

# 基于计算流行病学的埃博拉出血热的传播与爆发仿真研究

江华 潘海霞 孙明伟 彭谨 杨浩 周舜泰 陈伟 周志远 刘义涛 何路 曾俊

**【摘要】目的** 本研究旨在模拟外来输入性埃博拉出血热 (Ebola virus disease, EVD) 病例出现后, 不同的防控策略对该病在我国传播及爆发流行模式的影响, 并为相关决策部门提供一种循证决策依据。**方法** 选用的传染病 SIR 动力学模型建模。模拟病毒输入区域为我国南方某特大型城市群, 该城市群人口 5000 万, 所有人均为易感者。出现输入性病例, 模拟情况分别包含单个感染者入境  $I(0) = 1$ , 某小型旅行者团体 (全为感染者) 入境  $I(0) = 5$  及  $I(0) = 5$ 。我们称为“零号感染者”, 其发病过程呈现典型的埃博拉出血热发病过程。其传播能力用  $\beta$  表示。对于输入性埃博拉感染者进入我国后, 从其发病到得到控制 (启动紧急预案) 的时间  $t_0$  设定了如下特征参数:  $t_s = 6, 12, 18, 24, 30$  h。传播模式设定如下:  $S_0 = 5 \times 10^8$ ,  $I_0 \in [1, 20]$ ;  $\lambda \in (0, 1)$ ;  $q \in (0, 1]$ ;  $t_s \in \{6, 12, 18, 24\}$  h。**结果** 零号感染者输入后, 随着应急预案启动的时刻  $t^*$  变化, 病毒暴发曲线为指数型, 指数方程为  $y = 1.053e^{1.801x}$ , 模型拟合度  $R^2 = 1$ , RSME = 0.1185。如在给定启动应急预案的时间点后 (即在同一时间点启动应急预案), 零号感染者的数量与被感染者人数上限之间的关系表现为线性增加, 线性方程为  $y = 7.605x$ , 模型拟合度  $R^2 = 1$ 。以最好模型估计, 若零号感染者人数为 1, 输入后在 6 h 内即被识别并启动应急预案进行处置, 则感染人数分别为 7 人; 若其被隔离时间延长为 12, 18, 24 及 30 h, 则对应的感染人数分别为 7、32、400、1400 和 8600。以最坏模型估计, 若零号感染者人数为 10, 在 6, 12, 18, 24 及 30 h 后才被识别并启动应急预案进行处置, 则在对应的新发感染人数分别为 67、380、2400、1.4 万和 8.7 万。**结论** 埃博拉出血热在我国爆发流行的可能性较低, 即使出现输入性病例, 只要能严格执行国家卫计委的相关规定, 该病的传播范围将极为有限。应该加大投入, 加强对一线传染科、急诊科和发热门诊医护人员的培训, 使之能及时识别该病并加以处置。

**【关键词】** 埃博拉出血热; 爆发; 计算流行病学; 系统仿真; 循证决策; 中国; 突发公共卫生事件; 灾难医学; SIR 模型

**Simulating the Ebola virus disease transmission and outbreak in China by using computational epidemiological model** JiangHua, Pan Haixia, Sun Mingwei, Peng Jin, Yang Hao, Zhou Shuntai, Chen Wei, Zhou Zhiyuan, Liu Yitao, He Lu, Zeng Jun. Department of Computational Mathematics and Biostatistics, Metabolomics and Multidisciplinary Laboratory for Trauma Research, Institute for Emergency and Disaster Medicine, Sichuan Provincial People's Hospital, Sichuan Academy of Medical Sciences, Chengdu 610101, China

Corresponding author: Zeng Jun, Email: cdjianghua@gmail.com

**【Abstract】Objective** To Aims This study presents a computational simulation model to determine the effect of different control strategies on the transmission and outbreak patterns of Ebola virus disease (EVD) in China, in order to provide evidence for policy makers and government authorities. **Methods**

DOI:

基金项目: 四川省科技厅科技支撑项目 (SZ20120209、2012SZ0181); 成都市科技局科研基金资助 (11PPYB099SF-289、12PPYB181SF-002)

作者单位: 610101 成都, 四川省医学科学院·四川省人民医院急诊医学与灾难医学研究所创伤代谢组多学科实验室 计算数学与生物统计学教研组 (江华、潘海霞、孙明伟、彭谨、杨浩、周舜泰、陈伟、周志远、刘义涛、曾俊), 急救中心急诊外科 (江华、孙明伟、曾俊), 肿瘤科 (潘海霞); 北卡罗来纳大学教堂山分校医学院 Lineberger 癌症研究中心 (周舜泰); 中国医学科学院北京协和医院肠外与肠内营养科 (陈伟); 泸州医学院生物化学教研室 (周志远); 新西兰怀卡托大学管理学院 (何路)

通信作者: 曾俊, Email: cdjianghua@gmail.com

and Materials We selected the SIR dynamics model. We assumed that the EVD patient (s) would enter China at certain urban agglomerations of Southern China. The population in these urban agglomerations is over 50 million and all of them are susceptible to EVD. EVD patient (s) who enter certain ports of these urban agglomerations would be defined as “patient zero” and marked as  $I(0)$ . we set up number of  $I(0)$  as:  $n = 1, 5, 10$ .  $\beta$  is the transmission capacity of Ebola virus. Given  $t^*$  the time from occurrence of isolation of EVD patients is  $t^* = 6, 12, 18, 24, 30$  hours. Thus, we have a set of simulation parameters:  $S_0 = 5 \times 10^8$ ,  $I_0 \in [1, 20]$ ;  $\lambda \in (0.1)$ ;  $q \in (0.1)$ ;  $t_8 \in \{6, 12, 18, 24\}$  h; **Results** When patient zero arrives, at the same time  $t^*$  evolves, the EVD outbreak curve presents as an exponential pattern, the equation is  $y = 1.053e^{1.801x}$ . Let  $t^*$  is fixed, then the relation between the numbers of patient zero and the peak of new infections is obeying a linear model, and the equation is  $y = 7.605x$ . In the best case scenario, the number of patient zero is 1, and is isolated no more than 6 hours after the onset. Under such a circumstance, the new cases who will be infected by the patient zero would only be 7. However, if the isolation time of patient zero is postponed to 12, 18, 24 and 30 hours, the new cases who will be infected by the patient zero will increase to 32, 400, 1400 and 8600, respectively. If he number of patient zero is 10, and is isolated after 6, 12, 18, 24 and 30 hours of the onset, then the new cases infected by patient zero would be 67, 380, 2400, 14 000 and 87 000, respectively. **Conclusion** The possibility of an outbreak of EVD in China is quite low when relevant regulations made by national health authorities are well conducted. It means patient zero and the intimate contact persons should be isolated within 6 hours when patient zero symptoms and signs occur. In addition, we suggest an increased investment in capacity building and precaution equipment for health providers who work in emergency departments, departments of transmission of diseases and fever clinics in hospitals.

**【Key words】** Ebola virus disease; Outbreak; Computational epidemiology; System simulation; Evidence-based decision-making; China; Emergency public health hazards; Disaster medicine; SIR Model

2014 年 4 月, 几内亚爆发了以发热、粘膜出血为代表症状的一种严重的出血性疾病。经过世界卫生组织 (world health organization, WHO) 评估后, 认定该病由埃博拉病毒 (Ebola virus) 导致, 称为埃博拉出血热 (Ebola Virus Disease, EVD)。这一烈性传染病, 在短短的数月内迅速扩散到乌干达、刚果、加蓬、苏丹、科特迪瓦、南非、几内亚、利比里亚和塞拉利昂等国。据 WHO 公告和已有研究, 该病病死率高达 50-90%<sup>[1]</sup>。这一病死率, 远超霍乱、流感等烈性传染病。此次埃博拉爆发来势凶猛, 引发了全球性关注<sup>[2]</sup>。尽管目前疫情主要蔓延于非洲, 但随着中国和非洲经济文化联系的日益密切, 大量人员频繁来往于中非之间, 埃博拉疫情对于我国也构成了公共卫生意义上的威胁。有鉴于此, 国家有关部门对此次疫情给予了高度关注, 并发布了防治指导性文件<sup>[3,4]</sup>。疫苗研究也已经启动。

