

DOI: 10.5846/stxb201303110388

包云轩, 蒋蓉, 谢晓金, 朱叶芹, 杨荣明, 朱凤. 近 30 年气候异常对江苏省褐飞虱灾变性迁入的影响. 生态学报, 2014, 34(23): 7078-7092.

Bao Y X, Jiang R, Xie X J, Zhu Y Q, Yang R M, Zhu F. Impact of climate anomalies on catastrophic immigrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) in Jiangsu Province. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(23): 7078-7092.

近 30 年气候异常对江苏省褐飞虱灾变性迁入的影响

包云轩^{1,*}, 蒋蓉¹, 谢晓金¹, 朱叶芹², 杨荣明², 朱凤²

(1. 江苏省农业气象重点实验室, 南京信息工程大学, 南京 210044; 2. 江苏省植物保护站, 南京 210013)

摘要:近 30 年来, 中国褐飞虱的灾变性迁入因受气候变化的影响而出现了明显的时空变异, 为了揭示气候异常对褐飞虱区域性灾变的影响, 为我国褐飞虱灾变预警及其区域危害的防控提供理论依据, 在收集 1983—2008 年江苏省 32 个植保站褐飞虱灯诱资料, 1981—2008 年太平洋海表温度和南方涛动指数数据及 1983—2008 年江苏省 70 个气象台站降水和气温观测资料的基础上, 选取高邮、通州和宜兴作为江苏省不同水稻生长区的代表性测站(其中高邮代表江淮稻区, 通州代表苏北沿海稻区, 宜兴代表苏南稻区), 通过对近 30 年来太平洋海温场、南方涛动、迁入区降水和温度异常与江苏省褐飞虱发生程度之间关系的分析, 探讨了气候异常对该省褐飞虱灾变性迁入的影响。结果表明: (1) 赤道东太平洋海表水温持续偏高的厄尔尼诺事件多引发江苏省褐飞虱偏重以上程度的发生, 且其首次迁入峰的出现时间与厄尔尼诺事件开始期之间有 1—14 个月的滞后期。 (2) 南方涛动指数(SOI) 持续出现负值的厄尔尼诺事件发生的当年或次年, 褐飞虱为偏重以上的发生程度, 且其首次迁入峰的出现时间滞后于 SOI 负值开始期 1—14 个月。 (3) 登陆并影响江苏的强热带气旋偏多的拉尼娜年也会出现褐飞虱偏重以上的发生。 (4) 降水对褐飞虱迁入的影响明显, 但有限制条件; 降水量大、降水日数多的年份褐飞虱迁入量大、发生程度重; 以 6—10 月降水量、降水日数和降水强度为预报因子, 建立了褐飞虱发生等级的回归方程, 方程拟合和试报效果好。 (5) 夏秋季 6—10 月地面气温的异常对江苏省褐飞虱迁入的发生有一定的影响, 秋温偏高的年份常导致江苏省褐飞虱偏重以上的发生。

关键词:褐飞虱; 海洋尼诺指数(ONI); 南方涛动指数(SOI); 厄尔尼诺事件; 气候异常

Impact of climate anomalies on catastrophic immigrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) in Jiangsu Province

BAO Yunxuan^{1,*}, JIANG Rong¹, XIE Xiaojin¹, ZHU Yeqin², YANG Rongmin², ZHU Feng²

1 Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China

2 Jiangsu Province Plant Protection Station, Nanjing 210013, China

Abstract: Due to global climate change, the catastrophic immigration events of brown plant hopper (*Nilaparvata lugens* stål) (BPH) have been experiencing distinct changes in temporal and spatial patterns in Jiangsu province, China over the past three decades. In this study, various observational data were collected to investigate the impacts of climate anomalies on regional catastrophes of BPH in China and to provide a scientific evidence in support of the establishment and application of the BPH forecasting-warning system and the decision-making of BPH's endangering controlling and prevention. The data includes the BPH's lighting trap catches observed at thirty-two plant protection stations in Jiangsu Province during 1983—2008, the precipitation and temperature at seventy meteorological stations in the province during 1983—2008, the Pacific Ocean's sea surface temperature (SST) and the Southern Oscillation Index (SOI) during 1981—2008. Based on the results of classifying BPH's lighting trap catches in the five grades that the BPH's immigration occurrence is the Grade 1 when the

基金项目:国家自然科学基金面上项目(41075086); 国家公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006026); 江苏省农业科技自主创新项目(SCX(12)3058); 江苏省高校优势学科建设工程

收稿日期:2013-03-11; **网络出版日期:**2014-03-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: baoyunxuan@163.com

daily BPH's lighting trap catch less than 1000 heads, the Grade 2 in between 1000 to 2000 heads, the Grade 3 in between 2001 to 3000 heads, the Grade 4 in between 3001 to 4000 heads and the Grade 5 of daily lighting trap catch more than 4000 heads, the analysis on the temporal variations and spatial distributions of BPH's immigration occurrence grades in the province over the past three decades was carried through. Gaoyou, Tongzhou and Yixing was selected as the representative stations of three typical rice-growing regions in Jiang-Huai area, the coastal areas in North Jiangsu, and South Jiangsu, respectively. The relationships between SST, SOI, air temperature, precipitation and the occurrence grade of BPH's immigration were examined to assess the impacts of climate anomalies on the catastrophic migration events of BPH at the three sites. Several findings were identified from this study. First, the heavy catastrophic migration events of BPH that included the Grade 4 and the Grade 5 of the BPH's immigration occurrence in Jiangsu province were attributed to El Niño event occurrences, which were associated with warming of SST in eastern Pacific Ocean in the equator or the case that negative SOI lasted for more than six months; the first immigration peaks of BPH is usually 1—14 month(s) later than the onset dates of El Niño events. Second, the heavy BPH immigration events may happen in La Niña years when more landfalling tropical cyclones cross Jiangsu province, exert important impact on the weather and carry the migrating BPH's insect sources into the rice-growing fields there. Third, the precipitation was one of the key factors influencing the BPH catastrophic migration events. Higher precipitation and more rainy days were responsible for more migrating BPH and heavier disasters. The predictions showed better agreement with the observations when the forecasting equation was built on the precipitation, rainy days, and precipitation intensity during the period from June to October. Finally, the heavy BPH events may happen in Jiangsu province when surface temperature anomalies were observed during the period from June to October. This was especially true when temperature has positive anomalies in autumn.

Key Words: *Nilaparvata lugens* (Stål); Oceanic Nino Index (ONI); Southern Oscillation Index (SOI); El Nino event; climate anomaly

近数十年来,全球气候变化对农业生态系统产生了重大的影响,对农作物害虫而言,也不例外。为此,研究气候变化背景下害虫的发生规律,及时有效地控制其危害,对减轻农作物产量的损失,确保我国粮食安全是至关重要的。褐飞虱,*Nilaparvata lugens* (Stål),是危害水稻的重要害虫之一,具群聚性、远距离迁飞性和灾变突发性,它广泛分布于中国、日本、朝鲜半岛、东南亚、太平洋岛屿和澳大利亚等国家和地区^[1]。近 30 多年来,受全球气候变化和农业产业结构调整等因素的影响,褐飞虱的迁入和致灾趋于复杂化,出现了持续大发生的新特点,给水稻高产、稳产带来了严重威胁^[2-3]。

海温异常变化导致海气相互作用异常,继而引发大气环流异常,出现异常的天气、气候变化^[4-5]。ENSO 是厄尔尼诺 (El Niño) 现象和南方涛动 (Southern Oscillation) 的总称,它是反映赤道太平洋海温和中、低纬海平面气压场变化的强信号,也是影响我国气候异常的重要原因之一^[6-12]。在气候变化研究中常用尼诺指数反映海温场的异常,用南方涛

动指数来反映海气相互作用的异常。ENSO 事件的发生可以通过改变大气环流或天气、气候而影响害虫种群的发生,而迁飞性害虫的迁入和危害与天气、气候关系更为密切^[13-14]。

天气、气候条件是决定褐飞虱发生和种群发展的关键因子,由于异常的天气、气候条件常导致异常的褐飞虱发生时间、发生区域和危害程度。温度是褐飞虱种群生命过程中的一个重要的环境因子,它可通过对发育速率、若虫存活率、成虫生殖力和空中迁飞层的影响而显著改变种群的增长能力。空中迁飞的褐飞虱种群的降落主要靠降水和下沉气流的动力作用。褐飞虱生长发育和繁殖的适宜温度在 20—30℃,最适温度为 26—28℃,空中迁飞的适宜温度层为 15—22℃;当温度高于 30℃ 或低于 20℃,对它的生长发育和繁殖不利,温度低于 15℃ 或高于 22℃ 的大气层不利于褐飞虱的远距离迁飞。褐飞虱生长发育、繁殖和远距离迁飞的最适相对湿度为 80% 以上。“盛夏不热,晚秋不冷,夏秋多雨”的气候有利于褐飞虱的发生^[15-19]。

