



疫情管控效果的一种定量化评估方法: 以COVID-19为例

王刚^{1,2,3}, 黄锬^{1,2,3}, 乔方利^{1,3,4*}

1. 自然资源部第一海洋研究所, 青岛 266061;
2. 自然资源部海洋环境科学与数值模拟重点实验室, 青岛 266061;
3. 青岛海洋科学与技术试点国家实验室区域海洋动力学与数值模拟功能实验室, 青岛 266237;
4. 空天地海一体化大数据应用技术国家工程实验室海洋大数据研究与应用中心, 青岛 266061

* 联系人, E-mail: qiaofl@fio.org.cn

2020-02-22 收稿, 2020-03-01 修回, 2020-03-01 接受, 2020-03-24 网络版发表
国家自然科学基金(41821004)和山东省自然科学基金(ZR2017MD011)资助

摘要 传染病的疫情传播过程符合广泛存在的自然增长率, 其中疫情增长率根据疫情的发展而动态变化. 近期提出的基于数据的疫情自然增长模型可以定量刻画传染病发展过程中动力过程的变化, 可用于揭示疫情发展的内在规律、快速准确地监测疫情的发展、定量评估管控的效果并预判疫情发展的态势. 新型冠状病毒肺炎(COVID-19)疫情发生后, 我国政府采取了一系列严格管控措施来控制疫情的蔓延, 但管控措施的效果尚无严格的量化分析. 采用疫情自然增长模型, 本研究提出了一种量化评估管控措施的方法, 并估算了无管控措施或管控推迟实施对现存感染者数量的影响. 首先根据典型时段的统计数据给出COVID-19在该时段的平均增长率; 然后根据平均增长率开展数值试验, 比较模型给出的现存感染者总数与实际统计数据的差异, 从而对管控效果进行定量评估. 结果显示, 如果政府对本次疫情未采取管控措施, 截至2020年2月18日全国现存感染者将达到1698万~7611万人. 如果全国严格管控推迟1天, 截至2月18日现存感染者数量将比实际统计数据高出2.7万人(其中湖北地区高出1.2万人); 若推迟7天则高出78.5万人(其中湖北地区高出49.3万人).

关键词 新型冠状病毒, 疫情增长率, 现存感染者, 自然增长模型

2019年12月武汉市发现可引起肺炎的不明新型冠状病毒(2019-nCoV), 最早出现的病例可追溯到12月1日^[1]. 2019年12月31日中国政府正式向世界卫生组织(WHO)提交了报告. 为遏制疫情的蔓延, 2020年1月23日武汉市实施“封城”管控, 全国也开始实施严格的管控措施. 2020年1月30日, WHO宣布新型冠状病毒肺炎疫情已构成“国际关注的突发公共卫生事件”(PHEIC). 2020年2月11日, WHO、国际病毒分类委员会分别将该新型冠状病毒肺炎和新型冠状病毒命名为“COVID-19”(corona virus disease 2019)和“SARS-CoV-2”(severe acute respiratory syndrome coronavirus 2).

COVID-19的传染力较强. 流行病学通常采用基本传染数 R_0 来描述疾病的传播率^[2,3], 它表示在无外力介入情况下, 平均每个受感染者将会把疾病传染给 R_0 个易感者. 该参数是传染病动力学的核心参数, 但由于该量值无法从实际数据得出, 传染病领域专家根据自己的经验进行估计, 所估计的量值差别很大. Li等人^[4]给出COVID-19的基本传染数为2.2. Zhao等人^[5]根据2020年1月26日之前的病例, 估算COVID-19的基本传染数在2.24~3.58之间. Wu等人^[6]给出相近的估计值为2.47~2.86. Sanche等人^[7]则认为COVID-19的基本传染数高达4.7~6.6. 作为对比, 1995年发生在刚果、2000年

引用格式: 王刚, 黄锬, 乔方利. 疫情管控效果的一种定量化评估方法: 以COVID-19为例. 科学通报, 2020, 65: 1009–1015

Wang G, Huang N E, Qiao F L. Quantitative evaluation on control measures for an epidemic: A case study of COVID-19 (in Chinese). Chin Sci Bull, 2020, 65: 1009–1015, doi: 10.1360/TB-2020-0159

