DOI:10.16016/j.1000-5404.201411116

论著

基于遥感与地理信息的海南地区疟疾疫情相关性研究

曾晓露[1],叶诗洋[1],徐 聪[1],潘柯利[1],龚建华[2],周洁萍[2],蒋秀高[3],熊鸿燕[1] (400038 重庆,第三军医大学军事预防医学院军队流行病学教研室[1];100101 北京,中国科学院遥感与数字地球研究所[2];102206 北京,中国疾病预防控制中心[3])

[摘要] **目的** 分析海南地区不同地理环境的疟疾疫情分布特征,探索相关重要自然影响因素。**方法** 从美国国家航空航天局 LAADS 存储网站和航天测绘数据集 SRTM 获取我国海南地区遥感数据产品,利用 ArcGIS 软件提取土地覆盖类型和海拔高度数据,结合海南省疟疾疫情资料制作专题地图,分析、掌握该地区土地覆盖类型和海拔高度特征,比较不同地理环境下的发病率差异。**结果** 2004 – 2012 年海南省疟疾报告疫情呈逐年下降趋势,有明显的季节流行特征。针对 2004 – 2008 年开展地理空间分布特征分析,疟疾发病呈现明显的中南部高发、北部低发的地区分布规律。中南部地区具有林地覆盖为主的地理景观特点,北部地区具有草原和作物覆盖为主的地理景观特点。多因素分析结果显示,常绿阔叶林地带(平均海拔 743 m)是疟疾发病的危险因素,而针叶林地带(平均海拔 63 m)、作物地带(平均海拔 263 m)是保护因素。**结论** 海南地区疟疾的发生在土地覆盖和利用类型方面具有明显的空间分布特征,其作用规律可作为预测自然因素作用下疟疾疫情的重要依据。

[关键词] 地理信息系统;遥感;疟疾;空间分布
[中图法分类号] R181.34;R531.3;R283.8 [文献标志码] A

Correlation of malaria epidemic situation in Hainan province by remote sensing and geographic information

Zeng Xiaolu[1], Ye Shiyang[1], Xu Cong[1], Pan Keli[1], Gong Jianhua[2], Zhou Jieping[2], Jiang Xiugao[3], Xiong Hongyan[1] ([1]Department of Military Epidemiology, College of Military Preventive Medicine, Third Military Medical University, Chongqing, 400038; [2]Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101; [3]Chinese Center For Disease Control and Prevention, Beijing, 102206, China)

[**Abstract**] **Objective** To analyze the epidemic characteristics of malaria in different geographic environments in Hainan province, and explore potentially important environmental determinants of malaria. **Methods** Remote sensing data products of Hainan province were collected from NASA LAADS web and SRTM data, and land cover types as well as altitudes were extracted from the products by ArcGIS 10.0 software. The thematic maps of spatial distribution were produced by combining malaria data to detect the features of land cover types and altitudes, and then to compare the incidence variation of malaria in different environments. **Results** The malaria incidence in Hainan province was considerably decreased from 2004 to 2012, and exhibited obvious seasonal variation. The malaria data from 2004 to 2008 were selected to conduct the spatial distribution analysis. The results showed that the incidence of malaria in the south central part of Hainan province was higher than that in the north. The majority of geographical characteristics were forest land in the south central part of Hainan province, and were grass land in the north. Multivariate analysis demonstrated that evergreen broadleaf forest land (mean elevation of 743 meters) was risk factor of malaria epidemics. On the contrary, needle-leaf forest land (mean elevation of 63 meters) and cropland (mean

[基金项目] 国家卫计委行业科研专项(2010002012)
[通信作者] 熊鸿燕,E-mail: hongyanxiong@126.com
[优先出版] http://www.cnki.net/kcms/detail/51.1095.R.20150312.1030.006.html(2015-03-12)

elevation of 263 meters) were protective factors. **Conclusion** The malaria incidence exhibited significant spatial distribution characteristics in land cover types and land use types, which could be further used to predict malaria epidemics.

