

李涛, 李国平, 薛领. 基于系统动力学的新冠肺炎疫情影响北京经济发展的模拟仿真分析 [J]. 地理科学, 2022, 42(2): 244-255. [Li Tao, Li Guoping, Xue Ling. Simulation of the impact of COVID-19 on Beijing's economic development based on system dynamics. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(2): 244-255.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2022.02.006

基于系统动力学的新冠肺炎疫情影响北京经济发展的模拟仿真分析

李涛¹, 李国平², 薛领²

(1. 河北经贸大学商学院, 河北 石家庄 050061; 2. 北京大学政府管理学院, 北京 100871)

摘要: 运用系统动力学方法, 以北京市为例, 通过多情景设置模拟 COVID-19 疫情对北京经济发展的影响; 并对不同政策干预效果进行仿真分析。研究表明: ① 分行业来看, COVID-19 疫情对交通运输业的直接影响来自于出行管制, 需求锐减和相关限制措施导致行业在短期内增长乏力; 租赁与商务服务业需求不会随着疫情管控措施解除而立刻增加, 行业复苏有一定的时滞; 受其他行业复苏延迟影响, 金融业发展的低迷时期会更长; 复工复产的有序推进加速了工业和建筑业发展, 有利于增强其对保持经济稳定的贡献。② 从整体来看, 新冠肺炎疫情暴发在短期内使得北京经济下行压力增大, 各种管制措施出台和需求萎缩会进一步降低经济增速。然而, 随着疫情蔓延得到有效遏制和复工复产步伐加快, COVID-19 疫情对北京经济发展的不利冲击会大幅降低。③ 从政策干预效果来看, 解除企业生产和经营活动限制所引起城市经济发展水平的提升幅度大于财政对相关产业的补贴; 而 2 种政策组合干预会进一步降低因 COVID-19 疫情暴发而对经济带来的不利影响, 避免经济出现滑坡。模拟结果符合北京市 2020 年经济发展实际情况, 验证了模拟方法的有效性。

关键词: 新冠肺炎; 经济发展; 系统动力学; 仿真模拟; 北京

中图分类号: F293.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2022)02-0244-12

2019 年末新型冠状病毒肺炎 (COVID-19) 疫情突如其来, 并迅速在国内外蔓延。大规模突发疫情不仅给居民的身体健康带来巨大威胁, 也使得正常的生产生活秩序和投资者面临巨大挑战^[1], 特别是层出不穷的网络谣言会刺激社会公众的恐慌情绪^[2], 加剧疫情对正常生产生活秩序的破坏。疫情蔓延对经济发展的影响不容忽视, 且行业之间存在显著差异性^[3]。已有研究主要集中在突发疫情对旅游业^[4]、住宿与餐饮业^[5,6]、金融业^[7,8]、房地产业^[9]、制造业^[10]等行业的影响; 也有学者认为疫情对不同收入阶层的影响存在差异, 认为低收入者受到的负面影响更大^[11]。然而, 随着疫情暴发后政府和社会非正式制度、防护措施、公共卫生体系等不断

丰富和完善, 居民防护意识增强^[12-15], 其对经济社会的负面影响会显著降低。因此, 利用线性模型估计其对经济社会发展的影响存在被夸大的可能^[16]。

既有文献对突发疫情影响经济发展的不同方面展开了较为深入的研究, 主要以运用面板数据进行实证分析居多。然而, 单纯的回归模型并不能从系统角度模拟突发疫情对城市经济发展的影响过程的具体传导路径和实际效果, 从系统角度分析突发疫情对经济发展影响的研究还不多见; 而系统建模方法对于处理结构复杂、影响因素众多、经济意义重大的复杂社会经济系统的优化具有很好的适应性^[17]。系统动力学 (System Dynamics, SD) 模型不仅可以分析城市系统中各变量间的相互作

收稿日期: 2020-11-28; **修订日期:** 2021-02-18

基金项目: 国家社会科学基金项目 (20ZDA040)、国家自然科学基金项目 (71873007) 资助。 [Foundation: National Social Sciences Foundation of China (20ZDA040), National Natural Science Foundation of China (71873007).]

作者简介: 李涛 (1990-), 男, 河北邢台人, 博士, 主要从事区域经济与经济地理研究。E-mail: litaojiayue@163.com

通讯作者: 薛领。E-mail: paulsnow@pku.edu.cn

用,还可以通过情景设置进行数值模拟分析,通过评估与模拟提出相应的对策^[18]。作为中国首个服务业扩大开放综合试点城市,北京市产业结构在较早时期实现了转型升级^[19],形成了以金融业、科学研究和技术服务业、信息传输、软件和信息技术服务业等服务业主导的产业结构。2020年,北京市服务业增加值占地区生产总值的83.87%,服务业已成为影响其经济发展的关键产业(根据北京市统计局公布的数据计算, <http://tjj.beijing.gov.cn/>)。从经济发展阶段和产业结构来看,COVID-19疫情对北京经济发展的影响同其他地区或城市存在较大差异。原因在于,一方面,劳动力流动对于服务业增长产生积极的正向推动作用^[20],而疫情暴发带来的人口流动限制和企业延迟复工对服务业有较大冲击;另一方面,北京是中国对外交流的首要窗口,而受疫情影响多个国家和地区采取暂停或减少往来航班、一定期限内限制中国公民入境等措施,短期国际交流密切程度的下降会对服务贸易产生不利影响。基于此,本文基于系统动力学基本原理,构建由传染病系统、政府管理系统、国际交流系统和经济发展系统4个子系统组成的COVID-19疫情对北京经济发展影响的系统,并在不同情境下进行模拟仿真,以期深入揭示具体影响机制,为相关部门分析和制定措施降低疫情带来的不利影响提供决策依据。

1 研究方法 with 结构分析

1.1 系统动力学模型

系统动力学是以反馈控制理论为基础,以计算机模拟技术为主要手段,研究和解决复杂系统的结构、功能与动态行为之间关系的仿真方法^[21],适合分析非线性、多变量、多种反馈的复杂系统问题,因其可以通过参数调整模拟不同政策带来的影响,也被称为“政策实验室”。系统动力学中所包含的因果关系、系统反馈、动态演化等特征与COVID-19疫情影响城市经济发展高度契合,具体表现在以下几方面:

首先,影响城市经济发展的因素很多,且不同因素之间的关系具有复杂性和非线性特征。COVID-19疫情对城市经济发展的影响主要是通过影响城市内部和城市间人口流动而实现。传统的计量模型并不能充分反映影响过程,而系统动力学

可以将COVID-19疫情影响北京经济发展的具体路径充分表达,对具体影响路径进行全面剖析。

其次,运用系统动力学研究COVID-19疫情影响城市经济发展可以从动态角度进一步分析影响机理。COVID-19疫情与北京城市经济发展之间的关系并非单向作用,一方面,城市内部和城市间的人口流动可能会加速疫情扩散,使得其对经济的影响程度更大;另一方面,随着疫情的发展,政府也会不断制定相应的政策措施,通过限制人口流动和加快疫苗研发,降低疫情的感染率和死亡率,从而缩短经济复苏时间。

