

文章编号: 1000-7423(2009)-02-0167-05

【综述】

3S技术在研究自然环境因素对疟疾传播影响中的应用

张少森, 周水森*

【提要】 自然因素与疟疾传播的关系密切, 国内外对气温、降雨量、湿度和地形地貌等自然因素与疟疾传播的关系作了大量研究。近年来以计算机和空间技术为基础发展起来的 3S 技术 [地理信息系统 (GIS)、遥感 (RS) 和全球定位系统 (GPS)] 在疟疾研究的资料收集、数据分析和模型建立等方面广泛应用, 本文对 3S 技术在自然因素与疟疾传播关系中的应用和研究进展进行综述。

【关键词】 地理信息系统; 遥感; 全球定位系统; 疟疾传播; 自然因素

中图分类号: R531.3 文献标识码: A

GIS/RS/GPS Application in the Study of Relationship between Natural Factors and Malaria Transmission

ZHANG Shao-sen, ZHOU Shui-sen*

(National Institute of Parasitic Diseases, Chinese Center of Disease Control and Prevention, Key Laboratory of Parasite and Vector Biology, MOH, WHO Collaborating Centre of Malaria, Schistosomiasis and Filariasis, Shanghai 200025, China)

【Abstract】 Malaria transmission is highly related to the natural factors such as temperature, rainfall and topography. Recently, the GIS/RS/GPS techniques were developed based on computer science and spatial analysis technology, which were widely used in data collection and analysis, establishment of mathematics model. This paper reviews the applications and development of GIS/RS/GPS techniques in the studies of relationship between natural factors and malaria transmission.

【Key words】 GIS; RS; GPS; Malaria transmission; Natural factor

Supported by Special Grant of Social Public Welfare Research for Scientific Institutions (No. 2005DIB1J092), and National Major Special Science and Technology Project of China (No. 2008zx10004-001)

* Corresponding author, E-mail: ccdezss@sh163.net

疟疾是由疟原虫感染引起的、经按蚊叮咬传播的重要寄生虫病。其流行因素复杂, 涉及原虫和媒介等生物因素、气候和地理等自然因素, 以及经济和人文等社会因素。国内外已有大量研究以不同方法、从不同侧面反映自然因素与疟疾传播关系^[1-5]。随着计算机和空间技术的快速发展, 由能进行地理数据的存储、分析及其空间特性展示的地理信息系统 (geographic information system, GIS), 能将自然环境的遥感信息转化为图像资料并对其进行识别与处理的遥感技术 (remote sensing, RS) 和能进行地面物体位置信息实

时反馈的全球定位系统 (global positioning system, GPS) 构成的 3S 技术, 广泛应用于自然因素与疟疾传播关系的研究。本文对 3S 技术在资料收集、数据分析和模型建立等方面的应用及其前景进行综述。

1 在自然环境因素数据收集中的应用

1.1 收集气象数据 自然因素尤其气象因素与疟疾传播的关系主要通过传疟媒介得以体现, 具体表现为: ① 气温, 影响媒介按蚊生长发育、蚊虫密度与分布^[2]和疟原虫在按蚊体内的发育^[3]; ② 湿度, 影响成蚊寿命及按蚊体内疟原虫子孢子的生长^[3,6]; ③ 降雨量, 影响媒介按蚊孳生地的范围以及疟疾的流行季节。过去很多研究主要通过气象部门获取常规的气象资料来分析两者的关系^[4,7], 这种方式获取的资料不能全面反映气象因素对媒介的影响。而 RS 提取卫星

基金项目: 科研院所社会公益研究专项 (No. 2005DIB1J092); 国家重大科技专项 (No. 2008zx10004-001)

