

doi:10.19920/j.cnki.jmsc.2024.04.006

# 基于认知层级视角的供应链成员定价决策分析<sup>①</sup>

李娟,倪明明,刘帆,肖条军

(南京大学工程管理学院,行为决策与控制实验中心,南京210093)

**摘要:** 供应链成员的决策受到决策者行为特性的影响.本研究以一个供应商和一个零售商组成的供应链系统为研究对象,实施管理实验探究供应链成员定价决策行为.分别以认知层级模型、有限理性模型,以及认知层级与有限理性结合的综合模型刻画决策者行为,并对比分析三种模型的似然估计结果,得出综合模型能够更好地解读供应链成员的定价决策行为,揭示了决策者定价行为偏离理论决策最优的主要原因是决策者对其他决策者战略能力推理水平的不一致性信念,以及无法对其他决策者决策做出最优反应的决策偏差.同时,决策者的认知层级受到其决策顺序的影响.相对于先行动者可以获得的信息,由于后行动者可以接收到先行者的决策信息,所以后行动者的认知层级较高.

**关键词:** 认知层级;供应链;有限理性;决策顺序

**中图分类号:** F272.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2024)04-0104-15

## 0 引言

运营管理决策受决策者行为特性的影响,并非总依从纳什均衡行事.传统分析方法假设供应链成员的行为遵循纳什博弈法则,目标为最大化自身收益.纳什均衡依赖于两个关键假设,假设一,决策者是理性的,并可准确地预测其他决策者的策略;假设二,决策者可依据信念做出应对其他决策者策略的最佳反应.然而,纳什均衡源于适应、进化、交流或模仿,而此均衡演化过程需要时间,决策者的行为不可能在有限次博弈中迅速收敛.

放松决策者可准确地预测其他决策者策略的假设,Camerer等<sup>[1]</sup>构造认知层级模型(Cognitive Hierarchy, CH),刻画决策者的认知层级服从单参数泊松分布:一些决策者具有战略眼光,可采取很多推理步骤,而另一些决策者仅具备有限推理能力,所采取的推理步骤较少.认知层级模型还假

设决策者认为对手的推理能力不如自己,这可用决策者对自我认知能力的过度自信来解读<sup>[2]</sup>.CH模型放松了纳什均衡的假设一,可以用于解释包括供应链成员推理能力过强损害成员收益<sup>[3]</sup>、竞争市场中的企业过度进入<sup>[4]</sup>、平台型企业竞争中的市场集中度千差万别——可能高度集中也可能高度分散<sup>[5]</sup>,以及选美竞赛中的高估收敛值<sup>[6]</sup>等诸多异像.

不同于以Camerer等<sup>[1]</sup>为代表的认知层级理论的假设——决策者在给定自己及他人的认知层级信念下理性行事,但对他人认知层级信念存在估计偏差,以McKelvey和Palfrey<sup>[7]</sup>为代表的QRE(Quantal Response Equilibrium)模型假设决策者不总能做出最佳选择,却倾向做出更好而非更差的选择.这放松了纳什均衡的假设二.采用QRE模型可解释一些现象,例如零售商订购时并不总选择最佳行动<sup>[8]</sup>、报童模型中订购量拉向中心效应<sup>[9]</sup>.

① 收稿日期:2020-10-07;修订日期:2022-04-28.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(72171113;71871112;71801124).

作者简介:李娟(1979—),女,河南焦作人,博士,教授. Email:juanli@nju.edu.cn

为从决策者的认知层级与做出最佳响应的能力水平的视角解读供应链成员的定价决策,本文考虑包含一个供应商和一个零售商的供应链系统,供应商给出批发价,然后零售商决定是否接受报价;若接受,则零售商给出零售价.首先分析完全理性成员及具有不同认知层级成员的决策行为.其次招募被试,实施管理实验,并对实验数据进行描述性统计分析;然后,分别采用CH模型、QRE模型和CH+QRE模型拟合供应链成员的定价行为,并对比分析三种模型下估计结果.回答以下问题:1)如何采用CH模型解读供应链成员在序列博弈情境下的决策行为?2)CH模型、QRE模型和CH+QRE模型哪个能更好地解释供应链成员的定价决策.

本文主要贡献如下:1)现有将认知层级运用于供应链情景的研究都是基于多个决策者同时博弈的情境<sup>[3,4]</sup>,本文从供应链上下游成员间的博弈出发,在两个决策者依次决策的情境下,建立CH模型,丰富了在供应链情境中考虑决策者认知层级的研究;2)本文将CH模型和QRE模型相结合,比对CH模型、QRE模型与CH+QRE模型在解读供应链成员行为的力度差异,得出采用CH+QRE模型解读供应链成员定价行为的有效性更高,即供应链成员的有限理性行为既表现为过度自信自我的认知层级,从而无法准确地预测其他决策者的策略,并得出后行动者的认知层级更高,也表现为无法基于他人的策略做出最优决策;3)扩展供应链的结构,分别在供应商占主导地位(供应商确定批发价与零售价,零售商确定是否接受该合约),以及零售商占主导地位(零售商确定批发价与零售价,供应商确定是否接受该合约)的供应链中构造了CH模型、QRE模型以及CH+QRE模型,并基于管理实验数据对主要结论进行了鲁棒检验.

## 1 文献综述

### 1.1 放松纳什博弈法则假设

#### 1.1.1 认知层级模型

纳什均衡假设决策者通过分析其他决策者的策略,形成对博弈对手决策的准确信念,这被称之

为相互一致性信念.然而,决策者的行为并非总是满足相互一致性的信念假设.Camerer等<sup>[1]</sup>提出的认知层级模型假设反映了战略思维迭代过程的决策规则,高认知层级的决策者可计算出低认知层级的决策者可能做什么,并在给定这些信念下做出最佳决策.CH模型的多层次迭代思维由Binmore<sup>[10]</sup>提出,并经Nagel<sup>[11]</sup>应用于选美竞赛中的决策行为.CH模型中多层次的迭代思维可以借助于认知数据,例如记忆测试、反应时间、眼睛凝视和注意力,甚至大脑成像进行检验<sup>[12]</sup>.决策者的认知能力等个体特征是其出现行为偏好的基础<sup>[13]</sup>,同时,认知能力会影响其绩效表现<sup>[14]</sup>.

Goldfarb和Xiao<sup>[15]</sup>利用CH模型解读电信企业进入中型市场的策略行为,指出拥有丰富经验、受过良好教育的企业决策者战略能力更高,能更好地推测对手的战略行为,偏好进入竞争不激烈的市场,使得企业更有可能存活并获得更高收益;即证明了被试的认知层级与被试的实践经验相关,而本文探究的是被试的认知层级与其所处决策环境的关系,所以在实验设计时控制了被试的经验变量.Feng等<sup>[16]</sup>则提出了一个固定认知层级水平的动态贝叶斯认知层级模型.在运营情景中,Cui和Zhang<sup>[3]</sup>在一个供应商与多个零售商组成的供应链系统中,采用管理实验与数理分析相结合方式,利用CH模型刻画多个零售商订购行为及其收益,分析产能分配问题.现有关于认知层级模型的研究都是基于多个决策者同时博弈情境<sup>[3,15,16]</sup>,而本文则基于两个决策者序列博弈的情景.

本文在刻画决策者效用时,引入了认知负荷.认知负荷是指决策者在工作记忆中所使用的脑力劳动量,决策者具有有限的认知负荷<sup>[17]</sup>.本文考虑了认知负荷对效用的影响,即决策者的认知层级越高,其认知负荷越高,需要付出的决策成本越高.Baucells和Zhao<sup>[18]</sup>以负指数形式刻画时间带来的疲劳负效用.本文借鉴Baucells和Zhao<sup>[16]</sup>的疲劳负效用模型和Samuelson<sup>[19]</sup>的时间贴现效用模型的精神,以负指数形式刻画认知层级对效用函数的影响.

#### 1.1.2 有限理性模型

纳什均衡假设决策者可对决策问题做出完美反应,但是,决策者并非总能做出完美的决策反

应,如 Schweitzer 和 Cachon<sup>[20]</sup>在供应链情景下发现被试的订购量呈现拉向中心现象,被试的决策偏离了最优决策反应.现有文献关于被试的非完美反应多采用有限理性(QRE)模型刻画. Su<sup>[9]</sup>在报童模型情境中,利用 QRE 模型刻画了被试的不完美反应行为. Chen 等<sup>[8]</sup>在一个供应商与两个零售商组成的系统中,使用 QRE 模型解释被试并不总选择最佳行动方案的订购行为. Haruvy 等<sup>[21]</sup>在一个制造商和一个零售商系统中,探究批发价格合同和二部定价合同下制造商和零售商的讨价还价行为,利用 QRE 模型解读被试关于合同接受与拒绝的行为.

