

274-280

12026(8)

第14卷 第3期  
1994年9月生态学报  
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 14, No. 3  
Sep., 1994

## FUZZY 综合评判在棉红铃虫测报上的应用\*

谢佳龙 陈元光✓沈 斌

(中国科学院上海昆虫研究所, 上海, 200025)

5431.16

A

**摘要** 本文以在浙江省宁波市镇海区进行的12年棉红铃虫(*Pectinophora gossypiella* Saunders)性信息素诱蛾试验为基础,通过相关分析,选取第一代蛾高峰期前累计诱蛾,棉花现蕾期和6月中旬到7月上旬的降水量3个参数,构建对第二代平均卵量进行综合评判的模型。由于多种因子对诱蛾量的影响具有不确定性和模糊性,采用FUZZY综合评判模型建模。以回报准确率为标准,对9种权重、4类评判矩阵和6种广义算子以及它们的特性作了比较和讨论。在构建的216个模型中,有94个模型的历史符合率达到100%。在这些模型的基础上,得到了一个优化评判模型。该模型与常规线性回归模型比较具有准确、方便、所含信息多等特点。在评判模型的基础上,增加第一次发现卵量的日期,构建了预报模型,该模型加强了预报的功能。模拟运行,可得到“预报速查表”,预测结果与大田相符。该研究为性信息素和其它行为调节物质在测报上的应用以及动态经济阈值的研究提供了一些新的思路。

**关键词:** 棉红铃虫, 性信息素, FUZZY 综合评判, 预报速查表, 预报模型。

模糊综合评判

在害虫综合治理(IPM)实践中,测报是保证各项措施正确实施的基础。研究和实施测报计划包括确定害虫危害的经济阈值,研究适合的监测和预报程序,提供在生产中实施该预报程序的方法3个方面<sup>[1]</sup>。而研究适合的监测和预报程序是整个测报计划的中心环节。性信息素监测因其价廉、专一、灵敏,且易于单独操作,是监测多种鳞翅目害虫种群数量有效的方法<sup>[2-4]</sup>。但由于它是基于昆虫的性行为反应,监测结果受虫体本身的生物学特性、生态学特性、生态环境和诱源等多方面的影响<sup>[5-7]</sup>。每个因素对诱捕数的影响都具有不确定性和模糊性,因而使得性信息素测报成为一个非常复杂的系统<sup>[8]</sup>。1965年Zadeh创立的FUZZY集合论使数学的应用范围从精确现象领域扩展到模糊现象领域<sup>[9,10]</sup>,为利用性信息素监测结果进行测报提供了一条新的思路。

本文以棉红铃虫性信息素监测资料为基础,通过对数据整理分析,进行因子的最佳寻优与FUZZY综合决策,试图寻找一种适合利用性信息素监测数据,并易于在生产中实施的有效的测报方法。

## 1 材料与方法

## 1.1 大田试验

以浙江省宁波市镇海区进行的12a棉红铃虫性信息素监测试验为基础,调查内容包括害虫监测(诱蛾、查卵),棉花生长发育观察,棉花受害调查,农事活动和气象监测。

## 1.2 数据处理

对田间试验的调查数据进行归纳整理,诱蛾量折算成每盆每天平均诱捕量,卵量换算成百株卵量,棉花受害以百分率计算。

## 1.3 因子选择

将作物受害程度指标(花害、铃害)和下代卵量作为因变量,前期虫量指标、棉花生育动态

\* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期:1992 10 23,修改稿收到日期:1993 06 06。

因子和气象因子作为自变量,逐项进行相关分析,判断相关显著性。相关分析考虑到害虫发生的客观性,不以常用的时间单位如月、旬、周为前提,而是根据害虫发生的生物学特性对相关的时段进行滑动选择,以相关性最好的时段作为最佳相关时段。最后确定时再照顾到应用的方便作适当的调整。

