

甲型H1N1 早期流行的时空特征与社会经济因子研究¹

曹志冬^{1*}, 曾大军¹, 王飞跃¹, 王全意², 宋宏彬³, 郑晓龙¹, 王小莉²

¹中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学重点实验室, 北京 100190

²北京市疾病预防控制中心, 北京 100013

³中国人民解放军军事医学科学院疾病预防控制中心, 北京 100071

E-mail: caozdong@gmail.com

摘要: 研究了甲型 H1N1 疫情在中国内地早期流行的时空过程, 分析了社会经济因子与甲型 H1N1 传播风险的关系。甲型 H1N1 早期流行所经历的三个演化阶段表明, 政府采取的防控措施非常有效。甲型 H1N1 传播风险在我国的空间分布呈明显的阶梯状, 经济最发达的东部地区的甲型 H1N1 传播风险最高, 中部地区次之, 经济欠发达的西部地区的传播风险最低。甲型 H1N1 发病率与人均 GDP 呈显著正相关 ($\rho=0.807$, $p<0.01$), 经济越发达的区域, 传播风险越高。

关键词: 甲型 H1N1; 时空特征; 社会经济因子; 风险分析; 中国大陆

中国分类号 R181

Research on Spatio-temporal Evolution and Social and Economic Factors to the Early Influenza A (H1N1) 2009 epidemic

CAO Zhidong^{1*}, ZENG Dajun¹, WANG Feiyue¹, WANG Quanyi², SONG Hongbing³, ZHENG Xiaolong¹, WANG Xiaoli²

¹Key Laboratory of Complex Systems and Intelligence Science, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

²Beijing Center for Disease Control and Prevention, Beijing, China

³Institute of Disease Control and Prevention, Academy of Military Medical Sciences, Beijing, China

E-mail: caozdong@gmail.com

Abstract: We studied spatio-temporal evolution of the influenza A (H1N1) 2009 epidemic in China mainland from May 11 to July 19, 2009. Using correlation analysis, the relationships of social and economic factors and the H1N1 epidemic were explored. The main findings are as follows. (1) Three phases of the H1N1 time evolution indicate that the prevention and control measures taken by the government is effective. (2) The chance of being infected by H1N1 in China mainland is spatially heterogeneous. The most economically developed eastern China regions have the highest H1N1 spread risk, then the central China regions, and the western China regions have the lowest risk though these places are relatively economically underdeveloped. (3) Correlation analyses ($\rho=0.807$, $p<0.01$) show that GDP per capita has an impact on the chance of being infected by H1N1, with the higher the economic development, the higher the risk of H1N1 epidemic.

¹国家自然科学基金(40901219, 90924302)、国家科技重大专项(2009ZX10004-315)和中国科学院项目(2F07C01, 2F08N03)资助

Key words: Influenza A (H1N1) 2009; spatio-temporal evolution; social and economic factor; risk analysis; China

1 引言

随着科学技术的发展,全球经济、贸易、商业、旅游等活动呈现一体化趋势,便捷的交通运输(尤其是航空运输)使得世界成为地球村,都市化和城镇化的不断推进使人口和财富越来越向城市聚集。这些发展趋势固然能够大大改善人们的生活水平,但也造成重大传染病威胁的加剧。全球任何一个地区出现的传染病,都极有可能在非常短的时间内传播到全球任何一个角落,地理空间距离已不再是制约传染病大范围流行的障碍,传染病传播逐渐表现出全球性流行趋势^[1, 2]。

应对传染病威胁最有效的方法是早期监测与预防,及时控制将传染病流行消灭在萌芽状态。一旦传染病在本地人群中引发传播流行,即便早期感染数量不多,也将带来严重后果,若早期防控失效,后期所需的防控成本将以几何级数增长。全球一体化的环境下,国家与国家之间、地区与地区之间、人与人的接触与活动加剧,传染病预防与控制的难度急剧提升,经济代价越来越高^[2]。不同传染病造成的潜在危害各不相同,不同防控措施的代价也相差甚异。如何优化平衡预防与控制成本和传染病造成的潜在危害是制定疫情防控策略的重点。

