

白 蕤,李 宁,吴 立,等. 大气环流指数对海南省稻飞虱发生的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(15):80–85.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.15.020

# 大气环流指数对海南省稻飞虱发生的影响

白 蕤<sup>1,2</sup>, 李 宁<sup>3</sup>, 吴 立<sup>4</sup>, 王 斌<sup>1,2</sup>, 陈小敏<sup>1,2</sup>, 邹海平<sup>1,2</sup>

(1. 海南省气象科学研究所/海南省热带农业气象试验站,海南海口 570203; 2. 海南省南海气象防灾减灾重点实验室,海南海口 570203; 3. 中国热带农业科学院环境与植物保护研究所,海南海口 571101; 4. 福建省气象服务中心,福建福州 350001)

**摘要:**基于因子膨化方法对 74 项大气环流特征量进行合理扩充,采用相关分析、回归分析等方法,完成对 1961—2010 年海南省稻飞虱发生面积率等级具有指示意义的大气环流因子的筛选及其相应等级指标的构建,分析大气环流影响海南稻飞虱的发生机制,建立基于大气环流的海南稻飞虱发生面积率预测模型,并利用 2010 年资料对模型进行预测检验。结果表明,影响稻飞虱发生面积率等级的次序为副热带高压类、极涡类、槽类以及其他类,影响的时段主要为上一年 9—10 月;不同指示因子的量值在稻飞虱发生轻、偏轻、偏重和重时差异显著;关键环流因子与稻区气象要素、海南稻飞虱发生面积率三者之间的存在密切关系;大气环流模型回代检验等级准确率为 81.63%,2010 年等级预测准确率为 100%,模型总体评价准确率为 82%。该模型准确性较高,可为预测预报海南稻飞虱提供服务。

**关键词:**大气环流;海南;稻飞虱;发生面积;因子;发生机制;预测模型;回归分析

**中图分类号:** S435.112<sup>+</sup>.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)15-0080-05

我国稻飞虱的发生程度与迁入虫量、气候生态条件、水稻品种及栽培管理措施等有着密切关系,其中迁入虫量是决定其发生轻重的关键<sup>[1-2]</sup>。稻飞虱来源大致有 3 支<sup>[2-3]</sup>:一支由泰缅北部随西南季风迁入,主降地区为云南西南边境的局部地区;一支由菲律宾于 7—8 月随台风外围气旋迁入,主降东南沿海地区;另一支由中南半岛随盛行的西南季风于 5—6 月迁入,主降两广地区,随后迁向全国稻区。由此可见,海南省处于主降区,稻飞虱的发生与大尺度气候环流背景密切相关,适宜的大气环流场是稻飞虱迁飞的动力和载体。因此,研究海南省稻飞虱发生的气候生态成因,建立并开展稻飞虱发生的中长期气象预测,对增强防御稻飞虱灾害的能力十分重要。

国外学者在气候对水稻病虫害的影响方面进行了较为系统的研究。Mills 等认为,水稻害虫在盛行的夏季风和季风中沿宽阔的轨迹向北迁移<sup>[4]</sup>。日本学者 Morishita 认为,厄尔尼诺的次年为日本褐飞虱大发生年<sup>[5]</sup>。国内学者的研究多集中在对稻飞虱与大气环流特征量的相关性分析上。高苹等研究发现,江苏地区褐飞虱前期迁入量与太平洋海温场存在显著的遥相关,水稻白背飞虱虫情因子与环流因子之间存在非线性、非单调的单峰型相关<sup>[6-7]</sup>;侯婷婷认为,西太平洋副热带高压强度是影响我国稻飞虱发生的重要因素<sup>[8]</sup>;于彩霞等筛选在我国稻飞虱发生前期对当年稻飞虱发生等级具有一定指示作用的大气环流因子并构建等级指示指标<sup>[9]</sup>;钱拴等探索大尺度环流背景对我国稻飞虱发生的影响关系,以此为基

础建立我国稻飞虱发生面积中长期预报模式<sup>[10]</sup>。

海南省位于我国的最南端,属热带季风性气候,全年温热给稻飞虱提供良好的生存繁殖和越冬的气候环境。1987 年 4 月下旬,海南省琼海市、陵水黎族自治县等地早稻局部田块稻飞虱虫口百丛密度达 1 000~4 500 头,最高可达 1.5 万头,并有相当多的田块出现“穿顶”<sup>[2]</sup>。2006 年 8 月中下旬,海南省万宁市、琼海市等地的晚稻正处分蘖期,稻飞虱虫口百丛密度为 500~4 000 头,最高可达 2 万头,稻株全部枯干倒伏、颗粒无收<sup>[11]</sup>。王月皎等调查了海南省文昌市稻飞虱的发生规律,并从虫源、气候、品种、肥水管理等方面分析了稻飞虱成灾发生的原因<sup>[12]</sup>。肖彤斌等分析了海南省稻飞虱发生特点及成灾原因,并提出了相应的防治措施<sup>[11]</sup>。目前,对海南省稻飞虱的研究多是定性、机制性的描述,或是部分区域、站点的针对性研究,而针对海南省稻飞虱的气候背景研究甚少。本研究从全面反映大气环流的 74 项特征量入手,根据海南省水稻种植制度和区域分布,探索大尺度环流背景对海南省稻飞虱发生的影响关系,以此为基础建立海南省稻飞虱发生面积中长期预报模型,开展服务,以便及早做好防御工作,减轻稻飞虱造成的危害和损失。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料来源

