DOI：10.3969/j.issn.1002－2694.2018.00.055

·综　述·

ZIKA 病毒及其蚊虫传播媒介

梁国栋

摘　要：ZIKA 病毒首次于 1947 年在非洲恒河猴标本分离到，此后于 1948 年在同一地区采集的非洲伊蚊（*Aedes africnus*）标本中分离到 ZIKA 病毒，确定为蚊传病毒。自 1948 年以来全世界已经在自然界采集的 20 余种蚊虫（2 种按蚊，15 种伊蚊，3 种库蚊）中分离到 ZIKA 病毒，且在这些蚊虫中获得 ZIKA 病毒阳性分离物 60 余次。与此同时，已经对 23 种蚊虫开展过人工感染 ZIKA 病毒的蚊传试验研究，并证实 8 种（7 种伊蚊，1 种库蚊）为 ZIKA 病毒传播媒介。可见 ZIKA 病毒可以由多种蚊虫携带和传播。目前我国已经在自然界采集的致倦库蚊和骚扰阿蚊中分离到 ZIKA 病毒，但尚未有本地感染病例报告。因此了解国际上有关蚊虫与 ZIKA 病毒的研究进展对于我国相关研究工作和 ZIKA 病毒病预防控制具有重要借鉴意义。

关键词：ZIKA 病毒；虫媒病毒；蚊虫传播媒介

中图分类号：R373.3　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1002－2694(2018)04－0343－06

Zika virus and its mosquito vectors

LIANG Guo-dong

（*National Institute for Viral Disease Control and Prevention*, *Chinese Center for Disease Control and Prevention*, *Beijing* 102206, *China*）

Abstract: ZIKA virus was first isolated from rhesus monkey in Africa in 1947 year. After that, ZIKA virus was isolated from specimens of *Aedes africnus* collected in the same area in 1948 year, and then identified as a mosquito-borne virus. Since 1948 year, ZIKA viruses have been isolated from over 20 species of mosquitoes (including 2 species of *Anopheles*, 15 species of *Aedes* and 3 species of *Culex* mosquito) collected in nature, and more than 60 virus isolates have been obtained from these mosquitoes around the world. Meanwhile, 23 species of mosquitoes have been experimentally infected with ZIKA virus, and 8 species (7 species of *Aedes* and 1 species of *Culex* mosquito) have been identified as vectors of ZIKA virus. It is clear that the ZIKA virus can be carried and transmitted by a variety of mosquitoes. At present, the ZIKA virus has been isolated from *Culex*. *Pipiens quinquefasciatus* and the *Armigeres subalbatus* collected in nature in mainland China, but there are no reported cases of local infections. Therefore, understanding the international progress in the research of mosquito vectors and ZIKA virus is of great significance for the relevant study as well as the prevention and control of ZIKA-related disease in China.

Keywords: Zika virus; arbovirus; mosquito vectors

Supported by grants from the National Natural Science Foundation of China (No. 81290342)

ZIKA 病毒为黄病毒科病毒，蚊虫为其传播媒介。1947 年在非洲恒河猴标本中首次分离到 ZIKA 病毒，其后研究证明伊蚊为其传播媒介[1]，但是此后数十年来 ZIKA 病毒并未引起人类疾病的大规模流行。2007 年 ZIKA 病毒首次从非洲传播到西太平洋地区的雅浦岛（*Yap* Island），并导致当地 70％人群感染该病毒[2]。2015－2016 年间，在南美洲巴西等地出现 ZIKA 病毒感染的大流行，疫情播散至 60 余个国家，大约 200 万人患病[3]。在此次大流行中还发现许多 ZIKA 病毒感染患者出现小头畸形[4]，吉兰巴雷综合症[5]等，同时发现了通过性途径传播的 ZIKA 病毒感染病例[6]。ZIKA 病毒感染及其引起的 ZIKA 病已成为世界性公共卫生问题，世界卫生组织为此多次发出警告[7]。由于 ZIKA 病毒感染对人类健康构成巨大威胁，此外没有针对 ZIKA 病毒感染的特效治疗药物，也没有可用的疫苗来预防人类对 ZIKA 病毒的感染，因此对 ZIKA 病毒蚊虫媒介传播的了解对于有效控制 ZIKA 病毒感染疫情

