

气候变暖对中国褐飞虱越冬北界的影响*

卢小凤^{1,2} 霍治国^{2**} 申双和¹ 黄大鹏² 王丽² 肖晶晶³ 于彩霞²

(¹南京信息工程大学, 南京 210044; ²中国气象科学研究院, 北京 100081; ³浙江省气候中心, 杭州 310017)

摘要 基于GIS技术,利用1951—2010年中国南方地区289个气象站点观测资料和褐飞虱历史越冬考察资料,通过采用典型年褐飞虱越冬实况调查资料进行检验,对前人研究的褐飞虱越冬北界指标进行优选,最终选择1月10℃等温线作为中国褐飞虱越冬北界位置确定的指标,分析了最近60年来气候变暖背景下中国褐飞虱越冬北界年代际变化以及前后30年的变化。结果表明:在气候变暖背景下,由于暖冬年份频次的增加,使得每隔10年、30年褐飞虱越冬北界平均界限均不同程度北移,与冷冬年相比,暖冬年褐飞虱越冬北界位置可向北推移2~3个纬度;年代际变化以20世纪80年代最为明显,80年代之后的30年较之前的30年北移显著;空间北移较明显的地区为云南中部和福建南部,其中云南境内最大位移处60年约向北移动了近90 km。

关键词 褐飞虱;越冬;气候变暖;分布北界;北移

中图分类号 S42 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2012)8-1977-07

Effects of climate warming on the northern distribution boundary of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* (Stål)) overwintering in China. LU Xiao-feng^{1,2}, HUO Zhi-guo^{2**}, SHEN Shuang-he¹, HUANG Da-peng², WANG Li², XIAO Jing-jing³, YU Cai-xia² (¹Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; ²Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China; ³Zhejiang Climate Center, Hangzhou 310017, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2012, 31(8): 1977-1983.

Abstract: Based on GIS technology, and by using the meteorological data from 289 meteorological stations as well as the historical overwintering data of brown planthopper (BPH) in southern China in 1951-2010, this paper chose the January isotherm of 10 °C as the optimal index to identify the northern distribution boundary of BPH overwintering in China. The optimal index was selected from the indices in previous researches by the verification of the actual overwintering data of BPH in typical years, and then, the inter-decadal variation and inter-30-year variation of the northern distribution boundary in the past 60 years were analyzed. The results show that under the background of climate warming, due to the increase of the frequency of warm winter years, the average northern distribution boundary of BPH overwintering in southern China moved northward. Compared with that in cool winter years, the northern boundary in warm winter years moved northward by about 2-3 degrees in latitude. The average distribution boundary in the 1980s moved northward most obviously in decades, and that in 1981-2010 moved northward significantly, as compared with that in 1951-1980. The significant north-moving occurred in the central part of Yunnan Province and the southern part of Fujian Province, and the maximum distance of the north-moving in Yunnan Province in the past 60 years was about 90 km.

Key words: brown planthopper; overwintering; climate warming; northern distribution boundary; moving northward.

褐飞虱 (*Nilaparvata lugens* Stål) 是中国和许多

亚洲国家水稻生产上的重要害虫,是当前影响中国水稻稳产、高产的主要害虫之一。其具有远距离迁飞的习性,国内在冬春季仅局限于大陆南缘和台湾、海南岛等地以卵、若虫、成虫的形态越冬(中国农业

* 公益性行业(气象)科研专项经费项目(GYHY201006026)资助。

** 通讯作者 E-mail: huozhigg@cams.cma.gov.cn

收稿日期: 2012-03-16 接受日期: 2012-05-13

科学院植物保护研究所,1995)。近百年来,全球气候正经历一次以变暖为主要特征的明显变化,根据政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次评估报告,过去100年中全球地表温度上升了 $0.74\text{ }^{\circ}\text{C}$,气温普遍升高(IPCC,2007)。暖冬使病虫害越冬、发生界限扩大,积温增加使农作物害虫繁殖代数增多等,目前气候变化对病虫害发生的影响已引起了国内外学者的普遍关注,并取得了一些新的进展。如在未来气候情景模拟下,结合作物病虫害发生模型进行影响的评估(葛道阔和金之庆,2006;Trnka *et al.*,2007; Aurambout *et al.*,2009; Roos *et al.*,2010)。中国气候变暖主要体现为冬季气温的升高(《气候变化国家评估报告》编写委员会,2007),而褐飞虱为喜温性害虫,耐寒能力极弱,未休眠或滞育(张寒,2006),褐飞虱在中国的越冬范围因近几十年来气候变暖的影响而产生一定的变化。

