提高系统利润, 称之为预测效应; 另一方面, 由 $\partial\Pi_{sc}^C/\partial\gamma > 0$ 可知, 产品互补性也能对系统利润产生正影响, 称之为互补效应. 并且, 这两种效应还能互相促进而产生协同效应, 即 $\partial^2\Pi_{sc}^C/\partial t\partial\gamma > 0$.

3 分散式决策

分散式决策下, GPO 与各制造商基于批发价格契约交易 (用上标 N 表示), 各参与者均以自身利润最大化进行决策. 依据 1.4 节的三阶段博弈过程, 采用逆向归纳法求解博弈均衡.

3.1 制造商的产量决策

产量决策阶段, 各制造商间展开贝叶斯静态博弈. 依据 w 和 Y_i , 制造商 i 的条件期望利润为

$$E[\pi_i | Y_i] = (a + E[\varepsilon | Y_i] - d_i + \gamma E[d_j | Y_i] - w) d_i$$

为使利润最大化, 任意制造商 $i \in \{1, 2\}$ 的决策须满足一阶条件, $\partial E[\pi_i | Y_i] / \partial d_i = 0$, 即

$$2d_i = a + E[\varepsilon | Y_i] + \gamma E[d_j | Y_i] - w \quad (15)$$

引理 2 各制造商间存在唯一的贝叶斯纳什均衡, 且制造商 i 均衡策略为

$$\tilde{d}_i^N(w) = \alpha_w^N + \beta_1 E[\varepsilon | Y_i], i \in \{1, 2\} \quad (16)$$

其中 $\alpha_w^N = (a - w) / (2 - \gamma)$,

$$\beta_1 = (t + 1) / (2t - \gamma t + 2)$$

证明 首先证明式(16)为贝叶斯均衡解, 即当任意制造商 i 的产量满足 $d_i = \tilde{d}_i^N$ 时, $d_j = \tilde{d}_j^N$ 都是另一个制造商 j 的唯一选择. 依据式(15), 制造商 j 的产量满足

$$2d_j = a - w + E[\varepsilon | Y_j] + \gamma E[d_i | Y_j]$$

将 $d_i = \tilde{d}_i^N$ 代入后

$$2d_j = a - w + \gamma\alpha_w^N + E[\varepsilon | Y_j] + \gamma\beta_1 E[E[\varepsilon | Y_i] | Y_j]$$

由式(4)易得

$$\begin{aligned} E[E[\varepsilon | Y_i] | Y_j] &= \frac{t}{1+t} E[Y_i | Y_j] \\ &= \frac{t}{1+t} E[\varepsilon | Y_j] \end{aligned}$$

再次代入并化简得

$$2d_j = a - w + \gamma\alpha_w^N + E[\varepsilon | Y_j] + \gamma\beta_1 t / (1+t) E[\varepsilon | Y_j]$$

又由 $a - w + \gamma\alpha_w^N = 2\alpha_w^N$ 和 $1 + \gamma\beta_1 t / (1+t) =$

$2\beta_1$, 进一步得到 $2d_j = 2\alpha_w^N + 2\beta_1 E[\varepsilon | Y_j]$, 即 $d_j = \tilde{d}_j^N$. 然后, 采用文献 [21] 引理 1 的方法, 即可证得均衡解的唯一性. 证毕.

引理 2 中, $E[\varepsilon | Y_i]$ 为制造商对需求的预测值, β_1 表示制造商的需求预测行为对其产量的影响. 显然, 制造商的产量同时依赖于自身预测行为和 GPO 提供的转移价格. 容易验证, $0 < \beta_1 < \beta_0$, $\partial\beta_1/\partial\gamma > 0$, $\partial\beta_1/\partial t > 0$. 这表明, 虽然制造商的预测行为对其产量决策的影响低于集中式决策, 但其仍对产量具有正影响, 并且, 该影响随互补性和信息精度的提高而增强. 同时, $\partial\alpha_w^N/\partial w < 0$, $\partial\alpha_w^N/\partial\gamma > 0$, $\partial^2\alpha_w^N/\partial\gamma\partial w < 0$. 这又表明, 转移价格对产量具有负影响, GPO 通过制定转移价格使其利润最大化, 将产生“双重边际效应(double marginalization)”, 这种效应不仅直接扭曲产量, 也会削弱互补性对产量的正影响.

3.2 GPO 的转移价格决策

信息共享能使 GPO 获得预测信息, 从而预测需求. 依据 (y_1, y_2) , GPO 对两个制造商总订货量的预期为 $E_D = E[\tilde{d}_1^N + \tilde{d}_2^N | y_1, y_2]$. 因此, 在转移价格决策阶段, GPO 的条件期望利润为

$$E[\pi_g | y_1, y_2] = (w - c) E_D$$

为使利润最大化, GPO 的决策须满足一阶条件, $\partial E[\pi_g | y_1, y_2] / \partial w = 0$, 即

$$E_D + (w - c) \partial E_D / \partial w = 0 \tag{17}$$

定理 2 在销售周期内, 供应链存在唯一均衡, 且各参与者的均衡策略分别为

$$\begin{cases} w^N = \bar{w}^N + \beta_2^N E[\varepsilon | y_1, y_2] \\ d_i^N = \bar{d}_i^N + \beta_1 E[\varepsilon | Y_i] + \beta_3^N E[\varepsilon | y_1, y_2], i \in \{1, 2\} \end{cases}$$

其中 $\bar{w}^N = \frac{a+c}{2}$, $\bar{d}_i^N = \frac{a-c}{2(2-\gamma)}$, $\beta_1 = \frac{t+1}{2t-\gamma t+2}$, $\beta_2^N = \frac{(2t+1)(2-\gamma)}{4(2t-\gamma t+2)}$, $\beta_3^N = -\frac{2t+1}{4(2t-\gamma t+2)}$.

证明 由式 (7) 和式 (8) 可得

$$E[Y_1 + Y_2 | y_1, y_2] = \frac{1+2t}{t} E[\varepsilon | y_1, y_2].$$

设 $E_y = E[E[\varepsilon | Y_1] + E[\varepsilon | Y_2] | y_1, y_2]$, 则有

$$E_y = \frac{t}{1+t} E[Y_1 + Y_2 | y_1, y_2] = \frac{1+2t}{1+t} E[\varepsilon | y_1, y_2].$$

将 $E_D = 2\alpha_w^N + \beta_1 E_y$, $\partial E_D / \partial w = 2 / (\gamma - 2)$ 代入式 (17), 可得唯一解 w^N . 进而有 $d_i^N = \tilde{d}_i^N(w^N)$. 证毕.

定理 2 中, \bar{w}^N 和 \bar{d}_i^N 均为不受预测行为影响的确定性量, 而 $E[\varepsilon | y_1, y_2]$ 为 GPO 对需求的预测值, 因此 β_2^N 和 β_3^N 分别表示信息共享下 GPO 的预测行为对转移价格和产量的影响. 容易验证, $\beta_2^N > 0$, $\partial\beta_2^N/\partial\gamma < 0$, $\partial\beta_2^N/\partial t > 0$. 这表明 GPO 的预测行为对转移价格有正影响, 并且, 互补性越低或信息精度越高时, 这种正影响越显著. 也就是说, 当需求增加, 即 $E[\varepsilon | y_1, y_2] > 0$ 时, 制造商共享越多信息, GPO 会将转移价格定得越高, 而制造商的互补性却能抑制转移价格的提高.

定理 2 还表明, 信息共享能够通过转移价格间接影响产量. 容易验证, $\beta_3^N < 0$, $\partial\beta_3^N/\partial t < 0$, $\partial\beta_3^N/\partial\gamma < 0$. 这表明 GPO 的预测行为对产量具有负影响, 并且, 互补性和信息精度会加剧这种负影响. 可见, GPO 的预测行为会导致供需变化不匹配, 当需求增加时, GPO 的预测行为会使 GPO 提高转移价格, 抑制制造商的产量增加; 反之, 当需求降低时, GPO 的预测行为却会使 GPO 降低转移价格, 从而抑制制造商的产量减少. 因此, 信息共享会通过转移价格进一步扭曲产量, 从而加剧双重边际效应, 并且, 随着信息精度和互补性的提高, 这种影响还会进一步加剧.

3.3 制造商的信息共享决策

依据销售周期内各参与者的均衡策略, 可得各参与者在销售周期开始之前的先验利润. 显然, 确定性因素、需求预测和信息共享等三方面因素会通过影响均衡策略而改变各参与者的利润. 为便于表达, 用 $\bar{\Pi}$ 表示与预测行为无关的确定性利润, 而用 F 和 V 分别表示受到制造商和 GPO 的预测行为所影响的利润, 也分别表示制造商的需求预测和信息共享所产生的价值.

