

## 气候变化对登革热传播媒介影响研究进展

樊景春 刘起勇

【关键词】 气候变化; 登革热; 媒介

**Research progress on the effect of climate change on dengue vector** FAN Jing-chun, LIU Qi-yong. Department of Vector Biology and Control, National Institute for Communicable Disease Control and Prevention; State Key Laboratory for Infectious Diseases Prevention and Control; Key Laboratory of Surveillance and Early-Warning on Infectious Disease, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China  
Corresponding author: LIU Qi-yong, Email: liuqiyoung@icdc.cn  
This work was supported by grants from the National Basic Research Program of China (973 Program) (No. 2012CB955504); Health Scientific Research Special Funds Programs grant (No. 201202006) and the National Natural Science Foundation of China (No. 81273139).

【Key words】 Climate change; Dengue fever; Vector

气候变化是一个最典型的全球环境问题<sup>[1]</sup>。20世纪70年代,科学家提出气候变暖是一个全球环境问题,到2007年,联合国政府间气候变化专门委员会第四次评估报告(IPCC AR4)指出,全球气候变化是人类迄今面临的规模最大、范围最广、影响最为深远的挑战,其中气候变化对人类健康的影响是关系社会公共安全和可持续发展的焦点。国内外大量研究表明,气候变化对传染性疾病如登革热、疟疾、鼠疫等有重要影响<sup>[2-4]</sup>。登革热(dengue fever, DF)是由登革病毒4个血清型引起的急性传染病,主要通过埃及伊蚊和白纹伊蚊传播,广泛流行于全球热带和亚热带地区,是分布最广,发病最多,危害较大的一种虫媒病毒性疾病。2012年,登革热已成为最重要的蚊媒传播的病毒<sup>[5]</sup>。登革热的传播媒介蚊虫作为冷血节肢动物对外环境变化非常敏感,其生长发育繁殖受温度、降水等气象因素的影响。气候持续变暖,不仅直接影响媒介虫媒和病原体的生存条件,由此导致的热浪、飓风、强降雨等极端天气事件,也间接影响登革热的暴发和流行。

1978年广东省佛山地区发生建国以来的首次登革热暴发,自此以后的30多年,登革热在广东和海南等地流行,4种

血清型病毒均有出现,迄今我国发生登革热暴发或流行以及本地感染病例的地区有广东、海南、广西、台湾、福建、澳门、香港以及浙江(慈溪)、江苏(兴化)、云南边境等地区<sup>[6]</sup>。多数学者认为目前中国尚未形成地方性流行区(包括低地方性流行区),中国登革热目前仍是由输入性病例(或媒介)引起本地机会性传播。登革热作为媒介传染病对气温的变化极度敏感,温度即使是微小的上升也会引发地球上昆虫数量的激增,虫媒疾病的传播会更加猛烈,因此登革热在中国的流行范围和强度也存在扩大的潜势,目前本地机会性传播地区可能逐渐会转变成本地性流行区,而无本地病例报告地区可能会转变成本地机会性传播地区。

1. 登革热的传播媒介及流行过程:1902年, Graham首次认识登革热是由蚊虫传播的疾病。1924年, Siler通过人工感染埃及伊蚊并成功传播登革热,最终证明埃及伊蚊是登革热传播媒介。目前国内外已证明有多种能传播登革热的媒介蚊虫,如埃及伊蚊、白纹伊蚊、赫布里底伊蚊、玻利尼西亚伊蚊、盾纹伊蚊和中斑伊蚊等<sup>[7]</sup>,但埃及伊蚊和白纹伊蚊仍是登革热的主要传播媒介。埃及伊蚊主要分布于台湾、海南和广东湛江地区,但我国登革热的传播媒介主要是白纹伊蚊。