[**Key words**] geographic information system; remote sensing; malaria; spatial distribution

Supported by the Special Projects of Health Industries of National Health and Family Planning Commission (2010002012). Corresponding author: Xiong Hongyan, E-mail: hongyanxiong@126.com

疟疾是一种古老的自然地方性传染病,由于疟原虫生活史复杂,其传播媒介的生长依赖于特定的自然环境,其流行特征与地理和生态环境明显相关[1]。因此,海拔高度、地表温度、水体面积、植被特点、土地利用情况等因素是疟疾流行病学现场调查的重要工作内容。由于涉及的地域面积大、项目繁多,往往会耗费大量的人力、物力和时间[2]。

近年来随着计算机和空间技术的发展,能进行地理数据存储、分析及空间特征展示的地理信息系统(geographic information system ,GIS)以及能将自然环境的遥感信息转换为图像资料并对其进行识别和处理的遥感技术(remote sensing,RS)越来越多地应用于自然疫源性传染病和自然地方性传染病的研究中,在疾病监测、影响因素研究等领域呈现出崭新的应用前景[3-5]。利用GIS和RS可快速、准确地获取大范围动态监测的环境资料,明显提高工作效率,同时在地理因素描述的全面性和生动性方面独具特色,是军事行动中卫生流行病学侦查[6]、大型社会和经济活动中疫情防控技术的发展方向[7]。

本研究利用GIS,通过遥感卫星地图提取我国重要疟疾疫区海南省的地理空间信息,将其与该地区疟疾疫情数据进行综合处理,在描述该地区疟疾的地理分布特征的同时,探索遥感图像所含地理信息与疟疾疫情的相关性,以期找出相关地理特征与发病的关联,为疟疾防控工作提供理论依据,也为研究疫情未知地区的发病强度预测技术奠定基础。

1 资料与方法

1.1 资料来源

1.1.1 疟疾疫情资料 海南地区2004-2012年以月为单位的各市(县)疟疾发病数据来源于中国疾病预防控制信息系统;同期年均人口数来源于海南省统计局印发的《海南统计年鉴》;据此计算该时段海南省的月平均发病率和各市(县)的年平均发病率。

1.1.2 遥感资料 从美国国家航空航天局一级数据及大气产品存档、发布系统(level 1 and atmosphere archive and distribution system, LAADS)数据存储网站(http://ladsweb.nascom.nasa.gov/)免费获取2004-2008年覆盖海南全省的中分辨率成像光谱辐射计(moderate-resolution imaging spectroradiometer, MODIS)土地覆盖类型产品数据集(MCD12Q1),该数据为空间分辨率500 m的年合成数据,包含5种不同的土地覆盖分类体系,本研究选用第一类国际地圈生物圈计划(international geosphere biosphere programme,IGBP)全球植被分类方案,该方案将土地覆盖定义为17类,包括11类自然植被分类,3类土地利用和土地镶嵌,3类非植被土地类型。由于其中的雪、冰与裸地或低植被覆盖地两因素在海南各市(县)土地覆盖类型中所占构成比均小于0.01%,且海南地处热带,根据常识为避免混杂将这两个因素排除,故本研究选用剩余的15类作为分析对象。另外,从美国国家航空航天局航天测绘数据集(shuttle radar topography mission, SRTM)(http://srtm.csi.cgiar.org/)获取海南省的海拔高度(altitude)即数字高程模型(digital elevation model, DEM)。用ArcGIS 10.0计算各市(县)海拔高度的平均值,并统计各种土地覆盖类型的栅格数,以此计算土地覆盖类型构成比(某地某类土地覆盖类型构成比=某地某类土地覆盖类型栅格数/某地土地覆盖类型栅格数总和)。