有限理性(QRE)模型放松关于决策者能够对决策问题做出完美反应的假设,允许参与人的决策反应存在不完美,但决策者对于其他决策者行为拥有准确的信念;而 CH 模型放松了决策者之间相互一致性假设,允许决策者的认知层级存在异质性,但决策者能对决策问题做出完美反应. Rogers 等<sup>[22]</sup>将 QRE 模型与 CH 模型结合在一起,将决策者的有限理性水平与认知层级关联在一起,建立了两个模型之间的联系.而本文在一个供应商和一个零售商序列博弈情景下,分别构建了 CH 模型、QRE 模型和两个模型的综合模型,探究不同模型对决策者行为的解释力度.

## 1.2 放松最大化自身收益假设

决策者的行为除受自身认知层级及是否能够做出最佳响应能力的影响,还受其如何确定目标函数的影响.决策者不仅关心自身收益,还关心他人收益.<sup>[23,24]</sup>也就是说,人们愿意牺牲自己的物质幸福帮助具有善良动机的人,人们愿意牺牲自己的物质幸福惩罚那些不友善的人;并且,随着牺牲的物质代价的减小,人们更愿意表现出善意<sup>[25]</sup>.在供应链情境中,供应链成员之间博弈时,成员最大化自身效用(考虑成员间收益分配的公平性)而非最大化自身收益.如 Loch 和 Wu<sup>[26]</sup>指出,95% 供应商的报价低于其利润最大化假设下的定价,零售商的定价也低于其利润最大化假设下的定价.

现有文献存在三类典型的刻画决策者社会偏好的模型.一是, Rotemberg<sup>[27]</sup>提出决策者的效用受其他决策者收益的影响,其效用函数为自身收益与其他决策者收益的线性组合.二是, Fehr 和

Schmidt<sup>[28]</sup>将决策者对公平的追求视为以自我为中心、对不公平的厌恶.三是, Charness 和 Robin<sup>[29]</sup>考虑了决策者的不同分配偏好.观察上述三类模型, Rotemberg<sup>[27]</sup>和 Charness 和 Robin<sup>[29]</sup>所提出的模型本质类似,决策者的效用均为自我收益与他人收益的线性组合.如刘威志等<sup>[30]</sup>研究了公平感对由一个供应商和一个零售商组成的二级供应链中的定价决策的影响,采用了 Rotemberg<sup>[27]</sup>所提出的效用函数形式刻画.而 Fehr 和 Schmidt<sup>[28]</sup>所构造模型中,决策者的效用为自我收益与他人收益的拟线性组合.如 Cui 等<sup>[31]</sup>采用拟线性函数形式构造考虑公平感决策者的效用.聂腾飞等<sup>[32]</sup>将纳什均衡谈判破裂点视为收益的参考点,构建决策者具有公平感的效用函数.

关于供应链成员公平偏好行为的研究中,多数公平模型都假设决策者对彼此的公平偏好具有完全信念,然而该假设在现实中很难实现.例如 Cui 等<sup>[31]</sup>假设供应商拥有零售商在不公平方面偏好的完全信息,但也承认完全信息是一种强假设,而且采用完全信息模型无法(甚至永远)解释被试的拒绝行为. Roth 等<sup>[33]</sup>最早提出采用不完全信息解释拒绝行为,随后, Forsythe 等<sup>[34]</sup>也提及,在最后通牒博弈实验中,基于不完全信息假设所预测的被试行为与实验中被试行为表现相一致.然而,这两项早期研究都没有定量地刻画被试的不公平感. Bloton 和 Ockenfels<sup>[35]</sup>建立了关于公平偏好的模型,他们假定决策者的公平偏好为私有信息. Katok 等<sup>[36]</sup>首次假设公平偏好为零售商的私有信息且具有异质性,分析了供应链情境中批发价格决策.依从 Katok 等<sup>[36]</sup>,本文假设公平感系数为私有信息,且供应商和零售商具有不同公平偏好度.

基于现有研究成果,本文以一个供应商和一个零售商组成的系统为研究对象,放松纳什博弈法则假设与最大化自身收益假设,探究决策者的认识层级、有限理性度和公平感如何影响决策者的行为.与本文最相关研究有两篇.一是 Katok 和 Pavlov<sup>[36]</sup>,此文针对被赋予全部议价能力的供应商既不能完全协调渠道,也不能获取全部渠道利润,实施管理实验,得出不公平厌恶和有限理性度对零售商行为的解释均有贡献,但是 Katok 和 Pavlov<sup>[37]</sup>没有从认知层级视角解读被试的决策行

为。二是 Cui 和 Zhang<sup>[3]</sup>，首次采用认知层级理论探究供应链成员个体决策者的订购决策行为，但 Cui 和 Zhang<sup>[3]</sup> 研究的是多个决策者同时博弈情景，而本文从决策者序列博弈情景入手。

## 2 基本模型及认知层级分析

### 2.1 基本模型

考虑包含一个供应商和一个零售商的供应链系统，供应商确定批发价  $w$ ，零售商确定是否接受该报价，若接受，零售商确定零售价  $p$ ，记为 SM 结构。供应链成员用符号  $v$  表示，其中， $v = s$  指代供应商， $v = r$  指代零售商。供应商每生产一件产品的成本为  $c$ 。市场需求为  $D$ ，其中，零售商面临依赖于零售价格的线性需求  $D(p) = a - p$ ，其中  $a$  为市场初始规模。记供应链成员  $v$  的收益为  $\pi_v$ ，有  $\pi_s(w, p) = (w - c)(a - p)$  和  $\pi_r(w, p) = (p - w)(a - p)$ 。集中供应链总收益为  $\pi_l(p) = (p - c)(a - p)$ 。假设成员为完全理性，在分散系统下， $w^* = \frac{a + c}{2}$  和  $p^* = \frac{3a + c}{4}$ ；在集中供应链系统下， $p^* = \frac{a + c}{2}$  和  $\pi_l = \frac{(a + c)^2}{4}$ 。下文中，为简化记号，将收益或效用的函数简记为去掉相关变量的，如将  $\pi_s(w, p)$  简化为  $\pi_s$ 。

依从 Rotemberg<sup>[27]</sup> 和刘威志等<sup>[30]</sup>，由于在实际运营情景中，供应链成员间的相对收益大小关系较为稳定，采用 Fehr 和 Schmidt<sup>[28]</sup> 所构造的拟线性函数刻画决策者的公平感实际上等价于采用线性函数刻画决策者的公平感。所以，本文假设供应链成员效用为自身收益与其他成员收益的线性组合。记供应链成员  $v$  的效用函数为  $U_v$ ；以下角标  $b$  表示决策者关于对手行为的信念，即供应商认为零售商的效用函数为  $U_{r,b}$ ，零售商认为供应商的效用函数为  $U_{s,b}$ ，有

$$\begin{cases} U_s = \pi_s + \alpha_s \pi_r \\ U_r = \pi_r + \alpha_r \pi_s \\ U_{r,b} = \pi_r + \beta_r \pi_s \\ U_{s,b} = \pi_s + \beta_s \pi_r \end{cases} \quad (1)$$

其中  $\alpha_s$  表示供应商的公平感系数， $\alpha_r$  表示零售商的公平感系数； $\beta_r$  表示供应商认为的零售商的公

平感系数。 $\beta_s$  表示零售商认为供应商的公平感系数。 $\alpha_s = \alpha_r = \beta_r = \beta_s = 0$  表明供应链成员皆不具有公平感，仅关注自身收益。 $\alpha_s > 0$  ( $\alpha_r > 0$ ) 说明供应商(零售商)具有利他性，即其乐于看到对方收益增加；当  $\alpha_s < 0$  ( $\alpha_r < 0$ ) 说明供应商(零售商)是利己的，即不愿看到对方收益增加。

根据式(1)，供应商首先从零售商视角考虑其会给出的零售价决策，即最大化供应商认为的零售商的效用， $\max_{p_b} U_{r,b} = \pi_r + \beta_r \pi_s$ ，解得  $p_b = \frac{a + (1 - \beta_r) w_k + \beta_r c}{2}$ 。

