

# 应用地理信息系统分析中国肾综合征出血热的空间分布

方立群 曹务春 陈化新 王宝光 吴晓明 杨红 张习坦

**【摘要】** 目的 利用地理信息系统(GIS)技术分析中国大陆肾综合征出血热(HFRS)的空间区域分布,建立HFRS危险区域分布图。方法 收集中国41个HFRS监测点1995~1998年的人群发病资料建立数据库,以中国省级、县级、一级河流数字地图为背景,在ArcGIS软件的支持下,与建立的数据库关联并对监测点人群发病资料进行反距离权重插值分析,收集1998年6月SPOT4卫星覆盖东南亚地区的植被影像,逐一提取出各监测点监测区域的归一化植被指数(NDVI),与1995~1998年HFRS监测点人群平均发病率进行相关分析,根据不同流行强度监测区域的NDVI值,对遥感影像使用不同的颜色进行密度分割。结果 HFRS监测点人群发病资料的空间分析预测模型显示,中国HFRS主要分布于黑龙江流域、黄河中下游地区、长江中下游地区及京杭大运河-淮河流域地区,与1995~1998年全国各县HFRS平均发病率分布图进行比较,发现两者基本一致。相关分析显示HFRS发病率与NDVI之间呈现正相关( $r=0.417, P<0.01$ ),根据各监测点NDVI的差异建立了中国HFRS危险区域分布图。结论 根据监测点数据采用GIS技术建立的预测模型对预测全国HFRS的分布情况有重要意义。

**【关键词】** 出血热;流行性;地理信息系统;监测;危险区域

**Study on the application of geographic information system in spatial distribution of hemorrhagic fever with renal syndrome in China** FANG Li-qun\*, CAO Wu-chun, CHEN Hua-xin, WANG Bao-guang, WU Xiao-ming, YANG Hong, ZHANG Xi-tan. \*Institute of Microbiology and Epidemiology, Academy of Military Medical Science, Beijing 100071, China

**【Abstract】 Objective** To analyze the spatial distribution of hemorrhagic fever with renal syndrome (HFRS) in China by geographic information system, and to draw up a map on HFRS risk areas. **Methods** A set of database was set up using the information collected and linked to electronic maps of China in a software ArcGIS 8.01 from 41 HFRS surveillance sites during 1995-1998. A HFRS spatial distribution model was developed using inverse distance weighted interpolation of ArcGIS's spatial analysis method. The normalized difference vegetation index (NDVI) in each HFRS surveillance site was extracted from SPOT4 satellite vegetation imagery. Correlation analysis was performed through SPSS 10.0 to analyze the association between NDVI and HFRS incidence, HFRS risk areas were mapped under different colors. **Results** Spatial distribution model from HFRS surveillance sites showed that HFRS foci mainly presented in the Heilongjiang River drainage, the middle and lower reaches of the Yellow River, the middle and lower reaches of the Yangtze River, and the Jinghang grant Canal-Huaihe River drainage. It was consistent with HFRS distribution map derived from national infectious disease reporting system. Correlation analysis indicated that HFRS incidence rates were significantly associated with NDVI ( $r=0.417, P<0.01$ ). The HFRS risk areas was mapped according to NDVI of each surveillance site. **Conclusion** It is promising to apply GIS technology in predication of the distribution of HFRS by establishing this prediction model.

**【Key words】** Hemorrhagic fever, epidemic; Geographic information system; Surveillance; Risk areas

肾综合征出血热 (hemorrhagic fever with renal

syndrome, HFRS)是由布尼亚病毒科汉坦病毒属中不同型病毒引起的一类自然疫源性疾,分布于五大洲70个国家。我国是世界上HFRS发病最多的国家,患者占世界报道病例数的90%以上,该病不仅严重危害着人民的生命和健康,而且对工农业生产

基金项目 北京市自然科学基金重点资助项目(7021004)

作者单位:100071 北京 军事医学科学院微生物流行病学研究所(方立群、曹务春、吴晓明、杨红、张习坦);中国疾病预防控制中心传染病预防控制所(陈化新);Super Full Technology Company(王宝光)

产、经济开发及旅游事业的发展造成极大的影响,已列为国家重点防治的传染病。由于 HFERS 发生和流行与自然环境因素密切相关,疫区分布具有明显的地理特征,找出 HFERS 流行与自然地理环境因素之间的内在联系,是预测流行趋势并有效控制其流行的关键。为直观描述我国 HFERS 的地理分布特征和发生、发展规律,了解 HFERS 发生的危险区域,本研究应用地理信息系统(geographic information system, GIS)技术对我国 1995~1998 年全国 41 个监测点的数据资料进行了空间分析,并建立了全国 HFERS 危险区域分布图。