在信息共享决策阶段, 各制造商以先验利润最大化决策信息共享水平. 将定理 2 中的 w^N 和 d_i^N 同时代入式 (12), 可得制造商 i 的先验利润为

$$\Pi_i = E[\pi_i] = \bar{\Pi}_i + F_i + V_i \tag{18}$$

$$\text{其中 } \bar{\Pi}_i = \frac{(a-c)^2}{4(2-\gamma)^2}, F_i = \frac{\sigma^2 t(t+1)}{(2t-\gamma t+2)^2}, V_i = -\frac{\sigma^2(2t+1)[(6t+7)(\tau_1+\tau_2)+4\gamma\tau_j]}{16(\tau_1+\tau_2+1)(2t-\gamma t+2)^2}.$$

定理 3 批发价格契约下, $V_i < 0, \pi_1^N = \pi_2^N = 0$.

证明 由 $\partial \Pi_i / \partial \tau_i = \partial V_i / \partial \tau_i < 0$ 可得. 证毕.

定理 3 表明, 信息共享会使制造商遭受损失, 因此, 各制造商不愿共享任何信息. 并且, 由 $\partial V_i / \partial \tau_i < 0, \partial V_i / \partial \tau_j < 0$ 可知, 任何一个制造商提高信息共享水平, 不仅会加剧自身损失, 还会加剧竞争对手的损失, 由此可见, 批发价格契约下的信息共享会产生负的外部性.

再分析信息共享对 GPO 利润的影响. 为简化表达, 定义

$$K \equiv \sigma^2(\tau_1 + \tau_2) / (\tau_1 + \tau_2 + 1)$$

同理, 将 w^N, d_i^N 代入式 (13), 可得 GPO 的先验利润为

$$\Pi_g \equiv E[\pi_g] = \bar{\Pi}_g + F_g + V_g \quad (19)$$

其中

$$\bar{\Pi}_g = \frac{(a-c)^2}{2(2-\gamma)}, F_g = 0, V_g = \frac{K(2t+1)^2(2-\gamma)}{8(2t-\gamma t+2)^2}.$$

显然, GPO 的利润不受制造商预测行为的影响. 由 $V_g > 0, \partial V_g / \partial \tau_i > 0$ 可知, 信息共享有利于增加 GPO 的利润, 因此, GPO 有促成信息共享的动机. 然而, 只有当信息共享能提高供应链的系统利润时, GPO 才能有足够的剩余来弥补各制造商的损失.

由式 (18) 和式 (19) 可得系统先验利润, 即

$$\Pi_{sc} \equiv E[\pi_{sc}] = \bar{\Pi}_{sc} + F_{sc} + V_{sc} \quad (20)$$

其中 $\bar{\Pi}_{sc} = \bar{\Pi}_g + \bar{\Pi}_1 + \bar{\Pi}_2, F_{sc} = F_1 + F_2, V_{sc} = V_g + V_1 + V_2$.

显然, 在没有信息共享时, 制造商 i 的利润为 $\Pi_i^N \equiv \bar{\Pi}_i + F_i$, GPO 的利润为 $\Pi_g^N \equiv \bar{\Pi}_g + F_g$, 系统利润为 $\Pi_{sc}^N \equiv \bar{\Pi}_{sc} + F_{sc}$. 容易验证, $\partial \Pi_{sc}^N / \partial \gamma > 0, \partial \Pi_{sc}^N / \partial t > 0$. 可见, 如同集中式决策, 批发价格契约下的系统利润也会同时受到互补效应和预测效应的有利影响.

命题 1 信息共享 ($\tau_i \neq 0$) 对系统绩效的影响, 1) 对系统利润, $V_{sc} < 0, \partial V_{sc} / \partial \tau_i < 0$; 2) 对互

补效应, $\partial V_{sc} / \partial \gamma < 0, \partial^2 V_{sc} / \partial \gamma \partial \tau_i < 0$; 3) 对预测效应, 存在 $\gamma_i \in (0, 1)$, 当且仅当 $t > 0.5$ 且 $\gamma < \gamma_i$ 时, 使得 $\partial V_{sc} / \partial t > 0, \partial^2 V_{sc} / \partial t \partial \tau_i > 0$.

证明 由式 (20) 可得 $V_{sc} = JK$, 其中 $J = -\frac{(2t+1)(3\gamma+2t+2\gamma t+5)}{8(2t-\gamma t+2)^2} < 0.1, V_{sc} = JK < 0$,

$$\frac{\partial K}{\partial \tau_i} > 0, \text{ 故 } \frac{\partial V_{sc}}{\partial \tau_i} = J \frac{\partial K}{\partial \tau_i} < 0.2) \frac{\partial J}{\partial \gamma} < 0, \text{ 故 } \frac{\partial V_{sc}}{\partial \gamma} =$$

$$K \frac{\partial J}{\partial \gamma} < 0, \frac{\partial^2 V_{sc}}{\partial \gamma \partial \tau_i} = \frac{\partial K}{\partial \tau_i} \frac{\partial J}{\partial \gamma} < 0.$$

$$3) \frac{\partial V_{sc}}{\partial t} = J \frac{\partial K}{\partial t} + K \frac{\partial J}{\partial t} = K \left(\frac{J}{t} + \frac{\partial J}{\partial t} \right), \text{ 其中 } \frac{\partial J}{\partial t} = \frac{(\gamma+2)(2t-3\gamma-4\gamma t-1)}{4(2t-\gamma t+2)^3}. \text{ 由 } \frac{\partial J}{\partial \gamma} < 0, \frac{\partial^2 J}{\partial t \partial \gamma} <$$

$$0, \text{ 得 } \frac{\partial^2 V_{sc}}{\partial t \partial \gamma} = \frac{\partial J}{\partial \gamma} \frac{\partial K}{\partial t} + K \frac{\partial^2 J}{\partial t \partial \gamma} < 0, \text{ 即 } \frac{\partial V_{sc}}{\partial t} \text{ 是 } \gamma \text{ 的减}$$

$$\text{函数. 并且, } \frac{\partial V_{sc}}{\partial t} \Big|_{\gamma=1} = -\frac{3K}{2(t+2)^2} < 0, \text{ 当且仅当}$$

$$t > 0.5 \text{ 时, } \frac{\partial V_{sc}}{\partial t} \Big|_{\gamma=0} = \frac{(2t-1)K}{16(t+1)^3} > 0. \text{ 因此, 当 } t$$

$$\leq 0.5 \text{ 时, 总有 } \frac{\partial V_{sc}}{\partial t} < 0, \text{ 而当 } t > 0.5 \text{ 时, 一定存在}$$

$$\gamma_i \in (0, 1), \text{ 当且仅当 } \gamma < \gamma_i \text{ 时, } \frac{\partial V_{sc}}{\partial t} > 0. \text{ 此外,}$$

$$\frac{\partial^2 V_{sc}}{\partial t \partial \tau_i} = J \frac{\partial^2 K}{\partial t \partial \tau_i} + \frac{\partial K}{\partial \tau_i} \frac{\partial J}{\partial t} = \frac{\partial K}{\partial \tau_i} \left(\frac{J}{t} + \frac{\partial J}{\partial t} \right),$$

因此, $\text{sign}(\partial^2 V_{sc} / \partial t \partial \tau_i) = \text{sign}(\partial V_{sc} / \partial t)$. 证毕.

命题 1 表明, 在批发价格契约下, 信息共享会降低整个供应链的系统利润, 并且, 信息共享水平越高, 系统损失也越大. 可从两个方面进行解释, 一方面, 信息共享会加剧双重边际效应、扭曲供应链产量, 从而降低系统利润. 当无信息共享时, GPO 对需求的先验信息得不到更新, 转移价格不会受到需求波动的影响, 因而各制造商能够在不变转移价格下调整产量以匹配变化的需求. 然而, 当存在信息共享时, GPO 的先验信息得到更新, 能对需求产生精准的预测, 必然会及时调整转移价格以获取更多利润. 当预测到需求正向波动时, GPO 会提高转移价格, 抑制各制造商的产量增加; 而当预测到需求负向波动时, GPO 则会调低转移价格, 抑制各制造商产量减少.

