



重庆师范大学学报(自然科学版)

Journal of Chongqing Normal University(Natural Science)

ISSN 1672-6693,CN 50-1165/N

《重庆师范大学学报(自然科学版)》网络首发论文

题目: 重庆市新型冠状病毒肺炎(NCP)疫情分析与趋势预测
作者: 杨雨琦, 孙琦, 王悦欣, 严雪凌, 乐涛
收稿日期: 2020-02-14
网络首发日期: 2020-02-18
引用格式: 杨雨琦, 孙琦, 王悦欣, 严雪凌, 乐涛. 重庆市新型冠状病毒肺炎(NCP)疫情分析与趋势预测. 重庆师范大学学报(自然科学版).
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20200218.0746.002.html>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

重庆市新型冠状病毒肺炎（NCP）疫情分析与趋势预测

杨雨琦, 孙 琦, 王悦欣, 严雪凌, 乐 涛*

(重庆师范大学 生命科学学院, 重庆 401331)

摘要:【目的】通过计算重庆市的新型冠状病毒肺炎疫情的相关数据, 研究重庆市的疫情发展趋势, 为政府疫情防控及相关政策制定提供重要参考。【方法】利用重庆市卫生健康委员会公布的官方数据, 计算出此次疫情确诊病例环比增长率、治愈率和死亡率, 绘制变化曲线图分析疫情发展态势。趋势预测使用 SIR 传染病模型, 并用 MATLAB 求解微分方程, 计算出感染系数和恢复系数从而预测疫情发展趋势。【结果】重庆市疫情逐渐趋缓, 但防疫工作仍然严峻, 目前以密切接触的二、三代感染者为新增病例的主要来源。通过数学建模的预测, 此次疫情在未来 10 天左右出现高峰, 疫情预计将于 2 月 25 日左右出现“拐点”。【结论】重庆市疫情目前仍处于上升时期, 随着复工复产复岗人员流动增多, 人员活动范围扩大, 防疫工作将迎来新的挑战, 应引起足够的重视。

关键词: 新型冠状病毒; 重庆; 趋势预测; 疫情状况; 拐点

中图分类号: R181; R563.1

文献标志码: A

2019 年 12 月, 湖北省武汉市出现不明原因的病毒性肺炎, 该病毒随后被证实为是一种新型冠状病毒^[1]。国家卫生健康委员会(以下简称“国家卫健委”)将新型冠状病毒感染的肺炎统一称谓为“新型冠状病毒肺炎”(以下简称“新冠肺炎”, Novel coronavirus pneumonia, NCP)^[2]。2020 年 1 月 20 日, 世界卫生组织首次将该冠状病毒命名为“2019 新型冠状病毒(2019 novel coronavirus, 2019-nCoV)”。2020 年 2 月 11 日, 世界卫生组织将新型冠状病毒感染的肺炎命名为“COVID-19”(Corona virus disease 2019)^[3]。与此同时, 国际病毒分类委员会声明, 将新型冠状病毒命名为“SARS-CoV-2”(Severe acute respiratory syndrome coronavirus-2)^[4]。目前该疫情已经由武汉发展到湖北省继而蔓延至全国乃至全球。此次疫情的爆发时期又恰逢春运, 庞大的人员流动为疫情的进一步传播提供了条件, 同时也对疫情趋势分析造成了一定的困难。该疫情已经对中国公众健康和国家经济产生了重大的影响。

重庆市自 1 月 20 日首次确诊 NCP 感染病例以来, 截止 2 月 14 日, 累计确诊病例 537 例^[5]。由于重庆市与湖北省交界, 交通往来频密, 极易受到疫情波及, 因此重庆市及时采取了延长假期、社区防控、取消大型活动等多项措施使疫情得到有效控制。但是, 随着复工后人流增多, 人员活动范围扩大, 重庆市防疫工作将迎来新的挑战。目前, 尚未有对重庆 NCP 疫情完整的分析与预测。本文对 NCP 疫情趋势的分析采用经典的 SIR 传染病模型, 此模型能够较好地拟合一种传染病从发病到结束的过程。通过 SIR 模型对疫情的预测, 能有效推断疫情的达峰时间和最终病例数。这对重庆市未来一段时间的疫情防控安排、医务人员及医疗物资的分配等问题提供重要参考价值。

