

GIS 在环境健康信息学中的应用

廖永丰, 杨林生, 王五一

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 环境与健康研究已经由传统的疾病控制转变为对福利、生活质量、人体体能状态与环境关系的全面探讨。环境健康信息学是环境与健康研究的新学科。本文回顾了环境健康信息学的建立与发展, 系统总结了其特点和主要应用领域, 关键技术, 提出了环境与健康研究发展的新方向。

关键词: 环境; 健康; 信息学; GIS

中图分类号: X18 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2004)03-0171-06

The Application of GIS to Environmental Health Informatics

LIAO Yong-feng, YANG Lin-sheng, WANG Wu-yi

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China)

Abstract: In order to improve the management of environment and human health, this paper presented the new concept of human health, and developed the environmental health informatics. Its features, structure and major approach for application have been summarized. The future development of environmental health informatics was discussed.

Key words: environment; health; informatics; GIS

作为自然环境的产物, 人类自身的生存和发展与自然和社会环境密切相关。当今, 由于全球化和经济全球化的影响, 各种新疾病的频繁出现, 一些已经消灭或者减弱的疾病又重新流行, 并迅速地在全球范围流行, 同时, 疾病也在发生转型, 这些构成了 21 世纪初期世界疾病流行的新特点, 因此, 人体健康与环境的关系面临许多新的问题。环境与健康研究本身是一个跨医学科学、生物科学和环境科学 3 大科学的边缘领域, 许多相关学科均或多或少涉及其间^[1], 随着信息技术在环境与健康领域的广泛应用, 一种以研究人口健康与环境的监测、数据和数据库管理、信息系统等内容为主的新兴学科——环境健康信息学正逐渐建立并快速发展。

1 环境健康信息学的建立

在医学理论中, 地理环境影响人体健康的观点源远流长。早在 2000 多年前, 古希腊著名医师希波克拉底(Hippocrates, 460 ~ 370 BC) 就已经注意到许多疾病仅仅发生和流行于某些特殊的地域, 而在其它地域则很少出现。为了解决这个问题, Hippocrates 具体分析了疾病流行区域气候、水源、衣物、人们的饮食习惯等对人体健康的影响, 试图从环境的角度揭示流行病的病因。他的研究开辟了环境健康研究的新领域, 为后来流行病和医学地理研究的兴起奠定了基础。

19 世纪中叶, 英国麻醉师 Snow^[2] 运用地图研究了伦敦市伤寒病流行的空间分布规律。Snow 将伦敦 Soho 区的伤寒病例位置绘在地图上, 结果发现密度最大的区域全都分布在以 Broad 街公共水泵作为水源的居民区。这是环境健康研究史上首次使用地图揭示流行病病因的成功案例, 也肯定了地理学、地图学和空间分析在这项研究领域的地位。

随着人们对环境健康问题研究的日益深入, 在医学和地理学研究领域同时出现了 2 门新的学科——流行病学和医学地理学。流行病学是研究人口疾病的分布、起因和控制的医学分支学科。医学地理学则主要研究人口的疾病和健康状况的空间分布、环境决定因子、预防控制措施以及健康资源管理和规划 4 个方面。显然, 二者虽然各有侧重, 但都以疾病作为自己的研究对象; 都需要分析和处理诸如“发生频率”、“空间分布”、“决定因子”等类的概念和问题, 都以地图作为技术支撑, 研究不同空间尺度上某一种疾病的空间分布与相关自然和社会经济因子的关系^[3]。因此, 就学科性质而言, 流行病学和医学地理学均属于传统的环境健康研究范畴。

在传统的环境健康研究中, 健康问题实际上仅局限于各种流行病, 人口健康状况的评价也主要采

收稿日期: 2003-07-08; 修订日期: 2003-09-17

作者简介: 廖永丰(1974~), 男, 博士生, 从事环境健康地理信息系统与环境管理模式集成研究。

用单纯的疾病指标,毫无疑问,这种研究存在很大的片面性,但是在医疗技术不发达,人类被各种恶性传染病困扰的历史条件下,有其存在的客观现实基础。20世纪中期以来,随着社会经济的发展和科学技术的迅速进步,对生物病因的传染病的控制取得了巨大的成效,特别在发达国家更为突出,疾病的发生和流行结构发生了明显的变化^[1],影响人口健康的因素和人们关于健康的内涵又有了新的认识。美国威斯康星大学医学院 Russell 博士认为,人口健康状况除考虑疾病因素外,还应考虑社会福利和人体机能^[4]。他对 Evans 和 Stoddart^[5]的人口健康概念模型进行了修正,提出了全新的人口健康概念框架(图1)。