供应商根据上述信念，最大化其效用  $\max_w U_s(p_b) = \pi_s + \alpha_s \pi_r$ ，解得

$$w^* = \frac{a + c - 2c\beta_r - a\alpha_s + c\beta_r^2\alpha_s}{(1 - \beta_r)(2 - \alpha_s - \beta_r\alpha_s)} \quad (2)$$

收到供应商的批发价策略后，零售商做出使其效用最大化的零售价决策

$$p^* = \frac{a + (1 - \alpha_r) w_k^* + \alpha_r c}{2} \quad (3)$$

### 2.2 考虑供应链成员认知层级的均衡决策

依从 Camerer 等<sup>[1]</sup>，当群体平均认知层级较高时，即  $\tau \gg k$ ，那么决策者认为其他决策者与自身认知层级相近的概率更高，而非自身与其他决策者的认知层级相差较大，即  $\frac{f(k-1)}{f(k-2)} \rightarrow \infty$ 。当群体平均认知层级较低时，即  $\tau \ll k$ ，那么决策者可认知到自己为群体中的“异类”，其他决策者的认知层级水平较低，即  $\frac{f(k-1)}{f(k-2)} \rightarrow 0$ 。由于泊松分布的概率密度函数符合以上特性，所以假设决策者  $v$  ( $v = s, r$ ) 属于  $k$  ( $k \geq 0$ ) 认知层级的概率服从泊松分布，

$$f(k | \tau_v) = \frac{\tau_v^k e^{-\tau_v}}{k!}$$

其中  $\tau_v$  表示决策者  $v$  的平均认知层级。据此，当  $\tau_v \gg k$ ，属于  $k$  认知层级的决策者认为与自身认知层级相近的决策者在群体中所占比例较高；当  $\tau_v \ll k$ ，属于  $k$  认知层级的决策者认为远低于自己认知层级水平的决策者在群体中占比较高。

采用认知层级刻画决策者的推理能力隐含着假设决策者的过度自信，即不认为群体中存在认知层级高于自己的决策者，但对低认知层级的其

他决策者的比例有准确信念. 因此,  $k$  ( $k \geq 1$ ) 认知层级决策者  $v$  认为认知层级为  $h$  的其他决策者  $\bar{v}$  的概率分布函数为,

$$g_{\bar{v},h} = \begin{cases} 0, \forall h \geq k \\ \frac{f(h | \tau_{\bar{v}})}{\sum_{l=0}^{k-1} f(l | \tau_{\bar{v}})}, \forall h < k \end{cases}$$

记  $k$  ( $k \geq 0$ ) 认知层级供应商的批发价决策为  $w_k^j$ , 其中, 批发价为整数, 可选择空间为  $[c, a]$ , 即供应商有  $a - c + 1$  个可选择策略, 其中  $j_s \in \{1, 2, \dots, a - c + 1\}$ . 记  $k$  认知层级零售商的零售价决策为  $p_k^j$ , 其中, 零售价为整数, 可选择空间为  $[w, a]$ , 即零售商有  $a - w + 1$  个可选择策略, 其中  $j_r \in \{1, 2, \dots, a - w + 1\}$ .  $k$  认知层级供应商选择每个可能批发价策略的概率为  $O_k(w^j)$ ,  $k$  认知层级零售商选择每个可能零售价策略的概率为  $O_k(p^j)$ . 对 0 认知层级决策者而言, 其决策在策略空间上完全随机决策.<sup>[1]</sup> 故 0 认知层级供应商选择决策  $w^j$  的概率为  $O_0(w^j) = \frac{1}{a - c + 1}$ , 0

认知层级零售商以  $\frac{1}{2}$  的概率接受报价,  $\frac{1}{2}$  的概率拒绝报价. 若零售商接受报价, 其选择决策  $p^j$  的概率为  $O_0(p^j) = \frac{1}{a - w^j + 1}$ . 给定决策者能够做出最优反应的假设,  $k$  ( $k \geq 1$ ) 认知层级决策

$$U_{s,k}(w_k, p_{b,k}(w_k)) = e^{-\rho_s k} \left\{ \left( \sum_{p=w_k}^a \frac{(w_k - c)(a - p)}{2(a - w_k + 1)} + \alpha_s \sum_{p=w_k}^a \frac{(p - w_k)(a - p)}{2(a - w_k + 1)} \right) g_{r,0} + \sum_{h=1}^{k-1} \left\{ \left( (w_k - c)(a - p_{b,k}(w_k)) + \alpha_s (p_{b,k}(w_k) - w_k)(a - p_{b,k}(w_k)) \right) g_{r,h} \right\} \right\} \quad (6)$$

其中  $\rho_s$  为供应商增加认知层级思考造成损失的系数, 即思考层级的越高, 效用损失越高. 式(6)的等号右边的第一层花括号中, 第一部分表示零售商为 0 认知层级时供应商的期望效用乘以供应商认为零售

$$w_k^* = \frac{6a\alpha_s + 12\beta_r c - 6c\beta_r^2\alpha_s - 6(a+c) + [3(a+c) - (1+4a)\alpha_s - 12c\beta_r + 6c\beta_r^2\alpha_s]g_{r,0}}{6(\alpha_s + 2\beta_r - \beta_r^2\alpha_s - 2) + 2(3 - 6\beta_r - 2\alpha_s + 3\beta_r^2\alpha_s)g_{r,0}}$$

收到  $k$  ( $k \geq 1$ ) 认知层级供应商的批发价策略  $w_k^*$  后, 0 认知层级零售商随机决策,  $h$  认知层级 ( $l \geq 1$ ) 零售商根据式(5)做出使其效用最大化的零售价决策  $p_h^*(w_k^*) = \frac{a + (1 - \alpha_r)w_k^* + \alpha_r c}{2}$ .

由以上分析可得到命题 1.

者根据其目标做出使收益最大化的最优决策  $w_k^*$  以及  $p_k^*$ , 有  $O_k(w_k^*) = 1$  和  $O_k(p_k^*) = 1$ .

由于高认知层级造成高的认知负荷, 因此, 基于式(1), 给定供应商确定的批发价  $w$ ,  $k$  认知层级 ( $k \geq 1$ ) 零售商的效用函数为

$$U_{r,k}(p_k) = e^{-\rho_r k} [(p_k - w)(a - p_k) + \alpha_r(w - c)(a - p_k)] \quad (4)$$

其中  $\rho_r$  为零售商增加认知层级思考造成损失的系数, 即认知层级越高, 决策者的认知负荷越高, 所产生的决策成本越高. 本文主要借鉴疲劳效用的概念<sup>[18]</sup>, 刻画决策者的效用函数与认知层级的关系.

根据式(4)可解得

$$p_k^*(w) = \frac{a + (1 - \alpha_r)w + \alpha_r c}{2} \quad (5)$$

下面分析供应商的最优决策. 对  $k$  认知层级 ( $k \geq 1$ ) 供应商, 其认为零售商的认知层级  $h$  不高于  $k$ , 即  $1 \leq h < k$ . 那么, 给定  $k$  认知层级 ( $k \geq 1$ ) 供应商提供的批发价  $w_k$ , 其认为零售商的效用函数为

$$U_{r,b,k} = \sum_{h=1}^{k-1} e^{-\rho_r h} (\pi_r + \beta_r \pi_s) g_{r,h}$$

最大化  $U_{r,b,k}$ , 解得  $p_{b,k}(w_k) = \frac{a + (1 - \beta_r)w_k + \beta_r c}{2}$ ,  $k$  认知层级 ( $k \geq 1$ ) 供应商根据该信念最大化其效用

商为 0 认知层级的概率; 第二部分表示零售商为 1 到  $k - 1$  认知层级时供应商的期望效用, 乘以供应商认为零售商为 1 到  $k - 1$  认知层级的概率的加和.

最大化市(6) 可得

**命题 1** 采用认知层级刻画具有公平感的供应链成员的均衡定价策略为: 1) 0 认知层级供应商等概率 ( $\frac{1}{a - c + 1}$ ) 地在  $[c, a]$  策略空间里选择批发价策略  $w^j$ , 0 认知层级零售商以  $\frac{1}{2}$  的概率接受报价,  $\frac{1}{2}$  的概率拒绝报价; 若零售商结束, 则

其等概率  $\left(\frac{1}{a - w^s + 1}\right)$  地在  $[w^s, a]$  策略空间里选择零售价策略; 2)  $k(k \geq 1)$  认知层级供应

$$w_k^* = \frac{6a\alpha_s + 12\beta_r c - 6c\beta_r^2\alpha_s - 6(a+c) + [3(a+c) - (1+4a)\alpha_s - 12c\beta_r + 6c\beta_r^2\alpha_s]g_{r,0}}{6(\alpha_s + 2\beta_r - \beta_r^2\alpha_s - 2) + 2(3 - 6\beta_r - 2\alpha_s + 3\beta_r^2\alpha_s)g_{r,0}}$$

和  $p_h^*(w_k^*) = \frac{a + (1 - \alpha_r)w_k^* + \alpha_r c}{2}$ .