本文拟通过对近 28 年江苏省褐飞虱的发生程度与海温场、海平面气压场、海气相互作用、气候要素关系的分析,揭示 ENSO 事件和气候异常对该省褐飞虱灾变性迁入的影响,为江苏省褐飞虱迁入量的中长期预报提供科学依据。

1 资料和方法

1.1 研究区概况

江苏省位于亚洲大陆东岸的中纬度地带,属东亚季风气候区,处在亚热带和暖温带气候过渡地带。全省地势较为平坦,介于 $30^{\circ} 46' - 35^{\circ} 07' N$, $116^{\circ} 22' - 121^{\circ} 55' E$ 之间,一般以淮河、苏北灌溉总渠一线为界,以北地区属暖温带湿润、半湿润季风气候;以南地区属亚热带湿润季风气候。江苏拥有近 1000 km 长的海岸线,海洋对江苏气候有着显著的影响。由于地处中纬度的海陆相过渡带和气候过渡带,兼受中纬度西风带和低纬度信风带(东风带)天气系统的影响,在太阳辐射、大气环流以及江苏特定的地理位置、地貌特征的综合影响下,江苏省的基本气候特点是:气候温和、季风显著、春温多变、夏秋多雨、雨量适中、光热充沛。在这种良好的自然地理和气候条件下,全省种植的粮食作物以水稻、小麦为主。而水稻种植制度经过多年的优胜劣汰,已稳定在单季稻上,其主要生长季正与褐飞虱迁入长江中下游稻区的盛行期相遇,一直受到褐飞虱灾变性迁入的威胁,历年水稻产量也因此而产生明显的增减波动。

1.2 资料来源及处理

1.2.1 褐飞虱虫情资料

本文从江苏省不同区域筛选出资料比较完整的 1983—2010 年高邮、通州和宜兴 3 个测报站作为代表站,高邮站代表苏北地区、通州站代表苏中地区、宜兴站代表苏南地区,这些站的虫情实测资料由江苏省植物保护站提供。统计高邮、通州和宜兴三站的历年褐飞虱灯下累计虫量时,从灯下始见日开始(通常在 6 月)至终见日(通常在 10 月)结束。

1.2.2 气象资料

气象资料来自国家气象信息中心,包括 1981—2010 年全国各气象台站逐日气温和降水观测资料。

1.2.3 ENSO 指数数据

本文引用了两个目前世界气候变化研究领域最常用的 ENSO 指数:ONI 指数和 SOI 指数,指数年限

为 1981—2010 年。从热力学角度判断 El Niño(厄尔尼诺)事件时,采用的是美国国家海洋大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)气候预测中心(Climatic Predicting Center, CPC)在业务上使用的海洋尼诺指数(Oceanic Nino Index,简称 ONI),它是根据 NOAA 扩展重建的海面温度资料(Extended Reconstructed Sea Surface Temperatures,ERSST)计算的 Nino3 区和 Nino4 区海表温度距平的 3 个月滑动平均值。ONI $\geq +0.5^{\circ}C$ 持续 6 个月以上时称为 1 次 El Nino(厄尔尼诺)事件,ONI $\leq -0.5^{\circ}C$ 持续 6 个月以上时称为 1 次 La Nina(拉尼娜)事件;ONI 的变化也反映了海温场和海气相互作用对全球气候变化的影响^[20]。南方涛动指数(Southern Oscillation Index,SOI),用来度量南太平洋副热带高压与印度洋赤道低压间气压变化的负相关关系,当南太平洋副热带高压比常年增高(降低)时,印度洋赤道低压就比常年降低(增高),SOI 为负值(正值)。通常用印度洋的塔希堤岛($148^{\circ} 5' W$, $17^{\circ} 53' S$)和南太平洋的达尔文港($130^{\circ} 59' E$, $12^{\circ} 20' S$)之间的海平面气压差来表示南方涛动的振动和位相指数^[21],该指数值同样来源于美国海洋大气局的气候预测中心(CPC);当 SOI < 0 持续 6 个月以上时称为 1 次 El Nino(厄尔尼诺)事件,当 SOI > 0 持续 6 个月以上时称为 1 次 La Nina(拉尼娜)事件;SOI 的变化从动力角度反映了海气相互作用对全球气候变化的影响。

2 结果与分析

2.1 江苏省褐飞虱历年发生情况

本文根据江苏省植物保护站收集和统计的褐飞虱虫情资料,结合农业部 1995 年颁发的稻飞虱单站发生程度等级标准^[22],将江苏省各县级植保站褐飞虱发生危害程度分为 5 个等级:轻发生为 1 级,日灯诱虫量小于 1000 头;偏轻发生为 2 级,日灯诱虫量 1000—2000 头;中等发生为 3 级,日灯诱虫量 2001—3000 头;偏重发生为 4 级,日灯诱虫量 3001—4000 头;大发生为 5 级,日灯诱虫量大于 4000 头。

从图 1 中可以看出:高邮站 1983、1987、1991、1995、2006、2007 年是偏重发生(4 级)或大发生年(5 级),通州站 1983、1985、1987、1991、2006 年是偏重

发生或大发生年,宜兴站 1983、1985、1987、1988、1990、1991、2005、2006 年是偏重发生或大发生年。3

个站 1983、1987、1991、2006 年同为偏重发生或大发生年,这也是江苏全省范围内褐飞虱发生较重的 4a。

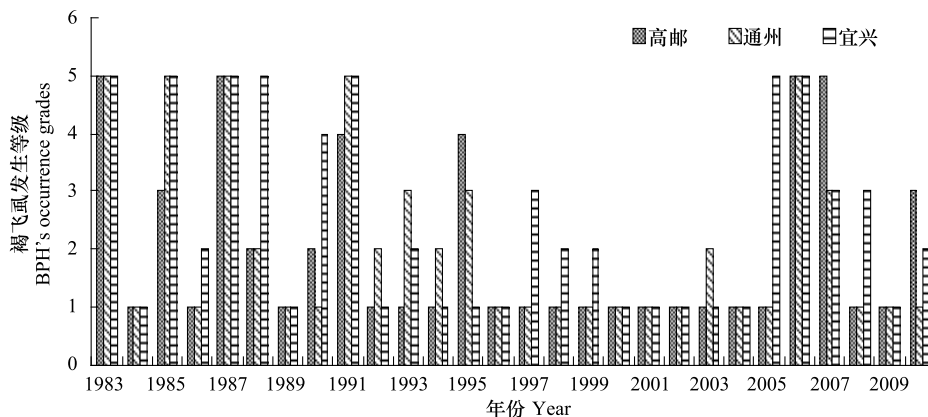


图 1 1983—2010 年江苏省高邮、通州和宜兴三站褐飞虱的发生等级

Fig.1 BPH's occurrence grades of Gaoyou Station, Tongzhou Station and Yixing Station in Jiangsu from 1983 to 2010

图中 BPH 是褐飞虱英文名 brown planthopper 的缩写

表 1 为三站褐飞虱首次迁入峰日期,从中可以看出:褐飞虱的首次迁入峰期基本在 6 月和 7 月;高邮站 1994、2001 和 2004 年没有迁入峰,1996、2002、2005 和 2009 年的首次迁入峰期在 8 月和 9 月,没有迁入峰或迁入峰晚的年份褐飞虱发生等级均为轻发生;通州站 1984、1999、2001、2002 和 2004 年没有迁

入峰,1992、1996、1998 和 2009 年的首次迁入峰期在 8 月和 9 月,没有迁入峰和迁入峰晚的年份褐飞虱发生等级也为轻发生和偏轻发生;宜兴站 2001、2002、2004 和 2009 年没有迁入峰,1984 和 2010 年的首次迁入峰期在 8 月和 9 月,没有迁入峰和迁入峰晚的年份褐飞虱发生等级也为轻发生和偏轻发生。

表 1 褐飞虱首次迁入峰日期(月-日)

Table 1 Dates (month-date) of BPH's first immigration peak

年份 Year	高邮	通州	宜兴	年份 Year	高邮	通州	宜兴
1983	06-26	07-01	07-19—21	1997	07-16	07-01	06-26
1984	06-27—28	—	08-23	1998	07-10—15	08-22	07-06
1985	07-07	07-06—07	07-06	1999	07-22—23	—	07-11
1986	06-29	07-16	07-14	2000	07-21	06-30	07-20—23
1987	07-30—31	07-01	07-2—03	2001	—	—	—
1988	07-06—07	07-01—02	07-04	2002	08-06	—	—
1989	07-10—12	07-10—11	07-12	2003	07-08—09	07-12	07-01
1990	06-27—28	07-04—05	07-5—06	2004	—	—	—
1991	07-01—02	06-30	06-18	2005	08-01—02	06-30—7-01	06-26
1992	07-10	09-08	07-01	2006	07-10	07-12	07-06
1993	07-24	07-17	07-01	2007	07-15—16	06-30—7-01	06-25—26
1994	—	07-26—27	06-26	2008	07-13—14	07-19	06-04
1995	07-11	07-01	07-06	2009	09-08	08-19	—
1996	08-20	08-19	07-16	2010	07-22	07-20—23	08-15

