

一种基于洪水信息的血吸虫病风险预警系统的构建

郑金鑫, 夏尚, 吕山, 张仪, 周晓农*

[摘要] **目的** 利用气象数据建立模型, 预测洪水季节血吸虫病风险区域, 为血吸虫病监测预警提供参考。**方法** 基于开源R软件, 建立交互式血吸虫病预警系统。以血吸虫病传播指数为基础参数, 根据累积降雨量及气温数据拟合钉螺物种分布模型, 预测钉螺分布概率, 判断洪涝灾害期间血吸虫病传播风险区域。**结果** 基于R软件Shiny包构建网页框架, 成功建立了交互式、可视化钉螺分布预测系统, 内含钉螺监测点数据及气象、环境数据。通过物种分布模型可展示钉螺分布区域, 并预测血吸虫病传播风险区域。该预警系统可快速生成血吸虫病传播风险图, 操作简单、便捷。通过预测钉螺分布数据显示, 洪涝灾害期间血吸虫病传播风险区主要集中在长江中下游区域。**结论** 本研究建立的血吸虫病预警系统能准确、快速利用气象资料预测洪涝灾害期间血吸虫病流行风险区域。

[关键词] 血吸虫病; 钉螺; 洪水; 预警系统; 传播指数; 物种分布模型

[中图分类号] R532.21 **[文献标识码]** A

Construction of a forecast system for prediction of schistosomiasis risk in China based on the flood information

ZHENG Jin-Xin, XIA Shang, LÜ Shan, ZHANG Yi, ZHOU Xiao-Nong*

National Institute of Parasitic Diseases, Chinese Center for Disease Control and Prevention (Chinese Center for Tropical Diseases Research); NHC Key Laboratory of Parasite and Vector Biology; WHO Collaborating Centre for Tropical Diseases; National Center for International Research on Tropical Diseases, Shanghai 200025, China

* Corresponding author

[Abstract] **Objective** To create a model based on meteorological data to predict the regions at risk of schistosomiasis during the flood season, so as to provide insights into the surveillance and forecast of schistosomiasis. **Methods** An interactive schistosomiasis forecast system was created using the open-access R software. The schistosomiasis risk index was used as a basic parameter, and the species distribution model of *Oncomelania hupensis* snails was generated according to the cumulative rainfall and temperature to predict the probability of *O. hupensis* snail distribution, so as to identify the regions at risk of schistosomiasis transmission during the flood season. **Results** The framework of the web page was built using the Shiny package in the R program, and an interactive and visualization system was successfully created to predict the distribution of *O. hupensis* snails, containing *O. hupensis* snail surveillance site database, meteorological and environmental data. In this system, the snail distribution area may be displayed and the regions at risk of schistosomiasis transmission may be predicted using the species distribution model. This predictive system may rapidly generate the schistosomiasis transmission risk map, which is simple and easy to perform. In addition, the regions at risk of schistosomiasis transmission were predicted to be concentrated in the middle and lower reaches of the Yangtze River during the flood period. **Conclusions** A schistosomiasis forecast system is successfully created, which is accurate and rapid to utilize meteorological data to predict the regions at risk of schistosomiasis transmission during the flood period.

[Keywords] Schistosomiasis; *Oncomelania* snail; Flood; Forecast system; Transmission index; Species distribution model

[基金项目] 国家科技基础资源调查专项(2017FY101203)

[作者单位] 中国疾病预防控制中心寄生虫病预防控制所(国家热带病研究中心)、国家卫生健康委员会寄生虫病原与媒介生物学重点实验室、世界卫生组织热带病合作中心、国家级热带病国际联合研究中心(上海 200025)

[作者简介] 郑金鑫,男,博士研究生。研究方向:空间流行病学及机器学习

* 通信作者 E-mail: zhouxn1@chinaacdc.cn; ORCID: 0000-0003-1417-8427

[数字出版日期] 2021-04-16 10:05

[数字出版网址] <https://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1374.R.20210415.1713.006.html>

