

# 中国猴痘传播的再生数估计与动态分析

景月,侯强\*

(中北大学数学学院,山西太原030051)

**摘要:**为了研究2023年猴痘在中国传播的规律,首先基于泊松过程的贝叶斯计算方法估计了中国猴痘瞬时再生数,发现瞬时再生数在8月7日后持续低于1,且在8月19日后出现显著下降;其次建立带隔离措施的SEIQR模型,估计疫情初期的基本再生数为1.433,患者在医疗机构的隔离率为0.42;最后,建立SEIQ<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>R模型,并用于评估对染病者实行医疗机构隔离或居家隔离的效果,得到该措施下基本再生数下降为0.344,在医疗机构的隔离率为0.75,居家隔离率为1.48。该措施下基本再生数明显小于阈值1,表明调整防控措施后,中国猴痘疫情得到有效控制。

**关键词:**瞬时再生数;基本再生数;SEIQR模型;SEIQ<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>R模型

**中图分类号:** O175; O213 **文献标志码:** A

**引用格式:**景月,侯强.中国猴痘传播的再生数估计与动态分析[J].山东大学学报(理学版),2025,60(4):118-126.

## Reproduction number estimation and dynamic analysis of Mpox transmission in China

JING Yue, HOU Qiang\*

(School of Mathematics, North University of China, Taiyuan 030051, Shanxi, China)

**Abstract:** In order to study the spread of Mpox in China of 2023, firstly, the instantaneous regeneration of Mpox in China was estimated based on the Bayesian calculation method of Poisson process, and it was found that the instantaneous regeneration number continued to be lower than 1 after August 7 and decreased significantly after August 19. Secondly, the SEIQR model with isolation measures was established, which estimated that the basic reproduction number at the beginning of the Mpox epidemic in China was 1.433 and the isolation rate of patients in medical institutions was 0.42. Finally, the SEIQ<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>R model was established to evaluate the effect of isolation in medical institutions or home isolation for different infected patients, and the basic reproduction number of Mpox epidemic in China decreased to 0.344, the isolation rate in medical institutions was 0.75, and the home isolation rate was 1.48. The basic reproduction number under this measure was significantly lower than the threshold of 1, indicating that the Mpox epidemic in China has been effectively controlled after adjusting the prevention and control measures.

**Key words:** instantaneous reproduction number; basic reproduction number; SEIQR model; SEIQ<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>R model

## 0 引言

猴痘是一种由猴痘病毒感染所致的人兽共患病毒性疾病。感染猴痘病毒会引起发热、头痛和皮疹等症状,多数患者会自愈,但也有患者会出现重症,危及生命健康<sup>[1]</sup>。2022年5月以来,全球多个地区发生严重的猴痘疫情<sup>[2]</sup>。2023年7月份以来,在全球所有新增病例中,中国报告的病例数增幅较大,目前全国已有20多个省市报告猴痘病例<sup>[3]</sup>。因此,研究猴痘的传播现状与规律成为控制疫情必要工作。

近几年,猴痘疫情的暴发引起广泛的关注,许多学者对其传播规律和现状展开研究。基于动力学方法的研究主要关注于猴痘的传播规律与防控措施对疾病的影响。文献[4]基于人类和啮齿动物2个种群建立动

收稿日期:2023-12-01;网络出版时间:2024-10-08 15:39:38

基金项目:山西省基础研究计划资助项目(20210302123031)

第一作者:景月(2000—),女,硕士研究生,研究方向为动力系统及其应用。E-mail:15698473707@163.com

\*通信作者:侯强(1981—),男,副教授,博士,研究方向为动力系统及其应用。E-mail:houqiang200207@163.com

力学模型,将人群分为5类:易感者、潜伏者、染病者、隔离者和恢复者,将啮齿动物分为3类:易感动物、潜伏动物和感染动物,考虑了隔离措施对疾病传播的影响,结果表明隔离染病者有助于减少疾病传播。文献[5]建立了Caputo分数阶非线性模型,用于研究猴痘病毒在人类和啮齿动物之间的传播,并分析了模型的全局动力学特征。文献[6]基于猴痘传播特点建立分数阶模型,通过改变模型参数分析模型的动力学变化,用非线性最小二乘法对尼日利亚报告的累计病例数进行拟合,为制定控制策略提供依据。文献[7]分析了控制措施对猴痘疫情传播的影响,发现将65%的患者进行隔离,并追踪其接触者,可以大大降低疫情暴发的风险。基于统计学方法的研究主要聚焦于分析猴痘病毒的潜伏期、序列间隔(一代病例出现症状到二代病例出现症状的时间差)、世代间隔(一代病例感染到二代病例感染的时间间隔)的分布以及欧洲国家猴痘疫情的基本再生数。文献[8]利用英格兰的猴痘疫情数据估计了猴痘的潜伏期和序列间隔分布,利用指数增长和最大似然等方法分别估计了猴痘疫情的基本再生数。文献[9]利用检测到的确诊病例的接触时间和出现症状的时间,估计了猴痘潜伏期服从对数正态分布,平均潜伏期为8.5 d。文献[10]根据原发和继发病例的报告数据,估计了序列间隔服从伽马分布。文献[11]通过追踪密切接触者,确定接触后传染的人数,估计出世代间隔也服从伽马分布。文献[12]建立ARIMA(2,2,1)模型预测全球猴痘的新增病例发展趋势。文献[13]基于卷积神经网络(CNN)得到英国、西班牙和德国猴痘疫情的基本再生数。在中国,对于猴痘疾病传播的研究也取得了一些进展。文献[14]基于卷积神经网络,结合猴痘图像数据对猴痘病例进行分类和识别。文献[15]建立动力学模型研究了接种和环境感染对猴痘传播的影响。文献[16]对全球猴痘的空间分布进行风险评估,发现人口密度和交通便利是影响猴痘传播的关键因素。