作者单位: 中国疾病预防控制中心寄生虫病预防控制所, 世界卫生组织疟疾、血吸虫病和丝虫病合作中心, 卫生部寄生虫病与媒介生物学重点实验室, 上海 200025

* 通讯作者, E-mail: ccdezss@sh163.net

遥感图片上的陆地表面温度(land surface temperature, LST)、空气湿度指数(atmospheric moisture indices, AMI)和冷云间期(cold cloud duration, CCD)等指标,能更直接的反映气象因素与疟疾传播的关系。比如 LST、AMI 反映的地表温度与湿度更接近蚊媒孳生环境的真实状况,在分析气象因素与疟疾传播关系的研究中,效果优于常规手段获得气象资料;CCD 是地球卫星测量处于阈值温度状态云层的时间长度,与气象部门获取的降雨量数据相比,CCD 更能准确的反映降雨对蚊媒孳生的影响^[8-10]。国内外许多研究者将这类指标应用于疟疾传播数学模型^[11-13]和疟疾监测与预警^[14,15]研究,找到与疟疾传播关系密切的环境因素指标,为建立疟疾监测预警系统的建立提供了理论依据和技术支持。

1.2 收集地理景观数据 除气象因素外,地形地貌、土地利用状况及面积、土壤类型、水分特征和植被覆盖等地理景观因素也与疟疾传播关系密切。地形地貌和土壤类型决定按蚊孳生地的形成,影响媒介分布及种群数量^[16];植被覆盖及土地利用状况影响按蚊孳生地和疟疾发病的地域分布^[17]。3S 技术在这些数据的获取和分析方面独具优势。通过 GPS 定位获得海拔高度、地面坡度和水体面积等反映地形地貌的数据,可弥补传统调查技术的缺陷^[15,18]。RS 从遥感卫星图片中读取标准化植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI),既可直接反映地面植被覆盖和土地利用状况,也可作为综合反映气候、地形、植被、生态系统、土壤和水文等量化指标。将 NDVI 作为自然因素的一个替代指标进行疟疾传播的相关研究,能够较大范围的综合反映自然因素对疟疾传播的影响。Nihei 等^[19]从印度支那半岛湄公河流域的卫星遥感图片中提取 NDVI 进行分析,结果发现疟疾分布与 NDVI 指数分布具有相关性,恶性疟主要分布在 NDVI 值超过 140、且持续时间至少为 6 个月的地区,而 NDVI 值小于 140 或持续时间不足 5 个月的地区疟疾病例较少。国内朱继民^[14]和温亮^[20]利用 NDVI 指数作为疟疾监测的环境指标研究疟疾发病与自然环境因素的关系,结果发现在海南和淮河流域年均 NDVI 与疟疾年发病率有显著相关性,为在当地建立疟疾监测预警系统提供参考指标。

2 在定量分析自然环境因素与疟疾空间分布关系中的应用

疟疾作为媒介传染病在空间分布上具有自身的特点,与媒介孳生地的分布密切相关。3S 技术可将与疟疾传播有关的零散空间数据和图像资料结合、并储

存,通过计算模块将之融为一体,进行疟疾传播的空间特征研究。

2.1 GIS 与 GPS 的联合应用 近年来利用 GIS 的空间分析模块结合 GPS 卫星定位进行疟疾分布的空间分析的研究报道较多。通过 GPS 定位获取居民点和媒介孳生地的地理位置信息,在 GIS 支持下进行疟疾空间分布特征分析。SARAH 等^[21]在乌干达进行一项队列研究,通过分析不同孳生地与居民点房屋距离,发现房屋和孳生地的距离与疟疾发病相关,居民点与蚊虫孳生地距离越近,发病风险愈高,距孳生地(沼泽地)100 m 以内的风险最高。同样 Foley 等^[22]对菲律宾一个相对孤立的乡村进行疟疾发病情况、媒介分布以及孳生地调查,借助 GPS 定位和 GIS 空间分析,发现距孳生地 50 m 范围内疟疾发病风险明显高于同村其他地方;媒介调查结果显示,在孳生地附近的媒介叮人率也明显高于其他地方。

