

家蚕微粒子病流行发生与气象因子的关系分析研究

刘吉平 (华南农业大学蚕桑系 广州 510642)
张国权 (华南农业大学理学院 广州 510642)
徐兴耀 (华南农业大学蚕桑系 广州 510642)

摘要: 通过收集整理广东省家蚕原种微粒子病流行发生的原始数据, 利用最优子集回归分析法分析了原种微粒子病发病率与当地气象因子的关系, 结果全年原种微粒子病发病率与年平均气温及其距平有极显著的正相关关系。各批次原种微粒子病发病率与相关月份的平均气温相关显著; 原种微粒子病年发病率与4、11月两月的降雨量相关关系较显著; 原种微粒子病发病率与5、6、7月两月的日照时数的相关关系显著, 与6月份的日照时数呈正相关, 而与5、7月两月的日照时数呈负相关。气象因子以温度和日照时数对家蚕微粒子病流行发生的影响最为显著, 气温是影响原种微粒子病流行发生的重要原因之一。表2, 参8。

关键词: 家蚕; 微粒子病; 气象因子; 最优子集; 回归分析

中图分类号: S881.21; S114 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001 - 0068(2002)03 - 0164 - 05

Analytical study on the relation with pebrine disease prevalence to climatic factors/ Liu Jiping, Zhang Guoquan, Xu Xingyao (South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China) **SSCSA**, 2002, 18 (3): 164~168

Abstract: In accordance with the prevalence of the pebrine (*Nosema bombycis mori*, N. b) disease of silkworm (*Bombyx mori*. L.) parent eggs data and main climatic factors in a silkworm production farm in Guangdong province in the past decades. The relationship between pebrine disease prevalence and local climatic factors was investigated by the optimal subset of regression analysis, the results showed that the prevalence of N. b disease of the silkworms is positive correlated with the mean annual temperature and its distance on the average level. But in the year round, it is the most appreciable that the monthly mean temperature affects the relative disease prevalence. The relationship between the N. b disease prevalence of the silkworm parent eggs and the rainfall is also investigated. The results show that it is most appreciable for Apr. and Dec. rainfall to the disease culled ratio. The relationship between the N. b disease prevalence of the silkworm parent eggs and the sunlight is also investigated, too. The results is that the disease prevalence is remarkably correlated with the sunshine of May, June and July in one year. Above all, the temperature and sunlight are chiefly relation with the prevalence of the pebrine disease in all climatic factors, and the temperature is one of the most important factors.

Key words: *Bombyx mori*. L.; pebrine disease; climatic factors; the optimal subset; regression analysis

家蚕微粒子病是一种家蚕毁灭性的疫病。一个多世纪以来, 人们相继对该病的病原生物学特性、传播规律、检测及防治方法等进行了一系列的研究, 取得了丰硕的成果^[1~4]。然而该病的病原微孢子虫作为古老的寄生物对自然环境有着很强的适应性, 致使家蚕微粒子病仍不时地在世界各养蚕地区存在和发生着^[7]。家蚕微粒子病的流行发生过程是一个由多因素作用、多变量决定的复杂动态过程。

而从气象因子的角度来分析家蚕微粒子病流行发生原因的报道不多^[3]。我们尝试应用最优子集回归方法, 分析气象条件变化对广东省家蚕原种微粒子病流行发生的影响, 为全国微粒子病大流行原因分析提供一些方法和依据。

1 技术资料及研究方法

1.1 资料来源及整理

收稿日期: 2001 - 10 - 28.

基金项目: 国家“九五”攻关课题(96 - 616 - 02 - 03)和英国文化委员会资助的中英学术交流项目(CTN/992/253)以及华南农业大学校长基金项目(5400 - K02069)内容。

作者简介: 刘吉平(1968 -), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事昆虫病理学及分子生物学的教学和科研工作。

1.1.1 根据广东省蚕种质检站提供的历年来广州某蚕种场原种微粒子病发病资料,整理出该场 40 多年来各年原种微粒子病发病率的统计结果,如表 1。近 10 余年来不同造批次微粒子病发病率,如表 2。

