

# 北京市2009年甲型H1N1流感防控效果 定量评价

王小莉 杨鹏 曹志冬 曾大军 吴疆 张奕 钱海坤 彭晓旻 梁慧洁  
庞星火 邓瑛 贺雄 王全意

**【摘要】** 目的 定量评价北京市甲型H1N1流感的防控措施效果,为制定和调整传染病防控策略提供依据。方法 利用北京市2009年甲型H1N1流感流行病学数据,基于传染病传播动力学机制,考虑了甲型H1N1流感的季节性,并引入疫苗接种量,建立定量评价甲型H1N1流感防控效果的数学模型。结果 2009年北京市甲型H1N1流感的平均潜伏期约为1.82 d,平均感染期约为2.08 d,前中后三期有效再生数分别为1.13、1.65和0.96;北京市采取的一系列甲型H1N1流感防控措施使2009年甲型H1N1流感报告的实际病例数远远小于其自然状态下的累计病例数;接种甲型H1N1流感疫苗使2009年累计病例数减少24.08%,且使发病高峰时间推后。结论 北京市采取的一系列甲型H1N1流感防控措施整体上显著有效,接种甲型H1N1流感疫苗不仅降低了疫情规模,还能延迟疫情达到高峰的时间。

**【关键词】** 甲型H1N1流感;防控措施效果;定量评价;传染病传播动力学

**Quantitative evaluation on the effectiveness of prevention and control measures against pandemic influenza A (H1N1) in Beijing, 2009** WANG Xiao-li<sup>1</sup>, YANG Peng<sup>1</sup>, CAO Zhi-dong<sup>2</sup>, ZENG Da-jun<sup>2</sup>, WU Jiang<sup>1</sup>, ZHANG Yi<sup>1</sup>, QIAN Hai-kun<sup>1</sup>, PENG Xiao-min<sup>1</sup>, LIANG Hui-jie<sup>1</sup>, PANG Xing-huo<sup>1</sup>, DENG Ying<sup>1</sup>, HE Xiong<sup>1</sup>, WANG Quan-yi<sup>1</sup>. 1 Institute for Infectious Disease and Endemic Disease Control, Beijing Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100013, China; 2 Institute of Automation, Chinese Academy of Complex Systems and Intelligence Science Laboratory  
Corresponding author: WANG Quan-yi, Email:bjdcxmx@126.com

This work was supported by grants from the National High Technology Research and Development Program of China (863 Program) (No. 2008AA02Z416), Key Task of Novel H1N1 Flu Prevention Strategy of Beijing Science and Technology Bureau (No. Z09050700940905) and Beijing Natural Science Fund (No. 7082047).

**【Abstract】** **Objective** To quantitatively evaluate the effectiveness of prevention and control measures against pandemic influenza A (H1N1) in Beijing, 2009 and to provide evidence for developing and adjusting strategies for prevention and control of the disease. **Methods** Considering the seasonality and the number of vaccination on pandemic influenza A (H1N1), data regarding pandemic influenza A (H1N1) in Beijing were collected and analyzed. Based on the dynamics of infectious disease transmission, a quantitative model for evaluation of prevention and control measures was developed. **Results** Both latency and infectious periods of pandemic influenza A (H1N1) were estimated to be 1.82 days and 2.08 days, respectively. The effective reproduction numbers of the three periods were 1.13, 1.65 and 0.96, respectively. Thanks to the implementation of a series of measures to prevent and control pandemic influenza A (H1N1), the cumulative number of laboratory-confirmed cases of pandemic influenza A (H1N1) was reduced, making it much smaller than what would have been under the natural situation. Specifically, the program on pandemic (H1N1) 2009 vaccination reduced the cumulative number of laboratory-confirmed cases by 24.08% and postponed the peak time. **Conclusion** Measures that had been taken during this period, had greatly contributed to the

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2010.12.011

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)(2008AA02Z416);北京市科委科研院所重点任务北京市甲型H1N1流感防控策略研究项目(Z09050700940905);北京市自然科学基金(7082047)