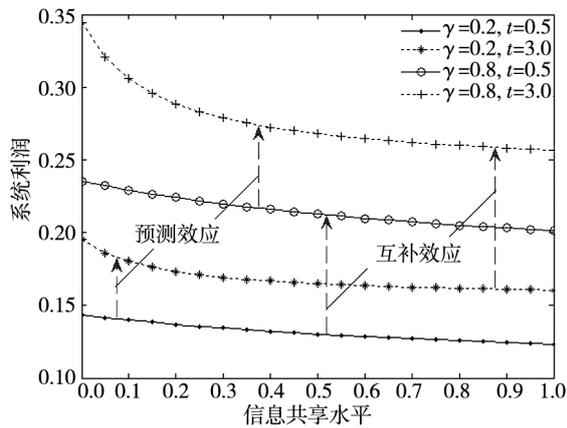


图2 批发价格契约下信息共享对系统的影响

Fig. 2 Impact of information sharing under wholesale price contracts

另一方面,互补效应和预测效应都有利于提高系统利润,然而信息共享却可能削弱这两种效应,从而降低系统利润.结论2表明,有信息共享时,互补性对于产量的影响进一步被转移价格抑制,因而互补效应被削弱,并且,信息共享水平越高,削弱程度越大.同时,结论3表明,信息共享也会影响预测效应.当信息精度较低($t \leq 0.5$)或互补性较大($\gamma \geq \gamma_i$)时,GPO可能在转移价格中传递扭曲的共享信息,放大产量偏差,因而削弱预测效应;反之,则可能增强预测效应,但信息共享对互补效应的削弱作用更加显著,因而仍会降低系统利润.为便于直观考察,令 $a = 1, c = 0.5, \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ 绘制系统利润关于 λ 的曲线,如图2所示.可以看到,信息共享水平越高,系统利润越低;随着信息共享水平的提高,互补效应总是变小,而预测效应可能在较低信息共享水平时变小,也可能在较高信息共享水平时变大;信息共享水平对互补效应的影响较为显著.

综上所述,在批发价格契约下,GPO没有足够的剩余来弥补各制造商因信息共享而导致的损失,故无法实现信息共享.此时,相对于集中式决策绩效,供应链的系统损失为

$$\delta^N \equiv \Pi_{sc}^C - \Pi_{sc}^N = \bar{\delta}^N + \delta_F^N \quad \text{其中}$$

$$\bar{\delta}^N = \frac{(a-c)^2}{2(1-\gamma)(\gamma-2)^2}$$

$$\delta_F^N = \frac{\sigma^2 t(\gamma^2 t^2 + 2\gamma t + 2t + 2\gamma + 2)}{(2t+1)(1-\gamma)(2t-\gamma t + 2)^2}$$

上式表明,批发价格契约下的系统损失由两部分组成. $\bar{\delta}^N$ 与需求预测行为无关,表示双重边际效

应所导致的不确定性损失. δ_F^N 与需求预测行为有关,表示各参与者在决策时所依赖的需求预测信息不足而失去的潜在利润.并且,由 $\partial \delta^N / \partial \gamma > 0$ 、 $\partial \delta^N / \partial \sigma > 0$ 可知,产品互补性和市场波动会加剧系统损失.

本节与文献[11]都研究了批发价格契约下互补品供应链的信息共享问题,但文献[11]考虑存在信息泄露的情形,而本节考虑不存在信息泄露的情形,能够提供新的结论补充,主要体现在

1) 本节也得出下游制造商不愿共享信息的相似结论,但却能补充新的启示.一些文献认为竞争环境下的企业因为害怕信息泄露而不愿共享信息^[22],而本节研究发现,即使不存在信息泄露,或即使下游企业间存在非竞争的互补关系,下游企业也不愿意共享信息.此外,结合文献[11]的结论,可以得到更加一般性的结论,无论上游企业是否泄露信息,下游企业都不会共享信息.

2) 两种互补情形下的信息共享激励问题存在不同.定理3表明,信息共享总是会降低下游制造商的利润(即 $V_i < 0$ 总成立),因此,制造商因害怕遭致损失而不愿共享信息.而文献[11]却表明,当存在信息泄露时,在特定情形下,信息共享能够增加下游企业的利润,下游企业并非因害怕损失而不愿共享信息,而是因为陷入了“囚徒困境”,即当其它企业共享信息时,本企业隐藏信息可谋取更多利益,最终导致所有下游企业都因投机心理而隐藏信息.

3) 两种互补情形下的信息共享价值与激励策略也存在不同.文献[11]的研究表明,当存在信息泄露时,在特定情形下完全共享信息能够提高供应链的系统利润(参见附录A的结论A2),此时,上游企业通过向下游企业提供固定转移支付作为补偿即可实现信息共享.然而,命题1却表明,当不存在信息泄露时,信息共享总是会降低供应链的系统利润($V_{sc} < 0$ 总成立),因此,基于固定转移支付的补偿机制并不能实现信息共享激励.鉴于此,下一节将基于收益共享契约开发新的信息共享激励方案.

此外,附录A的扩展研究表明,本节所采用的部分信息共享分析框架,能够对文献[11]基于三种特例情形的研究进行一般性地模型扩展,因

而在信息共享问题的研究方法上也有所改进.

4 信息共享激励与绩效分析

只有当信息共享能够抑制双重边际效应,增大系统利润时,信息共享才是可行的.因此,要实现有效的信息共享激励,不仅要确保各参与者都不会遭受损失,还要促使各制造商愿意共享全部信息.为此,本节基于收益共享契约设计信息共享激励机制(用上标 S 表示).

4.1 基于收益共享的信息共享激励

考虑 GPO 向各制造商提供统一的收益共享契约 (ϕ, w) . 其中 ϕ 为各制造商保留的收益比例, $0 < \phi < 1$, 则 $(1 - \phi)$ 表示各制造商的收益共享水平, w 为 (y_1, y_2) 的函数, 表示约定的转移价格制定规则. 制造商可选择是否接受该契约, 如果不接受, 则各参与者获得批发价格契约下的保留利润; 如果接受, 则在销售周期结束时, 各制造商 i 获得利润 π_i^S , GPO 获得利润 π_g^S , 则系统利润为 $\pi_{sc}^S \equiv \pi_1^S + \pi_2^S + \pi_g^S$. 其中

$$\pi_i^S = \phi p_i d_i - w d_i, i \in \{1, 2\} \tag{21}$$

$$\pi_g^S = (w - c)(d_1 + d_2) + (1 - \phi)(p_1 d_1 + p_2 d_2) \tag{22}$$

采用逆向归纳法求解. 在产量决策阶段, 制造商 i 的优化问题为

$$\max_{d_i} E[\pi_i^S | Y_i], i \in \{1, 2\} \tag{23}$$

在转移价格决策阶段, GPO 的优化问题为

$$\max_w E[\pi_{sc}^S | y_1, y_2] \tag{24}$$

定理 4 收益共享契约下, 各参与者在销售周期内的均衡策略分别为

$$\begin{cases} w^S = \bar{w}^S + \beta_2^S E[\varepsilon | y_1, y_2] \\ d_i^S = \bar{d}_i^S + \beta_1^S E[\varepsilon | Y_i] + \beta_3^S E[\varepsilon | y_1, y_2] \end{cases}, i \in \{1, 2\}$$

其中

$$\bar{w}^S = \frac{2c - \gamma(a + c)}{2(1 - \gamma)} \phi,$$

$$\beta_2^S = -\frac{\phi(2 - \gamma)(\gamma + \gamma t + 1)}{2(1 - \gamma)(2t - \gamma t + 2)},$$

$$\bar{d}_i^S = \frac{a - c}{2(1 - \gamma)},$$

$$\beta_3^S = \frac{\gamma + \gamma t + 1}{2(1 - \gamma)(2t - \gamma t + 2)}.$$

证明 类似定理 2 的推导过程. 由式 (23) 可得各制造商 i 的均衡策略为 $\tilde{d}_i^S(w) = \alpha_w^S + \beta_1 \times E[\varepsilon | Y_i]$, 其中 $\alpha_w^S = (a - w / \phi) / (2 - \gamma)$. 再将 \tilde{d}_i^S 代入式 (24), 由一阶条件 $\partial E[\pi_{sc}^S | y_1, y_2] / \partial w = 0$ 求得 $w^S(y_1, y_2)$, 进而有 $d_i^S = \tilde{d}_i^S(w^S)$. 证毕.

定理 4 表明, 收益共享契约并没有改变各制造商的私有信息对其产量的影响 (β_1), 然而, GPO 在制定转移价格时以整体利益最大化为目标, 因而能够消除双重边际效应的不利影响. 由 $\bar{d}_i^S = \bar{d}_i^C > \bar{d}_i^N$ 可知, 该契约能提高确定性产量并使其达到最优.

