

# 景观流行病学研究现状及其进展

杨坤 周晓农

**【关键词】** 景观流行病学; 研究

**The study on status and development of landscape epidemiology**  
YANG Kun, ZHOU Xiao-nong. National Institute of Parasitic Disease, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200025, China

**【Key words】** Landscape epidemiology; Study

人类的活动引起一系列传染病暴发、重现及改变地方病传播过程的研究越来越受到人们重视<sup>[1]</sup>。一些土地使用的变化,包括森林砍伐、道路修建、农业活动、水坝修建、灌溉、海岸线退化、开矿等,其所带来的众多因素,如森林破碎化、病原体的输入、污染、贫穷、人口迁移等;加速了传染病的出现。因此,近几年来随着景观因素同疾病关系研究的增多以及景观生态学(landscape ecology)、遥感(RS)及地理信息系统(GIS)等技术的应用,景观流行病学(landscape epidemiology)的研究及应用逐渐开展起来,本文对其应用现状及研究进展进行了综述。

1. 景观流行病学的概念:景观流行病是地理学、景观生态学与流行病学之间的边缘学科,利用整体分析方法,分析不同地理景观中各种疾病的发生、流行特点及其分布规律。景观生态学研究景观单元的类型组成、空间配置及其与生态学过程相互作用的综合性学科,强调空间格局、生态学过程与尺度之间的相互作用。景观生态学把环境看作利用斑块(patch,如实验区的大小、形状等)、边界(edges)及廊道(corridor,如边境孳生地之间的道路等)进行分析的镶嵌体(mosaic)。生命环境与非生命环境长期相互作用形成的景观,在不同尺度范围内具有一定的空间异质性,主要在两种不同的尺度上测量空间异质性,即粒尺度(grain,最小斑块化尺度,生物个体能够感知的环境斑块的最小空间尺度)和幅度尺度(extent,最大斑块化尺度,生物个体能够感知的环境斑块化的最大空间尺度)。前苏联科学院院士巴甫洛夫斯基创立自然疫源学说时首次把地理景观概念引入其中,使用景观学理论去识别疾病危险因子的时空分布,包括高程、植被、温度、雨量及湿度等重要环境因素影响病原体寿命、媒介生物、中间宿主感染及同人类之间关系<sup>[2]</sup>。自然疫源性疾病流行有关的宿主、媒介和病原体三者均受景观因素的影响。自然疫源性疾病分布于特定的自然疫源地内,并具有独特的流

行病学规律,应用景观学的理论和方法来研究自然疫源性疾病过程中逐渐形成了景观流行病学。

目前景观流行病学的研究内容主要分为以下几个部分:第一,各种景观要素对疾病的综合影响与评价;第二,不同景观类型疾病的流行特征及分布规律;第三,控制和预测某种疾病的发生;第四,景观流行病区划与制图。

2. 景观流行病学的研究方法:景观流行病学分析过程,常涉及流行病学、动物昆虫学、病原学、生态学、环境学、景观生态学、GIS、RS、全球卫星定位(GPS)及空间分析等多学科及分析技术<sup>[3]</sup>。目前在景观流行病学研究领域中,除了常规的流行病学研究方法,还用以下几种研究方法:

(1)RS及GIS技术:受环境变量影响的土地类型、植被类型及分布等景观要素可以看成能被RS识别的景观因素,其相互关系可以被空间模型化。RS技术已成为景观流行病学研究的重要手段:第一,利用RS图像进行植被和土地利用分类;第二,利用RS图像结合现场资料进行生态系统和景观特征的定量化,进行不同尺度上缀块的空间格局,植被的结构,生境特征、生物量计算及预测;第三,景观流行病学中的景观动态研究,土地利用时空变化,植被动态,及人类活动等对疾病传播的影响。目前,GIS在景观流行病学应用,主要集中在以下几个方面:第一,强大的综合、贮存功能,将零散的数据和图像资料加以结合并存储在一起,可长期有效的使用,通过计算模块完善地融为一体。第二,为景观流行病的空间景观格局分析和空间模型提供技术框架,简化数学方法的应用;GIS可以分析景观空间格局及其变化,确定不同环境和生物学特征在空间上的相关性。第三,GIS可用于景观生态变量的图像输出及景观生态过程模拟。

