

大气环流对中国稻飞虱危害的影响及其预测^{*}

钱 拴¹ 霍治国²

1 国家气象中心,北京,100081

2 中国气象科学研究院,北京,100081

摘 要

稻飞虱是中国和许多亚洲国家水稻生产上最重要的害虫。文中通过对上一年 1 月至当年 8 月 74 项大气环流特征量构建所有不同时段组合,全面分析了大气环流特征量与中国稻飞虱发生面积率的相关关系。筛选出了影响中国稻飞虱发生面积率的关键环流特征因子 52 项,其对中国稻飞虱发生影响的重要次序为副热带高压类→极涡类→槽类→其他类;影响的时段主要为当年 7—8 月,其次为上年 6 月至当年 6 月。其中,副热带高压类、极涡类关键环流因子分别有 35 项和 12 项,占全部关键环流特征因子的 67% 和 23%,在很大程度上决定着中国稻飞虱发生的面积。确定的直接影响中国稻飞虱发生的关键环流特征因子有 11 项,其中 6 项较好地表征了中国稻飞虱发生面积率轻、偏轻、偏重、重 4 个级别的气候特征。用直接影响中国气候的关键环流特征因子建立了当年 3—9 月的中国稻飞虱发生面积率月预测模式,每月初可以制作预报。该模式历史拟合效果较好,对 2003 年中国稻飞虱发生面积率的外延预报准确率分别达 85.6%、90.5%、90.5%、90.4%、90.9%、93.2%、96.3%。同时,本研究还利用 1—11 月稻区月降水量、平均气温、日照时数所构建的所有不同时段组合,分析了关键环流特征因子与稻区生态气象条件、中国稻飞虱发生面积率之间的关系。结果表明:三者之间相关密切,这种关系表现为大气环流通过影响稻区日照、气温和降水的变化导致稻飞虱发生条件的突变,进而影响稻飞虱发生面积率。

关键词: 稻飞虱发生面积率, 大气环流, 长期预测。

1 引 言

稻飞虱是中国和许多亚洲国家水稻生产上最重要的害虫,其具有“国际性、迁飞性、爆发性、毁灭性”的特点。中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密切的关系,其中迁入虫量是决定其发生轻重的关键^[1-2]。中国稻飞虱的来源大致有 3 支^[2-3]: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;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,中国稻飞虱的发生与大尺度气候环流背景密切相关,其中适宜的大气环流场是中国稻

飞虱迁飞的动力和载体,地面适宜的生态气象环境是稻飞虱降落、繁衍发展的必要条件。因此,研究中国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,对于增强防御稻飞虱灾害的能力十分重要。

20 世纪 70 年代以来,国外在天气、气候对农业虫害的影响方面进行了较为系统的研究。如:爱尔兰 Cunningham^[4]和澳大利亚 Drake^[5]研究认为温、湿、风等气象要素是决定昆虫发生发展的主要因素;Mills^[6]认为水稻害虫会顺风迁飞,在盛行的夏季风和季风中沿宽阔的轨迹向北迁移。1992 年日本学者森下正彦^[7]对日本近 100 年褐飞虱大发生与厄尔尼诺的关系进行了研究,认为厄尔尼诺的次年为日本褐飞虱大发生年。近几年来,中国学者开展了稻

^{*} 初稿时间:2006 年 7 月 7 日;修改稿时间:2006 年 11 月 6 日。

资助课题:国家“十五”科技攻关项目“农林重大病虫害和农业气象灾害的预警及控制技术”(2004BA509B01)、中国气象局新技术推广项目(CMATG2005Z02)。

作者简介:钱拴,主要从事全国农业与生态气象研究和服务工作。E-mail:Qians@cma.gov.cn

飞虱发生的气候背景研究。侯婷婷等^[8]研究认为西太平洋副热带高压强度是影响中国稻飞虱发生的重要因素。霍治国、侯婷婷等^[2-3]总结了有关稻飞虱发生与气候条件的关系,认为稻飞虱的迁飞与高空风、空中温度分布、湿度大小、迁入期降雨多少和强度大小有很好的关系;气候变暖将使稻飞虱在中国的全年可繁殖天数增加,越冬北界北移、向北迁出的时间提前,向南回迁的时间推迟等;西太平洋副热带高压的位置及强度的变化与中国稻飞虱的迁飞、种群发展密切相关;南方涛动强烈异常的当年,中国稻飞虱常为大发生年;厄尔尼诺的次年中国稻飞虱有可能严重发生。已有的研究较好地揭示了稻飞虱发生与某些气候条件的关系,建立的预报模式也较好地反映了某些气候要素对中国稻飞虱发生的影响,如侯婷婷等利用西太平洋副热带高压的 5 项指标建立了中国稻飞虱发生面积率预报模式。本研究拟从全面反映大气环流的 74 项特征量入手,根据中国水稻种植制度和区域分布,探索大尺度环流背景对中国稻飞虱发生的影响关系,以此为基础建立中国稻飞虱发生面积中长期预报模式,开展服务,以便及早做好防御工作,减轻稻飞虱的危害和损失。