1 数据与方法

1.1 数据来源

本文所用数据均来自重庆市卫生健康委员会(以下简称“重庆市卫健委”)网站(<http://wsjkw.cq.gov.cn/>)公开发布的官方数据。

1.2 分析方法

疫情分析部分所用方法: 根据官方发布的重庆市各区县每天的新增确诊人数、累计确诊人数、治愈出院人数和死亡人数等数据, 计算出累计确诊人数的环比增长率、治愈率和死亡率并制作折线图和疫情地图, 从而反映并分析疫情变化情况。疫情分析使用 Microsoft Excel、Origin pro 9.0 和 Python 的数据可视化模块 Pyecharts 等工具。

趋势预测部分所用方法: 在对重庆市新型冠状病毒疫情现状分析之后, 利用 SIR 传染病模型(Susceptible infected recovered model)对该疫情问题进行数学建模, 用数学建模的方法预测疫情的发展趋势^[6]。该方法的核心是利用微分方程对发病数据进行分析。其中有 3 个主要量: S, I, R 。 S 是易感人群、 I 是感染人群、 R 是移除人群, 这 3 个量都是随时间 t 而变化的参数。

此模型为单向模型, 即易感人数 S 在不断的往感染人数 I 输入, 同时最后的感染人数也在单向往移除人数 R 输入。本研究中移除人数 R 为治愈人数与死亡人数之和。当现有确诊人数开始下降, 即治愈人数与死亡人数之和大于新增病例数, 则视为疫情出现“拐点”。假设暂不考虑人口的出生与死亡, 人口总

* 收稿日期: 2020-02-14

修回日期: 2020-02-16

项目资助: 重庆市科委/技术创新与应用示范项目(No.cstc2018jscx-msybX0201)

第一作者简介: 杨雨琦, 女, 研究方向为微生物学; E-mail:347806605@qq.com; 通信作者: 乐涛, 男, 教授, 博士,

E-mail: letao@cqnu.edu.cn

量视为定值,治愈后个体具有对病毒的免疫能力,设单位时间内的易感人群表示为 $s(t)$,感染人群为 $i(t)$,恢复人群为 $r(t)$,有如下推断:

1) 单位时间内感染人群 $i(t)$ 所能感染的人数与易感人群 $s(t)$ 成正比,比例系数为 β ,单位时间感染的人数为 $\beta s(t)i(t)$;

2) 单位时间内恢复人群与感染人群 $i(t)$ 成正比,比例系数为 γ ,单位时间恢复的病人数为 $\gamma i(t)$ 。

单位时间内各变量的变化情况即为变量的增长率,故上述推断可描述为如下微分方程的形式^[6-7]:

$$\begin{aligned}\frac{ds(t)}{dt} &= -\beta s(t)i(t), \\ \frac{di(t)}{dt} &= \beta s(t)i(t) - \gamma i(t), \\ \frac{dr(t)}{dt} &= \gamma i(t).\end{aligned}$$

要得到这些方程的解析十分困难,利用 MATLAB 进行求解分析和预测,预测的关键在于感染系数 β 与恢复系数 γ 的取值。本文统计自 1 月 20 日起的重庆市确诊、疑似和治愈人数等官方数据对感染系数 β 与恢复系数 γ 进行估计,随后代入模型中拟合重庆市的疫情发展趋势。

