

江胜国,杨大明,程林,等. 卡尔曼滤波方法在稻飞虱发生等级预测中的应用研究[J]. 气象,2010,36(10):106-109.

卡尔曼滤波方法在稻飞虱发生等级预测中的应用研究^{* 1}

江胜国¹ 杨大明² 程 林¹ 张友明¹ 姚 筠²

1 安徽省桐城市气象局, 桐城 231400

2 安徽省气象科学研究所, 合肥 230031

提 要: 利用桐城市 2005—2007 年逐候田间系统调查的稻飞虱百丛虫量数据, 分析影响桐城市稻飞虱发生程度的主要的气象因子。分析发现, 旬平均气温、候平均气温与系统调查的桐城市稻飞虱百丛虫量均呈显著的负相关, 显示高温对稻飞虱发生具有抑制作用, 最适宜的候平均气温为 20.5 ℃。应用卡尔曼滤波方法建立稻飞虱发生适宜气象条件等级预测模型, 目的在于开展稻飞虱发生的气象条件预警预测, 为防虫治虫提供依据。经历史拟合和 2008 年试报应用, 此模型的预测精度较高, 可靠性和稳定性都较好, 可投入业务应用。

关键词: 卡尔曼滤波, 稻飞虱, 虫源基数, 发生等级

Application of the Kalman Filtering Method to Riceplanthopper Occurrence Grade Prediction

JIANG Shengguo¹ YANG Taiming² CHENG Lin¹ ZHANG Youming¹ YAO Yun²

1 Tongcheng Meteorological Office of Anhui Province, Tongcheng 231410

2 Anhui Meteorological Research Institute, Hefei 230031

Abstract: Based on the pentad-by-pentad data of systematic investigation of riceplanthopper population per 100 crowds from 2005 to 2007 at Tongcheng, the main meteorological factors affecting the occurrence grade of riceplanthopper have been analyzed. The results show that: there are significant negative correlations between dekad average temperature, pentad average temperature and the data of riceplanthopper population per 100 crowds, high temperatures have inhibition effects on riceplanthopper population, and the optimum pentad average temperatures for occurrence of riceplanthoppers are 20.5 ℃. The model of forecasting riceplanthopper occurrence by use of Kalman filter has been established, which can forecast the meteorological conditions of riceplanthopper occurrence and provide a basis for pest control. The historical data fitting and test application in 2008 show that the accuracy, reliability and stability of the model are good, therefore it can be applied to agrometeorological operations.

Key words: Kalman filter, riceplanthopper, overwinter population size, occurrence grade

引 言

稻飞虱是水稻的害虫,自 20 世纪 70 年代以来,我国稻飞虱危害面积不断扩大,成为目前影响我国水稻稳产、高产的主要害虫之一^[1],植保部门已将其

作为重点预测和防治对象。危害安徽省的稻飞虱主要有褐飞虱、白背飞虱和灰飞虱。桐城市位于安徽省中南部,属北亚热带湿润季风气候区,常有稻飞虱发生危害,其中以褐飞虱危害最为严重。研究桐城局地气象条件与稻飞虱的发生、发展关系,建立稻飞虱发生的气象条件等级预测模型,可以根据实时气

* 安徽省气象局技术开发专项课题“安徽省主要农作物病虫害发生气象等级预报”项目资助

2009 年 6 月 19 日收稿; 2010 年 5 月 18 日收修定稿

第一作者:江胜国,从事农业气象服务方面的研究. Email:chasco@163.com

象资料开展稻飞虱发生的气象条件预警预测,为地方政府和相关部门及时制订实施防虫治虫策略提供科学依据。

有关基于气象条件的病虫害预测预报方法过去有过很多的研究,建立预测模型的方法主要有数理统计法^[2-3]、模糊数学分析法^[4]、专家系统^[5-7]等,而应用卡尔曼滤波研究病虫害预测模型还未见报道。卡尔曼滤波方法是将前一时刻的预报误差反馈到原来的预报方程,并及时修正预报方程系数,以此提高下一时刻的预报精度^[8-11]。它的最大优点是不需要太多的历史资料,所建的方程,其预报因子与预报量之间的关系是随时间的变化而改变的,避免了一般统计方法所建立的预测方程随时间推移、气候变化而致预报误差增大、甚至不可用的缺点。作为一个尝试,本文应用卡尔曼滤波方法来建立稻飞虱发生适宜气象条件等级预测模型。

