DOI:10.13482/j.issn1001-7011.2005.04.009

第22卷 第4期 黑龙江大学自然科学学报 Vol.22 No.4
2005年8月 JOURNAL OF NATURAL SCIENCE OF HEILONGJIANG UNIVERSITY August, 2005

SARS流行病的SEIR动力学模型及其参数辨识

徐恭贤[1], 冯恩民[1], 王宗涛[1], 谭欣欣[1], 修志龙[2]

(1.大连理工大学 应用数学系,辽宁 大连 116024;2.大连理工大学 生物科学与工程系,辽宁 大连 116024)

摘 要:建立了带有潜伏期及终身免疫的SARS流行病的SEIR动力学模型.根据部分国家或地区的SARS疫情数据,对模型中的参数进行了参数辨识,数值结果表明模型与实际疫情是比较吻合的,并得到了一个SARS流行病的带形控制区域.论证了系统的流不变性和弱不变性等数学性质.

关键词:SARS流行病; SEIR模型; 参数辨识; 流不变; 弱不变

中图分类号: O231.3 **文献标识码**: A **文章编号**: 1001-7011(2005)04-0459-04

1 引 言

SARS(Severe Acute Respiratory Syndrome,严重急性呼吸系统综合症)亦称非典型性肺炎(atypical pneumonia),是一种新型冠状病毒所致的呼吸系统传染性疾病.其传染性之强、传播速度之快、流行范围之广、影响之大远超出人们想象,因此有必要建立SARS流行过程的数学模型,对其进行流行病学的研究.文[1-2]整理了SARS流行病传播过程的基本数据,利用累计病例数,在2003年的科学快报上,发表了他们的两个研究报告,第一个给出了SARS流行趋势以及控制措施有效性的定量评估;文[3-6]等在这方面也作了很多有益的工作.

对于SARS流行病,当易感者被感染成为染病者之前,存在一段时间的潜伏期,即病毒进入人体直到发病的这一段时间.为了掌握SARS的传播规律,考虑潜伏期无疑是必需的.本文讨论的模型考虑了这一点,建立了带有潜伏期及终身免疫的SARS流行病的SEIR动力学模型及其参数辨识模型.根据世界卫生组织、中国卫生部、香港卫生署等公布的疫情数据对模型中的参数进行了参数辨识,数值结果表明模型与实际疫情是比较吻合的,并得到了一个SARS流行病的带形控制区域.论证了该类控制模型的主要数学性质以及系统的流不变性和弱不变性.

2 SARS流行病的SEIR模型

将人群分为4个流行病学类:易感者,潜伏者(被感染但尚不能感染他人者),染病者(能传染别人),移除者(包括治愈者和死亡者),t时刻的人数分别用$S(t)$,$E(t)$,$I(t)$,$R(t)$表示.假定人口处于平衡态,即不考虑人口自然出生、死亡以及人口迁移情况,则有$S(t)+E(t)+I(t)+R(t)=N$,其中N为常数.设单位时间内潜伏者以比例常数$\beta>0$转为染病者,即平均潜伏期为$\frac{1}{\beta}$;平均患病时间为$\frac{1}{\gamma}$,即染病者的移除率为$\gamma>0$.仓室结构图为

$$S\xrightarrow{\alpha SI}E\xrightarrow{\beta E}I\xrightarrow{\gamma I}R$$

其中,$\alpha>0$,$\alpha SI>0$为SARS病的传染率.由仓室结构图可得SARS病的SEIR模型为:

收稿日期: 2004-09-08
作者简介: 徐恭贤(1976-),男,博士研究生,主要研究方向:复杂系统的建模,优化和控制,E-mail: dutxgx@yahoo.com.cn

通讯作者: 冯恩民(1939-),男,教授,博士生导师, E-mail: emfeng@dlut.edu.cn

$$\begin{cases}\dot{S}=-\alpha SI\\ \dot{E}=\alpha SI-\beta E\\ \dot{I}=\beta E-\gamma I & t\in[0,T]\\ \dot{R}=\gamma I\\ t=0:S=S_0,E=E_0,I=I_0,R=R_0\end{cases}\tag{1}$$

其中,T 为 SARS 病的流行时间,S_0,E_0,I_0,R_0 分别表示在初始时间 $t=0$ 时的易感者、潜伏者、染病者以及移除者的人数.