与批发价格契约相比, 收益共享契约还能改变信息共享对转移价格和产量的影响. 显然, 由 $\beta_2^S < 0, \beta_3^S > 0$ 可知, 信息共享对转移价格具有负影响, 而对产量具有正影响. 当需求正向波动时, 制造商会依据私有信息增加产量, 同时, 信息共享也会通过调低转移价格进一步激励制造商提高产量, 而当需求负向波动时, 信息共享则会通过调高转移价格激励制造商进一步降低产量. 可见, 制造商共享越多信息, 转移价格所依据的预测信息越是精准, 从而对产量的调节作用也更加有效. 并且, 可以验证, $\partial \beta_2^S / \partial \gamma < 0, \partial \beta_3^S / \partial \gamma > 0, \partial \beta_2^S / \partial t > 0, \partial \beta_3^S / \partial t < 0$. 这表明互补性越大、或信息精度越低, 信息共享的影响越是显著. 总之, 信息共享能通过转移价格弥补制造商预测信息的不足, 使产量与需求更加匹配, 从而帮助制造商提高利润或减少损失, 并且, 当互补性越大或信息精度越低时, 这种改进作用越是明显.

将 w^S, d_i^S 代入式 (21), 可得制造商 i 在销售周期开始之前的先验利润

$$\Pi_i^S \equiv E[\pi_i^S] = \bar{\Pi}_i^S + F_i^S + V_i^S \tag{25}$$

$$\begin{aligned} \text{其中 } V_i^S &= \frac{\sigma^2 \phi (\gamma + \gamma t + 1) f_i}{4(1 - \gamma)^2 (\tau_1 + \tau_2 + 1) (2t - \gamma t + 2)^2}, \\ f_i &= (5 + 4t - 3\gamma t - 3\gamma) (\tau_1 + \tau_2) + 2\gamma(1 - \gamma) \tau_i, \\ \bar{\Pi}_i^S &= \frac{\phi(a - c)^2}{4(\gamma - 1)^2}, F_i^S = \frac{\sigma^2 \phi t (t + 1)}{(2t - \gamma t + 2)^2}. \end{aligned}$$

同样, 由式 (22) 可得 GPO 的先验利润

$$\Pi_g^S \equiv E[\pi_g^S] = \bar{\Pi}_g^S + F_g^S + V_g^S \tag{26}$$

$$\text{其中 } V_g^S = \frac{K(\gamma + \gamma t + 1) f_g}{2(\gamma - 1)^2 (2t - \gamma t + 2)^2},$$

$$f_g = (\gamma + \gamma t + 1)(1 - \gamma) - (4t - 3\gamma t + 5 - 2\gamma - \gamma^2)\phi,$$

$$\bar{\Pi}_g^S = \frac{(a - c)^2(1 - \gamma - \phi)}{2(\gamma - 1)^2},$$

$$F_g^S = \frac{2\sigma^2 t(1 - \phi)(t + 1)}{(2t - \gamma t + 2)^2}.$$

可见,在收益共享契约下,各参与者的利润均由三部分组成.仅当 ϕ 较小时,存在 $f_g > 0, V_g^S > 0$ 表明此时的信息共享能增加 GPO 的利润,否则, GPO 的利润增加仅来依赖于收益共享.

定理 5 $V_i^S > 0, \tau_1^S = \tau_2^S = t$.

证明 由 $\partial \Pi_i^S / \partial \tau_i = \partial V_i^S / \partial \tau_i > 0$ 易知.

证毕.

定理 5 表明,收益共享契约下,信息共享总能增加制造商的利润,即 $\partial V_i^S / \partial \tau_i > 0$,故各制造商愿意共享全部信息.并且,由 $\partial V_i^S / \partial \tau_j > 0$ 可知,该契约下的信息共享还能产生正的外部性.

命题 2 设 $v = \sigma^2 / (a - c)^2$, 则收益共享契约参数 (ϕ, w) 应满足, $w = w^S$ 且 $\phi \in [\phi_{\min}, \phi_{\max}]$. 该契约下, $\Pi_i^S \geq \Pi_i^N, \Pi_g^S \geq \Pi_g^N$.

其中 $\phi_{\min} = \frac{(2t + 1)(1 - \gamma)^2 A}{(2 - \gamma)^2 B}, \phi_{\max} = \frac{(1 - \gamma)C}{(2 - \gamma)B}$,

$$\phi_{\max} > \phi_{\min}, A = (2t - \gamma t + 2)^2 + 4t(2 - \gamma)^2(t + 1)v,$$

$$B = (2t + 1)(2t - \gamma t + 2)^2 + 2f_B v,$$

$$C = (2t + 1)(2t - \gamma t + 2)^2 + 2t(2 - \gamma)f_C v,$$

$$f_B = (2 - \gamma)t^2 + (10 - \gamma^3 + \gamma^2 - 6\gamma)t + 7 - \gamma - \gamma^2 - \gamma^3,$$

$$f_C = (2 - \gamma)t^2 + 2(1 - \gamma)(2 - \gamma)t + \gamma^2 + 3.$$

证明 将 $\tau_1^S = \tau_2^S = t$ 代入 Π_i^S 可得

$$\frac{\Pi_i^S - \Pi_i^N}{(a - c)^2} = \frac{(2 - \gamma)^2 B \phi - (2t + 1)(1 - \gamma)^2 A}{4(2t + 1)(2t - \gamma t + 2)^2(\gamma^2 - 3\gamma + 2)^2},$$

$$\frac{\Pi_g^S - \Pi_g^N}{(a - c)^2} = \frac{(1 - \gamma)C - (2 - \gamma)B\phi}{2(2t + 1)(\gamma - 1)^2(2 - \gamma)(2t - \gamma t + 2)^2},$$

其中 $A > 0, B > 0, C > 0$.

求解 $\Pi_i^S - \Pi_i^N \geq 0$ 和 $\Pi_g^S - \Pi_g^N \geq 0$, 可得 $\phi \geq$

$$\phi_{\min} \text{ 且 } \phi \leq \phi_{\max}. \text{ 并且, } \phi_{\max} - \phi_{\min} = \frac{f_\phi}{B(2 - \gamma)^2},$$

其中 $f_\phi = (1 - \gamma)(2 - \gamma)C - (2t + 1)(1 - \gamma)^2 A$, 而由

$$\frac{df_\phi}{dv} = 2t(1 - \gamma)(\gamma - 2)^2(\gamma + \gamma t + 1)^2 > 0,$$

可得

$$f_\phi > f_\phi|_{v=0} = (2t + 1)(1 - \gamma)(2t - \gamma t + 2)^2 > 0,$$

所以 $\phi_{\max} > \phi_{\min}$.

证毕.

命题 2 表明,在收益共享契约下,各制造商愿意接受收益共享契约并完全共享信息,并且,各参与者均实现帕累托改善. 契约参数 ϕ 由 GPO 与各制造商通过讨价还价确定,当 GPO 强势时, $\phi = \phi_{\min}$, GPO 能攫取所有的供应链剩余,各制造商仅获得保留利润,而当 GPO 弱势时, $\phi = \phi_{\max}$, 则仅获得保留利润. 因此,收益共享契约还能实现供应链剩余在各参与者间的自由分配,却不会改变供应链的系统绩效. 此外, v 表示相对于单位产品价值的需求波动,由 $\partial(\phi_{\max} - \phi_{\min}) / \partial v < 0$ 可知,当需求波动较大、或产品价值较低时, ϕ 的取值范围缩小,表明契约实施难度增大.

4.2 供应链系统绩效分析

由式(25)和式(26)可得供应链的系统先验利润为

$$\Pi_{sc}^S \equiv E[\pi_{sc}^S] = \bar{\Pi}_{sc}^S + F_{sc}^S + V_{sc}^S,$$

其中 $\bar{\Pi}_{sc}^S = \bar{\Pi}_g^S + \bar{\Pi}_1^S + \bar{\Pi}_2^S, F_{sc}^S = F_{sc}^S,$

$$V_{sc}^S = V_g^S + V_1^S + V_2^S.$$

容易验证, $\Pi_{sc}^N < \Pi_{sc}^S < \Pi_{sc}^C$. 这表明收益共享契约能够改进系统绩效,不难发现,这种改进源自两个方面. 一方面是通过消除双重边际效应的不利影响,从而使得系统确定性利润达到最优,即 $\bar{\Pi}_{sc}^S = \bar{\Pi}_{sc}^C$; 另一方面是通过激励信息共享而获得信息共享价值,即 $V_{sc}^S > 0$. 然而,依据定理 4,收益共享契约并不能改变制造商的决策对其私有信息的依赖,因此不充分的私有信息仍会导致产量偏差,从而造成系统损失,即

$$\delta^S \equiv \Pi_{sc}^C - \Pi_{sc}^S = \frac{\sigma^2 t(\gamma + 1)}{(2t - \gamma t + 2)^2}$$

命题 3 系统损失受到的影响, 1) $\partial \delta^S / \partial \gamma > \partial \delta^S / \partial \gamma > 0, \partial \delta^S / \partial \sigma > \partial \delta^S / \partial \sigma > 0$; 2) 设 $t^S \equiv 2 / (2 - \gamma)$, 则 δ^S 随 t 的变化呈单峰变化, 当 $t = t^S$ 时, 达到峰值 $\delta_m^S \equiv (\gamma + 1)\sigma^2 / (16 - 8\gamma)$, 而当 $t \rightarrow 0$ 或 $t \rightarrow \infty$ 时, $\delta^S \rightarrow 0$.