最后,COVID-19疫情对城市经济发展的影响过程具有复杂性,并非全部因素都可以精确量化,而系统动力学是一种定量和定性分析相结合的研究方法。将出行方式、政府重视程度、生产和经营管制等不便量化表达的指标纳入分析框架,进而准确的刻画COVID-19疫情与北京城市经济发展之间的因果关系和具体路径,并且通过参数的调整实现政策模拟。

1.2 系统结构分析

本文构建的COVID-19疫情影响北京经济发展系统主要由传染病系统、政府管理系统、国际交流系统和经济发展系统4个子系统构成,各子系统内部变量相互关联,子系统间存在相互影响和相互作用,共同形成具有多重反馈的因果关系结构。

1.2.1 传染病子系统

主要研究COVID-19疫情相关变量对经济发展的影响。系统中除核心变量患病人数外,还包括康复人数、总人口数、平均接触速率、康复率、感染率等其他变量。从系统设计和研究角度出发,COVID-19疫情发展,受病毒自身变化影响,而人们出行方式的变化和疫苗的研制也会影响疫情的感染率,进而影响感染人数和康复人数。

1.2.2 政府管理子系统

主要研究政府根据疫情所采取的政策措施对北京经济发展的影响。系统中除核心变量政府重视程度之外,还包括生产和经营管制、出行管制、政府补贴等变量。从研究设计和系统模型设计角度而言,一方面,政府管理子系统可以通过调整卫生和社会工作、财政补贴、生产和经营管制等措施对城市经济发展产生影响;另一方面,政府对居民出行的限制会通过出行方式的改变作用于COVID-19疫情平均接触速率,进而对感染率产生影响,

感染率的下降有利于城市经济发展。

1.2.3 国际交流子系统

主要研究在政府管理水平和 COVID-19 疫情扩散水平一定的情况下,国际交往密切程度的变化对城市经济发展的影响。城市经济发展是一个开放和动态的过程,特别对于北京而言,国际交往中心是其战略定位之一。因此,系统中主要包括国际合作基础、国际交流等变量,分析其变化对北京经济发展的影响。

1.2.4 经济发展子系统

主要研究 COVID-19 疫情蔓延程度确定的情况下,产业自身的变化对城市经济的影响。系统内主要考察工业、建筑业和服务业对经济发展的影响。此外,鉴于数据的可获得性和系统建模的可操作性,将 GDP 作为城市经济发展的衡量指标,分析其对 COVID-19 疫情、政府管理和国际交往子系统的影响。

2 模型构建与检验

2.1 系统动力学模型构建

2.1.1 因果关系

COVID-19 疫情对北京经济发展的作用机理主要是通过限制人口流动和企业生产服务行为产生,一方面,前期的生产和生活行为限制有利于降

低病毒传播速率和感染率,有利于控制疫情在更大范围内传播,加快后期经济复苏的进程;另一方面,前期严格管控带来的生产和生活困难,在短期对经济增长产生较大冲击。在确定系统边界和变量间反馈关系基础上,构建 COVID-19 疫情对北京经济发展的系统动力学因果关系图,具体如图 1 所示。

由图 1 可知,该模型中含有多个反馈回路,具体如下(+代表正向反馈;-代表负向反馈):

反馈回路 1: 患病人数→消费行为→批发和零售业→服务业→经济发展→政府重视程度→卫生和社会工作→康复人数→患病人数。

反馈回路 2: 患病人数→消费行为→批发和零售业→服务业→经济发展→政府重视程度→出行管制→消费行为→住宿和餐饮业→人口流动→患病人数。

反馈回路 3: 患病人数→消费行为→批发和零售业→服务业→经济发展→政府重视程度→出行管制→出行方式→平均接触速率→患病人数。

反馈回路 4: 康复人数→政府重视程度→出行管制→出行方式→平均接触速率→患病人数→康复人数。

反馈回路 5: 国际合作基础→国际交流→

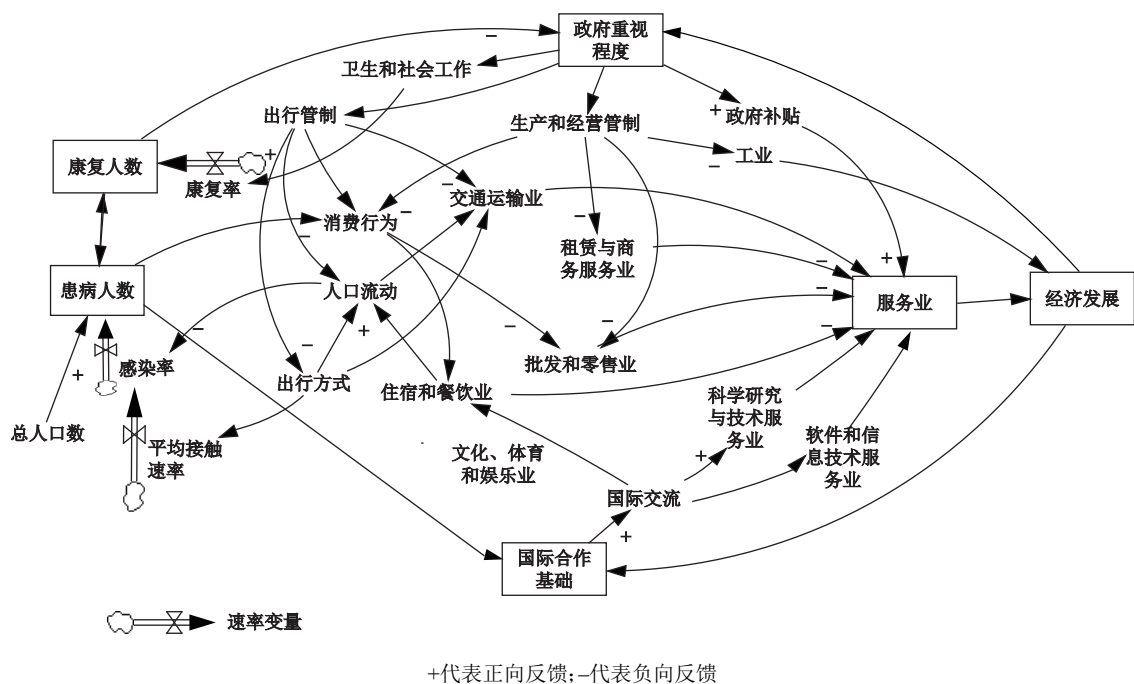


图 1 COVID-19 疫情影响城市经济发展因果关系

Fig.1 The causal relationship between COVID-19 epidemic and urban economic development

住宿和餐饮业→+人口流动→+患病人数→-国际合作基础。

反馈回路 6: 政府重视程度→+卫生和社会工作→+康复人数→-政府重视程度。

2.1.2 系统流图分析

为进一步区分变量性质和明细系统内反馈形式,在因果关系图的基础上,构建 COVID-19 疫情影响城市经济发展系统流图,如图 2 所示。

为厘清 COVID-19 疫情影响北京经济发展的具体路径,本文构建的系统流图共包含 30 个变量,包括 6 个水平变量,21 个辅助变量和 3 个速率变量,主要参数方程形式见表 1。

