

· 疾病监测 ·

海南省疟疾流行空间分布的环境影响因素初步分析

温亮 施润和 方立群 徐德忠 李承毅 王勇 袁正泉 张辉

【摘要】 目的 分析海南省疟疾流行空间分布特征及其与自然环境因素的相关性,构建海南省疟疾流行空间分布预测模型。方法 获取 2000 年海南省雨季(5-10 月)各县(市)疟疾发病资料以及气象、土地利用类型构成比、地表温度(LST)和各地平均高程等数据,分析发病率与上述各环境因素的相关性,应用负二项回归分析建立发病率的预测模型,并应用预测模型预测疟疾流行风险的空间分布。结果 海南省 2000 年雨季各市(县)疟疾发病率与各地的海拔高度、林地面积构成比、草地面积构成比呈显著正相关;与耕地面积构成比、城乡、工矿、居民用地面积构成比、LST 呈显著负相关;与水域面积构成比、未利用土地面积构成比、平均气温、平均最高气温、平均最低气温、平均极温差、平均相对湿度及降雨量无明显相关性。负二项回归分析引入方程的因子为 LST,回归方程为: $I(\text{月发病率,单位:1/100 万}) = \exp(-1.672 - 0.399 \times \text{LST})$ 。结论 海南省疟疾流行空间分布与多种环境因素有关,可以利用遥感技术获取有关环境指标来预测疟疾流行风险的空间分布。

【关键词】 疟疾;空间流行病学;土地利用型;地表温度;负二项回归分析

Spatial epidemiological study on malaria epidemics in Hainan province WEN Liang*, SHI Run-he, FANG Li-qun, XU De-zhong, LI Cheng-yi, WANG Yong, YUAN Zheng-quan, ZHANG Hui. *PLA Institute of Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100166, China

【Abstract】 Objective To better understand the characteristics of spatial distribution of malaria epidemics in Hainan province and to explore the relationship between malaria epidemics and environmental factors, as well to develop prediction model on malaria epidemics. **Methods** Data on Malaria and meteorological factors were collected in all 19 counties in Hainan province from May to Oct., 2000, and the proportion of land use types of these counties in this period were extracted from digital map of land use in Hainan province. Land surface temperatures (LST) were extracted from MODIS images and elevations of these counties were extracted from DEM of Hainan province. The coefficients of correlation of malaria incidences and these environmental factors were then calculated with SPSS 13.0, and negative binomial regression analysis were done using SAS 9.0. **Results** The incidence of malaria showed (1) positive correlations to elevation, proportion of forest land area and grassland area; (2) negative correlations to the proportion of cultivated area, urban and rural residents and to industrial enterprise area, LST; (3) no correlations to meteorological factors, proportion of water area, and unemployed land area. The prediction model of malaria which came from negative binomial regression analysis was: $I(\text{monthly, unit: } 1/1\ 000\ 000) = \exp(-1.672 - 0.399 \times \text{LST})$. **Conclusion** Spatial distribution of malaria epidemics was associated with some environmental factors, and prediction model of malaria epidemic could be developed with indexes which extracted from satellite remote sensing images.

【Key words】 Malaria; Spatial epidemiology; Land use type; Land surface temperature; Negative binomial regression analysis

空间流行病学是近年来新发展起来的流行病学分支学科,它运用各种空间信息获取手段和空间关

系分析方法,来研究疾病与健康相关事件的空间分布特征及其与环境因素的关系。疟疾是严重危害人类健康的重要的全球性虫媒传染病,也是我国重要的公共卫生问题,据专家估计 2004 年全国的实际发病例数超过 74 万,形势十分严峻^[1,2]。本研究利用空间流行病学研究方法分析我国海南省疟疾流行的空间分布特征及其与相关自然环境的关系,并尝试

基金项目:全军“十一五”面上项目(06MA322),全军“十五”指令性课题基金资助项目(01L078)

作者单位:100166 北京,军事医学科学院疾病预防控制中心(温亮、李承毅、王勇、袁正泉、张辉);华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室(施润和);军事医学科学院微生物流行病研究所(方立群);第四军医大学流行病学教研室(徐德忠)