这些研究一部分是基于机器学习来提高识别猴痘病例的准确性,一部分研究猴痘传播的影响因素。关于中国在猴痘疫情中采取的实际措施对疾病传播影响的研究还很少。本文针对中国在猴痘疫情中采取的实际控制措施,结合中国的累计病例数据展开研究。首先基于泊松过程的贝叶斯计算方法估计中国猴痘疫情暴发的瞬时再生数;其次建立动力学模型分别估计调整防控措施前、后的基本再生数和染病者的隔离率,评估隔离措施实施的效果。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据来源

167例病例数据均来自世界卫生组织(WHO)官方网站,数据包括中国猴痘疫情每日出现症状的病例数,数据搜集的日期为2023年4月3日到9月16日<sup>[17]</sup>。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 瞬时再生数

瞬时再生数 $R_t$ 定义为一个感染者在 $t$ 时刻平均产生的新发病例数,反映了该疾病在不同时刻的传播能力。这里利用Cori等<sup>[18]</sup>的方法估计2023年4月3日至9月16日中国猴痘疫情的瞬时再生数。

基于泊松过程的贝叶斯计算方法估计 $R_t$ 需要一些假设,例如,假设 $t$ 时刻的继发病例总数服从期望为 $R_t \sum_{j=1}^{\min(k,t)} N_{t-j} p_j$ 的泊松分布, $N_{t-j}$ 是 $t-j$ 时刻的病例总数,概率向量 $p_j$ 用来描述该个体的平均传染能力,当 $p_j$ 最大时,表示该病例在染病后第 $j$ 天传染性最高。最为重要的是中国猴痘的数据是否满足这个假设目前是无法验证的。因此,本文建立动力学模型来进一步分析猴痘传播的基本再生数,评估不同时期不同隔离措施对猴痘防控产生的影响。

#### 1.2.2 动力学模型

在猴痘疫情中,未接种天花疫苗的人群普遍易感,考虑到我国在1980年停止接种天花疫苗,本文假设所有群体均为易感人群<sup>[19-20]</sup>。我国在猴痘疫情初期采取的防控措施是将发现的染病者送往医疗机构进行隔离,直至康复出院,患者康复后具有长久免疫<sup>[21-22]</sup>。另外,本文采用数据的时间尺度较短且该疾病目前国内还没有因病死亡,故不考虑出生率、死亡率和因病致死率<sup>[23]</sup>。基于以上传播机制,将人群划分为易感者 $S$ 、潜伏者 $E$ 、染病者 $I$ 、隔离者 $Q$ 和康复者 $R$ ,建立如下SEIQR模型来分析猴痘的传播性质:

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\frac{\beta SI}{N}, \\ \frac{dE}{dt} = \frac{\beta SI}{N} - \sigma E, \\ \frac{dI}{dt} = \sigma E - \gamma I - \lambda I, \\ \frac{dQ}{dt} = \lambda I - \gamma Q, \\ \frac{dR}{dt} = \gamma I + \gamma Q, \\ \frac{dC}{dt} = \sigma E, \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $\beta$  代表染病者与易感者接触的传染率;  $\sigma$  代表潜伏者到染病者的转移率;  $\gamma$  代表恢复率, 单位时间内从隔离人群恢复的人数为  $\gamma Q$ , 从染病人群恢复的人数为  $\gamma I$ ;  $\lambda$  代表患者在医疗机构的隔离率, 单位时间内被隔离的染病者人数为  $\lambda I$ ;  $C$  代表累计感染人数(具有临床特征);  $t$  时刻的累计感染人数  $C(t)$  应该为  $t$  时刻已感染成病人且具有传染力的人数  $I(t)$  和  $t$  时刻处于医疗机构隔离的人数  $Q(t)$  以及  $t$  时刻已经从染病和隔离人群移除的人数  $R(t)$  的总和, 也就是  $C(t) = I(t) + Q(t) + R(t)$ , 即  $\frac{dC}{dt} = \frac{d(I(t) + Q(t) + R(t))}{dt} = \sigma E$ 。基于下一代

矩阵的方法, 可以得到基本再生数的表达式  $R_0 = \frac{\beta}{\gamma + \lambda}$ 。

由于我国7月份的猴痘确诊人数较6月份出现显著增长, 为了在合理利用医疗资源的同时并有效控制疫情传播, 政府在7月26日对猴痘疫情的防控措施进行调整, 对于重症猴痘患者或不具备居家隔离条件的患者送往医疗机构进行隔离, 轻症患者实行居家隔离<sup>[24]</sup>。本文建立SEIQ<sub>1</sub>Q<sub>2</sub>R模型来评估调整后的隔离措施对猴痘传播的影响。其中,  $Q_1$  代表在医疗机构隔离的群体,  $Q_2$  代表实行居家隔离的群体。该模型中  $S$ 、 $E$ 、 $I$ 、 $R$  和  $C$  分别代表易感者、潜伏者、染病者、康复者和累计感染人数(具有临床特征)。模型用微分方程组表示:

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = \frac{\beta SI}{N} - \frac{\delta \beta S Q_2}{N}, \\ \frac{dE}{dt} = \frac{\beta SI}{N} + \frac{\delta \beta S Q_2}{N} - \sigma E, \\ \frac{dI}{dt} = \sigma E - \gamma I - \lambda_1 I - \lambda_2 I, \\ \frac{dQ_1}{dt} = \lambda_1 I - \gamma Q_1, \\ \frac{dQ_2}{dt} = \lambda_2 I - \gamma Q_2, \\ \frac{dR}{dt} = \gamma Q_1 + \gamma Q_2 + \gamma I, \\ \frac{dC}{dt} = \sigma E, \end{cases} \quad (2)$$

其中,  $\lambda_1$  代表重症患者或不具备居家隔离条件的患者在医疗机构的隔离率;  $\lambda_2$  代表轻症患者的居家隔离率。由于居家隔离措施并不是强制执行的, 一方面家庭成员会与居家隔离者接触造成感染, 而家庭成员又与其他易感者有接触, 从而增加了其他易感者患病的风险; 另一方面完全阻断居家隔离的染病者与其他易感者之间的直接接触具有很大的困难, 在居家隔离措施不够完善的情况下, 医护人员或其他易感者与居家隔离者都有可能接触产生感染, 故本文用  $\delta\beta$  来刻画居家隔离的群体  $Q_2$  与易感人群之间的传染率, 所有居家隔离的患者在单位时间内产生的感染人数为  $\delta\beta S Q_2 / N$ , 其余参数的意义与 SEIQR 模型中的参数意义相同。

## 2 分析结果

### 2.1 猴痘疫情的流行特征

将 2023 年 4 月 3 日至 9 月 16 日的中国猴痘每日新增病例绘制成曲线,其中,令 4 月 3 日为第 0 天,9 月 16 日为第 166 天,结果如图 1 所示。发现 6 月—8 月的每日新增病例数在持续增加,且增幅较大。在 8 月 1 日(第 120 天)达到峰值 30 例,此后一段时间仍维持在较高水平增长,直到 8 月 25 日(第 144 天),猴痘的每日新增病例下降到个位数,说明猴痘疫情传播得到有效控制。

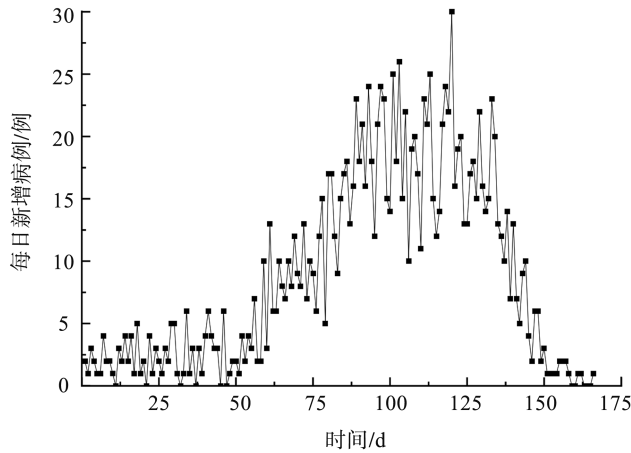


图 1 每日出现症状病例数(2023 年 4 月 3 日—2023 年 9 月 16 日)  
Fig.1 Number of cases with symptoms per day (April 3, 2023–September 16, 2023)

### 2.2 瞬时再生数

由于中国猴痘可获得的原发和继发病例数据较少,故本文根据文献[10]的序列间隔估计结果。中国猴痘瞬时再生数  $R_t$  的变化情况的估计结果见图 2。其中,黑色实线代表  $R_t$  的均值,阴影部分代表  $R_t$  的 95% 置信区间,水平虚线代表阈值 1。结果发现,在 8 月 7 日(第 126 天)之后,  $R_t$  的均值一直维持在阈值 1 以下,且在 8 月 19 日(第 138 天)后出现明显下降。表明猴痘疫情得到有效控制,与实际观测的每日新增病例的变化趋势相符。

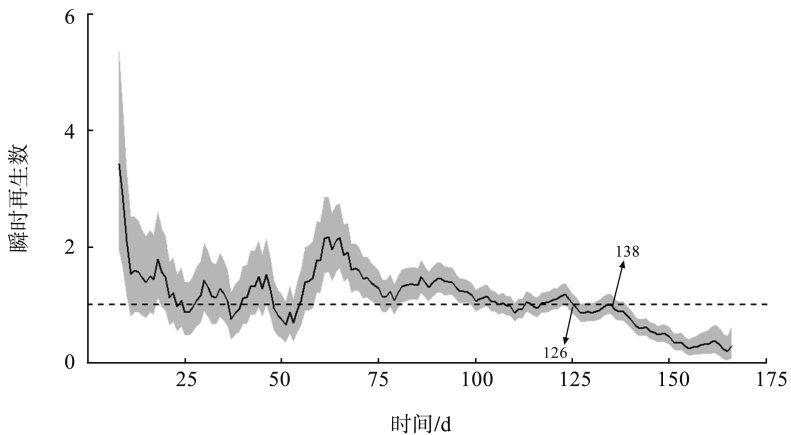


图 2 瞬时再生数变化趋势,水平虚线表示阈值 1  
Fig.2 Instantaneous regeneration number change trend, and the horizontal dotted line represents the threshold 1