同时,考虑到重庆市政府及时采取的一系列有效措施,例如对已确诊人群的严格隔离、春节假期期间对全市商圈暂时关闭、对市内交通进行的管控、自 2 月份以来许多小区都实行了封闭式的管理等,这些措施明显降低了群众外出几率,即当下的环境并不是一个感染人群和普通群众充分混合的环境,故不能使用全市人口数作为人口总量进行预测,需要估计易感人群初值 $s(0)$ 。由推断 2) 不难看出,恢复系数 γ 可由感染人群和恢复人群的数据计算得到,且恢复系数会随着医学界对病毒的不断研究而增长,通过分析官方数据,由累积治愈人数比累计确诊人数的值再取平均得到初始 γ 值,然后代入模型中拟合已有的真实数据微调参数,最后得到恢复系数 $\gamma = 0.057$ 。

本文用最小二乘法估计易感人群初值 $s(0)$ 和感染系数 β ,最小二乘估计的基本思路是先估计 $s(0)$ 和 β 的取值区间,然后寻找区间内计算得到预测值与真实值残差平方和最小的一组值作为估计值进行预测。参照重庆市人口总数和官方公布的疫情防控措施,本方案遍历的 $s(0)$ 区间为 $[1500, 50000]$ 。最后使用 MATLAB 软件编写程序,并做出可视化的预测结果折线图。

2 结果

2.1 重庆市感染新型冠状病毒病例变化

重庆市于 1 月 20 日首次确诊的 5 例 NCP 病例,均有武汉市居住或旅游史。截至 2 月 14 日,重庆市累计确诊 537 例新型冠状病毒感染病例。自 1 月 20 日确诊第 1 例病例以来,重庆市每日新增病例数逐渐增加,1 月 30 日达到每日新增病例最高为 41 例,之后开始逐渐出现下降趋势。该变化趋势见图 1。

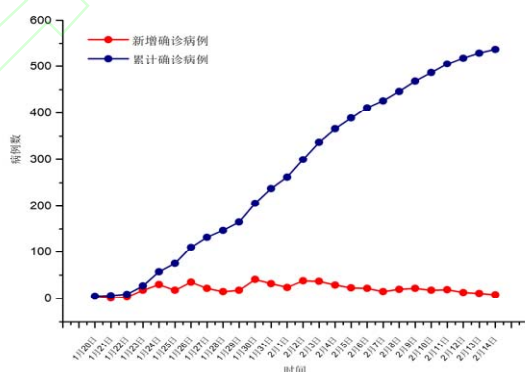


图 1 重庆市新型冠状病毒感染的肺炎病例(新增及累计确诊病例)变化趋势

Fig.1 Trend of NCP cases (new cases and cumulative confirmed cases) in Chongqing

重庆市在 1 月 23 日之前,新增确诊病例呈明显增长态势,于 1 月 22 日增长率达到了峰值,并且累计确诊病例的环比增长率在 1 月 26 日之前均处于波动较大的阶段,此后逐渐呈现下降的趋势,见图 2。

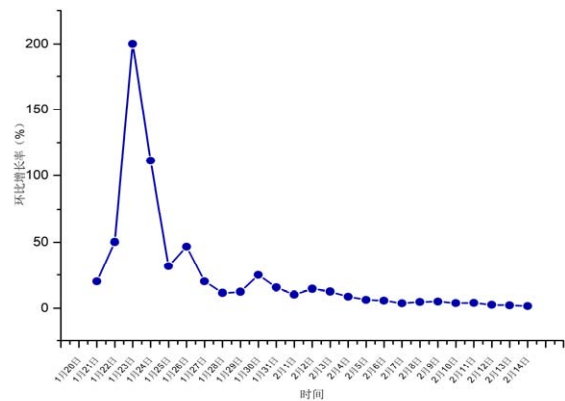


图 2 重庆市新型冠状病毒感染的肺炎病例环比增长率

Fig.2 Sequential growth rate of cumulative confirmed NCP cases in Chongqing

2.2 重庆市感染新型冠状病毒病例的死亡、治愈情况变化

在重庆市确诊的新型冠状病毒的感染病例中, 分别于 1 月 30 日、1 月 31 日首次出现治愈病例和死亡病例, 截至 2 月 14 日, 累计治愈病例数为 152 例, 累计死亡病例数为 5 例, 累计重症病例数为 31 例, 治愈率达到 28.3%, 死亡率为 0.93%, 重症率为 5.77%, 见图 3。

