

研究报告

# 水稻白背飞虱发生程度的长期预测模型\*

高 苹\*\* 吴洪颜 武金岗 杨荣明

(江苏省气象科学研究所 210009) (江苏省气象局 南京 210009) (江苏省农技推广中心 南京 210036)

**Long-term prediction models for the occurrence and development of white backed planthopper, *Sogatella furcifera*.** Gao Ping\*\*, WU Hong Yan( *Meteorological Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210009, China*); WU Jin Gang( *Jiangsu Meteorological Bureau, Nanjing 210009, China*); YANG Rong-Ming( *The Center for Agricultural Techniques Popularization in Jiangsu, Nanjing 210036, China*)

**Abstract** The occurrence and development of the white-backed planthopper( WBPH) *Sogatella furcifera* is affected by local meteorological conditions. According to the theory of interaction between the sea and the atmosphere, the variation of the sea surface temperature( SST) incurs the atmospheric system to change, and also restricts the local meteorological conditions. In this article, it is found that the SST is obviously correlated with the occurrence, ingoing quantity and the fifth generation quantity of WBPH, with the method of field correlation analysis. The optimization correlation technique is used to pick out the most signal region of SST correlated strongly with the indices of WBPH, therefore, increased the correlation degree between them. A series of practicable models for long-term prediction of WBPH are developed and the test results are good. The models can be used in operation and have important guide meaning to the pest prevention and cure in the rice production.

**Key words** *Sogatella furcifera*, optimization correlation technique, SST, long-term prediction model

**摘 要** 气象条件影响白背飞虱 *Sogatella furcifera* 发生发展,根据海气相互作用原理,海温的变化会引起大气环流系统的变化,同样制约各地气象条件。作者将西太平洋海温作为长期预报因子,根据场相关分析方法,找出与水稻白背飞虱发生程度各指标相关的强信号海区,应用最优化相关处理技术,大大增加了虫情发生指标和海温之间的相关度,建立了水稻白背飞虱始见期、迁入虫量及第五(2)代虫量可靠的长期预测模型,模型均通过了  $\alpha=0.01$  显著性水平,拟合及试报结果理想,预报模型切实可行,可以投入业务使用,此研究对虫害防治和水稻生产具有重要指导意义。

**关键词** 白背飞虱,最优化相关处理技术,海温,长期预测模型

白背飞虱 *Sogatella furcifera* Horváth( white-backed planthopper, WBPH) 是水稻作物生长过程中最严重的害虫之一,一般是远距离迁入造成危害。近年来,全球气候异常,加之水稻品种的不断更换及中晚熟品种的大面积推广,使得白背飞虱的发生日趋严重<sup>[1,2]</sup>,给水稻生产带来很大威胁。过去,由于褐飞虱危害较重,国内侧重于研究褐飞虱发生程度的预测模型。90年代以来,随着白背飞虱发生频次和危害程度的大幅度提高,对白背飞虱方面的研究逐渐增多,但对白背飞虱发生程度的长期预测模型研究较

少。根据海气相互作用原理,海温的变化会引起大气环流系统的变化<sup>[3]</sup>,同样制约各地气象条件的变化,而气象条件影响白背飞虱发生发展。本文将西太平洋海温作为长期预报因子,应用场相关分析及最优化相关处理技术,寻找白背飞虱发生程度的最佳海温因子,建立白背飞虱发生程度的长期预测模型并进行

\* 江苏省“333”人才培养项目资助。

\*\* E-mail :jsars @126.com 或 gaoping5268 @yahoo.com

收稿日期 :2003-09-15, 修回日期 :2003-10-24

预报。

### 1 资料的选择

#### 1.1 因变量的选择

利用白背飞虱的始见期、迁入量和第五(2)代虫量作为白背飞虱发生程度的虫情指标。白背飞虱的迁入时间及迁入量与江苏入梅的早迟、梅期的长短有关。迁入成虫定居后的气象条件适宜与否直接影响白背飞虱的发生程度,而江苏入梅期、梅雨量均与冬半年(上年10月~当年3月)北太平洋海温存在相关关系<sup>[3]</sup>,因此,作者试图以海温作为预报因子,寻找与白背飞虱发生程度的指标存在强响应的海区温度因子,建立长期预报模型。

由于海水温度与大气的相互作用是大尺度的影响<sup>[3]</sup>,尽管江苏省不同地区之间,白背飞虱的发生程度和气候特点存在着差异,但整个环流背景和天气形势是相同的,因此作者选用全省的虫情资料进行分析。

