

中国稻飞虱发生的大气环流指示指标^{*}

于彩霞¹ 霍治国^{1,2,*} 张 蕾³ 肖晶晶⁴ 卢小凤⁵ 吴 立¹

(¹中国气象科学研究院, 北京 100081; ²南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京 210044; ³国家气象中心, 北京 100081; ⁴浙江省气候中心, 杭州 310017; ⁵广西气象服务中心, 南宁 530022)

摘 要 根据 1971—2010 年稻飞虱发生面积率和发生程度资料, 构建综合反映稻飞虱发生为害的因子, 定义为稻飞虱发生指数。基于因子膨化方法对 74 项大气环流特征量进行合理扩充, 采用相关分析等方法研究当年 2 月初、4 月初、6 月初对全国稻飞虱发生面积率等级、发生程度等级、发生指数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。结果表明: 影响稻飞虱发生面积率等级的指示因子为西太平洋副高面积指数、南海副高脊线、北半球极涡强度指数、印缅槽, 影响稻飞虱发生程度等级的指示因子为太平洋副高北界、亚洲纬向环流指数、东亚槽强度、太阳黑子数, 影响稻飞虱发生指数等级的指示因子为北半球副高强度指数、北半球极涡强度指数、大西洋欧洲环流型指数、青藏高原指数。不同指示因子的量值在稻飞虱轻、偏轻、偏重和重发生时差异性显著; 建立的稻飞虱发生等级的大气环流指示指标, 经历史发生情况检验, 对稻飞虱发生等级具有很好的指示效应, 可为稻飞虱中长期预测预报提供科学依据。

关键词 稻飞虱; 大气环流因子; 相关分析; 发生指数; 等级指标

中图分类号 X171.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2014)4-1053-08

Leading indicators of atmospheric circulation characteristics on rice planthopper occurrence in China. YU Cai-xia¹, HUO Zhi-guo^{1,2,*}, ZHANG Lei³, XIAO Jing-jing⁴, LU Xiao-feng⁵, WU Li¹ (¹ Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China; ² Collaborative Innovation Center of Meteorological Disaster Forecast, Early-Warning and Assessment, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044; ³ National Meteorological Center, Beijing 100081, China; ⁴ Zhejiang Climate Center, Hangzhou 310017, China; ⁵ Guangxi Meteorological Service Center, Nanning 530022, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(4): 1053–1060.

Abstract: According to rice planthopper occurrence area ratio, occurrence degree data from 1971 to 2010, a new factor was defined as occurrence index, reflecting the comprehensive damage degree of rice planthopper. Based on 74 atmospheric circulation characteristics data from month to month in 1970–2010, all possible combinations of circulation characteristics were constructed by factor puffing. By means of correlation analysis, leading indicators of national rice planthopper occurrence rank in early February, April and June was established. The results showed that rank indicating factors of national rice planthopper occurrence area ratio included the area index of western pacific subtropical anticyclone, the ridge line of south China sea subtropical anticyclone, the northern hemisphere polar vortex intensity index and India-Burma trough. The rank indicating factors of national planthopper occurrence degree included the northern boundary of Pacific subtropical anticyclone, Asian zonal circulation index, Asian trough intensity, and sun spots. The rank indicating factors of national planthopper occurrence index included the intensity index of northern hemisphere subtropical anticyclone, the northern hemisphere polar vortex intensity index, Atlantic European type circulation index and Tibet Plateau index. The values of rank indicators had great differences in light, partially light, partially heavy, and heavy ranks. Rank

* 公益性行业(气象)科研专项经费项目(GYHY201006026)资助。

* * 通讯作者 E-mail: huozhiguo@cma.gov.cn

收稿日期: 2013-09-18 接受日期: 2013-12-11

indicators had a good indication for planthopper occurrence rank, which can provide a scientific basis for long-term forecasting of rice planthopper.

Key words: rice planthopper; atmospheric circulation factors; correlation analysis; occurrence index; rank indicators.

稻飞虱具有远距离迁飞的习性,发生为害多具有区域性、突发性和毁灭性的特点。20世纪70年代末以来,稻飞虱成为亚洲水稻产区的头号害虫,中国各稻区都有分布和发生。稻飞虱种类很多,危害中国水稻的飞虱主要有3种:褐飞虱、白背飞虱、灰飞虱;造成严重灾害的主要是褐飞虱、白背飞虱。初始虫源主要从境外迁入,在早稻上繁殖成为主要虫源后随着西南气流北迁,自南向北危害中国南方稻区、长江中下游稻区及其北方稻区,秋季又随东北气流向南回迁。中国早、中、晚稻都能受其危害。稻飞虱主要危害期在水稻拔节期至乳熟末期,一般危害损失10%~20%,严重危害损失40%~60%,甚至绝收(郑大玮等,2013)。

