

· 新型冠状病毒肺炎疫情防控 ·

广东省新型冠状病毒肺炎输入风险评估与预警

胡建雄¹ 刘涛¹ 肖建鹏¹ 何冠豪¹ 容祖华¹ 殷李华¹ 万东华¹ 曾韦霖¹ 龚德鑫¹
郭凌川¹ 朱志华¹ 曾丽连¹ 康敏² 宋铁² 钟豪杰² 何剑峰² 孙立梅² 李艳² 马文军¹

¹广东省疾病预防控制中心 广东省公共卫生研究院, 广州 511430; ²广东省疾病预防控制中心, 广州 511430

通信作者: 马文军, Email: mawj@gdiph.org.cn

【摘要】目的 评估广东省各市新型冠状病毒的疫情输入风险, 并进行短期风险预警。**方法** 获取截至2020年2月25日广东省21个地级市和其他各省报告病例数及百度迁徙指数, 计算广东省各城市的累计疫情输入风险指数, 对输入风险指数与病例报告数进行相关性分析以确定滞后时间, 最后根据风险指数划分疫情输入风险等级。**结果** 广东省累计报告确诊病例1 347例, 90.0%的病例聚集在珠三角地区。广东省平均每天的疫情输入风险指数为44.03。在各市的输入风险来源中, 湛江市的最大风险来自海南省, 其他市均来自湖北省, 广东省的相邻省份也有较大影响。广东省滞后4 d的疫情输入风险指数与每日新增病报告例数的相关性最高($r=0.73$)。各市累计4 d的风险预警显示, 未来4 d东莞、深圳、中山、广州、佛山和惠州市具有高输入风险, 累计输入风险指数分别为38.85、21.59、11.67、11.25、6.19和5.92, 最高风险仍来源于湖北省。**结论** 广东省外来人口较多的城市具有较高的疫情输入风险, 湖北省和广东省的邻近省份是输入疫情的主要省份。

【关键词】 新型冠状病毒肺炎; 风险评估; 预警

基金项目: 广东省科技计划(2018B020207006、2019B020208005、2019B111103001); 广州市科技计划(201804010383); 广东省医学科研基金(A2018462)

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20200226-00190

Risk assessment and early warning of imported COVID-19 in Guangdong province

Hu Jianxiong¹, Liu Tao¹, Xiao Jianpeng¹, He Guan hao¹, Rong Zuhua¹, Yin Lihua¹, Wan Donghua¹, Zeng Weilin¹, Gong Dexin¹, Guo Lingchuan¹, Zhu Zhihua¹, Zeng Lilian¹, Kang Min², Song Tie², Zhong Haojie², He Jianfeng², Sun Limei², Li Yan², Ma Wenjun¹

¹Guangdong Provincial Institute of Public Health, Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou 511430, China; ²Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention Guangzhou 511430, China

Corresponding author: Ma Wenjun, Email: mawj@gdiph.org.cn

【Abstract】Objective To assess the imported risk of COVID-19 in Guangdong province and its cities, and conduct early warning. **Methods** Data of reported COVID-19 cases and Baidu Migration Index of 21 cities in Guangdong province and other provinces of China as of February 25, 2020 were collected. The imported risk index of each city in Guangdong province were calculated, and then correlation analysis was performed between reported cases and the imported risk index to identify lag time. Finally, we classified the early warning levels of epidemic by imported risk index. **Results** A total of 1 347 confirmed cases were reported in Guangdong province, and 90.0% of the cases were clustered in the Pearl River Delta region. The average daily imported risk index of Guangdong was 44.03. Among the imported risk sources of each city, the highest risk of almost all cities came from Hubei province, except for Zhanjiang from Hainan province. In addition, the neighboring provinces of Guangdong province also had a greater impact. The correlation between the imported risk index with a lag of 4 days and the daily reported cases was the strongest (correlation coefficient: 0.73). The early warning base on cumulative 4-day risk of each city showed that Dongguan, Shenzhen, Zhongshan, Guangzhou, Foshan and Huizhou have high imported risks in the next 4 days, with imported risk indexes of 38.85, 21.59, 11.67, 11.25, 6.19 and 5.92, and the highest risk still comes from Hubei province. **Conclusions** Cities with a large number of migrants in Guangdong province have a higher

risk of import. Hubei province and neighboring provinces in Guangdong province are the main source of the imported risk. Each city must strengthen the health management of migrants in high-risk provinces and reduce the imported risk of Guangdong province.

