

中国非洲猪瘟疫情的时空演化特征及影响因素^{*}

石国宁,张涛,王无为

(华中师范大学地理过程分析与模拟湖北省重点实验室;可持续发展研究中心 武汉 430079)

提 要:文中采用地理空间分析方法和地理探测器,对中国2018年8月-2019年4月的非洲猪瘟疫情的时空特征及其影响因素进行分析。结果表明:1)时间上,疫情流行可以分为五个阶段,其中2018年10月和2019年1月-2月为疫情高峰期;空间上,疫情高发区域主要分布于北方地区,总体发病率的空间分布形态呈现聚集性,其中,高发的热点区域主要分布于北方地区,低发冷点区域集中于南方地区;2)疫情的时空变化受到自然气象因素和社会经济因素的共同影响。气象因素中风速和气压两因素影响作用最为显著。社会经济因素中,我国生猪养殖业空间格局决定了疫情总体分布格局,而生猪的空间流通模式则加速了疫情扩散和传播。

关键词:非洲猪瘟;时空特征;影响因素;中国

中图分类号:S852

文献标识码:A

非洲猪瘟(African swine fever, ASF)是一种因家猪和野猪感染非洲猪瘟病毒(AFSV)而引起的急性、出血性、烈性传染病,死亡率高达100%^[1],是我国规定的需重点防范的"一类动物疫病"^[2]。非洲猪瘟最初于1921年在肯尼亚发生,随后传播至欧洲和西亚多国^[3-4]。2018年8月1日,中国辽宁省沈阳市沈北新区某养殖户的生猪发生疑似非洲猪瘟疫情,存栏383头,发病47头,死亡47头。8月3日,经中国动物卫生与流行病学中心确诊,该起疫情为非洲猪瘟疫情,这是我国首次发生非洲猪瘟疫情^[5],此后,其他省份也相继发生疫情,至2019年4月,疫情蔓延至全国范围。

国内外关于非洲猪瘟的研究主要集中于流行病学、临床诊断及疫情防控等方面,并取得了丰富的研究成果^[6-7]。地理学研究方法目前已被广泛应用于人类及动物疫病研究之中,用来分析疫情的时空分布特征及其影响因素^[8-11],然而关于非洲猪瘟的研究相对较少,仅见有A. S. Oganessian等学者运用地理空间分析方法对俄罗斯2007-2012年非洲猪瘟疫情时空特征进行了研究^[12-13]。卢易等利用GIS方法对中国13个省份2018年8月-10月间的非洲猪瘟疫情分布情况进行了分析^[14]。文中拟从地理学角度,在省域空间尺度上,以月为时间尺度,采用地理空间分析方法及地理探测器对中国2018年8月-2019年4月间的非洲猪瘟疫情的时空演化特征及影响因素进行探究,以期各地区防疫部门精确识别疫情重点防控区域以及科学制定疫情防控策略提供决策支撑。

1 材料与研究方法

1.1 数据来源

1.1.1 非洲猪瘟疫情数据

文中所使用的非洲猪瘟疫情数据来自于农业农村部官网"非洲猪瘟防控专栏"中发布的疫情公告,公告内容包含疫情发生时间、地点、发病头数和死亡头数,其中疫情发生时间以中国动物卫生与流行病学中心确诊时间为准,并通过ArcGIS10.0及Google Earth软件将时段内所有疫情发生地点进行空间定位。省

^{*} 收稿日期:2019-5-15;修回日期:2019-8-9。

基金项目:国家自然科学基金青年项目(41801141);湖北省自然科学基金创新群体项目(2016CFA027);华中师范大学中央高校基本科研业务费项目(CCNUI8CXTD05, CCNU19QN046, CCNU19TD001)资助。

作者简介:石国宁(1989-),男,汉族,河北邯郸人,博士研究生,主要从事健康地理和区域可持续发展方面的研究。Email: 862911405@qq.com

通讯作者:张涛(1985-),男,汉族,河南南阳人,博士,讲师,主要从事健康地理和区域可持续发展方面的研究。Email: 419448202@qq.com

区间逐月的疫情通过各省区疫情发病率进行对比,某月某省份非洲猪瘟发病率的计算公式为式(1),单位为 1/1 万。

$$\text{某月某省份非洲猪瘟发病率} = \frac{\text{某月某省份非洲猪瘟新发病头数}}{\text{某年某省份生猪存栏总数}} \times 1 \text{ 万} \quad (1)$$

