

# 应用马尔可夫链理论对褐飞虱和白背飞虱发生程度的预测

闫香慧<sup>1</sup>, 赵志模<sup>1,\*</sup>, 刘 怀<sup>1,\*</sup>, 谢雪梅<sup>2</sup>, 肖晓华<sup>2</sup>, 程登发<sup>3</sup>

(1. 西南大学植物保护学院, 重庆 400715; 2. 重庆市秀山县植保植检站, 重庆秀山 409900;  
3. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

**摘要:**褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 和白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 是我国稻区的主要迁飞性害虫, 给水稻生产带来严重危害。以重庆市秀山县 1983 ~ 2007 年田间褐飞虱和白背飞虱发生程度的时间序列资料, 运用基于马尔可夫链理论的转移概率预测法, 构建了 1 ~ 5 阶转移概率矩阵, 根据每一阶概率矩阵单独进行回报的历史符合率计算各阶转移概率矩阵的权重, 以预报年前 5a 褐飞虱和白背飞虱的连续发生状态预测第 6 年的发生级别。回报 20a 的结果历史符合率均达到 90%, 对 2008 年的预测也符合当年田间实际发生情况。该方法构建的 5 阶转移概率矩阵及其权重对于秀山县及其邻近地区褐飞虱和白背飞虱发生程度的长期预报具有重要指导意义, 为害虫的长期可预测性提供了一种快速、有效的方法。

**关键词:**褐飞虱; 白背飞虱; 马尔可夫链; 转移概率

文章编号: 1000-0933(2009)11-5799-08 中图分类号: Q145 文献标识码: A

## Forecasting the occurrence degree of brown planthopper and whitebacked planthopper by applying Markov model

YAN Xiang-Hui<sup>1</sup>, ZHAO Zhi-Mo<sup>1,\*</sup>, LIU Huai<sup>1,\*</sup>, XIE Xue-Mei<sup>2</sup>, XIAO Xiao-Hua<sup>2</sup>, CHENG Deng-Fa<sup>3</sup>

1 College of Plant Protection, Southwest University, Chongqing 400715, China

2 Plant Protection Station of Xiushan County, Chongqing 409900, China

3 Institute of Plant Protection, CAAS, Beijing 100193, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(11): 5799 ~ 5806.

**Abstract:** Brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) and whitebacked planthopper *Sogatella furcifera* (Horváth) are two important long-distance migration insect pests that cause great losses to rice yield in China. In this paper, by using the transition probability method of Markov chain theory, the transition probability matrix of 1 to 5 steps was constructed based on the time series data of two planthoppers surveyed in rice paddy from 1983 to 2007 in Xiushan county, Chongqing, China. The weight of every step by the rewarding accuracy of each step in transition probability matrix was calculated and the occurrence degree of the sixth years was predicted based on the occurrence status of the previous 5 consecutive years. The result showed that history rewarding accuracy was 90% for the 20 years data from 1988 to 2007 and it accorded with the occurrence situation in 2008 for the both pests completely. The transition probability matrix and the weights constructed in this study have great guiding significance to forecast the occurrence grade of the two planthoppers for Xiushan and its neighboring areas. It offers a rapid and effective method for the long-term or the super-long term predictability of the pests.

**Key Words:** brown planthopper; whitebacked planthopper; Markov chain theory; transition probability

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAD08A01)

收稿日期: 2009-05-05; 修订日期: 2009-06-15

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaozm@swu.edu.cn, redliuhuai@yahoo.com.cn

褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål) 和白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horváth) 是两种远距离迁飞性水稻害虫。近年来,这两种害虫的危害面积日益扩大、危害加剧,暴发频次显著增加,对长江流域及南方的水稻生产构成严重威胁<sup>[1]</sup>。对二者的灾害程度的准确及超前预报,对于指导防治、减少虫害损失具有重要意义。

马尔可夫链预测法是根据转移概率由  $i$  时刻的状态预测  $i+n$  时刻的状态,因此又称转移概率预测法<sup>[2]</sup>。这种方法因其具有长期或超长期预测的特点,已在景观动态<sup>[3-8]</sup>、昆虫发生<sup>[9-11]</sup>、气候<sup>[12,13]</sup>、金融<sup>[14,15]</sup>、交通<sup>[16]</sup>及其它相关领域<sup>[17-19]</sup>的预测模拟研究中得到广泛应用。鉴于不同时间间隔对预测对象的影响有所不同,有的学者运用加权的马尔可夫链法预测未来事件发生的可能性,例如股票价格<sup>[20]</sup>、降水量或干旱状态<sup>[21,22]</sup>、动物发生数量<sup>[23]</sup>、河流径流量<sup>[24]</sup>、农作物年景预报<sup>[25]</sup>等众多与生产生活密切相关的领域都有加权马尔可夫链法预测的应用。