2003年的SARS流行是进入21世纪以后重大传染病对全球造成的第一次巨大威胁^[3, 4],SARS首先出现在中国的广州市,随后传播到香港,然后,经由航空线路传播到新加坡、加拿大、越南,进而扩散到全球。SARS疫情使人们认识到航空运输在传染病全球流行中的关键作用^[5, 6],通过航空线路,疫情可以迅速地扩散到全球各地^[1, 7],由此带来了两个重要启示:(1)传染病全球化趋势已不可阻挡,航空口岸是疫情全球快速扩散的重要途径^[7];(2)疫情防控需要世界各国共同努力,进行联防联控,“画地为牢”的防控方式难以应对传染病全球化的威胁,发达国家需要对出现疫情的发展中国家进行防控方面的及时援助,否则,难以有效保障本国公民的公共健康。

2009年,甲型H1N1流感病毒在全球蔓延,6月11日,世界卫生组织(WHO)把甲感警戒级别提升到6级,这是自1968年以来WHO第一次宣布全球性的流感大流行²,世界各国面临着甲型H1N1重大疫情的严重威胁。甲型H1N1最先出现在墨西哥,随后迅速传播到美国和加拿大并造成大范围流行。甲型H1N1的流行早期,疫情主要集中在北美洲,世界其他国家和地区的甲型H1N1病例较少,确诊患者多为输入性病例,主要通过航空口岸由北美洲疫区输出到世界各地^[8]。2009年的甲型H1N1全球大流行进一步印证了传染病全球化趋势的结论,也更加清晰和明确的表明航空口岸的预防与控制所起到的关键作用^[9]。Khan等人以在北美流行的甲型H1N1为疫情策源地,利用全球航线客流往来数据,模拟了甲型H1N1疫情在全球传播扩散的情景^[10]。

由于2003年SARS疫情对我国造成了严重影响,因此,对于2009年的甲型H1N1疫情,中国政府从一开始就采取了极为严格的口岸防堵措施,大大减缓了甲型H1N1疫情,推迟了疫情高峰时间的到来,为预防和控制措施的实施及疫苗研制赢得了宝贵时间。2009年5月11日,中国内地出现第一例确诊的输入性甲型H1N1病例(经北京转四川),随后不断有来自北美疫区的感染者经航空口岸进入中国^[11]。5月29日,广州市出现首例本土传播的甲型H1N1病例。从此,甲型H1N1在我国的流行传播由纯输入性阶段转入输入性与本土传播并行的新阶段,在社区、学校等人口密集的区域出现甲型H1N1集中暴发的风险加剧。

²<http://www.healthnews.com/alerts-outbreaks/swine-flu-h1n1-reaches-level-6-pandemic-3279.html>

甲型 H1N1 在我国流行的早期，新发病例大部分为输入性传播，在最初的 2 个多月内，中国大部分省份先后出现甲型 H1N1 确诊病例。在甲型 H1N1 在我国传播流行的早期，研究疫情传播的时空过程，揭示社会经济因子的影响，对于认识疫情发展规律和疫情防控策略有重要价值，有助于更好的应对未来可能再次出现的经由航空口岸输入的重大传染病流行。

2 甲型 H1N1 早期流行的时空特征

甲型 H1N1 病例数据主要来源于卫生部定期通报、中国疾病预防控制中心公开发布的数据。甲型 H1N1 疫情流行早期研究的时间范围为 2009 年 5 月 11 日到 7 月 19 日，在此期间，中国内地共出现 1,632 例甲型 H1N1 感染(香港 1,748 例、台湾 71 例、澳门 107 例)，涵盖 25 个省、自治区与直辖市。