1.1.2 影响因素数据

非洲猪瘟作为一种动物疫病,其传播和流行与病原体、传播途径和易感动物三个要素关系密切。非洲猪瘟病毒是虫媒病毒,软蜱是其传播媒介,而软蜱对非洲猪瘟病毒的传播能力受环境温度和湿度等因素的影响,且非洲猪瘟病毒在短距离内可通过空气传播^[15],文中选取气温(X1)、湿度(X2)、降水量(X3)、风速(X4)、气压(X5)进行分析;非洲猪瘟的易感动物仅为家猪和野猪,文中选取生猪存栏量(X6)加以分析;此外,区域间生猪的长距离运输加速了此次疫情的传播扩散,文中选取路网密度(X7)和生猪流通类型(X8)进行阐释;文中所用逐月气象要素数据来源于中国气象数据网,生猪存栏量数据来自于《中国统计年鉴 2018》,路网密度数据是根据 ArcGIS Online 提供的最新全国路网矢量数据,通过 ArcGIS10.0 软件空间分析工具箱中密度分析工具生成,生猪流通类型参考刘勃^[16]等人的研究。

1.2 研究方法

1.2.1 空间自相关分析

空间自相关是检验某一要素的属性值与其相邻空间点上的属性值是否存在显著关联的重要指标^[17],可以分为全局空间自相关和局部空间相关两类。

全局空间自相关的计算公式为:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, i \neq j \quad (2)$$

局部 G_i^* 统计量的计算公式为:

$$G_i^* = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} x_i x_j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j}, i \neq j \quad (3)$$

上述两式中: n 为单元格数量,在文中指中国省份个数 31; x_i 或 x_j 为省份 i 或 j 的非洲猪瘟发病率; \bar{x} 为中国 31 个省份非洲猪瘟发病率的平均值; w_{ij} 为 i, j 省区间空间权重矩阵。Moran's I 的取值范围为 $[-1, 1]$,在给定显著度水平上,正值代表整体分布为聚集性;负值代表整体分布为分散性。值为 0 时,观测对象在空间上随机分布。 $G_i^* > 0$ 表示非洲猪瘟流行存在热点区, $G_i^* < 0$ 表示非洲猪瘟流行存在冷点区。

1.2.2 地理探测器

地理探测器是一种探测空间分异性,以及揭示其背后驱动力的一组统计学方法^[18]。地理探测器包括风险探测、因子探测、生态探测和交互探测 4 个探测器,其中因子探测器主要用来探测因子(X)多大程度上解释了变量(Y)的空间分异,用 q 值度量,具体公式如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (4)$$

式(4)中 $h=1, \dots, L$ 。 L 为变量 Y 或因子 X 的分层; N_h 和 N 分别为分层和全区的样本数; σ_h^2 和 σ^2 分别是层 h 和全区的 Y 值的方差。 q 的值域为 $[0, 1]$ 。如果分层是由因子 X 生成的, q 值越大,表示因子 X 对属性 Y 的解释力越强,反之则越弱。文中应用因子探测器来探测我国此次非洲猪瘟疫情时空演化特征的影响因素。

2 结果分析

2.1 中国非洲猪瘟疫情的时空分布

2.1.1 时间分布

图 1 是 2018 年 8 月 - 2019 年 4 月中国新增感染非洲猪瘟生猪数量变化图,结合新增染疫生猪的数量

变化,可以将疫情在中国的传播大致分为 5 个阶段:

第一阶段:2018 年 8 月 -2018 年 9 月,为疫情流行初期,该阶段染疫生猪数量较少,新增发病头数变化较为平缓,9 月份疫情较 8 月份还有所下降;

第二阶段:2018 年 10 月,该阶段新增染疫生猪数量快速增加,出现第一次疫情高峰;

第三阶段:2018 年 11 月 -2018 年 12 月,该阶段国家相关部门加大疫情防控力度,新增染疫生猪数量出现回落;

第四阶段:2019 年 1 月 -2019 年 2 月,该阶段新增染疫生猪数量急剧增加,非洲猪瘟疫情再次达到高峰;