#### 1.4 建模分析

将所选择的各预报因子和预报对象按照近似正态分布的形式分为 5 级,并将各预报因子和预报对象的分级值列联表。以统计实验法和专家评判给分法确定各预报因子的权重。统计实验法主要是利用历史资料进行统计分析,包括利用①列联系数、②随机系数、③相依系数、④对角线频数、⑤最大频数、⑥等级相关系数、⑦分级值相关系数、⑧预报因子统计值相关系数共 8 种参数<sup>[11]</sup>。专家评判给分法⑨是根据已积累的经验,对各因子进行权衡后给各因子赋以适当的权重。将以上各数值进行归一化处理后组成 FUZZY 向量 FV。根据各因子所在级别和列联表,用①条件概率、②FUZZY 条件概率、③概率贡献和④列联比 4 种方法构成 FUZZY 评判矩阵 FM。选择“Zadeh 取大、取小”、“Zadeh 取大、实数积”、“实数和、Zadeh 取小”、“实数和、实数积”、“概率和、实数积”和“Einstein 算子”共 6 种不同的 FUZZY 算子 FC 进行比较。将上述各种不同方法建立的 FUZZY 向量 FV、矩阵 FM 和算子 FC 组合成 FUZZY 综合评判模型  $Y = X \cdot R$ 。评判根据最大隶属度原则,判断所在级别<sup>[12]</sup>。用各种综合评判模型对历年发生情况进行回报,以预报级数与实际级数列联表,根据列联表 S 值对各模型进行预报质量评价,比较各种模型的优劣。再根据 FUZZY 综合评判法与常规线性回归方法回报和预报的结果,比较两类方法的优劣。

## 2 结果

### 2.1 棉红铃虫二代卵量的综合评判模型

棉红铃虫对长江流域棉花的经济损害主要是第二代幼虫造成的,因此预测第二代田间卵量是整个棉红铃虫测报计划的关键。据此对第二代平均百株卵量的预报进行建模分析。1986 年缺少卵量调查数据,可用于检测模型的回报性能,1990 年资料全面,用于检测模型的预报性能,所以建模分析以其余 10a 的资料为基础。

**2.1.1 预报因子的筛选** 以二代平均百株卵量作为因变量,以一代害虫发生情况和前期的棉花生育动态因子、气象因子作为自变量因子,逐个进行滑动时段的相关分析。根据相关系数大小并兼顾考虑到应用的方便性,确定以一代蛾高峰期前累计蛾量  $X_1$ 、棉花现蕾期  $X_2$  和 6 月中旬到 7 月上旬的总降水量  $X_3$  共 3 个因子作为对二代平均卵量  $Y$  进行综合评判的因素集。

**2.1.2 因子的分级** 分级标准如表 1,经分级处理所得结果如表 2。

表 1 各因子的分级标准

Table 1 Scale criteria of factors

| 因子<br>Factors                                                             | 级 别 Levels |           |            |             |          |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|-----------|------------|-------------|----------|
|                                                                           | 1          | 2         | 3          | 4           | 5        |
| 二代累计卵量平均 $Y$<br>Mean accumulated egg counts of the second generation      | (0,20]     | (20,35]   | (35,60]    | (60,100]    | (100,∞)  |
| 一代峰前累计蛾量 $X_1$<br>Accumulated catches before peak in the first generation | (0,500]    | (500,800] | (800,1200] | (1200,1700] | (1700,∞) |

(续前表)

| 因子<br>Factors                                                         | 级 别 Levels |           |           |           |         |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|---------|
|                                                                       | 1          | 2         | 3         | 4         | 5       |
| 棉花现蕾期 $X_2$<br>Date of 50% squaring plants                            | (0,15]     | (15,20]   | (20,25]   | (25,30]   | (30,∞)  |
| 6月中旬—7月上旬降水量 $X_3$<br>Total precipitation from mid-June to early July | (0,150]    | (150,200] | (200,250] | (250,300] | (300,∞) |
| * 第一次发现卵的日期 $X_4$<br>Date of first finding eggs                       | (0,10]     | (10,20]   | (20,30]   | (30,40]   | (40,∞)  |

\* 日期以6月1日为1,6月2日为2,依次类推。

The date is converted to number according to the rule, the first of June to 1, the second of June to 2, and so forth.

