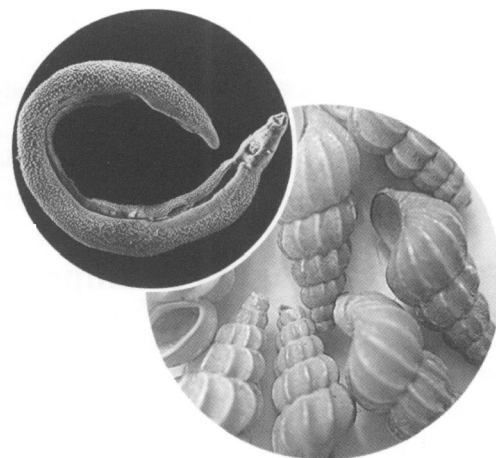


文章编号: 1673-1719 (2010) 04-0248-06

不同气候变化情景下中国血吸虫病传播的范围与强度预估

杨 坤¹, 潘 婕², 杨国静¹, 李石柱³, 许吟隆², 周晓农³

(1 江苏省血吸虫病防治研究所, 无锡 214064; 2 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所 / 农业部农业环境与气候变化重点开放实验室, 北京 100081; 3 中国疾病预防控制中心寄生虫病预防控制所, 上海 200025)



摘 要: 旨在采用区域气候模型PRECIS模拟的A2、B2两种温室气体排放情景下, 预估2050年时段(2046—2050年)和2070年时段(2066—2070年)我国血吸虫病的传播范围和强度的变化状况。结果表明, 相对2005年时段(1991—2005年), 2050年和2070年时段A2、B2情景下血吸虫病分布范围的北界线出现北移, 在中国东部尤其是江苏和安徽省境内北移明显。2050年时段, A2、B2情景下的血吸虫病潜在北界线分布相似。长江、洞庭湖及鄱阳湖周围的血吸虫传播指数明显上升, 以洞庭湖周围与湖北省内的长江沿线区域上升更加明显。2070年时段, A2情景下血吸虫病潜在北界线的北移趋势明显大于B2情景, 进入到山东省境内。血吸虫传播指数进一步增加, A2情景增加的幅度明显大于B2情景。总之, 在未考虑将来的适应措施与其他环境因素对血吸虫病传播影响的前提下, A2、B2情景下的血吸虫病的流行区分布和传播指数都将发生明显变化, 其中A2情景对我国血吸虫病流行的影响程度大于B2情景。

关键词: 气候变化; 传播范围; 传播强度; 血吸虫病; 预估; 中国

中图分类号: P467/R532.21

文献标识码: A

引 言

20世纪以来, 人为活动产生的温室气体排放量急剧增加, 温室效应加剧, 全球气候不断变暖, 这已经成为不争的事实。全球气候持续变暖引起的环境变化可能产生更适合传播疾病的生物媒介及病原体生存的环境, 引发媒介传播性疾病的分布范围与传播强度的变化, 有可能加重对人体健康的危害^[1-3]。

血吸虫病是影响我国经济发展和人民身体健康最严重的寄生虫病之一。血吸虫的中间宿主钉螺与温度、湿度、光照、淹没频率、水深、水位、植被、土壤等自然因素有着密切的关系^[4-5]。早期我们开展了气候变化对血吸虫病传播影响的系列研究, 包

括影响机制、血吸虫病气候-传播模型构建、影响范围等。然而, 早期的气候变化对血吸虫病传播影响的研究多采用气候变化的增量情景模型和简单的数理统计预测模型, 预测血吸虫病的潜在流行区域与流行强度的变化, 可能存有较大误差^[6-9]。要提高包括温度、降水等气候因子在内的气候变化预估结果的精确度, 必须充分利用基于温室气体排放情景的气候模式, 如政府间气候变化专门委员会(IPCC)的全球气候模式(GCM)、英国Hadley中心区域气候模式(RCM)PRECIS等^[10-11], 以改善单独应用增量情景模型的不确定性。

