

[文章编号] 1005-6661(2014)02-0137-05

• 论著 •

云南省洱源县山区村级尺度的 钉螺时空分布格局研究

黄宁波¹, 杨坤^{2*}, 施学文³, 李红军³, 周晓农⁴, 董兴齐¹

【摘要】 目的 基于贝叶斯模型构建山区钉螺与感染性钉螺的时空分布模型, 分析钉螺与感染性钉螺的时空格局变化, 识别其在村级水平的时空分布规律。**方法** 利用云南省洱源县 2000–2006 年的现场钉螺调查与实验室检测数据及村边界等空间数据, 采用贝叶斯模型构建村级水平间的钉螺与感染性钉螺时空独立与交互模型, 分析钉螺与感染性钉螺的时空格局变化, 并识别其时空分布规律。**结果** 钉螺分布时空交互模型和感染性钉螺时空独立模型的拟合优度稍强于其它模型。钉螺时空交互模型的空间相关系数的 95% 可信区间包括 0; 感染性钉螺时空独立模型的空间与时间相关系数分别为 -0.63 和 0.28, 但 95% 可信区间包括 0, 提示钉螺与感染性钉螺村级尺度的空间相关系数与时间相关系数均无统计学意义。**结论** 研究区域的山区钉螺与感染性钉螺在村级间无显著性时空相关性, 提示山区钉螺研究应开展更小尺度下的研究。

【关键词】 钉螺; 山区; 时空分布; 尺度; 洱源县

【中图分类号】 R383.24 **【文献标识码】** A

Study on spatio-temporal pattern of mountainous *Oncomelania hupensis* snails at village scale in Eryuan County, Yunnan Province

HUANG Ning-bo¹, YANG Kun^{2*}, SHI Xue-Wen³, LI Hong-Jun³, ZHOU Xiao-Nong⁴, DONG Xing-Qi¹

1 Yunnan Institute of Endemic Disease Control and Prevention, Yunnan Province, Da Li 671000, China; 2 Jiangsu Institute of Parasitic Diseases, Key Laboratory on Technology for Parasitic Disease Prevention and Control, Ministry of Health, Jiangsu Provincial Key Laboratory of Molecular Biology of Parasites, Wuxi, China; 3 Eryuan Schistosomiasis Control Station, Eryuan, China; 4 National Institute of Parasitic Diseases, Chinese Center for Disease Control and Prevention, China

* Corresponding author

【Abstract】 Objective To develop a spatio-temporal model of mountainous *Oncomelania hupensis* snails based on the Bayesian model, and to analyze and identify the spatio-temporal pattern at a village scale. **Methods** The data including the intensity and spatial distribution of live and infected snails from 2000 to 2006 and the village boundary were collected. The independent and interactive spatio-temporal models were established, and then the best fitness model was selected to analyze the spatio-temporal pattern of live and infected snails. **Results** The interactive model of live snails and the independent model of infected snails were relative fitness models, and the models showed 95% CI (confidence interval) of the spatial and temporal coefficient included zero, and indicated that the spatial and temporal correlation of live and infected snails was not significant at a village scale. **Conclusion** There is no significant spatial and temporal correlation of live and infected mountainous snails at a village scale, and the furthermore study should be carried out at a small scale.

【Key words】 *Oncomelania hupensis* snail; Mountainous area; Spatio-temporal pattern; Scale; Eryuan County

【基金项目】 国家自然科学基金(81101275); 江苏省自然科学基金(BK2010153); 江苏省医学重点人才项目(RC2011094); 国家重大科技专项(2008ZX10004-011)

【作者单位】 1 云南省地方病防治研究所(大理 671000); 2 江苏省血吸虫病防治研究所、卫生部寄生虫病预防与控制技术重点实验室、江苏省寄生虫分子生物学重点实验室; 3 云南省洱源县血吸虫病防治站; 4 中国疾病预防控制中心寄生虫病预防控制所