低分辨率RS图像最早被用于探索疾病暴发或流行的空间格局研究。低分辨率RS图像对于大尺度的危险模型的制作具有较好的效率和成本效益,但其不能分析不同尺度下危险因子和传播模型。例如地理环境要素较为复杂,使用传统的宽波段RS数据则很难区分一些景观要素<sup>[4]</sup>。随着RS技术的发展,其数据的种类也越来越多,监测不同尺度和不同景观要素所需要的RS也不一样,因此对疾病景观要素的监测过程中,越来越采用不同RS数据融合的方法。研究者在肯尼亚西部丘陵地区采用IKONOS和ETM RS数据融合技术,对土地类型及按蚊幼虫孳生地进行监督分类,提示采用RS数据融合数据技术,将会成为识别决定按蚊幼虫孳生的景观要素的重要工具<sup>[5]</sup>。

(2)空间统计及景观格局分析:景观流行病学分析方法大部分方法来自于其他学科,如地质学、地理学、工程学、生

基金项目:国家自然科学基金重大资助项目(30590373);江苏省卫生厅重点课题资助项目(H200625);江苏省社会发展基金资助项目(BS2007023)

作者单位:200025 上海,中国疾病预防控制中心寄生虫病预防控制所

态学,如常用地理统计分析、聚集性分析、傅立叶及微波转换等以及流行病学常用的判别分析、logistic 回归、动态及模拟模型等。

空间统计主要用于点、线、面的统计分析,点数据包括病例的分布点、蚊虫孳生点及人群居住区等,线数据包括河流、道路及媒介活动路线等,面数据包括行政区划单位、森林及水体等。景观流行病学最常用的地理统计学包括聚集性分析、自相关分析、二阶邻里统计分析、趋势面分析及多种形式的克里格分析等;其统计学思想是空间上越靠近的事物或现象就越相似,景观特征或变量在邻近范围内的变化往往表现出对空间位置的依赖关系。近几年来,可以描述和识别相同的空间结构及用于空间局部最优化插值的半方差分析(又称变异距或变异函数分析, Semivariogram analysis)逐渐用于景观流行病学的研究中<sup>[6-8]</sup>。非空间统计学方法在景观流行病学中的地位同样十分重要。如判别分析、logistic 回归分析、基于树状结构的分类方法已经用于分析 RS 数据同疾病危险因子关系的研究。统计分析中的阳性采样点、阴性采样点的数量,先验区的大小,容许接受界限值的高低设置在解释生物过程中的统计分析结果起着至关重要的作用<sup>[9-11]</sup>。

景观流行病学的核心——景观生态学最突出的特点是强调空间异质性、生态学过程和尺度的关系。随着 GIS、RS 及空间统计技术的发展,把空间格局、生态学过程和尺度结合起来,研究景观结构组成特征和空间配置关系的空间格局分析技术,逐渐应用在景观流行病学领域,其不仅包括一些传统的统计学方法,同时也包括一些新的、专门解决空间问题的格局分析方法。景观指数是指能够高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间配置某些方面特征的简单定量指标。Graham 等<sup>[7]</sup>在中国甘肃首先利用 RS 数据提取与肺泡虫病相关的景观要素,然后利用景观分析软件进行景观格局分析,提取景观指数,如平均形状指数(mean shape index, MSI)、边界密度(edge density)等,提示中间宿主的孳生地的形状同疾病密切相关。此外景观格局分析,还常用谱分析(spectral analysis)可用来分析一维或二维空间数据中反复出现的缀块性格局及其尺度特征,如分析疾病及气象数据的周期性<sup>[12]</sup>。

(3)数学模型的应用:景观流行病学的景观空间结构和生态学过程在多重尺度上相互作用、不断变化,对于这些动态现象的理解和预测就必须借助于数学模型。同时,数学景观模型可以综合不同时间和空间尺度上的信息,成为景观流行病学的有效工具。如 Glass 等<sup>[13]</sup>对美国巴尔的摩市 1989-1990 年的莱姆病数据进行了病例对照研究,结合提取的景观要素进行了空间分析、logistic 回归分析等建立了预测模型,结果证明该模型准确率为 85.8%。薛付忠等<sup>[14]</sup>在疾病空间相关-自相关假设下,构建疾病空间异性的变异函数模型,从而确定疾病空间异质性程度和变化尺度,并对肾综合征出血热(HFRS)空间异质性进行了分析验证,刻画出了该病的空间异质性特点,解释了该病的景观流行病学机制。

近年来,贝叶斯模型开始应用在景观流行病学领域, Richardson 和 Best<sup>[15]</sup>综述贝叶斯等级模型在分析景观要素中的环境因子对健康影响研究的应用特点,提示了贝叶斯模型在综合分析流行病学数据及生物学数据时具有极大优势。