目前, 在气候变化对人体健康影响评估的研究中, 结合气候情景与疾病传播模型开展研究的报道

收稿日期: 2010-01-11; 修回日期: 2010-03-07

资助项目: 国家“十一五”科技支撑计划(2007BAC03A02); 国家重大专项项目(2008ZX10004-011)

第一作者: 杨坤(1976—), 男, 助理研究员, 从事流行病学与气候变化影响研究。通信作者: 周晓农, E-mail: ipdzhoun@sh163.net

较少。因此,本研究基于不同温室气体排放量的气候情景,分析我国血吸虫病传播范围与强度的变化,提高前期研究的预测精确度。

1 研究模型

1.1 气候变化预测模型

选用由英国 Hadley 中心开发的 PRECIS 区域气候模式^[11-12]。分别选取中高 (A2) 和中低 (B2) 两种温室气体排放情景下预估的我国区域内 50 km × 50 km 网格的日最高气温、最低气温、降水、辐射等 20 余项气象指标。许吟隆^[12]将基准时段的模拟结果和同期观测值在空间上进行了气候平均态的比较、在时间上进行了统计分析,验证了 PRECIS 对中国区域的气候模拟能力。

1.2 血吸虫病传播模型

根据前期研究结果^[8-9],钉螺生存是血吸虫病流行的必要条件,血吸虫在钉螺体内生存并扩散是血吸虫病流行的充分条件,而且血吸虫的生存范围大于钉螺的生存范围。因此,分析钉螺生存区域内的血吸虫作为血吸虫病的传播指数。模型的构建主要考虑钉螺的生存与血吸虫的扩散,分别利用钉螺温度-生存模型和血吸虫气候-扩散模型,预测血吸虫病分布区域变化和血吸虫病传播指数变化。

1.2.1 钉螺温度-生存模型

利用钉螺的发育有效积温、极端温度(最高与最低致死温度)等参数,构建钉螺温度-生存模型,确定钉螺的分布与扩散范围^[13-15]。当研究区域的温度同时满足以下 3 个条件时,认为该区域适合钉螺生存。

条件1:满足钉螺发育的有效积温 T_1 。计算如下:

$$T_1 = \sum (T_m - 5.9), (T_m > 5.9) \quad (1)$$

其中 T_m 为日平均温度(单位:°C),5.9 为钉螺发育起点温度。前期的钉螺生物实验表明,钉螺发育最低与最高有效积温临界值分别是 3846.3 与 5577.1 °C·d,即某区域的发育有效积温高于钉螺最低有效积温临界值,同时低于钉螺最高有效积温值,表示

该区域有效积温值适合钉螺生存。

条件2:满足钉螺生存所需的极端最低温度。根据前期研究^[13]结果,以1月平均最低温度-2.3 °C作为钉螺致死的极端温度参数进入模型模拟。

条件3:满足钉螺生存所需的极端最高温度。前期钉螺生物学实验表明,当环境温度升至 37.0 °C 以上时,钉螺开始出现死亡。干燥和潮湿环境中的钉螺半数致死温度分别为 40.0 °C (95% 可信区间为 39.8 ~ 40.3 °C) 和 42.1 °C (95% 可信区间为 41.6 ~ 42.7 °C)^[14]。实际上,各区域的月平均温度很少能达到 37.0 °C 以上,只有个别日最高温度超过 37.0 °C。

1.2.2 血吸虫气候-扩散模型

血吸虫气候-扩散模型包括两部分,一是 T_2 ,即血吸虫在钉螺体内的发育有效积温;二是 T_3 ,即当降雨量超过了蒸发量和地表 25 mm 土层吸水能力时造成土壤表面有积水时,虫体可以逸出螺体向外扩散的传播指数^[16]。因温度、降雨及地表积水的变化对血吸虫的扩散存在延迟现象,因此本模型的构建采用 10 d 为时间单位。

