

王纯枝,张蕾,郭安红,等. 基于大气环流的稻纵卷叶螟气象预测模型. 应用气象学报,2019,30(5):565-576.  
DOI: 10.11898/1001-7313.20190505

# 基于大气环流的稻纵卷叶螟气象预测模型

王纯枝<sup>1)</sup> 张蕾<sup>1)</sup> 郭安红<sup>1)\*</sup> 李轩<sup>1)</sup> 刘维<sup>1)</sup>  
庄立伟<sup>1)</sup> 陆明红<sup>2)</sup> 吕厚荃<sup>1)</sup> 包云轩<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>(国家气象中心,北京 100081)

<sup>2)</sup>(全国农业技术推广服务中心,北京 100125)

<sup>3)</sup>(南京信息工程大学,南京 210044)

## 摘 要

基于 1980—2016 年全国稻纵卷叶螟逐年发生面积、产量损失资料、逐月 74 项大气环流特征量以及南方 15 省(区、市)地面气象资料,采用因子膨化处理技术、Pearson 遥相关分析法和逐步回归分析法,筛选对中国稻纵卷叶螟发生面积率有显著影响的大气环流因子,构建中国稻纵卷叶螟发生面积率的多时相动态大气环流预测模型,探讨大气环流对中国稻纵卷叶螟发生的可能影响机制。结果表明:46 项大气环流因子与稻纵卷叶螟发生关系密切,副热带高压类、极涡类环流因子是中国稻纵卷叶螟发生面积率的主导影响因子。建立的中国稻纵卷叶螟发生面积率年前、年后 3—10 月的月动态预测模型历史拟合较好,对 2015 年、2016 年 1 月初及 3—10 月各月初外延预报两年平均准确率分别达 86.6%,90.5%,91.8%,93.4%,93.4%,94.0%,94.0%,94.3%,95.4%。关键环流特征因子、当年气候年型和稻区 5—9 月气象条件对中国稻纵卷叶螟的发生程度具有较好的指示效应,稻纵卷叶螟发生面积率较大的年份主要出现在干暖年和湿暖年;干冷年型常导致稻纵卷叶螟发生面积率偏小。

**关键词:** 稻纵卷叶螟; 发生面积率; 大气环流; 预测模型

## 引 言

稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis* Guenée)是危害亚洲和东非等地区水稻生产的最严重害虫之一<sup>[1-2]</sup>,隶属于昆虫纲(*Insecta*)、鳞翅目(*Lepidoptera*)、螟蛾科(*Pyralidae*)<sup>[3]</sup>,具有远距离迁飞的特性,每年 3 月其种群随西南气流由中南半岛迁入我国南部,春、夏两季自南向北迁飞,秋季则从北向南回迁,10 月下旬后逐渐迁出到境外<sup>[4-5]</sup>。稻纵卷叶螟对我国水稻的危害范围虽较广泛,但主要危害南方稻区,特别是淮河以南的华南、江岭和江淮水稻主产区<sup>[2,6-7]</sup>。21 世纪以来,尤其自 2005 年以来稻纵卷叶螟在我国各稻区发生面积剧增,发生虫量明显

上升,发生程度加重,重发频率增加。据统计,2005—2015 年稻纵卷叶螟年均发生面积为  $1.97 \times 10^7$  hm<sup>2</sup>,占水稻种植面积( $2.97 \times 10^7$  hm<sup>2</sup>)的 66.3%,造成产量损失  $7.03 \times 10^6$  t,相当于平均每年水稻总产( $1.96 \times 10^8$  t)的 3.6%<sup>[8]</sup>,严重威胁着我国的粮食生产安全。

自 20 世纪 70 年代以来,国内外诸多学者针对迁飞性害虫影响因素进行了大量研究,确定了大气背景以及害虫自身的生理生态特性、寄主环境、地理条件等是影响迁飞性害虫灾变性迁入和发生发展的重要因素<sup>[5,9-10]</sup>。1992 年日本学者 Masahiko 研究认为,厄尔尼诺的次年为日本褐飞虱大发生年<sup>[11]</sup>。Wood 等<sup>[12]</sup>对英国南部蛾类夜间迁徙动态雷达观测发现,蛾的起飞和成层迁飞很大程度上受温度、湿度

2019-05-10 收到,2019-07-24 收到再改稿。

资助项目:公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306053),气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2015Z02),国家重点基础研究发展计划(2013CB430205)

\* 通信作者,邮箱: guoah@cma.gov.cn

以及风速条件的影响。Park 等<sup>[13]</sup>通过实验研究发现,气温对稻纵卷叶螟发育速率和存活率有显著影响。1980—1982 年中国华南几省曾联合研究,提出了大气环流对稻纵卷叶螟的迁飞起主要作用<sup>[5]</sup>。翟保平等<sup>[14-15]</sup>和谈涵秋等<sup>[16]</sup>认为稻纵卷叶螟的迁飞与温度、风场、垂直气流、降水和湿度的关系极为密切。霍治国等<sup>[10]</sup>认为,在厄尔尼诺的次年中国稻飞虱可能重发。王翠花等<sup>[17]</sup>、包云轩等<sup>[18-19]</sup>分析认为适温、高湿和强降水及良好的寄主环境易导致稻纵卷叶螟大发生,稻纵卷叶螟降落的关键动力机制为下沉气流和降水,且迁飞和降落还受到 850 hPa 大气环流形势的调控,并发现中南半岛前期干冷气候易导致我国南方稻飞虱偏轻发生。侯婷婷等<sup>[20]</sup>、钱拴等<sup>[21]</sup>、于彩霞等<sup>[22]</sup>和白蕤等<sup>[23]</sup>从大气环流角度研究发现,副热带高压类、极涡类等环流指数对中国稻飞虱的发生程度有显著影响。钱拴等<sup>[21]</sup>和于彩霞等<sup>[22]</sup>建立了基于大气环流的稻飞虱发生程度预测模型。侯英雨等<sup>[24]</sup>发现迁飞性害虫的发生、发展和气象条件关系密切。霍治国等<sup>[25]</sup>分析认为,气候变暖背景下,大尺度天气系统异常导致的南方夏季多暴雨洪涝、暖湿环境利于迁飞性害虫的发生发展。高苹等<sup>[26]</sup>和洗晓青等<sup>[27]</sup>研究发现,太平洋海温与江苏地区两迁害虫迁入量有遥相关关系。近 10 年来,稻纵卷叶螟的发生趋于常态化、复杂化,目前尚未见到关于大气环流对中国稻纵卷叶螟影响方面的系统研究。为此,从大气环流 74 项特征量入手,研究中国稻纵卷叶螟发生的大尺度气候环流背景,探讨其灾变的气候因素,研究稻纵卷叶螟气象预测技术。根据水稻种植制度、稻纵卷叶螟主要发生区分布,对 1980—2014 年中国稻纵卷叶螟发生面积率与上年 1 月到当年 9 月的 74 项环流特征量所有时段的不同组合进行相关性分析,甄选影响中国稻纵卷叶螟发生程度的显著因子及影响时段,构建基于大气环流指数的中国稻纵卷叶螟长期气象预测模型,以实现对中国稻纵卷叶螟发生程度的长期预报,旨在为提高迁飞性害虫预测水平,减轻危害,为保障粮食生产安全提供技术支持和科学依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

