

卫星遥感植被指数与海南省疟疾流行地区分布的相关性研究

温亮 徐德忠 王善青 李才旭 张治英 苏永强

【摘要】 目的 分析诺阿卫星改进型甚高分辨率辐射仪归一化差值植被指数(NOAA-AVHRR NDVI)与疟疾流行地区分布的相关性,探讨将遥感技术应用于海南省疟疾监测的可行性。方法 收集 1995 年 2 月至 1996 年 1 月海南省各地疟疾发病资料,并通过其间海南省 NOAA-AVHRR NDVI 10 日复合遥感影像片获取各地各类 NDVI 指标值,计算发病率与相应 NDVI 值的相关系数。结果 海南省各地疟疾年发病率与当地年均 NDVI 值、年均最大 NDVI 值、年均 NDVI > 145 的区域面积构成比、NDVI > 135 的月份数呈显著正相关,与年均 NDVI < 145 的区域面积构成比呈负相关。疟疾高发区分布与月度 NDVI > 145 且持续 9 个月以上的地区分布较为一致。结论 海南省疟疾地区分布与当地 NDVI 值有相关性,可以进一步考虑应用 NDVI 值进行疟疾监测的可行性。

【关键词】 疟疾; 植被指数; 遥感技术

Analysis on the relationship between malaria epidemics and NOAA-AVHRR NDVI in Hainan province

WEN Liang*, XU De-zhong, WANG Shan-qing, LI Cai-xu, ZHANG Zhi-ying, SU Yong-qiang.

*Department of Epidemiology, Faculty of Preventive Medicine, Fourth Military Medical University, Xi'an 710032, China

Corresponding author: XU De-zhong, Email: xudezh@fmmu.edu.cn

【Abstract】 **Objective** To explore the relationship between malaria epidemics and NOAA-AVHRR NDVI. **Methods** Data on malaria were collected in all 19 counties in Hainan province from Feb, 1995 to Jan, 1996. Values regarding normalized difference vegetation index (NDVI)-related indicators including mean and maximum values of NDVI, the area proportion of NDVI values of 145- and 145+, months with NDVI values of 135+, 140+, 145+, 150+ of these counties in this period were all extracted from NOAA-AVHRR images, using ERDAS 8.5 software. The coefficients of correlation of malaria incidences and these NDVI-related indicator values were then calculated with SPSS 11.0. **Results** The incidence of malaria showed positive correlations to mean and maximum values of NDVI, the area proportion of NDVI values of 145+ and months with NDVI values of 135+, 140+, 145+, 150+ respectively, but having negative correlation to the area of NDVI values of 145-. The malaria epidemic regions were in accordance with those regions that the NDVI values of 145+ were continuing for 9 months or more. **Conclusion** Malaria prevalence was associated with NOAA-AVHRR NDVI value which could be considered to be use for malaria surveillance in Hainan province.

【Key words】 Malaria; Normalized difference vegetation index; Remote sensing

卫星遥感技术已经越来越多地被应用于自然环境和多种媒介传染病流行之间关系的研究^[1,2]。应用于疟疾流行研究的常用遥感指标有归一化差值植被指数(normalized difference vegetation index,

NDVI)、陆地表面温度(land surface temperature, LST)、冷云期(cold cloud duration, CCD)、空气湿度指数(atmospheric moisture indices, AMI)、中红外辐射(middle infrared radiation, MIR)等。其中 NDVI 常被认为是气候、地形、植被/生态系统和土壤/水文等变量的函数,而这些变量是疟原虫与媒介按蚊生态环境中的主要因素,因此 NDVI 作为上述多个变量的综合替代指标有可能较单一的气候指标更适用于对疟疾进行预测。目前大多数针对疟疾的遥感应用研究都围绕 NDVI 这个指标进行,并取得了较好

基金项目:全军“十五”指令性课题基金资助项目(01L078)

作者单位:710032 西安,第四军医大学流行病学教研室(温亮、徐德忠、张治英、苏永强);海南省热带病防治研究所(王善青、李才旭)

