

渭河流域2005—2015年肾综合征出血热流行特征及环境危险因素分析

李雪 刘昆 谷旭 袁筱婕 邵中军

710032 西安,空军军医大学军事预防医学系军队流行病学教研室(李雪、刘昆、袁筱婕、邵中军); 261021 潍坊医学院公共卫生与管理学院流行病与卫生统计学教研室(谷旭)

李雪、刘昆同为第一作者

通信作者:邵中军, Email: 13759981783@163.com

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2018.09.004

【摘要】 目的 了解渭河流域2005—2015年肾综合征出血热(HFRS)流行情况,评估影响HFRS空间分布差异的环境因素。**方法** 通过“中国疾病预防控制中心信息系统”收集2005—2015年渭河流域HFRS个案资料,统计描述HFRS流行特征;应用增强回归树模型在5 km×5 km栅格尺度上分析引起疾病地理分布差异的主要因素。**结果** 2005—2015年,渭河流域共报告HFRS病例18 629例,年均发病率为7.24/10万,2012年HFRS发病率最高,达15.18/10万;HFRS高发区域主要集中在西安市、渭南市等渭河中下游地区;患者年龄集中在16~60岁,但2010年后,>60岁年龄组的发病率超过其他年龄组。增强回归树模型显示区域内建筑用地和农田面积覆盖百分比、海拔高度等因素对HFRS地域分布有较高贡献度。**结论** 渭河流域HFRS流行特征发生显著变化,>60岁老年人成为发病率最高的人群;建筑用地、农田、海拔高度等环境因素对渭河流域HFRS空间分布发挥着重要影响作用。

【关键词】 肾综合征出血热; 增强回归树模型; 环境危险因素

基金项目: 国家传染病防治科技重大专项(2017ZX10105011); 国家自然科学基金面上项目(81373058); 陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2017JQ8015); 陕西省卫生计生科研基金项目(2016A002)

Epidemiological characteristics and environmental risk factors of hemorrhagic fever with renal syndrome in Wei River basin, China, 2005–2015 Li Xue, Liu Kun, Gu Xu, Yuan Xiaojie, Shao Zhongjun

Department of Epidemiology, School of Military Preventive Medicine, The Fourth Military Medical University, Xi'an 710032, China (Li X, Liu K, Yuan XJ, Shao ZJ); Department of Epidemiology and Health Statistics, School of Public Health and Management, Weifang Medical College, Weifang 261021, China (Gu X)

Li Xue and Liu Kun are the first authors who contributed equally to the article.

Corresponding author: Shao Zhongjun, Email: 13759981783@163.com

【Abstract】 Objective To understand the epidemiological characteristics of hemorrhagic fever with renal syndrome (HFRS) in Wei River Basin from 2005 to 2015, and analyze the environmental factors that cause the differences of spatial distribution. **Methods** HFRS reported cases in Wei River Basin from 2005 to 2015 were collected from “National Disease Reporting Information System”, and the epidemiological features of HFRS were analyzed. Boosted regression trees (BRT) model was applied to evaluate the environment factors on the geographical distribution of HFRS in Wei River basin at 5 km×5 km grid scale. **Results** The number of HFRS cases was 18 629, and the average annual incidence from 2005–2015 in Wei River basin was 7.24/100 000. The highest morbidity was 15.18/100 000 in 2012. The middle and lower reaches of Wei River basin had high incidence of HFRS, such as Xi'an, Weinan city. Patients' age was mainly between 16 to 60, and the largest morbidity occurred in people over 60 years old. Boosted regression trees model identified building land, farmland coverage percentage and altitude had higher contribution to the distribution of HFRS.

Conclusions The epidemiological characteristics of HFRS changed significantly. Patients older than 60 years old were having the highest incidence rates. Environmental factors such as buildup land, farmland and altitude played important roles in the geographical distribution of HFRS in the Wei River basin.

【Key words】 Hemorrhagic fever with renal syndrome; Boosted regression trees; Environmental risk factors

Fund programs: China Special Grant for the Prevention and Control of Infection Diseases (2017ZX10105011); Surface project of National Natural Science Foundation (81373058); Natural Science Foundation Project of Shaanxi Province (2017JQ8015); Shaanxi Provincial Health and Family Planning Research Foundation (2016A002)

