

文章编号: 1673-1719 (2010) 04-0259-06

气候变化对媒介传播性疾病传播影响的评估模型

杨国静¹, 杨 坤¹, 周晓农²

(1 江苏省血吸虫病防治研究所, 无锡 214064;

2 中国疾病预防控制中心寄生虫病预防控制所, 上海 200025)

摘 要: 旨在综述评估各类模型在媒介传播性疾病中的应用前景。首先对媒介传播性疾病的流行及其与气候特征间的相关关系进行了分析, 在此基础上综述了评估模型的种类与评估方法, 包括气候因子决定性模型和数理统计学模型两大类, 并分别以疟疾、血吸虫病和登革热等3种媒介传播性疾病为例, 列举了两类模型在这些疾病中的应用与评估方法。最后提出了气候变化对媒介传播性疾病传播影响的未来研究方向和重点, 今后研究要评估气候变化对疾病传播造成的已有影响, 预测未来影响范围与强度及预见未来变局, 并提出科学的适应对策。

关键词: 气候变化; 媒介传播性疾病; 决定性模型; 统计学模型

中图分类号: P467/R183

文献标识码: A

引 言

近年来地表温度的上升幅度是最近一万年所未有过的, 专家估计未来50~100年全球气候将继续变暖^[1]。地球持续变暖, 不但为与疾病有关的媒介及病原体的寄生、繁殖和传播创造了适宜条件, 引起人类疾病分布的变化, 从而扩大了流行的程度和范围, 加重了对人类的危害。而且, 气候变暖导致飓风、洪水等极端气候事件不断增多, 不仅威胁人类生命, 且会触发某些媒介传播性疾病的暴发流行^[1-3]。例如, 因全球变暖, 在美国曾经绝迹的传播疟疾蚊媒又在一些地区出现^[4-6]。近年在我国黄河以南地区疟疾发病出现回升现象^[7], 登革热在世界上许多地方也卷土重来。例如, 进入20世纪80年代, 登革热在加勒比地区再次出现, 随后又侵入了巴西、秘鲁、巴拿马等国, 非洲也有史以来第一次暴

发了登革热^[8]。近15年来, 登革热传播速度越来越快, 范围越来越广, 每年发病数千万例, 年均死亡2万人^[9]。中国台湾省在登革热绝迹35年后出现了第一个病例; 20世纪70年代末80年代初, 广东佛山、广西钦州、海南省也先后暴发流行登革热^[10-11]。中国已经开展了系列气候变暖对日本血吸虫病传播的影响研究, Yang等^[12]已发现全球气候变暖使日本血吸虫病的中间宿主——钉螺的潜在孳生地界线由原先的33°15'N北移到33°41'N, 并且从影响机理上阐明了气候变化可加重原血吸虫病流行区的流行程度。Zhou等^[13]进一步就气候变化背景下未来2030和2050年的血吸虫病流行趋势作了预测。

因此, 本文首先介绍媒介传播性疾病流行及其与气候特征间的相关关系, 并在此基础上综述评估模型的种类与方法, 为定量分析气候变化对媒介传播性疾病传播影响的研究提供更好的工具。

收稿日期: 2010-01-11; 修回日期: 2010-02-12

资助项目: UNICEF/UNDP/World Bank/WHO Special Programme for Research and Training in Tropical Diseases (A30298, A70530); 国家传染病重大专项项目 (2008ZX10004-011); 国家“十一五”科技支撑计划 (2007BAC03A02)

第一作者: 杨国静 (1972—), 女, 副研究员, 从事血吸虫病流行病与气候变化研究。E-mail: guojingyang@hotmail.com

1 媒介传播性疾病流行与气候相关程度

一方面各种致病病菌、病毒等病原体的发育与变异扩散均受温度等气候条件影响,另一方面各类疾病的传播媒介又都有其相适应的天气及气候条件^[4]。导致媒介传播性疾病的流行一般具有季节性和地域性特点。