74 项大气环流特征量逐月资料取自国家气候中心,时间为 1960—2010 年,具体情况如表 1 所示。稻飞虱资料来自全国农业技术推广服务中心,包括 1961—2010 年海南省稻飞虱逐年的发生面积、导致的水稻损失等。水稻面积、产量资料来自海南省统计年鉴,包括 1961—2010 年逐年的水稻种植面积、总产量等。

### 1.2 资料处理方法

1.2.1 稻飞虱发生等级划分 为消除水稻种植面积对稻飞虱发生面积的影响,将稻飞虱发生面积转化为稻飞虱发生面

收稿日期:2016-10-21

基金项目:国家自然科学基金(编号:41465005、41265007);海南省气象局青年基金(编号:HNQXQN201602)。

作者简介:白 蕤(1991—),女,云南开远人,硕士,助理工程师,研究方向为气象灾害风险分析。E-mail:bairui\_118@163.com。

通信作者:李 宁,硕士,研究实习员,研究方向为农业气象。E-mail:n.li@catas.cn。

表 1 大气环流特征量分类

类别	编号	特征量
副热带高压类	01 ~ 11	11 个区的副热带高压面积指数
	12 ~ 22	11 个区的副热带高压程度指数
	23 ~ 33	11 个区的副热带高压脊线指数
	34 ~ 45	11 个区的副热带高压北界及西太副高西伸脊点
极涡类	46 ~ 50	5 个区的极涡面积指数
	51 ~ 55	5 个区的极涡强度指数
	56 ~ 57	北半球极涡中心位置及强度
	58 ~ 60	大西洋欧洲环流型
环流类	61 ~ 64	欧亚、亚洲环流指数
	65 ~ 69	几种槽的位置与强度
槽类	70 ~ 74	冷空气、台风、太阳黑子、南方涛动指数
其他类		

积率,即稻飞虱发生面积率=当年稻飞虱发生面积/当年水稻种植面积 $\times 100\%$  [9]。由此得出历年稻飞虱发生面积率距平序列。

计算 1961—2010 年稻飞虱发生面积率的平均值,以平均值上下波动 50% 为等级间隔,对稻飞虱发生面积率进行轻、偏轻、偏重、重 4 个等级划分 [9],分别对应发生程度 1、2、3、4 级(表 2)。

表 2 稻飞虱发生等级划分

发生等级	发生面积率 (%)	发生程度 (级)
轻	<2.65	1
偏轻	2.65 ~ <5.30	2
偏重	5.30 ~ <7.95	3
重	$\geq 7.95$	4

1.2.2 预测因子膨化 预测因子膨化技术能合理扩充不同时段环流特征量的信息,构建的预测模型具有时间上的连续性,在预测准确率和挑选预测关键时段方面也具备优势 [13]。

根据统计各气象站的水稻生育期,研究区水稻最早可在 1 月播种。考虑到稻飞虱的发生对大气环流响应的滞后性和各气象站的水稻生育期,将上一年 1 月作为水稻稻飞虱因子膨化的时段组合起始时间,上一年 12 月作为时段组合的终止时间。通过因子膨化的方法从上一年 1 月至上年 12 月,按照 1 个月、2 个月直至 12 个月对 74 项大气环流特征量进行时段组合。其中,第 4、第 15、第 26、第 37 项的每年 6—9 月无数据,不参与时段组合。第 65、第 66、第 70 项每年 6—8 月无数据,不参与时段组合,所有特征量共组合 6 642 个大气环流因子。

1.2.3 相关性分析 不同时间段组合的大气环流特征量与海南省稻飞虱发生面积率之间的相关系数计算公式如下:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

式中: $i=1,2,3,\dots,n$  为样本数, $n=50$ ;  $r_{xy}$  为相关系数; $x$  为大气环流因子; $y$  为稻飞虱发生面积率, %。  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$  分别为  $x$  和  $y$  的历史平均值。

相关系数采用双尾  $t$  检验,计算公式:

$$t = \frac{\sqrt{n-2} \times r}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2)$$