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血清型汉坦病毒(Hantavirus, HV)引起的以发热、出血及肾脏损害为特征的一种鼠传自然疫源性疾病^[1]。据估计全球每年 HFRS 发病人数约 15 万~20 万,覆盖 6 大洲 78 个国家,我国 HFRS 发病人数占世界总数的 70%~90%,是受 HFRS 危害最严重的国家,全国 31 个省(直辖市、自治区)均有病例报告^[2-3]。渭河流域地处我国西北核心地带,自 1955 年西安市发现了域内首例 HFRS 后,该区域一直是我国 HFRS 的主要自然疫源地之一。2011—2013 年渭河流域共监测报告 HFRS 病例 7 473 例,占全国同期总病例数的 20.3%^[3]。作为一种鼠源自然疫源性疾病, HFRS 疫源地的生态环境和人类活动对疾病发生、传播和流行的各个环节发挥着重要作用^[4-5],掌握 HFRS 流行特征,发现疾病分布的关键性影响因素对于有效防控疾病具有重要意义。本研究对 2005—2015 年渭河流域人间 HFRS 疫情监测数据开展流行病学研究,重点评估了环境因素对疾病空间分布的影响作用,为渭河流域有效防控 HFRS 提供科学依据,也为类似自然疫源性疾病研究提供参考。

资料与方法

1. 资料来源:渭河流域人间 HFRS 个案资料来源于“中国疾病预防控制中心信息系统”2005—2015 年网络直报数据,病例信息包括年龄、性别、居住地址、职业、发病日期等信息;人口资料来源于 2010 年全国第 6 次人口普查数据;地理行政区划数据来源于国家基础地理信息系统(<http://nfgis.nsdi.gov.cn>);土地覆盖数据来源于欧洲航天局提供的分辨率约 275 m 的栅格数据;人口密度数据来源于地球空间数据共享平台。

2. 研究方法:

(1)流行特征分析:采用 Excel 2013 软件建立渭河流域 2005—2015 年 HFRS 数据库,统计分析 HFRS 时间、空间和人群分布特征及年际变化趋

势。通过行政区划地理编码将各县(区)发病率关联到渭河流域县(区)面状地图,在 ArcGIS 10.2 软件中按发病率分级渲染绘制县(区)发病率分布等级图。应用百度地图地理坐标拾取系统查询病例点地理坐标,在 ArcGIS 10.2 软件中与土地覆盖数据叠加显示,直观展示 HFRS 病例点主要分布区的地表覆盖特征。

(2)增强回归树模型(boosted regression trees, BRT):BRT 模型是一种二分类机器算法,构建于传统的分类回归树算法之上,其核心思想是通过不断地随机选择和自我学习生成多重分类回归树,再把这些回归树集合起来,以此提高模型的分辨能力和稳定性能。BRT 模型最大的优势在于对原始数据要求简单,具有很大灵活性,不考虑变量与变量之间的交互关系,输出的自变量贡献度和反应曲线比较直观,易于理解各自变量在模型中对应变量影响作用的大小和自变量是如何影响应变量的。Martin 等^[6]在我国人感染高致病性 H5N1 禽流感的研究中应用 BRT 模型分析了影响我国 H5N1 分布的主要危险因素,比较了 BRT 模型和传统 logistic 模型的优缺点和预测效果,结果显示 BRT 模型在我国 H5N1 风险评估中表现更优。Fang 等^[7]在人感染 H7N9 禽流感研究中应用 BRT 模型探讨了环境因素对疾病分布的影响作用,并预测了全国人感染 H7N9 禽流感的风险。Pigott 等^[8]应用 BRT 模型绘制了全球利什曼病的风险分布。

本研究在 5 km×5 km 栅格尺度上评估渭河流域内环境因素对 HFRS 空间分布的影响。应用空间统计工具 ArcGIS 10.2 软件统计各栅格内 HFRS 病例数、平均人口密度、海拔高度以及 8 类土地覆盖类型所占百分比(农田、农田与自然植被混合地、阔叶林、针叶林、灌木草地、稀疏植被地、建筑用地和水体),根据 HFRS 病例数和平均人口密度计算出栅格 HFRS 年均发病率。鉴于 HFRS 病例呈高度聚集性分布,在建立模型过程中需考虑空间自相关性对模型的影响,因此本研究应用 Moran's I 检测栅格发病

率空间自相关性与距离的关系,采用距离倒数加权法生成发病率空间自相关项(Spatial autoregressive term)作为协变量纳入到模型。BRT模型基于Poisson分布建模,栅格HFRS发病率作为应变量,9个环境变量和空间自相关项作为自变量纳入模型。根据前期数据测试,同时考虑模型精度要求和运行时间效率的关系,BRT模型3个关键参数分别设置为:学习效率(learning rate)为0.005,抽样比例(bag fraction)为75%,根树复杂度(tree complexity)为5,相关分析与模型实现由R3.4.1软件程序包“ncf”和“dismo”完成。