1.1.2 根据《中国农业年鉴》(历年)气象资料及广东省气象局提供的部分内部气象资料,整理出广州地区历年的降雨量、日照时数、平均气温等所需的气象资料。

1.2 研究方法

1.2.1 利用最优子集法筛选出影响家蚕微粒子病流行发生的主要气象因子,并用最小二乘法建立相应的回归预测方程;最优子集回归原则根据以下 3 点:复相关系数 R 为最大,复相关系数 R 实质上测定了 Y 与所有预测变量 X 之间的关系强度,

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{SS_E}{SS_T}; \quad \hat{y} \text{ 取最小 (即每个回归方程的均方差 } S \text{ 为最小)}, \text{ 其中 } \hat{y} \text{ 是取所有变量后建立方程的方差 } (S); \quad C_p \text{ 最小, } C_p =$$

$\frac{SS_E}{MSE_m} - (n - 2p)$, p 是方程所取的参数个数;而理想的回归分析方程还包括具有合理个数而有意义的预测变量模型。最后应用 Minitab 统计软件编程分析运行即得回归方程及有关的参数。

1.2.2 使用的工具软件:Minitab Ver. 8.02 和 SAS Ver. 6.12 及 Excel 97 等。

2 结果与分析

2.1 原种微粒子病发生与平均气温的关系

2.1.1 各年原种微粒子病发病率与相应各月平均气温的关系。利用 1980 ~ 1995 年各月平均气温与相应各年原种微粒子病发病率(见表 1、表 2)作最优子集回归分析。结果原种微粒子病发病率与 1、6、8 月 3 个月的月平均气温呈正相关,与 10 月及全年月平均气温呈负相关。关系式如下:

$$Y = -0.4720 + 0.0138 X_1 + 0.0263 X_6 + 0.0141 X_8 - 0.0152 X_{10} - 0.0206 \bar{X}$$

(2.1)

式中: X_1 、 X_6 、 X_8 、 X_{10} —1、6、8、10 月的月平均气温, ;
 \bar{X} —年平均温度, ;
 Y —原种微粒子病发病率, %。

又对 1957 ~ 1996 年间的 40 年来各年原种微粒子病的年发病率与各年的平均气温及其距平作最优子集回归分析,结果全年原种微粒子病发病率与年平均

表 1 广东省原种微粒子病流行发生情况

年份	发病率 %	年份	发病率 %
1957	0.008 80	1978	0.012 60
1958	0.004 40	1979	0.004 40
1959	0.002 50	1980	0
1960	0.001 50	1981	0.045 00
1961	0.016 00	1982	0.009 70
1962	0.002 20	1983	0.003 35
1963	0.002 90	1984	0.005 60
1964	0.000 50	1985	0.000 09
1965	0.000 20	1986	0.025 00
1966	0	1987	0.027 00
1967	0.026 30	1988	0.076 00
1968	0	1989	0.016 00
1969	0	1990	0.050 00
1970	0	1991	0.046 00
1971	0	1992	0.018 00
1972	0	1993	0.010 00
1973	0.000 42	1994	0.030 00
1974	0	1995	0.010 00
1975	0	1996	0.006 00
1976	0.000 75	1997	0.010 00
1977	0.000 75		

表 2 家蚕原种 1 ~ 5 造微粒子病发病率(1980 ~ 1997 年)

年份	一造 %	二造 %	三造 %	四造 %	五造 %	年发病率 %
1980	0.000 00	0.000 0 00	0.000 00	0	0	0
1981	0.066 30	0.056 3 00	0.052 94	0.032 32	0.000 45	0.036 2 10
1982	0.000 00	0.009 9 40	0.018 00	0.027 70	0.002 55	0.009 5 00
1983	0.000 00	0.000 0 00	0.000 00	0.007 10	0.001 90	0.002 7 30
1984	0.000 50	0.002 3 00	*	0.011 40	0.001 10	0.005 6 00
1985	0.002 60	0.000 0 00	0.000 00	0	0	0.000 0 88
1986	0.030 40	0.097 6 00	0.000 00	0.002 78	0.004 22	0.025 0 00
1987	0.071 00	0.006 9 00	*	0.003 00	0.120 00	0.027 0 00
1988	0.240 00	0.036 0 00	*	0.001 60	0.077 00	0.076 0 00
1989	0.027 00	0.040 0 00	*	0.002 00	0.004 00	0.016 0 00
1990	0.130 00	0.030 0 00	*	0.001 00	0.005 00	0.050 0 00
1991	0.140 00	0.012 0 00	0.082 00	0.015 00	0.015 00	0.046 0 00
1992	0.061 00	0.007 0 00	0.024 00	0.008 00	0.001 50	0.018 0 00
1993	0.005 40	0.001 2 35	0.003 50	0.011 80	0.046 09	0.010 0 00
1994	0.062 02	0.021 8 90	0.089 80	0.007 90	0.001 40	0.030 0 00
1995	0.005 30	0.012 9 00	0.024 20	0.006 20	0.023 70	0.010 0 00
1996	0.020 00	0.060 0 00	*	0.013 00	0.000 00	0.006 0 00
1997	0.150 50	0.008 1 94	*	0.005 98	0.010 15	0.012 6 10
平均	0.056 20	0.019 3 50	0.026 80	0.008 71	0.011 45	0.021 1 50