虽然江苏全省各生态区之间的白背飞虱迁入始期差别不大,但迁入虫量和发生虫量的分布却不均匀。因此,作者从全省10多个监测站中筛选出具有典型意义的吴县监测站作为代表站,进行海温长期预测模型的研究。虫情实测资料由江苏省农技推广中心植保植检科提供。以吴县1981~2002年的逐年始见期、迁入虫量和第五(2)代虫量作为发生程度指标。

白背飞虱始见期时间序列以1月1日为1,依序向后推算,如1995年6月1日定为152,以此类推;迁入虫量为历年7月15日止白背飞虱系统田调查的累计虫量,单位是:头/百穴;第五(2)代虫量是指历年8月15日止低龄若虫高峰期大田虫量,单位是:头/百穴。

#### 1.2 自变量的选择

海温资料来自国家气候中心,海温可作为长期天气预报因子。从长期天气预报的观点看,海温对一般天气条件的影响存在一定的滞后效应<sup>[3]</sup>。因此,选择西太平洋10°S~50°N、120°E~80°W海区5°×5°格点(共286个)的海平面温度(SST)资料作为自变量,分析其与水稻白背飞虱虫情指标之间的关系。白背飞虱迁入

期、迁入量一般在6月中、下旬,考虑资料的来源和预报时效,选取上1年1月到当年6月的海温资料进行分析。

1981~2000年的资料作为历史样本用于相关分析和建模,2001年和2002年的资料作为独立样本用于模式效果检验。

### 2 SST与白背飞虱迁入及发生程度的关系分析

为了寻找白背飞虱迁入及发生程度前期强信号区,揭示赤道太平洋海温不同时段海温对白背飞虱迁入及发生程度的滞后影响,作者对当年白背飞虱发生情况指标(始见期、迁入量和第五(2)代虫量)与上1年1月到当年6月共16个月海温进行相关分析。

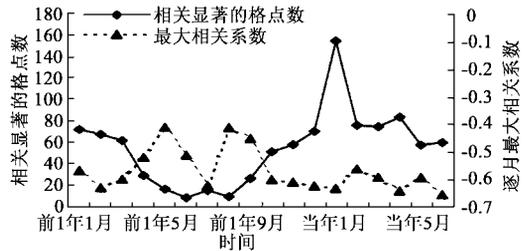


图1 始见期与不同时段海温的相关情况

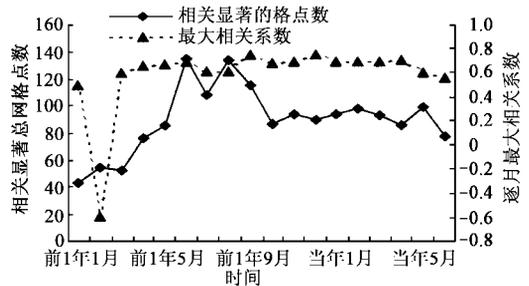


图2 迁入量与不同时段海温的相关情况

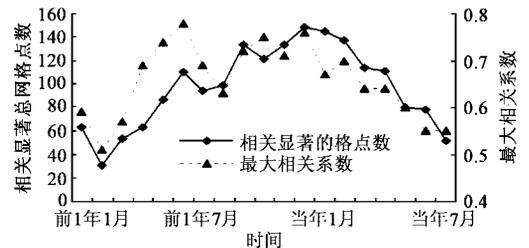


图3 第五(2)代虫量与不同时段海温的相关情况

图1,2,3为白背飞虱的始见期、迁入虫量及第五(2)代虫量与不同时段海温的相关情况,

可以发现,始见期、迁入量及第五(2)代虫量与不同时段的海温均有显著的相关关系,尤其迁入虫量与前1年10月~当年3月海温的相关最为显著,显著相关的格点最多,286个格点中有80~135个格点通过0.05的显著性检验,最显著相关系数为0.78,达到了0.001的显著水平,基本与文献<sup>[3]</sup>中江苏入梅期、梅雨强度和海温的相关关系相符。因此,说明可以用相关区的海温作为预报因子。

### 3 创建海温长期预报模型

#### 3.1 预测因子的筛选

利用以上计算结果,为了避免相关的偶然性,根据场相关分析原理,剔除单个或连续2、3个高相关的因子,以存在连续4个以上相关显著格点的海区作为一个相关显著区,取区内格点海温的平均值作为一个预测因子。