第五阶段:2019 年 3 月 -2019 年 4 月,该阶段新增染疫生猪数量大幅回落,疫情整体上得到控制,但疫情仍存在小幅波动。

2.1.2 空间分布

根据上述对疫情传播的阶段划分,考虑到省区间的横向可比性,文中对中国 31 个省级行政区的非洲猪瘟发病率分阶段进行可视化处理,在省域尺度上,按照自然断裂点法,将发病率分为 5 级(图 2)。

如图 2 所示,在第一阶段,共有 8 个省份发生疫情,其中发病率高值区仅有浙江一省,次高值区为江苏

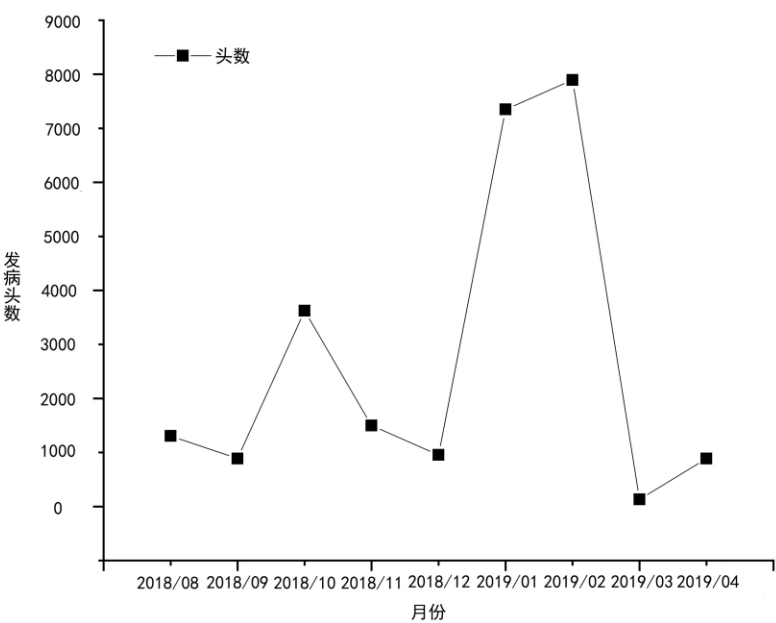


图 1 2018 年 8 月 -2019 年 4 月中国新增感染非洲猪瘟生猪数量变化图
Figure 1 Dynamic of the number of live pigs newly infected with ASF in China from August 2018 to April 2019

