

•研究原著•

文章编号:1000-2790(2004)08-0730-04

Landsat ETM+遥感图像监测江宁县江滩钉螺分布

张治英¹,周文利²,张波¹,周云³,周晓农⁴,刘士军⁵,龚自立⁵,徐德忠¹ (¹第四军医大学预防医学系流行病学教研室,陕西西安710033, ²西安市碑林区卫生防疫站,陕西西安710001, ³江苏省江宁县疾病预防控制中心,江苏江宁211100, ⁴中国疾病预防控制中心寄生虫病防治研究所,上海200025, ⁵南京军区联勤部防疫队 江苏南京210014)

Application of remote sensing data from Landsat ETM+ in predicting the schistosomiasis-transmitted snail's distribution in marshlands of Jiangning County

ZHANG Zhi-Ying¹, ZHOU Wen-Li², ZHANG Bo¹, ZHOU Yun³, ZHOU Xiao-Nong⁴, LIU Shi-Jun⁵, GONG Zi-Li⁵, XU De-Zhong¹

¹Department of Epidemiology, School of Preventive Medicine, Fourth Military Medical University, Xi'an 710033, China,

²Center of Disease Control & Prevention of Beilin District, Xi'an 710001, China, ³Center of Disease Control & Prevention of Jiangning County, Jiangning 211100, China, ⁴Institute of Parasitic Disease, Center of Disease Control & Prevention of China,

Shanghai 200025, ⁵Anti-epidemic team, Nanjing Military Command, Nanjing 210014, China

[Abstract] AIM: To explore the application of satellite data to the prediction of the schistosomiasis-transmitted snail's distribution in marshlands. **METHODS:** Surrogate indices of environment in marshlands were derived from the Landsat ETM+ images and their relationships with the density of live snails in habitats were analyzed using the stepwise regression and the ordinary kriging. **RESULTS:** The analysis of the surrogate indices of environment from the Landsat ETM+ images showed that the indices in snail habitats of marshlands in Jiangning County varied in a narrow range. The stepwise regression and the ordinary Kriging analysis demonstrated that the density of live snails in habitats of marshlands was related to the indices from remote sensing, such as the modified soil-adjusted vegetation index (X_1), land surface wetness (X_2) and temperature (X_3). The equation was presented as $Y=2.481+3.219X_1-9.143X_2-0.26X_3+\text{residual}$, where Y was the square root of the density of livesnails in habitats, and the residual was the prediction of the regression residual using the ordinary kriging. The determinant coefficient of the equation was about 0.852. **CONCLUSION:** It is feasible to predict the distribution of snails in marshlands using the surrogate indices of environment from remote sensing.

收稿日期:2004-01-06; 修回日期:2004-02-25

基金项目:全军“十五”指令性课题(01L078)、第四军医大学创新工程(CX99F009)及科技部“十五”攻关课题(2001BA705B08)资助项目

通讯作者:徐德忠, Tel: (029)83374955 Email: xudezh@fmmu.edu.cn

作者简介:张治英(1970-),男(汉族),陕西省白水人。讲师,博士。

Tel: (029)83374871 Ext.11 Email: depirs@fmmu.edu.cn

[Keywords] snails; remote sensing; kriging

【摘要】目的:探讨遥感资料在江滩钉螺监测中的应用。**方法:**从遥感资料中提取江滩钉螺孳生地的环境因素遥感替代指标,并用逐步多元回归分析及普通克立格研究其与活螺分布的关系。**结果:**分析显示从 Landsat ETM+ 图像中提取的江宁县江滩钉螺孳生地环境因素的遥感替代指标均处在一个比较小的范围中;多元逐步回归结合普通克立格空间分析发现江宁县江滩钉螺孳生地活螺密度与孳生地的修正土壤调整植被指数(X_1)、地表湿度(X_2)及温度(X_3)有关,且存在: $Y=2.481+3.219X_1-9.143X_2-0.26X_3+\text{残差预测}$,其中 Y 为活螺密度的平方根;该模型的决定系数为 0.852。**结论:**通过遥感资料提取钉螺孳生地的环境因素指标可用于预测江滩钉螺的分布。