式中: $r$  为相关系数; $n$  为统计样本个数。

1.2.4 海南省稻飞虱发生面积率长期预测模型的建立 诸多学者在建立关于稻飞虱预测模型时,选用多元回归分析的方法 [9-10,13-14]。本研究将这一思想推广应用到海南省稻飞虱的长期预测研究中。选取通过 0.001 水平显著检验的关键环流特征因子作为预报因子,以海南省稻飞虱发生面积率为预测目标,建立多元回归预测模型。使用统计量  $F$  对整个回归方程的显著性进行检验。复相关系数  $R$  和统计量  $F$  公式:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}}; \quad (3)$$

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \times \frac{n-k-1}{k} \quad (4)$$

式中: $n$  表示样本数; $k$  表示自变量个数; $y_i$  为第  $i$  年海南省稻飞虱发生面积率, %;  $\bar{y}$  为 1961—2010 年海南省稻飞虱发生面积率平均值, %;  $\hat{y}_i$  为海南省稻飞虱发生面积率回归方程第  $i$  年估计值。当  $F_{\text{计算值}} > F_{0.001}$  时,复相关显著,回归效果好,回归方程有意义;当  $F_{\text{计算值}} < F_{0.001}$  时,则回归效果较差,回归方程无意义。

海南稻飞虱发生面积预报:

$$Y_i = \hat{y}_i \times S_i \quad (5)$$

式中: $S_i$  为要预测的第  $i$  年海南省水稻种植面积,  $\text{hm}^2$ ;  $\hat{y}_i$  为海南省稻飞虱发生面积率预报值, %;  $Y_i$  为海南省稻飞虱发生面积预报值,  $\text{hm}^2$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 影响海南省稻飞虱发生面积率的大气环流特征量

2.1.1 影响海南省稻飞虱发生的关键环流特征因子及影响时段 由图 1 可看出,74 项环流特征因子中通过 0.001 水平显著性检验的影响时段数和关键因子数。影响海南省稻飞虱发生的关键环流因子有 40 项,其中副热带高压类环流特征因子显著影响时段数为 518 个,关键环流因子有 22 项,占全部关键环流特征因子的 55%;极涡类环流因子显著影响时段数为 340 个,关键环流因子有 10 项,占全部关键环流特征因子的 25%;环流类因子显著影响时段数为 27 个,关键环流因子有 3 项,占全部关键环流特征因子的 7.5%;槽类环流因子显著影响时段数为 17 个,关键环流因子有 3 项,占全部关键环流特征因子的 7.5%;其他类环流因子显著影响时段数为 5

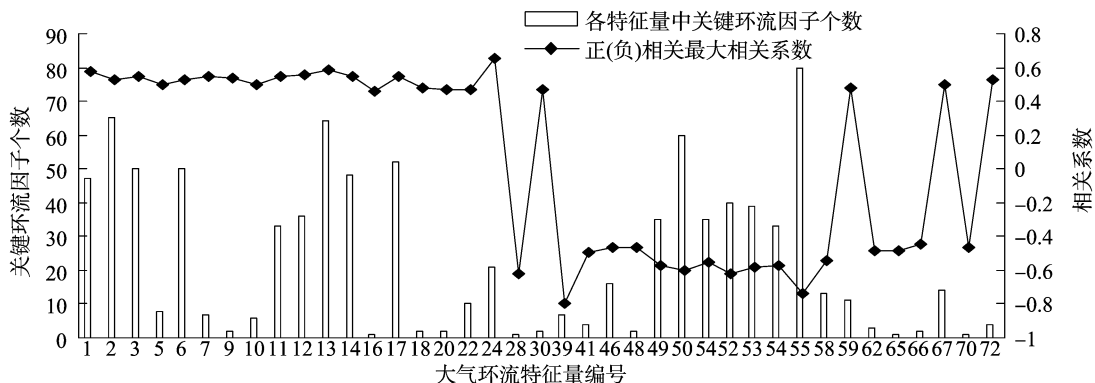


图1 影响海南省稻飞虱发生面积率的大气环流特征量

个,关键环流因子有 2 项,占全部关键环流特征因子的 5%。由此可见,北半球大气环流对海南省稻飞虱发生面积率的发生影响程度次序为副热带高压类>极涡类>环流类>槽类>其他类,其中副热带高压类与海南省稻飞虱发生面积率的关系最为密切,其次为极涡类。副热带高压面积指数、强度指数分别与海南省稻飞虱发生面积率呈正相关,极涡类呈负相关。副热带高压类的东太平洋副高北界、北非副高脊线、极涡类的北半球极涡强度指数对稻飞虱发生面积率影响显著,最大相关系数分别是  $-0.794$ 、 $0.655$ 、 $-0.735$ ,均达到极显著相关。而副高北界和副高脊线与海南省稻飞虱发生相关程度较低,22 个指数中仅有 5 个指数与海南省稻飞虱发生面积率的相关达到 0.001 显著水平,且不同区的副高北界和脊线与海南省稻飞虱发生的相关情况不同,既有正相关也有负相关。