中国稻纵卷叶螟资料取自农业农村部全国农业

技术推广服务中心,包括中国稻纵卷叶螟逐年的发生面积、对应造成的水稻产量损失等。中国水稻面积资料取自国家统计局。逐月 74 项大气环流特征量取自国家气候中心,类别包括副热带高压类、极涡类、环流类、槽类以及其他类,各特征量具体分类和含义见文献<sup>[21,25]</sup>及国家气候中心业务指南。南方水稻产区<sup>[19]</sup>的地面气象要素资料取自国家气象中心,包括逐日降水量、平均气温、最高气温、日照时数。所有资料时段为 1980—2016 年。

### 1.2 资料处理

由于稻纵卷叶螟的发生对大气环流的响应具有迟滞效应并考虑到中国不同地区水稻生育期差异,为全面研究 74 项大气环流特征量与稻纵卷叶螟发生面积率的关系,增加预测因子的信息量,采用预测因子膨化技术<sup>[28]</sup>,从上年 1 月至当年 9 月依次按照 1 个月、2 个月等进行所有不同时段组合。通过上年 1—12 月和当年 1—9 月逐月的 74 项大气环流特征量不同时段组合值与当年全国稻纵卷叶螟的发生面积率等进行相关分析,筛选出显著相关的大气环流因子和影响时段,据此建立稻纵卷叶螟发生面积率的预测模型。膨化处理月环流因子时段组合时,其中 4 个特征量(编号为 04,15,26,37)每年 6—9 月 4 个月无资料,不参与时段组合,这些特征量的总有效时段数均为 51 个;3 个特征量(编号为 65,66,70)每年的 6—8 月 3 个月无资料,不参与相关分析,这些特征量的总有效时段数均为 61 个。其他 67 个特征量的时段组合均为 231 个。所有特征量共组合 15864 个大气环流因子。1980—2014 年资料用于建模,2015—2016 年资料用以模型外延预报检验。

计算 74 项大气环流因子各时段组合时,根据 1980—2014 年逐月资料,依次计算每个特征量不同时段组合的历年平均值<sup>[21]</sup>,如 42s3d8 中 s3d8 表示上年 3 月至当年 8 月,42 表示环流特征量编号。南方稻区范围定义根据文献<sup>[19]</sup>,我国稻纵卷叶螟的主要危害区在淮河以南的水稻主产区,气象站点选择依据中国气象地理区划<sup>[29]</sup>,在稻纵卷叶螟常发区、易发区,包括西南(529 个站)、江淮(120 个站)、江汉(57 个站)、江南(472 个站)、华南(249 个站)等主产区共选取 1427 个站,涉及 15 个省(区、市);对于境外虫源迁入途经的华南 3 省/区以及云南省共选取 394 个站,包括云南 127 个站、广西 102 个站、广

东 88 个站、福建 77 个站。计算地面气象要素时,先将逐日平均气温、最高气温、降水量、日照时数处理为月值,与大气环流因子的时段匹配,计算稻区平均气温、气温距平、最高气温、降水量、降水距平、日照时数、日照距平等所需组合的历年平均值。

### 1.3 稻纵卷叶螟发生面积率计算

稻纵卷叶螟与稻飞虱一样,是危害水稻生长发育和产量的重要害虫,因此水稻种植面积决定着稻纵卷叶螟可能发生发展的面积,本研究以中国稻纵卷叶螟发生面积率为研究对象,计算公式<sup>[21]</sup>如下:

$$\hat{y} = \frac{S_c}{S_g} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中, $\hat{y}$  为全国稻纵卷叶螟发生面积率(单位:%), $S_c$  为全国稻纵卷叶螟发生面积(单位: $10^4 \text{ hm}^2$ ), $S_g$  为全国水稻种植面积(单位: $10^4 \text{ hm}^2$ )。

### 1.4 研究方法

#### 1.4.1 气候年型划分方法

考虑到稻纵卷叶螟在中国主要危害南方稻区,而中国南方稻区为世界上水稻产量最高的地区<sup>[19]</sup>,其水稻主要生长季和虫害主发期为 5—9 月,对该阶段进行气候年型划分,分别统计南方 1427 个站、华南 3 省/区及云南省 394 个站 37 年 5—9 月平均气温和累积降水量,参考陈正洪等<sup>[30]</sup>和包云轩等<sup>[19]</sup>冷暖冬(春)、干湿冬(春)等级标准,结合实际气温距平分布,对其进行气候冷暖划分。①水稻主生长季单站冷暖划分标准:主生长季单站平均气温距平  $\Delta T \leq -0.5^\circ\text{C}$ ,定义为单站冷生长季;反之, $\Delta T \geq 0.5^\circ\text{C}$ ,定义为单站暖生长季;若  $-0.5^\circ\text{C} < \Delta T < 0.5^\circ\text{C}$ ,则定义为气温正常生长季。②水稻主生长季区域冷暖划分标准:区域内冷生长季站数与该区域总站数的百分比定义为冷生长季指数  $I_c$ (单位:%),若  $I_c \geq 50\%$ ,则为区域冷生长季;同理,区域内暖生长季站数与该区域总站数的百分比定义为暖生长季指数  $I_w$ (单位:%),若  $I_w \geq 50\%$ ,则为区域暖生长季;若区域内冷生长季指数  $I_c < 50\%$ 且暖生长季指数  $I_w < 50\%$ ,则根据冷生长季单站数和暖生长季单站数对冷暖生长季进行划分,若冷生长季单站数多于暖生长季单站数,则定义为区域正常偏冷生长季,反之,暖生长季单站数多于冷生长季单站数,则定义为区域正常偏暖生长季。利用同样的方法可统计出单站冷生长季、暖生长季和气温正常生长季,并划分出区域冷生长季、暖生长季和区域正常偏冷生长季、区域正常偏

暖生长季。

依据降水量距平进行气候干湿划分。①单站干湿生长季划分标准:单站降水量距平  $\Delta P \leq -10$ ,定义为单站干生长季,反之, $\Delta P \geq 10$ ,定义为单站湿生长季;若  $-10 < \Delta P < 10$ ,则定义为单站降水正常生长季,据此定义出单站干生长季、单站湿生长季和单站降水正常生长季。②区域干湿生长季划分标准:利用与气温相同的方法定义和划分出区域干生长季、区域湿生长季和区域正常偏干生长季、区域正常偏湿生长季。

为了便于总体评价,将区域正常偏冷生长季划归到冷生长季,区域正常偏暖生长季划归到暖生长季;区域正常偏干生长季划归到干生长季,区域正常偏湿生长季划归到湿生长季。

#### 1.4.2 相关分析

稻纵卷叶螟发生面积率与不同时段组合的大气环流特征量之间的相关系数采用 Pearson 相关计算方法,实际得到 15864 个相关系数,在此基础上进行影响因子筛选,大气环流特征量与地面气象要素、以及稻纵卷叶螟发生面积与地面气象要素之间也进行相关分析。相关系数的检验采用双尾  $t$  检验。

#### 1.4.3 因子筛选与模型构建方法

在不同组合时段同项环流特征量因子中优选与稻纵卷叶螟发生面积率相关系数最大、独立性最好的组合,剔除同一特征量中相互关联或包含的其他因子组合。利用该方法筛选出的相关显著的因子,借助统计分析软件 SPSS 14.0 for Windows,建立中国稻纵卷叶螟发生面积率的多元回归预报模型。方差贡献通过  $F$  值 0.001 显著性水平检验的因子则进入模型,否则剔除该因子不进入模型,即纳入方程的因子均为对预报对象有极显著影响的因子。采用 1980—2014 年发生面积率进行模型拟合回代检验,用 2015—2016 年发生面积率预报值与实际值进行对照,对模型的预报准确率进行检验。

