

基于 SEIQR 模型的新型冠状病毒肺炎疫情趋势研究

王晓成 贺亚琴 赵景义 申丽 郝文静 薛蕊 程景民

【摘要】 目的 研究基于 SEIQR 模型对新型冠状病毒肺炎疫情发展情况的预测效果,为后疫情时代防控措施决策提供参考。方法 从国家及湖北省卫生健康委员会公布的疫情数据,获取自 2020 年 1 月 23 日-3 月 8 日的疫情信息,根据疫情影响程度分为武汉市、湖北省(不含武汉市)、全国(不含湖北省)三个流行水平,应用 SEIQR 模型进行预测,同时评价防控策略起效时间对疫情变化的影响以及评估输入病例带来的风险。结果 SEIQR 模型较好地预测了 COVID-19 疫情发展。防控措施的有效实施降低了病例大幅增长的风险。常态化疫情防控下输入病例带来的风险仍然较高。结论 考虑隔离措施的传染病动力学模型能更好展示现实情况下的疫情变化趋势,也为评估疫情中防控措施提供理论支持。

【关键词】 新型冠状病毒肺炎; 预测; 传播动力学模型; SEIQR

DOI:10.16760/j.cnki.sdggws.2022.02.015

Study on epidemic trend of COVID-19 based on SEIQR model

WANG Xiao-cheng*, HE Ya-qin, ZHAO Jing-yi, SHEN Li, HAO Wen-jing, XUE Rui, CHENG Jing-min

(* Shanxi Provincial People's Hospital, Shanxi Medical University, Taiyuan 030001, China)

Corresponding author: CHENG Jing-min, E-mail: chengjingmin@163.com

【Abstract】 Objective To study the COVID-19 epidemic situation prediction effect based on SEIQR model, and provide reference for prevention and control measures in the post-epidemic era. **Methods** The epidemic information from January 23 to March 8, 2020 was obtained from the epidemic data released by the national and Hubei Health Committee. According to the influence degree of the epidemic situation, it was divided into three levels: Wuhan, Hubei (except Wuhan) and the national (except Hubei). The SEIQR model was applied to predict the development of the epidemic, and the impact of the effective time of prevention and control strategies on the change of the epidemic situation was evaluated, and the risk from imported case was assessed. **Results** The SEIQR model predicted the development of COVID-19 well. Effective implementation of prevention and control measures has reduced the risk of a significant increase in cases. Under the normalization of epidemic situation, the risk of imported cases was still high. **Conclusions** The dynamic model of infectious diseases considering isolation measures can better show the changing trend of epidemic situation and provide theoretical support for the evaluation of prevention and control measures in epidemic.

【Key words】 Coronavirus disease 2019 (COVID-19); Prediction; Transmission dynamic model; SEIQR

全球历次流行的新发传染病,都对人类的生命健康带来了不可估量的损失。目前,由新型冠状病毒导致的肺炎呈现全球大流行趋势^[1];截至北京时间 2022 年 3 月 8 日,全球累计确诊病例已逾四亿余例,死亡超过六百万例^[2]。我国疫情已得到有效控制,境内本土确诊病例呈现零星散发或局部暴发,能够做到可防可控。在全国疫情整体向好的背后,流行病传播动力学研究为判断疫情变化趋势和调整防控措施提供重要参考^[3-5]。由于疫情发展初期,对于疾病的认识不够全面,缺乏对疾病流行过程复杂性的判断,所以较

难对疫情发展态势进行准确预测;随着研究的深入,不易被有效隔离的潜伏期患者同样具有较强的病毒传播能力等特点被发现^[6],我国政府在疫情初期采取了一系列隔离措施^[7],包括对海关(口岸)等输入地的严格隔离检疫、对确诊患者的隔离治疗、对疑似病人的隔离诊断、对高危人群的隔离观察等。因此,当前阶段仍有必要对新型冠状病毒肺炎(coronavirus disease 2019, COVID-19,以下简称新冠肺炎)疫情传播规律进行研究,这对后疫情时代的预测预警和防控指导有着现实意义。本文选取疫情初期数据,根据疫情影响程度分为武汉市、湖北省(不含武汉市)、全国(不含湖北省)三个不同流行水平,建立潜伏期具有病毒传播能力和隔离干预措施对疫情作用的 SEIQR 传播动力学模型,以实际数据为依据,在已有文献基础上,对模型中动力学参数进行拟合,讨论防控隔离和集