国外学者对稻飞虱的长期预测研究不多,Morishita (1992)发现,厄尔尼诺导致海洋表面温度及大气环流的异常,厄尔尼诺年的次年是日本褐飞虱的重发年。国内学者通过历年稻飞虱发生情况与气候事件的定性分析,认为在厄尔尼诺或反厄尔尼诺事件的当年,中国褐飞虱为中到大发生年(朱敏等,1997),在厄尔尼诺的次年中国稻飞虱可能严重发生(霍治国等,2002);在春季厄尔尼诺发生强烈年份,上海地区单季晚稻褐飞虱发生程度重(李军等,2005)。通过对稻飞虱与大气环流特征量、海温的相关分析研究,有学者(高苹等,2004;洗晓青等,2007)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性,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(谷)型的相关。以太平洋逐月海温资料及大气环流因子为预测因子,有学者建立了赣州稻飞虱百丛虫量(叶正襄等,1992)、江苏白背飞虱的迁入虫量、始见期(高苹等,2004)及全国稻飞虱发生面积率(钱拴和霍治国,2007)的回归预测模型,实现了稻飞虱发生的长期、超长期预测。

稻飞虱的发生不仅与气候背景密切相关,高空、地面适宜的生态气象环境也是稻飞虱降落、繁衍、发展的必要条件。Riley等(1991)通过雷达观测发现,稻飞虱的空中迁飞集中层与16℃等温线吻合较好。Mills等(1996)通过对西太平洋海平面上10~1500

m的空中风温场结构分析,结合迁飞性害虫的迁飞特点推断出东南亚地区春夏水稻迁移性害虫的迁飞方向及迁飞范围。Otuka等(2005)运用GREAN模型评估指出,在4—6月低压系统或台风位于中国南海有利于稻飞虱从菲律宾迁飞。国内学者对稻飞虱的研究主要集中在气象要素(谈涵秋等,1984;王海建等,2006;包云轩等,2007;包云轩等,2009;江胜国等,2010;刘祖建等,2011)及气候变化(卢小凤等,2012)对稻飞虱的影响方面,有学者(巫国瑞等,1997;陈惠等,2008;严明良等,2008)先后建立了稻飞虱发生的预测预报模型。

综上,目前对稻飞虱的气候背景研究大部分停留在区域稻飞虱的定量研究层次上,揭示了部分地区稻飞虱发生与气候条件的关系。但针对全国范围内稻飞虱发生面积、发生程度及二者综合的气候背景研究及稻飞虱发生前期气候要素的指示信号研究还鲜有报道。因此,本文通过对近40年全国范围的稻飞虱发生面积率、发生程度资料及二者的综合为研究对象,分别与大气环流资料进行相关分析,筛选在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。这一研究对于及早防范稻飞虱大发生,最大程度减少农作物损失具有十分重要的现实意义。

1 材料与方法

1.1 资料来源

稻飞虱资料来源于中国农业技术推广服务中心,包括1971—2010年全国稻飞虱逐年发生面积、发生程度;全国水稻逐年种植面积资料来自中国种植业信息网,时间段为1971—2010年。74项大气环流特征量逐月资料取自国家气候中心,时间段为1970—2010年,具体类别如表1。

1.2 资料处理方法

1.2.1 稻飞虱发生等级划分 将稻飞虱发生面积除以当年的水稻种植面积,得到稻飞虱发生面积率序列。通过稻飞虱历年发生面积率与发生程度的对比分析发现,稻飞虱发生面积率高的年份与发生程度重的年份不是完全吻合的。这是因为发生面积率

反映稻飞虱的发生范围,而发生程度反映田间的虫口密度,二者表征内容不同。因此,本文将稻飞虱发生面积率与发生程度相乘,定义为稻飞虱发生指数,综合衡量稻飞虱的发生范围和为害程度。

计算 1971—2010 年稻飞虱发生面积率、发生指数的平均值,以平均值上下波动 50% 为等级间隔,对稻飞虱发生面积率、发生指数进行轻、偏轻、偏重、重 4 个等级划分。稻飞虱测报国家标准将稻飞虱发生程度划分为 5 级,由于 1971—2010 年未出现全国稻飞虱发生程度为 1 级的年份,因此将发生程度 2 级划分为轻发生,3 级划分为偏轻发生,以此类推。表 2 给出了稻飞虱发生等级划分结果。

1.2.2 大气环流特征量不同时段组合 因子膨化技术可通过时段组合将环流特征量的信息量合理扩充。膨化后的环流特征量具有时间上的连续性,符合大气环流长时间稳定的特征,与单月环流因子相比,在时间上更具挑选关键影响时段的优点(姜燕等,2006)。考虑到稻飞虱发生对大气环流响应的滞后性及中国水稻的生育期,将上一年 1 月作为时段组合起始时间,当年的 10 月作为时段组合终止时间,通过因子膨化的方法从上一年 1 月至当年 10 月按照 1 个月、2 个月、……22 个月对 74 项大气环流特征量进行所有时段组合,并计算环流特征量在各