1 资料与方法

1.1 资料来源

本文选取桐城市植保站 2005—2007 年逐候田间系统调查的稻飞虱百丛虫量,并按《安徽省农作物主要病虫害发生危害程度指标及计算方法》以百丛虫量为指标进行等级划分^[12],具体划分方法见表 1。

表 1 稻飞虱发生程度分级指标(头/百丛)

Table 1 Classification indicators of occurrence degree of riceplanthopper (numbers/100 crowds)

发育期	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
分蘖期	≤1000	1000~1500	1501~2000	2001~3000	>3000
孕穗期	≤500	501~1000	1001~2000	2001~3000	>3000

由于桐城在 5 月份稻飞虱发生量少,主迁入期最早出现于 6 月下旬^[3],对 5 月份的少量样本资料舍弃不用。因此本文实际选取的资料为 2005—2007 年的 6—10 月百丛虫量数据,共有 75 个样本。其中 2005 年资料用于建立预报方程,2006 年资料用于建立量测方程,2007 年资料用于检验。

同期的气象资料取自桐城市基准气候站,由自动气象站采集的数据整理而得。

1.2 卡尔曼滤波递推系统

递推滤波可用于解决如何利用前一时刻预报误差来及时修正预报方程系数这一问题。滤波对象假

定是离散时间线性动态系统,并认为天气预报对象是具有这种特征的动态系统,可用以下两组方程来描述:

$$Y_t = X_t \beta_t + e_t \quad (1)$$

$$\beta_t = \beta_{t-1} + \epsilon_{t-1} \quad (2)$$

式(1)为预报方程, e_t 为量测噪声, Y_t 为 n 维量测变量(预报量), X_t 为 $n \times m$ 维的预报因子矩阵, β_t 为 m 维回归系数。在递推滤波方法中,将 β_t 作为状态向量,它是变化的,用状态方程(2)来描述其变化。(2)式中 ϵ_{t-1} 是动态噪声。

理论上讲,量测噪声 e_t 与动态噪声 ϵ_{t-1} 是互不相关的,两者的均值为 0,方差分别为 W 、 V 的白噪声,运用广义最小二乘法,可以得到下面一组递推滤波公式:

$$\hat{Y}_t = X_t \beta_{t-1} \quad (3)$$

$$R_t = C_{t-1} + W \quad (4)$$

$$\sigma_t = X_t R_t X_t^T + V \quad (5)$$

$$A_t = R_t X_t^T \sigma_t^{-1} \quad (6)$$

$$\beta_t = \beta_{t-1} + A_t (\hat{Y}_t - Y_t) \quad (7)$$

$$C_t = R_t - A_t \sigma_t A_t^T \quad (8)$$

上述 6 个公式组成的递推滤波系统体现了卡尔曼滤波的基本思想。其中:

式(3)是预报方程, \hat{Y}_t 为预报值, β_{t-1} 为回归系数(递推系数);

式(4)中的 R_t 为误差方差阵, C_{t-1} 为 β_{t-1} 的误差方差阵, W 是动态噪声的方差阵;

式(5)中 σ_t 为预报误差方差阵, X_t^T 为 X_t 的转置矩阵, V 是量测噪声的方差阵;

式(6)中的 A_t 为增益矩阵, σ_t^{-1} 为 σ_t 的逆矩阵;

式(7)为系数 β_t 的订正方程, Y_t 是对应于预报的实际观测值;

式(8)中的 C_t 是 β_t 误差方差阵。

2 预测模型

2.1 选择预测因子

稻飞虱具有远距离迁飞习性,其迁入与温度、风、降水有关,迁入后生育与发生危害则与温、湿度条件有关。一般认为,“盛夏不热,晚秋不冷,夏秋多雨”的气候有利于稻飞虱的发生,稻飞虱生长发育的适宜温度在 20~30 ℃,相对湿度 80% 以上^[13]。方向群等^[12]的研究结果表明,稻飞虱发生严重的年份