第一作者现工作单位:100039 北京,军事医学科学院疾病预防控制中心

通讯作者:徐德忠, Email: xudezh@fmmu.edu.cn

的效果^[3,4]。在各种传感器中,星下点分辨率为 1.1 km,回归周期为 12 h 的美国国家海洋和大气管理局改进型甚高分辨率辐射仪(National Oceanic and Atmospheric Administration - advanced very high resolution radiometer, NOAA-AVHRR)遥感数据被广泛应用于大区域(省、国家、地区及洲际)的环境监测研究。本研究利用 NOAA-AVHRR 影像数据提取 NDVI 值,对海南省 NDVI 变化与疟疾流行分布之间的相关性进行分析,探索将遥感技术应用于海南省疟疾监测的可行性。

资料与方法

1. 海南省疟疾发病数据: 海南省热带病防治研究所提供 1995 年 2 月至 1996 年 1 月海南省 19 个市(县)月度疟疾发病人数及年均人口数,据此计算各地该段时期的平均发病率。

2. 遥感影像数据: 从美国官方资源网站 The Land Processes Distributed Active Archive Center (DAAC) 1-KM AVHRR 全球陆地数据集(1-KM AVHRR GLOBAL LAND DATASET, <http://edcdaac.usgs.gov/1KM/1kmhomepage.asp>)中下载 1995 年 2 月至 1996 年 1 月间海南岛 NDVI 10 日复合影像片 36 张。遥感影像下载区域为: 北纬 18°8'~20°13', 东经 108°30'~111°40'。NDVI 10 日复合图像是由 NOAA-AVHRR-14 可见光通道(visible, VIS)和近红外通道(near-infrared, NIR)原始反射数值经过辐射校正(纠正辐射失真或畸变)、大气校正(去除水气、气溶胶、臭氧及瑞利散射的影响)、计算 NDVI 值 $[NDVI = (NIR - VIS)/(NIR + VIS)]$ 、几何校正(将基于传感器的投影转换为基于大地表面的投影)、10 日复合片的合成(去除云影响)处理而来。影像中每个栅格对应的实际面积约为 1 km²。NDVI 的理论值范围为 -1~1, 正值的增加反映了绿色植被量的增加, 负值则代表非植被覆盖地面, 例如水面、裸地、冰面、雪或云。为了更显著地区分地表植被生长状况的差别, 地球资源观测系统(EROS)数据中心常规地将 NDVI 值调整为 0~200。本研究中 NDVI 使用调整后的取值, 即取值范围为 0~200。

3. 电子化矢量地图: 从国家地理信息研究所收集海南岛 1:100 万的市(县)界矢量电子化地图, 为一多边形数据集。

4. 海南省各地月度和年度 NDVI 值提取方法:

应用美国 ERDAS 公司开发的遥感图像处理软件 Erdas Imagine 8.5 中 Spatial Modeler 模块里的 mean 函数将每月 3 张 10 日 NDVI 遥感影像片按求均数的方法进行复合, 得到各个栅格的月度 NDVI 均值, 进一步将 12 个月度的平均 NDVI 影像片按求均数的方法复合为一张年度平均 NDVI 影像片, 即可得到每个栅格的年均 NDVI 值。以海南岛矢量电子地图为基准对所获得的年均 NDVI 遥感影像进行配准, 然后结合市(县)界矢量图, 在 Erdas 里应用 Spatial Modeler 模块中的 zonal mean 函数提取各市(县)的年均 NDVI 值及最大年均 NDVI 值。此时得到的年均 NDVI 值是各地所有栅格年均 NDVI 的平均值, 而最大年均 NDVI 值为各地所有栅格中年均 NDVI 最大者。各地每月的平均 NDVI 值和最大 NDVI 值可按照此过程获得。

5. 海南省各地年均 NDVI 值构成比获取方法: 应用 Erdas 中的 AOI (area of interest) 工具和 SUBSET 模块从全岛年均 NDVI 影像中裁剪出各个市(县)的年均 NDVI 影像图, 然后对其中属于指定 NDVI 取值范围的栅格数进行统计, 将其总数除以当地总栅格数, 得到其面积构成比。本研究将 NDVI 取值范围初分为 6 类进行分析: $NDVI < 125$ 、 $125 \leq NDVI < 130$ 、 $130 \leq NDVI < 135$ 、 $135 \leq NDVI < 140$ 、 $145 \leq NDVI < 150$ 、 $NDVI \geq 150$ 。