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

我国血吸虫病流行区主要集中在长江流域及其以南地区^[1-2]。目前,我国血吸虫病防治工作正朝着传播阻断和消除目标迈进^[3]。但气候的异常变化,尤其是频繁发生的洪涝灾害可能使血吸虫病疫情出现反弹^[4]。研究表明,血吸虫病流行区和钉螺分布区与洪涝灾害范围密切相关^[5]。洪涝灾害可通过改变气温、湿度、水位及植被等自然环境而影响钉螺适生区及分布区域,从而进一步影响血吸虫病流行范围^[6-8]。

随着我国血吸虫病消除规划的推进,监测与预警的重要性不断增强^[9-10]。现有血吸虫病监测预警系统主要为常规监测及重点水域监测^[11-12],而针对洪涝灾害对血吸虫病传播风险影响的监测较为少见。因此,有必要建立高效、实时的预警系统,从而评估洪涝灾害发生时的血吸虫病传播风险。本研究利用2018年全国钉螺调查数据,结合洪水信息构建血吸虫病传播风险预警系统,旨在预测洪涝灾害对血吸虫病流行范围的影响,并快速生成疫情风险图,从而为应对洪涝灾害所致血吸虫病传播提供早期预警。

资料与方法

1 数据来源

1.1 钉螺监测数据 采集中国疾病预防控制中心寄生虫病预防控制所血吸虫病监测系统2018年3—7月全国血吸虫病监测点现场钉螺调查资料,主要包括查螺面积、钉螺密度,以各乡(镇)级调查点作为钉螺孳生区位置。

1.2 气象和地理数据 2018年气象数据来自国家气象中心,包括日/月平均温度、降雨量与潜在蒸发量。其中洪水水位采用未来10 d累积降雨量,即当日预测计算的未来10 d累积降雨量来反映;日本血吸虫病指标根据血吸虫病传播指数公式计算^[13-14];其他高程、归一化差分植被指数(normalized difference vegetation index, NDVI)与距水体距离等地理数据下载自中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn/>)。

1.3 地图数据 全国矢量地图来源于中华人民共和国民政部网站(<http://xzqh.mca.gov.cn/map>)。

2 预警系统构建

2.1 构建数据库 利用R语言分别建立钉螺数据库、环境信息数据库和洪水信息数据库,其中环境信息数据库和洪水信息数据库收录全国范围数据。钉螺数据库包括有螺区地理位置、查螺记录及钉螺生存记录,存储为带有地理信息的栅格点图层数据;环境信息数据库主要包括钉螺生存影响因素,包括海拔、

血吸虫病传播指数、植被指数与距水体距离,存储为分辨率为5 km的栅格数据;洪水信息数据库包括每日降雨量及当日累积10 d降雨量数据,存储为分辨率5 km的栅格数据,该数据可随时间更新。

2.2 构建预警系统 利用R语言Shiny包构建预警系统^[15],建立物种分布模型,根据环境变量预测钉螺孳生区概率分布,以实现预警目的(图1)。

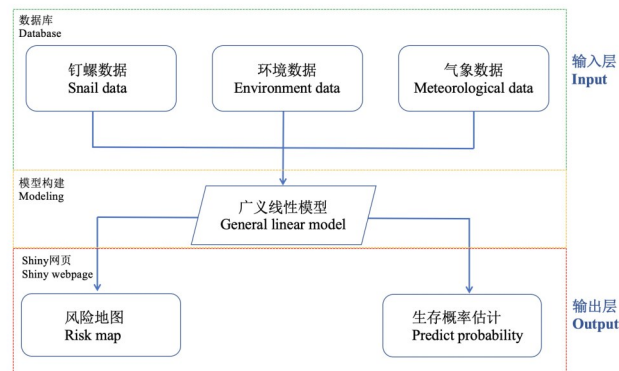


图1 洪水期间血吸虫病监测预警系统构建框架

Fig. 1 The framework of the schistosomiasis forecast system during the flood season

