

供应链牛鞭效应产生的经济机理研究

刘玉海, 唐小我, 倪得兵

(电子科技大学管理学院 成都 610054)

【摘要】基于需求曲线的位置和性质沿着供应链由下而上逐级变化的现象给出牛鞭效应的重新定义,研究了牛鞭效应产生的经济机理。结果表明,牛鞭效应是否存在以及牛鞭效应的性质依赖于下游企业的需求预测、成本函数和下游企业的决策行为。通过算例,进一步说明这一结果的实践含义。

关键词 供应链; 牛鞭效应; 需求曲线; 成本函数

中图分类号 F270.3 C934 **文献标识码** A

A Study on the Economic Mechanism of the Bullwhip Effect in Supply Chain

LIU Yu-hai, TANG Xiao-wo, NI De-bing

(School of Management, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Based on a new definition of the bullwhip effect, i.e. a phenomenon where the position and the characteristics of demand curve change from a downstream firm to an upstream firm along a supply chain, this paper studies the economic mechanism of the bullwhip effect. The results show that the existence of the bullwhip effect and the features of the bullwhip effect depend on the downstream firm's forecasting technique, cost function and decision behavior. Finally, the practical implications are given by numerical examples.

Key words supply chain; the bullwhip effect; demand curve; cost function

工业界和学术界所普遍接受的牛鞭效应的定义是指供应链中的零售商向供应商的订货量与其实际的销售量不一致^[1]。含义是指在供应链中,上游厂商的需求量的方差大于下游厂商需求量的方差,即需求信息的扭曲的现象,其成因有4种^[1]。之后,人们围绕着4个主要方面提出各种不同的观点,补充着各点的内容^[2~4]。现有对牛鞭效应的定义和研究文献通过需求量的方差测度牛鞭效应,需求量的波动并不能准确反映出需求的变化,需求波动直接体现在企业需求曲线的变动上,对于任意一个给定的下游企业的需求状态,下游企业的需求曲线经过下游企业的决策传递到上游企业时,既可能发生需求的移动,也可能发生需求曲线性质的改变(比如,需求曲线斜率和形状等的变化)。基于此,将牛鞭效应直接定义为需求曲线的位置和性质沿着供应链由下而上逐级变化的现象。根据上述定义,本文考察牛鞭效应存在和产生的机制问题。

1 模型

考虑仅有一个零售商和一个供应商组成的简单两层供应链系统,零售商直接将供应商提供的产品卖给消费者。对于市场需求假定的不确定性,大多数文献采用某种具体的随机过程来描述需求量随着时间演进的性质^[2~4],进而应用特定的预测方法来形成零售商对市场需求量的预期。采用更一般假定,即用需求曲线

收稿日期: 2004-09-27

基金项目: 教育部博士点基金资助项目(20030614001); 国家杰出青年科学基金资助项目(79725002)

作者简介: 刘玉海(1979-),男,硕士生,主要从事供应链管理方面的研究。

和一个随机扰动来描述市场需求, 并且采用一般的市场需求预期机制。设市场需求函数为 $p = f(x) + \varepsilon$, 其中 p 为商品市场价格, x 为需求量, ε 为市场需求的随机波动且与 x 相互独立, $f'(x) < 0$ (即需求曲线向斜下方倾斜)。

首先, 考察零售商决策之前能够完全观察到 ε , 但是供应商不能观察 ε 的情形。设零售商的成本函数为 $c(x, \varepsilon)$, 其中 $\partial c / \partial x > 0$, 且 $\partial^2 c / \partial x^2 > 0$, 即成本函数是关于销售量的凸函数, 再设供应商销售给零售商的价格为 p_0 , 则零售商的决策为根据市场信息和供应商的价格最大化其利润, 即:

$$\max_x [(f(x) + \varepsilon)x - c(x, \varepsilon) - p_0 x] \quad (1)$$

零售商利润最大化的一个条件为:

$$f'(x^*)x^* + f(x^*) + \varepsilon - \frac{\partial c(x^*, \varepsilon)}{\partial x} - p_0 = 0 \quad (2)$$

对供应商而言, 其需求曲线为任意给定价格与其相应需求量(即零售商的订货量)之间的函数关系, 因此, 由式(2)可知, 供应商的需求曲线为:

$$p_0 = f'(x^*)x^* + f(x^*) + \varepsilon - \frac{\partial c(x^*, \varepsilon)}{\partial x} \quad (3)$$