马尔可夫链预测方法适用于随机波动性较大的时间序列的预测<sup>[2]</sup>。褐飞虱和白背飞虱的田间发生程度与本地区气候条件、种植制度以及当年的迁入、迁出数量等诸多因子密切相关,因此这两种害虫在田间的发生程度有较大的随机波动性<sup>[26]</sup>。基于此,作者根据重庆市秀山县植保站 1983~2007 年褐飞虱及白背飞虱田间发生量的历史资料,建立了加权的马尔可夫链模型,除进行历史回报外,还用 2008 年的实际发生资料对该模型的预测效果进行了检验,现将结果报告如下。

## 1 数据来源及建模方法

### 1.1 数据来源及转换

研究中使用的褐飞虱和白背飞虱发生量资料取自重庆市秀山县植保站 1983~2007 年 25a 预测圃的田间调查资料,调查方法为盘拍法(即以“33cm×45cm”白搪瓷盘为载体),从每年的 5 月 30 日~8 月 30 日每隔 5d 调查 1 次,每次随机盘拍 20 丛水稻,记录每次调查的褐飞虱和白背飞虱的数量。根据当地稻飞虱的实际发生危害情况,结合全国稻飞虱发生级别的划分方法,设定褐飞虱年发生总量小于 0.5 万头为 1 级,0.5 万~1 万头为 2 级,1.0001 万~3 万头为 3 级,3.0001 万~5 万头为 4 级,大于 5 万头为 5 级;白背飞虱年发生量小于 1 万头为 1 级,1 万~4 万头为 2 级,4.0001 万~8 万头为 3 级,8.0001 万~12 万头为 4 级,大于 12 万头为 5 级<sup>[27]</sup>。两种害虫均以前 5a 的连续数据预测第 6 年的发生程度,数据运算和建模在 EXCEL 上完成。

### 1.2 建模方法及过程

#### 1.2.1 马尔可夫链预测原理与转移概率矩阵

世间的各种事物每时每刻都处于不同的状态,而后一时刻的状态往往是前一时刻的状态按一定概率转移过来的,这种事物状态之间构成的有序联系称为马尔可夫链。马尔可夫链的状态转移有两个基本特征,一是“无后效性”,指事物将来呈什么状态,只取决于该事物现在的状态,而与以前的状态无关;二是“遍历性”,即各状态从现在的转移概率开始,经过若干连锁的转移后,各状态的最终概率趋于一个稳定的值<sup>[2]</sup>。对害虫发生的时间序列,可将年度的发生程度区分为有限个等级(状态),序列中的每一个时间只能出现其中的一个状态  $E_i (i=1, 2, \dots, n)$ ,根据“无后效性”特征,系统由状态  $E_i(k)$  经过  $k$  步 ( $k=1, 2, \dots, m$  阶,即间隔 1, 2,  $\dots, m$  年)转移到状态  $E_j(k)$  的概率只与前  $k$  步的状态  $E_i(k)$  有关;根据“遍历性”特征,经过  $m$  步转移,其最终的概率将趋于稳定。本研究正是将褐飞虱和白背飞虱历年发生程度的时间序列视为马尔可夫链<sup>[9,11]</sup>,通过计算状态转移概率,预测未来年份的发生程度。

按 1.1 的规则将褐飞虱和白背飞虱历年发生数量的历史数据转化为发生级别(状态),经过  $k$  年(本研究取  $k=1, 2, \dots, 5$  阶)从状态  $E_i$  转移到状态  $E_j$  (本研究将状态区分为 1, 2,  $\dots, 5$  级)的转移概率用  $P_{ij}(k)$  表示,  $P_{ij}(k) = N_{ij}(k)/B_i$ , 式中,  $N_{ij}(k)$  为  $k$  阶稻飞虱发生程度从状态  $E_i$  转移到  $E_j$  的次数,  $B_i$  为稻飞虱发生程度为状态  $E_i$  的总次数<sup>[11]</sup>。以  $P_{ij}(k)$  为元素构成的矩阵  $P(k)$  称为  $k$  阶转移概率矩阵。显然,该矩阵各行之和等于 1:

$$P(k) = \begin{pmatrix} P_{11}(k) & P_{12}(k) & \cdots & P_{15}(k) \\ P_{21}(k) & P_{22}(k) & \cdots & P_{25}(k) \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ P_{51}(k) & P_{52}(k) & \cdots & P_{55}(k) \end{pmatrix}$$