2.2 GIS 与 RS 的联合应用 GIS 具有很好的制图功能,能将疟疾空间分布特性的相关数据(发病资料、气象资料以及遥感数据等)以图像的形式展示。RS 则可以提供反映地理景观变化的相关数据,两者联合应用,能直观地展示疟疾传播的空间特征。Beck 等^[23]应用 RS 和 GIS 技术在墨西哥南部 Chiapas 地区按照疟疾传播风险高低绘制村庄分布图,直观地描述出当地疟疾传播的危险分布。Omumbo 等^[24]在肯尼亚进行了类似的研究,并引入气象资料,丰富了地图内容。Hay 等^[25]利用肯尼亚 Kilif 南部和北部的卫星遥感图像资料提供地表温度、降雨量及 NDVI 等参数经 Fourier 处理,与按月记录的年均疟疾确诊病例的比例进行比较,将研究结果绘制成地图,与单一的疟疾分布图相比,前者不仅能反映疟疾病例的分布,也反映出自然因素的差异。

2.3 3S 技术的联合应用 利用 GPS 定位疟疾病例的地理位置,将 RS 提取的自然环境资料信息及相关疫情资料等,在 GIS 软件的支持下,制作图形展示病例空间分布特点,分析空间分布趋势。目前 3S 技术的联合应用已在棘球蚴病^[26]、血吸虫病及其他媒介传染病^[27]防治中有很多研究,但疟疾领域鲜有相关报道。联合应用 3S 技术深入分析疟疾传播空间特征,预测疟疾传播趋势,是未来 3S 技术在疟疾防治研究应用的方向。

3 在建立疟疾传播模型自然因素筛选中的应用

国内外众多研究者在使用数学模型反映自然因素与疟疾传播之间的关系方面进行了大量探索。如 Martin^[28]利用综合循环模型的气候模型(GCM)产生的 5 个大气循环模型模拟的气候变化与疟原虫发育所需

要的最低、最高气温和相对湿度,建立了疟疾流行发生地带模型(MOZ),动态分析疟疾传播的范围和强度。余跃生等^[29]对贵州荔波县 1958–1993 年的疟疾月均发病率与前 2 个月的气象数据进行通径分析,建立气温、降雨量和湿度与疟疾疫情的数学模型,定量的分析了 3 个气象因素与疟疾的关系。

上述模型虽可构建自然因素与疟疾传播的数学关系,但不能反映疟疾流行的空间分布趋势,但利用卫星图片结合疫情资料、媒介调查资料绘制的疟疾地理分布图可直观反映疟疾空间分布和流行态势。Eisele 等^[30]在肯尼亚马林迪和基苏木地区,利用卫星图片提取 NDVI,在 GIS 软件中绘图反映当地的土地利用、水稻种植以及城镇改造的变化,同时结合媒介资料 and 发病数据进行回归分析,阐明不同水稻种植区蚊媒密度和疟疾发病之间的差异。杨国静等^[31]借助 3S 技术研究我国不同疟区的流行态势,使用 Arc View 3.0 软件空间分析(spatial analyst)模块分别对疟原虫年生长发育累积度日(TGDD)、降雨、相对湿度进行单因素的表面趋势空间分析,并根据 Delphi 法咨询结果,按上述 3 种气象因素的 5:3:2 比例进行空间叠加分析,获得多层 GIS 空间复合模型,图示出全国疟疾流行地区分布态势和有关自然因素的变化。

4 在预测自然因素对疟疾传播影响程度和范围中的应用

3S 技术不仅广泛应用于构建疟疾空间分布和流行现况的数学模型,且越来越多地用于构建疟疾监测预警系统。在疟疾监测方面,地形、气候等自然因素直接影响人类和按蚊的生态环境,对疟疾的分布有非常重要的影响。研究结果显示,温度决定着疟疾传播季节的起止,平均温度在 20~30 ℃、且相对湿度在 60% 以上是按蚊传播疟疾的最适条件。雨量不仅影响按蚊孳生地,还影响疟疾流行季节高峰出现的时间。在 3S 技术的支持下将这些因素综合起来,建立复合的监测网络系统,通过监测气象因素、季节变化等自然因素的变化,综合分析模拟这些变化与发病因素(如疟原虫感染、媒介动态变化和潜伏期长短等)的关系,可以进行疟疾的监测预警。1992 年以色列就以 GIS 为基础建立了全国疟疾计算机监测系统,其中包括按蚊孳生地、人群聚居点等与疟疾发生有关的流行病学资料,该系统能够预测疟疾传播的风险,而且一旦有小范围疟疾爆发出现,系统将立即分析、并确定导致爆发的按蚊孳生地以及可能的病原来源^[32]。