图 1 是甲型 H1N1 在中国内地早期流行的时序变化过程。由图 1 易知，甲型 H1N1 疫情在早期流行中经历了三个明显不同的时期：(1)发育期：全部是输入性病例，每天发病人数非常少，处于平稳波动状态；(2)增长期：开始出现本土感染病例，每天发病人数呈线性增长，但增长幅度不大；(3)本土感染病例较多，但输入性病例仍占大多数，每天发病人数呈平稳波动状态，无明显增长趋势。由于北京市所有人群不具备对甲型 H1N1 的免疫能力，因此，自然传播情况下，甲型 H1N1 发病人数的增长速度是非常迅猛的，呈指数级增长。而在图 1 的疫情发展中，最强的增长也只是线性模式，其他时间段则平稳波动，没有明显的增长趋势，表明中国政府应对甲型 H1N1 疫情的措施是比较有效的。20 多天的发育期内，完全没有本土传播的情况出现，这应该得益于对密切接触者进行识别与追踪的防控措施的有效贯彻。5 月 29 日后，本土传播开始出现，在稳定增长约半个月后，被限制在一个稳定状态，防控措施的有效性应该是产生这一现象的根本原因。在稳定期，北美疫情变得越来越严重，由航空口岸输入中国内地的病例基数应该随北美疫情而变多，然而，这一时期中国内地的输入性病例并无实质性增长，反而在 7 月份稍有下降，这更加证明中国政府在航空口岸的围堵措施产生了显著的积极效果。



图1 2009年7月19日前我国甲型H1N1早期流行的时序过程

论文利用 GIS 技术并采用颜色分级的方式将 7 月 19 日以前出现在各个省、直辖市和自治区的甲型 H1N1 病例人数定位到了中国地图上，结果如图 2(a) 所示。观察图 2(a)，可以发现甲型 H1N1 病例主要分布在东南沿海地带，病例人数最多的三个地区依次是广东省(422 例)、北京市(302 例)和上海市(234 例)，排名第四的福建省只有 131 例，甲型 H1N1 发病人数远比前面三个地区少。发病人数最多的三个地区分别代表了中国最重要的三个经济发展圈：珠三角经济圈、长三角经济圈和京津冀经济圈。7 月 19 日前，经济相对滞后的宁夏、甘肃、内蒙、新疆、青海、西藏地区没有出现甲型 H1N1 传播。由此可以看出，中国一线发