20世纪70年代后期以来,全国褐飞虱科研协作组开始对中国南(西南)部褐飞虱的越冬场所、寄主植物、越冬虫态等进行大量的调查和试验工作。目前,有关中国褐飞虱越冬北界位置的示意图,有丁德峻(1979)制作的褐飞虱气候区划图;陈若麓等(1982)参照1978年中央气象局编制的《中华人民共和国气候图集》绘制的褐飞虱越冬北界;全国褐飞虱科研协作组联合测报网(1982)制作的褐飞虱越冬划区示意图;吴曙雯(2002)提出基于GIS的褐飞虱越冬北界模拟,但该文采用的是1951—1981年和2002年当年的气温资料。可见,过去褐飞虱越冬范围的划定主要依据的是80年代以前气候资料。关于气候变化对中国褐飞虱越冬北界的影响已经有一些报道(叶彩铃和霍治国,2001;李蒙等,2009),所见报道多为定性描述或区域性评价。李淑华(1994)对在未来气候变暖 $1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的情景下褐飞虱越冬北界可能北移的情况进行研究,但其研究基于的是模式模拟的气候变化结果。为此,本文拟采用1951—2010年中国南方地区的气候观测资料,在主要考虑温度条件限制的前提下,基于GIS技术,分年代研究气候变暖对中国褐飞虱越冬北界的量化影响及中国褐飞虱越冬北界的时空变化,为开展气候变暖背景下我国越冬褐飞虱的综合防治提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

气象数据来源于国家气象信息中心,包括中国

南方地区的四川、重庆、贵州、云南、湖北、湖南、安徽、江苏、上海、浙江、江西、福建、广东、广西、海南共15个省(市、区)320个气象站点1951—2010年的逐日气温观测资料。本文选择起始年份为50年代的台站,起始年份非1951年的台站从建站年份开始计算,最后选择了其中资料较为完整的289个气象站点数据进行空间插值(图1)。中国台湾省因资料暂缺,研究时暂不做讨论。

褐飞虱越冬数据来源于文献记载的褐飞虱越冬后实地考察数据(表1),包括1977年的考察点(全国褐飞虱科研协作组联合测报网,1982)、1987年的四川米易(高君川等,1988)及其他考察点(马巨法等,1996)、1994年考察点(马巨法等,1996)和2006年考察点的资料(李大庆等,2009;陈观浩等,2010;李美英,2010)。

水稻种植数据来源于《中国农业区划的理论与实践》(1993)中的中国水稻种植区划图。省级行政区图(1:4000000)来源于国家基础地理信息中心(<http://nfgis.nsd.gov.cn>)。

1.2 研究方法

1.2.1 褐飞虱越冬北界指标的初步筛选 越冬作为昆虫的一种生理现象,受温度、食料、天敌等影响。温度又可以作用于寄主植物或其他生物,是影响昆虫越冬的重要因素。依据程遐年等(1979)的调查结果,褐飞虱在中国的越冬地区大体在 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温线以南;而根据全国褐飞虱科研协作组联合测报网(1982)的分析,认为褐飞虱的越冬北界以1月平均气温在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地方为界较为确切,小生境达 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的地方也属于这个范围。另外,丁德峻(1979)对褐飞虱进行气候区划,所划分的间歇越冬气候区的气候特征为最冷月平均气温在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上;

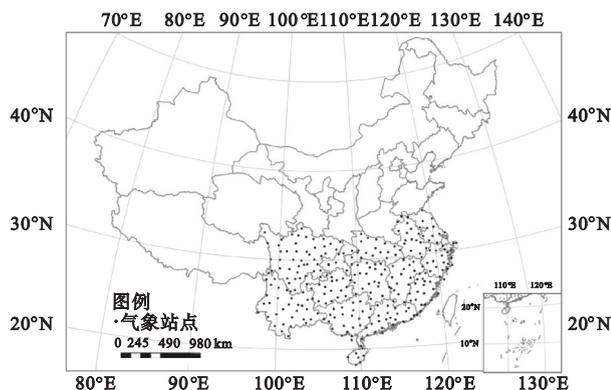


图1 研究区气象站点分布示意图

Fig. 1 Distribution of meteorological stations in the study

表1 不同年份褐飞虱在我国的越冬地数据
Table 1 Data for overwintering sites of BPH in China in different years