表 1 大气环流特征量分类
Table 1 Category of atmospheric circulation characteristics

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

表 2 稻飞虱发生等级划分
Table 2 Rice planthopper occurrence classification

发生等级	发生面积率	发生程度	发生指数
轻	<0.26	2 级	<0.98
偏轻	0.26 ~ 0.51	3 级	0.98 ~ 1.96
偏重	0.51 ~ 0.77	4 级	1.96 ~ 2.94
重	>0.77	5 级	>2.94

组合时段的平均值。

74 项大气环流特征量中第 4、15、26、37 项每年 6—9 月无数据,不参与时段组合,各环流特征量组合 52 个大气环流因子。第 65、66、70 项每年 6—8 月无数据,不参与时段组合,各环流特征量组合 63 个大气环流因子。其他 67 项环流特征量各组合 253 个大气环流因子。表示方法为 38s7d2,38 代表大气环流特征量编号,s7d2 代表上一年 7 月至当年 2 月。

1.3 研究方法

1.3.1 筛选关键环流因子 计算稻飞虱发生面积率、发生程度、发生指数与大气环流因子的相关系数并进行显著性检验,分别在 0.001、0.01、0.05 显著性水平下筛选对中国稻飞虱发生面积率、发生程度和发生指数影响显著的关键环流因子。计算公式为:

$$r_{ab} = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})(b_i - \bar{b})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2 \sum_{i=1}^n (b_i - \bar{b})^2}}$$

(1)

式中, $n=40$,为统计样本个数, r_{ab} 为相关系数, a 为大气环流因子, b 为稻飞虱发生面积率、发生程度和发生指数。 \bar{a} 、 \bar{b} 为 a 和 b 的历年平均值。

相关系数采用双尾 t 检验, t 值的计算公式为:

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

(2)

式中, r 为相关系数, n 为统计样本个数。

1.3.2 筛选构建指示因子及等级指标 按照稻飞虱发生等级划分,计算关键环流因子在相应发生等级的平均量值,判断关键环流因子量值在稻飞虱轻发生、偏轻发生、偏重发生、重发生时的差异;筛选量值差异明显的关键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。

在筛选指示因子时均遵循以下原则:1)若多个大气环流特征量之间相互关联,只挑选其中对稻飞虱发生影响最显著的一个大气环流特征量。2)对于同一环流特征量的多个表征指数(如副高面积指数、副高强度指数),只挑选其中对稻飞虱发生影响最显著的一个指数。3)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 结果与分析

2.1 影响全国稻飞虱发生面积率的大气环流特征量和等级指示指标

全国稻飞虱发生面积率与 74 项大气环流特征量关系密切,通过 0.001 显著性水平检验的大气环流特征量共有 58 项(图 1)。副高类和极涡类环流特征量中,副高、极涡的面积和强度指数对全国稻飞虱的发生面积率有显著影响。环流类和槽类中,大西洋欧洲环流型、欧亚经向环流指数,西藏高原、印缅槽影响全国稻飞虱发生面积率。从相关性分析,全国稻飞虱发生面积率与副高类、槽类环流特征量均呈显著正相关,与极涡类中各环流量均呈显著负相关,与大西洋欧洲环流型 C、西藏高原呈显著正相关,与大西洋欧洲环流型 W、欧亚经向环流指数、冷空气呈显著负相关。

全国早稻、一季稻、晚稻最早于 2 月、4 月、6 月初进行播种,因此分别以当年 2 月初、4 月初、6 月初为指标构建时间。考虑到气象资料获取的能力及指示因子的时效性,以 2 月初为例,所筛选的指示因子时段范围限定在上年 1 月至当年 1 月时段内。在业务应用时,各地可根据实时资料获取情况及当地水稻种植特点,在当地水稻种植前选取相应指示因子进行分析。

表 3 给出了全国稻飞虱发生面积率等级的大气环流指示因子及等级指示指标。以当年 2 月初的指示指标为例,在全国稻飞虱发生面积率高的重发年,上年 10 月至当年 1 月西太平洋副高面积指数较多年平均值偏大约 5、上年 9 月至当年 1 月南海副高脊线偏大约 5,上年 2 月至当年 1 月北半球极涡强度指数偏小约 15,上年 10 月至当年 1 月印缅槽指

数偏大约 3。在稻飞虱发生面积率低的轻发年,上年 10 月至当年 1 月西太平洋副高面积指数较多年平均值偏小约 4、上年 9 月至当年 1 月南海副高脊线偏小约 5,上年 2 月至当年 1 月北半球极涡强度指数偏大约 7,上年 10 月至当年 1 月印缅槽指数偏小约 4。

2.2 影响全国稻飞虱发生程度的大气环流特征量和等级指示指标

影响全国稻飞虱发生程度的大气环流特征量共 28 项,关键环流因子共 278 个(图 2)。其中,副高类环流特征量 12 项、关键环流因子 141 个,极涡类特征量 10 项、关键环流因子 73 个,环流类特征量 4 项、关键环流因子 46 个,槽类特征量 1 项、关键环流因子 11 个,其他类特征量 1 项、关键环流因子 7 个。可见,影响全国稻飞虱发生程度的大气环流特征量主要为副高类和极涡类。副高类环流特征量中西太平洋副热带高压北界、太平洋副热带高压北界,极涡类中大西洋欧洲区极涡强度指数、环流类中亚洲纬向环流指数对稻飞虱发生程度影响显著,最大相关系数分别为-0.43、-0.45、-0.59、0.46,均达到极显著水平。