【Key words】 COVID-19; Risk assessment; Early warning

Fund programs: Science and Technology Program of Guangdong Province (2018B020207006, 2019B020208005, 2019B111103001); Guangzhou Science and Technology Plan Project (201804010383); Guangdong Medical Research Foundation (A2018462)

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20200226-00190

2019 年 12 月 31 日,武汉市卫生健康委员会首次通报了 27 例“不明原因感染肺炎”^[1]。2020 年 1 月 7 日确定导致该肺炎的病原体为新型冠状病毒^[2], WHO 在 2 月 11 日将疾病正式命名为新型冠状病毒肺炎(COVID-19)^[3]。COVID-19 在人群中具有较强的传染性,可能高于严重急性呼吸综合征和中东呼吸综合征^[4-6],我国将其纳入法定乙类传染病管理,并采取甲类传染病的预防控制措施^[7]。截至 2020 年 2 月 25 日 24:00,全国 34 个省(自治区、直辖市、特别行政区)累计报告 COVID-19 确诊病例 78 190 例,其中广东省 1 347 例,是湖北省外累计病例数最多的省份^[8-9]。已有研究显示,各省份疫情的严重程度受到湖北省人口流入的影响,广东省疫情输入风险较高^[10]。尤其是广东省当前处于全面复工复产阶段,人口输入规模较大,输入疫情的风险可能增高。本研究结合 21 个城市的人口迁入和输入疫情的省份报告病例数情况,对广东省各地级市疫情的输入风险进行评估和预警,为各市疫情研判和防控提供支撑。

对象与方法

1. 数据来源:从国家卫生健康委员会及各省级卫生健康委员会官方网站收集各省份和广东省每个地级市每日报告新增病例数(不含临床确诊病例),时间截至 2020 年 2 月 25 日。我国 30 个省份迁入至广东省 21 个地级市的迁入指数来源于百度迁徙(<http://qianxi.baidu.com>),表征人口迁入规模,时间为 2020 年 1 月 10 日至 2 月 25 日。各省份的人口数据来源于 2019 年中国统计年鉴。根据 2019 年广东省统计年鉴^[11],可将广东省 21 个地级市划分为 4 个区域:珠三角地区包括广州、深圳、珠海、佛山、江门、东莞、中山、惠州和肇庆市;粤东地区包括汕头、汕尾、潮州和揭阳市;粤西地区包括湛江、茂名和阳江市;粤北地区包括韶关、河源、梅州、清远和云浮市。

2. 疫情输入风险指数计算:基于前期的研究^[10],假设迁入的人群符合来源地的人群分布,且发病风险与来源地发病率相一致,则人口迁入导致的疫情输入风险可由迁入规模、来源地发病人数和人口进行

表示。由于 2020 年后全国首次报告 COVID-19 病例的时间为 1 月 10 日,故计算 1 月 10 日至 2 月 25 日的疫情输入风险指数,计算公式:

$$Risk_{in,t} = \sum \left(\frac{case_{i,t}}{pop_i} \times iMI_{i,t} \times 1\ 000 \right)$$

式中, $Risk_{in,t}$ 表示第 t 天的疫情输入风险指数, $case_{i,t}$ 表示第 t 天 i 省的新增病例数, pop_i 表示 i 省的人口数, $iMI_{i,t}$ 表示第 t 天由 i 省迁入的人口规模指数。进行风险来源分析时,对疫情输入风险指数进行自然对数标准化,公式如下:

$$SRisk_{in} = \lg(Risk_{in} + 1)$$

式中, $SRisk_{in}$ 表示标化疫情输入风险指数, $Risk_{in}$ 表示疫情输入风险指数。

根据滞后时间计算每个城市疫情输入风险指数的滑动累加值,综合 21 个地级市所有滑动累加风险指数,取四分位数作为阈值,划分风险预警等级,由小到大分别为“低风险”“中风险”“中高风险”和“高风险”。