### 1.2.2 各阶的权重值

鉴于不同时间间隔(即阶别)对预报年的影响可能有所不同,本研究用各阶单独回报的历史符合率  $q_k$  计算各阶转移概率矩阵的权重,即:

$$W_k = q_k / \sum_{k=1}^m q_k$$

### 1.2.3 回报与预测

根据回报年或预报年的前  $1, 2, \dots, m$  年的状态变量  $i$ , 分别取转移概率矩阵  $P(1), P(2), \dots, P(m)$  中第  $i$  行元素乘各阶加权值, 建立一个  $m \times j$  维的概率预测矩阵, 该矩阵各列之和即为可能发生状态  $j$  的概率, 以概率最大或与之最接近的状态作为回报或预测结果<sup>[25]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 褐飞虱和白背飞虱发生级别的转移概率矩阵及各阶矩阵的权重

1983~2007 年褐飞虱和白背飞虱逐年发生级别分别见表 1 和表 2。本研究取  $1, 2, \dots, 5$  阶, 分别计算两种害虫各阶的转移概率矩阵  $P_H(k)$  和  $P_B(K)$  如下:

$$\begin{aligned}
 P_H(1) &= \begin{pmatrix} 0.33 & 0.33 & 0.17 & 0.00 & 0.17 \\ 0.60 & 0.00 & 0.40 & 0.00 & 0.00 \\ 0.17 & 0.50 & 0.17 & 0.00 & 0.17 \\ 0.00 & 0.00 & 0.50 & 0.00 & 0.50 \\ 0.00 & 0.00 & 0.40 & 0.20 & 0.40 \end{pmatrix} & P_B(1) &= \begin{pmatrix} 0.00 & 0.50 & 0.00 & 0.50 & 0.00 \\ 0.08 & 0.42 & 0.42 & 0.00 & 0.08 \\ 0.14 & 0.57 & 0.28 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.10 \\ 0.00 & 0.50 & 0.50 & 0.00 & 0.00 \end{pmatrix} \\
 P_H(2) &= \begin{pmatrix} 0.33 & 0.17 & 0.33 & 0.00 & 0.17 \\ 0.50 & 0.00 & 0.25 & 0.00 & 0.25 \\ 0.33 & 0.33 & 0.17 & 0.00 & 0.17 \\ 0.00 & 0.50 & 0.00 & 0.00 & 0.50 \\ 0.00 & 0.20 & 0.40 & 0.20 & 0.20 \end{pmatrix} & P_B(2) &= \begin{pmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.50 & 0.00 & 0.50 \\ 0.09 & 0.36 & 0.45 & 0.09 & 0.00 \\ 0.14 & 0.57 & 0.29 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.50 & 0.00 & 0.00 & 0.50 \end{pmatrix} \\
 P_H(3) &= \begin{pmatrix} 0.20 & 0.20 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.25 & 0.25 & 0.00 & 0.00 & 0.50 \\ 0.33 & 0.00 & 0.33 & 0.17 & 0.17 \\ 0.50 & 0.00 & 0.50 & 0.00 & 0.00 \\ 0.20 & 0.40 & 0.00 & 0.00 & 0.40 \end{pmatrix} & P_B(3) &= \begin{pmatrix} 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.20 & 0.30 & 0.40 & 0.00 & 0.10 \\ 0.00 & 0.43 & 0.43 & 0.14 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\ 0.00 & 0.50 & 0.50 & 0.00 & 0.00 \end{pmatrix} \\
 P_H(4) &= \begin{pmatrix} 0.20 & 0.20 & 0.60 & 0.00 & 0.00 \\ 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.00 \\ 0.00 & 0.20 & 0.00 & 0.00 & 0.80 \\ 0.50 & 0.50 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.40 & 0.00 & 0.40 & 0.00 & 0.20 \end{pmatrix} & P_B(4) &= \begin{pmatrix} 0.50 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.50 \\ 0.10 & 0.40 & 0.40 & 0.10 & 0.00 \\ 0.00 & 0.50 & 0.33 & 0.00 & 0.17 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{pmatrix} \\
 P_H(5) &= \begin{pmatrix} 0.25 & 0.20 & 0.25 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.75 & 0.00 & 0.25 \\ 0.20 & 0.00 & 0.20 & 0.20 & 0.40 \\ 0.50 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.50 \\ 0.20 & 0.40 & 0.20 & 0.00 & 0.20 \end{pmatrix} & P_B(5) &= \begin{pmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.50 & 0.50 & 0.00 \\ 0.00 & 0.44 & 0.33 & 0.00 & 0.22 \\ 0.17 & 0.50 & 0.33 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.50 & 0.50 & 0.00 & 0.00 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

