

# 棉铃虫发生与北太平洋海温的遥相关及其长期灾变预警

秦淑莲<sup>1</sup>, 翟保平<sup>1\*</sup>, 张孝羲<sup>1</sup>, 屈西峰<sup>2</sup>, 姜玉英<sup>2</sup>

(1. 南京农业大学昆虫学系, 农业部病虫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测报处, 北京 100026)

**摘要:** 本文分析了山东郓城 26 年 (1974~1999)、德州 22 年 (1978~1999) 和江苏丰县 20 年 (1980~1999) 棉铃虫百株累计卵量与北太平洋海温的遥相关关系及其时空动态规律, 并选出相关显著程度  $P < 0.05$  概率水平、空间分布范围较大、持续时间较长而稳定的组合作为关键预测因子组建了郓城、德州棉铃虫三代卵, 丰县棉铃虫二代卵的预测模型, 并筛选出最优长期灾变预警模型。结果表明: ① 北太平洋海温场与棉铃虫种群数量消长存在显著或极显著的遥相关区域, 其位置及范围随时间变化, 但存在若干呈现出空间稳定性和时间持续性的大面积相关显著区域。② 郓城棉铃虫三代卵量和丰县棉铃虫二代卵量与北太平洋海温场的相关区分布形式很相似, 与前两年 1 月份北太平洋月平均海温场存在大片相关显著的区域 ( $35^{\circ} \sim 55^{\circ}N$ ,  $135^{\circ}E \sim 135^{\circ}W$ ), 持续时间达 4 个月之久; 而德州棉铃虫三代卵量与前两年 7~9 月份北太平洋低纬度海温有大范围相关显著区 ( $1^{\circ} \sim 17^{\circ}N$ ,  $165^{\circ}E \sim 120^{\circ}W$ )。③ 用前两年 1~11 月份北太平洋海温场相关显著区内各格点的月平均海温距平的平均值做因子建立了棉铃虫长期灾变预警模型, 预测检验结果表明: 郓城棉铃虫三代卵 6 年 (1994~1999) 中报准 5 年, 丰县棉铃虫二代卵 5 年 (1995~1999) 中报准 3 年, 德州棉铃虫三代卵 5 年 (1995~1999) 全部符合。据此可提前 20~27 个月做棉铃虫的长期灾变预警。

**关键词:** 棉铃虫; 海温; 相关分析; 长期灾变预测

中图分类号: Q968; S435 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296 (2003) 04-0479-10

## 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

QIN Shu-Lian<sup>1</sup>, ZHAI Bao-Ping<sup>1\*</sup>, ZHANG Xiao-Xi<sup>1</sup>, QU Xi-Feng<sup>2</sup>, JIANG Yu-Ying<sup>2</sup> (1. Key Laboratory of Pest Monitoring and Management of the Agricultural Ministry of China, Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Pest Forecasting Division, National Agro-Technique Extension and Service Center, Beijing 100026, China)

**Abstract:** The teleconnection between population density (egg counts) of cotton bollworm (CBW), *Helicoverpa armigera* (Hübner), and the anomaly of monthly mean sea surface temperature (SST) in the North Pacific was analyzed to find the significant ( $P < 0.05$ ) correlative key factors with large and sustainable spatio-temporal extension to build long-term forecast models for *Helicoverpa* outbreaks. Based on the CBW data over 26 years (1974–1999) in Yuncheng, Shangdong Province, over 22 years (1978–1999) in Dezhou, Shandong Province, and over 20 years (1980–1999) in Fengxian, Jiangsu Province, optimum forecast models were established for long-term prediction of the 3rd generation eggs in Yuncheng and Dezhou, and the 2nd generation eggs in Fengxian. The results indicated: (1) There was significant ( $P < 0.05$ ) or highly significant ( $P < 0.01$ ) teleconnection between the fluctuation of CBW populations and SST in the North Pacific. The location and range of the significant correlated areas varied with time, but there were a few such significantly correlated areas, relatively stable in space and sustainable in time. (2) There was a vast region in the North

基金项目: 国家 973 项目 (TG2000016210); 国家“十五”攻关项目 (2001BA50PB01); 国家 863 项目 (2001AA245032-2)

作者简介: 秦淑莲, 女, 1962 年生, 山东招远人, 博士, 副教授, 主要从事病虫测报及农业气候资源信息方向的研究, E-mail: qinshulian@263.net

\* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: bpzhai@njau.edu.cn

收稿日期 Received: 2002-10-29; 接受日期 Accepted: 2003-04-17

Pacific of significantly correlated ( $P < 0.001$  in center) with the CBW eggs counts of the 3rd generation in Yuncheng, the 2nd generation in Fengxian and the SST in January 2 years ago, which ranged from 35°N to 55°N, 135°E to 135°W and sustained for 4 months. But the area for the 3rd generation eggs in Dezhou was located at the low latitude Northern Pacific (1° - 17°N, 165°E - 120°W) during July to September 2 years ago. (3) The evaluation of models with the drive variable of the average of the mean SST departures on each grid within the significant correlative areas from January to November of the year before last showed that the predictive accordant rates for the egg counts of the 3rd generation CBW in Yuncheng and Dezhou, and the 2nd generation in Fengxian were correct in 5 of the 6 verified years (1994 - 1999) for Yuncheng, correct in all 5 years (1995 - 1999) for Dezhou and in 3 of 5 years (1995 - 1999) for Fengxian respectively. The results suggested the possibility to make forecast of CBW outbreaks about 20 - 27 months earlier with these models.

