

文章编号:1006-1037(2021)02-0001-08

doi:10.3969/j.issn.1006-1037.2021.05.01

基于改进的SEIR模型对新冠肺炎的 疫情预测及防控措施的评估

赵鑫,孙更新,赵月

(青岛大学数据科学与软件工程学院,青岛266071)

摘要:基于国家卫健委每日公布的湖北省新冠(COVID-19)疫情数据,结合实际的疫情传播和防控流程,提出一种基于SEIR模型改进的传染病动力学CSEIR模型。在传统SEIR模型的基础上增加了潜伏追踪入院和发病追踪入院的传播流程以刻画疫情发展趋势;通过引入感染抑制因子描述感染率随时间的变化趋势,用于分析封城封村、居家隔离等抗疫措施的有效性,同时根据湖北疫情的发展趋势,提出了分时段模型创建策略。研究结果表明:CSEIR模型更加有效的模拟了疫情发展的传播机理,模型预测结果与疫情发展的实际情况相一致,感染抑制因子的变化和对潜伏追踪入院率和发病入院率的敏感性分析,表明了采取居家隔离、减少人群接触、患者追踪、集中收治等有关疫情防控措施的有效性。

关键词:新冠肺炎(COVID-19);改进的CSEIR模型;感染抑制因子;疫情防控措施

中图分类号:R373.1,O119

文献标志码:A

自从出现首次新型冠状病毒肺炎病例报道^[1],新冠肺炎在各个国家相继出现并爆发,对各个国家和社会造成了不同程度的影响。为了应对新型冠状病毒肺炎的爆发,各个国家都推行了不同的防控措施。中国采取延长假期、线上教学、在家办公、限制出行、居家隔离等措施。疫情防控中,中国的防疫措施取得显著成效。但由于部分海外国家的疫情发展没有得到控制,关于输入性病例的报道还时常出现,中国应加强对海外输入人员和物资的检测防疫。新冠疫情发生后,科研人员基于疫情发展的相关数据和传播流程做了大量的研究工作^[2-3],通过数据分析和模型创建对疫情的发展和防治措施进行了预测和分析并提出了相应的建议^[4]。喻孜等^[5]提出了基于时变参数的SIR模型,利用时变参数对疫情发展进行了预测;耿辉等^[6]通过在传统的SEIR模型^[7-8]的基础上加入潜伏期传染率、感染人群变化率等新参数对疫情发展进行预测,评价新型冠状病毒(2019-nCoV)肺炎疫情中相关干预措施的作用;严阅等^[9]在传统动力学模型的基础上引入时滞过程构建基于时滞动力学系统的传染病模型进行疫情的预测和防控措施的有效程度评价;白宁等^[10]通过在SEIR模型中加入隔离易感者和隔离潜伏者建立了非自治的动力学模型预估疫情发展的趋势,提出对有效再生数的敏感性分析去强调追踪隔离在疫情防控中的有效性。本文在传统SEIR传染病动力学的模型的基础上,根据湖北省疫情发展中的传播流程和相关的防疫举措创建了CSEIR传染病动力学模型。考虑到潜伏期患者具有传染性^[11],在模型中新增了确诊入院仓室;由于没有确切完整的隔离者统计数据,为模拟实际疫情防控中对潜伏者和发病者的追踪隔离的防控机理,在CSEIR模型中增加了潜伏追踪入院和发病入院两条疫情发展机理,描述潜伏者、发病者被直接检测入院的过程。通过参数反演对后期的疫情发展趋势进行预测,对比实际的疫情发展数据,该模型对疫情有良好的预测能力,同时利用调控潜伏追踪率和发病追踪率分析患者追踪的有效性,肯定了患者追踪在疫情防控中的有效性。

收稿日期:2020-10-21

基金项目:教育部人文社会科学研究青年项目(批准号:15YJC860001)资助;山东省自然科学基金面上项目(批准号:ZR2017MG011)资助;山东省社会科学规划项目(批准号:17CHLJ16)资助。