与此同时, 在严控输入病例的同时, 如何在传染性病例传入后, 科学的估计疫情规模对于公共决策意义重大。已有的科学证据表明, 传染病根据其传播模式、病死率、防控力度以及易感人群规模等参数的不同其传播规律也极为不同<sup>[5-8]</sup>。例如, 杨芳廷等通过对 SARS 在某北方大城市爆发的系统仿真研究发现, 恰当的建模能够有效的模拟 SARS 的人

群传播模式<sup>[5]</sup>。通过数学模型可推导出不同的防控策略 (如限制人员流动、对疑似感染者及早隔离等) 对于病毒传播的影响<sup>[8-11]</sup>。例如, 要对快速传播的 SARS 实现有效控制, 就必须在隔离全部疑似病例的同时, 还要严格限制人口自由流动<sup>[8]</sup>。

EVD 是一种传染途径尚未完全明确的烈性传染病, 已知病毒主要通过体液接触传播, 但也不能排除其具有经空气传播的可能<sup>[1,12-15]</sup>。迄今为止, 该病从未在中国发生过。作为一个幅员辽阔、人口众多、人员流动频繁和国际交往日益密切的大国, 我国已经初步建立了行之有效的急性传染病防控体系和卫生应急管理体系。在绝大多数情况下, 烈性传染病病例都能够及时得到处理。上述国情决定了, 对急性传染病在我国的传播方式进行建模, 其系统参数可以借鉴但不能完全照搬外国的研究。本研究旨在提出一种计算机仿真模型, 模拟外来输入性埃博拉病例出现后, 不同的防控策略对该病在我国传播的模式的影响, 并为相关部门提供循证决策的参考依据。

## 1 资料与方法

基于有限的对埃博拉病毒的传染能力的证据, 该病毒在潜伏期无传播能力, 在出现流感样症状后有一定的传播能力<sup>[13-16]</sup>, 但由于此期患者无出血症状, 呕吐等症状也相对轻, 经体液排出的病毒数

量相对少,因此其传染能力弱于出现出血热症状后;发生典型出血热后有极强的传播能力。作为系列研究的第一步,本研究建模的前提条件是仅考虑和模拟出现出血热症状后的患者隔离和卫生应急策略问题。

据此,可以把特定时间的人群分为以下 3 种状态:易感者(S),感染者(I)以及退出者(R)。由于目前尚无有效疫苗,故某一传入地区的所有个体均对发病期 EVD 患者易感。易感者与感染者接触之后由易感状态 S 转换为感染状态 I,在特定时刻感染者数量为  $I_t$ 。随着感染人数增加,感染者以概率  $\beta$  逐渐把易感人群转化为感染者,在没有启动应急预案隔离感染者的情况下,感染者 I 越多,其感染易感者的速度越快。因此可以假设感染者以  $\lambda$  为概率以死亡(假设死亡后的处理均由受严格保护的专业人员按照规定处理)或者被隔离的方式退出 I。

### 1.1 模型选择与核心参数

(1) 模型基于经典的急性传染病 SIR 动力学模型。S = 易感者(susceptible),记为 S(t); I = 感染者(infected),记为 I(t); R = 退出者(removed),记为 R(t)。

(2) 病毒爆发区域。假设为位于我国南方、人口 5000 万左右的某特大型城市群,潜在易感者人数  $S = 5 \times 10^8$ 。输入性病例来自于非洲某疫区,在上述城市群的某口岸入境。输入病例我们命名为“零号感染者”(patient zero),即 I(0)。模拟场景为:单个感染者入境  $I(0) = 1$ ,某小型旅行者团体(全为感染者)入境  $I(0) = 5$  及  $I(0) = 10$ 。