### 2.3 数据的拟合与分析

该部分建立 SEIQR 模型来模拟 4 月 3 日至 7 月 26 日中国猴痘疫情的情况,从国家统计局查阅我国的总人口  $N$  为 141 175 万人,从世界卫生组织网站搜集中国猴痘每日新增病例数据,可知初始病例  $I(0)$  为 2。根据文献[9]可知猴痘潜伏期的均值为 8.5 天,将第 8 天和第 9 天的平均感染人数作为潜伏者的初始人数,即潜伏者的初始值为 3,初始隔离人数  $Q(0)$  和初始的康复人数  $R(0)$  均为 0,则易感人群的初始值  $S(0) = N -$

$E(0)-I(0)-R(0)-Q(0)$ 。

本文基于 MCMC 算法估计了模型的参数。该方法包含两步:首先根据 Markov 链收敛定理,生成一个平稳分布,并在此 Markov 链上进行采样;其次使用步骤 1 中得到的样本,利用样本的均值、方差等可以得到未知参数的估计值。由拟合得到的参数估计值可求得 4 月 3 日至 7 月 26 日期间的的基本再生数  $R_0$  为 1.433,患者在医疗机构的隔离率约为 0.42。参数估计结果见表 1。

表 1 模型参数的估计值  
Table 1 Estimates of model parameters

参数	均值	95%置信区间	方法
$\beta$	0.656 63	0.644 08~0.669 18	MCMC
$\gamma$	0.042 57	0.042 24~0.042 90	MCMC
$\lambda$	0.415 67	0.396 35~0.434 99	MCMC

图 3 为 2023 年 4 月 3 日至 7 月 26 日实际观测的累计感染人数与 SEIQR 模型拟合的累计感染人数结果对比,发现模型拟合的累计病例数与实际观测的累计病例数总体情况十分相近。图 4 表明在当前措施下,截止到 9 月 16 日时我国猴痘疫情的累计感染人数与 SEIQR 模型拟合的累计感染人数结果对比。从图 4 中可以发现,如果不及时调整干预措施,感染人数将会持续增长。

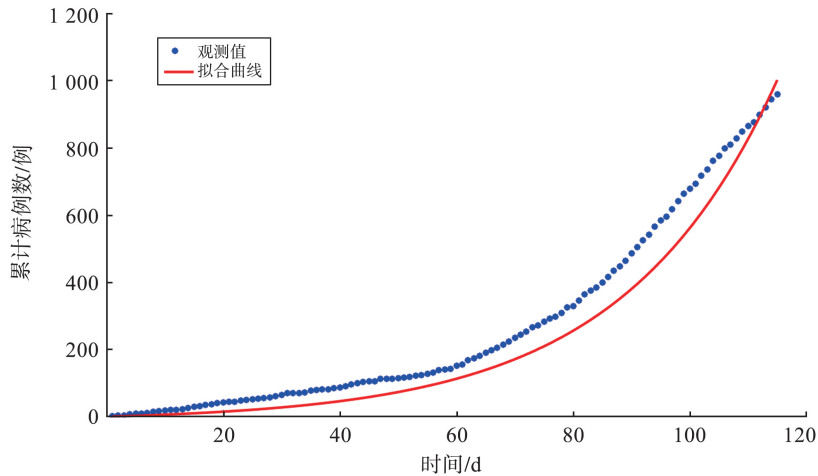


图 3 实际观测数据与模型拟合结果对比(2023 年 4 月 3 日—2023 年 7 月 26 日)

Fig.3 Comparison of actual observed data with model fitting results (April 3, 2023–July 26, 2023)

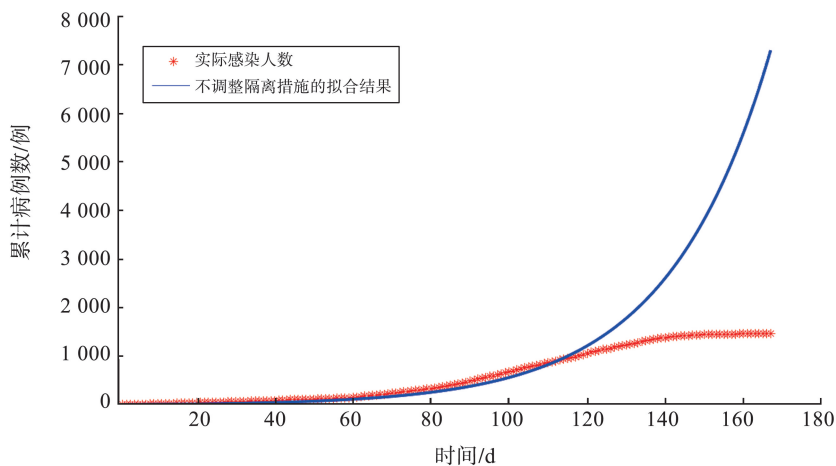


图 4 实际观测数据与 SEIQR 模型拟合结果对比(2023 年 4 月 3 日—2023 年 9 月 16 日)