通信作者:孙更新,男,博士,副教授,主要研究方向为大数据分析、数据挖掘、复杂网络研究。E-mail: sungengxin@qdu.edu.cn

1 模型的构建

CSEIR 模型中,潜伏人群经历潜伏期后才出现症状成为发病人群,且潜伏期也具有传染性;结合实际疫情防治过程的具体情况,处于潜伏期的患者不需必须变成发病者后才能确诊入院,在医疗部门的追踪排查过程中,潜伏患者经过核酸检测可以直接确诊入院;发病患者也不再需要经过一段时间才能检测入院,可以在医疗部门的追踪排查中快速确诊入院;因此在传统模型的基础上创建的 CSEIR 模型能更准确的描述疫情防控发展过程中的影响因素。

在 CSEIR 模型中把疫情发展中的相关人群分为以下几类:

易感人群(S):人群中缺乏免疫能力的未患病人群,与潜伏、发病人群接触后会容易受到感染转化为潜伏人群;

潜伏人群(E):人群中被病毒感染处于潜伏期的未确诊入院人群,能对易感人群进行感染;

发病人群(I):人群中被病毒感染已经发病的未确诊入院人群,能对易感人群进行感染;

确诊入院人群(C):潜伏人群或发病人群通过医疗检测确诊入院隔离的人群,此时不具有传染易感人群的能力;

治愈人群(R):被入院隔离后治愈而具有免疫力的人群,出院后不在具有传染能力;

死亡人群(D):病情过重导致死亡的人群;

设总人数为 N ,共分为六个仓室,人群之间的动力学模型如图 1 所示。

根据模型做出如下假设:(1)疫情期间实行封城隔离措施,不考虑跨区域人员流动、人口出生和自然死亡;(2)潜伏患者和发病患者对易感人群的感染率 β 相同;(3)每个个体之间的接触机会均等,每个个体都有被感染的可能性;(4)所有的患病者都及时进入医院得到治疗,并且入院后不再具有感染性;(5)感染者经过隔离治愈后具有免疫力不再转化为易感人群;基于 CSEIR 动力学模型和上述假设构造的微分方程组。

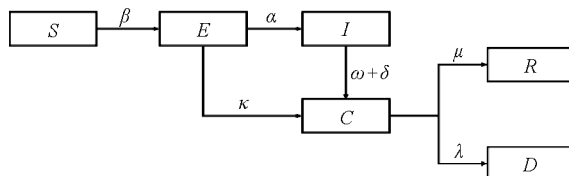


图 1 CSEIR 动力学传染病模型仓室传播流程图

$$N = S + E + I + C + R + D \quad (1)$$

$$\frac{dS}{dt} = -\beta \frac{S(I+E)}{N} \quad (2)$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta \frac{S(I+E)}{N} - (\alpha + \kappa)E \quad (3)$$

$$\frac{dI}{dt} = \alpha E - (\omega + \delta)I \quad (4)$$

$$\frac{dC}{dt} = \kappa E + (\omega + \delta)I - (\mu + \lambda)C \quad (5)$$

$$\frac{dR}{dt} = \mu C \quad (6)$$

$$\frac{dD}{dt} = \lambda C \quad (7)$$

其中, β 为感染率,单位时间内每个感染者能够感染的人数; α 为发病率,单位时间内潜伏人群发病转变为发病人群的几率; κ 为潜伏追踪入院率,潜伏人群被追踪确诊入院的几率; ω 为发病确诊入院率,发病人群被确诊入院的几率; δ 为发病追踪入院率,发病人群被追踪确诊入院的几率; μ 为治愈率,入院人群到治愈人群的转化率; λ 为死亡率,确诊入院患者病情过重死亡的几率。

由于感染率是随着疫情防控措施和监控力度的增强不断变化的,本模型通过引入感染抑制因子用来描述感染率的变化情况,通过感染抑制因子的变化来反映随着防疫措施实施后感染者对易感人群感染能力的

