华南地区温度变化及其对登革热传播时间的影响*

杜尧东[1**] 吴晓绚[2] 王 华[1]

([1]广东省气候中心, 广州 510080; [2]广州市气候与农业气象中心, 广州 511430)

摘 要 根据华南地区110个气象站1961—2012年的逐日气温资料,以及RegCM4区域气候模式RCP情景下未来逐日气温预估数据,采用Ross-Macdonald疾病传播动力学模型、线性趋势分析、累积距平、五日滑动平均等方法和ArcGIS技术,研究了华南地区温度变化及其对登革热传播时间的影响。结果表明:21 ℃可作为适宜登革热传播的下限温度指标,1961—2012年华南地区年平均气温以0.14 ℃·10 a^{-1}的速率显著上升,1997年发生了突变;与1981—2010年平均值相比,2020s、2050s和2080s华南地区温度增幅在RCP4.5情景下分别为0.8、1.3和1.7 ℃,RCP8.5情景下分别为0.9、1.7和2.9 ℃;气温突变后(1997—2012年)全年适于登革热传播的日数、终年流行区面积分别较突变前(1961—1996年)增加了10 d和408 km^2;与1997—2012年平均值相比,2020s、2050s和2080s全年适于登革热传播的日数在RCP4.5情景下分别增加了10、15和20 d,RCP8.5情景下分别增加了15、25和40 d,终年流行区面积在RCP4.5情景下分别增加了3962、5436和8260 km^2,RCP8.5情景下分别增加了4536、8780和20680 km^2。

关键词 温度变化; 登革热; RCP情景; 传播时间; 华南

中图分类号 R512.8 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2015)11-3174-08

Change in temperature in South China and its impact on the potential epidemic duration of dengue fever. DU Yao-dong[1**], WU Xiao-xuan[2], WANG Hua[1] ([1]*Climate Center of Guangdong Province*, *Guangzhou* 510080, *China*; [2]*Climate & Agricultural Meteorological Center of Guangzhou*, *Guangzhou* 511430, *China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2015, **34**(11): 3174-3181.

Abstract: Based on the daily temperature data of 110 meteorological stations from 1961 to 2012, and future projection by the RegCM4 regional climate model under RCP (representative concentration pathways) scenarios, change in temperature in South China and its impact on the potential transmission duration of dengue fever were studied by using the methods of Ross-Macdonald transmission dynamical model of diseases, linear regression, accumulative anomaly and ArcGIS. The results showed that 21 ℃ could be used as the minimum temperature suitable for dengue fever transmission. The annual mean air temperature had increased significantly by 0.14 ℃ per decade during the past 52 years, and an abrupt change in annual mean air temperature happened in 1997. Compared to the 30-year average in the period of 1981-2010, annual mean temperatures in South China in the 2020s, 2050s and 2080s will likely increase by 0.8, 1.3 and 1.7 ℃ under RCP4.5 scenario, and 0.9, 1.7 and 2.9 ℃ under RCP8.5 scenario, respectively. The annual mean days suitable for dengue fever transmission and area of year-round epidemic zone increased by 10 days and 408 km^2 during the period of 1997-2012 compared to those during the period of 1961-1996. Compared to the average in the period of 1997-2012, the annual mean days suitable for dengue fever transmission in 2020s, 2050s and 2080s will likely increase by 10, 15 and 20 days under RCP4.5 scenario, and 15, 25 and 40 days under RCP8.5 scenario, respectively, and the areas of year-round epidemic zone will likely correspondingly increase by 3962, 5436 and 8260 km^2 under RCP4.5 scenario, and 4536, 8780 and 20680 km^2 under RCP8.5 scenario, respectively.

Key words: temperature change; dengue fever; RCP scenarios; epidemic duration; South China.

* 中国气象局气候变化专项(CCSF201404,CCSF201211,CCSF201307)和广东省科技专项(2013A020229005)资助。

** 通讯作者 E-mail: yddu@grmc.gov.cn

收稿日期: 2015-06-10 接受日期: 2015-07-08

登革热(dengue fever)是登革病毒引起,经伊蚊传播的急性传染病,主要分布于热带和亚热带的国家和地区。伊蚊对温度极为敏感,温度的上升可通过扩大伊蚊地理分布范围,延长伊蚊活动时间,提高伊蚊繁殖速度,增加伊蚊叮咬率,缩短病原体潜伏期而加速登革热的传播(Morin *et al.*,2013)。近百年(1880—2012 年)全球平均地表温度上升了 0.85 ℃(IPCC,2013),在过去 50 年,登革热全球发病率大约增加了 30 倍(Guzman *et al.*,2010)。目前,每年全球约有 50 万例登革热患者,造成大约 2.5 万人死亡(Hales *et al.*,2002)。登革热日益成为严重的全球性公共卫生问题(张复春,2011;Murrell *et al.*,2011)。

