

气候变暖对中国血吸虫病传播影响的预测

周晓农¹, 杨坤², 洪青标², 孙乐平², 杨国静², 梁幼生², 黄轶昕²

【摘要】 目的 预测气候变暖对中国血吸虫病传播影响的程度及范围。方法 利用全国 193 个气象站 1951 ~ 2000 年的气象数据资料, 建立地理信息系统(GIS)气象数据库, 分析全国日均温度变化趋势。利用已建立的钉螺和日本血吸虫有效积温(SDT)模型的结果, 构建全国不同地区血吸虫病气候-传播模型, 计算各地钉螺和日本血吸虫年有效积温(ET), 并应用 GIS 等技术比较分析 ET/SDT 比值的时空分布。以 2030 年和 2050 年我国平均气温将分别上升 1.7 °C 和 2.2 °C 为依据, 预测未来全国血吸虫病流行区的扩散趋势和高危地带。结果 建立了全国血吸虫病气象 GIS 数据库, 在以前的 50 年中全国平均温度略呈上升趋势, 尤其在上世纪 90 年代后上升趋势明显, 回归方程为 $T_{\text{年平均}} = 0.0198X - 28.476$ 。构建了血吸虫病气候-传播模型, 钉螺和日本血吸虫的 ET/SDT 的比值随年代略呈上升趋势, 日本血吸虫的潜在分布区域大于钉螺潜在分布区域。2030 年和 2050 年血吸虫病潜在传播区域预测分布图显示, 血吸虫病流行区将明显北移, 2050 年血吸虫病潜在流行的敏感区域较 2030 年的明显扩大。结论 血吸虫病潜在流行区将随气候变暖出现北移, 北移敏感区域是今后我国流行区北界线的监测工作重点。

【关键词】 预测; 气候; 传播; 日本血吸虫; 螺

中图分类号: R532.14

文献标识码: A

Prediction of the Impact of Climate Warming on Transmission of Schistosomiasis in China

ZHOU Xiao-nong, YANG Kun, HONG Qing-biao, SUN Le-ping, YANG Guo-jing, LIANG You-sheng, HUANG Yi-xin

(Institute of Parasitic Diseases, Chinese Center for Disease Control and Prevention*, Shanghai 200025, China)

【Abstract】 Objective To predict the intensity and scale of impact on transmission of schistosomiasis japonica in China caused by the climate warming. **Methods** By using climate data from 193 weather stations in China from 1951 to 2000, the GIS database was created to analyze the tendency of average daily temperature. By using the results from the effective accumulated temperature models on *Oncomelania* snails and *Schistosoma japonicum*, the climate-transmission model for schistosomiasis was established at country level, by which the spatio-temporal analysis was performed to create the distribution maps of *Oncomelania* snails and *Schistosoma japonicum*, respectively, by means of GIS approaches based on the ratio of effective accumulated temperature to the snail or the parasite development temperature (ET/SDT) in all 193 stations. The potential distribution maps with the dispersal risk areas of schistosomiasis japonica in 2030 and 2050 were created based on forecast data that the average temperature of the country will increase by 1.7 °C in 2030 and by 2.2 °C in 2050.

Results The GIS database of climate-schistosomiasis of the country was established. It was found that the average temperature in the last 5 decades inclined, especially after 1990 it increased significantly with its increasing regression formula $T = 0.0198X - 28.476$. The climate-transmission model for schistosomiasis was established, and it was found that the geographical distribution of *Schistosoma japonicum* was much larger than that of *Oncomelania* snails based on the ratio of ET/SDT. The prediction maps for distribution of schistosomiasis in 2030 and 2050 were created, respectively, which showed that the sensitive areas were extended with the time, the risk of expansion northward for schistosomiasis will be increasing due to directly the climate warming. **Conclusion** It is predicted that a northward expansion of transmission area of schistosomiasis may occur due to the climate warming, the expanded potential area for schistosomiasis transmission will be important for future surveillance.