发生在乌干达的两次埃博拉疫情,其基本传染数分别为1.83和1.34^[8]。2003年爆发的SARS疫情,其高峰时期的基本传染数约为1.75^[9]。据WHO 2010年公布的数据,SARS疫情涉及32个国家和地区,在全球累计造成8422例确诊病例。而基本传染数更高的COVID-19疫情,从2020年1月1日~2月18日,在49天时间里,即使在严格管控的情况下,已造成相当于SARS总规模13倍的确诊病例。*Nature*报道了一些研究组对COVID-19疫情的预测,新型冠状病毒最终感染者有可能达到数亿人(<https://www.nature.com/articles/d41586-020-00354-4>)。已有学者开始总结本次疫情所带来的教训,并对我国今后的防疫工作提出建议^[10]。

阻断疫情传播的最有效途径就是早发现、早隔离。我国政府于2020年1月23日开始实施的管控措施显著地抑制了疫情的蔓延。Maier和Brockmann^[11]发现,管控前后疫情增长模型中指数增长率发生了变化。Kucharski等人^[12]采用一个随机传播模式估计,管控实施一周后,疫情日传播数降到了管控实施一周前的一半以下。然而,如何定量评估管控措施的效果尚缺乏有效的方法。通常的疫情动力模型^[13,14]都需要调整多个参数。Huang和Qiao^[15]基于广泛存在的自然增长率提出了一种只包含一个参数的疫情动态传播模型。该模型中的参数疫情增长率由统计数据得到,它随着疫情的发展而动态变化,从而能够刻画疫情发展过程中动力特征的改变。这种改变能够体现疫情管控措施的效果。本研究采用中国政府公布的实际统计数据,根据Huang和Qiao^[15]提出的传染病动态传播模型来计算COVID-19疫情的增长率,并采用该模型定量评估中国政府的管控措施对这场疫情的影响。

1 定量评估方法

Huang和Qiao^[15]基于自然增长率,建立了如下疫情发展动力模型:

$$N(t_{k+1}) = N(t_k) \cdot e^{a(t_{k+1}) \cdot (t_{k+1} - t_k)}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

式中, t_{k+1} 和 t_k 为两个采样时间点,通常取相邻的两天; $N(t_{k+1})$ 和 $N(t_k)$ 是与 t_{k+1} 和 t_k 时刻对应的现存感染者数量。现存感染者数量指具有传染性的病例数量,一般可采用确诊病例数减去治愈病例以及死亡病例数。 $a(t_k)$ 为随时间变化的疫情增长率。

对式(1)两边取自然对数,可以得到疫情增长率的表达式:

$$a(t_{k+1}) = \ln(N(t_{k+1}) / N(t_k)) / (t_{k+1} - t_k), \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

相应地,疫情传播率定义为

$$c(t_k) = 1 + a(t_k), \quad k = 1, 2, \dots \quad (3)$$

采用2020年1月20日~2月18日国家卫生健康委员会(简称国家卫健委)公布的统计数据(http://www.nhc.gov.cn/xcs/yqtb/list_gzbd.shtml, 图1(a)), 根据式(2)计算出疫情传播率(图1(b))。

若传播率 $c(t_k) > 1$, 表示疫情还在蔓延中, 现存感染者数量持续增加; 若传播率 $c(t_k) \leq 1$, 则现存感染者总量达到峰值, 即疫情拐点出现。由图1(b)可知, 湖北以外全国其他地区的疫情拐点已于2020年2月12日出现, 全国的疫情拐定于2020年2月18日出现, 湖北的疫情2020年2月19日也已达到拐点。当然, 并不排除疫情的发展可能会出现一些振荡。从动态传播率的变化趋势来看, 控制措施整体有效地抑制了疫情的蔓延。

选定时间段, 在式(2)中代入起始和终止时间的病例统计数据, 就可以得到这段时间内的疫情平均增长率。我们选定几个典型的参考时段, 根据科技文献数据或国家卫健委公布的统计数据, 计算出相应的疫情增长率(表1)。下面对以上计算得到的疫情增长率分别进行讨论。