2 资料来源及处理方法

2.1 资料来源

中国稻飞虱发生面积资料由两部分组成,其中 1961—1999 年取自《中国植物保护五十年》,2000—2003 年取自农业部中国农业技术推广服务中心。中国水稻面积资料来自中国国家统计局,资料时段为 1961—2003 年。74 项大气环流特征量逐月资料取自中国国家气候中心,含义见国家气候中心业务指南。类别包括:(1)副热带高压类,11 个区副热带高压强度和位置(编号 01—45);(2)极涡类,5 个区极涡强度和位置(编号 46—57);(3)环流类,环流型及环流指数(编号 58—64);(4)槽类,几种槽的位置与强度(编号 65—69);(5)其他类,包括冷空气、台风、太阳黑子及南方涛动指数(编号 70—74),时段为 1960—2003 年。中国水稻产区的地面气象资料取自中国国家气象中心,包括旬降水量、旬平均气温、旬日照时数。

2.2 资料处理方法

2.2.1 水稻产区地面气象代表站的选择

中国水稻种植区域很广,种植熟制和时间不同,

生态气象条件差异很大。一季稻(中稻)主要种植在东北地区东部、江淮、江汉和西南地区,双季早稻和晚稻主要种植在江南和华南地区。江南南部、华南北部和西南地区东南部为稻飞虱重发区;江淮、江汉、江南中北部、华南南部以及云贵高原和重庆大部分地区为稻飞虱常发区;东北地区东南部、西北地区东南部、华北、黄淮以及西南地区中部和北部为偶发区^[9]。在选择代表站时,以中国稻飞虱发生轻重的分布和各稻区水稻种植面积的大小为基础,在西南、江淮、江汉和东北主要一季稻产区选取了 12 个代表站,江南和华南双季稻区选取了 13 个代表站,稻区的气象要素值为该产区所有代表站点的气象要素平均值。资料时段为 1961—2003 年。

2.2.2 气象要素时间尺度组合及其计算

为了全面研究中国稻飞虱发生与气象要素的关系以及考虑预测结果的时效性,从上一年 1 月至当年某月依次连续按照 1 个月、2 个月、3 个月、4 个月、……月等进行所有时段组合,将上一年 1 月至当年 8 月月尺度的大气环流特征量以及当年 1—11 月月尺度的降水量、平均气温、日照时数资料,处理成不同时间尺度组合的大气环流特征量和地面气象要素值。以字母 s 表示上一年,字母 d 表示当年,数字表示开始或结束月份;如 s5s12 表示上一年 5 月至上一年 12 月,s9d3 表示上一年 9 月至当年 3 月。

对于大气环流特征量资料,根据 1960—2003 年 74 项大气环流特征量逐月数据,分别计算各个特征量各个时段组合的历年平均值。其中 4 个特征量(编号为 04、15、26、37)每年的 6—9 月 4 个月无数据,不参与时段组合,这些特征量的总时段数均为 81 个;3 个特征量(编号为 65、66、70)每年的 6—8 月 3 个月无数据,这些特征量的总时段数均为 93 个;其他 67 个特征量的时段组合均为 210 个。对于地面气象资料,先将旬尺度的降水量、平均气温、日照时数处理成月尺度,然后同大气环流特征量的组合方法一样从当年 1 月到 11 月进行时段组合,计算稻区降水量、平均气温、日照时数等不同时段的历年平均值。

2.2.3 稻飞虱发生面积率计算

稻飞虱是针对水稻的一种害虫,因此水稻种植面积的大小也决定着稻飞虱可以生息繁衍的面积。本研究以稻飞虱发生面积率为研究对象,其可通过全国稻飞虱发生面积除以相应的全国水稻(包括早

稻、一季稻(中稻)、晚稻)种植面积计算得出。

3 研究方法

采用相关分析法,筛选大气环流特征量与中国稻飞虱发生面积率相关显著的关键因子及时段。与稻区不同时段组合的降水量、平均气温、日照时数进行相关研究,探讨关键环流特征因子、地面生态气象因子、稻飞虱发生面积率三者之间的相互影响关系以及关键环流特征因子影响中国稻飞虱发生发展的可能机制。以关键环流特征因子为预测因子,建立中国稻飞虱发生面积率预测模式。