借鉴曹祺文等^[22]研究,COVID-19 疫情影响城市经济发展系统模型参数主要采用线性回归、曲线估计、生产函数等方法。对于模型中还有些变量的非线性关系使用表函数进行处理,模型方程参数设置和表函数处理数据主要来源于 2016—2019 年的《北京统计年鉴》^[23]和 2019《北京市国民经济和社会发展统计公报》(<http://tjj.beijing.gov.cn/>)。模型运行时间周期为 2020 年 1 月 1 日至 2020 年 7 月 31 日,仿真步长为 1 d,共 213 d。

2.2 模型检验

2.2.1 系统结构检验

系统结构检验是系统动力学模型的常用检验

之一,主要检验系统中的核心变量是否为内生变量,是否考虑到外生变量对内生变量的影响。系统结构检验结果表明,基于系统动力学的 COVID-19 疫情影响城市经济发展模型通过结构性检验;同时,对模型进行多次试运行,并未出现异常,进一步验证了采用该模型对 COVID-19 疫情影响城市经济发展进行模拟仿真分析是合理的。

2.2.2 历史性检验

考虑到疫情暴发具有偶然性,将传染病子系统剔除,对不考虑 COVID-19 疫情的城市经济发展系统进行历史值与真实值对比,测定模型数据与实际情况的相符程度,由此判断模型对未来模拟结果的可信度^[21]。鉴于数据的可获得性和代表性,选择检验的变量包括工业、交通运输业、批发零售业、软件和信息技术服务业、金融业、房地产业与经济总量 7 项指标,并用 2015—2019 年的指标相对误差判断模型精度(模拟值和真实值的差绝对值比上真实值)(表 2)。由表 2 可知,研究期全部指标的相对误差率都在 5% 以内,说明该模型模拟精度较高,具有较强的解释力和可信度^[24],符合建模要求。

3 情景设置与模拟分析

3.1 情景设置

表 3 为区分不同程度感染率对北京经济发展

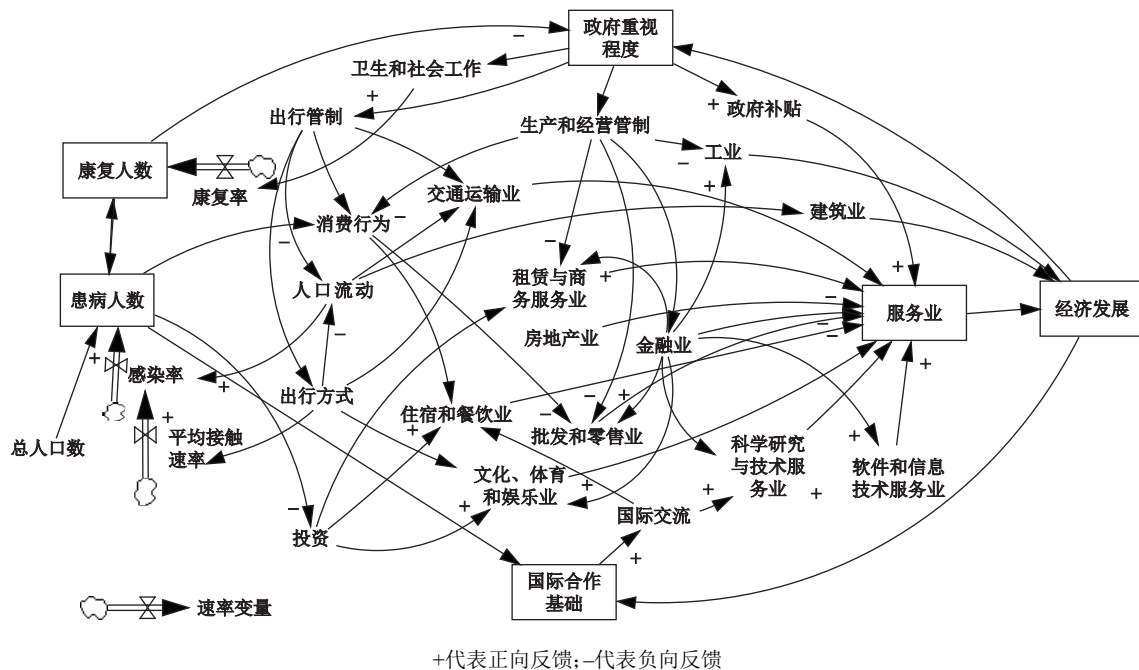


图 2 COVID-19 疫情影响城市经济发展系统

Fig.2 The system flow chart of COVID-19 epidemic affecting urban economic development

表1 COVID-19疫情影响城市经济发展系统的主要变量参数方程

Table 1 The main variable parameter equation of COVID-19 epidemic affecting urban economic development

变量类型	名称	参数方程
水平变量	康复人数	INTEG(康复率, 0)
水平变量	患病人数	INTEG(感染率-康复率, 200)
水平变量	政府重视程度	经济发展 $\times 10^{-6}$ +康复人数 $\times 0.001$ +PULSE(25, 70)+PULSE(95, 60) $\times 1$
水平变量	经济发展	INTEG(工业 $\times 0.36$ +建筑业 $\times 0.226$ +服务业 $\times 5.312$, 0)
辅助变量	出行管制	政府重视程度 $\times 0.5$ +PULSE(25, 35) $\times 1$ +PULSE(36, 50) $\times 2$
辅助变量	生产和经营管制	政府重视程度 $\times 0.5$ +PULSE(25, 40) $\times 70$ +PULSE(65, 50) $\times 30$ +PULSE(115, 60) $\times 10$
辅助变量	消费行为	IF THEN ELSE(生产和经营管制 $>60, 500, 700$) +1 500-患病人数+出行管制
辅助变量	交通运输业	人口流动 $\times 0.2$ +出行方式 $\times 2$ -出行管制 $\times 0.2$ -PULSE(25, 50) $\times 6$ -PULSE(50, 50) $\times 2$
辅助变量	住宿和餐饮业	消费行为 $\times 0.04$ +投资 $\times 0.02$ +国际交流 $\times 0.03$ -PULSE(25, 50) $\times 7$ -PULSE(75, 25) $\times 3.5$ - PULSE(100, 50) $\times 2$ -PULSE(150, 100) $\times 0.5$
辅助变量	租赁与商务服务业	金融业 $\times 0.13$ +投资 $\times 0.08$ + [IF THEN ELSE(生产和经营管制 $>70, 0.01, 0.03$)] $\times 1.216$ - PULSE(30, 60) $\times 5$ -PULSE(90, 60) $\times 2$
辅助变量	批发和零售业	[IF THEN ELSE(生产和经营管制 $>70, 0.03, 0.06$)] $\times 0.153$ +消费行为 $\times 0.027$ +金融业 $\times 0.031$ -PULSE(25, 50) $\times 6$ -PULSE(75, 50) $\times 3$
辅助变量	金融业	[IF THEN ELSE(生产和经营管制 $>60, 0.07, 0.09$)+1] $\times 6.44$ -PULSE(30, 30) $\times 10$ -PULSE(60, 70) $\times 9$ +DELAY1(30, 70)+PULSE(150, 50) $\times 8$
辅助变量	工业	IF THEN ELSE(生产和经营管制 $>60, 0.35, 0.65$)+金融业 $\times 0.81$ -PULSE(30, 50) $\times 40$ -PULSE(80, 30) $\times 20$
辅助变量	建筑业	[IF THEN ELSE(人口流动 $<2000, 0.013, 0.043$)+1] $\times 4.23$ -PULSE(20, 30) $\times 3.5$ -PULSE(50, 60) $\times 3$ -PULSE(110, 30) $\times 1.7$
辅助变量	政府补贴	政府重视程度 $\times 0.5$ +PULSE(35, 200) $\times 50$
辅助变量	投资	PULSE(1, 30) $\times (1 200$ -患病人数) $\times 0.03$ +PULSE(31, 60) $\times 0.02$ +DELAY1(0.5, 60) + PULSE(90, 60) $\times 20$
速率变量	感染率	(患病人数 / 总人口数) $\times$ 平均接触速率
速率变量	康复率	卫生和社会工作 $\times 0.5$ +0.88