经过筛选,选择了一批与白背飞虱始见期、迁入虫量及第五(2)代虫量高相关的海区温度因子,通过0.05显著水平( $R \geq 0.40$ )的海区个数分别为43、36、54个,这些因子中,单相关系数最大达到0.69~0.74,达到0.001信度的极显著相关水平(见表1)。

表1 与虫情指标显著相关的海温区个数分布(最优化处理前)

相关系数 $R \geq$	即见期虫量 (头)	迁入虫量 (头)	第五(2)代虫量 (头)
0.40	43	36	54
0.50	21	15	31
0.60	3	6	16
0.70	1	3	0
最大值	0.73	0.74	0.69

#### 3.2 因子的最优化处理

如何选择到相关显著、稳定且独立的预报因子是回归预报的关键和基础。自变量与因变量之间存在着不同形式(线性、非线性)的相关关系,如果单用相关区格点海温的平均值作为自变量,那么所建立的预测模型拟合和预报效果不一定达到最佳。因此,作者将相关区内格点海温的平均值进行最优化处理。

将因子  $X$  的线性和非线性(含单调和非单调的单峰(谷)型)化处理可归纳为一种通用变换形式:

$$Q = (|X - b| / B + 0.5)^a,$$

式中,  $a, b$  为待定参数,且  $X_{\min} \leq b \leq X_{\max}$ ,  $B = \max(X_{\max} - b, b - X_{\min})$ 。经上式变换后,  $Q$  与  $Y$  ( $Y$  为因变量) 必为单调关系,且  $(|X - b| / B + 0.5)$  的值在区间  $[0.5, 1.5]$  内变化。 $b$  的取值以  $X_{\min} + (X_{\max} - X_{\min}) \leq b/4 \leq X_{\max} - (X_{\max} - X_{\min})/4$  为宜。至于  $a$  值,一般在  $(-10, -1/10)$  和  $(1/10, 10)$  2 个区间内取值,效果较好。待定参量  $a, b$  可用最优化技术求出。令目标函数为

$$f(a, b) = 1 - R^2 = \min,$$

$R$  为  $a, b$  取一定值时,  $Q$  与  $Y$  的相关系数。应用二维寻优的变量转换思路将其分解为一元问题逐步处理<sup>[4]</sup>。

经过上述方法处理后获得的因子,是一批与因变量相关最显著的因子。

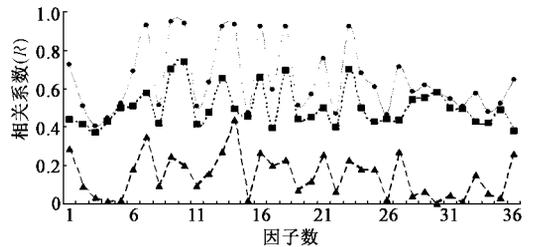


图4 最优化处理与线性处理后因子相关系数比较情况(迁入虫量)

■-最优化处理    - - - 线性处理    - ▲ - 差值

表2 与虫情指标显著相关的海温区个数分布(最优化处理后)

相关系数 $R \geq$	始见期 (头)	迁入虫量 (头)	第五(2)代虫量 (头)
0.40	43	36	54
0.50	31	30	43
0.60	18	18	34
0.70	5	11	18
0.80	0	8	6
最大值	0.74	0.95	0.93

图4为经过最优化处理和线性处理的海温因子与白背飞虱迁入虫量的相关系数比较情况图。从图4以及比较表1和表2,可以明显看

出,最优化处理的相关系数明显大于线性处理的相关系数,差值大于0.2以上有13个,差值最大达到0.44,相关系数最大值亦明显增加,尤其迁入虫量、第五(2)代虫量的最大相关系数增加更大,其值已达0.95或0.93,故从而大大增加了因变量和自变量之间的相关度,说明了海温相关区因子与白背飞虱第五(2)代虫量之间非线性、非单调的曲线关系。白背飞虱始见期和第五(2)代虫量与海温因子亦存在同样的相关关系(图略)。说明白背飞虱的虫情指标与海温因子之间不仅有线性及单调曲线的关系,而且还存在非线性(含单调的和非单调的单峰(谷)型)的曲线关系。

### 3.3 稳定性检验 独立性检验

通过最优化处理可以找到相关显著因子,但不能保证选择到的因子与因变量之间相关的平稳性。因此,还应对所选因子用滑动相关检验法进行稳定性检验<sup>[5]</sup>,以淘汰掉一些相关程度前后差或波动变化较大的因子,保证所选因子与白背飞虱的始见期、迁入虫量和第五(2)代虫量之间具有稳定、显著的相关关系。