Fig.4 Comparison of actual observed data with SEIQR model fitting results (April 3, 2023–September 16, 2023)

在 7 月 26 日后,我国对猴痘疫情的防控措施进行调整,针对不同患者分别实行医疗机构隔离或居家隔离。为了评估该措施对疫情防控产生的影响,本文建立  $SEIQ_1Q_2R$  模型来拟合 7 月 27 日至 9 月 16 日的中国猴痘累计感染人数。假设居家隔离  $Q_2$  的初始人数为 0,将 SEIQR 模型在 7 月 26 日的拟合值分别作为  $SEIQ_1Q_2R$  中易感者  $S$ 、潜伏者  $E$ 、染病者  $I$ 、医疗机构隔离群体  $Q_1$  和康复者  $R$  的初始值。 $SEIQ_1Q_2R$  模型中

的参数  $\beta$  和  $\gamma$  与 SEIQR 模型估计的  $\beta$  和  $\gamma$  相同,其余参数用 MCMC 算法进行估计。由拟合得到的参数估计值可求得 7 月 27 日至 9 月 16 日期间中国猴痘疫情的基本再生数  $R_0$  为 0.344,参数估计结果见表 2。

表 2 模型参数的估计值  
Table 2 Estimates of model parameters

参数	均值	95%置信区间	方法
$\delta$	0.005 47	0.005 01~0.005 92	MCMC
$\lambda_1$	0.746 97	0.746 75~0.747 19	MCMC
$\lambda_2$	1.481 90	1.458 74~1.505 06	MCMC

从参数估计结果可知,调整防控措施后患者在医疗机构的隔离率约为 0.75,居家隔离率约为 1.48。与 7 月 26 日前相比,患者的隔离率出现明显上升。

图 5 展示了调整防控措施前、后建立不同模型得到的拟合值与实际观测数据的结果对比。可看出,这两个模型拟合的累计感染人数与实际观测的累计感染人数变化情况基本一致。

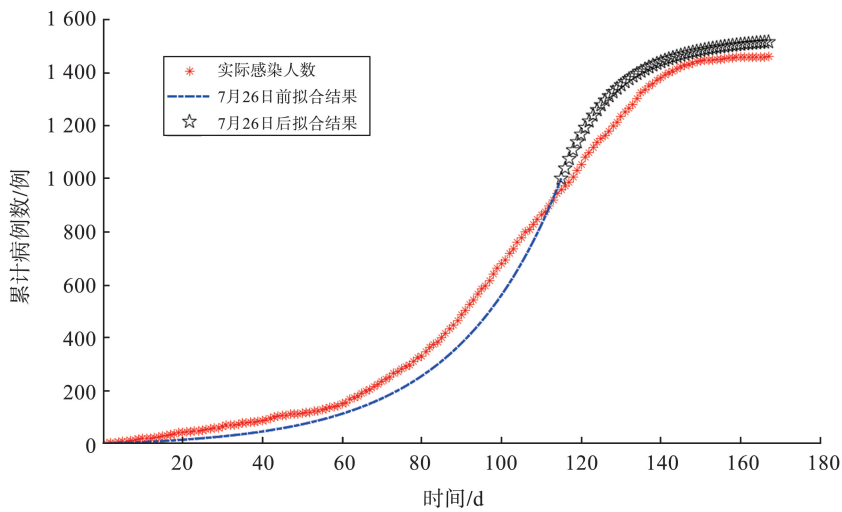


图 5 实际观测数据与两个模型拟合的结果对比(2023 年 4 月 3 日—2023 年 9 月 16 日)

Fig.5 Comparison of the actual observed data with the results of fitting the two models (April 3, 2023–September 16, 2023)

图 6 展示了实际观测值与不调整防控措施下模型的拟合值,以及调整防控措施后模型的拟合结果对比,从图可看出,调整防控措施后模型拟合的累计感染人数与实际观测的累计感染人数较为吻合,即针对不同的染病者实施医疗机构隔离或居家隔离,可以作为控制猴痘疫情蔓延的有效措施。