—表示没有迁入峰

2.2 ENSO 事件对褐飞虱迁入的影响

2.2.1 海温场 (ONI 指数) 对江苏省褐飞虱迁入的影响

厄尔尼诺事件是指赤道中东太平洋每隔几年发

生的大规模表层海水持续(6 个月以上)异常偏暖的现象,而把赤道中东太平洋表层海水大规模持续(6 个月以上)异常偏冷的现象称为反厄尔尼诺或拉尼娜事件。

本文参照相关文献^[20]和 NOAA/CPC 在业务上使用的 ONI 指数定义计算得到了 ONI 指数从 1981 年 1 月至 2010 年 12 月的时间变化曲线(见图 2)。选择指数大于 1.0(小于 -1.0)的时间段为强厄尔尼诺(强拉尼娜)事件,大于 0.5 且小于 1.0(大于 -1.0

且小于 -0.5)的时间段为弱厄尔尼诺(弱拉尼娜)事件。从图中可以看出:1983、1987、1988、1998、2003 和 2010 年都为强厄尔尼诺年;1989、1999、2000 和 2008 年为强拉尼娜年。

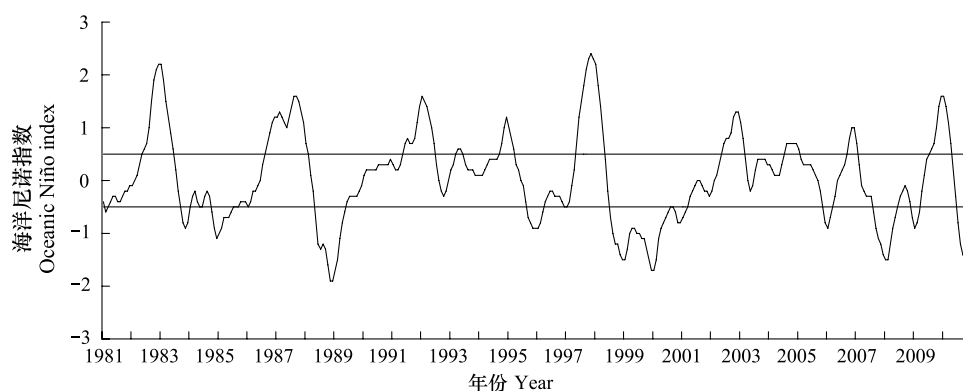


图 2 1981 年 1 月—2010 年 12 月 ONI 变化曲线,虚线为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

Fig.2 Change curve of ONI from January 1st in 1981 to December 31st in 2010 and the dotted line represent $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$

表 2 为 1981—2010 年间发生的强、弱厄尔尼诺事件和强、弱拉尼娜事件的具体情况及其与 3 个站点褐飞虱发生程度的对比。结合图 1 和表 2 可以看出:1983—2010 年期间,高邮站褐飞虱迁入量较多(发生程度为 4 级以上,下同)的年份有 6a,其中出现在强厄尔尼诺年的有 4a,出现在弱厄尔尼诺年的有 1a,还有 1a 是弱拉尼娜年(2006 年);通州站褐飞虱迁入量较多的年份有 5a,其中出现在强厄尔尼诺年的有 3a,出现在强拉尼娜年的有 1a(1985 年),还有 1a 是弱拉尼娜年(2006 年);褐飞虱在宜兴迁入量较多的年份有 8a,其中出现在强厄尔尼诺年的有 3a,出现在弱厄尔尼诺年的有 1a,出现在强拉尼娜年的有 2a,出现在弱拉尼娜年的有 1a,还有 1a 是强厄尔尼诺事件向强拉尼娜事件的过渡年。因此,由海温场反映出来的结果是:1983 年以来褐飞虱偏重以上发生年(4 级以上)出现在厄尔尼诺事件期间的概率为:高邮 83.33%、通州 60.0%和宜兴 50%。由此看来,厄尔尼诺事件可以作为褐飞虱偏重以上发生年的重要气候背景信息,而 ONI 指数则可以作为海温场预测褐飞虱发生程度的一个重要因子。

从表 1 和表 2 中还可以看出:从 1982 年以来,厄尔尼诺事件的发生在较大程度上引发了褐飞虱的大量迁入,1981—2010 年的 30a 中共发生了 9 次厄尔尼诺事件,引发了江苏省 6 个明显的褐飞虱大量迁入年(4 级以上),褐飞虱迁入的偏重以上发生(以

褐飞虱迁入江苏的首次迁入峰日期为准)与厄尔尼诺事件开始期之间有 1—14 个月的滞后时间。

2.2.2 南方涛动对江苏省褐飞虱迁入的影响

南方涛动主要指东南太平洋的副热带高压与低纬印度洋和西太平洋的赤道低压之间呈负相关的一种大尺度气压升降振荡现象,其强弱用南方涛动指数 SOI 衡量。当 SOI 指数为负值时,表明两站海平面气压差比常年偏大,如果 SOI 连续 6 个月小于 0,则出现一次厄尔尼诺事件;反之,当 SOI 指数为正值时,表明两站海平面气压差比常年偏小,如果 SOI 连续 6 个月大于 0,则出现一次拉尼娜事件。图 3 给出了 SOI 指数从 1981 年 1 月至 2010 年 12 月的时间变化曲线。选择指数小于 -2(大于 2)的时间段为强厄尔尼诺(或强拉尼娜)事件。从图中可以看出:1982、1987、1991、1994、1998 和 2004 年都为强厄尔尼诺年;1989、1999 和 2008 年为强拉尼娜年。

表 3 为由 SOI 确定的 1981—2010 年期间发生的强、弱厄尔尼诺事件和强、弱拉尼娜事件及与 3 个站点褐飞虱发生程度的对比。从中可以看出:SOI 持续为负值的厄尔尼诺事件,会引发江苏省褐飞虱迁入的偏重以上发生,且褐飞虱迁入的偏重以上发生(以褐飞虱迁入江苏的首次迁入峰日期为准)与 SOI 变化反映出来的厄尔尼诺事件开始期之间有 1—14 个月的滞后时间。这与前述由海温场分析的厄尔尼诺事件导致褐飞虱偏重以上发生的结论完全吻合。

统计显示:1983 年以来褐飞虱偏重以上发生年(4 级 83.33%、通州 60%和宜兴 50%。以上)出现在厄尔尼诺事件期间的概率也为:高邮

表 2 高邮、通州和宜兴三站褐飞虱发生程度与由 ONI 确定的厄尔尼诺(拉尼娜)事件的关系 4

Table 2 Relationship between BPH's occurrence grades of Gaoyou Station, Tongzhou Station and Yixing Station and El Niño & La Niña event defined by ONI from 1981 to 2010

厄尔尼诺事件/拉尼娜事件 (El Niño event & La Niña event)					褐飞虱发生等级 (BPH's occurrence grades)			
事件 Event	出现时间 (年-月) Beginning time (year-month)	结束时间 (年-月) (Ending time) (year-month)	持续时间 (月) (Lasting periods (month)	强度 (Strength)	年份 Year	植保站 Plant protection station		
						高邮	通州	宜兴
厄尔尼诺事件 El Niño event	1982-05	1983-06	14	强	1983	5	5	5
	1986-08	1988-02	19	强	1987	5	5	5
	1991-05	1992-06	14	强	1991	4	5	5
	1994-09	1995-03	7	强	1995	4	3	1
	1997-05	1998-04	12	强	1998	1	1	2
	2002-05	2003-02	10	强	2003	1	2	1
	2004-07	2005-01	7	弱	2005	1	1	5
	2006-09	2007-01	5	弱	2007	5	3	3
	2009-07	2010-04	10	强	2010	3	1	2
拉尼娜事件 La Niña event	1983-09	1984-01	5	弱	1984	1	1	1
	1984-10	1985-09	12	强	1985	3	5	5
	1988-05	1989-05	13	强	1990	2	1	4
	1995-09	1996-03	7	弱	1996	1	1	1
	1998-07	2001-03	33	强	1999	1	1	2
	2005-11	2006-03	5	弱	2006	5	5	5
	2007-08	2008-06	11	强	2008	1	1	3

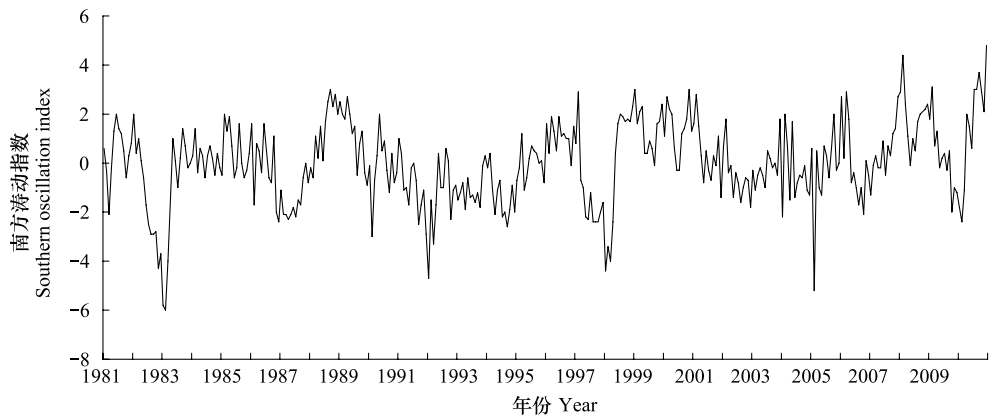


图 3 1981 年 1 月—2010 年 12 月 SOI 变化曲线

Fig.3 Change curve of SOI from January in 1981 to December in 2010

综合考虑 ONI 和 SOI 反映的 ENSO 事件对江苏省褐飞虱灾变性迁入的影响,江苏省褐飞虱迁入的偏重以上发生(以褐飞虱首次迁入峰高峰日为准)均出现在厄尔尼诺事件开始期的 1—14 个月后。