利用  $1 \sim 5$  阶单独转移概率矩阵对 1988~2007 年共 20a 的历史资料进行回报检验, 褐飞虱  $1 \sim 5$  阶的历史符合率依次为 0.458、0.391、0.455、0.524 和 0.500, 由此计算得到褐飞虱  $1 \sim 5$  阶转移概率矩阵的权重分别为 0.197、0.168、0.195、0.225 和 0.215; 白背飞虱  $1 \sim 5$  阶的历史符合率依次为 0.500、0.522、0.500、

0.524、0.500,由此得到白背飞虱 1~5 阶转移概率矩阵的权重分别为 0.196、0.205、0.196、0.206、0.196。

## 2.2 历史符合率

本研究利用连续 5 阶的转移概率矩阵计算历史符合率。例如回报 1988 年褐飞虱的发生情况,其前 5a 的发生级别依次为 1,1,2,3,4 级(表 1),取本文 2.1 给出的 1~5 阶转移概率矩阵  $P_H(k)$  相应行的元素,乘各阶的权重得如下预测矩阵:

$$\begin{pmatrix} 0.0650 & 0.0650 & 0.0335 & 0.0000 & 0.0335 \\ 0.0554 & 0.0286 & 0.0554 & 0.0000 & 0.0286 \\ 0.0488 & 0.0488 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0975 \\ 0.0000 & 0.0450 & 0.0000 & 0.0000 & 0.1800 \\ 0.1075 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.7075 \end{pmatrix}$$

预测矩阵各列之和 0.2767、0.1873、0.0889、0.0000、0.4471 依次为 1988 年发生 1~5 级的概率,其中发生 5 级的概率最大(0.4471),因此回报 1988 年发生级别为 5 级,该回报与秀山 1988 年褐飞虱实际发生程度相符。

用以上方法逐一回报 1988~2007 年共 20a 褐飞虱的发生级别(表 1)表明,除 1995 年实际发生 4 级,回报为 3 级;2005 年实际发生 1 级,回报为 2 级外,其余各年的回报级别都与实际发生级别相符。回报白背飞虱 20a 发生的级别(表 2)显示,除 1991 年实际发生 1 级,回报为 2 级;1992 年实际发生 4 级,回报为 3 级外,其余各年份都与实际发生级别相符。褐飞虱和白背飞虱回报的历史符合率均达 90%。

表 1 1988~2007 年秀山县田间褐飞虱发生级别的回报检验

Table 1 Test of the predictive accuracy of the model on *N. lugens* (BPH) occurrence (1988~2007)

年份 Years	各级概率 Probability of each grade					实际级别 Actual grades	回报级别 Rewarding grades	误差 Errors	检验 Tests
	1	2	3	4	5				
1983						4			
1984						3			
1985						2			
1986						1			
1987						1			
1988	0.28	0.19	0.09	0.00	0.45	5	5	0	√
1989	0.19	0.12	0.35	0.14	0.19	3	3	0	√
1990	0.12	0.22	0.51	0.03	0.12	3	3	0	√
1991	0.23	0.38	0.25	0.00	0.14	2	2	0	√
1992	0.38	0.16	0.32	0.03	0.11	3	1 或 3	0	√
1993	0.22	0.23	0.18	0.03	0.33	5	5	0	√
1994	0.15	0.15	0.15	0.08	0.47	5	5	0	√
1995	0.16	0.09	0.31	0.20	0.23	4	3	1	×
1996	0.04	0.16	0.33	0.03	0.44	5	5	0	√
1997	0.17	0.16	0.21	0.08	0.37	5	5	0	√
1998	0.23	0.12	0.38	0.07	0.20	3	3	0	√
1999	0.23	0.41	0.14	0.03	0.19	2	2	0	√
2000	0.41	0.13	0.20	0.00	0.26	1	1	0	√
2001	0.35	0.15	0.27	0.03	0.20	1	1	0	√
2002	0.21	0.27	0.13	0.00	0.38	2	5 或 2	0	√
2003	0.31	0.12	0.35	0.10	0.11	1	1 或 3	0	√
2004	0.23	0.15	0.49	0.00	0.13	3	3	0	√
2005	0.24	0.33	0.28	0.00	0.16	1	2	1	×
2006	0.27	0.32	0.29	0.06	0.06	2	2	0	√
2007	0.28	0.07	0.50	0.03	0.11	3	3	0	√