作者单位:100013北京市疾病预防控制中心传染病与地方病研究所(王小莉、杨鹏、吴疆、张奕、钱海坤、彭晓旻、梁慧洁、庞星火、邓瑛、贺雄、王全意);中国科学院自动化研究所复杂系统与智能科学重点实验室(曹志冬、曾大军)

通信作者:王全意, Email:bjdcxmx@126.com

successful prevention and control of pandemic influenza A (H1N1). The 2009 Pandemic (H1N1) vaccination was confirmed to have contributed to the decrease of cumulative number of laboratory-confirmed cases and postponed the peak arrival time.

**【Key words】** Influenza A (H1N1); Measures to prevent and control pandemic influenza A (H1N1); Quantitative evaluation; Dynamics of infectious disease transmission

北京市在 2009 年 5 月 16 日报告第一例甲型 H1N1 流感确诊病例后,采取了关口围堵、密接管理、关闭学校、救治危重症病例及健康宣传教育等措施,严防该病在本地人群中扩散。然而其防控效果如何,目前仍不清楚。以往关于传染病防控措施效果的评价大多属于定性研究<sup>[1]</sup>,定量研究较少。本研究采用数学模型定量评价北京市甲型 H1N1 流感的防控措施效果,为日后制定和调整传染病防控策略提供依据。

### 资料与方法

1. 数据来源及分类:北京市国家级流感网络实验室于 2009 年第 31 周检测出首例甲型 H1N1 流感病毒核酸阳性病例。因此本研究将基线数据分两个阶段:2009 年第 19 周至第 30 周(2009 年 5 月 16 日至 8 月 2 日)和 2009 年第 31 周至第 48 周(2009 年 8 月 3 日至 12 月 31 日)。第一阶段以实际报告的甲型 H1N1 流感确诊病例数为基线,第二阶段以北京市流感样病例(ILI)数乘以其中甲型 H1N1 流感阳性率为基线。

数据包括甲型 H1N1 流感实验室确诊病例报告数据、ILI 监测数据及流感病原学监测数据。其中甲型 H1N1 流感实验室确诊病例报告数据来自《疾病监测信息报告管理系统》,ILI 监测数据来自《北京市医院传染病监测系统》,流感病原学监测数据来自《中国流感监测信息系统》。

#### 2. 方法:

(1)基本假设:甲型 H1N1 流感的流行传播完全由人际间的传播引起,且甲型 H1N1 流感病毒的活动度具有一定的季节性;研究对象为封闭人群,既不考虑人口的迁出与迁入,也不考虑人口自然状态下的出生与死亡;甲型 H1N1 流感的传播完全为人间近距离接触;不考虑个体自身免疫能力的差异;不考虑甲型 H1N1 流感感染者排出病毒致病力的差异;个体传播能力一致,不考虑小概率出现的“超级传播事件”影响。

(2)模型结构<sup>[2,3]</sup>:将人群分成 4 个子群,分别为易感人群 S(susceptible)、潜伏期人群 E(exposed)、感染人群 I(infectious)与迁出人群 R(removed),即

SEIR 模型。令  $t$  时刻易感人群的数量为  $S(t)$ ,  $t$  时刻潜伏人群的数量为  $E(t)$ ,  $t$  时刻感染人群的数量为  $I(t)$ ,  $t$  时刻移出人群的数量为  $R(t)$ ;令总人口数为  $N$ 。则在基本假设条件下,  $N = S(t) + E(t) + I(t) + R(t)$ 。