在 ENSO 事件与褐飞虱迁入偏重以上发生之间

出现这种对应关系的主要原因是:一方面,由于在热带西太平洋及印度洋东部常出现多年平均海表温度(SST)在 28℃ 以上的暖海区,该海区被称为大洋暖池(Warm Pool),它东西跨越 150 个经度,南北伸展约 35 个纬度。由于太阳辐射、热量交换、自东向西

信风吹送等的作用,大量暖水逐渐积蓄在暖池区,致使该区 SST 比赤道东太平洋海面高出 3—9℃。因此,正常情况下,赤道太平洋 SST 西高东低,且温差维持在一定的范围内。当发生厄尔尼诺事件时,西太平洋暖池的西部 SST 会出现降温,但暖池范围会增大,暖池中心及暖池东部边界东移,使得赤道东太平洋 SST 升高;厄尔尼诺事件结束后的半年内,暖池 SST 有较小升温,暖池范围逐渐缩小,但仍较常年偏大,暖池中心西移。由厄尔尼诺事件导致的暖池范围扩大(虽然暖池区内有降温)其重要的影响结果之一是东亚和南亚地区近地表气温偏高,且这种偏高在冬、春反映尤其明显。另一方面,在赤道太平洋上

空,垂直方向盛行着沃克环流,它在低空吹偏东风,在西部暖池上方为上升气流,到高空吹偏西风,东部转为下沉气流。在 ENSO 事件发生期间,沃克环流减弱,西太平洋哈德莱环流偏弱。哈德莱环流的偏弱又造成西北太平洋副高位置偏东且强度偏弱,同时副高西侧和西北侧的偏南气流和西南气流偏强且影响范围广。在这种形势下,来自孟加拉湾和南海的水汽可以源源不断地向东北或偏北方向输送,而从西北方或北方高纬地区南下的冷空气可以长驱直入在我国江淮流域或江南地区与暖湿空气相遇,发生对流,从而使这些地区夏秋迁飞季内降水偏多。

表 3 高邮、通州和宜兴三站褐飞虱发生程度与由 SOI 确定的厄尔尼诺(拉尼娜)事件的关系(1981—2010)

Table 3 Relationship between BPH's occurrence grades of Gaoyou Station, Tongzhou Station and Yixing Station and El Niño & La Niña event defined by SOI from 1981 to 2010

厄尔尼诺事件/拉尼娜事件 (El Niño event & La Niña event)					褐飞虱发生等级 (BPH's occurrence grades)			
事件 Event	出现时间 (年-月) Beginning time (year-month)	结束时间 (年-月) (Ending time) (year-month)	持续时间 (月) (Lasting periods (month)	强度 (Strength)	年份 Year	植保站 Plant protection station		
						高邮	通州	宜兴
厄尔尼诺事件	1982-05	1983-04	12	强	1983	5	5	5
El Niño event	1986-08	1988-02	19	强	1987	5	5	5
	1991-03	1992-04	14	强	1991	4	5	5
	1994-07	1995-02	8	强	1995	4	3	1
	1997-05	1998-04	12	强	1998	1	1	2
	2002-05	2003-06	14	弱	2003	1	2	1
	2004-06	2005-02	9	强	2005	1	1	5
	2006-07	2007-02	8	强	2007	5	3	3
	2009-08	2010-03	8	弱	2010	3	1	2
	2009-08	2010-03	8	弱	2010	3	1	2
拉尼娜事件	1983-05	1984-02	10	弱	1984	1	1	1
La Niña event	1984-11	1985-09	11	弱	1985	3	5	5
	1988-07	1989-07	13	强	1990	2	1	4
	1995-09	1996-07	11	弱	1996	1	1	1
	1998-07	2001-03	33	强	1999	1	1	2
	2005-09	2006-04	8	强	2006	5	5	5
	2007-10	2008-10	13	强	2008	1	1	3
	2007-10	2008-10	13	强	2008	1	1	3

褐飞虱是喜温、喜湿性害虫,除在海南、两广南部及云南南部冬季有少量虫源存活外,在中国其它大部分地区常年均不能越冬,初始虫源主要来源于中南半岛^[23-24]。在厄尔尼诺年,中国及东南亚地区易出现暖冬。冬季偏暖为褐飞虱的生长发育提供了良好条件,不仅可使褐飞虱越冬范围扩大、冬季繁殖或残存数量增加、虫源基数提高,而且还使越南等境外或我国稻飞虱越冬区的褐飞虱发育速率加快、迁

入和始害期提前、为害期延长^[24-27]。此外,大量研究证实:ENSO 发展年的夏季我国多雨带位于江淮流域,ENSO 恢复年的夏季我国长江及江南地区雨量偏多^[28-30]。一定强度的降水是胁迫褐飞虱降落的重要动力条件,降水多,常使得过境迁飞性害虫在雨区内降落。夏季是江苏省褐飞虱集中迁入(降落)的盛期,夏季降水多,易导致迁入江苏的虫量多,继而导致发生程度重。因为大气的变化滞后于海水温度的

变化,所以 ENSO 事件对江苏省天气、气候的影响有一定的滞后效应,而褐飞虱对天气、气候的反应又滞后于天气、气候的变化,因此,褐飞虱首次迁入峰出现时间明显滞后于 ENSO 事件的开始期。

有研究证实,西太平洋副高的主体和大洋暖池的主体都位于西太平洋热带和副热带地区,二者关系密切,一般暖池范围增大,副高面积会相应增大;暖池强度增强,副高强度也会增强^[31]。因此,在厄尔尼诺发生期间,西太平洋副高的占据范围扩大,中心和东部边界东移,但西部边界和覆盖区少变,强度减弱,对我国大陆的影响减小,而此时西风带环流增强,盛行范围扩大,受其影响,在厄尔尼诺事件开始后的当年或处于恢复期的次年,春、夏季西南季风开始早、强度大、影响范围广,导致当年或次年褐飞虱迁入江苏的始见期早、迁入峰次多、虫量大、发生程度重,如大发生的 1987 年和 1991 年。在厄尔尼诺事件结束后的半年内,副高有较小程度的增强,虽然其覆盖范围逐渐缩小,但仍较常年偏大,中心西移,主体控制我国东部沿海的福建、浙江、上海和江苏等省市,导致这些省市受强下沉气流影响,不断有褐飞虱迁入种群降落;由于这种增强和西移常是振荡式(或非连续性)的。在其振荡过程中,常在副高主体的西南侧、西侧和西北侧阵发性地出现东南气流、偏南气流和西南气流,并输送虫源北上,为褐飞虱种群在江苏的降落提供动力,典型的年份有 1983 年、1995 年和 2005 年。

有些年份虽然是拉尼娜年,但褐飞虱的迁入却是偏重以上的发生,如 2006 年江苏全省褐飞虱普遍大发生,1985 年江苏中部和南部偏重以上发生,1990 年江苏苏南地区大发生。据李崇银^[32]的研究,ENSO 年(El Nino 年)西北太平洋发生的热带气旋总数偏少,在我国沿海登陆的热带气旋次数也少;反 ENSO 年(La Nina 年)则相反。杨淑瑞等^[33]研究指出:ENSO 年西北太平洋热带气旋生成位置偏东偏南,强热带气旋持续天数较多,首次热带气旋出现日期较晚,而末次结束日期较早;反 ENSO 年则相反。已有学者就台风(或强热带气旋)对褐飞虱迁入影响开展过一系列研究^[34-35],证实:在多强热带气旋登陆的年份及其影响区,褐飞虱的迁入峰次多、迁入量大、发生程度重。对比历年登陆并影响江苏的强热带气旋

及其影响期间发生的褐飞虱迁入虫情资料后发现:2006 年有 7 个强热带气旋登陆我国,其中 5 个影响到江苏大部;1985 年有 9 个强热带气旋登陆我国,其中 4 个影响到江苏中部和南部;1990 年也有 9 个强热带气旋登陆我国,其中 3 个影响到江苏苏南地区,而且这些登陆强热带气旋都发生在 7—9 月,表明登陆热带气旋的影响是导致江苏省褐飞虱灾变性迁入的重要因素之一。虽然其它拉尼娜年也有热带气旋登陆并影响我国,但影响到江苏的个数、范围和程度都不如这 3a。