对海南省稻飞虱发生的关键环流特征因子进行影响时段统计发现,上一年 1 月至当年 1 月关键环流特征因子对海南省当年稻飞虱发生面积率均有显著的影响。其中上一年 9—

10 月和上一年的 7—10 月为集中影响时段,其次是上一年的 2 月至当年 1 月和上一年的 3 月至当年 1 月。各类关键环流因子中,副热带高压类和极涡类环流因子对海南省稻飞虱的影响最为重要,其中上一年 9—10 月副热带高压类环流因子的影响最为明显,上一年 6—11 月极涡影响也比较明显;而环流类、槽类和其他类环流特征因子对海南省稻飞虱的影响远小于前两者,其中环流类影响时段主要集中在上一年 4 月至当年 1 月。

2.1.2 影响海南省稻飞虱发生的关键环流特征因子指标近 50 年(1961—2010)来,海南省稻飞虱发生面积呈明显上升趋势,以平均  $1 \text{ 万 hm}^2/10 \text{ 年}$  的速度增加。由图 2 可看出,稻飞虱发生面积和发生面积率从 20 世纪 60 年代开始呈逐年缓慢增加趋势,1985、1991、1997 年呈现不同程度的小高峰,21 世纪后呈现明显增加的趋势,到 2009 年达到最高值,稻飞虱的发生面积达到了  $9.44 \text{ 万 hm}^2$ ,较 20 世纪 80 年代以前的发生面积增加近 10 倍。

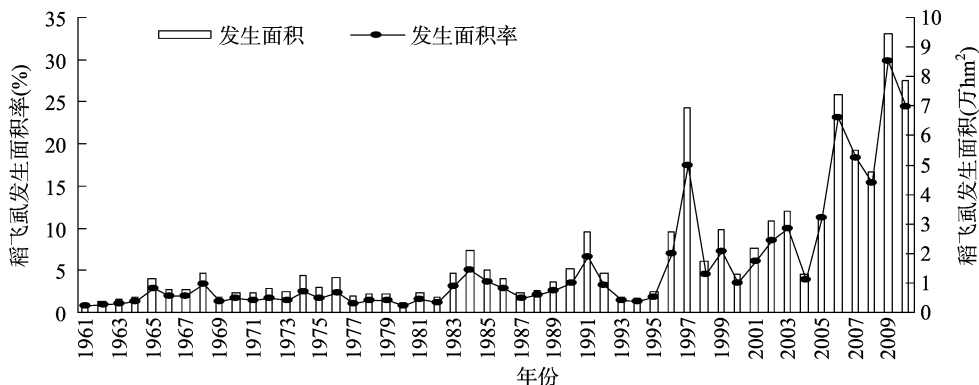


图2 海南省稻飞虱发生面积及面积率时间序列

根据海南省稻飞虱发生面积率分级类别(表 2),计算每个关键特征因子相应级别的平均值,判断关键环流因子量值在稻飞虱轻、偏轻、偏重、重发生时候的差异,筛选出量值差异较为明显的环流因子作为稻飞虱发生等级的指示因子,以指示因子在 4 个发生等级的量值构建稻飞虱发生等级的指示指标。选取对海南省气候影响更为直接的因子(表 3),共 7 个。其中关键环流特征因子表达为环流特征量编号、开始月份、结束月份,例如  $1s9s10$  为 1 号环流特征量,时段是上一年 9—10 月。筛选因子时应注意对多个大气环流特征量之间相互关联和同一环流特征量的多个表征指数,只挑选其中对稻飞虱发生影响最显著的一个指数;对于同一指数的多个时

段,只筛选持续时间长、差异最显著的时段。

## 2.2 大气环流影响海南省稻飞虱发生的机制分析

本研究对影响稻飞虱发生面积的关键环流特征因子,稻区上一年 1 月至当年 1 月不同时间段组合的平均气温、降水量、日照时数与海南省稻飞虱发生面积率三者之间进行相关性分析。结果表明,关键环流特征因子与稻区的光、温、水等生态气象条件有着密切的关系,光、温、水与大气环流特征因子的相关程度次序为平均温度>日照时数>降水量,并且同海南省稻飞虱发生面积率与稻区平均气温、降水量、日照时数的相关情况一致。这说明关键环流因子、稻区生态气象条件和稻飞虱发生面积率三者之间存在较好的相关关系。大气环