基金项目:山西省卫生健康委员会新冠肺炎科研项目(编号:2020-4)

作者单位:030001 太原,山西省人民医院(王晓成,赵景义,申丽,郝文静,薛蕊);山西医科大学(王晓成,程景民);山西省疾病预防控制中心(贺亚琴)

通信作者:程景民, E-mail: chengjingmin@163.com

中收治等干预措施对疫情发展的影响。

1 材料与方法

1.1 数据来源 本文数据来源于国家卫生健康委员会和湖北省卫生健康委员会网站新冠肺炎疫情情况, 收集每日报告数据中的累计确诊病例数、累计治愈病例数、累计死亡病例数和现存病例数等指标。考虑 2020 年 1 月 23 日, 武汉宣布“封城”, 随后国内其他城市也相继采取一系列隔离干预措施, 可以认为各地均为一个封闭的节点, 基本可以忽略人员流动情况; 至 3 月 8 日全国新增患者已降到 50 例以下。因此, 本文选取 2020 年 1 月 23 日-3 月 8 日的疫情数据进行研究。此外, 根据疫情影响程度分为武汉市、湖北省(不含武汉市)、全国(不含湖北省)三个不同流行水平。

1.2 模型构建 传统 SEIR 模型将总体人群(N)分为易感人群(S)、潜伏人群(E)、感染人群(I)、移出人群(R)四大类^[8]。在此基础上, 构建一类潜伏期具有传染性和隔离人群(Q)的 COVID-19 传播动力学模型——SEIQR 模型。模型中, 易感者包括所有未感染新冠肺炎病毒且无免疫力的个体; 处于潜伏期的个体均携带新冠肺炎病毒且未发病, 但具有一定的传染性; 感染者 I 分为无症状感染者 I_0 和有症状感染者 I_1 , 两者体内均存在新冠肺炎病毒, 有很高的传染性, 但处于未被隔离的状态; 隔离者为被确诊并隔离的发病或未发病的携带新冠肺炎病毒的个体组成; 移出者包括病愈而具有免疫力和死亡病例两部分组成。如图 1 所示, 如果易感者 S 与潜伏者 E 或感染者 I 之间发生有效接触后, 易感者 S 将被感染, 之后一部分被隔离 Q, 另一部分成为感染者 I_1 ; 无症状感染者 I_0 和通过药物等治疗而痊愈的部分有症状感染者 I_1 直接进入移出人群 R, 而另一部分症状较严重者被收治进行隔离治疗; 隔离治疗人群 Q 被治愈或死亡而进入移出者人群 R (图 1)。

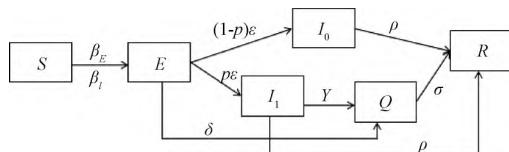


图 1 COVID-19 传播模式 SEIQR 模型

其中, β_E (β_I) 为非负常数, 表示易感者与潜伏者(感染者)接触的有效传染概率; β_{I_0} 表示易感者与无症状感染者接触的有效传染概率; β_{I_1} 表示易感者与有症状感染者接触的有效传染概率, 且 $\beta_{I_0} < \beta_{I_1}$ ^[9]; c 为潜伏者(感染者)接触易感者数; $1/\varepsilon$ 为疾病的潜伏期, 即潜伏者每天以概率 ε 成为感染者(其中 p 为有症状感染者的比例, $1-p$ 为无症状感染者的比例); δ 为潜伏者被隔离的比例; ρ 为从感染者类中直接进入移出者