副高类环流量中西太平洋副热带高压脊线、北界、西伸脊点及太平洋副高北界对稻飞虱发生程度影响显著,分别挑选以上 4 项环流量(正、负)相关系数最大的 5 个时段进行分析。可以看出(表 4),全国稻飞虱发生程度与西太平洋副热带高压脊线及北界位置、太平洋副高北界呈负相关,主要影响时段为上年 10 月至当年 1 月,与西太平洋副高西伸脊点呈正相关,主要影响时段为当年 6 月至 10 月。

从全国稻飞虱发生程度等级的大气环流指示因子及等级指示指标可知(表 5),以当年 2 月初的指

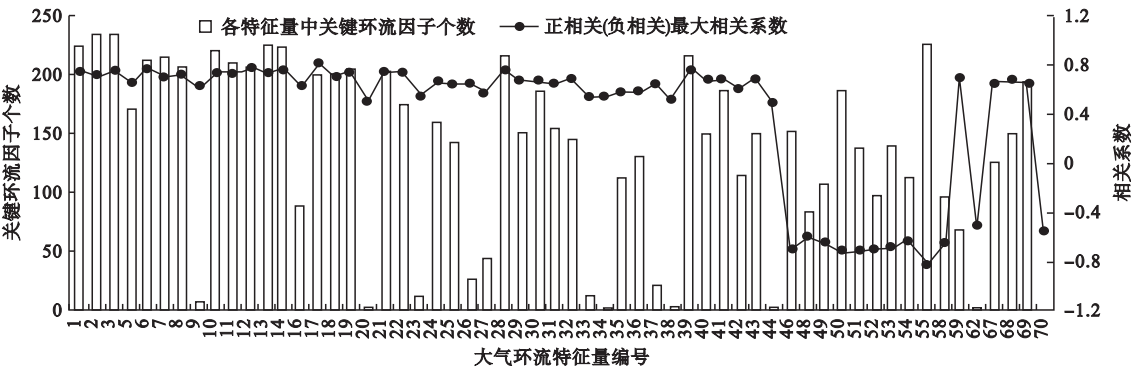


图 1 影响全国稻飞虱发生面积率的大气环流特征量
Fig.1 Atmospheric circulation characteristics influencing national rice planthopper occurrence area ratio

表 3 基于大气环流特征量的全国稻飞虱发生面积率等级指示指标

Table 3 Leading indicator for the rank of national rice planthopper occurrence area ratio based on atmospheric circulation characteristics

指示指标 构建时间	指示 因子	含义	相关 系数	稻飞虱发生面积率等级指标				多年 平均值
				轻	偏轻	偏重	重	
当年 2 月初	5s10d1	上年 10 月至当年 1 月西太平洋副高面积指数	0.559	11.6	13.7	18.6	20.1	15.6
	31s9d1	上年 9 月至当年 1 月南海副高脊线	0.629	7.2	11.4	14.7	17.1	12.4
	55s2d1	上年 2 月至当年 1 月北半球极涡强度指数	-0.736	237.1	232.3	228.9	215.0	229.6
	69s10d1	上年 10 月至当年 1 月印缅槽	0.591	24.5	26.9	31.5	31.8	28.5
当年 4 月初	5s10d3	上年 10 月至当年 3 月西太平洋副高面积指数	0.504	10.5	12.0	17.1	17.6	14.0
	31s9d2	上年 9 月至当年 2 月南海副高脊线	0.608	6.9	10.6	14.3	16.0	11.7
	55s2d3	上年 2 月至当年 3 月北半球极涡强度指数	-0.741	249.6	245.4	242.2	227.6	242.6
	69s12d2	上年 12 月至当年 2 月印缅槽	0.603	19.1	21.1	26.6	27.7	23.2
当年 6 月初	5s10d5	上年 10 月至当年 5 月西太平洋副高面积指数	0.506	10.7	12.9	17.4	18.3	14.6
	31s9d2	上年 9 月至当年 2 月南海副高脊线	0.608	6.9	10.6	14.3	16.0	11.7
	55s2d5	上年 2 月至当年 5 月北半球极涡强度指数	-0.777	240.8	236.6	232.8	218.8	233.6
	69s12d2	上年 12 月至当年 2 月印缅槽	0.603	19.1	21.1	26.6	27.7	23.2