血吸虫病传播指数 = $T_2 + T_3$, 其中:

$$T_2 = \sum (T_m - 15.2), (R_{10} > 0.8 E_{10}, T_m > 15.2) \quad (2)$$

其中 15.2 °C 为血吸虫发育起点温度, R_{10} 为 10 d 平均降雨量(单位:mm), E_{10} 为 10 d 平均潜在蒸发量(单位:mm)。计算过程只有同时满足 $R_{10} > 0.8 E_{10}$ 和 $T_m > 15.2$ 时才进行发育起点温度以上的温度累积计算。若第一个条件不满足时,这 10 d 的 T_2 不累积计算;若第一个条件满足但第二个条件不满足时,则当日的温度不参与累积计算。

$$T_3 = \sum [T_4 \times (R_{10} - E_{10}) / 25], (R_{10} > E_{10}) \quad (3)$$

其中 $T_4 = \sum (T_m - 15.2)$ ($T_m > 15.2$)。如果 $R_{10} > E_{10}$ 条件不满足时,10 d 的 T_3 不累积计算;如果 $T_m > 15.2$ 不满足时,则当日温度不参与累积计算。

1.3 气候-疾病传播模型

在 Visual Fortran 编程软件中,联合应用以上 3 个模型的输出结果,引入气候变化对血吸虫病影响的评估模型中。首先,引入基准时段 A2、B2 情景下

PRECIS模拟的50 km × 50 km网格历年逐日天气数据,计算各网格的1991—2005年(2005年时段)的平均温度、平均最低温度及降雨等气象要素值,并以此作为基础数据;计算2046—2050年(2050年时段)和2066—2070年(2070年时段)的气象要素平均值。第二,按照已构建的血吸虫病传播模型编写程序,将以上3个时段平均气象要素值分别输入到血吸虫病传播模型中,计算出各时段的钉螺分布与血吸虫病传播指数。第三,基于地理信息系统(GIS)专业软件ArcGIS制作2005年、2050年及2070年时段的血吸虫病分布与传播指数图。第四,利用2004年开展第3次全国血吸虫病流行病学调查数据与A2、B2情景下的2005年时段的血吸虫病模拟数据进行一致性检验,检验A2、B2情景的拟合优度。最后,以2005年时段的血吸虫病传播的范围与流行强度作为基础地图,分析A2和B2情景下2050年和2070年时段血吸虫病的潜在扩散区域、减少区域面积和传播指数的变化。

2 结果

2.1 血吸虫病传播范围的变化

图1为A2与B2情景下2050年和2070年时段血吸虫病传播范围的空间分布。A2与B2情景下的Kappa值分别为0.674和0.720, A2情景下血吸虫病预测的拟合优度低于B2情景。2005年时段A2与B2情景下,血吸虫病分布的北界线分别为北纬32°07'与33°15'左右。2050年和2070年时段A2和B2情景下,血吸虫病分布的北界线均发生北移,在中国东部北界线尤其是江苏和安徽省境内的分布北移明显,并显示2070年时段的扩大面积显著大于2050年时段。其中,2050年时段A2与B2情景下的血吸虫病潜在在北界线的分布相似;而2070年时段, A2情景下的血吸虫病潜在在北界线的北移趋势明显大于B2情景,已进入到山东省境内。2050年时段A2与B2情景下,血吸虫病潜在在流行区北移扩散面积分别为41.6万与35.2万 km², 2070年时段A2与B2情景下,扩散面积分别为77.0万与46.4万 km²。