健康研究方法论体系和集成化的研究技术手段,环境健康信息学就是这种需求的产物。

2 环境健康信息学的特点

环境健康信息学,是以现代新型人口健康观为理论基础,研究环境与人口健康状况监测、环境健康数据的集成、管理和分析、信息系统构建等内容的一门新兴学科^[6],是吸收、拓展传统公共健康信息研究领域的基础上形成和发展起来的,主要为环境健康问题的研究、规划和管理决策提供服务。

传统公共健康信息学是以流行病学理论为基础,结合流行病统计学和数据库技术形成和发展起来的。一个成熟的公共健康信息系统应能够集成、管理、分析和解释各种健康数据,提取所需要的信息,为健康管理人员提供决策支持^[6]。公共健康管理系统主要服务于政府部门,核心功能包括健康状况评估、辅助决策和疾病防治^[7]。

环境健康信息学已经成为目前健康信息研究领域的主导方向,与公共健康信息学相比,环境健康信息学具有一些新的特点:

(1)以整体人口信息作为研究对象,公共健康信息系统服务于各级公共健康管理部门,这些部门提供的统计资料是其主要的数据来源。环境健康信息系统为整个社会提供信息服务,其内容除健康信息外,还包括与健康有关的环境和社会经济信息,它是一个全开放的系统平台,需要政府各职能部门和全社会健康服务组织的共同参与才能真正发挥作用。

(2)集成公共健康数据、环境数据、社会经济数据、健康效应数据、健康服务数据的环境健康综合数据库^[3]。收入、受教育程度、居住条件、空气质量、健康资源的可获得性、设备水平、服务效率等,对人口健康都具有重要影响。环境健康数据库应该集成描述这些因素状态的数据内容。

(3)将福利水平、人体体能状态、生活质量作为人口健康效应评价的主要因子,突破了传统的单纯地以疾病指标为中心评价人口健康状况的局限。现在需要解决的问题是如何将这些因子指标化,并制定相关的健康效应分级标准,建立人口健康评估指标体系。

(4)灵活定义人口类型体系,健康服务、健康规划直接以特定地域或特定属性的人口为对象。传统的公共健康信息系统以行政区划定义人口类型体系,这对政府管理和决策是非常方便的。人口健康信息系统的服务对象灵活多变,使传统的以行政区划

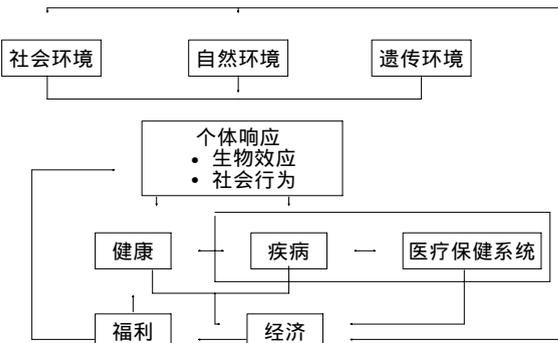


图1 人口健康与环境关系的概念模型
(虚线为传统医疗保健模式)

Fig.1 Concept frame of population health and environment

Russell 的人口健康概念大大突破了“主体—媒介—环境”传统的环境健康研究范式,注重研究环境系统内部各因子之间以及环境系统与人口主体之间的影响反馈机制,强调环境系统对人口健康的综合效应。他认为,对人口健康状况的评价,不能只考虑疾病因素,同时还应考虑福利和人体的体能状态,并且应把二者作为人口健康评价的重点;健康服务不能再以疾病治疗和控制为中心,而应定位于如何提高人口的福利水平、如何改善生活质量方面;影响人口健康的环境系统除了自然环境外,还应包括社会环境和遗传环境;人类对环境系统的反馈不再是单纯的、消极被动的生物行为,人类社会经济活动正发挥着越来越大的作用。