建立疟疾流行环境预测模型。

资料与方法

1. 资料来源:

(1)海南省县(市)界电子化矢量地图:从国家地理信息研究所收集海南省1:100 万县(市)界电子化矢量地图,为一多边形数据集。

(2)疟疾发病数据:2000 年 5-10 月海南省 19 个县(市)月度疟疾发病人数及年均人口数由海南省热带病防治研究所提供,据此计算各地该段时期的月平均发病率(I)。见图 1。

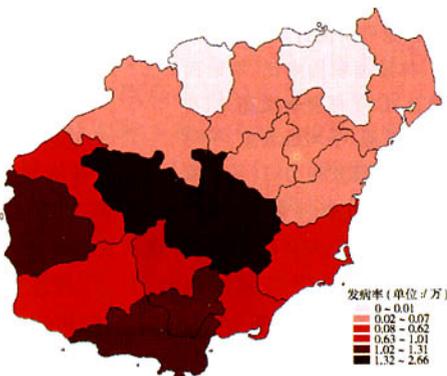


图1 2000 年 5-10 月海南省各地月均疟疾发病率分布

(3)气象数据:2000 年 5-10 月各县(市)各月的平均气温、最高气温、最低气温、平均相对湿度、降雨量等数据由海南省气象局提供,据此计算各地该段时期的平均气温(T)、平均最高气温(T_{max})、平均最低气温(T_{min})、平均极温差($T_{dif} = T_{max} - T_{min}$)、平均相对湿度(M)、平均降雨量(rainfall)。

(4)高程数据:由中国科学院地理环境信息数据中心提供海南省数字高程模型图,利用地理信息系统处理软件 ArcGIS 提取各县(市)平均高程(elevation),结果见图 2。

(5)土地利用类型构成比:由中国科学院地理信息研究所获取 2000 年海南省土地利用类型分布矢量地图,利用地理信息系统处理软件 Arcview 提取各县(市)各类土地利用类型所占面积,计算构成比。该数据集将海南省土地利用类型分为 6 类,分别为:耕地(land1),包括水田和旱地;林地(land2),包括有林地、灌木林、疏木林、其他林地;草地(land3),包括高覆盖度草地、中覆盖度草地、低覆盖度草地;水域(land4),包括河渠、湖泊、水库坑塘、滩涂、滩地;城乡、工矿、居民用地(land5),包括城镇用地、农村居民点、其他建设用地;未利用土地(land6),包括沙

地、戈壁、盐碱地、沼泽地、裸土地、裸岩石砾地及其他。

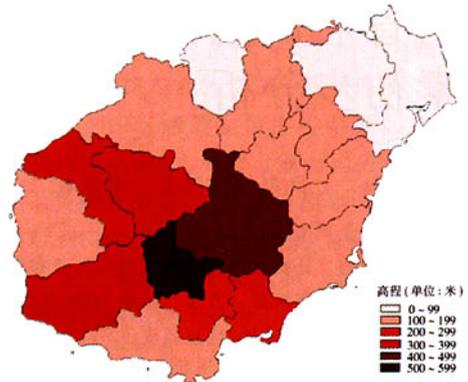


图2 海南省各地平均高程分布

(6)各地地表温度(LST):从 NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC, 美国国家航空航天局 LP 分布式数据档案中心)申请 Terra 卫星中分辨率成像光谱仪(MODIS)陆面温度/放射率全球逐月 3 级格点产品,数据集代码: SATE_3_EOT_MODIS_MWB_MOD11C3_GLB_V4。数据集名称: MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Monthly L3 Global 0.05Deg CMG V004 Abstract。该数据集提供的是每个像素点的温度和放射率值。温度用 K 氏度表示,精度为 1K,资料分为日间温度和夜间温度,换算系数为 0.02。时间分辨率:1 月。空间分辨率: $0.05^{\circ} \times 0.05^{\circ}$ 。利用遥感影像处理软件 ERDAS 9.0 提取 2000 年 5-10 月海南省各县(市)各月日间温度和夜间温度,计算该段时期各月的平均值。各县(市)该段时期平均 LST = (日间温度 + 夜间温度)/2(图 3)。

