

· 流感预防与监测 ·

地理信息系统应用于中国大陆高致病性
禽流感的空间分布及环境因素分析

方立群 曹春香 陈国胜 雷富民 刘亚岚 李承毅 杨红
韩晓娜 闫磊 李小文 曹务春

【摘要】 目的 应用地理信息系统(GIS)技术分析中国大陆高致病性禽流感的空间分布特征和探讨疫情发生的相关环境因素。**方法** 收集中国 2004 年 1、2 月份高致病性禽流感疫情资料建立数据库,在 ArcGIS 8.3 软件中与省级、县级行政区划数字地图建立关联,对禽流感疫情的分布进行空间聚类分析、空间统计分析和追踪分析;收集中国气象资料、植被遥感影像及候鸟迁移数据,分析禽流感疫情发生的相关环境因素。**结果** 空间聚类分析显示中国大陆 2004 年 1、2 月份禽流感高发区聚集在圆心为东经 113.261°、北纬 23.119°、半径为 1090.52 km 的区域内($RR = 2.646, P = 0.001$);空间统计分析显示中国大陆禽流感疫情大都发生在各省(自治区、直辖市)的省会城市及周边地区,并主要分布于一级河流、湖泊周边及沿海区域;环境因素分析显示禽流感疫情发生的当天气温较低、相对湿度和平均气压较高,疫区与中国东、中部候鸟迁徙区的联系密切,疫区 1-2 月份平均归一化差值植被指数(NDVI)为 0.36 ± 0.11 。**结论** 中国大陆高致病性禽流感的空间分布为非随机分布,且具有明显的地域聚集性。

【关键词】 高致病性禽流感;地理信息系统;空间分析;环境因素

Studies on the spatial distribution and environmental factors of highly pathogenic avian influenza in Mainland China, using geographic information system technology FANG Li-qun*, CAO Chun-xiang, CHEN Guo-sheng, LEI Fu-min, LIU Ya-lan, LI Cheng-yi, YANG Hong, HAN Xiao-na, YAN Lei, LI Xiao-wen, CAO Wu-chun. *Beijing Institute of Microbiology and Epidemiology, Beijing 100071, China
Corresponding author: CAO Wu-chun, Email: caowc@nic.bmi.ac.cn

【Abstract】 Objective To analyze the spatial distribution of highly pathogenic avian influenza (HPAI) and to explore environmental factors associated with HPAI using geographic information system (GIS) techniques in Mainland China. **Methods** Databases were set up using the information of HPAI during epidemics in 2004, and linked to digital maps at provincial and county administrative layers in the country through the ArcGIS 8.3 software. Spatial cluster analyses, spatial statistics analyses and tracking analyses on epidemic situation of HPAI were implemented. Environmental factors associated with HPAI were also analyzed on data related to weather, vegetation and migratory birds etc. **Results** Findings from spatial cluster analyses showed that high incidence area was centralized in 113.261° ordm; east longitude and 23.119° ordm; north latitude with a radius of 1090.52 kilometers (relative risk = 2.646, P value = 0.001). Spatial statistical analyses showed that HPAI took place mainly in capital cities of provinces and surrounding areas as well as in the circumference areas of arterial rivers, lakes and seacoasts. Results also showed that HPAI occurrences were associated with low air temperature, high relative humidity and high air pressure as well as with east & central migration routes of migratory birds. The average normalized difference vegetation index was 0.36 ± 0.11 in epidemic areas of HPAI. **Conclusion** HPAI was un-randomly distributed and geographically clustered in China.

【Key words】 Highly pathogenic avian influenza; Geographic information system; Spatial analysis; Environmental factors

自 20 世纪 80 年代以来,高致病性禽流感的发

生频率有所增加,造成的危害更加严重^[1]。2004 年 1 月亚洲 10 多个国家发生 H5N1 型高致病性禽流感疫情,我国多个地区陆续发生动物疫情,且呈扩散趋势,仅 1、2 月份我国就有 16 个省(市、自治区)发生 49 起疫情,虽然我国大陆目前尚无 H5N1 型禽流感病毒感染人的报道,但是据 WHO 资料显示,1997

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30590370);国家科技攻关计划资助项目(2004BA519A32)

作者单位:100071 北京,军事医学科学院微生物流行病研究所;病原微生物生物安全国家重点实验室(方立群、李承毅、杨红、韩晓娜、曹务春);中国科学院遥感应用研究所(曹春香、刘亚岚、闫磊、李小文);国家农业部兽医局(陈国胜);中国科学院动物研究所(雷富民)