7、8 月份气温比常年低 1~2 ℃, 9 月份较常年高 1 ℃, 降水量比常年多 10%~20%; 轻发年 7、8 月份气温比常年高 1~2 ℃, 9 月气温与常年相当, 降水量比常年少 10%~20%。

通过分析发现, 影响桐城市稻飞虱发生的最主要的气象因子是气温, 系统调查的百丛虫量与旬平均气温、候平均气温均呈显著的负相关, 表明高温对桐城市稻飞虱发生具有抑制作用。而降水量、降水日数和相对湿度等气象因子则与稻飞虱发生量单相关不显著, 因此认为湿度条件是通过某种综合作用机制来影响稻飞虱发生的。

通过相关普查, 发现候温度 $|T - 20.5|$ 与稻飞虱发生程度等级的相关系数最大, 为 -0.602 , 达到了 0.001 的显著性相关水平。因此认为 20.5 ℃ 是桐城市稻飞虱发生发展最适宜的候平均温度指标。事实上, 桐城稻飞虱发生危害最严重的时段是在 9 月份, 此时平均气温已开始下降。

为探明影响稻飞虱发生的湿度因子, 用 $|$ 旬相对湿度 $U - 80|$ 、旬降水日数和候降水量等 3 个单相关系数较大的因子进行组合, 发现旬降水日数和候降水量的乘积与 $|$ 旬相对湿度 $U - 80|$ 的比值与稻飞虱发生程度等级的相关系数达到了 0.001 的显著性相关水平, 可称之为综合湿度因子。其生物学意义是: 降水量与降水日数的多少反映了湿度的大小, 研究发现湿度大稻飞虱发生就重, 相对湿度 80% 是稻飞虱发生最适宜湿度条件, 与 80% 的差值越大, 稻飞虱发生越轻。

由于前期的虫源基数对后期稻飞虱发生有直接的影响, 且经相关分析, 上一候稻飞虱发生等级与下一候发生等级之间的相关系数为 0.727 , 达到 0.001 的显著性相关水平, 因此将前一候稻飞虱发生等级作为第三个预测因子。

2.2 预测模型

利用上述的 3 个因子, 采用多元线性回归方法建立的桐城稻飞虱发生等级的气象预测方程为:

$$\hat{Y}_t = 1.4034 - 0.1726X_1 + 0.0517X_2 + 0.6481X_3 \quad (9)$$

式中: X_1 为前一候的候平均气温与 20.5 的差的绝对值; X_2 为前一候的综合湿度因子; X_3 为前一候稻飞虱发生等级。

另一个量测方程为:

$$\hat{Y}_t = 0.9742 - 0.0974X_1 +$$

$$0.1555X_2 + 0.5015X_3 \quad (10)$$

递推系统的初值确定如下:

$$W \approx \begin{bmatrix} \frac{(\Delta B)^2}{\Delta T} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{(\Delta B)^2}{\Delta T} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(\Delta B)^2}{\Delta T} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{(\Delta B)^2}{\Delta T} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 0.002559 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 7.86E-05 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.00015 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.000298 \end{bmatrix}$$

$$V = \frac{q}{L - m - 1} = 0.2163$$

$$C = (0)_{3 \times 3}$$

2.3 预测效果检验

实际使用时将式(9)的计算结果 \hat{Y}_t 进行四舍五入后取整, 即

$$D_f = \text{INT}(\hat{Y}_t + 0.5) \quad (11)$$

D_f 为稻飞虱发生的气象条件等级指数, 其值为 $1 \sim 5$, 分别对应桐城稻飞虱发生的气象条件适宜程度等级的 $1 \sim 5$ 级, 所指示的意义是: 1 级为该候气象条件不适宜稻飞虱发生; 2 级为该候气象条件较适宜稻飞虱发生; 3 级为该候气象条件适宜稻飞虱发生; 4 级为该候气象条件非常适宜稻飞虱发生; 5 级为该候气象条件有利于稻飞虱发生。

