

褐飞虱 (*Nilaparvata lugens* (Stål)) 前期迁入与 ENSO 指标的遥相关及其中长期预测

冼晓青¹, 翟保平^{1,*}, 张孝羲¹, 程遐年¹, 王建强²

(1. 南京农业大学昆虫学系, 农业部病虫害监测与治理重点实验室, 南京 210095 ;

2. 农业部全国农业技术推广服务中心病虫害测报处, 北京 100026)

摘要 : 分析了全国 6 个不同褐飞虱发生区内 16 个监测点的褐飞虱 (*Nilaparvata lugens* (Stål)) 前期迁入量与从前两年 1 月至当年 6 月各月 ENSO 指标 (包括 4 个 Nino 区海温和南方涛动指数 (SOI) 的月平均距平值) 遥相关的时空分布。结果表明, 与褐飞虱前期迁入量显著遥相关的 ENSO 指标主要为 N3 区、N4 区和 N3.4 区的海温, 三者共占显著相关指标总数的 71.8%。在时间分布上, 显著遥相关的 ENSO 指标主要分布在前两年和前一年 (约占 84%) , 当年仅占 16.7%。从相关性质来看, 褐飞虱前期迁入量与各 Nino 区海温在前两年至前一年春季之前呈负相关, 而与前一年冬季至当年春季呈正相关; 与前一年夏秋季 ENSO 指标的相关性质则无明显规律。褐飞虱前期迁入量与各 Nino 区海温和与 SOI 遥相关的相关性质相反。以前期显著相关的 ENSO 指标为预测因子, 用逐步回归法建立褐飞虱前期迁入量的中长期预测方程。筛选出历史回检率和预测准确性较高的方程, 经集成后共获得 12 个预报模型, 可提前 3 ~ 27 个月作出预测, 预测的准确率为 88.9%。

关键词 : 褐飞虱, ENSO 指标, 前期迁入, 中长期预测

文章编号 : 1000-0933 (2007) 08-3144-11 中图分类号 : S431, S435.112+.3 文献标识码 : A

Teleconnection between ENSO indices and the early immigration of brown planthopper : implication for its medium- and long-term forecast

XIAN Xiao-Qing¹, ZHAI Bao-Ping^{1,*}, ZHANG Xiao-Xi¹, CHENG Xia-Nian¹, WANG Jian-Qiang²

1 Key Laboratory of Pest Monitoring and Management of Chinese Agricultural Ministry, Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China

2 Pest Forecasting Division, National Agro-technique Extension and Service Center, Beijing 100026, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (8) 3144 ~ 3154.

Abstract : Teleconnection between the early immigration of brown planthopper (BPH) *Nilaparvata lugens* Stål and ENSO indices from January 2 years previously until June of the current year was investigated. ENSO indices included the Southern Oscillation Index (SOI) and Sea Surface Temperature (SST) anomalies of four Nino regions : Nino1 + 2 region (N1 + 2, 0° — 10°S, 90° — 80°W), Nino3 region (N3, 5°N — 5°S, 150° — 90°W), Nino4 region (N4, 5°N — 5°S, 160°E — 150°W) and Nino3.4 region (N3.4, 0° — 10°S, 170° — 120°W). Brown planthopper data used in this study were light trap catches during 1977 — 2003 from 16 BPH monitoring stations in 6 different BPH occurrence areas.

Pearson correlation coefficients between monthly mean ENSO indices and the early immigration of BPH at different

基金项目 : 国家“973”资助项目 (TG2000016210) ; 国家“十五”攻关资助项目 (2001BA50PB01)

收稿日期 : 2007-01-10 ; 修订日期 : 2007-05-29

作者简介 : 冼晓青 (1981 ~) 女, 江苏盱眙人, 博士生, 主要从事昆虫生态和预测预报研究. E-mail : xqxian@njau.edu.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail : bpzhai@njau.edu.cn

致谢 : 英文摘要承蒙英国洛桑实验站 J. W. Chapman 先生润色, 在此表示感谢。

Foundation item : This work was financially supported by National project (grants TG2000016210, 2001BA50PB01)

Received date 2007-01-10 ; **Accepted date** 2007-05-29

Biography : XIAN Xiao-Qing, Ph. D. candidate, mainly engaged in entomological ecology and pest forecasting. E-mail : xqxian@njau.edu.cn

monitoring stations were calculated. The main correlation results were as follows : ENSO indices which were significantly correlated with the early immigration of BPH were primarily SST anomalies in N3 , N4 and N3.4 regions , accounting for 71.8% of the total. Significant ENSO indices from two years and one year before the immigration events had a proportion of about 84% , while those in the current year only accounted for 16.7% . There was significant negative correlation between the early immigration of BPH and SST anomalies for each Nino region from two years before until the previous spring , whereas there was significant positive correlation between these two factors during the period from the previous winter to the current spring. The significant correlation between the early immigration of BPH and SST anomalies for each Nino region in the last summer and autumn did not show any obvious tendencies. The relationship between the SOI and the early immigration of BPH was opposite to that between the immigration and SST anomalies for each Nino region.

The above significant ENSO indices were used as key factors to build forecasting models for the early immigration of BPH by step-wise multiple linear regression analysis. BPH light trap data from the last three years were set aside for predictive validation. To evaluate the forecasting models , the early immigration of BPH was divided into 3 levels including small immigration (1st level $y < \bar{y} - \sigma_y$) , medium immigration (2nd level $\bar{y} - \sigma_y \leq y \leq \bar{y} + \sigma_y$) and large immigration (3rd level $y > \bar{y} + \sigma_y$). If the predictive immigration level was the same as the actual occurrence , it was classed as a correct prediction. On the contrary , if the predicted value was different from the actual data , it was classed as an error. The historical accordance (the percentage of correct predictions in the modeled years) and predictive accuracy (correct predictions in three predictive years) of each model was calculated. The models with more than 50% of historical accordance and two correct predictions in the last three years were screened out for integrated forecasts. Finally , 12 forecasting models were obtained , which can make prediction 3 — 27 months ahead and had a predictive accuracy of 88.9% (32 of 36 forecasts correct) .