3.1 相关分析

不同时段组合的大气环流特征量、地面生态气象要素与中国稻飞虱发生面积率三者之间的相关系数,采用式(1)计算

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

式中 $i=1, 2, 3 \dots n$, n 为样本数, $n=43$; r_{xy} 为 x 与 y 之间的相关系数; x 与 y 随研究的对象而定, \bar{x} 、 \bar{y} 分别为相关要素 x_i 、 y_i 的历史平均值。

3.2 影响中国稻飞虱发生的关键环流特征因子及其时段的确定

对于 74 项大气环流特征量,将每项上一年 1 月至当年 8 月 210 个不同时段组合的环流特征量,分别与全国稻飞虱发生面积率进行相关分析,扣除本身无资料的时段外,实际得到 14672 个相关系数。通过分析发现,74 大气环流特征量与中国稻飞虱发生的关系十分密切,通过 0.001、0.01、0.1 水平显著性检验的因子数分别达 2117、4220、7537 个。为了避免同一环流特征量的相互关联,同时使筛选出的环流因子具有最好的代表性,关键环流特征因子及其时段的确定原则如下:①只选取通过 0.001 水平显著性检验的;②同一环流特征量有多个时段通过 0.001 水平显著性检验时,依次取相关系数最大、独立性最好的为关键环流特征因子,其对应的时段为关键影响时段。如:编号为 5 的西太平洋副热带高压面积指数,在上年 1 月至当年 8 月所有时段组合中,s10 时段的相关系数最大,即 0.6002,则选此时段为关键影响时段,对应的因子为关键影响因子。然后在剩余的时段即上年 1—9 月、上年 11 月至当

年 8 月中选取另外通过 0.001 水平检验的相关系数最大、独立性又好的 s12d5 为第 2 个关键环流特征因子,其相关系数为 0.5228,尽管 s12d6、s12d7 时段的相关系数分别达 0.5142、0.5132,均通过 0.001 水平显著性检验,但其已包含了 s12d5 时段的信息,为了保证所选因子的独立性,则这些不能列为关键环流特征因子。最后,对于编号为 5 的特征量,只有 s10、s12d5 两时段的环流特征量才是影响全国稻飞虱发生面积率的关键环流特征因子。依据上述原则,筛选影响中国稻飞虱发生面积率的关键环流因子。

3.3 中国稻飞虱发生面积率长期预测模式的建立

选取通过 0.001 水平显著性检验的关键环流特征因子为预报因子,以全国稻飞虱发生面积率为预测目标,建立多元回归预测模式。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

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

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \cdot \frac{N - k - 1}{k} \quad (3)$$

式中 N 为样本数, k 为自变量个数, y_i 为第 i 年中国稻飞虱发生面积率, \bar{y} 为 1961—2002 年中国稻飞虱发生面积率平均值, \hat{y}_i 为中国稻飞虱发生面积率回归方程第 i 年估计值。当 $F_{\text{计算值}} > F_{0.01}$ 时,复相关显著,回归效果较好,回归方程有意义;当 $F_{\text{计算值}} < F_{0.01}$ 时,则回归效果较差,回归方程无意义。

中国稻飞虱发生面积预报为

$$Y_i = \hat{y}_i \cdot S_i \quad (4)$$

式中 S_i 为要预测的第 i 年中国水稻种植面积, \hat{y}_i 为第 i 年中国稻飞虱发生面积率预报值, Y_i 为第 i 年中国稻飞虱发生面积预报值。

4 结果分析

4.1 中国稻飞虱发生与大尺度环流的关系

4.1.1 影响中国稻飞虱发生的关键环流特征因子及影响时段

表 1 给出了 74 项环流特征因子通过 0.001 水平显著性检验的影响时段数和关键因子数。可以看出,影响中国稻飞虱发生的关键环流特征因子有 52 项。其中副热带高压类环流特征因子显著影响时段

数为 1366 个,关键环流因子有 35 个,占全部关键环流特征因子的 67%;极涡类环流因子显著影响时段数为 692 个,关键环流因子有 12 个,占全部关键环流特征因子的 23%;槽类环流特征因子显著影响时段数为 39 个,关键环流因子有 3 个,为全部关键环流特征因子的 6%;其他类环流特征因子显著影响时段数为 4 个,关键环流因子有 2 个,为全部关键环流特征因子的 4%。可见北半球大气环流对中国稻飞虱发生影响的程度次序为副高类>极涡类>槽类>其他类,其中副高类与中国稻飞虱发生面积率的关系最为密切,其次为极涡类和槽类。副热带高压面积和强度指数、槽类与中国稻飞虱发生面积率呈正相关;极涡类、经向环流指数、编号台风呈负相关。在副热带高压类中,面积指数和强度指数与中国稻