【关键词】钉螺;遥感;克立格

【中图分类号】R181.13

【文献标识码】A

0 引言

日本血吸虫病是我国长江中下游地区重要的公共卫生问题,其分布与中间宿主钉螺、特别是感染性钉螺的地理分布相一致,有严格的地方性;而钉螺的分布与环境中的适宜的温度、水、土壤、高程和植被等因素密切相关^[1],因此研究钉螺分布与环境因素的关系对于钉螺控制及血吸虫病预防有重要意义。遥感由于能及时、快速获取地表的环境因素资料,因此在血吸虫病流行及钉螺的分布监测中有广阔的应用前景^[2]。本研究运用地理信息系统(Geographic Information System, GIS)及其空间分析技术研究 Landsat ETM+遥感图像在江滩钉螺分布监测中的应用,以期为指导血吸虫病的预防及控制提供依据。

1 资料和方法

1.1 资料

1.1.1 螺情资料 2000年春季采用系统抽样结合环境随机抽样调查的江宁县的钉螺分布情况,包括孳生地位置(经、纬度)、面积和活螺密度及其感染率。

1.1.2 地形要素数字化地图 由总参测绘技术总站采集制作江宁县 1:5万地形要素图。

1.1.3 卫星图片 收集 2000-11-03 陆地卫星 7

(Landsat⁷)ETM⁺(Enhancement Thematic Mapper plus, ETM⁺)传感器采集的遥感图像,分析范围为北纬118.49~118.61,东经31.78~31.96.

1.2 遥感图像处理及分析 在ERDAS8.5软件支持下,以江宁县1:5万地形图为基础,对ETM⁺图像进行配准,计算并提取钉螺孳生地相关环境因素指标,包括:①修正型土壤调整植被指数(The Modified Soil-Adjusted Vegetation Index, MSAVI):为了减少土壤背景亮度的影响,采用MSAVI估计地表植被信息量,公式为^[4]:
$$MSAVI = (2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - RED)})/2,$$
其中NIR和RED分别相当于ETM⁺传感器第4和3波段的图像.②地表温度:用于监测地表的温度变化,公式为^[5]:
$$T = \frac{K_2}{\ln(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1)} - 273,$$
其中T为星感温度

(℃)、 $K_1 = 666.093_w / (m^2 \cdot s \cdot \mu m)$ 、 $K_2 = 1282.7108 (K)$ 、 L_λ 为ETM⁺第6波段的光谱辐射率.③缨帽转化(Tasseled-Cap Transformation)指数^[6]:缨帽转化通过对原始遥感图像的线性转换展示地物特征全貌,转换后的特征分量具有鲜明物理景观含义,其中第一个分量亮度(Brightness)反映景观中土壤反射和裸露陆地的状况;第二个分量绿度(Greenness)反映景观中植被的覆盖状况;而第三个分量湿度(Wetness)与景观中植被叶盖和土壤的湿度有关.对ETM⁺图像进行转化的前3个特征分量的线性方程式^[7]:
$$Brightness = 0.3561CH_1 + 0.397CH_2 + 0.390CH_3 + 0.697CH_4 + 0.229CH_5 + 0.160CH_7$$
$$Greenness = -0.334CH_1 - 0.354CH_2 - 0.456CH_3 + 0.697CH_4 - 0.024CH_5 - 0.0263CH_7$$
$$Wetness = 0.2626CH_1 + 0.214CH_2 + 0.093CH_3 + 0.066CH_4 - 0.763CH_5 - 0.539CH_7$$

其中CH₁~CH₇分别代表ETM⁺传感器第1~7波段的星体反射率图像.

1.3 资料分析 根据数理统计理论^[8,9],随机变量Z可以表示为 $Z = \mu + \epsilon' + \epsilon''$,其中是由空间相关引起的误差,其在变程α范围内尺度上可用变异函数来 $\gamma(h)$ 估计; ϵ'' 是随机误差.由于大量研究已证明钉螺分布存在明显的空间聚集性^[1,10],因此本研究在利用多元逐步回归分析研究江滩钉螺分布与环境因素遥感替代指标关系的基础上,进一步利用变异函数及普通克立格法对回归残差中由空间自相关引起的变异进行估计和预测,其估计效果用交叉核实进行评价,要求其估计偏差标准均数接近0、估计偏差均方根及其平均标准差要尽可能的小且基本一致,同时

估计偏差均方根标准差接近1^[8];最后将该残差预测结果与回归方程一起用于江滩钉螺的分布预测.