表 2 1988 ~ 2007 年白背飞虱发生级别的回报检验

Table 2 Test of the predictive accuracy of the model on *S. furcifera* (WBPH) occurrence (1988 ~ 2007)

年份 Years	各级概率 Probability of each grade					实际级别 Actual grades	回报级别 Rewarding grades	误差 Errors	检验 Tests
	1	2	3	4	5				
1983						2			
1984						2			
1985						2			
1986						3			
1987						1			
1988	0.09	0.44	0.28	0.12	0.06	2	2	0	√
1989	0.02	0.36	0.33	0.15	0.14	3	2 或 3	0	√
1990	0.05	0.58	0.28	0.02	0.08	2	2	0	√
1991	0.22	0.35	0.28	0.00	0.14	1	2	1	×
1992	0.04	0.34	0.36	0.27	0.00	4	3	1	×
1993	0.04	0.25	0.31	0.00	0.40	5	5	0	√
1994	0.05	0.68	0.25	0.02	0.00	2	2	0	√
1995	0.12	0.27	0.15	0.00	0.46	5	5	0	√
1996	0.02	0.27	0.59	0.12	0.00	3	3	0	√
1997	0.07	0.68	0.14	0.00	0.12	2	2	0	√
1998	0.07	0.48	0.42	0.02	0.02	2	2	0	√
1999	0.07	0.51	0.34	0.05	0.04	2	2	0	√
2000	0.07	0.41	0.42	0.02	0.07	3	3	0	√
2001	0.14	0.43	0.37	0.04	0.02	3	2 或 3	0	√
2002	0.12	0.46	0.34	0.02	0.06	3	2 或 3	0	√
2003	0.08	0.48	0.35	0.05	0.04	2	2	0	√
2004	0.04	0.47	0.36	0.03	0.10	3	2 或 3	0	√
2005	0.08	0.47	0.37	0.05	0.03	2	2	0	√
2006	0.12	0.46	0.35	0.00	0.07	2	2	0	√
2007	0.09	0.42	0.41	0.07	0.02	3	2 或 3	0	√

### 2.3 预测应用

用与回报检验相同的方法预测 2008 年两种飞虱的田间发生程度(表 3), 预测结果显示该年褐飞虱发生程度为 2 级, 田间实际发生程度为 2 级(发生量为 7400 余头); 预测白背飞虱发生程度为 2 级, 田间实际发生程度为 2 级(发生量为 25000 余头), 两种害虫的预测结果与实际发生情况相符。

表 3 2008 年褐飞虱和白背飞虱田间发生程度的预测结果

Table 3 Test of the predictive accuracy of the model on *N. lugens* (BPH) and *S. furcifera* (WBPH) occurrence in 2008

种类 Species	各级概率 Probability of each grade					实际级别 Actual grades	预测级别 Forecasting grades	误差 Errors	检验 Tests
	1	2	3	4	5				
褐飞虱 BPH	0.21	0.29	0.25	0.00	0.25	2	2	0	√
白背飞虱 WBPH	0.09	0.44	0.36	0.02	0.10	2	2	0	√

### 3 结论与讨论

水稻重要迁飞性害虫稻飞虱发生量长期预测的方法很多, 刘俊魁应用逐步回归模型预测早稻白背飞虱发生程度, 准确率达 88.8%<sup>[28]</sup>; 马飞等用人工神经网络与相空间重构预测褐飞虱发生量, 相对误差仅为 9.68%<sup>[29]</sup>; 高莘等根据大气环流特征模拟白背飞虱发生量, 预报效果良好<sup>[30]</sup>。虽然这些测报方法的预报准

确率也较高,但涉及的因素多而复杂,技术要求也比较高,基层测报工作者难以掌握和应用,同时有些因子很难通过直观观察或简单的计算获得,因此寻找一种简单方便、实用准确的预测方法很有必要。