飞虱发生面积率呈显著的正相关,且相关程度面积指数大于强度指数;而副高北界和副高脊线与中国稻飞虱发生的相关程度较低,22 个指数中就有 16 个指数与中国稻飞虱发生面积率的相关未达到 0.001 显著水平。并且不同区的副高北界和脊线与中国稻飞虱发生的相关情况不同,既有呈正相关的又有呈负相关的。西太平洋副高西伸脊点与中国稻飞虱发生面积率呈负相关,说明在西太平洋副高偏西的年份,中国稻飞虱发生面积越大,这一结果与侯婷婷等^[8]的研究相吻合。在槽类中,印缅槽、东亚槽位置指数与中国稻飞虱发生面积率成正相关。各区极涡强度指数和面积指数与中国稻飞虱发生面积率呈显著的负相关,且面积指数相关程度大于强度指数。

表 1 影响中国稻飞虱发生的关键环流特征因子及其时段

Table 1 Key circulation characteristic factors and periods influencing the ratio of the occurrence area of rice planthopper in China

特征量 编号	通过 0.001 水平显著性检验的时段数	关键环流特征 因子相关系数	关键环流特征 因子影响时段	特征量编号	通过 0.001 水平显著性检验的时段数	关键环流特征 因子相关系数	关键环流特征 因子影响时段
1	132	0.6199	d7d8	24		0.5025	s6
2	173	0.6648	d8	29	5	0.5252	s10s11
3	156	0.7465	d8	30	8	-0.5387	s3s4
3		0.6388	s7d7	31	1	-0.5014	s7s9
4	1	0.4948	s12	41	9	-0.5902	s1
5	77	0.6002	s10	41		-0.5568	s2s3
5		0.5228	s12d5	41		-0.5057	d1d3
6	10	0.5806	d7d8	43	6	-0.5801	s2s3
7	155	0.7063	d8	45	5	-0.5032	s12d3
8	6	0.5529	d7d8	46	132	-0.6773	s5d8
9	76	0.6170	d7	48	136	-0.7908	s1d8
10	38	0.6929	d7d8	49	89	-0.6479	s1d8
11	51	0.5433	s10d5	50	152	-0.6897	s1d8
12	63	0.6083	d5d8	51	84	-0.7089	d4d8
13	134	0.6281	s8d8	51		-0.6389	s4s10
14	53	0.6067	d5d8	52	17	-0.6007	s6s11
16	23	0.5230	s10d5	52		-0.5868	d6d8
17	10	0.5720	d7d8	53	5	-0.5368	d4d8
18	123	0.6513	s10d2	54	2	-0.5212	d4d7
18		0.6129	d7d8	55	75	-0.7020	d4d8
18		0.5098	s6s8	55		-0.6338	s4s10
20	29	0.5491	d7	62	1	-0.5066	s7s9
20		0.5066	s2d6	65	3	0.5896	s12d2
21	4	0.5290	d7d8	69	36	0.6754	d7d8
22	11	0.5165	s10d8	69		0.6484	s7s9
24	7	0.5235	d5d8	71	3	-0.5058	s2d7

对表 1 中影响中国稻飞虱发生的 52 项关键环流特征因子进行了影响时段统计,结果见图 1。从图 1 看出,上一年 1 月至当年 8 月关键环流特征因子对中国当年稻飞虱的发生面积率均有显著的影响。

其中当年 7—8 月为集中影响时段,其次是当年 5 月,再者上一年 6 月至当年 4 月以及当年 6 月。各类关键环流特征因子中,副高和极涡类环流因子对中国稻飞虱的影响最为重要,其中上一年 10 月至

当年 8 月副高类环流因子的影响最为明显,7—8 月尤为突出,当年 4—8 月、上年 6—10 月极涡影响也比较显著;而槽类和其他类环流特征因子对中国稻

飞虱的影响远小于前两者,其中槽类影响时段主要集中在上一年 7—9 月、上一年 12 月至当年 2 月以及当年 7—8 月。

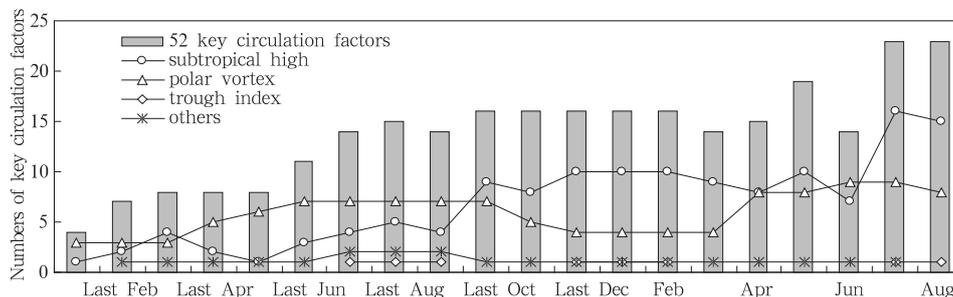


图 1 52 项关键环流特征因子主要影响时段
Fig. 1 Main influencing periods of 52 key circulation characteristic factors