中国稻纵卷叶螟发生面积预报为

$$Y_i = \hat{y}_i \cdot S_i \quad (2)$$

式(2)中, $\hat{y}_i$  为第  $i$  年中国稻纵卷叶螟发生面积率预报值(单位:%), $S_i$  为要预测的第  $i$  年中国水稻种植面积(单位: $10^4 \text{ hm}^2$ ), $Y_i$  为第  $i$  年中国稻纵卷叶螟发生面积预报值(单位: $10^4 \text{ hm}^2$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 影响中国稻纵卷叶螟发生面积率的大气环流特征量

#### 2.1.1 影响中国稻纵卷叶螟发生的显著环流特征因子及影响时段

分析发现,74项大气环流特征量中达到0.001,0.01,0.05显著性水平检验的因子数分别为2158,4932,8086个。图1给出了达到0.001显著性水平的显著环流因子和最大相关系数,可见影响中国稻纵卷叶螟发生的显著环流因子有46项,均与稻纵卷叶螟发生关系密切,其中副热带高压(以下简称副高)类环流特征因子显著影响时段数为1245个,显著环流因子有27项,占全部显著环流特征因子的59%;极涡类环流因子显著影响时段数为593个,显著环流因子有10项,占全部显著环流特征因子的22%;环流类因子显著影响时段数为208个,显著环流因子有5项,占全部显著环流特征因子的11%;槽类环流因子显著影响时段数为108个,显著环流因子有3项,占全部显著环流特征因子的6%;其他类环流因子显著影响时段数为4个,显著环流因子有1项,占全部显著环流特征因子的2%。由此可见,北半球大气环流对中国稻纵卷叶螟发生的影响程度从大至小依次为副高类、极涡类、环流类、槽类、其他类,副高类、极涡类显著影响环流因子是中国稻纵卷叶螟发生面积率的主导影响因子,其次为环流类,这与钱拴等<sup>[21]</sup>、于彩霞等<sup>[22]</sup>、白蕤等<sup>[23]</sup>对稻飞

虱发生面积率的研究结论总体一致,不同的是环流类和槽类的影响排序存在差异。副高面积指数、强度指数、槽类、纬向环流指数分别与中国稻纵卷叶螟发生面积率呈正相关,极涡类、经向环流指数、冷空气呈负相关。在副高类因子中,面积指数与中国稻纵卷叶螟发生面积率正相关程度大于强度指数,面积指数11项中有9项(占82%)呈极显著正相关,而强度指数11项中仅有6项(占55%)达到0.001显著性水平。其中,东太平洋副高脊线、大西洋副高北界、极涡类的北半球极涡面积指数、强度指数对稻纵卷叶螟发生面积率的影响显著,最大相关系数分别是-0.7859,-0.7708,-0.7476,-0.7367,均达到极显著相关。不同区域的副高北界和副高脊线中,仅北半球副高脊线、太平洋副高北界与中国稻纵卷叶螟发生程度显著正相关,其余副高北界和副高脊线与中国稻纵卷叶螟发生程度均呈负相关关系。西太平洋副高西伸脊点与中国稻纵卷叶螟发生面积率无显著相关关系,这与钱拴等<sup>[21]</sup>、侯婷婷等<sup>[20]</sup>对稻飞虱的研究不同,原因可能与稻纵卷叶螟和稻飞虱两者的发生规律、生物习性存在差异有关。印度副高面积指数、强度指数与中国稻纵卷叶螟发生面积率无显著相关关系。冬季冷空气与中国稻纵卷叶螟发生面积率呈显著负相关。青藏高原指数与中国稻纵卷叶螟发生面积率呈显著正相关关系。

图2是对图1中46项显著环流特征因子进行显著影响时段统计的结果。由图2可见,上年1月至当年9月环流特征因子对中国当年稻纵卷叶螟发生面积率均有显著的影响,其中当年7—9月、上年

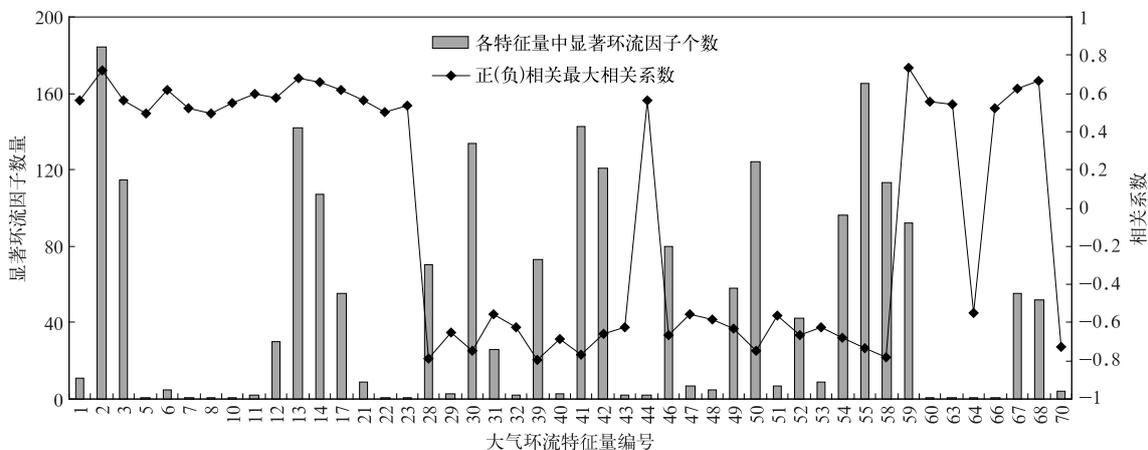


图1 影响中国稻纵卷叶螟发生面积率的大气环流特征量

Fig. 1 Significant circulation characteristic factors influencing the ratio of occurrence area of rice leaf roller in China

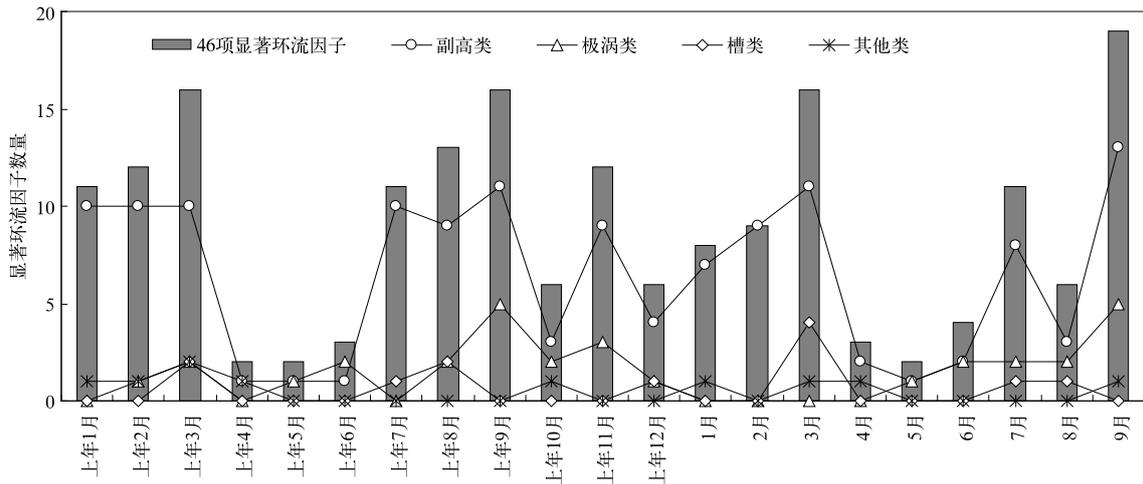


图 2 46 项显著环流特征因子主要影响时段

Fig. 2 Main influencing periods of 46 significant circulation characteristic factors