1.1.3 电子地图 海南地区1∶100万以市(县)为界的电子地图来源于国家地理信息研究所。

1.2 方法

1.2.1 疫情时间分布特征的分析 利用获得的疟疾疫情资料计算该时段海南省的月平均发病率,绘制疟疾发病时间分布图,分析长期趋势、季节波动等特征。

1.2.2 疫情地区分布特征的分析 由于"全球基金疟疾项目"在海南省的成功实施[8-9],2008年后疟疾的发病率急剧下降,不利于对地区分布特征的观察,故选取信息量更为完整的2004-2008年疾病数据进行分析。引入高新技术地理信息系统(GIS),利用美国环境系统研究所公司ESRI开发的ArcGIS 10.0软件中ArcMap模块,进行专题制图[10]。具体步骤:①匹配发病率。计算海南省18个市(县)2004-2008年疟疾平均发病率,通过行政代码与1∶100万海南省市(县)界电子化矢量地图匹配,在ArcMap软件中添加到矢量地图数据属性表内。②制作发病率专题地图。通过地图数据层属性(layers properties)中的符号系统(symbology),对发病率要素值进行数量渲染,生成

2004 – 2008 年疟疾发病专题地图。为更好地观察发病率的地区变化情况,根据每年平均发病率,将所有的市(县)分为 8 段 4 类地区[11]:年均发病率为 0 的非流行区;年均发病率低于 10/10 万的低发病区[(0.1 ~ 1)/10 万,(1.1 ~ 10)/10 万];年均发病率为 10/10 万 ~ 100/10 万的中等发病区[(10.1 ~ 50)/10 万,(50.1 ~ 100)/10 万];年均发病率 > 100/10 万的高发病区[(100.1 ~ 200)/10 万,(200.1 ~ 300)/10 万,> 300/10 万],分别以不同颜色显示于地图上。③制作危险因素关系地图。依据后续多因素分析结果,同时对发病率及筛选出的危险因素值进行数量渲染,制作 2004 – 2008 年海南省疟疾发病情况与危险因素的关系地图。

1.3 数据整理和统计学分析

将获取的疟疾疫情资料和遥感数据通过行政代码进行匹配,运用 EXCEL2007 对资料进行整理储存。根据各市(县)每年疟疾发病率,将发病率 < 100/10 万的地区划分为中低发病区,赋值为 0;发病率 > 100/10 万的地区划分为高发病区,赋值为 1[11]。采用 SPSS 19.0 软件进行多因素 Logistic 回归分析。

2 结果

2.1 疟疾的流行情况

2004 – 2012 年海南省共报告疟疾 23 370 例,年平均报告发病率为 32.09/10 万,远高于全国 2.55/10 万的发病率水平[12]。2004 – 2012 年发病呈明显下降趋势,到 2009 年发病率下降到 10/10 万以下,到 2012 年已无本地感染病例(图 1)。2004 – 2008 年海南省每个月都有疟疾的病例报告,呈现出明显的季节性(图 2)。

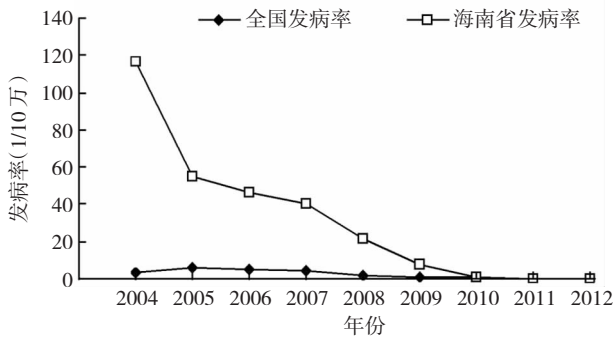


图 1 2004 – 2012 年全国及海南省疟疾的发病情况

对 2004 – 2008 年疟疾疫情分布情况研究发现,除 2008 年文昌市和临高县外,海南省各市县每年都有疟疾疫情报告,且存在明显的高发区(图 3)。由图 3 可知高发区主要集中在海南岛中南部的 8 个市(县),其 5 年累计病例数为 17 971 例,占全省总病例数的 79.57%,而人口数仅占全省人口总数的 29.51%。中等发病区 6 个市(县),累计病例数为4 340 例,占全省总病例数的 19.21%。其中,中南部的三亚和昌江两市(县)共占中等发病区病例数的 71.87%。低发病区的 4 个市县主要集中在海南省北部,累计病例数为 274 例,占全省总病例数的 1.21%,人口数占全省总人口数的 34.83%。