2 结果

2.1 江宁县江滩钉螺孳生地遥感监测环境因素特征分析 分析江宁县江滩钉螺孳生地环境因素的遥感替代指标,可见相对于整个江滩地区,钉螺孳生地的各指标均在很小范围内波动(Tab 1),如钉螺孳生地的平均MSAVI为0.3115,且80%孳生地的MSAVI在0.2038~0.4468之间;同样孳生地的其他环境因素指标也是处于很小的范围内,说明钉螺对其孳生地的环境因素有一定要求.

表1 江宁县江滩地区及其钉螺孳生地遥感监测环境因素分析

Tab 1 Analysis of the environmental indices from Landsat ETM⁺ in marshland of Jiangning county

Environmental index	Whole areas	Habitats of snails	
		$\bar{x} \pm s$	Range for 80% habitats
TCT-wetness	-0.523~ 0.137	-0.19±0.04	-0.2376~-0.1336
TCT-brightness	0.3308~1.0756	0.70±0.05	0.6350~ 0.7628
TCT-greenness	-0.2901~0.3210	-0.01±0.04	-0.0556~ 0.055
^b MSAVI	-1.7034~0.6523	0.31±0.09	0.2038~ 0.4468
Temperature	9.95~ 28.28	13.84±0.79	12.858~ 14.787

TCT: Tasseled-cap transformation; MSAVI: Modified soil-adjusted vegetation index.

2.2 环境因素遥感替代指标与钉螺分布的相关分析

对活螺密度进行平方根转换,用两变量相关分析研究孳生地活螺密度与其相应位置环境因素遥感替代指标的关系,结果见Tab 2,除温度和缨帽转换(TCT)-湿度指数外,孳生地的MSAVI和TCT-亮度、TCT-绿度等指标均与其活螺密度呈正相关, $P < 0.05$.

表2 环境因素遥感替代指标与江滩活螺密度的相关分析

Tab 2 Pearson correlation analysis between the environmental indices from Landsat ETM⁺ and the density of alive snails in habitat of marshlands

	Index from TCT			MSAVI	Temperature
	Brightness	Greenness	Wetness		
Pearson coefficient	0.400	0.429	-0.333	0.442	-0.209
P-value	0.00	0.00	0.00	0.00	0.021

TCT: Tasseled-cap Transformation; MSAVI: Modified soil-adjusted vegetation index.

2.3 环境因素遥感替代指标与活螺分布关系的多元

回归分析 进一步以活螺密度的平方根为因变量,用逐步多元回归分析研究其与环境因素遥感替代指标的关系,发现 MSAVI (χ_1)、TCT-湿度 (χ_2) 及温度 (χ_3)与活螺密度有关,方程为: $Y_1=2.481+3.219 \chi_1-9.143 \chi_2-0.261 \chi_3$,其中 Y_1 代表活螺密度的平方根(Tab 3);该方程的决定系数 $R^2=0.282$ ($F=15.302$, $P<0.0001$)表明引入回归模型的变量仅能解释活螺分布变异的 28.2%,存在很大残差,提示还有很重要的影响钉螺分布的因素没有考虑.

2.4 回归残差的空间分布特征分析 鉴于以上结果,我们在 ArcView 8.1 软件的支持下对以上回归模型的估计残差进一步分析,确定其变异函数为:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & (h = 0) \\ 0.39774 + 0.59106(\frac{3}{2} \frac{h}{0.11577^2} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{0.11577^3}) & (0 < h < 0.11577) , \\ 0.9888 & (h > 0.11577) \end{cases}$$

可见为球形模型,其变程 $\alpha=0.11577$ 、拱高 $C=0.59106$ 、块金值 $C_0=0.39774$ 、基台值 $(C_0+C)=0.9888$;说明当距离 $h<0.11577$ 时,回归残差存在空间自相关性;进一步计算 $\frac{C}{C_0+C}=0.5978$,说明自相关变异占残差空间异质性总变异的 59.78%,即空间自相关性在钉螺的空间分布中起重要的作用.