表2 各因子的统计值与分级值

Table 2 Statistic and scaled values of factors

| 年序              | 1979           | 1980   | 1981   | 1982   | 1983   | 1984   | 1985  | 1986   | 1987  |       | 1988 |       | 1989  |       | 1990  |       |
|-----------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Year sequence   | LS             | LS     | LS     | LS     | LS     | LS     | LS    | LS     | LS    | TD    | LS   | MC    | LS    | MC    | LS    |       |
| 统计数值            | Y              | 69.2   | 36.1   | 48.9   | 145    | 0.9    | 41    | 164.5  |       | 25.3  | 27.3 | 22    | 15.8  | 8.6   | 2     | 3.7   |
|                 | X <sub>1</sub> | 1524.1 | 1303.7 | 1612.9 | 1326.8 | 1955.8 | 874.8 | 1608.5 | 861   | 527.7 | 690  | 918.7 | 616.1 | 715.2 | 412.1 | 754   |
| Statistic value | X <sub>1</sub> | 23     | 18     | 17     | 13     | 25     | 18    | 10     | 14    | 18    | 21   | 9     | 25    | 20    | 35    | 12    |
|                 | X <sub>3</sub> | 139.8  | 248.9  | 114.3  | 170.3  | 321.1  | 282.9 | 114.4  | 198.8 | 198.2 |      | 286.6 |       | 242.9 |       | 175.2 |
| 分级值             | y              | 4      | 3      | 3      | 5      | 1      | 3     | 5      |       | 2     | 2    | 2     | 1     | 1     | 1     | 1     |
|                 | x <sub>1</sub> | 4      | 4      | 4      | 4      | 5      | 3     | 4      | 3     | 2     | 2    | 3     | 2     | 2     | 1     | 2     |
| Scaled value    | x <sub>2</sub> | 3      | 2      | 2      | 1      | 3      | 2     | 1      | 1     | 2     | 3    | 1     | 3     | 2     | 5     | 1     |
|                 | x <sub>3</sub> | 1      | 3      | 1      | 2      | 5      | 4     | 1      | 2     | 2     | 2    | 4     | 4     | 3     | 3     | 2     |

LS、TD、MC 分别代表岚山、通德、棉场各试验点。

LS, TD and MC represents the Lanshan, Tongde and Mianchang trial site respectively.

2.1.3 综合评判模型的组成与分析 用统计实验法和专家评判给分法对3个预报因子进行权衡,得到9种不同的FUZZY向量。

- ① (0.3337 0.3361 0.3301)      ② (0.3341 0.3398 0.3260)  
 ③ (0.3347 0.3468 0.3188)      ④ (0.4166 0.25 0.3333)  
 ⑤ (0.3181 0.3636 0.3181)      ⑥ (0.2987 0.3291 0.3721)  
 ⑦ (0.3114 0.3244 0.3641)      ⑧ (0.2598 0.3428 0.3977)  
 ⑨ (0.32 0.33 0.35)

以上述9种FUZZY向量,4类FUZZY评判矩阵和6种FUZZY算子组合成216个综合评判模型。各模型的预报质量评价如表3。结果表明:

9种评判向量构成的权重, $S$ 值平均都在0.8以上,相差较小,这反映出所选3个因子具有很大的可靠性。

4类评判矩阵中列联比④最能准确地反映出预报因子到预报对象之间的FUZZY变换关系, $S$ 值达0.86,条件概率①和概率贡献③构成的评判矩阵所得结果相似, $S$ 值平均都为0.83,而FUZZY条件概率②相对较差, $S$ 值为0.75。因条件概率只反映了预报准确率而没有反映历史符合率。概率贡献和列联比包含上述两方面的内容,但两者对信息的处理方式不一样,从 $S$ 值可以看出,列联比具有更大的可靠性。条件概率模糊化处理后反而使预报准确率降低。

表 3 不同 FUZZY 评判模型  $S$  值的比较Table 3 Comparison between fuzzy evaluation models by  $S$  value