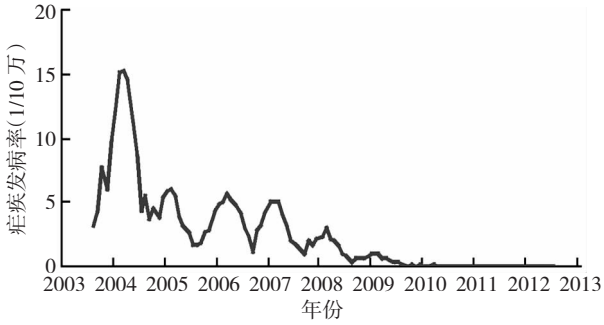


图 2 2004 – 2008 年海南省疟疾分月发病率特征

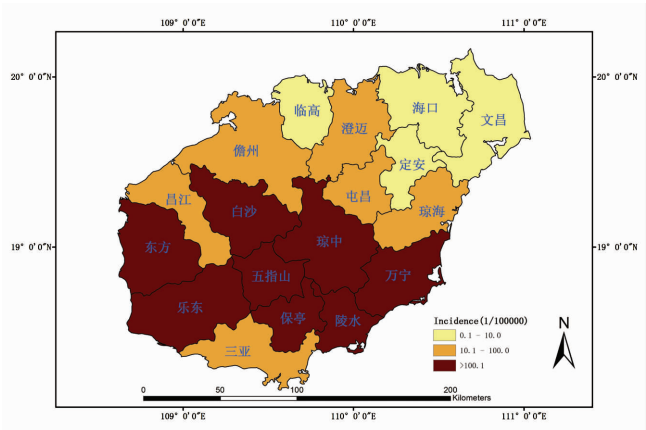


图 3 2004 – 2008 年海南省各地区疟疾年平均发病率分布情况

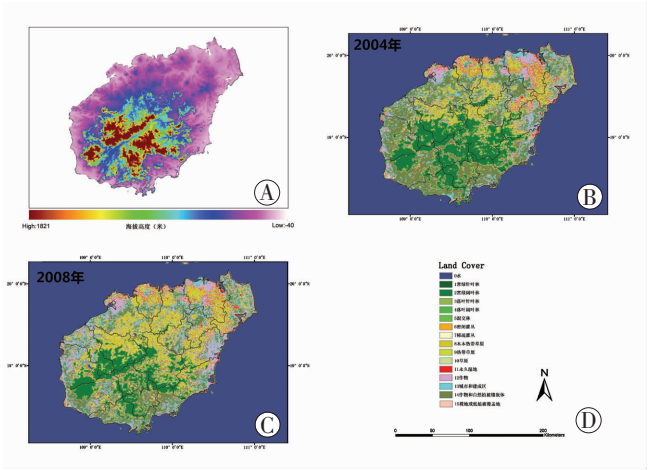
2.2 海拔高度和土地覆盖类型在海南省的分布情况

由疟疾的流行情况判断,选择了 2004 – 2008 年的土地覆盖类型以及海拔高度遥感数据进行分析。从图 4A 中可以看出,海南岛平面呈椭圆形,中部海拔最高,向外围逐渐下降。其中,中部的白沙、琼中、五指山,西南部的乐东、保亭 5 市县海拔明显高于北部及其他沿海地区。

海南省土地覆盖类型十分丰富,自然植被中以林地和草原为主,土地利用中以作物、城市和建成区、作物和自然植被的镶嵌体为主(表 1)。从时间上看,全岛草原覆盖比例 2008 年比 2004 年有所上升,特别是木本热带草原林地覆盖比例增加了 56%,其次为作物比例,增加了 27%。全岛林地覆盖比例 2008 年比 2004 年有所下降,以常绿阔叶林为甚,下降了 30%。从横断面上看,中南部地区林地面积明显高于北部地区,其中五指山、琼中、保亭、白沙 4 个市县常绿阔叶林构成比的年平均值达到 30% 以上,乐东、东方、陵水、

万宁4个市县达到15%以上。而北部地区的临高、海口、文昌常绿阔叶林构成比在1%以下，定安、澄迈、儋州、屯昌、琼海则在5%以下。作物覆盖构成比的年平均值，中南部地区均在10%以下，北部地区均在10%以上(图4B～D)。

