

麻疹流行过程的分形研究

吕嘉春¹ 邵小萍² 郑能旺³

摘要 作者介绍了分形理论的基本原理,应用广东省和福建省南平地区 1951~1989 年麻疹发病月报资料,进行麻疹流行过程的分形研究,证明麻疹流行不是规则周期性波动或平稳状态,其中存在着分形特征,使用疫苗前,两地的分维值分别为 1.588 和 1.626,使用疫苗后,分维值分别增大到 1.716 和 1.758,说明流行过程更为复杂和不规则。表明分形研究在探讨麻疹流行过程的复杂性和不规则性方面具有一定的应用价值。

关键词 麻疹 流行病学 分形

A Study on Fractals in the Epidemics of Measles Lu Jia-chun, Shao Xiao-ping, Zheng Neng-wang, Guangzhou Medical College, Guangzhou 510182

Abstract Fractal is a new field of science to study the complexity and irregularity of events. The basic principles of fractal are introduced in this paper and used in the analyses of measles epidemics in Guangdong Province and Nanping district of Fujian Province, based on the monthly reported data on incidence, from 1951 to 1989. The results show that there are fractals in measles epidemics, the fractal dimensions are 1.588 and 1.626 before vaccination, and change to 1.716 and 1.758 after the vaccination respectively, indicating that the epidemics of measles have become more complex and irregular than before. It is shown that fractal study is useful in expressing the complexity and irregularity of measles epidemics.

Key words Measles Epidemiology Fractal

麻疹是人类常见的急性传染病,在麻疹疫苗发明之前,常有暴发流行甚至形成全国大流行,1965 年我国成功地研制出麻疹减毒活疫苗,在全国推广应用后,对麻疹的预防取得了巨大的成绩,但是直到目前,仍有许多病例发生,甚至在局部地区出现暴发,麻疹流行的规律如何?笔者试应用分形理论对此进行探讨。

资料与方法

一、资料:广东省 1951~1989 年麻疹发病的月报告资料来源于全省急性传染病综合年报表,福建省南平地区 1951~1989 年的月报告资料由南平地区卫生防疫站提供,资料均经各地核实汇总,并收集两地历年的人口学资料。

二、方法:分形(fractal)理论是法国科学家 Mandelbrot 1975 年创造的,分形指部分与整体在形态、功能、信息等方面所具有的自相似性,用几何形状来描述,其维数不必为整数。人们熟知普通的几何对象具有整数维数(拓扑维数),点是 0 维,线是 1 维,平面是 2 维,立体是 3 维,然而自然界中许多事物,如云彩、水流的形状及血管、神经的空间分布等却难以用整数的维数来描述,因为它们的维数不是整数而是分数,这就是分维(fractal dimension)。分维是对分形特征的定量描述,反映事物形态上的不规则以及内在结构的复杂或混乱程度,分维值越大,说明该事物越复杂和不规则。研究分形的方法很多,本文介绍经典的容量维分析法——数盒子法(box-counting)^[1,2]。

建立广东省和南平地区麻疹发病动态的时间序列,都为 468 个月报数据,用图形表现出来,即得到数字波形 F。首先把数字波形 F 的各观

1 广州医学院 510182

2 广东省卫生防疫站

3 福建省南平地区卫生防疫站

察值 F_k 利用最大值 H 、最小值 L 及总点数 n 归一化到区间 $[0, n]$ 上, 即把数字波形 F 转化为 G , $G_k = \{(F_k - L)/(H - L)\} * n, k = 1, 2, \dots, n$ 。式中 n 为数据个数, 即 468。再将波形 G 叠置在一个格栅上, 用边长为 r 的小正方格去覆盖这个格栅; 变换不同的 r 值, 计算覆盖波形所需小方格的数目 $N(r)$, 容量维的计算公式为:

$$D = - \lim_{r \rightarrow 0} \log N(r) / \log(r)$$

要实现上述分维计算, 先将 r 、 $N(r)$ 取对数, 绘制双对数曲线图 $\log N(r) - \log(r)$, 如果此曲线上有一段直线区, 说明麻疹流行具有分形特征, 用最小二乘法对该直线段进行拟合, 直线斜率的绝对值即为麻疹流行过程的容量维 D 。通常要求数据长度在 200 个以上, 计算结果比较稳定。容量维的计算程序按上述原理用 C5.0 计算机语言进行编写, 在 IBM/PC486 计算机上完成运算; 同时用 FoxBase2.0 软件建立数据库, 计算历年的发病率。