【Key words】 Prediction; Climate; Transmission; *Schistosoma japonicum*; Snails

Supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 30070684) and Ministry of Science and Technology (2003DIA6N009)

* WHO Collaborating Centre for Malaria, Schistosomiasis and Filariasis

近年来,我国长江流域的血吸虫病疫情呈扩散趋势,新流行区不断发现^[1],其分布呈明显的区域性,这与温度、光线、雨量和湿度等自然条件密切相关。气温和光线主要影响日本血吸虫中间宿主钉螺的繁殖、虫

体在螺体内的发育和幼虫在环境中的生存(包括毛蚴的孵化和尾蚴的逸出)等,雨量和湿度则影响钉螺孳生地分布。钉螺作为日本血吸虫惟一的中间宿主,其地理分布决定了血吸虫的空间分布^[2],因此,许多学者已注意到全球气候变暖势必会对血吸虫病的传播产生影响^[3,4]。全球地表气温的最新资料分析表明,从 19 世纪以来的 100 年间气温上升了 0.3 ~ 0.6 °C。国际专家预测到 21 世纪上半叶全球大气中 CO₂ 含量将增加 1 倍,全球平均气温将升高 2 °C 左右。而国内气象

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 30070684); 科技部公益性项目 (2003DIA6N009)

作者单位: 1 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,上海 200025; 2 江苏省血吸虫病防治研究所,无锡 214064

专家应用区域气候模式, 预测 2020 ~ 2030 年我国平均气温将上升 1.7°C , 至 2050 年全国平均气温上升 2.2°C ^[5]。然而, 国内有关气候变化可能对全国范围内血吸虫病传播影响的研究报道甚少。本研究在近年开展钉螺和日本血吸虫有效积温模型工作的基础上, 结合应用地理信息系统(GIS)技术预测我国血吸虫病流行态势, 对阐明血吸虫病的监测重点和制定监测方案具有指导意义, 同时对媒介疾病流行病学研究的发展具有重要价值。

材料与方法

1 地理信息系统数据库的建立

1.1 基础地图 以中国地图出版社出版、中华人民共和国国家测绘局制作的 1:1 000 000 中国数字化地图(DMDC)^[6]为基础, 从中提取出省、县界地图。

1.2 气象数据 全国 193 个气象站 1951 年至 2000 年气象数据资料由国家卫星气象中心提供。从该数据库中提取各个气象站的经纬度和日均温度, 并在 ArcGIS 软件上实现气象数据加载到数字地图中, 建立 GIS 气象数据库。

2 血吸虫病气候-传播模型的建立

利用作者已建立的钉螺和日本血吸虫有效积温模型^[7,8]的结果, 以钉螺生存繁殖的平均有效积温(SDT_s) $3\ 846.28 \pm 32.59$ 日度和钉螺发育起点温度 5.87°C 作为钉螺生存环境的理论参考值^[7], 以日本血吸虫在钉螺体内完成发育阶段的有效积温(SDT_p) 842.95 ± 70.71 日度和日本血吸虫在钉螺体内发育起点温度 15.17°C 作为日本血吸虫发育环境的理论参考值^[8], 构建全国不同地区血吸虫病气候-传播模型。

构建步骤为: 根据各个站点的日均温度, 去除日均温度 $< 5.87^{\circ}\text{C}$ 的天数, 获各站点日均温度差值大于 0 的累积天数(D)和钉螺的年有效积温(ET_s)。同样, 根据日本血吸虫在钉螺体内发育起点温度 15.17°C , 获各站点日均温度差值大于 0 的累积天数(D)和日本血吸虫的年有效积温(ET_p)。假设在某一地区, 当钉螺的 ET_s/SDT_s 比值 > 1 , 表示钉螺适宜在此地区生存繁殖; 当日本血吸虫的 ET_p/SDT_p 比值 > 1 , 表示日本血吸虫适宜在此地区完成在钉螺体内发育阶段。只有当钉螺和日本血吸虫的 ET/SDT 比值同时 > 1 时, 该地区的血吸虫病才有可能完成传播环节, 以此气候-传播模型获全国血吸虫病传播范围。

3 GIS 空间分析与预测

采用 ArcGIS 软件的空间分析模块, 以各站点不

同年份 ET/SDT 比值为依据, 分别画出适宜钉螺和日本血吸虫生存或发育的空间区域分布图。每 5 年为一个间距, 分析 1951 ~ 2000 年 50 年间钉螺和日本血吸虫的 ET_s/SDT_s 比值和 ET_p/SDT_p 比值的空间分布, 并比较其分布规律。

分别以 2030 及 2050 年全国平均气候上升 1.7°C 和 2.2°C ^[5] 为依据, 在已建立的血吸虫病气候-传播模型所产生 1996 ~ 2000 年血吸虫病空间分布图的基础上, 分别制作 2030 年及 2050 年全国血吸虫病传播空间分布预测图, 并在 ArcGIS 软件的支持下, 预测未来全国血吸虫病流行区的发展趋势和高危地区。