还有个别年份如 1988 年,ONI 指数绝对值很小,年均值为-0.2,但全年 ONI 值却变化于-1.95—+1.63 之间,是典型的强厄尔尼诺事件向强拉尼娜事件的过渡年。这一年苏南地区褐飞虱的灾变性迁入很明显,这是因强厄尔尼诺事件的滞后效应而导致的。事实上,因强厄尔尼诺效应导致的 1987—1988 年的暖冬和 1988 年早春的西南季风偏早、偏强北上对越冬虫源的高基数和春夏北迁起了关键作用,也为这一年苏南地区褐飞虱大发生奠定了基础。

2.3 气候异常对褐飞虱迁入量的影响

反映某一地区气候异常的关键要素是降水和气温,本文根据历年高邮、通州、宜兴 3 站逐日褐飞虱灯诱资料,结合当地气温、降水资料,分析了 6—10 月的降水和气温对褐飞虱迁入的影响。

2.3.1 降水对褐飞虱迁入的影响

一个地方的基本降水特征可以从降水量和降水日数上反映出来。将 1983—2010 年间 6—10 月降水日数与这 28a 间高邮、通州和宜兴三个站点褐飞虱迁入峰次对应起来分析后发现(图 4):降水日数多的年份,褐飞虱迁入峰次多。高邮站褐飞虱迁入峰次达到 8 次的 5a 中有 4a 降水日数超过平均值,占 80%;通州站迁入峰次达到 8 次的 10a 中有 6a 降水日数超过平均值,占 60%;宜兴迁入峰次达到 8 次的 10a 中有 4a 年降水日数达到或超过平均值,占 40%。可见,褐飞虱的迁入峰次与降水日数有关,降水日数越多,迁入峰次就越多,降水对褐飞虱的迁入(降落)有明显的动力迫降作用。但从三个站降水日数对迁入峰次的影响来看,降水日数多并不是迁入峰次多的唯一原因。实际上,无降水时的强下沉气流也会对迁入峰次有较大的影响^[36]。

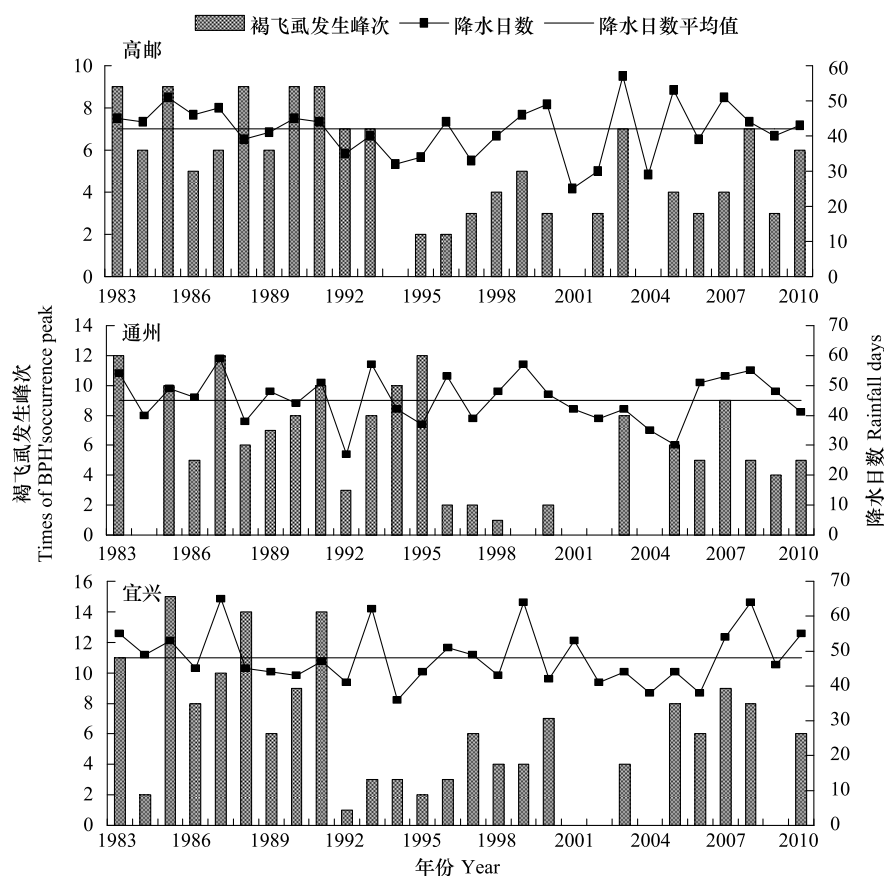


图4 高邮、通州和宜兴3站1983—2010年褐飞虱发生峰次与降水日数

Fig.4 BPH's occurrence peak times of Gaoyou Station, Tongzhou Station and Yixing Station and their rainfall days from 1983 to 2010

分析1983—2010年间6—10月降水日数与这28a间3个站点褐飞虱发生等级情况可以发现(图5):高邮站褐飞虱偏重以上发生的6a中有4a降水日数超过了平均值,通州站褐飞虱偏重以上发生的5a所有年份降水日数都超过了平均值,宜兴站偏重以上发生的8a中有4a降水日数超过了平均值。由此可见,降水日数的多少对褐飞虱的迁入量有明显的影响,降水日数越多,迁入量就越多。但有些年份,褐飞虱迁入量多,降水日数不一定多,如2006年江苏全省降水日数并不多,迁入量却很多,这一年副高短期振荡造成的间歇性、高频次强下沉气流给褐飞虱的迁入创造了良好的条件^[36]。

从图6给出的3个站点6—10月的降水量距百分率的年际变化和图1所提供的迁入虫量来看,在高邮站褐飞虱偏重或大发生的6a中有4a降水量偏多,即1983、1987、1991和2007年,占66.67%;通州站5个褐飞虱偏重或大发生的年份中有3a降水

量偏多,即1983、1987和1991年,占60%;宜兴站偏重或大发生的8a中,1985、1987、1990和1991年降水量偏多,占50%。表明降水量多少对褐飞虱的降落有明显的影响。

对一个植保站而言,某一年份的褐飞虱迁入发生程度重(4级以上),有可能由两种情况导致的:一是迁入量不大(须达到一定的量级),但迁入峰次多,累积效应比较明显,全年迁入虫量达到了4级以上,这种情况发生概率最高,高邮站为4/6、通州站为4/5、宜兴站为7/8;二是迁入峰次不多,但单次迁入量特大,也达到了全年发生程度4级以上,这种情况局地性很强,如高邮站的1995、2006年,通州站的2006年,宜兴站的2006年,特别是2006年整个长江中下游稻区在8月底至9月初,因副高短期振荡出现了两次特大迁飞量和“飞虱雨”。当然也有迁入峰次很多,但单一峰次虫量不是很大,总虫量达不到4级以上的情况,如高邮站的1985、1990年。

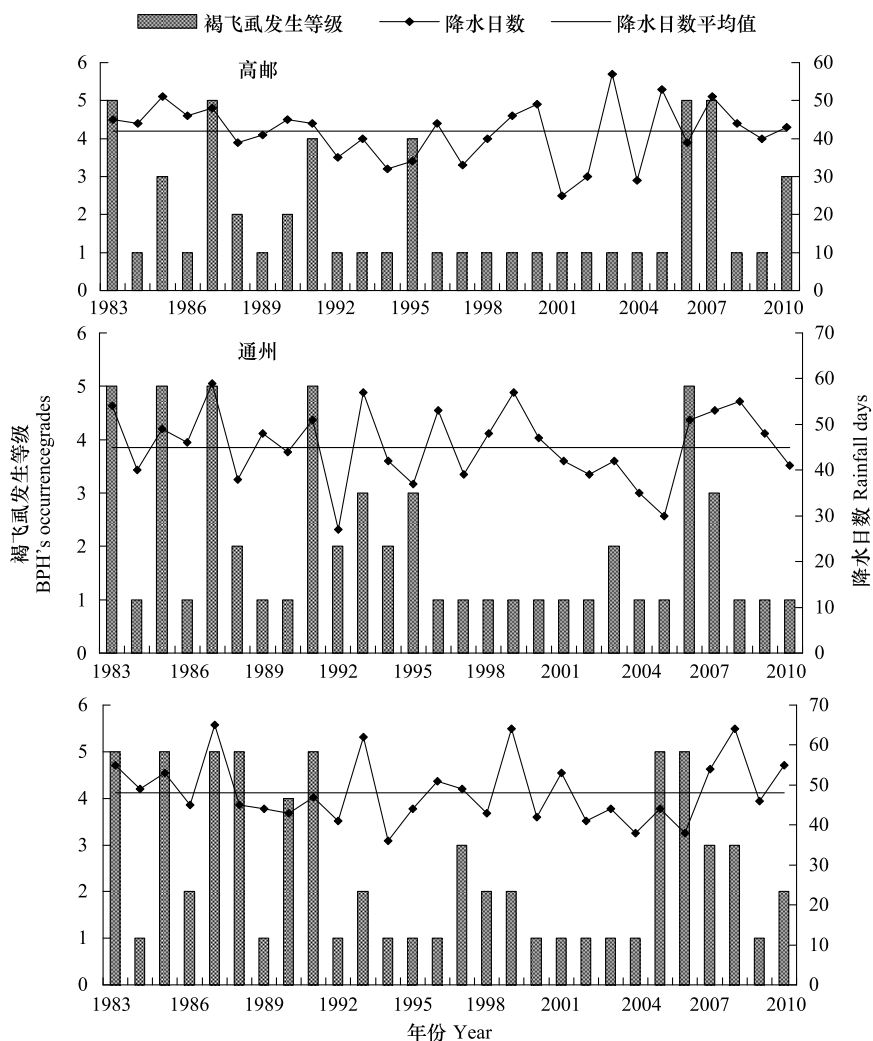


图 5 高邮、通州和宜兴 3 站 1983—2010 年褐飞虱发生等级与降水日数

Fig.5 BPH's occurrence grades of Gaoyou Station, Tongzhou Station and Yixing Station and their rainfall days from 1983 to 2010