由命题 1 可得公平感系数影响供应链成员价格决策. 供应商决策行为不仅受其关于零售商公平感系数认知影响, 也受自我公平感系数影响. 所以, 供应商在确定批发价决策时, 既要考虑自身效用最大化, 又要考虑零售商如何决策零售价格; 零售商在接收到供应商的批发价格决策后, 仅需考虑自身效用的最大化, 所以, 其零售价格决策仅受自身公平感系数影响.

### 3 实验设计及描述性结论

#### 3.1 实验设计

被试来自于中国东南地区一所综合性高校不同专业的本科生. 被试被随机地分配在隔间里, 进行 18 轮决策, 其中, 前 2 轮为预实验, 帮助被试熟悉实验环境. 预实验的规则与正式实验完全相同, 但在预实验获得的积分不被计入最终收益. 每轮实验开始前, 被试被随机分为两组, 其中一组扮演供应商角色, 另一组则扮演零售商角色. 每轮实验

商和  $h$  认知层级 ( $h \geq 1$ ) 零售商的均衡定价决策

中, 零售商与供应商通过计算机终端随机匹配并进行匿名交易. 随机匹配和匿名性被用来最小化任何互惠或建立声誉的行为. 所有被试都有平等机会扮演这两个角色中的任何一个. 实验前, 主试朗读实验指南并允许被试提问. 此外, 在预实验之前, 被试还被要求完成一套实验前测试, 以确保他们理解实验流程. 在实验之前和实验期间, 被试间没有任何信息交流.

金钱激励是实验中使用的唯一激励因素. 被试的收入与他们从实验中获得的收入成正比. 此外, 每位被试还将获得 10 元人民币的报酬. 实验设定初始市场规模为  $a = 100$ , 边际成本  $c = 20$ , 要求每个被试的价格决策必须为整数. 实验持续约 60 分钟, 共有 13 个小组参与, 进行了 16 轮正式实验, 最终获得了  $13 \times 16$  组数据. 其中, 每条数据包含被试参与合同的批发价和零售价报价、接受或拒绝合同情况、该组供应商和零售商收益以及该供应链总收益等信息. 实验采用 z-tree 软件编程<sup>[39]</sup>.

#### 3.2 描述性结论

汇总供应商和零售商的决策与收益, 及其他相关指标, 有表 1.

表 1 SM 结构下的描述性统计量  
Table 1 Descriptive statistics results in SM

描述性统计量	完全理性预测值	全部	给定接受
数据量	NA	208	185
$w$	60	55.41 (5.69)	54.86 (5.46)
$p$	80	70.22 (24.62)	78.51 (4.74)
S 收益	800	650.18 (261.00)	731.01 (131.25)
R 收益	400	448.21 (207.87)	503.94 (142.75)
总收益	1 200	1 098.39 (438.13)	1 234.95 (215.40)
S 收益占比/%	75	NA	59.40 (0.07)
R 收益占比/%	25	NA	40.60 (0.07)
系统效率百分/%	75	68.65 (0.27)	77.18 (0.13)
拒绝率百分/%	0	11.06	NA

注: 1. 括号内为标准差; 2. 系统效率百分比为供应商与零售商总收益与集中供应链系统总收益  $\pi_r^*$  比值; 3. NA 表示参数无法估计.

根据表 1, 首先, 采用双边秩和检验, 得出批发价和零售价决策均与完全理性下均衡决策有显

著差异. 然后, 在给定接受条件下, 分别采用单边秩和检验得出, 批发价和零售价决策均显著低于

完全理性下均衡决策 ( $W = 6\ 290, p = 0; W = 8\ 972, p = 0$ )<sup>②</sup>. 最后,分析供应商收益占比和零售商收益占比,可发现实验情景下收益分配比完全理性情境下更平均. 这揭示了供应链成员价格决策时,考虑了彼此间的收益分配,即供应链成员具有公平感.

## 4 定价决策行为分析

### 4.1 基于 CH 模型的分析

采用认知层级刻画决策者定价行为的模型(记为 CH 模型). 在第  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, T$ ) 轮的 第  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) 组,记供应商的批发价格为  $w_{it}$ ,零售商的零售价为  $p_{it}$ . 由命题 1,0 认知层级 供应商选择  $w_{it}$  的概率为

$$\varphi_{w,0}(w_{it}) = \frac{1}{a - c + 1}$$

0 认知层级零售商选择  $p_{it}$  的概率为

$$\varphi_{p,0}(p_{it}) = \frac{1}{a - w_{it} + 1}$$

$k$  ( $k \geq 1$ ) 认知层级供应商的批发价格决策,以及  $h$  ( $h \geq 1$ ) 认知层级零售商的零售价格决策服从双截尾的正态分布<sup>[28, 38]</sup>

$$w_{it} = w_k^* + \varepsilon_w$$

$$p_{it} = p_h^*(w_{it}) + \varepsilon_p$$

其中  $\varepsilon_w$ 、 $\varepsilon_p$  分别为供应链成员的批发价与零售价决策的扰动项,记  $\varepsilon_w \sim N(0, \sigma_w^2)$ ,  $\varepsilon_p \sim N(0, \sigma_p^2)$ ;  $\varphi(\cdot)$  和  $\Phi(\cdot)$  分别为标准正态概率分布的概率密度函数和累计分布函数. 根据式(3),

$$p_h^*(w_{it}) = \frac{a + (1 - \alpha_r) w_{it} + \alpha_r c}{2}. \text{ 因此, } k$$
 ( $k \geq 1$ ) 认知层级供应商的批发价与  $h$  ( $h \geq 1$ ) 认知层级零售商的零售价决策分布的概率密度函数分

$$\varphi_{w,k}(w_{it}) = \frac{\varphi\left(\frac{w_{it} - w_k^*}{\sigma_w}\right) \frac{1}{\sigma_w}}{\Phi\left(\frac{a - w_k^*}{\sigma_w}\right) - \Phi\left(\frac{c - w_k^*}{\sigma_w}\right)}$$
 和

$$\varphi_{p,h}(p_{it}) = \frac{\varphi\left(\frac{p_{it} - p_h^*(w_{it})}{\sigma_p}\right) \frac{1}{\sigma_p}}{\Phi\left(\frac{a - p_h^*(w_{it})}{\sigma_p}\right) - \Phi\left(\frac{c - p_h^*(w_{it})}{\sigma_p}\right)}$$

在第  $i$  轮,第  $t$  组的供应商选择批发价  $w_{it}$  的概率密度为

$$H_s^{CH}(w_{it}) = \sum_{k=0}^{\infty} f(k | \tau_s) \varphi_{k,w}(w_{it}).$$

面对供应商所给批发价  $w_{it}$ ,如果零售商的认知层级是 0,那么,以  $\frac{1}{2}$  概率接受,以  $\frac{1}{2}$  概率拒绝. 如果零售商的认知层级是 1 及以上,就总接受报价,并给出零售价  $p_{it}$ , 所以,零售价服从概率密度函数为

$$H_r^{CH}(p_{it}) = \sum_{k=0}^{\infty} f(k | \tau_r) \varphi_{p,k}(p_{it}).$$

供应商所提供的合同被零售商接受的概率为  $A^{CH} = 1 - \frac{e^{-\tau_r}}{2}$ , 因此有似然函数

$$L^{CH} = \prod_{t=1}^T \prod_{i=1}^I H_s^{CH}(w_{it}) [A^{CH} H_r^{CH}(p_{it}) B_{it} + (1 - A^{CH})(1 - B_{it})] \quad (7)$$

其中  $B_{it} \in \{0, 1\}$ , 0(1)表示在第  $t$  轮的 第  $i$  组的零售商拒绝(接受)合同报价. 由式(7)可得对数似然函数

$$LL_{SM}^{CH} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \ln \{ H_s^{CH}(w_{it}) [A^{CH} H_r^{CH}(p_{it}) \times B_{it} + (1 - A^{CH})(1 - B_{it})] \} \quad (8)$$

将实验数据拟合模型进行估参时,为了避免不必要的算力负荷,将最高认知层级截断至 50,

$$\text{即令 } H_s^{CH}(w_{it}) = \frac{\sum_{k=0}^{50} [f(k | \tau_s) \varphi_{k,w}(w_{it})]}{\sum_{m=0}^{50} f(m | \tau_s)},$$

$$H_r^{CH}(p_{it}) = \frac{\sum_{k=0}^{50} [f(k | \tau_r) \varphi_{p,k}(p_{it})]}{\sum_{m=0}^{50} f(m | \tau_r)}. \text{ 并且,当最}$$

高认知层级分别为 50 和 100 时,所得参数估计结果的相对大小和绝对大小差异不大;所以后续分析中将最高认知层级均截断至 50.