(i) 2019年12月10日~23日。Huang等人^[11]统计了2020年1月1日之前的41例病患数据。这41例中, 最早的在2019年12月1日发病, 但该病例与后续病例不存在流行病学联系, 不做考虑。12月10日出现第一个与海鲜市场有关的病例。到12月23日, 已经出现COVID-19感染者29例。我们认为, 2019年12月10日~23日这段时间COVID-19的传播符合自然增长模型, 平均增长率0.26可以反映疫情的自然传染速度。需要指出的是, 早期的病例样本较小, 这样的估计存在较大不确定性。

(ii) 2020年1月16日~25日。根据武汉市卫健委的公告, 2020年1月16日武汉市累计确诊病例45例; 根据国家卫健委公布的数据, 截至2020年1月25日, 全国现存感染病例为1870例(确诊1975例, 治愈49例, 死亡56例)。在式(2)中, 代入2020年1月16日和25日的统计数据, 则这段时间内疫情的平均增长率为0.46。需要说明的是, 起始时刻我们采用武汉市的统计数据, 少于全国实际病例数(例如深圳市2020年1月15日前已出现了14位病例)。考虑到Huang和Qiao^[15]的传染病增长模型中的起始数据为现存感染病例数而非确诊病例数, 我们这里以武汉市的确确诊病例数代表全国的现存感染病例