结 果

1 数据库的建立

根据全国 193 个气象站点的日平均气候数据资料, 建立了 1951 ~ 2000 年全国 193 个站点的日均温度数据库, 并完成了 GIS 数据库的构建。图 1 显示 1954 ~ 2000 年全国 193 个站点年平均温度的变化趋势, 该图中的年平均温度在 1990 年以后呈明显递增。该回归方程为: $T_{\text{年平均}} = 0.0198X - 28.476$ ($F = 24.30$, $P < 0.001$)。

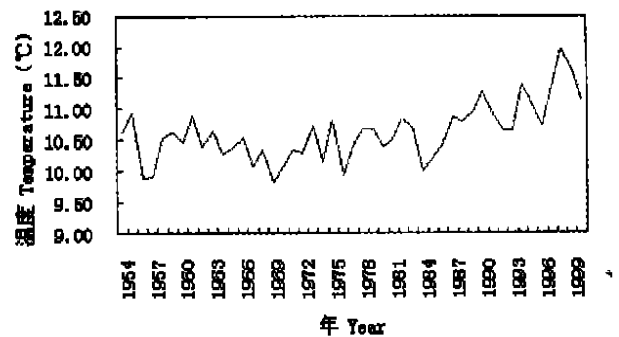
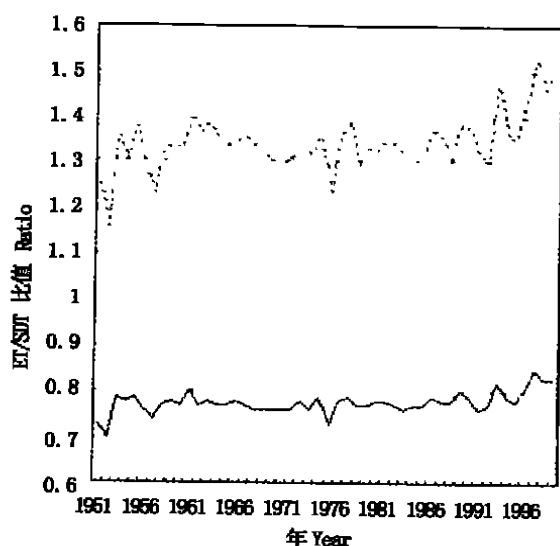


图 1 全国 193 个气象站点日平均温度变化图
Fig 1 The curve of daily mean temperature from 193 weather stations of the country

2 血吸虫病气候-传播模型的构建

根据血吸虫病气候-传播模型的构建原则, 在数据库中计算出各站点钉螺和日本血吸虫的 ET/SDT 比值, 绘制全国 1951 ~ 2000 年钉螺和日本血吸虫的 ET/SDT 比值变化图(图 2)。

图 2 显示, 同一年日本血吸虫的 ET/SDT 比值要比钉螺的 ET/SDT 比值高; 1951 ~ 2000 年, 钉螺和日本血吸虫的 ET/SDT 比值随年代变化有所升高, 尤其是上世纪 90 年代 ET/SDT 的比值增加更加明显。其中, 钉螺的 ET_s/SDT_s 比值的回归方程为: $\text{ET}_s/\text{SDT}_s = 0.001X - 1.1102$ ($F = 21.08$, $P < 0.001$); 日本血吸虫的 ET_p/SDT_p 比值回归方程为: $\text{ET}_p/\text{SDT}_p = 0.0023X$



—螺 ET/SDT 比值 Ratio of snail ET/SDT
虫 ET/SDT 比值 Ratio of parasite ET/SDT
 图 2 全国不同年代钉螺和日本血吸虫 ET/SDT 比值变化图
 Fig. 2 The curves of ET/SDT of *Oncomelania* snails and *S. japonicum* in the years

—3.2183 ($F=17.44$, $P<0.001$)。

3 钉螺和日本血吸虫的空间分布

1951~2000 年每 5 年钉螺和日本血吸虫的 ET/SDT 比值空间分布图(图 3, 4)显示,适宜钉螺孳生地区(ET_s/SDT_s 比值 >1)主要分布于中国长江沿线及以南的华南地区,而适宜日本血吸虫在螺体内发育地区(ET_p/SDT_p 比值 >1)分布范围明显大于钉螺分布范围,包括山东及河北省的大部分地区均适合日本血吸虫发育。比较不同时段 ET/SDT 比值空间分布,可见 1951~2000 年,同时适宜钉螺和日本血吸虫分布或发育的区域有向四周扩大的趋势,但仍在目前血吸虫病流行区的分布范围内。