3. 统计学分析:采用 Excel 2019 软件对数据进行初步整理,分析广东省累计报告病例和每日新增病例的时间变化趋势;采用 R 3.6.1 软件描述病例空间分布特征,计算和分析每个地级市的输入风险指数、分析输入风险不同滞后天数与新增病例数的关系,并计算每个城市未来的疫情输入风险。采用双侧检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 疫情基本情况:截至 2020 年 2 月 25 日 24:00,广东省累计报告确诊病例 1 347 例,主要聚集在珠三角地区,占 90.0%(1 212/1 347);除云浮市外,其他市均报告病例,其中深圳市报告病例数最多(417 例),其次为广州市(346 例)。

2. 疫情输入风险:2020 年 1 月 10 日至 2 月 25 日,广东省平均每天的疫情输入风险指数为 44.03,其中深圳、东莞、广州市的风险排前 3 位,分别为 11.72、10.25 和 7.25(表 1)。将每个市来源于不同省份的风险指数进行对数标准化,见图 1。除了湛江的疫情

表1 广东省21个城市的疫情输入风险指数

城市	疫情输入风险指数					
	$\bar{x} \pm s$	P_0	P_{25}	P_{50}	P_{75}	P_{100}
深圳	11.72±14.78	0.00	2.08	6.51	17.22	78.77
东莞	10.25±11.33	0.00	1.28	9.09	13.76	61.05
广州	7.25±8.02	0.00	1.60	3.70	11.36	37.94
佛山	3.02±3.50	0.00	0.71	1.82	4.17	17.09
惠州	2.55±3.34	0.00	0.46	1.48	3.16	18.38
中山	2.49±3.14	0.00	0.46	1.18	3.45	17.16
清远	1.23±1.46	0.00	0.20	0.63	1.81	5.72
珠海	0.97±1.06	0.00	0.23	0.56	1.38	5.11
韶关	0.79±0.86	0.00	0.18	0.51	1.11	4.04
江门	0.70±0.90	0.00	0.11	0.34	0.90	4.53
湛江	0.66±0.67	0.00	0.13	0.49	1.03	2.65
汕头	0.44±0.45	0.00	0.13	0.32	0.57	2.11
河源	0.37±0.41	0.00	0.07	0.19	0.56	1.55
茂名	0.30±0.39	0.00	0.05	0.10	0.36	1.7
肇庆	0.29±0.28	0.00	0.06	0.21	0.50	1.01
揭阳	0.26±0.26	0.00	0.06	0.17	0.39	1.12
梅州	0.24±0.27	0.00	0.04	0.11	0.36	0.97
潮州	0.15±0.15	0.00	0.03	0.09	0.22	0.55
阳江	0.14±0.15	0.00	0.03	0.09	0.20	0.58
云浮	0.11±0.13	0.00	0.01	0.03	0.18	0.45
汕尾	0.11±0.11	0.00	0.02	0.06	0.17	0.39
合计	44.03±50.44	0.00	10.03	27.83	64.38	262.48

输入最高风险来自海南省以外,其他市均来自湖北省。此外,位于珠三角地区和粤北地区的城市来自湖南省、江西省和广西壮族自治区输入疫情风险也较高;粤东地区受到福建省疫情输入的影响较大;粤西地区的风险主要来自海南省。

3. 疫情输入风险指数与报告病例数相关性:分别对广东省滞后0~9 d的疫情输入风险指数和每日新增病例数进行相关性分析,所有相关系数均具有统计学意义,且滞后4 d时,二者的相关系数最高($r=$