结 果

一、麻疹流行的波动曲线: 以广东省资料为例, 结果见图 1。

二、容量维计算: 以广东省 1951~1989 年资料为例, $\log N(r) - \log(r)$ 双对数曲线见图 2。

双对数曲线上有一段直线区, 用最小二乘法对该直线段进行拟合, 拟合点数为 6, 相关系数

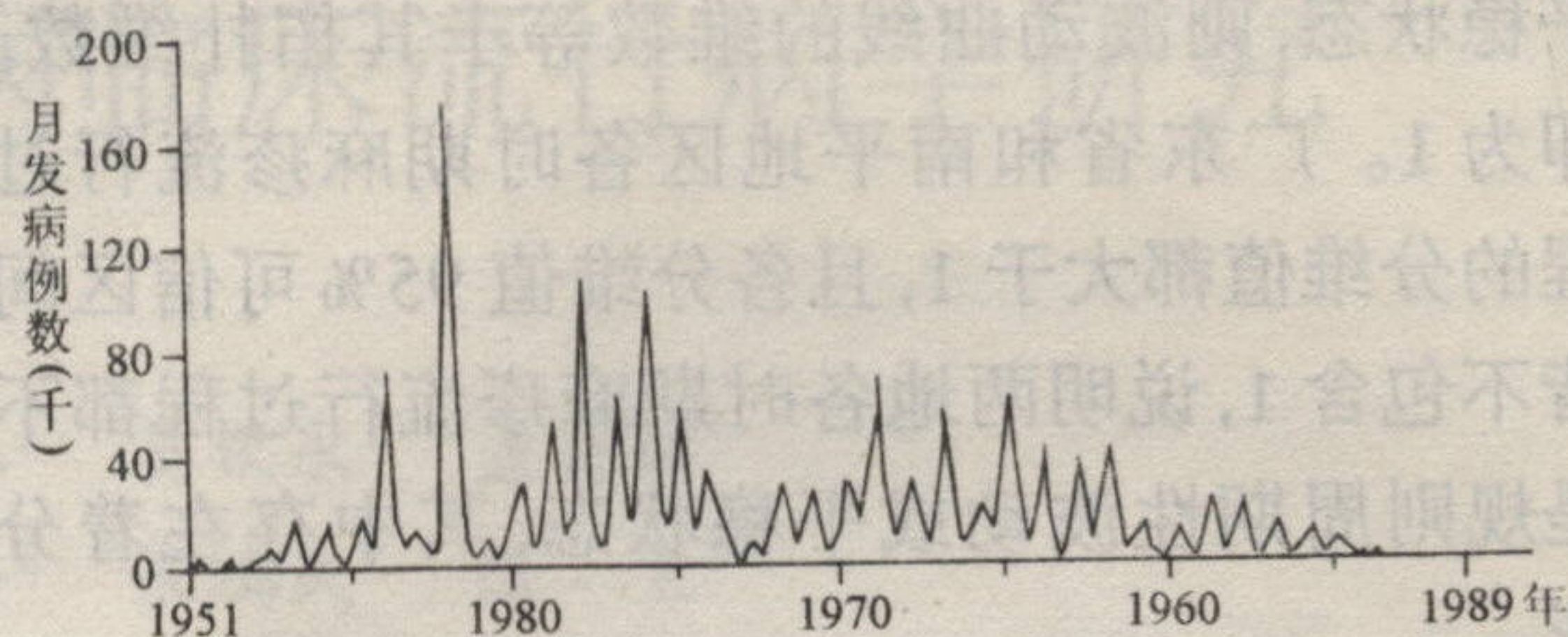


图 1 广东省 1951~1989 年麻疹流行的波动曲线

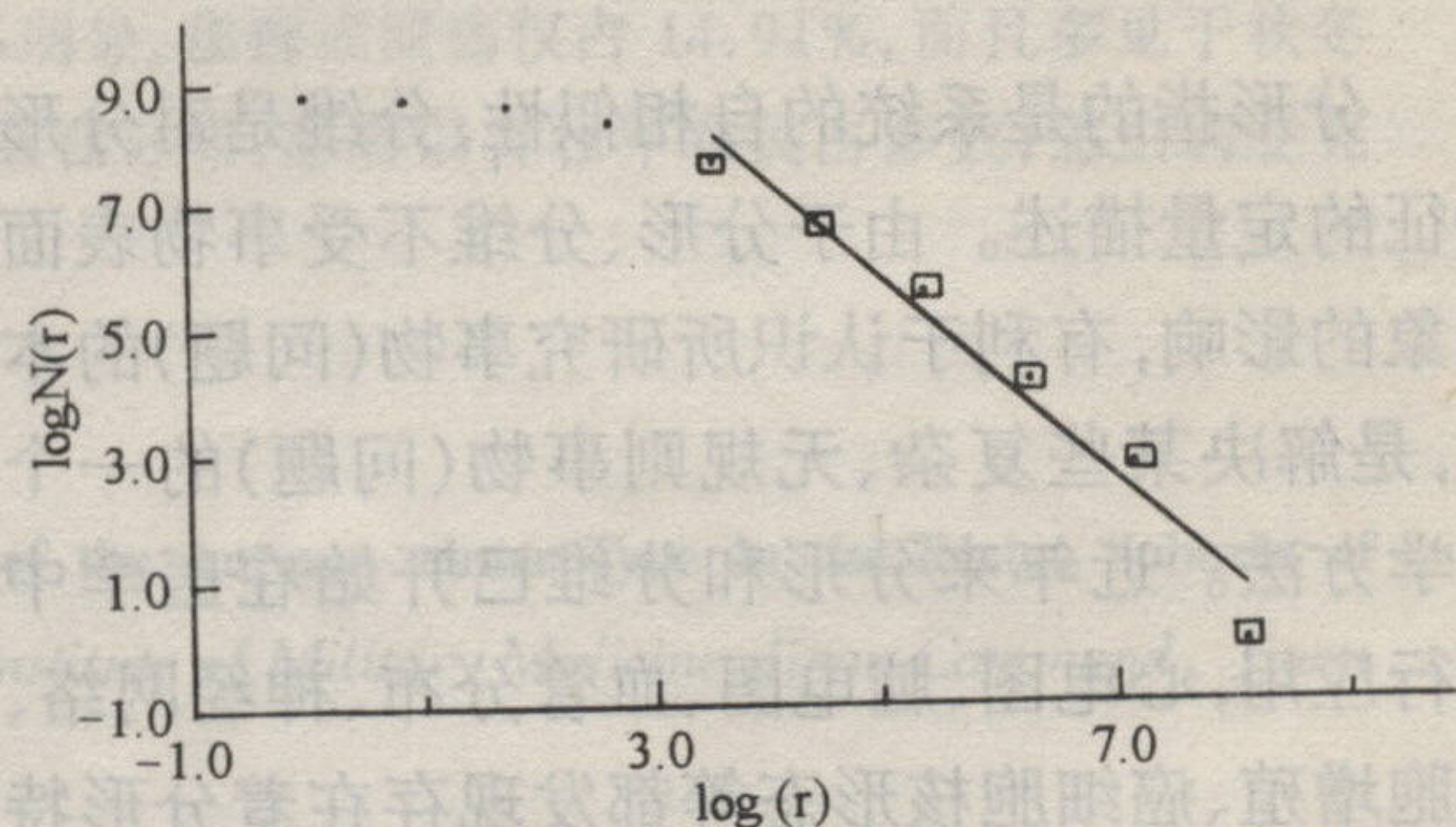


图 2 广东省 1951~1989 年麻疹流行的分形特征
($D = 1.616, r = 0.982, P < 0.001$)

$r = 0.982, P < 0.001$, 说明麻疹流行具有分形特征, 回归系数(斜率)的绝对值 1.616 就是麻疹流行过程的分维值。

我国 1967 年开始使用麻疹疫苗, 1973 年开展计划免疫, 1982 年开展扩大免疫计划, 根据麻疹防治工作的实际情况, 把资料初步分为四个阶段进行探讨^[3], 两地各阶段麻疹流行过程的分维值与年平均发病率等见表 1 和表 2。

表 1 广东省不同时期麻疹流行过程的分维值与年平均发病率

时间 (年)	月数据个数	直线拟合点数 (n)	相关系数 (r)	分维值 (D)	标准误 (s_x)	分维值 95% CI	年平均发病率 (/10 万)
1951~1989	468	6	0.982	1.616	0.1554	1.185~2.047	399.7
1951~1966	192	6	0.998	1.588	0.0503	1.448~1.728	673.8
1967~1989	276	6	0.979	1.716	0.1787	1.220~2.212	272.1
1973~1989	204	6	0.992	1.698	0.1080	1.398~1.998	222.2
1982~1989	96	6	0.970	1.718	0.2153	1.220~2.316	86.4

表 2 福建省南平地区不同时期麻疹流行过程的分维值与年平均发病率

时间 (年)	月数据个数	直线拟合点数 (n)	相关系数 (r)	分维值 (D)	标准误 (s_x)	分维值 95% CI	年平均发病率 (/10 万)
1951~1989	468	6	0.976	1.638	0.1827	1.131~2.145	434.8
1951~1966	192	6	0.997	1.626	0.0631	1.451~1.801	657.2
1967~1989	276	5	0.980	1.758	0.2061	1.102~2.414	330.7
1973~1989	204	5	0.995	1.740	0.1008	1.419~2.061	249.5
1982~1989	96	6	0.973	1.763	0.2091	1.183~2.343	25.7