国家自然科学基金重大项目（No.81290342）资助

作者单位：中国疾病预防控制中心病毒病预防控制所，北京 102206；Email：gdliang@hotmail.com

的蔓延,以及通过减少蚊虫叮咬而预防人群感染ZIKA病毒都是十分重要的。

1 虫媒病毒及其蚊虫传播媒介

虫媒病毒(arthropod-borne virus, arbovirus)是可以在吸血昆虫(蚊虫,蜱虫等)体内繁殖,并通过吸血活动将病毒传播给宿主动物(人,畜)的病毒。虫媒病毒也是依靠这一途径维持其在自然界的物种存在。全世界已经发现蚊虫3 000余种,已经从300余种蚊虫中分离到病毒,但是经过实验室人工感染试验确定的虫媒病毒传播媒介种类十分有限。一般来说,一种蚊虫可以传播多种病毒(并非所有病毒),同样,一种病毒可以由多种蚊虫(并非所有蚊虫)传播[1,8-9]。

2 自然界采集蚊虫中ZIKA病毒的分离

2.1 非洲地区 ZIKA病毒于1947年在非洲乌干达恒河猴标本分离到,第2年在当地采集的非洲伊蚊标本(*A. africanus*)中也分离到该病毒。此后10年的研究结果显示,灵长类动物,包括人类在内,是ZIKA病毒主要的保存宿主;蚊虫是ZIKA病毒的传播媒介。20世纪70年代,尼日利亚黄热病流行时在当地Lute伊蚊(*Aedes luteocephalus*)标本分离到ZIKA病毒[10]。到2000年在非洲几个国家采集的43种蚊虫中有13种蚊虫检测到了ZIKA病毒。其中,在非洲西部的塞内加尔采集的蚊虫标本中分离到31株ZIKA病毒,其中28株病毒分离自10种伊蚊,另外3株ZIKA病毒分别分离自Ma. Uniformis曼蚊,*Cx. perfuscus*库蚊和*An. coustani*按蚊[11]。

2014年以来,在非洲的塞内加尔、中非共和国等多个国家进行的虫媒病毒监测中发现,除了从多种伊蚊中分离到ZIKA病毒外,还从库蚊和曼蚊标本检测到ZIKA病毒,因此除伊蚊外,普遍认为库蚊,曼蚊可能是ZIKA病毒潜在的传播媒介(Potential as secondary vectors)[11]。

2.2 非洲以外地区 亚洲是非洲以外最先分离到ZIKA病毒的地区,在1969年,研究人员从马来西亚采集的埃及伊蚊(*A.aegypti*)中分离到了ZIKA病毒(属于亚洲基因型)[12]。

2016年夏季在我国贵州省德江县开展虫媒病毒常规监测,采集的吸血昆虫开展虫媒病毒分离鉴定研究。共采集到3属4种8 795只蚊虫,其中40%(3 540/8 795只)为中华按蚊,30%(2 700/8 795只)为致倦库蚊,29%(2 530/8 795只)为骚扰阿蚊,和褐尾库蚊25只。同时采集到1 300只蠓虫。昆虫标本在现场依据形态学分类鉴定后液氮保存运输至实验室,各类标本研磨处理后分别接种组织培养细胞进行病毒分离和鉴定等。共获得8株可以在细胞中稳定传代的病毒分离物。经病毒基因组序列测定与分析发现其中含2株ZIKA病毒(分离自致倦库蚊和骚扰阿蚊),3株乙脑病毒(分离自致倦库蚊),2株版纳病毒(分离自致倦库蚊和中华按蚊)和1株浓核病毒(分离自骚扰阿蚊)。研究中首次在在中国大陆地区从自然界采集的致倦库蚊(*Culex. pipiens quinquefasciatus*)和骚扰阿蚊(*Armigeres subalbatus*)标本分离到ZIKA病毒,研究结果为中国大陆地区ZIKA病毒病的预防控制提出了新的挑战[13-14]。