证明 只证结论 2), 由 $\text{sign}(\partial \delta^S / \partial t) = \text{sign}(\gamma t - 2t + 2)$ 可得, 当 $t < t^S$ 时, $\partial \delta^S / \partial t > 0$, 当 $t > t^S$ 时, $\partial \delta^S / \partial t < 0$, 并且, $\delta_m^S \equiv \max \delta^S = \delta^S|_{t=t^S}, \lim_{t \rightarrow 0} \delta^S = \lim_{t \rightarrow \infty} \delta^S = 0$. 证毕.

命题 3 的结论 1 表明, 类似批发价格契约, 产品互补性和市场波动也会加剧系统损失, 但收益共享契约能够减小这种不利影响. 结论 2 表明, 当 $t = t^S$ 时, 系统损失最大, 而当需求完全可观测或完全不可观测时, 各制造商的信息趋同, 则没有系统损失. 本文聚焦于 GPO 统一制定转移价格、不存在信息泄漏的情形, 因而在信息共享后各制造商仍然只依据原来不充分的私有信息决策. 容易得到, 即使制造商共享全部信息, 也有

$$\Delta d_i^S \equiv d_i^c - d_i^s = \frac{(Y_i - Y_j)t}{2(2t - \gamma t + 2)}$$

并且 $(\gamma + 1) E [(\Delta d_1^S)^2 + (\Delta d_2^S)^2] = \delta^S$

显然, 当且仅当 $Y_i = Y_j$ 时, $\Delta d_i^S = 0$, $\delta^S = 0$. 由此可见, 各制造商私有信息的不对称是导致产量扭曲、进而造成系统损失的根源. 命题 3 也表明, 采用统一的收益共享契约能够有效激励各制造商共享全部信息, 并在一定程度上协调产量, 但并不能彻底消除信息不对称产生的不利影响. 因此, 在本研究基础上, 进一步解决制造商间的信息不对称问题, 则可实现系统最优.

本文基于收益共享契约提出的信息共享激励方案不仅提高了信息共享的可行性, 也展示了契约机制在同时协调物流和信息流方面的潜力. 一方面, 如 3.3 节所述, 基于“完全信息共享、没有信息共享”边界行为的信息共享激励方案一般采用固定转移支付形式的补偿机制 (如文献 [11, 21]), 并不能协调物流, 这就限制了信息流对供应链的优化能力, 导致信息共享的可行性较低. 并且, 在部分信息共享视角下, 基于边界行为的激励方案只能满足参与性约束 (是否共享信息). 然而, 允许部分信息共享行为的存在, 不仅能满足参与性约束, 还能保证激励相容约束 (共享多少信息). 并且, 通过增强信息流对物流的协调能力, 使得信息共享能够创造更多的供应链剩余, 则能提高信息共享的可行性. 另一方面, 考虑内生的部分信息共享行为, 使得同时优化物流和信息流两方面的决策成为可能. 因此, 能进一步拓展契约机制对于供应链的优化空间. 同时, 本方案为收益共享契约在信息不完全、信息流内生情形下的应用提供了实例. 此外, 本方案也是一种基于预测信息的契约 (forecast-based contract, FC) 机制, 依据文献 [32],

FC 较早出现于 IBM 公司, 由于容易实施, 已在产业实践中得到广泛采用.

5 数值分析

在理论分析的基础上, 运用 MATLAB 软件构建数值算例, 直观考察上文的主要结论, 以丰富管理学启示. 将初始参数设置为, $a=1$, $c=0.5$, $\rho^2=0.2$, $\phi = 0.35$.

5.1 绩效分析

依据表 1, 对比分析两种契约下产品互补性和信息精度对系统绩效的不同影响. 结果表明

1) 批发价格契约下, 制造商的利润随着 γ 和 t 的提高而增大; GPO 的利润也随着 γ 的提高而增大, 但不会受到 t 的影响. 因此, 产品互补性和信息精度的提高都有利于增大系统利润; 然而, 产品互补性仍会加剧系统相对损失 δ^N .

2) 收益共享契约下, 各制造商的利润也会随着 γ 和 t 的提高而增大; GPO 的利润随 γ 的提高而减小. 在 $\phi = 0.35 < \phi_{\max}$ 时, GPO 的利润为正且随 t 的提高而增大; 系统损失也会随 γ 提高而增大, 但随 t 呈单峰变化, 当 $t = 1.5$ 时, 由于更接近 t^S , 故系统损失最大.

3) 对比发现, 总有 $\Pi_{sc}^S > \Pi_{sc}^N$, 并且随着 γ 的提高, $\Pi_i^S - \Pi_i^N$ 逐渐增大, 而 $\Pi_g^S - \Pi_g^N$ 却逐渐减小; 当 $\phi > \phi_{\min}$ 时, $\Pi_i^S > \Pi_i^N$, 当 $\phi < \phi_{\max}$ 时, $\Pi_g^S > \Pi_g^N$, 表明收益共享契约可实现帕累托改善.

为进一步直观考察, 分别绘制两种契约下的系统利润、系统损失和系统效率关于 γ 和 t 的变化曲线, 见图 3、图 4. 从图 3 观察 γ 的影响, 在图 3 (a) 中, 收益共享契约下的系统利润远高于批发价格契约, 而接近于集中式决策下的系统利润, 并且, 三种系统利润均随 γ 的增大而加速上升, 表明产品互补性越大, 越有利于提高系统利润; 在图 3 (b) 中, 收益共享契约下的系统损失远小于批发价格契约, 并且, 两种契约下的系统损失均随 γ 的增大而上升, 表明产品互补性也会加剧系统损失; 在图 3 (c) 中, 收益共享契约下的系统效率呈 U 型变化, 在阈值 $\gamma = 0.167$ 时, 系统效率达到最低值 0.935, 当 $\gamma > 0.167$ 时, 系统效率呈加速上升趋势, 而在批发价格契约下, 系统效率却总是呈现加

速下滑趋势,由此可见,互补性较大时,收益共享 契约对系统效率的提升更加显著.

表 1 环境参数变化对供应链绩效的影响

Table 1 Effects of environment parameters on the supply chain performance

$\gamma (t^S)$	0.2 (1.1)			0.5 (1.3)			0.8 (1.6)			
t	0.5	1.5	2.5	0.5	1.5	2.5	0.5	1.5	2.5	
ϕ_{\min}	0.242	0.313	0.350	0.123	0.161	0.183	0.028	0.036	0.042	
ϕ_{\max}	0.440	0.483	0.510	0.320	0.338	0.352	0.161	0.164	0.167	
Π^C	0.219	0.250	0.260	0.350	0.400	0.417	0.875	1.000	1.042	
批发 价格 契约	Π_i^N	0.037	0.053	0.061	0.048	0.069	0.081	0.066	0.095	0.113
	Π_g^N	0.069	0.069	0.069	0.083	0.083	0.083	0.104	0.104	0.104
	Π_{sc}^N	0.144	0.176	0.191	0.179	0.222	0.245	0.235	0.295	0.331
	δ^N	0.075	0.074	0.070	0.171	0.178	0.172	0.640	0.705	0.711
收益 共享 契约	Π_i^S	0.054	0.060	0.061	0.135	0.151	0.155	0.808	0.917	0.946
	Π_g^S	0.097	0.115	0.125	0.060	0.073	0.085	-0.768	-0.871	-0.886
	Π_{sc}^S	0.204	0.234	0.246	0.330	0.375	0.394	0.848	0.963	1.006
	δ^S	0.014	0.016	0.014	0.020	0.025	0.023	0.027	0.037	0.036
$\Pi_i^S - \Pi_i^N$	0.017	0.006	0.000	0.087	0.082	0.074	0.742	0.821	0.833	
$\Pi_g^S - \Pi_g^N$	0.028	0.045	0.055	-0.023	-0.010	0.002	-0.872	-0.975	-0.990	
$\Pi_{sc}^S - \Pi_{sc}^N$	0.061	0.058	0.055	0.152	0.153	0.149	0.613	0.668	0.675	