该概念模型对于研究和解决目前困扰我们的人口健康问题提供了一个切实可行的理论框架,成为现代社会经济技术条件下人口健康研究的理论基础。但是,基于这种模型研究人口健康问题时,复杂的系统结构和影响反馈机制对研究的方法和技术手段提出了更高的要求,客观上要求建立全新的人口

为基础的人口分类体系显得无能为力,因此,客观上要求开发出一种多人口分类体系随意转换的数据库实现技术,这正是环境健康信息学研究可以解决的技术难题。

总之,环境健康信息系统提供了一个实时、动态地监测和评估特定人口健康状况、福利水平和生活质量的信息环境,是进行环境健康研究和管理的有力工具。它可以帮助研究人员和政府官员进行正确地决策和健康服务规划。同时,它也是一个信息共享的平台,基于网络技术可以满足不同等级、不同类型用户对健康信息的需求,为公众提供服务。

3 地理信息系统在环境健康研究中的应用

几乎所有的环境健康问题都具有一定的空间尺度,这就为地理信息系统(GIS)与环境健康信息研究的结合提供了基础。GIS 提供了一个评估和预测环境病害短期或长期健康影响的动态环境,提供了一个分析环境污染负面影响并以一种容易理解的方式发布公共健康信息的技术^[8]。

3.1 GIS 是环境健康信息学的技术核心

GIS 在环境健康研究中的应用框架^[9],包括以下几个方面:收集、存储和组织空间与非空间数据;环境健康数据制图,揭示健康事件的空间分布模式;建立空间分析模型,模拟疾病生态因子的相互作用机理和时空变化特性;运用统计分析方法探索健康事件与人口、环境、社会经济等因子的关系;寻求疾病病因的空间关联。

基于 GIS 技术,健康研究人员可以迅速地查询和分析人口、环境、健康以及其他相关数据,为人口健康决策提供信息支持;实时监测人口健康事件及其相关因子的发展变化并同步更新人口健康数据库;以多种形式输出环境健康数据及分析结果,满足不同层次的需要^[10]。GIS 的应用不仅限于日常的健康问题研究,在环境健康管理与服务领域,GIS 技术更是一个强有力的决策工具。在 GIS 的帮助下,健康管理和服务人员通过分析区域内人口的工作生活环境以及相关的社会经济因子、现存的健康服务设施、语言等因素,可以评估人口的健康服务需求,重新定位—配置区域健康资源。只要用地图标识出环境健康问题的具体位置及影响因子的空间分布,健康管理和服务机构就能制定出切实可行的、高效的规划治理方案,把服务提供给最需要救助的区域和人口。利用动态生成的地图,GIS 可以帮助健康管理机构详细了解区域健康资源的空间分布、健康服务

需求与现状之间的差距,为配置新的健康资源提供最佳的解决方案^[11]。

总之,在环境健康管理和服务领域,GIS 技术是一个非常有效的工具,发挥着技术核心作用。它可以帮助健康管理和服务人员具体解决以下几个方面的问题^[12,13]:

(1) 分析区域健康问题,环境因子的空间分布,评估区域健康服务需求,将分级结果、可能的致病原因以可视化的形式提供给健康管理人员,帮助他们重新规划区域健康资源的服务类型、设备水平、人员配置,制定最优的健康服务方案。

(2) 监测环境、社会经济因子的时空动态变化,预测区域健康服务需求,评估现有健康资源的服务效率,对人口需求的满足程度,帮助管理部门预估短缺健康资源的总体规模和投资,定位新的健康资源,配置服务范围,确定服务种类。

(3) 解决社区级的环境健康问题,分析社区内的社会经济和环境风险因素,具体标识每一个客户的空间位置、健康服务需求以及其他相关信息,根据不同的条件选择客户取得健康服务的最佳路径及其时间、费用等代价,确定最佳的交通路线,帮助健康服务人员制定基于具体空间位置的解决方案^[14]。这种应用极大地提高了健康服务的传送效率,能确保将健康服务提供给最需要的客户。

(4) 将政府的宏观管理和基层服务机构的具体实施计划紧密结合起来,基层健康服务人员都能知道政府的宏观健康政策以及它们具体要求,并结合当地情况根据决策等级将宏观的政府政策落实到本地层次,转化为具体的健康服务计划。基于分布式数据库技术,政府管理人员也可以直接检查不同等级区域政策的落实情况。