【作者简介】 黄宁波, 男, 硕士, 主管医师。研究方向: 地方病控制与流行病学

* 通信作者 E-mail: jipdyk@163.com

钉螺是日本血吸虫唯一的中间宿主,其分布和环境、社会经济等因素决定着血吸虫病的分布与流行^[1]。山区钉螺主要沿田间、灌溉沟渠和堤田分布,分布呈点状与其它区域隔离^[2-4]。因此,寻找一种快速和准确识别钉螺孳生地的工具,对于药物灭螺和环境改造等控制钉螺措施的实施起着非常关键的作用。以往研究表明,利用地理信息系统(GIS)、遥感(RS)及贝叶斯统计等技术预测钉螺的孳生地是可行的^[5-8]。但是大多数研究所用的遥感数据为低分辨率遥感图像,主要应用于大尺度(Macro scale)研究领域,如国家、省级或县级尺度,小尺度(Micro scale)如村级或钉螺孳生环境的研究相对较少^[9-10]。以往GIS、RS技术和地理信息学统计(Geostatistics)应用于血吸虫病的研究,常常忽略研究样本的大小和时空格局差异。近年来发展起来的经验贝叶斯方法(Empirical Bayes)或贝叶斯等级模型(Bayesian hierarchical modeling)提供了一种新的思路解决此问题^[11-12],已成功用于深入了解不同尺度下媒介传播疾病及其媒介分布的时空规律^[13-18]。

本研究主要应用GIS、RS技术及贝叶斯模型等方法,构建山区钉螺分布的时空模型,探索山区钉螺在村级尺度上分布的时空异质性,并识别其村级尺度上的时空分布规律。

材料和方法

1 研究区域及数据整理

选取位于云南省洱源县的12个血吸虫病流行村为研究区域,从当地血吸虫病防治机构收集2000、2001、2004、2005年和2006年的钉螺分布数据,主要包括钉螺与感染性钉螺密度等数据。每年在开展灭螺工作前的3~4个月,对所有历史有螺环境开展全面钉螺调查,主要利用系统抽样方法,沿沟渠间隔10 m设框进行查螺,每个查螺框的面积为0.11 m²,框内查到所有的钉螺带回实验室进行计数和解剖,检测是否为感染性钉螺。现场利用手持GPS仪器沿村边界徒步行走,记录村边界的形状和空间位置,利用GIS软件制村边界图。

2 贝叶斯时空模型构建

假设第 t 年第 i 沟渠的钉螺(感染性钉螺)数 O_{it} 服从泊松分布即 $O_{it} \sim \text{Poisson}(\mu_{it})$,并对 μ_{it} 进行logit转换,即 $\text{logit}(\mu_{it})$ 。假设村内部的钉螺与感染性钉螺分布是同质性,即把村内部的钉螺与感染性钉螺看作一个整体,分析其在村间分布的异性。建模时分别

引入村间的时间效应和空间效应构建2种模型,即模型1:包含村间的空间效应和时间效应,但2种效应相互独立;模型2:包含村间的空间效应和时间效应,空间效应随时间变化而改变(时空交互效应),其模型分别如下:

$$\text{模型1: } \log \text{it}(\mu_{it}) = \log \text{it}(E_{it}) + \alpha + u_j + v_t$$

$$\text{模型2: } \log \text{it}(\mu_{it}) = \log \text{it}(E_{it}) + \alpha + u_{jt}$$

E_{it} 为第 t 年第 i 沟渠的期望钉螺数, α 为截距, E_{it} 的计算公式为 $E_{it} = \frac{\text{sum}(O_{it})}{\text{sum}(C_{it})} C_{it}$,其中 C_{it} 为第 t 年第 i 沟渠所有的查螺框数。

时空独立的模型1中, u_j 和 v_t 分别代表空间和时间随机效应,空间效应为村间的随机效应,假想 u_j 服从条件自回归过程(Conditional autoregressive model, CAR(r)),即每一个 u_j 取决于相邻区域 u_m ,其分布为服从为相邻区域 u_m 平均的正态分布,即 $u_j | u_{m,j \neq j} \sim N(\gamma \sum_{m=1}^{n_j} u_j, \delta_j^2/n_j)$,空间变异 δ_j^2 取决于村 j 周围相邻的村数 m ; γ 为空间相关系数,在-1~1之间, $=0$ 表示没有空间相关性, >0 表示正空间相关性,即邻近区域具有相似的属性, <0 表示负空间相关性,即邻近区域具有相反的属性。

设时间效应 v_t 服从一阶自回归过程(First-order autoregressive process, AR(1))^[19],即第 t 年的预测值(钉螺密度)只与其前一年($t-1$)的观测值有关,但与更前面的其他观测值均无关,公式为 $v_t = \rho v_{t-1} + \varepsilon_t$,其中 ρ 为时间相关系数,其取值范围在-1~1之间, $\rho=0$ 表示没有时间相关性, $\rho>0$ 表示正相关性,即邻近的时间点上具有相似的属性, $\rho<0$ 则表示负相关性,即邻近时间点的属性相反。 ε_t 为残差,服从均数为0、方差为 σ_v^2 的正态分布,即 $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma_v^2)$ 。

