

供应链牛鞭效应的测度及抑制方法研究

刘之逸

(湖南师范大学商学院, 湖南长沙, 410000)

摘要: 随着全球供应链复杂度的提升, 牛鞭效应成为影响供应链效率与稳定性的关键问题。本研究聚焦于供应链牛鞭效应, 运用量化分析方法, 测度了牛鞭效应及波动趋势, 揭示其在不同规模、不同行业中的表现特征。研究结果表明, 供应链牛鞭效应整体呈现波动下降趋势, 规模较小企业的牛鞭效应波动幅度显著大于规模较大企业。此外, 本研究从加强信息共享、改进需求预测、优化供应链网络结构三个方面提出了抑制牛鞭效应的对策建议。研究成果为企业优化供应链管理、提升竞争力提供了切实可行的理论依据与实践指导, 对推动供应链的稳定高效运作具有重要意义。

关键词: 牛鞭效应; 测度研究; 抑制方法

中图分类号: F **文献标识码:** A

一、引言

在全球经济深度融合的时代背景下, 供应链作为连接生产、流通和消费各环节的关键纽带, 已成为现代经济体系不可或缺的组成部分, 对企业的生存发展和国家经济的增长起着至关重要的作用。随着市场竞争格局的演变, 企业间的竞争本质上已转化为供应链之间的竞争, 高效、稳健的供应链能够实现资源的优化配置, 降低生产与运营成本, 提高对市场需求的响应速度, 进而提升企业的经济效益和市场竞争力, 在国民经济中占据着举足轻重的地位, 成为经济增长的关键驱动力。

供应链中存在的牛鞭效应不仅削弱了供应链的竞争力, 并且进一步加剧了预测误差, 降低了供应链韧性, 牛鞭效应成为了供应链管理中不可忽视的问题。牛鞭效应是供应链中普遍存在的现象, 是指信息流从终端客户流向上游供应链节点时, 信息无法有效共享, 导致信息失真并逐级扩大, 使得需求波动逐级变大, 牛鞭效应导致企业库存激增、成本增加、资源浪费以及供应链效率降低^[1]。这种现象致使企业难以精准把握真实的市场需求, 进而引发库存积压或缺货等一系列问题, 严重降低了供应链的整体运作效率, 增加了运营成本, 极大地削弱了企业的盈利能力以及对市场变化的应变能力, 对企业的可持续发展和国家经济的稳健增长构成了严重的阻碍。

近年来, 国家从战略高度出发, 深刻认识到供应链优化与升级的重要性, 陆续出台了一系列旨在推动企业提升供应链管理水平的政策举措。这些政策聚焦于增强产业链供应链的韧性和竞争力, 以应对日益复杂多变且充满不确定性的国内外市场环境, 为企业供应链的发展指明了方向, 同时也对学术界提出了新的研究课题和挑战。

在此背景下, 深入探究牛鞭效应的测度及抑制方法具有重大的现实意义和紧迫性。本研

究通过系统梳理和借鉴前人的研究成果与实践经验,运用科学严谨的方法对牛鞭效应进行测度,并从信息共享、需求预测以及供应链网络结构等多个关键维度展开深入且系统的研究,旨在探寻切实有效的牛鞭效应抑制策略。预期研究成果将为企业提供具有可操作性的供应链管理策略和实用工具,助力企业精准识别牛鞭效应的存在及程度,并有效应对这一问题,从而提升供应链的运作效率和效益,增强企业在市场中的竞争优势,同时也为学术界在供应链管理领域的研究贡献新的实证依据和理论视角,为国家供应链的优化发展和经济的稳定增长提供有力的理论支撑和实践指导。

二、文献回顾

(一) 牛鞭效应的概念与测度

“牛鞭效应”是指在供应链运营管理中,需求信息传递给供应商企业的过程中,由于信息共享不足,导致需求信号扭曲、变异并逐级放大的现象^[2],从而导致供应链上出现多种问题,如库存成本、制造成本、运输成本增加^[3]。Forrester (1961)通过对一个三阶段四结点的供应链系统进行仿真建模,发现供应链中供应商所接受的订单比终端顾客的需求具有更大方差,并以放大的形式向供应链的上游逐级传播的现象,首次提出了牛鞭效应^[4]。Kahn (1987)在Forrester的研究基础上展开深入,着重分析了企业在供应周期内如何确定计划生产量,研究揭示了供应链中存在的牛鞭效应导致生产量远远超过市场实际需求^[5]。Lee等(1997)正式用牛鞭效应这个术语来定义以上现象^[1],自此之后大量学者对牛鞭效应进行了深入研究,从市场现象到数据量化,为牛鞭效应的研究提供了更为全面和丰富的成果。