可见，海南省的海拔与土地覆盖类型中南部和北部地区差别明显，其中疟疫发病较高的中南部地区海拔与林地覆盖比例均高于发病较低的北部地区。



A:海南省海拔高度分布;B:2004年海南省土地覆盖类型分布;C:2008年海南省土地覆盖类型分布;D:土地覆盖类型图例

图4 海南省海拔高度、土地覆盖类型分布情况

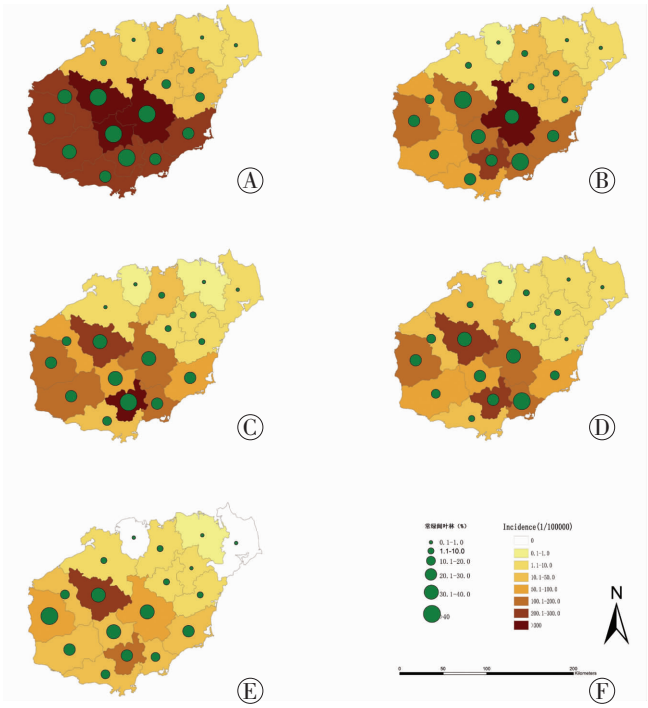
表1 2004－2008年海南省及各发病区土地覆盖类型年平均构成比(%)

覆盖类型	海南省	高发病区	中低发病区
水	0.40	0.35	0.44
常绿针叶林	0.09	0.06	0.12
常绿阔叶林	17.90	31.87	6.72
落叶针叶林	1.51	2.12	1.02
落叶阔叶林	1.60	2.29	1.05
混交林	1.93	2.43	1.52
密闭灌丛	2.06	2.49	1.71
稀疏灌丛	2.76	2.78	2.74
木本热带草原	12.70	7.38	16.95
热带草原	3.95	2.95	4.76
草原	4.20	3.52	4.76
永久湿地	6.14	4.21	7.68
作物	10.17	6.32	13.25
城市和建成区	10.57	7.23	13.25
作物和自然植被的镶嵌体	24.00	23.96	24.02

2.3 疟疾发病率与土地覆盖类型、海拔的Logistic回归分析结果

采用Forward LR Logistic回归方法探索土地覆盖类型和海拔对疟疾发病的影响($P<0.05$纳入，$P>0.1$排除)。最终，常绿针叶林、常绿阔叶林、作物和海拔4个变量进入Logistic回归方程(表2)。其中，常绿针叶林、作物、海拔为保护因素($OR=0.00$、0.40、0.94，$P<0.05$)，常绿阔叶林为危险因素($OR=1.65$，$P<0.01$)。根据上述结果，统计土地覆盖类型的海拔高度，常绿阔叶林地带的平均海拔为743 m，针叶林地带平均海拔为63 m，作物地带平均海拔263 m。

制作危险因素常绿阔叶林与疟疾发病情况的专题地图(图5)。从图中可以直观地看出中南部高发区常绿阔叶林构成比明显高于北部中低发区。中南部地区以白沙、琼中、五指山和保亭为代表，常绿阔叶林构成比多在30%以上，发病率多在100/10万以上。以文昌、海口、临高为代表的北部地区，常绿阔叶林构成比多在1.0%左右，发病率多在10/10万以下。