注: INTEG, 积分函数; PULSE, 脉冲函数; IF THEN ELSE, 条件函数; DELAY1, 延迟函数。

表2 COVID-19疫情影响城市经济发展系统主要变量的历史值与真实值相对误差/%

Table 2 The relative error unit of historical value and real value of COVID-19 epidemic affecting urban economic development /%

年份	工业	交通运输业	批发零售业	信息传输、软件和信息技术服务业	金融业	房地产业	经济总量
2015	2.02	3.42	3.53	4.47	3.81	4.18	3.51
2016	1.76	4.04	4.21	3.96	3.29	4.95	4.22
2017	2.40	3.96	3.58	4.45	4.76	3.44	3.87
2018	2.35	3.32	4.32	3.89	3.87	3.79	4.08
2019	2.42	4.21	3.69	4.07	3.36	3.52	4.01

表3 COVID-19疫情发展程度模拟方案

Table 3 The COVID-19 epidemic simulation program

严重程度	感染率
一级	比二级感染率低20%
二级	日新增确诊人数/总人口数
三级	比二级感染率高20%

注: 以疫情暴发2周内日均新增确诊人数表示日新增确诊人数, 考虑到地域的特殊性, 本研究使用除港澳台、湖北和西藏以外的新增确诊人数和总人口数进行计算。

影响,模拟疫情 3 种不同的感染程度。

3.2 模拟分析

3.2.1 对单个行业和经济整体的影响

1) 交通运输业。COVID-19 疫情对交通运输业的影响主要是通过降低交通方式的通勤密度实现,如列车停运、经过城市站点但不停靠、航班和长途大巴车取消营运等方式。政府部门会根据疫情的发展情况进行交通管制。基于已构建的系统动力学模型,模拟 COVID-19 疫情不同感染率对交通运输业的影响(图 3)。

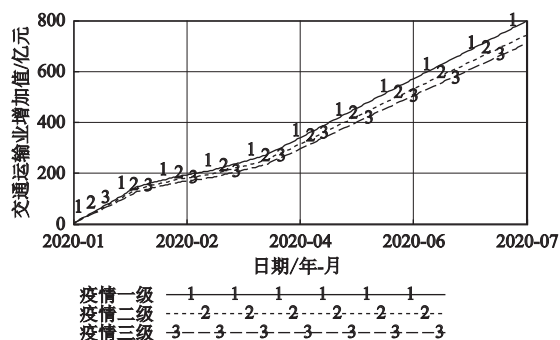


图 3 COVID-19 疫情对北京市交通运输业影响模拟结果

Fig.3 The simulation results of the impact of COVID-19 epidemic on transportation industry of Beijing

由图 3 可知, COVID-19 疫情对北京交通运输业产生巨大影响,且在春节后短期不利影响大于长期。整体看, COVID-19 疫情对交通运输业的影响非常直接,在 2020 年春节(1 月 25 日)后,短期产业增加值几乎为零;随着疫情的逐步得到控制,相关管制也会进一步放松,交通运输业会在 3 月中下旬逐渐走向复苏。实际上,2020 年上半年北京市交通运输仓储和邮政业增加值增速下降 13.6%,降幅比一季度收窄 10.1 个百分点(北京市交通委员会, <https://baijiahao.baidu.com/>,下同),这与模型模拟结果是一致的。2020 年春节期间,受疫情加剧及防控措施升级影响,进出京客流为 348.70 万人次,较去年同期大幅下降 61.76%。北京市内地面公交客运量 1498.02 万人次,同比下降 64.60%;北京市轨道交通客运量 735.56 万人次,同比下降 83.93%。进出京客流大幅减少,短时间通勤流难以恢复,通勤和学生客流等不确定性增加,城市内部与城市间出现需求锐减和限流措施的实行,使交通运输业在短期增长乏力。

2) 住宿和餐饮业。COVID-19 疫情对住宿和

餐饮业的影响主要通过 2 个途径:一是通过出行管制对居民的消费行为产生影响,这类限制主要是来自于国内,最明显的就是国内游和大型群体性活动的取消(如游乐园、商业演出等);二是因疫情暴发导致的外部需求的急剧下滑,特别是作为国际交往中心的北京,如果疫情持续暴发,国际交流频率将会急剧下降。基于已构建的系统动力学模型,模拟 COVID-19 疫情不同感染率对住宿和餐饮业的影响(图 4)。

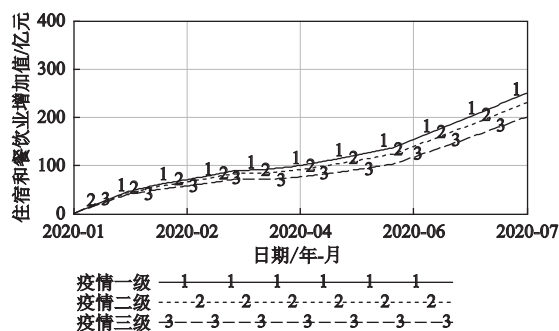


图 4 COVID-19 疫情对北京市住宿和餐饮业影响模拟结果

Fig.4 The simulation results of the impact of COVID-19 epidemic on accommodation and catering of Beijing

图 4 可知, COVID-19 疫情对北京住宿和餐饮业产生明显冲击,在春节后的短期不利影响可能会持续到 4 月份,甚至更久。COVID-19 疫情对住宿和餐饮业影响非常直接,在春节(1 月 25 日)后一段时期行业几乎停滞。与交通运输业不同的是,随着疫情控制和相关管制放松,住宿和餐饮业并不会较快复苏,会有一定延迟。现实情况是(北京市统计局, <http://tjj.beijing.gov.cn/>),受疫情影响,2020 年第 1 季度北京市限额以上住宿和餐饮业法人单位主营业务收入同比增长-50.1%,在第 3 季度恢复趋势明显,这与模型预测结果一致。2020 年住宿和餐饮业限额以上单位主营业务收入 870.1 亿元,同比增长-31.3%,全年降幅收窄。

3) 租赁与商务服务业。COVID-19 疫情对租赁与商务服务业的影响主要由限制人口流动影响其他行业发展而实现,因此,可能该行业复苏所需时间也可能较长。基于已构建的系统动力学模型,模拟 COVID-19 疫情不同感染率对租赁与商务服务业的影响(图 5)。