模型中有 3 个控制参数,分别为感染率  $\beta$  (infection rate)、转阳率  $\sigma$  (conversion rate)、移出率  $\gamma$  (removed rate)。 $\beta$  指单位时间(d)内一例甲型 H1N1 感染者使易感人群受到感染的平均数量,主要用来衡量时间周期内新增感染者的强度; $\sigma$  指单位时间(d)内由潜伏者变为甲型 H1N1 患者的人数占有潜伏者人数的比例,主要用来衡量潜伏者向感染者转移的速率; $\gamma$  指单位时间(d)内甲型 H1N1 感染者因隔离治疗/自然恢复并获免疫/死亡,而退出传播系统的人数占有感染者数量的比例,主要用于衡量感染者退出传播系统的速率。该 3 个参数均具有明显的流行病学意义。转阳率  $\sigma$  的倒数  $1/\sigma$  等于平均潜伏期。移出率  $\gamma$  的倒数  $1/\gamma$  等于平均感染期。 $\beta/\gamma$  可近似等于基本再生数  $R_0$ <sup>[4]</sup>。 $R_0$  是衡量传染病传播能力的重要参数,指在发病初期,所有人均为易感者时,一个传染源在平均感染期内造成的二代感染者的平均数量。对于季节性传染病而言,不同季节的  $R_0$  存在着差异。 $R_0$  是一个理想状态的基准值,一般只用来衡量疫情的传播潜力。当疫情出现以后,相关部门必然采取相应的防控措施,理想状态即被打破。此时,反映传染病实际传播能力的参数则相应地改用实际的有效再生数  $R$  来衡量。

为评价北京市甲型 H1N1 流感防控措施的整体效果,本研究假定北京市自 2009 年 5 月 16 日起仅有 1 例传染源,在不采取任何措施的情况下,按甲型 H1N1 流感病毒自然传播速度,采用 SEIR 模型计算出不同基本再生数情况下每日新增甲型 H1N1 流感病例数和累计例数,将其与实际数据比较。根据文献,本研究  $R_0$  的取值范围初始定为 1.2、1.4 和 1.6<sup>[5-11]</sup>。但由于 2009 年 5 月 16 日至 12 月 31 日期间涵盖夏、秋、冬三季,而甲型 H1N1 流感病毒的传播有一定的季节变动,防控策略也相应做较大调整。因此,本研究在对甲型 H1N1 流感疫情传播动力学的数学建模中,将整个过程分为 3 个截然不同的发

展阶段<sup>[12]</sup>, 感染率 $\beta$ 也相应地分为 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 和 $\beta_3$ ,  $T_1$ 和 $T_2$ 分别为从第一阶段转到第二阶段的时间节点和第二阶段转到第三阶段的时间节点。最终, 评价防控措施整体效果的模型方程为

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta \cdot \frac{S(t) \cdot I(t)}{N} \tag{1}$$

$$\frac{dE(t)}{dt} = \beta \cdot \frac{S(t) \cdot I(t)}{N} - \sigma \cdot E(t) \tag{2}$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \sigma \cdot E(t) - \gamma \cdot I(t) \tag{3}$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma \cdot I(t) \tag{4}$$

$$\beta(t) = \begin{cases} \beta_1 & t \leq T_1 \\ \beta_2 & T_1 < t \leq T_2 \\ \beta_3 & t > T_2 \end{cases} \tag{5}$$

为进一步定量评价疫苗接种效果, 本研究在 SEIR 基本模型中引入了疫苗接种量  $N_{vac}$ , 设  $t$  时刻疫苗接种量为  $N_{vac}(t)$ 。从甲型 H1N1 流感的传播动力学的角度看, 接种甲型 H1N1 流感疫苗的直接结果是使易感人群直接转变成移出人群, 越过潜伏人群和感染人群的中间过程。目前普遍判断甲型 H1N1 流感疫苗受种者体内产生抗体时间约 7~14 d, 本研究采用 10 d 作为疫苗在北京市人群体内产生抗体的平均时间长度。因此, 评价疫苗效果的模型方程为

$$\frac{dS(t)}{dt} = -\beta(t) \cdot \frac{[S(t) - N_{vac}(t-10)] \cdot I(t)}{N} - N_{vac}(t-10) \tag{6}$$

$$\frac{dE(t)}{dt} = \beta(t) \cdot \frac{[S(t) - N_{vac}(t-10)] \cdot I(t)}{N} - \sigma \cdot E(t) \tag{7}$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \sigma \cdot E(t) - \gamma \cdot I(t) \tag{8}$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma \cdot I(t) + N_{vac}(t-10) \tag{9}$$

$$\beta(t) = \begin{cases} \beta_1 & t \leq T_1 \\ \beta_2 & T_1 < t \leq T_2 \\ \beta_3 & t > T_2 \end{cases} \tag{10}$$