| FV    |    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | FC<br>平均 | FM<br>平均 | 算子<br>累计<br>平均 |
|-------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|----------|----------------|
| FM    | FC |      |      |      |      |      |      |      |      |      |          |          |                |
| 1     | 1  | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.55 | 0.53 | 0.39 | 0.39 | 0.45 | 0.39 | 0.48     |          |                |
|       | 2  | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.48 | 0.57 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 0.45 | 0.53     |          |                |
|       | 3  | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1        |          |                |
|       | 4  | 1    | 1    | 1    | 0.95 | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 0.99     |          |                |
|       | 5  | 1    | 1    | 1    | 0.95 | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 0.99     |          |                |
|       | 6  | 1    | 1    | 1    | 0.95 | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 0.99     | 0.83     |                |
| 2     | 1  | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.55 | 0.53 | 0.51 | 0.51 | 0.51 | 0.51 | 0.52     |          |                |
|       | 2  | 0.51 | 0.51 | 0.51 | 0.69 | 0.51 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.63 | 0.58     |          |                |
|       | 3  | 1    | 1    | 1    | 0.95 | 1    | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 1    | 0.98     |          |                |
|       | 4  | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.9  | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.85     |          |                |
|       | 5  | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.9  | 0.71 | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.84 | 0.83     |          |                |
|       | 6  | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.9  | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.73     | 0.75     |                |
| 3     | 1  | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.66 | 0.53 | 0.51 | 0.51 | 0.51 | 0.51 | 0.54     |          |                |
|       | 2  | 0.66 | 0.66 | 0.66 | 0.51 | 0.66 | 0.67 | 0.67 | 0.72 | 0.66 | 0.65     |          |                |
|       | 3  | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1        |          |                |
|       | 4  | 1    | 1    | 1    | 0.95 | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 0.99     |          |                |
|       | 5  | 1    | 1    | 1    | 0.95 | 0.76 | 1    | 1    | 0.86 | 1    | 0.95     |          |                |
|       | 6  | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.95 | 0.76 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86     | 0.83     |                |
| 4     | 1  | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.66 | 0.37 | 0.51 | 0.51 | 0.51 | 0.51 | 0.52     |          | 0.52           |
|       | 2  | 0.67 | 0.66 | 0.66 | 0.45 | 0.66 | 0.72 | 0.72 | 0.63 | 0.72 | 0.65     |          | 0.61           |
|       | 3  | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 1        |          | 0.99           |
|       | 4  | 1    | 1    | 1    | 0.95 | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 0.99     |          | 0.95           |
|       | 5  | 1    | 1    | 1    | 0.95 | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 0.99     |          | 0.94           |
|       | 6  | 1    | 1    | 1    | 0.95 | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    | 0.99     | 0.86     | 0.89           |
| FV 平均 |    | 0.83 | 0.83 | 0.83 | 0.83 | 0.8  | 0.81 | 0.82 | 0.82 | 0.82 | 216 个模型  |          |                |

6 种算子除算子 1 和算子 2 外,其它 4 种算子都有  $S$  值为 1 的评判模型。算子 1 强调主要因素的作用,非主要因素在一定程度上对结果没有影响;算子 2 在强调主要因素作用的基础上,考虑了次要因素的作用;算子 3 兼顾了两者的影响;而算子 4,5,6 则更加注意整体的作用。从总体看,“实数和、Zadeh 取小”算子③符合率最高,其次为“实数和、实数积”算子④、“概率和、实数积”算子⑤,和 Einstein 算子⑥。经典的 Zadeh 算子①因只对数据取大取小,丢失了太多信息, $S$  值平均仅为 0.52,“Zadeh 取大、乘积”算子②符合率也较差, $S$  值平均为 0.61。

**2.1.4 组建优化的综合评判模型** 由于 8 种统计参数和专家评判给分法构成的 FUZZY 向量所得评判结果差异不明显,以分级值的相关系数作为权重,简单且易于接受;4 类 FUZZY 评判矩阵以列联比构成的 FUZZY 变换关系历史符合率最高;6 种不同的算子差异显著,以“实数和、Zadeh 取小”最准确;据此以分级值的相关系数构成 FUZZY 评判向量,以列联比构成 FUZZY 评判矩阵,以“实数和、Zadeh 取小”作为 FUZZY 算子组建成优化的 FUZZY 综合评判模型。

## 2.2 FUZZY 综合评判法与常规线性回归法比较

常规测报方法大都是进行线性回归分析,为此将 FUZZY 综合评判与常规线性回归方法进行回报与预报的对照比较,如表 4。

表 4 FUZZY 综合评判模型与线性模型的比较

Table 4 Comparison between fuzzy evaluation models and linear models

| 预测因子<br>Factors      | 回归式<br>Regression functions                           | F 值<br>F value | 历史符合率<br>History accuracy | 预报 1990 年级别<br>Forecast for 1990 |
|----------------------|-------------------------------------------------------|----------------|---------------------------|----------------------------------|
| $x_1, x_2, x_3$      | $y = 166.6 + 0.02x_1 - 2.83x_2 - 0.39x_3$             | 5.72 *         | 46.2                      | 4                                |
| $x_1, x_2, x_4$      | $y = 3.76 + 0.44x_1 - 0.40x_2 - 0.62x_4$              | 8.596 *        | 53.8                      | 3                                |
| $x_2, x_3, x_4$      | $y = 201.60 - 3.38x_2 - 0.44x_3 + 0.21x_4$            | 5.12 *         | 46.2                      | 4                                |
| $x_2, x_3, x_5$      | $y = 171.40 - 3.19x_2 - 0.32x_3 + 0.52x_5$            | 6.35 *         | 46.2                      | 4                                |
| $x_1, x_2, x_3, x_4$ | $y = 163.58 + 0.025x_1 - 3.50x_2 - 0.45x_3 - 0.70x_4$ | 4.07 *         | 38.5                      | 4                                |