通讯作者:曹务春 Email:caowc@nic.bmi.ac.cn

年以后的 3 次禽流感爆发性流行中,禽流感病毒 H5N1 型在亚洲数个国家突破物种间的屏障从禽类传染给人类。自 2003 年 12 月 26 日至 2005 年 7 月 27 日,全球共发生人间 H5N1 型流感确诊病例 109 例,其中 55 例死亡,病死率高达 50.46%^[2]。此病毒或变异株还有可能获得在人与人之间传播的能力,从而引发全球大流行。进入 20 世纪之后,人间发生多次流感流行,其中以 1918-1920 年发生的流感流行最为严重,造成 2000 万至 4000 万人死亡,其后于 1957、1968、1977 年分别发生大流行,由此可见,禽流感病毒一旦获得在人与人之间传播的能力,其后果将十分严重。近年来不断发生的禽流感病毒感染人事件,提示禽流感病毒对人类已具有很大的潜在威胁,引起全球广泛关注和公共卫生学家们的普遍担忧^[3-5]。我国幅员辽阔,地理景观复杂多样,由于高致病性禽流感的自然感染过程复杂,传染来源较多,疫情的发生往往受地理与生态环境、气候、候鸟迁移、河流、交通等因素的影响,使禽流感疫情的发生呈现明显的地域性和季节性。为了及时有效地预防与控制禽流感的扩散,有针对性地配置卫生人力和物力资源、提前做好疫苗的接种、针对不同地区采取不同的防控措施等,有必要掌握禽流感在我国的时空分布情况和时空分布模式,研究禽流感发生与流行的地理环境影响因素。我们应用地理信息系统 (geographic information system, GIS) 技术描述我国家禽高致病性禽流感的空间分布情况,应用空间聚类分析方法和空间统计分析方法对我国禽流感的时空分布特征进行研究,探讨各地区禽流感疫情发生的地理环境因素,从而为及时有效地预防禽流感,有针对性地采取控制措施、合理配置资源提供科学依据。

资料与方法

1. 高致病性禽流感疫情数据:家禽禽流感疫情数据来自国家农业部 2004 年 1-2 月份动物疫情月报^[6],整理并建立疫情信息数据表,包括疫情的发生日期(疑似日期、确诊日期、接触疫区封锁日期等)、发生地点(包括省、地区、县三级)、染病禽种、发病数量、死亡数量及捕杀数量等字段,收集各地区 2002 年家禽的存栏量、出栏量、养殖场数量等(中国农业部畜牧兽医总站提供)。

2. 数字地图与遥感影像:选择中国 1:100 万数字

地形图(由国家测绘科学研究院提供);收集并矢量化中国候鸟迁移路线图^[7];收集 2004 年 1-2 月份我国 300 个气象基本站气象指标日值,包括日平均最高温度、日平均最低温度、日降雨量、日平均气压、日平均相对湿度等指标,提取禽流感发生地区疫情当天及发生前一周内的日气象指标分别建立数据表(部分禽流感发生地区气象指标以距离其最近的基本站替代),疫情当天定义为报告疑似疫情当天(有疑似疫情报告并最终确诊的地区)和报告确诊疫情的当天(无疑似疫情报告直接确诊的地区);收集中国 2004 年 1-3 月份旬值 SPOT 卫星植被影像。

3. GIS 分析:以全国 1:100 万数字地形图为背景,在 ArcGIS 8.3 软件中通过查询的方法选择并建立 49 个疫点面状和点状矢量图层,通过共同的县名称与禽流感疫情数据建立关联,应用 ArcGIS 8.3 和 ENVI 3.5 软件对遥感影像、气象数据、家禽养殖数量等数据进行预处理和格式变换后,与上述图层进行叠加。