达城市在享受全球经济一体化带来的经济高速发展的同时，也承受了因频率的人流、物流交换所带来的重大传染病威胁，这种情势在短期内很难得到有效改善。

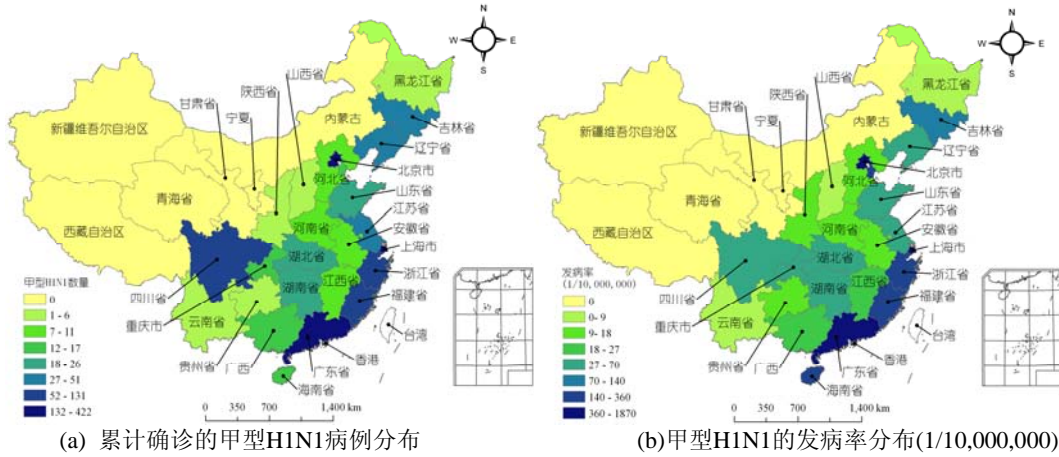


图2 2009年7月19日前中国大陆甲型H1N1传播的空间分布

显然，人口数越多，在同样传播风险条件下，发病人数也会越多，因此，甲型 H1N1 发病人数的多寡无法直接衡量各地区的传播风险的高低。论文将 7 月 19 日前各省市的甲型 H1N1 发病人数除以 2008 年底各省市的人口基数(数据来源于国家统计局公布的统计公报)，得到各省、直辖市和自治区的甲型 H1N1 传播风险的空间分布情况如图 2(b)所示。相比于图 2(a)，图 2(b)更清晰的展示了甲型 H1N1 疫情早期在我国传播风险的空间异构特征。北京市和东南沿海省市的传播风险显著高于其他地区。甲型 H1N1 流行早期，大多数是输入性传播，而位于北京市的首都国际机场是中国与外国往来的主要通道，因此，北京市首当其冲的受到甲型 H1N1 传播的影响，北京市具有最高的甲型 H1N1 发病率(1867/10,000,000)也就不难理解了。紧随其后的是上海市(1260/10,000,000)和广东省(443/10,000,000)，再其次是福建省(360/10,000,000)和浙江省(199/10,000,000)。甲型 H1N1 传播风险沿中国东部、中部和西部呈明显的阶梯状分布，与经济发展水平的梯次分布恰好吻合——中国改革开放政策主导的经济发展模式，使得国际贸易水平与经济发展水平直接挂钩，国际交流越频繁的地区，经济发展水平越高，因此，经济发展水平越高的地区，承受了更高的来自北美的甲型 H1N1 传播风险。

3 影响 H1N1 传播的社会经济因子

甲型 H1N1 的主要传播途径是近距离接触，通过空气进行传播的可能性极小。实证研究表明，2 米距离以内进行面对面的谈话是引发甲型 H1N1 本土传染的最主要方式^[12]。人的活动模式及人与人的接触频率与接触方式是决定了甲型 H1N1 传播，然而，这方面数据几乎不可能准确获取。我们通常只能观测到反映社会、经济、贸易、人口等状况的数据，这些因素虽不直接主导甲型 H1N1 疫情传播，但通过对人与人及人群与人群的接触方式的影响来间接影响疫情发展。为此，论文选择 8 个与贸易、人口和国民生产总值(GDP)相关的要素来分析它们与甲型 H1N1 疫情关联关系。

我国甲型H1N1 的早期流行主要是输入性病例通过各航空口岸进入中国内地所致，因此选择 2008 年各省市的进、出口量及投资总额作为备选指标；选择 2008 年各省市的GDP和 9% 抽样人口作为备选指标；选用人均GDP(GDP值/总人口数)、对外依赖度(进出口总量/GDP)

及人均利用外资(投资总额/人口数)三个复合数作为备选指标。选择的8个反映社会、经济、贸易、人口的指标及各指标之间的关系如图3所示。原始数据来源于国家统计局发布的2008年度的统计公报³。

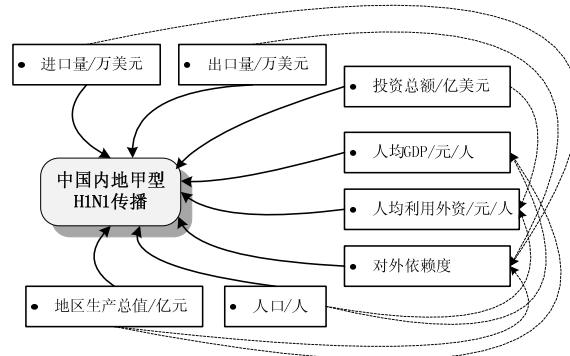


图3 影响甲型H1N1流行的社会经济要素

表1是各个指标与甲型H1N1传播(发病人数和发病率)的相关性统计结果。由表1易知,与甲型H1N1发病人数显著相关($\alpha=0.01$)的要素指标有GDP、出口、进口、投资、人均GDP、对外依赖度及人均投资,与发病率显著相关($\alpha=0.01$)的有人均GDP、人均投资与对外依赖度。其中,人均GDP与甲型H1N1发病率的相关系数高达0.807($p<0.01$)。