1.1 季节性

媒介传播性疾病的中间宿主或虫媒的活动有一定的季节性,因此,媒介传播性疾病的传播和流行也有一定的季节性。中间宿主和虫媒的活动受气候因素的影响很大,其中受温度的影响最显著。如大多数蚊类发育和活动的温度范围为10~35℃,适宜的温度为25~32℃,若低于10℃时,就要滞育而进入越冬状态^[14]。日本血吸虫及其中间宿主钉螺的生活史与环境关系极其密切。已有研究发现,温度、湿度、雨量以及pH值均对日本血吸虫各阶段的发育有影响^[15-19],并与毛蚴感染钉螺、尾蚴感染哺乳动物的机率有关(图1)。有钉螺分布的地区,1月份平均气温>0℃,或1月份平均最低气温>-4℃,或年平均气温>14℃;年降雨量>750 mm。温度升高,除加快媒介或中间宿主的生长繁殖外,也使媒介体内病原体的发育速度加快或致病力增强。另外,流行性乙型脑炎病毒虽然可在蚊虫体内长期保存,但<20℃时病毒在蚊体内的量较少;25~32℃时病毒迅速增多,毒力也随之增强。自全球变暖以

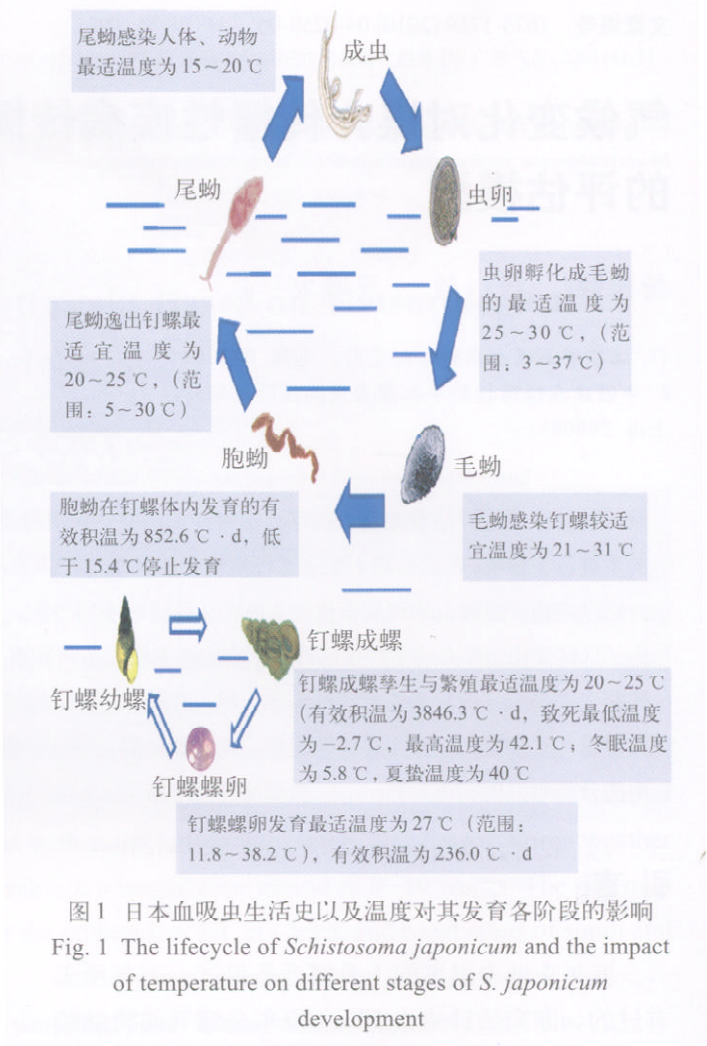


图1 日本血吸虫生活史以及温度对其发育各阶段的影响
Fig. 1 The lifecycle of *Schistosoma japonicum* and the impact of temperature on different stages of *S. japonicum* development