2030 和 2050 年血吸虫病潜在传播地区(ET_s/SDT_s 和 ET_p/SDT_p 比值均 >1)的分布预测图(图 5)分别显示了相应年份血吸虫病潜在传播地区,其中深绿色区域为近年(1996~2000 年)血吸虫病传播地区,蓝色区域分别是 2030 年和 2050 年适宜血吸虫病传播的地区,为血吸虫病潜在流行区北移的敏感区域。这一敏感区域显示了 2030 年血吸虫病潜在分布地区出现了北移,主要北移至江苏北部、安徽北部、山东西南部、河北南部等部分地区,而 2050 年将进一步北移,涉及到山东省及河北省。预测分布图还显示中国西北部的新疆局部地区也为适合血吸虫病潜在传播区域。

讨 论

近百年来全球平均气温在不断波动并逐步上升,

进入 21 世纪,我国又连续 4 年出现暖冬,而且气候将继续变暖。气象专家已预测 2020 年至 2030 年,全国平均气温将上升 1.7°C ;到 2050 年,全国平均气温将上升 2.2°C ^[3]。华北和东北南部等一些地区将出现继续变干的趋势,西北干旱地区降水增加。早在 1990 年政府间气候变化委员会(IPCC)预测到全球气温变化可能影响媒传寄生虫病和病毒性疾病的传播,流行病学家 McMichael^[9] 预测全球气候变暖可使疟疾、血吸虫病、锥虫病、登革热等疾病流行加剧,每年患病人数将超过 6 亿,死亡人数将达到 200 万;微生物学家 Patz^[10] 预测即使全球气温中等度升高,蚊、苍蝇、螺类等传病媒介分布范围会扩大。全球气候变暖所引起的降雨和温度变化,势必影响我国血吸虫病的原有分布格局^[4]。因此研究全球气候变暖和环境改变对钉螺分布和血吸虫病流行的影响极为必要。

气候变暖对寄生虫病传播影响的预测,主要依赖于以寄生虫或媒介生物学为基础而建立的各类模型,Jetten 等^[11] 借用全球气候资料,建立数学模型模拟温度变化对全球疟疾流行潜力的影响;Martens^[12] 设计出疟疾传播模型,预测下世纪全球平均温度升高 3°C ,媒介按蚊的分布区扩大,将导致每年 5 000~8 000 万新的疟疾病例;20 世纪 90 年代后期发展的 GIS 已逐步在媒传寄生虫病得到广泛应用。周晓农等^[13] 以气象-水文平衡模型,计算出不同区域血吸虫传播指数,并以此绘制出血吸虫传播指数分布图,该图基本上与中国南部地区的血吸虫病流行区相吻合。俞善贤等^[14] 则利用钉螺越冬温度探索冬季变暖对钉螺北移的可能性。作者在系列研究^[15-17] 中发现,环境温度对日本血吸虫及其钉螺的影响是研究气候变化对血吸虫病传播的核心问题。因此,本研究选取环境温度作为预测钉螺及日本血吸虫分布的主要因素。首先建立了钉螺和日本血吸虫的有效积温模型,以求掌握钉螺和日本血吸虫在当地的生存或发育的可能性,以 ET/SDT 比值作为研究的主要指标。由于 ET 表示某一地区气温可为钉螺生存或日本血吸虫在螺体内发育提供的年实际有效积温,而 SDT 则表示在适宜条件下钉螺或日本血吸虫完成相应的一个生长或发育周期所需的理论年有效积温。因此,当某一地区的钉螺 ET_s/SDT_s 比值和日本血吸虫 ET_p/SDT_p 比值同时 >1 时,表明这一地区钉螺当年可完成一个生长繁殖周期,并且日本血吸虫在该地区的钉螺体内至少可以完成一个发育周期,即毛蚴进入钉螺体内后可完成发育并逸出尾蚴,导致血吸虫病在当地的传播,因此,这一地区即为潜在流行区。

在过去的 50 年间,全国钉螺和日本血吸虫 ET/

SDT 比值在波动中逐年上升,尤其从上世纪 90 年代开始,上升速度明显增加。这提示 1951~2000 年全国平均温度逐渐上升,适宜钉螺孳生和日本血吸虫发育的分布区域范围也随之逐渐扩大。以湖南省近年发现的众多新流行区为佐证,1979~2003 年湖南省共发现新流行区 6 县(区)38 处,面积 0.4 亿 m^2 。抽查其中的 14 处,上世纪 70 年代发现 1 处(7.14%),80 年代发现 4 处(28.57%),90 年代以来发现 9 处(64.29%)^[1]。提示作者的分析结果可用来对越来越多新疫区出现的原因进行解释,即全球气候变暖导致了流行区的扩散。