两种情景下不同时段的血吸虫病分布潜在缩减

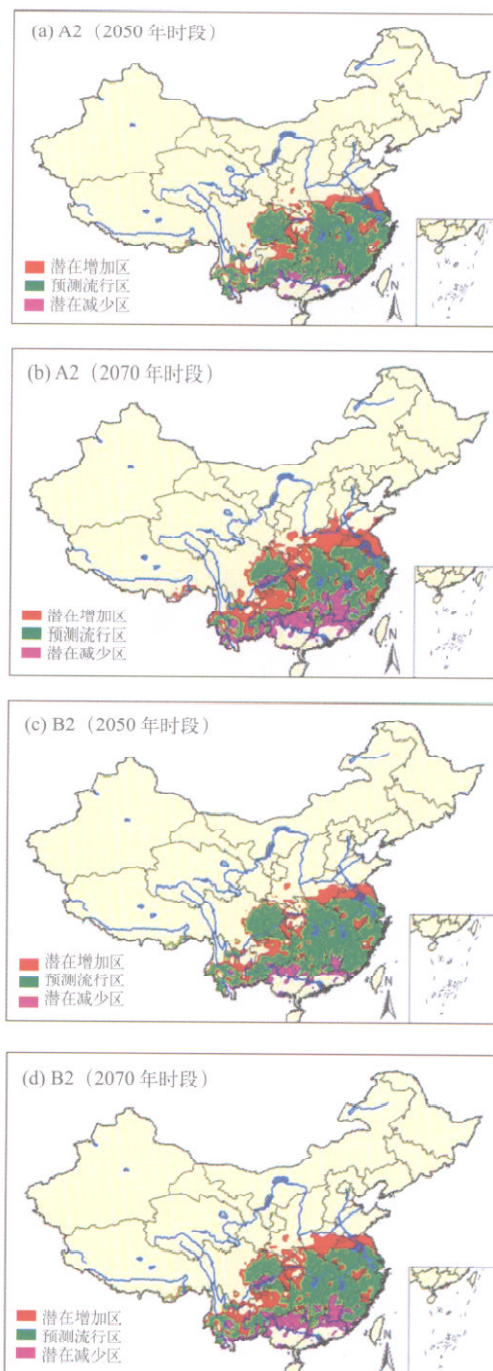


图1 不同情景下的血吸虫病传播范围

Fig. 1 Transmission scale of schistosomiasis in China under the IPCC A2 and B2 scenarios

区域变化也不一致,其中2050年时段血吸虫病潜在减少区域相对于2070年时段较小。在2070年时段,出现了大面积的血吸虫病预测缩减区域,以江西省最为明显。2050年时段A2与B2情景下,血吸虫病流行区潜在在缩减面积分别为14.9万与20.3万 km², 2070年时段A2与B2情景下,缩减面积分别为54.4

万与 37.5 万 km^2 。血吸虫病潜在扩散区域增加面积显著大于缩减区域,提示血吸虫病的潜在流行区面积在 2050 年和 2070 年时段将明显增加。

2.2 血吸虫病传播指数的变化

图 2 为 A2 与 B2 情景下各时段的血吸虫病传播指数的空间分布。图 2 显示, A2 与 B2 情景下 2005 年时段血吸虫传播指数的空间分布基本一致,高传播区域主要分布于较大的水系,如长江沿线区域的传播指数一般为 1500~1800,尤其是江西省鄱阳湖区域,传播指数 > 1800,其次是湖南省内的洞庭湖

区域和湖北省内的长江沿线区域,江苏省内的血吸虫病传播指数相对较低。该传播指数与 2004 年全国第 3 次血吸虫病流行病学调查结果相类似,即江西、湖南与湖北省是我国血吸虫病流行最为严重的区域,该区域血吸虫人群感染率为 3.1%~4.2%,而江苏省人群感染率约为 0.3%。

与 2005 年时段相比,2050 年时段位于长江、洞庭湖及鄱阳湖区域的血吸虫病传播指数明显上升,尤其以洞庭湖周围与湖北省内的长江沿线区域上升更加明显,四川省内部分区域的血吸虫病传播指数也上升到 1800 以上,而云南省内的血吸虫病传播指