来,不仅冬天越来越温暖,使一些媒介昆虫成功越冬,并在春天提前活动形成密度高峰,且使其孳生繁衍季节延长,虫媒病的发生和流行也随之延长(表1)。

表1 虫媒病的流行状况(20世纪90年代)及其与气候变暖的关联程度^[20]
Table 1 The prevalence of vector-borne diseases (in 1990s) and their relations with global warming^[20]

疾病名称	危险人数/10 ⁶	感染流行人数/10 ⁶	地域分布	与气候变暖的相关程度	传播媒介
疟疾	2100	270	热带、亚热带	明显相关	按蚊
登革热	2500	500	热带、亚热带	中度相关	伊蚊
血吸虫病	600	200	热带、亚热带	中度相关	螺类
黄热病	尚无估计	尚无估计	热带、亚热带	轻度相关	伊蚊
日本脑炎	尚无估计	尚无估计	热带、亚热带	轻度相关	库蚊
淋巴丝虫病	900	90.2	热带、亚热带	轻度相关	蚊类
盘尾丝虫病	90	17.8	非洲、拉丁美洲	轻度相关	蚋
非洲锥虫病	50	2500 (每年新增病人)	热带	轻度相关	采采蝇

1.2 地区性

媒介和中间宿主的孳生也受地理环境的影响。不同种类的媒介各有一定的地理分布，因此，媒介传播性疾病的发生和流行有一定的地区性。气候变暖后，原属温带、亚热带的部分地区，便有可能变成亚热带与热带，这也就意味着诸如疟疾、登革热之类曾经局限于热带及亚热带的虫媒病有蔓延到温带地区的可能，使人群感染与疾病流行的危险明显增加（表 1）。

2 评估模型的种类与方法

评估气候变化对疾病影响的模型大致可分为气候因子决定性模型和数理统计学模型两大类。决定性模型多数是根据生物学实验得出寄生虫或中间宿主的最低或最高发育阈值来预测疾病的流行范围，所以又称之为生物学模型或生物驱动模型。而数理统计学模型如 Logistic 多因素回归模型、贝叶斯空间模型等则采用数理统计学方法找出主要决定因子，然后应用建立的模型进行评估。

2.1 决定性模型

生物的生长、发育和繁殖都受自然因素的影响，各种环境因子的影响程度和范围将会因物种的不同而有所不同。如果可以掌握特定疾病及其传播媒介的环境因子决定阈值，如最高和最低致死温度，最高和最低发育温度等，将可以对疾病或其传播媒介的传播范围用决定性模型进行预测。当然，该模型也具有一定的局限性，因为从理论上讲，可以用历史的疾病分布数据，衡量预测模型的准确度。但在实践中，不太容易做到，因为观察到的分布情况往往受人为干预的影响，因此将会提供一个不准确的疾病地理范围分布，从而与预测模型不一致。

在疟疾方面，Thomas^[21]应用非洲疟疾风险图这一方法建立了稳定恶性疟疾地区气候模型，并发现适宜恶性疟疾流行的季节长度是决定疾病临床模式的一个重要因素。Craig 等^[22]使用这种关系建立一个恶性疟疾流行的空间模型，适用于整个撒哈拉以南的地区。对于应用基准气候数据而建立的传播模式，

Thomas 等^[23]使用了 MARA/ARMA 阈值和模糊模型中的函数（表 2）。该模型在新的气候预测数值下（第 2 代 Hadley 中心耦合模型 HadCM2）被重新运行使用。与 Rogers 等^[24]采用统计模型预测的非洲疟疾流行范围相比，该生物模型预测显示非洲中部 / 南部的疟疾有更大范围的消失。Tanser 等^[25]采用基于阈值来预测非洲适合恶性疟疾传播的特定的月份，他们使用 HadCM3 的预测结果发现，即使到 2100 年非洲疟疾的纬度分布几乎没有变化，而疟疾的增加主要是流行季节延长。