2.3 预警模型 根据物种分布模型原理^[16-17],钉螺孳生与周边环境密切相关。本研究将有螺面积转换为是否存在钉螺孳生地的二分类变量,利用物种分布原理中广义线性模型(generalized linear models, GLM)^[18]进行数据建模与预测。另外考虑到血吸虫病传播指数由降雨、温度及地表蒸发量计算,且与环境密切相关,因此可作为估计钉螺孳生的影响因素。由于钉螺观测变量为二分类变量,而非连续变量,故转换成logistic二元回归方程,转而预测物种出现(1)或不出现(0)的概率。将降雨、温度(平均温度)、高程、血吸虫病传播指数、植被指数与距水体距离作为自变量,是否有钉螺存在为因变量,构建GLM物种分布模型,可估计不同环境条件下物种分布概率^[19-20]。一般广义线性模型GLM公式:

$$g[E_Y(y|x)] = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_p x_p \quad (1)$$

公式(1)中 g 为连接函数, $E_Y(y|x)$ 是条件分布参数,范围0~1; x_p 是钉螺分布影响因素,包括血吸虫病传播指数、降雨量、温度、高程、植被指数与距水体距离等, β_p 为回归系数。

2.4 模型评估 本研究根据GLM模型估计中国血吸虫病传播风险,将传播风险划分为4个等级,概率<50%为极低风险区,50%~80%为低风险区,80%~90%为中风险区,大于90%为高风险区^[20]。然后结合实际调查数据进行图层叠加,仅图示调查区域。以受试

者特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线评估模型预测效果。该曲线是以预测结果的每一个值作为可能的判断阈值,计算相应灵敏度和特异度,以(1-特异度)为横坐标、灵敏度为纵坐标绘制而成^[21-22]。

结 果

1 预警系统

1.1 数据上传 本研究建立的洪水期间血吸虫病传播预警系统包括数据上传部分与图形可视化部分(图2)。

数据上传接口主要输入当日平均气温数据及当日预测未来10 d全国范围累计降雨量数据;血吸虫病传播指数和高程数据已包含在数据库内,无需实时计算上传。在数据窗口下部为选择预测模型种类窗口,可选择各种模型,如图所示选择GLM模型。

1.2 数据可视化 图形可视化主要包括全国降雨量显示地图、全国温度显示地图及血吸虫病扩散风险地图。可观察降雨量与温度变化导致的血吸虫病疫情风险变化。图2为导入数据前,全国开展钉螺调查的县级区域血吸虫病扩散风险。



注:审图号:GS(2021)747号。

Note: Map content approval number: GS(2021)747.