结 果

1. 流行特征:2005—2015年渭河流域共报告HFRS病例18 629例,年平均发病率为7.24/10万。2005—2009年,HFRS流行处于相对稳定期,年平均发病率维持在4.52/10万~6.24/10万,2010年疫情进入上升期,达10.11/10万,此后的两年持续升高,2012年峰值达15.17/10万,2013年起疫情得到控制,快速回落至5.82/10万,2015年HFRS发病率降为3.82/10万。发病率较高的地区主要集中在渭河中下游,且南岸发病率普遍高于北岸。发病率前5位的县(区)依次是西安市长安区27.45/10万、周至县24.12/10万、户县20.87/10万、咸阳市武功县15.64/10万、渭南市的华县14.93/10万;其中西安市的长安区、周至县、户县均属传统疫区,2005—2015年上述3县(区)发病数占整个渭河流域发病总数的32.43%。自2010年起HFRS疫情逐渐向渭河下游蔓延,且新发疫区逐年增多,2012年,年平均发病率超过25.00/10万的县(区)达到11个,尤其是地处渭北的宝鸡市扶风县、麟游县及渭河下游的渭南市临渭区的发病率升至渭河流域的前3位。2013年后整体疫情趋于缓

和,但下游的形势仍不容乐观,渭南市的华县连续在2014年、2015年成为渭河流域唯一发病率超过25.00/10万的县(区)。见图1和图2。由于渭河流域城市优势鼠种为褐家鼠与小家鼠,农村优势鼠种为野生黑线姬鼠,为比较农村、城市间发病、流行的差异,故将渭河流域内城市及农村的发病情况进行分类统计,结果显示2005—2015年的11年间,除2008年和2009年城市发病率高于农村外,其他年份农村的发病率均高于城市。无论城市还是农村,男性发病率均明显高于女性,男女发病率比值分别为3.09:1、2.79:1。发病年龄中位数为45岁,16~60岁年龄组病例数最多,但值得注意的是,每年新发病例中16~60岁的病例数占当年总病例数的比例呈下降趋势,而>60岁的老年人病例数所占比例却逐年上升,2005年该比例为12.20%,2015年达到22.10%,提高近10.00%,且2010年后>60岁人群的发病率已高于其他年龄组。见表1。时间分布上,2005—2015年渭河流域HFRS各月均有病例报告,且呈现明显“双峰”流行趋势,秋冬大高峰集中在11月至次年1月,占全年总病例数的57.49%,夏季小高峰集中在6—7月。在发病率陡增的2010—2012年间,城市和农村的秋冬发病率均呈上升趋势,而夏季发病率均呈下降趋势。

2. 环境影响因素:渭河流域HFRS分布呈现高度聚集性,*Moran's I*检测结果显示当空间距离<5 km时,*Moran's I*>0.25,空间自相关性随距离增加而减小,当空间距离为17.8 km时,发病率空间自相关性降为0。见图3。BRT环境因素评估模型结果显示:建筑用地、海拔高度、农田对HFRS空间分布的影响作用较大,相对贡献度依次为49.10%、23.20%、8.70%,而发病率空间自相关项在模型中贡