3 ZIKA病毒蚊虫传播媒介的实验室研究

确定吸血昆虫是否为虫媒病毒传播媒介需要符合于以下的基本条件,①中肠屏障 虽然吸血昆虫(以下以蚊虫为例)通过吸血活动获得很多种病毒,但是并不是所有病毒均可以在蚊虫体内繁殖,凡是可以穿过蚊虫胃粘膜(中肠屏障)进入蚊虫体内的病毒才可以在蚊虫体内繁殖,凡是不能通过中肠屏障的病毒也不可以在蚊虫体内繁殖。②唾液腺 病毒是否可以通过吸血而将病毒传播给宿主动物,取决于病毒是否可以到达蚊虫唾液腺,凡是可以到达唾液腺的病毒便可以在吸血过程中将病毒传播给宿主动物,否则即使病毒可以大量繁殖也无法传播给宿主动物。凡是在实验室条件下证明病毒可以在蚊虫体内繁殖并可以在唾液腺检测到病毒的蚊虫种类才可以称为具有传播病毒能力的虫媒病毒传播媒介[15]。

3.1 埃及伊蚊 埃及伊蚊传播ZIKA病毒的实验室研究最早在1956年。在实验室中,研究人员使叮咬过感染ZIKA病毒的小老鼠后的埃及伊蚊再去叮咬猴子,而后猴子发病了,提示埃及伊蚊为ZIKA病毒的蚊虫传播媒介。2015年以来,在巴西出现ZIKA病毒感染流行,后又蔓延到中南美洲国家和加勒比海地区,而这些地区的优势蚊种正是埃及伊蚊和致倦库蚊。

全球已发表的关于埃及伊蚊传播ZIKA病毒的研究报道已有30多篇,绝大部分研究结果显示,ZIKA病毒可以在埃及伊蚊体内繁殖,并在感染病毒后的6~14 d内在蚊虫唾液腺检测到病毒。但是各家结果略有出入,如新加坡的埃及伊蚊种群在第10 d时100%的蚊虫唾液腺可检测到病毒,而在巴西、

澳大利亚和中国的研究显示 90%以上的埃及伊蚊种群可在感染 14 d 内从其唾液腺检测到 ZIKA 病毒[16]。实际上,这一差异也同样体现在不同地域的埃及伊蚊种群对登革病毒和基孔肯雅病毒的传播效率不同上[17-18]。

埃及伊蚊起源于非洲,17－18 世纪传播到新的热带地区(Neotropic)。埃及伊蚊也是登革病毒,基孔肯雅病毒和黄热病毒的主要传播媒介,埃及伊蚊的城市化是其可以作为多种病毒传播媒介的最主要的原因。生活在城市郊区的人们为了储存生活饮用水,在房屋中使用水缸等容器储水,埃及伊蚊可以在水缸内,水边沿上产卵,卵可以在水缸中完成从卵、蛹、幼虫到成蚊的羽化过程,可以说房屋中的水缸为埃及伊蚊提供了极好的滋生场所。正是这种适宜的环境使得埃及伊蚊在城市周围大量繁殖。由于埃及伊蚊的滋生环境与人类居住环境具有非常好的一致性,因此埃及伊蚊携带的病毒很容易感染居住的人群,病毒极易传播开来。

3.2　白纹伊蚊　白纹伊蚊是东南亚的热带和亚热带地区的蚊虫,而且该种蚊虫很好的适应了温带地区。目前该蚊虫的地域分布已经包括北欧和北美洲地区。随着白纹伊蚊地域分布的逐渐扩大提示热带地区的虫媒病毒也会在以上地区出现。如 2005－2007 年在印度洋地区基孔肯雅病毒的流行,其主要的传播媒介为埃及伊蚊和白纹伊蚊[19]。对于白纹伊蚊与登革和基孔肯雅病毒的传播感染实验已经做过很多,提示白纹伊蚊对以上两种病毒具有很高传播效率[20]。新加坡研究结果显示,白纹伊蚊感染 ZIKA 病毒(乌干达分离株)后 7 d 可以在唾液腺检测到病毒,提示白纹伊蚊对 ZIKA 病毒具有很强的播散力和传播效率。但是无论是在巴西,美国,中国还是意大利,白纹伊蚊感染 ZIKA 病毒的效率均低于埃及伊蚊[21]。