4.1.2 影响中国稻飞虱发生的关键环流因子指标

中国稻飞虱发生面积由 1961 年的 $79 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 发展到 2003 年 $1733 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 发生面积率由 3% 扩展到 65.4%, 其中 1991 年发生面积达 $2313 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 发生面积率达 71%。为了使筛选的关键环流因子指标具有客观性和实用性,首先对 1961 年以来中国稻飞虱发生面积率进行分级。中国稻飞虱发生面积率 1961—2003 年的平均值为 33.1%, 以此为参照值,取参照值上下波动的 80% 确定等级间隔。按此标准,将中国稻飞虱发生面积率级别分为: $< 6.7\%$, 定为轻发生年; $6.7\% - 33.1\%$, 定为偏轻发生年; $33.1\% - 59.5\%$, 定为偏重发生年; $> 59.5\%$, 定为重发生年。按中国稻飞虱发生面积率分级类别,计算每个关键环流特征因子

相应级别的平均值。52 个关键环流特征因子的分级指标具有较好的规律性,表现为:负相关的因子值大时,中国稻飞虱发生为偏轻、轻级;小时,中国稻飞虱发生为偏重、重级;正相关的因子结果相反。在确定关键环流特征因子指标时遵循以下原则:一是所选的指标能较好地表达级别的差异,即正效应因子级别指标应遵循轻 \leq 偏轻 $<$ 偏重 \leq 重,负效应因子级别指标应遵循轻 \geq 偏轻 $>$ 偏重 \geq 重;二是 52 个关键环流特征因子中只选取对中国气候影响更为直接的环流特征因子。依此原则,选取的关键环流特征因子指标如表 2 所示,共 11 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 51s4s10 为 51 号环流特征量,时段是上一年 4—10 月。

表 2 影响中国稻飞虱不同发生面积率级别的关键环流特征因子指标
Table 2 Indices of key circulation characteristic factors for different occurrence levels of rice planthopper in China

关键环流特征因子	关键环流特征因子含义	不同发生级别指标			
		轻	偏轻	偏重	重
51s4s10	上年 4—10 月亚洲区极涡强度指数	44	44	42	40
51d4d8	当年 4—8 月亚洲区极涡强度指数	38	36	34	32
52s6s11	上年 6—11 月太平洋区极涡强度指数	56	56	52	51
55d4d8	当年 4—8 月北半球极涡强度指数	158	153	146	139
69s7s9	上年 7—9 月印缅槽	19	19	25	29
65s12d2	上年 12 月至当年 2 月东亚槽位置	142	143	146	148
5s10	上年 10 月西太平洋副高面积指数	12	17	22	23
5s11d5	上年 11 月至当年 5 月西太平洋副高面积指数	9	9	14	17
16s10d5	上年 10 月至当年 5 月西太平洋副高强度指数	15	16	27	28
45s12d3	上年 12 月至当年 3 月西太平洋副高西伸脊点	132	132	116	108
31s7s9	上年 7—9 月南海副高脊线	25	23	21	14

从表 2 可见,亚洲区、太平洋区和北半球极涡强度指数以及西太平洋副高西伸脊点、南海副高脊线均为负效应;其值越大时,稻飞虱发生面积级别为偏轻、轻级;越小时,发生级别为偏重、重级。印缅槽、东亚槽位置以及西太平洋副高面积指数和强度指数为正效应,其值越大时,稻飞虱发生面积率越高,程度越重;其值越小时,稻飞虱发生面积率越小,程度越轻。其中上年 10 月西太平洋副高面积指数、上年 10 月至当年 5 月西太平洋副高强度指数、上年 7—9 月南海副高脊线、当年 4—8 月北半球和亚洲区极涡强度指数、上年 12 月至当年 2 月东亚槽位置等 6 个关键环流特征因子的指标值指示性最好,明显表达了各个发生级别的差异。

4.2 大气环流影响中国稻飞虱发生的机制分析

本文对表 2 中影响中国稻飞虱发生面积的关键环流特征因子,稻区 1—11 月不同时段组合的降水量、平均气温、日照时数以及中国稻飞虱发生面积率三者之间相关情况进行了分析。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,其中与稻区日照时数的相关程度高于与降水量和气温的相关程度,并且同中国稻飞虱发生面积率与稻区日照时数、降水量和气温的相关情况一致。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很好的相关关系。该种关系主要表现在:大气环流影响着稻区的日照、气温和降水条件,日照、气温和降水又影响稻飞虱的发生发展,三者之间存在较好的影响机制。其地面气象要素影响稻飞虱发生的时间主要为夏季和冬季。中国稻区冬季、初春偏暖、多雨寡照以及夏季阴雨寡照的年份,易出现稻飞虱的大面积爆发。