模型2中, u_{jt} 为时空交互效应,其分布服从条件自回归,即 $u_{jt} \sim \text{CAR}(r_t)$,其中 r_t 为空间相关系数。

对截距 α 采用无信息正态先验分布,对所有方差采用无信息倒伽玛先验分布,假设时间相关系数 ρ 的先验分布为-1~1的均匀分布。

利用Win BUGS (MRC Biostatistics Unit, Cambridge, UK)软件分别构建时空独立和时空交互模型。利用GIS软件,将村界的GIS多边形数据格式转化为Win BUGS格式,平行模拟初始值不同的两条链,通过目测参数拟合值的序列图和Gelman-Rubin统计量对模型的收敛性进行评判,在模型稳定后再迭代15 000次用于参数估计,选取DIC(Deviance information criterion, 离差信息准则)用于比较模型的拟合优

度,参数估计采用马尔科夫链蒙特卡罗(Markov chain Monte Carlo, MCMC)计算。

结 果

1 描述性分析

12个血吸虫病流行村的历史有螺环境沟渠为554条,沟渠长度在100~600 m之间,宽度在2~5 m之间,坡度在0~30°之间。2000–2006年间,平均有螺沟渠为174条,最高为251条(2006年);以钉螺分布沟为单位的钉螺平均密度和最高密度分别为0.235、22.250只/0.11 m²(2006年),感染性钉螺平均密度和最高密度分别为0.001、0.270只/0.11 m²(2001年);2001–2006年的钉螺密度整体上呈先上升后下降,然后再上升的趋势,2001年(0.080只/0.11 m²)和2006年(0.280只/0.11 m²)分别为钉螺密度的最低和最高的年份。

2 钉螺与感染性钉螺分布时空格局

云南省洱源县钉螺与感染性钉螺贝叶斯时空模型后验参数估计结果见表1。结果显示钉螺分布时空交互模型的DIC值低于其它模型,提示钉螺分布时空交互模型的拟合优度稍强于其它模型;而感染性钉螺的时空独立模型的DIC值低于其它模型,提示感染性钉螺分布时空独立模型的拟合优度稍强于其它模型。

时空独立模型显示钉螺分布的空间相关系数 r 与时间相关系数 p 分别为0.43 [95% CI: (-0.54, 0.76)]和0.42 [95% CI: (-0.78, 0.45)];感染性钉螺的空间相关系数 r 与时间相关系数 p 分别为-0.63 [95% CI: (-1.43, 0.91)]和0.28 [95% CI: (-0.67, 0.91)]。时空交互模型显示2000–2006年钉螺与感染性钉螺的空间相关系数 r 变化较大,但均无统计学意义(95% CI包括了0)。时空独立与时空交互模型的空间相关系数 r 与时间相关系数 p 均无统计学意义,

表1 云南省洱源县钉螺与感染性钉螺贝叶斯时空模型后验参数估计结果

Table 1 Posterior estimates of model parameters of spatiotemporal models of *Oncomelania hupensis* snail and infected snail densities in Eryuan County, Yunnan Province, China

变量 Variable	钉螺分布时空模型 Spatiotemporal models of snail		感染性钉螺时空模型 Spatiotemporal models of infected snail	
	时空独立 Independent spatial and temporal model	时空交互 Space-time interaction model	时空独立 Independent spatial and temporal model	时空交互 Space-time interaction model
截距 Intercept	0.95(0.34, 1.43)	-0.13(-0.43, 0.54)	-0.94(-2.31, 0.12)	0.14(-0.61, 0.43)
空间相关系数 Spatial correlation	0.43(-0.54, 0.76)		-0.63(-1.43, 0.91)	
2000		-0.81(-1.45, 0.87)		0.85(-1.43, 0.78)
2001		0.21(-1.43, 0.99)		-0.52(-1.70, 0.93)
2004		-0.84(-1.75, 0.82)		-0.43(-1.64, 0.93)
2005		-0.02(-1.52, 0.94)		-0.75(-1.65, 0.82)
2006		-0.45(-1.42, 0.91)		-0.42(-1.62, 0.98)
空间变异性 Spatial variation	1.93(1.33, 3.14)		1.85(1.10, 3.93)	
2000		2.53(1.33, 4.91)		3.31(1.92, 13.32)
2001		1.31(0.34, 264.00)		0.21(0.12, 1.89)
2004		1.91(0.67, 3.87)		0.23(0.19, 1.21)
2005		0.88(0.56, 1.81)		0.56(0.12, 2.45)
2006		1.64(0.87, 267.00)		0.31(0.11, 1.99)
时间相关系数 Temporal correlation	0.42(-0.78, 0.45)		0.28(-0.67, 0.91)	
时间变异性 Temporal variation	1.78(1.18, 3.65)		0.78(0.46, 1.49)	
DIC	33 821.23	32 012.3	452.81	782.56