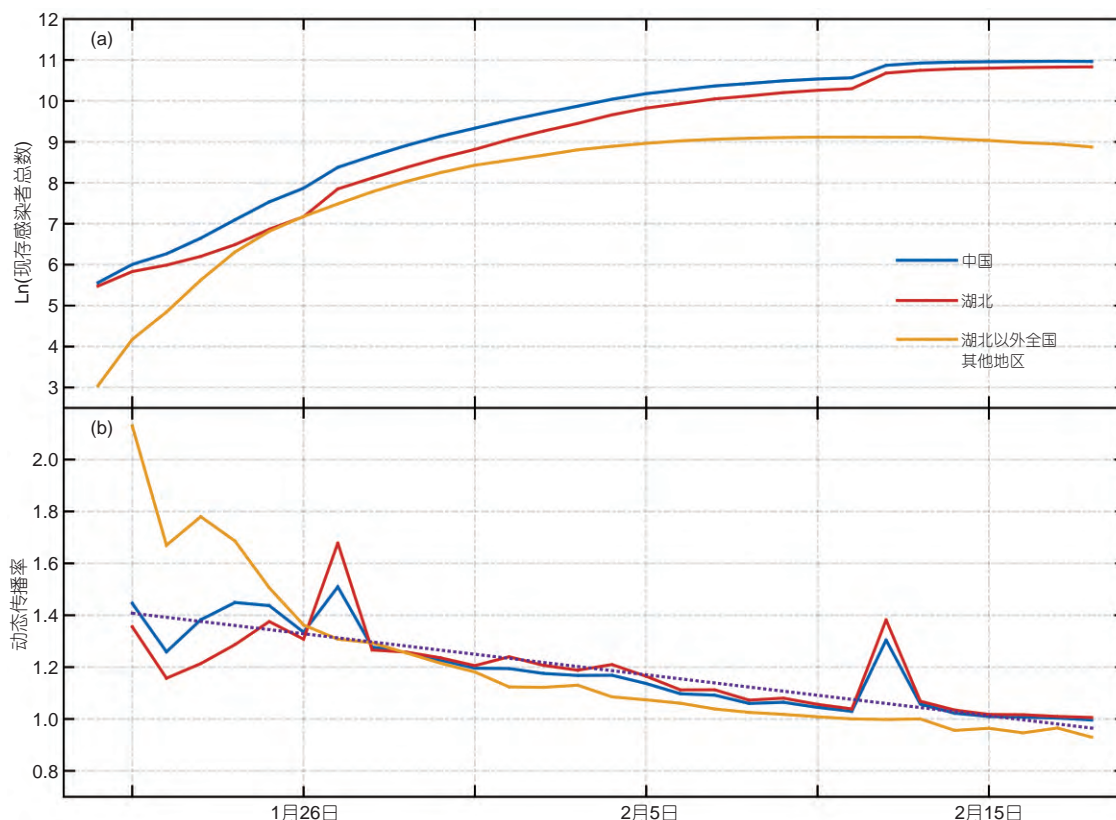


图1 2020年1月20日~2月18日COVID-19现存感染者总数的自然对数(a)以及疫情动态传播率(b). (b)中虚线为全国疫情传播率的线性拟合
Figure 1 The number of existing infected cases from January 20 to February 18, 2020 plotted on a semi-log coordinate (a) and the transmission rate of the COVID-19 epidemic (b). The dotted line in (b) is the best fitting of the transmission rate for the whole China

表1 典型时段的疫情增长率估计值

Table 1 Estimated transmission rate of the COVID-19 in typical periods

序号	时间段	初值	终值	数据来源	增长率
1	2019.12.10~2019.12.23	1	29	文献[1]	0.26
2	2020.1.16~2020.1.25	45	1870	国家卫健委	0.46
3	2020.1.20~2020.1.25	260	1870	国家卫健委(全国)	0.40
4	2020.1.20~2020.1.25	239	958	国家卫健委(湖北)	0.28
5	2020.1.20~2020.1.25	21	912	国家卫健委(湖北以外全国其他地区)	0.75

数,在一定程度上平衡了数据的误差.另外,直到2020年1月25日,全国各地报告的病例几乎全部源于武汉市.从疫情传播的角度考虑,1月25日全国的病例可以认为是由武汉病例传播而来.增长率0.46基本能够反映疫情在这段时间的自然传播.

这段时间的终点选择在2020年1月25日,而非武汉市“封城”的2020年1月23日,主要基于以下考虑: (1) 由于武汉市医疗条件不足以迅速诊断暴增的病例,故武汉封城时的病例统计并不完全; (2) 2020年1月24日是

除夕,全国各地的防控措施尚未完全就位,且当时对病毒的检测速度较慢,病例的确诊通常滞后1天.因此,我们将2020年1月25日作为参考时段终点.

(iii) 2020年1月20日~25日.根据国家卫健委的统计数据(图1),计算可得2020年1月21日~25日全国疫情平均增长率为0.40,湖北地区疫情增长率为0.28,湖北以外全国其他地区疫情增长率为0.75.

表1中后3个增长率的估算是采用同一时间段不同区域的数据.湖北地区的疫情增长率低于全国以及湖

北以外全国地区. 考虑到诊断速度的限制, 湖北地区累积的病例无法被及时确诊, 因而湖北的疫情增长率0.28应该是被低估的, 这也可以从图1(b)中湖北2020年1月27日增长率的异常升高所证实. 由于湖北地区的病例占到全国的90%以上, 因而全国的平均增长率估计值0.40也是偏低的. 湖北以外全国其他地区的增长率0.75远高于其他估计值, 这是因为所选时间段内, 全国各地的病例主要是由湖北地区输送, 本地感染者不多, 因而增长率0.75反映的并非由自然传染过程所导致的生长.

综合以上分析, 我们认为, 2019年12月23日之前, COVID-19疫情增长率约为0.26; 2020年1月20日之后到全国全面管控之前, 疫情增长率在0.40~0.46之间. 疫情增长率从2019年12月份的0.26上涨到2020年1月中下旬的0.46, 这与我国春节期间大型聚集活动和春运潮的外部环境是比较吻合的. 考虑到2020年2月中旬之前几乎全部是春节活动和春运高峰期, 若没有严格的管控, 0.40~0.46的增长率将保持较长时间.

2 管控效果的评估

2.1 管控措施的总体效果

因为截至2020年2月18日现存感染者会达到峰值, 标志着此次疫情的峰值, 所以如下评估会估计不同情况下截至2020年2月18日现存感染者的量值.