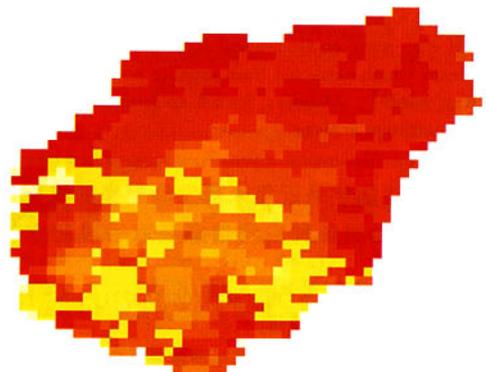


图3 2000 年 5-10 月海南省月均地表温度分布 (颜色越深反映温度越高)

2. 分析方法:

(1)空间聚集性分析:应用空间扫描聚类方法^[3,4]。空间扫描聚类的零假设是在任何空间范围内疾病的 RR 值和其他地区疾病的 RR 值相同。采用移动窗口法,即在地图中建立活动圆形窗口扫描病例,窗口的大小和位置处于不断变化的动态改变之中,窗口的圆心根据地图地理单位中心变动。聚类半径按人口辖区范围划分,具体为从 0 至总人口一定比例设定值之间变动,半径每变动一次,将计算窗口内与窗口外区域之间发病率的统计学差异,统计量为 log likelihood ratio(LLR),公式为 $LLR = \log \left(\frac{c/n}{(C-c)/[C-n]} \right)^{c-c}$,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。LLR 可反映某一地区内某种疾病的高发区范围,最终选取 LLR 值最大的窗口为高发聚类窗口,确定此类所包括的地区,并计算该地区疾病的 RR 值及检验统计学意义。LLR 的 P 值通过蒙特卡洛模拟的方法进行检验。本研究空间扫描聚类分析利用 Satscan 7.0 软件实现。

(2)相关分析:用 Spearman 相关分析分析各环境因子变量与发病率的相关性,使用 SPSS 13.0 软件。

(3)回归分析:用负二项回归建立发病率与环境因子的回归方程,使用 SAS 9.0 软件。

结 果

1.空间聚集性分析:海南省 2000 年雨季疟疾流行呈空间聚集性分布,按照最大聚集区半径为所有人口数的 25% 计算,高发聚集区为三亚市、乐东黎族自治县、保亭黎族苗族自治县、琼中黎族苗族自治县、白沙黎族自治县、通什市、陵水黎族自治县 7 个县(市),中心点位于通什市境内(东经 109.51°,北纬 18.76°),半径为 52.59 km,聚集区发病率为 72/10 万,RR = 6.67(相对于其余地区),P < 0.01(图 4)。

2.发病率与各种环境因子相关分析:海南省各市(县)各种环境因子与疟疾发病率的相关分析结果见表 1。结果显示,疟疾发病率的地区分布与海拔高度、林地面积构成比、草地面积构成比呈显著正相关;与耕地面积构成比和城乡、工矿、居民用地面积构成比及地表温度呈显著负相关;与水域面积构成比、未利用土地面积构成比、平均气温、平均最高气温、平均最低气温、平均极温差、平均相对湿度及降

雨量无明显相关性。

表1 2000 年 5-10 月海南省各县(市)环境因子与疟疾发病率相关分析

环境因子	RR 值	P 值	环境因子	RR 值	P 值
平均高程	0.83	0.00	T	-0.28	0.25
land1	-0.72	0.00	T _{max}	-0.43	0.07
land2	0.79	0.00	T _{min}	-0.16	0.51
land3	0.58	0.01	T _{diff}	-0.13	0.60
land4	-0.32	0.18	M	0.24	0.32
land5	-0.65	0.00	降雨量	-0.09	0.72
land6	0.28	0.25	LST	-0.73	0.00