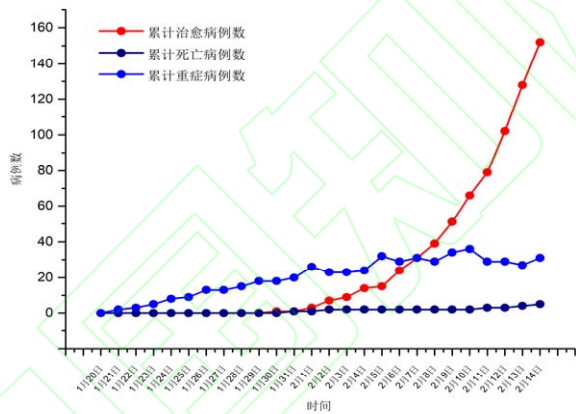
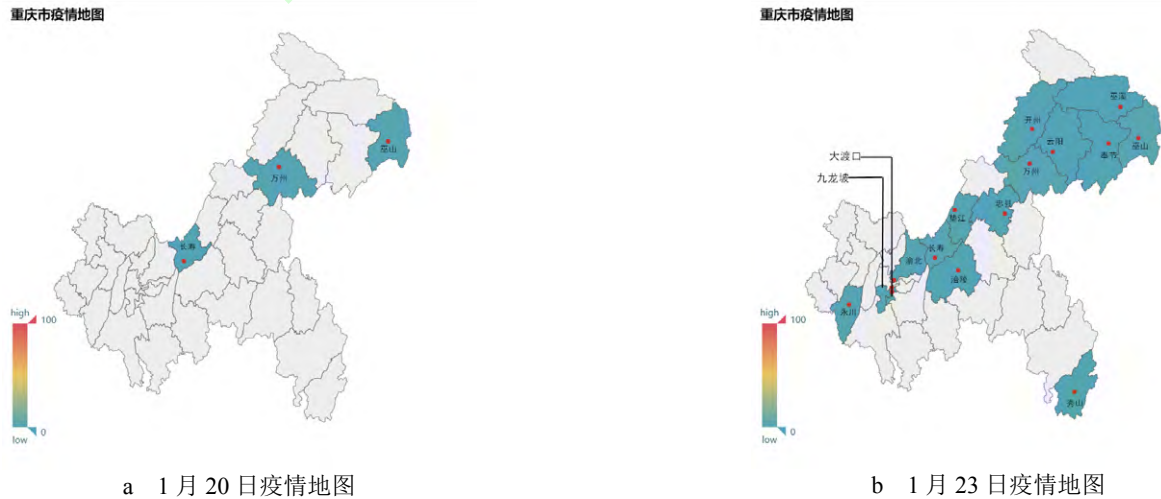


图 3 重庆市新型冠状病毒感染的肺炎病例 (重症、死亡和治愈病例) 变化趋势

Fig.3 Trends of NCP cases (severe, dead, and cured) in Chongqing

2.3 重庆市感染新型冠状病毒病例的时空分布情况

1 月 20 日, 重庆市首次确诊的 5 例新型冠状病毒感染病例分别出现于巫山县、万州区与长寿区, 截至 2 月 14 日, 已扩散全市 39 个区县。因重庆万州区与湖北省接壤, 重庆市确诊 NCP 病例主要集中在万州区, 确诊病例数达 104 例, 其次为江北区 26 例, 合川区、云阳县均为 23 例。各区县疫情变化地图见图 4。