变化情况

$$\beta = \beta_0 e^{-\rho t} \quad (8)$$

其中, ρ 是感染率 β 的抑制因子, 用于表征防疫工作对疫情扩散的抑制效果; 本实验将疫情数据集的第 1 条数据作为模型统计第 1 天数据, t 则表示从第 1 天开始后的第 t 天的数据; β_0 表示感染率的初值, 这里设实验数据的第 1 天的感染率作为感染率初值, 根据 β 的微分方程可推出感染率初值为

$$\beta_0 = \frac{(S_1 - S_0)N}{(E_0 + I_0)S_0} \quad (9)$$

根据式(9), 化简, 得

$$S = C e^{-\beta \frac{(E+I)t}{N}} \quad (C \text{ 为常数}) \quad (10)$$

当 $t=0$ 时, 可以得到 C 值等于 S_0 , 则式(10)化简为

$$S = S_0 e^{-\beta \frac{(E+I)t}{N}} \quad (11)$$

对式(11)化简, 得

$$\beta = \frac{-N \ln(S/S_0)}{(E+I)t} \quad (12)$$

将式(8)代入式(12), 得

$$\rho = \frac{\ln \frac{\beta_0 (E+I)t}{-\ln(S/S_0)N}}{t} \quad (13)$$

本次实验使用的是国家卫健委发布的湖北省新冠疫情数据, 根据实际的疫情统计数据, 湖北省的疑似病例统计在 1 月 27 日才开始报道, 而湖北省的重灾区武汉市的疑似病例统计在 2 月 12 日开始报道, 造成统计时间差异的主要原因是疫情开始后由于医务人员、医疗资源严重短缺同时患者存量过大导致没有足够的人力物力对疑似病例展开追踪诊断措施, 因此本模型将根据疫情发展的不同时期分为三个阶段。

(1) 由于医务人员、医疗资源、未救治患者存量过大导致不足以对发病患者和潜伏患者进行全面排查救治, 此时新冠肺炎的医疗救治主要是对去医院就诊的具有发病症状的患者进行诊断救治, 潜伏追踪入院率 κ 和发病追踪入院率 δ 都假设为 0;

(2) 部分地区疫情较轻, 自全国医务人员和医疗资源的支援下, 疫情得到了极大的缓解, 该地区可以对疑似发病症状的人群进行医疗排查检测工作, 但部分疫情重灾区还没有足够的能力进行追踪排查工作。此时潜伏追踪入院率 κ 仍假设为 0, 发病追踪入院率 δ 此时不为 0;

(3) 所有地区疫情得到减缓, 有足够的能对潜伏和疑似患者进行全面的普查追踪工作, 潜伏追踪入院率 κ 和发病追踪入院率 δ 都不为 0

$$\{\kappa, \delta\} = \begin{cases} \kappa = 0, \delta = 0; \tau_1 < t \leq \tau_2 \\ \kappa = 0, \delta \neq 0; \tau_2 < t \leq \tau_3 \\ \kappa \neq 0, \delta \neq 0; t > \tau_4 \end{cases} \quad (14)$$

实验选取的数据为湖北省 2020 年 1 月 22 日至 2 月 28 日的疫情统计数据, 总人数 N 来源于中华人民共和国国家统计局公布的 2019 年末湖北人口数据, 共计为 5 927 万人。数据中包含累计确诊人数、累计治愈人数、累计死亡人数、现有疑似人数, 模型中使用的当日现存入院人数通过当日累计确诊人数减去当日累计治愈人数和当日累计死亡人数之和求出。

模型中需要获取到易感人群感染率和潜伏感染率^[12-13], 但是当日潜伏患者和当日发病患者由于没有详细的数据统计, 这里通过迭代反推出。假设患者潜伏时间和发病时间分别为 m 天和 n 天, 可以推出第 t 天的发病人数约为时间区间 $[t, t+n]$ 天内新增确诊人数