(1) 空间聚类分析:提取各疫点及所属省份中心点的经纬度信息,应用各省份养殖场数量资料,导入 SaTScan 3.0 软件中进行空间聚类分析,采用移动窗口法(moving windows)在研究区域内建立活动圆形窗口对疫点的发生率进行扫描统计(scan statistics),窗口的大小和位置处于动态的改变之中,窗口的圆心根据地图中沿网格线或地理单位中心变动,聚类窗口半径的变动范围根据养殖场数来确定,从 0 至所有养殖场总数的 50% 范围内,半径每变动一次,将计算窗口内与窗口外区域之间疫情发生率的差异,并进行相应的统计学检验,统计量为 log likelihood ratio (LLR),公式为 $LLR = \log(c/n)^c ([C-c]/[C-n])^{(C-c)} I()$,其中 C 为总的病例数; c 为活动扫描窗口内的病例数; n 为活动扫描窗口内的预期病例数,若 SaTScan 进行高发病率扫描时,当窗口内的观察病例多于预期病例数时逻辑函数 $I()$ 等于 1,记录统计量 LLR 的大小,并在不同的聚类窗口半径之间对其进行比较,反之 $I()$ 则为零,不记录 LLR 的值, SaTScan 改变聚类窗口半径的大小并进入下一轮的统计。最终选取 LLR 值最大的窗口所包括的地区为疫情高发区(一级热点区域),同时计算该地区的相对危险度(RR)^[8]。

(2) 空间统计及追踪分析:应用我国各省(直辖市、自治区)面状地图建立中心点图层,以中心点为

圆心分别建立 50、100、150、200 km 的缓冲区,应用空间查询功能分别查询各缓冲区范围内的疫点数,计算各缓冲区内疫点数的构成;并计算我国一级河流、湖泊及海岸线周边 100 km 范围内禽流感的疫点数。在 ArcGIS 8.3 软件中应用追踪分析模块(tracking analyst)对禽流感疫点的时空变化趋势进行动态模拟,建立疫点随时间(以 1 天为单位)动态变化的多媒体文件,并根据各疫点的时间分布建立季节时钟专题图,动态显示每天禽流感疫点的分布情况。

(3) 禽流感环境因素分析:以建立的禽流感发生地区(县、市级)疫情当天及发生前一周内的日气象指标数据表为基础,初步分析疫情发生时的气象特征及其近一周内的气象变化情况;在 ArcGIS 8.3 软件中叠加我国候鸟迁移路线矢量地图、我国 1-2 月份各旬植被指数遥感影像(共 6 张卫星图片),应用空间分析模块(spatial analyst)计算并提取禽流感发生地区 1-2 月份平均归一化差值植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI),分析禽流感发生地区的环境因素指标。

结 果

1. 空间聚类分析:2004 年 1-2 月报告禽流感疫情涉及 17 个省份的 49 地区,空间聚类分析显示此次疫情呈现非随机分布的特征,在空间分布上存在聚集性,其 $LLR = 26.994$, $P = 0.001$, $RR = 2.646$,聚集区中心点位于广东省境内,经纬度坐标为:北纬 23.119° 、东经 113.261° 、半径为 1090.52 km,聚集区包括广东、海南、广西、湖南、江西、福建、贵州、湖北、重庆、浙江、安徽、云南 12 个省份,疫点数占 81.6% (40/49),见图 1。

2. 空间统计分析:由图 2 显示各省会城市中心点周围 50、100、150、200 km 缓冲区范围内的疫情县次分别占总疫情县次的 32.65% (16/49)、48.98% (24/49)、65.31% (32/49) 和 77.56% (38/49),提示我国禽流感疫情大部分发生在各省(自治区、直辖市)的省会城市及周边地区,并主要分布于沿海及重要水系、湖泊的周边,仅国家一级河流及沿海 100 km 范围内禽流

感疫情县次占总疫情县次的 75.51% (37/49);追踪分析在地图上建立 2004 年疫情地区逐日动态变化的 AVI 格式的多媒体文件,动态模拟与追踪疫情的时空演变过程,并显示我国此次禽流感疫情主要发生于冬季 2 月上、中旬和 1 月底,此时气候以低温阴湿为主。分析候鸟的迁移路线,我国家禽禽流感疫情的发生与东、中部候鸟迁徙区的联系较为密切,尤其是这两条主要迁移路线的中南部地区(图 1)。

3. 禽流感环境因素分析:分析禽流感疫情发生地区当天的气象特征为当天平均最高温度、平均最低温度、平均气压的中位数分别为 12°C 、 3°C 、1025 hPa,当天平均相对湿度为 $(68 \pm 15.57)\%$ 、当天 85.71% 的地区无降雨,提示禽流感疫情发生的当天气温较低、相对湿度和平均气压较高,大都无法降雨过程。疫情发生前一周内的气象变化情况分析显示,疫情发生前一周内气温大都存在较明显的变化