基于马尔可夫链理论的转移概率预测法与其他许多害虫发生程度预测法相比,无需从繁杂的预报因子中寻求各个因子之间及各因子与预报量之间的相关规律,只需考虑统计对象(预报量)本身历史状态的演变特点,通过计算状态转移概率即可预测未来可能发生的状态<sup>[31]</sup>,是一种简捷高效而又较为准确的预测方法。但该方法的应用也受到一定条件的制约:首先,该方法需要积累多年的种群动态调查资料,而且中间的年份不能间断;其次,该方法对于随机的、平稳的时间序列有较强的预测能力,而对于未来突发性或灾变性事件的预测能力较弱,所以本研究是以转移概率最大并参考与之最接近的状态作为回报或预测结果;第三,害虫种群数量变动是多种因素综合作用的结果,凡影响种群出生、死亡和迁入、迁出的因素对种群数量的消长都有作用<sup>[32]</sup>,而基于马尔可夫链理论的转移概率预测法与其它的时间序列预测法一样,回避了环境因素等系统变量对害虫发生的影响,因而不能直接提供有关环境因子对害虫发生程度作用的相关信息。

本文以重庆市秀山县 1983~2007 年田间褐飞虱和白背飞虱发生程度的时间序列资料,运用基于马尔可夫链理论的转移概率预测法,构建了 1~5 阶转移概率矩阵,以预报年前 5a 的连续发生状态预测第 6 年褐飞虱和白背飞虱发生级别,其回报的历史符合率均达到了 90%,对 2008 年的预测也符合当年田间的实际发生情况,这也说明作者对两种害虫发生程度的分级方法是可行的。在回报时发现,即使回报结果与实际发生情况存在误差,误差均只有 1 级。该方法构建的 5 阶转移概率矩阵及其权重对于秀山县及其邻近地区褐飞虱和白背飞虱发生程度的长期预报具有重要指导意义。

在采用转移概率预测法时,建立多少阶的转移概率矩阵较为恰当,这一方面要根据历史资料的长短,另一方面更应根据害虫的发生规律,特别是周期性规律,因此,把时间序列周期分析与马尔可夫链方法结合起来,确定转移概率矩阵的阶数是恰当的。也可以用某阶概率矩阵单独进行测报,以历史符合率较高的一个或几个阶来确定合理的阶数。此外,在利用多个阶的转移概率矩阵进行测报时,根据各阶历史符合率的高低或其它统计指标,给各阶转移概率矩阵以适当的权重会使预测的效果更好,这是因为前  $k$  年的状态对预报年发生状态的作用大小并不是完全等价的,加以适当权重能更充分、更合理地利用信息。

## References:

- [ 1 ] Li R D, Ding J H, *et al.* Brown planthopper and its population management. Shanghai: Fudan University Press, 1996. 1—5.
- [ 2 ] Zhang X X, Zhang Y J. Prediction of crop pests. Beijing: Chinese Agricultural Press, 2006. 456—457.
- [ 3 ] Zang S Y, Huang X, Zheng S F. Landscape processing response analysis on landuse development trend of natural resources based city: a case study in Daqing City. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (7):1699—1706.
- [ 4 ] Yang H X, Pan Y D, Wu Y G. Markov chain model of succession of the mixed broadleaf Koreanpine forest at Changbaishan Biosphere Reserves in China. *Acta Ecologica Sinica*, 1988, 8 (3):211—219.
- [ 5 ] Han B P. The time chain analysis of matter and energy flow in econetworks. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15 (2):163—167.
- [ 6 ] Han W Q, Chang Y. The Markov model analysis of landscape dynamic: A case researches in Changbai Mountain Natural Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (9):1958—1964.
- [ 7 ] Chen J Z, Zhou S Y, Xu F Y. Application of Markov process in structural dynamic forecasting of forest resources with tree species structure in Nanping region of Fujian province as an example. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1994, 5 (3):232—236.
- [ 8 ] Jia B Q, Ci L J, Ren Y P. The analysis on the oasis landscape dynamics. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21 (11):1947—1951.
- [ 9 ] Xie C J. Forecast occurrence grade of *Maladera orientalis* by Markov chains. *Entomological Knowledge*, 1997, 34 (2):88—90.
- [ 10 ] Li R B, Liu J H, Luo Z F, *et al.* Occurrence forecast of *Pissodes puctatus* by Markov chain theory. *Journal of Southwest Forestry College*, 2005, 25 (2):50—52.
- [ 11 ] Jia C S. Forecast of occurrence level of *Dendrolimus punctatus* by Markov chains. *Journal of Northeast Forestry University*, 2006, 34 (5): 21—22.
- [ 12 ] Jan L, Anastassia B, Deliang C. Modelling precipitation in Sweden using multiple step markov chains and a composite model. *Journal of Hydrology*, 2008, 363: 42—59.