6. NDVI 值月数分布图获取方法: 将月均 NDVI 影像片分别以 125、130、135、140、145、150 为截断点进行二分类, 小于截断点数值的栅格赋值为 0, 大于或等于截断点数值的栅格赋值为 1, 然后将重新赋值后的 12 个月的影像片分别进行复合(相加), 可以得到以上述 6 个 NDVI 值为截断点的 6 张月数分布图。结合县界矢量图可继而求得各地满足一定条件的月度数最大值及均数。

7. 统计学方法: 描述性研究和分析性研究相结合。应用统计软件 SPSS 11.0 进行 NDVI 与发病率关系的相关分析, 计算 Spearman 相关系数。统计显著性水平 $\alpha = 0.05$ 。

结 果

1. 海南省疟疾发病率情况: 从图 1 可以看出 1995 年 2 月至 1996 年 1 月海南省疟疾分布表现出很明显的区域特征, 即北部低发, 南部高发。调查期间文昌、琼海两地仅有 1 例病例, 发病率仅为 0.02/万, 而保亭病例数为 763 例, 发病率达到 50.43/万,

为前者的 2500 多倍,表现出极高的地方性流行趋势(表 1)。

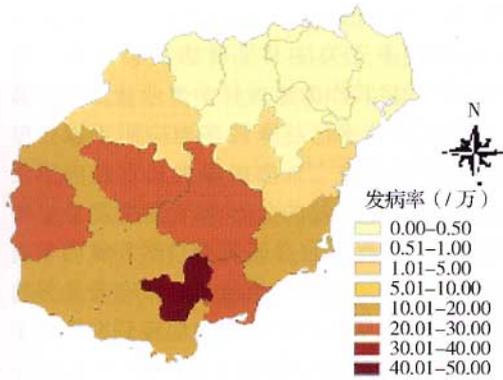


图1 1995年2月至1996年1月海南省各地疟疾发病率

2. 海南省年度 NDVI 分布情况及与疟疾发病的关系: 海南省各地年均 NDVI 值与年均最大 NDVI 值见表 1, 可以看出北部疟疾低发地区年均 NDVI 值明显低于西南部疟疾高发地区, 对于年均最大 NDVI 值也存在同样的趋势(图 2)。年均 NDVI 值、年均最大 NDVI 值与疟疾发病率都有着显著的正相关性(表 2)。



(颜色越深反映 NDVI 值越大)

图2 经与海南岛矢量地图配准后的 12 个月(1995 年 2 月至 1996 年 1 月)平均 NDVI 伪彩色影像

3. 海南省不同水平 NDVI 值构成比分布情况及与发病关系: 在对 19 个地区的 6 类 NDVI 值构成比与发病率进行初步分析后, 发现 NDVI 值 < 145 的 3 类构成比均与发病率呈现负相关, 因此在随后的分析中将 6 类合并为 3 类进行分析: NDVI-1 (< 145)、NDVI-2 (145~150)、NDVI-3 (> 150)。由表 1 可以看出与疟疾相关的 NDVI 值分布特点: 在北部

表1 1995年2月至1996年1月期间海南省各地疟疾发病率及各种 NDVI 指标分布

市(县)	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	发病率(/万)
文昌	131	146	0.9907	0.0093	0.0000	5	3	0	0	0.02
琼山	131	147	0.9956	0.0044	0.0000	6	3	1	0	0.02
临高	132	146	0.9870	0.0130	0.0000	5	3	1	0	0.05
澄迈	133	151	0.8926	0.0956	0.0118	6	3	1	0	0.15
海口	108	140	1.0000	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0.18
定安	134	153	0.9321	0.0578	0.0101	6	5	2	0	0.49
屯昌	145	156	0.4490	0.4098	0.1412	10	8	7	5	0.66
儋州	132	154	0.7863	0.1862	0.0275	4	3	1	0	0.81
琼海	142	153	0.6801	0.2685	0.0513	10	8	6	3	2.24
万宁	142	159	0.4364	0.3044	0.2592	10	7	5	3	11.18
昌江	140	160	0.4662	0.3378	0.1959	10	7	4	0	15.37
三亚	141	162	0.2491	0.2304	0.5204	10	8	5	0	16.74
乐东	142	158	0.4555	0.2711	0.2734	11	9	4	2	17.51
通什	146	157	0.3741	0.4102	0.2157	11	10	7	6	18.79
东方	137	160	0.4866	0.2281	0.2853	9	5	1	0	19.94
陵水	138	157	0.6137	0.2811	0.1052	9	8	2	0	21.33
白沙	147	156	0.1988	0.5280	0.2732	11	11	9	5	21.70
琼中	146	156	0.2796	0.5455	0.1611	11	9	9	5	26.84
保亭	147	157	0.2801	0.4246	0.2953	10	9	9	7	50.43