年份	地点	省名	经度 E(°)	纬度 N(°)	越冬
1977	保亭	海南	109.70	18.64	+
1977	琼海	海南	110.47	19.23	+
1977	海口	海南	110.35	20.03	+
1977	玉林	广西	110.13	22.67	-
1977	南宁	广西	108.35	22.82	-
1977	汕头	广东	116.62	23.68	-
1977	梅县	广东	116.08	24.27	-
1977	永福	广西	110.00	25.00	-
1977	莆田	福建	119.00	25.45	-
1977	永安	福建	117.36	25.94	-
1977	建阳	福建	118.12	27.33	-
1987	雷州	广东	110.00	20.90	+
1987	合浦	广西	109.20	21.60	+
1987	新会	广东	113.00	22.50	+
1987	米易	四川	102.11	26.89	+
1994	雷州	广东	110.00	20.90	+
1994	合浦	广西	109.20	21.60	+
1994	新会	广东	113.00	22.50	+
1994	汕头	广东	116.62	23.68	+
1994	同安	福建	118.10	24.70	-
2006	化州	广东	110.64	21.66	+
2006	宁洱	云南	101.05	23.06	+
2006	余庆	贵州	107.89	27.23	-

+能越冬;-不能越冬。

刘玉彬等(1991)认为,在云南低纬高原的复杂条件下,褐稻虱的越冬临界温度为 $9.27\text{ }^{\circ}\text{C}$;陈若簾等(1982)分析水稻的耐寒性明显低于褐飞虱,认为水稻的生存下限温度 $0\sim-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 可作为褐飞虱在中国大陆越冬北界的温度指标。在前人的所有研究结果中,被引用较多的为1月平均气温为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温线这两个指标(陈若簾等,1982;程遐年,1993;吴曙雯,2002)。本文拟将1月 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温线作为待选越冬指标,通过典型年分析,从3个待选指标中优选出一个统一的指标进行下一步研究。

1.2.2 基于典型年越冬北界指标的验证 采用典型年褐飞虱历史越冬考察资料进行越冬北界待选指标的验证检验。考虑到气候变暖对不同年代际冬季温度影响的变化、以及褐飞虱越冬考察资料的年代代表性,在20世纪70、80、90年代及近10年中分别选取一个1月平均气温相对高或中等或低的年份。在收集到具备当年越冬考察资料的年份中,1977年是南方地区60年来1月平均气温罕见低温的一年,1987年为60年来1月平均气温较高的一年,1994年和2006年为1月平均气温一般年份,最终确定了1977年、1987年、1994年和2006年等4个典型年

份,运用该年份历史越冬考察数据进行待选指标的逐个核实验证。

1.2.3 褐飞虱越冬北界变化的分析方法 计算1951—2010年1月份气温年代际平均值和以1981年为界前后30年的1月气温平均值。利用ArcGIS 9.3软件的空间分析模块(Spatial Analyst)和地统计模块提供的3种方法:样条插值法、反距离加权法和普通克立格法插值生成1月平均气温的栅格图。在插值的过程中根据不同数据提供最优参数,选择最优参数的唯一标准是在交叉检验中得到最小的均方根误差(geostatistical analyst)(Jill & Kevin, 2001)。通过交叉检验结果的比较发现,本数据中普通克立格插值法计算精度优于样条插值法、反距离加权法。利用普通克立格法制作出1月平均气温的栅格图后,按照指标生成等温线模拟褐飞虱的越冬北界。另外,对中国水稻种植区进行图像数字化,生成中国水稻种植区矢量图,将其作为褐飞虱食料地理分布的参考底图。最后运用ArcGIS分别叠合年代际间、前后30年的平均越冬界限,结合中国水稻种植区分布,定量分析气候变暖对褐飞虱越冬北界变化的影响。

2 结果与分析

2.1 褐飞虱越冬北界指标的确定

图2给出的是4个典型年1月 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温线位置与当年褐飞虱越冬调查地点的空间分布。根据图2a来看,由于1977年为冷冬年,3条等温线位置比常年偏南, $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温线位置在福建省境内最北可达 24°N 附近,而在广东省最南却在 21°N 附近。 $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温线在云南境内大姚、元谋、永仁县附近呈闭合的曲线,这是由于该区域的海拔比周围低几百米,因而形成了局地温暖的气候。从图2越冬考察点分布的情况来看,当年未查任何越冬虫态的广西永福、南宁、玉林,广东的梅县、汕头,福建的建阳、永安、莆田位于 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温线以北区域;而查到虫源的海南的海口、琼海、保亭位于 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温线以南区域,说明1977年褐飞虱越冬北界的划分应在1月平均气温为 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的地方。

由图2b给出的是1987年的越冬情况,1987年 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $11\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的等温线位置较1977年图2a都明显北移,尤其在广西、广东省境内位置北移幅度较大,北移了约2~3个纬度。该年等温线大致位于 25°N — 26°N 附近,最北以 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 等温线为界在福建