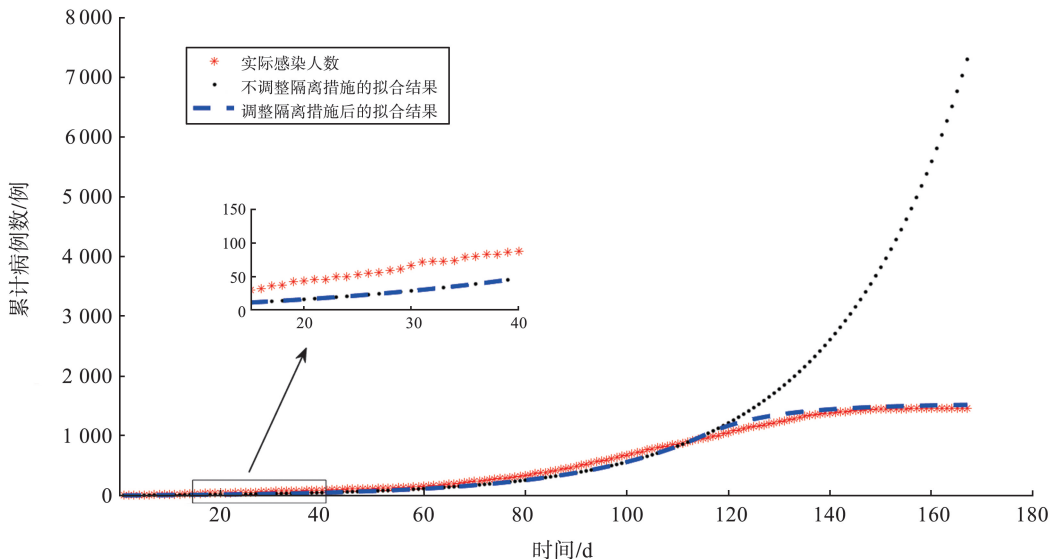


图 6 实际观测数据与模型拟合结果对比(2023 年 4 月 3 日—2023 年 9 月 16 日)

Fig.6 Comparison of actual observed data with model fitting results (April 3, 2023–September 16, 2023)

图 7 为每日新增病例的实际观测值与调整防控措施后模型拟合值的直方图。从图中可以看到实际观测值的中位数为 6,模型拟合值的中位数约为 5,二者都主要集中分布在 0~20 之间,总体分布情况比较相似。

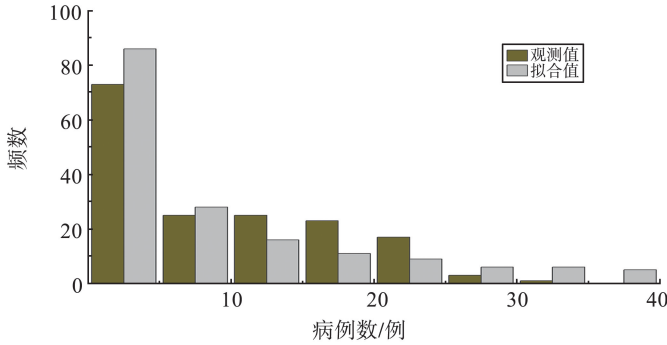


图 7 实际观测值与模型拟合值的直方图

Fig.7 A histogram of the actual observed values versus the model fitted values

图 8 展示了在不同医疗机构隔离强度下,我国猴痘累计病例数的结果对比。从结果可以看出,当医疗机构隔离率  $\lambda$  分别为 0.45 和 0.5 时,基本再生数  $R_0$  均大于 1,猴痘累计病例出现减少,但疾病仍在传播。当医疗机构隔离率  $\lambda$  为 0.7 时,基本再生数  $R_0$  小于 1,该情况下疫情明显得到控制,疾病趋于消失。

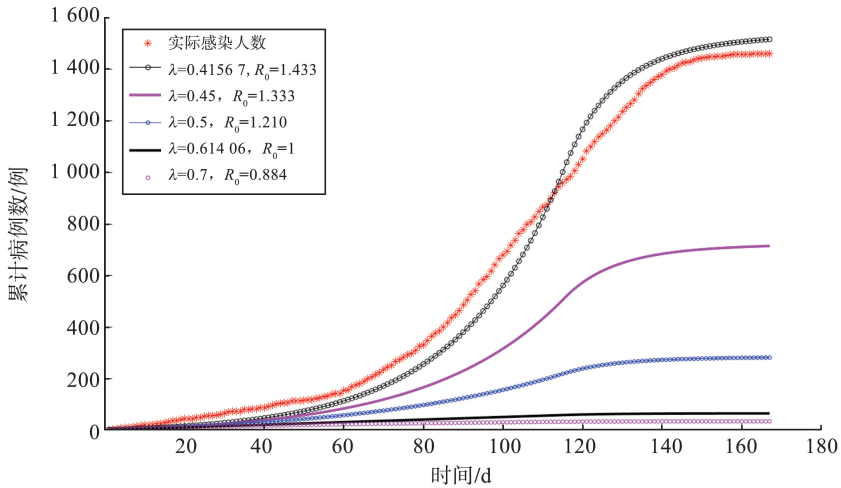


图 8 不同医疗机构隔离强度对猴痘传播的影响

Fig.8 Effect of isolation intensity in different healthcare facilities on Mpx transmission