华南位于欧亚大陆南端,濒临南海,属热带亚热带气候区,高温高湿的气候条件适合登革热传播媒介繁殖,是登革热流行高风险地区(鲁亮等,2010)。自 1978 年中国首次在广东省佛山市暴发登革热疫情以来,华南地区曾不断发生登革热的流行。20 世纪 80 年代初期和中期,海南省先后发生两起大规模的登革热流行,病例数分别达 44 万和 16 万多例(黎正伦,1994)。1986 年广东广西登革热流行病例近 12 万,1987 年广东登革热流行病例近 3 万(吴德仁等,2009)。2014 年广东省再次暴发登革热疫情,病例数 4.5 万多例。关于气候条件与登革热的关系国内外已有诸多研究。在墨西哥暖湿地区,最低气温的升高与登革热的发生呈正相关(Colón-Gonzlez *et al.*,2011)。在洪都拉斯,高的降雨率能增加登革热发生的可能性,并且累计降雨量与登革热发生率之间也有一定的相关关系(Zambrano *et al.*,2012)。在菲律宾大马尼拉地区,降雨模式是影响大马尼拉地区登革热发病的因素(Su,2008)。在越南中部,高的相对湿度会增加登革热发病的风险(Pham *et al.*,2011)。在广东省,登革热发病病例多集中在高温多雨伊蚊媒介滋生高峰的夏秋季(易彬樘等,2003)。在委内瑞拉,厄尔尼诺时期,登革热的发病率比平均发病率低 14%,而拉尼娜时期,登革热的发病率比平均发病率高 9%(Herrera-Martinez *et al.*,2010)。但是,上述研究多集中在气候条件短期变异和季节性变化对登革热发病影响方面,关于气候的长期变化,尤其是未来气候变化对登革热流行潜势的影响方面研究报道较少。有学者利用假设的温度增幅和 IPCC SRES 情景下中国平均的温度增幅分析了气候变暖对海南省登革热流行潜势的影响(陈文江等,2002;俞善贤等,2005)。但是,假设的温度增幅与温室气体的强迫没有直接的关联,容易产生不切实际的情景,SRES 情景没有考虑应对气候变化的各种政策对未来排放的影响。IPCC 为第五次评估报告开发了一套代表性浓度路径情景(representative concentration pathways,RCP)。不同于以前以减排为主要考虑变量的情景,RCP 是根据大气辐射强度来设定情景,这也是从比较科学的角度出发并着眼于适应的策略(Moss *et al.*,2009)。本文利用最新的气象观测数据和 IPCC RCP 情景预估数据,分析华南全年适于登革热传播的时间变化,探讨气候变暖对华南地区登革热流行潜势已有的和未来可能的影响,为更好地监测和防治登革热提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

华南地区位于中国南部(104°29′ E—117°50′ E、3°58′ N—26°23′ N),包括广东、广西和海南,陆地总面积约 44.96 万 km^2,属热带、亚热带季风区,气候温暖湿润,雨热同季。1961—2012 年,华南地区年平均气温 21.4 ℃,变动范围 20.5~22.3 ℃,年平均降水量 1900.2 mm,变动范围 1226.7~2051.3 mm。

1.2 研究资料

观测资料为华南区域气候中心整编、通过均一性检验的华南 110 个气象站逐日气温资料。代表站采用三步筛选:(1)各站建站年代参差不齐,本着使所建时间序列尽可能长、入选站点尽可能多的原则,选取 1961 年及以前建站的站点,排除 1962 年及更晚建站的测站;(2)进行标准正态均一性检验(Tuomenvirta *et al.*,1997),没有通过检验的,予以剔除;(3)剔除 52 年间站点变动较大的测站(迁站超过 2 次的予以剔除)。共剔除 82 个,剩余 110 个气象站。资料的时段为 1961 年 1 月 1 日—2012 年 12 月 31 日。

RCP 情景预估数据为中国国家气候中心研究人员使用国际理论物理研究中心的区域气候模式 RegCM4,单向嵌套 BCC_CSM1.1 全球气候系统模式输出的 RCP4.5 和 RCP8.5 情景下的逐日平均气温数据(吉振明,2012)。文中把 1981—2010 年作为参照时段,2013—2040 年作为 2020s,2041—2070 年作为 2050s,2071—2100 作为 2080s。RCP8.5 为 CO_2 排放的高端路径,其辐射强迫高于 SRES 中高排

放(A2)情景和化石燃料密集型(A1FI)情景,到2100年温室气体浓度大于 1370×10^{-6} CO_2 当量。RCP4.5为中间稳定路径,2100年以后温室气体浓度稳定为 650×10^{-6} CO_2 当量。

1.3 研究方法

根据 Ross-Macdonald 疾病传播动力学理论及其数学模型(吴开琛,2004),将其中的感染蚊的传染性寿命 $P^n/(-\ln P)$ 的概念应用于适宜蚊媒疾病传播的最低温度的推算。以感染蚊的传染性寿命 $(P^n/-\ln P)\geqslant1$ d时所需的温度作为登革热适宜传播的最低温度。有传染性寿命指的是受感染蚊经过外潜伏期(n 天)而具有感染性后,继续延续的寿命。$P^n/(-\ln P)$ 有两部分组成,即蚊虫的预期寿命 $1/(-\ln P)$ 和受感染蚊虫经过 n 天后仍存活的概率或比率 P^n。有传染性寿命与媒介蚊虫传播疾病的效能有密切正相关。有传染性寿命的长短取决于蚊虫的日存活率(P)和感染蚊的外潜伏期天数(n),其中,n 主要取决于温度,在适宜的温度范围内,温度越高,n 就越小。根据 Watts 等(1987)的实验,计算埃及伊蚊体内登革热病毒发育时间 n 与温度 T 之间的关系式为:

$$n=K/(T-C)=165.2/(T-11.8) \quad (1)$$

式中,K 为登革热病毒在蚊体内发育成熟所需的有效积温 165.2 ℃,C 为病毒在蚊体内发育所需的最低温度 11.8 ℃。

给定伊蚊的日存活率 P,有传染性寿命 $P^n/(-\ln P)\geqslant1$ d的温度即为适宜登革热传播的最低温度。

采用线性趋势分析法、累积距平和 t-检验(魏凤英,2007)研究气温的变化趋势和突变特征。采取五日滑动平均法(王树廷,1982)确定各地逐年日平均气温稳定通过登革热传播最低温度的初始、终止日期。终止日期与初始日期的差值,即为全年适于登革热传播的天数。某个时段内所有年份适于登革热传播天数的算术平均,作为该时段适于登革热传播天数的平均值。