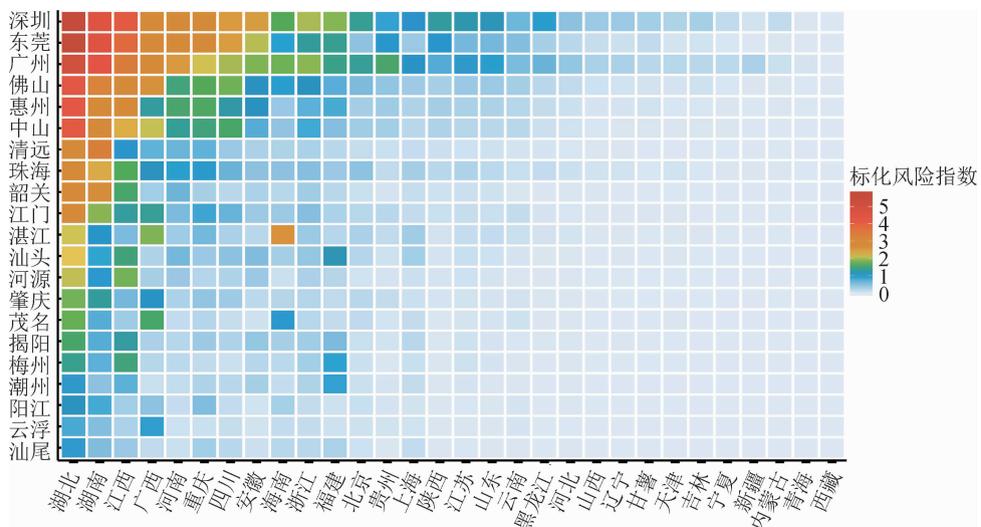
0.73)。因此,下面的风险预警用滞后4 d的风险指数。见图2。

4. 疫情输入风险预警:各城市未来4 d的累计风险预警等级时空分布见图3,东莞、深圳、广州和中山市近期持续具有高输入风险,其他城市风险出现降低趋势。以2月25日后的4 d为例,东莞、深圳、中山、广州、佛山和惠州市风险等级为高,4 d的累计疫情输入风险指数分别为38.85、21.59、11.67、11.25、6.19和5.92,且单日风险整体呈升高趋势。低风险城市有6个,分别为云浮、汕尾、阳江、梅州、茂名和潮州市。每个城市输入风险来源排名前5的省份中,湖北省仍是最高,其次为湖南省、广西壮族自治区和重庆市。见图4。

讨论

COVID-19作为一种新发传染病,具有较强的的人际传播能力^[12]。控制传染源和阻断传播途径是最主要的防控策略。已有研究显示,人口流动对疫情传播风险具有重要的影响^[10]。广东省作为外来人口大省,面临输入疫情的风险更高。因此,广东省制定了“外防输入,内防扩散”的防控策略,并采取了一系列严格的防控措施,目前每天报告病例数在个位数上波动,已取得了阶段性的成效。本研究基于人口迁徙数据,对广东省21个地级市“外防输入”进行风险评估,筛选重要输入风险地,为各市风险预警和精准防控提供了技术支撑。

截至2020年2月25日,广东省累计报告1 347例COVID-19病例,占湖北省以外33个省(直辖市、自治区、特别行政区)病例总数的10.36%(1 347/13 003)^[8,13]。