由式(3)可得如下结论:

命题 1 在理性的零售商可以完全观察到市场需求信息且供应商不能观察到该信息的条件下, 牛鞭效应是否产生取决于市场随机扰动在成本函数中的性质。

在零售商不能完全观察市场需求信息的情况下, 零售商首先对市场需求的 uncertainty 进行预测, 形成对市场需求的预期 $p = f(x) + \hat{\varepsilon}$, 其中, $\hat{\varepsilon}$ 表示零售商市场需求曲线预测。应当指出, 由于此处不研究具体情形, 式中没有具体指明这种预测是采用何种方法进行的。

零售商根据对需求函数的预测, 进行利润最大化决策, 即:

$$\max_x [(f(x) + \hat{\varepsilon})x - c(x, \hat{\varepsilon}) - p_0 x] \quad (4)$$

式中 $c(x, \hat{\varepsilon})$ 表示基于市场需求预测的成本函数, 其中, $\partial c / \partial x > 0$, 且 $\partial^2 c / \partial x^2 > 0$ 。

在零售商不能完全观察市场需求信息的条件下, 零售商利润最大化的一个条件为:

$$f'(x^{**})x^{**} + f(x^{**}) + \hat{\varepsilon} - \frac{\partial c(x^{**}, \hat{\varepsilon})}{\partial x} - p_0 = 0$$

从而供应商在零售商不能完全观察市场需求信息时的需求曲线为:

$$p_0 = f'(x^{**})x^{**} + f(x^{**}) + \hat{\varepsilon} - \frac{\partial c(x^{**}, \hat{\varepsilon})}{\partial x} \quad (5)$$

由式(5)可得如下结论:

命题 2 在理性的零售商不能完全观察到市场需求信息的条件下, 牛鞭效应是否产生取决于零售商对市场需求的预测机制和零售商的预测结果在成本函数中的性质。

命题1和命题2表明, 如将牛鞭效应理解为需求信息在沿着供应链自下而上传递过程中的改变, 牛鞭效应是否存在以及牛鞭效应的性质依赖于下游企业的需求预测、下游企业的成本函数和下游厂商的决策行为。这在一个统一框架下为研究牛鞭效应提供一个更具经济意义的思路, 即可以抛弃多数文献只将牛鞭效应限制在需求量的波动性放大的假定下, 更深入地讨论需求曲线在供应链中传递时(不局限于自下而上这个单一的方向)位置和性质如何变化这一问题, 进一步, 可以沿着最优决策的思路从经济学的角度分析牛鞭效应对供应链中的各个节点企业的业绩(比如, 产量、利润和价值等)的影响。

2 算例

下面通过一些算例来说明命题1, 2与现有文献的结果之间的差异及其在供应链管理中的实践含义。

情形1: 需求信息不影响成本的情形。首先考察一个理性的零售商在决策之前可以完全观察到需求曲线

的信息 ε , 零售商的需求函数为 $p = a - bx + \varepsilon$, a 、 b 均为常数。需求信息 ε 不影响零售商的成本, 不妨令零售商的成本函数 $c(x, \varepsilon) = x^2/2$, 则零售商的决策函数为:

$$\max_x \pi = (a - bx)x + \varepsilon x - \frac{1}{2}x^2 - p_0x \quad (6)$$

对上式求导, 得到零售商利润最大化的一个条件

$$a - (2b + 1)x^* + \varepsilon - p_0 = 0 \quad (7)$$

式中零售商的最优决策订货量 x^* 即供应商的需求量, x^* 和供应商的供货价格 p_0 的函数关系恰好反映了供应商的需求函数。供应商的需求函数 $p_0 = a - (2b + 1)x^* + \varepsilon$ 。

本算例的零售商完全观察到需求信息 ε , 即使供应商不能观察到此信息, 零售商的决策使需求信息 ε 沿着供应链向上传递给供应商。在需求信息不影响成本的情形下, 需求信息在传递过程中没有发生扭曲。供应商的需求曲线位置发生了改变, 且此改变与零售商需求曲线的变动情况一致。