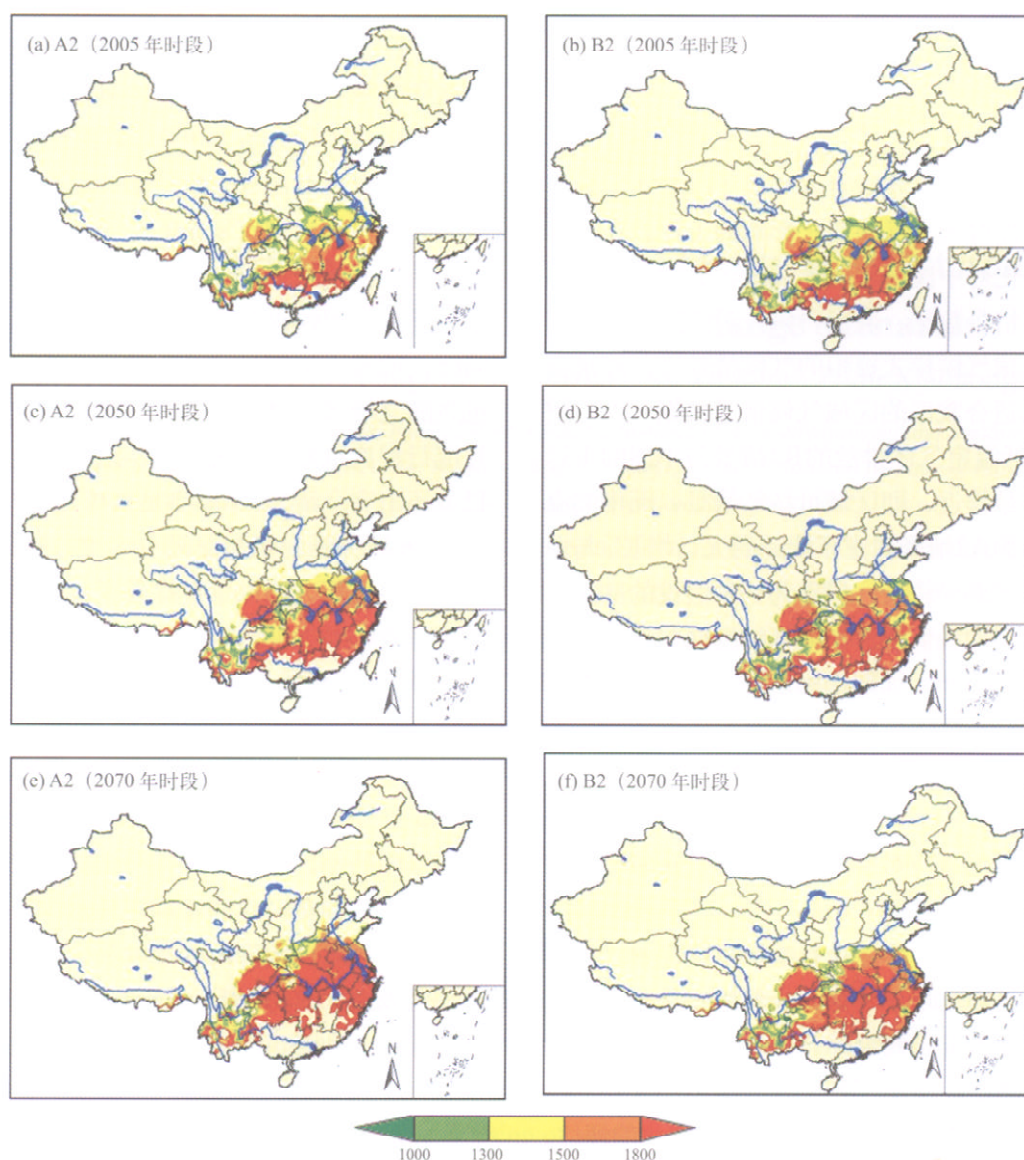


图 2 不同情景下的血吸虫病传播指数

Fig. 2 Transmission intensities of schistosomiasis in China under the IPCC A2 and B2 scenarios

数变化不明显。2050年时段A2与B2情景下传播指数>1500的高风险区域较2005年时段面积分别增加了68.5万与66.4万km²,即分别增加了89.6%和81.3%。2070年时段,血吸虫病传播指数在2050年时段的基础上进一步增加,A2情景下增加的幅度明显大于B2情景,其传播指数普遍>1800。B2情景下,江苏省内的长江与京杭大运河沿线区域的传播指数上升到1500~1800,其传播指数仍低于洞庭湖与鄱阳湖区域。2070年时段A2与B2情景下传播指数>1500的高风险区域较2005年时段面积分别增加了118.6万与90.9万km²,即分别增加了155.0%和136.8%。