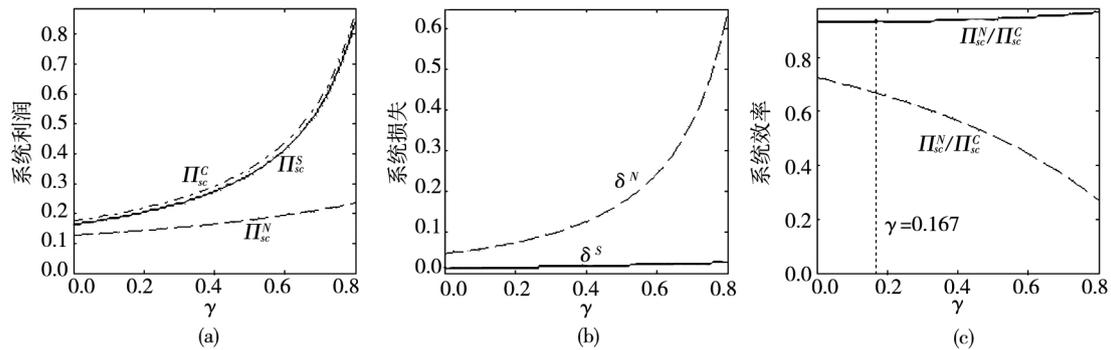


图 3 $t = 0.5$ 时, 产品互补性对系统绩效的影响

Fig. 3 Effects of γ on the supply chain performance when $t = 0.5$

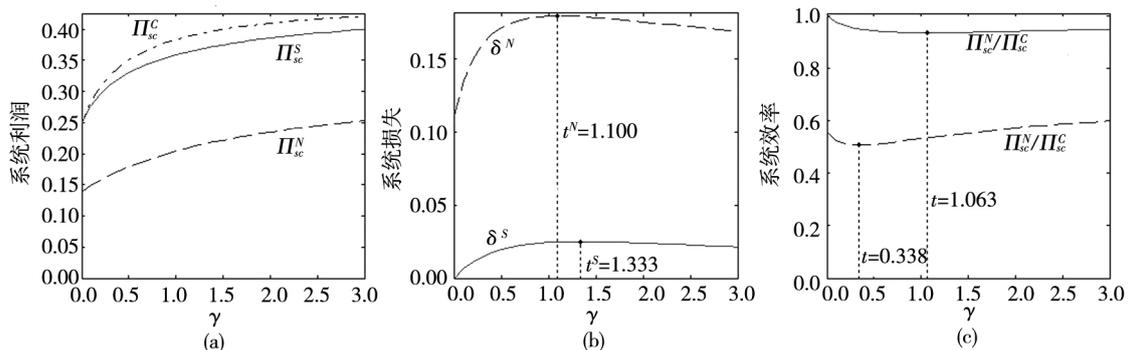


图 4 $\gamma = 0.5$ 时, 信息精度对系统绩效的影响

Fig. 4 Effects of t on the supply chain performance when $\gamma = 0.5$

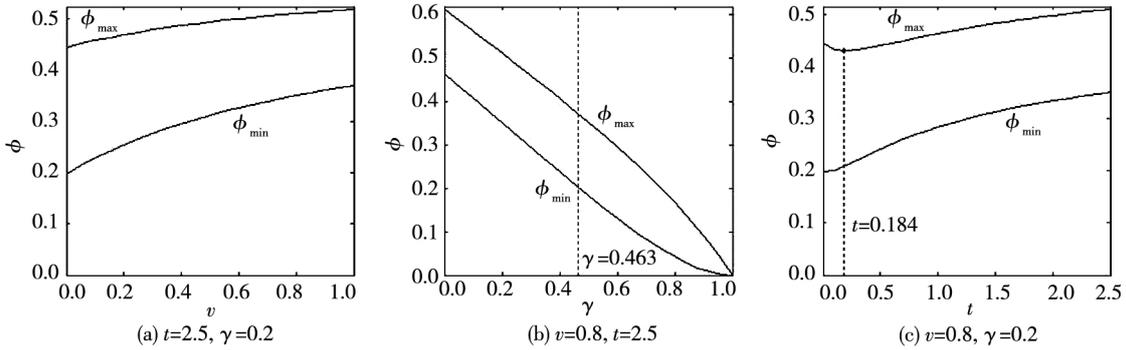


图 5 不同环境参数下 ϕ 的取值范围

Fig. 5 The value range of ϕ with different environment parameters

图 4 分析了 t 的影响, 可以看到, 在图 4 (a) 中, 三种系统利润均随 t 的增大而减速上升, 表明信息精度提高有利于增加系统利润; 在图 4 (b) 中, 收益共享契约下的系统损失远小于批发价格契约, 而两种契约下的系统损失均呈现单峰性特征 (分别在 $t^S = 1.333$ 和 $t^N = 1.100$ 时达到峰值), 并且, 当 $t \rightarrow 0$ 时 $\delta^S = 0$ $\delta^N = 0.111$, 可见, 当需求完全不可观测时, 收益共享契约能够消除系统损失, 而批发价格契约仍存在系统损失; 在图 4 (c) 中, 收益共享契约下的系统效率明显高于批发价格契约, 并且, 两种契约下的系统效率均呈 U 型变化, 当 $t \rightarrow 0$ 时, 收益共享契约下的系统效率达到最优值 1, 而批发价格契约下的系统效率为 0.556. 随着 t 的增大, 系统效率均会下滑, 两种契约下的系统效率分别在 $t = 0.338$ 和 $t = 1.063$ 时, 达到最低值 0.507 和 0.936. 随着 t 的进一步增大, 系统效率均呈上升趋势. 可见, 在信息精度趋于零或无穷大, 即需求不可观测或完全可观测时, 系统效率趋于最优.

5.2 收益共享契约参数分析

观察表 1 可以发现, ϕ_{\min} 和 ϕ_{\max} 总是随着信息精度的提高而增大, 并随着产品互补性的提高而减小. 为直观考察供应链环境参数如何影响 ϕ 的取值范围, 分别绘制 ϕ_{\max} 和 ϕ_{\min} 关于 v 、 γ 和 t 的变化曲线, 并用阴影填充表达 ϕ 的取值范围, 见图 5. 图 5 (a) 中, v 表示市场相对波动, 可以看到, ϕ_{\max} 和 ϕ_{\min} 均随 v 的增大而上升, 进一步分析可知, ϕ 的取值范围却随着 v 的增大而减速缩小. 观察图 5 (b) 可以看到, 随着的 γ 增大, ϕ_{\max} 加速下滑, 而 ϕ_{\min} 减速下滑, 进一步分析可知, ϕ 的取值范围随 γ 的变化具有单峰性, 当 $\gamma = 0.463$ 时,

最大范围为 $[0.215, 0.385]$. 最后, 由图 5 (c) 可以看到, ϕ_{\min} 呈上升趋势, 而 ϕ_{\max} 呈 U 型变化, 且在 $t = 0.184$ 时, 达到最小值 0.430. 并且, ϕ 的取值范围随着 t 的增大而减速缩小. 综上所述, 当产品互补性较小、市场相对波动较小或信息精度较低时, ϕ 的取值范围较大, 因而收益共享契约较容易实施.

6 结束语

针对集团采购供应链中需求预测信息的纵向共享与激励问题, 考察了产品互补性、信息精度和市场波动等环境因素对信息共享行为和供应链绩效的影响, 并基于收益共享契约解决了信息共享的激励问题. 主要结论表明: 1) 产品互补性和需求预测能分别产生互补效应和预测效应, 有利于提高系统利润; 2) 批发价格契约下, 信息共享会加剧双重边际效应, 扭曲供应链产量, 不仅导致制造商受损, 也会降低系统利润, 因此, 制造商不愿共享信息, GPO 也无法通过补偿支付激励制造商共享信息; 3) 收益共享契约能够消除双重边际效应的不利影响, GPO 通过转移价格协调各制造商的产量, 不仅能激励制造商共享全部信息, 还能实现各参与者的帕累托改进; 4) 信息共享激励的实施难度受到市场波动的影响, 当市场波动较大时, 收益共享比例系数的取值范围缩小, 实施难度较大, 而当市场较为稳定时, 实施难度较小; 5) 各制造商仍依赖于不充分的私有信息, 故制造商间的信息不对称仍会导致系统损失, 并且, 该损失随产品互补性、市场波动单调递增, 而随着信息精度的变化呈单峰性变化.