若零售商在决策之前不能完全观察到需求曲线的信息, 则零售商首先对市场需求的 uncertainty 做出预测 $\hat{\varepsilon}$, 其他条件同上, 零售商对市场需求的预期为 $p = a - bx + \hat{\varepsilon}$ 。同理, 推导供应商的需求预期曲线表示为 $p_0 = a - (2b + 1)x^{**} + \hat{\varepsilon}$ 。在零售商不能完全观察市场需求信息的条件下, 需求信息不影响成本, 则信息传递过程均不会发生扭曲。

如果采用传统牛鞭效应的定义, 用量的方差测度牛鞭效应, 可得零售商面临的 市场需求波动方差为: $\text{Var}(x) = \frac{1}{b^2} \text{Var}(\varepsilon)$, 供应商需求波动的方差为 $\text{Var}(x^*) = \frac{1}{(1 + 2b)^2} \text{Var}(\varepsilon)$, $\frac{\text{Var}(x^*)}{\text{Var}(x)} = \frac{b^2}{(1 + 2b)^2} < 1$ 。根据传统牛鞭效应的定义, 此过程没有产生牛鞭效应, 与本文定义所得的结论是一致的。

传统牛鞭效应的定义和测度方法能够描述牛鞭效应这一现象的存在性, 但是使用需求量方差的波动作为描述手段, 并不能反映出需求波动的特性(是位置发生变动? 还是性质发生改变?)。本文的模型用需求曲线的波动情况描述牛鞭效应, 能够更准确地反映出需求的波动, 并为供应链企业提供决策参考。当市场需求发生波动(如需求增加), 零售商为了获取利润最大化, 可以改变(提高)向供应商的订货量, 也可以调整最终产品价格从而使市场达到新的均衡点。由于订单的满足具有一定的时滞性(这是牛鞭效应产生的本质原因), 供应链节点企业通过调整价格迅速改变市场供求关系, 使市场达到新的均衡点, 避免牛鞭效应的产生。传统对牛鞭效应的定义无法具体描述需求曲线位置和性质的变动, 不能为企业的决策提供具有经济意义的参考。

情形2: 需求信息影响成本的情形。设零售商的成本函数为 $c(x) = \frac{1}{3}x^3 + d(x - \varepsilon)^2$, $d > 0$, ε 与 x 相互独立。其他条件与情形1同。则用情形1下的推理过程可知, 在零售商能够完全观察到市场需求状态时, 供应商的需求曲线为:

$$p_0 = a - x^{*2} - 2(b + d)x^* + (1 + 2d)\varepsilon \quad (8)$$

式(8)表明, 在需求信息影响零售商成本的条件下, 零售商的需求波动 ε 传递给供应商变为 $(1 + 2d)\varepsilon$ 。由于 $(1 + 2d)\varepsilon > \varepsilon$, 上游供应商与下游零售商需求曲线的移动趋势不一致(需求曲线的移动在传递到上游企业后被放大)。另一方面, 原来的市场需求为线性函数, 经过零售商的决策传递到供应商那里却变成了非线性函数(二次函数)。这意味着, 在本算例中零售商的决策行为不仅使得需求曲线的波动发生改变, 而且改变了需求曲线的性质, 从而导致了牛鞭效应的产生。

如果采用传统的牛鞭效应的测度方法, 则在需求信息影响零售商成本的条件下, 在零售商能够完全观察到市场需求状态时, 供应商的需求量为:

$$x^* = -(b + d) + \sqrt{(b + d)^2 + (1 + 2d)\varepsilon + a - p_0}$$

从而相应的方差为:

$$\text{Var}(x^*) = E(x^{*2}) - E^2(x^*)$$

式中 $f(\varepsilon)$ 为市场需求状态和期望状态的密度函数, 从方差的表达式可知:

$$\frac{\partial \text{Var}(x^*)}{\partial p_0} = -1 + \int \sqrt{(b+d)^2 + (1+2d)\varepsilon + a - p_0} f(\varepsilon) d\varepsilon \int \frac{1}{\sqrt{(b+d)^2 + (1+2d)\varepsilon + a - p_0}} f(\varepsilon) d\varepsilon \quad (9)$$