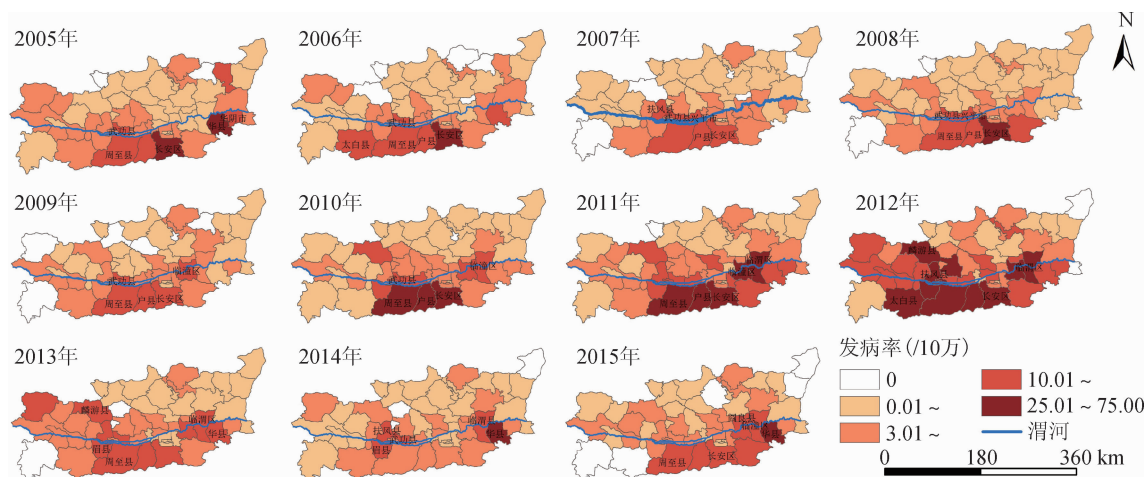


图1 2005—2015年渭河流域肾综合征出血热县(区)发病率分布

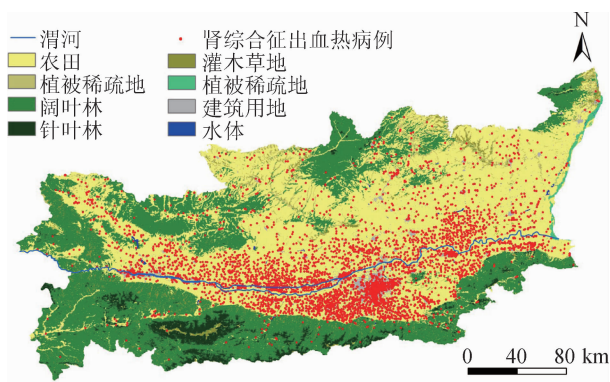


图 2 2005—2015 年渭河流域肾综合征出血热病例分布与地表覆盖

献度达 16.10%。见表 2。各变量对于 HFRS 流行的贡献作用是非线性的,建筑用地和农田是影响渭河流域 HFRS 流行最主要的地表景观环境因素,HFRS 发病风险随着建筑用地面积和农田面积的增多而升高;相反,HFRS 的流行随着海拔的升高而降低,当海拔升高到 1 000 m 后,HFRS 流行风险显著降低。见图 4。

讨 论

我国 HFRS 病例主要由汉滩型(HTHV)和汉城

型(SEOV)两种血清型的汉坦病毒引起,前者主要是动物宿主为野外的黑线姬鼠,后者主要是居民区的褐家鼠和小家鼠。渭河流域属于汉滩型为主的混合型疫区,动物宿主监测显示黑线姬鼠为优势鼠种,带病毒率较高,褐家鼠、小家鼠等也有较大数量分布^[9]。随着国家免费疫苗接种及防鼠灭鼠工作的实施推进,我国大部分地区 HFRS 病例数显著下降,但渭河流域 HFRS 却持续高发^[10],且呈现出一些新的流行趋势,如高发疫区向西安等城市周边蔓延,城乡结合部地区的农民和学生成为主要感染对象,小规模在疫情暴发时有发生^[11]。

2005—2015 年渭河流域 HFRS 年发病率呈现先上升后下降的过程,2010—2012 年发病率明显上升,这可能与疫区内降水增多有关^[12-13],同时也有研究表明 HFRS 流行有 5~10 年为一个周期的特点^[2],而 2012 年可能正值周期性流行高峰。渭河流域 HFRS 流行季节上同全国汉滩型为主的疫区大体一致,高发季节呈现明显“双峰”特征,即秋冬季大高峰,夏季小高峰。域内宿主动物调查显示黑线姬鼠、褐家鼠和小家鼠为主要带病毒鼠,其中优势鼠种黑线姬鼠的密度从 5 月迅速上升,8 月达到最高,11 月

