

2020年3月4日

新型冠状病毒肺炎疫情非药物性干预措施的效果分析

Effect of non-pharmaceutical interventions for containing the COVID-19 outbreak

Shengjie Lai^{1*}, Nick W Ruktanonchai^{1*}, Liangcai Zhou², Olivia Prosper³, Wei Luo^{4,5}, Jessica R Floyd¹, Amy Wesolowski⁶, Chi Zhang⁷, Xiangjun Du⁷, Hongjie Yu⁸, and Andrew J Tatem¹

¹WorldPop, School of Geography and Environmental Science, University of Southampton, UK

²Wuhan Center for Disease Control and Prevention, Wuhan, Hubei Province, China

³Department of Mathematics, University of Tennessee, Knoxville, TN, USA

⁴Computational Health Informatics Program, Boston Children's Hospital, Boston, MA, USA

⁵Department of Pediatrics, Harvard Medical School, Boston, MA, USA

⁶Department of Epidemiology, Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health, Baltimore, MD, USA

⁷School of Public Health (Shenzhen), Sun Yat-sen University, Shenzhen, China

⁸School of Public Health, Fudan University & Key Laboratory of Public Health Safety, Ministry of Education, Shanghai, China

*These authors contributed equally to this report.

通讯作者: Shengjie Lai / 赖圣杰 (Shengjie.Lai@soton.ac.uk)

Andrew J Tatem (A.J.Tatem@soton.ac.uk)

报告内容概述

研究背景

针对新型冠状病毒，虽然目前尚无特异性的药物和疫苗，然而中国积极、果断采取了以非药物性干预措施（non-pharmaceutical interventions, NPIs）为主的防控策略，有效遏制了这一新的呼吸道病原体的迅速蔓延，用较短的时间使全国新冠肺炎疫情快速下降¹⁻⁴。这些非药物干预措施主要包括：1）限制人员流动（如武汉“封城”和省际、城际交通限制等减少病毒跨区域传播的措施）；2）增加人际距离，减少人员接触（如延长春节假期、延迟企业复工和学校开学、取消大型活动、改善个人卫生行为等）；3）及早发现和隔离病例（如病例发现与隔离、密切接触者追踪与管理、人员检疫）等⁴。目前中国的疫情防控已取得了显著成效，然而仍需要尽快对这些公共卫生干预措施的有效性开展定量研究，评估不同措施的效果及其干预时机，以为全球其他国家及时、有效地应对新冠肺炎疫情¹提供科学证据。

研究方法和资料

本研究建立了基于人口流动的新型冠状病毒 SEIR（susceptible-exposed-infectious-removed）时空传播动力学模型，模拟中国各城市之间和内部的疫情发展情况，评估不同干预措施的作用，并预测全国在调整防控策略后，下一阶段疫情发展趋势和防控重点。模型采用武汉市疫情初期的流行病学参数⁵，构建未采取非药物性干预措施时新冠病毒传播的过程。为了测量疫情发生期间不同干预措施的变化并纳入模型，基于公开报道的数据，本研究收集了各县（区）首例病例的发病和报告日期，分析病例发病至报告天数的每日变化情况，作为病例发现和隔离的及时性指标；基于往年和接近实时的百度人口迁徙数据⁶，量化疫情发生期间各城市限制人员流出的情况，并计算全国人员流动与往年正常情况相比的下降比例，作为增加人际距离、减少人员接触的间接指标（图 1）。本研究采用各地区报告的病例数评估模型的效果，并开展一系列敏感性分析，测试模型参数的变化对研究结果的影响。

主要结果

本研究估计，截至 2020 年 2 月 29 日，中国内地各省份共有新冠病毒感染者 114,325 例（四分位间距 IQR: 76,776 - 164,576）。估计的流行曲线与各地区的流行趋势一致，疫情的高峰时间主要在 1 月 24 日至 27 日左右（表 1 和图 2）。估计的结果与各省报告的病例数高度相关（ $p < 0.001$, $R^2 = 0.86$ ）