3.3　其他伊蚊　表 1 中可见,除埃及伊蚊和白纹伊蚊外,Vitta 伊蚊(*Aedes vittatus*)和 *Lute* 伊蚊(*Aedes luteocephalus*)在实验室条件下感染 ZIKA 病毒 15 d 后可以在唾液腺检测到病毒,并且已经从自然界采集的相关蚊虫分离到 ZIKA 病毒。

3.4　库蚊　致倦库蚊是热带和亚热带地区最重要的虫媒病毒传播媒介。鉴于致倦库蚊在世界的地域分布较埃及伊蚊更为广泛,而且可以传播多种重要的黄病毒,如乙脑病毒,西尼罗病毒,登革病毒和圣路易斯脑炎病毒等,因此它是否可以作为 ZIKA 病毒传播媒介引起国际间极大关注。

自从 2015 年以来,已有多个国家的实验室对

表 1　ZIKA 病毒及其蚊虫传播媒介$

Tab.1　ZIKA virus and its mosquito vectors

蚊种	病毒分离	实验室感染
伊蚊 *Aedes*		
Aedes aegypi (6∶30)*	＋	＋
Aedes albopitus (1∶9)	＋	＋
Aedes luteocephalus (1∶7)	＋	＋
Aedes vittatus (1∶5)	＋	＋
Aedes unilineatus (1∶1)	＋	－
Aedes apicoargenteus	＋	N/A
Aedes dalzieli	＋	N/A
Aedes fowleri	＋	N/A
Aedes furcifer	＋	N/A
Aedes hirsutus	＋	N/A
Aedes luteocephalus	＋	N/A
Aedes metallicus	＋	N/A
Aedes minutus	＋	N/A
Aedes neoafricanus	＋	N/A
Aedes opok	＋	N/A
Aedes taylori	＋	N/A
Aedes camptorhynchus	N/A	＋
Aedes vexans	N/A	＋
库蚊 *Culex*		
Culex pipiens quinquefasciatus#	＋	＋
Culex perfuscus	＋	N/A
按蚊 *Anopheles*		
Anopheles gambiae(1∶1)	＋	－
Anopheles coustani	＋	N/A
曼蚊 *Mansonia*		
Mansonia uniformis	＋	N/A
阿蚊 *Armigeres*		
Armigeres subalbatus	＋	N/A

$:本表格根据本文参考文献中信息制作

* *Aedes aegypi* (6∶30):6 个实验室从自然界采集的埃及伊蚊分离到 ZIKA 病毒;30 个实验室开展过人工感染 ZIKA 病毒实验研究。#:致倦库蚊人工感染 ZIKA 病毒实验结果存在差异,说明见正文。

10 个致倦库蚊种群使用 10 株亚洲型 ZIKA 病毒和 2 株非洲型 ZIKA 病毒开展实验室蚊虫感染研究。实验结果显示,作为对照的埃及伊蚊无论对亚洲型或者非洲型 ZIKA 病毒均具有很好的传播效率,但是绝大部分实验室均不能在致倦库蚊唾液腺检测到 ZIKA 病毒颗粒,无论是胸腔接种或者血餐方式蚊