本研究结果显示日本血吸虫的潜在分布范围明显大于钉螺潜在孳生地分布范围,但理论上只有当地同时存在钉螺和日本血吸虫时,才可引起血吸虫病流行,从而提示钉螺的分布在血吸虫病新流行区的形成中起着决定性作用。由于多位作者已预测到钉螺有北移的可能性^[3, 4, 18],本文根据全国气温资料对 1951~2000 年的钉螺分布进行分析,预测结果显示钉螺主要分布于沿长江及其以南的地区,近年已有向四周扩大的趋势,在今后 50 年内钉螺的潜在分布范围可北移至山东、河北、山西等境内,明显大于目前钉螺的分布范围,这与全国平均气温逐年上升趋势一致,可导致全国钉螺分布面积的增加。实际上全国钉螺分布面积在近 10 年内维持在 35 亿 m^2 左右,2000 年后呈明显上升趋势,如 2003 年的全国钉螺面积(37.8 亿 m^2)较 2002 年(35.1 亿 m^2)上升了 7.6%^[19]。因此,更应注意今后血吸虫病流行区的扩散趋势,假若按目前气温变暖的趋势,2030 年全国平均气温再升高 1.7 $^{\circ}\text{C}$ 时,血吸虫病潜在流行区向北扩散的敏感区域将是图 5A 的蓝色区域,包括分布在江苏省北部及山东西南部,同时又是南水北调东线工程的经过区域。由于南水北调东线工程的取水口是血吸虫病疫区,随着南水北调工程的开工及全国平均气温的升高,极易发生钉螺分布向北方扩散^[20]。因此,这些地区应列入血吸虫病易扩散的高危地区,应加强监测,防止钉螺扩散。

作者就全球气候变暖对中国血吸虫病传播的影响作了系统研究^[4, 7, 8, 13, 15-18],在此基础上分析了以前 50 年中气温变暖对血吸虫病流行区北移扩散的影响,预测了今后 50 年内血吸虫病潜在流行区北移扩散的可能性和范围,但钉螺和日本血吸虫的生长发育及传播与温度、水、土壤、植被、高程及社会因素等多种因素密切相关,本研究只选取了其中关键因素温度进行了预测,预测的准确性将受到一定程度的限制。如预测分布图显示了中国西北部的新疆局部地区也是适合血吸

虫病传播的潜在流行区,并在 2050 年有明显的扩大。作者认为这一区域是否真能成为血吸虫病传播区域,尚需结合其它因素(如雨量、土壤、植被等)进行综合分析后定论。但总的趋势显示,随着全球气候变暖,血吸虫病流行区分布范围将逐渐扩大,并在原分布区域向北扩散形成敏感区域,这一区域将是防止血吸虫病北移扩散的监测重点地区,应予关注。(图 3, 4, 5 见插页 I, II)