2020年1月中下旬, 疫情增长率为0.40~0.46. 武汉封城后, 全国各地都加强了管控, 疫情增长率呈下降趋势(图1(b)). 以2020年1月24日为起始参考时间, 假设疫情传播没有得到控制, 增长率维持在0.40~0.46之间, 则由式(1)可知, 到2020年2月18日, 全国现存感染者将在1698万~7611万人之间. 根据国家卫健委的统计数据, 2020年2月18日全国现存感染者为57789例. 由此可知, 从2020年1月24日~2月18日, 全国施行的严格管控措施使得1692万~7605万人免于遭受新型冠状病毒的感染.

假设春节相关活动和春运不会改变疫情的传播态势, 即从2020年1月24日以来, 疫情增长率保持在很低的0.26. 根据式(1), 到2020年2月18日, 全国现存感染者将达到51.3万人, 仍然远远高于实际统计数据.

2.2 管控推迟的逐日累积效应

我们分3个区域(全国、湖北、湖北以外的全国其他地区)来分析管控推迟实施将对疫情带来的影响. 仍然采用增长率模型来做估算. 模型分3个时间段估算:

2020年1月24日之前(实际管控开始之前)、实际管控与假定管控开始之间的时段、假定管控开始之后的时段.

在2020年1月24日之前, 现存感染者采用统计数据, 不做任何近似处理. 2020年1月25日至假定的管控开始日期之前, 增长率设为常数, 并采用式(1)推算该段时间的现存感染者数量. 这里不分区, 增长率统一采用2020年1月24日全国的疫情增长率0.45, 这个数值在我们之前估算的2020年1月份疫情增长率0.40~0.46之间. 我们不采用区域(全国、湖北、湖北以外的全国其他地区)各自的增长率, 是为了便于比较. 例如, 2020年1月24日湖北以外的全国其他地区的增长率是0.69, 若采用此数值, 由于湖北以外全国其他地区的增长率远高于全国或者湖北的增长率, 管控延迟若干天之后, 模型计算得到的湖北以外全国其他地区的现存感染者数量将超过全国的现存感染者数量, 这是不合理的.

假定的管控开始之后, 采用从2020年1月25日开始的实际增长率, 即, 不论管控推迟几天, 管控第一日采用1月25日的实际增长率, 第二日采用1月26日的实际增长率, 以此顺推. 这里不用更光滑的增长率的拟合曲线, 是因为湖北和全国的增长率在1月27日、2月12日有两个异常高值, 如果模型中用拟合值, 将得出“推迟管控开始日期, 现存感染者数量可能会减少”的不合理结论. 采用1月25日之后的增长率, 就表示不论管控何时开始, 增长率都会出现两个异常的峰值.

图2给出了假定管控推迟1~7天开始实施, 预估现存感染者数量比实际统计数据所增加的量值. 管控推迟, 对于全国或者湖北地区来说, 现存感染者数量将会随着管控推迟的时间而快速增加. 管控开始越晚, 现存感染者总数增加越快. 图2(a), (b)中, 当管控推迟不多于5天时, 累计现存感染者在2月12日之后出现一个先减少再增加的过程. 这是由于我们在模型中采用的管控开始之后的疫情增长率, 与实际日期并不对应, 导致1月12日湖北省以及全国确诊病例的大幅增加没有反映在模型所用的增长率中. 若全国严格管控推迟1天实施, 截至2月18日现存感染者数量将比实际统计数据高出2.7万人(其中湖北地区高出1.2万人); 若管控推迟7天则高出78.5万人(其中湖北地区高出49.3万人). 湖北地区的现存感染者数量占全国的比重将随着推迟时间的增加而升高. 实际的情况会比该估计更加严重, 因为现存感染者数量越大, 管控所需要调配的资源就会越多. 当整个社会都无法提供足够的资源作为防控体系的支撑时, 疫情将进入失控状态. 图2(c)所示的湖北以外全国