利用 Excel 绘制温度的时间变化图,Surfer 绘制全年适宜登革热传播日数的空间分布图,ArcGIS 绘制和计算终年流行区北界、面积的变化。

2 结果与分析

2.1 适宜登革热传播的最低温度的推算

根据式(1),给定伊蚊的日存活率 P,可以计算出不同温度和蚊虫日存活率下,感染蚊的传染性寿命(表1)。由表1可以看出,蚊虫日存活率越大,感染蚊的传染性寿命≥1 d 的温度越低,蚊虫日存活率为 0.87、0.88、0.89、0.90 和 0.91 时,感染蚊的传染性寿命≥1 d 的温度分别为 24、22、21、20 和 19 ℃。Focks 等(1995)在登革热模型研究中日存活率 P 值取为 0.89。如果 P 值取值 0.89,则适于登革热传播的最低温度为 21 ℃。

2.2 华南地区年平均气温的变化特征

2.2.1 1961—2012年年平均气温的变化 1961—2012年,华南地区年平均气温以 0.14 ℃ · 10 a^{-1} 的速率呈显著($P<0.001$)的上升趋势(图1),52年来增加了 0.73 ℃。由年平均气温序列的累积距平可以看出,1996年出现了累积距平的最小值(图1),对1961—1996年和1997—2012年华南年平均气温进行 t 检验,结果表明,$|t_0|=5.7960>t_a=0.001$,通过了 $\alpha=0.001$ 的信度水平检验,这说明,近52年华南地区的年平均气温于1997年发生了突变,突变后(1997—2012年)较突变前(1961—1996年)华南地区的年平均气温升高了 0.55 ℃。

2.2.2 未来时段年平均气温的变化 从图2可见,华南地区未来时段(2013—2099年)的年平均温度呈明显上升趋势,RCP8.5 和 RCP4.5 情景下年平均气温的变化速率分别为 0.34 和 0.13 ℃ · 10 a^{-1},且都通过了 0.01 的显著性水平检验。中国气候观测资料显示,近100年平均温度线性变化趋势为 0.5~0.8 ℃ · 100 a^{-1}(第二次气候变化国家评估报告编

表1 不同温度和蚊虫日存活率下感染蚊的传染性寿命(d)

Table 1 Infectious life of infected mosquitoes under different temperatures and mosquito's daily survival rates

蚊虫日存活率	寿命(d)								
	18 ℃	19 ℃	20 ℃	21 ℃	22 ℃	23 ℃	24 ℃	25 ℃	26 ℃
0.87	0.18	0.29	0.43	0.59	0.75	0.92	1.09	1.26	1.42
0.88	0.26	0.42	0.60	0.79	0.99	1.19	1.39	1.58	1.77
0.89	0.38	0.59	0.82	1.06	1.30	1.54	1.77	2.00	2.21
0.90	0.57	0.85	1.14	1.43	1.72	2.01	2.28	2.54	2.79
0.91	0.86	1.22	1.59	1.95	2.30	2.64	2.96	3.26	3.54

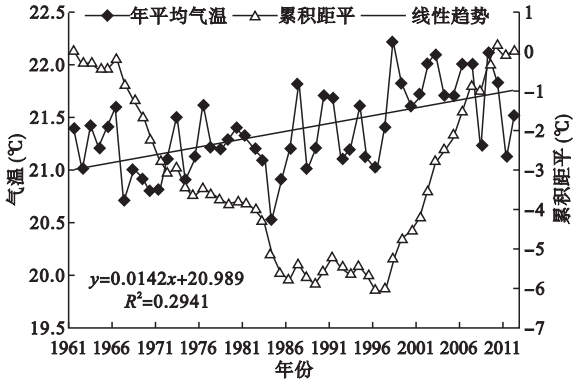


图 1 1961—2012 年华南地区年平均气温及其累积距平的变化

Fig.1 Annual mean air temperature and cumulative anomaly during 1961-2012 in South China

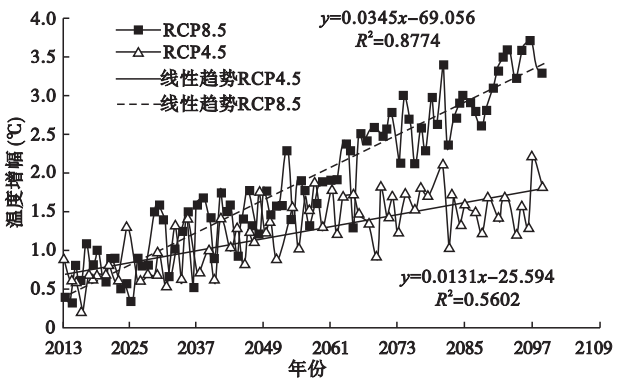


图 2 华南地区未来时段年平均气温增幅相对参照时段平均值的年际变化

Fig.2 Annual mean temperature rise amplitude in the future in South China compared to the reference period (1981—2010)