(1)埃及伊蚊:埃及伊蚊是典型的家栖型蚊虫,成蚊嗜吸人血。以往认为埃及伊蚊在我国仅分布于北纬22°以南的台湾、海南沿海、广东西部、广西北部湾沿海区和个别岛屿<sup>[8]</sup>。根据王丕玉等<sup>[9]</sup>2006年调查结果表明,埃及伊蚊现在已经扩展到我国北纬24°(云南瑞丽)左右的地区。黎正伦等<sup>[10]</sup>对埃及伊蚊吸血活动观察时发现,海南省昌江县的埃及伊蚊在昼夜24 h均有叮人吸血活动,即使无灯光的夜晚也如此,但仍以白天活动的时间较多,频率较高,并观察到埃及伊蚊每昼夜有2次活动高峰,各高峰期约持续2~3 h;其活动高峰与湿度的高低无关,而与一天中气温转变由低到高或由高到低有关,亦即两高峰期可分别出现在一天中气温由最低状态开始回升的最初2 h内和气温由最高开始下降的最初3 h内。王志光等<sup>[11]</sup>调查发现海南省西北部地区埃及伊蚊诱卵器指数在1月最低,与1~3月当地属旱季,平均温度低(13~20℃),相对湿度小(50%~65%)有关;3月之后诱卵器指数逐月增加,4~9月为高峰期,在此期间当地属于雨季和平均温度高(24~33℃)、相对湿度大(80%~94%)密切相关;9月之后又逐月下降,说明温湿度与埃及伊蚊的种群密度季节消长呈正相关关系。埃及伊蚊带病毒率在每个季节有所不同。Huber等<sup>[12]</sup>在Ho Chi Minh市调查发现,在雨季刚开始时的4月,埃及伊蚊带病毒率为47.6%,雨季的8月,带病毒率为75.0%,而在旱季开始时的12月,带病毒率为44.4%。

(2)白纹伊蚊:根据历史资料,白纹伊蚊分布广,南起海

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2013.07.020

基金项目:国家重大科学研究计划资助(2012CB955504); 卫生行业科研专项(201202006); 国家自然科学基金(81273139)

作者单位:102206 北京, 中国疾病预防控制中心传染病预防控制所媒介生物控制室 传染病预防控制国家重点实验室 传染病监测预警重点实验室

通信作者:刘起勇, Email: liuqiyoung@icdc.cn

南岛,北至沈阳、大连市,西至陇县和宝鸡市,西南至西藏自治区,向东大部分地区均有分布,其中以北纬 30°以南最为常见。随着人口增长、城市化、人口迁移、病毒和蚊虫等因素,扩大了疾病的地理范围,增加了发病率。随着气候变化和其适应能力的增强,白纹伊蚊目前已经向北传入北纬 42°区域。白纹伊蚊是典型的容器型蚊种,孳生场所和生境种类繁多且复杂。近几年对以往登革热疫区的福建、广东、海南、广西等省(自治区)调查资料显示,白纹伊蚊种群密度较高,而埃及伊蚊正逐渐减少甚至未发现<sup>[13]</sup>。白纹伊蚊幼虫生长发育和活动规律与气温、湿度、降雨量等自然气候因素密切相关,其中,气温对幼虫生长的影响最大<sup>[14]</sup>。气候分析表明,白纹伊蚊分布于年平均温度高于 11℃,最冷月月均温度高于-5℃,年平均降水高于 500 mm,且季节性扩展到 1 月均温高于-10℃的地区<sup>[15]</sup>。影响白纹伊蚊对登革病毒的易感性不仅因地域株而有所差异,也会因病毒滴度、血清型、毒力、温度、营养等因素的不同而有差异,而且不同地域株对不同登革病毒血清型或同型病毒的感染性也存在明显差异,甚至同一城市不同孳生地的白纹伊蚊,其感染率也存在显著差异<sup>[16]</sup>。

埃及伊蚊和白纹伊蚊均受气象因素影响,两者之间存在种群竞争,同一实验条件下饲养结果显示,白纹伊蚊的竞争能力高于埃及伊蚊,且野外调查研究也发现白纹伊蚊在某些地区有逐渐取代埃及伊蚊的趋势,气象及其他因素对两种伊蚊的影响需进一步研究和比较。

(3)登革热的流行过程:登革热的传播和流行需要传染源、传播媒介和易感人群这三个基本条件。登革热的传染源主要是各种类型的患者和隐性感染者。患者发病前 1 d 和发病 5 d 内是病毒血症期,传染性最强。雌蚊叮咬处于病毒血症期的患者后,病毒随血液进入蚊体内,经过 8~12 d 的外潜伏期(病毒在蚊体内复制),当再次吸血时,病毒随唾液腺进入易感者体内,从而引起病毒传播和疾病蔓延。登革病毒感染中 90%属亚临床感染,部分感染者经过 3~15 d 潜伏期后出现临床症状,这些隐性感染者在本病的传播中具有更为重要的意义。在热带丛林疫源地中,灵长类动物也可以成为传染源。蝙蝠、猪、鸡等在该病毒保存和扩散中起一定作用<sup>[8]</sup>。人群对任何一型登革病毒的初次感染均较敏感。初次暴发时,可使大量人群发病。初次感染后,对同型病毒有较稳固的免疫力,并可维持多年。但对异型病毒的免疫力则只能维持 2 个月至 1 年。登革病毒有 4 个血清型,感染其中 1 个型后还可能发生第 2 次或连续感染。第 2 次感染很可能引起登革出血热和登革休克征。图 1 描述了白纹伊蚊发育和登革热流行传播过程。