a 1 月 20 日疫情地图

b 1 月 23 日疫情地图

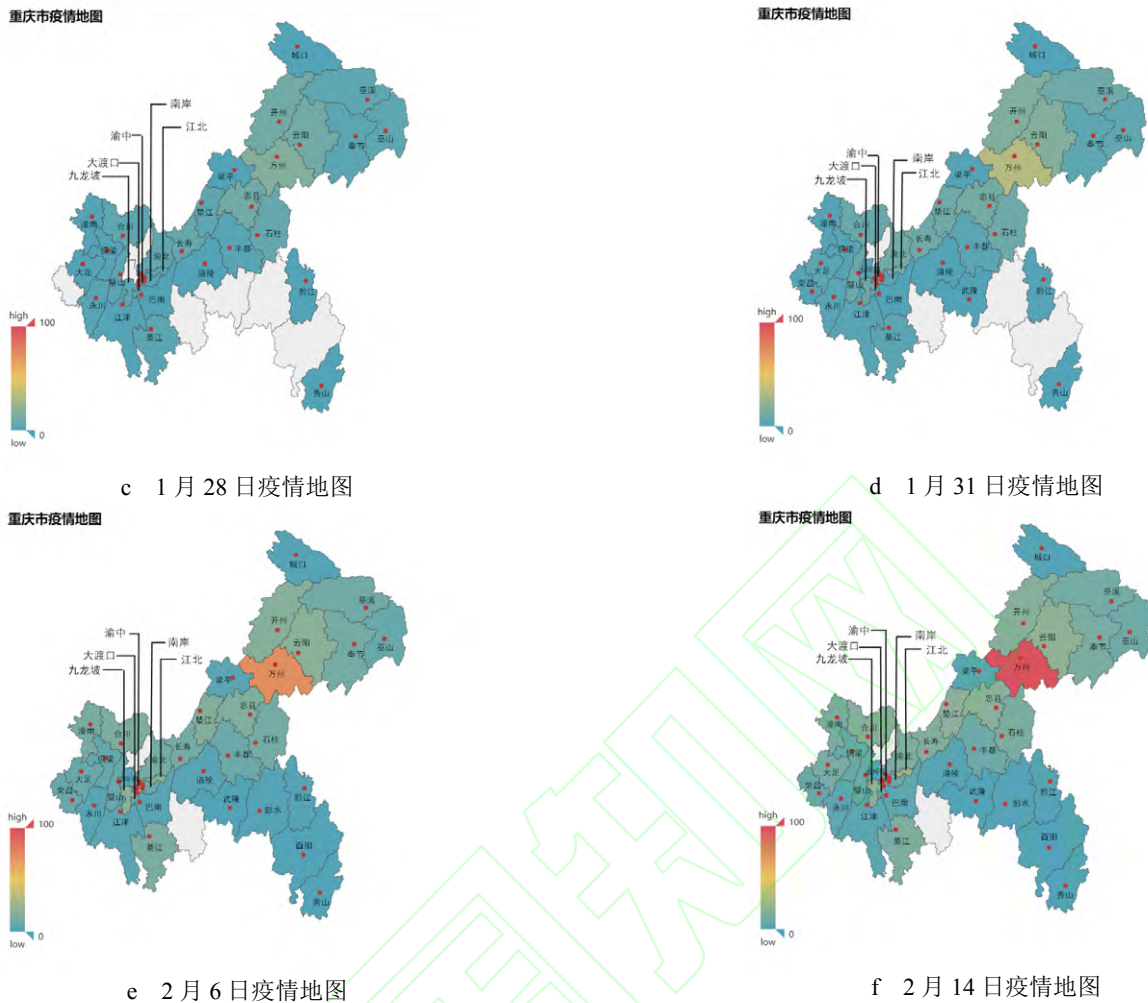


图4 重庆市各区常住人口确诊新型冠状病毒病例的时空分布情况

Fig. 4 Spatiotemporal distribution of confirmed cases of NCP in the resident population of each district in Chongqing