表 1 2005—2015 年渭河流域肾综合征出血热人口学特征

人口学特征	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年
城市 病例数	551	420	430	665	583	912	1 000	1 302	519	364	565
性别											
男	427(77.50)	333(79.29)	331(76.98)	529(79.55)	438(75.13)	703(77.08)	746(74.60)	993(76.27)	365(70.33)	273(75.00)	437(77.34)
女	124(22.50)	87(20.71)	99(23.02)	136(20.45)	145(24.87)	209(22.92)	254(25.40)	309(23.73)	154(29.67)	91(25.00)	128(22.66)
年龄组(岁)											
<16	15(2.72)	16(3.81)	8(1.86)	23(3.46)	19(3.26)	38(4.17)	40(4.00)	72(5.53)	23(4.43)	9(2.47)	18(3.19)
16~	483(87.66)	351(83.57)	378(87.91)	567(85.26)	488(83.70)	734(80.48)	806(80.60)	1 001(76.88)	404(77.84)	272(74.73)	426(75.40)
>60	53(9.62)	53(12.62)	44(10.23)	75(11.28)	76(13.04)	140(15.35)	154(15.40)	229(17.59)	92(17.73)	83(22.80)	121(21.41)
职业											
农民	328(59.53)	235(55.95)	236(54.88)	356(53.53)	346(59.34)	541(59.32)	649(64.90)	825(63.36)	335(64.55)	246(67.58)	393(69.56)
工人	83(15.06)	67(15.95)	84(19.53)	120(18.05)	90(15.44)	112(12.28)	83(8.30)	95(7.30)	42(8.09)	32(8.79)	32(5.66)
学生	53(9.62)	49(11.67)	40(9.30)	77(11.58)	51(8.75)	108(11.84)	104(10.40)	177(13.59)	50(9.63)	22(6.04)	33(5.84)
其他	87(15.79)	69(16.43)	70(16.29)	112(16.84)	96(16.47)	151(16.56)	164(16.40)	205(15.75)	92(17.73)	64(17.59)	107(18.94)
农村 病例数	911	645	627	789	806	1 453	1 561	2 249	842	650	785
性别											
男	680(74.64)	482(74.73)	458(73.05)	600(76.0)	619(76.80)	1 082(74.47)	1 150(73.67)	1 668(74.17)	618(73.40)	484(74.46)	612(77.96)
女	231(25.36)	163(25.27)	169(26.95)	189(24.0)	187(23.20)	371(25.53)	411(26.33)	581(25.83)	224(26.60)	166(25.54)	173(22.04)
年龄组(岁)											
<16	49(5.38)	29(4.50)	30(4.78)	34(4.30)	42(5.21)	95(6.54)	84(5.38)	118(5.25)	43(5.11)	24(3.69)	48(6.11)
16~	737(80.90)	536(83.10)	530(84.53)	637(80.74)	628(77.92)	1 110(76.39)	1 177(75.40)	1 670(74.26)	612(72.68)	456(70.15)	560(71.34)
>60	125(13.72)	80(12.40)	67(10.69)	118(14.96)	136(16.87)	248(17.07)	300(19.22)	461(20.49)	187(22.21)	170(26.16)	177(22.55)
职业											
农民	701(76.95)	487(75.50)	489(77.99)	605(76.68)	638(79.16)	1 113(76.60)	1 253(80.27)	1 884(83.77)	687(81.59)	570(87.69)	660(84.08)
工人	65(7.14)	61(9.46)	49(7.81)	72(9.13)	50(6.20)	81(5.57)	56(3.59)	60(2.67)	26(3.09)	13(2.00)	21(2.68)
学生	82(9.00)	58(8.99)	60(9.67)	71(9.00)	75(9.31)	167(11.49)	148(9.48)	188(8.36)	62(7.36)	40(6.15)	59(7.51)
其他	63(6.91)	39(6.05)	29(4.63)	41(5.19)	43(5.33)	92(6.34)	104(6.66)	117(5.20)	67(7.96)	27(4.16)	45(5.73)

注:括号外数据为人数,括号内数据为构成比(%)

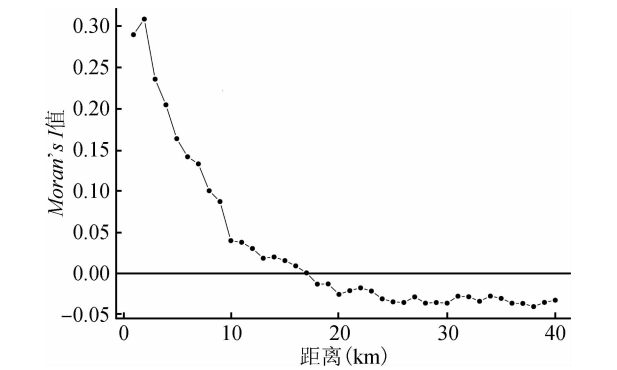


图3 2005—2015年渭河流域肾综合征出血热发病率 Moran's I指数随距离变化关系

表2 2005—2015年渭河流域肾综合征出血热流行环境因素及贡献度

因素	贡献度(%)
建筑用地	49.10
海拔高度	23.20
空间自相关项	16.10
农田	8.70
农田和自然植被混合地	1.80
灌木草地	0.70
水体	0.20
阔叶林	0.10
针叶林	0.10
植被稀疏地	0.00