如果麻疹流行是规则、平滑的周期性波动或平稳状态,则波动曲线的维数等于其拓扑维数,即为1。广东省和南平地区各时期麻疹流行过程的分维值都大于1,且各分维值95%可信区间皆不包含1,说明两地各时期麻疹流行过程都不是规则周期性波动或平稳状态,其中存在着分形。

讨 论

分形指的是系统的自相似性,分维是对分形特征的定量描述。由于分形、分维不受事物表面现象的影响,有利于认识所研究事物(问题)的本质,是解决某些复杂、无规则事物(问题)的一个科学方法。近年来分形和分维已开始医学中进行应用,心电图、脑电图、血管分布、神经网络、细胞增殖、癌细胞核形态等都发现存在着分形特征^[4]。

通过对广东省和福建南平地区麻疹发病动态的研究,发现麻疹流行过程中存在分形,使用疫苗前病例大量出现,且常存在季节性和类似周期性,相对较有规律,分维值分别为1.59和1.63;使用疫苗后,发病率显著下降,分维值却分别增高到1.72和1.76,说明麻疹流行过程比使用疫苗前要复杂和不规则。

美国等国1963年开始使用麻疹疫苗,Olsen研究纽约、底特律及丹麦哥本哈根市1920~1963年麻疹流行状况,分维值分别为2.68、2.43和3.07^[5],都比本文的结果高,是否提示当时美国和丹麦麻疹流行的情况比我国复杂,有待进一步的对比研究,使用疫苗后,麻疹流行过程有何分形特点,尚未见文献报道。

麻疹病原体相对稳定,传播途径也无变化,人又是唯一的中间宿主,麻疹疫苗保护率高,使用疫苗后发病率显著下降,目前死亡病例基本消除,具备了类似消灭天花的条件,对此,国内外学者提出了消除甚至消灭麻疹的设想^[6,7],但是直到目前,却仍有病例发生,甚而形成局部暴发流行,并出现一些新的情况,如常见部分母亲由于本身抗体水平低下,导致婴儿缺乏来自母体的抗体而在计划免疫的空白期(0~8个月)发病;大

量的人口流动,使易感人群聚集,并增加了接触机会;病例的年龄分布不再限于婴幼儿;各地的暴发流行或散发都无明显的季节性和规律性,疫情更难于预测等。使用疫苗后,分维值增大,表明其流行过程更为复杂和不规则,与上述实际情况相符合。通过免疫预防可显著降低麻疹的发病率,但要认识到在降低麻疹发病的进程中,其分维值增大,即更具复杂性,要求正确处理各种可能出现的复杂问题,必须加强计划免疫接种,达到和保持高免疫接种率,以形成牢固的免疫屏障;加强疫情监测,尽早发现及处理病例,对接触者进行应急接种;适时复种,使初免失败及漏种者得到保护;加强流动人口的计划免疫管理,对刚参加集体生活的青年进行免疫接种;研制适合小月龄婴儿接种的疫苗,使之尽早得到保护;同时加强科学管理,经济有效地利用现有资源^[8,9],相信因此就能进一步将麻疹的发病率控制在较低水平,消除以至消灭麻疹。

(本文承同济医科大学施侣元教授指导,在计算方法上得到了王开颜硕士的帮助,资料收集得到广东省卫生防疫站、福建省南平地区防疫站的帮助,谨此感谢)

参 考 文 献

- 1 郝柏林.分形和分维.科学,1986,38:9.
- 2 卢耘.医学信号的分形与混沌研究.见:谢正祥等编.医学数字信号处理技术及应用.北京:科学技术文献出版社,1992,69,116.
- 3 陈茂香,郝瑞丰,黄介枚.广东省四十年急性传染病疾病谱的变迁.广东卫生防疫,1994,20:35.
- 4 Kress GM and Yates FE. Dimensional analysis of nonlinear oscillations in brain, heart, and muscle. Mathematical Biosciences, 1988, 90:155.
- 5 Olsen LF and Schaffer WM. Chaos versus noisy periodicity: Alternative hypotheses for childhood epidemics. Science, 1990, 249:499.
- 6 Anderson RM and May RM. Directly transmitted infectious diseases: control by vaccination. Science, 1982, 215:1053.
- 7 张荣珍.麻疹控制与消除的现状与展望.中华流行病学杂志,1986,7:362.
- 8 吴国钧.麻疹消除困难因素及其对策.中华预防医学杂志,1994,28:186.
- 9 连文远.麻疹的控制与消除.中华流行病学杂志,1996,17:67.