虫感染 ZIKA 病毒[22]。

然而,近期的研究结果显示,致倦库蚊吸食 ZIKA 病毒血餐,分别于 2,4,6,8,12,18 d 检测中肠和唾液腺中的病毒。结果显示,感染第 8 d 90%蚊虫唾液腺可以检测到 ZIKA 病毒,病毒滴度可以达到(3.92±0.49) lg RNA copies/mL。此外,感染病毒的蚊虫叮咬小鼠后可以在小鼠脑组织检测到 ZIKA 病毒,提示蚊虫叮咬可以传播 ZIKA 病毒给动物[23]。另一项在南美洲巴西完成的研究结果显示,在当地采集的致倦库蚊标本中分离到 ZIKA 病毒,而且在实验室感染 ZIKA 病毒的蚊虫唾液腺可以检测到 ZIKA 病毒颗粒[24]。可见致倦库蚊不仅具备对 ZIKA 病毒复制能力并且可以通过吸血活动将 ZIKA 病毒传播给其他动物。以上研究结果提示致倦库蚊可以作为 ZIKA 病毒潜在的蚊虫传播媒介。

4 ZIKA 病毒的跨大洲传播:非洲－亚洲－南美洲

ZIKA 病毒首次在非洲发现,此后在非洲和亚洲(太平洋地区)多种蚊虫中分离到 ZIKA 病毒,但是它为什么会在南美洲地区造成大面积的疾病流行,这是一直困扰人们的科学问题。近来的研究对这一问题的解释提供了思路或者证据。

4.1 病毒分子遗传学 将 1947 年以来在非洲,亚洲和南美州流行的 ZIKA 病毒,无论是从蚊虫中或是从动物及患者中分离的毒株,进行病毒全基因组分子遗传进化分析发现,ZIKA 病毒在自然界出现的时间大约为 166 年前。此后逐渐分化为两个进化种群,非洲种群(出现在距今 121 年)和亚洲种群(出现在距今 77 年)。而所有在非洲分离的病毒,包含 1947 年从恒河猴分离的毒株,从非洲当地蚊虫分离的病毒和 1968 年从患者标本分离的两株毒株共同构成非洲进化种群。而所有在亚洲地区(包括太平洋地区)和 2015 年以来在南美州分离的毒株共同属于 ZIKA 病毒亚洲种群[25]。

ZIKA 病毒亚洲种群又可以分为亚洲 1 型和亚洲 2 型。亚洲 1 型中仅有 1 株病毒,为 1966 年在马来西亚蚊虫标本分离株的 ZIKA 病毒。而所有 2007 至 2013 年在太平洋地区(YAP 岛)分离株及 2015 年以来在南美洲地区分离的 ZIKA 病毒共同构成亚洲 2 型种群,而其中最年轻的毒株为 2013 年在太平洋地区法属波利尼西亚地区分离的 ZIKA 病毒(出现在距今 13 年)。因此从病毒基因组分子遗传进化分析发现 2015 年以来在南美洲流行的 ZIKA 病毒可能来源于 2013 年在亚洲和太平洋地区流行的 ZIKA 病毒种群[25]。

4.2 流行病学信息 南美洲 ZIKA 病毒的流行可能与国际旅行有关。早在 2013 年 7 月,巴西举办世界青年日活动(World Youth Day)。大量来自亚洲和太平洋地区年轻人到巴西参加此次活动。此外,2014 年巴西举行世界杯足球赛期间,更是有成千上万的亚洲和太平洋地区的游客到巴西观看足球比赛并且在南美洲各国旅游。伴随着人群的大量流动,包括 ZIKA 病毒感染的患者和病毒传播媒介随之从亚洲和太平洋地区转移到南美洲地区。鉴于南美洲的气候,蚊虫种类与宿主动物等特征与太平洋地区暴发过 ZIKA 病毒流行的 YAP 岛,密克尼西亚岛和波利尼西亚地区类似,这也使得 ZIKA 病毒在巴西等南美地区自然界存留下来,并在当地形成新的蚊虫媒介和宿主动物间的自然循环,进而造成 ZIKA 病毒在当地的流行[3]。

4.3 蚊虫媒介研究 研究结果显示,如果将 2016 年 1 月份以前世界各地分离到的 ZIKA 病毒的时间,地点和分离率等信息与同时期病毒分离地的埃及伊蚊种群密度等信息联系起来分析,可以明显发现 ZIKA 病毒是通过埃及伊蚊从非洲,经过亚洲并跨过太平洋而传播到南美洲大陆[26]。可见此次 ZIKA 病毒的大流行与埃及伊蚊的传播和扩散有密切关系。此外,根据埃及伊蚊和其他伊蚊地域分布和蚊虫密度等计算了 ZIKA 病毒在 100 个城市的潜在流行趋势,其中加勒比及其附属地区,以及美国的南佛罗里达是 ZIKA 病毒潜在高流行区[27]。