表 2 用于非洲疟疾稳定传播地区模糊逻辑模型的气候因子^[23]

Table 2 Climate factors used in the fuzzy logic model for malaria's stable transmission areas in Africa^[23]

变量	低阈值	高阈值	S 型曲线
月降雨量 /mm	0	80	上升
月平均最低气温 /	18	22	上升
月平均最高气温 /	32	40	降低
最冷月份平均最低气温 /	4	6	上升

在血吸虫病方面，Zhou 等^[13]已经就生物学模型开展了一系列工作。通过直接影响与间接影响的研究发现，温度上升将导致血吸虫病向北迁移，造成新的疾病流行区。如按钉螺孳生与繁殖适宜温度的阈值来推测，在过去的 30 年，中国已有 41335 km²

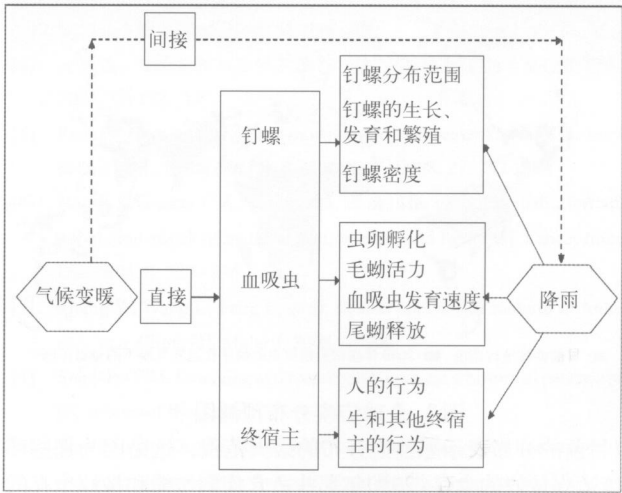


图 2 气候变暖对血吸虫病传播影响的途径
Fig. 2 Pathways for impact of global warming on transmission of schistosomiasis

的区域成为钉螺潜在孳生地,这样间接导致的受血吸虫病威胁的人口增加了2100万^[12]。应用3个主要气候敏感因子,Zhou等^[13]预测了2030年和2050年中国血吸虫病潜在流行区的空间分布,发现2050年将有783883 km²新的钉螺潜在孳生地产生,这一区域占整个中国土地面积的8%左右。

2.2 统计学模型

在疟疾方面,Rogers等^[24]应用统计学模型,根据全球疟疾分布图^[26],在疟疾分布地区和非分布地区随机收集1500个点中IPCC发表的1961—1990年的气象数据,包括月平均、月平均最高和最低气温,降水量,饱和水汽压等参数,采用逐步回归方法,选取最佳模型。预估未来不同气候情景下的疟疾分布情况,发现即使是在HadCM2高排放情景下,未来全球疟疾的分布与当前的分布状况相比,变化也不是非常显著(图3)。而受气候变化影响最严重的区域是分布在疟疾流行边缘的国家,包括美国南部、土耳其、土库曼斯坦、乌兹别克斯坦、巴西和中国,还包括一些高原地区(如东非)。Jetten等^[27]以蚊类临界密度阈值的倒数表示疟疾流行潜势,借用Müller报告的全球气候资料,模拟了当前气候下各地恶性疟的年平均流行潜势,流行潜势>0.01的地区为疟疾地方性传播地区,包括中美洲和南美洲的大部分



图3 全球疟疾分布预测图^[24]

(目前的分布表示恶性疟分布的最大范围,这是因为那些环境适宜按蚊的生存;2050年那些适宜疾病传播和按蚊生存的气候范围已经扩大;此情景是基于HadCM2的高排放情景)

Fig. 3 Projected map of global malaria distribution^[24]

(orange: at present; red: in 2050)