(3) 感染者入境后发病,临床表现为典型埃博拉出血热发病过程,具有明显、可识别的出血热特征。其传播能力用  $\beta$  表示,参照非洲已有研究给出<sup>[14-16]</sup>。根据国家卫计委的规定,凡疑似埃博拉出血热的病例,均应按照甲类传染病管理和报告<sup>[4]</sup>。依《中华人民共和国传染病防治法实施办法》和卫生应急工作的相关规定,对于甲类传染病,责任疫情报告人应当在发现后 6 h 内(城镇)上报,并启动应急预案<sup>[17]</sup>。由于我国地域辽阔,经济社会发展和卫生条件在地区间差距极大,疾病预防控制系统总体上来说虽然较为完善,但不排除有些基层单位对于该病的识别能力不强,存在不能及时上报的可能。据此,我们的仿真模型中,对于埃博拉感染者输入我国后,从其发病到得到控制(启动应急预案)的时间  $t^*$  设定了如下特征参数:  $t^* = 6, 12, 18, 24, 30$  h。

### 1.2 数学模型建立

初始条件:  $S(0) = S_0, I(0) = I_0, R(0) =$

$R_0, S_0 + I_0 + R_0$

$$\begin{cases} \dot{S} = -\beta(t, t_8) I \\ \dot{I} = (\beta(t, t_8) I - \lambda I) \\ \dot{R} = \lambda I \frac{(S_0 - I)}{S_0} \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{其中: } \beta(t, t_8) = \begin{cases} \beta_0 & t \\ \beta_0 e^{-q(t-t_8)} & t \end{cases} \quad (2)$$

我们假设“零号感染者”从某有 5000 万人口(初始条件  $S_0$ )的特大城市群中的某口岸入境。零号感染者入境后的疾病传播方式,符合传染病的油桶模型。假设在任意时刻 t,其有效传染强度  $\beta$  是一随时间 t 变化的概率函数,  $t^*$  表示启动应急预案的时间点。在时刻  $t < t^*$  时,前无任何干预措施,传染行为由埃博拉病毒自身的传播能力决定。 $\beta$  值为一固定常数;当时刻  $t \geq t^*$  时,由于感染者及暴露者得到有效隔离和治疗,传染源和传播途径均得到控制。此等情形下,传染强度  $\beta$  随时刻 t 逐渐减少。参数 q 表示应急预案的实施强度。

SIR 模型中, S 表示易感人群,由于迄今为止,埃博拉病毒的有效疫苗并未上市,可简单假设全部人群均属于易感者; I 表示已感染人群; R 表示感染后退出感染的人群,且不再具有传染性的人,且不能再次被感染(此即,病死的患者或被隔离的感染者)。参数表示感染者的退出系数;  $S_0$  和  $I_0$  分别表示 S 的初始值,和 I 的初始值,且总人群  $N = S + I + R$ 。

### 1.3 建模与计算平台

采用四川省医学科学院·四川省人民医院急诊医学与灾难医学研究所的高性能计算平台,配置条件: CPU Xeon E7-88484, 512GB DDR3 1333Mhz。

### 1.4 软件与运行环境

Matlab 2009b (MathWorks, 美国), 运行环境 windows 7。

### 1.5 模型运行结果

参数模拟: 模拟条件如前所述,输入性传播模式设定。  $S_0 = 5 \times 10^8, I_0 [1, 20]; \lambda \in; q \in; t_8 \in \{6, 12, 1\}$  h。