7 月至当年 3 月为集中影响时段。显著影响环流因子中,对中国稻纵卷叶螟影响最明显的为副高类和极涡类环流因子,副高类环流因子影响最明显的时段为上年 7 月至当年 3 月,其次为当年 7—9 月,极涡类影响较明显时段为上年 5—12 月和当年 5—9 月;影响相对较小的为环流类、槽类和其他类环流特征因子。从上年 1 月至当年 9 月 74 项大气环流特征量各月值与中国稻纵卷叶螟发生面积率的关系分析发现,副高类环流因子仍是中国稻纵卷叶螟发生面积率的主导影响因子,其显著影响因子数占全部有显著影响环流因子的 69%,这与上述将环流因子膨化处理后的不同时段与中国稻纵卷叶螟发生面积率的研究结论一致。

### 2.1.2 影响中国稻纵卷叶螟发生的关键环流特征因子指标

为了使筛选出的关键环流因子指标具有业务实用性,参考钱拴等<sup>[21]</sup>对稻飞虱发生面积率的分级标准,将 1980—2016 年中国稻纵卷叶螟发生面积率的平均值 48.0% 作为参照值,取参照值上下波动的 80% 确定等级间隔,以此标准,中国稻纵卷叶螟发生面积率(y)级别包括: $y < 9.7%$ ,轻发生年; $9.7\% \leq y < 48.0%$ ,偏轻发生年; $48.0\% \leq y \leq 86.3%$ ,偏重发生年; $y > 86.3%$ ,重发生年。根据中国稻纵卷叶螟发生面积率分级类别,计算每个显著环流特征因子相应级别的平均值,判断显著环流因子量值在稻纵卷叶螟轻、偏轻、偏重、重发生时候的差异,筛选出量值差异较为明显的因子作为稻纵卷叶螟发生等级的关键环流指示因子,以指示因子在 4 个发生等级的量值构建稻纵卷叶螟发生等级的指示指标。因子

筛选原则<sup>[23]</sup>如下: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,只挑选其中对稻纵卷叶螟发生影响最显著的一个指数;对于同一指数的多个时段,只筛选差异最显著、持续时间相对长的时段。据此原则选取的关键环流特征因子共 10 个,具体因子和等级指示指标见表 1 所示。

由表 1 可见,亚洲区和太平洋区极涡强度指数、南海副高脊线、南海和东太平洋副高北界、亚洲经向环流指数对稻纵卷叶螟影响均为负效应,北半球副高强度指数、东亚槽强度、西藏高原指数均为正效应。10 个关键环流特征因子的分级指标具有明显的规律性,均表现为正相关的因子值越大,中国稻纵卷叶螟发生为偏重或重级;值越小,中国稻纵卷叶螟发生为偏轻或轻级;负相关的因子结果正相反,负相关的因子值越大,中国稻纵卷叶螟发生越趋轻级,反之亦然。以上年 3—8 月太平洋区极涡强度指数、上年 9—10 月东亚槽强度为例,在全国稻纵卷叶螟发生面积率高的重发年,上年 3—8 月太平洋区极涡强度指数较多年平均值(47)约偏小 4,上年 9—10 月东亚槽强度较多年平均值(269)约偏大 15,落区均在重发等级范围,量值表达发生等级差异明显,以此类推筛选稻纵卷叶螟发生等级的环流指示因子。其中上年 10 月至当年 1 月亚洲区极涡强度指数、上年 3—8 月和当年 5—6 月太平洋区极涡强度指数、上年 1 月至当年 9 月南海副高脊线、上年 7—10 月北半球副高强度指数、当年 2—3 月亚洲经向环流指数、上年 9—10 月东亚槽强度、上年 3 月至当年 8 月南海副高北界等 7 个关键环流特征因子不同级别的指标值指示性最好,显著表达了每个发生级别的差异实况。

表1 影响中国稻纵卷叶螟不同发生面积率级别的关键环流特征因子指标

Table 1 Key circulation characteristic factors for different occurrence levels of rice leaf roller in China

关键环流特征因子	关键环流特征因子含义	稻纵卷叶螟发生面积率等级指标			
		轻	偏轻	偏重	重
51s10d1	上年10月至当年1月亚洲区极涡强度指数	86	83	78	74
52s3s8	上年3—8月太平洋区极涡强度指数	53	50	46	44
52d5d6	当年5—6月太平洋区极涡强度指数	49	45	41	35
31s1d9	上年1月至当年9月南海副高脊线	18	16	13	10
12s7s10	上年7—10月北半球副高强度指数	183	240	330	391
66s9s10	上年9—10月东亚槽强度	257	264	275	281
42s3d8	上年3月至当年8月南海副高北界	22	20	16	10
64d2d3	当年2—3月亚洲经向环流指数	71	68	62	57
68d3d4	当年3—4月西藏高原指数	689	701	720	732
39d2d3	当年2—3月东太平洋副高北界	22	15	4	0

注:亚洲区和太平洋区极涡强度指数、南海副高脊线和副高北界、亚洲经向环流指数、东太平洋副高北界与中国稻纵卷叶螟发生面积率均呈显著负相关关系;北半球副高强度指数、东亚槽强度、西藏高原指数与之则均呈显著正相关关系;且上述相关系数均达到0.001的显著性水平(样本量为35)。

## 2.2 中国稻纵卷叶螟发生面积率长期预报模型的建立及效果检验

中国自南向北均种植有水稻,一年中生长季节较长,其中海南1月就开始水稻播种育秧,之后2—3月南方双季稻区开始早稻育秧、西南地区开始一季稻播种育秧,6—7月华南和江南陆续开始收获早稻、播种晚稻,秋季中后期全国一季稻、南方晚稻逐渐收获完毕,因此建立全国稻纵卷叶螟动态预测模型对指导水稻生产、做好虫害防控有重要意义。基于表1中可供建模的10个关键大气环流因子,利用回归分析方法,建立年前、年后稻纵卷叶螟发生面积率的多元回归动态预测模型。年前发生面积率预测模型基于上年1—12月的关键环流因子建立,年后预测模型利用上年1月至当年9月的关键环流因子建立,分别在当年1月、3—10月的每月初发布预报(表2),所建模型见表3。各月预报模型除6月模

型与5月相同、8月模型与7月相同外,其余模型均在上一个月的基础上引入新的关键环流因子,实现了模型动态预报和结果更新。

表2 中国稻纵卷叶螟发生面积率模型预报时间和所用因子时段

Table 2 Prediction time and periods of prediction factors in prediction models of the ratio of occurrence area of rice leaf roller in China

模型	预报时间	所用因子时段
1	当年1月初	上年1—12月
2	当年3月初	上年1月至当年2月
3	当年4月初	上年1月至当年3月
4	当年5月初	上年1月至当年4月
5	当年6月初	上年1月至当年5月
6	当年7月初	上年1月至当年6月
7	当年8月初	上年1月至当年7月
8	当年9月初	上年1月至当年8月
9	当年10月初	上年1月至当年9月