注:“*”指当造没有进行蚕种生产。

气温及其距平呈极显著的正相关关系,关系式为:

$$Y = -0.344 0 + 0.016 2 X + 0.015 6 \bar{X}$$

(2.2)

式中: Y —全年原种微粒子病发病率, %;
 X —年平均气温, ;
 \bar{X} —年平均气温距平($\bar{X} = X - 21.907$), 。
 考察还发现 1980 ~ 1989 年和 1990 ~ 1996 年的

气温距平之和均为正值,平均值分别为 1.3 和 0.43,而在 50、60、70 年代则分别为 -0.4, -0.5, -1.6。结果气温距平的变化与历年微粒子病发生的变化趋势以及与式(2.2)的分析结果相一致。

2.1.2 各造原种微粒子病发病率与相应月份平均气温的关系。通过对第一造原种微粒子病发病率与上年 12 月及当年 1~4 月份平均温度作最优子集回归分析,结果仅以 1 月份的平均温度对第一造原种微粒子病发生呈极显著的正相关关系,关系式为:

$$Y_1 = -0.3500 + 0.0295 X_1 \quad (R=0.014, P=0.00) \quad (2.3)$$

式中: Y_1 —第一造的微粒子病发病率, %;

X_1 —1 月份平均温度, 。

同样对第二造的原种微粒子病发病率与 1~5 月份平均温度作最优子集回归分析,结果仅以 4 月份平均温度对第二造原种微粒子病发生呈较为显著的正相关关系,关系式为:

$$Y_2 = -0.1860 + 0.00940 X_4 \quad (P=0.107) \quad (2.4)$$

式中: Y_2 —第二造的微粒子病发病率, %;

X_4 —4 月份平均气温, 。

同理得知第四造的原种微粒子病发病率仅与 7 月和 10 月的平均气温呈较显著的负相关关系,结果为:

$$Y_4 = 0.4100 - 0.0052 X_7 - 0.0103 X_{10} \quad (P=0.02) \quad (2.5)$$

式中: Y_4 —第四造的微粒子病发病率, %;

X_7 —7 月份平均气温, ;

X_{10} —10 月份平均气温, 。

同上,第五造原种微粒子病发病率则与 1、4、7、8、10 月 5 个月的平均气温相关显著,关系式为:

$$Y_5 = 0.0350 + 0.0074 X_1 - 0.0062 X_4 + 0.0274 X_7 - 0.0120 X_8 - 0.0176 X_{10} \quad (P=0.01) \quad (2.6)$$

式中: Y_5 —第五造的微粒子病发病率, %;

$X_1, X_4, X_7, X_8, X_{10}, X_{11}$ —1、4、7、8、10 月份平均温度, 。

即第五造的原种微粒子病发病率与 4、8、10 月 3 个月份的平均温度呈负相关,与 1、7 两个月份的平均温度呈正相关。

进一步对 1988~1995 年 8 年间的 1、2、4、5 各造微粒子病发病率与相应月份的月平均气温及月

积温做统计分析,结果 1、2、4 造的微粒子病发病率与相应月平均气温及月积温相关不显著,其尾概率分别为 $P_1 = 0.447, P_2 = 0.362, P_4 = 0.899$ 。尾概率 $P > 0.05$ 均不显著。而第 5 造微粒子病发病率与相对应的 10、11 两个月平均气温有一定的相关关系,且呈正相关。关系式为:

$$Y_5 = -0.0038 + 0.0007 X \quad (P=0.036 < 0.05) \quad (2.7)$$

式中: Y_5 —第五造原种微粒子病发病率, %;