- [13] Li X, Wang X Y, Shao W, *et al.* Forecast of flood in Chaohu lake basin of China based on Grey-Markov theory. *Chinese Geographical Science*, 2007, 17 (1):64—68.
- [14] Liu J, Tian C X, Zhang X Y. Research of Markov chain application in land price warning model. *Journal of Nanjing Normal University(Natural Science)*, 2005, 28 (3):121—126.
- [15] Tai W Z. Using Markov chain model to forecast stock market's short term trend. *Journal of Southwest University for Nationalities (Natural Science)*, 2008, 34 (3):477—481.
- [16] Nataliya V Malyshkina, Fred L Mannering, Andrew P Tarko. Markov switching negative binomial models: An application to vehicle accident frequencies. *Accident Analysis and Prevention*, 2009, 41:217—226.
- [17] Julien C, Nikolaos L, Mohamed E. Piecewise deterministic Markov processes applied to fatigue crack growth modeling. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 2009, 139:1657—1667.
- [18] Péter E, András Z. Modelling extremes of time-dependent data by Markov-switching structures. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 2009, 139:1953—1967.
- [19] Sun X. Markov Modelling in Healthcare Economic Evaluations. *Chin J Evid-based Med*, 2007, 7 (10):750—756.
- [20] Sun Q, Zhao X F, Qian C H. Prediction and analysis of stock price based on multi-objective weighted Markov chain. *Journal of Nanjing University of Technology (Natural Science Edition)*, 2008, 30 (3): 89—92.
- [21] Tian H X, Guo C. Application of the Markov chain in the forecasting of precipitation in Taiyuan. *Journal of Taiyuan University of Science and Technology*, 2008, 29 (6): 444—446.
- [22] Wang Y J, Liu J M, Wang P X, *et al.* Prediction of drought occurrence based on the standardized precipitation index and the Markov chain model with weights. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2007, 25 (5):198—202.
- [23] Wu W H, Fu H P, Wu X D, *et al.* Forecasting the population dynamics of *Meriones unguiculatus* and *Cricetulus barabansis* by applying Markov model. *Chinese Journal of Zoology*, 2007, 42 (6): 69—78.
- [24] Gu H Y. Application of weighted Markov chain in run off prediction for Harbin station of Songhua river basin. *Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College*, 2008, 35 (3):112—115.
- [25] Xia L T, Peng Z X, Shen Y M. The application of weighted Markov chain to the prediction of crops year's harvest. *Mathematics in Practice and Theory*, 2005, 35 (12):30—35.
- [26] Cheng X N, Wu J C, Ma F. Research and prevention of the *Nilaparvata lugens* Stål. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2003. 26—36.
- [27] Chen S G, Shi D G, Xie X M, *et al.* The characteristics and causes of the occurrence of rice planthoppers in Xiushan, Chongqing. *Entomological Knowledge*, 2003, 40 (2):179—183.
- [28] Liu J K. The application of stepwise regression in forecasting of *Sogatella furcifera*. *Entomology Knowledge*, 1999, 36(1):40.
- [29] Ma F, Xu X F, Zhang X L, *et al.* A prediction model integrating phase space reconstruction and artificial neural network and its application in pest forecasting. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8):1297—1301.
- [30] Gao P, Wu J G, Chen N, *et al.* Atmospheric circulation characteristics (ACC) models for the prediction of the occurrence and development of *Sogatella furcifera*. *Chinese Journal of Zoology*, 2005, 24 (2):146—152.
- [31] Shao C B, Dong L F, Zhao W Y, *et al.* Forecasting the damage area of poplar longicorn beetles with Markov chain. *Shanxi Forest Science and Technology*, 1996, (4): 28—37.
- [32] Jiang Y L, Lu H Q, Li Y C, *et al.* Forecasting the *Cricetulus barbansis* population of Yanggu, Shandong. *Acta Theriologica Sinica*, 1994, 14 (3): 195—202.