$X_1$ , 一代蛾高峰前累计蛾量 Accumulated catches before peak in the first generation

$X_2$ , 棉花现蕾期 Date of 50% squaring plants

$X_3$ , 6 月中旬—7 月上旬的降水量 Total precipitation from mid-June to early July

$X_4$ , 第一次发现卵的日期 Date of first finding eggs

$X_5$ , 一代平均累计卵量 Mean accumulated egg counts of the first generation

$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  为对应  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  的分级值 Scaled value of  $X_1, X_2, X_3, X_4$  and  $X_5$ , respectively

$Y$ , 二代平均累计卵量 Mean accumulated egg counts of the second generation

5 个线性回归模型的历史符合率最高的只有 53.8%; 预报 1990 年为 3 或 4 级。而统计表 3 中组建的 216 个综合评判模型中有 94 个模型的  $S$  值为 1, 历史符合率为 100%; 预测 1990 年二代平均卵量都是 2 级。实际田间调查为 3.7 粒/百株, 属于 1 级。与线性模型相比, FUZZY 评判结果更为接近实际。由此可见, FUZZY 综合评判模型不仅具有很强的模拟能力, 而且也具有较好的预报性能。

### 2.3 FUZZY 预报模型的建立

前面组建的综合评判模型主要侧重于对组成模型的各成分和模型的应用进行分析, 从速查表的对照分析可知, 不同模型的预报结果可能会不一样。94 个  $S$  值为 1 的综合评判模型对 1990 年的预报与实际调查数据都相差一个级别, 因此作为应用模型还需进一步完善。

在筛选预报因子时发现: 第一次发现卵的日期与二代平均卵量具有较大的负相关性。据此, 在原来 3 个因子的基础上, 增加第一次发现卵的日期, 以一代蛾高峰期前累计蛾量  $X_1$ 、棉花现蕾期  $X_2$ 、6 月中旬到 7 月上旬的降水量  $X_3$  和第一次发现卵的日期  $X_4$  等 4 个因子组建 FUZZY 综合预报模型。由于因子的增加, 各因子的权重相对减小, “实数和、Zadeh 取小”因“Zadeh 取小”而导致信息的丢失增大, 因此采用“实数和、实数积”算子。以概率贡献构成 FUZZY 评判矩阵。运行该模型进行模拟预测, 可以得出用于预报的预报速查表。该模型历史符合率为 100%, 预报 1990 年正确。该预报模型不仅具有评判模型的作用, 而且加强了预报的功能。应用该速查表, 可以很方便地利用 FUZZY 综合评判的方法对害虫的发生程度做出准确的预报<sup>[13]</sup>。

### 3 结论和讨论

以各预报因子与预报对象的分级值的相关系数作为各因子的权重, 既直观易于接受, 又比较准确可靠。以列联比和概率贡献构成评判矩阵, 能兼顾预报准确率和历史概括率。“实数和、Zadeh 取小”算子对因子较少的情况比较适用, “实数和、实数积”算子, “概率和、实数积”算子和 Einstein 算子因只对信息作有保留的取舍, 对因子较多的情况尤为适用。

以适当方法构建的 FUZZY 综合评判模型对害虫进行性信息素测报是可行的。在应用棉红铃虫性信息素监测资料对第二代卵量进行综合评判时, 仅选择第一代蛾高峰前累计蛾量、棉

花现蕾期和 6 月中旬到 7 月上旬降水量 3 个因子作为评判因素集, 回报的历史符合率即达到 100%。7 月上旬就可发出预警, 可提前一个月以上对二代虫情做出估测。增加第一次发现卵的日期后建立的预报模型不仅历史符合率达到 100%, 而且预报性能得到提高。运用“预报速查表”, 可以直接在生产实际中应用该程序。通过该研究, 初步解决了利用棉红铃虫性信息素监测资料进行测报的问题。

应用性信息素监测资料进行预报, 常规的线性模型可解决短期预报和发生期的预测; FUZZY 综合评判的方法可以较好地解决中长期预报和发生量的测报问题。但对性信息素的监测方法还有待作进一步研究, 尤其是诱捕器的标准化和田间监测的规范化问题。

组建模型时一般遵循“令人满意原则”, 力求优化而不强求最优。对模型的预报性能, “速查表”可以做出较好的评价, 但最终还是要经大田的检验; 并根据新的情况对模型做出调整、修改和补充, 使之进一步充实和完善。