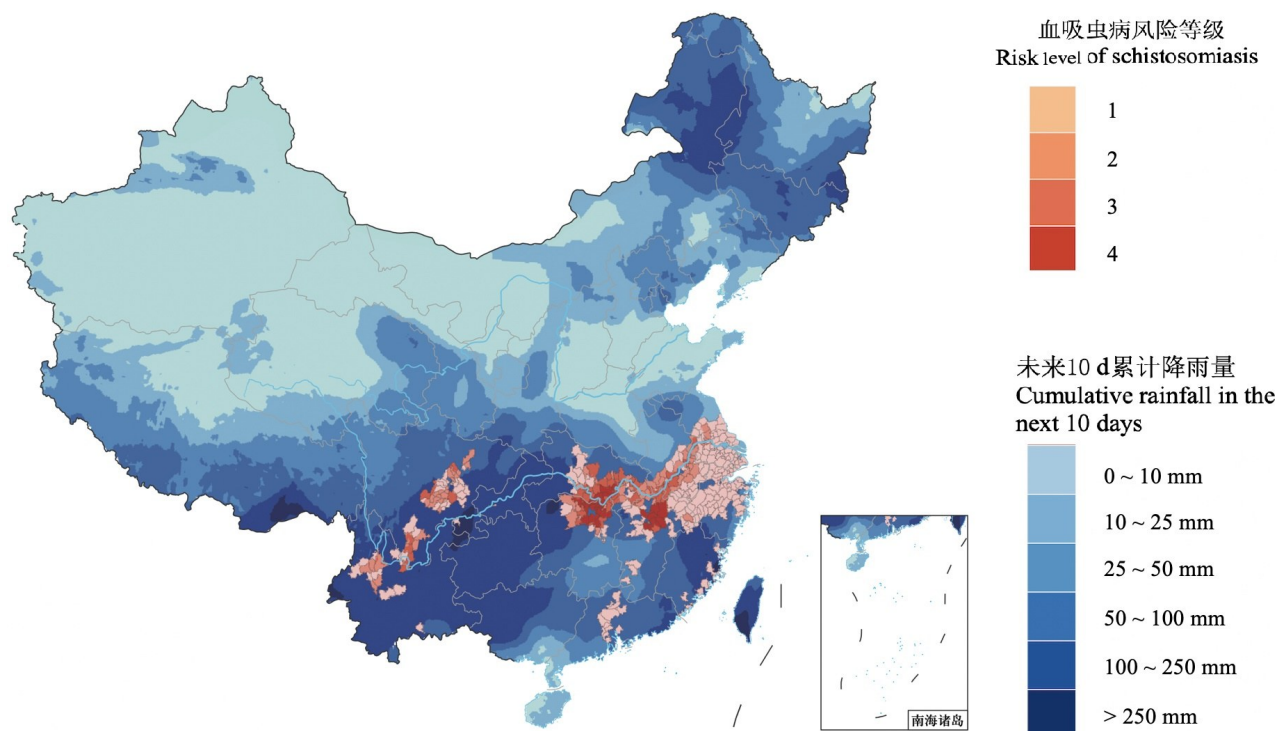
图2 洪水期间血吸虫病传播预警系统

Fig. 2 The schistosomiasis forecast system during the flood period

2 应用展示

本研究输入2018年7月2日预测的未来10 d全国累积降雨量及气温后,预测结果主要包含降雨量及血吸虫病风险等级(图3),可看出南方汛情主要集中在西南及东南沿海地区,降雨量较大。血吸虫病传播风险根据钉螺孳生概率分为4个风险等级,云南省、

四川省、湖南省、湖北省、安徽省和江西省等血吸虫病流行省份风险等级为4;而江苏省、浙江省和广东省等血吸虫病流行省份风险等级为1。对该数据预测效果进行评估,ROC曲线下面积(AUC) = 0.84,模型预测效果较好。



注:审图号:GS(2021)747号。

Note: Map content approval number: GS (2021) 747.

图3 2018年7月2日血吸虫病传播风险地图

Fig. 3 Schistosomiasis transmission risk map on July 2, 2018

讨 论

洪水可促进钉螺转移,增加血吸虫病传播扩散的风险^[5]。1998年长江流域洪涝灾害即导致了血吸虫病传播扩散,急性血吸虫感染患病人数增加^[7]。关于血吸虫病传播风险已有大量研究,如通过钉螺生物学模型估计血吸虫病传播指数模型来反映血吸虫病的传播风险^[13];以及考虑极端条件(如最低气温)下钉螺存活率的影响,通过温度、降雨量、蒸发量及极端条件综合计算血吸虫病传播指数以准确反映血吸虫病疫情^[14]。研究表明,钉螺迁移扩散与植被、土地类型、高程及动物活动等有关,钉螺的孳生不仅要考虑温度、降雨,还需结合自然环境等因素的影响^[23],最后在研究血吸虫病传播风险时,钉螺的生存分布是血吸虫病传播的必要条件,但并不能直接反映血吸虫病风险,还需结合血吸虫病传播指数综合体现血吸虫病传播风险。另外,物种分布理论已经广泛用于寄生虫病风险预测研究,如疟疾、广州管圆线虫中间宿主福寿螺分布等^[24-25]。本研究尝试将物种分布模型嵌入洪涝灾害期间血吸虫病预警系统中。虽然已有研究利用