$$I_t = \sum_{t=t-n}^{t+n} C_t \quad (15)$$

第 t 天的潜伏人数为时间区间 $[t, t+m+n]$ 天内的总确诊人数与第 t 天发病人数的差

$$E_t = \sum_t^{t+m+n} C_t - I_t \quad (16)$$

2 实验结果

将国家卫健委发布的湖北 2020 年 1 月 22 日到 2 月 18 日的疫情数据做为 CSEIR 动力学模型的输入数据,根据李兰娟院士领衔的“中国 2019 新型冠状病毒疾病的临床特征”研究论文提出潜伏中位数约为 4 天^[14],和文献[15]中提出的发病到入院时间约为 7 天,推算得出每日潜伏人数和每日发病人数。由此可以得到模型的初始值进行参数拟合和模型预测。本次实验使用的系统环境为 Windows10,基于 Python3.7 版本的 spyder 开发平台,通过 Python 语言进行模型的训练预测。训练数据选取 2019 年末统计的湖北人口总人数 5 927 万人作为总人数;利用迭代反推可以得到模型的初始数据中潜伏人数约为 4 829 人;发病人数约为 1 152 人,入院治疗人数为 399 人;累计治愈人数为 28 人;累计死亡人数为 17 人。在选取的湖北省 1 月份以来的新冠肺炎疫情数据集中,从图 2 可知,由于 2 月 12 日卫生部门采用了新的新冠肺炎诊断方法,将临床诊断方法加入到新冠检测判断中导致累积了前几日的临床诊断病例全部加入到当日统计数据中去,导致当日新增病例数暴增到 13 436 人,数据的严重失真将会影响到实验数据的真实性。因此在模型创建之前需要对疫情数据进行修正以反映真实的疫情发展状况。

鉴于 2 月 12 日之前的数据增长较为平缓,假设这段时间的疫情发展符合规律,按照之前的非临床新增病例发展规律,对 12 号前的新增确诊患者数据进行拟合,预测出 12 号当日新增非临床诊断病例约为 2 000 人,当日报道新增临床病例约为 11 436 人;对 12 号之前的数据进行取对拆分计算出每日新增的变化率,新冠感染者从发病到入院中位时间间隔约为 7 天^[15],根据每日对应非临床诊断新增患者变化率应用到前期临床诊断病例分摊计算中,将 12 日推算出的临床诊断患者分摊到前 7 天的病例数据中

$$N = X_0 + \sum_{c=1}^6 [X_0 \prod_{i=1}^c (p_i + 1)] \quad (17)$$

$$X_j = X_0 \prod_{i=1}^j (p_i + 1) \quad (0 < j < 7)$$

其中, X_j , p_i , N 分别代表第 $j+1$ 日的分摊临床诊断病例、第 $i+1$ 日的新增变化率、需要分摊的临床诊断总病例数。

数据经过平摊处理之后,可以看到图 3 中现存患者人数曲线趋于平滑,符合疫情发展的基本趋势。

随着疫情发展的变化,政府和医疗机构采取的措施也在不断地调整,本模型将疫情发展归为三个阶段,根据卫健委发布的疫情数据,可以将对疑似病例的处理过程作为每个阶段的分界点,由图 4 可以看出模型可以将疫情发展分为三个阶段带入模型。

发布的数据中显示湖北省有记录的疑似病例统计是从 1 月 27 日开始出现。此时可以看作湖北医疗机构此时的能力只能对发病入院的患者进行检测救治,没有足够的能力去对疑似病例进行有效追踪。设 1 月 22 日到 1 月 26 日为第一阶段;发病追踪入院率为 0,潜伏入院率为 0;湖北省的疑似病例统计从 1 月 27 日开

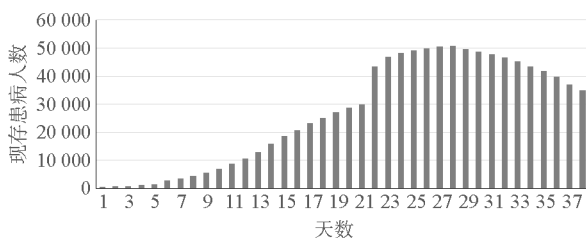


图 2 每日现存患病人数

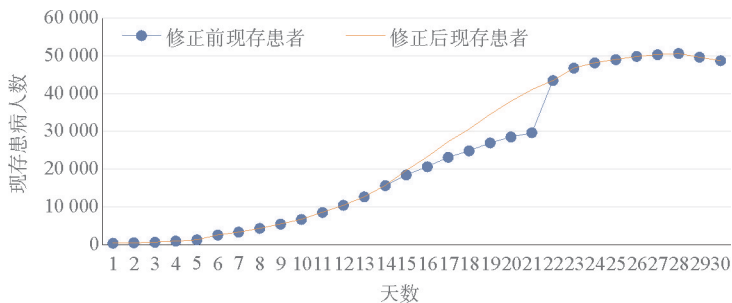


图 3 疫情数据修正和实际数据的对比图

始,而武汉市直到 2 月 12 日才有疑似病例的统计报告,假设 1 月 27 日到 2 月 11 日为第二阶段,此时医疗系统可以有效地对出现发病症状的患者进行追踪排查检测,但是对没有出现症状的疑似病例还没有足够的能力进行接触者的追踪隔离,该阶段设发病追踪入院率不为 0,潜伏入院率为 0。