令 $\Gamma=\{(S,E,I,R)\in R^4|S,E,I,R\geqslant 0,S+E+I+R=N\}$,容易证明 Γ 为系统(1)的正向最大不变集.

为方便起见,记 $X(t)=(X_1(t),X_2(t),X_3(t),X_4(t))^{\mathrm{T}}=(S(t),E(t),I(t),R(t))^{\mathrm{T}}\in R^4$,将系统(1)中的参数 α,β 和 γ 简记为 $v=(v_1,v_2,v_3)=(\alpha,\beta,\gamma)$,以及 $X_0=(X_{10},X_{20},X_{30},X_{40})^{\mathrm{T}}=(S_0,E_0,I_0,R_0)^{\mathrm{T}}\in R^4$.

由参数 α,β 和 γ 的实际意义,可知这些参数都是正的有界变量,即存在 $0<a_i<b_i,i=1,2,3$,使 $v\in U$,其中,$U=[a_1,b_1]\times[a_2,b_2]\times[a_3,b_3]\subset R_+^3$,显然 U 是紧集.

另设 $f(X,v)=(f_1(X,v),f_2(X,v),f_3(X,v),f_4(X,v))^{\mathrm{T}}\in R^4$,其中 $f_1(X,v)=-v_1X_1X_3,f_2(X,v)=v_1X_1X_3-v_2X_2,f_3(X,v)=v_2X_2-v_3X_3,f_4(X,v)=v_3X_3$,则系统(1)等价于下面的初值问题:

$$\begin{cases}\dot{X}=f(X,v)\\ X(0)=X_0\end{cases}\qquad t\in[0,T]\tag{2}$$

其中,$v\in U,X_0\in\Gamma$.

因为 $f\in C^1(\Gamma\times U)$,故由常微分方程解的存在唯一性定理可知,对 $\forall v\in U$,系统(2)存在唯一解,记为 $X(t,v)$.

3 SEIR 模型的参数辨识及疫情控制区域的建立

设某地区第 $t_i(i=1,2,\cdots,n)$ 天的实际累计病例数为 $L(t_i)$,实际出院人数为 $C(t_i)$,实际死亡人数为 $D(t_i)$,则该地区第 t_i 天的实际染病人数为 $\bar{X}_3(t_i)=L(t_i)-C(t_i)-D(t_i)$,移除人数为 $\bar{X}_4(t_i)=C(t_i)+D(t_i)$. 为使模型(1)能很好地说明 SARS 流行过程,即需选择 $v\in U$ 使第 t_i 天的理论值 $X_j(t_i,v)$ 与实际值 $\bar{X}_j(t_i)$ 之差尽可能小,其中,$j=3,4$. 这可表示成如下的参数辨识问题:

$$\min J(X(t,v))=\sum_{i=1}^{n}\left((X_3(t_i,v)-\bar{X}_3(t_i))^2+(X_4(t_i,v)-\bar{X}_4(t_i))^2\right)\tag{3}$$

$$\text{s. t.}\begin{cases}\dot{X}=f(X,v)\\ X(0)=X_0\\ v\in U\end{cases}$$

由于 $U\subset R_+^3$ 是紧集,系统(2)的解 $X(t,v)$ 关于 $v\in U$ 是连续的,所以 $\{X(t,v)|X(t,v)$ 为式(2)对应 $v\in U$ 的解$\}$为紧集,$J(X(t,v))$ 关于 X 是连续泛函,故辨识问题(3)的解 $v^*\in U$ 存在. 设有 m 个 SARS 疫情地区. 依地区 k 的实际疫情数据 $\{\bar{X}_3^k(t_i),\bar{X}_4^k(t_i)\}_{i=1}^{n_k},k\in I_m=\{1,2,\cdots,m\}$,$n_k$ 表示地区 k 的实测数据个数,可求得系统(3)的解,记为 $v^k\in U$,即 v^k 为 SEIR 模型中地区 k 的参数值,$k\in I_m$.

根据世界卫生组织、中国卫生部、香港卫生署等公布的 SARS 疫情数据(包括累计病例数、出院人数和死亡人数),通过数值模拟可以得到各疫区对应系统(1)中各参数的值. 如表1所示.

其中再生数 $\frac{\alpha N}{\gamma}$ 是指所有人都是易感者时一个患者在其患病期内平均传染的人数[7]. 从表1可得,各地区 SARS 流行病的平均潜伏期为 2-7 天,平均患病时间为 14-43 天,这与实际情况是比较一致的.