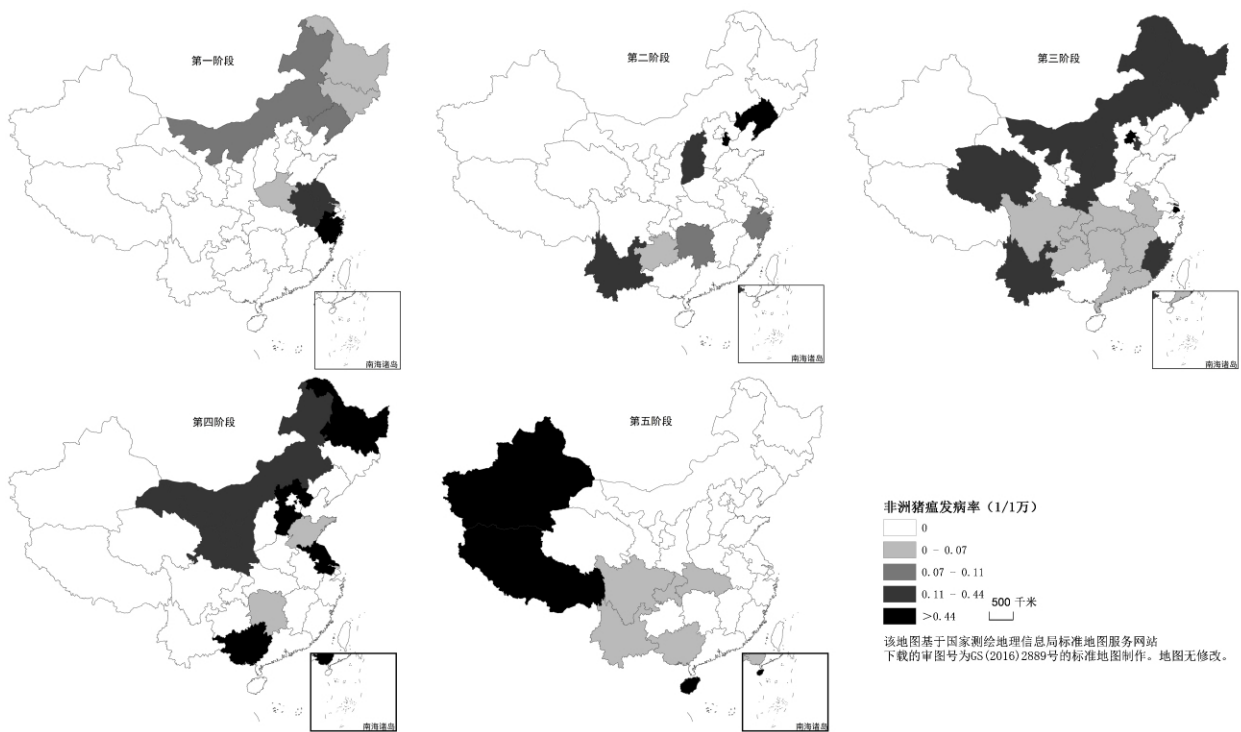


图 2 2018 年 8 月 -2019 年 4 月中国非洲猪瘟发病率空间分布图
Figure 2 Spatial distribution of ASF incidence in China from August 2018 to April 2019

和安徽两省,南方地区较北方地区疫情严重;第二阶段为疫情的第一个高峰期,染疫生猪数量快速增加,但集中发生于辽宁省,因此该阶段新发生疫情省份不多,发病率高值区包括辽宁省和天津市,次高值区有山西和云南两省;第三阶段虽然新增染疫生猪数量回落,但是疫情波及省份迅速增多,共有 19 个省份发生疫情,虽然发病率高值区仅有上海和北京两市,然而次高值区众多,包括天津、吉林、黑龙江、内蒙古、山西、陕西等 9 省份;第四阶段为疫情的第二个高峰期,不仅染疫生猪数量急剧增多,发生疫情的省份也较多,共有 11 个省份,发病率高值区包括黑龙江、河北、广西和江苏 4 省区,次高值区有内蒙古、陕西、甘肃、宁夏 4 省区;第五阶段,疫情整体得到控制,共有 8 个省份受到疫情侵袭,其中发病率高值区为新疆、西藏和海南 3 省区,这 3 个省区,此前均未发生疫情,随着这 3 省区爆发疫情,疫情也蔓延至全国范围。总体而言,在疫情流行的前四个阶段,疫情呈越来越严重的趋势,初期南方地区疫情严重,随后北方地区成为疫情的重灾区,并最终形成“北重南轻”的疫情空间分布格局。

2.2 中国非洲猪瘟疫情的空间分布特征

2.2.1 非洲猪瘟发病率的全局空间自相关特征

如表 1 所示,在疫情流行的五个阶段,疫情发病率空间分布形态均呈现随机性,但是 2018 年 8 月 - 2019 年 4 月总体全国非洲猪瘟发病率的全局 Moran 指数为 0.393, Z 值为 5.437 > 2.58,通过了 0.01 的显著性水平检验,具有统计学意义,这说明 2018 年 8 月 - 2019 年 4 月总体全国非洲猪瘟发病率存在非常强的空间正相关性,其空间分布形态呈现聚集性。

2.2.2 非洲猪瘟发病率的局部空间自相关特征

如图 3 所示,2018 年 8 月 - 2019 年 4 月总体非洲猪瘟发病率热点区域与冷点区域空间分布差异明显。其中,发病率热点区域主要分布于北方地区,而冷点区域集中分布于南方地区。东北地区的辽宁、吉林和黑龙江 3 省形成了一个疫情高发的极显著热点区域;次一级疫情高发的显著热点区域主要包括北京、天津、河北、内蒙古、山西、山东和江苏 7 省份;再次一级疫情高发的较为显著热点区域主要包括河南、陕西、宁夏、新疆、西藏、安徽和上海 7 省份。重庆市是非洲猪瘟发病率极显著的低值冷点区域;显著的疫情低发冷点区域主要包括浙江、江西、广东、湖南、广西、贵州和四川 7 省份;较为显著的疫情低发冷点区域主要包括福建、海南、云南和青海 4 省份。