2 月 12 日武汉开始出现疑似病例报道,预示着医疗防疫机构已经有足够的防疫能力对潜伏接触人群和发病人群进行追踪、检测确诊能力,将此时定义为疫情防控的第三阶段,此时发病追踪入院率不为 0,潜伏入院率不为 0。CSEIR 模型分阶段时段表见表 1。

将表 1 运用到模型中进行未知参数反演。根据 1 月 22 日到 2 月 18 日的累计确诊病例、累计治愈病例 $R(t)$ 、累计死亡病例 $D(t)$,推算出每日现存病例 $C(t)$ 、潜伏病例 $E(t)$ 、和发病病例 $I(t)$ 带入模型中参数反演,根据相应数据构建如下损失函数

$$L(\beta, \alpha, \kappa, \omega, \delta, \mu, \lambda) = \sum_t (C(t) - C_t)^2 + \sum_t (E(t) - E_t)^2 + \sum_t (I(t) - I_t)^2 + \sum_t (D(t) - D_t)^2 \quad (18)$$

将各个阶段的实际数据带入损失函数式(18),利用最小二乘法求解模型仿真数据与实际数据的最小损失函数,得到相应参数的最优解。所得各个阶段的参数估计值如表 2 所示;图 5 显示了分阶段模型拟合的效果与真实数据吻合,有效的模拟了疫情的前期发展情况。

通过得到的反演参数创建 CSEIR 传染病动力学模型,对 2 月 18 日以后的湖北疫情发展情况进行预测。图 6 中改进的 CSEIR 模型对疫情发展趋势的预测与实际的疫情发展情况对比,20 左右的疫情预测与实际数据存在误差,由于 2 月 12 日“临床诊断”病例人数的加入导致数据失真,模型预测患病人数将在第 50 天左右当日现存患者人数将下降到 10 000 以下;70 天左右现存患病人数将会基本消亡。图 7 显示模型的疫情预测数据和疫情实际数据之间的拟合优度为 0.997 6,拟合优度值接近于 1,显示改进的 CSEIR 模型的疫情预测与实际的疫情发展趋势较为吻合,表明模型预测具有较好的准确性。

从 1 月 24 日湖北省启动重大突发公共卫生事件 I 级响应^[16],对 13 个城市采取封城抗疫之后,通过对感染抑制因子进行拟合求解,从图 8 中可以看出感染抑制因子呈现不断上升并趋于稳定,表明随着居家隔离、封城隔离等疫情防治措施的实施大大降低了传染源对易感人群的接触概率,疫情蔓延得到了有效的控制,疫情发展处于衰退状态。



图 4 湖北省和武汉市疑似人群数据

表 1 CSEIR 模型分阶段时段表

发病追踪入院率	潜伏入院率	时间段	天数
0	0	1 月 22 日-1 月 26 日	5
	0	1 月 27 日-2 月 11 日	16
		2 月 12 日-2 月 18 日	7

表 2 相关参数拟合值

参数	含义	数值	来源
β	感染率	0.336	参数拟合
α	发病率	0.25	文献[14]
κ	潜伏追踪入院率	0.0726	参数拟合
ω	发病确诊入院率	0.143	文献[15]
δ	发病追踪入院率	0.0907	参数拟合
μ	治愈率	0.198	参数拟合
λ	死亡率	0.016	参数拟合