与纳什均衡模型相比,采用认知层级刻画决策者定价行为从削弱决策者相互一致性角度放松了纳什均衡理性假设;还有一种放松纳什均衡模型下假设的方式:从削弱最优反应决策角度放松.

② 原假设为:批发价和零售价决策(实验数据)均显著高于完全理性下均衡决策;因为  $p = 0$ ,所以拒绝原假设. 接下的统计检验,均为实验数据显著高于完全理性下决策数据;故不再赘述相应原假设.

在供应链情境中,这两种行为倾向可能同时存在,无法事前判断采用哪一个模型解读供应链成员的行为更合适.因此,分别构造仅采用 QRE 模型刻画决策的行为,以及同时采用 QRE 模型和 CH 模型刻画决策行为的似然函数.

### 4.2 基于 QRE 模型的分析

采用 QRE 模型拟合供应链成员的行为特征.依从 Chen<sup>[8]</sup>和 Haruvy 等<sup>[21]</sup>,采用 QRE 模型刻画被试的决策行为体现为供应链成员对报价的接受概率.因此,假设被试仅在接受或拒绝报价时受到决策理性度的影响,采用 QRE 模型刻画供应链成员接受报价的概率.

供应商给出批发价决策  $w_{it}$ ,零售商以概率  $A$  接受该报价,然后给出零售价决策  $p_{it}$ .依从文献<sup>[30,42]</sup>,假设批发价和零售价格决策均服从双截尾正态分布

$$w_{it} = w^* + \varepsilon_w \tag{9}$$

$$p_{it} = p^*(w_{it}) + \varepsilon_p \tag{10}$$

式(9)和式(10)中的  $w^*$  和  $p^*(w_{it})$  分别满足式(2)和式(3)所示的均衡决策.批发价和零售价的概率密度函数为  $\varphi_w(w_{it}) = \frac{\varphi\left(\frac{w_{it} - w^*}{\sigma_w}\right)}{\Phi\left(\frac{a - w^*}{\sigma_w}\right) - \Phi\left(\frac{c - w^*}{\sigma_w}\right)}$  和

$$\varphi_p(p_{it}) = \frac{\varphi\left(\frac{p_{it} - p^*(w_{it})}{\sigma_p}\right)}{\Phi\left(\frac{a - p^*(w_{it})}{\sigma_p}\right) - \Phi\left(\frac{c - p^*(w_{it})}{\sigma_p}\right)}$$

第  $t$  轮、第  $i$  组的零售商接受批发价  $w_{it}$  并确定零售价  $p_{it}$  的概率为

$$A_{it}^{QRE} = \frac{e^{\lambda U_r(w_{it}, p_{it})}}{1 + e^{\lambda U_r(w_{it}, p_{it})}}$$

其中  $U_r(w_{it}, p_{it})$  的表达见式(1);  $\lambda \in [0, \infty]$  刻画了供应链成员的决策理性度,  $\lambda$  越趋近于 0 说明其理性程度越低,  $\lambda$  越趋近于  $\infty$  说明其理性程度越高.

构造对数似然函数,

$$LL_{SM}^{QRE} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \ln \{ \varphi(w_{it}) (\varphi(p_{it}) B_{it} A_{it}^{QRE} + (1 - B_{it})(1 - A_{it}^{QRE})) \} \tag{11}$$

### 4.3 基于 CH + QRE 模型的分析

依从 Rogers 等<sup>[22]</sup>将 CH 模型与 QRE 模型结

合在一起的截断主观异质性的 QRE 模型,构造同时采用 QRE 模型和 CH 模型刻画决策行为的似然函数,记为 CH + QRE 模型.假设不同认知层级的零售商具有不同有限理性系数  $\lambda$ , 有  $\lambda = k\gamma$ , 其中  $k$  是零售商的认知层级;  $\gamma$  是一个常数,  $\gamma \rightarrow 0$  意味着零售商的选择理性度最低,即零售商等概率地选择所有可能;  $\gamma \rightarrow \infty$  意味着零售商有能力选择最大化其效用的选项.可见,当零售商的认知层级  $k = 0$  时,无论  $\gamma$  多大,零售商总是等概率地选择所有可能;而当零售商的认知层级  $k \geq 1$  时,零售商以最大可能性选择最大化其效用的选项.特别地,当  $\gamma \rightarrow \infty$  和  $\lambda \rightarrow \infty$  时,所有认知层级非 0 的零售商可以做出最优反应,而 0 认知层级的零售商随机做出决策,此时 CH + QRE 模型收敛至 CH 模型.基于上述分析,得到采用 CH + QRE 模型下,零售商接受报价的概率为

$$A_{it}^{CH+QRE} = \frac{1}{2} f(0 | \tau_r) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{e^{k\gamma U_{r,k}(w_{it}, p_{it})}}{1 + e^{k\gamma U_{r,k}(w_{it}, p_{it})}} \times f(k | \tau_r)$$

其中等号右边第一项表示 0 认知层级零售商以  $\frac{1}{2}$  的概率接受报价,以  $\frac{1}{2}$  的概率拒绝报价;第二项表示  $k (k \geq 1)$  认知层级零售商以最大的可能性选择最大化其效用的决策可能,其中  $U_{r,k}(w_{it}, p_{it}) = e^{-\rho k} (\pi_r(w_{it}, p_{it}) + \beta_r \pi_s(w_{it}, p_{it}))$ .

CH + QRE 模型下的对数似然函数

$$LL_{SM}^{CH+QRE} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \ln \{ H_s^{CH}(w_{it}) [A_{it}^{CH+QRE} H_r^{CH}(p_{it}) \times B_{it} + (1 - A_{it}^{CH+QRE})(1 - B_{it})] \} \tag{12}$$

根据式(8)、式(11)和式(12),估计被试的行为参数,如表 2 所示.

由表 2 可得,首先,  $AIC^{CH+QRE} < AIC^{CH} < AIC^{QRE}$ , 所以,采用认知层级 CH 和有限理性 QRE 模型相结合的模型拟合供应链成员的决策行为效果优于仅采用认知层级模型或仅采用有限理性的模型.也就是说,假定决策者之间无法准确地估计彼此的认知层级和假定决策者无法准确地针对各类选择做出最优响应的行为倾向同时存在.这揭示了供应链成员决策行为偏离理论预测最优的原因既在于其过度自信于自我的认知层级,无法客观地认识他人的认知层级,并且认为他人的认知

层级较低,也在于决策者无法准确地针对各类选择做出最优响应.因此,决策者在进行定价决策时,要正确认知到自身存在过度自信偏差和最优决策偏差,并依此对决策进行校准. Su<sup>[9]</sup>、Chen等<sup>[8]</sup>和 Haruvy等<sup>[21]</sup>仅采用 QRE 模型解读决策者行为,Goldfarb 和 Xiao<sup>[4]</sup>和 Cui 和 Zhang<sup>[8]</sup>仅采用认知层级模型解读决策者行为,而本文则基于 Rogers等<sup>[22]</sup>提出截断主观异质性的 QRE 模型,将 QRE 模型和认知层级模型相结合,更优雅地解读了决策者的定价行为.

表 2 SM 结构下决策行为参数

Table 2 Behavior parameters in SM

参数估计	CH	QRE	CH + QRE
$\tau_s$	0.05	NA	0.04
$\tau_r$	1.07	NA	0.73
$\lambda$	NA	1.00	NA
$\rho_r$	NA	NA	1.03
$\gamma$	NA	NA	0.43
$\alpha_s$	0	0.371	0.62
$\alpha_r$	0.01	-0.07	0
$\beta_s$	NA	NA	NA
$\beta_r$	-0.50	0.11	-0.29
$\sigma_w$	0	4.01	1.43
$\sigma_p$	0.73	2.40	0
LL	33 539.78	-1 672.40	36 727.37
AIC	-67 065.56	3 356.8	-73 436.74

注: 1. NA 表示该参数无法估计. 2. CH 模型中,认知负荷系数仅体现在零售商和供应商的效用函数中,且认知负荷系数不影响效用最大化结果,所以该参数无法被估计.