5 讨 论

5.1 加强我国蚊虫中 ZIKA 病毒监测 综上所述,ZIKA 病毒属于以伊蚊为主要传播媒介的蚊传病毒。埃及伊蚊被普遍认为是 ZIKA 病毒主要的传播媒介,原因有二:首先埃及伊蚊是居住人口稠密的城郊蚊种,其次,已经有实验室证实埃及伊蚊具有较强的将病毒传播给新宿主的能力。我国埃及伊蚊的地域分布包括广东省南部,广西省南部和云南省南部等地区。虽然目前尚未从这些地区采集的埃及伊蚊中发现 ZIKA 病毒,但仍要加强这一地区埃及伊蚊中 ZIKA 病毒的监测和检测,以便及时在当地埃及伊蚊中发现输入性 ZIKA 病毒。此外,我国已经从致倦库蚊和骚扰阿蚊标本分离到 ZIKA 病毒[13-14],提示 ZIKA 病毒已经进入我国大陆地区,并且可能以库蚊和阿蚊作为媒介。致卷库蚊为尖音库蚊组成员,该组内含三种亚种,尖音库蚊指名亚种,尖音库蚊致倦库蚊和尖音库蚊淡色库蚊。其中我国南方大部分地区均存在致倦库蚊,要加强致倦库蚊和骚扰

阿蚊等其他蚊虫携带 ZIKA 病毒的检测与监测。

5.2　加强我国野生动物中 ZIKA 病毒感染状况调查　研究发现非人类的灵长类动物,如猴子、猩猩、猿等是 ZIKA 病毒扩增宿主。我国虽然已经在自然界采集的蚊虫中分离到 ZIKA 病毒,但是尚未发现 ZIKA 病毒在自然界的蚊虫和非人类灵长类动物之间形成循环圈,以及当地野生动物中 ZIKA 病毒的感染状况如何还不得而知。因此要加强我国灵长类动物及其他野生动物中 ZIKA 病毒感染状况的检测与监测。由于在我国发现的 ZIKA 病毒是在农村的猪圈,牛圈等脏乱环境中采集的蚊虫中分离到,而这些环境中很少存在非人类的灵长类动物种群,是否我国分离到的 ZIKA 病毒在自然界具有非灵长类动物以外的动物作为病毒扩增宿主?这一问题有待通过进一步的现场调查和实验室检测来回答。

5.3　加强输入性 ZIKA 病例管理　大量研究显示,ZIKA 病毒可以在人体内存留较长时间,患者已经康复半年后还可以在其尿液和精液中检测到病毒基因,并分离到 ZIKA 病毒,提示人类感染 ZIKA 病毒后可能成为病毒长期携带者。因此做好 ZIKA 病毒感染病例的防护和隔离具有重要意义。对 ZIKA 病毒感染病人进行蚊虫叮咬的隔离,防止蚊虫叮咬而使病毒扩散感染更多的人群,避免出现 ZIKA 病毒感染二代病例是发现病例后首要考虑的事情。自 2016 年 2 月以来我国已经有 20 余例输入性 ZIKA 病毒感染病例报道,但截至目前未引起 ZIKA 病毒感染二代病例的发生,说明我国对 ZIKA 病毒感染病例的处理是十分到位的。然而,我国目前在非洲、南美洲地区工作生活的人数众多,每年有大量的人员往来,出现新的输入性 ZIKA 病毒感染病例可能性非常高,因此对输入性 ZIKA 病毒感染病例的检测与监测是长期的任务。

参考文献:

[1] Karabatsos N. International catalogue of arthropod-borne viruses [M]. 3rd ed. SanAntonio: American Society for Tropical Medicine and Hygiene, 1985:7-24.