Key Words : brown planthopper ; ENSO indices ; the early immigration ; medium- and long-term forecast

20 世纪 70、80 年代 褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål)种群暴发频率逐渐增加 90 年代由于扑虱灵和吡虫啉等特效药剂的使用 褐飞虱种群数量整体呈下降趋势。但进入 21 世纪以来 褐飞虱种群大发生态势又有所增加。褐飞虱种群大发生因年份和地区而异 当一些因子 (如水稻品种、种植制度和农药使用等)相对稳定时 引发种群大发生的主要因素有迁入量、气候因子等。其中 迁入量是种群大发生的基础。褐飞虱的前期迁入不仅可以直接危害水稻 而且为后期危害积累了初始虫源。根据褐飞虱迁入的不同时期 将 5 次主要“北迁”过程^[1]中的褐飞虱迁入量定义为前期迁入 而后期由于台风倒槽或强下沉气流引起的或“南迁”过程中的迁入量定义为后期迁入。本文的研究对象是褐飞虱前期迁入。

影响褐飞虱迁入的因素有很多 如虫源地的发生情况、迁飞过程中的大气状态以及降落地的天气等等。研究表明 褐飞虱“北迁”过程与我国东部雨带向北推进的过程几乎同步^[1] 强下沉气流和降雨都十分利于褐飞虱的降落^[2,3]。因此 大气环流和气候的异常都将会影响褐飞虱的迁入。而海温的变化又是导致大气环流和气候异常的重要物理因子。其中 赤道太平洋海温变化可以通过大气热量和动量交换 对中高纬度的环流产生影响 从而改变全球气候。ENSO 是反映赤道太平洋海温变化的强信号 也是影响我国气候异常的重要原因之一^[4~6]。它可以通过改变大气环流或气候影响害虫种群的发生 而迁飞性害虫发生更与其密切相关^[2,7]。现有研究表明 一些主要农林害虫的发生与 ENSO 事件都有一定的相关关系 如稻飞虱^[8~10]、棉铃虫^[11]、马尾松毛虫^[12]和东亚飞蝗^[13]等。而 ENSO 指标则反映了 ENSO 事件的特征 因此可以作为预测褐飞虱发生的一个指标。

目前褐飞虱的预测预报主要是中短期预报 而长期预报主要涉及两个方面 : (1) 定性地描述褐飞虱发生与 ENSO 事件的关系 一般认为褐飞虱大发生年与厄尔尼诺年相关联 尤其是与强厄尔尼诺年的关系更密切^[9,10,14] ; (2) 根据前期气象因子或环流因子作定性长期预报^[15,16] 或建立预测模型进行预报^[17~19]。本文将

以 ENSO 指标为预测因子,褐飞虱前期迁入量为预测对象,分析两者之间遥相关关系的时空分布规律,并探讨利用前期显著相关的 ENSO 指标对褐飞虱前期迁入量进行中长期定量预测的可能性。

1 资料与方法

1.1 资料

ENSO 指标来源于美国国家海洋和大气局 (National Oceanic and Atmospheric Administration ,NOAA)的气候预测中心 (Climate Prediction Center ,CPC)。主要包括 4 个 Nino 区 (Nino1 + 2、Nino3、Nino3.4 和 Nino4 区,如图 1)自 1951 年至今的逐年月平均海温和南方涛动指数 (Southern Oscillation Index ,SOI)。

褐飞虱灯诱资料包括全国各省稻飞虱监测点的全年逐日或逐侯灯诱数据,由全国农技推广中心测报处和各相关测报站提供。根据我国褐飞虱发生区^[20]和虫情资料的记载情况,在各发生区内选择一定的监测点,其历史资料的时空分布和具体的前期迁入期见表 1。

表 1 褐飞虱监测点灯诱资料的时空分布及前期迁入期

Table 1 The spatio-temporal distribution of BPH light trap data and the early immigration periods of BPH					
发生区 Occurrence areas	站点 Stations	经度 (°E) Longitude	纬度 (°N) Latitude	历史资料年份 Years of historical data	前期迁入期 Periods of the early immigration
两广南部 South of Southern China	广西龙州 Longzhou , Guangxi	106. 84	22. 36	1977 ~ 2003 (2001 ,2002)	3 ~ 5/下 Mar. to the 3rd ten days of May
	广东肇庆 Zhaoqing , Guangdong	112. 44	23. 05	1979 ~ 2002 (1996 ,2001)	3 ~ 5/下 Mar. to the 3rd ten days of May
	广东汕头 Shantou , Guangdong	116. 33	23. 23	1978 ~ 2000	3 ~ 6/上 Mar. to the 1st ten days of Jun.
南岭区 Nanling Area	广西全州 Quanzhou , Guangxi	111. 00	25. 90	1977 ~ 2003 (1993 ,1994 ,2001)	3 ~ 6/中下 Mar. to the 2nd or 3rd ten days of Jun.
	广东曲江 Qujiang , Guangdong	113. 17	24. 47	1978 ~ 2003 (2001 ,2002)	3 ~ 6/下 Mar. to the 3rd ten days of Jun.
	福建福清 Fuqing , Fujian	119. 39	25. 73	1977 ~ 2003 (2001)	3 ~ 6/下 Mar. to the 3rd ten days of Jun.
岭北区 North to Nanling Area	贵州天柱 Tianzhu , Guizhou	109. 20	26. 89	1977 ~ 2000 (1986)	4 ~ 7/中 Apr. to the 2nd ten days of Jul.
	江西吉安 Jián , Jiangxi	114. 97	27. 12	1977 ~ 2000	4 ~ 7/上中 Apr. to the 1st or 2nd ten days of Jul.
	浙江黄岩 Huangyan , Zhejiang	121. 38	28. 65	1977 ~ 2000	4 ~ 7/上 Apr. to the 1st ten days of Jul.
沿江区 Yangtze River Valley	湖北监利 Jianli , Hubei	112. 90	29. 83	1977 ~ 2000 (1981 ,1985)	5 ~ 7/下 May to the 3rd ten days of Jul.
	安徽东至 Dongzhi , Anhui	116. 99	30. 08	1978 ~ 2000	5 ~ 7/下 May to the 3rd ten days of Jul.
	江苏高淳 Gaochun , Jiangsu	118. 87	31. 32	1976 ~ 2003	5 ~ 7/下 May to the 3rd ten days of Jul
	江苏通州 Tongzhou , Jiangsu	121. 05	32. 08	1977 ~ 2002	5 ~ 7/下 May to the 3rd ten days of Jul.
江淮区 Yangtze- Huaihe River Valley	江苏高邮 Gaoyou , Jiangsu	119. 45	32. 78	1981 ~ 2003	5 ~ 8/上 May to the 1st ten days of Aug.
	江苏淮阴 Huaiyin , Jiangsu	119. 02	33. 62	1977 ~ 2001	5 ~ 8/上 May to the 1st ten days of Aug.
淮北区 Huaibei Area	江苏赣榆 Ganyu , Jiangsu	119. 11	34. 83	1977 ~ 2000 (1999)	5 ~ 8/中 May to the 2nd ten days of Aug.

* 括号内的年份表示缺失资料的年份 The years in the brackets mean the missing years of historical data.