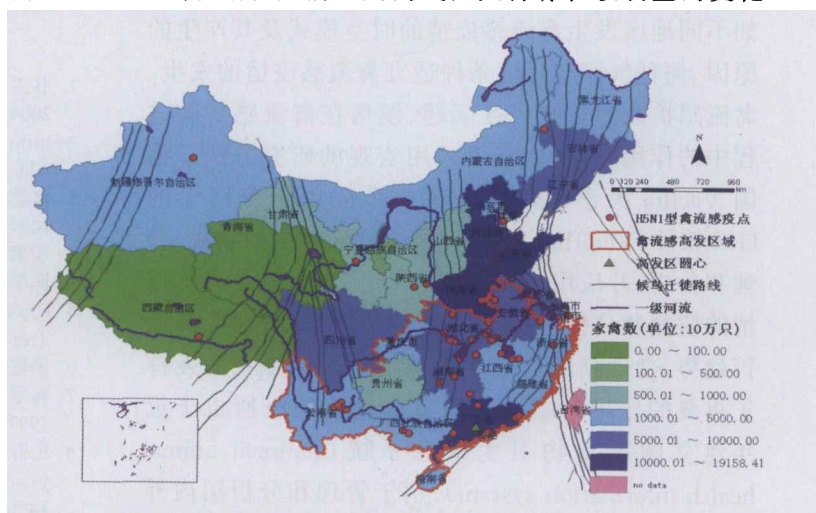


图1 空间聚类分析显示我国 2004 年 1、2 月份禽流感高发区范围

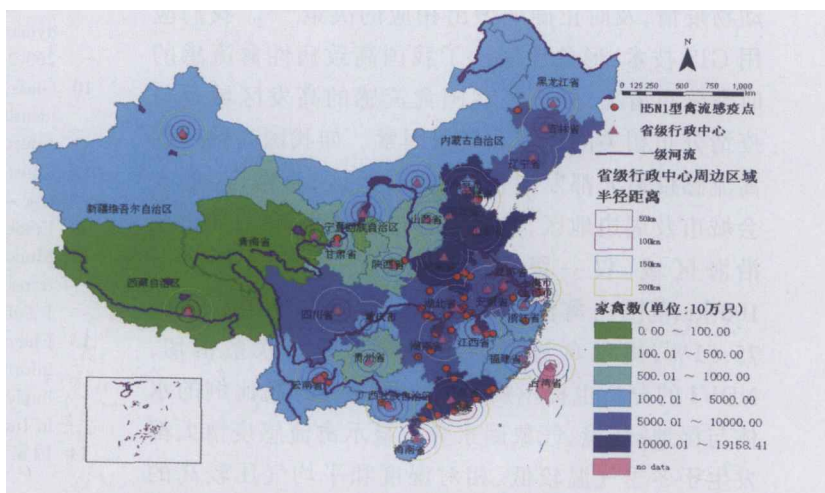


图2 空间统计分析显示我国各省城及周边地区禽流感的分布情况

过程,疫区平均最高温度一周内极差的均数为 $(9.53 \pm 4.07)^\circ\text{C}$, 平均最低温度一周内极差的中位数为 6.31°C , 提示禽流感疫情发生前一周内气温变化明显。禽流感发生地区 1-2 月份平均 NDVI 为 0.36 ± 0.11 , 在 NDVI 的应用中一般认为 $\text{NDVI} > 0.6$ 时地表被植被全部覆盖, NDVI 为 $0.1 \sim 0.2$ 时通常认为地表是裸露的土壤, 提示 1-2 月份禽流感较多发生在 $\text{NDVI} > 0.2$ 且 < 0.6 的地区。