过去的研究在度量牛鞭效应时采用了多种方法。Chen F (2000)通过构建一个仅包括供应商和零售商的两级供应链模型,使用二者之间的需求方差量化了牛鞭效应,该方法生动地呈现了牛鞭效应的不确定性本质,为量化牛鞭效应提供了理论基础^[6]。现有的实证研究通常侧重于使用单一企业的生产波动对需求波动的偏离来度量牛鞭效应^[7-8]。Hu等(2022)在研究中采用了一种创新的方法,通过明确定位供应链中最外层的没有供应商的公司,将其赋予数值1,随后将这些公司从供应链网络中移除,并重新对在缩减后的网络中位于最外层的公司进行赋值,数值为2,这一过程被反复执行,每次都网络中最外层的公司依次赋予数值3、4、5等,直至所有公司都被赋值,赋值越小说明位于供应链最上游,牛鞭效应最大^[9]。由于难以识别供应链结构,杨志强等(2020)和Osadchiy等(2021),基于上市公司年报附注披露的前五大供应商和客户数据,通过匹配二级和多级供应链网络数据,用供应商与客户供需波动偏离度的比值来衡量牛鞭效应,计算结果大于1则说明存在牛鞭效应^[10,11]。Ponte等(2020)致力于更好地理解闭环系统中的牛鞭效应,提出了四种不同信息透明度原型的订单和库存方差放大的表达式来度量牛鞭效应,并观察到退货率和交货期对系统性能的影响在很大程度上取决于供应链可见性的程度^[12]。Michna等(2020)运用移动平均预测方法量化牛鞭效应,揭示了

需求和交货期预测对牛鞭效应的影响^[13]。陈佳莉和郭春香等（2019）认为牛鞭效应的根本原因是信息失真，他们采用了移动平均、指数平滑和最小均方差三种预测方法，分别量化牛鞭效应表达式，研究发现选择合理的预测方法能有效减小牛鞭效应^[14]。这些研究方法在不同层面上提供了对牛鞭效应的量化衡量，有助于深入理解和解决供应链中的信息扭曲问题。

（二）牛鞭效应的影响因素

关于牛鞭效应的影响因素，学者们的研究主要集中在以下几个主题。首先，就成因分析而言，Lee 等（2006）提出的需求信号处理、短缺博弈、订单批量以及价格波动等因素已得到广泛认可，被学术界普遍接受为牛鞭效应的主要成因，形成了共识^[15]。关于信息共享与披露方面，提高客户企业的信息披露质量被认为是有效降低信息搜索成本、改善供应链企业间信息不对称程度的途径，从而缓解牛鞭效应^[16]。随着数字经济时代的到来，数字化发展为提升供应链的韧性和效率带来了新机遇，数字技术在供应链中的应用可以降低库存总成本、提高库存周转率，从而降低供应链中的牛鞭效应^[17]。数字化转型对供应链的正向信息溢出效应也成为关键研究方向，数字化转型通过强化供应链信息共享、推进供给侧柔性生产和提高需求侧差异化水平等路径，有助于缓解供需牛鞭效应^[18]。在数据共享与智能算法方面，研究指出共享供应链数据、智能算法和人工神经网络的应用能够有效降低供应链中的牛鞭效应^[19]。Weisz E 等（2023）研究发现人工智能及其机器学习和深度学习方法与大数据分析技术相结合，以不同于以前技术的方式缓解供应链中的牛鞭效应^[20]。通过不可变的交易历史以及网络的去中心化控制功能，区块链被认为是一种可以促进供应链安全性、透明度和协作的技术，可以缓解牛鞭效应^[21]。在需求与价格因素方面，Tai 等（2019）研究发现价格的出现及其与需求的相互作用对牛鞭效应的提前期产生影响^[22]。从成因分析到缓解途径，各方面的研究为深入理解牛鞭效应提供了全面而有层次的视角。