A:2004年;B:2005年;C:2006年;D:2007年;E:2008年;F:图例

图5 2004－2008年海南省疟疾发病情况与常绿阔叶林构成比的关系

表2 2004－2008年海南各市(县)疟疾发病率与土地覆盖类型和海拔的多因素Logistic回归分析

变量	回归系数β	标准误S.E	检验统计量Wald	*P*值	*OR*值	95% *CI*
常绿针叶林	－12.59	5.20	5.87	0.02	0.00	0.00～0.09
常绿阔叶林	0.50	0.14	12.91	0.00	1.65	1.25～2.16
作物	－0.91	0.28	10.38	0.00	0.40	0.23～0.70
海拔	－0.06	0.02	13.63	0.00	0.94	0.91～0.97
常数	11.48	3.92	8.56	0.00	－	－

3 讨论

3.1 海南地区疟疾病例主要分布于常绿阔叶林地带

以往对于疟疾地理影响因素的研究,通常纳入的是能直接反映地面植被覆盖状况的NDVI指数[5]。但有学者表示,从生态学的角度讲,按蚊的生长与土、水、植被量及种类的关系都很密切,因此,采用土地覆盖或利用类型作为观察因素可能更为恰当[13-15]。另外,在已有的对土地覆盖或利用类型与疟疾疫情关系的研究中,学者们多关注于森林砍伐[13]、城市、作物[15]等人为干预的土地利用类型,而对自然植被类型关注较少,分类也不够细致。本研究采用IGBP全球植被分类方案,在兼顾土地利用的同时,对自然植被也进行了详细分类,有利于更准确找出与疟疾疫情相关的土地覆盖类型。

本研究发现,疟疾的发病分布特征与海南省主要林地覆盖类型——常绿阔叶林的分布特征趋于一致,提示常绿阔叶林为疟疾传播的危险因素。其作用机制可能是常绿阔叶林直接为按蚊提供了适宜的生存环境,或者是常绿阔叶林环境存在的其他自然因素(如温度、湿度、特殊地理景观)有利于按蚊的生长繁殖。这些推论可在后续研究中进一步验证。针叶林主要分布在温带和寒带地区,在热带地区分布较少,一般以南亚松为绝对优势种,主要分布在海南霸王岭林区和琼中县的丘陵平地及低山之中,耐高温干旱,其透光率显著大于阔叶林、混交林等其他林区类型[16],其生长环境可能不适宜按蚊的繁殖发育。本研究的多因素相关分析结果中针叶林是疟疾发病的保护因素可能与这些效应有关。

本研究显示,作物在海南疟疾发病中也属于保护因素。这与温亮等[15]的研究一致。但在一篇针对亚马逊地区疟疾与土地覆盖和利用类型的系统综述研究中指出,在纳入的17篇文献中,疟疾与农作物的关系不尽相同,其中5篇正相关、5篇不相关、1篇负相关[13]。这可能是由于不同研究利用的卫星遥感资料不同,其分辨率和监督分类方法不同。另外,不同研究中农作物的二级分类也不相同,如刀耕火种地区、农林业地区,其研究结果也不相同。

海拔高度在本次多因素分析中也成为疟疾的保护因素,这与Moss等[17]的研究结果一致,他们在一次横断面与纵向数据结合的社区调查中发现居住在研究区域基线海拔高度以上的家庭疟原虫感染风险下降。这可解释为随着海拔高度的增加,蚊蝇生长逐渐受限。但单从本次研究的海拔分布地图来看,位于海南的白沙、琼中、乐东 、保亭、陵水等地区(高疟疾病例区)均为海拔相对较高的区域(平均海拔600 m左右)。显示在这些区域常绿阔叶林的影响作用占据了主导。