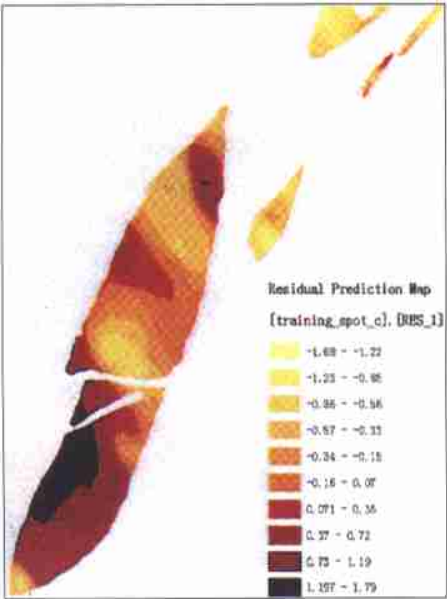


Fig 1 Prediction map of regression residuals using ordinary kriging
图 1 克立格法建立的回归模型残差的预测图

表 3 环境因素遥感替代指标与江宁县江滩活螺密度关系的多元回归分析

Tab 3 Analysis of the relationship between the environmental indices from Landsat ETM+ and the snail's density in habitats of marshlands using stepwise regression

	Un-standardized Coefficient (B)	Standardized Coefficient (β)	T	P
Constant	2.481	1.360	0.1765	
MSAVI(χ_1)	3.219	0.298	3.273	0.001
TCT-wetness (χ_2)	-9.143	-0.351	-3.756	0.000
Temperature (χ_3)	-0.261	-0.207	-2.085	0.039

MSAVI: The modified soil-adjusted vegetation index; TCT: Tasseled-cap transformation.

交叉核实对该预测图进行评价,显示估计偏差的标准均数=-0.00902、均方根=0.4053、平均标准误=0.4277,均方根标准差=0.962,说明该预测图是对回归残差的最优无偏估计.

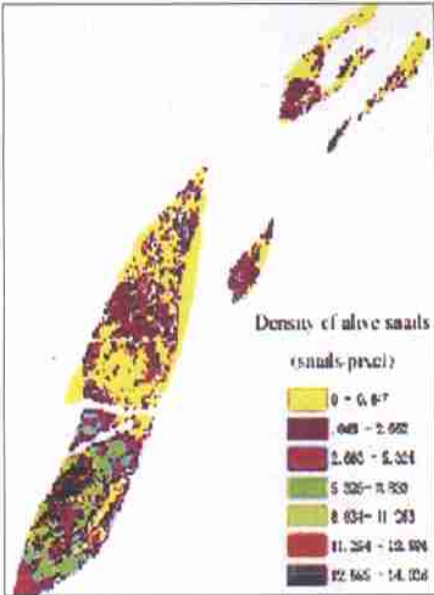


Fig 2 Prediction map of snails distribution in marshland of Jiangning county using Landsat ETM+ images
图 2 江宁县江滩地区钉螺分布遥感预测图

2.5 建立江宁县江滩钉螺空间分布的遥感预测模型

根据以上结果,为了充分考虑空间自相关性在钉螺分布中的作用,提高遥感资料预测江宁县江滩钉螺分布的能力,本研究将用普通克立格法建立的回归残差预测图(Y_2)与前述的回归模型(Y_1)结合用于江宁县江滩地区钉螺分布状况的预测,即 $Y=Y_1$ (回归模

型) $+Y_2$ (残差模型),其中 Y 为活螺密度的平方根,预测结果见Fig 2,图中以不同颜色代表不同的钉螺密度,该模型的决定系数为0.852。

3 讨论

本研究从Landsat 7 ETM+图像中提取了江宁县江滩钉螺孳生地相关环境因素的遥感替代指标,分析发现钉螺孳生地各环境因素指标均处在一个比较特定的范围中,这与既往钉螺分布与滩地环境因子的关系研究基本一致^[1,11,12],即认为钉螺对其孳生微环境的温度、水及植被等均有一定的适应范围,过低或过高皆不利于钉螺的孳生繁殖。