由于 m 个地区的实际疫情、人口体质、人口密度、气候环境、公共卫生水平等因素的不同,所以依式(3)求得的各地区的参数值 v^k 以及每个地区的 N 和 T 都是不等的. 为此作如下变换:

设 $u=(u_1,u_2,u_3)=(v_1N,v_2,v_3)\in U_{ad}=[v_{\min 1}N,v_{\max 1}N]\times[v_{\min 2},v_{\max 2}]\times[v_{\min 3},v_{\max 3}]$.

其中 $v_{\max i}=\max\limits_{k\in I_m}\{v_i^k\}$,$v_{\min i}=\min\limits_{k\in I_m}\{v_i^k\}$;令 $x(t)=\frac{X(t)}{N}$,$x_0=\frac{X_0}{N}$,$\tau=\frac{t}{T}$,则系统(2)可写为

表 1　各地区的 SEIR 模型的参数值

Table 1　Parameter values of the SEIR model (1) in some countries or regions

地 区	N	$\alpha(10^{-4})$	αN	β	γ	再生数	平均潜伏天 数	平均患病天 数
香 港	1740	2.106485	0.366427	0.212291	0.041205	8.9	4.7	24
新加坡	232	9.059124	0.209939	0.143233	0.074423	2.8	7.0	14
加拿大	157	13.04697	0.204837	0.210532	0.050660	4.0	4.7	20
台 湾	734	4.327158	0.317548	0.289867	0.034926	9.0	4.0	29
北 京	2676	1.478780	0.395617	0.329968	0.023421	16.9	3.0	43
山 西	458	11.125940	0.509159	0.395639	0.035259	14.4	2.5	28
河 北	224	24.784844	0.554231	0.507901	0.040951	13.5	2.0	24
内蒙古	304	16.938454	0.515697	0.529083	0.023557	21.9	2.0	42

$$\begin{cases}\dot{x}=f(x,u)\\ x(0)=x_0\end{cases}\qquad \tau\in[0,1] \tag{4}$$

其中 $u\in U_{ad}, x_0\in A=\{(x_1,x_2,x_3,x_4)\mid x_1,x_2,x_3,x_4\geqslant 0, x_1+x_2+x_3+x_4=1\}$. 定义集值映射

$$F:R^4\times R^3\to 2^{R^4} \text{为} F(x,U_{ad})=\{f(x,u)\mid u\in U_{ad}\}, \tag{5}$$

则系统(4)可写成微分包含形式

$$\begin{cases}\dot{x}\in F(x,U_{ad})\\ x(0)=x_0\end{cases}\qquad \tau\in[0,1] \tag{6}$$

其中,$x_0\in A$.

SARS 作为一种流行病,虽然在不同国家(或地区)有不同的传播程度,但从根本上讲,还是有一定规律的,这就是根据前面已算得的各参数范围,即允许集 U_{ad},可以得到 $x(\tau)(\tau\in[0,1])$ 的一个带形控制区域. 具体方法描述如下:

由于 $f\in C^1(A\times U_{ad})$,故由常微分方程解的存在唯一性定理可知,对 $\forall u\in U_{ad}$,系统(4)存在唯一解,记为 $x(\tau,u)$. 容易看出,$x(\tau,u)$ 关于 $u\in U_{ad}$ 是连续的,且 $x(\tau,u)\in C^1([0,1]\times U_{ad})$,所以对 $\forall \tau\in[0,1]$,$x(\tau,u)$ 在 U_{ad} 上有最大值和最小值.

设 $z_{j1}(\tau)=\min\limits_{u\in U_{ad}}\{x_j(\tau,u)\}$, $z_{j2}(\tau)=\max\limits_{u\in U_{ad}}\{x_j(\tau,u)\}$, $j=1,2,3,4$, $Z_j(\tau)=[z_{j1}(\tau),z_{j2}(\tau)]$,则

$$Z:=\{x(\tau)=(x_1(\tau),x_2(\tau),x_3(\tau),x_4(\tau))\mid \tau\in[0,1], x_j(\tau)\in Z_j(\tau), j=1,2,3,4\}\subset R^4$$

即为 $x(\tau)(\tau\in[0,1])$ 的一个带形控制区域.