预测因子的筛选 分别计算各站点褐飞虱前期迁入量 (经自然对数处理后为 lnY)与从前两年 1 月开始至当年 6 月各 ENSO 指标 (经距平处理)的相关系数。选择达到概率水平 $P < 0. 05$ 的 ENSO 指标作为预测

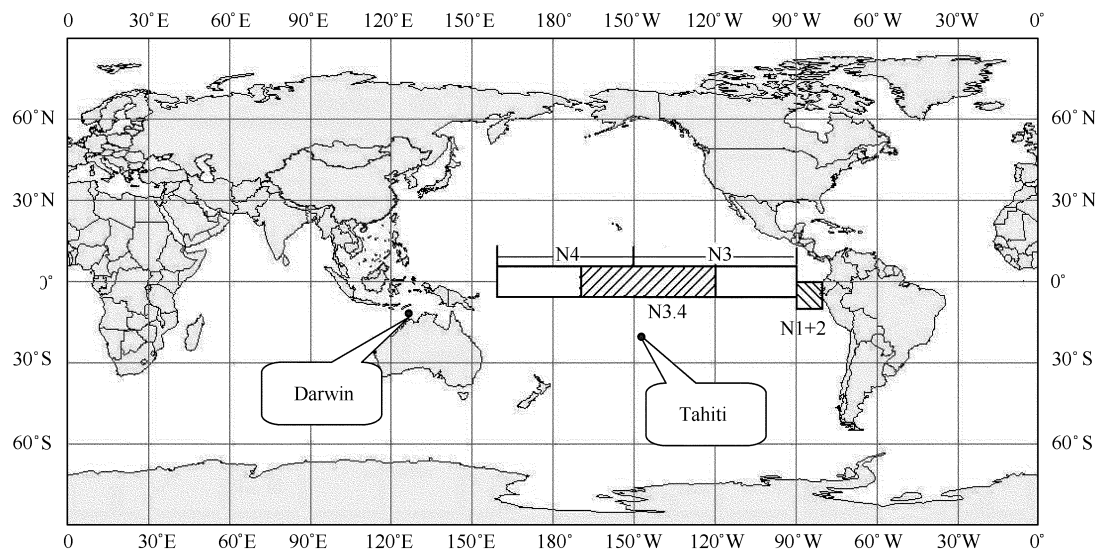


图 1 ENSO 指标示意图
Fig. 1 The illustration of ENSO indices

因子。

模型建立及效果分析 将显著相关的 ENSO 指标按照提前的年份 (即前两年、前一年和当年) 和指标类别 (N1 + 2、N3、N4、N3.4 和 SOI) 分开, 对同一指标在同一年里的所有相关月份进行不同的组合后, 用逐步回归法分别建立个别的预测模型, 最后 3a 历史资料用作方程的预检, 将各站点的历史虫情资料以平均数加减一个标准差 ($\bar{y} \pm \sigma_y$) 为临界值将迁入量分为 3 级, 计算各模型的历史回检率和预测准确性, 筛选出有效的预测模型 (即回检率 $\geq 50\%$ 且在预检的 3a 里至少要有 2a 预测准确)。

集成预报: 为了提高预报的效果, 再将各站点的模型作进一步优化, 首先删除预测值与实际值误差较大的方程, 即在预测的 3a 里任何一年的预测误差都不超过 0.5 级, 然后, 将方程按前两年、前一年和当年 3 种预测时效分类, 按站点分别组建超长期 (前两年)、长期 (前一年) 和中期 (当年) 系列集成预测模型。集成预测模型包含有更多的海温时空信息, 也便于推广应用。

对于同一个监测点来说, n 个预报方程得出的预报结果为 $\{Y_i\}, i = 1, 2, \dots, n$, 最终集成的预报结果 (Y):

$$Y = \sum_{i=1}^n W_i Y_i \quad i = 1, 2, \dots, n$$
$$W_i = \frac{\alpha \cdot p_i + (1 - \alpha) \cdot q_i}{\sum_{i=1}^n [\alpha \cdot p_i + (1 - \alpha) \cdot q_i]}$$

式中, W_i 是权重系数, p_i 是方程的预检率, q_i 是方程的回检率, $i = 1, 2, \dots, n$ 。 α 是预检率的权重, 在 0.5 和 1 之间。本文取 $\alpha = 0.7$ 。

2 结果与分析

2.1 褐飞虱前期迁入与 ENSO 指标的遥相关

表 2 结果表明, 褐飞虱前期迁入量与各 Nino 区海温距平的相关性质和与 SOI 距平的相关性质相反: 与各 Nino 区海温距平在前两年至前一年春季之前常呈负相关, 而在前一年冬季至当年春季常呈正相关; 与 SOI 距平在前两年至前一年春季之前常呈正相关, 而在前一年冬季至当年春季常呈负相关。在前一年夏秋季与各 Nino 区海温或 SOI 距平的相关性质则没有明显的规律。由此可以推出, 当前一年冬春季各 Nino 区海温升高和 SOI 为负值时 (即 ENSO 暖位相), 将加大我国褐飞虱前期大量迁入的可能性, 而当前一年冬春季各 Nino 区

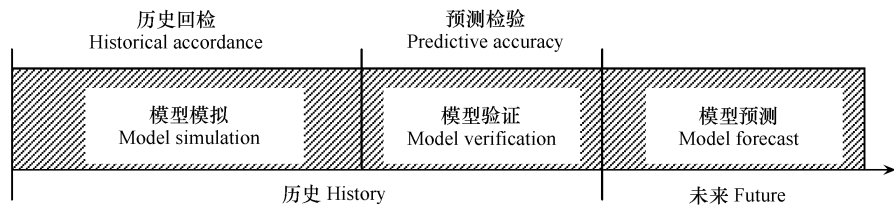


图 2 预测模型结论的 3 个区域

Fig. 2 Three parts of the forecasting model conclusion

表 2 各监测点褐飞虱前期迁入与 ENSO 指标遥相关的时空分布

Table 2 Teleconnection between ENSO indices and the early immigration of BPH at different stations