表 3 影响海南省稻飞虱发生面积率的关键特征环流因子指标

关键环流特征因子	关键环流特征因子含义	相关系数	稻飞虱发生面积率(%)				多年平均发生面积率(%)
			轻	偏轻	偏重	重	
1s9s10	上一年 9—10 月北半球副高面积指数	0.581	70.4	70.6	99.0	105.2	79.6
13s9s10	上一年 9—10 月北非副高强度指数	0.588	50.4	59.8	75.9	87.0	61.5
24d1	当年 1 月北非副高脊线	0.655	10.2	10.0	11.3	11.8	10.5
39s12	上一年 12 月东太平洋副高北界	-0.794	22.0	21.7	21.3	20.7	21.6
55s2s12	上一年 2—12 月北半球极涡强度指数	-0.735	229.1	224.5	218.2	212.3	223.7
58s12	上一年 12 月大西洋欧洲环流型 W	-0.543	13.8	14.1	16.0	5.1	12.5
67s3d1	上一年 3 月至当年 1 月西藏高原(25~35°N,80~100°E)	0.498	554.8	555.0	560.7	561.9	556.6

流影响稻区的气温、日照时数、降水量等条件,气温、日照时数、降水量等又影响稻飞虱的发生发展,三者之间存在较好的影响机制。这种关系具体表现为稻飞虱是变温动物,它的体温基本上取决于周围的环境温度,其生殖活动、迁飞行为、种群数量、存活率、寿命等在很大程度上受外界温度所支配<sup>[15]</sup>。降水量影响稻飞虱的迁飞能力、体质量变化、虫口数量、存活率及发生程度等,有利时起加速促进作用,不利时则产生抑制作用<sup>[16]</sup>。光照时数对稻飞虱的取食、栖息、交尾、产卵等行为有关<sup>[17]</sup>。

随机选取一个大气环流因子,即北半球极涡强度指数(表 3),具体分析其与海南省稻飞虱发生面积率的关系。结果表明,上一年 2—12 月北半球极涡强度指数与当年海南省

稻飞虱发生面积率呈明显负相关(图 3),即北半球极涡强度指数小的年份,稻飞虱发生面积率偏高。1991—2006 年北半球极涡强度整体呈减弱趋势,稻飞虱发生面积率整体呈上升趋势,即北半球极涡强度偏强不利于海南省稻飞虱的大发生。这主要是因为极涡是大规模冷空气的表征,极涡面积越小,强度越弱、冷空气积聚越少。当北半球极涡强度指数偏小,入侵冷空气次数少、强度弱,使秋冬季节气温偏高,进入越冬阶段推迟,有利于稻飞虱在冬前侵染繁殖时间的延长、冬季繁殖或残存数量的增加、越冬基数的增加以及范围扩大,导致其越冬死亡率降低,致使第二年侵染基数增加。另外,如果春季气温回升较快,会使稻飞虱发育加快,繁殖代数增加,迁入为害期提前,从而引发稻飞虱暴发<sup>[15]</sup>。

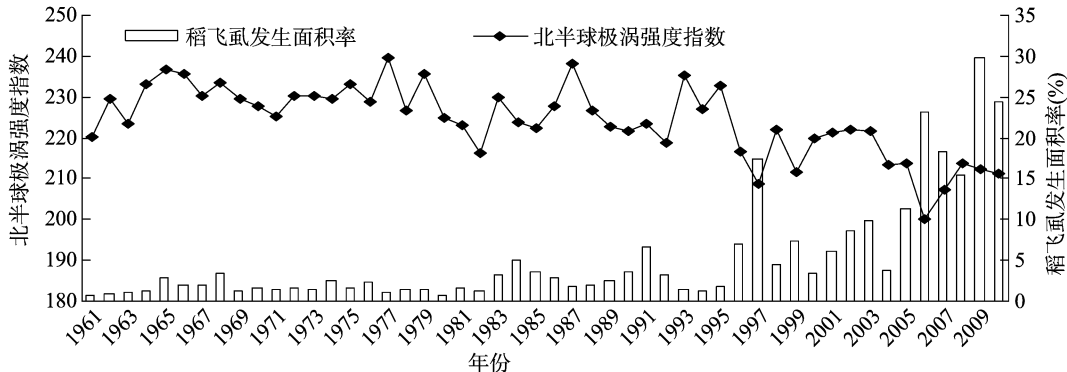


图 3 稻飞虱发生面积率与指示因子时间序列

2.3 海南省稻飞虱发生面积率长期预报模型的建立及效果验证

在建立模型时使用 1961—2009 年的关键环流因子和海南稻飞虱发生面积率,2010 年资料留做预测检验使用。建模时采用明显影响海南省稻飞虱的关键环流因子与稻飞虱发生面积率进行逐步回归分析,建立基于大气环流因子的海南省稻飞虱发生面积率的多元回归预测模型,所建模型通过了 0.001 水平的显著性检验。

$$y = 0.014x_1 - 0.002x_2 + 1.496x_3 - 2.875x_4 - 0.197x_5 - 0.211x_6 + 0.094x_7 + 45 \quad (R^2 = 0.767, F = 19.31)。$$
 (6)