已有的研究也表明:大气环流对中国气候有着显著的影响,并且前期环流特征与后期,如夏季中国稻区降水密切相关^[10-14];褐飞虱的迁飞、降落与大气环流密切相关^[15];冬暖年份稻飞虱发生严重,暖冬不仅使稻飞虱冬季繁殖或残存数量增加,还可使害虫发育速度加快,迁入期提前,为害期拉长^[2-3,16];长江中下游地区夏季多雨,稻飞虱发生往往偏重^[17-18]。

4.3 中国稻飞虱发生面积率长期预报模式的建立及效果检验

20 世纪 70 年代以前,中国稻飞虱发生面积较小,仅局部地区危害较重;70 年代以后,发生面积不断增加,危害日趋严重^[2],为此,建模时使用 1969—2002 年的关键环流因子和 1970—2002 年中国稻飞虱发生面积率,2003 年资料留做预测检验使用。可供建模的关键环流因子有 52 个,建模时采用明显影响中国气候的关键环流因子,建立稻飞虱发生面积率的多元回归预报模式。随着每年 2、3 月份中国双季早稻以及西南地区一季稻进入大面积播种育秧,中国水稻开始进入一年一度的生长季节;10 月份随着一季稻大面积收获,到 11 月初双季晚稻收获完毕,标志着中国一年一度的水稻生长基本结束。为了动态预测中国稻飞虱的发生发展情况,本研究利用上年 1 月至当年 8 月的关键环流因子,建立了 3—9 月月度预测模式,在每月初发布预报。所建模式见表 3,均通过了 0.001 水平的显著性检验。3—9 月各月预报模式除当年 5 月初模式未引入新的关键环流因子,同 4 月初模式相同以外;其余预报模式均在上一个月的基础上引入最新的关键环流因子,实现了模式动态更新和预报。

表 3 3—9 月不同时段中国稻飞虱发生面积率预测模式

Table 3 Prediction models of the ratio of the occurrence area of rice planthopper in China for March to September

预报时间	所用因子时段	预报模式	x_1	x_2	x_3	x_4	F	R
当年 3 月初	上年 1 月至当年 2 月	$\hat{y} = -71.81 - 1.6x_1 + 1.33x_2 + 1.33x_3 - 0.98x_4$	51s4s10	65s12d2	69s7s9	62s7s9	26.8	0.8904
当年 4 月初	上年 1 月至当年 3 月	$\hat{y} = -113.11 - 1.6x_1 + 1.33x_2 + 1.56x_3 - 0.06x_4$	51s4s10	65s12d2	69s7s9	45s12d3	19.6	0.8584
当年 5 月初	上年 1 月至当年 3 月	$\hat{y} = -113.11 - 1.6x_1 + 1.33x_2 + 1.56x_3 - 0.06x_4$	51s4s10	65s12d2	69s7s9	45s12d3	19.6	0.8584
当年 6 月初	上年 1 月至当年 5 月	$\hat{y} = -120.22 - 1.66x_1 + 1.34x_2 + 1.59x_3 + 0.04x_4$	51s4s10	65s12d2	69s7s9	11s10d5	19.2	0.8561
当年 7 月初	上年 1 月至当年 6 月	$\hat{y} = -121.75 - 1.64x_1 + 1.34x_2 + 1.74x_3 + 0.38x_4$	51s4s10	65s12d2	69s7s9	20s2d6	19.5	0.8579
当年 8 月初	上年 1 月至当年 7 月	$\hat{y} = -102.57 - 1.52x_1 + 1.18x_2 + 1.52x_3 - 0.86x_4$	51s4s10	65s12d2	69s7s9	9d7	20.2	0.8619
当年 9 月初	上年 1 月至当年 8 月	$\hat{y} = -83.6 - 1.25x_1 - 0.99x_2 + 1.02x_3 + 1.02x_4$	51s4s10	51d4d8	69s7s9	69d7d8	26.7	0.8901