（图 3）。此外，与已报告病例的地市范围相比（图 4），模型估计的灵敏度为 91%（280/308）、特异度为 69%（22/32）。

如果没有采取目前的干预措施，截至 2 月底全国的新冠肺炎病例会增加 67 倍（IQR: 44-94），达到 770 万人，其中武汉市增加 51 倍（IQR 33 - 71），湖北其他地市会增加 92 倍（IQR: 58 - 133），而其他省份则增加到 125 倍（IQR: 77 - 180）。然而，不同干预措施的效果有所不同（表 1）。首先，及早发现和隔离病例可以快速阻断病毒传播，防止更多的感染；其次，减少人群接触、增加人际距离，从长期来看，可以避免更多病例的出现；再者，限制人员出行虽未能明显减少总体的病例数量，但减少从武汉输出的感染人数，避免病毒传播到更大的范围，减轻了其他地区防控的压力（图 5）。总体上，综合实施以上各类干预措施，能够取得更好、更迅速的防控效果。

从防控及时性上来看，如果现有干预措施比实际时间晚开展 1 周、2 周和 3 周，全国病例数将分别增加至 3 倍、7 倍和 18 倍（表 1 和图 6）。然而，如果可以提前 1 周、2 周和 3 周实施，则病例数可以分别减少 66%、86% 和 95%。此外，从 2020 年 2 月 17 日开始，中国在努力遏制疫情传播的同时，也正在有序取消人员出行限制，逐步恢复经济、教育和社会等各部门的日常服务和生产活动。然而，如果人际距离和接触恢复到正常水平，则疫情可能重新上升；但如果保持 2 月 17 日的人际距离和接触水平，则湖北省的疫情在 3 月底可能达到很低的水平（<10 例/日），而全国其他省份可在 3 月初达到每日少于 10 例病例（不含境外输入性病例）。因此在未来几个月内，中国应继续实施增加人际距离、减少人员接触的干预措施，以防止疫情出现反弹（图 6）。

主要结论

中国采取了积极的、强有力的综合性的非药物性干预措施，并在全国不同地区和环境均取得显著效果，有效地阻断了新型冠状病毒的传播，遏制了疫情的进一步扩散，为全球新冠病毒的防控争取了宝贵的时间。然而，不同干预措施的效果各不相同，及早采取病例发现、隔离和增加人际距离是最有效的。中国应继续实施增加人际距离、减少人员接触的干预措施，采取基于科学、风险研判和分层分级的精准防控策略，迅速应对和处置再次出行的新发病例或聚集性疫情，避免疫情出现反弹。目前，新型冠状病毒正快速在全球蔓延，考虑到全球防控的机会窗口（window of opportunity）正在缩小，各国应积极制定、采取并及时调整非药物性干预策略，以最大程度地减少对健康、社会和经济的影 响^{7,8}。

报告全文见 https://www.worldpop.org/events/COVID_NPI

主要参考文献

1. World Health Organization. Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). 2020. <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf> (accessed 1 March 2020).
2. World Health Organization. Press Conference of WHO-China Joint Mission on COVID-19. 2020. https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/transcripts/joint-mission-press-conference-script-english-final.pdf?sfvrsn=51c90b9e_2 (accessed 26 February 2020).
3. Novel Coronavirus Pneumonia Emergency Response Epidemiology Team. The epidemiological characteristics of an outbreak of 2019 novel coronavirus diseases (COVID-19) in China. *Chinese Journal of Epidemiology* 2020; 41(2): 145-51. doi: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2020.02.003
4. Chen W, Wang Q, Li YQ, et al. Early containment strategies and core measures for prevention and control of novel coronavirus pneumonia in China. *Chinese Journal of Preventive Medicine* 2020; 54(3): 1-6. doi: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2020.03.003
5. 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
6. Baidu Migration. <https://qianxi.baidu.com/> (accessed 8 February 2020).
7. World Health Organization. Novel coronavirus (2019-nCoV). 2020. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019> (accessed 29 February 2020).
8. World Health Organization. Coronavirus Disease (COVID-19) Press Conference, 21 February 2020. 2020. https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/transcripts/who-audio-emergencies-coronavirus-full-press-conference-21feb2020-final.pdf?sfvrsn=954f8ec7_2 (accessed 23 February 2020).