注: X₁ 为年均 NDVI 值; X₂ 为年均 NDVI 最大值; X₃ 为 NDVI < 145 的构成比; X₄ 为 145 ≤ NDVI ≤ 150 的构成比; X₅ 为 NDVI > 150 的构成比; X₆ 为 NDVI > 135 月数; X₇ 为 NDVI > 140 月数; X₈ 为 NDVI > 145 月数; X₉ 为 NDVI > 150 月数

表2 海南省疟疾发病指标和各种 NDVI 之间的 Spearman 相关分析

		X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉
发病率(/万)	r _s	0.791	0.703	-0.821	0.828	0.817	0.726	0.819	0.720	0.579
	P 值	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.009

注: X₁ ~ X₉ 同表 1

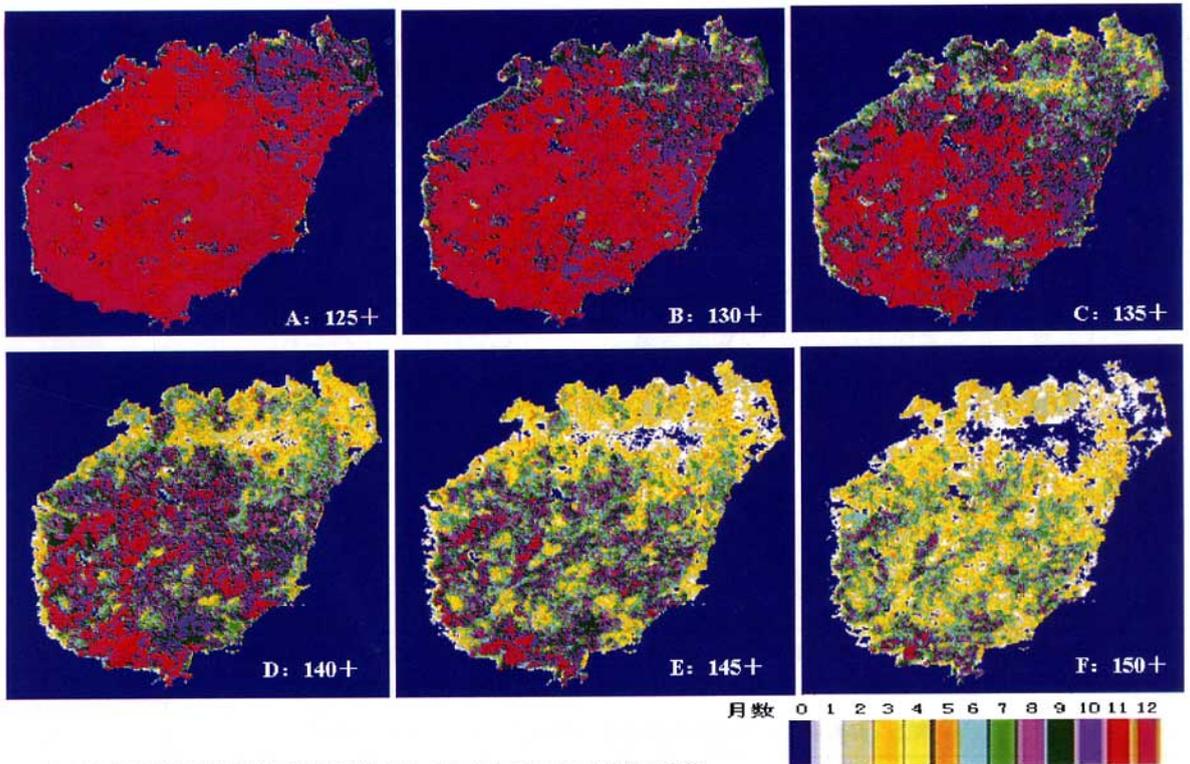
疟疾低发区, NDVI 值 < 145 的区域的构成比大, > 145 的构成比小, 而南部疟疾高发地区的情况则正好相反。NDVI 构成比与疟疾发病率都存在着显著相关性, 其中 NDVI 值 < 145 的构成比与发病率是负相关, 而其他两类构成比与发病率则是正相关(表 2)。