提示研究区域的山区钉螺与感染性钉螺分布在村级间无显著性空间和时间相关性。

讨 论

越来越多研究表明开展血吸虫病流行区的空间分布研究,可提高控制血吸虫病的效率。随着GIS、RS技术及贝叶斯统计方法的迅速发展,其已逐渐应用于此领域,大大扩展了人们对血吸虫病流行规律的认识,包括中间宿主钉螺的空间分布与时间变化规律等,指导人们开展相关的监测和控制措施^[5-8]。山区钉螺常呈散在点状分状,造成了山丘型血吸虫病的分布不像湖区那样呈片状分布,而呈点状分布^[5, 18, 20-23]。钉螺的分布可能与流行区当年或上年自然环境等因素关系密切,因此解释钉螺动态变化时需考虑时间和空间效果,而影响钉螺分布格局的因素可以通过考虑样本变异与时空相关关系的统计工具进行分析,我们选用已经在其它传染病开展的贝叶斯时空模型用于分析钉螺的时空格局^[20, 24-25]。我们采用两种时空模型,一种假设空间效应独立于时间效应,另一种空间效应依靠于时间效果(时空交互效果)。

钉螺分布时的时空格局显示山丘型钉螺分布在村级上无显著性空间相关与时间相关,不同于其它已经在湖区开展的研究^[26-27]。其原因可能来自以下三个方面,第一山丘型钉螺生态学区别于湖沼型钉螺生态学^[28],山丘型钉螺呈孤立状分布,湖沼型钉螺分布主要呈片状分布;第二是研究尺度,空间相关性可能发生在更小的尺度如村庄内部,提示山丘型钉螺的研究适宜开展更小尺度的研究。第三是随着全国血吸虫病疫情的回升,2004年全国开展的血吸虫病综合治理项目的实施^[1, 23],影响了钉螺的自然生态学,干扰了钉螺的自然时空分布格局^[23]。

本研究主要存有以下不足:第一,研究未考虑与血吸虫病流行密切相关的社会经济等因素;第二,本研究的尺度为村级,未探索村级内部影响钉螺分布的相关因素,因此村级内部的空间异质性可能被低估了;第三,我们的数据主要集中在2000-2006年间,而且缺少2002年和2003年的数据,造成了钉螺分布的时间相关性分析可能存有一定不确定性。

【参考文献】

- [1] Utzinger J, Zhou XN, Chen MG, et al. Conquering schistosomiasis in China: the long march [J]. Acta Trop, 2005, 96(2-3): 69-96.
- [2] Liang S, Seto EY, Remais JV, et al. Environmental effects on parasitic disease transmission exemplified by schistosomiasis in western Chi-