2.3 中国非洲猪瘟疫情时空特征的影响因素

2.3.1 影响非洲猪瘟疫情时空变化的自然气象因素

如表 2 所示,地理探测分析表明非洲猪瘟疫情的时空变化与区域自然气象因素关系密切($p < 0.5$)。而气温(X_1)、湿度(X_2)、降水量(X_3)、风速(X_4)和气压(X_5) 5 个因素的因子解释力相比较,风速(X_4)和气压(X_5)两因素始终具有前两位,其各阶段因子解释力 q 值均在 0.3 以上,对非洲猪瘟疫情时空变化有

表 1 2018 年 8 月 - 2019 年 4 月中国非洲猪瘟发病率全局 Moran's I 分析结果

Table 1 Global Moran's I analysis of ASF incidence in China from August 2018 to April 2019

阶段	Moran's I	Z 值	置信水平 p	分布形态
第一阶段	0.053	1.15	0.249	随机
第二阶段	0.0105	0.625	0.531	随机
第三阶段	0.002	0.679	0.497	随机
第四阶段	-0.087	-0.826	0.408	随机
第五阶段	0.0758	1.549	0.121	随机
总体	0.393	5.437	0	聚集

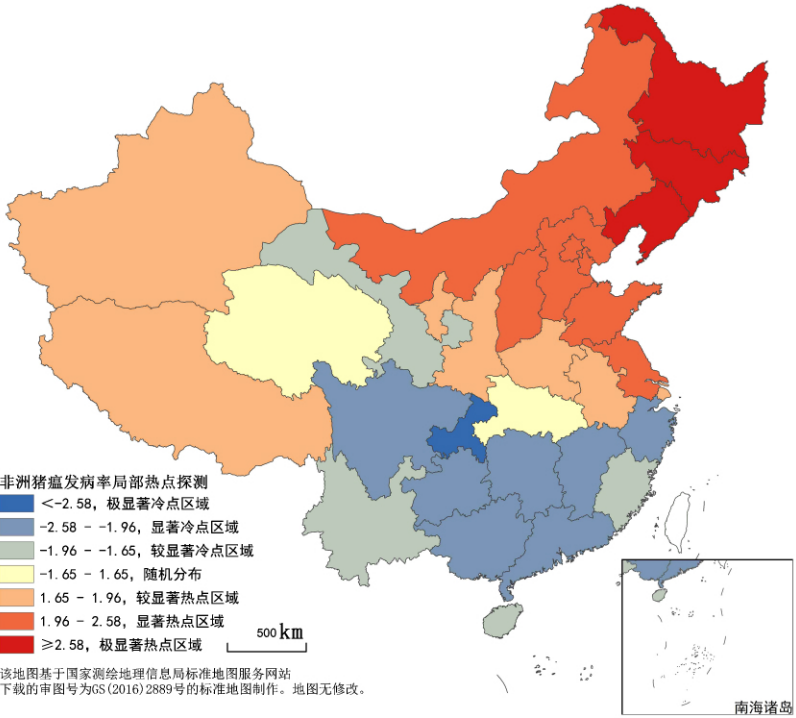


图 3 2018 年 8 月 - 2019 年 4 月总体中国非洲猪瘟发病率局部 Getis - Ord G_i^* 分析结果

Figure 3 Local Getis - Ord G_i^* of ASF incidence in China from August 2018 to April 2019

显著影响 ($p < 0.01$) ,而其他三个气象因素的各阶段因子解释力 q 值大部分在 0.15 以下 ,影响作用较弱。这说明秋冬春晴朗、多风的气象条件有利于非洲猪瘟病毒在空气中传播。

表 2 不同阶段中国非洲猪瘟疫情时空特征影响因素作用探测结果

Table 2 The detected result of the pactors of the spatio – temporal patterns of the ASF in China from August 2018 to April 2019