2. 气候变化对登革热的直接影响:气候变化最主要的表现是气候变暖,全球温度升高。过去 100 年,全球地表面平均气温增加了 0.5℃。估计到 2100 年气温变化的中位数是 2.0℃(1.0~3.5℃),或者每 10 年上升 0.2℃;气温上升的速度将比上世纪快 5 倍。气候变化的另外两个主要结果是海平面的上升和极端天气事件的频繁发生,但对登革热的流行影响较大并受广泛关注的主要是气候变暖。因为登革热传

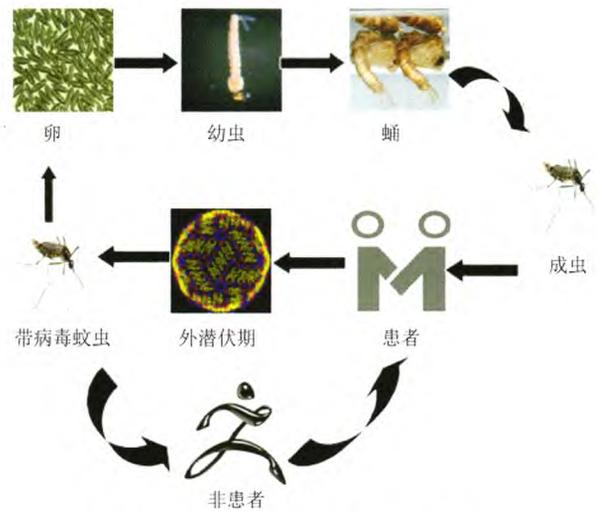


图 1 白纹伊蚊发育和登革热流行传播过程

播的三个环节中,媒介伊蚊是冷血动物,极易受外界环境的影响,且登革病毒进入蚊体内复制至有感染性的过程也和温度息息相关,气候变化对蚊虫和病毒产生的影响在本文中称之为直接影响,由于气候变化造成极端天气事件等对登革热发生和流行的影响在本文中称之为间接影响。以下阐述气候变暖在不同方面对登革热流行的影响。

(1)气候变暖对登革热媒介伊蚊的影响:登革热传播环节中,气候变化影响最为显著的是对传播媒介蚊虫的影响。气候变暖可以提高蚊虫繁殖速度,增加叮咬率,延长其活动季节和扩大地理分布而影响疾病传播。

①对登革热媒介伊蚊生命周期的影响:伊蚊的生命周期可以分为以水为主的生长期(卵、幼虫及蛹)及不以水为主的长长期(成蚊)两个阶段。当环境温度达到各个生活周期发育的有效积温时,开始生长发育,并随着温度的升高,不断地缩短周期;但当超过临界温度时,发育又会受抑制。埃及伊蚊从卵发育到成蚊的发育时间因温度不同而存在较大差异,在 35℃只需(7.2±0.2)d,而 15℃却需(39.7±2.3)d,其发育的最低温度阈值(8.3±3.6)℃发育时间为(181.2±36.1)d;在 20~30℃时可获得最大存活率,翅长与温度呈负相关<sup>[17]</sup>。钟作良和何桂铭<sup>[18]</sup>通过 5 年对白纹伊蚊进行实验室驯化研究表明,不同温度条件下白纹伊蚊发育所需时间及存活率也不同,温度愈低卵的孵育期愈长,卵的孵化率也随温度而变化,温度愈高,其孵出率随之而增加,且孵出率之间差异有统计学意义。幼虫和蛹的发育历期均随温度的上升而缩短呈负相关。成虫率也随温度的上升而增加。成虫前期各个发育阶段中,卵在不同温度的存活率变化大,而幼虫和蛹的存活率变化不大。气候变暖温度升高,蚊虫的成活率上升且生命周期变短,在适宜其生长的季节内,有更多代的蚊虫发育成熟而引起媒介密度升高,一旦本地有登革热输入病例时很容易就会引起登革热的暴发和流行。

②对登革热媒介伊蚊生殖力的影响:温度不仅对蚊虫的生命周期和存活率有影响,对其生命生殖力也有影响<sup>[19]</sup>。研究发现白纹伊蚊和埃及伊蚊幼虫在 6 月和 9 月为高峰期,此后数量逐渐下降,说明温度对产卵具有重要影响。白纹伊蚊