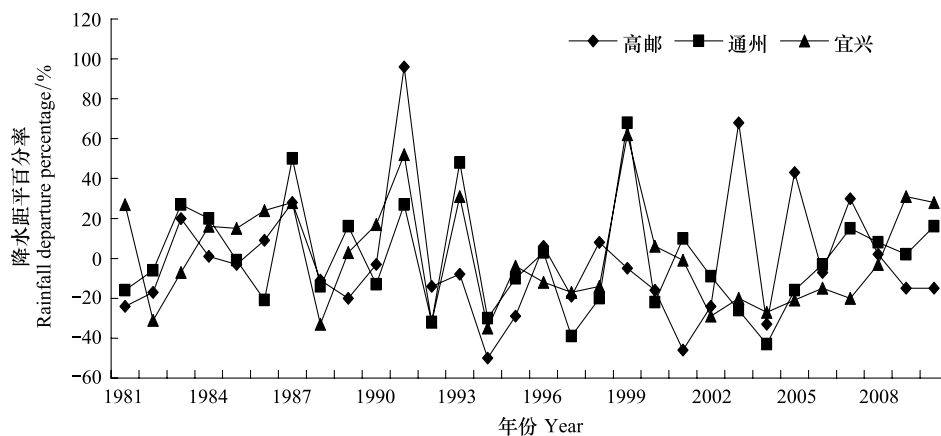


图 6 高邮、通州、宜兴三站 1981—2010 年降水距平百分率的年际变化图

Fig.6 Annual change curves for the rainfall departure percentage of Gaoyou Station, Tongzhou Station and Yixing Station from 1981 to 2010

一个时间段的降水量累积效应可以从降水强度、降水持续性和降水频次 3 个方面来体现,同样的降水量值有可能由 4 种情况造成的:一是降水强度大,降水频次多,但降水历时短(如阵性降水,多由强对流性天气导致);二是降水频次多,但降水强度小,降水历时短(如间歇性降水);三是降水历时长,但降水强度不大,降水频次也不多(如连续性降水);四是降水强度特大,但降水历时不长,降水频次也少(如暴雨、大暴雨甚至特大暴雨)。第一、二、三种情况导致的降水持续效应,能使多日、多批次(可以是连续的,也可以是不连续的)迁飞途经该降水区域的褐飞虱种群受到一定大小和力度的雨滴下冲及降水引起的拖曳下沉气流的动力胁迫而降落地面,且不致于冲刷致死,能存活上灯,从而导致某一时间段或某一迁飞季的大迁入量和多迁入峰次。第四种情况对种群的迁入意义不大,即使有迁入,也会被冲刷至死,不能上灯计数;因此,降水对褐飞虱迁入的影响是有条件的,只有迁飞季内降水在一定强度以下、频次多、累积量大的年份才有利于褐飞虱偏重以上迁入的发生。

综合降水量和降水频次两方面的影响可以看出:3 站褐飞虱迁入偏重以上发生的年份中,高邮站 6a 中有 4a 的 6—10 月迁飞季内降水量大、降水频次多,通州站 5a 中有 4a 降水量大、降水频次多,宜兴站 8a 中有 7a 降水量大、降水频次多。由此可以看出:一定强度(中雨强度以下)以内的降水,在虫源输送得到保证的前提下,降水区内降水累积量越大、降水频次越高,褐飞虱迁入累计量越大、迁入峰次也越多,最终导致其迁入和灾变的发生程度越严重。

为了定量反映降水异常对褐飞虱迁入的影响,本文从气候学角度将当月总降水量与当月降水日数的比值定义为月降水强度,分别以历年 6—10 月降水量、降水日数和降水强度为预报因子,对褐飞虱迁入发生等级进行回归分析。3 个站点褐飞虱发生等级的回归方程复相关系数(R)都较大,通过了 F 检验,置信度(P)达 0.001。3 个方程的回代检验正确率都在 60%—80% 之间,说明降水对迁入有明显的影 响。具体回归方程为:

$$\text{高邮站 } Y = 1.577 + 0.006X_1 + 0.205X_2$$

式中, Y 为褐飞虱迁入发生等级; X_1 为 7 月降水量, X_2 为 6 月降水强度; $R = 0.649$; $F = 9.088$; $P = 0.001$

其中 7 月降水量对于褐飞虱的迁入影响比 6 月降水强度大。

$$\text{通州站 } Y = 0.121 + 0.622X_1 + 0.005X_2$$

Y 为褐飞虱迁入发生等级; X_1 为 8 月降水强度, X_2 为 7 月降水量; $R = 0.639$; $F = 8.622$; $P = 0.001$ 。

其中 8 月降水强度对褐飞虱迁入的影响比 7 月降水量大。

$$\text{宜兴站 } Y = -0.328 + 0.202X_1 + 0.124X_2 + 0.165X_3 + 0.178X_4$$

Y 为褐飞虱迁入发生等级; X_1 为 7 月降水强度, X_2 为 8 月降水日数, X_3 为 10 月降水日数, X_4 为 9 月降水日数; $R = 0.742$; $F = 7.040$; $P = 0.001$ 。

其中 7 月降水强度对褐飞虱迁入的影响最大,其它因子的作用大小依次为 8 月降水日数、10 月降水日数和 9 月降水日数。

2.3.2 温度对褐飞虱迁入的影响

通过计算高邮、通州和宜兴三站的整个夏季(6—8 月)的平均气温距平值和秋季褐飞虱为害期(9—10 月)的平均气温距平值,得到图 7 所示的变化曲线。分析其特征发现:这 3 个站点气温变化趋势比较一致,迁飞季内气温波动都较大。考虑到 1983—2010 年的 28a 中,1994 年是全球变暖突变年,1983—1993 年是冷期,1994 年以来是暖期,以 1994 年为分界年,分别计算冷期、暖期两个时段的 6—8 月和 9—10 月气温平均值,再结合图 1 和图 7 分析可以发现:在高邮站褐飞虱偏重或大发生的 6a 中,夏温低的年份为 1983、1987、1991 年,正常的为 1995、2007 年,偏高的为 2006 年;秋季(9—10 月)气温偏高的年份有 6a。通州站褐飞虱偏重或大发生的 5a 中有 4a 是夏温低的(2006 年夏温偏高);秋温高的则有 4a(1991 年秋温偏低)。宜兴站偏重或大发生的 8a 中,夏温低的年份有 4a(1983、1985、1987 和 1991 年),另外 4a(1988、1990、2005 和 2006 年)夏温偏高;而秋温高的年份有 6a(1988、1990 秋温偏低)。

虽然 2006 年夏秋季长江中下游地区受副高控制,气温偏高,但副高短期振荡明显,当年 8 月底至 9 月初,中国大陆 20—30°N 之间的区域均为一致的偏南气流,这对褐飞虱的北迁极为有利,而 33°N 附近已经存在较强的西风带,并一直向南移动、扩展,与偏南气流在江苏汇合,导致江苏地区出现了历史罕见的集中迁入^[28]。通州站 1991 年秋季虽然温度较

低,但雨日和降水量均多,所以褐飞虱迁入量也较多。1988 年 9 月 22 日有一个较强的台风 8817 号台风(风力在 12 级以上)登陆广东,使得浙江南部、江西东部、福建和广东东部等地出现了大暴雨,而安徽南部、浙江北部和江苏南部等地区也有一定强度(小到中雨级别)的降水,所以宜兴出现了褐飞虱的集中降落,而通州和高邮位于江苏东部和中部,台风对这两个地区没有影响,三维气流场也不利于褐飞虱迁

入,因此,这两地也就没有褐飞虱的明显迁入。1990 年 7 月 11—15 日和 9 月 10—15 日,宜兴一直为雨日,而通州和高邮降水量和雨日都很少,所以宜兴在这几日内有大量褐飞虱迁入,而通州和高邮迁入量较少。由此可见,在虫源条件满足的前提下,夏秋季三维流场、降水和温度场的配置对褐飞虱的迁入有十分重要的影响,动力条件是关键,热力条件只起辅助作用。