图 9 展示了在第二阶段(7月 26 日以后)实施不同居家隔离强度对疾病传播的影响。从结果可以看出,我国猴痘累计病例随着居家隔离率的上升而减少。

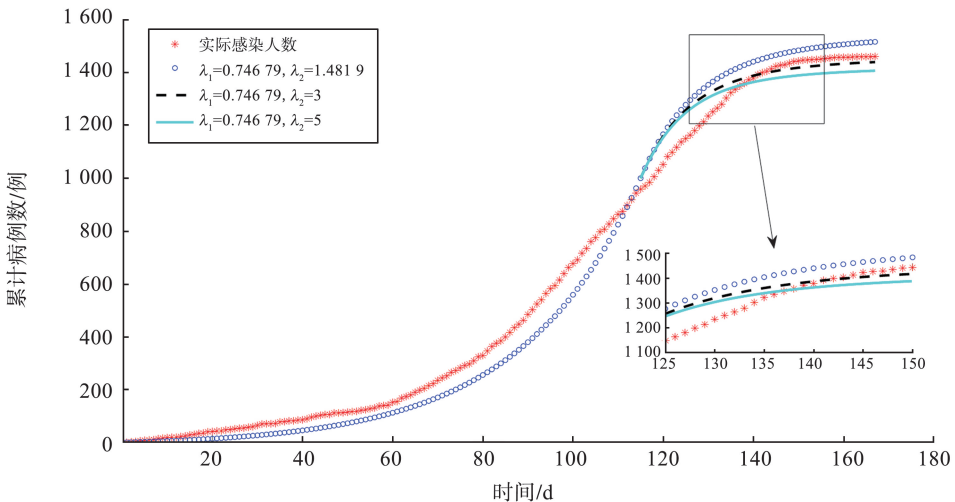


图 9 不同居家隔离强度对猴痘传播的影响

Fig.9 Effect of different intensities of home isolation on Mpx transmission

### 3 结论

本文基于中国猴痘传播及其防控的特点,利用统计学和动力学方法估计瞬时再生数和基本再生数,评估不同时期防控措施的效果。首先,基于泊松过程的贝叶斯计算方法估计了4月3日至9月16日中国猴痘瞬时再生数的变化情况,发现 $R_t$ 在7月26日以前基本维持在阈值1以上,表明在这段时间疫情处于暴发阶段;7月26日调整防控措施以后, $R_t$ 先维持在阈值1附近波动,直至8月7日, $R_t$ 下降至阈值1以下,且持续呈现下降趋势,表明调整防控措施后我国猴痘疫情得到有效控制。其次,为了评估防控措施的影响,针对猴痘疫情的特点,基于7月26日前的每日新增病例数据建立SEIQR模型,通过参数估计得到中国猴痘疫情初期的基本再生数为1.433,疫情初期染病者在医疗机构的隔离率约为0.42,说明单位时间内的隔离率并不是很高。基于26日之后数据建立SEI $Q_1$ Q $_2$ R模型,得到基本再生数 $R_0$ 为0.344,医疗机构的隔离率为0.75,居家隔离率为1.48(该阶段很多人出现症状立即就进行了隔离)。基于模型的结果,可以发现7月26日后患者的总体隔离率出现上升。最后,通过模拟在不同医疗机构隔离强度以及不同居家隔离强度下的累计病例,发现增强患者的隔离强度可以有效降低染病人数,当医疗机构隔离率为0.45和0.5时,累计病例明显减少,但疾病仍在传播。当医疗机构隔离率 $\lambda > 0.61406$ 时,疾病会趋于消失。这说明在猴痘传播的初期加强医疗隔离是非常必要的。在保持医疗隔离强度的情况下,宣传干预(加强居家隔离)也是防控猴痘传播的有效措施。

#### 参考文献:

- [1] 廖树心,张勇. 人感染猴痘病毒流行概况及其诊断和治疗研究进展[J]. 中国病毒病杂志,2023,13(4):304-309.  
LIAO Shuxin, ZHANG Yong. Epidemiologic situation of human infection with monkeypox virus and research progress in diagnosis and treatment[J]. Chinese Journal of Viral Diseases, 2023, 13(4):304-309.
- [2] 姜婷婷,陈祥生. 全球猴痘流行状况及趋势[J]. 中国麻风皮肤病杂志,2023,39(7):535-537.  
JIANG Tingting, CHEN Xiangsheng. Global epidemiology and trends of monkeypox[J]. China Journal of Leprosy and Skin Diseases, 2023, 39(7):535-537.
- [3] 景伟,房永祥,何小兵,等. 猴痘流行现状与外溢动物风险及我国的防控策略和措施[J]. 中国兽医科学,2024,54(1):101-108.  
JING Wei, FANG Yongxiang, HE Xiaobing, et al. Mpox epidemic status, risk of spilt to animals and its prevention strategies and measures in China[J]. Veterinary Science in China, 2024, 54(1):101-108.
- [4] PETER O J, KUMAR S, KUMARI N, et al. Transmission dynamics of monkeypox virus: a mathematical modelling approach [J]. Model Earth Syst Environ, 2022, 8(3):3423-3434.
- [5] MESADY A E, ELSONBATY A, ADEL W. On nonlinear dynamics of a fractional order monkeypox virus model[J]. Chaos, Solitons & Fractals, 2022, 164:112716.
- [6] JAMES O P, ABIODUN F O, MAYOWA M O, et al. Fractional order mathematical model of monkeypox transmission dynamics[J]. Physica Scripta, 2022, 97(8):084005.
- [7] YUAN Pei, TAN Yi, YANG Liu, et al. Assessing transmission risks and control strategy for monkeypox as an emerging zoonosis in a metropolitan area[J]. Journal of medical virology, 2023, 95(1):e28137.
- [8] ZHANG Xusheng, SEMA M, HAMISH M, et al. Transmission dynamics and effect of control measures on the 2022 outbreak of Mpox among gay, bisexual, and other men who have sex with men in England: a mathematical modelling study[J]. The Lancet Infectious Diseases, 2023, 24(1):65-74.
- [9] MIURA F, VAN E C E, BACKER J A, et al. Estimated incubation period for monkeypox cases confirmed in the Netherlands, May 2022[J]. European Communicable Disease Bulletin, 2022, 27(24):2200448.
- [10] MADEWELL Z J, CHARNIGA K, MASTERS N B, et al. Serial interval and incubation period estimates of monkeypox virus infection in 12 jurisdictions, United States, May-August 2022[J]. Emerging Infectious Diseases, 2023, 29(4):818-821.
- [11] GUZZETTA G, MAMMONE A, FERRARO F, et al. Early estimates of monkeypox incubation period, generation time, and reproduction number, Italy, May-June 2022[J]. Emerging Infectious Diseases, 2022, 28(10):2078-2081.
- [12] 欧阳泽龙,李锦琼,汪官婴,等. 基于时间序列模型的全局猴痘周新增病例预测[J/OL]. 中国动物传染病学报,2023. <https://doi.org/10.19958/j.cnki.cn31-2031/s.20230906.004>.