(3) 定量解析方法: 本研究拟采用模拟退火算法进行流行病学参数的最优估计。令每天新发甲型 H1N1 流感病例数的观察值为  $obs_i (i=1, 2, 3, \dots, N)$ , 根据动力学模型解析得到的预测值为  $est_i (i=1, 2, 3, \dots, N)$ , 则模拟退火算法的目标函数  $loss$ , 也即拟合度指数  $R^2$  的计算公式为

$$loss = R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (obs_i - est_i)^2}{\sum_{i=1}^N (obs_i - \sum_{i=1}^N obs_i / N)^2} \tag{11}$$

其中拟合度指数  $R^2$  可用来定量评价模型预测的效果, 取值范围为  $(-\infty, 1]$ , 越接近 1, 表示模型预测效果越好, 反之亦然。

首先设置初始值  $ST_0 = [S_0, E_0, I_0, R_0]$ , 任意指定控制参数集  $P = \{\sigma, \gamma, \beta_1, \beta_2, \beta_3, T_1, T_2\}$ , 然后利用四阶龙格-库塔方法解析得到与  $P$  对应的疫情传播的模拟数据, 利用计算式(11)得到每周新发甲型 H1N1 流感感染例数的模拟数据与观察数据的目标函数值  $loss$ ; 对控制参数  $P$  进行随机扰动(随机选择其中一个参数, 并将该参数加上一个服从正态分布的随机扰动值, 其他参数值保持不变), 得到新的控制参数集  $P'$ , 计算与  $P'$  对应的目标函数值  $loss'$ , 根据 Metropolis 准则用  $P'$  替代  $P$ ,

$$\begin{cases} p(P \rightarrow P') = 1 & loss' \leq loss \\ p(P \rightarrow P') = \exp\left(\frac{loss - loss'}{c}\right) & loss' > loss \end{cases} \tag{12}$$

式中,  $p(P \rightarrow P')$  表示  $P'$  替代  $P$  的概率,  $c$  为温度参数, 它是一个变量, 在循环迭代过程中, 每执行一次  $loss' > loss$  的概率选择,  $c$  会按一定比例逐渐变小, 即  $c = k \times c$ ,  $k$  为  $< 1$  的恒定降温参数, 当连续扰动无效的次数大于阈值时, 迭代结束, 最后一次扰动无效的前一个参数集  $P$  即为最终的近似最优控制参数的估计结果。

### 结 果

1. 模型的最优参数值及其流行病学意义: 基于已观测的疫情数据, 利用通过模拟退火算法进行参数寻优的迭代计算, 最终确定了 SEIR 模型最优参数估计值和相应的流行病学变量及模拟结果与疫情观测结果的对比(图 1)。SEIR 模型对北京市甲型 H1N1 流感疫情的预测效果良好, 预测结果与实际观测结果的拟合度指数  $R^2 = 0.96$ 。转阳率  $\sigma$  为 0.55, 由此得出 2009 年北京市甲型 H1N1 流感平均潜伏期约为  $1/\sigma = 1.82$  d; 移出率  $\gamma$  为 0.48, 平均感染期(不包括隐性感染时间)约为  $1/\gamma = 2.08$  d。经拟合, 流行过程的节点分别发生在基线数据的第 130 天( $T_1$ )和第 166 天( $T_2$ )。因此, 2009 年 5 月 16 日至 12 月 31 日期间被分为前中后 3 个时期, 即 5 月 16 日至 9 月 22 日、9 月 23 日至 10 月 28 日和 10 月 29 日至 12 月 31 日。3 个时期的感染率( $\beta_{1-3}$ )分别为 0.54、0.79 和 0.46, 由此计算出 3 个不同时期的有效再生数  $R^2$  分别为 1.13、1.65 和 0.96。