(4)多尺度研究:景观流行病学中与疾病相关的景观要素较多,各要素间存在一定的相关性,不同景观要素对疾病传播或流行的贡献率也不一致,不同景观要素表现在空间尺度也不一样,所以要实现就需要根据景观要素及疾病流行因素的特点,建立多层次和不同尺度的多尺度研究体系。目前景观流行病学研究尺度主要分为三种空间尺度,大尺度的景观要素主要为气候要素,数据主要来自于低分辨率 RS 数据;中等尺度的景观要素主要为大范围的土地利用类型,如居民点、林地、不同类型耕地、河流、草地等。中等尺度土地利用类型信息的获取主要根据疾病流行地理环境特点来选择不同 RS 数据,常使用 TM 和 SPOT 数据及 RS 数据融合技术。小尺度的景观要素主要为沟渠等小范围的地理环境,对 RS 数据的空间分辨率需求更高,主要使用 IKONOS RS 数据及高分辨率的雷达数据<sup>[16-18]</sup>。Graham 等<sup>[19]</sup>综述了多尺度研究在分析中国包虫病的危险因素研究的应用,在大尺度水平收集了 1992-1993 年的 AVHRR RS 数据,显示包虫病在中国的分布区域主要与气温密切相关,在中等尺度水平显示包虫病发病率同人群的空间分布及土地类型密切相关。在小尺度水平(缀块, patch)主要考虑了个体村庄或家庭,显示人群活动及个体的基因及免疫状态在包虫病感染过程起着重要作用。

### 3. 应用:

(1)莱姆病:莱姆病是一种自然疫源性人兽共患病。了解影响莱姆病及其病原体生存及分布的地理景观要素对认识该病的流行病学是非常必要和有益的。Daniel 等<sup>[20]</sup>利用 TM 遥感数据识别了适合蜱生存的植被类型。Kitron 等<sup>[4]</sup>进一步结合景观因素分析了受蜱感染鹿的聚集性,显示景观的破碎化(Fragmentation)通过影响哺乳动物的密度及组成决定着莱姆病局部尺度的异质性。Brownstein 等<sup>[21]</sup>分析了通过 RS 数据提取的森林缀块的景观格局,显示破碎化同蜱的密度及感染率呈正相关,但人群感染率在破碎化的区域较低,提示昆虫的感染不是造成人群感染的主要原因,全面了解景观破碎化对莱姆病的影响,将有利于提高莱姆病预测及管理的能力。

(2)疟疾:疟疾是严重危害健康的媒介传播疾病,环境因素中的自然因素如地形、气候等直接影响人和按蚊的生态环境,对疟疾的分布起决定性作用。Srivastava 等<sup>[22]</sup>采用 RS 数据对疟疾疫情有波动的村庄进行研究,认为水量、水位、土壤类型与灌溉等因素与疟疾发病有明显的关系。Pope 等<sup>[23]</sup>通过对研究区域的雨季和旱季的 RS 数据分类,利用等级理论将按蚊幼虫孳生类型与地表覆盖单元进行连接,来预测幼虫丰度的高低程度。Beck 等<sup>[24]</sup>利用分类的景观因素,结合逐步判别分析和逐步线性回归的方法,建立预测蚊虫数量的判

别模型,分析蚊媒数量和景观因素之间的关系,结果显示最重要的景观因素是变迁性沼泽地和废弃的牧场。Mushinzimana 等<sup>[5]</sup>在肯尼亚西部丘陵地区利用高分辨率 RS 数据分出土地利用、土地覆盖及可见水体按蚊幼虫孳生地,建立了土地利用类型的按蚊幼虫孳生地分布预测模型,结果提示高分辨率 RS 数据结合其他土地利用类型的地形数据将在肯尼亚丘陵地区成为十分有用的识别按蚊幼虫孳生地分布的工具。