3.2 GIS 为环境健康信息研究和管理提供的技术支持

作为环境健康信息系统的技术核心,GIS 本身并不能直接对区域健康状况进行评价、规划和管理,环境健康管理信息系统所具有的规划、管理功能全是基于 GIS 通用分析模型开发出来的。在环境健康研究和管理领域经常采用的 GIS 分析技术主要有缓冲区分析、空间分析和时空分析。

(1) 缓冲区分析 在健康事件分析调查中,缓冲区分析是一种非常有力的工具。研究人员根据一定的指标在污染源周围创建缓冲区,并与健康事件的分布信息比较,就可以对其发生原因进行综合分析判断^[15]。基于缓冲区思想,研究人员通过创建区域

内特定健康资源的距离表面模型,规划整个区域健康资源的总体布局.这里的距离可以是空间距离,但更多的可能是基于时间、费用、交通条件等计算的抽象障碍因素^[9].

(2) 空间分析技术^[9,16] 健康事件存在着空间变化,健康事件的空间分布模式及其动态变化是人口健康研究一个重要方面,也是人口健康管理及决策的重要依据.GIS提供的空间分析方法有点分析、线分析和域分析3种.

点分析,就是以空间精确定位的离散点来描述区域健康事件的空间分布状况.将它与相关的社会或环境因子分布图叠加,研究人员就可以确定区域健康事件的空间分布范围和可能的污染或致病因子,并以此为基础对区域健康资源进行定位和配置.将离散点地图同空间统计和动态图表技术相结合是一个更加有效的应用方向,基于这种技术可以实现健康事件空间分布和图表统计量分级之间的双向交互式查询分析.

矢量线分析,就是用有方向的曲线模拟区域健康事件的空间扩散状况,通常也用它来分析保健中心与周围服务区之间健康资源和人口的流动问题.如果将线的属性同流量相关联可以表示扩散和流动的量化信息.

域分析,首先对区域内的环境健康数据进行分级,再以不同的颜色或晕线将分级结果以地图形式显示出来.分级数据可以是原始健康数据,但通常情况下更多的是原始健康数据的空间统计信息或基于多变量综合分析模型转化而来的环境健康指标值.数据分级的空间基础可以是收集原始数据的行政区.环境健康分区,也可以是根据分析的精度要求灵活定义的栅格单元.基于行政区多边形的域分析是对空间连续分布现象的离散化表示,并不能真实地反映环境健康事件的空间分布规律,所以目前经常采用的是基于栅格的域分析,数字地面模型,它可以真实地模拟任意空间点(栅格)的环境健康属性变化.分析结果一般采用三维地图或等值线图来显示.

(3) 时空分析技术^[17] 健康事件之间或健康事件与环境要素之间的时空交互作用是人口健康研究的重要内容.时空分析是进行人口健康监测和发展趋势预测的技术基础.

人口健康监测就是实时、动态地收集一系列的人口健康数据,并对其进行指标化处理和分级显示.人口健康监测要求数据的收集、集成、分析、显示等内部过程必须在实时状态迅速完成,因为延迟的监

测报告可能会导致完全错误的干预决策,这对人口健康监测系统是一个极大的挑战.

时空分析技术基于这样一种假设,即具体某一时刻健康事件的空间分布模式是其前一时间分布模式直接作用的结果,即健康事件空间分布模式的变化在时间维上是连续的.基于这种假设,可以对健康事件空间分布模式的动态变化过程进行建模.有了这种模型就可以预测未来任意时刻健康事件的空间分布状况.

采用时空分析技术,可以非常有效地预测传染病的空间扩散过程.Splaine^[18]和 Angulo^[19]以时间为因变量,以居民区空间点的位置为自变量调查了巴西一小镇居民区天花的空间扩散过程.研究结果为一等值线图,等值线的数值表示天花扩散到该空间点的时间.基于这个等值线图,可以精确地获得任意时间天花的空间分布范围,也可以查询任意空间点天花流行的时间区间.在小尺度空间扩散研究中,这种直接调查建库的方法是可行的,但是当研究的尺度很大,如全国范围时,这就需要求助于Kriging^[20]等空间插值技术来拟合传染病的空间扩散过程.