X —10、11 两个月的月平均气温, 。

从以上各造的微粒子病发病率与相应各月的平均气温回归分析发现,1988 年的第一造和第五造均出现观察值的残差较大现象。进而考察该地区该年的气候详情发现,1988 年的厄尔尼诺事件导致该年气候很不正常,年平均气温比历史平均气温低 0.16,特别是受 8824 号热带气旋的影响,出现一次严重的湿霜降风过程,该月最低气温为 12.1。而在该月饲养的第五造家蚕原种发病率亦是近 10 余年来同期最高的,可见该年微粒子病发生严重的原因与气象因子的突变有一定的关系。

同时以 1980 年为界,分段分析发现:1957~1979 年间的平均温度显著低于历史平均水平 ($T = -2.13, P = 0.044$);而 1980~1996 年间的平均温度高于历史平均水平 ($T = 1.74, P = 0.10$)。

即 80 年代后的平均温度明显高于 50~70 年代的平均温度。可见造成近 10 余年来原种微粒子病流行发生的原因与平均气温升高有关。

2.2 原种微粒子病发生与降雨量的关系

2.2.1 月降雨量对原种微粒子病流行的影响分析。利用 1980~1995 年各月降雨量和与相应各年的微粒子病发病率(表 1)作最优子集回归分析,结果该场原种微粒子病年发病率仅与 4、11 月两月的降雨量有较显著的相关关系,关系式为:

$$Y = 0.0321 - 0.0001 X_4 + 0.0003 X_{11} \quad (P=0.035) \quad (2.8)$$

式中: Y —各年的微粒子病发病率, %;

X_4, X_{11} —4、11 两月的月降雨量, mm。

即原种微粒子病发病率与 4 月降雨量呈负相关,与 11 月降雨量呈正相关。

2.2.2 月降雨量对各造原种微粒子病流行的影响分析。将 1988~1995 年各月降雨量分别与当年 1、2、4、5 各造原种微粒子病发病率(表 2)进行相关关系分析。结果各自的尾概率分别为 $P_1 = 0.067; P_2 = 0.742; P_4 = 0.362; P_5 = 0.966$,即尾概率 $P >$

0.05,说明在95%水平上相关关系不显著。但第四造的微粒病发病率与6、7两月总降雨量呈现较明显的相关关系(尾概率 $P=0.038 < 0.05$)。而第五造原种微粒子病发病率与10、11两月总降雨量亦呈现较明显的相关关系(尾概率 $P=0.036 < 0.05$)。

2.3 原种微粒子病流行发生与日照时数的关系

利用1980~1995年各月日照时数与相应各年的微粒子病发病率(表1)作最优子集回归分析,结果为:

$$Y=0.0604 - 0.0001 X_5 + 0.0001 X_6 - 0.0002 X_7$$

$$(P=0.004) \quad (2.9)$$

式中: Y —一年微粒子病发病率, %;

X_5 、 X_6 、 X_7 —5、6、7各月的日照时数, h。

即原种微粒子病发病率与5、6、7各月的日照时数的相关关系显著,与6月份的日照时数呈正相关,而与5、7两月的日照时数呈负相关。

再根据1980~1995年的各月日照数和对应各年、造的微粒子病资料,经最优子集回归分析发现,第二造原种微粒子病发病率与上年12月及当年的1、2、3、4、5月6个月的日照时数关系分析中,结果仅以相应的1、3两个月的日照时数对该造微粒子病发病率有较显著的正相关关系($P=0.014 < 0.05$)。生产上1月份的日照时数长短不仅影响桑叶的萌芽生长,也有利于环境昆虫越冬后的复苏,进而有利于环境病原的繁衍和传播;到2、3月份时,广州基本上开始了原种的生产,这时的3月日照时数平均为46.8 h,很大的概率会导致原种微粒子病发病率升高。

进一步分析原种年微粒子病发生变化反复较大的1980~1995年日照时数(16年的总平均年日照时数为1591 h)与1957~1995年40年来的平均日照时数(总平均年日照时数为1796 h)比较,结果 $T=-3.36$ ($P=0.0018$)。说明近16年来年总日照时数有99.8%以上的水平明显比历史平均水平要短。分析认为,年日照时数少,一方面有利于环境病原微孢子虫的生存,而病原生存力是影响疾病流行的一个主要因素;另一方面年日照时数少不利于桑叶的正常光合作用,进而影响蚕儿的体质和抗病性。