写委员会,2011),与其相比,未来华南地区升温趋势为现在时段的 2~7 倍。而近 60 年来(1951—2009 年)中国平均温度升温趋势为 0.23 ℃ · 10 a^{-1}(第二次气候变化国家评估报告编写委员会,2011),与此相比,未来 RCP4.5 情景下升温趋势是其 1/2,RCP8.5 情景下升温趋势是其 1.5 倍。RCP8.5 情景下 2020s、2050s 和 2080s 的增幅分别为 0.9、1.7 和 2.9 ℃。RCP4.5 情景下增幅明显低于 RCP8.5 情景,2080s 时段增幅为 1.7 ℃,相当于 RCP8.5 情景下 2050s 时段的温度增幅(表 2)。值得注意的是,RCP4.5 与 RCP8.5 情景下温度增幅变化在 2020s 时段相差较小,随着时间的增加温度增幅差异越来越大。

2.3 全年适于登革热传播时间的变化

2.3.1 气温突变前、后适于登革热传播时间的变化 气温突变前,华南地区全年适于登革热传播的日数平均为 200 d 左右,呈南多北少的空间分布格局,传播日数高值区在海南,年传播日数在 240 d 以上,三亚全年均适于登革热传播;广东西部、广西南部年传播日数在 210~250 d,广东中部、广西中南部年传播日数在 200~210 d,广东中北部、广西中北部年传播日数在 170~200 d,而广西桂林以北地区,年传播天数在 170 d 以下,其中广西资源最少,为 130 d 左右(图 3)。

表 2 RCP 情景下华南地区未来不同时段温度增幅

Table 2 Temperature rise amplitude in the future period of time in South China under RCP scenarios

情景	相对于 1981—2010 年的温度增幅(℃)		
	2020s	2050s	2080s
RCP4.5	0.8	1.3	1.7
RCP8.5	0.9	1.7	2.9

气温突变后,华南地区全年适于登革热传播的日数平均为 210 d 左右,较突变前增加了 10 d,仍呈南多北少的空间分布格式。海南年日数增加到 250 d 以上;广东西部及沿海地区、广西南部年日数在 220~260 d;广东中部、广西中南部年日数在 210~220 d;广东北部、广西中北部年传播日数在 180~210 d;广西桂林以北年传播日数在 150~210 d,广西资源的年传播日数也从 130 d 左右增加到 150 d 左右(图 3)。

2.3.2 未来时段适于登革热传播时间的变化 在 RCP4.5 情景下,华南地区全年适于登革热传播的日数 2020s 时段平均为 220 d 左右,较 1997—2012 年增加 10 d 左右。海南年传播日数增加到 260 d 以上;广东西部及沿海地区、广西南部年传播日数在 230~260 d;广东中部、广西中南部年传播日数在 220~230 d;广东北部、广西中北部年传播日数在 190~220 d;广西桂林以北年传播日数在 150~190 d。2050s 时段传播日数平均为 225 d 左右,较 1997—2012 年增加 15 d 左右。海南年传播日数增加较明显,在 280 d 以上;广东西部及沿海地区、广西南部年传播日数在 230~270 d;广东中部、广西中南部年传播日数在 220~230 d;广东北部、广西中北部年传播日数在 190~220 d;广西桂林以北年传播日数在 150~190 d。广东、广西中北部的增加日数较不明显。2080s 时段传播日数平均为 230 d 左右,较 1997—2012 年增加 20 d 左右。海南年传播日数增加到 290 d 以上;广东西部及沿海地区、广西南部年传播日数在250~290 d;广东中部、广西中南部年

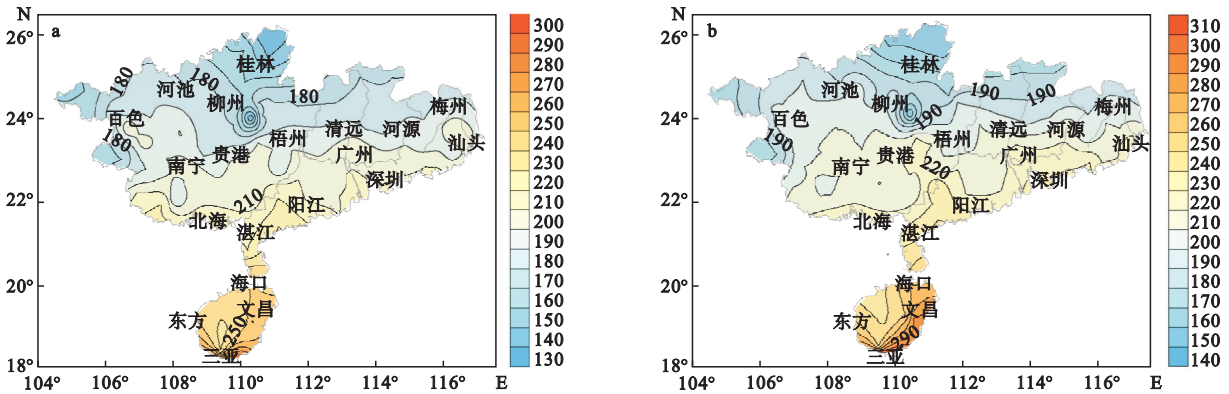


图 3 华南地区全年适宜登革热传播日数的空间分布示意图

Fig.3 Spatial distribution of annual mean days of suitable for dengue fever transmission in South China