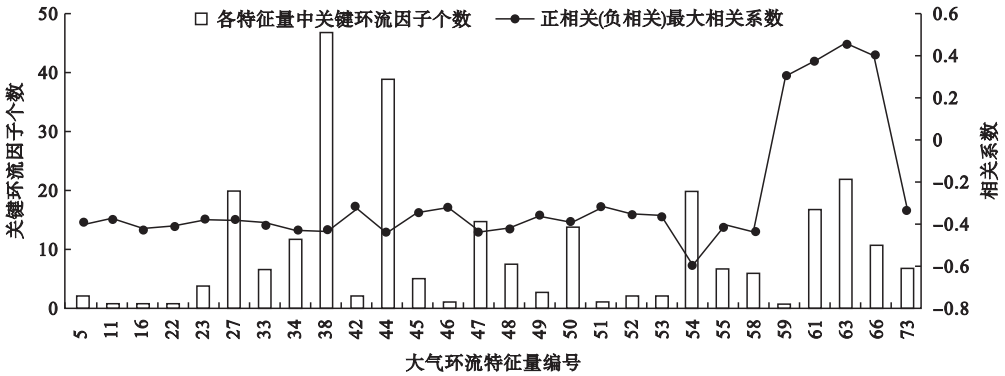


图 2 影响中国稻飞虱发生程度的大气环流特征量

Fig. 2 Atmospheric circulation characteristics influencing national rice planthopper occurrence degree

表 4 副高类关键环流因子与全国稻飞虱发生程度的关系

Table 4 Correlation between key circulation factors of subtropical high class and national rice planthopper occurrence degree

环流因子	相关系数	环流因子	相关系数
27s12d1	-0.3804	44s11d1	-0.4464
27s10d1	-0.3689	44s10d1	-0.4324
27s10d2	-0.3543	44s12d1	-0.4294
27s11d1	-0.3497	44s9d1	-0.4148
27s9d1	-0.3494	44s10d2	-0.4073
38s10d1	-0.4305	45d6d9	0.3560
38s9d1	-0.4245	45d6d10	0.3430
38s12d1	-0.4207	45d7d9	0.3353
38s11d1	-0.4119	45d6d8	0.3274
38s10d2	-0.4044	45d7d10	0.3238

示指标为例,在全国稻飞虱发生程度的重发年,上年 11 月至当年 1 月太平洋副高北界指数较多年平均值偏小约 2、上年 7—10 月亚洲纬向环流指数偏大约 8、上年 9 月至当年 1 月东亚槽强度偏强约 6,上

年 2—5 月太阳黑子偏小约 240。在全国稻飞虱发生程度轻发年,上年 11 月至当年 1 月太平洋副高北界指数较多年平均值偏大约 2、上年 7—10 月亚洲纬向环流指数偏小约 10、上年 9 月至当年 1 月东亚槽强度偏小约 4,上年 2—5 月太阳黑子指数偏大约 960。

2.3 影响全国稻飞虱发生指数的大气环流特征量和等级指示指标

74 项大气环流特征量中,影响全国稻飞虱发生指数的大气环流特征量共 52 项(图 3)从环流特征量类别分析,主要为副高类和极涡类。副高类环流特征量对全国稻飞虱发生指数有显著正效应;极涡类环流特征量对全国稻飞虱发生指数有显著负效应。副高类环流特征量中,与脊线指数和北界指数相比,面积指数和强度指数对全国稻飞虱的发生面积率影响更显著。与其他区副高相比,西太平洋副高对稻飞虱发生指数影响较小。极涡类、槽类、环流

类中,对稻飞虱发生指数影响最显著的特征量分别为北半球极涡强度指数、大西洋欧洲环流型 C、西藏高原指数,最大相关系数分别为 0.63、0.66、0.65。

表 6 给出了全国稻飞虱发生指数等级的大气环流指示因子及等级指示指标。以当年 2 月初的指示指标为例,在全国稻飞虱发生指数大的重发年,上年

表 5 基于大气环流特征量的全国稻飞虱发生程度等级指示指标

Table 5 Leading indicator for the rank of national rice planthopper occurrence degree based on atmospheric circulation characteristics

指示指标 构建时间	指示 因子	含义	相关 系数	稻飞虱发生面积率等级指标				多年 平均值
				轻	偏轻	偏重	重	
当年 2 月初	44s11d1	上年 11 月至当年 1 月太平洋副高北界	-0.446	22	21.2	19.5	17.9	19.9
	63s7s10	上年 7—10 月亚洲纬向环流指数	0.457	100	105.3	110.7	118	110
	66s9d1	上年 9 月至当年 1 月东亚槽强度	0.404	171.4	172.7	174.1	181.9	175.2
	73s2s5	上年 2—5 月太阳黑子	-0.317	1642.8	757.5	672.5	437.1	680.0
当年 4 月初	44s11d1	上年 11 月至当年 1 月太平洋副高北界	-0.446	22	21.2	19.5	17.9	19.9
	63s7s10	上年 7—10 月亚洲纬向环流指数	0.457	100	105.3	110.7	118	110
	66s9d2	上年 9 月至当年 2 月东亚槽强度	0.409	156.7	157.4	161.0	166.0	160.4
	73s2s5	上年 2—5 月太阳黑子	-0.317	1642.8	757.5	672.5	437.1	680.0
当年 6 月初	44s11d1	上年 11 月至当年 1 月太平洋副高北界	-0.446	22	21.2	19.5	17.9	19.9
	63s7s10	上年 7—10 月亚洲纬向环流指数	0.457	100	105.3	110.7	118	110
	66s9d2	上年 9 月至当年 2 月东亚槽强度	0.409	156.7	157.4	161.0	166.0	160.4
	73s2s5	上年 2—5 月太阳黑子	-0.317	1642.8	757.5	672.5	437.1	680.0