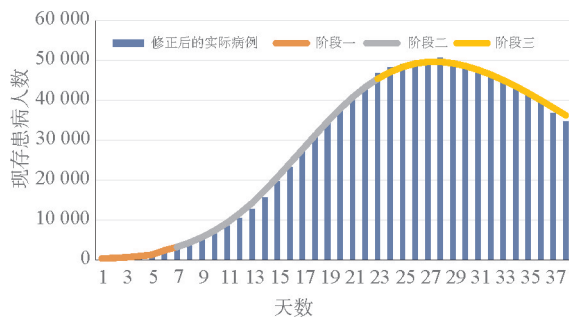


图 5 CSEIR 模型分段式数据拟合效果图

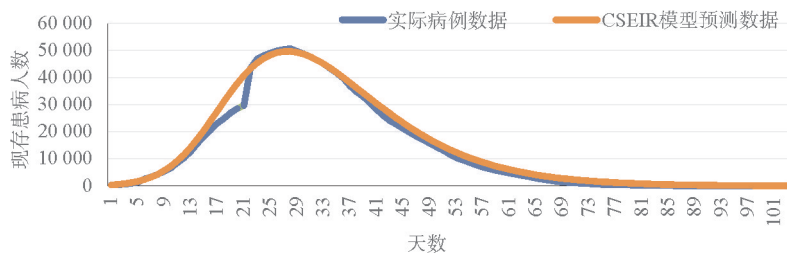


图 6 基于 CSEIR 模型的疫情数据拟合

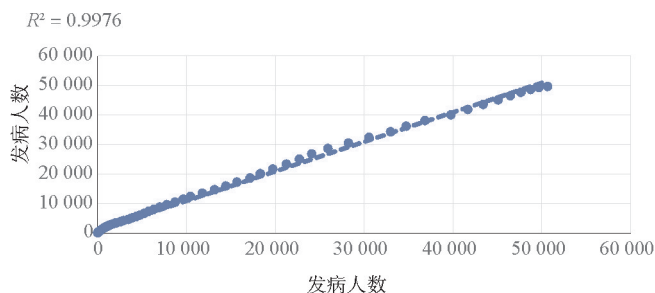


图 7 模型预测的拟合优度图

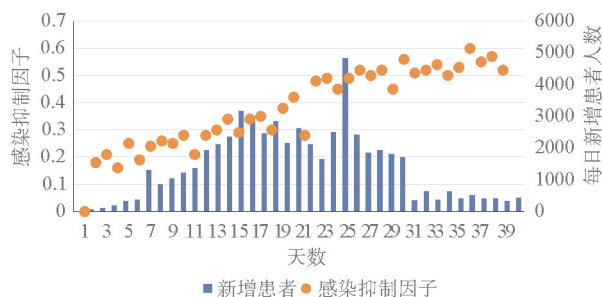


图 8 感染抑制因子随时间的演化情况

3 不同防控措施对疫情的影响

(1) 追踪隔离对于疫情的影响。参数和的大小取决于医疗卫生组织对于潜伏人群和发病人群的追踪入院措施实施的程度,反映了医疗机构对患者的追踪隔离措施的有效程度。图 9 描绘的是不同潜伏追踪入院率对疫情防控的影响作用,潜伏追踪入院率不存在时,感染人数将会显著提高,疫情高峰会提前到来;当潜伏追踪入院率设为模型参数的两倍时,感染人数将会大大减少;通过对不同潜伏追踪入院率下的疫情发展预测,表明了潜伏患者追踪确诊入院的重要性。

图 10 描绘出了不同发病追踪入院率对于疫情防控的影响作用,当发病追踪入院率为模型参数的两倍时,疫情发展高峰将会提前,并且患病人数将会大大增加超出实际的疫情发展情况;当发病追踪入院率为 0 时,感染人数将会降低;与潜伏追踪入院率相比,发病追踪入院率对疫情防控的影响更小,主要是由于随着群众对疫情的了解越来越充分,一旦发现与相关症状就会自主入院检测,发病追踪入院率就会相应减少了对于疫情发展的影响。