地区,撒哈拉以南的非洲(非洲南部除外),印度、东南亚和澳大利亚北部。Jetten等还模拟了气温上升2~4℃引起的恶性疟年平均流行潜势的全球性变化。当全球气温上升4℃时,模型显示欧洲南部部分地区、美国南部和澳大利亚可能出现恶性疟全年持续传播。在当前气候下,欧洲的南部通过当地媒介蚊种传播间日疟是可能的。温度升高4℃,可使欧洲南部的流行潜势升高约10倍,而欧洲中部和北部将升高100倍以上。

在血吸虫病方面,Yang等^[28]应用贝叶斯时空模型研究了气候敏感因子对血吸虫病传播的影响。结果显示:1990—1992年,江苏省血吸虫病空间自相关性先显著下降,然后逐渐上升,这可能与大规模吡喹酮化疗有关;日本血吸虫感染与植被指数呈负相关,与地表温度呈正相关。

在登革热方面,Hales等^[29]采用Logistic回归模型分析结果显示(图4),到2085年气候变暖将会使全球受登革热威胁的人口增加35%~60%。

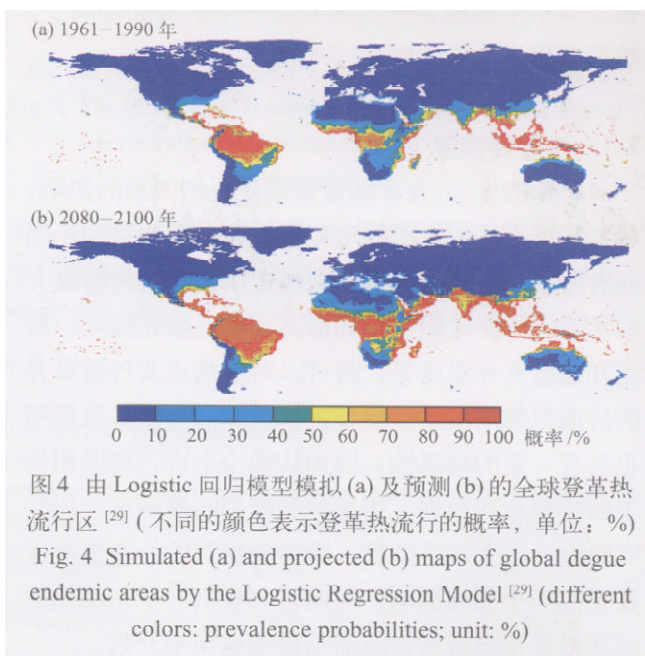


图4 由Logistic回归模型模拟(a)及预测(b)的全球登革热流行区^[29](不同的颜色表示登革热流行的概率,单位:%)

Fig. 4 Simulated (a) and projected (b) maps of global dengue endemic areas by the Logistic Regression Model^[29] (different colors: prevalence probabilities; unit: %)

3 今后研究重点

随着气候变化研究的全球升温以及气候变化对人体健康影响的不可争议的定论,越来越多的研究着重于气候变化条件下媒介传染性疾病的传播趋势的

预测研究。传染病的模式和传播过程受到多因素的影响,不同传染病对气候变化的敏感程度是不一样的,因此,准确预测传染病的传播趋势对做好传染病的控制和预防工作极其重要。加强全球环境变化对人类健康影响的研究,有助于发展控制和预防疾病传播的公共卫生措施,减少气候变化对传染病传播的可能影响,从而做到预见未来变局,制订疾病预防战略和公共卫生对策。今后应开展3个方面的重点研究工作:1)评估已有的影响,掌握媒介传染性疾病流行规律,找出疾病敏感的气候因子,构建与验证评估方法,如目前研究发现,温度、降水和植被覆盖是影响日本血吸虫病在中国流行的重要环境因子;2)预测未来影响范围与强度,为制订疾病预防策略和公共卫生对策提供科学的依据;3)预见未来变局,提出科学的适应对策,减少因气候变化增加的疾病负担。