三、测度方法与数据来源

（一）样本选取与数据来源

本文选取 2006—2021 年我国 A 股上市公司的数据进行研究，剔除无法获取相关数据的公司保证数据完整性，剔除存在异常值的企业保证不对结论造成偏差，对最终结果进行了 1%和 99%分位数的缩尾处理，最终得到 36955 个牛鞭效应数据样本，本文涉及的上市公司原始数据来源于国泰安 CSMAR 数据库，对于数据的整理和分析，通过 STATA 17 和 EXCEL 软件进行处理。

（二）测度方法

牛鞭效应 (Bullwhip) 是指在供应链运营管理中，在需求信息向供应商企业传递的过程中，由于无法实现信息共享而造成信息扭曲变异并逐级放大的现象，此种现象表现为需求波

动的放大。本文借鉴 Cachon 等（2007）^[7]、Shan 等（2014）^[8]等的做法，用企业的生产波动对需求波动的偏离来衡量牛鞭效应，当该指标值大于 1 时存在牛鞭效应：

$$Bullwhip_{it} = \frac{\text{生产量季度标准差}}{\text{需求量季度标准差}} = \frac{\sigma(Production_{it})}{\sigma(Demand_{it})} \quad (1)$$

$$Production_{it} = COGS_{it} + Inv_{it} - Inv_{i, t-1} \quad (2)$$

其中，为了消除时间趋势，Production 和 Demand 分别为进行了对数和一阶差分变换的季度生产量和销售额，即将原始生产量和销售额序列 $\{X_{it}\}$ 变换为 $\{\ln(X_{it}) - \ln(X_{i, t-1})\}$ ；COGS 和 Inv 分别为季度销售成本和季度存货净额。

四、供应链牛鞭效应测度结果

（一）年度平均供应链牛鞭效应变化趋势分析

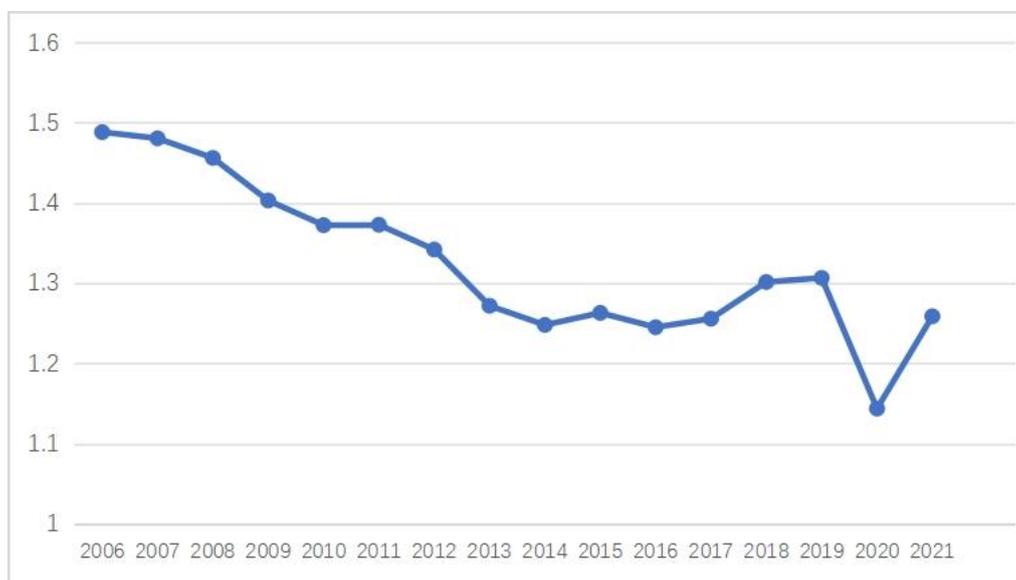


图 1 2006-2021 年平均供应链牛鞭效应变化趋势

从 2006 年至 2021 年的平均供应链牛鞭效应数据来看，整体呈现出波动变化的态势。期间，牛鞭效应数值在不同年份之间存在明显的起伏，反映出供应链系统受多种因素影响。