致谢:本文的气象数据由国家卫星气象中心免费提供。

参 考 文 献

- [1] 谢木生,李以义,吴昭武,等. 湖南省 1979~2003 年血吸虫病新流行区疫情现状[J]. 中华流行病学杂志, 2004, 25: 572-574.
- [2] 毛守白. 血吸虫生物学与血吸虫病防治[M]. 北京:人民卫生出版社, 1990. 95-100.
- [3] 梁幼生,肖荣炜,宋鸿焘,等. 钉螺在不同纬度地区生存繁殖的研究[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 1996, 8: 259-262.
- [4] 周晓农,杨国静,孙乐平,等. 全球气候变暖对中国血吸虫病传播的影响[J]. 中华流行病学杂志, 2002, 23: 83-85.
- [5] 秦大河. 气候变化:科学、影响和对策[C]. 气候变化与生态环境研讨会文集,北京:气象出版社, 2004. 13-20.
- [6] 中华人民共和国国家测绘局. 1:1000 000 中国数字化地图(DMDC)国际版[M]. 北京:中国地图出版社, 1996. 129.
- [7] 洪青标,周晓农,孙乐平,等. 全球气候变暖对中国血吸虫病传播影响的研究——IV 自然环境中钉螺世代发育积温的研究[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2003, 15: 269-271.
- [8] 孙乐平,周晓农,洪青标,等. 日本血吸虫幼虫在钉螺体内发育有效积温的研究[J]. 中国人兽共患病杂志, 2003, 19(6): 59-61.
- [9] McMichael AJ. Global environmental change and human population health: A conceptual and scientific challenge for epidemiology[J]. Int J Epidemiol, 1993, 22: 1-7.
- [10] Patz JA, Martens WJM, Focks DA, et al. Dengue fever epidemic potential as projected by general circulating models of global climate change[J]. Environ Health Prospect, 1998, 106: 147-153.
- [11] Jetten TH, Martens WJ, Takken W. Model stimulations to estimate malaria risk under climate change[J]. J Med Entomol, 1996, 33: 361-371.
- [12] Martens P. Malaria and global warming in perspective? [J]. Emerg Infect Dis, 2000, 6: 313-314.
- [13] 周晓农,胡晓抒,孙宁生,等. 地理信息系统应用于血吸虫病的监测 II. 流行程度的预测[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 1999, 11: 66-70.
- [14] 俞善贤,滕卫平,沈锦花,等. 冬季气候变暖对血吸虫病影响的气候评估[J]. 中华流行病学杂志, 2004, 25: 575-577.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 洪青标,周晓农,孙乐平,等. 全球气候变暖对中国血吸虫病传播影响的研究 II. 钉螺越冬致死高温与夏蛰的研究[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2003, 15: 24-26.
- [18] 周晓农,杨国静,孙乐平,等. 地理信息系统在血吸虫病研究中的应用[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 1999, 11: 378-381.
- [19] 周晓农,汪天平,王立英,等. 中国血吸虫病流行现状分析[J]. 中华流行病学杂志, 2004, 25: 555-558.
- [20] 周晓农,王立英,郑江,等. 南水北调工程对血吸虫病传播扩散影响的调查[J]. 中国血吸虫病防治杂志, 2003, 15: 294-297.

(收稿日期: 2004-08-16 编辑: 庄兆农)

气候变暖对中国血吸虫病传播影响的预测

Prediction of the Impact of Climate Warming on Transmission of Schistosomiasis in China

(正文第 262 页 For text, see p. 262)

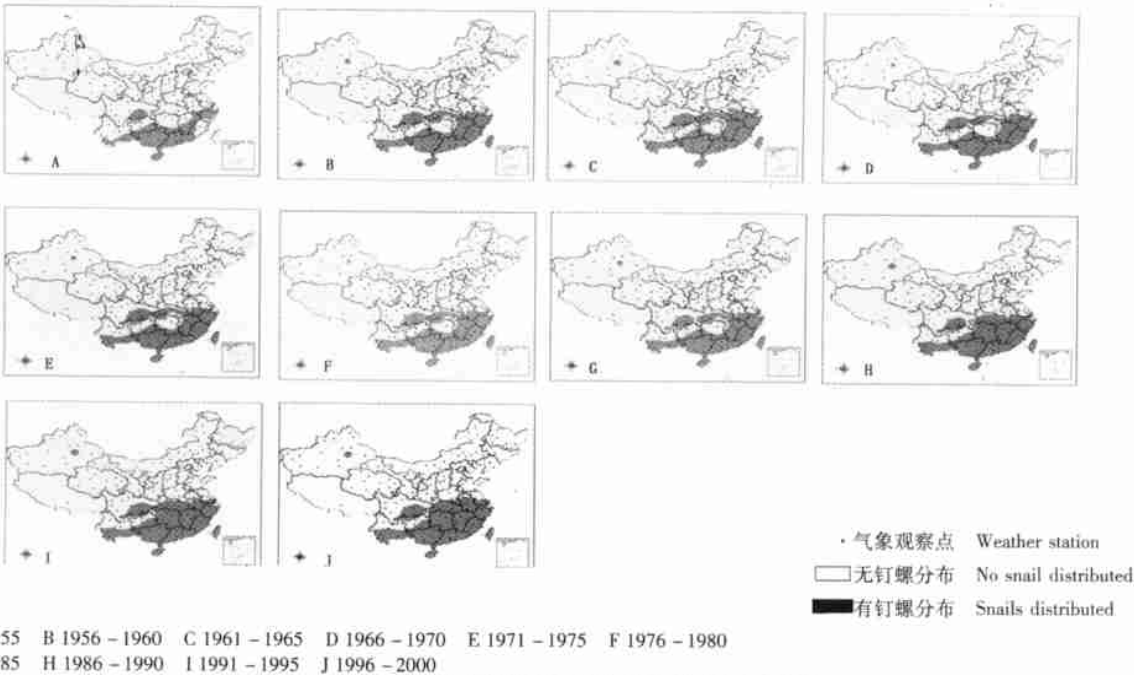


图 3 1951-2000 年间不同年代 (每隔 5 年) 钉螺空间分布分析图
Fig. 3 Spatial distribution pattern of *Oncomelania* snails during 1951-2000