其次,在采用认知层级和 QRE 模型相结合的模型中,供应商的认知层级 0.05,趋近于 0,这是因为供应商在做决策时没有关于零售商的决策信息可以用于参考,无法进行较多层级的思考;相对于供应商的认知层级,零售商的认知层级较高,这是因为零售商在获取到供应商的报价后再进行决策,在拥有更多决策信息的基础上可以进行更深入的思考.同时,由于本文将研究重点定位于决策者的决策顺序对其认知层级的影响,而且 Goldfarb 和 Xiao<sup>[4]</sup>证明了被试的认知层级与被试的实践经验相关,所以,在实验设计时,为排除了学习效应的影响,设定被试每一轮扮演的角色是随机的.现有文献也采用陌生人匹配的机制排除学习效应的影响<sup>[40]</sup>.进而,为了检验本实验情景下零售商和供应商的价格决策是否随着实验轮次的增

加发生显著变化,即产生学习效应,采用双边秩和检验,对供应链成员相邻轮次、第一轮与最后一轮以及前 8 轮与后 8 轮的批发价和零售价决策进行显著性检验,发现,批发价和零售价决策之间都没有显著关系.也就是说,供应链成员在进行批发价格和零售价格决策时不存在学习效应. Camerer等<sup>[1]</sup>、Goldfarb 和 Xiao<sup>[4]</sup>和 Cui 和 Zhang<sup>[3]</sup>都是基于多个决策者同时决策的情景采用认知层级模型解读决策者行为,而本文首次在两个决策者序列博弈的情境下,利用认知层级模型解读决策者行为.最后,在三种有限理性模型下,都有  $\alpha_r \neq \beta_r$ ,即零售商的公平感为私有信息.这与刘威志等<sup>[28]</sup>结论一致.

### 5 供应链结构的扩展分析

第 4 节得出在 SM 结构下,CH + QRE 模型对决策者行为的拟合效果更优,而且相较于先决策者,后决策者的认知层级更高.为验证上述结论的鲁棒性,第 5 节继续探究了其他类型权力结构下供应链成员的定价决策.范体军等<sup>[41]</sup>也表明权力结构会对供应链成员的决策和收益产生影响.

实践中,谈判实力强的供应商不仅可决定商品的批发价,还可决定其零售价.比如:以蜜雪冰城、喜茶为代表的品牌奶茶店(零售商)的产品单价由其上游供应商确定,与此同时,上游供应商也因掌握了原料采购和配方而掌握了批发价的定价权.然而,一些为大品牌提供代工的制造商,比如为美泰提供毛绒玩具代工的南海美泰,为苹果公司提供手机代工的富士康,根据品牌商的要求和批发价格组织生产;由于品牌商掌控市场需求,因此,产品零售商也由品牌商确定.

考虑第 2 节所探讨的供应商确定批发价,零售商确定零售价的情境的 SM 结构,可得,供应链成员间的权力结构的另外两种类型为:第一,供应商占主导权力地位的系统:供应商确定批发价  $w$  及零售价  $p$ ,零售商确定是否接受该报价,记为 SS 结构,如品牌奶茶供应链;第二,零售商占主导权力地位的系统:零售商确定批发价  $w$  及零售价  $p$ ,供应商确定是否接受该报价,记为 SR 结构,如美泰供应链、苹果供应链.若成员为完全理性,均

衡解为,在SS结构中,  $w^* = p^* = \frac{a+c}{2}$ ; 在SR结构中,  $w^* = c$  和  $p^* = \frac{a+c}{2}$ . 若成员具有公平感, 根据式(1), 具有公平感的供应链成员决策行为满足, 在SS结构中,  $w^* = \frac{a+c-2\beta_r c}{2(1-\beta_r)}$  和  $p^* = \frac{a+c}{2}$ ; 在SR结构中,  $w^* = \frac{a\beta_s - 2c + \beta_s c}{2(\beta_s - 1)}$  和  $p^* = \frac{a+c}{2}$ .

分别在SS结构和SR结构下组织管理实验. 在SS结构下, 共有14个小组参与, 进行了16轮正式实验, 获得了14 × 16组数据. SR结构下共有16个小组参与, 进行了16轮正式实验, 获得了16 × 16组数据. 其中, 每条数据包含了被试参与

合同的批发价和零售价报价、接受或拒绝合同情况, 该组供应商和零售商收益以及该供应链的总收益等信息. 描述性结果如表3.

依据表3, 对比两种结构中供应商和零售商的价格决策. 采用双边秩和检验, 得出批发价和零售价决策均与完全理性下均衡决策有显著差异. 给定合同接受条件下, 分别采用单边秩和检验, 得出: 考虑拒绝合同情况在内, 在SS结构中, 供应商的批发价决策显著低于完全理性下均衡决策 ( $W = 550, p = 0$ ), 而零售价决策显著高于完全理性下均衡决策 ( $W = 28\ 160, p = 1$ ). 在SR结构中, 零售商的批发价决策和零售价决策显著高于完全理性下均衡决策 ( $W = 65\ 025, p = 1; W = 47\ 940, p = 1$ ).

表3 SS和SR结构下的描述性统计量

Table 3 Descriptive statistics results in SS and SR

SS	完全理性预测	全部	给定接受
数据量	NA	220	178
$w$	60	46.21(5.43)	45.41(4.80)
$p$	60	61.55(5.64)	61.51(5.42)
S收益	1 600	777.09(398.57)	960.44(139.49)
R收益	0	492.03(268.20)	608.13(134.15)
总收益	1 600	1 269.12(620.49)	1 568.57(63.24)
S收益占比/%	100	NA	61.22(0.08)
R收益占比/%	0	NA	38.78(0.08)
系统效率百分/%	100	79.32(0.38)	98.04(0.04)
拒绝率百分/%	0	19.09	NA
SR	完全理性预测	全部	给定接受
数据量	NA	255	197
$w$	20	34.86(5.10)	36.02(4.53)
$p$	60	62.82(5.17)	62.69(5.51)
S收益	0	451.62(276.52)	584.59(144.78)
R收益	1 600	755.57(434.03)	978.02(159.53)
总收益	1 600	1 207.19(658.34)	1 562.61(58.89)
S收益占比/%	0	NA	37.49(0.09)
R收益占比/%	100	NA	62.51(0.09)
系统效率百分/%	100	75.45(0.41)	97.66(0.04)
拒绝率百分/%	0	22.75	NA

注: NA表示该参数无法估计.

下面构造似然函数. 在SS结构下, 采用CH模型的对数似然函数为

$$LL_{SS}^{CH} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \ln \{ H_s^{CH}(w_{it}) [A^{CH} H_s^{CH}(p_{it}) B_{it} +$$

$$(1 - A^{CH})(1 - B_{it})] \}$$

其中  $B_{it} = \{0, 1\}$ ,  $0(1)$ 表示在第  $t$  轮的第  $i$  组的

零售商拒绝(接受)合同报价,  $H_s^{CH}(w_{it}) = \sum_{k=0}^{\infty} f(k |$

$\tau_s$ )  $\varphi_{k,w}(w_{it})$  为供应商选择批发价  $w_{it}$  的概率密度,  $H_s^{CH}(p_{it}) = \sum_{k=0}^{\infty} f(k | \tau_s) \varphi_{k,p}(p_{it})$  为供应商选择零售价的概率密度函数;  $w_k^* = \frac{a+c-2c\beta_r}{2(1-\beta_r)}$ ,  $p_k^* = \frac{a+c}{2}$ .

采用 QRE 模型,对数似然函数为

$$LL_{SS}^{QRE} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \ln \{ \varphi(w_{it}) (\varphi(p_{it}) B_{it} A_{it}^{QRE} + (1 - B_{it})(1 - A_{it}^{QRE})) \}$$

其中  $A_{it}^{QRE} = \frac{e^{\lambda U_r(w_{it}, p_{it})}}{1 + e^{\lambda U_r(w_{it}, p_{it})}}$ .