4. 海南省不同 NDVI 值持续月度分布情况及与发病关系: 由图 3 可以直观地看出 NDVI 值 > 130 并持续 10 个月以上的地区基本覆盖了全岛, 随着 NDVI 值升高, 维持这种高 NDVI 值的月份多的地区逐渐向南部地区集中, 而只有很少的区域能将 NDVI 值维持在 > 150 且超过 8 个月。全省各地月均 NDVI 值 > 135、140、145、150 的月数分布情况见表 1。由表 1 可看出疟疾高发地区特定水平的 NDVI 的持续时间也相对长一些, 它们之间也存在着显著的正相关性(表 2)。直观比较 NDVI 月数分布地图(图 3)及疟疾发病地图(图 1), NDVI 值 > 145 并持续 9 个月以上的地区分布与疟疾高发地区分布较为一致。

讨 论

NASA (National Aeronautics and Space Administration) 率先关注卫星遥感资料在流行病学中的应用, 并将其作为地球科学事业计划的一部分。近年来遥感技术已越来越多地应用于媒介传染病流行病学的研究^[5-8], 疟疾即为其重点应用领域之一。疟疾媒介按蚊的分布和丰度决定了疟疾流行的空间分布, 而其自身又受到自然环境因素的制约, 因此自然环境与疟疾流行与分布有着显著的相关性。为此, 遥感技术的应用为疟疾研究提供了切入点, 我们可以利用遥感及时获取影响疾病媒介生存、繁殖、发育和分布的环境状况的变化情况。

本研究利用由 NOAA-AVHRR 遥感影像提取的 NDVI 值对海南省各地 NDVI 值在一年中的变化及其与疟疾流行的地区分布的关系进行了分析。结果发现海南省 NDVI 值在一年中有一个明显的变化曲线, 而且海南省疟疾低发的北部地区年均 NDVI 显著低于疟疾高发的南部地区, 为进一步明



A~F 中每个栅格的值分别为 NDVI 值 ≥ 125、130、135、140、145、150 的月度数

图3 1995 年 2 月至 1996 年 1 月间海南省不同 NDVI 值持续月数分布

确这个关系,我们进行了相关分析,发现 NDVI 值与疟疾发病率存在着显著的正相关。这个结论与许多类似的研究一致。本研究还发现各地 NDVI 年均构成比与发病率也有相关性,NDVI 值 > 145 的区域占当地的构成比与发病率正相关,而 < 145 则呈负相关,提示 NDVI 值 > 145 可能是海南省某个地区疟疾流行的潜在要求。而对于 NDVI 持续月数与疟疾发病的相关分析结论也说明了植被与疟疾流行的相关性,直观地比较 NDVI 月数分布地图(图 3)及疟疾发病地图(图 1),NDVI 值 > 145 并持续 9 个月以上的地区分布与疟疾高发地区分布较为一致。