2006-2013 年牛鞭效应得到缓解。随着时间推移，企业逐渐认识到牛鞭效应的负面影响，并采取了一系列措施来优化供应链管理，如加强信息共享、改进需求预测方法、优化库存管理策略等，从而使得牛鞭效应得到一定程度的缓解。

2014-2019 年期间，牛鞭效应在波动中呈现出扩大趋势。在这一阶段，全球经济逐渐从金融危机中复苏，市场需求开始回升，企业的生产和销售活动也逐渐活跃起来。然而，随着市场环境的变化和竞争的加剧，企业在供应链管理过程中面临着新的挑战，原材料价格波动，市场需求的不确定性增加。这些因素导致企业在需求预测和库存管理方面出现困难，进而使得牛鞭效应有所加剧。

2020 年显著下降至 1.14，这是整个观测期内的最低点。2020 年全球爆发了新冠疫情，这一突发公共卫生事件，企业的供应链管理策略发生了重大调整，面对需求的急剧下降，企

业纷纷采取了保守的库存管理策略，减少了生产和采购规模。

2021 年牛鞭效应扩大。随着全球疫情防控措施的逐步实施和经济的逐步复苏，市场需求开始有所反弹，企业的生产和销售活动也逐渐恢复。然而，由于疫情的持续影响，供应链仍然面临着诸多挑战，原材料短缺，物流成本上升，劳动力不足，这些因素使得企业在供应链管理过程中依然存在一定的困难。

综上所述，2006 - 2021 年期间的年度平均供应链牛鞭效应呈现出复杂的波动变化趋势。这种趋势与全球经济环境的变化、重大经济事件以及企业供应链管理策略的调整密切相关。深入理解这些变化趋势及其背后的影响因素，对于企业优化供应链管理、降低牛鞭效应的负面影响具有重要的指导意义。

（二）不同规模企业年度平均供应链牛鞭效应变化趋势分析



图 2 不同规模企业 2006-2021 年平均供应链牛鞭效应变化趋势

由图 2 所知，在 2006-2021 年这一观测时段内，规模较小企业和规模较大企业的年度平均供应链牛鞭效应均呈现出明显的波动特性，但结果表明规模较小企业的牛鞭效应波动幅度显著大于规模较大企业，分析原因如下：

资源储备方面，规模较小企业资金相对匮乏，难以维持大规模的安全库存。一旦市场需求出现波动，出现季节性需求高峰或低谷，由于缺乏足够的库存进行缓冲，企业只能快速调整生产与采购计划，频繁地与供应商进行交互，这种即时性、高强度的调整使得牛鞭效应的波动被放大。

供应链网络构建方面，规模较小企业供应商数量有限，合作深度与广度不足。当供应端出现问题，出现原材料短缺、供应商生产故障等，企业缺乏备选方案，被迫迅速切换供应商或等待供应恢复，这期间供应链的不稳定直接反映为牛鞭效应的大幅波动。

规模较大企业自身优势，凭借雄厚资金可建立较大规模的安全库存，在需求波动时能维持一定时间的稳定供应，减少对生产计划的即时冲击。同时，其广泛的供应商网络以及长期

合作建立的信任关系，使其在面对供应问题时能灵活调配资源，平缓供应链环节的调整，从而使得牛鞭效应波动相对缓和。

通过对 2006 - 2021 年不同规模企业年度平均供应链牛鞭效应的对比分析可知，两类企业因自身特质在波动幅度上存在显著差异。对于企业管理者而言，规模较小企业应着重加强供应链柔性建设，提升风险预警与应对能力，以平缓波动；规模较大企业则需持续优化供应链布局，平衡规模扩张与风险控制。未来研究可深入探讨如何促进不同规模企业在供应链上的协同合作，以整体降低牛鞭效应，推动产业供应链的高效、稳定发展。