影响因素	第一阶段		第二阶段		第三阶段		第四阶段		第五阶段	
	q	p	q	p	q	p	q	p	q	p
气温(X1)	0.11	0.01	0.06	0.11	0.21	0.00	0.35	0.00	0.03	0.40
湿度(X2)	0.14	0.00	0.13	0.00	0.10	0.03	0.12	0.03	0.11	0.04
降水量(X3)	0.12	0.00	0.03	0.44	0.04	0.44	0.12	0.00	0.07	0.00
风速(X4)	0.39	0.00	0.38	0.00	0.32	0.00	0.51	0.00	0.66	0.00
气压(X5)	0.40	0.00	0.38	0.00	0.41	0.00	0.63	0.00	0.41	0.00
生猪存栏量(X6)	0.43	0.00	0.35	0.00	0.34	0.00	0.68	0.00	0.45	0.00
路网密度(X7)	0.40	0.00	0.35	0.00	0.28	0.00	0.44	0.00	0.37	0.00
生猪流通类型(X8)	0.63	0.00	0.31	0.00	0.37	0.00	0.50	0.00	0.39	0.00

2.3.2 影响非洲猪瘟疫情时空变化的社会经济因素

如表 2 所示 ,首先 ,就生猪存栏量(X6) 因素来看 ,在疫情流行的五个阶段 ,其因子解释力 q 值分别是 0.43、0.35、0.34、0.68 和 0.45 ,且 $p < 0.01$,除第三阶段位于所有因素因子解释力的第三位外 ,其余四个阶段 ,其因子解释力均位于所有因素因子解释力的前两位 ,说明区域生猪存栏量即生猪养殖空间格局对非洲猪瘟疫情时空变化有着十分重要的影响。其次 ,就路网密度(X7) 和生猪流通类型(X8) 两因素来看 ,各阶段两因素的因子解释力绝大部分在 0.30 以上 , $p < 0.01$,说明生猪的空间运输对此次非洲猪瘟疫情的时空变化有着关键性影响 ,同时两因素比较 ,生猪流通类型的因子解释力更高。

3 讨论

(1) 从时间上来讲 ,我国此次非洲猪瘟疫情主要流行于秋、冬、春三季 ,这三个季节晴朗多风的气象条件 ,有利于近距离内非洲猪瘟病毒在空气中的传播 ,从空间上来讲 ,我国此次非洲猪瘟疫情总体上呈"北重南轻"的局面。因此各地疫情防控部门 ,尤其是北方地区省份应着重做好秋季至来年春季的非洲猪瘟疫情防控工作。

(2) 从疫情的影响因素来讲 ,我国目前"南猪北养"的生猪养殖空间格局^[19] 决定了疫情的空间差异 , "西猪东运 ,北猪南运" 生猪空间流通模式^[16] 则加速了疫情的扩散和传播。但我国目前的生猪养殖格局和空间流通模式 ,是社会经济发展的结果 ,试图短时间内改变是不可能的 ,因此根据区域生猪养殖规模和流通类型 ,优化生猪产业布局 ,并做好区域之间疫情的联防联控 ,是未来降低非洲猪瘟疫情的风险的必由之路。

4 结论

(1) 中国非洲猪瘟疫情具有明显的时空特征。1) 在时间上 2018 年 8 月 – 2019 年 4 月的中国非洲猪瘟疫情 ,可分为 5 个阶段 2018 年 10 月和 2019 年 1 月 – 2 月为疫情的高峰期。2) 在空间上 ,疫情总体上呈"北重南轻"的空间分布格局 ,总体发病率的空间分布形态呈现聚集性 ,其中疫情高发的热点区域主要分布于北方地区 ,低发冷点区域主要位于南方地区。

(2) 中国非洲猪瘟疫情受到自然气象因素和社会经济因素的共同影响。1) 气温、湿度、降水量、风速和气压 5 个气象因素对疫情均有影响 ,其中风速和气压两因素影响最为显著。2) 社会经济因素对疫情的影响程度要高于自然气象因素 ,我国目前生猪养殖业空间格局 ,决定了疫情总体分布格局 ,而生猪空间流通模式则加速了疫情扩散和传播。

参考文献

[1] Costard S , Mur L , Lubroth J , Sanchez – Vizcaino J M , et al. Epidemiology of African swine fever virus [J]. Virus Research 2013 ,173(1) : 191 – 197.

[2] 陈腾 ,张守峰 ,周鑫韬 ,等. 我国首次非洲猪瘟疫情的发现与流行分析 [J]. 中国兽医学报 2018 ,38(9) : 1831 – 1832.

[3] GE S , LI J , FAN X , et al. Molecular characterization of African swine fever virus ,China 2018 [J]. Emerg Infect Dis 2018 ,24(11) : 2131 –

2133.