由图 5 可知,与餐饮住宿业类似,租赁与商务服务业的冲击时间较长,可能会在交通和出行限

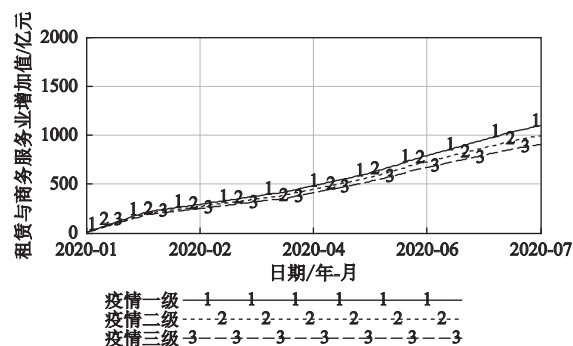


图5 COVID-19 疫情对北京市租赁与商务服务业影响模拟结果

Fig.5 The simulation results of the impact of COVID-19 epidemic on leasing and business services of Beijing

制解除后的一段时间逐渐复苏,大约在3月底或者4月初。从COVID-19疫情不同感染率看,若按照一级感染率蔓延,到2020年7月底,租赁与商务服务业增加值约为1100亿元;若按照三级感染率蔓延,行业增加值将比一级扩散程度减少140亿元。实际上,随着北京市防控措施更加精准,新冠疫情蔓延得到有效控制,北京市租赁与商务服务业在2020年第二季度开始逐步复苏(北京市统计局, <http://tjj.bei-jing.gov.cn>),与模型预测趋势一致,验证了模型有效性。2020年上半年,中关村国家自主创新示范区、北京商务中心区和首都机场临空经济示范区规模以上企业总收入增速分别为5.9%、-5.1%和-15.5%;而第1季度增速则分别为-3.4%、-4.2%、-15.3%和24.3%。

4) 批发和零售业。COVID-19疫情对批发和零售业的影响主要通过限制企业的生产经营和家庭的消费行为,前者是通过延长企业复工时间而实现;后者是企业复工时间延长叠加个体出行管制。基于已构建的系统动力学模型,模拟COVID-19疫情不同感染率对批发和零售业影响(图6)。

由图6可知,得益于元旦和春节预期,在疫情暴发前北京批发和零售业发展速度较快,而COVID-19疫情蔓延之后,批发和零售业发展十分缓慢,产业发展平缓状态一直持续到4月。从COVID-19疫情不同感染率来看,若按照一级感染率蔓延,则到2020年7月底,批发和零售业增加值约为1400亿元;若按照二级感染率蔓延,行业增加值约为1200亿元;若按照三级感染率蔓延,则行业增加值大约1100亿元。2020年第1季度,北京市限额以上批发和零售业总收入同比增长了-18.3%(北京市统计局, <http://tjj.beijing.gov.cn>,下同),除

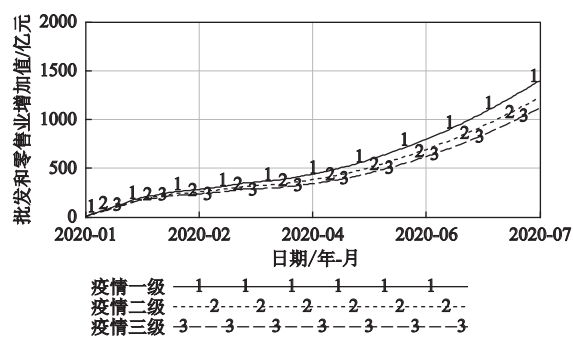


图6 COVID-19 疫情对北京市批发和零售业影响模拟结果

Fig.6 The simulation results of the impact of COVID-19 epidemic on wholesale and retail of Beijing

家用电器及电子产品专门零售、纺织、服装及家庭用品批发、食品、饮料及烟草制品专门零售等少数行业外,绝大多数行业营业收入降幅明显。随着疫情得到有效控制,批发和零售业在第2季度中期逐渐复苏,2020年上半年,北京市限额以上批发和零售业总收入同比增长-8.2%,降幅收窄,实际情况与模型预测结果一致,说明模型预测是有效的。2020年下半年,管控措施逐步放开加速了有效需求释放,批发和零售业发展较快,使得疫情对全年批发和零售业的不利影响大幅降低。2020年,北京市限额以上批发和零售业主营业务收入为63064.9亿元,同比增长-1.7%;行业增加值为2758.9亿元,同比增长-2.4%。

5) 金融业。作为现代经济的血液,金融业发展离不开整个经济系统支持,COVID-19疫情对金融业冲击主要也是通过影响其他行业而实现。一方面,随着疫情的暴发,受居民出行受限、家庭消费不足、企业生产管制等多因素叠加影响,企业资金压力较大,如果此时金融机构抽贷资金,会加剧经济恶化;相反,如政府及时出台相应政策措施,通过金融机构降低企业资金成本,有利于经济复苏。基于已构建的系统动力学模型,模拟COVID-19疫情不同感染率对金融业的影响(图7)。

如图7所示,COVID-19疫情对北京金融业产生的较大冲击,使得行业增加值在4月前增长缓慢,在4月后开始出现明显增长,5月增长幅度进一步加大,进一步印证金融业的恢复需要其他行业复苏为支撑。随着疫情得到控制、企业生产逐步恢复和家庭出行限制解除,北京服务业将会在4月逐步复苏,带动金融业5月出现较快增长。从COVID-19疫情不同感染率来看,若按照一级感染

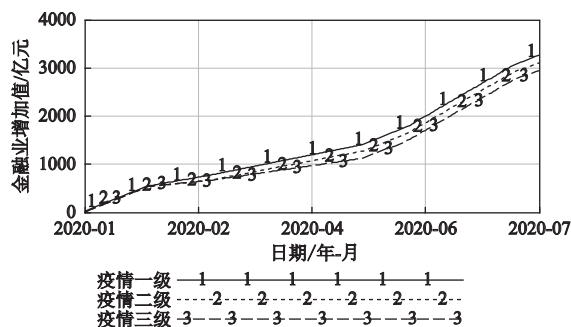


图7 COVID-19 疫情对北京市金融业影响模拟结果

Fig.7 The simulation results of the impact of COVID-19 epidemic on finance of Beijing

率蔓延,则到2020年7月底,金融业增加值大约在3200亿元左右;若按照三级感染率蔓延,行业增加值将比一级扩散程度减少约300亿元。作为经济发展的“血液”,金融业发展与各行各业的发展都密不可分。实际上,随着《进一步支持中小微企业应对疫情影响保持平稳发展若干措施》《关于北京市进一步加大创业担保贷款贴息力度全力支持重点群体创业就业的通知》等相关政策文件的印发和执行,北京市金融行业在2020年第2季度开始逐步企稳,上半年金融街规模以上法人单位收入6674.6亿元(北京市统计局, <http://tjj.beijing.gov.cn>),增速由负变为持平,说明金融行业复苏步伐加快,检验了模型有效性。

6) 工业。COVID-19 疫情对工业的影响主要是通过限制企业生产和经营活动而实现。政府部门会根据疫情的发展情况进行生产和经营管制,基于已构建的系统动力学模型,模拟 COVID-19 疫情不同感染率对工业的影响(图8)。