类的比例; γ 为感染者的隔离率; σ 为隔离者移出率。总人群在 t 时刻满足 $N(t) = S(t) + E(t) + I_1(t) + I_0(t) + Q(t) + R(t)$ 。

针对 COVID-19 的疾病传播特点, 模型做如下假设: (1) 人群普遍易感, 只考虑人传人的传播方式; (2) 与感染者接触但未被隔离的暴露人群与易感人群均匀混合; (3) 隔离感染者会立即送往定点医院隔离治疗, 因此其不再具有人群感染能力; (4) 被感染个体治愈后, 再次感染的风险较小; (5) 不考虑人口出生率、死亡率以及迁入、迁出的影响。

将传播规律描述为如下的微分方程:

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -c\beta_E SE - c\beta_{I_0} SI_0 - c\beta_{I_1} SI_1 \\ \frac{dE}{dt} = c\beta_E SE + c\beta_{I_1} SI_1 + c\beta_{I_0} SI_0 - p\varepsilon E - (1-p)\varepsilon E - \delta E \\ \frac{dI_1}{dt} = p\varepsilon E - \gamma I_1 - \rho I_1 \\ \frac{dI_0}{dt} = (1-p)\varepsilon E - \rho I_0 \\ \frac{dQ}{dt} = \delta E + \gamma I_1 - \sigma Q \\ \frac{dR}{dt} = \rho I_1 + \rho I_0 + \sigma Q \end{cases}$$

1.3 参数估计及建模分析 使用 MATLAB R2009a 软件进行建模并评估防控措施在不同时间起效情况下疫情发展变化。根据 2020 年 1 月 23 日-3 月 8 日的三个不同流行水平累计报告病例数结合 SEIQR 模型, 采用非线性最小二乘法估计相关参数, 对于参数 β_E 、 β_{I_0} 、 β_{I_1} 的设定使用模拟退火启发式算法^[10], 在 (0, 1) 的范围内随机取样, 使用平均绝对百分比误差 (MAPE) 和均方根百分比误差 (RMSPE) 衡量模拟结果与真实数据之间的差距 (误差 $\geq 50\%$ 为拟合度差, $50\% > \text{误差} \geq 20\%$ 为拟合合理, $20\% > \text{误差} \geq 10\%$ 为拟合较好, 误差 $< 10\%$ 为拟合精准), 迭代出最优参数, 使用每日报告数据中的累计确诊病例数、累计治愈病例数、累计死亡病例数、现存病例数等数据进行模型参数优化、拟合和验证。

2 结果

2.1 新冠肺炎疫情变化趋势 从报告数据(每日新增确诊病例数)绘图显示: 武汉市在 2 月 4-18 日日增病例较多, 增幅在 1 500 例以上; 湖北省(不含武汉市)在 2 月 1-6 日日增幅较大, 达到 1 000 例; 全国(不含湖北省)在 1 月 28 日-2 月 8 日日增病例较多, 增幅达到 500 例(图 2)。