站点 Station	与 ENSO 指标显著相关的月份 ($P < 0.05$) Months with significant correlation ($P < 0.05$)				
	N1 + 2 区 N1 + 2 Region	N3 区 N3 Region	N4 区 N4 Region	N3.4 区 N3.4 Region	SOI SOI
广西龙州 Longzhou, Guangxi		AUG ₁	– JAN ₂ , – FEB ₂ , APR ₁ , JUL ₁ , – AUG ₁ , SEP ₁	MAY ₁ , JUL ₁ , AUG ₁	– JUN ₁ , – JUL ₁ , – OCT ₁
广东肇庆 Zhaoqing, Guangdong	JUN ₂ , SEP ₁ , OCT ₁	MAY ₂ , JUN ₂	APR ₂ , MAY ₂ , DEC ₂ , APR ₁	MAY ₂ , APR ₁ , MAY ₁	– MAR ₁ , – APR ₁ , – OCT ₁
广东汕头 Shantou, Guangdong				– APR ₂ , – MAY ₂	MAR ₂
广西全州 Quanzhou, Guangxi					
广东曲江 Quijiang, Guangdong	– DEC ₂ – – FEB ₁	– JAN ₁ – – MAY ₁		– FEB ₁ , – APR ₁	
福建福清 Fuqing, Fujian		– JAN ₁	– MAY ₂ – – JUL ₂ , AUG ₂ , – DEC ₂ , – MAR ₁ – – MAY ₁	– JAN ₁ , – APR ₁	AUG ₂ – OCT ₂
贵州天柱 Tianzhu, Guizhou		– MAY ₂ – – MAR ₁	– JUN ₂ , – JUL ₂ , AUG ₂ , FEB, MAR	– MAY ₂ – – DEC ₂	AUG ₂ , APR ₁
江西吉安 Ji'an, Jiangxi	FEB				– NOV ₁ , – FEB
浙江黄岩 Huangyan, Zhejiang	– JUN ₂ – – JAN ₁	– APR ₂ – – MAR ₁	– APR ₂ , – JUL ₂ , – OCT ₂ , – NOV ₂ , JAN – MAR	– APR ₂ – – MAR ₁ , FEB, MAR	MAY ₂ , AUG ₂ , SEP ₂ , NOV ₂ , JAN ₁ , APR ₁
湖北监利 Jianli, Hubei					JAN ₁
安徽东至 Dongzhi, Anhui					
江苏高淳 Gaochun, Jiangsu	– MAY ₂ , – JUL ₂ , OCT ₁ – FEB	SEP ₁ – MAR	JUN ₁ , JUL ₁ , – AUG ₁ , SEP ₁ – MAR	JUN ₁ , AUG ₁ – MAR	– AUG ₁ , – NOV ₁
江苏通州 Tongzhou, Jiangsu	– MAY ₂ , – OCT ₂ , – MAR ₁	– APR ₂ – – AUG ₂ , NOV ₁ – FEB	OCT ₁ – MAR	SEP ₁ – MAR	MAY ₂ – NOV ₁ , – DEC ₁ – – MAR
江苏高邮 Gaoyou, Jiangsu	– MAR ₁		AUG ₂		MAY ₂
江苏淮阴 Huaiyin, Jiangsu	– MAY ₂ – – DEC ₂	– MAY ₂ , – JUL ₂ , – AUG ₂	– AUG ₁ , SEP ₁ – APR	SEP ₁ – FEB	MAY ₂ – NOV ₁ , – MAR, – APR – NOV ₂ , – FEB ₁
江苏赣榆 Ganyu, Jiangsu					JUN ₁

* 表中的英文大写字母为相关月份缩写,其右下角数字表示提前的年数,没有则为当年;“–”表示显著负相关,没有的表示显著正相关,空白格表示没有显著的相关月份,如 – JAN₂表示在前两年 1 月显著负相关,其余类推。The capitals in the tables are months and the subscripts behind them mean years ahead; The vacant means this year; “–” means the significant negative correlation and blank means no correlation month. For example, – JAN₂ means the negative correlation in the January of 2 years ahead. The others are analogue.

海温降低时 (即 ENSO 冷位相) ,则有可能降低我国褐飞虱前期迁入量 。但部分观测点的数据表明 ,褐飞虱前期迁入量与 ENSO 指标之间几乎没有或很少有显著相关关系 ,如广东汕头、广西全州、浙江黄岩、湖北监利、安徽东至以及江苏赣榆等 ,而另一些站点如江西吉安、贵州天柱、江苏高淳、江苏通州、江苏淮阴等的数据则显示 ,褐飞虱前期迁入与 ENSO 指标之间具有明显的时空分布遥相关关系 ,并且持续时间较长 ,有的达 6 ~ 12 个月。

表 3 给出了各站点褐飞虱前期迁入量与前期 ENSO 指标的显著相关因子的时空分布情况 :在 5 个 ENSO 指标中 ,与 N1 + 2 区海温达到显著相关的月份最少 ,占显著相关月份总数的 13. 7% ;其次是 SOI ,占 15. 4% ;与 N3 区、N4 区和 N3. 4 区海温达到显著相关的月份较多 ,三者共占总数的 70% 以上。从时间分布来看 ,主要分布在前两年和前一年 ,各占 42% 左右 ,当年仅占 16. 7% 。

表 3 与褐飞虱前期迁入显著相关的 ENSO 指标时空分布

Table 3 Spatio-temporal distribution of the ENSO indices significantly correlated with the early immigration of BPH

站点 Station	时间分布 Temporal distribution				空间分布 Spatial distribution			
	前两年 Two years ahead	前一年 One year ahead	当年 This year	N1 + 2 区 N1 + 2 Region	N3 区 N3 Region	N4 区 N4 Region	N3. 4 区 N3. 4 Region	SOI SOI
广西龙州 Longzhou , Guangxi	2	11			1	6	3	3
广东肇庆 Zhaoqing , Guangdong	7	11		3	2	7	3	3
广东汕头 Shantou , Guangdong	3						2	1
广西全州 Quanzhou , Guangxi								
广东曲江 Qujiang , Guangdong	1	9	1	3	5	1	2	
福建福清 Fuqing , Fujian	8	6			1	8	2	3
贵州天柱 Tianzhu , Guizhou		1	2	1				2
江西吉安 Ji'an , Jiangxi	33	9	5	8	12	7	14	6
浙江黄岩 Huangyan , Zhejiang	20	4	2		11	5	8	2
湖北监利 Jianli , Hubei		1						1
安徽东至 Dongzhi , Anhui								
江苏高淳 Gaochun , Jiangsu	2	21	11	6	7	9	10	2
江苏通州 Tongzhou , Jiangsu	7	12	10	3	8	6	7	5
江苏高邮 Gaoyou , Jiangsu	2	1		1		1		1
江苏淮阴 Huaiyin , Jiangsu	11	10	8	7	3	9	6	4
江苏赣榆 Ganyu , Jiangsu	1	2						3
合计 Total	97	98	39	32	50	59	57	36

表中的数字表示与褐飞虱前期迁入量显著相关 ENSO 指标的个数 The number in the table represents the numbers of correlated ENSO indices

2.2 褐飞虱前期迁入量的 ENSO 指标预测模型的建立及其评价

对各站点的个别模型分别进行回检和预检后,最后共有 7 个站点筛选出 44 个有效的预测方程。江西吉安和福建福清较多,分别为 17 和 13 个,其次是广东肇庆,为 7 个;广西龙州 3 个,江苏高邮 2 个,贵州天柱和浙江黄岩各 1 个。其中,广西龙州、广东肇庆、浙江黄岩和江苏高邮的预测方程在预检的 3 a 里全部预测准确。从方程的整体预测准确性来看,共预报 132 次,报对 118 次,准确率为 89.4%。现以江西吉安为例,列出所有的个别预测方程,详见表 4。