式中:y 为稻飞虱发生面积率,%;  $x_1$  为上一年 9—10 月北半球副热带高压面积指数;  $x_2$  为上一年 9—10 月北非副高强度指数;  $x_3$  为当年 1 月北非副高脊线;  $x_4$  为上年 12 月东太平洋副高北界;  $x_5$  为上一年 2—12 月北半球极涡强度指数;  $x_6$  为上一年 12 月大西洋欧洲环流型 W;  $x_7$  为上一年 3 月至当年 1 月西藏高原(25~35°N,80~100°E)。

根据稻飞虱发生面积率等级划分标准,利用模型对

1961—2009 年海南省稻飞虱发生面积率进行回代检验,对 2010 年进行预测检验(表 4)。考虑到稻飞虱发生面积率的实际意义,当发生面积率预测值 < 0 时,统一修正为 0。结果表明,在 49 年建模样本中,预测等级与实际等级相同的有 40 年,预测等级与实际等级相差一级的有 8 年,相差 2 级的有 1 年,模型回代检验等级准确率为 81.63%,对 2010 年稻飞虱发生面积率的等级预测与实际相符。总体来说,模型的等级评价准确率为 82%。通过以稻飞虱发生面积率逐年实际值与基于大气环流模型的拟合值对比发现,除了 2009 年超过 10% 以上,其他年份的预测值与实际值的误差相对较小,回归预测模型对海南省稻飞虱的整体拟合效果较好。

3 结论与讨论

利用 1961—2010 年海南省稻飞虱发生面积率与膨化后的大气环流特征量进行相关分析,筛选出对海南省稻飞虱发生影响显著的大气环流特征量及组合时段。其中,副热带高压类和极涡类环流量对海南省稻飞虱发生影响最为明显,其

表 4 水稻稻飞虱发生面积率的大气环流回归预测模型的回代及预测检验结果

年份	实际值		拟合值		误差	
	发生面积率 (%)	等级	发生面积率 (%)	等级	发生面积率 (%)	等级
1961	0.76	1	1.77	1	-1.01	0
1962	0.96	1	0	1	0.96	0
1963	1.09	1	1.05	1	0.04	0
1964	1.33	1	0.58	1	0.75	0
1965	2.84	2	0	1	2.84	1
1966	1.93	1	0	1	1.93	0
1967	1.93	1	0.14	1	1.79	0
1968	3.33	2	0	1	3.33	1
1969	1.28	1	0.46	1	0.82	0
1970	1.64	1	0.85	1	0.79	0
1971	1.46	1	0	1	1.46	0
1972	1.69	1	0	1	1.69	0
1973	1.43	1	0	1	1.43	0
1974	2.48	1	0	1	2.48	0
1975	1.67	1	0	1	1.67	0
1976	2.32	1	0.28	1	2.04	0
1977	1.08	1	0	1	1.08	0
1978	1.37	1	1.12	1	0.24	0
1979	1.39	1	0	1	1.39	0
1980	0.77	1	1.95	1	-1.17	0
1981	1.61	1	1.58	1	0.03	0
1982	1.22	1	0.93	1	0.29	0
1983	3.15	2	0	1	3.15	1
1984	5.03	2	0	1	5.03	1
1985	3.65	2	3.78	2	-0.13	0
1986	2.88	2	0	1	2.88	1
1987	1.74	1	1.07	1	0.67	0
1988	2.02	1	0.13	1	1.89	0
1989	2.52	1	1.96	1	0.56	0
1990	3.55	2	0.03	1	3.51	1
1991	6.62	3	5.97	3	0.65	0
1992	3.21	2	3.56	2	-0.35	0
1993	1.37	1	0	1	1.37	0
1994	1.23	1	0.34	1	0.90	0
1995	1.79	1	0	1	1.79	0
1996	7.02	3	7.24	3	-0.22	0
1997	17.44	4	10.12	4	7.32	0
1998	4.49	2	4.39	2	0.10	0
1999	7.29	3	6.33	3	0.95	0
2000	3.48	2	4.90	2	-1.43	0
2001	6.08	3	9.69	4	-3.61	1
2002	8.58	4	4.31	2	4.27	2
2003	9.94	4	9.06	4	0.88	0
2004	3.84	2	6.04	3	-2.19	1
2005	11.24	4	9.71	4	1.53	0
2006	23.11	4	19.94	4	3.17	0
2007	18.39	4	13.46	4	4.93	0
2008	15.40	4	15.27	4	0.14	0
2009	29.79	4	17.36	4	12.43	0
2010	24.35	4	17.76	4	6.60	0