2.4 基于 SIR 传染病模型的重庆市疫情趋势预测

本研究收集整理了重庆市自 2019 年 1 月 20 日起的疫情数据,但是由于疫情爆发的前期并没有治愈病例,故将最早期的疫情数据直接代入模型并不符合疫情的真实发展情况,因此,以 1 月 30 日为第 1 天对疫情进行预测。将重庆市卫健委公布数据代入 SIR 模型计算后拟合得到的疫情预测曲线,见图 5。其中恢复系数 $\gamma = 0.057$,并由 MATLAB 计算得到感染系数 $\beta = 1.068\ 0 \times 10^{-4}$, $s(0)$ 为随时间 t 而变化的增函数。图 5 中蓝色的曲线便是模型对现有感染人数的预测值,红色的曲线表示截至 2 月 14 日官方公布的数据,此模型将新增确诊病例数作为输入量,治愈出院病例数与死亡病例数作为移出量,将预测结果与近几日官方公布的真实数据比较,结果能够很好的拟合真实数据,预测值与真实值误差波动较小。从趋势曲线中可以看到,随着确诊人数增加,重庆市疫情正在向高峰发展,疫情在第 25 天达到高峰,即“拐点”(治愈病例数与死亡病例数之和大于新增病例确诊数)在 2 月 25 日左右出现,此后现有确诊人数开始下降,在第 100 天左右时,除少数不幸死亡的病例,其余 NCP 确诊病例都被治愈出院,现有确诊人数趋于 0,疫情将被全面控制。

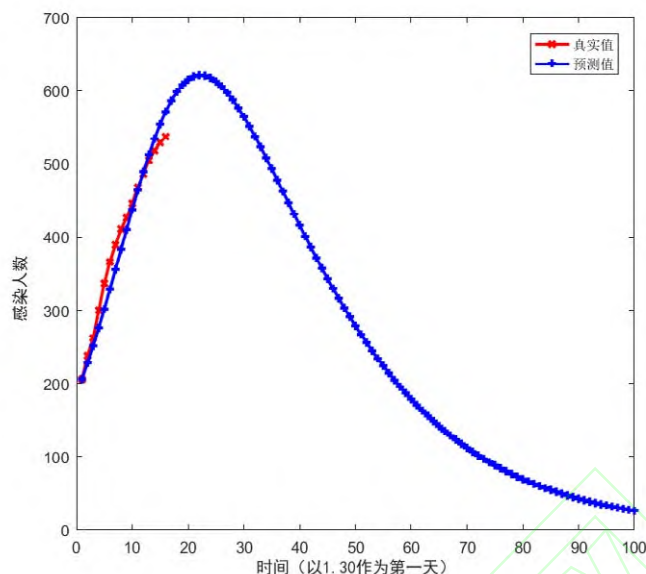


图 5 重庆市新型冠状病毒肺炎疫情趋势预测
Fig.5 Prediction of NCP epidemic situation in Chongqing

3 讨论

重庆市第 1 例确诊感染 NCP 患者为巫山县人, 1 月 15 日自武汉返回巫山县后, 因发热、乏力等症状, 于当日在巫山县第一发热门诊就诊后即被收治入院隔离治疗, 1 月 20 日进行核酸检测为阳性, 1 月 21 日确诊为 NCP 感染的肺炎病例。重庆市确诊第 1 例 NCP 患者当日, 万州区和长寿区也确诊了 3 例感染患者, 所有病例均有武汉工作史或居住史。重庆市新增确诊人数涨幅自 1 月 20 日至 1 月 23 日增长较大, 1 月 23 日环比增幅更是达到了 200%, 1 月 24 日以后随着重庆市宣布启动重大突发公共卫生事件一级响应, 环比增幅逐渐放缓并趋于稳定。