2.2 不同流行水平下新冠肺炎疫情的流行趋势模拟 通过 SEIQR 模型拟合不同流行水平疾病的流行变

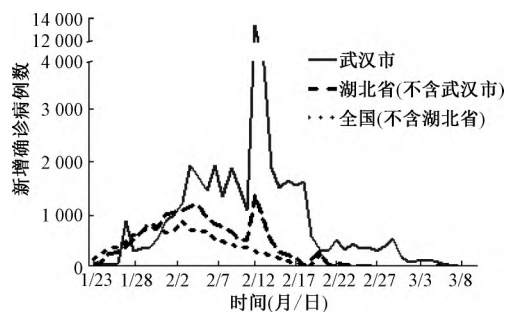
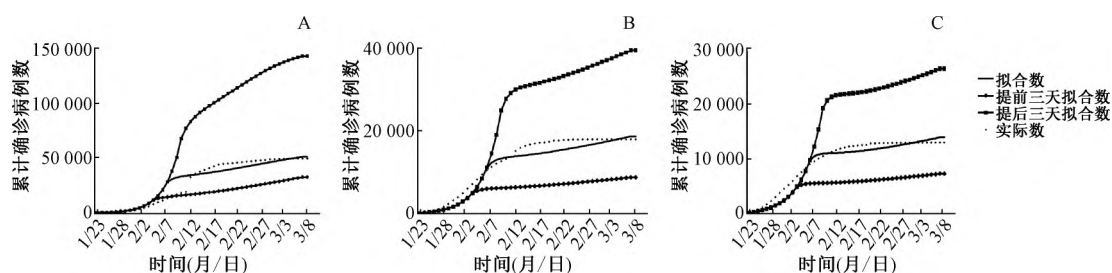


图2 不同流行水平下新型冠状病毒肺炎疫情新增确诊病例数变化趋势

表1 不同流行水平下 SEIQR 模型拟合参数设定值

参数	含义	武汉市	湖北省(不含武汉市)	全国(不含湖北省)	参考依据
N	总人群	1 121 万	4 806 万	13.4 亿	统计数据
E	潜伏者	1 100	1 000	950	参数估计
I_1	有症状感染者	495	54	281	公报数据
I_0	无症状感染者	245	15	125	参数估计
Q	隔离者	0	0	0	公报数据
R	移除者	0	0	0	参数估计
c	早期接触数	13	12	10	文献[11]
c	防控措施实施后接触数	6	6	6	参数估计
β_E	S 与 E 接触有效传染概率	0.024	0.024	0.024	参数估计
β_{I_0}	S 与 I_0 接触有效传染概率	0.024	0.024	0.024	参数估计
β_{I_1}	S 与 I_1 接触有效传染概率	0.045	0.045	0.045	参数估计
$1/\varepsilon$	疾病的潜伏期	5.2	5.2	5.2	文献[12]
p	有症状感染者的比例	0.600	0.800	0.850	文献[13]
δ	潜伏者被隔离的比例	0.075	0.095	0.095	参数估计
γ	感染者的隔离率	0.180	0.190	0.210	文献[14]
σ	隔离者移出率	0.071	0.071	0.071	文献[15]
ρ	I 进展为 R 的率	0.142	0.136	0.116	文献[16]



注: A 武汉市, B 湖北省(不含武汉市), C 全国(不含湖北省)。

图3 不同地域发病拟合曲线以及不同防控措施起效时间下变化趋势预测

2.3 防控措施不同起效时间下新冠肺炎疫情的流行趋势模拟 通过调整参数,研究防控措施在不同时间起效情况下疫情发展变化。防控隔离措施起效时间为第 15 天模型中的拟合数(图 3)与每日报告累计确诊病例数拟合度较好。在此隔离防控措施基础上,如果起效时间延迟 3 天,则 3 月 8 日最终累计确诊人数武汉市、湖北省(不含武汉市)、全国(不含湖北省)将增至 14.3 万人、3.9 万人以及 2.6 万人(图 3);如果起效时间提前 3 天,则最终累计确诊人数会减至 3.3 万人、0.9 万人以及 0.7 万人(图 3)。结果提示,隔离防控措施通过减少易感者与潜伏者和传染者的接触机会,进而降低接触率来起作用。因此,防控措施的起效时间越早越好。通过高强度的防控隔离措施可

化趋势。不同流行水平下具体拟合参数(表 1)。结果显示,构建的拟合模型较好地展示了实际患病人群变化(图 3)。模型对 2020 年 1 月 23 日-3 月 8 日期间的当天累计确诊病例数进行模拟,预测结果曲线与政府公布数据曲线有一定的偏差,平均绝对百分比误差(MAPE)和均方根百分比误差(RMSPE)武汉市为 13.51%和 37.32%,湖北省(不含武汉市)为 12.13%和 20.59%,全国(不含湖北省)为 11.06%和 20.79%;拟合优度 R^2 分别为 0.913、0.968 和 0.970,表明模型较好地模拟了疫情发展变化趋势。