（三）不同行业年度平均供应链牛鞭效应变化趋势分析

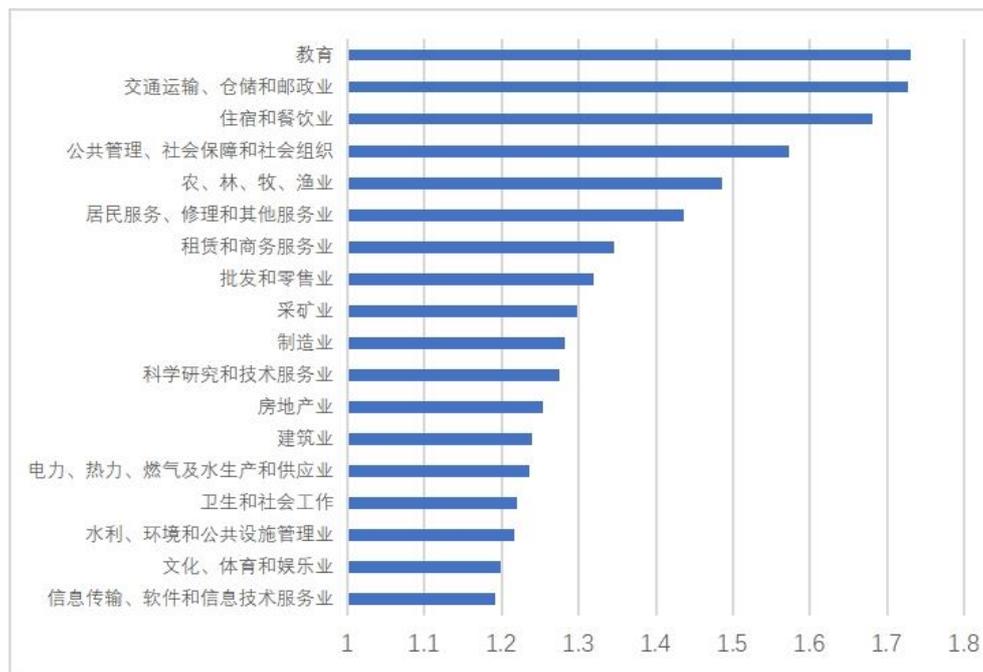


图 3 各行业平均供应链牛鞭效应情况

不同行业的年度平均供应链牛鞭效应呈现出较为明显的差异，由图 3 可知牛鞭效应较大的三个行业为：教育、交通运输、仓储和邮政业和住宿和餐饮业，牛鞭效应抑制作用显著三个行业为：水利、环境和公共设施管理业、文化、体育和娱乐业、信息传输、软件和信息技术服务业。

教育行业的牛鞭效应较大，原因在于教育需求受社会发展趋势、人口结构变动、政策导向等诸多动态因素影响，教育资源筹备耗时久、调整难，优质师资招聘与培养、教学场地扩建周期长，一旦需求预判有误，上下游供需失衡加剧，牛鞭效应随之放大。交通运输、仓储和邮政业面临复杂多变的市场环境。电商购物节、节假日出行高峰等时段，物流需求呈爆发式增长，而平日相对平稳，需求落差巨大。同时，行业极易受自然天气、交通管制、国际局势等不可抗力干扰，致使牛鞭效应显著。住宿和餐饮业具有鲜明的季节性与周期性消费特征。旅游旺季、节假日期间顾客盈门，淡季则门可罗雀，需求的剧烈波动使得企业旺季盲目扩张，淡季又大幅收缩，资源配置频繁失误，牛鞭效应居高不下。

牛鞭效应抑制良好的行业,水利、环境和公共设施管理业依托政府长期规划与稳定投入。这类行业多提供公共基础服务,政府主导资源配置与项目建设,确保供应链各环节按部就班协同推进,有效规避了盲目扩张与无序竞争,从源头上控制牛鞭效应。文化、体育和娱乐业得益于数字化与市场化的深度融合。数字化手段助力企业精准捕捉消费者兴趣偏好,提前布局赛事、影视、娱乐项目制作,实现供需精准对接。信息传输、软件和信息技术服务业凭借前沿技术构建敏捷供应链体系。大数据、云计算赋能企业实时洞察市场趋势,精准预测需求,产品迭代开发快速响应变化,交付周期大幅缩短。虚拟产品特性使得资源调配近乎即时完成,成本低廉,极大削弱了传统供应链中信息滞后、资源错配的问题根源,有效缓解了牛鞭效应。