在它的生命初期大量产卵,以后随着年龄的增加产卵数逐渐减少。但不同温度(20℃、23℃、25℃、28℃和30℃)下开始产卵即出现高峰,随后下降的趋势随着温度上升更加明显。20℃和23℃时,高峰维持相同水平一段时间后才逐渐下降,特别是20℃时温度较低,蚊虫的吸血,胃血消化,卵巢发育和产卵过程都受到影响,产生较大的个体差异,生殖营养周期也比其他温度长。在20~30℃的范围内,白纹伊蚊在其平均预期寿命的天数内,25℃时个体产生的雌性个体最多,适宜于种群数量的增殖,且雌蚊的吸血叮咬对登革热的发生和传播意义远大于雄蚊,因此,温度升高使得雌蚊比例升高也进一步影响登革热的流行。

③对登革热媒介伊蚊季节消长和越冬活动的影响:伊蚊幼虫和成虫的季节消长,与各地的气温和降雨量有密切关系。由于我国南北气温和降雨量的差异,使得蚊虫早春出现的时间和其季节消长不尽相同,如北京地区5月上旬出现幼虫、中旬发现白纹伊蚊成虫;长江流域的成都和上海地区3月发现幼虫、4月下旬出现成虫;地处亚热带的福建地区幼虫终年可以孳生,3月下旬出现成虫;热带地区的海南岛成虫终年可以孳生或繁殖<sup>[20]</sup>。由此可见,随着纬度降低气温上升,白纹伊蚊幼虫和成虫出现的时间也随之提前。饲养在26℃的白纹伊蚊种群比饲养在22℃和24℃的种群具有更大的内禀增长率和较小的种群密度。这意味着在夏季温度相对较高的地区,白纹伊蚊种群具有更大的种群增长率,在季节的早期就会出现成蚊羽化高峰<sup>[20]</sup>。在适宜登革热传播的条件下,如有病毒出现即会发生暴发流行。但是温度过高也会抑制蚊虫的生长发育和活动,因此,随着气候逐渐变暖,在部分热带和亚热带地区,登革热的发生可能会由每年一次的高峰期过渡到每年两次的双高峰。

不同地区蚊虫越冬情况不同,我国按地区纬度来划分为无越冬区(蚊虫在全冬均有活动,只是成虫的生殖营养环和幼虫的发育期略延长)、半越冬区(冬季雌蚊卵巢滞留、脂肪体增厚但遇到气温回升仍能吸血却生殖营养环失调)、全越冬区(冬季雌蚊停止吸血、卵巢滞留、脂肪体增厚、呈生殖营养分解状态)<sup>[21]</sup>。在气候变暖尤其持续出现暖冬的情况下,需要越冬期的时间缩短甚至无需越冬而终年活动,增加登革热的流行风险。

④对登革热媒介伊蚊吸血叮咬率的影响:白纹伊蚊和埃及伊蚊的吸血活动常受气候、温度、湿度和光线的直接影响。在一定温度范围内的吸血率,是随温度的上升而增加的。吸血温度范围在15~40℃之间,低于或高于此温度不再吸血,而最佳吸血温度在25~30℃,超过35~37℃时受到抑制,吸血频率也急剧下降或基本停止<sup>[22]</sup>。同时雌蚊在吸血后卵巢发育至成熟过程中,白纹伊蚊有多次吸血特征<sup>[23]</sup>,也增加了传播登革热的机会。由卵至成蚊整个过程需7d,成长的雌蚊需要吸食血液以提供营养作产卵之用。白纹伊蚊与其他蚊一样,吸血频率与气温呈指数式增加。温度上升使蚊虫的生命周期变短,同时蚊虫的体积也变小,而成蚊个体大小与其寻找宿主的能力呈正相关,个体大的伊蚊较个体小的生命更长,不仅容易感染登革病毒,而且生活期长,

血液喂养更为成功;个体较小的雌蚊除吸血方面具有较低的持久性,其饱血成功率也明显较低。为了发育成熟产卵,虫体较小的成虫觅食的次数必然就多一些,这样就使得在一个生殖成熟周期中重复觅食的发生率大大增加<sup>[24]</sup>。来自泰国的研究报告就揭示了叮咬率和温度之间的直接联系,温度的小幅度升高就会使蚊虫叮咬更加频繁,增加疾病传播机会<sup>[25]</sup>。

⑤对登革热媒介伊蚊飞行距离的影响:有关研究表明,大部分成蚊在15℃以下不再飞行,在19℃左右只有约15%的成蚊仍然活跃<sup>[26]</sup>,而低于19℃时诱蚊产卵器指数为零,这也和成蚊的活动情况相符。景晓等<sup>[27]</sup>研究发现当气温较低时(低于18℃),成蚊的飞翔能力很弱,一般在50m范围内,较适宜的气温在20~27℃,飞翔距离可达400m以上。影响白纹伊蚊扩散距离的主要环境因素是气温、风速,其次是光照度、湿度和雨量。蚊虫的飞行距离和疾病的扩散有密切关系,较适宜的气象条件下蚊虫飞行距离增大,可能更多的人被传染登革热。