- [4] Montgomer Y R E. On a form of swine fever occurring in British East Africa (Kenya colony) [J]. Comp Pathol Therapeutics ,1921 ,34: 159 – 191.
- [5] 中华人民共和国农业农村部. 农业农村部发布非洲猪瘟Ⅱ级疫情预警[EB/OL]. http://www.moa.gov.cn/ztzl/fzzwfk/gzdt/201808/t20180803_6155300.htm 2018 – 08 – 03/2019 – 5 – 15.
- [6] 包雨鑫,丁军莉,郑海英,等. 非洲猪瘟研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医 2018(24): 78 – 80.
- [7] 张博. 非洲猪瘟研究现状[J]. 动物医学进展 2018 ,39(12): 185 – 188.
- [8] 曹志冬,王劲峰,高一鸽,等. 广州 SARS 流行过程的空间模式与分异特征[J]. 地理研究 2008 ,27(5): 1140 – 1149.
- [9] 杨斯棋,荆潇月,董卫华,等. 北京市甲型 H1N1 流感对气象因子的时空响应[J]. 地理学报 2018 ,73(3): 460 – 473.
- [10] 董雯,杨昆,许泉立. 2013 – 2014 年我国人感染 H7N9 禽流感时空分布及相关环境因素[J]. 环境健康杂志 2016 ,33(10): 903 – 906.
- [11] 陈业滨,李卫红,黄玉兴,等. 广州市登革热时空传播特征及影响因素[J]. 热带地理 2016 ,36(5): 768 – 775.
- [12] Oganessian A S , Petrova O N , et al. African swine fever in the Russian Federation: Spatio – temporal analysis and epidemiological overview [J]. Virus Research 2013 ,173: 204 – 211.
- [13] Korennoy F I , Gulenkin V M , et al. Spatio – temporal modeling of the African swine fever epidemic in the Russian Federation 2007 – 2012 [J]. Spatial and Spatio – temporal Epidemiology 2014 ,11: 135 – 141.
- [14] 卢易,王烁,易敬涵,等. 基于 GIS 的中国非洲猪瘟非洲疫情风险分析[J]. 中国兽医学报 2019 ,39(1): 9 – 13.
- [15] 张睿,黄旖童,鲍晨沂,等. 非洲猪瘟流行病学及其在中国扩散的因素分析[J]. 病毒学报 2019 ,35(3): 1 – 11.
- [16] 刘勃,毛克彪,冯莹,等. 基于农业大数据可视化方法的中国生猪空间流通模式[J]. 地理科学 2017 ,37(1): 119 – 124.
- [17] 孟斌,王劲峰,张文忠,等. 基于空间分析方法的中国区域差异研究[J]. 地理科学 2005 ,25(4): 394 – 400.
- [18] 王劲峰,徐成东. 地理探测器: 原理与展望. 地理学报[J]. 2017 ,72(1): 116 – 134.
- [19] 赵俊伟,陈永福,余乐,等. 中国生猪养殖业地理集聚时空特征及影响因素[J]. 经济地理 2019 ,39(2): 181 – 189.

Spatio – temporal evolution characteristics and causes of African swine fever in China

SHI Guoning , ZHANG Tao , WANG Wuwei

(Key Laboratory for Geographical Process Analysis & Simulation / Research Institute of Sustainable Development , Central China Normal University , Wuhan 430079 , China)

Abstract: In this paper , the spatio – temporal characteristics and influencing factors of ASF in China from August 2018 to April 2019 were analyzed by using geospatial analysis and geodetector. The results show that: 1) Time distribution of the epidemic could be divided into five stages , in which October 2018 and January – February 2019 were the peak periods of the epidemic. In spatial distribution , the epidemic areas were mainly distributed in the northern provinces , and the overall incidence of the epidemic presented a clustered spatial distribution pattern. The hot spots with high incidence mainly distributed in the northern provinces , while the cold spots with low incidence were concentrated in the southern provinces. 2) The temporal and spatial changes of epidemic were affected by both meteorological factors and socio – economic factors. Among the meteorological factors , wind speed and atmospheric pressure had the most significant influence. The pattern of pig breeding determines the spatial difference of the epidemic , while the pig's circulation pattern accelerated the spread of the epidemic.

Key words: African swine fever (ASF) ; spatio – temporal characteristics; causes; China