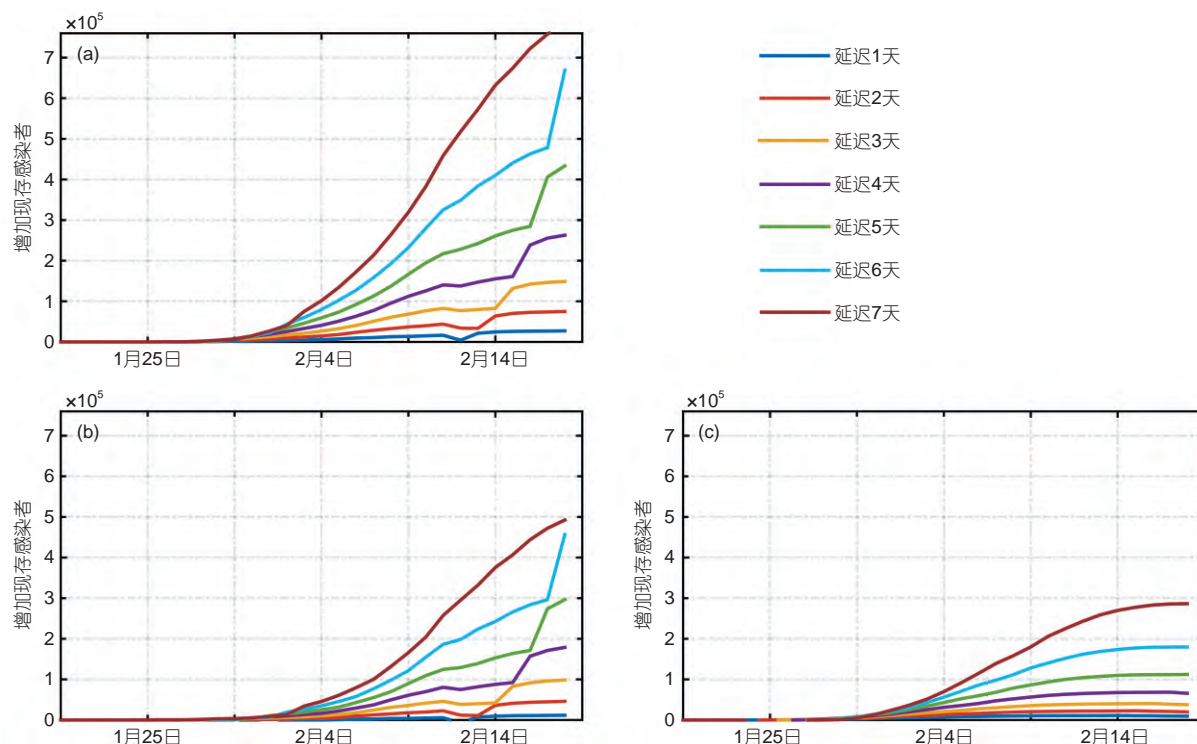


图2 从2020年1月24日开始, 管控延迟1~7天, 由疫情传播模型得到的现存感染者与实际统计数据相比的增加量。若严格管控推迟1天实施, 截至2020年2月18日全国现存感染者数量将比实际统计数据高出2.7万人(a), 其中湖北地区高出1.2万人(b), 湖北以外全国其他地区高出1.5万人(c); 若管控推迟7天, 则全国高出78.5万人, 其中湖北地区高出49.3万人

Figure 2 The difference of the existing infected case between model estimation and the reported. If the strict control measures were pushed back by one day (7 days), there would be 27 (785) thousand more existing infected cases than the reported in the whole China (a) as of February 18, 2020. Among it, 12 (493) thousand in Hubei Province (b) and 25 (292) thousand in China except Hubei (c)

其他地区, 模型预估现存感染者数量也随着管控时间的推迟而快速增加, 但增长速度并非线性的。

3 结论与讨论

Huang和Qiao^[15]的疫情自然增长模型中, 动态变化的自然增长率可由统计数据直接得到。我们选择了典型时段的统计数据, 采用疫情自然增长模型估算了不同的初始时间和初始条件下COVID-19疫情的增长率。2019年12月10日~23日, 全国疫情增长率约为0.26; 2020年1月16日~25日, 疫情增长率在0.40~0.46之间。