表 1. 截至 2020 年 2 月 29 日，全国报告的新型冠状肺炎病例数和模型估计的不同防控措施下病例数量

采取的措施和时间	武汉市	湖北其他地市	其他省份*	全国*
基于当前的防控措施				
报告病例数 (%)**	49,122 (62)	17,785 (22)	12,917 (16)	79,824 (100)
估计病例数的中位数 (%)	78,910 (69)	18,503 (16)	16,912 (15)	114,325 (100)
四分位数间距	(51,952 - 111,280)	(11,029 - 28,685)	(9,499 - 27,033)	(76,776 - 164,576)
估计高峰时间	1 月 25 - 27 日	1 月 24 - 26 日	1 月 24 - 26 日	1 月 25 - 27 日
若未及时采取防控措施，估计可能出现的病例是当前情况的几倍***				
晚 1 周	2.4 (1.6 - 3.5)	3.1 (1.8 - 4.6)	3.3 (2 - 5.4)	2.6 (1.8 - 3.8)
晚 2 周	5.8 (4.0 - 8.6)	8.6 (5.3 - 12.8)	9.4 (6.1 - 14.6)	6.7 (4.6 - 10.0)
晚 3 周	15.1 (9 - 21.1)	22.6 (13.5 - 33.9)	27.9 (17.5 - 42.8)	17.6 (11.2 - 25.5)
若进一步提早采取防控措施，能够预防的当前病例百分比***				
提前 1 周	61 (45 - 79)	71 (55 - 86)	78 (62 - 90)	66 (50 - 82)
提前 2 周	84 (78 - 89)	90 (82 - 94)	91 (84 - 95)	86 (81 - 90)
提前 3 周	94 (92 - 96)	97 (95 - 99)	98 (97 - 99)	95 (93 - 97)
如下列情况下，估计可能出现的病例是当前情况的几倍***				
1. 未限制城际人员流动	1.0 (0.6 - 1.3)	1.1 (0.7 - 1.7)	1.1 (0.7 - 1.7)	1.0 (0.6 - 1.4)
2. 未采取减少人际接触的措施	2.5 (1.7 - 3.7)	2.6 (1.5 - 4.2)	2.4 (1.2 - 4.0)	2.6 (1.7 - 3.7)
3. 未及早发现和隔离病例	5.0 (3.3 - 6.9)	5.6 (3.2 - 8.4)	5.1 (2.5 - 8.4)	5.0 (3.3 - 7.1)
以上措施，均未采取	51.4 (33.2 - 71.2)	91.6 (57.6 - 132.5)	124.7 (77.4 - 180)	67.3 (43.7 - 93.7)