统计回归模型的拟合,首先要估计其系数,但在任何情况下系数都可估计,对于线性回归方程的最小二乘法拟合来说,如果自变量数据矩阵  $X_{n \times p}$  有以下关系:

$$|X| = 0,$$

即自变量相关阵的行列式等于0,则系数就无法估计,这表明  $X$  中有多元共线性存在,即自变量之间不独立。为了解决这一问题,本文选用主成分识别法进行因子的独立性检验<sup>[5]</sup>,剔除共线性因子。

经过稳定性检验和独立性检验后,获得稳定、相互独立及相关显著的相关区海温因子,即可进行建模。本文利用以上方法,在白背飞虱的始见期、迁入虫量和第五(2)代虫量的相关因子中分别剔除了29、19、38个共线性因子,保留下14、17、16个因子,可以认为这些因子是分别与始见期、迁入虫量和第五(2)代虫量相关显著、稳定且相对独立的因子。

### 3.4 创建预测模型

3.4.1 建立预测模式 由于已考虑了因子相关的最优化、显著性、稳定性和独立性。因此,由自变量组合的联立方程可以达到非奇异。利用逐步回归方法,从各虫情指标(始见期、迁入虫量和第五(2)代虫量)保留下的14、17、16个因子中,筛选出贡献最大的因子,建立稳定可靠的预报模式。

#### (1) 始见期预报模式

$$Y = -0.567 X'_1 + 16.902 X'_2 + 0.545 X'_3 - 0.163 X'_4 + 4.439 X'_5 + 1.757 X'_6 + 140.749,$$

$$F = 34.954, \quad R = 0.966.$$

其中  $X'_1 = (\square X_1 - 254.0 \square / 30.2 + 0.5)^{-4.43}$ ,  $X_1$  为上1年4月15~35°N, 145°~170°E中12个网格点海区的温度平均值;

$X'_2 = (\square X_2 - 76.4 \square / 13.7 + 0.5)^{-0.58}$ ,  $X_2$  为上1年5月40~45°N, 145°~175°W中7个网格点海区的温度平均值;

$X'_3 = (\square X_3 - 284.4 \square / 15.0 + 0.5)^{-10.0}$ ,  $X_3$  为上1年10月10~15°N, 125°~140°E中5个网格点海区的温度平均值;

$X'_4 = (\square X_4 - 227.8 \square / 29.2 + 0.5)^{10}$ ,  $X_4$  为当年1月10~20°N, 135°~150°W中5个网格点海区的温度平均值;

$X'_5 = (\square X_5 - 206.8 \square / 18.7 + 0.5)^{2.24}$ ,  $X_5$  为当年4月20~50°N, 120°E~180°中37个网格点海区的温度平均值;

$X'_6 = (\square X_6 - 249.3 \square / 15.9 + 0.5)^{4.34}$ ,  $X_6$  为当年5月15~20°N, 155°~175°W中7个网格点海区的温度平均值;

#### (2) 迁入虫量预报模式

$$Y = 23.902 X'_1 + 75.079 X'_2 + 40.742 X'_3 + 30.302 X'_4 + 3.503 X'_5 + 1.902 X'_6 + 52.451 X'_7 + 80.924$$

$$F = 55.333, \quad R = 0.982.$$

其中  $X'_1 = (\square X_1 - 244.4 \square / 18.4 + 0.5)^{8.48}$ ,  $X_1$  为上1年2月15°N~20°N, 100°W~115°W中5个网格点海区的温度平均值;

其中  $X'_2 = (\square X_2 - 265.8 \square / 11.2 + 0.5)^{4.77}$ ,  $X_2$  为上1年5月15°N, 105°W~120°W