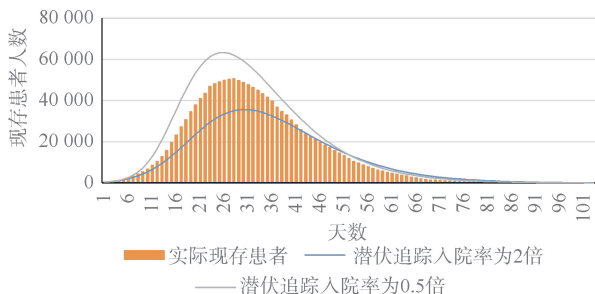


图 9 不同潜伏追踪入院率下的疫情发展情况

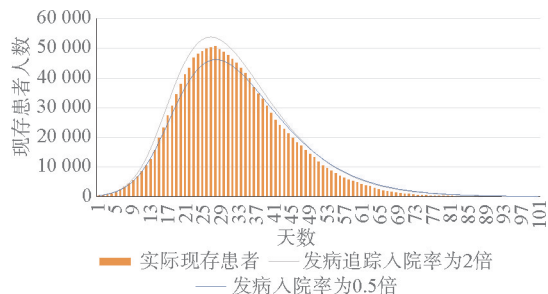


图 10 不同发病追踪入院率下的疫情发展情况

(2)不同感染抑制因子对疫情的影响。图11描绘了在执行不同严格程度的居家隔离、出行限制的措施对疫情发展的影响作用。在执行严格措施的情况下,感染抑制因子增大导致疫情的高峰到达时间减缓延后,同时感染人数也大大缩减;在执行宽松措施的情况下,每日现存患者将会高达6万,同追踪隔离措施的有效性相比,证明了在传播途径就进行防控手段实施居家隔离、限制出行等措施对于抑制疫情具有非常重要的作用^[17-19]。

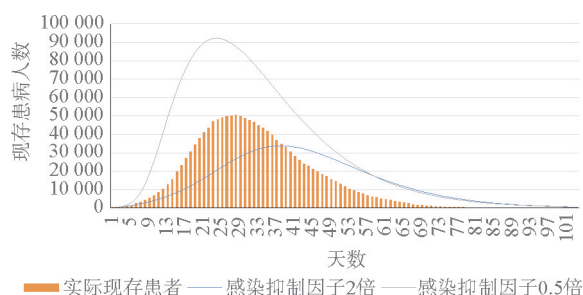


图11 不同感染抑制因子对疫情发展的影响

4 结论

基于湖北省的确诊、死亡、发病、疑似病例数据,使用创建的CSEIR模型对预处理后的数据进行拟合和参数推演,通过传染病动力学模型对疫情的发展进行拟合预测,并通过对潜伏追踪入院率、发病追踪入院率和感染抑制因子进行敏感性分析去探究中国实行防疫措施的有效性。模型显示中国新冠疫情防控开始之后,随着湖北省实施封城封村、居家隔离、减少接触等措施之后,感染抑制因子不断上升,显示这些措施的实施使病毒的传播得到了有效控制;于此同时全国医护人员和大量医疗资源被送往湖北和大量方舱医院的建设,使的湖北省的医疗压力得到极大的缓解,医疗机构有充足的能力加强对确诊接触者的追踪溯源,提高了对潜伏者和发病者的追踪入院率,使疫情发展得到了进一步的控制。实验结果证明了中国采取的封城封村、居家隔离,建设方舱医院、患者追溯等防疫措施的有效性,为其他国家的疫情防控提供了借鉴和经验。