讨 论

应用 GIS 技术分析传染病的时空分布特征, 研究传染病流行与地理环境、气候及宿主动物分布的关系, 管理与配置卫生人力、物力资源, 提供对疫情处置的辅助决策支持等, 近年来在指导传染病预防与控制方面发挥了重要的作用^[9-12]。禽流感病毒在动物间的迅速扩散, 有很多流行病学问题尚不清楚, 如不同地区发生禽流感疫情的时空模式及其产生的原因、何种气候与环境条件适宜禽流感疫情的发生、禽流感扩散的空间尺度问题、候鸟在禽流感扩散过程中的作用等, 这就需要采用宏观的研究方法。德国 Vechta 大学专门开发了一个应用于兽医学的 GIS 软件 (VetGIS), 用于动物流行病数据的收集、管理和分析, 并应用于意大利 1999-2000 年禽流感疫情的监测和分析, 为及时分析疫情的分布特征与流行趋势、合理利用卫生资源、迅速采取控制措施发挥了重要的作用^[13]。我国农业部动物检疫所也于近年建立国家动物卫生信息系统 (national animal health information system), 用于管理和分析国内外动物流行病学及其相关数据, 以便准确、快速地了解动物疫情, 及时正确地做出相应的决策^[14]。我们应用 GIS 技术, 形象地展示了我国高致病性禽流感的时空分布情况, 分析了我国禽流感的高发区域及与疫情分布相关的环境和气象因素。如我国高致病性禽流感疫情大都发生在各省 (自治区、直辖市) 的省会城市及周边地区, 并主要分布于河流、湖泊周边及沿海区域, 仅一级河流、湖泊周边及沿海区域 100 km 范围内禽流感疫情县次就占总疫情县次的 75.51%, 提示禽流感的发生与水域的联系密切, NDVI 的分析也提示疫区内可能存在较高比例的水体与湿地; 环境、气象因素分析显示禽流感疫情大都发生于冬季气温较低、相对湿度和平均气压较高的气象条件下, 疫情发生前一周内气候变化较大, 此时

的气候以低温阴湿为主, 有利于高致病性禽流感病毒在环境中存活, 同时该气象条件利于流感的传播与扩散, 且为我国南方候鸟迁移的高峰期, 低温天气在一定程度上影响了候鸟和当地鸟类的行为, 候鸟更趋于集群活动, 当地鸟类更喜在人居环境下活动, 这样就大大提高了候鸟-当地鸟-禽类三者间相互接触的机会, 增加了禽流感在三者间互相传染的概率, 散发和传播禽流感病毒的危险性增大, 为禽流感的发生和扩散提供了有利条件。本研究通过确定高发区范围, 可以有针对性地采用 GIS 技术结合现场调查和实验室方法对高发区的地理景观、环境特征、野禽的种群特征、家禽及野鸟的感染状况、人类经济活动进行研究, 从而为推断禽流感发生的环境危险因素、爆发性流行的原因及禽流感时空传播模型的建立提供基础, 也为合理配置物资、人力资源, 采取有针对性地预防与控制措施提供科学依据。

参 考 文 献

- 1 甘孟侯. 对高致病性禽流感流行特点的认识与分析. 当代畜牧, 2004, 3: 9-11.
- 2 http://www.who.int/csr/disease/avian_influenza/country/cases_table_2005_07_27/en/index.html
- 3 廖党金, 宋斌. 禽流感的回顾与流行病学. 中国兽医寄生虫病, 2004, 12: 43-47.
- 4 于康震, 崔尚金. 禽流感与养禽业发展与人类健康. 中国预防兽医学报, 2000, 22: 312-315.
- 5 Capua I, Alexander DJ. Avian influenza and human health. Acta Tropica, 2002, 83: 1-6.
- 6 国家农业信息网, 2004, <http://www.agri.gov.cn/ztzl/tzqig/yqfb>
- 7 张孚允, 杨若莉. 中国鸟类迁移研究. 北京: 中国林业出版社, 1997. 45-47.
- 8 Kulldorff M. Bernoulli and Poisson Models: A spatial scan statistic. Communications in Statistics: Theory and Methods, 1997, 26: 1481-1496.
- 9 Liang S, Maszle D, Spear RC. A quantitative framework for a multi-group model of *Schistosomiasis japonicum* transmission dynamics and control in Sichuan, China. Acta Tropica, 2002, 82: 263-277.
- 10 Glass GE, Cheek JE, Patz JA, et al. Using remotely sensed data to identify areas at risk for hantavirus pulmonary syndrome. Emerg Infect Dis, 2000, 6: 238-247.
- 11 Constandinos N, Sean C, Sue G, et al. Identifying West Nile virus risk areas: The dynamic continuous-area space-time system. Am J Epidemiol, 2003, 157: 843-854.
- 12 Munch Z, Van Lill SW, Booyesen CN, et al. Tuberculosis transmission patterns in a high-incidence area: a spatial analysis. Int J Tuberc Lung Dis, 2003, 7: 271-277.
- 13 Ehlers M, Moller M, Marangon S, et al. The use of geographic information system (GIS) in the frame of the contingency plan implemented during the 1999-2001 avian influenza (AI) epidemic in Italy. Avian Dis, 2003, 47: 1010-1014.
- 14 国家动物流行病学研究中心, 2004, <http://www.epizoo.org>
(收稿日期: 2005-09-01)
(本文编辑: 张林东)