综上所述,不同行业年度平均供应链牛鞭效应呈现出鲜明的行业特征与变化趋势。教育、交通运输等行业由于需求的高度不确定性、外部干扰因素多,牛鞭效应突出;而信息传输、软件等行业凭借技术优势与灵活的运营模式,有效抑制了牛鞭效应。各行业应立足自身特点,借鉴先进经验,从优化需求预测、加强供应链协同、提升信息化水平等方面入手,制定契合行业发展的供应链管理策略,以降低牛鞭效应,提升供应链竞争力。

五、缓解牛鞭效应的对策建议

缓解供应链牛鞭效应是一个系统性工程,需要供应链上各企业从多个方面共同努力。通过加强信息共享、改进需求预测以及优化供应链网络结构等对策的实施,可以有效降低牛鞭效应的影响,提高供应链的整体效率和竞争力。

(一) 加强信息共享

企业应投入资源构建一体化的信息共享平台,涵盖供应链上的采购、生产、销售、库存等各个环节的数据。通过该平台,上下游企业能够实时获取准确的信息,包括终端客户需求、库存水平、生产进度等。供应商可以根据零售商的实际销售数据及时调整生产计划,减少因信息滞后导致的生产过剩或不足,从而有效缓解牛鞭效应。企业还需制定信息共享的规范和机制,确保各方提供的信息真实可靠且具有一致性。同时,加强对信息的安全管理,保护企业的商业机密。采用区块链技术对供应链中的关键信息进行加密存储和共享,保证信息的不可篡改和可追溯性,增强企业间的信任,促使信息在供应链中更加顺畅地流动,降低信息不对称程度,进而削弱牛鞭效应的影响。

(二) 改进需求预测

运用大数据收集和整合来自市场调研、社交媒体、电商平台等多渠道的海量数据,利用数据挖掘和机器学习算法,对市场需求进行精准预测。通过更准确的需求预测,企业能够合理安排生产和库存,减少因预测误差导致的需求波动放大,有效缓解牛鞭效应。鼓励供应链上的企业共同参与需求预测过程,共享各自的市场信息、销售数据和预测经验。通过跨部门、跨企业的团队合作,综合考虑供应链各环节的影响因素,提高预测的准确性。制造商与供应商、零售商组成联合预测小组,定期召开会议,共同分析市场动态、讨论销售趋势,制定统

一的需求预测方案。这种协同预测方式能够充分利用各方的专业知识和信息优势,降低单一企业预测的局限性和误差,从而更好地应对市场需求的不确定性,缓解牛鞭效应。

(三) 优化供应链网络结构

减少供应链层级,供应链层级过多会增加信息传递的延迟和失真,导致牛鞭效应加剧。企业应通过优化业务流程,整合供应链资源,尽减少中间环节。一些大型制造企业直接与原材料供应商建立战略合作伙伴关系,绕过一级经销商,实现从原材料采购到生产制造的直接对接。这样不仅可以加快信息传递速度,还能降低成本,提高供应链的响应能力,有效缓解牛鞭效应。