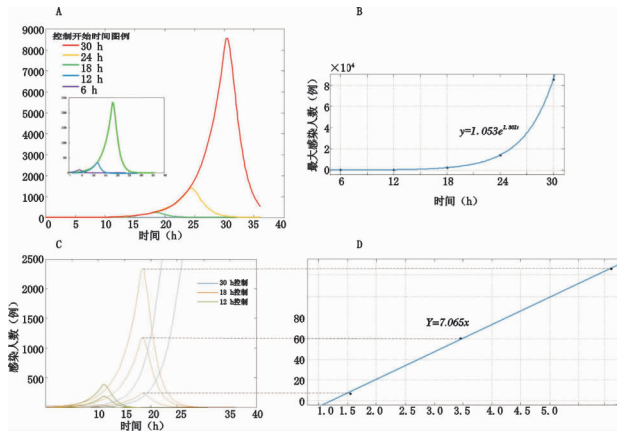
## 2 结果

在零号感染者数量  $I(0) = 1$  时,感染者输入后依启动应急预案时间点的变化,疫情出现完全不同的演变模式。输入启动应急预案启动的时刻  $t^*$  后,拟合的病毒暴发曲线出现以下特征性变化:输入病例传染的人数呈现指数上涨规律,指数方程为 ( $y = 1.053e^{1.801t}$ )。

如果零号感染者在 6h 被隔离,那么其所能感染的人数将不会超过 10 人。这是一种最为理想的

场景，对应于最严格的发现与隔离方案。然而，如果零号感染者在发病 30 h 后才被识别和隔离，则其可感染的人数将超过 8000 人，(图 1A、B)。

在给定启动应急预案的时间点后（即在同一时间点启动应急预案），零号感染者的数量与被感染者人数上限之间的关系表现为线性增加，给出线性方程： $y = 7.605x$  (图 1C、D)。



A:  $I(0) = 1$ ，零号感染者被隔离时间  $t^* = 6, 12, 18, 24, 30$  h 的新感染病例数演变过程；B: 指数拟合；C:  $I(0) = 1, 5, 10, t^* = 12, 18, 30$  h 的新感染病例数演变过程；D: 线性拟合

图 1 零号感染者入境后 EVD 疫情演变规律

Fig 1 The EVD epidemic evolution after patient zero entry

以最坏情形估计，如果零号感染者人数为 10，在 30 h 后才被识别并启动应急预案进行处置，则在该特大城市群中受感染人数的上限为 8.7 万 (图 2)。

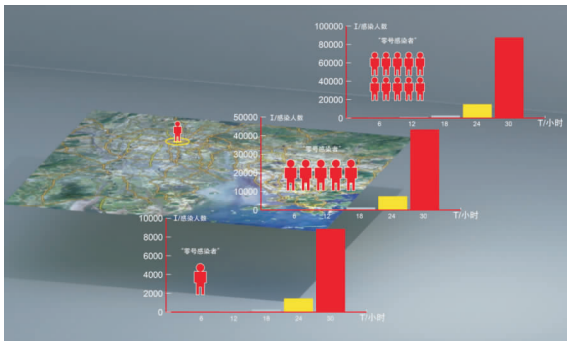


图 2 隔离时间与零号感染者输入后对最大可感染人数的影响：散发与大爆发的时间阈值

Fig 2 The impact patient zero isolation time-point and the maximum new infected cases

### 3 讨论

本研究发现，及时隔离患者对于阻止埃博拉病

毒在我国爆发至关重要。在所有的对模型具有重要影响的参数当中，启动应急预案的时间  $t^*$  具有压倒性影响。零号患者发病后，若能在 6 h 内被隔离，无论是单人入境，还是 10 人入境，都不会造成大爆发。当对零号患者的隔离时间超过 18 h，大爆发就不可避免了。但总的来说，由于我国的急性传染病防控系统和卫生应急系统已经较为完善<sup>[6]</sup>，且埃博拉出血热潜伏期短、发病后来势凶猛、患者易于被识别和隔离，因此出现大爆发的可能性极低。且埃博拉的威胁总的来说远低于主要由呼吸道传染的烈性传染病，如高致病性流感。