*不含港澳台地区数据。 **数据来自国家卫健委网站。 ***与当前措施下的估计病例中位数相比。表中提供了估计值的中位数和四分位间距。

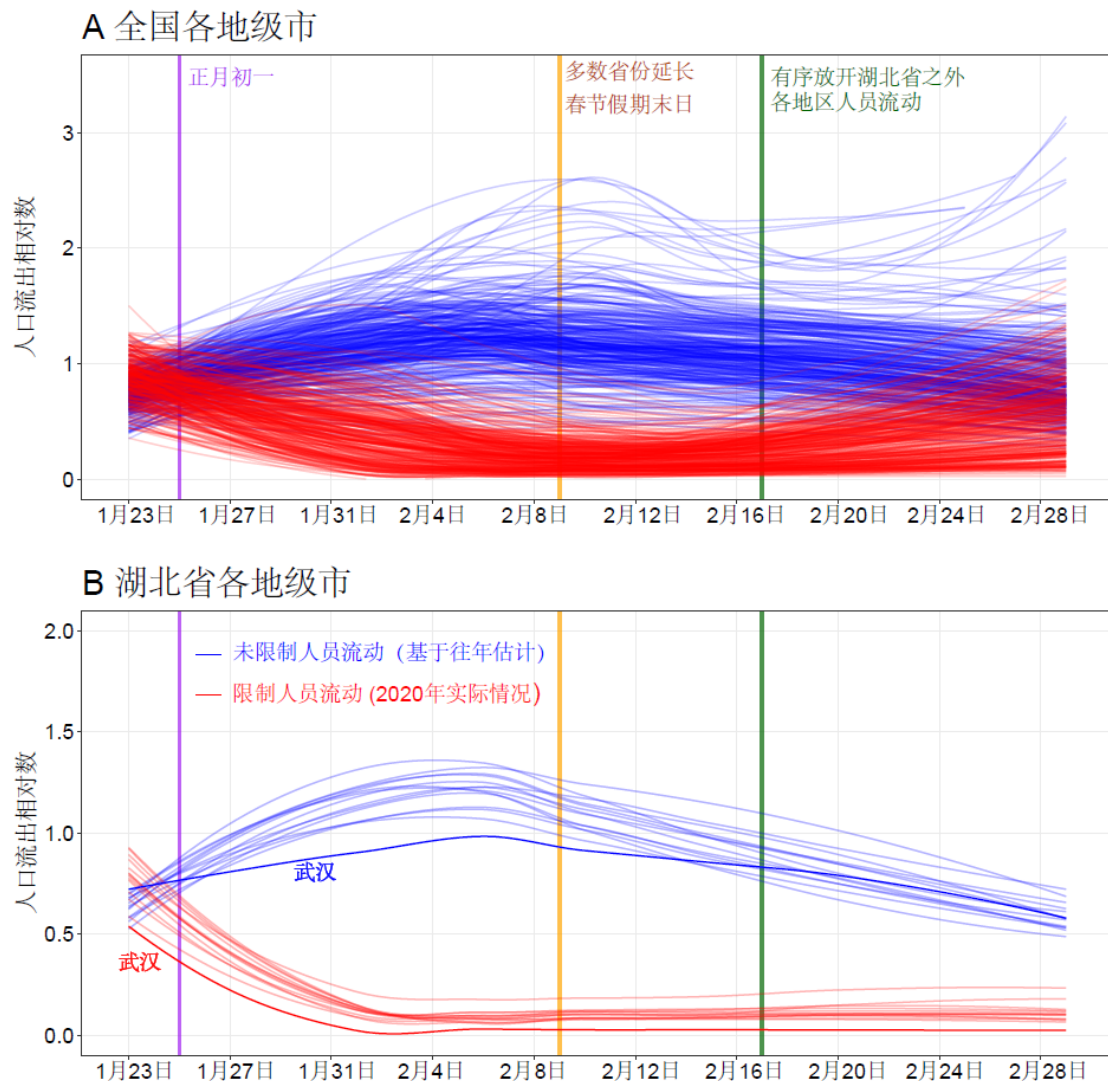


图 1. 2020 年 1 月 23 日至 2 月 29 日和往年春运同期全国各地市人员流出趋势

基于百度人口迁徙数据，为比较不同年度和地区的人员流动趋势，将每日人员流出相对数除以 1 月 20-22 日（历史同期的腊月二十六至二十八）的平均人员流出数量进行标化。每条曲线代表一个城市，采用 LOESS（locally estimated scatterplot smoothing）回归方法对曲线进行平滑处理。