表1 社会经济要素与甲型H1N1传播的相关关系

	GDP	出口	进口	投资	人口数	人均GDP	对外依赖	人均投资
发病率	0.177	0.287	0.396*	0.389*	-0.187	0.807**	0.563**	0.612**
发病人数	0.556**	0.758**	0.799**	.683**	0.176	0.678**	0.752**	0.478**

注: ** $\alpha=0.01$ 水平下的显著相关; * $\alpha=0.05$ 水平下的显著相关

采用逐步回归分析方法^[13],探索中国内地的甲型H1N1发病率与三个社会经济因子(人均GDP、人均投资与对外依赖度)的定量对应关系。结果表明只有人均GDP通过了F统计量的显著性检验条件,当把人均GDP作为因变量时,人均投资和对外依赖度的因子对甲型H1N1发病率的预测精度的改善不显著。基于31个省、市、自治区的观测数据,利用最小二乘方法,估算得到模型回归方程为:甲型H1N1发病率(1/10,000,000) = $-335.2 + 0.023 \times$ 人均GDP(元/人),人均GDP对甲型H1N1发病率的解释程度达到65.1%。

4 总结与讨论

论文对2009年5月11日到7月19日出现在中国内地的甲型H1N1疫情早期流行的时空过程进行了研究,揭示了早期疫情时序过程的三个演化阶段,分析结果表明政府采取的“外堵输入,内防扩散”的疫情防控措施是相当有效的,既有效降低了甲型H1N1早期传播的增长速度,也迟滞了疫情高峰期的到来,为疫情应对赢得了宝贵时间。甲型H1N1传播风险在我国的空间分布呈现明显的阶梯状,东部沿海发达地区风险最高,中部次之,西部最低,经济越发达的区域,传播风险越高。社会经济因子分析结果进一步表明,甲型H1N1发

³ <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2008/indexch.htm>

病率与人均 GDP 呈显著正相关($\rho=0.807$, $p<0.01$)。中国改革开放使东部省份经济大受其益的同时,也更多的承担了来自海外的重大传染病输入性传播的风险。

科学技术的发展,使得跨国、跨地区的贸易与人员交流日趋频繁,一方面提高了生产效率,改善了人的生活,另一方面,也使得传染病流行得以突破空间距离的限制,以空前的传播速度在世界各地之间传播流行。于是,得益于国际贸易而使得经济较为发达的地区或城市将更多的承受重大传染病的严峻威胁。远在万里之遥暴发的传染病,经由航空运输方式,能够在极短时间内,迅速传播到地球另一端的地区和城市。越来越多的人认识到航空线路在传染病全球流行中的关键角色,快速识别、隔离和追踪来自航空口岸的潜在传播源,不仅在甲型 H1N1 疫情防控中起到关键作用,而且将在未来的重大传染病全球联防联控中发挥至关重要的作用。

限于科学技术水平,尤其是潜在传播源的识别技术的不完善,百分之百的完全控制来自航空口岸的潜在传播源几乎不可能实现。因此,为应对遗漏的传播源在本土引发大规模传播流行,仍然需要加强力量建立敏感度非常高的监测网络。对于国际间经济活动频繁的城市,需要储备更充足的疫情防控物资,制定更为严格的疫情快速响应预案,实施更为严格的疫情管控手段,快速识别传播源,切断传播路径,追踪密切接触者,设立专门的定点医院,定期进行演练以强化疫情快速响应的能力。