同时考察第五造原种微粒子病发病率与上年12月日照时数及当年的1~11月12个月的日照时数关系,结果以当年对应的6、8、11月3个月的日照时数影响关系最为显著($P=0.006 < 0.01$)。其中6月份的日照时数为正相关($P=0.031 < 0.05$),

8、11月两个月的日照时数为负相关(其中8月份的 $P=0.001 < 0.01$ 和11月份的 $P=0.057$),但由于方程常数项为正值,所以当8月的日照时数较长,而第五造原种微粒子病发病率低。这是8月份的炎热和长时间的日照,降低了环境病原密度所致。

3 讨论

(1) 气象条件对家蚕微粒子病流行发生有直接和间接的影响。地处热带亚热带的广东蚕区,气温高,雨量充沛,桑树生长旺盛,有利于全年多批次养蚕,养蚕时间前后长达9个月,同样极有利于家蚕微粒子病的垂直传播和水平传播。这可能是气候条件对家蚕微粒子病流行发生的直接影响,也是广东蚕区成为全国家蚕微粒子病高发区的主要原因之一。此外热带亚热带气候也有利于家蚕微孢子虫共寄主的野外昆虫生存、发生和繁殖,目前已证实有10余种感染野外昆虫的微孢子虫对家蚕有食下感染和胚胎传染,还有多种微孢子虫能间接感染家蚕^[3]。家蚕微孢子虫能在野外昆虫中交叉感染,加上养蚕形式多变,织成了复杂的微粒子病交叉感染网。这是高温多湿的气候条件对广东蚕区家蚕微粒子病流行发生的间接影响。

(2) 温度和日照时数对家蚕微粒子病流行发生的影响最为显著。家蚕微孢子虫发育适温为10~30,增殖适温为20~30^[5]。当环境气候炎热时,则抑制微粒子病的流行发生。而如果同时期降雨量偏少,日照时数相对较长,则容易使外界环境的微孢子失活,从而减少家蚕感病机会,故微粒子病发病率则会降低。而近10余年来,平均气温明显偏高加上年日照时数明显偏短及微粒子病流行发生变化趋向偏高的事实,与微孢子虫自身发育受环境影响的理论^[6]亦是相一致的。

气温是影响原种微粒子病流行发生的重要原因之一。据报道^[6],在众多的物理因子中,温度对微孢子虫的侵染作用影响最为重要,且还影响微孢子虫的地理分布。本研究发现80年代后家蚕微粒子病发生与平均气温的正相关关系也证实了该观点。温度对原种微粒子病流行发生的影响,一方面主要是通过影响野外昆虫种群密度的大小来影响微孢子虫在环境中的繁衍数量,进而影响感染家蚕的微孢子虫病原密度。当气温偏高时,寄主种群繁殖快且多,导致环境的病原微孢子虫密度增多;否则,病原密度偏少;另一方面气温变化影响家蚕的生理状态和抗病性,进而使家蚕更易感染发病。而日照的

影响则表现在, 太阳辐射可使微孢子失活, 受紫外光直接照射的微孢子半存活期为 $2.1 \text{ h}^{[6]}$ 。近 10 余年来日照时数短, 有利于环境病原微孢子的存活以及与家蚕微孢子病发病率的显著相关性分析的结果, 都证明了前人的观点^[8]。

(3) 在影响家蚕微孢子病流行发生的众多因素中, 人为因素是最难控制的。家蚕微孢子病流行发生除受气象因素的影响外, 还要考虑受到其他诸如环境病原密度、环境消毒水平、蚕品种抗性、养蚕技术水平、蚕茧价格政策等因素的影响, 而且这些因素都不易量化分析。其中消毒水平、养蚕技术水平及蚕茧价格政策等都是较难控制的人为因素, 如茧价的升降不仅直接影响人们种桑养蚕的积极性和对环境病原消毒的重视程度, 也间接地影响微孢子病的流行发生(将另文探讨)。甚至有学者认为, 近些年广州地区微孢子病发病率升高, 与该地城市化发展有关, 指出该场桑园附近及制种区新添的街灯引来了更多的野外昆虫, 也带来了更多的微孢子病传染源所致。因此, 对家蚕微孢子病流行发生的规律还需作进一步的研究。