4　系统 $(Z,f(x,u))$ 的流不变性和系统 $(Z,F(x,U_{ad}))$ 的弱不变性

本节讨论系统 $(Z,f(x,u))$ 的流不变性和系统 $(Z,F(x,U_{ad}))$ 的弱不变性.

定理 1　$z_{j1}(\tau)=\min\limits_{u\in U_{ad}}\{x_j(\tau,u)\}$ 及 $z_{j2}(\tau)=\max\limits_{u\in U_{ad}}\{x_j(\tau,u)\}$ 在 $[0,1]$ 上是一致连续函数,$j=1,2,3,4$.

证明　先证 $z_{j2}(\tau)=\max\limits_{u\in U_{ad}}\{x_j(\tau,u)\}$ 在 $[0,1]$ 上是一致连续函数,$j=1,2,3,4$. 因为 U_{ad} 是紧集,对 $\forall u\in U_{ad}$,$x_j(\tau,u)$ 关于 τ 在 $[0,1]$ 上是一致连续函数,即对 $\forall\tau_1,\tau_2\in[0,1]$,$\forall\varepsilon>0$,都有 $\delta>0$,使得只要 $\|\tau_1-\tau_2\|<\delta$,就有 $\|x_j(\tau_1,u)-x_j(\tau_2,u)\|<\varepsilon$,所以

$$\|z_{j2}(\tau_1)-z_{j2}(\tau_2)\|\leqslant\|\max_{u\in U_{ad}}\{x_j(\tau_1,u)-x_j(\tau_2,u)\}\|<\varepsilon$$

故 $z_{j2}(\tau)=\max\limits_{u\in U_{ad}}\{x_j(\tau,u)\}$ 在 $[0,1]$ 上是一致连续函数,$j=1,2,3,4$.

同理可证,$z_{j1}(\tau)=\min\limits_{u\in U_{ad}}\{x_j(\tau,u)\}$ 在 $[0,1]$ 上也是一致连续函数,$j=1,2,3,4$.

引理 1[8]　设 Z 为闭集,则 (Z,φ) 是流不变的,当且仅当对 $\forall x\in Z$, $\forall\zeta\in N_Z^P(x)$,有

$$\langle\zeta,\varphi(x)\rangle\leqslant 0$$

其中 $N_Z^P(x)$ 为 Z 在 x 处的近似法锥.

定理 2　对任意给定的 $u\in U_{ad}$,系统 $(Z,f(x,u))$ 是流不变的.

证明　由于 $f\in C^1(A\times U_{ad})$,所以容易证明,对 $\forall u\in U_{ad}$,$f(x,u)$ 是 Lipschitz 的. 显然

$$Z:=\{x(\tau)=(x_1(\tau),x_2(\tau),x_3(\tau),x_4(\tau))\mid\tau\in[0,1],x_j(\tau)\in Z_j(\tau),j=1,2,3,4\}\subset R^4$$

是闭集.

若 $x\in intZ$,则有 $N_Z^P(x)=\{0\}$,所以$\langle 0,f(x,u)\rangle=0$;若 $x\in Z\backslash(intZ)$,即 x 是 Z 的边界点,则由定理1可知,集合 $Z_j:=\{(\tau,x_j(\tau))\mid\tau\in[0,1],x_j(\tau)\in Z_j(\tau)\}$ 的边界 $z_{j1}(\tau)$ 和 $z_{j2}(\tau)$ 在$[0,1]$上是光滑的,所以 Z 的边界是光滑曲面,则存在 $\zeta\neq0$ 为 x 处 Z 的法向量有 $N_Z^P(x)=\{\zeta\}$,且满足$\langle\zeta,\dot{x}\rangle=0$,故有$\langle\zeta,f(x,u)\rangle=0$.

综上可知,对 $\forall x\in Z$, $\forall\zeta\in N_Z^P(x)$,都有$\langle\zeta,N_Z^P(x)\rangle\leqslant0$,故由引理1可得,系统$(Z,f(x,u))$是流不变的. 证毕.

定理3 由式(5)定义的 $F(x,U_{ad})$具有如下三个性质:

(1) 对$\forall(\tau,x)$, $F(x,U_{ad})$为非空紧凸集;

(2) F 是上半连续的;

(3) 对所有的(τ,x),存在正常数 r 和 c,使得$f(x,u)\in F(x,U_{ad})\Rightarrow\|f(x,u)\|\leqslant r\|x\|+c$. 此即为线性增长条件.