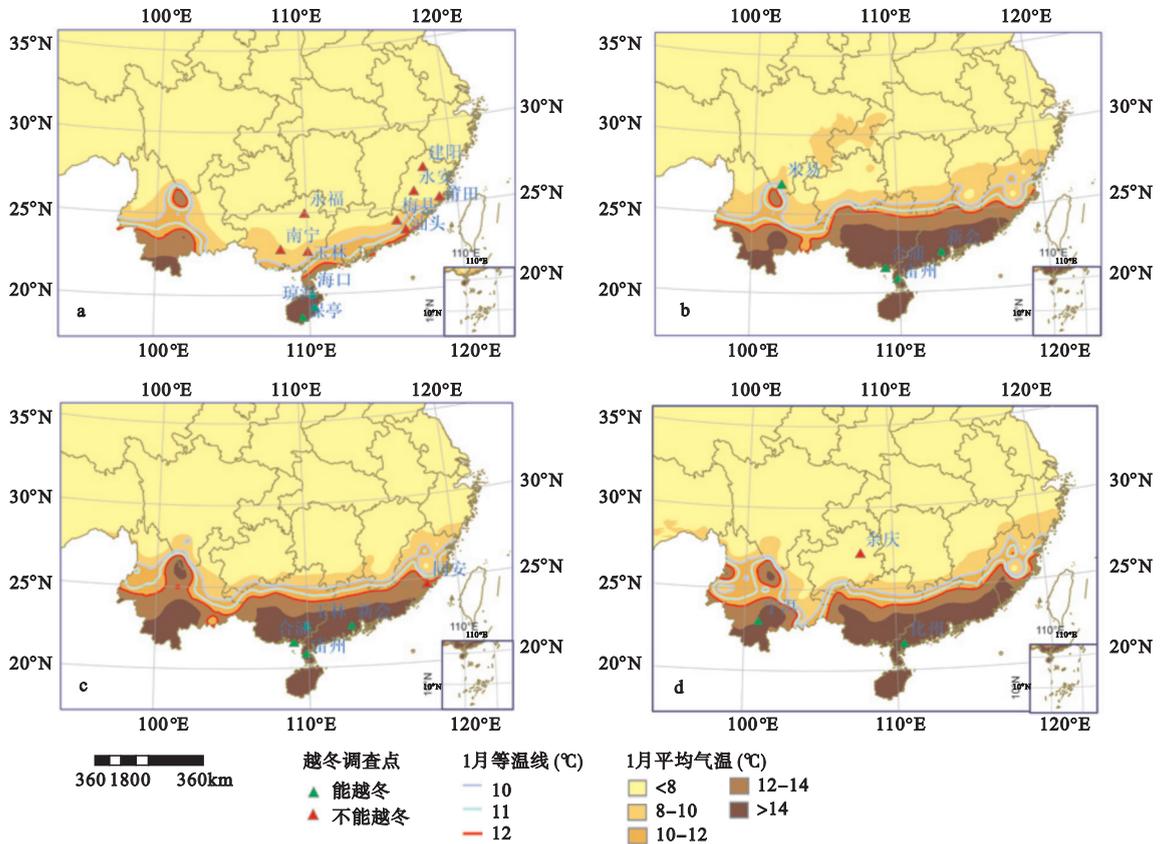


图2 4个典型年1月10℃、11℃、12℃等温线位置与当年越冬调查地点空间分布示意图

Fig. 2 January isotherm of 10 °C, 11 °C, 12 °C in four typical years and distribution of overwintering sites in China
a. 1977年; b. 1987年; c. 1994年; d. 2006年。

境内可北伸 27.2°N 左右。其中云南境内、四川及贵州边境,由于垂直高差显著,等温线所处位置差异较大,最北以 10 °C 等温线为界在四川境内可北伸 27°N 附近。图2显示米易县1月平均气温在 10 ~ 11 °C 左右查到越冬虫源;其他位于 23°N 以南的新会、合浦、雷州等考察地1月平均气温大于 14 °C,均查到褐飞虱的越冬虫源。因此,依据 1987 年图示的结果,应以1月平均气温在 10 °C 的地方划定中国褐飞虱的越冬北界较为确切。

1994 年和 2006 年的 10 °C、11 °C、12 °C 等温线位置较 1987 年在广西、广东境内南退到 24°N—25°N 附近(图 2c、d)。较之 1977 年、1987 年,1994 年和 2006 年 10 °C、11 °C 等温线在云南省内范围继续扩大,反映了云南一带适合褐飞虱越冬的温度地域带扩大。搜集到 1994 年南方地区的越冬调查点位于 25°N 以南,1 月平均气温 >12 °C 的地区,福建同安虽然已经满足温度条件却未查到越冬虫源;其余的玉林、新会、合浦等地在该年 3 月查到了越冬虫源,以短翅雌虫和高龄若虫为主。说明冬季温暖仅