采用时空分析技术,还可以研究健康事件概率密度的空间变化过程.Lorinda^[21]研究了中欧兔子大爆发时兔子概率密度空间分布的变化过程.研究结果包括一系列的等值线,每一条等值线表示具有某一概率密度水平的兔子的空间分布范围,另外,还用矢量线描述了兔子分布区焦点的运动轨迹.

4 GIS在环境流行病学管理领域的应用

目前在流行病学管理应用系统的开发中,GIS的应用水平很低,基本只限于流行病学及其致病因子的制图,它独有的多源数据集成能力和时空分析功能并没有得到充分的发挥.GIS的技术优势可以帮助解决流行病学管理中的许多关键性问题,提高决策效率和结论的可靠性水平.

4.1 疾病数据的空间集成

政府统计和病例登记是流行病学数据的2个主要来源.卫生部门的疾病数据都是按照行政等级从基层逐级汇总产生的,不同等级的统计数据只能代表同级行政区的平均状况,并不能描述病例的具体空间分布.利用这些数据无法跟踪控制疾病病例的活动,但是基于基层微观尺度的统计数据可以有效地描述宏观尺度上疾病的空间分布模式.分析疾病病因、病因分析中,各种影响因子采集数据的地理实体

往往具有不同的空间尺度,地理界限也和行政区划不一致,这就需要将微观尺度上的疾病数据动态地集成为任何空间地域范围的宏观数据。GIS 的制图综合技术可以迅速实现这一过程。

病例登记是流行病管理领域最可靠的数据来源。经过地址编码,基于这些点数据可以有效地跟踪病例的活动,分析疾病的空间分布模式,结论的可靠性和集成的技术难度都优于政府统计数据。但是这种数据一般掌握于基层医疗服务机构,不容易获取。

4.2 暴露评估与风险人口识别

环境因素对人体健康的影响一直是流行病研究关注的主题,暴露评估是进行此类研究的一个关键性步骤,也是风险评估过程的基本组成部分^[22]。

流行病管理中,暴露评估的目标主要有 3 个:一是评估污染物暴露和健康效应之间的定性与定量关系;二是评估暴露人口的空间分布;三是评估特定暴露形势人口的健康后果^[22]。任何一种疾病的发生和流行,尤其是具有长期潜伏期的疾病(如各种癌症),都是多种致病因子综合作用的结果^[23]。这些因子主要包括存在于空气、水源、食物中的各种化学污染物和病原微生物。另外,电磁辐射、电磁场对人体健康也有严重的负面影响。还有一些因素,如气候、人口的性别年龄结构、职业、经济条件、生活方式、饮食习惯、暴露时间等,虽然不会对人体造成直接的损害,但是它们会通过影响致病因子的作用方式、作用强度间接地对人体健康施加影响。

暴露评估涉及要素多、数据量大,数据来源和数据格式复杂多样,迫切需要一种能存储、分析和显示海量环境数据的信息系统^[24]。GIS 正是这样一种有效的空间信息集成和分析工具。基于 GIS 的环境过程模拟、多目标决策规划、地统计方法等在污染物场浓度估计、流行病病因分析、健康风险分级方面已经在成功运用。

4.3 流行病时空动态模拟

空间模型是揭示流行病的时空动态变化趋势的有效工具。目前,流行病管理中大量采用的空间分析模型有贝叶斯推理^[25]、地统计、Monte-Carlo 模拟^[26]等。它们在解决诸如病情数据平滑处理、离散数据空间插值与制图、非采样点指标估计等重要问题方面非常成功,属于数据驱动型的模型^[27]。

在流行病管理中,时空动态模拟需要解决 4 个方面的问题:过程-模式作用机制、疾病过程模型、流行病时空信息系统、基于时间和空间的流行病统计^[27]。揭示疾病过程与疾病空间分布模式之间的相

互关系是流行病管理的关键任务。不同的疾病过程常常会产生相似的疾病空间分布模式,这种不确定性增加了认识疾病病因及其空间动态变化的难度。过程-模式作用机制的分析需要流行病过程模型和时空信息系统的支持。疾病过程模型模拟导致疾病发生和流行的物理与生物学机制;时空信息系统则为这种模拟生产和管理基于精确的时间-空间参考的环境与病情数据。