最后,采用 CH + QRE 模型,对数似然函数为

$$LL_{SS}^{CH+QRE} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \ln \{ H_s^{CH}(w_{it}) [A_{it}^{CH+QRE} H_r^{CH}(p_{it}) B_{it} + (1 - A_{it}^{CH+QRE})(1 - B_{it})] \}$$

其中  $A_{it}^{CH+QRE} = \frac{1}{2} f(0 | \tau_r) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{e^{ky_{r,k}(w_{it}, p_{it})}}{1 + e^{ky_{r,k}(w_{it}, p_{it})}} f(k | \tau_r)$  为零售商接受报价的概率。

在 SR 结构下,采用 CH 模型,对数似然函数为

$$LL_{SR}^{CH} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \ln \{ H_r^{CH}(w_{it}) [A_{it}^{CH} H_r^{CH}(p_{it}) B_{it} + (1 - A_{it}^{CH})(1 - B_{it})] \}$$

其中,在第  $t$  轮,第  $i$  组的零售商选择批发价  $w_{it}$  的概率密度为  $H_r^{CH}(w_{it}) = \sum_{k=0}^{\infty} f(k | \tau_r) \varphi_{w,k}(w_{it})$ , 零售选择零售价的概率密度函数为  $H_r^{CH}(p_{it}) = \sum_{k=0}^{\infty} f(k | \tau_r) \varphi_{p,k}(p_{it})$ , 零售商所提供合同被供应商接受的概率为  $A^{CH} = 1 - \frac{e^{-\tau_s}}{2}$ ,  $w_k^* = \frac{a\beta_s - 2c + \beta_s c}{2(\beta_s - 1)}$ ,

$$p_k^* = \frac{a+c}{2}$$

其次,采用 QRE 模型,对数似然函数为

$$LL_{SR}^{QRE} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \ln \{ \varphi(w_{it}) (\varphi(p_{it}) B_{it} A_{it}^{QRE} + (1 - B_{it})(1 - A_{it}^{QRE})) \}$$

其中  $A_{it}^{QRE} = \frac{e^{\lambda U_s(w_{it}, p_{it})}}{1 + e^{\lambda U_s(w_{it}, p_{it})}}$ .

最后,采用 CH + QRE 模型,对数似然函数

$$LL_{SR}^{CH+QRE} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \ln \{ H_r^{CH}(w_{it}) [A_{it}^{CH+QRE} H_r^{CH}(p_{it}) \times B_{it} + (1 - A_{it}^{CH+QRE})(1 - B_{it})] \}$$

其中  $A_{it}^{CH+QRE} = \frac{1}{2} f(0 | \tau_s) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{e^{ky_{s,k}(w_{it}, p_{it})}}{1 + e^{ky_{s,k}(w_{it}, p_{it})}} \times f(k | \tau_s)$  为供应商接受报价的概率。

将实验数据拟合相应的对数似然函数,得表 4。

表 4 SS 和 SR 结构下的行为参数

Table 4 Behavior parameters in SS and SR

参数估计	SS			SR		
	CH	QRE	CH + QRE	CH	QRE	CH + QRE
$\tau_s$	0.05	NA	0.03	0	NA	1.01
$\tau_r$	0.44	NA	1.92	0.05	NA	0.04
$\lambda$	NA	2.40	NA	NA	1.82	NA
$\rho_r$	NA	NA	1.00	NA	NA	NA
$\rho_s$	NA	NA	NA	NA	NA	5.09
$\gamma$	NA	NA	1.00	NA	NA	2.33
$\alpha_s$	NA	NA	NA	NA	0.25	0.26
$\alpha_r$	NA	0.23	0.001	NA	NA	NA
$\beta_s$	NA	NA	NA	NA	-0.58	-1.00
$\beta_r$	-1.00	-0.51	-1.00	-1	NA	NA
$\sigma_w$	0.45	4.22	4.08	0	3.72	1.75
$\sigma_p$	4.71	4.38	0	0.52	4.25	0
$LL$	36 456.09	-2 040.99	36 548.79	76 223.00	-2 141.87	79 044.74
$AIC$	-72 902.18	4 091.98	-73 083.58	-152 436.00	4 293.74	-158 075.48

注: NA 表示该参数无法估计。

由表4,在SS结构和SR结构下,都有  $AIC^{CH+QRE} < AIC^{CH} < AIC^{QRE}$ ,这一结论与SM结构下的结论一致,即在三种结构下,采用认知层级和QRE模型相结合的模型拟合供应链成员的决策行为效果优于仅采用认知层级模型或即采用QRE的模型.供应链成员决策行为偏离理论预测最优原因既在于其过度自信于自我认知层级水平,无法客观地认识他人认知层级,并且认为他人的认知层级水平较低,也在于决策者无法准确针对各类选择做出最优响应.

同时,在SS结构下,有  $\tau_r > \tau_s$ ,且供应商的认知层级趋近于0;在SR结构下,  $\tau_r > \tau_s$ ,且零售商的认知层级趋近于0.这一结论与SM结构下类似,即先行行动者的认知层级相对较低且其认知层级趋近于0.这可以被解读为先行行动者在做决策时没有任何对手信息可以用于参考,无法进行过多层级的思考,而后行动者可以接收到先行者的报价信息,有进行较高认知层级思考的条件.关于被试定价决策学习效应的相关数据分析见附录.

## 6 结束语

本文研究两级供应链中供应商和零售商之间的序列博弈行为,实施管理实验,发现供应链成员的批发价和零售价决策均偏离纳什均衡决策.主要采用认知层级理论分析供应链成员的决策行为,主要发现如下.首先,不同于基于多个决策者同时博弈的情境下认知层级理论的应用,本文从考虑决策者的公平感和认知层级的视角构造了供应链成员在序列博弈情境下的决策行为模型,并在给出了供应链成员的均衡决策,丰富了在供应链情境中考虑决策者认知层级的研究成果.其次,分别构造了认知层级模型、有限理性模型,以及认知层级与有限理性的综合模型解读供应链成员的定价行为,发现综合模型可更好地解释决策者的定价决策行为;并且,后行动者的认知层级相对较

高,这是因为先行行动者在做决策时没有任何对手信息可以用于参考,无法进行过高认知层级的思考,而后行动者可以接收到先行者的报价信息,有进行较高认知层级思考的条件.因此,影响被试行为的主要行为因素是削弱供应链成员最优决策的有限理性因素和削弱供应链成员相互一致性,即供应链成员无法总是对其他决策者的行为做出最优决策,会高估自我认知层级,而低估其他决策者的认知层级,表现出关于认知层级的过度自信.

本文的研究结论暗含的管理启示如下.决策者需正确地认知自己以及对手的认知层级,可以避免认知层级方面的过度自信造成的损失.并且,决策者存在无法做出最优反应的有限理性偏差行为,因此可借助决策辅助系统缓解,甚至消除该偏差.特别地,处于序贯博弈情境中的决策者需要认知到相对于先行行动者,后行动者的认知层级较高带来的影响.上述管理启示无论是在供应商和零售商各自决定批发价和零售价的供应链结构情境下,还是在批发价和零售价均由供应商或零售商决定的情境下均成立.

可继续探究如下问题.第一,相对于本文实验情景中每一轮均随机匹配一个供应商与一个零售商,通过固定每一轮匹配的供应商与零售商,可构造认知层级具有学习效应的行为模型,分析供应链成员的不同认知层级如何影响供应链成员的定价决策行为,探究是否存在供应链成员的利润与其认知层级水平呈倒U型关系,即如果供应链成员试图变得太“聪明”,承担了太多思考步骤反而使自身利润受损,从而与Cui和Zhang<sup>[3]</sup>探讨的供应链系统中同时决策产能分配决策情境下倒U型关系相呼应.第二,本文仅考虑两级供应链情景,探究了供应商和零售商的决策行为,并未涉及到政府和消费者,无法从这两个角度给出关于改善社会福利、消费者效用合理的管理启示.利用认知层级模型,从政府和消费者的层面进行分析值得研究的方向.