在疟疾流行的预测方面,许多研究在 3S 技术的支持下,建立了自然因素与疟疾发病的预测模型。

Beck 等^[33]在墨西哥恰帕斯地区挑选 40 个村庄作为研究对象,利用 GIS 和 RS 技术在每个村庄周围建立 1 km 缓冲区,提取缓冲区内各种不同的地理景观因素,通过地理景观因素推算媒介数量,建立蚊媒数量和地理景观因素之间的预测模型,该模型预测的精确度达 90%。Srivastava 等^[34]利用 RS 技术在印度森林地区根据地表特征(植被、海拔和地表温度等)对当地媒介大劣按蚊孳生地进行分类,再与现场调查的媒介资料结合分析,建立媒介种群与环境的预测模型,亦取得了较好的预测效果。

5 结论

作为媒介传染病,疟疾传播与自然因素的关系密切,分析它们之间的关系对疟疾防治意义重大。3S 技术在自然因素资料的收集以及数据分析等方面有独特的优势,可为疟疾防治研究提供有力支持,但实际应用中还存在一定的局限:① 费用昂贵,目前卫星图片只能从特定的专业单位购买,且价格不菲,对科研经费要求较高,限制了 3S 技术的广泛应用;② 卫星图片的分辨率存在差异,不同的卫星图片分辨率不同^[35-37]。目前尚无卫星图片可以提取全部所需数据。进行情况复杂、影响因素众多的研究需购买多种分辨率的卫星图片;③ 数据提取的质量控制较难,卫星图片为卫星接收地面物体对电磁波反射拍摄获得,这一过程易受到大气云层、空气气溶胶等因素的干扰,影响卫星图片的质量;另外,卫星图片质量的差异对解译人员的能力要求较高,需要具有一定的专业知识和经验,因此分析人员的专业能力也影响数据提取的准确程度^[38-40];④ 资源共享困难,由于遥感资料需要从专门的技术单位购买;而人口资料、发病资料、地域地界资料和植被资料又分属不同部门,而且不同地区资料的格式也并未统一,导致在 3S 技术支持下所建立的疟疾传播模型,有地域的局限性,共享性有限。

当前,遥感技术已进入一个能够快速、及时提供多种地球观测数据的阶段,利用遥感观测数据及时更新 GIS 中的数据,可以建立动态(或四维)GIS。另一方面,GIS 中的数据也可以辅助遥感图像的判读与分类,从而更好地为疟疾等媒介传播疾病的控制工作提供科学依据。国内研究者也积极将 3S 技术广泛应用于疟疾防治研究中,已在 NDVI 和气候因素与疾病分布的关系研究中取得成果^[41,42],但局限于研究疫情资料与自然因素及其替代指标的关系,较少涉及与媒介因素的影响分析。随着科学技术的不断进步,提高遥感图像时空分辨率,降低遥感数据价格,使用分辨率更高的卫星图片提取媒介孳生地的微生态环境数据,

在资料收集与分析中,结合不同分辨率的卫星图片进行大、中、小尺度的综合分析,以纳入更多的指标建立模型,充分发挥 3S 技术的优势是未来发展趋势。结合传统的流行病学方法,在 3S 技术的支持下开展多学科领域的研究将推进疟疾防治工作的飞速发展,为疟疾等媒介传染病的控制乃至消除提供更大的支持。