注:计算时间为2020年1月10日至2月25日,并经对数标准化

图1 广东省21个城市的疫情输入风险来源省份

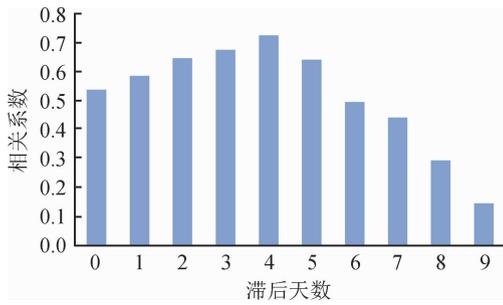


图2 广东省不同滞后时间的疫情输入风险指数与新增报告病例数相关系数

口为3 628.04万^[11]。有文献报道,截至2月7日广东省近80%的病例均为输入性病例^[6]。疫情输入高风险城市主要分布在珠三角地区,对每个城市的疫情输入风险来源进行分析,发现湛江市外其他城市的疫情输入最高风险均来自湖北省。这可能与湖北省的高发病率和人口流入多均有关。据百度迁徙大数据显示,在2020年1月10日至2月25日广东省的总人口迁入指数中,湖北省占2.86%,排第8位;其中1月24日前累计迁入占比5.08%,排第5位^[14],提示早期湖北省输入广东省各市的疫情比较严重。此外,广东省的邻近省份如湖南、江西等省份也是各城市输入疫情的来源。