(3)血吸虫病:血吸虫病是与地理和气候因素密切相关的疾病,其流行与当地自然环境密切相关。人类及其他动物的活动同样会影响钉螺分布,特别是阳性钉螺的分布,景观流行病学技术可更迅速方便地揭示血吸虫的分布情况并预测血吸虫病形势,为血吸虫的防治工作提出新的思路和方法。姜庆五等<sup>[25]</sup>利用 TM RS 将钉螺孳生草洲植被划分为 8 个地表类别,发现第二类苔草带为钉螺主要的孳生地。吴子松等<sup>[26]</sup>在小尺度的村庄调查了人群、家畜感染率、人群接触水源的方式、钉螺密度、灌溉系统及农业土地利用等情况,显示不同村庄的感染率差别同农业植被类型密切相关,感染率较低的村庄主要以种植大米为主,相对感染率较高的村庄主要以种植蔬菜及烟草为主。在灌溉系统出现尾蚴的危险度主要由与钉螺密度及使用人工肥料造成人群感染密切相关,而与气温、每周降雨量等因素不甚密切。Leonardo 等<sup>[27]</sup>在菲律宾分析了影响血吸虫病分布的景观因素,同样显示了灌溉系统及农业植被类型对血吸虫病的分布起着至关重要的作用。

(4)HFRS:HFRS 由汉坦病毒(HV)所致的自然疫源性疾病。宿主动物种群需要的生存环境不同,决定了这些疫源地的分布有其独特的景观特征。1994-1998 年我国各地 HFRS 发病资料分析表明<sup>[28]</sup>:HFRS 发病率与平均海拔高度呈明显的负相关关系,随着海拔高度的增加,发病率逐渐下降,2000 m 以上地区基本无病例报告。在我国,HFRS 主要分布在东部湿润森林区,在青藏高原高寒高原高山针叶林、草甸-草原-灌木丛区,尚未证实存在 HFRS 自然疫源地。Engelthaler 等<sup>[29]</sup>调查研究发现,7 种生物群落是 HFRS 可能发病的地区,多数是在杜松森林、草地和大盆地沙漠灌木丛等地带。Henkes 和 Barcellos<sup>[30]</sup>在巴西通过叠加植被类型图及地貌图分析了 HV 出血热的景观生态学,显示 HV 出血热主要发生春季的植被丰富的丘陵地带。Langlois 等<sup>[2]</sup>分析了景观格局同鼠类 HV 出血热发病率之间的关系,显示居民区、景观要素组成、景观结构、每年平均温度及季节变化同发病率明显相关,提示景观结构对疾病的格局分布的影响力大于气候及季节变化的影响。

(5)泡状棘球蚴病(AE):AE 是北半球流行的一种重要的人兽共患寄生虫病;该病原主要由流行区的啮齿动物和狐类传播。Graham 等<sup>[7,19]</sup>在中国甘肃省,应用 RS 数据进行景观格局动态变化分析及同 AE 发病率之间的关系。Danson 等<sup>[31]</sup>利用 RS 数据,建立了 AR 的景观动态及危险模型,并用

此预测模型制定相关的疾病控制策略。

(6)锥体虫病(睡眠病, sleeping sickness):由采采蝇传播的锥体虫病是非洲特有的人和动物共患的疾病。Rocque 等<sup>[32]</sup>在西非利用景观分析方法发现采采蝇密度与河流边森林的植被类型关系密切,当超越河流边植被类型一定界线时,采采蝇密度明显下降。人类活动及在这些区域的家畜数量增加,可以明显增加采采蝇密度。Rogers<sup>[33]</sup>利用 RS 数据提到的景观要素分析了锥体虫病时空变异性,显示锥体虫病的传播存在着空间及时间尺度变异性。

(7)非传染性疾病:近 40 年来非传染性疾病引起的死亡占总死亡的比例不断上升,景观流行病学技术也逐渐应用于非传染性疾病的流行病学研究。如应用于肿瘤与环境关系的流行病学研究,Xiang 等<sup>[34]</sup>在美国科罗拉多州进行研究,发现婴儿出生体重与母亲居住地 300 m 缓冲区内农作物种类有关。Ward 等<sup>[35]</sup>利用历史农作物记录数据重新对 RS 数据进行了分类,间接估计了农药的使用概率同居民健康的关系。Boscoe 等<sup>[36]</sup>对 RS 数据在肿瘤研究中的应用进行了综述,显示了 RS 数据作为肿瘤研究的一个重要数据源。国内,覃玉<sup>[37]</sup>、胡晓抒等<sup>[38]</sup>运用 GIS 探讨江苏省肝癌与地理因素之间的流行病学关系,显示肝癌的高发地区局限于江苏省中部的沿海地区,肝癌死亡率随海拔高度的增加而降低,而与温度、降雨量、地面蒸发量呈显著正相关。克山病、大骨节病是一种地方性疾病,其分布范围较广,发病率较高,光磊和邢秋菊<sup>[39]</sup>对我国克山病、大骨节病发病区的地质、地貌、土壤、气候和水文五个地理环境因素进行了分析,分别阐述了各个地理因子的特征与该地区发病情况的关系,指出人们所处的地理环境影响到摄入人体内的化学元素成分,从而导致地方病的发作,因而环境改良工程是解决地方病的重要途径。