进一步通过多元逐步回归分析发现,江宁县江滩钉螺孳生地活螺密度与遥感监测的孳生地的土壤调整植被指数(MSAVI)、地表温度及湿度有关,该结果与Kristensen等^[13]关于埃塞俄比亚曼氏血吸虫中间宿主的遥感监测研究结果基本一致,他们在研究中也认为血吸虫中间宿主的分布与植被指数及地表温度有关;这也符合钉螺生态对孳生环境的要求^[1]。但该回归模型的决定系数仅为0.282,这是由于江宁县江滩钉螺在空间中的分布存在自相关性^[10],普通多元逐步回归分析不能很好地反映钉螺分布与环境因素的关系。已有大量的研究表明,如果在分析中忽略疾病或媒介空间分布的自相关性,则可能错误估计疾病或媒介与相关影响因素关联的统计学意义,从而得出错误的结论^[14,15]。因此本研究以变异函数为依据,用普通克立格对回归残差中由空间自相关性引起的变异(59.78%)进行了估计,并将其和回归方程一起用于预测钉螺的分布,从而将模型的决定系数提高到0.852,也提高了预测的正确性。目前也有类似的研究报道,如Kleinschmidt等^[16]在研究非洲地区疟疾与气候环境因素的关系时,即先以回归模型分析二者的关系,然后应用克立格法估计回归残差,最后将其与回归模型一起用于建立当地的疟疾分布图,分析表明预测Kappa值有明显的提高。

关于钉螺分布与环境因素关系的研究国内外均有报道,但将钉螺的空间分布特征用于钉螺分布的预测本研究尚属首次,该方法的建立有利于钉螺分布的正确预测,而且对其他具有空间分布特征的疾病或媒介的预测提供了依据。同时本研究初步证明了遥感资料在我国江滩钉螺分布监测中应用的可行性,为大范围、快速预测江滩钉螺的分布提供了理论基础。

【参考文献】

- [1] 赵慰先. 人体寄生虫病学[M]. 北京:人民卫生出版社, 1994; 391—404.
- [2] Hay SI, Packer MJ, Rogers DJ, et al. The impact of remote sensing on the study and control of invertebrate intermediate hosts and vectors for disease [J]. *Int J Remote Sensing*, 1997; 18(14): 2899—2930.
- [3] Remote sensing: Landsat 7 data product. <http://chesapeake.towson.edu/remotesensing/land-data.htm>
- [4] 周成虎, 骆剑承, 杨晓梅, 等. 遥感影像地学理解与分析[M]. 北京: 科学出版社, 1999; 15—16.
- [5] <http://ftpwww.gsfc.nasa.gov/IAS/handbook/handbook-htmls/chapter11/chapter11.html>.
- [6] 仇肇悦, 李军, 郭宏俊. 遥感应用技术[M]. 湖北: 武汉测绘科技大学出版社, 1998; 97—98.
- [7] <http://www2.erdas.com/supportsite/downloads/models/model-descriptions/descriptions.html>.
- [8] Johnston K, Ver Hoef JM. *Using ArcGIS: Geostatistical Analysis* [M]. USA: ESRI Inc. 1999; 49—79.
- [9] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999; 153—154.
- [10] Zhang ZY, Zhou Y, Xu DZ, et al. Spatial analysis of snail distribution in Jiangning county [J]. *J Mil Med Coll PLA*, 2002; 17(2): 88—91.
- [11] 张旭东, 杨晓春, 彭镇华. 钉螺分布与滩地环境因子的关系[J]. 生态学报, 1999; 19(2): 265—269.
Zhang XD, Yang XC, Peng ZH. Relationships between the surviving oncomelania and beaches environmental factors [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999; 19(2): 265—269.
- [12] 吴刚, 苏瑞平, 张旭东. 长江中下游滩地植被与钉螺孳生关系的研究[J]. 生态学报, 1999; 19(1): 118—122.
Wu G, Su RP, Zhang XD. Relationships between oncomelania breeding and beach vegetation in the middle and lower reaches of the Yangtze river [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999; 19(1): 118—122.
- [13] 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 [J]. *Acta Tropica*, 2001; 79(1): 73—78.
- [14] Walter SD. Assessing spatial patterns in disease rates [J]. *Stat Med*, 1993; 12(17): 1885—1894.
- [15] Uriel Kitron. Landscape ecology and epidemiology of vector borne disease: Tools for spatial analysis [J]. *J Med Entomol*, 1998; 35(4): 435—445.
- [16] Kleinschmidt I, Bagayoko M, Clarke GPY, et al. A Spatial statistical approach to malaria mapping [J]. *Int J Epidemiol*, 2000; 29(2): 355—361.

编辑 王雪萍