无论对生物模型还是数理统计模型来讲,模型的评估将是一项重要的工作,这包括模型的适用条件、构建模型的基础、模型所采用的参数、模型预测评估的应用与实际验证、模型的不确定性等内容。因此,今后对每一个模型均要注意处理好以下3方面的问题。1)研究的尺度问题。全球气候模式(GCM)可以很好地模拟大尺度地区已经观测的气候特征,但是由于GCM输出分辨率较低,在结合气候情景与疾病模拟模型时常常存在时空尺度不匹配的问题,如GCM的输出是基于网格的月数据,而逐日天气数据可以提高疾病传播模型的精确度,并且应该使用当地站点的气候情景数据。因此在今后还可以开展区域气候模式(RCM)的应用研究,并与GCM进行比较或结合。2)模型校准问题。模型进行验证与校准是在建立基本模型的基础上开展的工作。首先要验证基础数据的正确性,并且在数据时空尺度的匹配上也要求正确。模型的验证与校准包括模型比较和模型预测效果。3)模型的不确定性问题。不确定性来源于多方面,包括气候敏感因子的不确定性,即各类气候敏感因子相互作用的不确定性;气候变化增量趋势的不确定性,这与全球温室气体排放量的不确定性相关;生物学模型中的参数变异导致的预测结果的不确定性。

4 结 语

IPCC第4次评估报告指出,全球温度普遍升高,地球持续变暖,为与疾病有关的媒介及病原体的寄生、繁殖和传播创造了适宜条件,引起此类疾病分布的变化,以正确的模型来评估气候变化对媒介传播性疾病的影响很有必要。但在大多数地区,温度升高对流行潜能的影响似乎有限,在这些地区,经济社会条件的变化远比温度的变化重要得多,但与疟区毗邻的热带和亚热带地区的情况有所不同,特别是地势较高的非洲无疟区,由于存在媒介按蚊,由输入疟疾病例引起疟疾的季节性流行将是可能的。在中国东部疾病流行区有向北扩散的趋势。因此,关于气候变化对媒介传播性疾病影响的研究中,还应注重对当地的疾病社会学研究,以确保评估研究的结果可直接应用于适应对策的转化,这也是气候影响评估模型的主要目的。■

参考文献

- [1] IPCC. Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007
- [2] Aguirre A A, Tabor G M. Global factors driving emerging infectious diseases [J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2008, 1149: 1-3
- [3] Gage K L, Burkot T R, Eisen R J, *et al.* Climate and vector-borne diseases [J]. *Am J Prev Med*, 2008, 35: 436-450
- [4] 亢秀敏. 气候变暖与虫媒病流行 [J]. *中国媒介生物学及控制杂志*, 2001, 12: 152-153
- [5] Reiter P. Climate change and mosquito-borne disease: knowing the horse before hitching the cart [J]. *Rev Sci Tech*, 2008, 27: 383-398
- [6] Hay S I, Guerra C A, Tatem A J, *et al.* The global distribution and population at risk of malaria: past, present, and future [J]. *Lancet Infect Dis*, 2004, 4: 327-336
- [7] Zhang W, Wang L, Fang L, *et al.* Spatial analysis of malaria in Anhui province, China [J]. *Malar J*, 2008, 7: 206
- [8] Snowden F M. Emerging and reemerging diseases: a historical perspective [J]. *Immunol Rev*, 2008, 225: 9-26
- [9] World Health Organization (WHO). Climate change and human health: risk and responses [M]. Geneva: World Health Organization, 2003
- [10] 易彬樨, 张治英, 徐德忠, 等. 广东省登革热流行与气候因素变化的相关性 [J]. *第四军医大学学报*, 2003, 24: 143-146
- [11] 俞善贤, 李兆芹, 滕卫平, 等. 冬季气候变暖对海南省登革热流行潜