## 参考文献:

- [1] Camerer C F, Ho T H, Chong J K. A cognitive hierarchy model of games[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2004, 119(3): 861–898.
- [2] Hoffrage U. Overconfidence. Pohl R F, et al. *Cognitive Illusions: A Handbook on Fallacies and Biases in Thinking, Judgment and Memory*[M]. New York: Psychology Press, 2004.
- [3] Cui H T, Zhang Y H. Cognitive hierarchy in capacity allocation games[J]. *Management Science*, 2018, 64(3): 1250–1270.
- [4] Goldfarb A, Xiao M. Who thinks about the competition? Managerial ability and strategic entry in us local telephone markets[J]. *American Economic Review*, 2011, 101(7): 3130–3161.
- [5] Hossain T, Morgan J. When do markets tip? A cognitive hierarchy approach[J]. *Marketing Science*, 2013, 32(3): 431–453.
- [6] Costa-Gomes M A, Crawford V P. Cognition and behavior in two-person guessing games: An experimental study[J]. *American Economic Review*, 2006, 96(5): 1737–1768.
- [7] McKelvey R D, Palfrey T R. Quantal response equilibria for normal form games[J]. *Games and Economic Behavior*, 1995, 10(1): 6–38.
- [8] Chen Y, Su X, Zhao X. Modeling bounded rationality in capacity allocation games with the quantal response equilibrium[J]. *Management Science*, 2012, 58(10): 1952–1962.
- [9] Su X M. Bounded rationality in newsvendor models[J]. *Manufacturing and Service Operations Management*, 2008, 10(4): 566–589.
- [10] Binmore K. Modeling rational players: Part II[J]. *Economics and Philosophy*, 1988, 4(1): 9–55.
- [11] Nagel R. Unraveling in guessing games: An experimental study[J]. *American Economic Review*, 1995, 85(5): 1313–1326.
- [12] Camerer C, Loewenstein G, Prelec D. Neuroscience: How neuroscience can inform economics[J]. *American Economic Association*, 2005, 43(1): 9–64.
- [13] 姜树广, 韦倩, 沈梁军. 认知能力、行为偏好与个人金融决策[J]. *管理科学学报*, 2021, 24(1): 19–32.  
Jiang Shuguang, Wei Qian, Shen Liangjun. Cognitive ability, behavioral preference and individual financial decision-making[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2021, 24(1): 19–32. (in Chinese)
- [14] 陆瑶, 张叶青, 黎波, 等. 高管个人特征与公司业绩——基于机器学习的经验证据[J]. *管理科学学报*, 2020, 23(2): 120–140.  
Lu Yao, Zhang Yeqing, Li Bo, et al. Managerial individual characteristics and corporate performance: Evidence from a machine learning approach[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2020, 23(2): 120–140. (in Chinese)
- [15] Goldfarb A, Xiao M. Who thinks about the competition? Managerial ability and strategic entry in us local telephone markets[J]. *American Economic Review*, 2011, 101(7): 3130–3161.
- [16] Feng J, Qin X, Wang X. A Bayesian cognitive hierarchy model with fixed reasoning levels[J]. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 2021, (192): 704–723.
- [17] Sweller J. Cognitive load during problem solving: Effects on learning[J]. *Cognitive Science*, 1988, 12(2): 257–285.
- [18] Baucells M, Zhao L. It is time to get some rest[J]. *Management Science*, 2017, 65(4): 1717–1734.
- [19] Samuelson P. A note on measurement of utility[J]. *Review of Economic Studies*, 1937, (4): 155–61.
- [20] Schweitzer M E, Cachon G P. Decision bias in the newsvendor problem with a known demand distribution: Experimental evidence[J]. *Management Science*, 2000, 46(3): 404–420.

- [21] Haruvy E, Katok E, Pavlov V. Bargaining process and channel efficiency[J]. *Management Science*, 2020, 66(7): 2845 – 2860.
- [22] Rogers B W, Palfrey T R, Camerer C F. Heterogeneous quantal response equilibrium and cognitive hierarchies[J]. *Journal of Economic Theory*, 2009, 144(4): 1440 – 1467.
- [23] Fehr E, Klein A, Schmidt K M. Fairness and contract design[J]. *Econometrica*, 2007, 75(1): 121 – 154.
- [24] 曹二保, 余曼, 毕功兵. 社会化运作管理: 一个正在兴起的研究领域[J]. *管理科学学报*, 2018, 21(11): 112 – 126.  
Cao Erbao, Yu Man, Bi Gongbing. Social operations management: An emerging research field[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2018, 21(11): 112 – 126. (in Chinese)
- [25] Rabin M. Incorporating fairness into game theory and economics[J]. *American Economic Review*, 1993, 83(5): 1281 – 1302.
- [26] Loch C H, Wu Y Z. Social preferences and supply chain performance: An experimental study[J]. *Management Science*, 2008, 54(11): 1835 – 1849.
- [27] Rotemberg J J. Human relations in the work place[J]. *Journal of Political Economy*, 1994, 102(4): 684 – 717.
- [28] Fehr E, Schmidt K M. A theory of fairness, competition and cooperation[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1999, 114(3): 817 – 868.
- [29] Charness G, Rabin M. Understanding social preferences with simple tests[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 2002, 117(3): 817 – 869.
- [30] 刘威志, 李娟, 张迪, 等. 公平感对供应链成员定价决策影响的研究[J]. *管理科学学报*, 2017, 20(7): 115 – 126.  
Liu Weizhi, Li Juan, Zhang Di, et al. Fairness's effect on the pricing decisions in a supply chain[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2017, 20(7): 115 – 126. (in Chinese)
- [31] Cui H T, Raju J S, Zhang Z J. Fairness and channel coordination[J]. *Management Science*, 2007, 53(8): 1303 – 1314.
- [32] 聂腾飞, 何碧玉, 杜少甫. 考虑公平关切及其谈判破裂点的供应链运作[J]. *管理科学学报*, 2017, 20(10): 97 – 107.  
Nie Tengfei, He Biyu, Du Shaofu. Supply chain operations considering fairness concerns with bargaining disagreement point[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2017, 20(10): 97 – 107. (in Chinese)
- [33] Roth A E, Prasnikar V, Okuno-Fujiwara M, et al. Bargaining and market behavior in Jerusalem, Ljubljana, Pittsburgh, and Tokyo: An experimental study[J]. *American Economic Review*, 1991, 81(5): 1068 – 1095.
- [34] Forsythe R, Horowitz J, Salvin N, et al. Fairness in simple bargaining experiments[J]. *Games and Economic Behavior*, 1994, 6(3): 347 – 369.
- [35] Bolton G E, Ockenfels A. ERC: A theory of equity, reciprocity, and competition[J]. *American Economic Review*, 2000, 90(1): 166 – 193.
- [36] Katok E, Olsen T, Pavlov V. Wholesale pricing under mild and privately known concerns for fairness[J]. *Production and Operations Management*, 2014, 23(2): 285 – 302.
- [37] Katok E, Pavlov V. Fairness in supply chain contracts: A laboratory study[J]. *Journal of Operations Management*, 2013, 31(3): 129 – 137.
- [38] Bolton O A, Thonemann U W. Managers and students as news vendors[J]. *Management Science*, 2012, (58): 2225 – 2233.
- [39] Fischbacher U. Z-Tree: Zurich toolbox for ready-made economic experiments[J]. *Experimental Economics*, 2007, 10(2): 171 – 178.
- [40] Goeree J K, Louis P, Zhang J. Noisy introspection in the 11 – 20 game[J]. *Economic Journal*, 2018, 128(611): 1509 – 1530.

- [41] 范体军, 郑 琪, 蔡 路. 考虑权力结构及供应商竞争的生鲜供应链决策[J]. 管理科学学报, 2022, 25(1): 23–38.  
Fan Tijun, Zheng Qi, Cai Lu. Supply chain decisions for fresh products with competitive suppliers under different power structures[J]. Journal of Management Sciences in China, 2022, 25(1): 23–38. (in Chinese)
- [42] Ho T H, Su X M, Wu Y Z. Distributional and peer-induced fairness in supply chain contract design[J]. Production and Operations Management, 2014, 23(2): 161–175.

## Pricing decisions of supply chain members: From the perspective of cognitive hierarchy

*LI Juan, NI Ming-ming, LIU Fan, XIAO Tiao-jun*

Center for Behavioral Decision and Control, School of Management and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China

**Abstract:** The decisions of supply chain members are influenced by human behaviors. Focusing on a supply chain with one supplier and one retailer, this paper conducts management experiments to explore their pricing decision behaviors in experiment settings. The behaviors of decision-makers are described by a cognitive hierarchy model, a bounded rationality model, and a comprehensive model combining both the cognitive hierarchy and bounded rationality models. The likelihood estimation results of the three models are compared and analyzed, and we conclude that the comprehensive model can better fit the pricing decision-making behaviors of supply chain members. It reveals that the main reasons for the decision-makers' pricing behaviors deviating from the optimal theoretical decisions are the heterogeneous beliefs between decision-makers about their opponent's strategic reasoning capabilities, and the decision-making deviation that prevents optimal responses to the other's decisions. At the same time, the average cognitive hierarchy of decision-makers is affected by their decision-making sequence. Compared with the first mover, the later mover's cognitive level is higher since the later mover can receive the decision information of the first mover.

**Key words:** cognitive hierarchy; supply chain; bounded rationality; sequence of decision