90%的病例主要集中在珠三角地区,这可能与珠三角地区外来人口较多有关。人口数据显示,2018年年末珠三角地区的常住人口为6 300.99万,户籍人

本研究分析了广东省不同滞后时间的疫情输入

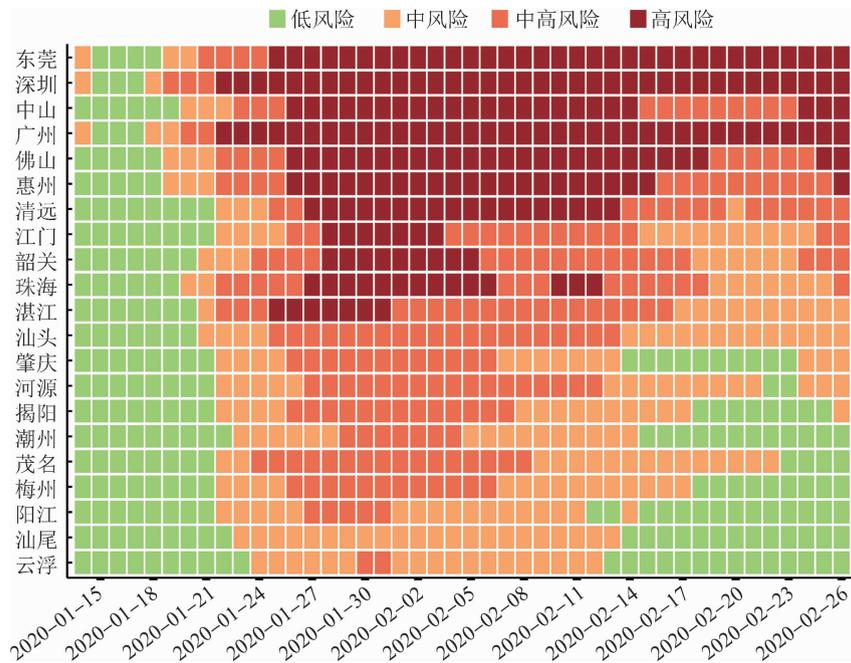


图3 广东省21个城市未来4 d累计风险预警等级变化趋势

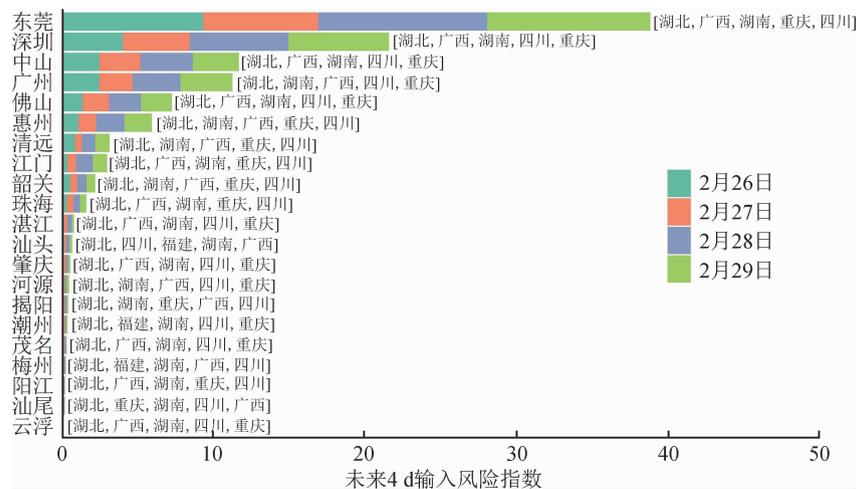


图4 广东省21个城市未来4 d风险指数及风险来源前5的省份

风险指数与每日新增病例数的相关性,发现滞后时间为4 d的相关系数最高。这与Guan等^[15]基于全国1 099例确诊病例报告的潜伏期中位数相一致,提示风险指数可能对未来4 d的疫情发展具有较好的预警作用。基于此,进一步计算了广东省21个城市的滑动累计风险指数,并综合所有城市的4 d滑动累计风险指数划分风险等级。在未来4 d的风险预警中,东莞、深圳、广州和中山市具有高输入风险;进一步对风险来源进行分析,发现尽管各市有所不同,但主要来源仍是湖北省和广东省的邻近省份。提示在未来短期内,外防输入的策略仍需有力落实,尤其是外来人口众多的城市(如东莞、深圳、广州市等)更需继续保持疫情控制力度,对工厂、企业、工地、出租屋等复工复产的重点场所要采取精细化防控措施,以及安排就业人员错峰出行避免在公共交通工具发生大规模人群聚集,对来自高风险省份的迁入人员加强筛查和健康管理,最大程度降低疫情输入风险。

本研究存在局限性。首先,疫情输入风险指数基于人口迁入来源地的每日报告病例数计算,未考虑无症状感染者,可能低估了输入疫情的风险;第二,输入风险指数的只考虑输入性疫情,对由输入病例导致的本地暴发预警能力有限;第三,流入广东的人群可能并不是来源地人群的一个无偏样本,一定程度上影响风险评估和预警的准确性。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

志谢 感谢各级卫生健康委员会公开COVID-19疫情数据;感谢百度地图团队公开发布百度迁徙指数;向奋战在新型冠状病毒肺炎疫情防控前线的广大工作人员致敬!