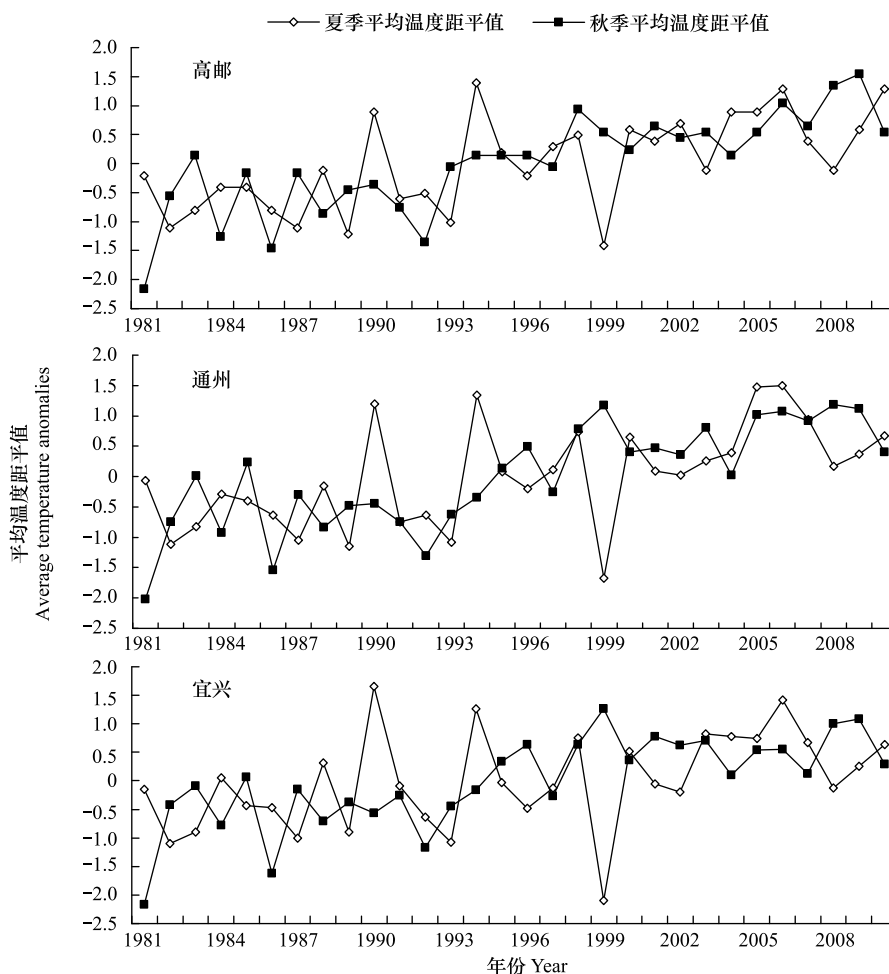


图 7 高邮、通州和宜兴三站 1983—2010 年夏季和秋季平均温度距平值年际变化

Fig.7 Annual change curves for the average temperature anomalies of summer and autumn of Gaoyou Station, Tongzhou Station and Yixing Station from 1981 to 2010

因此,秋温高对褐飞虱的迁入和为害更有利,因为褐飞虱生长发育和繁殖的适宜温度为 20—30℃,尤其以 26—28℃最为适宜,温度过高或过低都不利于其生长发育。而且,秋季温度在一定范围内的偏高(日平均气温不超过 28℃)有利于褐飞虱的滞留,发生代数会比常年增加。而夏季气温偏低,必须有降水日数偏多来作为大迁入总量、多迁入频次的支撑条件,才能引起夏季褐飞虱偏重以上程度的迁入

和田间为害。

由此可见,“盛夏不热,晚秋不冷,夏秋多雨”的气候确实有利于江苏稻区褐飞虱的迁入与为害。

3 结论与讨论

本文根据 1983—2010 年江苏省褐飞虱灯诱虫情资料、1981—2010 年 ONI 指数和 SOI 指数及 1983—2010 年江苏省气温和降水数据,分析了江苏

省褐飞虱的发生特征,探讨了气候异常对江苏省褐飞虱灾变性迁入的影响。研究得到以下结论:

(1)赤道东太平洋海表水温持续偏高的厄尔尼诺事件易引发江苏省褐飞虱偏重以上程度的发生,且其首次迁入峰的出现时间与厄尔尼诺事件开始期之间有1—14个月的滞后期。

(2)南方涛动指数(SOI)持续出现负值的厄尔尼诺事件发生的当年或次年,褐飞虱为偏重以上发生程度,且其首次迁入峰的出现时间也滞后于SOI负值开始期1—14个月。

(3)登陆并影响江苏的强热带气旋偏多的拉尼娜年份会出现褐飞虱偏重以上的发生。

(4)降水对褐飞虱迁入的影响明显,但有限制条件;降水量大、降水日数多的年份褐飞虱迁入量大、发生程度重;以6—10月降水量、降水日数和降水强度为预报因子,建立褐飞虱发生等级的回归方程,方程拟合和试报效果较好。

(5)夏秋季6—10月气温的异常对江苏省褐飞虱迁入的发生有一定的影响,夏温低、秋温高的年份会导致江苏省褐飞虱偏重以上的发生,但秋温高的作用比夏温低更明显。

海温场以热力作用为源通过海气相互作用影响大气环流,继而驱动气候变化,控制或影响天气系统、天气过程,最终影响褐飞虱的迁入和灾变。南方涛动以东太平洋副热带高压与低纬印度洋和西太平洋赤道低压之间“跷跷板”式的负相关来体现南半球中、低纬气压场低频振荡,从动力作用上实现海气相互作用对大气环流调整的影响。两者共同影响的结果是造成全球行星风带、大气环流及季风系统、天气系统和天气过程的时空变化,继而影响褐飞虱虫源地、迁飞区、降落区的天气、气候变化,最终影响到褐飞虱在我国区域性迁入和灾变。本文研究发现的褐飞虱迁入的偏重以上发生与ENSO事件、气候异常之间存在的关系只是初步的,至于深层次的定量关系研究及海温场—海气相互作用—大气环流—天气、气候—褐飞虱迁入量传递影响机制的进一步探讨是下一步的重要研究目标。

References:

- [1] Zhu S X. Rice Planthoppers and Their Prevention. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1984: 1-110.
- [2] Cheng J A, Zhu Z R. Analysis on the key factors causing the outbreak of brown planthopper in Yangtze Area, China in 2005. *Plant Protection*, 2006, 32(4): 1-4.
- [3] Qi G J, Lu F, Hu G, Wang F Y, Cheng X N, Shen H M, Huang S S, Zhang X X, Zhai B P. Dynamics and population analysis of the brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) in the early rice field in Guangxi Municipality, 2007. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(2): 462-472.
- [4] Wu G X, Li J P, Zhou T J, Lu R Y, Yu Y Q, Zhu J, Mu M, Duan A M, Ren R C, Ding Y H, Li W J, He J H, Wang F, Yu W D, Qiao F L, Yuan D L, Qi Y Q. The key region affecting the short-term climate variations in China: the joining area of Asia and Indian-Pacific Ocean. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(11): 1109-1118.
- [5] Xu Z Q, Fan K. Possible process for influences of winter and spring Indian Ocean SST anomalies interannual variability mode on summer rainfall over eastern China. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2012, 36(5): 879-888.
- [6] Huang R H, Wu Y F. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism. *Advances in Atmospheric Sciences*, 1989, 6(1): 21-32.
- [7] 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.
- [8] Li S S, Shou S W. Equatorial Eastern Pacific SST and analysis on causes of summer floods/droughts in the Changjiang and Huaihe River Basin. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 2000, 11(3): 331-338.
- [9] Sun S Q, Ma S J. Analysis and numerical experiment on the relationship between the 1998 summer monsoon activities and SSTa in tropical regions. *Chinese Journal of Atmospheric Science*, 2003, 27(1): 36-51.
- [10] Xu W C, Ma J S, Wang W. A review of studies on the influence of ENSO events on the climate in China. *Journal of the Meteorological Sciences*, 2005, 25(2): 212-220.
- [11] Xin Z B, Xie Z R. The impact of ENSO events on Huaihe River Basin's precipitation. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2005, 25(4): 346-354.
- [12] Sun Z B, Chen H S, Tan G R. Basis on Short-Term Climate Prediction. Beijing: Meteorological Press, 2010: 126-138.
- [13] Jiang G H, Tan H Q, Shen W Z, Cheng X N, Chen R C. 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.
- [14] Drake V A, Farrow R A. The influence of atmospheric structure and motions on insect migration. *Annual Review of Entomology*, 1988, 33(1): 183-210.
- [15] Pu M H, Chen J M. A preliminary study on statistical forecast of brown planthopper occurrence grade. *Plant Protection*, 1979, 5(5): 1-9.