1 月 24 日确诊的 57 例感染患者中, 有 3 例无湖北居住史或旅行史, 这意味着重庆市二代病例和本地感染病例开始出现, 疫情防控更加严峻。针对此情况, 重庆市进一步加强对疫情防控工作的宣传力度, 号召全市城乡居民尽量减少外出防止病毒传播。至 2 月 6 日, 本地感染患者占比达到 81.82%, 同时重庆市疫情较为严重的万州等地区, 新增病例以湖北输入病例感染的二、三代病例为主, 主城区和渝西片区则以社区感染病例为主。截止目前, 重庆市新增确诊病例中与患者密切接触的二、三代感染病例为主要来源, 其中 2 月 6 日占比 63.64%、2 月 7 日占比 66.67%、2 月 8 日占比 65.00%、2 月 9 日占比 77.27%, 呈逐渐增长的态势^[3]。

通过分析重庆市确诊患者的信息, 男性感染人数多于女性, 年龄分布主要集中在 40~70 岁的人群中。从地域分布情况来看, 渝东北片区疫情较为严重, 其次为主城片区, 其中疫情最为严重的是万州区, 截止 2 月 14 日确诊人数已达 104 人, 占全市累计确诊人数的 19.37%。从图 4 也可以看出, 目前重庆市仅有北碚区和南川区尚未发现新型冠状病毒感染患者。

湖北省为此次疫情的爆发区与重灾区, 由于重庆市与湖北省接壤且渝汉两地联系紧密, 故疫情爆发初期重庆市的确诊患者增长幅度较大, 累计确诊人数居全国前列。通过政府对疫情的各项防控措施, 疫情蔓延势头得到了有效遏制, 目前累计确诊数为全国第九。

此前, 有学者针对 SARS 疫情提出了一种基于 Kaplan-Meier 方法的数学模型, 利用已公布的官方数据, 通过计算累计发病率和死亡率来拟合 SARS 疫情的发展趋势, 从结果来看该模型与客观的真实数据拟合度较高^[8]。本研究对 NCP 疫情的预测采用 SIR 传染病模型, 将累计确诊人数作为输入量, 死亡人数和治愈人数作为输出量, 通过计算感染系数和恢复系数来预测疫情的趋势。然后运用建立的数学模型拟合 NCP 的累计确诊病例 (重庆市卫健委发布的官方数据), 来推测疫情高峰、疫情持续时间, 并绘制出疫情曲线, 掌握疫情动态, 结果对判断疫情走势以及为政府决策具有一定的参考价值。然而, 疫情“拐点”还受其他一些因素的影响, 如病毒源头、病毒变异、准确的感染人数、人员流动、天气等, 因此本文的研究模型存在一定局限性。另外, 通过医护人员的不懈努力治愈率会随时间的推移不断提高等实际情况, 本研究推测真实的疫情情况会比模型预测更加乐观。预计疫情爆发最严重时重庆市现存确诊人数不超过 800 人。

4 结论

本文基于重庆市卫健委发布的官方数据, 对重庆市 NCP 疫情进行了科学的分析和合理的预测, 结果表明目前仍然以密切接触的二、三代感染者为新增病例的主要来源, 并且疫情蔓延趋势逐渐放缓。预计重庆

市 NCP 疫情将在 2 月下旬出现拐点,此后确诊人数开始下降,并有望于 5 月上旬全面控制此次疫情。针对主城片区社区感染病例的增加,应加强小区物业管理,严格落实进出人员登记及体温监测等措施。同时随着节后复工复岗复学的实际情况,企业要落实好各项防疫措施,加强防控与排查工作。

参考文献:

- [1] LI Q, GUAN X, WU P, et al. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus: infected pneumonia[J]. N Engl J Med, 2020. doi:10.1056/NEJMoa2001316.
- [2] 人民网.国家卫健委:新冠肺炎英文简称“NCP”[EB/OL]. (2020-02-08)[2020-02-14]. <http://yuqing.people.com.cn/n1/2020/02/08/c209043-31577380.html>.
People.cn.NHC:the abbrevia of Novel coronavirus pneumonia is NCP[EB/OL]. (2020-02-08)[2020-02-14]. <http://yuqing.people.com.cn/n1/2020/02/08/c209043-31577380.html>.
- [3] 人民网.世卫组织将新冠肺炎命名为“COVID-19”[EB/OL].(2020-02-12)[2020-02-14].<http://world.people.com.cn/n1/2020/02/12/c1002-31582421.html>.
People.cn.WHO named the NCP as COVID-19[EB/OL]. (2020-02-08)[2020-02-14].<http://yuqing.people.com.cn/n1/2020/02/08/c209043-31577380.html>.
- [4] 中国新闻网.国际病毒分类委员会将新型冠状病毒命名为 SARS-CoV-2[EB/OL].<http://www.chinanews.com/gj/2020/02-12/9088314.shtml>.
Ecn.cn.ICTV named the NCP as SARS-CoV-2[EB/OL]. <http://www.chinanews.com/gj/2020/02-12/9088314.shtml>.
- [5] 重庆市卫生健康委员会.截止 2020 年 2 月 14 日 24 时重庆市新冠肺炎疫情情况[EB/OL].(2020-02-15) [2020-02-16].<http://wsjkw.cq.gov.cn/tzgg/20200214/254066.html>.
Health Commission of Chongqing. Epidemic situation of NCP in Chongqing at 24 February 14th[EB/OL].(2020-02-15)[2020-02-16].<http://wsjkw.cq.gov.cn/tzgg/20200214/254066.html>.
- [6] 罗荣桂,江涛.基于 SIR 传染病模型的技术扩散模型的研究[J].管理工程学报,2006,20(1):32-35.
LUO R G,JIANG T. The research of technology diffusion model based on the SIR epidemic model[J].Journal of Industrial Engineering and Engineering Management,2006,20(1):32-35.
- [7] 武文韬,柏如海,李达宁,等.广东省新型冠状病毒肺炎疫情流行趋势的初步预测[J/OL].(2020-02-13)[2020-02-14].暨南大学学报(自然科学与医学版),2020,41(2):1-6.
WU W T,BAI R H,LI D N, et al. Preliminary prediction of the epidemic trend of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) pneumonia in Guangdong province[J/OL].(2020-02-13)[2020-02-14].Journal of Jinan University (Natural Science & Medicine Edition),2020,41(2):1-6.
- [8] GHANI A C,DONNELLY C A,COX D R, et al. Methods for estimating the case fatality ratio for a novel,emerging infectious disease[J].Am J Epidemiol,2005,162(5):479- 486.

Epidemic Situation Analysis and Trend Forecast of New Coronavirus Pneumonia (NCP) in Chongqing

YANG Yuqi, SUN Qi, WANG Yuexin, YAN Xueling, LE Tao

(College of Life Science, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes] By calculating the relevant data of the new coronavirus pneumonia epidemic in Chongqing, the development trend of the epidemic in Chongqing was studied to provide an important reference for the government's epidemic prevention and control, and relevant policy formulation. [Methods] Based on the official data of the Health Commission, the chain growth rate, cure rate and mortality rate of the confirmed cases of the epidemic were calculated, and the change curve was plotted to analyze the development trend of the epidemic. The trend prediction using uses the SIR Infected Recovered Model, and use MATLAB to solve the differential equation, calculate the infection coefficient and recovery coefficient to predict the development trend of the epidemic. [Findings] The results show that, the epidemic situation in Chongqing has gradually slowed down, but the epidemic prevention and control work was still severe. Closely contacted second- and third-generation infections were currently the main source of new infections. Through mathematical modeling predictions, we found that the epidemic situation in Chongqing is still on the rise. The epidemic will peak in the next 10 days, that is, the “inflection point” is expected to occur on February 25. [Conclusions] The epidemic situation in Chongqing is still in the rising period. After the holiday, the number of workers returning to work will increase, and the scope of activities will be expanded, which should pay enough attention.

Keywords: NCP; Chongqing; Trend forecast; Epidemic situation; Inflection point

(责任编辑 黄 颖)