表 4 江西吉安褐飞虱前期迁入的 ENSO 指标中长期个别预测模型
Table 4 The medium-and long-term individual forecasting models based on ENSO indices of Ji'an, Jiangxi Province

ENSO 指标 ENSO Indices	预测方程 Models	R	F	P	S	回测检验 (%)	预测检验	
						Historical accordance (%)	Predictive accuracy	
							预测年 Predictive years	错误年 Error years
N4	$\ln Y = 7.2266 - 0.7470 \times \text{NOV}_2$	0.424	4.384	0.049	1.291	81.8	1998 ~ 2000	1998
	$\ln Y = 6.8747 + 1.1503 \times \text{FEB}$	0.525	7.59	0.012	1.214	77.3	1998 ~ 2000	1999
	$\ln Y = 6.7953 + 1.4771 \times \text{MAR}$	0.606	11.63	0.003	1.134	68.2	1998 ~ 2000	1999
N3.4	$\ln Y = 7.2354 - 1.0428 \times \text{MAY}_2$	0.524	7.559	0.012	1.215	86.4	1998 ~ 2000	1998
	$\ln Y = 7.1877 - 1.0108 \times \text{JUN}_2$	0.526	7.661	0.012	1.212	81.8	1998 ~ 2000	1998
	$\ln Y = 7.1323 - 1.1771 \times \text{JUL}_2$	0.566	9.402	0.006	1.176	81.8	1998 ~ 2000	1999
	$\ln Y = 7.0782 - 1.0386 \times \text{AUG}_2$	0.547	8.544	0.008	1.193	81.8	1998 ~ 2000	NO
	$\ln Y = 7.2362 - 0.9583 \times \text{SEP}_2$	0.511	7.071	0.015	1.225	77.3	1998 ~ 2000	NO
	$\ln Y = 7.1504 - 0.7457 \times \text{OCT}_2$	0.515	7.236	0.014	1.222	81.8	1998 ~ 2000	NO
	$\ln Y = 7.1949 - 0.6710 \times \text{NOV}_2$	0.514	7.193	0.014	1.223	81.8	1998 ~ 2000	NO
	$\ln Y = 7.1824 - 0.5136 \times \text{DEC}_2$	0.429	4.520	0.046	1.288	81.8	1998 ~ 2000	1998
	$\ln Y = 7.1904 - 0.5607 \times \text{JAN}_1$	0.465	5.526	0.029	1.262	77.3	1998 ~ 2000	NO
	$\ln Y = 7.1799 - 0.7171 \times \text{FEB}_1$	0.484	6.101	0.023	1.248	77.3	1998 ~ 2000	NO
	$\ln Y = 7.2361 - 0.8544 \times \text{MAR}_1$	0.468	5.603	0.028	1.260	77.3	1998 ~ 2000	1998
	$\ln Y = 7.2303 + 0.3761 \times \text{AUG}_2$	0.461	5.391	0.031	1.265	81.8	1998 ~ 2000	1998
SOI	$\ln Y = 7.1739 + 0.2970 \times \text{JAN}_1$	0.493	6.424	0.002	1.240	72.7	1998 ~ 2000	NO
	$\ln Y = 7.3246 + 0.4262 \times \text{APR}_1$	0.452	5.126	0.035	1.272	86.4	1998 ~ 2000	1998

预测模型中的字母代表月份,后面的数字表示提前年份,没有则表示当年,如 NOV_2 为前两年 11 月份对应 ENSO 指标的月平均值,其余类推; R 相关系数; P 显著性水平; S 剩余标准差。The capitals in the models are months and the subscripts behind them mean years ahead; The vacant means this year; For example, NOV_2 means the monthly average of the corresponding ENSO index in November 2 years ahead; The others are analogue; R : the correlation coefficient; P : the significance level; S : residual standard deviation

2.3 预测方程的集成预报

经回检率和预测准确性的初步筛选,各站点已筛选出几个至十几个包含有各种时空分布特性的预测方程。为了进一步优化,删除预测值与实际值之间误差超过 0.5 级的预测方程。分别计算代表每个方程的预测准确性高低的权重系数 (W_i)。将每个站点的所有方程分为前两年、前一年和当年等 3 类预测时限,分别建立超长期(前两年)、长期(前一年)和中期(当年)系列集成预测模型。最后共有 7 个站点组建了 12 个集成预报模型,预测准确率详见表 5。可见,南方站点好于北方站点。有 7 个站点虽有显著相关的 ENSO 指标但是模型没有通过验证,还有 2 个站点由于没有显著相关的 ENSO 指标不能建立预测方程。现以江西吉安为例,建立的系列集成预报模型如下:

超长期预报模型 $\ln Y = 7.1830 - 0.0940 \times \text{MAY}_{2-N3.4} - 0.0894 \times \text{JUN}_{2-N3.4} - 0.1041 \times \text{JUL}_{2-N3.4} - 0.1219 \times \text{AUG}_{2-N3.4} + 0.0333 \times \text{AUG}_{2-SOI} - 0.1109 \times \text{SEP}_{2-N3.4} - 0.0875 \times \text{OCT}_{2-N3.4} - 0.0660 \times \text{NOV}_{2-N4} - 0.0788 \times \text{NOV}_{2-N3.4} - 0.0454 \times \text{DEC}_{2-N3.4}$

长期预报模型 $\ln Y = 7.2153 - 0.1242 \times \text{JAN}_{1-N3.4} + 0.0648 \times \text{JAN}_{1-SOI} - 0.1589 \times \text{FEB}_{1-N3.4} - 0.1419$

$\times \text{MAR}_{1-N3.4} + 0.0735 \times \text{APR}_{1-\text{SOI}}$

中期预报模型 $\ln Y = 6.8357 + 0.5866 \times \text{FEB}_{0-N4} + 0.7238 \times \text{MAR}_{0-N4}$

集成预测模型中 ,月份下标的第 1 个数字表示提前的年份 ρ 表示当年。下标中 “-” 后的字母表示对应年月的 ENSO 指标预测因子 ,可在表 2 中查看。其他站点的个别预测方程和系列集成预测模型省略。

表 5 褐飞虱前期迁入的 ENSO 指标预测模型集成预报准确性

Table 5 Predictive accuracy of the integrated ENSO indices forecasting models for the early immigration of BPH

发生区 Occurrence Area	监测点 Station	预测准确性 Predictive accuracy		
		前两年 2 years ahead	前一年 1 year ahead	当年 This year
两广南部 South of Southern China	广西龙州 Longzhou ,Guangxi	3	3	
	广东肇庆 Zhaoqing ,Guangdong	3	3	
南岭区 Nanling area	福建福清 Fuqing ,Fujian	3	3	
岭北区 North to Nanling area	贵州天柱 Tianzhu ,Guizhou	2		
	江西吉安 Ji'an ,Jiangxi	2	2	2
	浙江黄岩 Huangyan ,Zhejiang			3
江淮区 Yangtze-Huaihe River Valley	江苏高邮 Gaoyou ,Jiangsu	3		