中 4 个网格点海区的温度平均值；

$$X'_3 = (\square X_3 - 135.2 \square / 15.3 + 0.5)^{7.49},$$

$X_3$  为上 1 年 9 月 45°N ~ 50°N, 130°W ~ 155°W 中 7 个网格点海区的温度平均值；

$$X'_4 = (\square X_4 - 48.94 \square / 18.6 + 0.5)^{-10.0},$$

$X_4$  为当年 2 月 45°N ~ 50°N, 155°E ~ 170°W 中 9 个网格点海区的温度平均值；

$$X'_5 = (\square X_5 - 215.9 \square / 22.54 + 0.5)^{-10.0},$$

$X_5$  为当年 4 月 25°N ~ 35°N, 125°E ~ 170°E 中 15 个网格点海区的温度平均值；

$$X'_6 = (\square X_6 - 286.6 \square / 19.9 + 0.5)^{-10.0},$$

$X_6$  为当年 5 月 10°S ~ 10°N, 80°W ~ 155°W 中 58 个网格点海区的温度平均值；

$$X'_7 = (\square X_7 - 121.2 \square / 15.3 + 0.2)^{6.52},$$

$X_7$  为当年 6 月 40°N ~ 45°N, 140°W ~ 155°W 中 6 个网格点海区的温度平均值；

(3) 第五(2) 虫量预报模式：

$$Y = 15.371 X'_1 + 15.361 X'_2 + 271.307 X'_3 + 1.902 X'_4 + 124.577 X'_5 + 44.558 X'_6 - 123.094,$$

$$F = 85.622, \quad R = 0.986,$$

其中  $X'_1 = (\square X_1 - 274.4 \square / 11.2 + 0.5)^{8.94}$ ,  $X_1$  为上 1 年 3 月 0° ~ 10°N, 170°W ~ 170°E 中 8 个网格点海区的温度平均值；

$$X'_2 = (\square X_2 - 179.0 \square / 33.0 + 0.5)^{-6.30},$$

$X_2$  为上 1 年 5 月 25° ~ 35°N, 160°W ~ 175°E 中 5 个网格点海区的温度平均值；

$$X'_3 = (\square X_3 - 59.1 \square / 24.0 + 0.5)^{4.59},$$

$X_3$  为上 1 年 11 月 45° ~ 50°N, 150°E ~ 170°W 中 10 个网格点海区的温度平均值；

$$X'_4 = (\square X_4 - 210.0 \square / 22.6 + 0.5)^{-10.0},$$

$X_4$  为当年 4 月 25° ~ 35°N, 130°E ~ 175°W 中 17 个网格点海区的温度平均值；

$$X'_5 = (\square X_5 - 129.0 \square / 17.4 + 0.5)^{6.78},$$

$X_5$  为当年 6 月 35° ~ 45°N, 140°W ~ 170°W 中 13 个网格点海区的温度平均值；

$$X'_6 = (\square X_6 - 280.0 + 16.5)^{-4.76},$$

$X_6$  为上当年 4 月 10° ~ 15°N, 135°W ~ 145°W 中 4 个网格点海区的温度平均值。

### 3.4.2 预报模型拟合结果与 2 年试报情况

利用上述预报模型进行回代检验,做出白背飞虱始见期、迁入虫量和第五(2)代虫量的拟合结果,图 5,6,7 及表 3 是始见期、迁入虫量及第五(2)代虫量预报模型的拟合情况。可以看出模式的历史拟合效果较好,所有模型都通过了  $\alpha = 0.01$  的显著性检验。始见期预测值最大误差为 5 d,其它误差仅 0 ~ 2 d;迁入虫量、第五(2)代虫量的预测值,从发生级别而言,20 年中仅有 1 年差 2 级,5 年差 1 级,其它均无误差。因此预报值与实际值趋势一致,效果理想。