NDVI 与疟疾的相关性可以由以下原因产生。一是植被为蚊媒的孳生营造微小环境,它在分布和生长上的变化必将引起蚊媒分布和丰度的相应改变,进而影响疟疾发病的变化。海南省主要的传疟媒介是大劣按蚊和微小按蚊,大劣按蚊幼虫广泛地孳生于有良好遮荫的溪沟、石穴等小积水中,成蚊栖息于石洞、灌木丛、刺竹丛、杂草丛等处,过去认为是家栖型的微小按蚊在抗疟后在山地森林也可发现,这就使得在广泛开展灭蚊抗疟的情况下,野外的杂草山林成为海南省疟疾蚊媒的主要栖息地,这些地方所反映出来的 NDVI 值往往高于其他地方。海南省疟疾感染的一个主要原因在于“上山作业”,即春秋季节种植槟榔、旱稻及上山砍伐垦荒^[9],这也使 NDVI 值与发病率之间建立了联系。二是 NDVI 的变化是气候、水文、地形等要素综合作用的结果,因此 NDVI 与发病率的这种相关性也体现了上述因素与疟疾的关系。

影响疟疾流行的因素有很多,总的说来有自然因素、社会因素和人群免疫状况等,各种因素在不同的条件下发挥着主导性作用。就某一地区的疟疾流行来说,由于自然环境在一定的时期内变化不会太

大,因而对当地该时期内疟疾发病趋势变化的影响并不明显,导致植被指数在时间纵向上用于监测疟疾流行趋势的作用可能不是太大。然而在监测大区域的疟疾流行地区分布,即分析在大区域中哪些地区可能是疟疾的潜在流行区时,根据各地自然环境来进行分类是合理的,这就使将植被指数作为一种疟疾监测指标具有合理性。本研究结果说明 NDVI 作为环境因素的替代指标应用于海南省疟疾流行分布预测的可行性,但由于本研究仅仅用一年的数据对海南省疟疾发病分布与 NDVI 的关系进行了探讨,显然还很粗糙,结果的稳定性值得进一步检验。

参 考 文 献

- 1 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: 1-19.
- 2 Hay SI. An overview of remote sensing and geodesy for epidemiology and public health application. *Advances in Parasitology*, 2000, 47: 1-35.
- 3 Naoko N, Yoshihiko H, Mutsuo K. Analysis of malaria endemic areas on the Indochina Peninsula using remote sensing. *Jpn J Infect Dis*, 2002, 55: 160-166.
- 4 Hay SI, Snow RW, Rogers DJ. Predicting malaria seasons in Kenya using multitemporal meteorological satellite sensor data. *Trans R Soc Trop Med Hyg*, 1998, 92: 12-20.
- 5 Beck LR, Rodriguez MH, Dister SW, et al. Remote sensing as a landscape epidemiology tool to identify villages at high risk for malaria transmission. *Am J Trop Med Hyg*, 1994, 51: 271-280.
- 6 Beck LR, Rodriguez MH, Dister SW, et al. Assessment of a remote sensing-based model for predicting malaria transmission risk in villages of Chiapas, Mexico. *Am J Trop Med Hyg*, 1997, 56: 99-106.
- 7 Kristensen TK, Malone JB, McCarroll JC. Use of satellite remote sensing and geographic information systems to model the distribution and abundance of snail intermediate hosts in Africa: a preliminary model for *Biomphalaria pfeifferi* in Ethiopia. *Acta Trop*, 2001, 79: 73-78.
- 8 Linthicum KJ, Anyamba A, Tucker CJ, et al. Climate and satellite indicators to forecast rift valley fever epidemics in Kenya. *Science*, 1999, 285: 397-400.
- 9 陈文江, 吴开琛. 海南省 10 个山区少数民族乡镇疟疾社会经济因素调查研究. *海南医学*, 1996, 4: 213-215.

(收稿日期: 2004-11-04)

(本文编辑: 张林东)

· 书 讯 ·

《健康教育与健康促进实用方法》一书现已出版

由中国疾病预防控制中心健康教育首席专家田本淳研究员主编,前人大常委会副委员长、医学泰斗吴阶平教授作序的《健康教育与健康促进实用方法》一书已于 2005 年 1 月由北京大学医学出版社出版。该书从健康教育和健康促进的工作、科研、教学培训等实际需要出发,全面介绍健康教育与健康促进的各种常用方法,适合从事这方面实际工作的专业人员学习和参考使用,该书也将作为全国预防医学系列职称考试健康教育专业考试的主要参考书。有意购买者可在当地新华书店订购,也可与中国疾病预防控制中心健康教育所培训与评价中心联系。联系电话: 010-64245767; 联系人: 张继彬