现实中,完全信息共享只是特例,而没有信息共享和部分信息共享才是常见情形,因此,基于“完全信息共享、没有信息共享”视角虽能降低模型分析的技术难度,但却忽视了部分信息共享行为,研究成果只能接受特例的检验,因而限制了研究的普适性。并且,将信息共享处理为两种外生环境,忽视了信息流的在现实供应链中的内生作用,仅从物流视角优化供应链,难以充分利用现实供应链的优化能力。本文基于信息精度定义的信息共享水平,适用于预测信息的多种共享情形。例如,大容量预测信息的部分数量共享,多类型预测信息的部分类型共享,以及预测信息混淆^[13]等情形。采用信息共享水平刻画部分信息共享行为,能够为供应链的信息共享研究拓展空间。一方面,信息共享水平在研究中具有“示踪剂”的功能。通过信息共享水平可将信息共享行为与其它信息行为(如信息预测)进行分离,区分不同信息行为的价值,进而剖析信息共享行为的价值路径及其影响因素,从而能得到更加精准的管理学启示,这也为信息共享问题的深入探索提供了思路。另一方面,在研究中将信息共享水平考虑为决策变量,得以充分考虑信息共享行为的内生作用,因而不仅能使研究成果得到更加一般性的检验,还能将供应链的优化问题从单方面的物流决策优化转换为物

流和信息流两方面的联合决策优化,有利于提升供应链的优化能力。

大数据背景下,GPO在供应链中具有越来越强的信息主导能力。从供应链的战略层面考察了GPO在实现需求信息整合、提高需求预测效率方面的信息价值,能够为确保和提升集团采购的降本增效作用、促进供给侧的价值创新提供理论和实践参考。然而,研究也存在一定的局限性,还存在较多有待拓展的研究方向。例如,本文和大多文献一样,只考虑信息共享成本可忽略的情形,因而未考察存在部分信息共享均衡的情形。然而,还有一些情形(如大数据的共享),数据的标准化、传输、存储和安保等都需要投入大量费用(如云计算平台的流量租金)。因此,未来研究可通过考虑信息共享的不同成本因素,进一步考察部分信息共享占优的情形。此外,针对制造商在销售季来临之前生产备货、并在销售季来临时实现产品出清的情形,采用存在产品差异化的逆需求函数表征数量决策。然而,现实中也可能是零售商针对成品的集团采购,或者是面向订单备货、允许缺货或剩余等其它运营情形。因此,选用价格敏感型需求函数表征定价决策、基于报童模型研究非出清销售模式等,也都是有意义的扩展研究方向。

参考文献:

- [1] Ha A Y, Tang C S. Handbook of Information Exchange in Supply Chain Management [M]. Switzerland: Springer International Publishing, 2017.
- [2] 杨善林, 周开乐. 大数据中的管理问题: 基于大数据的资源观[J]. 管理科学学报, 2015, 18(5): 1-8.
Yang Shanlin, Zhou Kaile. Management issues in Big Data: The resource-based view of Big Data [J]. Journal of Management Sciences in China, 2015, 18(5): 1-8. (in Chinese)
- [3] 冯芷艳, 郭迅华, 曾大军, 等. 大数据背景下商务管理研究若干前沿课题[J]. 管理科学学报, 2013, 16(1): 1-9.
Feng Zhiyan, Guo Xunhua, Zeng Dajun, et al. On the research frontiers of business management in the context of Big Data [J]. Journal of Management Sciences in China, 2013, 16(1): 1-9. (in Chinese)
- [4] Chen R R, Roma P. Group buying of competing retailers [J]. Production and Operations Management, 2011, 20(2): 181-197.
- [5] Hu Q J, Schwarz L B. Controversial role of GPOs in healthcare-product supply chains [J]. Production and Operations Management, 2011, 20(1): 1-15.
- [6] Hu Q J, Schwarz L B, Uhan N A. The impact of group purchasing organizations on healthcare-product supply chains [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2012, 14(1): 7-23.
- [7] 陈敬贤, 马志强, 孟庆峰. 线性量折扣方案下团购策略对渠道绩效的影响[J]. 中国管理科学, 2014, 22(1): 110-119.

- Chen Jingxian, Ma Zhiqiang, Meng Qingfeng. The effect of group buying strategy on channel performance under linear quantity schedule [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2014, 22(1): 110–119. (in Chinese)
- [8] Geyskens I, Gielens K, Wuyts S. United we stand: The impact of buying groups on retailer productivity [J]. *Journal of Marketing*, 2015, 79(4): 16–33.
- [9] Bolandifar E, Kouvelis P, Zhang F. Delegation vs. control in supply chain procurement under competition [J]. *Production and Operations Management*, 2016, 25(9): 1528–1541.
- [10] Li L. Information sharing in a supply chain with horizontal competition [J]. *Management Science*, 2002, 48(9): 1196–1212.
- [11] Zhang H. Vertical information exchange in a supply chain with duopoly retailers [J]. *Production and Operations Management*, 2002, 11(4): 531–546.
- [12] Li L, Zhang H. Confidentiality and information sharing in supply chain coordination [J]. *Management Science*, 2008, 54(8): 1467–1481.
- [13] Gal-Or E, Geylani T, Dukes A J. Information sharing in a channel with partially informed retailers [J]. *Marketing Science*, 2008, 27(4): 642–658.
- [14] Jain A, Sohoni M. Should firms conceal information when dealing with common suppliers? [J]. *Naval Research Logistics (NRL)*, 2015, 62(1): 1–15.
- [15] Shamir N, Shin H. Public forecast information sharing in a market with competing supply chains [J]. *Management Science*, 2016, 62(10): 2994–3022.
- [16] Jiang L, Hao Z. Incentive-driven information dissemination in two-tier supply chains [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2016, 18(3): 393–413.
- [17] Li Z, Gilbert S M, Lai G. Supplier encroachment as an enhancement or a hindrance to nonlinear pricing [J]. *Production and Operations Management*, 2015, 24(1): 89–109.
- [18] 晏国苑, 田 盈. 供应链中分享真实信息的激励机制 [J]. *控制与决策*, 2014, 29(1): 113–117.
Yan Guowan, Tian Ying. Incentive mechanism for information truth-telling in supply chain [J]. *Control and Decision*, 2014, 29(1): 113–117. (in Chinese)
- [19] 聂佳佳. 需求信息预测对制造商回收再制造策略的价值 [J]. *管理科学学报*, 2014, 17(1): 20–31.
Nie Jiajia. Value of demand information forecast on remanufacturing strategy of manufacturer [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2014, 17(1): 20–31. (in Chinese)
- [20] 楼高翔, 张洁琼, 范体军, 等. 非对称信息下供应链减排投资策略及激励机制 [J]. *管理科学学报*, 2016, 19(2): 42–52.
Lou Gaoxiang, Zhang Jieqiong, Fan Tijun, et al. Supply chain's investment strategy of emission reducing and incentive mechanism design under asymmetric information [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2016, 19(2): 42–52. (in Chinese)
- [21] Ha A Y, Tong S, Zhang H. Sharing demand information in competing supply chains with production diseconomies [J]. *Management Science*, 2011, 57(3): 566–581.
- [22] Anand K S, Goyal M. Strategic information management under leakage in a supply chain [J]. *Management Science*, 2009, 55(3): 438–452.
- [23] Kong G, Rajagopalan S, Zhang H. Revenue sharing and information leakage in a supply chain [J]. *Management Science*, 2013, 59(3): 556–572.
- [24] Shang W, Ha A Y, Tong S. Information sharing in a supply chain with a common retailer [J]. *Management Science*, 2016, 62(1): 245–263.
- [25] Özer Ö, Zheng Y, Chen K Y. Trust in forecast information sharing [J]. *Management Science*, 2011, 57(6): 1111–1137.
- [26] Zhang J, Chen J. Coordination of information sharing in a supply chain [J]. *International Journal of Production Economics*, 2013, 143(1): 178–187.
- [27] Shnaiderman M, Ouardighi F E. The impact of partial information sharing in a two-echelon supply chain [J]. *Operations*

- Research Letters , 2014 , 42(3) : 234–237.
- [28]Singh N , Vives X. Price and quantity competition in a differentiated duopoly [J]. The RAND Journal of Economics , 1984 , 15(4) : 546–554.
- [29]Xia Y , Xiao T , Zhang G P. Distribution channel strategies for a manufacturer with complementary products [J]. Decision Sciences , 2013 , 44(1) : 39–56.
- [30]赵海霞 , 艾兴政 , 马建华 , 等. 需求不确定和纵向约束的链与链竞争固定加价 [J]. 管理科学学报 , 2015 , 18(1) : 20–31.
- Zhao Haixia , Ai Xingzheng , Ma Jianhua , et al. Retailer's fixed markup of chain-to-chain competition under demand uncertainty and vertical restraints [J]. Journal of Management Sciences in China , 2015 , 18(1) : 20–31. (in Chinese)
- [31]Li L. Cournot oligopoly with information sharing [J]. The Rand Journal of Economics , 1985 , 16(4) : 521–536.
- [32]Chen F , Lai G , Xiao W. Provision of incentives for information acquisition: Forecast-based contracts vs. menus of linear contracts [J]. Management Science , 2016 , 62(7) : 1899–1914.