后下降^[14-16],HFRS发病率与当月至2个月前的鼠密度高度相关^[12,17]。HFRS发病人群的性别、年龄、职

业间的差异与鼠暴露接触率相关,病例以中青年男性农民为主,主要由于该群体在野外从事农业劳作等生产活动的机会相对较多,暴露感染风险增大。渭河流域2005—2015年HFRS人群年龄分布特征变化明显,虽然大部分HFRS病例为16~60岁,但占总病例数的比例持续下降,>60岁人群病例数逐年增多,与当年总病例数的比例由2005年的12.2%升至2015年的22.1%,且2010年后,>60岁年龄组的发病率已高于中青年年龄组,其原因可能为现行的HFRS计划免疫政策只针对16~60岁年龄组,未覆盖>60岁人群;同时大量农村青壮年进城务工,留守老年人成为农业生产活动的主力,从而增加了暴露风险。

根据已有文献资料调研和专家意见,在渭河流域HFRS流行环境因素评估模型中,将8类地表土地覆盖类型和海拔作为潜在环境影响因素纳入模型^[18],同时还考虑到HFRS发病率的空间自相关性,故将空间自相关项作为协变量纳入模型。空间自相关源于地理学第一定律的观点,即“任何事物都相关,越是相近的事物关联越紧密”。空间自相关破坏了经典统计中的样本独立性假设,空间数据模型纳入空间自相关(多数情况下为空间聚集性)可以减小模型偏倚,提高准确性,使模型更加稳健^[19]。本研究