表3 中国稻纵卷叶螟发生面积率的长期动态预测模型

Table 3 Prediction models of the ratio of occurrence area of rice leaf roller in China for Jan, Mar to Oct

模型	预报模型	关键环流因子				复相关系数
		$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	
1	$\hat{y}=41.48-1.33x_1+0.25x_2+0.05x_3-1.09x_4$	52s3s8	66s9s10	12s7s10	41s11s12	0.8483
2	$\hat{y}=57.13-1.34x_1+0.20x_2+0.10x_3-1.74x_4$	52s3s8	66s9s10	12s7s10	42s3d2	0.8602
3	$\hat{y}=86.81-1.29x_1+0.23x_2-1.48x_3-0.39x_4$	52s3s8	66s9s10	39d2d3	64d2d3	0.8705
4	$\hat{y}=-150.80-1.30x_1+0.27x_2-1.56x_3+0.28x_4$	52s3s8	66s9s10	28d2d3	68d3d4	0.8665
5	$\hat{y}=-150.80-1.30x_1+0.27x_2-1.56x_3+0.28x_4$	52s3s8	66s9s10	28d2d3	68d3d4	0.8665
6	$\hat{y}=97.73-1.12x_1+0.16x_2-1.40x_3-0.66x_4$	52s3s8	66s9s10	39d2d3	52d5d6	0.8662
7	$\hat{y}=97.73-1.12x_1+0.16x_2-1.40x_3-0.66x_4$	52s3s8	66s9s10	39d2d3	52d5d6	0.8662
8	$\hat{y}=86.44-1.60x_1+0.15x_2+0.09x_3-1.72x_4$	52s3s8	66s9s10	12s7s10	42s3d8	0.8690
9	$\hat{y}=124.01-0.21x_1-0.87x_2+0.13x_3-2.84x_4$	51s10d1	64d2d3	12s7s10	31s1d9	0.8695

注:模型1~9中,各回归方程的复相关系数均达到0.001显著性水平(样本量为35)。

利用表3中模型,对1980—2014年中国稻纵卷叶螟发生面积率进行了历史回代拟合检验,各月预报模型历史回代拟合准确率大部分在85%以上,模型对偏重发生年份(发生面积率不低于48%)拟合准确率也多在85%以上,拟合较好;仅极端发生年份准确率略偏低,如1984年发生面积率(21.9%)为1980年以来最低、2007年发生面积率(90.4%)为历史最高,各月模型拟合准确率为50%~70%(表4);

模型对2015—2016年的外推预测准确率分别达到了75%以上,2015年和2016年年初、3—10月各月的外推预测两年平均准确率分别达到86.6%,90.5%,91.8%,93.4%,93.4%,94.0%,94.0%,94.3%,95.4%(表5)。模型历史拟合和外推预测效果较好。该组预测模型实现了中国水稻产前、产中稻纵卷叶螟发生面积率和发生面积的动态预报。

表4 1980—2014年中国稻纵卷叶螟发生面积率逐月预测模型回代拟合准确率

Table 4 The hindcast accuracy of prediction models of the ratio of occurrence area of rice leaf roller in China from 1980 to 2014

模型	预报时间	最大准确率/%	最小准确率/%	平均准确率/%
1	当年1月初	99.4	55.5	83.7
2	当年3月初	99.7	59.7	85.2
3	当年4月初	99.2	60.8	86.1
4	当年5月初	99.5	55.2	85.2
5	当年6月初	99.5	55.2	85.2
6	当年7月初	99.5	58.4	87.6
7	当年8月初	99.5	58.4	87.6
8	当年9月初	99.9	65.6	85.5
9	当年10月初	99.7	65.8	86.1

表5 2015—2016年中国稻纵卷叶螟发生面积率逐月预测模型外推预测准确率

Table 5 The extrapolated accuracy of prediction models of the ratio of occurrence area of rice leaf roller in China from 2015 to 2016

模型	预报时间	2015年准确率/%	2016年准确率/%	两年预测平均准确率/%
1	当年1月初	81.9	91.2	86.6
2	当年3月初	91.7	89.3	90.5
3	当年4月初	94.1	89.4	91.8
4	当年5月初	94.9	91.9	93.4
5	当年6月初	94.9	91.9	93.4
6	当年7月初	95.6	92.4	94.0
7	当年8月初	95.6	92.4	94.0
8	当年9月初	95.2	93.5	94.3
9	当年10月初	97.9	92.9	95.4

## 2.3 大气环流影响中国稻纵卷叶螟发生的机制

### 2.3.1 南方稻纵卷叶螟发生面积与全国发生面积的关系

相关分析发现,中国稻纵卷叶螟发生面积与导致的实际产量损失之间存在极显著的正相关关系(图3)。30多年来(1980—2016年),全国稻纵卷叶螟发生面积呈明显的增加趋势,尤其21世纪以来发生面积和危害程度明显加剧,发生面积增加速率为281.5万公顷次/(10 a),20世纪80年代发生面积最低,21世纪前10年最高,2011—2016年又有所减

少。通过分析2011—2016年南方15省(区、市)稻纵卷叶螟发生面积在全国稻纵卷叶螟发生面积中占比的年际变化发现,在2011—2016年全国稻纵卷叶螟发生面积有所减少的情况下,南方稻纵卷叶螟发生面积占比仍在85.0%~99.8%之间,表明南方稻纵卷叶螟发生面积直接决定着中国稻纵卷叶螟发生面积,因此揭示大气环流与南方稻纵卷叶螟主发期稻区生态气象条件的关系,对探讨大气环流影响中国稻纵卷叶螟发生的机制尤为重要。

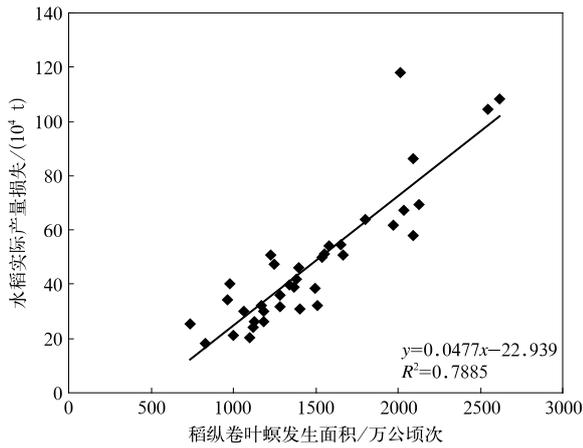


图3 中国稻纵卷叶螟发生面积与实际水稻产量损失散点图

Fig. 3 The scatter plot between the occurrence area of rice leaf roller and the corresponding loss of rice production in China