Group purchasing and demand information-sharing in complement-manufacturing supply chains

ZHOU Mao-sen^{1,2} , DAN Bin^{1,3*} , YU Hui¹

1. School of Economics and Business Administration , Chongqing University , Chongqing 400044 , China;
2. College of Management , Shenzhen University , Shenzhen 518060 , China;
3. Chongqing Key Laboratory of Logistics at Chongqing University , Chongqing 400030 , China

Abstract: This paper addresses the incentive problems arising from vertical information sharing of demand forecasts in a group-purchasing supply chain , which consists of one group purchasing organization (GPO) and two complementary goods manufacturers. Each manufacturer who purchases a common component from the GPO , is considered to have imperfect demand information and is allowed to share partial information with the GPO. Through a multistage game model of incomplete information , the supply chain equilibrium is analyzed. Then , an incentive contract for information sharing , provided by the GPO to the manufacturers , is proposed based on revenue sharing. The results indicate that under simple wholesale pricing , information sharing hurts the supply chain by aggravating the negative effect of double marginalization and by impairing the positive effects of complementarity and prediction. As a result , both manufacturers are reluctant to share information with the GPO. However , when the revenue sharing contract is adopted , information sharing can benefit the supply chain by reducing the double marginalization effect , and both manufacturers are willing to share complete information with the GPO. As a result , Pareto improvement can be realized for all the members of the supply chain. Due to the setting of information asymmetry between the manufacturers , there exists a systematic loss compared with the optimal profit of the centralized supply chain. Furthermore , the loss increases monotonically with the complementarity of goods and is unimodal with respect to the information accuracy. Finally , a numerical example is presented to illuminate the main conclusions of this paper.

Key words: group purchasing; information sharing; demand forecast; revenue sharing contracts; complementary goods

附录 A GPO 直接泄露信息的情形

作为扩展 , 附录 A 补充考察 GPO 直接泄露信息的情形(上标为 L) . 将 1.4 节中事件与决策顺序的第(2) 阶段扩展

为, GPO 会直接泄露信息, 当制造商 i 共享信息 (y_i) 后, GPO 会立即将 y_i 传递给制造商 j . 因此, 在第 (2) 阶段的信息共享结束后, GPO 的信息依然为 (y_1, y_2), 而制造商 i 的信息更新为 (Y_i, y_j).

GPO 在第 (3) 阶段的决策问题为

$$\begin{aligned} \max_w E[\pi_g | y_1, y_2] &= (w - c) E[d_1^L + d_2^L | y_1, y_2] \\ \text{s.t. } d_i^L &= \arg \max_{d_i^L} E[\pi_i | Y_i, y_j], i = 1, 2 \end{aligned}$$

类似第 3 节的推导, 用逆向归纳法求解可得以下结论.

结论 A1 GPO 泄露信息时, 销售周期内各参与者存在唯一均衡, 且均衡策略分别为

$$w^L = \bar{w}^N + \frac{1}{2} E[\varepsilon | y_1, y_2] \quad d_i^L = \bar{d}_i^N + A_i^L E[\varepsilon | y_1, y_2] + B_i^L E[\varepsilon | Y_i, y_j], i = 1, 2$$

其中
$$A_i^L = \frac{(t - \tau_j)(t + \tau_i + 2\tau_j + 2)\gamma^2 - 4(t + \tau_j + 1)[(\tau_j + 1)(1 - \gamma) + t - \tau_i\gamma]}{2(2 - \gamma)[4(t + \tau_1 + 1)(t + \tau_2 + 1) - \gamma^2(t - \tau_1)(t - \tau_2)]}$$

$$B_i^L = \frac{(t + \tau_j + 1)(2t + 2\tau_i + \gamma t - \gamma\tau_j + 2)}{4(t + \tau_1 + 1)(t + \tau_2 + 1) - \gamma^2(t - \tau_1)(t - \tau_2)}$$

依据结论 A1, 可直接得到以下三种特例的均衡结果.

特例 1 $\tau_1 = \tau_2 = t$, 即两个制造商均共享全部信息时, 得 $w^L = \frac{a + c}{2} + \frac{t(Y_1 + Y_2)}{4t + 2}$, $d_1^L = d_2^L = \frac{a - c}{4 - 2\gamma} + \frac{t(Y_1 + Y_2)}{(4 - 2\gamma)(2t + 1)}$.

特例 2 $\tau_1 = 0$ 且 $\tau_2 = t$, 即单个制造商共享全部信息时, 得

$$w^L = \frac{a + c}{2} + \frac{tY_2}{2t + 2}, d_1^L = \frac{a - c}{4 - 2\gamma} + \frac{tY_1}{4t + 2} + \frac{t(\gamma t + 1)Y_2}{(4 - 2\gamma)(2t + 1)(t + 1)}, d_2^L = \frac{a - c}{4 - 2\gamma} + \frac{tY_2}{(4 - 2\gamma)(t + 1)}$$

特例 3 $\tau_1 = \tau_2 = 0$, 即没有制造商均共享任何信息时, 得 $w^L = \frac{a + c}{2}$, $d_i^L = \frac{a - c}{4 - 2\gamma} + \frac{tY_i}{2t - \gamma t + 2}$.

容易发现, 文献 [11] 所研究的三种情形与以上三种特例的均衡结果完全一致. 由此表明, 文献 [11] 虽然针对的是因信息推断而产生间接信息泄露的问题, 但所得结论完全可由 GPO 直接泄露信息的情形得到. 并且, 通过引入信息共享水平, 结论 A1 能够对文献 [11] 的研究进行更加一般化的扩展.

进一步地, 将结论 A1 的均衡策略分别代入式 (12) 和式 (13), 可得制造商 i 的先验利润为

$$\Pi_i^L = E[\pi_i] = \bar{\Pi}_i + F_i + V_i^L$$

其中 $V_i^L = (f_0 + f_i)\sigma^2$, $f_0 = \frac{\tau_1 + \tau_2}{4(\gamma - 2)^2(\tau_1 + \tau_2 + 1)} - \frac{t(t + 1)}{(2t - \gamma t + 2)^2}$, $f_i(\tau_i) = \frac{(t - \tau_i)(t + \tau_j + 1)L_i^2}{L_0^2(\tau_1 + \tau_2 + 1)}$,

$$L_i = (2t + 2\tau_i + \gamma t - \gamma\tau_j + 2), L_0 = 4(t + \tau_1 + 1)(t + \tau_2 + 1) - \gamma^2(t - \tau_1)(t - \tau_2).$$

GPO 的先验利润为 $\Pi_g^L = E[\pi_g] = \bar{\Pi}_g + F_g + V_g^L$, $V_g^L = \frac{\sigma^2(\tau_1 + \tau_2)}{(4 - 2\gamma)(\tau_1 + \tau_2 + 1)}$.

因此, 供应链的系统先验利润 $\Pi_{sc}^L = E[\pi_{sc}] = \bar{\Pi}_{sc} + F_{sc} + V_{sc}^L$, $V_{sc}^L = V_g^L + V_1^L + V_2^L$.

同样地, 各参与者的利润在以上三种特例下仍与文献 [10] 完全一致, 再次验证了该研究为本附录研究的特例.

当 $\tau_1 = \tau_2 = t$ 时, 可得 $V_{sc}^L = \frac{\sigma^2 t f(t)}{(2t + 1)(\gamma - 2)^2(2t - \gamma t + 2)^2}$, $f(t) = (3\gamma^2 - \gamma^3 - 4)t^2 + 2\gamma(2 - \gamma)t + 4 + 4\gamma - 2\gamma^2$.

求解 $f(t) = 0$ 得到唯一正实根, 即 $t_v = (\gamma + \sqrt{4 - 2\gamma^3 + 3\gamma^2 + 8\gamma}) / (2 - \gamma^2 + \gamma)$. 进而推导可得 $f(t) > 0 \Leftrightarrow 0 < t < t_v$. 并且 $\partial t_v / \partial \gamma > 0$, $t_v \in (1, 2.303)$. 由此可得

结论 A2 当且仅当 $0 < t < t_v$ 时, $V_{sc}^L > 0$. 并且, 当 $t < 1$ 时, 总有 $V_{sc}^L > 0$, 而当 $t \geq 1$ 时, γ 越大, t_v 越大, $V_{sc}^L > 0$ 越容易实现.