利用表 3 模式,对 1970—2002 年中国稻飞虱发生面积率进行了历史拟合检验,各月预报模式历史

拟合准确率大部分在 85% 以上;2003 年 3—9 月各月的外推预测准确率分别达到了 85.6%、90.5%、

90.5%、90.4%、90.9%、93.2%、96.3%。图 2 列举了 3 月、6 月、9 月模式历史拟合和外推预测情况,可

见效果较好。此组模式实现了中国水稻产前、产中稻飞虱发生面积的动态预报。

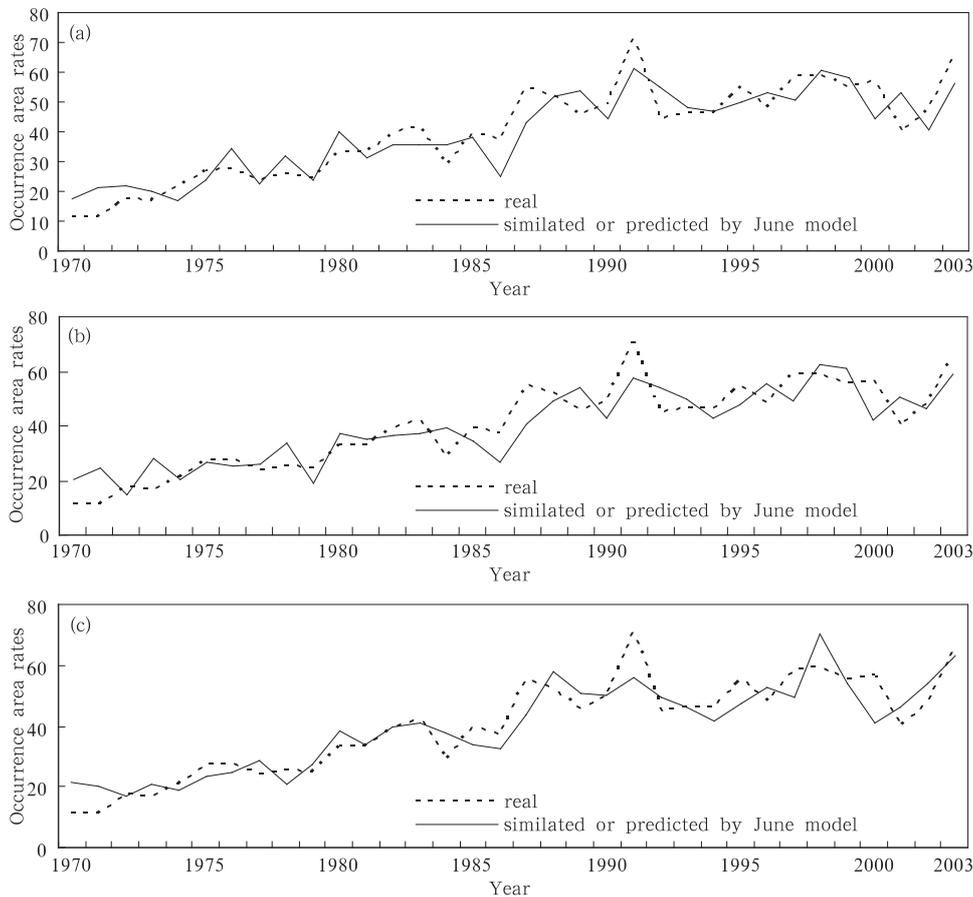


图 2 中国稻飞虱发生面积率预报模式拟合预测结果与实况对比(a, 3 月, b, 6 月, c, 9 月)

Fig. 2 Actual and simulated ratios of the occurrence area of rice planthopper in China before 2002 and predicted ratios for March, June and September in 2003 influences of atmospheric circulation on the occurrence and development of rice planthopper in China and its occurrence area prediction

5 结 语

(1) 利用 74 项大气环流特征量上一年 1 月至当年 8 月数据组建了所有不同时段组合,筛选出影响中国稻飞虱发生的 52 项关键环流特征因子。其对中国稻飞虱发生的影响排序依次为副热带高压类>极涡类>槽类>其他类。其中副热带高压面积和强度指数、极涡强度和面积指数对中国稻飞虱发生的影响程度最大。大气环流影响中国稻飞虱发生的时段主要为当年 7—8 月,其次为上年 6 月至当年 6 月。

(2) 按中国稻飞虱发生面积率 < 6.7%、6.7%—33.1%、33.1%—59.5%、> 59.5% 4 个发

生级别,确定了直接影响中国稻飞虱发生的关键环流特征因子指标,共 11 项。其中西太平洋副高面积指数和强度指数、南海副高脊线、北半球和亚洲区极涡强度指数、东亚槽位置 6 个关键环流指标值指示性最好,明显表达了各个发生级别的差异。

(3) 通过分析关键环流因子与稻区气象要素、中国稻飞虱发生面积率三者之间的关系,探讨了大气环流对中国稻飞虱发生的可能影响机制。结果表明,三者之间存在密切关系,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。其中地面气象要素影响稻飞虱发生的时段主要为夏季和冬季。

(4) 以对中国气候影响最为直接的关键环流特

征因子为预测因子,建立了3—9月共7个中国稻飞虱发生面积率预测模式。预报提供时间为当年3—9月每月的月初。模式动态地引入新的预报因子,实现了动态更新和预测。3—9月各月模式的历史拟合检验,大部分年份的拟合准确率在85%以上;对2003年的外延预测准确率分别达到了85.6%、90.5%、90.5%、90.4%、90.9%、93.2%、96.3%;预报准确率随着逐月的滚动制作,不断提高。