4.4 流行病空间统计

空间统计学是一门定量描述地理变量空间变化的科学。借助空间统计,管理人员可以定量地分析人口、与人口相关的社会经济指标、环境风险因子的空间分布变化^[28],也可以对流行病统计量之间的独立性假设进行检验^[27]。空间统计技术是进行交互式流行病病因分析的重要手段。目前,流行病空间统计的理论和技术方法还不成熟,流行病空间分布模式的分析主要依赖于点要素数据^[29]。基于多边形要素、场要素数据的空间统计方法是目前尚待进一步研究,这种研究对于解决流行病空间分布模式的尺度转化具有重要意义,也有助于实现流行病统计与 GIS 的真正结合。已经有研究尝试将 GIS 平台和统计软件集成进行交互式空间数据分析^[30]。

自 2003 年 4 月以来,针对我国“非典”疫情防治工作的迫切需求,地学工作者与医学工作者一起基本建成由疫情信息实时采集与传输、疫情监控与指挥、疫情空间信息管理分析、疫情公众发布、面向决策者的模型分析等 5 个子系统构成的“SARS 疫情控制与预警信息系统”,并用于网络逐日发布中国内地及北京“非典”分布信息,在社会公众中产生了巨大影响。

5 结论

环境健康信息学的产生和发展,一方面来源于环境健康问题理论研究深入的现实需求,另一方面也来源于 GIS 在多源数据集成和空间分析方面的技术优势。环境健康问题涉及环境和人口健康 2 个子系统,既要研究环境系统内部各要素之间的相互作用关系和变化过程,又要进一步揭示这种变化对人口健康造成的潜在影响。海量环境健康数据的组织、管理、分析以及结果的可视化表达为 GIS 的应用提供了机会。GIS 成为环境健康信息研究的技术内核。

由于环境和健康问题本身的复杂性,GIS 在环境过程模拟、时空综合分析、空间统计等方面的应用

能力还不能满足研究和管理的需要.这些理论和技术问题需要在环境健康信息研究的框架下结合 GIS 的发展加以解决.

在环境领域 GIS 的应用发展很快.在健康与流行病管理领域 GIS 的应用目前仍然停留在较低的水平.环境健康信息学研究的目的是打破二者之间的界线,在更高的层次上进行整合,构建统一的环境健康地理信息系统的应用体系^[31].

参考文献:

- [1] 谭见安.健康 环境 发展——当代医学地理的主题[J].地理学报,1994,49(增刊):710~718.
- [2] Luc Loslier. Geographical Information Systems (GIS) from a Health Perspective[A]. In: Don de Savigny, Pandu Wijeyaratne. GIS for Health and the Environment[C]. International Development Research Centre, 1995. 9~17.
- [3] Vine MF, Degnan D, Hanchette C. Geographic information systems: Their use in environmental epidemiology [J]. Environmental Health Perspectives, 1997, 105: 598~605.
- [4] Russell S Kirby, Seth L Foldy. The Role of Geographic Information Systems in Population Health. In: Robert C. Williams, Max M Howie, Carolyn V Lee. Geographic Information Systems in Public Health[C]. Proceedings of the Third National Conference, 1998. 647~658.
- [5] Evans RG, Stoddart GL, et al. Producing health, consuming health care. In: Why are some people healthy and others not? The determinants of health of populations[C]. New York: Aldine de Gruyter, 1994. 27~64.
- [6] Friede A, Blum HL, McDonald M. Public health informatics: How information-age technology can strengthen public health [J]. Annual Review of Public Health, 1995, 16: 239~252.
- [7] Lumpkin J, Atkinson D, et al. The development of integrated public health information systems: A statement by the Joint Council of Governmental Public Health Agencies[J]. Journal of Public Health Management and Practice, 1995, 1: 55~59.
- [8] U Sunday Tim. Understanding the Role of Geospatial Information Technologies in Environmental and Public Health: Applications and Research Directions[A]. In: Robert C, Williams, Max M. Howie, Carolyn V Lee. Geographic Information Systems in Public Health[C]. Proceedings of the Third National Conference, 1998. 647~658.
- [9] Douven W, Scholten HJ. Spatial analysis in health research. In: MJC de Lepper, HJ Scholten, RM Stein. The added value of geographical information systems in public and environmental health [C]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1995, 117~133.
- [10] Briggs DJ, Elliott P. The use of geographical information systems in studies on environment and health[J]. World Health Statistics Quarterly, 1995, 48: 85~94.
- [11] Gordon A, Womersely J. The use of mapping in public health and planning health services [J]. Journal of Public Health Medicine, 1997, 19(2): 139~147.
- [12] Thomas B Richards, Charles M Croner, et al. GIS for Community Health Planning: A Guide for Software Developers. In: Robert C Williams, Max M Howie, Carolyn V Lee. Geographic Information Systems in Public Health[C]. Proceedings of the Third National Conference, 1998. 619~623.
- [13] Harrell JA, Baker EL. The essential services of public health [J]. Leadership in Public Health, 1994, 3(3): 27~31.
- [14] Pappaionou M, Evans C. Development of the guide to community preventive services: A US public health service initiative [J]. Journal of Public Health Management Practice, 1998, 4(2): 48~54.
- [15] Geschwind SA, Stolwijk JA, et al. Risk of congenital malformations associated with proximity to hazardous waste sites [J]. American Journal of Epidemiology, 1992, 135: 1197~1207.
- [16] Mayer JD. The role of spatial analysis and geographic data in the detection of disease causation [J]. Social Science and Medicine, 1983, 17: 1213~1221.
- [17] Flavio Fonseca Nobre, Marília Sá Carvalho. Spatial and Temporal Analysis of Epidemiological Data[A]. In: Don de Savigny, Pandu Wijeyaratne. GIS for Health and the Environment[C]. International Development Research Centre, 1995. 18~28.
- [18] Splaine M, Lintott AP, Angulo JJ. On the use of contour maps in the analysis of spread of communicable disease [J]. J. Hyg. Camb., 1974, 74: 15~26.
- [19] Angulo JJ, Pederneiras CAA, et al. Contour mapping of the temporal-spatial progression of a contagious disease [J]. Bull. Soc. Pathologie Exotique, 1979, 374~385.
- [20] Carrat F, Valleron AJ. Epidemiologic mapping using the Kriging method: application to an influenza-like illness epidemic in France [J]. Am. J. Epidemiol., 1992, 135: 1293~1300.
- [21] Lorinda L Sheeler, Kenneth R Dixon. A Conceptual Model of the Spread of Rabies That Integrates Computer Simulation and Geographic Information Systems[A]. In: Robert C Williams, Max M Howie, Carolyn V Lee. Geographic Information Systems in Public Health[C]. Proceedings of the Third National Conference, 1998. 647~658.
- [22] WHO/Regional Office for Europe. Methodology for assessment of exposure to environmental factors in application to epidemiological studies [J]. the Science of the Total Environment, 1995, 168: 93~100.
- [23] Gatrell AC, Loytonen M. GIS and health [M]. London: Taylor and Francis, 1998, 1~21.
- [24] Tomilson R, et al. Computer handling of geographical data [M]. New York: Unipub, 1976. 36~45.
- [25] Devine OJ, Louis TA, et al. Empirical Bayes estimators for spatially correlated incidence rates [J]. Environmetrics, 1994, 5: 381~398.
- [26] Lawson A. Disease mapping and risk assessment for public health [M]. London: John Wiley & Sons, 1999. 65~133.
- [27] Geoffrey M. Spatial analysis in epidemiology: Nascent science or a failure of GIS? [J]. Journal of Geographical Systems, 2000, 2: 91~97.
- [28] Rushton G, Lolonis P. Exploratory spatial analysis of birth defects in an urban population [J]. Statistics in Medicine, 1996, 15: 717~726.
- [29] Haining R. Spatial statistics and the analysis of health data [A]. In: Gatrell AC, Loytonen M, GIS and health [C]. London: Taylor and Francis, 1998. 29~48.
- [30] Bailey TC, Gatrell AC. Interactive spatial data analysis in medical geography [J]. Social Science & Medicine, 1996, 42: 843~855.
- [31] Scholten. GIS for research and planning on health services [A]. In: Gatrell AC, Loytonen M, GIS and health [C]. London: Taylor and Francis, 1998. 29~48.