a.气温突变前(1961—1996), b.气温突变后(1997—2012)。

传播日数在 230~250 d;广东北部、广西中北部年传播日数在 200~230 d;广西桂林以北年传播日数增加到 160 d 以上(图 4)。

在 RCP8.5 排放情景下(图 5),气候变暖的幅度较 RCP4.5 情景下显著,各时段适于登革热传播日数的增加也愈加明显。华南地区全年适于登革热传播日数 2020s 时段平均为 225 d 左右,较 1997—2012 年增加 15 d 左右。海南年传播日数增加到 280 d 以上,三亚、陵水为全年传播;广东西部及沿海地区、广西南部年传播日数在 230~270 d;广东中部、广西中南部年传播日数在 220~230 d;广东北部、广西中北部年传播日数在 190~220 d;广西桂林以北年传播日数在 150~190 d 间。2050s 时段传播日数平均为 235 d 左右,较 1997—2012 年增加 25 d 左右。海南年传播日数在 290 d 以上,万宁以南转变为全年传播区;广东西部及沿海地区、广西南部年传播日数在 240~290 d;广东中部、广西中南部年传播日数在 220~240 d;广东北部、广西中北部年传播日数在 200~220 d;广西桂林以北年传播日数在 160~200 d。2080s 时段传播日数平均为 250 d 左右,较 1997—2012 年增加 40 d 左右。海南年传播日数增加到 320 d 以上,琼海-五指山一带以南为全年传播区;广东西部及沿海地区、广西南部年传播日数在 260~320 d;广东中部、广西中南部年传播日数在 240~260 d;广东北部、广西中北部年传播日数在 210~240 d;广西桂林以北年传播日数增加到 180 d 以上。

2.3.3 终年流行区的变化 目前海南省南部地区,全年适宜登革热传播日数已达 365 d(终年流行区),随着气候变暖,终年流行区的面积将不断扩大。由于达到终年流行条件的地区主要在海南省,因此,本文分析了气候变暖对海南省不同时期终年流行区变化的影响(图 6、表 3)。从图 6 和表 3 可以看出,气温突变前(1961—1996 年)终年流行区北界在三亚,面积仅 272 km^2,气温突变后(1997—2012 年)终年流行区北界已越过三亚,面积增加到 680 km^2。2020s 终年流行区北界已达乐东-保亭-陵水,终年流行区面积 RCP4.5、RCP8.5 下分别增加到 4642 和 5216 km^2。2050s 终年流行区北界已越过乐东-保亭-陵水,终年流行区面积 RCP4.5、RCP8.5 下分别增加到 6116 和 9460 km^2。2080s 终年流行区北界已达东方-通什-万宁,终年流行区面积 RCP4.5、RCP8.5 下分别增加到 8940 和 21360 km^2。

表 3 海南省不同时期终年流行区面积的变化

Table 3 Area of year-round epidemic zone in different periods in Hainan Province

情景	面积(km^2)				
	突变前	突变后	2020s	2050s	2080s
RCP4.5	272	680	4642	6116	8940
RCP8.5	272	680	5216	9460	21360

3 讨 论

3.1 适宜登革热传播的最低温度

本文得出 21 ℃为适宜登革热传播的下限温度指标。此指标温度是埃及伊蚊日存活率 $P=0.89$ 情况下适合于登革热传播的最低温度,也是感染蚊虫有传染性寿命 $[P^n/(-\ln P)]\geq 1$ d 时所需的温度。这与陈文江等(2002)的推算结果相一致,也与肖方震等(2012)在人工气候箱模拟条件下,温度对白纹伊蚊传播登革病毒易感性影响的研究结果相一致。人工气候箱模拟温度下,18 ℃下病毒能够感染白纹