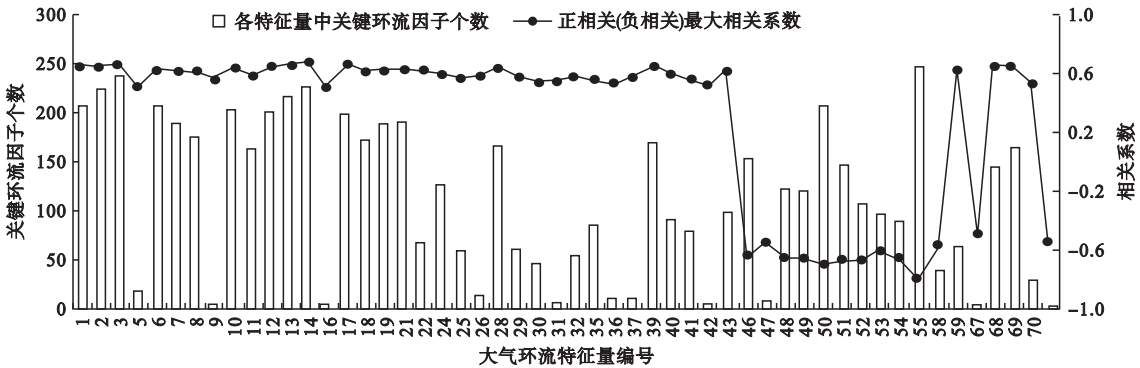


图 3 影响中国稻飞虱发生指数的大气环流特征量

Fig. 3 Atmospheric circulation characteristics influencing national rice planthopper occurrence index

表 6 基于大气环流特征量的全国稻飞虱发生指数等级指示指标

Table 6 Leading indicator for the rank of national rice planthopper occurrence index based on atmospheric circulation characteristics

指示指标 构建时间	指示 因子	含义	相关 系数	稻飞虱发生面积率等级指标				多年 平均值
				轻	偏轻	偏重	重	
当年 2 月初	12s7d1	上年 7 月至当年 1 月北半球副高强度指数	0.606	147.4	167.9	218.8	235.2	165.1
	55s4d1	上年 4 月至当年 1 月北半球极涡强度指数	-0.719	218.5	215.0	209.5	199.7	211.4
	58s7s12	上年 7—12 月大西洋欧洲环流型 W	-0.536	13.2	12.7	12.1	9.2	12.2
	68s1s10	上年 1—10 月西藏高原 2	0.581	754.4	757.2	763.8	766.6	759.9
当年 4 月初	12s7d3	上年 7 月至当年 3 月北半球副高强度指数	0.603	106.3	120.1	164.3	171.6	136.8
	55s4d3	上年 4 月至当年 3 月北半球极涡强度指数	-0.733	235.7	233.2	228.5	217.8	229.6
	58s7s12	上年 7—12 月大西洋欧洲环流型 W	-0.536	13.2	12.7	12.1	9.2	12.2
	68s1s10	上年 1—10 月西藏高原 2	0.581	754.4	757.2	763.8	766.6	759.9
当年 6 月初	12s7d5	上年 7 月至当年 5 月北半球副高强度指数	0.596	98.0	115.1	159.5	163.8	130.7
	55s4d5	上年 4 月至当年 5 月北半球极涡强度指数	-0.752	227.5	224.8	219.6	209.5	221.2
	58s7s12	上年 7—12 月大西洋欧洲环流型 W	-0.536	13.2	12.7	12.1	9.2	12.2
	68s1s10	上年 1—10 月西藏高原	0.581	754.4	757.2	763.8	766.5	759.9

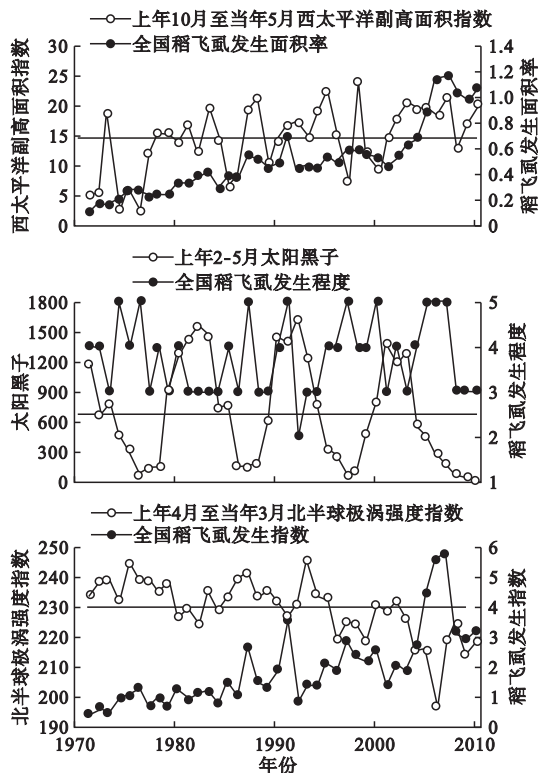


图4 稻飞虱发生面积率、发生程度、发生指数与指示因子时间序列

Fig. 4 Rice planthopper occurrence area ratio, occurrence degree, occurrence index and indicative factors time series
细横线为指示因子1971—2010年的平均值。