[2] Duffy MR, Chen TH, Hancock WT, et al. Zika virus outbreak on Yap Island, Federated States of Micronesia [J]. N Engl J Med, 2009, 360: 2536-2543. DOI: 10.1056/NEJMoa0805715

[3] Franca R, Neves MH, Ayres CF, et al. First international workshop on Zika virus held by Oswaldo Cruz foundation FIOCRUZ in Northeast Brazil March 2016-A Meeting Report [J]. PLoS Negl Trop Dis, 2016, 10(6): e0004760. DOI: 10.1371/journal.pntd.0004760

[4] Mlakar J, Korva M, Tul N, et al. Zika virus associated with microcephaly [J]. N Engl J Med, 2016, 374: 951-958. DOI: 10.1056/NEJMoa1600651

[5] Cao-Lormeau VM, Blake A, Mons S, et al. Guillain-Barré Syndrome outbreak associated with Zika virus infection in French Polynesia: a case-control study [J]. Lancet, 2016, 387: 1531-1539. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)00562-6

[6] Enserink M. An obscure mosquito-borne disease goes global [J]. Science, 2015, 350(6264): 1012-1013. DOI: 10.1126/Sci-ence.350.6264.1.12

[7] World Health Organization. WHO Director-General summarizes the outcome of the Emergency Committee regarding clusters of microcephaly and Guillain-Barré syndrome [EB/OL]. (2016-01-28) [2017-12-23]. http://www.who.int/mediacentre/news/statements/2016/emergency-committee-zika-microce-phaly/en/.

[8] Hall RA, Hall-Mendelin S, Hobson-Peters J, et al. Ecological and epidemiological factors influencing arbovirus diversity, evolution and spread [M]. In: Vasilakis N, Gubler DJ, eds. Arboviruses: Molecular Biology, Evolution and Control. Haverhill: Caister Academic Press, 2016:135-166.

[9] Weaver SC, Reisen WK. Present and future arboviral threats [J]. Antiviral Res, 2010, 85: 328e45. DOI: 10.1016/j.antiviral.2009.10.008

[10] Lee VH, Moore DL. Vectors of the 1969 yellow fever epidemic on the Jos Plateau, Nigeria [J]. Bull World Health Organ, 1972, 46(5): 669-673.

[11] Diawo D, Sall AA, Diagne CT, et al. Zika virus emergence in mosquitoes in southeastern Senegal, 2011 [J]. PLoS One, 2014, 9: e109442. DOI: 10.1371/journal.pone.0109442

[12] Marchette NJ, Garcia R, Rudnick A. Isolation of Zika virus from *Aedes aegypti* mosquitoes in Malaysia [J]. Am J Trop Med Hyg, 1969, 18: 411-415.

[13] Song S, Li Y, Fu S, et al. Could Zika virus emerge in mainland China Virus isolation from nature in *Culex quinquefasciatus*, 2016 [J]. Emerg Microb Infect, 2017, 6: e94. DOI: 10.1038/emi.2017.80

[14] Fu S, Song S, Liu H, et al. ZIKA virus isolated from mosquitoes: a field and laboratory investigation in China, 2016 [J]. Sci China Life Sci, 2017, 60(12): 1364-1371. DOI: 10.1007/s11427-017-9196-8

[15] Boorman JPT, Porterfield JS. A simple technique for infection of mosquitoes with viruses transmission of Zika virus [J]. Trans R Soc Trop Med Hyg, 1956, 50: 238-242.

[16] Epelboin Y, Talaga S, Epelboin L, et al. Zika virus: An updated review of competent or naturally infected mosquitoes [J]. PLoS Negl Trop Dis, 2017, 11(11): e0005933. DOI: 10.1371/journal.pntd.0005933

[17] Goncalves CM, Melo FF, Bezerra JMT, et al. Distinct variation in vector competence among nine field populations of *Aedes aegypti* from a Brazilian dengue-endemic risk city [J]. Parasit Vectors, 2014, 7: 320. DOI: 10.1186/1756-3305-7-320