证明 显然 F 非空,又因为映射 $u\in U_{ad}\to f(x,u)\in F(x,U_{ad})$是连续的,而允许集 U_{ad}是 R^3 中的有界闭集,所以 $F(x,U_{ad})$为 R^4 中的紧集.

固定 x,对$\forall\lambda$, $0\leqslant\lambda\leqslant1$,和任意$f(x,u_1)$, $f(x,u_2)\in F(x,U_{ad})$,因为 U_{ad}是 R^3 中的凸集,所以有 $\lambda f(x,u_1)+(1-\lambda)f(x,u_2)=f(x,\lambda u_1+(1-\lambda)u_2)=f(x,u_0)\in F(x,U_{ad})$,这里 $u_0\in U_{ad}$故 $F(x,U_{ad})$是凸集. 因此, $F(x,U_{ad})$为非空紧凸集.

对给定的 u,易见$f(x,u)\in C(A)$,即对任意的 $\varepsilon>0$,都有 $\delta>0$,使得只要$\|x'-x\|<\delta$,就有$\|f(x',u)-f(x,u)\|<\varepsilon$,亦即对$\forall f(x',u)\in F(x',U_{ad})$,有$f(x',u)\in F(x,U_{ad})+\varepsilon B$,其中, B 是 R^4 中的单位球,所以 $F(x',U_{ad})\subset F(x,U_{ad})+\varepsilon B$. 故 F 是上半连续的.

任取$f(x,u)\in F(x,U_{ad})$,因为(4)是有界系统,即存在常数 $M>0$,使$\|f(x,u)\|\leqslant M$. 又因为 $x_1,x_2,x_3,x_4\in[0,1]$,所以当 $x\neq0$ 时,可取常数 $c>0$,使得 $c<M$,以及常数 $r>0$,使 $r=\frac{(M-c)}{\|x\|}$. 显然,这样得到的 c 和 r,可以使$\|f(x,u)\|\leqslant r\|x\|+c$ 成立. 当 $x=0$ 时,由于$f(x,u)=0$,所以存在正常数 r 和 c,使$\|f(x,u)\|\leqslant r\|x\|+c$. 证毕.

引理2[8] 对$\forall x\in Z$,若下哈密尔顿函数 $h(x,N_Z^P(x))\leqslant0$,则系统(Z,F)是弱不变的.

定理4 系统$(Z,F(x,U_{ad}))$是弱不变的.

证明 由定理2可知,给定 $u\in U_{ad}$,对$\forall x\in Z$,有$\langle N_Z^P(x),f(x,u)\rangle\leqslant0$,换言之,对任意的$f(x,u)\in F(x,U_{ad})$, $\forall x\in Z$,都有$\langle N_Z^P(x),f(x,u)\rangle\leqslant0$,所以由文[8]

$$h(x,N_Z^P(x))=\min_{f(x,u)\in F(x,U_{ad})}\langle N_Z^P(x),f(x,u)\rangle\leqslant\langle N_Z^P(x),f(x,u)\rangle\leqslant0$$

故由引理2可知,系统$(Z,F(x,U_{ad}))$是弱不变的. 证毕.

参考文献:

[1] STEVEN RILEY. Transmission Dynamics of the Etiological Agent of SARS in Hong Kong: Impact of Public Health Interventions[EB\OL]. http://www.sciencexpress.org/23 May 2003/Page 1/10.1126/science.1086478, 2003,5.23.

[2] MARC LIPSITCH. Transmission Dynamics and Control of Severe Acute Respiratory Syndrome[EB\OL]. http://www.sciencexpress.org/23 May 2003/Page 2/10.1126/science.1086925, 2003,5.23.

[3] CHOWELL G. SARS outbreaks in Ontario, Hong Kong and Singapore: the role of diagnosis and isolation as a control mechanism[J]. Journal of Theoretical Biology, 2003,224(1):1-8.

[4] SHI Yao-lin. Stochastic dynamic model of SARS spreading[J]. Chinese Science Bulletin, 2003,48(13):1287-1292.

[5] 李 铮,陈 曦,滕 虎,等. SARS流行病传染动力学研究[J]. 生物化学与生物物理进展,2004,31(2):167-171.

[6] 李光熙,陶文铨,孙晓娟. 非典型肺炎病毒在空气中传播过程的初步数值模拟[J]. 西安交通大学学报,2003,37(7):764-766.