2. 干预措施的整体效果: 图 2 为假定北京市自 2009 年 5 月 16 日起仅有 1 例传染源, 在不采取任何措施的情况下, 按甲型 H1N1 流感病毒不同自然传播速度计算得出的病例数。由图 2 知, 当  $R_0$  为 1.2 时, 虽然其达到高峰的时间略比实际晚, 但累计病例

数为实际报告病例数的 2 倍;当  $R_0$  为 1.4 时,其达到高峰的时间比实际早 15 d, 累计病例数为实际报告病例数的 50 倍;当  $R_0$  为 1.6 时,其达到高峰的时间比实际早 62 d, 累计病例数为实际报告病例数的 63 倍。随着  $R_0$  的增大,其达到高峰的时间将更早, 累计病例数将更大。

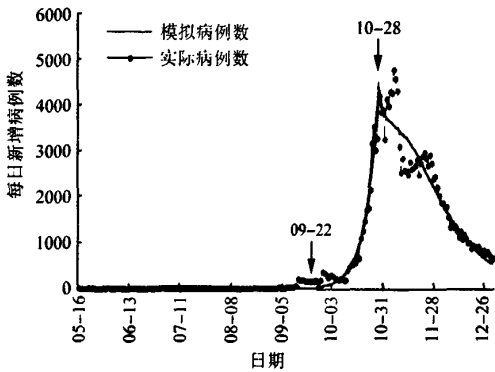
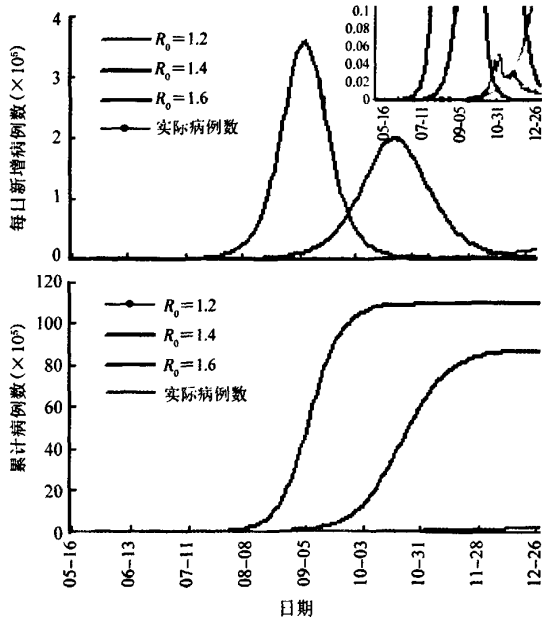


图1 模拟所得 2009 年北京市甲型 H1N1 流感的每日新增病例数与实际数据对比 ( $R^2=0.96$ )



注:右上图为每日新增病例数在 < 10 000 例的放大图示

图2 模拟不同基本再生数时 2009 年北京市甲型 H1N1 流感病例数与实际数据的对比

3. 接种疫苗的效果:图 3 显示在其他条件保持不变的情况下,若不实施甲型 H1N1 流感疫苗接种措施,则会延缓每日新增病例数下降的速度。经计算,假设不接种甲型 H1N1 流感疫苗,截止 2009 年 12 月 31 日,甲型 H1N1 流感累计病例数将比实际报告病例数多 24.08%, 且延迟了其达到高峰的时间。