[18] Vega-Rúa A, Zouache K, Girod R, et al. High level of vector competence of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* from ten American countries as a crucial factor in the spread of *Chikungunya* virus [J]. J Virol, 2014, 88: 6294-6306. DOI: 10.1128/

JM.00370.14

[19] Medlock JM, Hansford KM, Schaffner F, et al. A review of the invasive mosquitoes in Europe: ecology, public health risks, and control options [J]. Vector Borne Zoonotic Dis, 2012, 12: 435-447. DOI:10.1089/vbz.2011.0814

[20] Vega-Rua A, Zouache K, Caro V, et al. High efficiency of temperate *Aedes albopictus* to transmit chikungunya and dengue viruses in the Southeast of France [J]. PLoS One, 2013, 8: e59716. DOI:10.1371/journal.pone.0059716

[21] Wong PSJ, Li MI, Chong CS, et al. *Aedes* (Stegomyia) *albopictus* (Skuse): a potential vector of Zika virus in Singapore [J]. PLoS Negl Trop Dis, 2013, 7: e2348. DOI:10.1371/journal.pntd.0002348

[22] Lourenco-de-Oliverira R, Failloux AB. Lessons learned on Zika virus vectors [J]. PLos Negl Trop Dis, 2017,11(6):e0005511. DOI:10.1371/journal.pntd.0005511

[23] Guo XX, Li CX, Deng YQ, et al. *Culex pipiens quinquefasciatus*: a potential vector to transmit Zika virus[J]. Emerg Microbes Infect, 2016, 5: e102. DOI:10.1038/emi.2016.102

[24] Guedes DR, Paiva MH, Donato MM, et al. Zika virus replication in the mosquito *Culex quinquefasciatus* in Brazil [J]. Emerg Microbes Infect, 2017, 6: e69. DOI:10.1101/073197

[25] Liu H, She L, Zhang XL, et al. From discovery to outbreak: the genetic evolution of the emerging Zika virus[J]. Emerg Microbes Infect, 2016, 5: e111. DOI:10.1038/emi.2016.109

[26] Malone RW, Homan J, Callahan MV, et al. Zika Virus: medical countermeasure development challenges [J]. PLoS Negl Trop Dis, 2016, 10(3): e0004530. DOI:10.1371/journal.pntd.0004530

[27] Gardner LM, Chen N, Sarkar S. Global risk of Zika virus depends critically on vector status of *Aedes albopictus*[J]. Lancet Infect Dis, 2016, 16(5): 522-523. DOI: 10.1016/S1473-3099(16)00176-6

收稿日期:2018-01-23 编辑:张智芳

参考文献在文内的标注格式

采用顺序编码制时,对引用的文献,按它们在论文中出现的先后用阿拉伯数字连续编码,将序号置于方括号内,并视具体情况把序号作为上角标,或者作为语句的组成部分。

1. 在引用参考文献的地方加标记。这个标记是用方括号括起来的阿拉伯数字,其中的阿拉伯数字是文献的顺序号。比如,在引用第 25 个文献的地方所加的标记为[25]。

2. 给文献编序号要根据以下两点:一是只有文献第一次在文中出现时才编序号,换句话说,一篇文献只有一个序号,即使某文献在文中被多次引用,但在几个引用处都要标注同一个序号。二是以文献第一次出现的前后次序,从 1 开始连续编序号。例如,第一个第一次出现的文献,序号为 1;第二个第一次出现的文献,序号为 2;……。

3. 如果文献的作用是对正文作解释,标注时文献序号连同方括号都要使用比正文字号小,并把它们放在右上方(作为上角标);如果文献是作为句子的成分出现在正文之中,标注时文献序号连同方括号的字号要与正文的字号相同,并且把它们作为正文的一部分来书写(位置与正文平齐,不做为上角标),另外要注意的是一定要方括号前面加上“文献”两个字。

4. 如果在正文的一处引用了多篇文献,标注时只用一个方括号,括号内列写这几篇文献的序号:若几个序号是连续的,只标注起、止序号,两序号之间加半字线“—”号;若几个序号不连续,各序号之间加逗号。