零售商在决策前不能完全观察到市场需求状态时, 可以对市场需求波动做出预测 $\hat{\varepsilon}$, 同理推导可得:

$$\frac{\partial \text{Var}(x^{**})}{\partial p_0} = -1 + \int \sqrt{(b+d)^2 + (1+2d)\hat{\varepsilon} + a - p_0} f(\hat{\varepsilon}) d\hat{\varepsilon} \int \frac{1}{\sqrt{(b+d)^2 + (1+2d)\hat{\varepsilon} + a - p_0}} f(\hat{\varepsilon}) d\hat{\varepsilon} \quad (10)$$

由式(9)和式(10)可知, 供应商的价格决策行为也是牛鞭效应产生的一个可能因素。文献[1]也提出这种看法, 但他们是在一个特殊的环境中(特定的预测技术、特定存货政策和特定的订货政策)给出的结论。本算例虽然基于特定的成本函数和需求函数的假定, 但是从本算例可以清楚地看到在下游企业需求曲线向上游企业传递过程中位置和性质的变化, 以及上下游企业需求曲线的位置变化与性质变化之间的联系, 即 $(1+2d)\varepsilon$ 与 p_0 之间的联系。进一步, 式(9)和式(10)表明, 即使采用传统牛鞭效应的定义, 按照本文的研究逻辑, 也可以将文献[1]中产生牛鞭效应的机制联系起来考虑, 即将预测($\hat{\varepsilon}$)、需求信号处理(利润最大化行为)、存货和订货政策(成本函数)和供应商的价格变动(p_0)联系起来, 从而克服了单独考察某一方面带来的缺陷。

在需求信息影响成本的情形下, 供应商的需求波动要大于零售商的需求波动, 因此供应商的价格调整幅度有可能与零售商有差异。这种差异在需求曲线沿着供应链向上游企业传递的过程中被逐级放大, 结果是下游企业由于需求波动导致的价格波动传递到上游企业后被放大, 产品供应短缺的程度被扭曲(放大), 导致了牛鞭效应的产生。在需求曲线位置波动和性质改变的条件, 不论是零售商还是供应商, 价格都可能成为缓冲其库存或者生产能力约束的一种工具, 这可能减缓两者由需求量和供应量方面的原因导致的成本压力, 从而减缓传统意义上的牛鞭效应。但是这种减缓作用丝毫不会影响两者需求曲线或者预期需求曲线, 因此, 认为传统意义上的牛鞭效应得到缓解就意味着使需求预测更加精确的观点就显得缺乏说服力。

事实上, 本文模型结果能够为预测需求曲线提供一模型基础, 应用此模型基础, 通过价格和数量的数据来估计需求曲线, 为供应链中的各个节点企业提供一个决策之前的预测准备。这一点, 传统的牛鞭效应模型框架是难以做到的, 因为直接基于量上的预测隐含地假定价格是固定的, 从而难以发现价格与数量之间的联系(需求曲线)。

3 结束语

将牛鞭效应直接定义为需求曲线的位置和性质沿着供应链由下而上逐级变化的现象, 本文的研究表明, 牛鞭效应是否存在以及牛鞭效应的性质依赖于下游企业的需求预测、下游企业的成本函数和下游厂商的决策行为。需求曲线性质的改变(如斜率、形状的变化)与成本函数之间的关系是本文提供的研究框架的核心部分, 因此针对目前供应链实践和现有文献使用或者研究过的管理政策、波动性质和预测技术, 具体化模型思路将会更加贴近供应链管理实践。对此, 我们将在另外的文章中研究。

参 考 文 献

- [1] Lee H, Padmanabhan V, Whang S. Information distortion in a supply chain: the bullwhip effect[J]. *Management Science*, 1997, 43(4): 546-558
- [2] Chen F, Drezner Z, Ryan J K, et al. Quantifying the bullwhip effect in a simple supply chain: the impact of forecasting, lead times, and information[J]. *Management Science*, 2000, 46(3): 436-443
- [3] 万 杰, 李敏强, 寇纪淞. 需求信息预测与处理中的牛鞭效应分析与控制[J]. *管理工程学报*, 2003, 17(4): 28-32
- [4] Alwan L C, Liu J J, Yao D Q. Stochastic characterization of upstream demand processes in a supply chain[J]. *IEEE Transaction*, 2003, 35(3): 207-219

编 辑 徐安玉