2.3.2 大气环流对中国稻纵卷叶螟发生的可能影响机制

对影响中国稻纵卷叶螟发生面积率的10项关键环流因子、中国稻纵卷叶螟发生面积、发生面积率分别与南方稻纵卷叶螟当年主发期(5—9月)的平

均气温、气温距平、平均最高气温、降水量、降水距平、日照时数、日照距平等的相关分析表明:关键环流因子与南方稻区稻纵卷叶螟主发期的水热条件、光照等气象条件关系密切,其中亚洲区和太平洋区极涡强度指数、南海副高脊线和副高北界、东太平洋副高北界与南方5—9月最高气温、平均气温、气温距平均呈显著负相关关系,东亚槽强度、西藏高原指数与之相反,呈显著正相关关系,亚洲经向环流指数与南方5—9月降水量、降水量距平呈显著正相关关系;南方5—9月光、温、水与环流关键因子的相关程度从大到小为温度类、降水类和日照类。中国稻纵卷叶螟发生面积、发生面积率与南方稻区5—9月平均气温、平均最高气温之间均存在极显著的正相关关系(图4),这是因为1980—2016年南方每年5—9月的平均气温、平均最高气温多在稻纵卷叶螟各虫态发育的适宜温度范围19~31℃之间<sup>[13,31]</sup>,适温范围内,温度越高,种群发育速率越快,完成一个虫期或世代历时越短,种群增长指数越大<sup>[31-33]</sup>,导致虫害发生面积越大。表明5—9月南方稻区生境热量条件总体适于稻纵卷叶螟的发生发展。对中国稻纵卷叶螟发生面积率较大年份的南方15省(区、市)和境

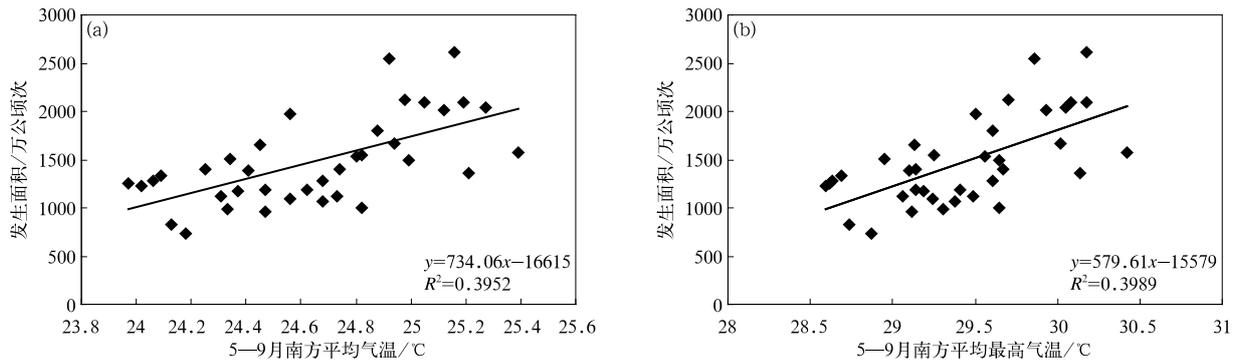
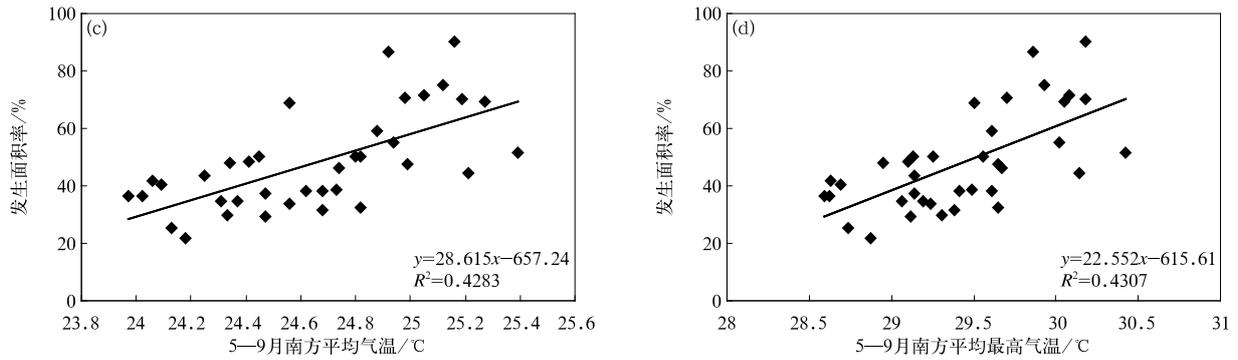


图4 中国稻纵卷叶螟发生面积、发生面积率与当年5—9月南方平均气温、平均最高气温散点图

(a)中国稻纵卷叶螟发生面积与5—9月南方平均气温散点图,(b)中国稻纵卷叶螟发生面积与5—9月南方平均最高气温散点图,(c)中国稻纵卷叶螟发生面积率与5—9月南方平均气温散点图,(d)中国稻纵卷叶螟发生面积率与5—9月南方平均最高气温散点图

Fig. 4 Scatter plots between the occurrence area, the ratio of occurrence area of rice leaf roller in China and the average temperature, the average maximum temperature in South China from May to Sep (a)the scatter plot between the occurrence area of rice leaf roller in China and the average temperature in South China from May to Sep,(b)the scatter plot between the occurrence area of rice leaf roller in China and the average maximum temperature in South China from May to Sep,(c)the scatter plot between the ratio of occurrence area of rice leaf roller in China and the average temperature in South China from May to Sep,(d)the scatter plot between the ratio of occurrence area of rice leaf roller in China and the average maximum temperature in South China from May to Sep



续图 4

外虫源迁入途经 4 省(华南 3 省/区及云南省)5—9 月的温湿条件、年型特征分析(表 6)表明:稻纵卷叶螟发生面积率较大的年份主要出现在干暖年和湿暖年,其次是湿冷年;南方 4 省(华南 3 省/区及云南省)如果出现干冷年型,则稻纵卷叶螟发生较大面积率的可能性较低,这与包云轩等<sup>[19]</sup>对中南半岛前期

干冷气候易导致我国南方稻飞虱偏轻发生的研究结论一致,也与稻纵卷叶螟是一种趋湿性迁飞害虫<sup>[6]</sup>的生理特性一致。即大气环流影响稻区的水热、光照等条件,水热及光照条件又影响稻纵卷叶螟的发生发展,三者之间存在密切的关联影响机制。

表 6 1980—2016 年稻纵卷叶螟发生面积率较大年份的年型特征

Table 6 The year type for larger ratios of the occurrence area of rice leaf roller in China from 1980 to 2016

区域	年型	偏重发生年份	偏重发生年数	各年型年数	各年型偏重发生年份占比/%
南方 15 省 (区、市)	干冷年	1991,2004	2	9	22
	干暖年	2003,2006,2007,2009, 2011,2013	6	9	67
	湿冷年	1999,2002	2	8	25
	湿暖年	2005,2008,2010,2012, 2014,2015	6	11	55
南方 4 省 (华南 3 省/区 及云南省)	干冷年	2004	1	11	9
	干暖年	1991,2003,2007,2009, 2011,2012	6	9	67
	湿冷年	1999,2002	2	9	22
	湿暖年	2005,2006,2008,2010, 2013,2014,2015	7	8	88

注:以稻纵卷叶螟发生面积率不低于 48% 定为偏重发生年份。

### 3 讨论

分析表明:亚洲区和太平洋区极涡强度指数与中国稻纵卷叶螟发生面积率均呈显著负相关,亚洲区和太平洋区极涡强度指数小,稻纵卷叶螟发生面积率偏高。在稻纵卷叶螟发生面积率等级为偏重至重发等级的 16 年中,除 1991 年、1999 年外,其他年份均对应的是亚洲区极涡强度指数偏弱年;除 2012 年、2013 年外,均对应的是太平洋区极涡强度指数偏弱年。21 世纪初至 2011 年,亚洲区和太平洋区