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). 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. 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. 自然灾害学报,2003,12(3):142-148
- [4] Cunningham P C. Influence of weather on diseases and pests of crop plants. *Appl Agricultural Meteor*,1986:219-254
- [5] Drake V A. The influence of weather and climate on agriculturally important insects:an Australian perspective. *Australian J Agricultural Res*,1994,45(3): 487-509
- [6] Mills A P, Rutter J F, Rosenberg L J. Weather associated with spring and summer migrations of rice pests and other insects in southeastern an eastern Asia. *Bull Entomological Res*,1996,86(6):683-694
- [7] Masahiko Morishita(森下正彦). A possible relationship between outbreaks of rice planthoppers in Japan and the EI Niño phenomenon. *Plant Epidemic Prevention*,1992,46(5):11-13
- [8] 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
- [9] 胡国文,唐启义,马巨法等. 中国褐飞虱的分布和为害. 昆虫学报,1997,34(1):50-51
- [10] 慕巧珍,王绍武. 近百年四季西太平洋副热带高压的变化. 气象学报,2002,60(6):668-679
- [11] 张庆云,陶诗言. 亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响. 气象学报,1998,56(2):199-211
- [12] 孙淑清,马淑杰. 西太平洋副热带高压异常及其与1998年长江流域洪涝过程关系的研究. 气象学报,2001,59(6):719-729
- [13] 毛江玉,吴国雄. 1991年江淮梅雨与副热带高压的低频振荡. 气象学报,2005,63(5):762-770
- [14] 汤懋苍,张拥军,李栋梁. 近50年中国冬季大地冷涡与春夏季干旱相关的统计. 气象学报,2005,63(6):1006-1009
- [15] 蔡文华,林添忠,吴美英. 福建褐飞虱迁飞降落大气环流类型. 植物保护学报,1998,25(4):325-329
- [16] 李淑华. 气候变化与害虫的生长繁殖、越冬和迁飞. 华北农学报,1994,9(2):110-114
- [17] 陈真. 安徽省水稻褐飞虱发生演变与治理对策浅析. 安徽农业科学,1994,22(增刊):48-50
- [18] 许红. 湖北省1997年水稻稻飞虱发生特点及原因分析. 湖北植保,1998,(2):10-12

INFLUENCES OF ATMOSPHERIC CIRCULATION ON THE OCCURRENCE AND DEVELOPMENT OF RICE PLANTHOPPER IN CHINA AND ITS OCCURRENCE AREA PREDICTION

Qian Shuan¹ Huo Zhiguo²

1 National Meteorological Center, Beijing 100081

2 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

Abstract

The rice planthopper is a major pest harming the rice in China and many Asian countries. Relationships between atmospheric circulation characteristic indices and ratios of the occurrence area of rice planthopper in China are fully analyzed using 74 atmospheric circulation characteristic indices in various time-periods within last January to August. 52 key atmospheric circulation characteristic factors influencing the ratio of the occurrence area are selected, their main influencing periods are July to August, and the next last June to June. The order of their influencing extent is successively subtropical high category, polar vortex category, trough category, and other index category. Among the 52 key atmospheric circulation characteristic factors, there are 35 subtropical high factors and 12 polar vortex factors, accounting for 67% and 23% of the total, respectively, and therefore the ratio of the occurrence area of rice planthopper is mainly determined by subtropical high and polar vortex factors. 11 key atmospheric circulation characteristic factor indices directly influencing the ratio of the occurrence area of rice planthopper are decided, among them 6 indices are obviously indicative of climate characteristics for four occurrence levels (1–4) of rice planthopper. 7 prediction models for ratios of the occurrence area of rice planthopper used at the beginning of the months from March to September are established. Their historical simulated results are good, and the accuracies of extended range prediction in 2003 are 85.6%, 90.5%, 90.5%, 90.4%, 90.9%, 93.2%, 96.3%, respectively. In order to understand the possible influencing mechanism of atmospheric circulation on the occurrence area of rice planthopper, relationships among monthly temperature, precipitation, and sunshine duration of different time-periods from January to November in the rice-planted area, key atmospheric circulation characteristic indices and the occurrence area of rice planthopper are analyzed. The results show that relations among them are close. The atmospheric circulation influences the temperature, precipitation, sunshine in the rice-planted area, thus affecting the ratio of the occurrence area of rice planthopper. The influencing periods of meteorological factors on the occurrence of rice planthopper are mainly winter and summer.

Key words: Occurrence area of rice planthopper, Atmospheric circulation, Extended-term meteorological prediction.