需要强调指出的一点是：动力学方程表明，埃博拉病毒输入后，零号病人的数量波动不会对疾病流行的时间-人数曲线造成显著改变，当入境患者分别为 1, 5, 10 人时，新感染者呈线性增长。在隔离时间给定的前提下，无论零号感染者的数量为多少，新感染者的增量均处于同一数量级。因此，可以认为小规模感染者团体入境情况与单个感染者入境情况类似，只要即使隔离，造成爆发流行可能性极低。因此，即使出现了一个或者数个输入性病例，只要能够严格执行国家卫计委的相关规定，埃博拉出血热完全不会演变为大型突发公共卫生事件。为了避免公众恐慌和谣言传播，在强化防控措施执行力度的同时，亟需通过包括电视、报纸、专业网站、微博以及微信等多种传统和新媒体渠道，针对性的加强普通公众的宣传教育 and 科普工作<sup>[19]</sup>。

但是，仍然需要指出若零号患者的不能及时被隔离，新感染者的增长曲线就从线型变为指数型。当隔离时间超过 18 h，大爆发就不可避免了。

还需要强调的一点是：在我们的模型中，设定了隔离或死亡后的患者就退出了传染动力学过程。但这并不代表他们就没有传染能力了。只是，此时的易感人群局限为必须接触患者、并为他们提供医疗服务的专业人员，以及必须处理死者尸体的相关人员。在 2003 年的 SARS 和近期在非洲的埃博拉疫情中，都出现了医疗人员和殡葬人员被感染的病例<sup>[1, 20]</sup>。所以，必须进一步加强对一线临床医务工作者和应急工作者，尤其是传染科、急诊科发热门诊医护人员对埃博拉出血热的筛查和诊断培训<sup>[21]</sup>，同时要强化普遍性预防，并配置足够的资源。

有研究表明，如果某急性传染病的主要传播途径是空气传播，则其流行和爆发受到外界环境的影

响会超过主要经接触传播的传染病。甚至有可能出现相当部分的感染者不会进一步感染别人,而少部分“超级感染者”却能够感染大量患者的情形。此时,就有必要在动力学仿真中引入随机过程。迄今为止,埃博拉病毒的传播途径主要还是接触传染<sup>[1]</sup>,但也有证据提示,该病毒可能具有一定的空气传播能力<sup>[10-12]</sup>。因此我们下一步的工作,是将埃博拉病毒的空气传播能力作为修正项加入新模型中。

此外,对于出现前驱症状但尚未发展到发病期的感染者(发病前期),有证据表明,其传染性是存在的,在本模型中,尚未考虑此一状况。因此,未来的研究中,我们拟将对此进行深入探讨。

根据本研究的证据,埃博拉出血热在我国爆发流行的可能性极低。即使出现输入性病例,只要严格执行国家的相关规定,对于输入的零号感染者及其密切接触者的隔离、上报和启动应急预案的启动时间控制在 6 h 内,该病的传播范围极为有限,不会引发大型突发公共卫生事件。即使由于各种原因,无法实现 6 h 内隔离零号感染者及其密切接触者,在 18 h 有效启动预案、隔离感染者和密切接触者,该病的传播范围虽然会显著增加,但依然可控。但绝对不能晚于 18 h 这一时间窗。故此,需要在强化防控措施执行力度的同时,加强针对普通公众的宣传教育和科普工作,消除恐慌情绪。此外,应该加大投入,加强对一线传染科、急诊科和发热门诊医护人员的培训,使之能及时识别该病并加以处置。

**致谢** 健康界网站 (<http://www.cn-healthcare.com/>) 曹凯博士启发和鼓励了作者们启动本研究,特此致谢。张继博士对论文的撰写提出了中肯意见,一并致谢。四川省医学科学院·四川省人民医院创伤代谢组多学科实验室硕士研究生王凯医师协助了本文的编辑工作,谨致谢意。

## 参考文献

[1] World Health Organization. Ebola virus disease update - West Africa [EB/OL]. [2014-8-11]. [http://www.who.int/csr/don/2014\\_08\\_11 Ebola/en/](http://www.who.int/csr/don/2014_08_11 Ebola/en/).

[2] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 世界卫生组织: 非洲埃博拉出血热疫情为国际关注的突发公共卫生事件 [EB/OL]. [2014-8-8]. <http://www.nhpc.gov.cn/yjb/s3578/201408/98264694a5c24720a67b4fd003a042fe.shtml>.