### 资料与方法

1. 肾综合征出血热资料数据库:收集全国 41 个 HFERS 监测点 1995~1998 年人群发病监测资料<sup>[1-5]</sup>,对各监测点每年的发病资料进行核实,按要求设计并建立数据库。

2. 基础地图 选择 1:400 万中国国界及省界区划图、一级河流电子地图(由国家基础地理信息中心提供)和 1:100 万县界区划图(由国家测绘科学研究院提供)。全国 41 个 HFERS 监测点的监测区域及中心地理位置根据我国国界及省界区划图、县界区划图得出。收集 SPOT4 卫星 1998 年 6 月的植被影像,其空间分辨率为 1 km(由 SPOT 公司提供)。

3. 空间分析:以全国 1:400 万国界及省界区划图、1:100 万县界电子地图、一级河流电子地图为背景,在 ArcGIS 软件中对全国 41 个 HFERS 监测点监测区域的中心进行标注,建立点矢量层,并与全国 41 个 HFERS 监测点 1995~1998 年人群发病数据库建立关联,在空间分析模块中进行空间区域分析,采用反距离权重插值法建立 HFERS 表面分布模型,以不同的颜色和等值线预测全国 HFERS 的分布情况。

反距离权重插值法公式为:
$$\hat{Z}(S_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(S_i)$$
式中  $Z(S_i)$  是监测点的第  $i$  个位置的值,  $\lambda_i$  是第  $i$  个位置上监测点检测值的未知的权重(分析时赋值),  $S_0$  是预测的位置,  $N$  是已知点(已测得值的点)的数目。以 SPOT4 卫星搭载的“植被”成像装置扫描的 1998 年 6 月 1 日的植被影像为背景,在 ENVI 3.5 软件中与 1:400 万国界及省界区划图、1:100 万县界区划图、全国一级河流电子地图进行叠加,与全国疾病监测

系统报告的 1995~1998 年各县 HFERS 发病情况建立关联,对各县不同的发病率采用点密度来显示,其中一个点代表发病率为 0.1/10 万。

4. 相关分析及危险区域分布图的建立:在 ENVI 3.5 遥感软件中对 1998 年 6 月 SPOT4 号卫星植被影像的归一化植被指数(NDVI)进行 0~255 范围的线性拉伸转化(由于 NDVI 值介于 -1~1 之间),使 NDVI 全部转为正值并符合正态分布,提取各监测点监测区域的 NDVI 转化值,在 SPSS 10.0 软件中对 1995~1998 年各监测点平均发病率进行平方根变换,使其符合正态化,与对应 NDVI 转化值进行相关分析,并按国家统一划分标准将各监测点的流行强度划分为高发区(发病率 > 30/10 万)、中发区(发病率 5/10 万~30/10 万)和低发区(发病率 < 5/10 万)及非疫区(发病率为 0),根据疫区 NDVI 转化值的阈值范围对植被影像进行密度分割,建立全国 HFERS 危险区域分布图。求取 NDVI 的公式为:
$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$
式中 NIR 和 R 代表近红外波段与红色波段的反射率,即 SPOT4 卫星搭载的“植被”成像装置的第 3 波段与第 2 波段的反射率。

### 结果

1. 1995~1998 年 HFERS 监测点综合情况:全国 41 个监测点监测区域基本散布中国大陆各地区,且监测面积较广,监测点的数据有一定代表性;监测点划分为省级、地区级和县级,通过 1998 年 6 月的遥感影像获得各监测点的 NDVI 转化值。结果见表 1。

2. HFERS 空间分析结果:通过对全国 41 个 HFERS 监测点 1995~1998 年平均发病率进行空间分析反距离权重插值法建立的全国发病率预测图(图 1),其中采用不同的颜色来显示不同的发病情况,并根据发病率建立等值线。从图 1 可以看出,我国肾综合征出血热分布呈现高度散发又相对集中的趋势,主要分布在黑龙江流域、黄河中下游地区、长江中下游地区及京杭大运河-淮河流域地区,同一地区可呈现不同的发病情况,提示该病宿主动物对微小地理环境的差异敏感。与全国疾病监测系统报告的发病情况(图 2)进行比较,二者基本一致,提示使用 HFERS 监测点数据进行空间分析建立的表面预测模型能够反映整个地区的发病情况。