3.环境因素与发病率负二项回归分析:为进一步探索用环境因子预测疟疾流行程度的可行性及其与疟疾发病率之间的数量关系,用相关分析中与疟疾发病率有显著统计学相关性的 6 个环境因子(平均高程、land1、land2、land3、land5 及 LST)对 19 个县(市)发病率进行负二项回归分析。

(1)全因素分析:将上述 6 个环境因子引入回归方程进行全因素分析。回归方程的拟合优度评价结果和参数估计分别见表 2、3。如果模型拟合数据效果好,value/df 应该近似为 1,否则说明模型有误。表 2 中 value/df 与 1 比较接近,显示用负二项回归模型拟合实验数据可行。表 3 为全因素模型参数估计,6 个环境因子中有统计学意义的参数只有 LST,其余均无统计学意义。因此需要重新进行拟合。

表2 全模型回归拟合优度评价标准

标准	df	value	value/df
偏离	12	23.13	1.93
Pearson χ^2 值	12	20.38	1.70

表3 全模型参数估计的评价

参数	df	预测值	s _e	95% CI	χ^2 值	P 值
截距	1	-3.55	7.76	-18.77~11.66	0.21	0.65
平均高程	1	-0.00	0.00	-0.01~0.00	0.99	0.32
Land1	1	-10.25	9.00	-27.90~7.40	1.30	0.26
Land2	1	-0.61	8.88	-18.01~16.80	0.00	0.95
Land3	1	15.31	12.91	-10.00~40.61	1.41	0.24
Land5	1	-6.78	9.48	-25.36~11.81	0.51	0.48
LST	1	-0.19	0.04	-0.28~-0.11	21.49	0.00
离散度	1	0.20	0.10	0.02~0.39		

(2)单因素分析:将 LST 引入回归方程进行分析。单因素回归方程的拟合优度评价结果和参数估计分别见表 4、5。由表 4 可见 value/df 值较表 2 中 value/df 值更为接近 1,说明回归方程的拟合优度得到进一步提高,且模型中参数 LST 的 P < 0.01,具有统计学意义,说明该回归方程是一个较好的方程。

方程的表达式为： $I[\text{月发病率}(/100 \text{ 万})] = \exp(-1.672 - 0.399 \times \text{LST})$

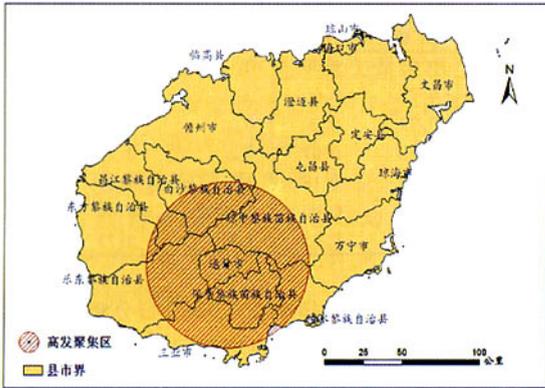


图4 海南省 2000 年雨季疟疾流行空间聚集性扫描分析

表4 单因素回归拟合优度评价标准

标准	df	value	value/df
偏离	17	22.30	1.31
Pearson χ^2 值	17	21.87	1.29

表5 单因素模型参数估计的评价

参数	df	预测值	S_e	95% CI	χ^2 值	P 值
截距	1	-1.67	2.79	-7.15~3.81	0.36	0.55
LST	1	-0.40	0.13	-0.66~-0.14	9.11	0.00
离散度	1	1.59	0.50	0.62~2.56		

(3)疟疾流行预警:根据得到的负二项回归方程可以求出各地区发病率对应的 LST 水平(表 6,在此人为将海南省分为疟疾无风险地区、低风险地区、中等程度风险地区、高风险地区 4 类,并指定相应发病率范围),据此在海南省 LST 遥感图像上进行相应的渲染,得到海南省疟疾流行风险的空间分布预测图,其空间分辨率为 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ (图 5)。

表6 海南省不同疟疾月发病水平地区对应的 LST 值范围

疟疾发病率(/万)地区分级	对应 LST 范围($^\circ\text{C}$)
无风险地区(≤ 0.1)	≥ 24.65
低风险地区(~ 0.5)	~ 20.62
中等程度风险地区(~ 1)	~ 18.88
高风险地区(> 1)	< 18.88