⑥对登革热媒介伊蚊地理分布的影响:气候变暖不仅会影响蚊虫的生长发育和存活,还会对其地理分布产生影响。目前登革热主要分布在热带和亚热带部分区域,因为传播登革热的成蚊、幼虫都很容易被冰雪、霜冻和持续低温天气冻死。随着气候变暖,蚊虫会借助种群增长速度的提高和栖息地占领的加快而增加其扩散速度,气候变暖趋势,能使虫媒和疾病的分布扩散到较高纬度或海拔较高的地区,扩大登革热潜在流行风险区域。另外,气候变暖还使生活在高纬度地区的野生动物活动增加,这为蚊虫生存创造了条件,进而会导致蚊传疾病的增加。Jetten和Focks<sup>[24]</sup>预测了至2100年全球登革热的分布变化和传播强度,发现在温度升高2℃和4℃的情况下,登革热会由低海拔地区扩散到高海拔地区,在某些地区的传播强度会升高10倍。Hales等<sup>[28]</sup>利用蒸汽压作为预测因子,得到至2085年全球大约有50亿~60亿(50%~60%)人口处于登革热传播的风险区。陈文江等<sup>[29]</sup>根据Ross-Macdonald 疟疾数学模型,以感染蚊的传染性寿命( $Pn/lmp$ ) $\geq 1$ d作为传播的基本前提条件,得到适合当地登革热传播的最低温度,并推算出在全球变暖的情况下,当海南省冬季月平均气温增高1~2℃,海南省登革热传播的条件有可能发生根本性改变,北部地区可能终年均适于登革热传播,而南部地区的传播均处在较高水平,从而有可能使登革热非地方性流行转变为地区性流行,使登革热的潜在危害性更为严重。鲁亮等<sup>[30]</sup>利用气象因素和登革热发病时间之间的关系,绘制了我国登革热流行风险地图,并提出“由于全球气候变暖,目前真正具有风险的地区可能要大于登革热风险地图给出的范围”。随着气候变暖,蚊虫可以向高纬度高海拔地区扩散,高纬度海拔地区野生动物活动频繁,登革热的宿主人或其他灵长类动物活动范围也向高纬度高海拔地区扩张,导致登革热的流行范围扩大,登革热进入非流行地区后,人群普遍易感,公共卫生防范意识不足,非常容易引起暴发疫情。

(2)对登革病毒外潜伏期和致病力的影响:病原体与蚊虫一样对温度较为敏感,不同的病原体都有适合其增殖的温

度范围,温度过高或过低都不利于其增殖。例如流行性乙型脑炎(乙脑)病毒在 20 ℃ 以下时蚊虫体内量极少,且不具备传染能力,在 26~31 ℃ 范围内则迅速增殖;间日疟原虫孢子增殖时间,在 14.5 ℃ 时为 105 d,而在 27.5 ℃ 时只需 8.5 d。由此可见,气温升高对蚊虫传播疾病的病原体有着显著的影响。登革病毒在蚊体内繁殖复制的适宜温度在 20 ℃ 以上,低于 16 ℃ 不繁殖。随着温度升高,病毒在蚊体内的复制加快,蚊体内检出阳性时间逐渐缩短<sup>[31]</sup>,登革病毒在蚊体内发育的外潜伏期(EIP)缩短,使得在一定时间内形成具有感染性的蚊虫比例增加。例如,在 30 ℃ 时,登革 1 型病毒的 EIP 是 12 d,而在 32~35 ℃ 时只要 7 d。潜伏期缩短 5 d 意味着疾病的传染率可能增加 3 倍<sup>[32]</sup>。

气候变暖一方面可以缩短登革病毒在蚊体内的 EIP,另一方面也可增加病原体的致病力。Watts 等<sup>[33]</sup>用曼谷埃及伊蚊吸食感染登革病毒的恒河猴,发现饲养温度越低,蚊虫感染率越低,登革病毒在蚊体内滴度也越低;35 ℃ 条件下感染后 7 d 蚊脑内即可检测到病毒抗原,而在 26 ℃ 以下各组至 25 d 蚊脑内病毒检测仍为阴性;受感染的蚊虫在 26 ℃ 以下均不能通过叮咬感染猴,30 ℃ 以上均能感染。这些都说明气候变暖可增加登革热传播的危险性。