参考文献

- [1] WANG C, HORBY P W, HAYDEN F G, et al. A novel coronavirus outbreak of global health concern[J]. The Lancet, 2020,395: 470-473.
- [2] 叶婵媛,章晓莉,连江山,等.一起聚集性发病的新型冠状病毒肺炎患者临床和流行病学特征分析[J].临床荟萃,2020,35(10):876-879.
- [3] 李承倬,武文韬,潘振宇,等.基于SIR模型和基本再生数的浙江省新型冠状病毒肺炎防控效果分析[J].浙江医学,2020,42(4):311-314.
- [4] 罗煜,董航,戴静毅,等.36例新型冠状病毒肺炎患者的流行病学和临床特征分析[J].云南医药,2020,41(5):429-432.
- [5] 喻孜,张贵清,刘庆珍,等.基于时变参数-SIR模型的COVID-19疫情评估和预测[J].电子科技大学学报,2020,49(3):357-361.
- [6] 耿辉,徐安定,王晓艳,等.基于SEIR模型分析相关干预措施在新型冠状病毒肺炎疫情中的作用[J].暨南大学学报(自然科学与医学版),2020,41(2):175-180.
- [7] GAO D, RUAN S. An SIS patch model with variable transmission coefficients[J]. Mathematical Bioences, 2011, 232(2):110-115.
- [8] WANG W, ZHAO X Q. An epidemic model in a patchy environment[J]. Mathematical Bioences, 2004, 190(1):97-112.
- [9] 严阅,陈瑜,刘可伋,等.基于一类时滞动力学系统对新型冠状病毒肺炎疫情的建模和预测[J].中国科学:数学,2020,50(3):385-392.
- [10] 白宁,宋晨玮,徐瑞.基于动力学模型的COVID-19疫情预测与控制策略研究[J].应用数学学报,2020,43(3):483-493.
- [11] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 新冠病毒潜伏期具有传染性[OL]. [2020-09-26]. <https://xw.qq.com/cmsid/20200126A0DBOB00? f=newdc>.
- [12] WANG K, ZHAO W, LI J, et al. The experience of high-flow nasal cannula in hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in two hospitals of Chongqing, China[J/OL]. Annals of Intensive Care, 2020, 10(1)[2020-09-15]. <https://doi.org/10.1186/s13613-020-00653-z>.
- [13] LI C, CHEN Q, WANG J, et al. Clinical characteristics of chronic liver disease with coronavirus disease 2019 (COVID-19): A cohort study in Wuhan, China[J]. Aging (Albany NY), 2020,12(16). <https://www.aging-us.com/article/103632>.
- [14] EASTIN C, EASTIN T. Clinical characteristics of coronavirus Disease 2019 in China[J]. Journal of Emergency Medicine, 2020, 58(4): 711-712.
- [15] WANG D, HU B, HU C, et al. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China[J]. JAMA, 2020,323:1061-1069.
- [16] 欧阳芬,吴荷玉,杨英,等.新型冠状病毒肺炎快速传播的应对措施[J].全科护理,2020,18(3):311-312.
- [17] 郑晓克,欧阳能太,孙世珩,等.新型冠状病毒肺炎疫情期间病理科防控指引(第1版)[J/OL].广东医学:1-5[2020-10-26].<https://doi.org/>

10.13820/j.cnki.gdyx.20200973.

[18] 湖北省新型冠状病毒疫情防控指挥部. 湖北省突发公共卫生事件应急预案[OL]. [2020-09-15]. http://www.hubei.gov.cn/zhuanti/2020/gzxxgzbd/zxtb/202002/t20200213_2026084.shtml.

[19] 喻文, 邵畅志, 王侃, 等. 基于 SEIR 模型的高校新冠肺炎疫情传播风险管控研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2020, 42(4): 368-372.

Prediction of COVID-19 Outbreak and Assessment of Prevention and Control Measures Based on Improved SEIR Model

ZHAO Xin, SUN Geng-xin, ZHAO Yue

(School of Data Science and Software Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, China)

Abstract: Based on the epidemic data and development of Hubei province released by the National Health Commission. Combined with the actual epidemic transmission and prevention and control process, an improved infectious disease dynamics CSEIR model based on SEIR model was proposed, on the basis of traditional SEIR model increases the latent track and the onset of tracking the spread of hospital admission process to describe the epidemic trend. The infection suppressor was proposed to describe the change trend of infection rate with time, which was used to analyze the effectiveness of government home isolation measures. At the same time, according to the development trend of the epidemic in Hubei Province, the strategy of creating the model by time is put forward. The results show that the CSEIR model can more effectively simulate the transmission mechanism of epidemic development. The predicted results of the model are basically consistent with the actual situation of the epidemic development. And through the analysis of the changes of the infection suppressor and the sensitivity analysis to the latent tracking admission rate and the incidence of admission. The results showed that the effectiveness of the prevention and control measures of the epidemic situation, such as isolation at home, reduction of population contact, patient tracking, centralized treatment and so on.

Keywords: COVID-19; improved CSEIR model; infection suppressor; epidemic prevention and control measure