表中的数字表示集成预测方程在预测 3a 里预报准确的年数 ,空缺则表示对应站点没有对应年份的预报方程 The numbers in the table represent the correct prediction of the last three years ;The vacant means no integrated forecasting models

结果表明 ,16 个站点中有 14 个站点具有显著相关的 ENSO 指标 (表 3)。利用这些指标 ,共有 7 个站点可组建出系列集成预报模型 (表 4 和表 5) ,而且其中 5 个站点的中长期预测模型在预检的 3 年里能够完全预测准确。还有其他 7 个站点虽有遥相关区指标 ,但组建的模型未能通过验证。

3 讨论

ENSO (El Nino 和 Southern Oscillation 的合称)是指赤道中东太平洋海温距平和太平洋东西两侧海平面气压差异常变化的现象 ,是全球海气相互作用的强信号 ,也是迄今为止全球气候系统中最强的气候年际变化信号 ,因其往往造成全球不同地区大范围的气候异常变化 (如严重旱涝、暖冬和热带风暴的异常活动等)而倍受全世界的关注和重视。纵观国内外研究 ENSO 现象与害虫发生之间的关系 ,大致可分为两大类 :一是研究 ENSO 事件的发生与害虫发生程度之间的关系 ,是一种定性分析 ;二是研究 ENSO 指标与害虫数量之间的相关关系 ,是一种定量分析。本文研究的内容主要是后者。

3.1 利用 ENSO 事件定性预测害虫发生程度 ,对稻飞虱、棉铃虫、马尾松毛虫和东亚飞蝗等已有一些研究^[8-13]。根据赤道中东太平洋海温距平变化的特征可将 ENSO 事件分为两种类型 ,即 ENSO 暖事件 (厄尔尼诺)和 ENSO 冷事件 (拉尼娜)。确定 ENSO 事件是否发生 ,通常根据特定区域的海温变化进行判断 ,因此赤道中东太平洋被划分为 4 个 ENSO 监测区 (即 N1 +2、N3、N4 和 N3.4 区)。当赤道太平洋中东部大范围海温异常 (偏高或偏低)连续超过 6 个月时 ,就可以定义为一次 ENSO (暖或冷)事件。经分析自从 20 世纪 70 年代后期以来 ,总共发生了 6 次 ENSO 暖事件和 4 次 ENSO 冷事件。其中暖事件影响年有 9a ,有 6a (1987、1991、1995、1997、1998 年和 2002 年)为我国褐飞虱中等偏重至大发生 ,其余 3a 为中等发生 ;冷事件影响年有 6a ,其中有 5a 为我国褐飞虱中等或中等偏轻发生 ,1a 为大发生年。由此可见 ,厄尔尼诺年尤其是强厄尔尼诺年与我国褐飞虱中等偏重至大发生密切相关 ,概率达 2/3 ,而拉尼娜年与我国褐飞虱中等或中等偏轻发生有关 ,概率达 5/6。所以 ,利用 ENSO 事件来定性预测我国褐飞虱大发生程度的准确率可达 67% ~ 83%。为此 ,可以根据 ENSO 事件来定性地预测我国褐飞虱的整体发生情况。但是只有当发生 ENSO 事件时才能作此定性分

析和预测,而当处于 ENSO 事件间歇期时则不能对其作出预测。气象学研究还表明,根据 ENSO 监测区海温异常出现的时间与地点,可将 ENSO 事件划分为不同的类型,不同类型的 ENSO 事件对我国大陆气候的影响也不同^[21, 22]。然而如何利用不同类型的 ENSO 事件来进一步分析和预测褐飞虱在各地各年的发生程度,至今尚没有研究,也是今后研究的一个新领域。

3.2 利用 ENSO 指标定量预测害虫发生数量的研究较少,仅研究了 ENSO 指标与棉铃虫大发生之间的相关关系^[11],结果表明与棉铃虫卵量达到显著相关的 ENSO 指标较少。然而,本文相关的分析结果则表明与褐飞虱前期迁入量达到显著遥相关的 ENSO 指标却较多。可能由于褐飞虱的前期迁入与棉铃虫的发生不同,它不仅与地面的气象因子有关,与高空环流形势也密切相关。此外,褐飞虱主要发生在我国的南方和东部地区,而棉铃虫则主要发生在我国的北方和西部地区。影响我国东南部和西北区气候的关键海温区可能也不相同。经遥相关分析研究也发现,棉铃虫卵量的发生与北太平洋海温之间存在大面积连续显著的遥相关区^[23],而褐飞虱前期迁入量与太平洋海温之间显著遥相关的海温区则以中太平洋和南太平洋为主。本文相关结果还表明,与褐飞虱前期迁入量达到显著相关的 ENSO 指标区主要为 N3 区、N4 区和 N3.4 区的海温,这可能由于我国大陆与 N3、N4 或 N3.4 区比较靠近,而 Nino1 + 2 区邻近南美大陆,与我国大陆相隔较遥远,其范围也最小。与褐飞虱前期迁入量达到显著相关的 ENSO 指标在时间上主要分布在前两年和前一年,而与当年相关的比例较少。主要由于 ENSO 事件发生在赤道太平洋地区,与东亚大气环流系统和我国大陆天气气候之间存在不同程度的时滞相关,从而造成了 ENSO 指标与褐飞虱迁入之间的相关关系也存在不同程度的时滞效应。例如,赤道太平洋海温与西太平洋副高存在半年左右的时滞相关,而与我国大陆气候之间则存在更长的时滞相关。从相关性质来看,褐飞虱前期迁入量与各 Nino 区海温在前两年至前一年春季之前呈负相关,而与前一年冬季至当年春季呈正相关。可能由于厄尔尼诺事件(Nino 区海温升高)大多开始于春到秋季,冬季加强,之后逐渐减弱直至消亡。

3.3 本文在相关分析的基础上,利用显著相关的 ENSO 指标来对褐飞虱的前期迁入量进行中长期预测,筛选出历史回检率和预测准确性较高的预测方程,并进行集成预报。结果表明,不是所有站点的预测效果都好,全国 16 个站点中只有 7 个站点的定量预测效果很好。总的来看南方站点的预测效果要高于北方站点。析其原因,可能是由于 ENSO 海温监测区的范围较小,其宽度只有 10 个纬度(距赤道南北各 5 个纬度),而实际上褐飞虱前期迁入量与太平洋海温间遥相关的空间分布范围要远远大于 ENSO 监测区,这已在褐飞虱前期迁入量与太平洋海温的遥相关及中长期预测模型研究中得到证实(文章将另行发表)。例如,长江流域的四个站点,在与太平洋海温场遥相关的时空分布分析中,发现在赤道中东太平洋(Nino 区为其中的一部分)有大面积的共同遥相关区,并可以组建相应的有效预报模型。但这四个站点的前期迁入量如果仅以与 Nino 区海温相关关系来作分析,则无论是显著遥相关的时空指标或能组建有效的预测模型均远少于其他的太平洋海温区,这在对棉铃虫的研究中有类似的结果^[11, 23]。因此,要研究海温与害虫之间的遥相关关系和定量预测模型,宜选用大范围的海温区(如太平洋或印度洋的海温区)来作研究。