- na [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2007, 104(17): 7110-7115.
- [3] Xu B, Gong P, Biging G, et al. Snail density prediction for schistosomiasis control using IKONOS and ASTER images [J]. Photogramm Eng Rem S, 2004, 70(11): 1285-1294.
- [4] Steinmann P, Zhou XN, Matthys B, et al. Spatial risk profiling of *Schistosoma japonicum* in Eryuan county, Yunnan province, China [J]. Geospatial Health, 2007, 2(1): 59-73.
- [5] Gong P, Xu B, Liang S. Remote sensing and geographic information systems in the spatial temporal dynamics modeling of infectious diseases [J]. Sci China C Life Sci, 2006, 49(6): 573-582.
- [6] 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.
- [7] Brooker S, Hay SI, Bundy DAP. Tools from ecology: useful for evaluating infection risk models? [J]. Trends Parasitol, 2002, 18(2): 70-74.
- [8] Zhou XN, Malone JB, Kristensen TK, et al. Application of geographic information systems and remote sensing to schistosomiasis control in China [J]. Acta Tropica, 2001, 79(1): 97-106.
- [9] Yuan Y, Xu XJ, Dong HF, et al. Transmission control of schistosomiasis japonica: implementation and evaluation of different snail control interventions [J]. Acta Trop, 2005, 96(2-3): 191-197.
- [10] Guo JG, Vounatsou P, Cao CL, et al. A geographic information and remote sensing based model for prediction of *Oncomelania hupensis* habitats in the Poyang Lake area, China [J]. Acta Trop, 2005, 96(2-3): 213-222.
- [11] Gelman A, Carlin JB, Stern HS, et al. Bayesian data analysis [M]. USA: CRC press, 2013.
- [12] Lawson AB, Browne WJ, Rodeiro CLV. Disease mapping with WinBUGS and MLwiN [M]. UK: John Wiley & Sons, 2003.
- [13] Gemperli A, Vounatsou P, Kleinschmidt I, et al. Spatial patterns of infant mortality in Mali: the effect of malaria endemicity [J]. Am J Epidemiol, 2004, 159(1): 64-72.
- [14] Koukounari A, Sacko M, Keita AD, et al. Assessment of ultrasound morbidity indicators of schistosomiasis in the context of large-scale programs illustrated with experiences from Malian children [J]. Am J Trop Med Hyg, 2006, 75(6): 1042-1052.
- [15] Wang XH, Wu XH, Zhou XN. Bayesian estimation of community prevalences of *Schistosoma japonicum* infection in China [J]. Int J Parasitol, 2006, 36: 895-902.
- [16] Basúñez MG, Marshall C, Carabin H, et al. Bayesian statistics for parasitologists [J]. Trends Parasitol, 2004, 20(2): 85-91.
- [17] Raso G, Vounatsou P, Gosoni L, et al. Risk factors and spatial patterns of hookworm infection among schoolchildren in a rural area of western Côte d'Ivoire [J]. Int J Parasitol, 2006, 36(2): 201-210.
- [18] Yang GJ, Vounatsou P, Zhou XN, et al. A Bayesian-based approach for spatio-temporal modeling of county level prevalence of *Schistosoma japonicum* infection in Jiangsu province, China [J]. Int J Parasitol, 2005, 35(2): 155-162.
- [19] Box GEP, Jenkins GM, Reinsel GC. Time series analysis: forecasting and control [M]. UK: John Wiley & Sons, 2013.
- [20] Brooker S. Spatial epidemiology of human schistosomiasis in Africa: risk models, transmission dynamics and control [J]. Trans R Soc Trop Med Hyg, 2007, 101(1): 1-8.

(下转第147页)