极涡强度持续偏弱,稻纵卷叶螟发生面积率等级持续偏重。南海副高脊线、亚洲经向环流指数与中国稻纵卷叶螟发生面积率均呈显著负相关。这与钱拴等<sup>[21]</sup>和于彩霞等<sup>[22]</sup>对中国稻飞虱的研究结果相符,说明极涡强度指数、南海副高脊线、亚洲经向环流指数对水稻迁飞性害虫稻纵卷叶螟、稻飞虱发生的影响均为负效应。负相关的因子值越大,中国稻纵卷叶螟发生越趋轻级;负相关的因子值越小,中国稻纵卷叶螟发生越趋重级。

分析还发现,关键环流因子、稻区地面气象条件和稻纵卷叶螟发生面积、发生面积率之间存在较好

的关联影响机制,大气环流影响稻区的水热以及光照等条件,水热及光照条件又影响稻纵卷叶螟的发生发展;各类环流因子中,副高类因子与中国稻纵卷叶螟发生面积率的相关关系最为密切。这与前人已有的研究结论吻合,IPCC第5次评估报告表明:近130年全球年平均表面温度升高了 $0.85^{\circ}\text{C}$ ,1983—2012年是过去1400年中最暖的30年<sup>[34]</sup>,而气候变暖可使大部病虫害发育历期缩短、危害期延长,害虫种群增长力增加<sup>[35]</sup>。本研究分析发现,自20世纪80年代以来,5—9月中国南方稻区的热量条件总体处于稻纵卷叶螟的适宜生境条件范围,故气象条件有助于促进稻纵卷叶螟危害加重,这也是21世纪初至2015年中国稻纵卷叶螟持续偏重发生的原因。另外,西北太平洋副高是影响我国夏季降水异常的大尺度环流系统,其稳定维持与南北摆动、东西进退等对中国东部雨带位置变化起决定作用<sup>[36-38]</sup>,且大尺度环流的低频变化会引起华南前汛期降水的低频变化,进而影响前汛期持续性暴雨发生频次、持续时间和强度<sup>[39]</sup>,而稻纵卷叶螟的迁飞、降落和大气环流关系极为密切<sup>[5,14-16]</sup>,适温、高湿和强降水及良好的寄主环境易导致稻纵卷叶螟大发生<sup>[17-18]</sup>。

南方4省(华南3省/区及云南省)干冷年型常导致稻纵卷叶螟发生面积偏小、发生程度偏轻,这是由于干冷年型气象条件不利于境外迁飞性虫源大量迁入境内且迁入后也不适宜存活所致<sup>[19]</sup>。此外,稻纵卷叶螟的发生程度除与气象因素有关外,还与虫源基数、水稻品种、种植方式、水稻长势、防治技术等因素有关。由于稻纵卷叶螟迁飞和发生发展的机理和影响因素复杂,综合多因素的影响机制研究还有待今后进一步深化。

## 4 结 论

利用全国稻纵卷叶螟逐年发生面积率,基于74项大气环流特征量和因子膨化处理技术,构建了上年1月至当年9月所有不同时段组合,筛选出影响中国稻纵卷叶螟发生的显著环流因子;结合相应的水稻产量损失资料和南方15省(区、市)地面气象资料,探讨了大气环流对中国稻纵卷叶螟发生发展的可能影响机制,得到以下主要结论:

1) 46项大气环流因子与稻纵卷叶螟发生关系密切,其影响程度由大至小排序依次为副高类、极涡类、环流类、槽类、其他类。副高类、极涡类显著影响

环流因子分别占全部有显著影响环流特征因子的59%,22%,是中国稻纵卷叶螟发生面积率的主导影响因子。大气环流影响中国稻纵卷叶螟发生的时段主要为当年7—9月,其次是上年的7月至当年3月。

2) 按中国稻纵卷叶螟发生面积率 $y < 9.7\%$ ,  $9.7\% \leq y < 48.0\%$ ,  $48.0\% \leq y \leq 86.3\%$ ,  $y > 86.3\%$  4个发生级别,确定了影响中国稻纵卷叶螟发生的关键环流因子指标共10项。其中亚洲区极涡强度指数、太平洋区极涡强度指数、南海副高脊线、北半球副高强度指数、亚洲经向环流指数、东亚槽强度和南海副高北界7个关键环流指标值指示性最好,显著表达了每个发生级别的差异实况。

3) 利用筛选的10项关键环流因子作为预测因子,建立了水稻产前、产中共9个中国稻纵卷叶螟发生面积率月动态预测模型,预报时间为当年1月初、3—10月每月的月初。模型在上月的基础上动态地引入新环流预测因子,实现了模型动态预报和预测结果更新。各月动态预测模型的历史拟合准确率大部年份在85%以上,对2015年、2006年外延预测准确率均在75%以上,两年外延预测平均准确率分别达到了86.6%,90.5%,91.8%,93.4%,93.4%,94.0%,94.0%,94.3%,95.4%,逐月动态预报准确率逐渐提高,模型可支持业务服务。

4) 关键环流因子与南方稻区5—9月的平均气温、气温距平、最高气温、降水量、降水距平等气象条件显著相关,中国稻纵卷叶螟发生面积、发生面积率与当年南方稻区5—9月平均气温、平均最高气温呈极显著正相关,稻纵卷叶螟发生面积率较大年份主要出现在干暖年和湿暖年,湿冷年次之,干冷年发生程度最轻。大气环流对中国稻纵卷叶螟发生的可能影响机制为大气环流影响稻区水热、光照等条件,水热及光照条件进而影响稻纵卷叶螟的发生发展。

## 参 考 文 献

- [1] 李传明,徐健,杨亚军,等.人工饲料饲养稻纵卷叶螟的生长发育与繁殖.中国水稻科学,2011,25(3):321-325.
- [2] 包云轩,曹云,谢晓金,等.中国稻纵卷叶螟发生特点及北迁的大气背景.生态学报,2015,35(11):3519-3533.
- [3] 李照会.农业昆虫与鉴定.北京:中国农业出版社,2002:205.
- [4] 王凤英,胡高,陈晓,等.近年来广西南宁稻纵卷叶螟大发生原因分析.中国水稻科学,2009,23(5):537-545.
- [5] 全国稻纵卷叶螟研究协作组.我国稻纵卷叶螟迁飞规律研究进展.中国农业科学,1981(5):1-8.