- [16] Chen R C, Qi L Z, Cheng X N. Studies on the population dynamics of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål), I. effects of temperature and diet conditions on the growth of experimental population. Journal of Nanjing Agricultural University, 1986, 9(3): 23-33.
- [17] Zhao S J. Analysis on the meteorological cause of rice planthoppers outbreak in 1987. Plant Protection, 1988, 14(2): 2-5.
- [18] Bao Y X, Zhai B P, Cheng X N. Numerical simulation of the migration parameters of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(5): 1107-1114.
- [19] Huo Z G, Li M S, Li N, Wang L, Huang D P, Wang C Y. Impacts of seasonal climate warming on crop diseases and pests in China. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(11): 2168-2179.
- [20] He X C, Ding Y H, He J H. Response characteristics of the East Asian winter monsoon to ENSO events. Chinese Journal of Atmospheric Science, 2008, 32(2): 335-344.
- [21] Ropelewski C F, Halpert M S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. Monthly Weather Review, 1987, 115(8): 1606-1626.
- [22] Crop Diseases and Pests Monitoring and Forecasting Station of Ministry of Agriculture in China. The Observation and Investigation Standard of Rice Planthoppers (GB/T 15794-1995). Beijing: China Agriculture Press, 1995.
- [23] Cheng X N, Chen R C, Xi X, Yang L M, Zhu Z L, Wu J C, Qian R G, Yang J S. Studies on the migrations of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål). Acta Entomologica Sinica, 1979, 22(1): 1-21.
- [24] Huo Z G, Chen L, Ye C L, Liu L. Effect of climate on outbreak of China rice planthopper. Journal of Natural Disasters, 2002, 11(1): 97-102.
- [25] Li S H. The influence of Greenhouse effect on rice insect pests. Journal of Catastrophology, 1995, 10(2): 43-47.
- [26] Tang J Y, Hu B H, Wang J Q. Outbreak analysis of rice migratory pests in China and management strategies recommended. Acta Ecologica Sinica, 1996, 16(2): 167-173.
- [27] Lu X F, Huo Z G, Shen S H, Huang D P, Wang L, Xiao J J, Yu C X. Effects of climate warming on the northern distribution boundary of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* (Stål)) overwintering in China. Chinese Journal of Ecology, 2012, 31(8): 1977-1983.
- [28] Guo Y J, Ni Y Q. Effects of the tropical Pacific convective activities on precipitation and temperature over China in summer. Meteorological Monthly, 1998, 24(6): 11-16.
- [29] 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 Science, 1999, 23(6): 663-672.
- [30] Huang R H, Wu Y F. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism. Advances in Atmospheric Science, 1989, 6(1): 21-30.
- [31] Li W B, Zhou C P. The relationship between tropical Western Pacific warm pool and subtropical high. Acta Meteorologica Sinica, 1998, 56(5): 619-626.
- [32] Li C Y. A study on the influence of El Nino upon typhoon action over Western Pacific. Acta Meteorologica Sinica, 1987, 45(2): 229-236.
- [33] Yang S R, Zhan S Y, Zhao Q Y. A preliminary analysis of the relationship between the El Nino events and the typhoon in Western North Pacific. Marine Forecasts, 1987, 4(4): 10-17.
- [34] Yao D H, Chen X F, Yao S T, Chen Q H. Analysis of effects of typhoon Kanu (2005) on the sudden increase of *Nilaparvata lugens*. Chinese Journal of Agrometeorology, 2007, 28(3): 347-349, 353-353.
- [35] Wang C H, Zhai B P, Bao Y X. Effects of typhoon "Haitang" airflow field on the northward migration route of rice brown planthopper. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(10): 2506-2512.
- [36] Bao Y X, Li J J, Miao Q L, Shen S H, Wang J Q. Simulation of atmospheric dynamical background for a great migration event of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål): a case study. Chinese Journal of Agrometeorology, 2008, 29(3): 347-352.

参考文献:

- [1] 朱绍先. 稻飞虱及其防治. 上海: 上海科学技术出版社, 1984: 1-110.
- [2] 程家安, 祝增荣. 2005 年长江流域稻区褐飞虱暴发成灾原因分析. 植物保护, 2006, 32(4): 1-4.
- [3] 齐国君, 芦芳, 胡高, 王凤英, 程遐年, 沈慧梅, 黄所生, 张孝羲, 翟保平. 2007 年广西早稻田褐飞虱发生动态及虫源分析. 生态学报, 2010, 30(2): 462-472.
- [4] 吴国雄, 李建平, 周天军, 陆日宇, 俞永强, 朱江, 穆穆, 段安民, 任荣彩, 丁一汇, 李维京, 何金海, 王凡, 于卫东, 乔方利, 袁东亮, 齐义泉. 影响我国短期气候异常的关键区: 亚印太交汇区. 地球科学进展, 2006, 21(11): 1109-1118.
- [5] 徐志清, 范可. 冬季和春季印度洋海温异常年际变率模式对中国东部夏季降水的可能影响过程. 大气科学, 2012, 36(5): 879-888.
- [7] 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.
- [8] 励申申, 寿绍文. 赤道东太平洋海温与我国江淮流域夏季旱涝的成因分析. 应用气象学报, 2000, 11(3): 331-338.
- [9] 孙淑清, 马淑杰. 海温异常对东亚夏季风及长江流域降水影响的分析及数值试验. 大气科学, 2003, 27(1): 36-51.
- [10] 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(2): 212-220.
- [11] 信忠保, 谢志仁. ENSO 事件对淮河流域降水的影响. 气象科学, 2005, 25(4): 346-354.
- [12] 孙照渤, 陈海山, 谭桂容. 短期气候预测基础. 北京: 气象出

- 版社, 2010: 126 - 138.
- [13] 江广恒, 谈涵秋, 沈婉贞, 程遐年, 陈若簏. 褐飞虱远距离向北迁飞的气象条件. 昆虫学报, 1981, 24(3): 251-261.
- [15] 浦茂华, 陈洁明. 褐稻虱发生程度数理预报的初步研究. 植物保护, 1979, 5(5): 1-9.
- [16] 陈若簏, 綦立正, 程遐年. 褐飞虱种群动态的研究—I. 温度、食料条件对种群增长的影响. 南京农业大学学报, 1986, 9(3): 23-33.
- [17] 赵圣菊. 从气象因素分析 1987 年稻飞虱大发生的原因. 植物保护, 1988, 14(2): 2-5.
- [18] 包云轩, 翟保平, 程遐年. 褐飞虱迁飞参数的数值模拟. 生态学报, 2005, 25(5): 1107-1114.
- [19] 霍治国, 李茂松, 李娜, 王丽, 黄大鹏, 王春艳. 季节性变暖对中国农作物病虫害的影响. 中国农业科学, 2012, 45(11): 2168-2179.
- [20] 何溪澄, 丁一汇, 何金海. 东亚冬季风对 ENSO 事件的响应特征. 大气科学, 2008, 32(2): 335-344.
- [22] 农业部农作物病虫害测报站. 稻飞虱测报调查规范 (GB/T 15794-1995). 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [23] 程遐年, 陈若簏, 习学, 杨联民, 朱子龙, 吴进才, 钱仁贵, 杨金生. 稻褐飞虱迁飞规律的研究. 昆虫学报, 1979, 22(1): 1-21.
- [24] 霍治国, 陈林, 叶彩铃, 刘玲. 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.
- [25] 李淑华. 气候变化对水稻虫害的影响. 灾害学, 1995, 10(2): 43-47.
- [26] 汤金仪, 胡伯海, 王建强. 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, 1996, 16(2): 167-173.
- [27] 卢小凤, 霍治国, 申双和, 黄大鹏, 王丽, 肖晶晶, 于彩霞. 气候变暖对中国褐飞虱越冬北界的影响. 生态学杂志, 2012, 31(8): 1977-1983.
- [28] 郭艳君, 倪允琪. 赤道太平洋对流活动异常对我国夏季降水和气温的影响. 气象, 1998, 24(6): 11-16.
- [29] 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.
- [31] 李万彪, 周春平. 热带西太平洋暖池和副热带高压之间的关系. 气象学报, 1998, 56(5): 619-626.
- [32] 李崇银. 厄尔尼诺影响西太平洋台风活动的研究. 气象学报, 1987, 45(2): 229-236.
- [33] 杨淑瑞, 战淑芸, 赵黔源. 埃尔-尼诺与西北太平洋台风关系的初步分析. 海洋预报, 1987, 4(4): 10-17.
- [34] 姚德宏, 陈雄飞, 姚士桐, 陈勤海. “卡努”(0515)台风在褐飞虱突增中的作用探析. 中国农业气象, 2007, 28(3): 347-349, 353-353.
- [35] 王翠花, 翟保平, 包云轩. “海棠”台风气流场对褐飞虱北迁路径的影响. 应用生态学报, 2009, 20(10): 2506-2512.
- [36] 包云轩, 李金建, 缪启龙, 申双和, 王建强. 2006 年褐飞虱重大迁入过程的大气动力背景模拟——一个例研究. 中国农业气象, 2008, 29(3): 347-352.