有效阻止病毒在国内的大范围传播。

2.4 局部输入风险下疫情变化分析 随着疫情进入常态化防控阶段,防止输入病例带来的风险成为工作的重点。在上述隔离防控措施模型基础上增加 1 例输入病例,结果显示,武汉市、湖北省(不含武汉市)、全国(不含湖北省)将会分别增加 28、21 和 12 例病例。

3 讨论

3.1 隔离措施在国内疫情防控中发挥重大作用 发现新冠肺炎疫情开始,各地政府在短时间内迅速采取了实施居家隔离、治疗确诊病例、隔离密切接触者以及限制人员流动等强有力的管控措施。这些措施使得疫情早期潜伏和感染人群与易感人群的接触人数

大幅度减少^[17],有效缓解了疫情的传播速度;疫情中后期,各项防控措施已经起效,疾病传播很好控制,最终在新冠肺炎疫情这场战役中取得阶段性胜利。本文以传统动力学模型为基础,在原有的易感者、潜伏者、感染者和移出者四个大类上增加隔离者,用于呈现隔离措施在不同流行水平下疫情发展趋势中的影响。结果显示,新冠肺炎疫情流行风险不同,疫情首先在武汉呈流行趋势,并随着人员间广泛的流动,湖北省发病数显著增加,同时有武汉居住史的患者流动到全国各地,带给当地很大风险,整体流行强度为武汉市>湖北省(不含武汉市)>全国(不含湖北省)。因此,本研究构建三类不同流行水平的新冠肺炎流行变化趋势,探讨疫情发展变化规律,评估隔离措施对于疫情的影响。本文结果与国内多位研究者结果一致,充分说明采取防控措施、减少人员接触的重要性,同时也说明我国当前的防控措施是有效可行的。居家隔离隔离措施切断了疫情的大范围传播;严格对密切接触者进行医学隔离观察也有效地减缓疫情的过快增长;集中收治对感染人数迅速回落起到了至关重要的作用,这些措施均对疫情发展起到重要控制效果^[18-19]。

3.2 防控策略常态化,防止输入病例带来的影响

随着人们对新型冠状病毒的认识不断深入,防控措施进一步提升,疫情必定能够得到控制。但面对全球疫情仍处于上升态势,国内防控输入病例带来的风险成为当前工作的重心。加之新的传播途径的发现、病毒的变异、气候更替的影响,疫情存在进一步扩散的风险,目前国内部分地区出现的暴发疫情大多数均与输入病例有关联^[20]。因此,在常态化疫情防控期间,要注意新增输入病例带来的小范围局部地域出现暴发疫情出现,有针对性地采取防控措施。

3.3 传播动力学模型应用不足 只有稳定的模型、合理的参数和精确的预测才能为疫情科学防控提供决策参考^[3]。本文采用 SEIQR 模型对初值及参数的依赖性比较大,初值和相关参数的轻微变动会造成模型状态曲线的大幅波动^[21]。文中为早期疫情数据的模拟,部分初值和参数是参阅他人的研究或通过专业拟合软件拟合求解所得,因此得到的参数值仅反映该时期的疫情动力学特性,实际参数值的动态变化和模型参数的先验设置之间的偏差会导致模型预测结果和真实结果有出入。本研究显示,武汉预测结果曲线与政府公布数据 MAPE、RMSPE 分别为 13.51%、37.32,这与临床诊断标准改变有关。第二个局限性是没有考虑人口的迁移,纳入人口迁移因素会使模型更加准确,也可以进一步评价人口流动对于疫情变化