为褐飞虱越冬提供温度的保障,但是昆虫的越冬还要受到其他因素的影响。2006 年,位于 3 条等温线以北的贵州余庆褐飞虱当年不能够越冬,而等温线以南的云南宁洱和广东化州褐飞虱能够越冬(图 2d)。

综上,为了统一指标,使气候变暖对中国褐飞虱越冬北界影响的研究具有可比性,认为以全国褐飞虱科研协作组制定的 1 月等温线为 10 °C 作为确定中国褐飞虱越冬北界的指标比较合适。因为近年来 1977 年那样低温的冷冬年比较少见,在另外一些年份的考察中,即使是在冬季气温低于 12 °C 地区仍能够查到越冬虫源(四川、贵州、云南三省稻飞虱科研协作组, 1982; 杨家鸾等, 1982; 林光国, 1986)。

2.2 气候变暖对褐飞虱越冬北界的影响

2.2.1 1951—2010 年褐飞虱越冬北界的年代际变化

以 1 月 10 °C 等温线作为指标,比较 1951—2010 年褐飞虱越冬北界平均位置的空间位移,用 50 年代、60 年代、70 年代、80 年代、90 年代、近 10 年分别代表 1951—1960 年、1961—1970 年、1971—1980

年、1981—1990年、1991—2000年和2001—2010年。由图3可见:总体分布上,60年来褐飞虱6个年代的越冬北界平均位置分布规律基本一致。按照其分布的特征,由西到东大致可以分成3段:在云南、四川省境内,由于地势起伏较大,北界纬度分布范围较广,最南在23°N附近云南的蒙自、文山、马

关县等地区,最北在27°N附近四川最南的攀枝花市、米易县等地;在广西、广东境内大致位于24°N—25°N附近的地区;在福建省境内则在25°N—27°N,越靠近沿海地区北界所处的纬度越高。

时间变化上,近年来随着冬季温度的升高,与上一个10年相比,60年来每隔一个年代褐飞虱越冬

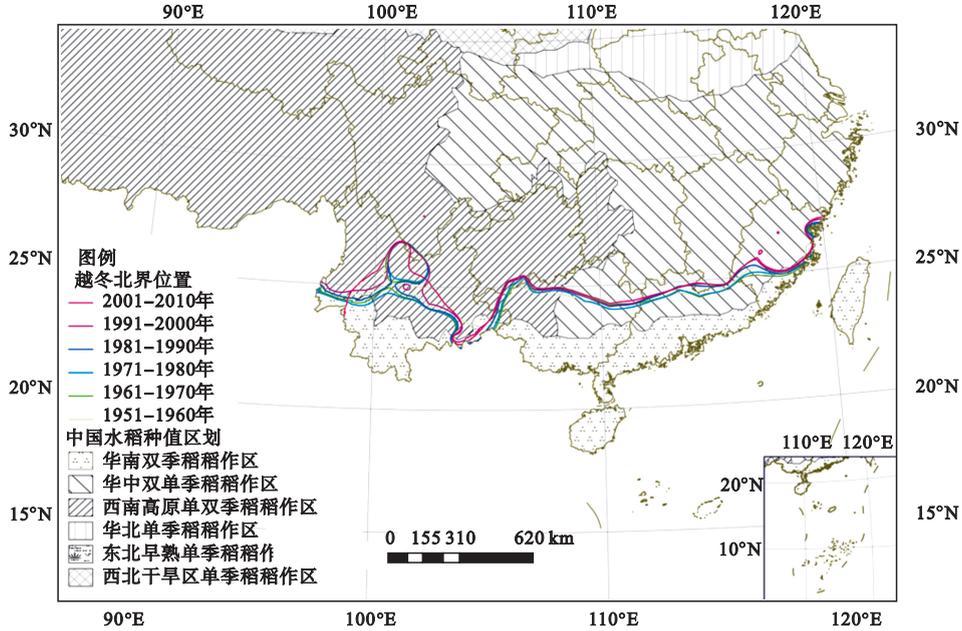


图3 1951—2010年褐飞虱越冬北界年代际平均位置变化示意图

Fig. 3 Inter-decadal variation of northern distribution boundaries of overwintering BPH from 1951 to 2010 in China