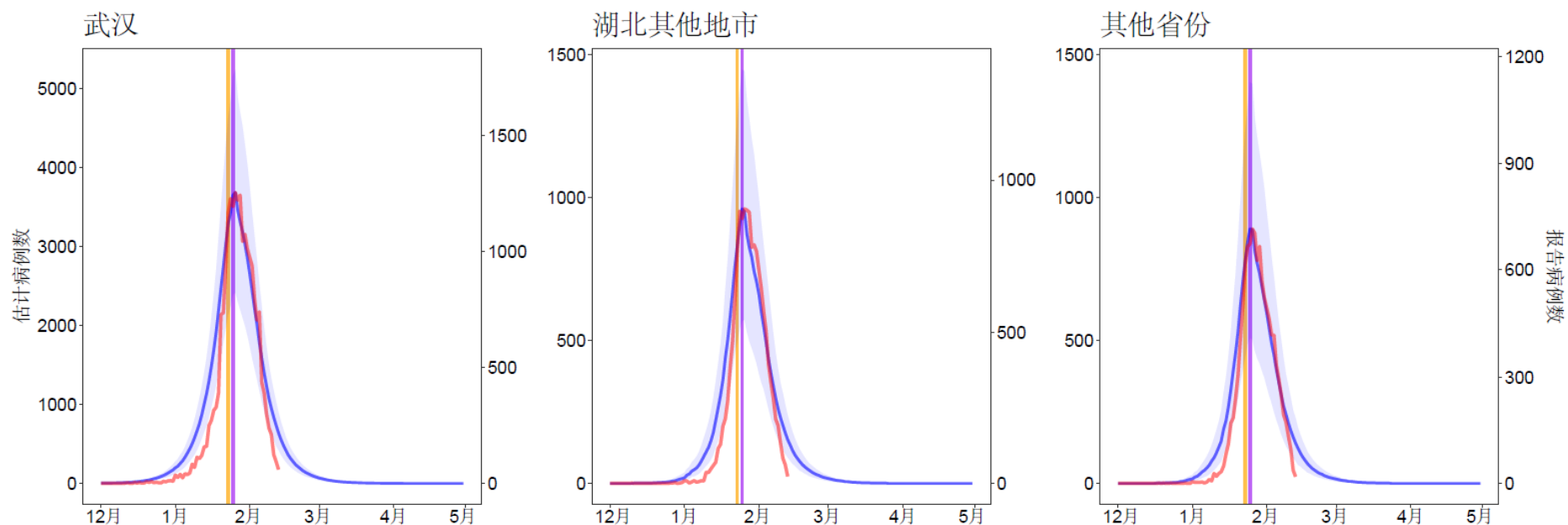


图 2. 全国各地区报告的新冠肺炎疫情发病曲线（红色）和模型估计的流行曲线（蓝色）

橙色竖线表示武汉“封城”和全国开始逐步采取限制人员流动的时间；紫色竖线表示正月初一。呈现的模型估计结果为中位数和四分位间距。