3.2 不同种类的卫星遥感图像具有独特的信息特点,在实际应用时可根据需要进行选择

目前用于流行病学研究的遥感图像,主要来源于不同国家的人造卫星传感器。这些卫星传感器的参数如地面分辨率、波段、幅宽、访问时间不尽相同,使得它们提供的遥感图像应用范围有所区别。其中,中低分辨率的遥感图像像素较小,每个度量单元提供的信息和潜在细节较少,适合大范围区域使用,其访问周期较短;高分辨率的遥感图像像素较大,每个度量单元具有较多的信息和潜在的细节,适合小范围区域使用,其访问周期较长。其次,中低分辨率的遥感图像,一般可以免费下载,而高分辨率的遥感图像一般需要付费,且分辨率越高收费越高[18]。因此,遥感数据的选择主要应根据研究目的而定。当然,研究经费的限制以及卫星资源的限制也是重要影响选择的因素。例如,Stefani等[13]对利用遥感图像研究亚马逊地区疟疾与土地覆盖和利用类型关系的文献做系统综述,共收集到17篇相关文献,这些文献虽然研究的同一个地区,但因为研究的土地覆盖和利用分类水平、时间跨度和覆盖尺度等的不同,选择的遥感图像也不相同。其中11篇利用了Landsat卫星的数据,2篇利用了NOAA的数据,2篇利用SPOT的数据,另外3篇分别利用了商业卫星Quickbird,雷达SAR和MERIS ENVISAT的数据。这些不同来源的空间信息的研究结果为亚马逊地区疟疾流行病学研究提供了更为全面、丰富的地理空间数据。

另外,全球时间系列遥感数据产品也在不断的开发丰富中,它利用遥感数据源,采取不同的数据与处理方案,形成了一系列的遥感产品,可直接根据研究者需要进行下载,简化了分类、波段运算等数据处理过程。包括利用NOAA-AVHRR开发的PLA数据集和GIMMS数据集,利用SPOT4卫星搭载的VEGETATION传感器开发的SPOT VGT数据,以及MODIS系列数据产品[19]。

本次研究的区域以海南省的市(县)界为研究单位,为大尺度(大于10 km^2的空间区域范围)分析,故我们选择了中等分辨率的MODIS数据进行研究,该数据为免费数据,且直接提供了包括大气数据、陆地数据(土地覆盖类型、NDVI指数、地表温度等)、冰雪数据、海洋数据,共计44种产品[20]。根据研究目的,本次研究选用了其中的土地覆盖类型产品。

3.3 研究的不足

本研究引入GIS对虫媒传染病疟疾的分布特征进行描述,从空间地理因素的角度较为仔细、生动地展示

了海南地区疟疾疫情的发生规律,为同类传染病流行病学研究建立了可行的描述方法。同时,RS可提供及时、客观、准确的可用于大范围动态监测的环境资料,使疫情未知地区的发病强度预测成为可能。本研究中利用了美国国家航空航天局LAADS数据存储网站中的MODIS土地覆盖类型和航天测绘数据集中DEM海拔高度数据。这些信息可直接或间接反映复杂的地理和生态现象。由于时间的限制,我们没有提取由MODIS产品提供的NDVI指数和直接的气象因素如气温、降雨、方向等。后者的引入分析能否影响或改变疾病分布的描述特征有待在今后的研究中予以验证。

另外,疟疾流行特征与社会经济条件和人群的行为特征也是密不可分的。资料显示,海南地区自2003年开始试点全球基金疟疾项目,至2012年已先后实施两轮防控干预,逐渐覆盖海南大部分地区。主要干预工作涉及国家提供财力物资支持,规范工作方法、资料管理方法和资金管理方法等[8-9]。因此,从2008年后疟疾病例报告显著降低,到2012年已无本地病例报告。这些信息说明社会因素对疟疾的流行有着重要影响。本研究纳入了该地区干预前期时段2004-2008年疾病报告数据进行分析,旨在探索遥感图像所含地理信息与疟疾疫情的相关关系,结果显示,高发区主要为阔叶林分布区,这些地区(白沙、琼中、乐东、保亭、陵水)均为黎族聚居的山林区,多为偏远村寨,其经济文化较为落后,卫生条件有限,居民的自我防病意识较薄弱,这些因素在一定程度上也可与自然因素协同作用导致了疟疾的高发。因此,在进一步因素影响研究中需要纳入重要的社会因素进行综合分析。

参考文献:

[1] 刘起勇, 刘小波. 媒介按蚊防控:中国疟疾消除的关键措施[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2010, 21(5): 409-413.