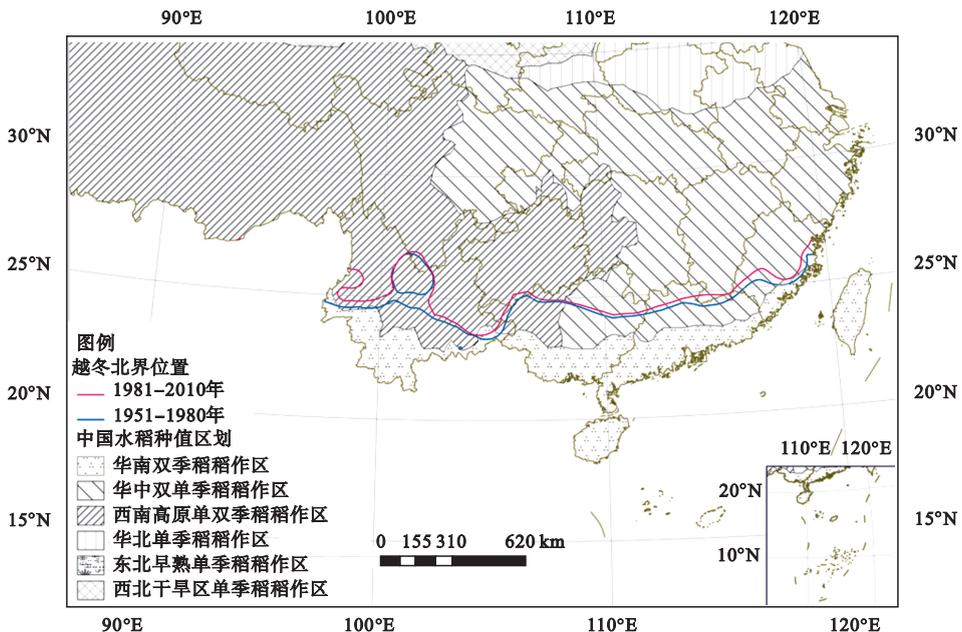


图4 1951—2010年褐飞虱越冬北界前后30年平均位置变化示意图

Fig. 4 Comparison of northern distribution boundaries of overwintering BPH between two periods, 1951—1980 and 1981—2010 in China

北界平均位置都不同程度向北移动,但相比冷冬年、暖冬年个别典型年份间2~3个纬度距离的移动,平均界限位置的变化比较小。研究时间段内60、70年代北移的距离较小,而80年代北移的距离最大,90年代和近10年来越冬北界持续小幅度北移。据GIS测量工具的度量,60年来褐飞虱越冬北界平均约总共向北移动了40 km的距离,最大移动了90 km左右。另外,研究中发现70年代的平均越冬界限在部分地区有小幅南移的现象,由气象资料显示70年代间的年份中国南方地区1月份的平均气温普遍较低,1977年1月甚至出现了几十年来比较少见的低温。根据1977年的考察(程遐年等,2003),该年在海口市郊绿肥田内的再生稻和落谷自生苗上只查到少量低龄若虫和卵条,在此以北的广东、广西大陆地区都未能查到任何越冬的虫态。

空间变化上,北界空间位移最明显的地区位于云南省境内。云南中部地区温度适合褐飞虱越冬的地域范围明显扩大,其次是福建南部地区。另外,北界的空间位移有跨越省级行政区的现象:广西西北与贵州南部接壤的边境一带,50年代的越冬北界平均位置还位于广西境内的田林、乐业、天峨地区,从60年代起北界开始越过广西境内逐渐向贵州境内移动,70年代年北界位置已经处于贵州南部的册亨、望谟、罗甸一带,并在80年代、90年代和近10年中仍在向北移动。根据资料记载的贵州省主要稻区考察结果,1978—1980年冬后于南部的罗甸、望谟、册亨、兴义、荔波等5个县查到了褐飞虱成虫(易家苓和王剑英,1982),与图中显示的结果相符。另一个北界空间位移跨越了省级行政区的地方位于广东北部与江西南部接壤的边界附近,褐飞虱越冬北界的平均位置于80年代后由原来的广东省境内的翁源、连平、和平县一带,北移至江西省境内的全南、龙南、定南一带,大约北移了60 km。结合中国水稻种植区划图可见,60年来褐飞虱越冬北界限位置大致位于西南高原单双季稻和华中双单季稻稻作区内。说明此界限以南的稻作区还需要在食料满足的情况下褐飞虱才能顺利越冬,若单双季稻混作区种植制度为一季中稻,冬季无再生稻、落粒自生苗、野生稻生长(范树国等,2000)或面积零星的地区,即使温度条件符合,也难以查到褐飞虱的越冬虫源。

2.2.2 1951—2010年褐飞虱越冬北界前后30年的变化 以1月10℃等温线作为指标,以1981年为时间界限,比较1951—1980年,1981—2010年两