根据典型时段的疫情增长率, 采用疫情自然增长模型定量评估了不同时段全国管控对COVID-19疫情的控制效果。若没有采取管控措施, 疫情增长率保持

0.40~0.46, 则到2020年2月18日, 全国现存感染者将达到1698万~7611万人。即使疫情增长率仅为0.26, 全国现存感染者数量也将达到51.3万人, 远高于当前的5.8万人。

若管控措施推迟1~7天, 本研究进一步估算了现存感染者数量与实际统计数据的差值。管控措施推迟时间越长, 造成的现存感染者数量增加值将越大, 且增加速度随管控延迟的时间而加快。管控措施推迟至7天时, 预计到2020年2月18日, 现存感染者将是实际统计数据的13倍以上。

特别需要指出的是, 上述估计是保守的。由于现存感染者越多, 管控越困难, 因而如果管控时间延后, 则现存感染者将比模型估计的还要多, 管控效果也会更加不明显。

参考文献

- 1 Huang C, Wang Y, Li X, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. Lancet, 2020, doi: 10.1016/S0140-6736(20)30183-5
- 2 Jones J H. Notes on R_0 . California: Department of Anthropological Sciences, 2007

- 3 van den Driessche P, Watmough J. Further notes on the basic reproduction number. In: Allen L J S, Brauer F, Van den Driessche P, eds. *Mathematical Epidemiology*. Berlin, Herdelberg: Springer Press, 2008. 159–178
- 4 Li Q, Guan X, Wu P, et al. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-infected pneumonia. *N Engl J Med*, 2020, doi: 10.1056/NEJMoa2001316
- 5 Zhao S, Lin Q, Ran J, et al. Preliminary estimation of the basic reproduction number of novel coronavirus (2019-nCoV) in China, from 2019 to 2020: A data-driven analysis in the early phase of the outbreak. *Int J Infect Dis*, 2020, doi: 10.1016/j.ijid.2020.01.050
- 6 Wu J T, Leung K, Leung G M. Nowcasting and forecasting the potential domestic and international spread of the 2019-nCoV outbreak originating in Wuhan, China: A modelling study. *Lancet*, 2020, doi: 10.1016/S0140-6736(20)30260-9
- 7 Sanche S, Lin Y T, Xu C, et al. The novel coronavirus, 2019-nCoV, is highly contagious and more infectious than initially estimated. 2020, arXiv: 2002.03268.
- 8 Chowell G, Hengartner N W, Castillo-Chavez C, et al. The basic reproductive number of Ebola and the effects of public health measures: The cases of Congo and Uganda. *J Theor Biol*, 2004, 229: 119–126
- 9 Zhou Y, Ma Z, Brauer F. A discrete epidemic model for SARS transmission and control in China. *Math Comput Model*, 2004, 40: 1491–1506
- 10 Ding L, Cai W, Ding J Q, et al. An interim review of lessons from the Novel Coronavirus (SARS-CoV-2) outbreak in China (in Chinese). *Sci Sin Vitae*, 2020, doi: 10.1360/SSV-2020-0044 [丁蕾, 蔡伟, 丁健青, 等. 新型冠状病毒肺炎疫情下的思考. *中国科学: 生命科学*, 2020, doi: 10.1360/SSV-2020-0044]
- 11 Maier B F, Brockmann D. Effective containment explains sub-exponential growth in confirmed cases of recent COVID-19 outbreak in Mainland China. 2020, arXiv: 2002.07572v1.
- 12 Kucharski A J, Russell T W, Diamond C, et al. Early dynamics of transmission and control of COVID-19: A mathematical modelling study. *medRxiv*, 2020, doi: 10.1101/2020.01.31.20019901
- 13 Yan Y, Chen Y, Liu K J, et al. Modeling and prediction for the trend of outbreak of NCP based on a time-delay dynamic system (in Chinese). *Sci Sin Math*, 2020, 50: 385–392 [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. *中国科学: 数学*, 2020, 50: 385–392]
- 14 Wang X, Tang S Y, Chen Y, et al. When will be the resumption of work in Wuhan and its surrounding areas during COVID-19 epidemic? A data-driven network modeling analysis (in Chinese). *Sci Sin Math*, 2020, doi: 10.1360/SSM-2020-0037 [王霞, 唐三一, 陈勇, 等. 新型冠状病毒肺炎疫情期间武汉及周边地区何时复工? 数据驱动的网络模型分析. *中国科学: 数学*, 2020, doi: 10.1360/SSM-2020-0037]
- 15 Huang E N, Qiao F. A data driven time-dependent transmission rate for tracking an epidemic: A case study of 2019-nCov. *Sci Bull*, 2020, doi: 10.1016/j.scib.2020.02.005