4. 结语:现代科学技术和信息技术的发展为景观流行病学的应用和发展提供了坚实的基础。空间分析技术的相互渗透和融合,进一步促进了景观流行病学的应用。新的统计学方法也最大可能的减少了景观流行病学研究的偏倚。随着应用及研究的进一步深入,景观流行病学所涉及的领域已超出简单的景观生态学及流行病学的范畴,其中遥感学、环境学、地理学、空间统计学等方面的内容不断补充进来,使这一理论更加充实和完善。总之,随着景观流行病学研究及应用的广泛开展,景观流行病学在疾病预防控制领域一定会更有更加广阔的应用前景。

#### 参 考 文 献

- [1] Patz JA, Graczyk TK, Geller N, et al. Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. *Int J Parasitol*, 2000, 30(12-13):1395-1405.
- [2] Langlois JP, Fahrig L, Merriam G, et al. Landscape structure influences continental distribution of hantavirus in deer mice. *Landscape Ecology*, 2001, 16:255-266.
- [3] Kitron U. Landscape ecology and epidemiology of vector-borne diseases: tools for spatial analysis. *J Med Entomol*, 1998, 35(4): 435-445.
- [4] Kitron U, Jones CJ, Bouseman JK, et al. Spatial analysis of the

- distribution of *Ixodes dammini* (Acari: Ixodidae) on white-tailed deer in Ogle County, Illinois. *J Med Entomol*, 1992, 29(2):259-266.
- [5] Mushinzimana E, Munga S, Minakawa N, et al. Landscape determinants and remote sensing of anopheline mosquito larval habitats in the western Kenya highlands. *Malar J*, 2006, 5(1): 13.
- [6] Martinez-Piedra R, Loyola-Elizondo E, Vidaurre-Arenas M, et al. Software programs for mapping and spatial analysis in epidemiology and public health. *Epidemiol Bull*, 2004, 25(4):1-9.
- [7] Graham AJ, Danson FM, Giraudoux P, et al. Ecological epidemiology: landscape metrics and human alveolar echinococcosis. *Acta Trop*, 2004, 91(3):267-278.
- [8] Rytkonen MJ. Not all maps are equal: GIS and spatial analysis in epidemiology. *Int J Circumpolar Health*, 2004, 63(1):9-24.
- [9] Malone JB. Biology-based mapping of vector-borne parasites by geographic information systems and remote sensing. *Parassitologia*, 2005, 47(1):27-50.
- [10] Botto C, Escalona E, Vivas-Martinez S, et al. Geographical patterns of *onchocerciasis* in southern Venezuela: relationships between environment and infection prevalence. *Parassitologia*, 2005, 47(1):145-150.
- [11] Pinzon E, Wilson JM, Tucker CJ. Climate-based health monitoring systems for eco-climatic conditions associated with infectious diseases. *Bull Soc Pathol Exot*, 2005, 98(3):239-243.
- [12] Hay SI, Snow RW, Rogers DJ. From Predicting Mosquito Habitat to Malaria Seasons Using Remotely Sensed Data: practice, problems and perspectives. *Parasitol Today*, 1998, 14(8):306-313.
- [13] Glass GE, Schwartz BS, Morgan JM, et al. Environmental risk factors for Lyme disease identified with geographic information systems. *Am J Pub Heal*, 1995, 85(7):944-948.
- [14] 薛付忠, 王洁贞, 范丽炜, 等. 疾病空间异质性定量分析方法及其应用. *山东大学学报(医学版)*, 2002, 40(6):485-488.
- [15] Richardson S, Best N. Bayesian hierarchical models in ecological studies of health-environment effects. *Environmetrics*, 2003, 14(2):129-147.
- [16] Evans TP, Kelley H. Multi-scale analysis of a household level agent-based model of landcover change. *J Environ Manage*, 2004, 72(1-2):57-72.
- [17] Nagendra H, Utkarsh G. Landscape ecological planning through a multi-scale characterization of pattern: studies in the Western Ghats, South India. *Environ Monit Assess*, 2003, 87(3):215-233.
- [18] Louie MM, Kolaczyk ED. A multiscale method for disease mapping in spatial epidemiology. *Stat Med*, 2005, 25(8):1287-1306.