个时期褐飞虱越冬北界平均位置的空间位移。图4给出的是1951—1980年(时段I,下同)、1981—2010年(时段II,下同)中国褐飞虱越冬北界的平均位置变化情况,由图4可以看出:总体分布上,由于时段I、时段II分别取60年来前、后30年1月气温的平均值,因此时段I、时段II褐飞虱越冬北界的位置分别是图3中对应时段的平均界限位置。

时间变化上,与图3不同的是,该图显示了中国南方地区冬季温度的明显提高是从80年代开始。因为,在图3年代际变化的结果中,并非每一个10年越冬北界平均位置都向北移动,特别在70年代有一些地区还出现了南移的现象。但是依据图4,对比时段I,除了云南小部分地区不明显,时段II越冬北界大多数地区都有向北移动的变化,说明近30年来,中国冬季气候增暖尤为明显,使得南方地区符合褐飞虱越冬温度指标的地域范围较前一个30年整体向北扩展。

空间变化上,由于进行了30年平均的处理,北界空间北移的效果有所削弱,但是从图4仍然可以看到北移的变化,据GIS测量工具的度量,平均向北移动约27 km,最明显的地区为云南中部和福建南部,最大位移处约向北移动了60 km。结合中国水稻种植区划图,时段I、时段II褐飞虱越冬北界仍然大部分位于西南高原单双季稻和华中双单季稻稻作区,但该图未反应种植制度在年代中可能改变的情况。依据杨晓光等(2010)研究,如果仅考虑气候要素的影响,80年代以来由于气候变暖,积温增加,双季稻的适种范围将发生变化,原有的稻-麦两熟区变成可以种植双季稻的区域。因此,未来气候变暖还可能通过影响褐飞虱食料的分布影响褐飞虱越冬的范围。

3 讨论

在总结前人研究指标的基础上,通过典型年的对比检验,最终选择1月10℃等温线作为指标确定中国褐飞虱的越冬北界位置。该指标符合近年来多地考察结果,但个别情况如1979年春福建北部的建阳县在当地1月气温在10℃以下的情况下查到了一些越冬虫态(张宜绪等,1979),这是由于小生境内(土缝、草丛下、温泉)的温度高于当地测报的气温引起。该指标判断褐飞虱成虫或若虫虫态的越冬北界相对卵态而言比较准确,因为以卵的形态越冬相对更耐寒,如湖南省褐飞虱课题研究协作组

(1980)发现,褐稻虱的若虫、成虫在1月平均气温在3.4~6.6℃的湖南省虽然不能越冬,但却能以卵在游草和再生稻上越冬并正常发育生长,成为本地的有效虫源。

气候变暖背景下,1951—2010年中国褐飞虱越冬北界每隔10年、30年平均位置的变化研究显示了越冬北界多年平均的情况,反映了研究时期冷、暖冬年所占比例及其影响的结果。若暖冬年在研究期内出现的频率较高或者暖年变暖的强度较大,则该研究期的越冬北界平均位置将会偏北。褐飞虱越冬北界总体呈北移的变化,年代际变化以20世纪80年代最为明显,80年代之后的30年较之前的30年北移明显。据有关统计,1952—2007年56年间全国性暖冬共发生15次(年),基本出现都在20世纪80年代中期以后(陈峪等,2009),与本文的结论相符。另外,越冬北界空间变化上以云南境内的北移最为明显,与有关报道的近年来云南省暖冬现象十分突出,使得云南稻飞虱越冬数量和范围进一步扩大(李蒙等,2009)情况相符。由此可见,暖冬年份频率的增加,使得中国褐飞虱可越冬的地域范围扩大。

褐飞虱在中国南方稻区顺利越冬的重要前提是环境温度必须符合其越冬的指标,因此进行越冬北界区划时主要考虑的是温度指标。除此之外,一些因素如环境湿度、食料、天敌、人为因素等也可能在某些情况对其产生影响。本研究已经运用GIS技术叠加中国水稻种植分布图进行褐飞虱越冬食料因素的初步分析,其他影响因子有望在今后的研究中得到进一步完善。

参考文献

陈峪,任国玉,王凌,等. 2009. 近56年我国暖冬气候事件变化. 应用气象学报, **20**(5): 539-545.

陈观浩,陈源,张学梅,等. 2010. 化州市近十年稻飞虱重发原因浅析及防治对策. 昆虫知识, **47**(6): 1240-1244.

陈若簾,赵健,徐秀媛. 1982. 褐飞虱越冬温度指标的研究. 昆虫学报, **25**(4): 390-396.

程遐年,陈若簾,刁学,等. 1979. 稻褐飞虱迁飞规律的研究. 昆虫学报, **22**(1): 1-21.