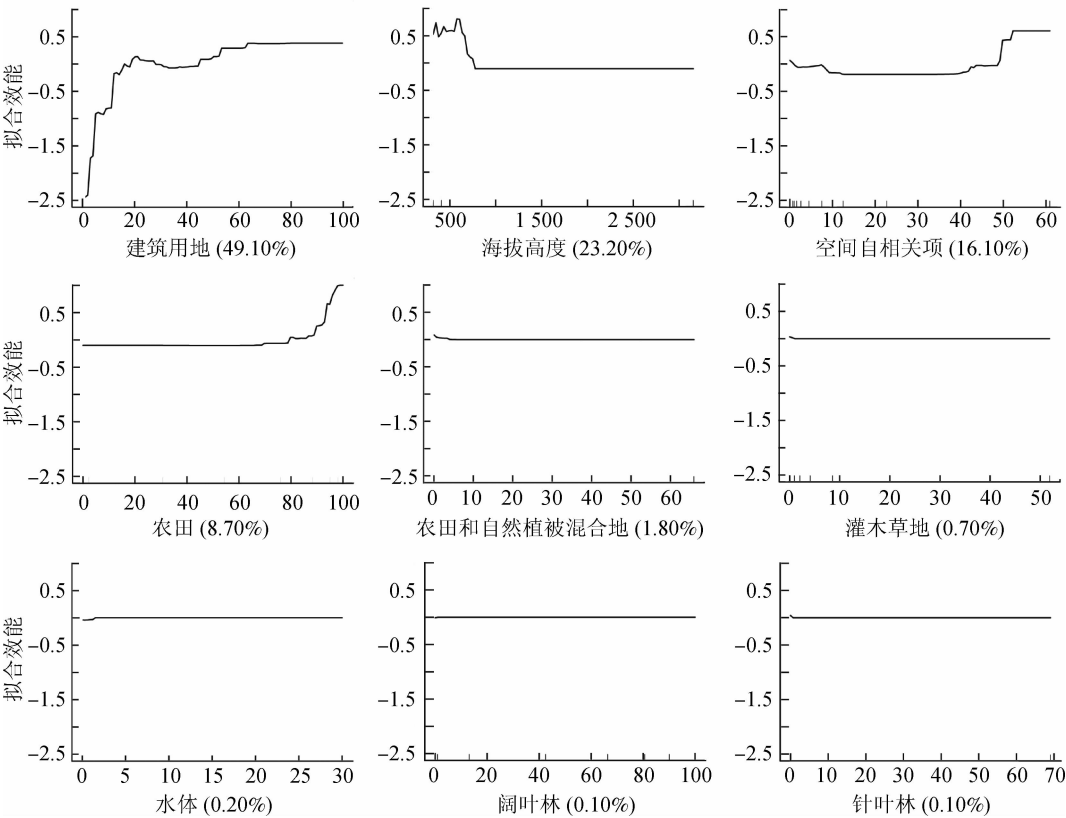


图4 2005—2015年渭河流域肾综合征出血热流行的环境因素作用曲线

中空间自相关项在最终评估模型中贡献度达 16.10%。建筑用地和农田是影响渭河流域 HFRS 地域分布的主要环境因素, HFRS 随着建筑用地面积和农田面积的增多而升高, 渭河流域 HFRS 的主要动物宿主有黑线姬鼠、褐家鼠、小家鼠等, 区内土地肥沃、人口稠密、工农业发达, 为优势鼠种的生存繁殖提供了适宜条件, 增加了人群暴露的风险。农业田地、建筑用地为黑线姬鼠提供了充足的食物及隐蔽的栖身地; 建筑用地所代表的居住区给繁殖能力强的褐家鼠等提供了适宜的生存环境。庞松涛等^[15]调查发现 2012—2013 年西安市褐家鼠占 51.32%, 为优势鼠种, 小家鼠占 39.47%, 黑线姬鼠占 7.42%, 随着城镇化进程的加速, 在城市周边也发现了黑线姬鼠; 海拔高度对于 HFRS 的影响主要有两方面原因, 一是随着海拔的升高, 鼠密度会大幅降低; 二是海拔高的地区人口相对稀少, 因而随着海拔的升高 HFRS 发病风险会显著下降。本研究发现渭河流域 HFRS 病例主要分布在渭河中下游海拔 $\leq 1\,000\text{ m}$ 区域, 这与 Yan 等^[20]发现我国 HFRS 病例主要分布在海拔 $\leq 500\text{ m}$ 地区, 海拔超过 $3\,000\text{ m}$ 地区很少有 HFRS 病例的结论一致。

本研究存在不足, 仅考虑了生态环境对 HFRS 分布的影响, 没有纳入宿主动物种群分布和带病毒率等信息, 在后续研究中应进一步开展现场调查与验证工作。

综上所述, 本研究利用渭河流域 2005—2015 年 HFRS 的长期监测资料, 应用空间分析和多元回归树模型进行了回顾性流行病学研究, 重点评估了疾病空间分布的环境影响因素。渭河流域 HFRS 流行特征发生显著变化, >60 岁老年人成为发病率最高的人群。建筑用地、农田和海拔高度等环境因素对渭河流域 HFRS 空间分布发挥着重要影响作用。

利益冲突 无

参 考 文 献

- [1] Jonsson CB, Figueiredo LTM, Vapalahti O. A global perspective on hantavirus ecology, epidemiology, and disease [J]. Clin Microbiol Rev, 2010, 23 (2): 412–441. DOI: 10.1128/CMR.00062–09.
- [2] 王芹, 李建东, 张全福, 等. 2014 年全国肾综合征出血热监测总结和疫情分析 [J]. 疾病监测, 2016, 31 (3): 192–199. DOI: 10.3784/j.issn.1003–9961.2016.03.005.
Wang Q, Li JD, Zhang QF, et al. Surveillance for hemorrhagic fever with renal syndrome in China, 2014 [J]. Dis Surveill, 2016, 31 (3): 192–199. DOI: 10.3784/j.issn.1003–9961.2016.03.005.
- [3] 周航, 牟笛, 李昱, 等. 2011—2013 年中国肾综合征出血热流行特征分析 [J]. 中国地方病防治杂志, 2015, 30 (3): 166–167.
Zhou H, Mou D, Li Y, et al. Epidemiological characteristics of hemorrhagic fever with renal syndrome in China from 2011 to 2013 [J]. Chin J Ctrl Endem Dis, 2015, 30 (3): 166–167.
- [4] Tian HY, Yu PB, Bjørnstad ON, et al. Anthropogenically driven environmental changes shift the ecological dynamics of hemorrhagic fever with renal syndrome [J]. PLoS Pathog, 2017, 13 (1): e1006198. DOI: 10.1371/journal.ppat.1006198.