- [19] Graham AJ, Danson FM, Giraudoux P. Ecological epidemiology: the role of landscape structure in the transmission risk of the fox tapeworm *Echinococcus multilocularis* (Leukart 1863) (Cestoda: Cyclophyllidae: Taeniidae). *Progress in Physical Geography*, 2005, 29(1):77-79.
- [20] Daniel M, Kolar J, Zeman P, et al. Predictive map of *Ixodes ricinus* high-incidence habitats and a tick-borne encephalitis risk assessment using satellite data. *Exp Appl Acarol*, 1998, 22(7): 417-433.
- [21] Brownstein JS, Skelly DK, Holford TR, et al. Forest fragmentation predicts local scale heterogeneity of Lyme disease risk. *Oecologia*, 2005, 146(3):469-475.
- [22] Srivastava A, Nagpal BN, Saxena R, et al. Geographic information system as a tool to study malaria receptivity in Nadiad Taluka, Kheda district, Gujarat, India. *Southeast Asian J Trop Med Pub Heal*, 1999, 30(4):650-656.
- [23] Pope KO, Rejmankova E, Savage HM, et al. Remote sensing of tropical wetlands for malaria control in Chiapas, Mexico. *Ecol Appl*, 1994, 4(1):81-90.
- [24] Beck LR, Rodriguez MH, Dister SW, et al. Remote sensing as a landscape epidemiologic tool to identify villages at high risk for malaria transmission. *Am J Trop Med Hyg*, 1994, 51(3):271-280.
- [25] 姜庆五, 林丹丹, 刘建翔, 等. 应用卫星图像对江西省蚌湖钉螺孳生草洲植被的分类研究. *中华流行病学杂志*, 2001, 22(2):114-115.
- [26] 吴子松, 赵联国, 毛勇, 等. 2002-2003年西昌邛海湖盆沟渠钉螺调查. *中国血吸虫病防治杂志*, 2004, 16(5):359-362.
- [27] Leonardo LR, Rivera PT, Crisostomo BA, et al. A study of the environmental determinants of malaria and schistosomiasis in the Philippines using Remote Sensing and Geographic Information Systems. *Parassitologia*, 2005, 47(1):105-114.
- [28] 方立群, 李承毅, 杨华, 等. 应用地理信息系统研究我国肾综合征出血热疫区类型与主要宿主动物构成的关系. *中华流行病学杂志*, 2004, 25(11):929-933.
- [29] Engelthaler DM, Mosley DG, Cheek JE, et al. Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome, Four Corners region, United States. *Emerg Infect Dis*, 1999, 5(1):87-94.
- [30] Henkes WE, Barcellos C. Landscape ecology of hantaviruses in Rio Grande do Sul state. *Rev Soc Bras Med Trop*, 2004, 37(6):505-507.
- [31] Danson FM, Craig PS, Man W, et al. Landscape Dynamics and Risk Modeling of Human Alveolar Echinococcosis. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 2004, 70(3):359-366.
- [32] Rocque S, Augusseau X, Guillobez S, et al. The changing distribution of two riverine tsetse flies over 15 years in an increasingly cultivated area of Burkina Faso. *Bull Entomol Res*, 2001, 91(3):157-166.
- [33] Rogers DJ. Satellites, space, time and the African trypanosomiasis. *Adv Parasitol*, 2000, 47:129-171.
- [34] Xiang H, Nuckols JR, Stallones L. A geographic information assessment of birth weight and crop production patterns around mother's residence. *Environ Res*, 2000, 82(2):160-167.
- [35] Ward MH, Nuckols JR, Weigel SJ, et al. Identifying populations potentially exposed to agricultural pesticides using remote sensing and a Geographic Information System. *Environ Health Perspect*, 2000, 108(1):5-12.
- [36] Boscoe FP, Ward MH, Reynolds P. Current practices in spatial analysis of cancer data: data characteristics and data sources for geographic studies of cancer. *Int J Health Geogr*, 2004, 3(1): 28.
- [37] 覃玉, 胡晓抒, 赵金扣, 等. 江苏省肝癌与地理因素回归分析. *中国肿瘤*, 2003, 12(11):630-631.
- [38] 胡晓抒, 周晓农, 孙宁生, 等. 江苏省恶性肿瘤分布态势地理信息系统的空间分析. *中华流行病学杂志*, 2002, 23(1):73-74.
- [39] 光磊, 邢秋菊. 引发克山病和大骨节病的地理环境因素分析. *山西师范大学学报(自然科学版)*, 2004, 18(2):81-86.

(收稿日期:2007-06-28)

(本文编辑:尹廉)