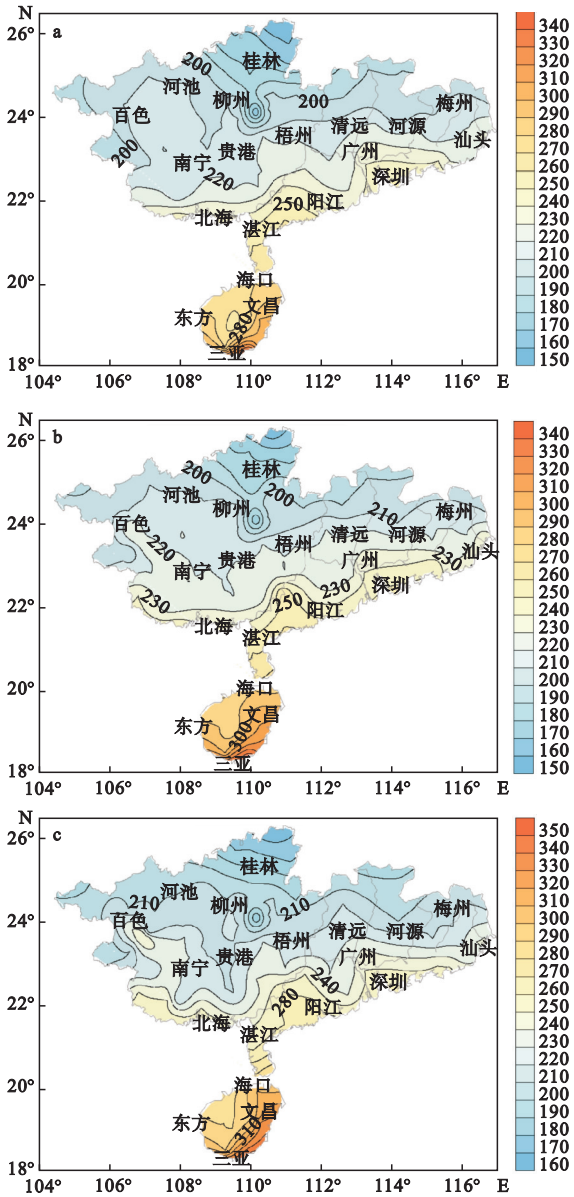


图 4 RCP4.5 情景下华南地区全年适宜登革热传播日数的空间分布示意图

Fig.4 Spatial distribution of annual mean days of suitable for dengue fever transmission in South China under RCP4.5 scenarios

a.2020s; b.2050s; c.2080s。

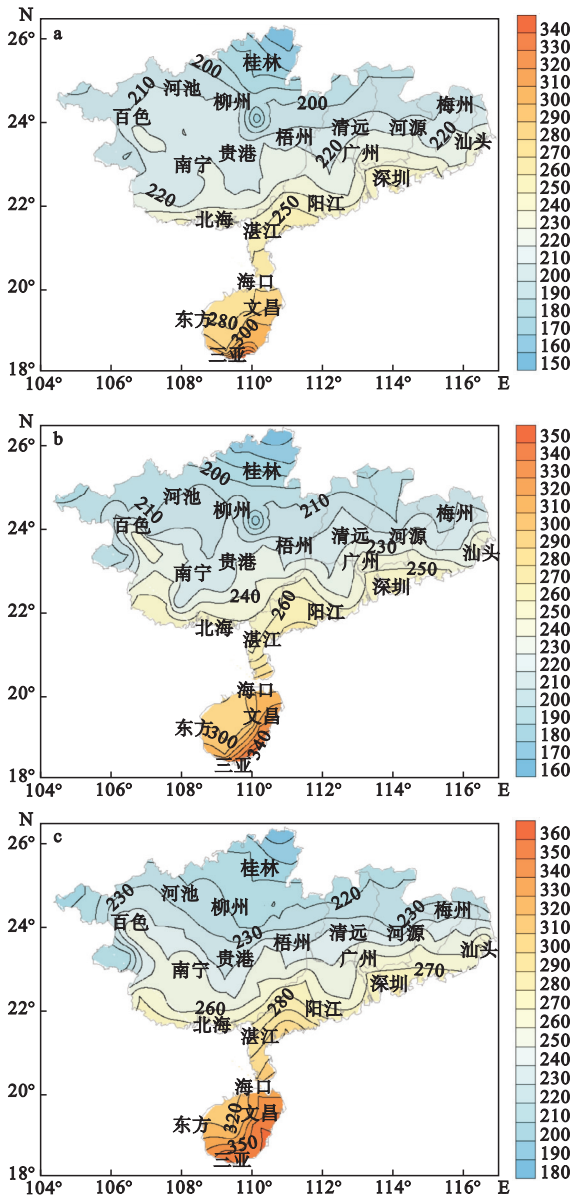


图 5 RCP8.5 情景下华南地区全年适宜登革热传播日数的空间分布示意图

Fig.5 Spatial distribution of annual mean days of suitable for dengue fever transmission in South China under RCP8.5 scenarios

a.2020s; b.2050s; c.2080s。

伊蚊,但感染率仅为 8%,而且病毒不能到达伊蚊唾液腺,认为 18 ℃下白纹伊蚊并不传播登革病毒。21 ℃下经过一定的外潜伏期,病毒在伊蚊唾液腺中检出,表明病毒到达唾液腺并大量繁殖,蚊虫具有传播登革病毒的能力(肖方震等,2012)。

3.2 华南地区年平均气温的变化

本研究发现,华南地区年平均气温已显著上升,未来气温将继续上升,这与全球、全国和中国其他地区的研究结果相一致,但升温速率的大小有所不同。全球 1951—2012 年升温速率为 0.12 ℃ · 10 a^{-1}(IPCC,2013),全国 1951—2009 年升温速率为 0.25 ℃ · 10 a^{-1}(第二次气候变化国家评估报告编写委员会,2011),新疆、西北、东北和华北地区 1961—2010 年的升温速率分别为 0.32、0.27、0.35 和 0.36 ℃ · 10 a^{-1}(Guo *et al.*,2013;Jiang *et al.*,2013;Sun *et al.*,2013;Zhao *et al.*,2013),华中、华东和西南地区分别为 0.15、0.14 和 0.12 ℃ · 10 a^{-1}(Hou *et al.*,2013;Ma *et al.*,2013;Wan *et al.*,2013)。本文得到的华