- OUYANG Zelong, LI Jinqiong, WANG Guanzhao, et al. Global prediction of weekly number of new Mpox cases based on a time series model[J/OL]. *Chinese Journal of Animal Infectious Diseases*, 2023. <https://doi.org/10.19958/j.cnki.cn31-2031/s.20230906.004>.
- [13] LIU Tuoyu, YANG Shan, LUO Boyu, et al. Anticipating the transmissibility of the 2022 Mpox outbreak[J]. *Journal of Medical Virology*, 2023, 95(3): e28683.
- [14] BALA D, HOSSAIN M S, GU N J, et al. Monkeynet: a robust deep convolutional neural network for monkeypox disease detection and classification[J]. *Neural Networks*, 2023, 161:757-775.
- [15] 郝艳荣. 几类传染病模型的稳定性研究[D]. 天津:天津师范大学,2023.  
HAO Yanrong. Stability studies of several infectious disease models[D]. Tianjin: Tianjin Normal University, 2023.
- [16] GAO Shan, ZENG Zan, ZHAI Yujia, et al. Driving effect of multiplex factors on Mpox in global high-risk region, implication for Mpox based on one health concept[J]. *One Health*, 2023, 17:100597.
- [17] World Health Organization (WHO). 2022—2023 Mpox outbreak: global trends[EB/OL]. (2023)[2024-07-08]. [https://worldhealthorg.shinyapps.io/mpx\\_global/](https://worldhealthorg.shinyapps.io/mpx_global/).
- [18] CORI A, FERGUSON N M, FRASER C, et al. A new framework and software to estimate time-varying reproduction numbers during epidemics[J]. *American Journal of Epidemiology*, 2013, 178(9):1505-1512.
- [19] 王姿月,张子卉,吴文学,等. 猴痘的诊断、预防和治疗[J]. *畜牧兽医学报*,2023,54(8):3195-3205.  
WANG Ziyue, ZHANG Zihui, WU Wenxue, et al. Monkeypox: diagnosis, prevention and treatments[J]. *Chinese Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2023, 54(8):3195-3205.
- [20] 蔡鹏,殷建华,张宏伟. 猴痘病原学、流行病学特征及其防控策略[J]. *上海预防医学*,2022,34(10):1044-1052.  
CAI Peng, YIN Jianhua, ZHANG Hongwei. Etiological and epidemiological characteristics of monkeypox and its prevention strategies[J]. *Shanghai Journal of Preventive Medicine*, 2022, 34(10):1044-1052.
- [21] 国家卫生健康委员会. 猴痘防控技术指南(2022年版)[J]. *中国病毒病杂志*,2022,12(4):245-254.  
National Health Commission of the People's Republic of China. Technical guidelines for monkeypox control in China (2022 version)[J]. *Chinese Journal of Viral Diseases*, 2022, 12(4):245-254.
- [22] 王文鑫,福军亮,王福生. 猴痘疫情现状及防控挑战[J]. *传染病信息*,2022,35(3):197-201.  
WANG Wenxin, FU Junliang, WANG Fusheng. Progression and challenges in prevention and control of monkeypox epidemic [J]. *Infectious Disease Information*, 2022, 35(3):197-201.
- [23] 笃梦雪,严明明,李蔓兮,等. 2023年9月中国需关注的突发公共卫生事件风险评估[J]. *疾病监测*,2023,38(9):1025-1028.  
ZHU Mengxue, YAN Mingming, LI Manxi, et al. Risk assessment of public health emergencies concerned in China, September 2023[J]. *Disease Surveillance*, 2023, 38(9):1025-1028.
- [24] 中国疾病预防控制中心. 关于印发猴痘防控方案的通知[EB/OL].(2023-07-26)[2024-07-26]. [https://www.chinacdc.cn/jkzt/crb/zl/szkb\\_13037/jswj/202307/t20230727\\_268170.html](https://www.chinacdc.cn/jkzt/crb/zl/szkb_13037/jswj/202307/t20230727_268170.html).  
Chinese Center for Disease Control and Prevention. Notice on the issuance of monkeypox prevention and control program[EB/OL]. (2023-07-26)[2024-07-26]. [https://www.chinacdc.cn/jkzt/crb/zl/szkb\\_13037/jswj/202307/t20230727\\_268170.html](https://www.chinacdc.cn/jkzt/crb/zl/szkb_13037/jswj/202307/t20230727_268170.html).

(编辑:胡春燕)