讨 论

疟疾的流行与传疟按蚊的分布和丰度密切相关,而后者又受其生态环境因素的制约,因此,可以

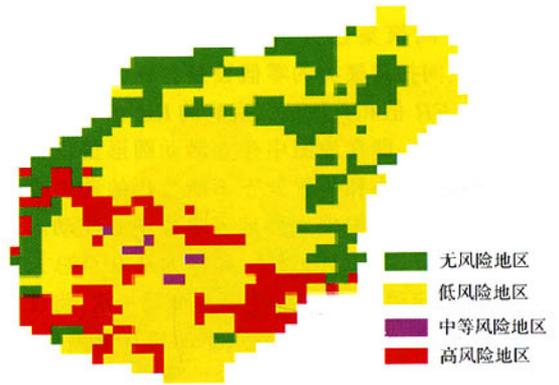


图5 海南省疟疾潜在流行风险分布 (空间分辨率为 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$)

利用对影响按蚊分布和丰度的生态环境因子监测来间接地预测疟疾的潜在流行趋势。由于海南省疟疾的高传播期主要是在雨季(5-10月),旱季由于气温偏低,且适于蚊媒孳生的水体较少,导致旱季的疟疾传播率低,各地发病数均很少,因此,雨季的疟疾流行状况往往决定了海南省全年疟疾流行强度的分布。所以本研究主要针对该省雨季进行分析。最常用于疟疾流行监测的环境因子是气象指标,如气温、湿度、降雨量、日照时间等,因为此类指标容易获得,且数据容易处理。然而与蚊媒生长繁殖有密切关系的环境因子还包括地形地貌、LST、水文状况等其他一些因素^[5-7],这些因素也直接影响蚊虫对于栖息地的选择,但由于这些指标较难获取,且由于过去缺少处理分析平台而不易进行分析,因此此类指标相对用得较少。随着地理信息系统和遥感等空间信息技术引入流行病学研究领域,促使空间流行病学研究方法和手段有了很大发展,本研究利用空间流行病学研究方法,综合分析气象因素、高程、土地利用状况、LST 等环境因素对于海南省疟疾空间分布的影响,并尝试建立疟疾流行空间分布预测模型。

研究结果发现,气温、湿度和降雨量等气象因素与海南省疟疾流行的地区分布没有明显相关性。这可能是由于海南省幅员较小,且全境均处于热带地区,高温多雨,这使得省内各市县的气温、湿度和降雨量虽略有不同,但都处于适于按蚊生长繁殖的范围之内,因此时间横断面上的研究无法反映出通常所认识到的疟疾流行与气候的明显相关性。

海南省主要传疟按蚊是大劣按蚊^[8],分布于热带雨林或次生杂木林区和丘陵地,特别是山麓地

带^[9],这可以解释分析结果中疟疾发病率的地区分布与各地的林地面积构成比、草地面积构成比呈显著正相关,这同时也可以说明海南省疟疾与耕地面积构成比及城乡、工矿、居民用地面积构成比的负相关关系。而山林往往多分布于山区,这可能导致了高程与疟疾发病的正相关关系。

土地表面,包括覆有植被的冠层表面,以及其他如裸地的地表具有热辐射。LST 通常是由入射太阳辐射决定,也受大气或地表的诸如土壤水分、热惯量和反照度等因子影响。有植被覆盖的 LST,即冠层温度间接地受根际水分,更直接地受蒸散的控制^[10]。由于 LST 是太阳辐射以及地表地质、生物、水文的综合反映,而这些因素均与其环境内的生物媒介的孳生繁殖有关系,因此可以用来监测虫媒传染病的孳生地^[6,11-14]。卫星的热红外观测揭示了 LST 在大时空尺度上的变化格局,有好几种卫星的热红外通道数据可计算 LST,其中 AVHRR 和 MODIS 数据用的较多。本研究发现 LST 与海南省疟疾流行地区分布明显负相关,可能是由于 LST 与高程成负相关以及有植被覆盖的地区的 LST 要比阳光直接照射的地区要低所导致。