3 讨论

近年来,各研究领域普遍开展了以专业定量模型为基础,评价未来气候变化影响的工作。在评估未来气候变化对中国区域的影响时,必须获取中国的区域气候情景数据,我国科研人员采用统计和动力方法对全球气候模式模拟的气候情景进行降尺度分析,得到适合我国的区域气候情景数据^[10-11]。研究发现,中低温室气体排放的B2情景与中国的中远期发展规划最接近,即区域可持续情景;而中高温温室气体排放的A2情景考虑了快速的人口增长,与中国的发展状况差异较大,但作为一种假设的高排放情景,可以帮助我们评估在最坏的发展状况下可能的气候变化情况^[17]。远期目标是根据血吸虫病潜在扩散区域的脆弱性评估结果,在高危地带制定应对或适应技术策略,以降低血吸虫病传播对该潜在传播区域的危害,并结合地方管理部门的疾病监测工作,把气候变化适应对策纳入媒介传染病管理防治计划和规划中。

在气候变化对人体健康影响评估研究中,目前缺少气候情景数据用于定量分析气候变化对人体健康影响的报道。前期研究中,作者结合钉螺与血吸虫的生物学参数,完成了基于生物模型的气候变化对我国血吸虫病传播危险性的空间格局变化的评估,但使用了气候变化增量情景模型与时间序列模型,预测的结果可能仍存在较大的不确定性^[6, 8]。本文再

次利用以往系列研究中的生物学实验数据,结合不同温室气体排放情景下的区域气候模式输出结果,在生物模型中对两种情景下的血吸虫病潜在传播范围与传播强度进行了预估,结果显示血吸虫病分布范围可能北移扩散,在原分布区北部形成敏感区域。因此,随着南水北调水利工程的开展,这一区域将是防止血吸虫病北移扩散的监测重点区域。在原血吸虫病流行病区,应加强以传染源控制为主的血吸虫病综合控制措施,应对传播指数的增加。

分析气候变化对人体健康的影响是一个较为复杂的系统研究过程。气候变化可能对人群、病原体以及生物媒介的传播等多个环节产生直接和间接的影响。在生物模型分析中,首先要明确气候因子对传播环节中各因素的影响,并确定其相关参数。但血吸虫病是一种人畜共患病,其保虫宿主多达40多种,气候变化对血吸虫病传播的影响因素繁多,且各种因素间的影响有复杂的交错关系。如降雨量增加,水域面积增多或地表水面积增加,均可促使血吸虫感染钉螺的机会增多,尾蚴逸出数量也就增多;同时,地表水量增加,各种哺乳动物接触疫水机会也将随之增多,不但出现血吸虫病流行范围扩大,而且流行程度也相应加重^[18-19]。这些因素的影响参数目前还不完全清楚,不能满足构建定量模型的需求。因此,本研究针对引起血吸虫病流行的必要条件(钉螺分布)层面,选取了钉螺发育最低、最高温度与发育有效积温等3个主要参数,在充分条件(血吸虫传播指数)层面上,选取了血吸虫发育有效积温、降雨量和蒸发量等3个主要参数,并联合应用这些条件参数进行模拟,以降低模型输出的不确定性。

本文预测结果较以往的研究结果精度有所提高,然而模型的输出结果仍存在一定的不确定性。一方面气候情景存在一定的不确定性。另一方面,本研究只选取了温度、降雨和蒸发等气候因子对钉螺生存与血吸虫扩散的影响,并没有包括社会经济、疾病控制措施、土地利用等其他因素,故仍需深入研究。■

参考文献

- [1] Campbell-Lendrum D, Bertollini R, Neira M, *et al.* Health and climate change: a roadmap for applied research [J]. *Lancet*, 2009, 373: 1663-1665