3.4 ENSO 指标与褐飞虱前期迁入量的遥相关,以及利用 ENSO 指标进行褐飞虱前期迁入量的中长期预测的理论机制。褐飞虱在我国东半部地区的 5 次主要“北迁”过程发生在春夏季,降水和下沉气流是促使褐飞虱降落的主要气象因素。我国东半部地区属于典型的大陆性季风气候,其气候变化受西北太平洋副热带高压、中纬度西风带系统和东亚夏季风等环流系统控制。发生在热带太平洋地区的 ENSO 事件虽不能对中高纬度的环流系统和我国的天气气候产生强烈的直接影响,但可以通过大气的热量和动量交换来间接地影响上述环流系统和天气气候。因此,ENSO 事件有可能通过影响东亚地区的大气环流系统和我国东部地区天气气候来影响我国褐飞虱的前期迁入。例如,ENSO 暖事件(厄尔尼诺)造成明显的暖冬现象,不仅有利于褐飞虱在虫源地的生长发育,使得迁入我国的境外初始虫源提早大量迁入,而且也扩大了褐飞虱在我国的越冬场所和越冬虫源基数,提高了越冬存活率,增加冬后田间的初始虫量;ENSO 暖事件的发生通过影响西北太平洋副热带高压、中纬度西风带系统和东亚夏季风等环流系统,使得高空的环流形势和地面的气象条件都有利于褐飞虱

的迁入。其中,西太平洋副热带高压强度和位置的变化直接影响我国夏季高空环流形势和雨带位置的变动,与褐飞虱的迁入密切相关。ENSO 事件还可通过影响夏季气温的高低而影响本地繁殖世代的繁殖率。许多研究还表明,ENSO 事件发生的不同年代际气候背景^[24~26]、ENSO 事件的不同位相以及 ENSO 事件发展的不同阶段^[27~30]等对我国大陆气候的影响不同,即使是同一次 ENSO 事件对我国不同区域或同一区域不同季节的影响也有差异,这也就造成了褐飞虱在我国不同地点、不同年份或季节的迁入量发生相应的波动。有关 ENSO 现象对褐飞虱前期迁入的影响机制还需要作深入的研究。

References :

[1] Rui Q B. Rice planthopper and meteorology. Beijing :China Meteorological Press ,1987. 110 — 115.

[2] Jiang G H ,Tan H Q ,Shen W Z. The relation between long-distance Northward migration of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) and synoptic weather conditions. Acta Entomologica Sinica ,1981 ,24 (3) :251 — 261.

[3] Tan H Q ,Mao R Z ,Cheng J Y ,et al. Relation between landing of brown planthoppers (*Nilaparvata lugens* Stål) in long distance migration and vertical air stream and rainfall. Journal of Nanjing Agricultural College ,1984 ,2 :18 — 25.

[4] Gong D Y ,Wang S W. Effect of ENSO on the precipitation of the global terrene and China in the last 100 years. Chinese Science Bulletin ,1999 ,44 (3) :315 — 320.

[5] Xu W C ,Wang W ,Chen K. Some new aspects in understanding of ENSO cycle and climate variations. Sichuan Meteorology ,2004 ,3 :24 — 31.

[6] Xu W C ,Ma J S ,Wang W. A review of studies on the influence of ENSO events on the climate in China. Scientia Meteorologica Sinica ,2005 ,25 (1) :212 — 220.

[7] Drake V A ,Farrow R A. The influence of atmospheric structure and motions on insect migration. Annual Review of Entomology ,1988 ,33 :183 — 210.

[8] Morishita M. A possible relationship between outbreaks of planthoppers *Nilaparvata lugens* Stål and *Sogatella furcifera* Horvath in Japan and the El Nino phenomenon. Applied Entomology and Zoology ,1992 ,27 (2) :297 — 299.

[9] Zhu M ,Hu G W ,Tang J ,et al. Effect of globe climate abnormality (ENSO phenomena occurrence) on outbreak of rice brown planthopper in China. Scientia Agricultura Sinica ,1997 ,30 (5) :1 — 5.

[10] Zheng S Q ,Liang J Y. Analysis on the impact of El Nino on outbreak of rice planthopper in Guangdong Province. Plant Protection Technology and Extension ,1998 ,18 (6) :3 — 4.

[11] Qin S L ,Zhai B P ,Zhang X X ,et al. Using advance ENSO indices to forecast outbreaks of *Helicoverpa armigera*. Acta Ecologica Sinica ,2003 ,23 (9) :1695 — 1711.

[12] Bi X L ,Xu Y X ,Hong W ,et al. Relationship between the occurrence of *Dendrolimus punctatus* in Fujian and the ENSO events. Journal of Fujian College of Forestry ,2003 ,23 (1) :44 — 47.

[13] Zhang Z B ,Li D M. A possible relationship between outbreaks of the oriental migratory locust (*Locusta migratoria manilensis* Meyen) in China and the El Nino episodes. Ecological Research ,1999 ,14 :267 — 270.

[14] Li J ,Jiang Y P ,Yang Q Z ,et al. Climatic diagnosis of brown planthopper occurrence degree in single late rice. Chinese Journal of Ecology ,2005 ,24 (3) :339 — 342.

[15] Wu G R ,Yu X P ,Tao L Y. Long-term forecast on the outbreak of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) and white-backed planthopper (*Sogatella furcifera* Horvath). Scientia Agricultura Sinica ,1997 ,30 (4) :25 — 29.

[16] Zhu C Q. The forecast of rice planthopper occurrence in Jianghuai rice region and the countermeasure of chemical control. Journal of Anhui Agricultural Sciences ,2000 ,28 (2) :175 — 176.

[17] Ma F ,Zhang X L ,Cheng X L. Selection of predictors for long-term occurrence forecast of *Nilaparvata lugens* (BPH) and model construction. Journal of Nanjing Agricultural University ,2001 ,24 (2) :53 — 56.

[18] Wu C Y ,Li J ,Yao K M. Predication of the damage level of planthopper in Shanghai. Journal of Nanjing Institute of Meteorology ,2002 ,25 (3) :365 — 371.

[19] Li J ,Jiang Y P ,Yang Q Z ,et al. Objective prediction models for damage caused by brown planthoppers to late planted rice. Entomological Knowledge ,2004 ,40 (1) :24 — 29.