- [5] Tian HY, Yu PB, Cazelles B, et al. Interannual cycles of Hantaan virus outbreaks at the human-animal interface in Central China are controlled by temperature and rainfall [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2017, 114 (30): 8041–8046. DOI: 10.1073/pnas.1701777114.
- [6] Martin V, Pfeiffer DU, Zhou XY, et al. Spatial distribution and risk factors of highly pathogenic avian influenza (HPAI) H5N1 in China [J]. PLoS Pathog, 2011, 7 (3): e1001308. DOI: 10.1371/journal.ppat.1001308.
- [7] Fang LQ, Li XL, Liu K, et al. Mapping spread and risk of avian influenza A (H7N9) in China [J]. Sci Rep, 2013, 3: 2722. DOI: 10.1038/srep02722.
- [8] Pigott DM, Bhatt S, Golding N, et al. Global distribution maps of the leishmaniases [J]. eLife, 2014, 3: e02851. DOI: 10.7554/eLife.02851.
- [9] 魏战臻, 屈智胡, 杨务学, 等. 西安地区肾综合征出血热疫区型别研究 [J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2002, 13 (2): 147–148. DOI: 10.3969/j.issn.1003–4692.2002.02.026.
Wei ZZ, Qu ZH, Yang WX, et al. The virus types in hemorrhagic fever of renal syndrome epidemic area in Xi'an [J]. Chin J Vector Biol Control, 2002, 13 (2): 147–148. DOI: 10.3969/j.issn.1003–4692.2002.02.026.
- [10] 黄立勇, 周航, 殷文武, 等. 2010 年中国肾综合征出血热监测及疫情分析 [J]. 中华流行病学杂志, 2012, 33 (7): 685–691. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254–6450.2012.07.010.
Huang LY, Zhou H, Yin WW, et al. The current epidemic situation and surveillance regarding hemorrhagic fever with renal syndrome in China, 2010 [J]. Chinese J Epidemiol, 2012, 33 (7): 685–691. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254–6450.2012.07.010.
- [11] Ma CF, Wang ZG, Li S, et al. Analysis of an outbreak of hemorrhagic fever with renal syndrome in college students in Xi'an, China [J]. Viruses, 2014, 6 (2): 507–515. DOI: 10.3390/v6020507.
- [12] Tian HY, Yu PB, Luis AD, et al. Changes in rodent abundance and weather conditions potentially drive hemorrhagic fever with renal syndrome outbreaks in Xi'an, China, 2005–2012 [J]. PLoS Negl Trop Dis, 2015, 9 (3): e0003530. DOI: 10.1371/journal.pntd.0003530.
- [13] 谈媛, 缪旭明. 极端天气气候事件频现气象应急“常态化”——2010 年极端天气气候事件引发的思考 [J]. 中国应急管理, 2011 (4): 56–59.
Tan Y, Miao XM. Extreme weather events are frequent meteorological emergency “often state” — 2010 years of extreme weather and climate events [J]. China Emer Manage, 2011 (4): 56–59.
- [14] 靳铁治, 郑海潮, 李劲松, 等. 黑线姬鼠种群结构与携带汉坦病毒相关性 [J]. 生物学杂志, 2012, 29 (2): 22–23, 50. DOI: 10.3969/j.issn.2095–1736.2012.02.022.
- [15] 庞松涛, 王欣, 陈保忠, 等. 西安市主要鼠种密度调查研究 [J]. 中华卫生杀虫药械, 2015, 21 (3): 269–271.
Pang ST, Wang X, Chen BZ, et al. Investigation on rodent density in Xi'an city [J]. Chin J Hyg Insect Equip Jun, 2015, 21 (3): 269–271.
- [16] 马超峰, 余鹏博, 吴瑞, 等. 携带汉坦病毒宿主动物分布特征研究 [J]. 中国人兽共患病学报, 2015, 31 (1): 26–29. DOI: 10.3969/cjz.j.issn.1002–2694.2015.01.006.
Ma CF, Yu PB, Wu R, et al. Spatial and temporal distribution of hosts carrying hantaviruses [J]. Chin J Zoon, 2015, 31 (1): 26–29. DOI: 10.3969/cjz.j.issn.1002–2694.2015.01.006.
- [17] 邵发道, 王廷正, 孙怀玉. 肾综合征出血热发生的逐步回归分析及测报研究 [J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 1998, 9 (4): 241–245. DOI: 10.3969/j.issn.1003–4692.1998.04.002.
Tai FD, Wang TZ, Sun HY. The study on the stepwise regression analysis and forecast of Hemorrhagic Fever with Renal Syndrome (HFRS) [J]. Chin J Vector Biol Control, 1998, 9 (4): 241–245. DOI: 10.3969/j.issn.1003–4692.1998.04.002.
- [18] Liang WF, Gu X, Li X, et al. Mapping the epidemic changes and risks of hemorrhagic fever with renal syndrome in Shaanxi Province, China, 2005–2016 [J]. Sci Rep, 2018, 8 (1): 749. DOI: 10.1038/s41598–017–18819–4.
- [19] Wu XR, Hu SX, Kwaku AB, et al. Spatio-temporal clustering analysis and its determinants of hand, foot and mouth disease in Hunan, China, 2009–2015 [J]. BMC Infect Dis, 2017, 17 (1): 645. DOI: 10.1186/s12879–017–2742–9.
- [20] Yan L, Liu W, Huang HG, et al. Landscape elements and Hantaan virus-related hemorrhagic fever with renal syndrome, People's Republic of China [J]. Emerg Infect Dis, 2007, 13 (9): 1301–1306. DOI: 10.3201/eid1309.061481.

(收稿日期: 2017–11–17)

(本文编辑: 斗智)