血吸虫病传播指数与气象资料预测血吸虫病传播风险,但研究主要内容还处于理论推导阶段,并没有考虑到钉螺分布的现场调查数据,亦未考虑洪水因素的影响^[26]。本研究开发的预警系统基于全国范围钉螺现场调查资料,能够反映钉螺分布的实际情况,同时考虑了血吸虫病的传播指数,反映出血吸虫病的传播风险;同时由于引入了每日更新的气象数据,可实时预警长江流域洪水期间血吸虫病传播风险,尤其在特大洪水期间,可根据实时汛情不间断做出精确的指向性应对。本研究结果显示,在云南省、四川省、湖南省、湖北省、安徽省及江西省血吸虫病传播风险较大,与钉螺分布一致;同时利用2018年现场调查数据进行验证,AUC为0.84,模型预测效果较好。江苏省、云南省、四川省、湖南省、湖北省、安徽省及江西省等地血吸虫病疫情已得到控制,但在洪水期间仍需密切监测^[27]。实时动态的血吸虫病疫情监测预警系统在应对血吸虫病进一步传播扩散中具有一定的实用价值。

洪水期间水位较高且持续时间长,钉螺繁殖、发育都会受影响,在洪水后的1~2年,钉螺数量会减少、密度亦会降低^[28]。但洪水对血吸虫病传播的主要

影响在于使钉螺向无螺地区扩散,形成新的钉螺孳生地,并迅速繁殖^[29]。因此,总体而言,洪水会导致钉螺数量先减小后增加。本预警系统尚未考虑洪水地区水淹情况,且钉螺在新环境中繁殖特性难以用模型推测,故需加入钉螺生长繁殖特性因素后开展进一步研究。

本研究建立了一种基于洪水信息的血吸虫病传播风险预警系统。利用物种分布模型,纳入影响钉螺分布的温度、降雨量等因素及血吸虫病传播指数等因素,结合现场钉螺调查数据预测血吸虫病传播风险具有一定的可靠性与科学性,且操作简单、简洁直观,为及时应对洪水期间血吸虫病传播风险提供了技术支持。