[7] 马知恩,周义仓. 常微分方程定性与稳定性方法[M]. 北京:科学出版社,2001.296-298.

[8] CLARKE F H, LEDYAEV YU S, STERN R J, et al. Nonsmooth Analysis and Control Theory[M]. New York: Springer, 1998.

[9] ZHANG Juan, MA Zhi-en. Global dynamics of an SEIR epidemic model with saturating contact rate[J]. Mathematical Biosciences, 2003,185(1):15-32.

[10] POLAK ELIJAH. Optimization Algorithms and Consistent Approximations[M]. New York: Springer, 1997.

(下转第467页)

4 结　论

综上所述，对于活性炭吸附异丙醇体系，炭狭缝孔模型能可靠地描述其吸附情况，在压强为 1kPa 时，炭狭缝孔宽度为 1.7 nm 时吸附量较高；而当压强在 2 ~ 4 kPa 时，则孔宽为 2nm 时吸附量较高；若压强在 4 ~ 10kPa 变化时，则孔宽为 2.5nm 时吸附量较高。根据温度模拟结果，吸附异丙醇后的活性炭可通过加热进行解吸，回收异丙醇，其回收加热温度应为 140℃左右。

参考文献：

[1] HOU TIANJUN, ZHU LILI, XU XIAOJIE. The adsorption of a series of aromatics in ITQ - 1: grand canonical Monte Carlo simulations[J]. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical, 2001, 171: 103 - 114.

[2] CAO DAPENG, WANG WENCHUAN, DUAN XUE. Grand Canonical Monte Carlo simulation for determination of optimum parameters for adsorption of supercritical methane in pillared layered pores[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2002, 254: 1 - 7.

[3] WILLIAM STEELE. Computer simulations of physical adsorption: a historical review[J]. Applied Surface Science, 2002, 196: 3 - 12.

[4] ERICH A, MOLLER KEITH E, GUBBINS. Molecular Simulation Study of Hydrophilic and Hydrophobic Behavior of Activated Carbon Surface [J]. Carbon, 1998, 36: 1433 - 1438.

[5] LEACH A R. Molecular Modeling Principles and Applications(2nd)[M]. 北京：世界图书出版社, 2003. 410 - 454.

[6] 曹达鹏，汪文川. 模拟吸附在狭缝微孔中的丙烷的微观结构[J]. 物理化学学报, 1999, 15(7): 581 - 587.

Studies on the absorption properties of isopropyl alcohol on activated carbon by Grand Canonnical Monte Carlo Simulation

HOU Yan - jun[1,2], GAO Jin - sheng[1,2], ZHANG Hong - quan[2], YAN Peng - fei[2], MA Jun[1]

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China; 2. School of Chemistry and Materials Science, Heilongjiang University, Harbin 150080, China)

Abstract: The effect of pressure, temperature, microporous size of activated carbon on adsorption process of isopropyl alcohol on activated carbon was studied by Grand Canonical Monte Carlo Simulation. The result shows that the adsorption process can be described reliably by the activated carbon microporous model. When the pressure is 1kPa, the adsorption quantity of activated carbon with microporous size of 1.7nm is higher. While activated carbon with microporous size of 2.0nm has higher adsorption quantity when the pressure is 2 ~ 4kPa. At the pressure of 4 ~ 10kPa, the adsorption quantity of activated carbon with microporous size of 2.5nm is higher. The adsorption quantity of the system which jaws width of activity carbon is 2.5nm is higher. The best recovery temperature of isopropyl alcohol desorbed from activated carbon is 140℃.

Key words: Grand Canonnical Monte Carlo Simulation; activated carbon micropore; isopropyl alcohol; adsorption

(上接第 462 页)

SEIR dynamic model of SARS epidemic and its parameter identification

XU Gong - xian[1], FENG En - min[1], WANG Zong - tao[1], TAN Xin - xin[1], XIU Zhi - long[2]

(1. Department of Applied Mathematics, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China; 2. Department of Bioscience and Biotechnology, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: A SEIR dynamic model of SARS epidemic with a latent period and permanent immune is established. According to the data of SARS epidemic situation in some countries and regions, parameter identifications to these areas are done. The results illustrate the accuracy and effectiveness of the SEIR model. And a control zone of SARS epidemic is attained. The flow - invariance and weak invariance of the system are investigated and proved.

Key words: SARS epidemic; SEIR model; parameter identification; flow - invariance; weak invariance