参 考 文 献

- [1] Zheng CJ, Yu SF, Ling XH. Investigation of warm winter effect on mosquito[J]. Chin J Pest Control, 2001, 17(6): 291-292. (in Chinese)
(郑朝军, 郁世芳, 凌雪还. 暖冬对蚊虫影响的调查[J]. 医学动物防治, 2001, 17(6): 291-292.)
- [2] Xi GL. Study on the influence of meteorological factors upon density of mosquito[J]. Chin J Vect Biol Control, 2000, 11(1): 24-26. (in Chinese)
(奚国良. 气象因素对蚊虫密度的影响研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2000, 11(1): 24-26.)
- [3] Liu FM, Zhen TM, Hu YX, et al. Effect of temperature on the development of *Anopheles sinensis* and the disease transmission[J]. Chin J Vect Biol Control, 1998, 9(3): 185-187. (in Chinese)
(刘凤梅, 甄天民, 胡玉祥, 等. 温度对蚊虫发育历期的影响及与疾病的关系[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 1998, 9(3): 185-187.)
- [4] Deng XL, Ren ZX, Sun CH, et al. Study on transmission of *Plasmodium vivax* by *Anopheles sinensis* in Shandong Province [J]. Chin J Parasit Dis Control, 1997, 10(4): 250-254. (in Chinese)
(邓绪礼, 任正轩, 孙传红, 等. 山东中华按蚊传播间日疟的研究[J]. 中国寄生虫病防治杂志, 1997, 10(4): 250-254.)
- [5] Wu XM. Research progress of meteorological factors and mathematical model of malaria[J]. Chin J Pub Hlth, 2004, 20(7): 877-878. (in Chinese)
(武新民. 气象因素与疟疾的数学模型研究进展[J]. 中国公共卫生, 2004, 20(7): 877-878.)
- [6] Qi XQ. Manual of Malaria Control[M]. 3rd ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2007: 86-118. (in Chinese)
(齐小秋. 疟疾防治手册[M]. 第 3 版. 北京: 人民卫生出版社, 2007: 86-118.)
- [7] Jetten TH, Martens WJ, Takken W. Model stimulations to estimate malaria risk under climate change[J]. J Med Entomol, 1996, 33(3): 361-371.
- [8] Hay SI. An overview of remote sensing and geodesy for epidemiology and public health[J]. Adv Parasitol, 2000, 47: 1-35.
- [9] Hay SI, Lennon JJ. Deriving meteorological variables across Africa for the study and control of vector-borne disease: a comparison of remote sensing and spatial interpolation of climate[J]. Trop Med Int Hlth, 1999, 4(1): 58-71.
- [10] 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[J]. Ann Trop Med Parasitol, 1996, 90(1): 1-19.
- [11] Zubieta JC, Skinner R, Dean AG. Initiating informatics and GIS support for a field investigation of bioterrorism: the New Jersey anthrax experience[J]. Int J Hlth Geogr, 2003, 2(1): 8.
- [12] Zhou XN, Hu XS, Yang GJ, et al. Establishment of minimum medical geographic information system database in China [J]. Chin J Epidemiol, 2003, 24(4): 253-256. (in Chinese)
(周晓农, 胡晓抒, 杨国静, 等. 中国卫生地理信息系统基础数据库的构建[J]. 中华流行病学杂志, 2003, 24(4): 253-256.)
- [13] Xu DZ, Zhang ZY. Geographic information system and its application in epidemiology[J]. Chin J Pub Hlth, 2004, 20(8): 1022-1024. (in Chinese)
(徐德忠, 张治英. 地理信息系统及其流行病学应用[J]. 中国公共卫生, 2004, 20(8): 1022-1024.)
- [14] Zhu JM. Study on the monitoring indicators and prediction methods for malaria in the Huaihe River Valley[D]. Shanghai: National Institute of Parasitic Diseases, Chinese Center for Disease Control and Prevention, 2007. (in Chinese)
(朱继民. 淮河流域疟疾监测指标筛选及预测方法研究[D]. 上海: 中国疾病预防控制中心寄生虫病预防控制所, 2007.)