【参考文献】

- [1] Yi H, Si L, Xia C, et al. Assessment of the national schistosomiasis control program in a typical region along the Yangtze River, China [J]. *Int J Parasitol*, 2017, 47(1): 21-29.
- [2] 张利娟, 徐志敏, 郭婧怡, 等. 2018年全国血吸虫病疫情通报[J]. *中国血吸虫病防治杂志*, 2019, 31(6): 576-582.
- [3] 李石柱, 许静, 汪天平, 等. 弘扬新时期血防精神 推进血吸虫病消除进程[J]. *中国血吸虫病防治杂志*, 2019, 31(1): 1-13.
- [4] Stensgaard AS, Vounatsou P, Sengupta ME, et al. Schistosomes, snails and climate change: Current trends and future expectations [J]. *Acta Trop*, 2019, 190: 257-268.
- [5] 曹淳力, 李石柱, 周晓农. 特大洪涝灾害对我国血吸虫病传播的影响及应急处置[J]. *中国血吸虫病防治杂志*, 2016, 28(6): 618-623.
- [6] 王晓可, 陈金生, 何爱军. 洪水溃堤地区血吸虫病疫情变化趋势[J]. *中国血吸虫病防治杂志*, 2008, 20(3): 227, 229.
- [7] 涂萍桂. 洪涝灾害对血吸虫病流行的影响[J]. *公共卫生与预防医学*, 2009, 20(4): 48-49.
- [8] 胡雪军, 董罡. 洪涝灾害对血吸虫病流行的影响[J]. *中华灾害救援医学*, 2015, 3(12): 701-704.
- [9] 吕山, 吕超, 李银龙, 等. 阻断血吸虫病传播策略与措施专家共识[J]. *中国血吸虫病防治杂志*, 2021, 33(1): 10-14.
- [10] 许静, 胡薇, 杨坤, 等. “十四五”期间我国血吸虫病防治重点及研究方向[J]. *中国血吸虫病防治杂志*, 2021, 33(1): 1-6.
- [11] 单晓伟, 刘建兵, 蔡顺祥, 等. 湖北省重点水域血吸虫病监测预警信息平台的建立[J]. *中国血吸虫病防治杂志*, 2016, 28(2): 125-127, 145.
- [12] 张友, 宦华敏, 陈志华, 等. 长江沿岸江滩血吸虫感染实时监测预警平台的构建[J]. *中国血吸虫病防治杂志*, 2013, 25(6): 581-584.
- [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(2): 66-70.
- [14] 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(2): 250-256, 482.
- [15] Moraga P. SpatialEpiApp: A shiny web application for the analysis of spatial and spatio-temporal disease data [J]. *Spat Spatiotemporal Epidemiol*, 2017, 23: 47-57.
- [16] Johnson EE, Escobar LE, Zambrana-Torrel C. An ecological framework for modeling the geography of disease transmission [J]. *Trends Ecol Evol*, 2019, 34(7): 655-668.
- [17] Escobar LE, Craft ME. Advances and limitations of disease biogeography using ecological niche modeling [J]. *Front Microbiol*, 2016, 7: 1174.
- [18] Di Cola V, Broennimann O, Petitpierre B, et al. Ecospat: an R package to support spatial analyses and modeling of species niches and distributions [J]. *Ecography (Cop.)*, 2017, 40(6): 774-787.
- [19] 胡小康, 郝瑜婉, 夏尚, 等. 基于生态位模型的云南省血吸虫病传播风险探测研究[J]. *中国寄生虫学与寄生虫病杂志*, 2020, 38(1): 80-86, 94.
- [20] 段居琦, 周骥, 黄大鹏, 等. 基于最大熵模型的中国血吸虫病传播风险评估[J]. *气象科技*, 2019, 47(3): 520-525.
- [21] Weng SF, Reps J, Kai J, et al. Can machine-learning improve cardiovascular risk prediction using routine clinical data? [J]. *PLoS One*, 2017, 12(4): e0174944.
- [22] Wakefield ED, Owen E, Baer J, et al. Breeding density, fine-scale tracking, and large-scale modeling reveal the regional distribution of four seabird species [J]. *Ecol Appl*, 2017, 27(7): 2074-2091.
- [23] 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(5): 262-265.
- [24] 李晓恒, 高世同, 顾文彪, 等. 淡水螺类三旋丽卷螺的物种鉴定及其潜在适生区分析[J]. *中国血吸虫病防治杂志*, 2015, 27(3): 268-272.
- [25] Peterson AT, Shaw J. *Lutzomyia* vectors for cutaneous leishmaniasis in Southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distributions, and climate change effects [J]. *Int J Parasitol*, 2003, 33(9): 919-931.
- [26] 王岩, 刘加珍, 陈永金. 传播指数模型用于山东省血吸虫病流行风险预测[J]. *环境卫生学杂志*, 2015, 5(3): 215-218, 225.
- [27] 陈登, 闻礼永. 长江流域钉螺起源分布及扩散的时空变化[J]. *中国血吸虫病防治杂志*, 2017, 29(6): 802-806.
- [28] 张功华, 张世清, 汪天平, 等. 长江洪水中日本血吸虫尾蚴分布及其对人群血吸虫感染的影响[J]. *热带病与寄生虫学*, 2006, 4(1): 20-22, 46.
- [29] 张世清, 汪天平, 葛继华, 等. 洪涝灾害对安徽省钉螺扩散的影响[J]. *热带病与寄生虫学*, 2004, 2(2): 90-94.

【收稿日期】 2020-08-13 【编辑】 朱宏儒