次为极涡类。副热带高压类环流特征量对稻飞虱发生面积率

的影响为正效应;极涡类对稻飞虱发生面积率的影响为负效应。大气环流因子影响海南省稻飞虱发生的时段主要为上一年 9—10 月和上一年的 7—10 月。

以稻飞虱发生面积率历年平均值及平均值上下波动 50% 为参考,将稻飞虱发生等级分为轻、偏轻、偏重、重 4 个等级,筛选出稻飞虱发生等级的大气环流指示因子,以指示因子在稻飞虱各发生等级的平均值构建稻飞虱发生等级指标。研究表明,影响稻飞虱发生面积率等级的指示因子为东太平洋副高北界、北半球极涡强度指数、北半球副热带高压面积指数、北非副高强度指数、北非副高脊线、大西洋欧洲环流型 W、西藏高原(25~35°N、80~100°E)。7 个关键环流指标的指示性最好,明显表达了各个发生级别的差异。

通过分析关键环流因子、稻区气象要素(光、温、水)、海南稻飞虱发生面积率三者之间的关系,探讨大气环流对海南稻飞虱发生的可能影响机制。结果表明,它们存在密切关系,大气环流不仅是稻飞虱迁飞的动力和载体,而且通过影响稻区生态气象条件从而影响稻飞虱的发生发展。另外研究发现,北半球极涡强度指数与海南省稻飞虱发生面积率之间呈负相关关系。当北半球极涡面积强度偏小时,入侵冷空气次数少、强度弱,导致秋冬季气温偏高。由于海南省地处热带地区,气候条件有利于稻飞虱在冬季有少量的虫源存活,暖冬可以使稻飞虱冬季大量繁殖或残存数量大幅度增加,越冬范围扩大、虫源基数提高<sup>[15]</sup>。

以影响海南省气候最为直接的 7 个关键环流特征因子为预测因子,建立海南省稻飞虱发生面积率预测模型。模型回代检验等级准确率为 81.63%,对 2010 年等级预测与实际相符。总体来说,模型的等级评价准确率为 82%,回归预测模型对海南省稻飞虱的整体拟合效果较好。由于资料限制,本研究仅考虑在大气环流因子对稻飞虱发生面积的影响,没有考虑人类的生产活动对稻飞虱发生面积造成的影响,如耕作栽培制度、肥水管理等。而稻飞虱是迁飞性害虫,其发生发展与其迁入的时段、虫源基数、极端气候事件、防治技术等因素有关<sup>[17-19]</sup>,若在设计模型时对其进行订正,预报效果将会更好。

参考文献:

[1] 中国农业科学院植物保护研究所. 中国农作物病虫害(上册)[M]. 北京:中国农业出版社,1995:124-132.

[2] 霍治国,陈林,叶彩玲,等. 气候条件对中国水稻稻飞虱为害规律的影响[J]. 自然灾害学报,2002,11(1):97-102.

[3] 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.

[4] Milks A P, Rutter J F, Rosenberg L J. Weather associated with spring and summer migrations of rice pests and insects in south-eastern and eastern Asia[J]. Bulletin of Entomological Research, 1996, 86(6): 683-694.

[5] Morishita M. A possible relationship between outbreaks of rice planthoppers in Japan and the El Nino phenomenon[J]. Plant Epidemic Prevention, 1992, 46(5): 11-13.

[6] 高苹,武金岗,陈宁,等. 大气环流特征量的水稻白背飞虱发生程度预报模型的研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(2): 146-152.

[7] 沈晓青,翟保平,张孝羲,等. 江苏沿江和江淮区褐飞虱前期迁入

徐世才,陈邦凯,魏婷婷,等. 延安烟区烟粉虱空间分布和垂直分布规律[J]. 江苏农业科学,2017,45(15):85-87.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.15.021

# 延安烟区烟粉虱空间分布和垂直分布规律

徐世才,陈邦凯,魏婷婷,云 龙,杨 林,杨 珣,邓振山,肖金学

(1. 延安大学生命科学学院,陕西延安 716000; 2. 陕西省宜川县烟草专卖局,陕西宜川 716000)

**摘要:** 为了解延安地区烟粉虱卵、若虫、成虫在烟区的空间分布和垂直分布情况。采用 5 点取样法每隔 7 d 定点调查各个时期烟粉虱的数量,用扩散指标、Taylor 幂法则及  $Lwao m^* - \bar{x}$  回归对采集量进行计数。Taylor 幂法则回归方程为  $\lg S^2 = 1.25 \lg \bar{x} + 0.617$ ;  $Lwao m^* - \bar{x}$  的回归式为  $m^* = 1.132 + 1.608\bar{x}$ , 烟粉虱空间分布型为负二项分布,主要分布在烟草的上部叶片。延安地区烟粉虱的空间格局是以个体群为基本成分呈聚集分布,且密度越高,聚集度越大。