程遐年,浦茂华,陈钰英. 1993. 褐飞虱防治理论研究与实践. 南京:江苏科学技术出版社.

程遐年,吴进才,马飞. 2003. 褐飞虱研究与防治. 北京:中国农业出版社.

丁德峻. 1979. 温度条件与褐稻虱区域分布. 江苏农业科学, (3): 40-52.

范树国,张再君,刘林,等. 2000. 中国野生稻的种类、地理分布及其特征特性综述. 武汉植物学研究, **18**(5): 417-425.

高君川,祝小文,王禄斌,等. 1988. 白背飞虱褐飞虱能在四川省米易县越冬. 昆虫知识, **25**(2): 70-72.

葛道阔,金之庆. 2006. 气候变化对江苏省水稻主要虫害影响初探. 江苏农业科学, (4): 36-38.

湖南省褐稻虱课题研究协作组. 1980. 褐稻虱越冬虫源研究简报. 湖南农业科技, (4): 36-38.

李蒙,谢国清,吕建平. 2009. 云南稻飞虱发生特征及气候因素分析. 云南农业科技, (增刊): 101.

李大庆,杨再学,潘开忠,等. 2009. 余庆县稻飞虱发生规律及其防治技术. 贵州农业科学, **37**(8): 101-104.

李美英. 2010. 稻飞虱的监测及综合防治技术. 云南农业, (10): 38.

李淑华. 1994. 气候变化与害虫的生长繁殖、越冬和迁飞. 华北农学报, **9**(2): 110-114.

林光国. 1986. 闽中褐飞虱越冬情况的初步调查. 昆虫知识, (4): 180.

刘玉彬,杨家鸾,林莉,等. 1991. 云南白背飞虱和褐稻虱发生特点的研究. 昆虫知识, **28**(5): 257-261.

马巨法,汤金仪,高桥明彦,等. 1996. 中国南部褐飞虱、白背飞虱越冬虫源的再考察//马巨法. 中国植物保护研究进展. 北京:中国科学技术出版社: 357-361.

气候变化国家评估报告编写委员会. 2007. 气候变化国家评估报告. 北京:科学出版社.

全国褐稻虱科研协作组联合测报网. 1982. 褐稻虱在我国越冬界限的研究. 昆虫知识, (1): 1-5.

四川、贵州、云南三省稻飞虱科研协作组. 1982. 我国西南稻区白背飞虱、褐飞虱的迁飞和发生特点. 植物保护学报, **9**(3): 179-186.

吴曙雯. 2002. 中国南方稻区褐飞虱灾变分析与预警系统的研究及应用(硕士学位论文). 杭州:浙江大学.

杨家鸾,刘玉彬,孔凡夫,等. 1982. 稻飞虱越冬考察. 云南农业科技, (5): 32-33.

杨晓光,刘志娟,陈阜. 2010. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响. I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析. 中国农业科学, **43**(2): 329-336.

叶彩铃,霍治国. 2001. 气候变暖对我国主要农作物病虫害发生趋势的影响. 中国农业信息快报, (4): 9-10.

易家苓,王剑英. 1982. 贵州稻飞虱越冬的农业气象条件初步分析. 贵州农业科学, (2): 50-55.

张寒,冯国标,钱冬兰. 2006. 2005年华东稻飞虱灾害气象成因及减灾对策. 浙江气象, **27**(3): 21-24.

张宜绪,林贻鼎,黄水富. 1979. 褐稻虱在闽北越冬的探讨. 昆虫知识, (4): 147-148.

中国农业科学院植物保护研究所. 1995. 中国农作物病虫害(第2版)上册. 北京:中国农业出版社.

Aurambout JP, Finlay KJ, Luck J, et al. 2009. A concept model to estimate the potential distribution of the Asiatic citrus psyllid (*Diaphorina citri* Kuwayama) in Australia under climate change: A means for assessing biosecurity risk. *Ecological Modelling*, **220**: 2512-2524.

IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

Jill M, Kevin J. 2001. Using ArcMap Spatial Analyst. USA: Redlands.

Roos J, Hopkins R, Kvarnheden A, et al. 2010. The impact of global warming on plant diseases and insect vectors in Sweden. *European Journal of Plant Pathology*, **129**: 9-19.

Trmka M, Muska F, Semerádová D, et al. 2007. European corn borer life stage model: Regional estimates of pest development and spatial distribution under present and future climate. *Ecological Modelling*, **207**: 61-84.

作者简介 卢小凤,女,1986年生,硕士研究生,主要从事应用气象方面的研究. E-mail: luxiaofeng_330@163.com
责任编辑 李凤芹