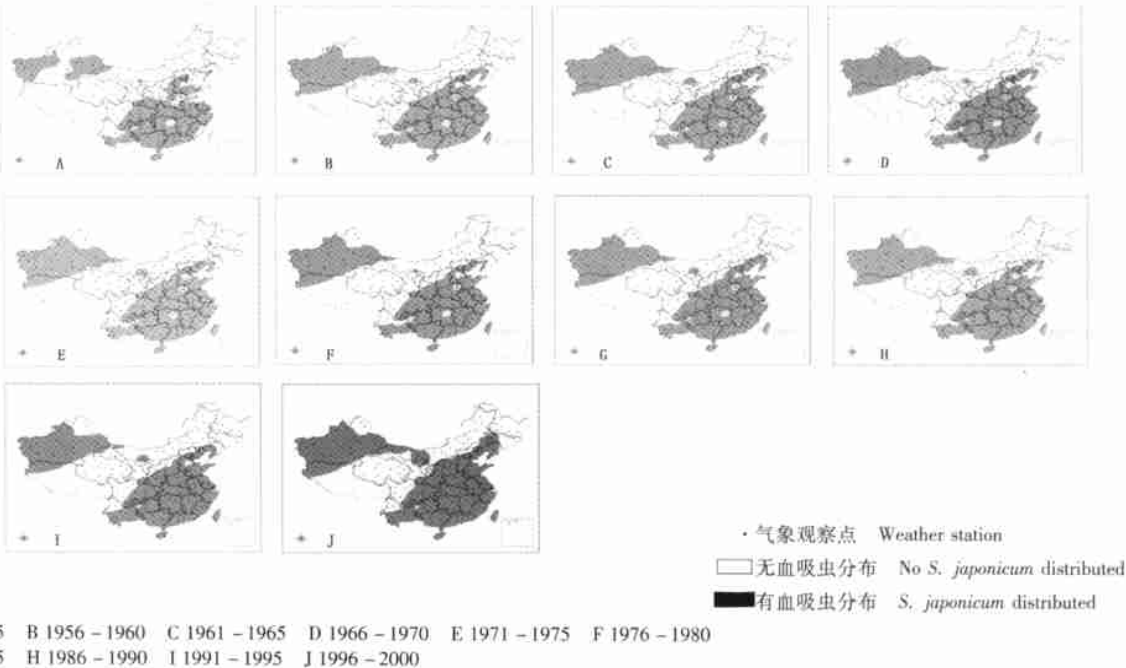


图 4 1951-2000 年间 (每隔 5 年) 日本血吸虫空间分布分析图
Fig. 4 Spatial distribution pattern of *S. japonicum* during 1951-2000

气候变暖对中国血吸虫病传播影响的预测 Prediction of the Impact of Climate Warming on Transmission of Schistosomiasis in China

(正文见第 262 页 For text, see p. 262)