[20] Cheng X N ,Wu J C ,Ma F. Brown planthopper : occurrence and control. Beijing :China Agricultural Press ,2003. 89 — 91.

[21] Tang Y M ,Liu S H. Influence of two kinds of El-Nino events on climate of China. Journal of Chengdu Institute of Meteorology ,1994 ,9 (2) :58 — 63.

[22] Chen G Y. Influences of winter-strengthen pattern and winter-weaken pattern of El Niño and La Niña on drought/flood in summer over China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* ,2000 ,11 (2) :154 — 164.

[23] Qin S L , Zhai B P , Zhang X X , *et al.* Teleconnection between sea surface temperature in North Pacific and outbreaks of the cotton bollworm , *Helicoverpa armigera* (Hübner) in Northern and Eastern China : an approach for long-term forecast. *Acta Entomologica Sinica* ,2003 ,46 (4) :479 — 488.

[24] Zhao Z G , Jiang B R , Chen G Z , *et al.* Impact of ENSO event on the climate in China. *Shandong Meteorology* ,2000 ,20 (1) :4 — 12.

[25] Li Y F , Ding Y H. Sea surface temperature , land surface temperature and the summer rainfall anomalies over Eastern China. *Climatic and Environmental Research* ,2002 ,7 (1) :87 — 101.

[26] Kong C Y , Tu Q P. Influence of El Nino events on summer precipitation in East China under different climatic backgrounds. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* ,2003 ,26 (1) :84 — 88.

[27] Zhu Q G , Xu J J. Observation study on the effect of ENSO and its interdecadal variations on the climate anomaly in Eastern China. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* ,1998 ,21 (4) :615 — 623.

[28] Jin Z H , Tao S Y. A study on the relationships between ENSO cycle and rainfalls during summer and winter in Eastern China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* ,1999 ,23 (6) :663 — 672.

[29] Liu Y Q , Ding Y H. Reappraisal of the influence of ENSO events on seasonal precipitation and temperature in China. *Scientia Atmospherica Sinica* ,1995 ,19 (2) :200 — 208.

[30] Gong D Y , Wang S W. Impact of ENSO on the seasonal rainfall in China. *Journal of Natural Disasters* ,1998 ,7 (4) :44 — 52.

参考文献：

[1] 芮庆宝. 稻飞虱与气象. 北京 :气象出版社 ,1987. 110 ~ 115.

[2] 江广恒 ,谈涵秋 ,沈婉贞. 褐飞虱远距离向北迁飞的气象条件. *昆虫学报* ,1981 ,24 (3) :251 ~ 261.

[3] 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. *南京农业大学学报* ,1984 , (2) :18 ~ 25.

[4] 龚道溢 ,王绍武. 近百年 ENSO 对全球陆地及中国降水的影响. *科学通报* ,1999 ,44 (3) :315 ~ 320.

[5] 许武成 ,王文 ,湛柯. ENSO 循环机理的一些新看法与气候异常. *四川气象* ,2004 , (3) :24 ~ 31.

[6] 许武成 ,马劲松 ,王文. 关于 ENSO 事件及其对中国气候影响研究的综述. *气象科学* ,2005 ,25 (1) :212 ~ 220.

[9] 朱敏 ,胡国文 ,唐健 ,等. 全球气候异常 (ENSO 事件的发生)对我国褐飞虱大发生的影响. *中国农业科学* ,1997 ,30 (5) :1 ~ 5.

[10] 郑森强 ,梁建茵. 厄尔尼诺事件对广东省稻飞虱大发生的影响. *植保技术与推广* ,1998 ,18 (6) :3 ~ 4.

[11] 秦淑莲 ,翟保平 ,张孝羲 ,等. 应用前期 ENSO 指标做棉铃虫大发生预测. *生态学报* ,2003 ,23 (9) :1695 ~ 1711.

[12] 毕晓丽 ,徐永兴 ,洪伟 ,等. 福建省马尾松毛虫发生与 ENSO 事件的关系. *福建林学院学报* ,2003 ,23 (1) :44 ~ 47.

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

[15] 巫国瑞 ,俞晓平 ,陶林勇. 褐飞虱和白背飞虱灾害的长期预测. *中国农业科学* ,1997 ,30 (4) :25 ~ 29.

[16] 祝春强. 江淮稻区稻飞虱灾变预测与减灾对策. *安徽农业科学* ,2000 ,28 (2) :175 ~ 176.

[17] 马飞 ,张夕林 ,程遐年. 褐飞虱长期预测因子的选择与模型的组建. *南京农业大学学报* ,2001 ,24 (2) :53 ~ 56.

[18] 吴春艳 ,李军 ,姚克敏. 上海地区褐飞虱发生程度预测. *南京气象学院学报* ,2002 ,25 (3) :365 ~ 371.

[19] 李军 ,蒋耀培 ,杨秋珍 ,等. 单季晚稻褐飞虱发生程度综合客观预报模型. *昆虫知识* ,2004 ,40 (1) :24 ~ 29.

[20] 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. 89 ~ 91.

[21] 唐佑民 ,刘书华. 两类 El-Niño 事件对我国气候的影响. *成都气象学院学报* ,1994 ,9 (2) :58 ~ 63.

[22] 陈桂英. El Niño 和 La Niña 冬季增强型和减弱型及其对中国夏季旱涝的影响. *应用气象学报* ,2000 ,11 (2) :154 ~ 164.

[23] 秦淑莲 ,翟保平 ,张孝羲 ,等. 棉铃虫发生与北太平洋海温的遥相关及其长期灾变预警. *昆虫学报* ,2003 ,46 (4) :479 ~ 488.

[24] 赵振国 ,蒋伯仁 ,陈国珍 ,等. ENSO 事件对中国气候的可能影响. *山东气象* ,2000 ,20 (1) :4 ~ 12.

[25] 李跃凤 ,丁一汇. 海表温度和地表温度与中国东部夏季异常降水. *气候与环境研究* ,2002 ,7 (1) :87 ~ 101.

[26] 孔春燕 ,屠其璞. 全球气候背景下厄尔尼诺对中国东部汛期降水的影响. *南京气象学院学报* ,2003 ,26 (1) :84 ~ 88.

[27] 朱乾根 ,徐建军. ENSO 及其年代际异常对中国东部气候异常影响的观测分析. *南京气象学院学报* ,1998 ,21 (4) :615 ~ 623.

[28] 金祖辉 ,陶诗言. ENSO 循环与中国东部地区夏季和冬季降水关系的研究. *大气科学* ,1999 ,23 (6) :663 ~ 672.

[29] 刘永强 ,丁一汇. ENSO 事件对我国季节降水和温度的影响. *大气科学* ,1995 ,19 (2) :200 ~ 208.

[30] 龚道溢 ,王绍武. ENSO 对中国四季降水的影响. *自然灾害学报* ,1998 ,7 (4) :44 ~ 52.