(3)其他气候因素对登革热的影响:在各种气象因素中,研究表明温度和降水是影响虫媒传染病发生的最主要因素,且气象因素对登革热发病存在着延迟效应。全球气候在变暖的同时,对降水的分布时空影响非常明显。降水对不同地区登革热的影响不可同一而论,因为降水对登革热的影响主要在于是否能够增加伊蚊的栖息地,对于排水设施良好的城市地区降水对登革热的影响很小,而罐头听、饮料盒等垃圾较多的地区降水可产生大量的蚊虫孳生地,增加伊蚊密度使登革热发生危险提高。相对湿度是温度和降水的综合表现,相对湿度对媒介的活动及寿命的长短有影响,湿度高可延长蚊虫寿命<sup>[34]</sup>。在 Yangon 和新加坡,雨季蚊虫媒介体内的病毒感染滴度明显高于其他两个季节的蚊虫。某些报道中也认为日照时数、风速和气压等因素对登革热也有影响。日照时间的增加可能使平均气温升高,从而达到适合蚊类孳生和繁殖的温度<sup>[35]</sup>,光照同样也可影响白纹伊蚊和埃及伊蚊的吸血活动,即使在温度和湿度相同的条件下,有光照比无光照更有利于白纹伊蚊和埃及伊蚊的吸血,可能与该蚊主要在白昼吸血有关<sup>[22]</sup>。蚊虫的扩散飞行活动也与光照度、湿度、降雨量等因素有关。其在强风中的飞翔能力较低,一般在低风速中扩散距离较远<sup>[27]</sup>。蚊虫的生长活动直接影响到登革热发生的概率,降水、相对湿度、日照、气压、风速等气象因素对蚊虫的生长活动均有影响,继而影响登革热的发生。

3. 气候变化对登革热的间接影响:在气候变暖背景下,中国极端天气气候事件的频率和强度发生明显变化,有证据表明气候变化导致了包括热浪、高温纪录、强降雨等在内的极端天气在过去半个世纪中的发生频率、强度、持续时间和影响范围等出现了变化<sup>[36,37]</sup>。

气候变化引发的洪水对人体健康的影响,可分为短期、中期和长期效应。其中短期效应主要是造成人员伤亡,中期

效应主要是传染性疾病的传播和发病率的增加,长期效应则由于洪水造成的经济困难和生命财产损失而导致的精神压抑。洪水导致的泥石流灾害,建筑物破坏,公共设施受损,造成社会秩序混乱,直接或间接危害生命,并导致蚊虫孳生地大量产生。在重建期卫生设施不能完全恢复,杀虫消毒措施实施不足,腹泻病增加人群免疫力下降,且蚊虫密度过高而引发登革热暴发。

气候的显著变化所致的人口迁移和对卫生设施的破坏能间接地影响疾病的传播。由于水灾或旱灾造成人口的大规模流动,使易感人口进入新的传染病疫源地,一旦发生传染病流行就会有大量重症患者产生,以及紫外线辐射增加对人体免疫系统的潜在改变,可能使人体对传染病的易感性进一步增加。

综上所述,无论是气候变化对登革热的直接影响或是间接影响,都会加剧其传播和流行,并扩大登革热的流行范围,使得更多的地区和人口进入到登革热流行风险中。目前,国内外已经采取一系列措施适应这一变化,包括延缓气候变暖的减排计划和行动、媒介可持续控制策略、登革热预警和公共卫生应急预案等,但影响登革热发生的因素错综复杂,还需进一步综合分析,达到长期有效地控制登革热。

## 参 考 文 献

- [1] World Health Organization. How is climate change affecting our health? A manual for teachers. WHO: Geneva, 2008.
- [2] Lu L, Lin H, Tian L, et al. Time series analysis of dengue fever and weather in Guangzhou, China. BMC Public Health, 2009, 9: 395.
- [3] Lin H, Lu L, Tian L, et al. Spatial and temporal distribution of falciparum malaria in China. Malar J, 2009, 8: 130.
- [4] Xu L, Liu Q, Stige LC, et al. Nonlinear effect of climate on plague during the third pandemic in China. Proc Natl Acad Sci USA, 2011, 108(25): 10214-10219.
- [5] World Health Organization. Global strategy for dengue prevention and control, 2012-2020. WHO: Geneva, 2012.
- [6] Du JW, Pan XH. Prevalent status and features of dengue fever in China. Chin J Epidemiol, 2010, 31(12): 1429-1433. (in Chinese) 杜建伟,潘先海. 中国登革热流行概况与流行特征. 中华流行病学杂志, 2010, 31(12): 1429-1433.
- [7] Xiao DL. Dengue Control Manual. Beijing: People's Health Publishing House, 2008. (in Chinese) 肖东楼. 登革热防治手册. 北京: 人民卫生出版社, 2008.
- [8] Yee DA, Kesavaraju B, Juliano SA. Interspecific differences in feeding behavior and survival under food-limited conditions for larval *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). Ann Entomol Soc Am, 2004, 97(4): 720-728.
- [9] Wang PY, Zhou HN, Wu C, et al. Distribution survey of *Aedes aegypti*-dengue vector in Yunnan province. Chin J Vector Bio & Control, 2006, 17(6): 507-508. (in Chinese) 王丕玉,周红宁,吴超,等. 云南省登革热媒介埃及伊蚊的分布调查. 中国媒介生物学及控制杂志, 2006, 17(6): 507-508.
- [10] Li ZL, Chen SZ, Zheng HG. The biting and bleeding activity observation of *Aedes aegypti*. Chin J Zoon, 1998, 14(2): 73-74. (in Chinese) 黎正伦,陈生造,郑汉光. 埃及伊蚊叮人吸血活动观察. 中国人兽共患病杂志, 1998, 14(2): 73-74.
- [11] Wang ZG, Wang SQ, Masaji ONO, et al. Investigaton on