- [15] Thomson MC, Connor SJ, Milligan P, et al. Mapping malaria risk in Africa: What can satellite data contribute[J]. Parasitol Today, 1997, 13(8): 313-318.
- [16] Minakawa N, Munga S, Atieli F, et al. Spatial distribution of anopheline larval habitats in Western Kenyan highlands: effects of land cover types and topography[J]. Am J Trop Med Hyg, 2005, 73(1): 157-165.
- [17] Sogoba N, Vounatsou P, Doumbia S, et al. Spatial analysis of malaria transmission parameters in the rice cultivation area of Office Du Niger, Mali[J]. Am J Trop Med Hyg, 2007, 76(6): 1009-1015.
- [18] Sithiprasasna R, Linthicum KJ, Liu GJ, et al. Use of GIS-based spatial modeling approach to characterize the spatial patterns of malaria mosquito vector breeding habitats in northwestern Thailand[J]. Southeast Asia J Trop Med Pub Hlth, 2003, 34(3): 517-528.
- [19] Naoko N, Hashida Y, Kobayashi M, et al. Analysis of malaria endemic areas on the Indochina Peninsula using remote sensing [J]. Jpn J Infect Dis, 2002, 55(5): 160-166.
- [20] Wen L. Research on prediction of malaria epidemic and construction GIS-based malaria surveillance and early warning system in Hainan Province[D]. Xi'an: Fourth Military Medical University, 2004. (in Chinese)
(温亮. 海南省疟疾流行预测方法及基于 GIS 的疟疾监测预警系统的初步构建[D]. 西安: 第四军医大学, 2004.)
- [21] Staedke SG, Nottingham EW, Cox J, et al. Proximity to mosquito breeding sites as a risk factor for clinical malaria episodes in an urban cohort of Ugandan children[J]. Am J Trop Med Hyg, 2003, 69(3): 244-246.
- [22] Foley DH, Torres EP, Mueller I, et al. Host-dependent *Anopheles flavirostris* larval distribution reinforces the risk of malaria near water[J]. Trans R Soc Trop Med Hyg, 2003, 97(3): 283-287.
- [23] 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[J]. Am J Trop Med Hyg, 1997, 56(1): 99-106.
- [24] Omumbo J, Ouma J, Rapuoda B, et al. Mapping malaria transmission intensity using geographical information systems(GIS): an example from Kenya[J]. Ann Trop Med Parasitol, 1998, 92(1): 7-21.
- [25] Hay SI, Snow RW, Rogers DJ. Predicting malaria seasons in Kenya using multitemporal meteorological satellite sensor data[J]. Trans R Soc Trop Med Hyg, 1998, 92(1): 12-20.
- [26] Xu X, Wu WP. Progress on research of prevalent factors of echinococcosis[J]. Int J Med Parasit Dis, 2007, 34(5): 262-264. (in Chinese)
(许翔, 伍卫平. 棘球蚴病流行因素研究进展[J]. 国际医学寄生虫病杂志, 2007, 34(5): 262-264.)
- [27] Lin HL, Liu QY. Application of geographic information system in study on vector-borne disease control and prevention[J]. Chin J Vect Biol Control, 2007, 18(2): 169-171. (in Chinese)
(林华亮, 刘起勇. 地理信息系统在媒介生物性传染病研究中的应用[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2007, 18(2): 169-171.)
- [28] Martin PH, Lefebvre MG. Malaria and climate: Sensitivity of malaria potential transmission to climate[J]. Ambio, 1995, 24(4): 200-207.
- [29] Yu YS, Deng ZM, Huang SJ, et al. Path analysis of effect of meteorological factors on malaria[J]. Chin J Hlth Stat, 1995, 12(3): 33-34. (in Chinese)
(余跃生, 邓治铭, 黄声举, 等. 气象因子对疟疾影响的通径分析[J]. 中国卫生统计, 1995, 12(3): 33-34.)