参考文献

- [1] Lee H L, Padmanabhan V, Whang S. Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect[J]. *Management Science*, 1997, 43(4): 546-558.
- [2] 李青原, 李昱, 章尹赛楠, 等. 企业数字化转型的信息溢出效应——基于供应链视角的经验证据[J]. *中国工业经济*, 2023(07): 142-159.
- [3] Wiedenmann M, Größler A. The impact of digital technologies on operational causes of the bullwhip effect—a literature review[J]. *Procedia CIRP*, 2019, 81: 552-557.
- [4] J.W. Forrester, *Industrial Dynamics*. New York, Massachusetts Institute of Technology, New York, London, J. Wiley, 1961, xv p. 464 p., 135/-.[J]. *Recherches Économiques de Louvain/ Louvain Economic Review*, 1962, 28(8): 774-775.
- [5] Kahn J A. Inventories and the volatility of production[J]. *The American Economic Review*, 1987: 667-679.
- [6] 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.
- [7] Cachon G P, Randall T, Schmidt G M. In Search of the Bullwhip Effect[J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2007, 9(4): 457-479.
- [8] Shan J, Yang S, Yang S, et al. An Empirical Study of the Bullwhip Effect in China[J]. *Production and Operations Management*, 2014, 23(4): 537-551.
- [9] Hu N, Liang P, Liu L, et al. The bullwhip effect and credit default swap market: A study based on firm-specific bullwhip effect measure[J]. *International Review of Financial Analysis*, 2022, 84: 102386.
- [10] 杨志强, 唐松, 李增泉. 资本市场信息披露、关系型合约与供需长鞭效应——基于供应链信息外溢的经验证据[J]. *管理世界*, 2020, 36(07): 89-105+217-218.
- [11] Osadchiy N, Schmidt W, Wu J. The Bullwhip Effect in Supply Networks[J]. *Management Science*, 2021, 67(10): 6153-6173.
- [12] Ponte B, Framinan J M, Cannella S, et al. Quantifying the Bullwhip Effect in closed-loop supply chains: The interplay of information transparencies, return rates, and lead times[J]. *International Journal of Production Economics*, 2020, 230: 107798.
- [13] Michna Z, Disney S M, Nielsen P. The impact of stochastic lead times on the bullwhip effect under correlated demand and moving average forecasts[J]. *Omega*, 2020, 93: 102033.
- [14] 陈佳莉, 郭春香. 基于卡尔曼滤波需求预测的牛鞭效应研究[J]. *管理学报*, 2019, 16(05): 775-782.
- [15] LEE H L, WHANG S. The bullwhip effect: a review of field studies[J]. *The Bullwhip effect in supply chains: a review of methods, components and cases*, 2006.
- [16] Jeong K, Hong J D. The impact of information sharing on bullwhip effect reduction in a supply chain[J].

- Journal of Intelligent Manufacturing, 2019, 30(4): 1739-1751.
- [17] Ben-Daya M, Hassini E, Bahroun Z. Internet of things and supply chain management: a literature review[J]. International Journal of Production Research, 2019, 57(15-16): 4719-4742.
- [18] 孙兰兰, 钟琴, 祝兵, 等. 数字化转型如何影响供需长鞭效应? ——基于企业与供应链网络双重视角[J]. 证券市场导报, 2022(10): 26-37.
- [19] Fradinata E, Suthummanon S, Suntiamorntut W, et al. Compare the forecasting method of artificial neural network and support vector regression model to measure the bullwhip effect in supply chain[J]. Journal of Mechanical Engineering and Sciences, 2019, 13(2): 4816-4834.
- [20] Weisz E, Herold D M, Kummer S. Revisiting the bullwhip effect: how can AI smoothen the bullwhip phenomenon?[J]. The International Journal of Logistics Management, 2023, 34(7): 98-120.
- [21] Ghode D J, Yadav V, Jain R, et al. Lassoing the bullwhip effect by applying blockchain to supply chains[J]. Journal of Global Operations and Strategic Sourcing, 2022, 15(1): 96-114.
- [22] Tai P D, Duc T T H, Buddhakulsomsiri J. Measure of bullwhip effect in supply chain with price-sensitive and correlated demand[J]. Computers & Industrial Engineering, 2019, 127: 408-419.

Research on the Measurement and Suppression Methods of Supply Chain Bullwhip Effect

Liu Zhiyi

(Hunan Normal University, Changsha Hunan, 410000)

Abstract: As the complexity of global supply chains increases, the bullwhip effect has become a key issue affecting the efficiency and stability of supply chains. This study focuses on the supply chain bullwhip effect, and utilizes quantitative analysis methods to measure the bullwhip effect and its fluctuation trend, and reveals its performance characteristics in different scales and industries. The results show that the overall fluctuation of supply chain bullwhip effect shows a decreasing trend, and the fluctuation of bullwhip effect of smaller enterprises is significantly larger than that of larger enterprises. In addition, this study proposes countermeasures to suppress the bullwhip effect from three aspects: strengthening information sharing, improving demand forecasting, and optimizing supply chain network structure. The research results provide practical theoretical basis and practical guidance for enterprises to optimize supply chain management and enhance competitiveness, which is of great significance to promote the stable and efficient operation of supply chain.

Keywords: Bullwhip effect; measurement studies; suppression methods