- Ae. aegypti* and *Ae. albopictus* in the north-western part of Hainan province. Chin Trop Med, 2005, 5(2): 230-233. (in Chinese)  
王志光, 王善青, 小野雅司, 等. 海南省埃及伊蚊与白纹伊蚊孳生习性与其季节消长的调查. 中国热带医学, 2005, 5(2): 230-233.
- [12] Huber K, Loan LL, Hoang TH, et al. Temporal genetic variation in *Aedes aegypti* populations in Ho Chi Minh city (Vietnam). Heredity, 2002, 89(1): 7-14.
- [13] Lin LH, Huang ZP, Bai ZJ, et al. Observation on Breeding container types of vectorial *Aedes albopictus* of dengue and their control effects in Guangdong province. J Prev Med China PLA, 2000, 18(4): 261-264. (in Chinese)  
林立辉, 黄兆鹏, 白志军, 等. 广东省登革热媒介白纹伊蚊孳生容器类型及其防治效果研究. 解放军预防医学杂志, 2000, 18(4): 261-264.
- [14] Brower Vicki. Vector-borne diseases and global warming: are both on an upward swing Scientists are still debating whether global warming will lead to a further spread of mosquitoes and the diseases they transmit. EMBO Rep, 2001, 2(9): 755-757.
- [15] Wu F, Liu Q, Lu L, et al. Distribution of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in northwestern China. Vector Borne Zoonotic Dis, 2011, 11(8): 1181-1186.
- [16] Armstrong PM, Rico-Hesse R. Differential susceptibility of *Aedes aegypti* to infection by the American and Southeast Asian genotypes of dengue type 2 virus. Vector Borne Zoonotic Dis, 2001, 1(2): 159-168.
- [17] Tun-Lin W, Burkot TR, Kay BH. Effects of temperature and larval diet on development rates and survival of the dengue vector *Aedes aegypti* in north Queensland, Australia. Med Vet Entomol, 2000, 14(1): 31-37.
- [18] Zhong ZL, He GM. The life table of laboratory *Aedes albopictus* under various temperatures. Acad J Sun Yat-Sen Uni Med Sci, 1988, 9(3): 35-39. (in Chinese)  
钟作良, 何桂铭. 不同温度下白纹伊蚊实验种群生命表. 中山大学学报, 1988, 9(3): 35-39.
- [19] Zhong ZL, He GM. The life and fertility table of *Aedes albopictus* under different temperatures. Acta Entomologica Sinica, 1990, 33(1): 64-70. (in Chinese)  
钟作良, 何桂铭. 不同温度条件下白纹伊蚊生命生殖力表. 昆虫学报, 1990, 33(1): 64-70.
- [20] Gong DF, Zhou HN. Progress in Dengue fever important vector *Aedes albopictus* in China. Chin J Vector Bio & Control, 2009, 20(6): 607-610. (in Chinese)  
龚道方, 周红宁. 中国登革热重要媒介白纹伊蚊的研究进展. 中国媒介生物学及控制杂志, 2009, 20(6): 607-610.
- [21] Zheng NX, Wang ZH, Zhang XY, et al. Study on seasonal trend, propagating condition and the influencing factors of *Aedes albopictus* in Fuzhou, China. Strait J Prev Med, 2001, 7(6): 6-9. (in Chinese)  
郑能雄, 王宗汉, 张晓阳, 等. 福州市白纹伊蚊的孳生状况季节消长及其影响因素. 海峡预防医学杂志, 2001, 7(6): 6-9.
- [22] Zhang YZ, Zhang HL, Mi ZQ. Observation on specificity of bloodsucking of *Aedes albopictus*. Ende Dis Bulle, 1994, 9(2): 37-38. (in Chinese)  
张云智, 张海林, 米竹青. 白纹伊蚊吸血特性的观察. 地方病通报, 1994, 9(2): 37-38.
- [23] Alto BW, Juliano SA. Temperature effects on the dynamics of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) populations in the laboratory. J Med Entomol, 2001, 38(4): 548-556.