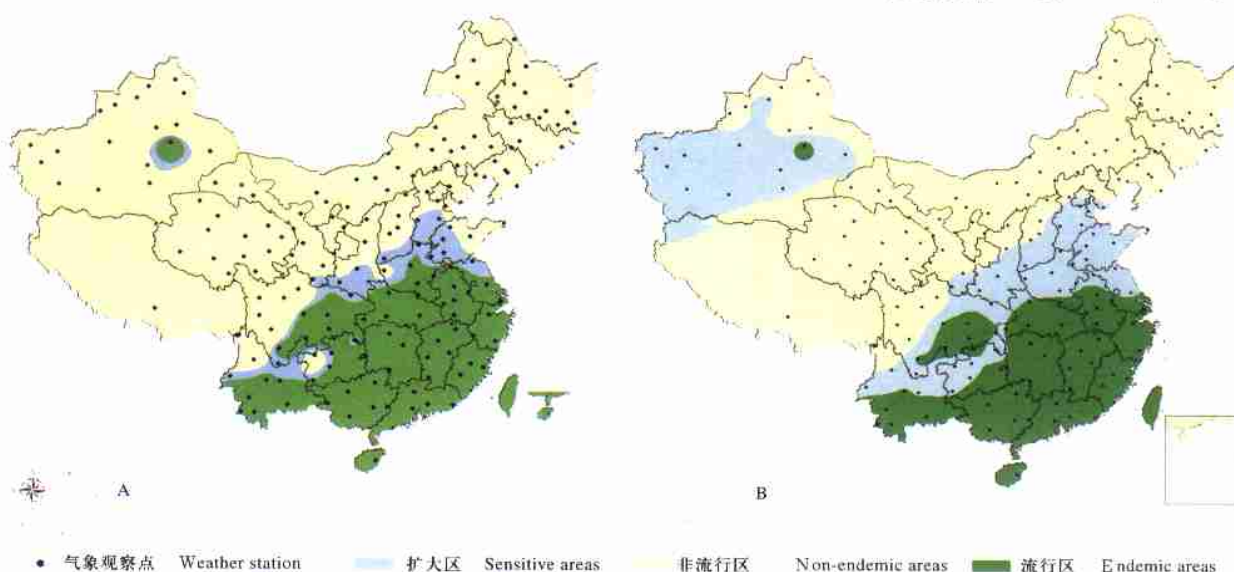
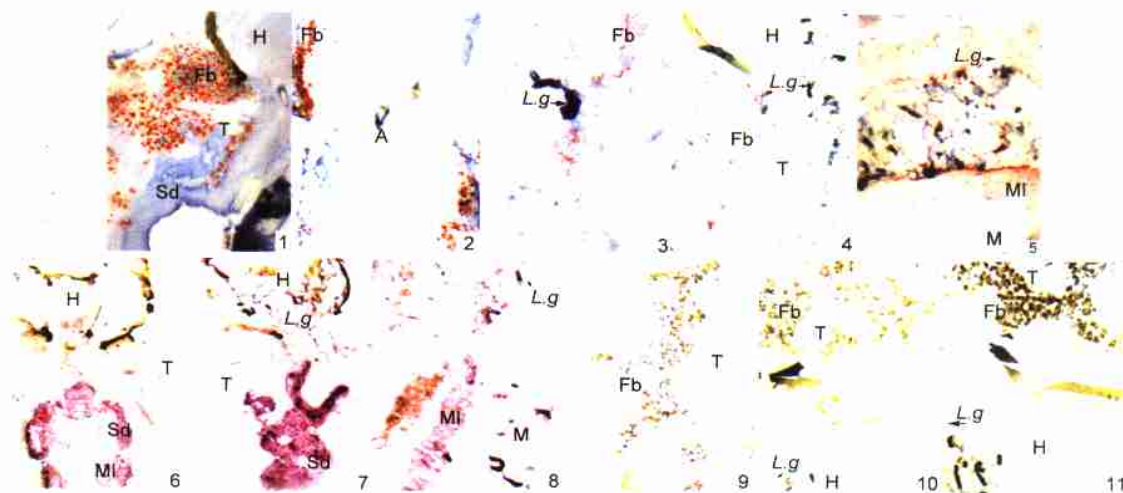


图 5 2030 年(A)和 2050 年(B)血吸虫病传播空间分布预测图
Fig.5 Prediction map of schistosomiasis distribution in 2030(A) and 2050(B)

感染大链壶菌后蚊幼虫脂肪、酯酶和脂肪酶的变化 Change of Lipid, Esterase and Lipase in Mosquito Larvae Infected with *Lagenidium giganteum*

(正文见第 280 页 For text, see p. 280)



H 头部 T 胸部 A 腹部 Fb 脂肪体 MI 中肠 Sd 胃盲囊 M 肌肉 Lg 大链壶菌
H Head T Thorax A Abdomen Fb Fat body MI Mid-gut Sd Stomach diverticula M Muscle Lg *Lagenidium giganteum*
1~5 脂肪反应 6~8 酯酶反应 9~11 脂肪酶反应 1,9 48 h 对照组正常蚊幼虫切片 2,6 72 h 对照组正常蚊幼虫切片 3,10 24 h 感染组蚊幼虫切片 4,5,7,8,11 72 h 感染组蚊幼虫切片 1,2,4,5,8,9,10,11 $\times 50$ 3 $\times 100$ 6,7 $\times 20$
1~5 Lipid reaction 6~8 Esterase reaction 9~11 Lipase reaction 1,9 Sections of normal mosquito larvae in the control in 48 h 2,6 Sections of normal mosquito larvae in the control in 72 h 3,10 Sections of larvae infected with *L. giganteum* in 24 h after infection 4,5,7,8,11 Sections of larvae infected with *L. giganteum* in 72 h after infection 1,2,4,5,8,9,10,11 $\times 50$ 3 $\times 100$ 6,7 $\times 20$

图 1 蚊幼虫脂肪含量、酯酶和脂肪酶活性
Fig.1 Lipid content, esterase and lipase activities of mosquito larvae