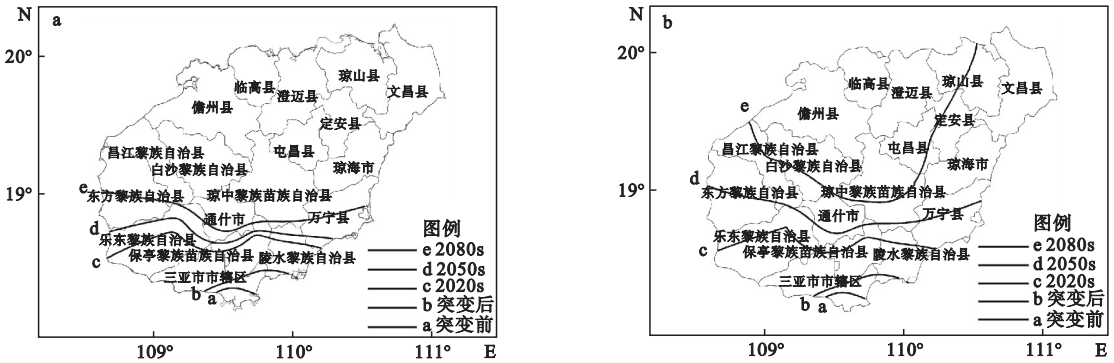


图 6 海南省不同时期终年流行区北界的变化

Fig.6 Northern boundary of year-round epidemic zone in different periods in Hainan Province

a.RCP4.5; b.RCP8.5。

南地区年平均气温升温速率为 0.14 ℃ · 10 a^{-1},低于新疆、西北、东北、华北地区和全国平均值,与华中、华东地区接近,但略高于全球和中国西南地区。RCP4.5、RCP8.5 情景下,到 21 世纪末,全球气温将上升 1.1~4.8 ℃(IPCC,2013),全国气温将上升 2.6~5.0 ℃(第二次气候变化国家评估报告编写委员会,2011),本文得出华南地区 21 世纪末年平均气温将上升 1.7~2.9 ℃,低于全国的气温上升幅度,介于全球气温上升幅度之间。华南地区年平均气温在 1997 年发生了突变,这与西南地区的云南(刘瑜等,2010)、广东省(陈新光等,2006)的研究结果相一致,但迟于东北、华北、西北、华中地区,东北、华北年平均气温在 20 世纪 80 年代中后期发生突变,西北、华中地区年气温在 20 世纪 90 年代前期发生了突变(向辽元等,2006)。升温速率和突变时间的不同,反映了不同区域对全球气候变化响应的差异性。

3.3 全年适于登革热传播时间和终年流行区的变化

本研究发现,气候变暖使华南地区全年适于登革热传播的日数增加,终年流行区北界向北移动。华南地区全年适于登革热传播的日数气温突变后(1997—2012 年)较突变前(1961—1996 年)平均增加了 10 d 左右,在 RCP4.5 和 RCP8.5 情景下,2020s、2050s 和 2080s 时段分别较 1997—2012 年增加 10~5、15~25 和 20~40 d。气温突变前(1961—1996 年)终年流行区北界在三亚,面积仅 272 km^2,气温突变后(1997—2012 年)终年流行区北界已越过三亚,面积增加到 680 km^2。2020s 终年流行区北界已达乐东-保亭-陵水,面积增加到 4642~5216 km^2。2050s 终年流行区北界已越过乐东-保亭-陵水,面积增加到 6116~9460 km^2。2080s 终年流行区北界已达东方-通什-万宁,面积增加到 8940~21360 km^2。这与陈文江等(2002)、俞善贤等(2005)的研究结果相一致。陈文江等(2002)研究发现,1997 年前三亚全年各月均适于登革热的传播,如果冬季月平均温度升高 1~2 ℃,海南省北部地区可能变为终年均适于登革热传播。俞善贤等(2005)研究指出,2020—2030 年假定冬季气温上升 1.0 ℃,终年流行区北界北移距离达 70~80 km,2050 年假定冬季气温上升 2.0 ℃,终年流行区北界北移最大距离高达 190 km 左右。此时,海南省半数以上的地区均已处于登革热流行风险区。

登革热是登革病毒引起,经伊蚊传播的急性传染病,伊蚊能否在当地定植及其繁殖代数的多少是影响登革热传播的重要因素,伊蚊能否定植及其繁殖代数除受温度影响外,还与降水、湿度、风速、日照等其他气象因素,以及社会环境、伊蚊滞育习性有关(丁德峻等,1991),有待今后进一步研究。

参考文献

陈文江, 李才旭, 林明和, 等. 2002. 海南省全年适于登革热传播的时间以及气候变暖对其流行潜势影响的研究. 中国热带医学, **2**(1): 31-34.

陈新光, 钱光明, 陈特固, 等. 2006. 广东气候变换若干特征及其对气候带变化的影响. 热带气象学报, **22**(6): 547-552.

第二次气候变化国家评估报告编写委员会. 2011. 第二次气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社.

丁德峻, 张旭晖, 赵勇进. 1991. 温度对我国中华按蚊世代分布及其传疟有效季节的影响. 生态学杂志, **10**(4): 52-57.

吉振明. 2012. 新排放情景下中国气候变化的高分辨率数值模拟研究(博士学位论文). 北京: 中国科学院研究生院.