参考文献:

- [1] 刘吉平, 徐兴耀. 家蚕微孢子病流行发生的历史与现状 [J]. 中国蚕业, 2000, (1): 9-11.
- [2] 刘吉平, 徐兴耀. 家蚕微孢子虫分子生物学研究进展 [J]. 广东蚕业, 1997, 31 (4): 50-55.
- [3] 刘吉平, 张国权, 徐兴耀. 广东家蚕原种微孢子病发生预测预报研究初步 [A]. 新的农业科技战略与对策 [C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998.
- [4] 刘吉平, 张国权, 徐兴耀, 等. 广东省家蚕原种微孢子病流行规律的分析 [J]. 蚕业科学, 2000, 26 (3): 172-175.
- [5] James R. F., T. Yoshinori. 昆虫疾病流行病学 [M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1991.
- [6] 蒲蛰龙. 昆虫病理学 [M]. 广州: 广东科技出版社, 1992.
- [7] Kaya H. K. Survival of spores of *Vairimorpha* (= *Nosema*) necatrix (Microsporida: Nosematidae) exposed to sunlight, ultraviolet radiation and high temperature. J. Inverte Pathol. 1977, 30 (2): 192-198.
- [8] Undeen A. H., R. K. Meer. Vander. The effect of ultraviolet radiation on the germination of *Nosema algerae* Vavra and Undeen (Microsporida: Nosematidae) spores. J. Protozool. 1990, 37 (3): 194-199.

(责任编辑 侯雪琪)

(上接第 163 页)

劳力比重较高, 虽然在评价期间有不同程度的下降, 但仍然超过 50%; 五等包括无锡和苏州两市, 其特点是人均耕地资源占有量较低, 耕地资源相对不足, 粮食产量不能实现完全自给, 耕地资源占土地资源的比重急剧下降, 经济较发达, 由于无锡和苏州也是传统的农业高产区, 经济发展过程中面临城市化和工业化与发展农业和保护耕地之间的尖锐冲突; 二等包括南京、徐州、连云港、宿迁 4 个城市, 三等包括南通、镇江和泰州 3 个城市, 四等包括常州, 二等、三等和四等的城市耕地资源利用的特点是: 人均耕地资源占有量中等、粮食产量能实现自给, 还有少量余额可供地区调剂, 这些地区的经济发展水平也介于一等和五等城市之间, 耕地资源保护和经济发展两者之间存在矛盾, 但较缓和。

针对不同类型地区的耕地利用和经济发展状况, 应制订不同的发展战略, 采取不同的耕地保护措施。一等类型的城市拥有一定数量的耕地后备资源, 在评价期间耕地资源未见减少, 但是人均耕地水平均有不同幅度的下降, 因此要特别重视控制人口增长, 提高人口素质, 适度开发耕地后备资源; 五等类型城市由于经济发展、城市化水平高造成耕

地资源流失严重, 该类型地区应切实加强加强对现有耕地资源的综合利用, 提高土地利用率, 控制城市规模的过度膨胀, 加强耕地征用的审批工作, 严格控制耕地的减少; 二等、三等和四等类型城市属于耕地流失中等流失区域, 但是这些城市的耕地资源潜力有限, 缺乏后备资源, 因此今后要重视对耕地资源的保护, 提高耕地利用水平。

参考文献:

- [1] 凌启鸿. 江苏农业资源与综合区划 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1993.
- [2] 周立三. 从人口资源与生态环境的观点分析我国国情与农村经济发展 [J]. 地理学报, 1990, 45 (3): 257-263.
- [3] 白雪梅, 赵松山. 灰色关联判别分析模型及其应用 [J]. 南京经济学院学报, 2001, (5): 21-23.
- [4] 陈守煜. 系统模糊决策理论与应用 [M]. 辽宁: 大连理工大学出版社, 1994.
- [5] 陈百明, 张凤荣. 中国土地可持续利用指标体系的理论与方法 [J]. 自然资源学报, 2001, 16 (3): 197-203.
- [6] 刘兆德, 李世泰, 李玉增. 山东省耕地资源变化的地域类型研究 [J]. 地域研究与开发, 2001, 20 (3): 59-62.
- [7] 江苏省统计局. 1989~1999 年统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1989~1999 年.

(责任编辑 侯雪琪)