### 参 考 文 献

- 1 Cammell M E and Way M J. Forecasting and Monitoring in *Integrated Pest Management*, Burn A J, Coaker T H and Jepson P (eds), Academic Press, Harcourt Brace Jovanovich, Publishers, 1987, 1—26
- 2 Baker T C, Carde R T and Croft B A. Relationship between pheromone trap capture and emergence of adult Oriental fruit moths, *Grapholitha molesta* (Lepidoptera, Tortricidae). *Can. Entomol.* 1980, 112, 11—15
- 3 Henneberry T J and Clayton T E. Pink bollworm of cotton (*Pectinophora gossypiella* (Saunders)), male moth catches in gossypure-baited and relationship to oviposition, boll infestation and moth emergence. *Crop Protection*, 1982, 1, 497—504
- 4 Hutchison W D, Beasley C A, Henneberry T J and Martin J M. Timing insecticide application for pink bollworm (Lepidoptera, Gelechiidae) management, comparing of egg and larva treatment thresholds. *J. Econ. Entomol.* 1991, 84(2): 470—475
- 5 陈元光等. 红铃虫性诱剂开口纤维剂型及其在棉田中的竞争引诱作用. *昆虫学报*, 1984, 27(2): 219—234
- 6 Justum A R and Goldon R F S. (eds) *Insect Pheromone in Plant Protection* John Wiley & Sons Ltd. 1989, 369
- 7 Ouye M T, Graham H M, Richmond C A and Martin D F. Mating studies of the pink bollworm. *J. Econ. Entomol.* 1964, 57(2): 222—225
- 8 Riedl H. The importance of pheromone trap density and trap maintenance for the development of standardized monitoring procedures for the codling moth (Lepidoptera, Tortricidae). *Can. Entomol.* 1980, 112: 655—663
- 9 汪培庄. 模糊集合论及其应用, 上海: 上海科学技术出版社. 1983
- 10 Dubois D and Prade H. *Fuzzy Sets and Systems, Theory and Applications*. New York, London, Toronto. 1980, 19: 391—392
- 11 华尧楠, 华崇制. F. C. T. 预测农作物病虫害应用技术的研究. *病虫测报*, 1990, 1, 13—24
- 12 谢佳龙, 陈之光, 张力, 唐祥冠. 棉花红铃虫性信息素预报模型的研究. *化学生态学*. 上海: 上海科学技术出版社. 1992, 1—4
- 13 谢佳龙, 陈元光, 张力. 快速准确的虫害预报方法——预报速查表法. *昆虫知识*, 1993, 30(2): 116—118

## APPLICATION OF FUZZY MULTIFACTORIAL EVALUATION TO THE FORECASTING OF COTTON PINK BOLLWORM (*PECTINOPHORA GOSSYPIELLA* SAUNDERS)

Xie Jialong    Chen Yuanguang    Shen Bin

(Shanghai Institute of Entomology, Academia Sinica, Shanghai, 200025)

At Zhenhai region, Ningbo, Zhejiang, a 12-year experiment on pink bollworm was carried out to develop related monitoring and forecasting procedures with sex pheromone traps. Through optimum correlation analyses, accumulated male catches/trap/night before peak catches in the first generation, the date of 50% squaring plants and the total precipitation from mid-June to early July were selected as the parameters to build models for evaluating the mean egg counts in the second generation. Since the uncertainty and fuzziness of male catches, the fuzzy multifactorial evaluation model was adopted. With the predictive accuracy as criterion, nine kinds of fuzzy weights, four types of fuzzy matrices, and six generalized operators were compared respectively and their basic properties were discussed. 94 evaluating models, among 216 constructed models, an historical field data in 100 percent. Based on these models, optimum evaluating model was obtained. Comparing the fuzzy optimum model with multiple linear models, it was distinct that the fuzzy model was more accurate, convenient and informative. Based on the optimum evaluating model, a predicting model was constructed by adding the first date of finding eggs as the fourth parameter. This model enhanced forecasting function. By simulating operation, a practicable "quick index table for forecasting" was given. The simulated results coincided with the actual field incidence. This research provide a new idea for economic threshold and forecasting procedure by means of pheromone and other behaviour-modifying chemicals.

**Key words:** *Pectinophora gossypiella*, sex pheromone, fuzzy multifactorial evaluation, quick index table for evaluating, forecasting model.