- 势的影响[J]. 中华流行病学杂志, 2005, 26: 25-28
- [12] Yang G J, Vounatsou P, Zhou X N, *et al.* A potential impact of climate change and water resource development on the transmission of *Schistosoma japonicum* in China [J]. Parasitologia, 2005, 47: 127-134
- [13] Zhou X N, Yang G J, Yang K, *et al.* Potential impact of climate change on schistosomiasis transmission in China [J]. Am J Trop Med Hyg, 2008, 78: 188-194
- [14] 丁德峻, 张旭晖, 赵勇进. 温度对我国中华按蚊世代分布及其传疟有效季节的影响[J]. 生态学杂志, 1991, 10: 52-57
- [15] 孙乐平, 洪青标, 周晓农, 等. 日本血吸虫毛蚴存活曲线和期望寿命的实验观察[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2000, 12: 221-224
- [16] 孙乐平, 周晓农, 洪青标, 等. 日本血吸虫幼虫在钉螺体内发育起点温度的研究[J]. 中国寄生虫学与寄生虫病杂志, 2003, 21: 303-306
- [17] 孙乐平, 周晓农, 洪青标, 等. 全球气候变暖对中国血吸虫病传播影响的研究 III: 钉螺感染率与环境温度的关系[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2003, 15: 161-163
- [18] 孙乐平, 周晓农, 洪青标, 等. 自然环境中日本血吸虫幼虫在钉螺体内发育有效积温的研究[J]. 中国寄生虫病防治杂志, 2003, 16: 260-262
- [19] 孙乐平, 周晓农, 洪青标, 等. 日本血吸虫在钉螺体内发育积温的初步研究[J]. 中国人兽共患病杂志, 2001, 17: 80-83
- [20] Hunter P R. Climate change and waterborne and vector-borne disease [J]. J Appl Microbiol 2003, 94 (Suppl): 37S-46S
- [21] Thomas C. Malaria: a changed climate in Africa [J]. Nature, 2004, 427: 690-691
- [22] Craig M H, Snow R W, le Sueur D. A climate-based distribution model of malaria transmission in sub-Saharan Africa [J]. Parasitol Today, 1999, 15: 105-111
- [23] Thomas C J, Davies G, Dunn C E. Mixed picture for changes in stable malaria distribution with future climate in Africa [J]. Trends Parasitol, 2004, 20: 216-220
- [24] Rogers D J, Randolph S E. The global spread of malaria in a future, warmer world [J]. Science, 2000, 289: 1763-1766
- [25] Tanser F C, Sharp B, le Sueur D. Potential effect of climate change on malaria transmission in Africa [J]. Lancet, 2003, 362: 1792-1798
- [26] WHO, World malaria situation in 1994, Part III [J]. Wkly Epidemiol Rec, 1997, 72: 285-290
- [27] Jetten J H, 陈文江. 模型模拟估算全球气候变化时患疟疾的危险[J]. 国外医学: 寄生虫病分册, 1997: 18-19
- [28] Yang G J, Vounatsou P, Zhou X N, *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: 155-162
- [29] Hales S, de Wet N, Maindonald J, *et al.* Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: an empirical model [J]. The Lancet, 2002, 360: 830-834

Assessment Models for Impact of Climate Change on Vector-Borne Diseases Transmission

Yang Guojing¹, Yang Kun¹, Zhou Xiaonong²

(1 Jiangsu Institute of Parasitic Diseases, Wuxi 214064, China; 2 National Institute of Parasitic Diseases, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200025, China)

Abstract: The purpose of this review is to introduce various models for assessing the impact of climate change on vector-borne diseases and their application in the future. The paper firstly analyzes the correlation between vector-borne diseases transmission and climate characteristics, and then reviews two categories of assessing models, i.e. deterministic and statistic models, which are exemplified with the assessment of malaria, schistosomiasis and dengue fever transmitted diseases, respectively. Finally, future research priorities on the assessment models for vector-borne diseases are also given.

Key words: climate change; vector-borne diseases; deterministic model; statistic model