- microsporidian parasite in honeybees in Europe[J]. J Invert Pathol, 2006, 92(2): 93-95.
- [5] Liu F, Wang Q, Dai PL, *et al.* Natural stripe of microsporidia of honeybee in China[J]. Chin Bull Entomol, 2008, 45(6): 963-966. (in Chinese)
(刘锋, 王强, 代平礼, 等. 蜜蜂微孢子虫在中国的自然种系构成初探[J]. 昆虫知识, 2008, 45(6): 963-966.)
- [6] Bigliardi E, Selmi MG, Lupetti P, *et al.* Microsporidian spore wall: ultrastructural findings on *Encephalitozoon hellem* exospore[J]. J Eukaryot Microbiol, 1996, 43(3): 181-186.
- [7] Bigliardi E, Gatti S, Sacchi L. Ultrastructure of microsporidian spore wall; *Encephalitozoon hellem* exospore [J]. Ital J Zool, 1997, 64: 1-5.
- [8] Erickson BW, Blanquer RS. The occurrence of chitin in the spore wall of *Glugea weissenbergi*[J]. J Invertebr Pathol, 1969, 14(3): 358-364.
- [9] Enriquez FJ, Wagner G, Fragoso M, *et al.* Effects of an anti-exospore monoclonal antibody on microsporidian development *in vitro*[J]. Parasitology, 1998, 117(6): 515-520.
- [10] Zhou T, Wang Q, Yao J. Prevention and control of honeybee diseases and pest[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2004: 137-141. (in Chinese)
(周婷, 王强, 姚军. 巧防巧治蜜蜂病虫害[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004: 137-141.)
- [11] Undeen AH, Avery SW. Effect of anions on the germination of *Nosema algerae* (Microspora: Nosematidae) spores[J]. J Invert Pathol, 1988, 52(11): 84-89.
- [12] Ishihara R. Stimuli causing extrusion of polar filaments of *Glugea fumiferanae* spores[J]. Can J Microbiol, 1967, 13(10): 1321-1332.
- [13] Undeen AH. A proposed mechanism for the germination of microsporidian (Protozoa: Microspora) spores[J]. Theor Biol, 1990, 142(2): 223-235.
- [14] Pleshinger J, Weidner E. The microsporidian spore invasion tube. IV. Discharge activation begins with pH-triggered Ca^{2+} influx[J]. Cell Biol, 1985, 100(6): 1834-1838.
- [15] Gao YZ, Huang KW, Dai ZY, *et al.* Studies on sporal protein chemical properties of microsporidia pathogenic to silkworm, *Bombyx mori*[J]. Science Sericult, 1999, 25(2): 82-91. (in Chinese)
(高永珍, 黄可威, 戴祝英, 等. 家蚕病原性微孢子虫的蛋白质化学性质的研究[J]. 蚕业科学, 1999, 25(2): 82-91.)
- [16] Qian YJ, Guo XJ, Hu XF. Initial report on immune enzyme technique of *Nosema bombycis*[J]. Sci Sericult, 1986, 12(3): 183-184. (in Chinese)
(钱元骏, 郭锡杰, 胡雪芳. 家蚕微孢子虫孢子的免疫酶标鉴别法初报[J]. 蚕业科学, 1986, 12(3): 183-184.)
- [17] Webster TC, Pomper KW, Hunt G, *et al.* *Nosema apis* infection in worker and queen *Apis mellifera*[J]. Apidologie, 2004, 35: 49-54.
- [18] Fries E. Observations on the development and transmission of *Nosema apis* in the ventriculus of the honeybee[J]. J Apic Res, 1989, 28(2): 107-117.
- [19] Mel-shemy A, Pickard RS. *Nosema apis* Zander infection levels in honeybees of known age[J]. J Apic Res, 1989, 28(2): 93-100.
- [20] Gregorc A. The effect of *Apis mellifera* carnica polym worker bee source for populating mating neeleion degree of infection by *N. apis* Z[J]. Apidologie, 1992, 3: 241-244.
- [21] Chen LH, Han SM, Xue YB, *et al.* Series of Manufacturing Technique on Pollution-free Agricultural Products-Honeybee Products[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2007: 224-227. (in Chinese)
(陈黎红, 韩胜明, 薛运波, 等. 无公害农产品高效生产技术丛书蜂产品[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2007: 224-227.)
(收稿日期: 2008-10-21 编辑: 衣凤芸)