**Key words:** *Helicoverpa armigera*; sea surface temperature; correlation analysis; long-term outbreak forecast.

棉铃虫是我国棉区的重要害虫, 20 世纪 90 年代全国范围的棉铃虫大暴发, 对棉花生产造成了严重的危害。对于此次棉铃虫大暴发的成因, 众多论者从不同的角度做了分析, 普遍认为气候是引起棉铃虫大暴发的重要因素之一, 而干旱少雨是棉铃虫大发生种群形成的必要条件 (戴小枫和郭予元, 1994; 张孝羲, 1996; 郭予元, 1998a; 陆自强和徐勇惠, 1998)。因此, 气候要素是害虫发生预测中常用的预测因子。但作为直接影响害虫种群数量变化的气候因子, 只能用来做中短期发生预测。显然, 要对害虫的发生趋势做出长期预测, 就必须寻找更为稳定的早期预警因子, 即能够引发大尺度气候变化的背景场。海陆分布是气候的主要成因之一。我国地处世界上最大的海洋太平洋和世界上最大的大陆欧亚大陆的交接处, 太平洋海温场的变化能直接影响我国的气候, 尤其是我国东部季风区气候的变化 (赵振国, 1999), 从而间接地影响病虫害的暴发。遥相关分析是分析海温场与大陆气候关系的一种有效方法, 不仅在气象气候学研究中应用广泛 (蒋全荣等, 1997; 谭桂容等, 1998), 在害虫发生预测中也有若干尝试。如赵圣菊 (1987) 分析了从上一年的 1 月到当年的 5 月北太平洋月平均海温与东北一代粘虫成虫迁入量的相关关系, 建立了可提前 8 ~ 9 个月做预测的预测模型; 侯敬和等 (1997) 分析了北太平洋海温与鲁西南当年和翌年二代棉铃虫发生程度的相关性, 建立了可提前 2 ~ 3 个月做预测的模型; Maelzer 和 Zalucki (2000) 发现澳大利亚棉铃虫的年累计上灯蛾量与海表面温度 (SST) 显著相关, 用 SST 可提前 9 ~ 12 个月预测棉铃虫的发生程度。但对棉铃虫的种群数量与北太平洋海温场进行长时间、多尺度 (时间、空间和时空结合) 的综合分析方面的工作, 国内外尚未见报导。

为此, 我们对山东郓城、德州和江苏丰县棉铃虫种群数量年际间的变化与北太平洋海温在时间和空间上的遥相关性进行分析, 力图筛选出相关显著的早期关键时段和区域作为预测因子, 并用各因子及因子组合分别建立郓城、德州棉铃虫三代卵和丰县棉铃虫二代卵的长期灾变预警模型, 以期对棉铃虫灾变长期预测提供可操作的技术方法。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

棉铃虫资料: 山东郓城 1974 ~ 1999 年 (26 年)、德州 1978 ~ 1999 年 (22 年) 和江苏丰县 1980 ~ 1999 年 (20 年) 逐年各代棉铃虫的百株累计卵量。

北太平洋海温场数据: 1974 ~ 1997 年逐年各月  $2 \times 2$  经纬度网格点的月平均海温资料。

### 1.2 方法

**1.2.1 原始资料的处理:** ①海温场数据做距平处理, 计算各格点的逐年各月的海温距平值; ②虫情数据在遥相关分析时用实查虫量, 建模时按全国棉铃虫发生程度的划分标准 (屈西峰等, 1992), 郓城和德州三代棉铃虫百株累卵  $> 85$  粒、丰县二代棉铃虫百株累卵  $> 500$  粒时即为五级 (大发生), 作为灾变记 1, 其余各级作为非灾变记 0。

**1.2.2 因子的筛选:** ①分别计算各地各代虫量与此前两年的一月份开始到当代棉铃虫出现前一个月的海温距平值的相关系数, 用 ArcGIS 制成各代虫量与各格点月海温距平值相关系数的时、空分布图, 分析其变化规律。②选择并计算达到  $P < 0.05$  概率水平的显著区域内各格点的月平均海温距平值的总平均值, 作为一个预测因子。③采用三种因子

组合方式:同一时间不同空间区域的因子;同一空间区域不同时间的因子;不同时空的因子。④按每组虫情数据即预报值  $y$  建立了各种因子及因子组合的灾变预警模型,并对各模型进行回测检验及3~6年的预测检验,按预测效果找出最优的长期预警模型。