的影响^[22]。第三个局限是截至 2021 年 9 月 19 日,我国超 10 亿人完成新冠肺炎疫苗接种,绝大部分已具有免疫力^[23],因此需要在此模型基础上考虑免疫接种带来的影响,使得未来的疫情预测更加精准。

综上所述,本文建立的 SEIQR 模型对三类不同流行水平下新冠肺炎疫情进行回溯分析,研究结果说明该修正模型在新冠肺炎传播分析上是较为可靠的,隔离干预措施明显改变了疫情的发展进程,同时也提示需要加强输入性疫情风险评估,为制订后疫情时代相关决策提供参考。

参考文献

- [1] LI J, KUN T, MIKE L, et al. COVID-19 and multisystem inflammatory syndrome in children and adolescents [J]. *Lancet Infect Dis* 2020, 20(11): e276-e288.
- [2] 中国新闻网. 全球累计新冠死亡病例数破 600 万 欧盟上周疫苗接种量创新低 [EB/OL]. (2022-03-08) [2022-03-09]. <https://www.chinanews.com.cn/gj/2022/03-08/9695838.shtml>.
- [3] 陈彬, 杨妹, 艾川, 等. 基于人工社会的疫情传播风险预测和防控措施评估 [J]. *系统仿真学报*, 2020, 32(12): 2507-2514.
- [4] YANG Z F, ZENG Z Q, WANG K, et al. Modified SEIR and AI prediction of the epidemics trend of COVID-19 in China under public health interventions [J]. *J Thorac Dis*, 2020, 12(3): 165-174.
- [5] 王霞, 唐三一, 陈勇, 等. 新型冠状病毒肺炎疫情影响下武汉及周边地区何时复工? 数据驱动的网络模型分析 [J]. *中国科学: 数学*, 2020, 50(7): 1-10.
- [6] 范如国, 王奕博, 罗明, 等. 基于 SEIR 的新冠肺炎传播模型及拐点预测分析 [J]. *电子科技大学学报*, 2020, 49(3): 369-374.
- [7] 黄梦瑶, 黄丽达, 袁宏永, 等. 社交隔离对 COVID-19 的发展影响 [J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2021, 61(2): 96-103.
- [8] 孙明晶. 具有出生率和死亡率的时滞模型的研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2005.
- [9] HE D, ZHAO S, LIN Q, et al. The relative transmissibility of asymptomatic COVID-19 infections among close contacts [J]. *Int J Infect Dis* 2020, 94(5): 145-147.
- [10] KIRKPATRICK S, GELATT J R C D, VECCHI M P. Optimization by simulated annealing [J]. *Science*, 1983, 220(4598): 671-680.
- [11] READ J M, LESSLER J, RILEY S, et al. Social mixing patterns in rural and urban areas of southern China [J]. *Proc Biol Sci* 2014, 281(1785): 20140268.
- [12] LI Q, GUAN X H, WU P, et al. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia [J]. *N Engl J Med* 2020, 382(13): 1199-1207.
- [13] JANE Q. Covert coronavirus infections could be seeding new outbreaks [EB/OL]. (2021-01-16) [2022-03-09]. <https://www.nature.com/articles/d41586-020-00822-x>.