一般认为, 当预测值与实测值一致时为完全正确, 两者相差 1 个量级时为基本正确, 相差 2 个量级时为错误。以此来评价本预测模型, 其历史拟合率为 94% , 其中完全正确率为 70% , 基本正确率为 24% (表 2), 拟合结果与实际等级之间的相关系数为 0.804 。说明用这两个因子来进行桐城市稻飞虱发生的气象条件等级评定和预警的可靠性较好。

表 2 历史回代检验表

Table 2 Accuracy of hindcast test

年份	完全正确/%	基本正确/%	准确率/%
2005	68.0	24.0	92.0
2006	72.0	24.0	96.0
2007	62.5	33.3	95.8
2008	60.0	26.7	86.7

2.4 模型的应用

利用前文建立的稻飞虱发生的气象条件等级预

测模型,对桐城市 2007 年 6—10 月份和 2008 年 8—10 月份稻飞虱发生的气象条件等级进行试报,2007 年准确率为 95.8%,2008 年准确率为 86.7% (表 2),总体试报效果较好。

分析产生预测偏差原因,可能与稻飞虱迁入的大气环流、前期虫源基数、天敌条件和人工防治等因素有关。

3 结 语

(1) 卡尔曼滤波是一个递推系统,我们也是尝试着将它用于作病虫害发生等级气象条件预测,实践表明此方法是切实可行,而且简便,利于编程计算。

(2) 本文建立的稻飞虱发生适宜气象条件等级预测模型是以候为单位,针对前期出现的天气实况来预测下一候稻飞虱发生的适宜气象条件等级,这也是我们开展实时农业气象服务的一个尝试,其适用性强,而且历史拟合率较高,试报效果较好,可投入业务应用。

(3) 本文讨论的是稻飞虱迁入后的一定虫源条件下气象条件对其发生的适宜程度,但稻飞虱的发生与其迁入的大气环流、前期虫源基数、天敌条件和人工防治等因素有关,因而预测的气象条件等级与实况之间会存在一定的偏差。就目前桐城市稻飞虱发生的规律而言,4、5 月份稻飞虱发生危害的几率很小,进行稻飞虱发生程度等级预测的意义不大,因

此本文略去了对这段时间的预测研究,这就使得本预测模型在使用上受到时间限制。

参考文献

- [1] 侯婷婷,霍治国,李世奎,等.影响稻飞虱迁飞规律的气象环境成因[J].自然灾害学报,2003,12(3):142-148.
- [2] 陈惠,关瑞锋,杨凯,等.福建省稻飞虱气象条件适宜程度等级预报[J].中国农业气象,2008,29(4):496-498.
- [3] 杜筱玲,郭瑞鸽.江西中南部稻飞虱气象等级的监测预警[J].中国农业气象,2008,29(3):371-374.
- [4] 程极益,苏庆玲,张孝羲.多元模糊回归在害虫测报上的应用[J].昆虫知识,1994,31(2):65-68.
- [5] 周立阳,张孝羲.沿江淮稻区稻纵卷叶螟预测专家系统[J].南京农业大学学报,1996,19(3):44-50.
- [6] 葛道阔,金之庆,高亮之,等.水稻栽培模拟优化决策系统(RCSODS)中的水稻病虫害预测模型及其应用——以上海奉贤县为例.江苏农业学报,2003,19(2):70-74.
- [7] 周强,张润杰.基于 WebGIS 的稻飞虱灾害预警系统初步研究[J].中山大学学报(自然科学版),2004,43(1):67-69.
- [8] 黄嘉佑,谢庄.卡尔曼滤波在天气预报中的应用[J].气象,1993,19(4):3-7.
- [9] 陆如华,何于班.卡尔曼滤波方法在天气预报中的应用[J].气象,1994,20(9):41-43.
- [10] 梁卫芳,杨育强,林纾,等.顺序卡尔曼滤波标准法雷达定量估测降水检验[J].气象,2008,34(专刊):208-213.
- [11] 安徽省植保总站编.农作物病虫害预测预报办法与技术[M].合肥:内部资料,1994:267.
- [12] 方向群,琚为民,吴中福,等.桐城市褐飞虱发生规律及其影响因素[J].安徽农业科学,2004,32(2):277-279.
- [13] 芮庆宝.稻飞虱与气象[M].北京:气象出版社,1987:38-112.