黎正伦. 1994. 海南岛登革热和登革出血热// 海南省第二届

全省医学病毒学学术会议论文集. 海口: 82-85.
刘 瑜, 赵尔旭, 黄 玮, 等. 2010. 云南近 46 年降水与气温变化趋势的特征分析. 灾害学, **25**(1): 39-44.
鲁 亮, 林华亮, 刘起勇. 2010. 基于天气因素的我国登革热流行风险地图. 气候变化研究进展, **6**(4): 254-258.
王树廷. 1982. 关于日平均气温稳定通过各级界限温度初终日期的统计方法. 气象, (6): 29-30.
魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社.
吴德仁, 谢 平. 2009. 我国亚热带地区登革热流行概况. 应用预防医学, **15**(3): 190-192.
吴开琛. 2004. 疟疾数学模型和传播动力学. 中国热带医学, **4**(5): 873-877.
向辽元, 陈 星. 2006. 近 55 年中国大陆气温突变的区域特征和季节特征. 气象, **32**(6): 44-47.
肖方震, 张 仪, 何 以, 等. 2012. 温度对白纹伊蚊传播登革 2 型病毒易感性影响的研究. 中华实验和临床病毒学杂志, **26**(3): 186-188.
易彬橙, 张治英, 徐德忠, 等. 2003. 广东省登革热流行与气候因素变化的相关性. 第四军医大学学报, **24**(2): 143-146.
俞善贤, 李兆芹, 滕卫平, 等. 2005. 冬季气候变暖对海南省登革热流行潜势的影响. 中华流行病学杂志, **26**(1): 25-28.
张复春. 2011. 登革热: 一个日益严重的全球性公共卫生问题. 实用医学杂志, **27**(19): 3459-3461.
Colón-Gonzlez FJ, Lake IR, Bentham G. 2011. Climate variability and dengue fever in warm and humid Mexico. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, **84**: 757-763.
Focks DA, Daniels E, Haile DG, *et al*. 1995. A simulation model of the epidemiology of urban dengue fever: Literature analysis, model development, preliminary validation, and samples of simulation results. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, **53**: 489-506.
Guo WL, Shi HB, Ma JJ, *et al*. 2013. Basic features of climate change in North China during 1961-2010. *Advance in Climate Change Research*, **4**: 73-83.
Guzman A, Istúriz RE. 2010. Update on the global spread of dengue. *International Journal of Antimicrobial Agents*, **36**: 40-42.
Hales S, Dewet N, Maindonald J, *et al*. 2002. Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: An empirical model. *Lancet*, **360**: 830-834.
Herrera-Martinez AD, Rodríguez-Morales AJ. 2010. Potential influence of climate variability on dengue incidence registered in a western pediatric hospital of Venezuela. *Tropical Biomedicine*, **27**: 280-286.
Hou YL, Chen BD, Yang XC, *et al*. 2013. Observed climate change in East China during 1961-2007. *Advance in Climate Change Research*, **4**: 84-91.
IPCC. 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
Jiang YA, Chen Y, Zhao YZ, *et al*. 2013. Analysis on changes of basic climatic elements and extreme events in Xinjiang, China during 1961-2010. *Advance in Climate Change Research*, **4**: 20-29.
Ma ZF, Liu J, Zhang SQ, *et al* 2013. Observed climate changes in Southwest China during 1961-2010. *Advance in Climate Change Research*, **4**: 30-40.
Morin CW, Comrie AC, Ernst K. 2013. Climate and dengue transmission: Evidence and implications. *Environmental Health Perspective*, **121**: 1264-1272.
Moss R, Edmonds J, Hibbard K, *et al*. 2009. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, **463**: 747-756.
Murrell S, Wu SC, Butler M. 2011. Review of dengue virus and the development of a vaccine. *Biotechnology Advances*, **29**: 239-247.
Pham HV, Doan HT, Phan TT, *et al*. 2011. Ecological factors associated with dengue fever in a central highlands province, Vietnam. *Stochastic Environmental Research and Risk and Assessment*, **25**: 485-494.
Su GL. 2008. Correlation of climatic factors and dengue incidence in Metro Manila, Philippines. *Ambio*, **37**: 292-294.
Sun LD, Zhang CJ, Zhao HY, *et al*. 2013. Features of climate change in Northwest China during 1961-2010. *Advance in Climate Change Research*, **4**: 12-19.
Tuomenvirta H, Alexandersson H. 1997. Review on the methodology of the standard normal homogeneity test (SNHT). Budapest: Hungarian Meteorological Service.
Wan SQ, Gao Y, Zhou B, *et al*. 2013. Climate change facts in Central China during 1961-2010. *Advance in Climate Change Research*, **4**: 103-106.
Watts DM, Burke DS, Harrison BA, *et al*. 1987. Effects of temperature on the vector efficiency of *Aedes aegypti* for dengue 2 virus. *American Journal of Tropical Medicine & Hygiene*, **36**: 143.
Zambrano LI, Sevilla C, Reyes-Garcia SZ, *et al*. 2012. Potential impacts of climate variability on dengue hemorrhagic fever in Honduras, 2010. *Tropical Biomedicine*, **29**: 499-507.
Zhao CY, Wang Y, Zhou XY, *et al*. 2013. Changes in climatic factors and extreme climate events in Northeast China during 1961-2010. *Advance in Climate Change Research*, **4**: 92-102.

作者简介 杜尧东,男,1964 年生,博士,研究员,主要从事气候变化、应用气象和农业生态研究。E-mail: yddu@ grmc.gov.cn

责任编辑 李凤芹