7月至当年1月北半球副高强度指数较多年平均值偏大70,上年4月至当年1月北半球极涡强度指数偏小约10,上年7—12月大西洋欧洲环流型W偏小约3、上年1—10月青藏高原指数(30°N — 40°N , 75°E — 105°E)偏大约6。在全国稻飞虱发生指数的轻发年,上年7月至当年1月北半球副高强度指数较多年平均值偏小约18,上年4月至当年1月北半球极涡强度指数偏大约7,上年7月—12月大西洋欧洲环流型指数W偏大约1,上年1—10月青藏高原指数(30°N — 40°N , 75°E — 105°E)偏小约5。

3 讨论

通过1971—2010年全国稻飞虱发生面积率、发生程度、发生指数与膨化后的大气环流特征量的相关分析,筛选了对中国稻飞虱发生影响显著的大气环流特征量及组合时段。其中,副高类和极涡类环流量对全国稻飞虱发生影响显著,其次为槽类。副高类环流特征量对稻飞虱发生面积率、发生指数的影响为正效应;上年10月至当年1月的西太平洋副热带高压脊线及北界位置、太平洋副高北界对稻飞

虱发生程度的影响为负效应,当年6—10月的西太平洋副高西伸脊点的影响为正效应。极涡类环流特征量对稻飞虱发生的影响均为负效应,其中,北半球极涡强度指数对稻飞虱发生面积率、发生指数影响显著,大西洋欧洲区极涡强度指数对稻飞虱发生程度影响显著。槽类环流特征量对稻飞虱发生的影响均为正效应,其中,东亚槽强度、印缅槽影响稻飞虱发生面积率、发生程度、发生指数,西藏高原影响稻飞虱发生面积率、发生指数。

以稻飞虱发生面积率、发生程度、发生指数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,筛选了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了稻飞虱发生等级指示指标。研究表明,影响稻飞虱发生面积率等级的指示因子为西太平洋副高面积指数、南海副高脊线、北半球极涡强度指数、印缅槽。影响稻飞虱发生程度等级的指示因子为太平洋副高北界、亚洲纬向环流指数、东亚槽强度、太阳黑子。影响稻飞虱发生指数等级的指示因子为北半球副高强度指数、北半球极涡强度指数、大西洋欧洲环流型W、青藏高原指数。构建的指示指标在稻飞虱不同发生等级差异明显,对稻飞虱发生等级指示作用显著。

为提高指示因子的实证性,本文将筛选出的指示因子与稻飞虱历史发生情况进行回代检验。从稻飞虱发生面积率与西太平洋副高面积指数的关系可以看出(图4a),1987、1991、1995、1997—1998、2002—2010年稻飞虱发生面积率较高,除1997、2008年外,其他12年对应的西太副高面积指数偏高,均高于近40年平均值。即西太平洋副高对稻飞虱发生影响的正效应可由事实报道验证:1987年西太副整体表现为2—5月强度持续偏强,导致1987年稻飞虱始见期早、发生面积大(赵圣菊,1988)。1991年副高整体表现为4—7月持续强盛,造成该年黄河流域至长江中下游地区持续多雨,导致1991年稻飞虱特大发生(封传红等,2002)。其影响机制可能是西太平洋副热带高压强盛时,高空西南气流强盛促使稻飞虱随西南气流大量向北输送,雨日增多引起稻飞虱大量、频繁降落,导致全国稻飞虱大面积发生(汤金仪等,1996)。

从图4b可以看出,全国稻飞虱发生程度为5级的9年中,除1974、2000年,其余年份对应的上年2

至5月太阳黑子明显偏弱,其中有3年处于太阳黑子周期性最小值年。1992年稻飞虱发生程度为2级,为近40年来唯一的轻发年,当年的太阳黑子强度为近40年来最强值。即太阳黑子少时,稻飞虱易严重发生。这与前人研究结果相符:中国长江中下游稻区褐飞虱在大发生年主要出现在太阳黑子活动周期的下降阶段(舒畅等,2011)。东亚地区及东南亚地区褐飞虱大发生年主要处于太阳黑子活动周期的下降阶段(黄荣华等,2011)。太阳黑子的具体影响机制尚不明确,但其周期性活动能够引起全球大范围气候条件(如温度、湿度、光照强度等)的变化,因此也可能会影响稻飞虱种群的消长动态。