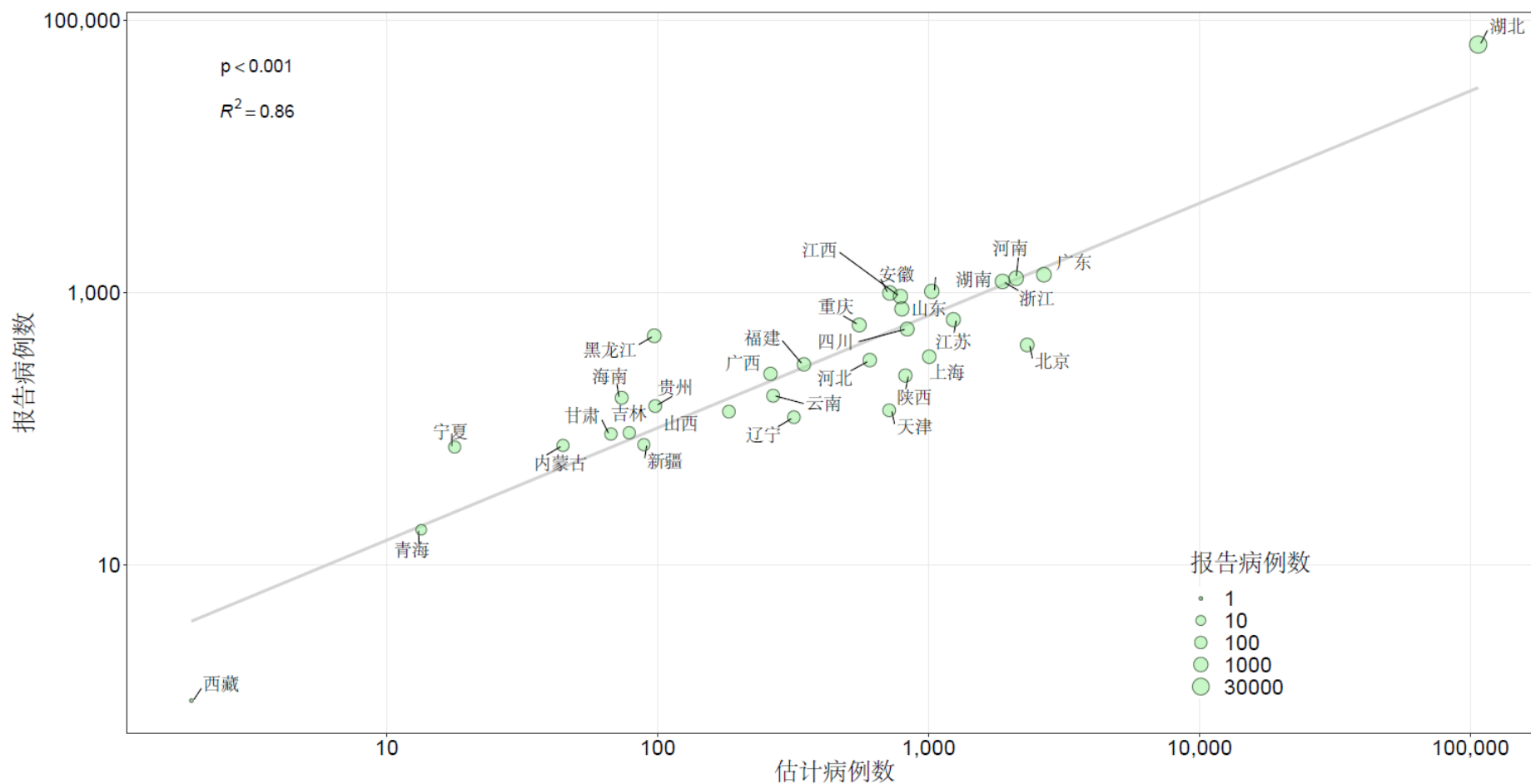


图 3. 截至 2020 年 2 月 29 日，全国内地各省份报告的新冠肺炎病例数与模型估计的病例数比较

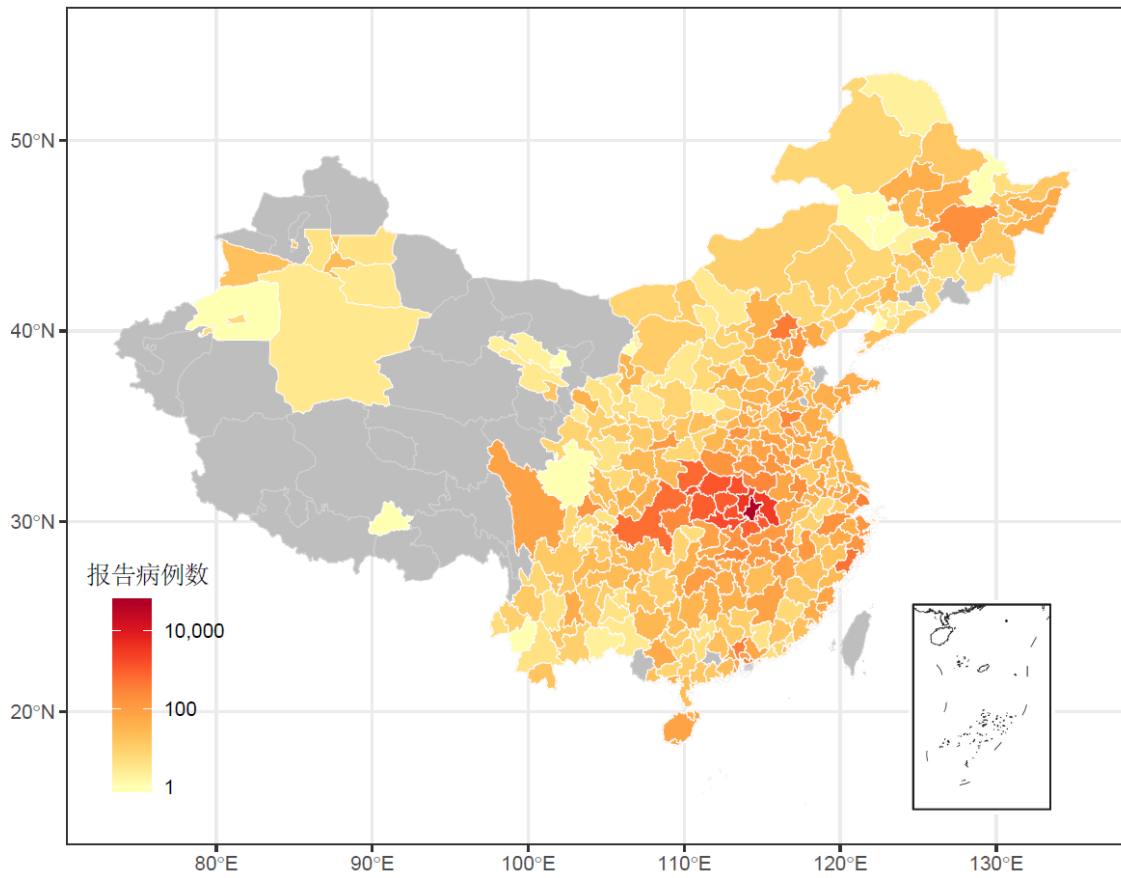


图 4. 截至 2020 年 2 月 29 日，全国内地省份各地市报告新冠肺炎病例的分布