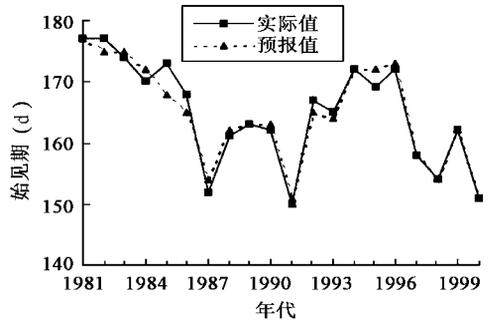


图 5 始见期海温预报模型拟合情况

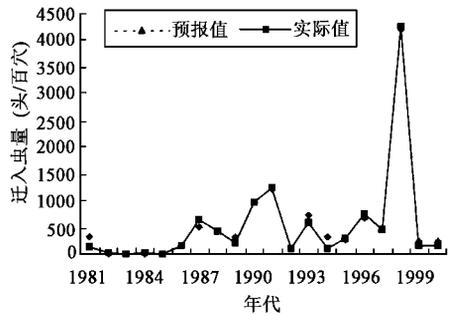


图 6 迁入虫量海温预报模型拟合情况

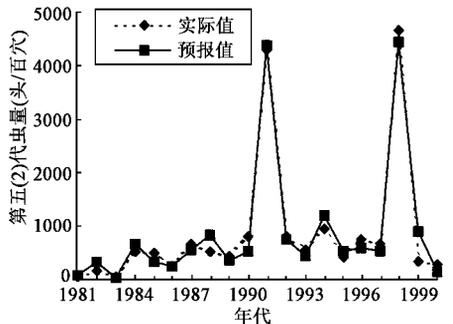


图 7 第五(2)代虫量海温预报模型拟合结果

作者利用 2001, 2002 年资料作为独立样本进行试报检验,预报 2001, 2002 年始见期、迁入

虫量和第五(2)代虫量列表如下:

从表4可以看出,2002年始见期的预报值与实际值仅相差1d,其它预报情况与实况完全相符。

综上所述,用海温作为白背飞虱始见期、迁入虫量和第五(2)代虫量的预报因子是可行的。

#### 4 结论

4.1 根据以上分析可知,白背飞虱的始见期、

迁入虫量及第五(2)代虫量与西太平洋海面温度存在着显著的相关关系,其最显著相关时段是上1年10月至当年3月,同时,此时段也是与江苏省入梅期、梅雨强度与海温场存在显著相关关系的时段,二者吻合<sup>[3]</sup>。

4.2 经过最优化相关技术处理后,因子的相关系数明显大于线性处理的相关系数,大大增加了因变量和自变量之间的相关度,说明自变量与因变量之间的相关关系为非线性关系。

表3 白背飞虱发生程度拟合检验表

年份	始见期			迁入虫口密度级别			第五(2)代发生级别		
	实际(月-日)	预测(月-日)	误差(d)	实际	预测	误差	实际	预测	误差
1981	6-26	6-26	0	4	4	0	1	1	0
1982	6-26	6-24	2	3	1	2	1	1	0
1983	6-23	6-24	1	1	1	0	1	1	0
1984	6-18	6-19	1	2	1	1	2	2	0
1985	6-22	6-18	5	1	1	0	1	1	0
1986	6-15	6-13	2	4	4	0	1	1	0
1987	6-1	6-3	2	4	4	0	2	2	0
1988	6-9	6-10	1	4	4	0	2	2	0
1989	6-12	6-12	0	4	4	0	1	1	0
1990	6-11	6-12	1	4	4	0	2	2	0
1991	5-30	5-31	1	4	4	0	5	5	0
1992	6-15	6-13	2	4	4	0	2	2	0
1993	6-14	6-13	1	4	4	0	2	1	1
1994	6-21	6-21	0	4	4	0	2	3	1
1995	6-19	6-21	2	4	4	0	1	2	1
1996	6-20	6-21	1	4	4	0	2	2	0
1997	6-7	6-7	0	4	4	0	2	2	0
1998	6-3	6-3	0	4	4	0	5	5	0
1999	6-11	6-11	0	4	4	0	1	2	1
2000	5-30	5-30	0	4	4	0	1	1	0

注:迁入虫口密度分级标准,百穴迁入虫量(头) ≤10 为1级;11~20 为2级;21~50 为3级;>50 为4级。主害代分级标准,百穴虫量(头) <500 为1级;≥500 为2级;>1000 为3级;>2000 为4级;>3000 为5级。

表4 白背飞虱虫情指标2年试报情况

项目	2001年			2002年		
	预报值	实际值	误差(d)	预报值	实际值	误差(d)
始见期	6月11日	6月11日	0	6月20	6月21日	1
迁入虫量级别	4	4	0	4	4	0
第五(2)代发生级别	1	1	0	1	1	0

4.3 所建立预报模型的拟合情况及2年的试报结果,说明用海温作为白背飞虱发生指标的长期预报因子是可行的,预报模型可以投入业务使用。

#### 参 考 文 献

1 邹寿发,黄建民.植保技术与推广,1997,17(1):9~11.  
2 唐启义,胡国文,唐健,胡阳,程家安.西南农业大学学报,

1998,20(5):456~459.  
3 章基嘉,葛玲.中长期天气预报基础.北京:气象出版社,1983.254~282.  
4 汤志成,孙涵.气象学报,1992,5(4):514~517.  
5 朱盛明,曲学实.数值预报产品统计解释技术的进展.北京:气象出版社,1988.112~116.  
6 张启锐.实用回归分析.北京:地质出版社,1988.196~203.