分析表明,北半球极涡强度指数与中国稻飞虱发生指数呈显著负相关,北半球极涡强度指数小,稻飞虱发生指数偏高(图4c)。在稻飞虱发生指数等级为4级的7年中,除1987年外,其他年份均对应的北半球极涡强度偏弱年。90年代初至2006年北半球极涡强度持续减弱,稻飞虱发生指数持续上升。

通过上述大气环流指示因子与稻飞虱历史发生情况回代检验分析,证明筛选出的指示因子与虫情吻合程度较好、规律性明显,因此,对于稻飞虱的发生等级具有指示性作用。同时,以本文所得结果为基础,建立全国稻飞虱发生的回归预测模型,对入选回归预测模型的大气环流因子物理意义及其影响机制分析探讨。

参考文献

包云轩,谢杰,向勇,等. 2009. 低空急流对中国褐飞虱重大北迁过程的影响. 生态学报, **29**(11): 5773-5782.

包云轩,徐希燕,王建强,等. 2007. 白背飞虱重大迁入过程的大气动力背景分析. 生态学报, **27**(12): 4527-4535.

陈惠,关瑞锋,杨凯,等. 2008. 福建省稻飞虱气象条件适宜程度等级预报. 中国农业气象, **29**(4): 496-498.

封传红,翟保平,张孝羲,等. 2002. 我国北方稻区1991年稻飞虱大发生虫源形成. 生态学报, **22**(8): 1302-1314.

高苹,武金岗,陈宁,等. 2005. 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. 生态学杂志, **24**(2): 146-152.

黄荣华,舒畅,姚英娟,等. 2011. 太阳黑子周期与褐飞虱大发生年份的关系. 华中农业大学学报, **30**(3): 322-326.

霍治国,陈林,叶彩玲,等. 2002. 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, **11**(1): 97-102.

霍治国,李茂松,王丽,等. 2012. 降水变化对中国农作物病虫害的影响. 中国农业科学, **45**(10): 1935-1945.

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

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

李军,蒋耀培,杨秋珍,等. 2005. 单季晚稻褐飞虱发生程度的气候诊断. 生态学杂志, **24**(3): 339-342.

刘祖建,陈冰,李志杰,等. 2011. 气象因子对第2代稻飞虱发生程度的影响及预测模型. 南方农业学报, **42**(12): 1500-1502.

卢小凤,霍治国,申双和,等. 2012. 气候变暖对中国褐飞虱越冬北界的影响. 生态学杂志, **31**(8): 1977-1983.

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

舒畅,姚英娟,曾小军,等. 2011. ENSO事件和太阳黑子活动与我国长江中下游稻区褐飞虱大发生关系的研究. 江西农业大学学报, **33**(2): 258-263.

谈涵秋,毛瑞曾,程极益,等. 1984. 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, (2): 18-25.

汤金仪. 1996. 我国水稻迁飞性害虫猖獗成因及其治理对策建议. 生态学报, **16**(2): 167-173.

王海建,杨茂发,李庆,等. 2006. 稻飞虱发生程度的神经网络模型拟合研究. 四川农业大学学报, **24**(1): 37-39, 60.

巫国瑞,俞晓平,陶林勇. 1997. 褐飞虱和白背飞虱灾害的长期预测. 中国农业科学, **30**(4): 26-30.

冼晓青,翟保平,张孝羲,等. 2007. 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, **50**(6): 578-587.

严明良,缪启龙,包云轩. 2008. 基于大气动力学理论的迁飞性害虫迁入峰实时预警研究. 安徽农业科学, **36**(23): 10033-10036.

叶正襄,黄荣华,秦厚国,等. 1992. 用海温分布特征预报早稻白背飞虱发生量的研究. 植物保护, **18**(4): 88-89.

赵圣菊. 1988. 从气象因素分析1987年稻飞虱大发生的原因. 植物保护, **14**(2): 2-5.

郑大玮,李茂松,霍治国. 2013. 农业灾害与减灾对策. 北京: 中国农业出版社.

朱敏,胡国文,唐健,等. 1997. 全球气候异常对我过褐飞虱发生的影响. 中国农业科学, **30**(5): 1-5.

Milks AP, Rutter JF, Rosenberg LJ. 1996. Weather associated with spring and summer migrations of rice pests and insects in south-eastern and eastern Asia. *Bulletin of Entomological Research*, **86**: 683-694.

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

Otuka A, Watanabe T, Suzuki Y, et al. 2005. A migration analysis of the rice planthopper *Nilaparvata lugens* from the Philippines to East Asia with three-dimensional computer simulations. *Population Ecology*, **47**: 143-150.

Riley JR, Cheng XN, Zhang XX, et al. 1991. The long-distance migration of *Nilaparvata lugens* (Stål) (Delphacidae) in China: Radar observations of mass return flight in the autumn. *Ecological Entomology*, **16**: 471-489.

作者简介 于彩霞,女,1988年生,硕士研究生,主要从事农业和生物气象灾害研究。E-mail: xiaoyu_abcd@126.com

责任编辑 李凤芹