参 考 文 献

- [1] 武汉市卫生健康委员会. 武汉市卫健委关于当前我市肺炎疫情的情况通报 [EB/OL]. (2019-12-31) [2020-02-05]. <http://wjw.wuhan.gov.cn/front/web/showDetail/2019123108989>. Wuhan Municipal Health Committee. Wuhan Municipal Health Commission's briefing on the current pneumonia epidemic situation in our city [EB/OL]. (2019-12-31) [2020-02-05]. <http://wjw.wuhan.gov.cn/front/web/showDetail/2019123108989>.
- [2] Wang C, Horby PW, Hayden FG, et al. A novel coronavirus outbreak of global health concern [J/OL]. *Lancet*, 2020. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30185-9.
- [3] World Health Organization. WHO Director-General's remarks at the media briefing on 2019-nCoV on 11 February 2020 [EB/OL]. (2020-02-11) [2020-02-17]. <https://www.who.int/dg/speeches/detail/who-director-general-s-remarks-at-the-media-briefing-on-2019-ncov-on-11-february-2020>.
- [4] Chan JF, Yuan S, Kok K, et al. A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: a study of a family cluster [J]. *Lancet*, 2020, 395 (10223): 514-523. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30154-9.
- [5] 中国疾病预防控制中心新型冠状病毒肺炎应急响应机制流行病学组. 新型冠状病毒肺炎流行病学特征分析[J]. *中华流行病学杂志*, 2020, 41 (2): 145-151. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2020.02.003.
- [6] Liu T, Hu J, Xiao J, et al. Time-varying transmission dynamics of Novel Coronavirus Pneumonia in China [J]. *bioRxiv*, 2020 (Preprint). DOI: 10.1101/2020.01.25.919787.
- [7] 国家卫生健康委员会. 中华人民共和国国家卫生健康委员会公告(2020年第1号) [EB/OL]. (2020-01-20) [2020-02-05]. <http://www.nhc.gov.cn/jkj/s7916/202001/44a3b8245e8049d2837a4f27529cd386.shtml>. National Health Committee. Announcement of the National Health Committee of the People's Republic of China (2020-1) [EB/OL]. (2020-01-20) [2020-02-05]. <http://www.nhc.gov.cn/jkj/s7916/202001/44a3b8245e8049d2837a4f27529cd386.shtml>.
- [8] 国家卫生健康委员会. 截至2月25日24时新型冠状病毒肺炎最新情况 [EB/OL]. (2020-02-26) [2020-02-26]. <http://www.nhc.gov.cn/xcs/yqfkdt/202002/741ce06130284a77bfbf699483c0fb60.shtml>. National Health Committee. Update on the epidemic situation of COVID-19 as of 24: 00 on February 25 [EB/OL]. (2020-02-26) [2020-02-26]. <http://www.nhc.gov.cn/xcs/yqfkdt/202002/741ce06130284a77bfbf699483c0fb60.shtml>.
- [9] 广东省卫生健康委员会. 2020年2月26日广东省新冠肺炎疫情情况 [EB/OL]. (2020-02-26) [2020-2-26]. http://wsjkw.gd.gov.cn/xxgzbd/fk/content/post_2908658.html. Health Commission of Guangdong Province. Epidemic situation of COVID-19 in Guangdong province on February 26, 2020 [EB/OL]. (2020-02-26) [2020-02-26]. http://wsjkw.gd.gov.cn/xxgzbd/fk/content/post_2908658.html.
- [10] 胡建雄, 何冠豪, 刘涛, 等. 新型冠状病毒肺炎初期湖北省输出风险评估 [J]. *中华预防医学杂志*, 2020, 54(4): 1-4. DOI: 10.3760/cma.j.cn112150-20200219-00142. Hu JX, He GH, Liu T, et al. Risk assessment of exported risk of novel coronavirus pneumonia from Hubei province [J]. *Chin J Prev Med*, 2020, 54(4): 1-4. DOI: 10.3760/cma.j.cn112150-20200219-00142.
- [11] 广东省统计局. 广东统计年鉴2019年 [EB/OL]. (2019-09-29) [2020-02-14]. http://stats.gd.gov.cn/gdtjnj/content/post_2639622.html. Statistics Bureau of Guangdong Province. Guangdong statistical yearbook 2019 [EB/OL]. (2019-09-29) [2020-02-14]. http://stats.gd.gov.cn/gdtjnj/content/post_2639622.html.
- [12] 田怀玉. 2019-nCoV: 来自冠状病毒的新挑战 [J]. *中华预防医学杂志*, 2020, 54(2): 233-236. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2020.0001. Tian HY. 2019-nCoV: new challenges from coronavirus [J]. *Chin J Prev Med*, 2020, 54(2): 233-236. DOI: 10.3760/cma.j.cn112150-20200219-00142.
- [13] 湖北省卫生健康委员会. 2020年2月25日湖北省新冠肺炎疫情情况 [EB/OL]. (2020-02-26) [2020-02-26]. http://wjw.hubei.gov.cn/bmdt/ztzl/fkxxgzbdgrfyq/xxfb/202002/t20200226_2153585.shtml. Health Commission of Hubei Province. Epidemic situation of COVID-19 in Hubei province on February 25, 2020 [EB/OL]. (2020-02-26) [2020-02-26]. http://wjw.hubei.gov.cn/bmdt/ztzl/fkxxgzbdgrfyq/xxfb/202002/t20200226_2153585.shtml.
- [14] 百度迁徙. 迁入广东来源地 [EB/OL]. [2020-02-26]. <http://qianxi.baidu.com>. Baidu Migration. Source of Guangdong migration index [EB/OL]. [2020-02-26]. <http://qianxi.baidu.com>.
- [15] Guan W, Ni Z, Hu Y, et al. Clinical characteristics of 2019 novel coronavirus infection in China [J]. *N Engl J Med*, 2020. DOI: 10.1056/NEJMoa2002032.

(收稿日期:2020-02-26)
(本文编辑:万玉立)