为了探讨应用环境指标进行疟疾发病率空间分布预测的可能性,我们对疟疾发病率用相关的环境指标进行了回归拟合。由于虫媒传染病的地区分布往往具有空间相关性,这导致发病率的空间分布不符合随机正态分布,因此一般的线性回归不适用于此。负二项分布是一种离散型分布,常用于描述生物的群聚性,如钉螺在土壤中的分布、昆虫的空间分布等,医学上可用于描述传染性疾病的分布和致病生物的分布^[15]。我们应用负二项回归对文中各环境指标与发病率进行了拟合,最终进入回归模型的环境因子是 LST,用这个指标可以较好地拟合发病率的地区分布。同时我们根据该回归模型做出了该段时期较为具体的海南省潜在的疟疾发病地区风险分布图。据此可以更为精确地确定处于不同疟疾流感风险的居民区,为今后更有针对性地开展疟疾防控工作提供参考。由于可以利用遥感技术实时地对海南省的 LST 进行整体监测,因此本研究提出遥感技术对于海南省疟疾的空间分布预测具有重要的实

用价值。

参 考 文 献

- [1] RBM, WHO, UNICEF. World malaria report. 2005.
- [2] 卫生部. 2006-2015 年全国疟疾防治规划. 2006.
- [3] Kulldorff M, Rand K, Williams G. SaTScan, program for the space and time statistic. 1.0 editor. Bethesda (MD): National Cancer Institute, 1996.
- [4] Martin K. SaTScan™ user guide for version 7.0. 2006. 8. <http://www.satscan.org/>.
- [5] Pornpimol R, Ugsang DM, Visut B, et al. Use of a remote sensing-based geographic information system in the characterizing spatial patterns for anopheles minimus A and C breeding habitats in western Thailand. Southeast Asian J Trop Med Public Health, 2005, 36(5):1145-1152.
- [6] Omumbo JA, Hay SI, Goetz SJ, et al. Updating historical maps of malaria transmission intensity in east Africa using remote sensing. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2002, 68(2):161-166.
- [7] Jeffrey S, Marc S, Colin S, et al. Using a dynamic hydrology model to predict mosquito abundances in flood and swamp water. Emerg Infect Dis, 2002, 8(1):6-13.
- [8] 段景山, 张宇滨, 刘家敬, 等. 海南垦区大劣按蚊和微小按蚊分布与疟疾发病的关系. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 2001, 19(2):79.
- [9] 陆宝麟. 50 年来我国蚊媒研究进展. 中国媒介生物学及控制杂志, 1999, 10(3):161-165.
- [10] 王军邦, 牛铮, 胡秉民, 等. 定量遥感在生态学基础研究中的应用. 生态学杂志, 2004, 23(2):152-157.
- [11] Apiwathnasorn C, Asavanich A, Komalamisra N, et al. The relationship between the abundance of Mansonia mosquitoes inhabiting a peat swamp forest and remotely sensed data. Southeast Asian J Trop Med Public Health, 2006, 37(3):463-467.
- [12] Nitatpattana N, Singhasivanon P, Kiyoshi H, et al. Potential association of dengue hemorrhagic fever incidence and remote sensed land surface temperature, Thailand, 1998. Southeast Asian J Trop Med Public Health, 2007, 38(3):427-433.
- [13] 何战英, 林丹丹, 朱蓉, 等. 地表温度在监测湖区钉螺孳生地中的作用. 中华预防医学杂志, 2006, 40(4):234-238.
- [14] Hay SI, Tucker CJ, Rogers DJ, et al. Remotely sensed surrogates of meteorological data for the study of the distribution and abundance of arthropod vectors of disease. Ann Trop Med Parasitol, 1996, 90(1):1-19.
- [15] 孙振球, 徐勇勇. 医学统计学. 北京: 人民卫生出版社, 2002: 96.

(收稿日期: 2007-12-25)

(本文编辑: 张林东)