中图分类号: R192; R187 文献标识码: A 文章编号: 1673-7830(2022)02-0073-04

【论著】

北京市海淀区医务人员新型冠状病毒肺炎常态化 防控消毒技能调查结果分析

熊依杰 许丽娜 周文娟 吴艳玲

【摘要】 目的 初步了解北京市海淀区医务人员新型冠状病毒肺炎(以下简称新冠肺炎)常态化防控中消毒技能掌握情况,为政府部门制定针对专业人员的培训策略提供依据。方法 于 2020 年 10 月采用便利抽样法抽取海淀区 2 家三级医疗机构、2 家二级医疗机构及 16 家社区中心,按照自愿参加原则,邀请医疗机构的所有医务人员(不含行政后勤人员)在线填写调查问卷,获得有效问卷 2 275 份。分析不同特征医务人员的消毒技能掌握情况,初步探索其影响因素。结果 2020 年海淀区医务人员新冠肺炎消毒技能全部答对率仅 5.27%,至少答对 80% 题的医务人员仅占 26.59%,至少答对 50% 题的医务人员为 67.34%。其中对涉及有效氯含量及作用时间的五题全部答对率仅为 10.37%。研究生及以上学历、社区卫生服务中心(站)是医务人员新冠肺炎消毒技能完全掌握的有利因素。结论 海淀区医务人员新冠肺炎消毒技能完全掌握程度较低,这将影响其在医疗隔离点的工作,有职业暴露的风险,其掌握程度受文化程度和所在医疗机构级别等因素影响。相关部门和医疗机构应加强对医务人员消毒技能的专业培训,注重培训内容的全面性和针对性。

【关键词】 医务人员;消毒技能;新型冠状病毒肺炎;常态化防控

Investigation on disinfection skills of normalized prevention and control of COVID-19 among medical staff in Haidian district of Beijing

XIONG Yi-jie, XU Li-na, ZHOU Wen-juan, WU Yan-ling

(Haidian Center for Disease Prevention and Control Beijing 100094, China)

【Abstract】 Objective To preliminary investigate the status of disinfection skills of normalized prevention and control of coronavirus disease 2019 (COVID-19) among medical staff in Haidian district of Beijing, and to provide reference on professionals training strategies for government departments. **Methods** In October 2020, two tertiary medical institutions, two secondary medical institutions and 16 community health service centers in Haidian district were selected by convenient sampling

作者单位: 100094 北京市海淀区疾病预防控制中心

- [14] 高明明.控制干预和延迟的新型冠状病毒肺炎传染病模型研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2021:26-27.
- [15] WANG D W, HU B, HU C, et al. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China [J]. JAMA, 2020, 323(11): 1061-1069.
- [16] IYER M, JAYARAMAYYA K, SUBRAMANIAM M D, et al. COVID-19: an update on diagnostic and therapeutic approaches [J]. BMB Rep, 2020, 53(4): 191-205.
- [17] 徐丽君, 刘文辉, 刘远, 等. SEIQR 传染病模型的构建及在广州市新型冠状病毒肺炎公共卫生防控效果评估中的应用 [J]. 山东大学学报(医学版), 2020, 58(10): 60-64.
- [18] 郭德银, 江佳富, 宋宏彬, 等. 2020-2021 年度新型冠状病毒肺炎疫情影响趋势分析与应对 [J]. 疾病监测, 2020, 35(12): 1068-1072.
- [19] 曹盛力, 冯沛华, 时朋朋. 修正 SEIR 传染病动力学模型应用于湖北省 2019 冠状病毒病(COVID-19)疫情预测和评估 [J]. 浙江大学学报(医学版), 2020, 49(2): 178-184.
- [20] 国家卫生健康委员会. 马晓伟同志在全国疫情防控工作电视电话会议上通报近期聚集性疫情情况 [EB/OL]. (2021-01-16) [2022-03-09]. <http://www.nhc.gov.cn/xcs/fkdt/202101/3a5d9b0351734a7b980732bba344e7af.shtml>.
- [21] 魏永越, 赵杨, 陈峰, 等. 传染病动力学模型的理论基础及在疫情防控中的应用价值 [J]. 中华预防医学杂志, 2020, 54(6): 602-607.
- [22] 杨华磊, 吴远洋, 蔺雪钰. 新型冠状病毒肺炎、人口迁移与疫情扩散防控 [J]. 中国管理科学, 2020, 28(3): 1-10.
- [23] 新华网. 我国新冠病毒疫苗接种覆盖人数达 11 亿 超 10 亿人完成全程接种 [EB/OL]. (2021-09-19) [2022-03-09]. <https://www.chinanews.com.cn/gj/2022/03-08/9695838.shtml>.

(收稿日期: 2021-07-29)

(本文编辑: 仇蕊)