Summary for “疫情管控效果的一种定量化评估方法：以COVID-19为例”

Quantitative evaluation on control measures for an epidemic: A case study of COVID-19

Gang Wang^{1,2,3}, Norden E. Huang^{1,2,3} & Fangli Qiao^{1,3,4*}

¹ First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China;

² Key Laboratory of Marine Science and Numerical Modeling, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China;

³ Laboratory for Regional Oceanography and Numerical Modeling, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China;

⁴ Center for Ocean Big Data Research and Applications, National Engineering Laboratory for Integrated Aero-Space-Ground-Ocean Big Data Application Technology, Qingdao 266061, China

* Corresponding author, E-mail: qiaofl@fio.org.cn

The spread of an epidemic should be a phenomenon governed by the natural growth law: More infected beget more infections. This basic rule would be useful especially when an outbreak is caused by a novel virus with its basic characteristics full of unknowns so much that there would be too many uncertainties that would be impossible for anyone to run the traditional epidemiological model meaningfully. The natural growth law does not depend on the detailed characteristics of the virus. When it is employed, a transmission rate can be defined and determined directly from clinical field data, which can change following the course of the epidemic development. Such a data driven natural growth model has been developed to track the development for any epidemic. It can yield useful information on the propagation pattern of the epidemic dynamically. The transmission rate so determined is sensitive enough not only to track the course of the epidemic but also to reveal the effects of control measures quantitatively. Importantly, it offers the potential to make predictions for epidemic management. In December 2019, a severe epidemic, the novel coronavirus epidemic, now designated as the COVID-19, broke out in Wuhan, China. It spread quickly in and around Wuhan. To complicate the situation, the outbreak initial period also coincided with the travel peak related with the Spring Festival. To prevent its spreading, Chinese government has instituted strict quarantine by lockdown the City and the surrounding Hubei Province. This drastic quarantine measure seemed to have slowed down the spread of the COVID-19 markedly. However, to evaluate the control effects quantitatively remains a challenge. In this paper, we propose to quantify the effectiveness of the quarantine using the natural growth model. Based on the model, we first estimated the transmission rates of the COVID-19 for different typical periods as follows: In December 2019, the transmission rate is about 0.26; in the late January 2020, it is between 0.40 and 0.46. Therefore, if the strict quarantine measures had not been instituted for the epidemic at all, 16.98 million to 76.11 million people would have been infected under the transmission rate between 0.40 and 0.46, as of February 18, 2020, according to the model. Even for a very low transmission rate as 0.26, there would have been 513 thousand infected as of February 18, 2020, far greater than the actual data of some 58 thousand reported by the Chinese National Health Commission. The model can also be used to estimate the consequence of putting off the control measures. We conducted a hypothetical study as follows. We divided the development of the epidemic into three stages: Before January 24, 2020, the infection grew as the actual situation does; from January 25, 2020 to the day before the supposed date of the start of the control measures, the infection grew with a transmission rate of 0.45; from the supposed date of the start of the control measure onwards, the infection took the actual transmission rate starting from January 25 on. Our model results indicate that the more days delayed for the quarantine measures, the faster increase of the infections. If the strict control measures were pushed back by one day (or 7 days), there would be 27 (or 785) thousand more infected cases than the reported as of February 18, 2020 in the whole China, in which 12 (or 493) thousand are in the Hubei Province. The above estimation is quite conservative. Less infected is easier to control; therefore, putting the measure control off we will have even more infected than estimated that would made the epidemic even harder to contain.

novel coronavirus, transmission rate of an epidemic, existing infected case, natural growth model

doi: 10.1360/TB-2020-0159