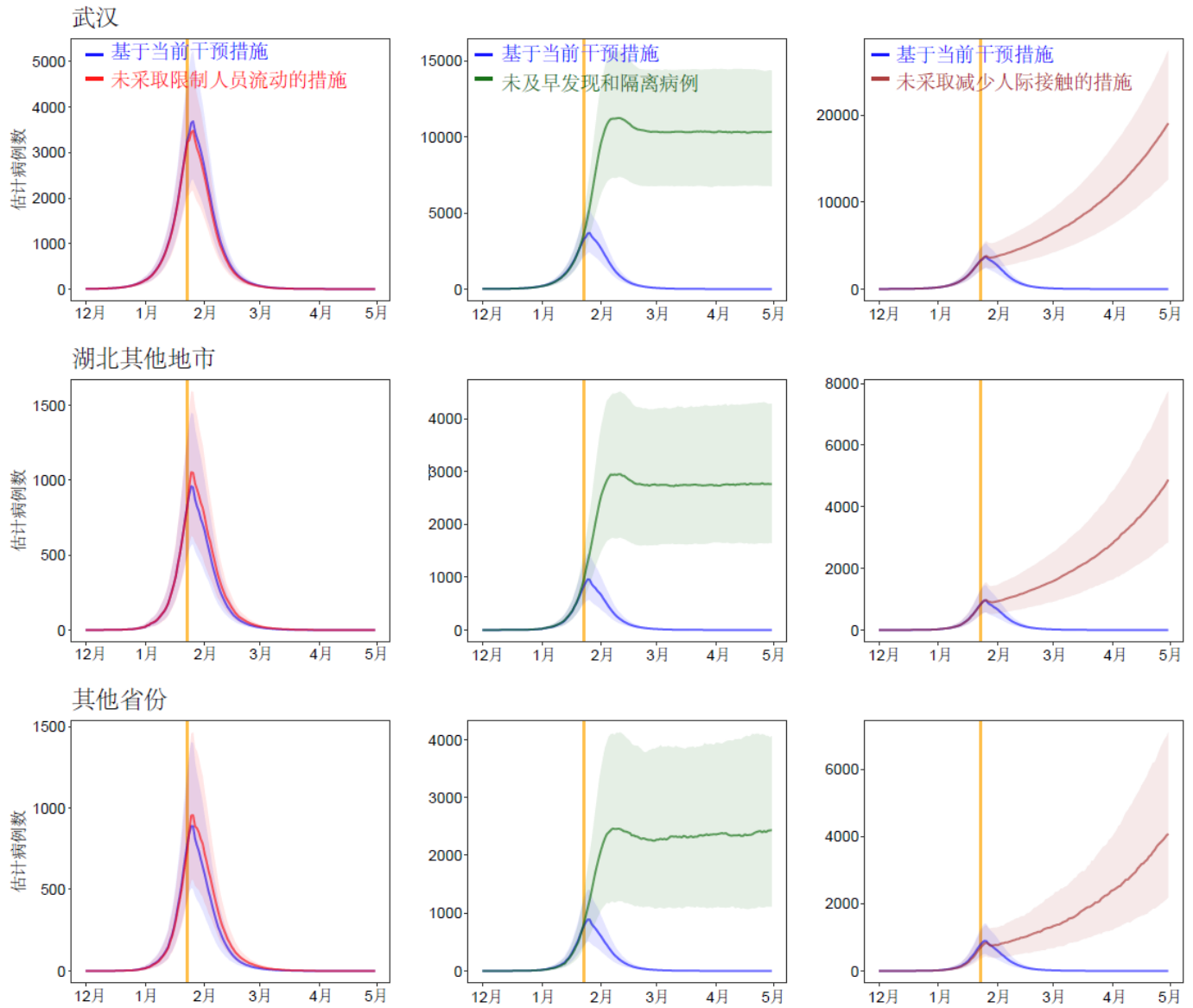


图 5. 模型估计不同地区和不同防控措施下新冠肺炎疫情可能的发展趋势

蓝色表示在当前措施下的疫情趋势。橙色竖线表示武汉“封城”和全国开始逐步采取限制人员流动的时间。呈现的模型估计结果为中位数和四分位间距。

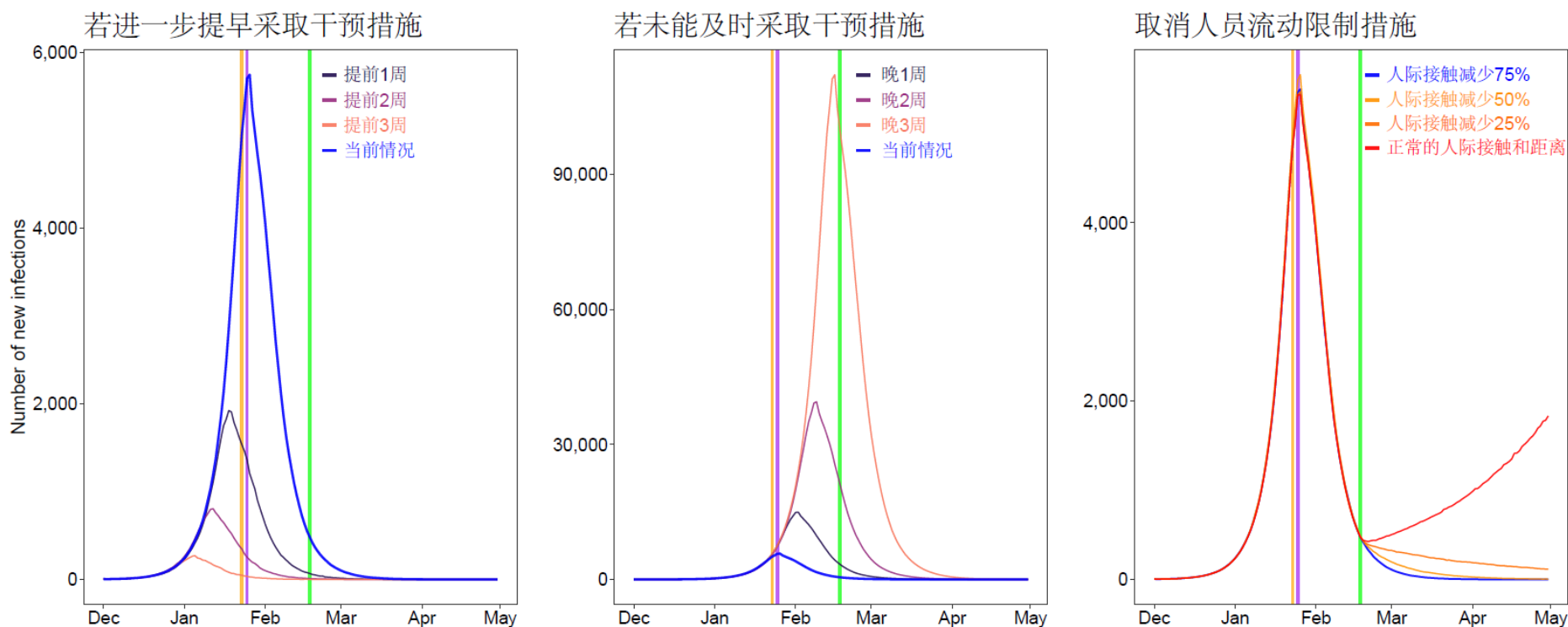


图 6. 模型估计在不同的防控及时性和取消人员流动限制措施下新冠肺炎疫情可能的发展趋势

橙色竖线表示武汉“封城”和全国开始逐步采取限制人员流动的时间。紫色竖线表示正月初一。蓝色表示在当前措施下的疫情趋势。呈现的模型估计曲线为中位数。自 2 月 17 日以来，全国逐步有序取消湖北省之外地区的人员流动限制措施。