#### 参考文献:

- [1] 李汝铎,丁锦华,等.褐飞虱及其种群管理.上海:复旦大学出版社,1996.1~5.
- [2] 张孝羲,张跃进.农作物有害生物预测学.北京:中国农业出版社,2006.456~457.
- [3] 臧淑英,黄樾,郑树峰.资源型城市土地利用变化的景观过程响应——以黑龙江省大庆市为例.生态学报,2005,25(7):1699~1706.
- [4] 阳含熙,潘愉德,伍业钢.长白山阔叶红松林马氏链模型.生态学报,1988,8(3):211~219.
- [5] 韩博平.生态网络中物质、能量流动的时间链分析.生态学报,1995,15(2):163~167.
- [6] 韩文权,常禹.景观动态的Markov模型研究——以长白山自然保护区为例.生态学报,2004,24(9):1958~1964.
- [7] 陈建忠,周世勇,徐福余.Markov过程在森林资源结构动态预测中的应用.应用生态学报,1994,5(3):232~236.
- [8] 贾宝全,慈龙骏,任一萍.绿洲景观动态变化分析.生态学报,2001,21(11):1947~1951.
- [9] 谢成君.用马尔可夫链法预报黑绒金龟发生程度.昆虫知识,1997,34(2):88~90.
- [10] 李任波,刘菊华,罗正方,等.应用马尔可夫链预测华山松木蠹象发生趋势.西南林学院学报,2005,25(2):50~52.

- [11] 贾春生. 利用马尔可夫链方法测报马尾松毛虫发生级别. 东北林业大学学报, 2006, 34 (5): 21 ~ 22.
- [14] 刘俊, 田崇新, 张小燕. 马尔可夫链在地价预测模型中的应用研究. 南京师大学报(自然科学版), 2005, 28 (3): 121 ~ 126.
- [15] 台文志. 利用马尔可夫链模型预测股票市场的近期走势. 西南民族大学学报(自然科学版), 2008, 34 (3): 477 ~ 481.
- [20] 孙泉, 赵旭峰, 钱存华. 基于多点加权马尔可夫链模型的股价预测分析. 南京工业大学学报(自然科学版), 2008, 30 (3): 89 ~ 92.
- [21] 田红霞, 郭晨. 马尔可夫链在预测太原市降水量中的应用. 太原科技大学学报, 2008, 29 (6): 444 ~ 446.
- [22] 王彦集, 刘峻明, 王鹏新, 等. 基于加权马尔可夫模型的标准化降水指数干旱预测研究. 干旱地区农业研究, 2007, 25 (5): 198 ~ 202.
- [23] 武文华, 付和平, 武晓东, 等. 应用马尔可夫链模型预测长爪沙鼠和黑线仓鼠种群数量. 动物学杂志, 2007, 42 (6): 69 ~ 78.
- [24] 顾海燕. 加权马尔可夫链在松花江哈尔滨站径流量预测中的应用. 黑龙江水专学报, 2008, 35(3): 112 ~ 115.
- [25] 夏乐天, 彭志行, 沈永梅. 加权马尔可夫链在农作物年景预测中的应用. 数学的实践与认识, 2005, 35 (12): 30 ~ 35.
- [26] 程遐年, 吴进才, 马飞. 褐飞虱研究与防治. 北京: 中国农业出版社, 2003. 26 ~ 36.
- [27] 陈仕高, 石登贵, 谢雪梅. 重庆市秀山县稻飞虱发生特点及其原因分析. 昆虫知识, 2003, 40 (2): 179 ~ 183.
- [28] 刘俊魁. 逐步回归模型在早稻白背飞虱预报上的应用. 昆虫知识, 1999, 36 (1): 40.
- [29] 马飞, 许晓风, 张夕林, 等. 相空间重构与神经网络融合预测模型及其在害虫测报中的应用. 生态学报, 2002, 22(8): 1297 ~ 1301.
- [30] 高苹, 武金岗, 陈宁, 等. 大气环流特征的水稻白背飞虱发生程度预报模型的研究. 生态学杂志, 2005, 24 (2): 146 ~ 152.
- [31] 邵崇斌, 董丽芬, 赵文英, 等. 应用马尔可夫链预测杨树天牛发生量. 陕西林业科技, 1996, (4): 28 ~ 37.
- [32] 姜运良, 卢浩泉, 李玉春, 等. 山东阳谷县黑线仓鼠种群数量预测预报. 兽类学报, 1994, 14 (3): 195 ~ 202.