[2] 周晓农. 空间流行病学[M]. 北京: 科学出版社, 2009, 171-178.

[3] Bao C, Liu W, Zhu Y, *et al*. The spatial analysis on hemorrhagic fever with renal syndrome in Jiangsu province, China based on geographic information system[J]. PLoS One, 2014, 9(9): e83848.

[4] Simoonga C, Utzinger J, Brooker S, *et al*. Remote sensing, geographical information system and spatial analysis for schistosomiasis epidemiology and ecology in Africa[J]. Parasitology, 2009, 136(13): 1683-1693.

[5] Wayant N M, Maldonado D, Rojas-de-Arias A, *et al*. Correlation between normalized difference vegetation index and malaria in a subtropical rain forest undergoing rapid anthropogenic alteration[J]. Geospat Health, 2010, 4(2): 179-190.

[6] Machault V, Orlandi-Pradines E, Michel R, *et al*. Remote sensing and malaria risk for military personnel in Africa[J]. J Travel Med, 2008, 15(4): 216-220.

[7] Kalluri S, Gilruth P, Rogers D, *et al*. Surveillance of arthropod vector-borne infectious diseases using remote sensing techniques: a review[J]. PLoS Pathog, 2007, 3(10): 1361-1371.

[8] 何昌华, 王光泽, 王善清, 等. 第五轮海南省全球基金疟疾项目实施一年效果评价[J]. 中国热带医学, 2009, 9(6): 1020-1021.

[9] 林明和, 翁少文. 海南南桥试点60年抗疟进程及全球基金项目实施抗疟进展[J]. 中国热带医学, 2013, 13(2): 245-248.

[10] 王文宇, 杜明义. ArcGIS制图和空间分析基础实验教程[M]. 北京: 测绘出版社, 2011: 53-58.

[11] Crump J A, Luby S P, Mintz E D. The global burden of typhoid fever[J]. Bull World Health Organ, 2004, 82(5): 346-353.

[12] 丰俊, 夏志贵. 2004-2013年中国疟疾发病情况及趋势分析[J]. 中国病原生物学杂志, 2014, 9(5): 442-446.

[13] Stefani A, Dusfour I, Correa A. P, *et al*. Land cover, land use and malaria in the Amazon: a systematic literature review of studies using remotely sensed data[J]. Malar J, 2013, 12: 192.

[14] Rubio-Palis Y, Bevilacqua M, Medina D A, *et al*. Malaria entomological risk factors in relation to land cover in the Lower Caura River Basin, Venezuela[J]. Mem Inst Oswaldo Cruz, 2013, 108(2): 220-228.

[15] 温良, 施润和, 徐德忠, 等. 地表温度和土地利用类型与海南省疟疾流行的相关性[J]. 第四军医大学学报, 2008, 29(15): 1391-1394.

[16] 张俊艳, 成克武, 臧润国, 等. 海南岛热带针-阔叶林交错区群落环境特征[J]. 林业科学, 2014, 50(8): 1-6.

[17] Moss W J, Hamapumbu H, Kobayashi T, *et al*. Use of remote sensing to identify spatial risk factors for malaria in a region of declining transmission: a cross-sectional and longitudinal community survey[J]. Malar J, 2011, 10: 163.

[18] De-La-Rocque S, Michel V, Plazanet D, *et al*. Remote sensing and epidemiology: examples of applications for two vector-borne diseases[J]. Comp Immunol Microbiol Infect Dis, 2004, 27(5): 331-341.

[19] 马明国, 宋怡, 王旭峰, 等. AVHRR、VEGETATION和MODIS时间系列遥感数据产品现状与应用研究进展[J]. 遥感技术与应用, 2012, 27(5): 663-670.

[20] Tatem A J, Goetz S J, Hay S I. Terra and Aqua: new data for epidemiology and public health[J]. Int J Appl Earth Obs Geoinf, 2004, 6(1): 33-46.

(**收稿**:2014-11-12;**修回**:2015-01-20)

(编辑 王 红)