- [24] Jetten TH, Focks DA. Potential changes in the distribution of dengue transmission under climate warming. Am J Trop Med Hyg, 1997, 57(3): 285-297.
- [25] Pipitgool V, Waree P, Sithithaworn P, et al. Studies on biting density and biting cycle of *Culex quinquefasciatus*, say in Khon Kaen city, Thailand. Southeast Asian J Trop Med Public Health, 1998, 29(2): 333-336.
- [26] World Health Organization. Guidelines for dengue surveillance and mosquito control. WHO: Geneva, 2003.
- [27] Jing X, Wang XJ, Jiang YY. Investigation on the hover ability and spread range of *Aedes albopictus*. Chin J Vector Biol & Control, 1998, 9(3): 165-167. (in Chinese)  
景晓, 王学军, 江媛媛. 白纹伊蚊飞翔能力和扩散距离观察. 中国媒介生物学及控制杂志, 1998, 9(3): 165-167.
- [28] 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. Lancet, 2002, 360(9336): 830-834.
- [29] Chen WJ, Li CX, Lin MH, et al. Study on the suitable duration for dengue fever (DF) transmission in a whole year and potential impact on DF by global warming in Hainan province. Chin Trop Med, 2002, 2(1): 31-34. (in Chinese)  
陈文江, 李才旭, 林明和, 等. 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, 2002, 2(1): 31-34.
- [30] Lu L, Lin HL, Liu QY. Risk map for dengue fever outbreaks based on meteorological factors. Adv Clim Change Res, 2010, 6(4): 254-258. (in Chinese)  
鲁亮, 林华亮, 刘起勇. 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, 2010, 6(4): 254-258.
- [31] Xiao FZ, Zhang Y, Xie HG, et al. Effect of temperatures on extrinsic incubation period of dengue virus type 2 in *Aedes albopictus*. Chin J Zoono, 2012, 28(2): 108-110. (in Chinese)  
肖方震, 张仪, 谢汉国, 等. 温度对 DEN-2 型病毒在白纹伊蚊体内潜伏期的影响. 中国人兽共患病学报, 2012, 28(2): 108-110.
- [32] Zeng SQ. The impact of global climate change on the prevalence of infectious diseases. Foreign Med Sci: Section of Medgeography, 2002, 23(1): 36-39. (in Chinese)  
曾四清. 全球气候变化对传染病流行的影响. 国外医学地理分册, 2002, 23(1): 36-39.
- [33] Watts DM, Burke DS, Harrison BA, et al. Effect of temperature on the vector efficiency of *Aedes aegypti* for dengue 2 virus. Am J Trop Med Hyg, 1987, 36(1): 143-152.
- [34] Yang K, Wang XH, Lv S, et al. Impact of global warming on transmission of vector-borne diseases in China. Int J Med Parasit Dis, 2006, 33(4): 182-187, 224. (in Chinese)  
杨坤, 王显红, 吕山, 等. 气候变暖对中国几种重要媒介传播疾病的影响. 国际医学寄生虫病学杂志, 2006, 33(4): 182-187, 224.
- [35] Yu XH, Xu Y, Wu ZK, et al. Analysis on association with the mosquito-borne diseases and climate factors. Chin J Vector Bio & Control, 2008, 19(1): 61-64. (in Chinese)  
余向华, 徐毅, 吴正可, 等. 蚊媒传染病气象影响因素分析. 中国媒介生物学及控制杂志, 2008, 19(1): 61-64.
- [36] Yang HL, Xu YL, Tao SC, et al. Vulnerability to heat waves and adaptation: A summary. Sci Tech Rev, 2010, 28(19): 98-102. (in Chinese)  
杨红龙, 许吟隆, 陶生才, 等. 高温热浪脆弱性与适应性研究进展. 科技导报, 2010, 28(19): 98-102.
- [37] Min S, Qian YF. Regionality and persistence of extreme precipitation events in China. Advances in Water Science, 2008, 19(6): 763-771. (in Chinese)  
闵岫, 钱永甫. 中国极端降水事件的区域性和持续性研究. 水科学进展, 2008, 19(6): 763-771.

(收稿日期: 2013-01-24)

(本文编辑: 卢亮平)