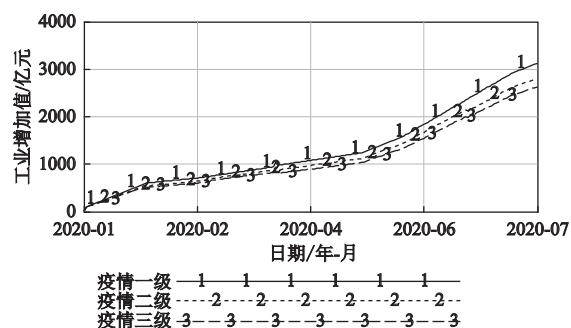


图8 COVID-19 疫情对北京市工业影响模拟结果

Fig.8 The simulation results of the impact of COVID-19 epidemic on industry of Beijing

由图8可知,北京市工业增加值在第一季度会出现较大波动,特别是春节前生产性企业提前放假和节后疫情暴发的双重叠加,拉低工业增加值对经济增长贡献。2020年第1季度北京市工业增加值同比增长-14.7%,其中,1~2月同比增长-16.2%。随着疫情逐步得到控制,相关生产活动限制也得到解除,复工复产的有序进行使得工业增加值在4月份开始逐步恢复。2020年北京市工业增加值增速在4月份首次实现正增长,增速为4.8%。从COVID-19疫情不同感染率来看,若按照一级感染率蔓延,则到2020年7月底,工业增加值大约在3100亿元;若按照三级感染率蔓延,增加值大约在2580亿元。通过分析发现,北京工业在5月和6月增长较快,这可能是因生产经营限制被解除后生产快速恢复。2020年,北京市工业发展也印证了模型预测,上半年,北京市工业增加值同比增长-3.7%,其中6月同比增长10.8%,为近半年最高水平;下半年,各种政策措施的出台进一步增强了工业对经济发展的贡献,全年工业增加值4216.5亿元,同比增长1.4%(北京市统计局, <http://tjj.beijing.gov.cn>)。

7) 建筑业。COVID-19 疫情对建筑业的影响主要包括两个方面:一方面因生产和经营限制导致的建筑业复工时间延长;另一方面则是因出行管制导致的建筑业招工难。基于已构建的系统动力学模型,模拟 COVID-19 疫情不同感染率对建筑业的影响(图9)。

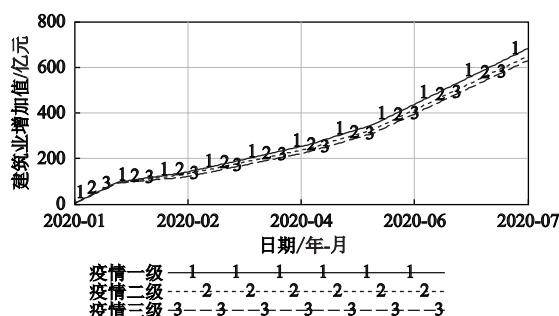


图9 COVID-19 疫情对北京市建筑业影响模拟结果

Fig.9 The simulation results of the impact of COVID-19 epidemic on construction of Beijing

图9可知,COVID-19 疫情对建筑业产生较明显影响,且主要集中在短期。具体看,受疫情暴发影响,建筑业在2和3月发展缓慢;进入4月后,如疫情得到有效控制和生产经营限制的解除,建

筑业可能会快速增长,且一直会持续到下半年。从 COVID-19 疫情不同感染率看,若按一级感染率蔓延,到 2020 年 7 月底,建筑业增加值大约在 680 亿元;若按照二级感染率蔓延,行业增加值大约 650 亿元;若按照三级感染率蔓延则是在 620 亿元左右。从北京市建筑业实际生产经营情况来看(北京市统计局, <http://tjj.beijing.gov.cn>),2020 年第 1 季度,建筑业总产值同比增长-20.6%;而建筑施工的逐步恢复,北京市建筑业下半年发展迅速。2020 年建筑业总产值为 12 905.9 亿元,同比增长 7.6%;行业增加值 1 539.8 亿元,同比增长 4.4%,建筑业总产值和增加值增速均显著高于 GDP 增速。与模型模拟结果相一致,COVID-19 疫情对建筑业的不利影响主要集中在短期,复工复产精准推行和重点建设项目加快施工,会抵消疫情带来不利影响,增加对经济发展的贡献。

8) 经济发展。COVID-19 疫情对经济发展的影响主要是影响居民出行、企业生产经营活动等多种因素叠加实现。政府部门根据疫情的发展情况进行生产生活管制,而影响城市整体经济发展。基于已构建的系统动力学模型,模拟 COVID-19 疫情不同感染率对经济发展的影响(图 10)。

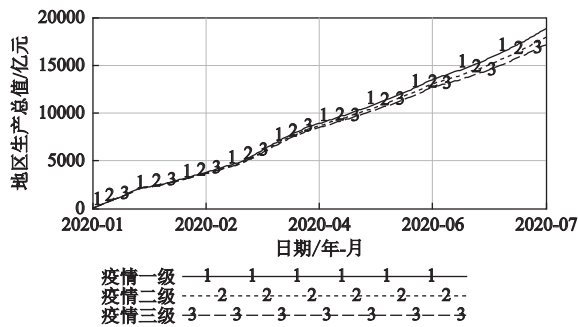


图 10 COVID-19 疫情对北京市经济发展影响模拟结果

Fig.10 The simulation results of the impact of COVID-19 epidemic on economic development of Beijing

由图 10 可知, COVID-19 疫情对北京市经济发展产生了明显的不利影响,特别是在最初暴发的 1 月底和 2 月初。受城市产业结构和功能定位影响,疫情防控措施对北京经济发展的不利影响主要来自住宿餐饮、商务服务、居民服务等服务行业。若按照一级感染率蔓延,则到 2020 年 7 月底,增加值大约为 18 800 亿元;若按照三级感染率,则北京增加值大约 17 100 亿元。由于管控措施得当、

居民防护意识提高和企业创新生产经营模式,经济发展子系统中各行业复工复产步伐加快,COVID-19 疫情对全年北京市经济发展的不利影响大幅减弱。从实际情况来看(北京市统计局, <http://tjj.beijing.gov.cn>),2020 年,北京市第 1 季度、上半年和全年的经济增速分别为-6.6%、-3.2% 和 1.2%。这说明从长期看,COVID-19 疫情对北京市经济产生的不利冲击会因复工复产而降低;同时,上也验证了系统模拟预测的有效性。

3.2.2 政策调整的模拟仿真

如前分析, COVID-19 疫情对经济发展的作用路径主要有 2 条:一方面,通过悲观情绪传递使得家庭消费等发生变化,进而影响城市经济;另一方面,通过对企业生产和经营活动限制,在抑制疫情传播的同时也对经济活动产生了负面影响。基于上述传播途径,假定 2 种调控因子均在现有基础上调整 20%,即增加 20% 的财政对服务业的补贴(原假设补贴为 2019 年北京减税降费总额)和缩短 20% 的企业生产和经营活动限制(原假设限制期限为 90 d)。借鉴刘开迪等^[25] 研究,通过单一政策调控和组合政策调控的模拟仿真,深入讨论 COVID-19 疫情对北京经济发展影响(表 4)。