表1 1995~1998年全国41个HFRS监测点综合情况

监测点	地区级别	东经	北纬	1995~1998年HFRS 平均发病率(/10万)	平均NDVI转化值	流行强度
北京	省级	116.46	40.25	0.240 437	160.035 5	低发区
天津	省级	117.39	39.38	2.707 525	117.595 8	低发区
上海	省级	121.40	31.11	0.579 019	89.448 9	低发区
福建	省级	118.14	25.95	0.335 205	129.496 7	低发区
宁夏	省级	105.98	37.30	0.402 247	86.730 6	低发区
青海	省级	96.24	35.44	0.000 000	66.412 2	非疫区
新疆	省级	84.907	41.75	0.000 000	56.268 3	非疫区
云南	省级	101.85	25.15	0.074 029	106.834 8	低发区
西藏	省级	88.749	31.67	0.000 000	59.927 55	非疫区
唐山	地区级	118.31	39.70	4.188 001	114.263	低发区
太原	地区级	112.51	37.30	1.579 227	123.402 2	低发区
运城	地区级	110.93	35.11	1.023 494	129.430 4	低发区
牙克石	地区级	121.47	49.29	0.585 962	140.390 3	低发区
黑河	地区级	126.73	50.20	46.532 90	170.969 9	高发区
沈阳	地区级	123.40	41.84	3.716 696	108.841 7	低发区
临沂	地区级	118.39	35.13	54.865 34	110.583 3	高发区
济宁	地区级	116.58	35.37	11.566 00	111.845 6	中发区
阜阳	地区级	115.84	32.92	5.207 315	102.869 6	中发区
安庆	地区级	117.10	30.59	0.707 199 4	157.551 8	低发区
广州	地区级	113.36	23.23	0.521 123 9	85.473 45	低发区
桂林	地区级	110.33	25.17	0.004 852 8	145.913 6	低发区
西安	地区级	109.04	34.31	12.627 64	153.007 7	中发区
宝鸡	地区级	107.13	34.27	4.763 580	186.989	低发区
天水	地区级	105.97	34.44	0.425 959 2	165.803 6	低发区
涪陵	地区级	107.33	29.70	2.353 627	111.605 9	低发区
南充	地区级	106.08	29.70	3.775 124	154.382 1	低发区
遵义	地区级	106.88	27.70	7.495 605	158.816 6	中发区
密山	县级	132.19	45.47	74.594 35	139.281	高发区
蛟河	县级	127.33	45.47	6.221 841	182.544 3	中发区
大丰	县级	120.50	33.24	4.428 841	100.424 1	低发区
东海	县级	118.80	33.24	9.177 505	91.096 2	中发区
凤台	县级	116.60	32.75	13.949 94	91.096 2	中发区
天台	县级	120.97	29.16	28.760 09	175.195 2	中发区
高安	县级	115.29	28.35	44.085 71	172.214 3	高发区
新安	县级	112.09	34.84	0.843 703 9	130.131 6	低发区
确山	县级	115.84	32.92	12.251 03	117.891 6	中发区
淮阳	县级	114.86	33.67	0.512 621	102.966 5	低发区
武昌	县级	114.01	30.32	2.422 222	138.011 1	低发区
天门	县级	113.03	30.66	2.701 912	97.871 55	低发区
宁乡	县级	112.34	28.17	50.602 041	169.396 5	高发区
卢县	县级	108.57	34.02	36.613 52	159.367 4	高发区

3. 相关分析及建立我国 HFRS 危险区域分布图 :1995~1998 年各监测点平均发病率与对应 NDVI 转化值进行相关分析结果显示 ,平均发病率与 NDVI 之间呈现显著的正相关关系( $r = 0.417$  , $P < 0.01$ ) ,提示 HFRS 发病率的高低与 NDVI 相关。从全国 HFRS 危险区域分布图(图 3)可以看出 ,黄色区域代表 HFRS 的危险区域 ,该区域所代表的 NDVI 转化值的范围为 97~178 ,预示此区 NDVI

范围所代表的生境可能适合于 HFRS 宿主的生存与繁殖。

## 讨 论

在我国 ,HFRS 由于其疫区范围广、发病急、病死率高、危害大而被国家列为重点传染病监测对象。近年来 ,随着我国经济的发展和城市开发力度的加大 ,局部地区的生态环境发生了变化 ,HFRS 的疫情