【参考文献】

- [1] J.Newman D, M.Cragg G. Natural products as sources of new drugs over the 30 years from 1981 to 2010[J]. J Nat Prod, 2012, 75 (3): 311-335.
- [2] 李戎, 闫志勇, 李文军. 创建中药谱效关系学[J]. 中医教育, 2002, 2 (2): 62.
- [3] 谭振鹏, 夏英杰, 王柳萍, 等. 中药谱效关系研究进展[J]. 中国民族民间医药, 2013, 22 (2): 20-22.
- [4] 刘艳杰, 王倩, 姜民, 等. 基于谱效-构效关系筛选大黄中酪氨酸酶活性抑制成分的方法研究[J]. 中草药, 2012, 43 (11): 2120-2126.
- [5] 肖遂, 薛飞群. 基于谱效关系的中药铁苋菜抑菌物质辨识方法研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [6] Tanaka K, Kuba Y, Ina A, et al. Prediction of cyclooxygenase inhibitory activity of *Curcuma* rhizome from chromatograms by multivariate analysis[J]. Chem Pharm Bull, 2008, 56 (7): 936-940.
- [7] Wen L, Wei Q, Chen G, et al. Bioassay- and liquid chromatography/mass spectrometry-guided acetylcholinesterase inhibitors from *Picriafel-terrae*[J]. Pharmacogn Mag, 2013, 9 (1): S25-S31.
- [8] Islam NN, Kim U, Kim D-H, et al. High-performance liquid chromatography-based multivariate analysis to predict the estrogenic activity of an *Epimedium koreanum* extract[J]. Biosci Biotechnol Biochem, 2012, 76 (5): 923-927.
- [9] 李达, 罗鸿, 李兰青. 桉叶提取物对小菜蛾的产卵驱避活性研究[J]. 广西植保, 2011, 24(3): 1-3.
- [10] 吕东元, 周玉成, 张晶晶. 大叶桉不同溶剂提取物的抑菌活性研究[J]. 中国民族民间医药, 2009, 18(16): 1-2.
- [11] Patrícia S, Marquiere AD, Amaral-Baroli A, et al. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oils from two species of *Eucalyptus*[J]. Phytother Res, 2007, 21: 231-233.
- [12] G B, M B. Antibacterial activity of the essential oils from the leaves of *Eucalyptus globulus* against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*[J]. Asian Pac J Trop Biomed, 2012, 2 (9): 739-742.
- [13] Taur DJ, Kulkarni VB, Patil RY. Chromatographic evaluation and anthelmintic activity of *Eucalyptus globulus* oil[J]. Pharmacognosy Res, 2010, 2 (3): 125-127.
- [14] Youse HA, Afsaneh K, Manijeh S, et al. Effect of *Echinophora platyloba*, *Stachys lavandulifolia*, and *Eucalyptus camaldulensis* plants on *Trichomonas vaginalis* growth *in vitro*[J]. Adv Biomed Res, 2012, 1 (79).
- [15] Habila N, Agbaji AS, Ladan Z, et al. Evaluation of *in vitro* activity of essential oils against *Trypanosoma brucei brucei* and *Trypanosoma evansi*[J]. J Parasitol Res, 2010, 2010.
- [16] 李建华, 周敏君, 郎书源, 等. 桉叶挥发油对几种寄生虫驱杀作用的研究[J]. 贵阳医学院学报, 2000, 25 (4): 362-365.
- [17] Zhou X, Upatham ES, Kruatbachue M, et al. Effects of niclosamide and *Eucalyptus camaldulensis* on *Biomphalaria Glabrata*, the snail intermediate host of *Schistosoma mansoni*[J]. J Sci Soc Thailand, 1993, 19: 117-128.
- [18] 洪青标, 周晓农, 韩英, 等. 赤桉提取物杀灭钉螺效果的观察[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2001, 13 (1): 18-22.
- [19] 齐英剑, 李青, 吴正朋. 基于灰色相对关联度的图像边缘检测算法[J]. 中国传媒大学学报自然科学版, 2010, 17 (3): 46-51.
- [20] 田玉红, 刘雄民, 周永红, 等. 赤桉和本桉桉叶精油的化学成分研究[J]. 精细化工, 2005, 22 (12): 920-923.
- [21] 曾建红, 莫炫永, 戴平, 等. 广西桉叶挥发油抗肿瘤作用的谱效关系研究[J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18 (13): 91-94.

【收稿日期】 2014-03-06 【编辑】 洪青标

(上接第140页)

- [21] Gurarie D, King CH. Heterogeneous model of schistosomiasis transmission and long-term control: the combined influence of spatial variation and age-dependent factors on optimal allocation of drug therapy [J]. Parasitology, 2005, 130(Pt 1): 49-65.
- [22] Jiang Z, Zheng QS, Wang XF, et al. Analysis of social factors and human behavior attributed to family distribution of schistosomiasis japonica cases [J]. Southeast Asian J Trop Med Public Health, 1997, 28(2): 285-290.
- [23] Zhou XN, Wang LY, Chen MG, et al. The public health significance and control of schistosomiasis in China-then and now [J]. Acta Trop, 2005, 96(2-3): 97-105.
- [24] Bohning D, Dietz E, Schlattmann P. Space-time mixture modelling of public health data [J]. Stat Med, 2000, 19(17-18): 2333-2344.
- [25] Ashby D. Bayesian statistics in medicine: a 25 year review [J]. Stat Med, 2006, 25(21): 3589-3631.
- [26] Zhang ZY, Xu DZ, Zhou XN, et al. Remote sensing and spatial statistical analysis to predict the distribution of *Oncomelania hupensis* in the marshlands of China [J]. Acta Trop, 2005, 96(2-3): 205-212.
- [27] Yang GJ, Zhou XN, Wang TP, et al. Spatial autocorrelation analysis on schistosomiasis cases and *Oncomelania* snails in three provinces of the lower reach of Yangtze River [J]. Chin J Parasitol Parasit Dis, 2002, 20(1): 6-9.
- [28] Davis GM, Wilke T, Zhang Y, et al. Snail-Schistosoma, Paragonimus interactions in China: Population ecology, genetic diversity, coevolution and emerging diseases [J]. Malacologia, 1999, 41(2): 355-377.

【收稿日期】 2013-11-29 【编辑】 钱熠礼