(上接第 170 页)

- [30] Eisele TP, Keating J, Swalm C, *et al.* Linking field-based ecological data with remotely sensed data using a geographic information system in two malaria endemic urban areas of Kenya[J/OL]. Malar J, 2003, 2: 44.
- [31] Yang GJ, Zhou XN, Malone JB, *et al.* Application of multifactor spatial composite model to predict transmission tendency of malaria at national level[J]. Chin J Parasitol Parasit Dis, 2002, 20(3): 145-147. (in Chinese)
(杨国静, 周晓农, Malone JB, 等. 多因素空间复合模型预测我国疟疾流行区分布态势 [J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 2002, 20(3): 145-147.)
- [32] Kitron U, Pener H, Costin C, *et al.* Geographic information system in malaria surveillance: mosquito breeding and imported cases in Israel, 1992[J]. Am J Trop Med Hyg, 1994, 50(5): 550-556.
- [33] Beck LR, Rodriguez MH, Dister SW, *et al.* Remote sensing as a landscape epidemiologic tool to identify villages at high risk for malaria transmission[J]. Am J Trop Med Hyg, 1994, 51(3): 271-280.
- [34] Srivastava A, Nagpal BN, Saxena R, *et al.* Predictive habitat modeling for forest malaria vector species *An. dirus* in India-A GIS-based approach[J]. Current Sci, 2001, 80(9): 1121-1134.
- [35] Emmanuel M, Munga S, Minakawa N, *et al.* Landscape determinants and remote sensing of anopheline mosquito larval habitats in the western Kenya highlands[J/OL]. Malar J, 2006, 5: 13.
- [36] Ceccato P, Connor SJ, Jeanne I, *et al.* Application of geographical information systems and remote sensing technologies for assessing and monitoring malaria risk[J]. Parassitologia, 2005, 47(1): 81-96.
- [37] Gond V, Bartholomé E, Ouattara F, *et al.* Monitoring and mapping of waters and wetlands in arid regions using the SPOT-4 VEGETATION imaging system[J]. Int J Remot Sens, 2004, 25(5): 987-1004.
- [38] Yang GJ, Vounatsou P, Zhou XN, *et al.* A review of geographic information system and remote sensing with applications to the epidemiology and control of schistosomiasis in China[J]. Acta Trop, 2005, 96(2-3): 117-129.
- [39] Wang SA. Geographic information system and its developing trend[J]. J Jiaozuo Institute Technol(Nat Sci), 2001, 20(3): 217-218. (in Chinese)
(王少安. 地理信息系统(GIS)及其发展趋势[J]. 焦作工学院学报(自然科学版), 2001, 20(3): 217-218.)
- [40] Yu GW, Tang LH. Application of GIS/RS in study on malaria[J]. Chin J Parasitol Parasit Dis, 2004, 22(2): 119-121. (in Chinese)
(于国伟, 汤林华. 遥感地理信息系统技术在疟疾研究中的应用[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 2004, 22(2): 119-121.)
- [41] Wang XD, Zhao TY. Introduction of "3S" technique and application in study on control and prevention of vector-borne diseases[J]. Chin J Vector Biol Control, 2004, 15(3): 241-244. (in Chinese)
(王晓东, 赵彤言. 3S 技术简介及在研究蚊及蚊媒传染病分布和控制中的应用[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2004, 15(3): 241-244.)
- [42] Yang TC, Fu GM, Ren ZY. Application and developmental prospect of GIS in mosquito-borne disease monitoring [J]. Chin J Hlth Lab Technol, 2007, 17(4): 761-762. (in Chinese)
(杨天赐, 傅桂明, 任樟尧. GIS 技术在蚊媒传染病监测中的应用与发展前景[J]. 中国卫生检验杂志, 2007, 17(4): 761-762.)
(收稿日期: 2008-09-05 编辑: 杨频)