和疫区类型也发生了变化,弄清楚该病的疫区分布情况、危险地理环境因素、疫情变化原因和影响因素等,可为制定本病的防制策略和预防措施提供科学的依据。

我国 HFRS 的分布具有一定的地域性,发病呈现相对集中而又高度散发,从全国范围来说,其发病率存在空间自相关性,同时 41 个 HFRS 监测点散布于我国 30 个省(自治区和直辖市),监测面积占全国总面积的 1/3 以上,所以该监测点监测数据具有很好的代表性。本研究应用遥感和 GIS 技术,对我国 HFRS 的分布情况进行了空间内插分析,使用监测点监测数据建立的预测模型很好地显示了我国 HFRS 的分布情况,非常直观地显示出我国 HFRS 的四个高发区,分别是黑龙江流域、黄河中下游地区、长江中下游地区及京杭大运河-淮河流域地区。在遥感应用领域,NDVI 已广泛用来定性和定量评价植被覆盖及其生长活力,由于植被光谱表现为植被、土壤亮度、环境影响、阴影、土壤颜色和湿度复杂的混合反应,而且受大气空间、时相变化的影响,所以 NDVI 能够综合反映地区的地理环境特征<sup>[6,7]</sup>。已有研究表明,肺综合征出血热与植被指数有相关性<sup>[8-10]</sup>。本研究采用 1998 年 6 月 SPOT4 卫星的植被影像提取 NDVI,该值为 10 天植被影像的平均合成值(SPOT4 卫星植被探测器每天覆盖全球 1 次),且为各监测点监测区域的平均 NDVI 值,采用该值能够很好地代表监测点的环境特征,分析结果显示我国 HFRS 监测点的发病率与 NDVI 之间呈现显著的相关关系,通过对植被影像不同范围的 NDVI 进行密度分割,划分出 HFRS 危险区域,探讨了 HFRS 与环境之间的联系,为进一步深入研究 HFRS 的动态变化、自然地理环境危险因素及疫情预测奠定了基础。与 Gregory 等<sup>[10]</sup>使用遥感和 GIS 技术对美国西南部地区 1993 年爆发的肺综合征出血热进行的研究结果一致。本次研究由于采用的遥感影像波段较少,未能提取更多类型的地理环境数据,也未对宿主动物的种群分布、带病毒情况进行研究,下一步的工作将结合现场调查与宿主动物试验,采用多波段和不同时间段的遥感影像,局部地区还将采用高分辨率的遥感影像,收集和提取更多的地理环境数据,对不同型别的疫区地理特征进行时间和空间分析,弄清不同型别疫区的转化规律,探索不同

型别 HFRS 的环境危险因素,采用不同时段遥感影像提取的环境危险因素的变化情况来预测预报及验证 HFRS 的发病情况,探讨疫区疫情发生改变的原因,为 HFRS 的监测、预防与控制提供科学依据。

我国地域辽阔,地理景观复杂多样,自然疫源性疾病种类较多,采用遥感技术先进、实时、准确的获取环境与气候数据的能力,结合 GIS 技术提供的强大的数据库存储、显示和分析平台,研究疾病的地区分布、流行特征、危险因素、预测模型、防制措施和效果评价等,将会取得明显的社会效益与经济效益,随着遥感和地理信息系统技术的不断完善,各学科联系的加强及资源的共享,必将推动我国景观流行病学的发展。

(本文图 1~3 见插图第 4-3 页)

#### 参 考 文 献

- 1 罗成旺,陈化新. 1995 年全国肾综合征出血热监测点对人间疫情和宿主动物监测结果报告. 中国媒介生物学及控制杂志, 1996, 7:27-35.
- 2 罗成旺,陈化新. 1996 年全国肾综合征出血热监测点对人间疫情和宿主动物监测结果报告. 中国媒介生物学及控制杂志, 1997, 8(6-A):1-8.
- 3 罗成旺,陈化新. 1997 年全国肾综合征出血热监测点对人间疫情和宿主动物监测结果报告. 疾病监测, 1998, 13(8-A):14-31.
- 4 罗成旺,陈化新. 1998 年全国肾综合征出血热监测点对人间疫情和宿主动物监测结果报告. 中国公共卫生, 1999, 15:624-626.
- 5 罗成旺,唐浏英,陈化新. 1999 年全国肾综合征出血热监测点对人间疫情和宿主动物监测结果报告. 疾病监测, 2000, 15(9-A):239-248.
- 6 田庆久,阎祥军. 植被指数研究进展. 地球科学进展, 1998, 13:327-333.
- 7 Robert KW, Byron LW. Application of remote sensing to arthropod vector surveillance and control. Am J Trop Med Hyg, 1994, 50 (suppl):134-144.
- 8 Louisa RB, Bradley ML, Byron LW. Remote sensing and human health: new sensors and new opportunities. Emerging Infectious Diseases, 2000, 6:217-226.
- 9 John DB, Kenneth CM, Elmer WO, et al. Remote sensing and geographic information systems: charting sin nombre virus infections in deer mice. Emerging Infectious Diseases, 2000, 6:248-258.
- 10 Gregory EG, James EC, Jonathan AP, et al. Using remotely sensed data to identify areas at risk for Hantavirus pulmonary syndrome. Emerging Infectious Diseases, 2000, 6:238-247.