**关键词:** 烟草; 烟粉虱; 负二项分布; 平均拥挤度; 聚集型分布; 空间分布; 垂直分布

**中图分类号:** S435.72 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)15-0085-03

烟粉虱 [*Bemisia tabaci* (Gennadius)] 属同翅目粉虱科昆虫,是一种世界性害虫。近年来,烟粉虱在延安地区对烟草危害越来越严重,导致烟草产量连年大幅度下降,有的地方甚至绝收,严重挫伤了种植户的积极性。目前国内外学者对烟粉虱在生物学、生态学、发生规律等方面做了大量研究,并在防治措施和技术等方面做了大量工作<sup>[1-4]</sup>。国内对烟粉虱的研究报道主要集中在广东、河北等地,对延安市烟田烟粉虱的研究尚未见报道。本研究以烟田里的烟粉虱为目标,围绕种群生态学加以探讨,分析其空间分布、垂直分布,提出烟粉虱生态控制有效途径和合理方法。在实践上对控制烟粉虱大发生、减少经济损失、指导基地的建设与生产有着重要的意义,对陕北毗邻省区烟粉虱的防治、田间调查、危害损失估计具有广泛的应用和参考价值,对提高农民的收入和生态环境的改

善具有积极的意义。该研究的全面实施不仅丰富了种群生态学,而且为区域经济发展提供理论依据和技术支持,促使研究区生态环境的有效改善。因此对烟粉虱空间分布、垂直分布展开研究,不仅能产生直接的经济效益,而且具有重大的生态效益和社会效益,具有广阔的应用前景。在烟粉虱综合治理的实践中发现,烟粉虱的分布很不均匀<sup>[5-6]</sup>,为此在 2015 年,笔者对延安烟区烟草上烟粉虱的空间分布型以及垂直分布进行了详细的调查。

## 1 材料与方法

### 1.1 烟粉虱空间分布调查方法

2015 年 7 月到 9 月初,选择延安市被烟粉虱危害比较严重的烟区:南泥湾老沟村、富县牛武镇、宜川英旺乡,采用 5 点取样法每隔 7 d 每次定点调查 200 株烟草,调查时分别记录各植株定点的上下部位的 2 张叶片(主要在叶背面)烟粉虱数量。

### 1.2 数据处理

1.2.1 频次分布检验 频次分布检验采用二项分布、泊松分布、负二项分布、核心分布和泊松二项分布进行。根据理论频次分布公式求出理论频次,将各田块实查频次和理论频次进行比较,经卡方检验确定是否符合某种理论分布。

收稿日期:2016-05-25

基金项目:陕西省高水平大学建设专项资金生态学(编号:2012SXTS03);陕西省教育厅专项基金(编号:14JK1837);延安市科学技术惠民项目(编号:2014HM-04);陕西省烟草公司科技专项(编号:2013KTIDZ-03-02)。

作者简介:徐世才(1973—),男,陕西榆林人,硕士,副教授,硕士生导师,研究方向为昆虫生态与综合防治。E-mail: shicaixu@163.com。

量与太平洋海温场的遥相关及其可能机制[J]. 昆虫学报,2007,50(6):578-587.

[8] 侯婷婷. 稻飞虱发生的气候背景及风险分析[D]. 北京:中国农业大学,2004:1-36.

[9] 于彩霞,霍治国,张 蕾,等. 中国稻飞虱发生的大气环流指示指标[J]. 生态学杂志,2014,33(4):1053-1060.

[10] 钱 拴,霍治国. 大气环流对中国稻飞虱危害的影响及其预测[J]. 气象学报,2007,65(6):994-1002.

[11] 肖彤斌,吴凤芝,芮 凯,等. 稻飞虱在海南省的发生特点及防治措施[J]. 广东农业科学,2008(4):42-43.

[12] 王月娇,陈 辉. 海南文昌稻飞虱发生规律及防治对策[J]. 农技服务,2007,24(10):48.

[13] 姜 燕,霍治国,李世奎,等. 全国小麦条锈病长期预报模型比较研究[J]. 自然灾害学报,2006,15(6):109-113.

[14] 刘祖建,陈 冰,陈蔚辉,等. 广东省西南部稻飞虱发生期和发生程度的气象预测模型[J]. 中国农业气象,2013,34(2):204-209.

[15] 霍治国,李茂松,李 娜,等. 季节性变暖对中国农作物病虫害的影响[J]. 中国农业科学,2012,45(11):2168-2179.

[16] 叶彩玲,霍治国,丁胜利,等. 农作物病虫害气象环境成因研究进展[J]. 自然灾害学报,2005,14(1):90-97.

[17] 霍治国,王石立. 农业与生物气象灾害[M]. 北京:气象出版社,2009:163-212.

[18] 包云轩,田 琳,谢晓金,等. 基于大气环流特征量的白背飞虱发生程度短期预报模型[J]. 中国农业气象,2014,35(4):440-449.

[19] 姚德宏,陈雄飞,姚士桐,等. “卡努”(0515)台风在褐飞虱突增中的作用探析[J]. 中国农业气象,2007,28(3):347-349.