参考文献

- [1] Hufnagel L, Brockmann D, Geisel T. Forecast and control of epidemics in a globalized world[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2004, 101(42): 15124-15129
- [2] Colizza V, Barrat A, Barthelemy M, et al. The role of the airline transportation network in the prediction and predictability of global epidemics[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006, 103(7): 2015-2020
- [3] Anderson L J. Twenty-first century plague - The story of SARS. Science, 2005, 310(5747): 444-445
- [4] Riley S, Fraser C, Donnelly C A, et al. Transmission dynamics of the etiological agent of SARS in Hong Kong: Impact of public health interventions[J]. Science, 2003, 300(5627): 1961-1966
- [5] Bell D M. World Hlth Organ Wor Grp Pre In. Public health interventions and SARS spread 2003[J]. Emerging Infectious Diseases, 2004, 10(11): 1900-1906
- [6] Breugelmans J G, Zucs P, Porten K, et al. SARS transmission and commercial aircraft[J]. Emerging Infectious Diseases, 2004, 10(8): 1502-1503
- [7] Colizza V, Barrat A, Barthelemy M, et al. The role of the airline transportation network in the prediction and predictability of global epidemics[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006, 103(7): 2015-2020
- [8] Fraser C, Donnelly C A, Cauchemez S, et al. Pandemic Potential of a Strain of Influenza A (H1N1): Early Findings[J]. Science, 2009, 324(5934): 1557-1561
- [9] Shetty P. Preparation for a pandemic: influenza A H1N1[J]. Lancet Infectious Diseases, 2009, 9(6): 339-340
- [10] Khan K, Arino J, Hu W, et al. Spread of a Novel Influenza A (H1N1) Virus via Global Airline Transportation[J]. New England Journal of Medicine, 2009, 361(2): 212-214
- [11] 曹志冬, 曾大军, 王全意, 等. 北京市甲型 H1N1 早期流行的特征与时空演变模式[J]. 地理学报, 2010, 65(3): 361-368
- [12] Han K, Zhu X P, He F, et al. Lack of Airborne Transmission during Outbreak of Pandemic (H1N1) 2009 among Tour Group Members, China, June 2009[J]. Emerging Infectious Diseases, 2009, 15(10): 1578-1581
- [13] James M Lattin, J. Douglas Carroll, Paul E. Green. Analyzing Multivariate Data. United States of America: Thomson, 2003

作者简介: 曹志冬, 中国科学院社会计算与平行管理研究中心任助理研究员, 主要从事 GIS 空间分析、公共健康、社会计算与平行应急管理的研究, 致力于利用现代信息与计算方法解决公共健康、社会安全及以人为核心的社会学问题。

作者: 曹志冬, 曾大军, 王飞跃, 王全意, 宋宏彬, 郑晓龙, 王小莉

作者单位: 曹志冬, 曾大军, 王飞跃, 郑晓龙(中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学重点实验室, 北京 100190), 王全意(北京市疾病预防控制中心, 北京 100013), 宋宏彬(中国人民解放军军事医学科学院疾病预防控制中心, 北京 100071), 王小莉(北京市疾病预防控制中心, 北京100013)

本文读者也读过(10条)

1. 龙进学, 袁世山 从2009甲型H1N1流行性感暴发看流行性感病毒的演化[期刊论文]-微生物与感染2009, 4(2)
2. 郭永豪, 蒋红丽, 僧明华, 丰达星, 郭万中 新型H1N1流感病毒抗原HA的基因进化分析[会议论文]-2010
3. 于曼丽, 隋礼丽 病毒特异性受体的演化[期刊论文]-国外医学(流行病学传染病学分册)2003, 30(5)
4. 韦惠红, 赵玉春, 龙利民, 王崇州 湖北省暴雨短时预报卫星云图概念模型研究[会议论文]-2010
5. 彭邦来, 吴家兵 基于气象因素的流感流行强度分级判别[期刊论文]-数理医药学杂志2008, 21(3)
6. 梁红, 张子峰, 马福全, 孟鹏 一次局地暴雨预报中TBB产品的应用[会议论文]-2010
7. 黄勇 江淮流域FY2C多通道信息与地面降水关系分析[会议论文]-2010
8. 赵军, 王大为 近50a来内蒙古潜在草原类型空间格局及动态演替[会议论文]-2010
9. 郭甲腾, 吴立新 基于K6N9-I模型的三维实体邻域表达与拓扑关系细化研究[会议论文]-2010
10. 胡圣武 大地坐标与高斯坐标的转换程序研究和精度分析[会议论文]-2010

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Conference_7333399.aspx