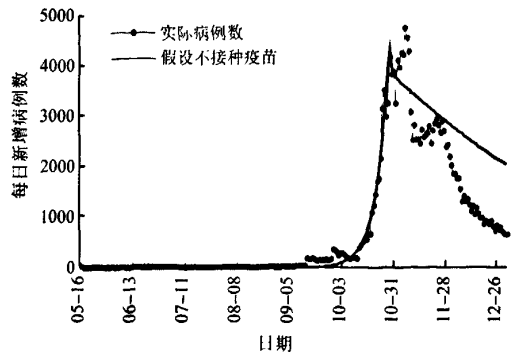


图3 假设不接种疫苗时 2009 年北京市甲型 H1N1 流感病例数与实际数据对比

### 讨论

研究结果显示,即使北京市自 2009 年 5 月 16 日起,仅有 1 例传染源,而不采取任何防控措施,按文献报道甲型 H1N1 流感病毒以最小基本再生指数 1.2 进行传播,截止 2009 年底,北京市甲型 H1N1 流感的实际病例数亦远远小于其自然状态下的累计病例数。而实际上,2009 年 5 月 16 日至 8 月 16 日期间,北京市共报告了 671 例实验室确诊病例,其中输入性病例 446 例<sup>[13]</sup>, 传染源远不止 1 例。因此,可以认为北京市采取的一系列甲型 H1N1 流感防控措施整体有效,且效果显著,明显延迟了流行高峰达到的时间,减少了累计病例数。此外,研究结果还显示,在其他条件保持不变的情况下,北京市实施的甲型 H1N1 流感疫苗接种策略使 2009 年甲型 H1N1 流感累计病例数减少 24.08%, 且延迟了其达到高峰的时间。减少的病例数中既包括因接种疫苗而获得保护的人群,也包括因疫苗接种而在人群中形成的免疫屏障,导致甲型 H1N1 流感流行能力下降从而减少感染的人群。可见,接种甲型 H1N1 流感疫苗不仅能显著降低疫情的规模,还能在一定程度上延迟疫情达到高峰的时间。

SEIR 模型已被广泛地运用于传染病的传播动力学研究<sup>[6,7,14,15]</sup>, 在传统 SEIR 模型的基础上,逐渐发展起来一些用于定量评价防控措施效果的模型。蔡全才等<sup>[16]</sup>曾在传统 SEIR 模型的基础上引入病例隔离、检疫和个人防护措施等参数,定量评价了北京市 2003 年 SARS 干预措施的效果; Tracht 等<sup>[17]</sup>也在传统 SEIR 模型基础上引入口罩类型,定量评价 N95 口罩和外科口罩对于预防甲型 H1N1 流感病毒感染的效果。本研究亦在 SEIR 基本模型的基础上,考虑了甲型 H1N1 流感的季节性特点,建立了季节性调整的 SEIR 模型,并进一步在此基础上引入疫苗接种

量,定量评价疫苗对于防控甲型 H1N1 流感的效果。而在优化模型参数的过程中,本研究选用模拟退火算法,避免了参数选择的主观偏性。在建立评价模型时,本研究忽略了甲型 H1N1 流感隐性感染的作用。在传染病传播动力学的数学建模时常面临特异性和适用性选择的矛盾,即模型参数考虑的细节越多,基于实验数据的模拟效果越佳,但其结果的适用性却越差。因此,无法建立完全反映实际疫情的模型。为简化建模过程,本研究在建立 SEIR 模型中,忽略了隐性感染的作用,这必然会给研究结果带来一定的不确定性。但本研究模型  $R^2=0.96$ , 近似 1,表明模型对北京市甲型 H1N1 流感疫情的拟合较为准确。而通过模型参数优化结果推算出的流行病学参数值亦与其他研究结果接近<sup>[5-11,18]</sup>。因此,可以认为本研究建立的定量评价甲型 H1N1 流感防控策略评估模型理论可靠,操作可行,且结果较为可信。

参 考 文 献

[1] Pang X, Zhu Z, Xu F, et al. Evaluation of control measures implemented in the severe acute respiratory syndrome outbreak in Beijing, 2003. *JAMA*, 2003, 290(24): 3215-3221.