(收稿日期 2002-11-28)

(本文编辑:张林东)

# 应用地理信息系统分析中国肾综合征出血热的空间分布

(正文见第 265 页)

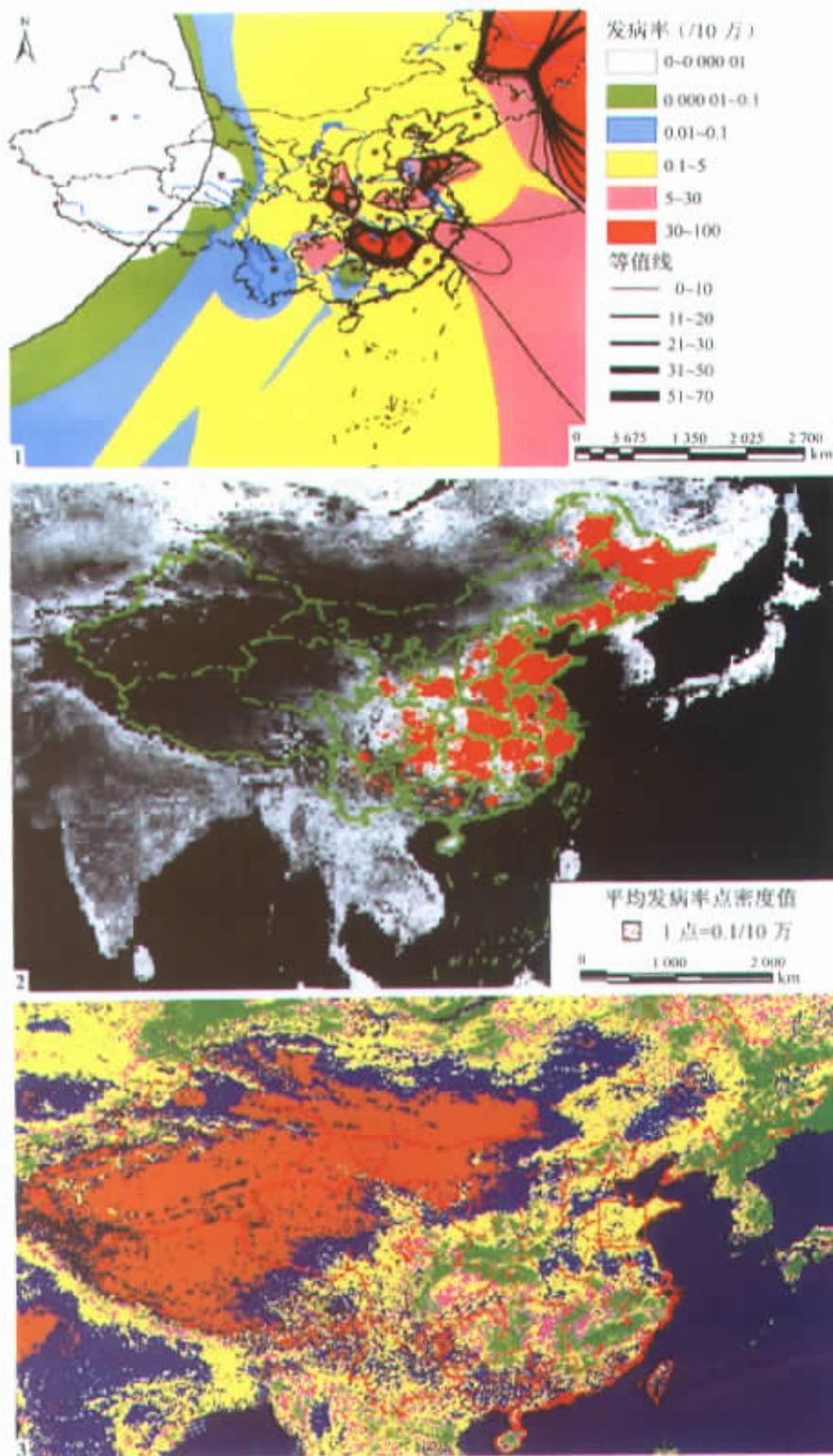


图1 中国HFRS监测点反距离加权空间插值分布图      图2 1995—1998年中国HFRS平均发病率分布图  
图3 中国1998年HFRS危险区域预测分布图(其中黄色区域为预测危险区域, NDVI转化值为97—178)