由表 4 可知,通过政府积极干预,无论是单一政策干预还是组合政策干预,均有利于城市经济发展水平的提高(与图 10 的结果对比)。所不同的是,解除企业生产和经营活动限制变化所引起的城市经济发展水平提升幅度要大于财政对服务业补贴。究其原因,从目前来看,COVID-19 疫情对经济活动的不利影响并非是因为企业获得财政补贴过低,而是因政府为控制病毒扩散而对其所采取的生产和经营活动限制。企业生产经营活动受限,直接导致北京经济在 1 月底增长明显缓慢。从组合干预效果来看,若政府在缩短企业生产和经营限制的基础上,对服务业进行补贴,则会进一步降低因 COVID-19 疫情暴发而对经济带来的不利影响,甚至可能使得上半年不会出现经济下降(组合干预政策下,在一级感染率时,2020 年 GDP 预测为 15 170 亿元,几乎与 2019 年持平)。因此,在控制疫情的前提下,有步骤、有措施、有保障的复工复产是降低疫情不利影响最佳选择。

4 结论与建议

受新型冠状病毒肺炎疫情影响,中国经济面

表 4 政策干预后 COVID-19 疫情对北京市经济发展影响/亿元

Table 4 The results of the impact of COVID-19 epidemic on economic development of Beijing after policy intervention/unit: 100 million yuan

月份	财政补贴		解除限制		财政补贴+解除限制	
	疫情一级	疫情二级	疫情一级	疫情二级	疫情一级	疫情二级
1	2255	2243	2260	2241	2261	2247
2	3958	3913	3976	3910	3979	3929
3	7183	7087	7221	7086	7233	7124
4	9701	9538	9765	9544	9794	9605
5	12442	12191	12540	12203	12588	12292
6	14960	11594	15102	14611	15170	14740
7	18168	17456	18388	17685	18477	17873

注:篇幅所限,此处仅列COVID-19疫情感染率在一级和二级的场景模拟结果。

临严峻挑战。与全国大多数城市不同,北京经济结构高度依赖服务业,因而其受疫情的影响可能会更大,模拟疫情对北京经济发展的影响,可为政府相关部门提供政策依据,进而降低疫情蔓延对经济发展带来的损失。本研究基于系统动力学原理,构建了 COVID-19 疫情对北京经济发展影响系统,在此基础上分别绘制了因果关系图和系统流图,并对模型进行检验。进一步地,通过设置不同的感染率和政策组合进行模拟仿真分析,得到如下研究结论:① 分行业来看,COVID-19 疫情对交通运输业的不利影响更多是在短期,人口流动限制导致客运量下降明显;住宿和餐饮业复苏延迟时间可能更长,而防控措施精细化有利于缓解疫情产生的负面冲击;除家用电器等生说必需品外,批发和零售业多数行业在受疫情影响严重的第 1 季度降幅严重,但有效需求在后期得到释放,疫情带来的不利影响大幅降低;得益于其他行业的有序复苏,金融业在会 2020 年下半年发展迅速;生产经营和人口流动限制的逐步解除,工业和建筑业加速复苏,对经济增长的贡献持续增强。② 从整体来看,受 COVID-19 疫情影响,2020 年上半年北京经济下行压力较大,特别是住宿餐饮、交通运输等服务业,管控措施升级不利于产业发展。然而,从趋势上看,COVID-19 疫情对北京经济发展的影响主要仍是短期,这之前许多学者的研究相一致。2020 年下半年,随着人口流动限制解除和复工复产有序推进,经济子系统内各产业加速发展,降低了疫情对经济产生的冲击。③ 不管是单一政策干预还是组合政策干预,均有利于城市经济发展水平的提高。通过系统模拟分析发现,解除企

业生产和经营活动限制所引起的城市经济发展水平提升幅度大于财政对服务业补贴,说明 COVID-19 疫情对经济活动的不利影响主要是因政府为控制病毒扩散而对企业和居民所采取限制。因此,单纯的增加政府财政对产业的扶持力度并不能显著促进经济增长。这与实际情况是相一致的,2020 年,北京市在实施《进一步支持中小微企业应对疫情影响保持平稳发展若干措施》《关于北京市进一步加大创业担保贷款贴息力度全力支持重点群体创业就业的通知》等相关政策文件的同时,还根据疫情形势变化及时推动复工复产,更加强调科学精准防控,通过增加相关企业补贴和解除生产经营限制,降低疫情对经济发展的不利影响。

目前,虽然中国疫情趋势整体平稳,但德尔塔和奥密克戎的迅速、广泛传播也为未来疫情防控和经济发展增添了许多不确定性。根据上述研究结论,提出如下建议:① 准确把握疫情防控和经济发展之间的关系,在安全防控基础上尽可能降低疫情对经济影响。不管是系统模拟还是经济发展实际情况,都表明,COVID-19 疫情对经济活动的不利影响主要是通过对人口流动和生产经营进行一定限制所导致。因此,应统筹考虑疫情防控与经济发展之间的关系,采取更为精准的防控措施,避免盲目大范围限制人口流动和建设项目停工,降低疫情对北京经济发展的不利影响。② 释放政策红利,加大对因疫情受困的企业支持力度。虽然目前北京疫情形势整体可控,但未来不确定性依旧存在。为降低因疫情防控对企业产生的不利影响,应制定相应政策,加大对因疫情管控而受困的企业支持力度。如通过财政贴息的方式,对企业

贷款进行支持,特别是小微企业,降低生产经营成本;延期缴纳社保费用,进一步降低企业短期负担。

③ 加大创新支持力度,积极探索发展新业态,进一步释放创新对经济发展的推动力。COVID-19疫情虽然对旅游、消费、交通等行业冲击较大,但同时也推动了企业办公模式创新。北京在信息技术服务、科学研究与教育服务业具有明显优势,创新商业模式,整合线上线下资源,依托互联网、大数据等现代科技手段,以“科技+商业模式”协同创新,积极探索发展新业态,降低因疫情蔓延所采取的限制措施对经济发展的不利影响。

参考文献(References):