[2] Aron JL, Schwartz IB. Seasonality and period-doubling bifurcations in an epidemic model. *J Theor Biol*, 1984, 110: 665-679.

[3] Hethcote HW. The mathematics of infectious diseases. *SIAM Rev*, 2000, 42(4): 599-653.

[4] Yang JY. Analysis of the basic reproduction number of epidemic models. *J Yuncheng University*, 2006, 24(2): 6-7. (in Chinese) 杨建雅. 传染病模型再生数分析. 运城学院学报, 2006, 24(2): 6-7.

[5] Fraser C, Donnelly C, Cauchemez S, et al. Pandemic potential of a strain of influenza A (H1N1): early findings. *Science*, 2009, 324(5934): 1557-1561.

[6] Yang Y, Sugimoto JD, Halloran ME, et al. The transmissibility and control of pandemic influenza A (H1N1) virus. *Science*, 2009, 326(5953): 729-733.

[7] Pourbohloul B, Ahued A, Davoudi B, et al. Initial human transmission dynamics of the pandemic (H1N1) 2009 virus in North America. *Influenza Other Respi Viruses*, 2009, 3(5): 215-222.

[8] White LF, Wallinga J, Finelli L, et al. Estimation of the reproductive number and the serial interval in early phase of the 2009 influenza A/H1N1 pandemic in the USA. *Influenza Other Respi Viruses*, 2009, 3(6): 267-276.

[9] Nishiura H, Castillo-Chavez C, Safan M, et al. Transmission potential of the new influenza A (H1N1) virus and its age-specificity in Japan. *Euro Surveill*, 2009, 14(22): pii: 19227.

[10] Nishiura H, Wilson N, Baker MG, et al. Estimating the reproduction number of the novel influenza A virus (H1N1) in a Southern Hemisphere setting: preliminary estimate in New Zealand. *N Z Med J*, 2009, 122(12997): 73-77.

[11] Tuite AR, Greer AL, Whelan M, et al. Estimated epidemiologic parameters and morbidity associated with pandemic H1N1 influenza. *CMAJ*, 2010, 182(2): 131-136.

[12] Riley S, Fraser C, Donnelly CA, et al. Transmission dynamics of the etiological agent of SARS in Hong Kong: impact of public health interventions. *Science*, 2003, 300(5627): 1961-1966.

[13] Zhang Y, Deng Y, Pang XH, et al. Analysis of cases with novel influenza A (H1N1) virus in Beijing. *Chin J Dis Control Prev*, 2010, 4(14): 316-319. (in Chinese) 张奕, 邓瑛, 庞星火, 等. 北京市甲型 H1N1 流感病例的流行病学分析. 中华疾病预防控制杂志, 2010, 4(14): 316-319.

[14] Ng TW, Turinici G, Danchin A. A double epidemic model for the SARS propagation. *BMC Infect Dis*, 2003, 3: 19.

[15] Choi BCK, Pak AWP. A simple approximate mathematical model to predict the number of severe acute respiratory syndrome cases and deaths. *J Epidemiol Community Health*, 2003, 57(10): 831-835.

[16] Cai QC, Jiang QW, Xu QF, et al. To develop a model on sever acute respiratory syndrome epidemics to quantitatively evaluate the effectiveness of intervention measures. *Chin J Epidemiol*, 2005, 26(3): 153-158. (in Chinese) 蔡全才, 姜庆五, 徐勤丰, 等. 定量评价 SARS 干预措施效果的传播动力学模型. 中华流行病学杂志, 2005, 26(3): 153-158.

[17] Tracht SM, Del Valle SY, Hyman JM. Mathematical modeling of the effectiveness of facemasks in reducing the spread of novel influenza A (H1N1). *PLoS One*, 2010, 5(2): e9018.

[18] Gojovic MZ, Sander B, Fisman D, et al. Modeling mitigation strategies for pandemic (H1N1) 2009. *CMAJ*, 2009, 181(10): 673-680.

(收稿日期: 2010-05-17)

(本文编辑: 张林东)