[3] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 质检总局外交部国家卫生计生委国家旅游局关于防止非洲埃博拉出血热传入

我国的公告 [EB/OL]. [2014-7-24]. <http://www.nhpc.gov.cn/yjb/s3578/201407/86202e526945482d93de24cc33e14896.shtml>.

[4] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 埃博拉出血热防控方案 [EB/OL]. [2014-7-31]. <http://www.moh.gov.cn/yjb/s3578/201407/530a2d22409249a7a5fbde51f0117b32.shtml>.

[5] 杨洪勇, 张嗣瀛. 基于复杂网络的禽流感病毒传播 [J]. 系统仿真学报, (2008), 20 (18): 5001-5005.

[6] 林才经. 公共突发事件紧急救援对策 [J]. 中华急诊医学杂志, 2004, 13 (8): 513-514.

[7] 肖正伦. 严重急性呼吸综合征和中国危重病医学 [J]. 中华急诊医学杂志, 2004, 13 (1): 10-11.

[8] He J, Hou X, Toloo S et al. Demand for hospital emergency departments: a conceptual understanding. *World J Emerg Med* 2011; 2 (4): 253-261

[9] 杨方廷. 北京 SARS 疫情过程的仿真分析 [J]. 系统仿真学报, 2003, 15 (7): 991-994.

[10] 李玮, 毕贵红, 张寿明. 基于 Agent 动态小世界网络的 HIV 同性传播仿真研究 [J]. 系统仿真学报, 2012, 24 (1): 216-222.

[11] 刘颖, 陈禹. 复杂适应系统理论对控制 SARS 疫情的模拟分析 [J]. 复杂系统与复杂性科学, 2004, 1 (2): 74-79.

[12] Peters CJ, Peters JW. An introduction to Ebola; the virus and the disease [J]. *J Infect Dis*, 1999, 179 Suppl 1: ix-xvi.

[13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 关于印发埃博拉出血热等 6 种传染病预防控制指南和临床诊疗方案的通知 [EB/OL]. [2008-7-23]. <http://www.moh.gov.cn/yjb/s3577/200807/67f9130ce0b843f697f27702817ec0eb.shtml>.

[14] Alexander KA, Lewis BL, Marathe M, et al. Modeling of wildlife-associated zoonoses; applications and caveats [J]. *Vector Borne Zoonotic Dis*, 2012, 12 (12): 1005-18.

[15] Center for Disease Control of United States. Ebola Viral Disease Outbreak - West Africa [EB/OL]. [2014-6-24]. <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/mm6325a4.htm>.

[16] Leroy EM, Baize S, Volchkov VE, et al. Human asymptomatic Ebola infection and strong inflammatory response. *Lancet*. 2000; 355 (9222): 2210-5.

[17] 中华人民共和国中央人民政府. 中华人民共和国传染病防治法实施办法 [EB/OL]. [2014-6-24]. [http://www.gov.cn/banshi/2005-08/01/content\\_19107\\_2.htm](http://www.gov.cn/banshi/2005-08/01/content_19107_2.htm).

[18] Lekone PE, Finkenst? dt BF. Statistical inference in a stochastic epidemic SEIR model with control intervention; Ebola as a case study [J]. *Biometrics*. 2006, 62 (4): 1170-7.

[19] Chowell G, Hengartner NW, Castillo-Chavez C, et al. The basic reproductive number of Ebola and the effects of public health measures; the cases of Congo and Uganda [J]. *J Theor Biol*. 2004, 229 (1): 119-26.

[20] 江华, 彭谨. 为什么埃博拉病毒在中国大流行可能性小? 健康界网站 [EB/OL]. [2014-8-6]. <http://www.cn-healthcare.com/article/20140806/content-459216.html>.

[21] Nicks BA, Nelson D. Emergency department operations and management education in emergency medicine training. *World J Emerg Med* 2012; 3 (2): 98-101

(收稿日期: --)

(本文编辑:)