- [2] Gill M, Stott R. Health professionals must act to tackle climate change [J]. *Lancet*, 2009, 374: 1953-1955
- [3] Jay M, Marmot M G. Health and climate change [J]. *Lancet*, 2009, 374: 961-962
- [4] Zhou X N, Wang L Y, Chen M G, *et al.* The public health significance and control of schistosomiasis in China—then and now [J]. *Acta Trop*, 2005, 96: 97-105
- [5] 周晓农, 张仪, 洪青标, 等. 实用钉螺学 [M]. 北京: 科学出版社, 2005
- [6] 周晓农, 杨坤, 洪青标, 等. 气候变暖对中国血吸虫病传播影响的预测 [J]. *中国寄生虫学与寄生虫病杂志*, 2004, 22: 262-265
- [7] 赵安, 王婷君. 一种新的血吸虫传播指数的构建及其应用 [J]. *地理研究*, 2008, 27: 250-257
- [8] 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
- [9] 周晓农, 杨国静, 孙乐平, 等. 全球气候变暖对血吸虫病传播的潜在影响 [J]. *中华流行病学杂志*, 2002, 23: 83-86
- [10] 许吟隆, 张勇, 林一骅, 等. 利用PRECIS分析SRES B2情景下中国区域的气候变化响应 [J]. *科学通报*, 2006, 51: 2068-2074
- [11] 许吟隆, 黄晓莹, 张勇, 等. 中国21世纪气候变化情景的统计分析 [J]. *气候变化研究进展*, 2005, 1: 80-83
- [12] 许吟隆. 利用ECMWF再分析数据验证PRECIS对中国区域气候的模拟能力 [J]. *中国农业气象*, 2004, 25: 5-9
- [13] 洪青标, 周晓农. 全球气候变暖对中国血吸虫病传播影响的研究——I钉螺越冬温度与越冬致死温度的测定 [J]. *中国血吸虫病防治杂志*, 2002, 14: 192-195
- [14] 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
- [15] 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
- [16] 周晓农, 胡晓抒. 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
- [17] 熊伟, 杨婕, 林而达, 等. 未来不同气候变化情景下我国玉米产量的初步预测 [J]. *地球科学进展*, 2008, 23: 1092-1101
- [18] 王家生, 卢金友, 魏国远, 等. 环境变化对钉螺扩散影响规律研究 [J]. *长江科学院院报*, 2007, 24: 16-19
- [19] 陈朝, 周晓农. 血吸虫病环境因素研究中空间变量的选择与分析 [J]. *中国寄生虫学与寄生虫病杂志*, 2005, 23: 121-124

Projection of the Transmission Scale and Intensity of Schistosomiasis in China Under A2 and B2 Climate Change Scenarios

Yang Kun¹, Pan Jie², Yang Guojing¹, Li Shizhu³, Xu Yinlong², Zhou Xiaonong³

(1 *Jiangsu Institute of Parasitic Diseases, Wuxi 214064, China*; 2 *Institute of Agro-environment and Sustainable Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*; 3 *National Institute of Parasitic Diseases, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200025, China*)

Abstract: The purpose of the investigation is to project the scale and intensity changes of schistosomiasis transmission in China, under the IPCC A2 and B2 scenarios in the 2005s (1991-2005), 2050s (2046-2050) and 2070s (2066-2070), respectively, based on the integration of the PRECIS model and disease transmission models. Results show that the distributive boundary of schistosomiasis will be extended northward both in the 2050s and 2070s under the A2 and B2 scenarios, especially in Anhui and Jiangsu Province of east China. In the 2050s, the distributive boundaries are similar under the A2 and B2 scenarios, and the endemic areas are most distributed along large rivers and lakes where the schistosomiasis transmission index is higher than 1800. Particularly the transmission index is significantly high along the Yangtze River and Dongting Lake in the 2050s. Furthermore, the schistosomiasis transmission scale under the A2 scenario is larger than that under the B2 scenario in the 2070s, and parts of Shandong Province will become potential endemic areas. By comparing the two periods of the 2050s and 2070s, the spatial patterns of schistosomiasis transmission index are similar, while the schistosomiasis transmission index will increase significantly in the 2070s, especially under the A2 scenario. In conclusion, the transmission scale and intensity of schistosomiasis will change significantly under the A2 and B2 scenarios in the 2050s and 2070s, especially under A2 scenario, except that the adaptation measures are taken or the transmission of schistosomiasis is impacted by other environmental factors.

Key words: climate change; transmission scale; transmission intensity; schistosomiasis; projection; China