- [6] 王翠花,包云轩,王建强,等. 2003年稻纵卷叶螟大发生的水汽条件分析. *应用生态学报*, 2006, 17(9): 1693-1698.
- [7] 姜淦,王茹琳,王闫利,等. 基于气候变化的稻纵卷叶螟在我国的风险区预测与分析. *气象与环境科学*, 2017, 40(3): 21-27.
- [8] 陆明红,刘万才,胡高,等. 中越水稻迁飞性害虫稻飞虱、稻纵卷叶螟发生关系分析. *植物保护*, 2018, 44(3): 31-36.
- [9] 周广胜,何奇瑾,汲玉河. 适应气候变化的国际行动和农业措施研究进展. *应用气象学报*, 2016, 27(5): 527-533.
- [10] 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. *自然灾害学报*, 2002, 11(1): 97-102.
- [11] Masahiko Morishita. A possible relationship between outbreaks of rice planthoppers in Japan and the El Niño phenomenon. *Plant Epidemic Prevention*, 1992, 46(5): 11-13.
- [12] Wood C R, Chapman J W, Reynolds D R, et al. The influence of the atmospheric boundary layer on nocturnal layers of noctuids and other moths migrating over southern Britain. *Int J Biometeor*, 2006, 50(4): 193-204.
- [13] Park H H, Ahn J J, Park C G. Temperature-dependent development of *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée (Lepidoptera: Pyralidae) and their validation in semi-field condition. *J Asia-Pac Entomol*, 2014(17): 83-91.
- [14] 翟保平,张孝羲. 迁飞过程中昆虫的行为:对风温场的适应与选择. *生态学报*, 1993, 13(4): 356-363.
- [15] 翟保平,张孝羲. 稻纵卷叶螟标记蛾迁飞轨迹的数值模拟. *西南农业大学学报*, 1998, 20(5): 528-535.
- [16] 谈涵秋,毛瑞曾,程极益,等. 褐飞虱远距离迁飞中的降落和垂直气流、降雨的关系. *南京农学院学报*, 1984(2): 18-25.
- [17] 王翠花,包云轩,王建强,等. 2003年稻纵卷叶螟重大迁入过程的大气动力机制分析. *昆虫学报*, 2006, 49(4): 604-612.
- [18] 包云轩,王永平,严明良,等. 2003年我国稻纵卷叶螟发生特征及其灾变大气背景的研究. *气象科学*, 2008, 28(2): 184-189.
- [19] 包云轩,唐辟如,孙思思,等. 中南半岛前期异常气候条件对中国南方稻区褐飞虱灾变性迁入的影响及其预测模型. *生态学报*, 2018, 38(8): 2934-2947.
- [20] 侯婷婷,霍治国,卢志光,等. 副热带高压与中国稻飞虱发生关系的研究. *自然灾害学报*, 2003, 12(2): 213-219.
- [21] 钱拴,霍治国. 大气环流对中国稻飞虱为害的影响及其预测. *气象学报*, 2007, 65(6): 994-1002.
- [22] 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. *生态学杂志*, 2014, 33(4): 1053-1060.
- [23] 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. *江苏农业科学*, 2017, 45(15): 80-85.
- [24] 侯英雨,张蕾,吴门新,等. 国家级现代农业气象业务技术发展. *应用气象学报*, 2018, 29(6): 641-656.
- [25] 霍治国,范雨娟,杨建莹,等. 中国农业洪涝灾害研究进展. *应用气象学报*, 2017, 28(6): 641-653.
- [26] 高苹,武金岗,杨荣明,等. 江苏省稻纵卷叶螟迁入期虫情指标与西太平洋海温的遥相关及其长期预报模型. *应用生态学报*, 2008, 19(9): 2056-2066.
- [27] 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量与太平洋海温场的遥相关及其可能机制. *昆虫学报*, 2007, 50(6): 578-587.
- [28] 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. *自然灾害学报*, 2006, 15(6): 109-113.
- [29] 中国气象局预测减灾司,中国气象局国家气象中心. *中国气象地理区划手册*. 北京:气象出版社:2006.
- [30] 陈正洪,马德栗. 湖北省1961—2008年冷冬时空变化特征//中国气象局国家气候中心暨气候研究开放实验室2010年度学术年会论文集. 北京:国家气候中心,中国气象局气候研究开放实验室,2011.
- [31] 秦钟,章家恩,骆世明,等. 温度影响下的稻纵卷叶螟实验种群动态的系统动力学模拟. *中国农业气象*, 2011, 32(2): 303-310.
- [32] Wan Nianfeng, Ji Xiangyun, Cao Liming, et al. The occurrence of rice leaf roller, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée in the large-scale agricultural production on Chongming Eco-island in China. *Ecol Eng*, 2015, 77: 37-39.
- [33] Gu Lingling, Li Mingzhu, Wang Gaorong, et al. Multigenerational heat acclimation increases thermal tolerance and expression levels of Hsp70 and Hsp90 in the rice leaf folder larvae. *J Therm Biol*, 2019, 81: 103-109.
- [34] 王玉洁,周波涛,任王玉,等. 全球气候变化对我国气候安全影响的思考. *应用气象学报*, 2016, 27(6): 750-758.
- [35] 霍治国,李茂松,王丽,等. 气候变暖对中国农作物病虫害的影响. *中国农业科学*, 2012, 45(10): 1926-1934.
- [36] 谭桂容,范艺媛,牛若芸. 江淮地区强降水分型及其环流演变. *应用气象学报*, 2018, 29(4): 396-409.
- [37] 王月,张强,顾西辉,等. 淮河流域夏季降水异常与若干气候因子的关系. *应用气象学报*, 2016, 27(1): 67-74.
- [38] 晏红明,王灵. 西北太平洋副高东西变动与西南地区降水的关系. *应用气象学报*, 2019, 30(3): 360-375.
- [39] 陈思,高建芸,黄丽娜,等. 华南前汛期持续性暴雨年代际变化特征及成因. *应用气象学报*, 2017, 28(1): 86-97.

## Long-term Meteorological Prediction Model on the Occurrence and Development of Rice Leaf Roller Based on Atmospheric Circulation

Wang Chunzhi<sup>1)</sup> Zhang Lei<sup>1)</sup> Guo Anhong<sup>1)</sup> Li Xuan<sup>1)</sup> Liu Wei<sup>1)</sup>  
Zhuang Liwei<sup>1)</sup> Lu Minghong<sup>2)</sup> Lü Houquan<sup>1)</sup> Bao Yunxuan<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> (National Meteorological Center, Beijing 100081)

<sup>2)</sup> (National Agro-Technical Extension and Service Center, Beijing 100125)

<sup>3)</sup> (Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

### Abstract

To understand the possible influencing mechanism of atmospheric circulation on the occurrence and development of rice leaf roller in China, relationships between atmospheric circulation characteristic indices and ratios of the occurrence area of rice leaf roller in China are fully analyzed from 1980 to 2016. 74 atmospheric circulation characteristic indices and their combinations are analyzed by factor puffing. Results show that 46 indices of these atmospheric circulation characteristic ones have significant influences on the ratio of occurrence area of rice leaf roller, and main influencing periods are from July to September, as well as last July to March. Indices of subtropical high category are most influential, followed by polar vortex category, circulation category, trough category and then others. Among 46 significant atmospheric circulation characteristic factors, 27 subtropical high factors and 10 polar vortex factors, accounting for 59% and 22% of the total, respectively, are the main factors influencing the ratio of the occurrence area of rice leaf roller. 10 key atmospheric circulation characteristic indices that directly influence the ratio of occurrence area of rice leaf roller are determined, and 7 of them have great change at 4 occurrence levels of rice leaf roller as light, partially light, partially severe and severe. 9 prediction models for ratios of the occurrence area of rice leaf roller are established to predict at the beginning of January and March to October. The hindcast of 9 models from 1980 to 2014 are good and accuracies in extending prediction years of 2015—2016 are 86.6%, 90.5%, 91.8%, 93.4%, 93.4%, 94.0%, 94.0%, 94.3% and 95.4%, respectively. Key atmospheric circulation characteristic factors represent climate background for the occurrence area of rice leaf roller very well in China. In the rice-planted area the atmospheric circulation influences the temperature, precipitation, etc., and thus affects the ratio of occurrence area of rice leaf roller. The ratio of the occurrence area of rice leaf roller in dry-warm and wet-warm years is usually larger than that in dry-cold years.

**Key words:** *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée; occurrence area of rice leaf roller; atmospheric circulation; prediction model