- [1] 朱玲. 从建立传染病社会医疗保险起步[J]. 金融研究, 2003(7): 16-24. [Zhu Ling. Starting from the establishment of social medical insurance for infectious diseases. Journal of Financial Research, 2003(7): 16-24.]
- [2] 胡欢, 郭晓剑, 梁雁茹. 基于前景理论的重大疫情网络谣言管控三方演化博弈分析[J]. 情报科学, 2021, 39(7): 45-53. [Hu Huan, Guo Xiaojian, Liang Yanru. Game analysis of the three-way evolution of network rumor control under the major epidemic based on Prospect Theory. Information Science, 2021, 39(7): 45-53.]
- [3] 吕本富, 佟仁城. SARS的经济影响分析方法研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2003(7): 59-63. [Lv Benfu, Tong Rencheng. Study on the economic impact analysis method of SARS. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2003(7): 59-63.]
- [4] Novelli M, Burgess L G, Jones A et al. 'No Ebola... still doomed' —The Ebola-induced tourism crisis[J]. Annals of Tourism Research, 2018(70): 76-87.
- [5] Chen M H, Jang S C, Kim W G. The impact of the SARS outbreak on Taiwanese hotel stock performance: An event-study approach[J]. Hospitality Management, 2007(26): 200-212.
- [6] Waugh B. Economic recovery in the wake of SARS[J]. Taiwan Review, 2003, 53(20): 26-31.
- [7] 伍志文. SARS对金融业的冲击路径及其影响初探[J]. 财经研究, 2003(8): 58-63. [Wu Zhiwen. An elementary analysis on the shock route of SARS on finance and its effects. Journal of Finance and Economics, 2003(8): 58-63.]
- [8] Giudice A D, Paltrinieri A. The impact of the Arab Spring and the Ebola outbreak on African equity mutual fund investor decisions[J]. Research in International Business and Finance, 2017(41): 600-612.
- [9] Wong G. Has SARS infected the property market? Evidence from Hong Kong[J]. Journal of Urban Economics, 2008(63): 74-95.
- [10] 雷家骅. 谈SARS对中国经济的影响[J]. 经济管理, 2008(63): 74-95. [Lei Jiasu. The impact of SARS on China's economy. Business Management Journal, 2008(63): 74-95.]
- [11] 宋宁, 陈祖新, 侯万军, 等. SARS对我国经济的影响及其新变化[J]. 经济学动态, 2003(7): 8-10. [Song Ning, Chen Zuxin, Hou Wanjun et al. The impact of SARS on China's economy and its new changes. Economic Perspectives, 2003(7): 8-10.]
- [12] 李正全. SARS影响国民经济的短期与长期分析[J]. 经济科学, 2003(3): 25-31. [Li Zhengquan. The short-term and long-term analysis of the impact of SARS on national economy. Economic Science, 2003(3): 25-31.]
- [13] Gupta A G, Moyer C A, Stern D T. The economic impact of quarantine: SARS in Toronto as a case study[J]. Journal of Infection, 2005(50): 386-393.
- [14] Tracht S M, Valle S Y, Edwards B K. Economic analysis of the use of facemasks during pandemic (H1N1) 2009[J]. Journal of Theoretical Biology, 2012(300): 161-172.
- [15] 马海群, 张涛, 李钟隽. 新冠疫情下政府数据开放与安全的系统动力学研究[J]. 现代情报, 2020, 40(7): 3-13. [Ma Haiqun, Zhang Tao, Li Zhongjun. Research on system dynamics of government data opening and security in the New Crown Epidemic. Journal of Modern Information, 2020, 40(7): 3-13.]
- [16] Keogh-Brown M R, Smith R D. The economic impact of SARS: How does the reality match the predictions?[J]. Health Policy, 2008(88): 110-120.
- [17] 佟欣, 庞嘉琦, 董志. 金融危机救助政策效果仿真模拟研究[J]. 管理评论, 2020, 32(7): 150-165. [Tong Xin, Pang Jiaqi, Dong Zhi. Research on financial crisis relief policy based on system engineering method. Management Review, 2020, 32(7): 150-165.]
- [18] Espinoza A, Bautista S, Narváez P C et al. Sustainability assessment to support governmental biodiesel policy in Colombia: A system dynamics model[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 141: 1145-1163.
- [19] 邵长安, 关欣, 叶中华. 北京市高技术产业与区域经济发展的关系研究[J]. 管理评论, 2019, 31(9): 105-115. [Shao Chang'an, Guan Xin, Ye Zhonghua. Research on the relationship between high-tech industry and regional economic development in Beijing. Management Review, 2019, 31(9): 105-115.]
- [20] 肖智, 张杰, 郑征征. 劳动力流动与第三产业的内生性研究——基于新经济地理的实证分析[J]. 人口研究, 2012, 36(2): 97-105. [Xiao Zhi, Zhang Jie, Zheng Zhengzheng. Endogeneity between labor mobility and tertiary industry: An empirical analysis based on New Economic Geography. Population Research, 2012, 36(2): 97-105.]
- [21] 李小云, 杨宇, 刘毅, 等. 中国人地关系的系统结构及2050年趋势模拟[J]. 地理科学, 2021, 41(2): 187-197. [Li Xiaoyun, Yang Yu, Liu Yi et al. The systematic structure and trend simulation of China's man-land relationship until 2050. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(2): 187-197.]
- [22] 曹祺文, 顾朝林, 管卫华. 基于土地利用的中国城镇化SD模型与模拟[J]. 自然资源学报, 2021, 36(4): 1062-1084. [Cao Qi-

- wen, Gu Chaolin, Guan Weihua. China's urbanization SD modelling and simulation based on land use. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(4): 1062-1084.]
- [23] 北京市统计局. 北京统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016-2019. [Beijing Municipal Bureau Statistics. Beijing statistical yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2016-2019.]
- [24] Liu H, Liu Y, Wang H et al. Research on the coordinated development of greenization and urbanization based on system dynamics and data envelopment analysis —A case study of Tianjin[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 214: 195-208.
- [25] 刘开迪, 杨多贵, 王光辉, 等. 基于系统动力学的生态文明建设政策模拟与仿真研究[J]. *中国管理科学*, 2020, 28(8): 209-220. [Liu Kaidi, Yang Duogui, Wang Guanghui et al. Policy modeling and simulation on ecological civilization construction in China based on system dynamics. *Chinese Journal of Management Science*, 2020, 28(8): 209-220.]

Simulation of the Impact of COVID-19 on Beijing's Economic Development Based on System Dynamics

Li Tao¹, Li Guoping², Xue Ling²

(1. School of Business, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang 050061, Hebei, China;

2. School of Government, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Affected by the epidemic of COVID-19, China's economy is facing severe challenges in 2020. This article studies the impact of the epidemic situation of COVID-19 on the economic development of Beijing through multi scenario settings by applying system dynamics model. The results show that: 1) by industry, the direct impact of COVID-19 epidemic on the transportation industry comes from travel control. The sharp decline in demand and relevant restrictive measures lead to weak growth of the industry in the short term; The demand for leasing and business services will not increase immediately with the lifting of epidemic control measures, and there is a certain time lag in the recovery of the industry. Affected by the delayed recovery of other industries, the downturn period of the development of the financial industry will be longer. The orderly promotion of resumption of work and production has accelerated the development of industry and construction industry, which is conducive to enhancing its contribution to maintaining economic stability. 2) Overall, novel coronavirus pneumonia outbreaks downtown pressure on the economy in Beijing in the short term. The introduction of various regulatory measures and the shrinking demand will further reduce economic growth. However, as the spread of the epidemic is effectively contained and the pace of returning to work and production is accelerated, the adverse impact of COVID-19 epidemic on Beijing's economic development will be greatly reduced. 3) From the perspective of the effect of policy intervention, the improvement of urban economic development level caused by lifting the restrictions on enterprise production and business activities is greater than the financial subsidies to relevant industries. The combined intervention of the two policies will further reduce the adverse impact on the economy caused by the outbreak of COVID-19 epidemic and avoid economic decline.

Key words: COVID-19; economic development; system dynamics; simulation; Beijing