**1.2.3 模型的建立及效果分析:**用判别分析法分别建立郟城、德州棉铃虫三代卵,丰县棉铃虫二代卵与各主要因子及因子组合的灾变预警模型,并对各模型进行回测检验和预测检验,从中筛选出最优模型。其中,郟城留出6年、德州和丰县留出5年的数据作为预测检验。

所有计算均由自编程序在 VFP6.0 中完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 棉铃虫各代卵量与北太平洋月平均海温的遥相关分析

将三地棉铃虫2~3代的田间卵量分别与北太平洋海温做遥相关分析,两者表现出规律的相关关系。从前两年的1月份开始到当代棉铃虫出现前一个月做逐月相关分析,每一组卵量数据与对应格点的 SST 均进行了约 50 000 个组合的分析。

结果表明,田间卵量与海温场间的大部分时段和空间区域相关不显著,只在部分时段存在相关显著或极显著的大范围的正相关区域,另有特定的时段和区域(低纬度的西部,相当于厄尔尼诺海温区西区的位置)存在范围较大的显著或极显著的负相关区(图1~3)。

其中,郟城棉铃虫三代卵量和丰县棉铃虫二代卵量与北太平洋月平均海温距平场的相关显著区域的时空分布形式基本一致,即与前两年1月的海温场在低纬度和中高纬度海区有两块显著的正相关区域(中心区域  $P < 0.001$ , 相关系数最大的格点  $r = 0.7993$ )。中高纬度区的相关显著区域范围较大( $35^\circ \sim 55^\circ\text{N}$ ,  $135^\circ\text{E} \sim 135^\circ\text{W}$ ),持续时间长达4个月(1~4月份);此后该区开始调整,5~8月份呈多块分散的相关区;到前一年4月,北太平洋的低纬度偏东海区又有一大片显著或极显著的正相关区,持续3个月之久;该年7月在中高纬度的太平洋东部也出现一片显著的正相关区。显著或极显著的负相关区则出现在前两年的12月到前一年1月和当年1~3月的北太平洋西部低纬度海区,持续时间为2~3个月(图1,2)。

德州棉铃虫三代卵量与前两年1、2月份北太

平洋海温的正相关区的范围要小得多( $35^\circ \sim 51^\circ\text{N}$ ,  $175^\circ\text{E} \sim 135^\circ\text{W}$ ),但前两年7月在低纬度区出现大范围的正相关显著区域( $1^\circ \sim 17^\circ\text{N}$ ,  $165^\circ\text{E} \sim 120^\circ\text{W}$ )并于8月份显著加强(中心区域  $P < 0.001$ , 相关系数最大的格点  $r = 0.7464$ ),持续5个月之久;与前一年7、8月份低纬度区域也存在范围很大的正相关显著区域,而从前两年11月到前一年3月,北太平洋西部低纬度海区出现了持续5个月的大范围负相关显著区(图3)。

可见,各地、各代棉铃虫田间卵量与北太平洋海温场均存在不同程度的遥相关显著区域,尤其是大范围相关显著区域的分布具有空间上的稳定性和时间上的持续性,据此可筛选出关键因子组建预测模型。

### 2.2 棉铃虫灾变预警模型及预测效果

用前两年1月开始到棉铃虫三代卵出现前一个月为止的整个时段内各相关显著月份的北太平洋相关显著区域内各格点的月平均海温距平的总平均值作为预测因子,在所建的近百个预测模式中经回测和预测检验选出若干最优模式(表1~3),结果表明从北太平洋海温场筛选的因子可提前20~27个月做出棉铃虫灾变预测。其中,前两年1~3月份北太平洋中高纬度海温场因子对与郟城三代卵量和丰县二代卵量遥相关性最好,但由这三个因子组合的预警模型效果并非最好;对德州三代卵量来说,前两年1~3月份北太平洋中高纬度并不是相关最强的区域和时段,而前两年7~9月份北太平洋低纬度相关区范围更大,此期三因子组合的模型表现更优。

模型筛选结果表明,同一时间不同空间的相关因子组建模型或同一空间不同时间的相关因子组建的模型预测效果好,不同时间、不同空间的相关因子组建的模型效果差,将建模数据的时间序列延续两年的预测效果与原序列相同。从模型的模拟效果看,在一定时段内各种组合模型的模拟或预测结果比较一致,但这个时段因地区不同而异:前两年1~9月份各种组合模型对德州三代卵量的预测结果与实际发生情况符合,说明该时段海温对影响德州棉铃虫发生为害关键气候要素的作用是一致的;前两年1~5月份各种组合模型对郟城三代卵量的预测结果均将1999年错报为大发生,而10、11月份的因子组合模型却报准了,显然该时段的海温场对影响棉铃虫发生危害的关键气候因子起了主导作用;同样,前两年1~3月份各种组合模型对丰县

1998、1999 年二代卵量的预测均错报为大发生，但 5 月份及 5、6 月份相关因子的组合模型的预测结

果与实际情况相符，也是该时段的海温场影响了丰县棉铃虫大发生的关键气候因子。

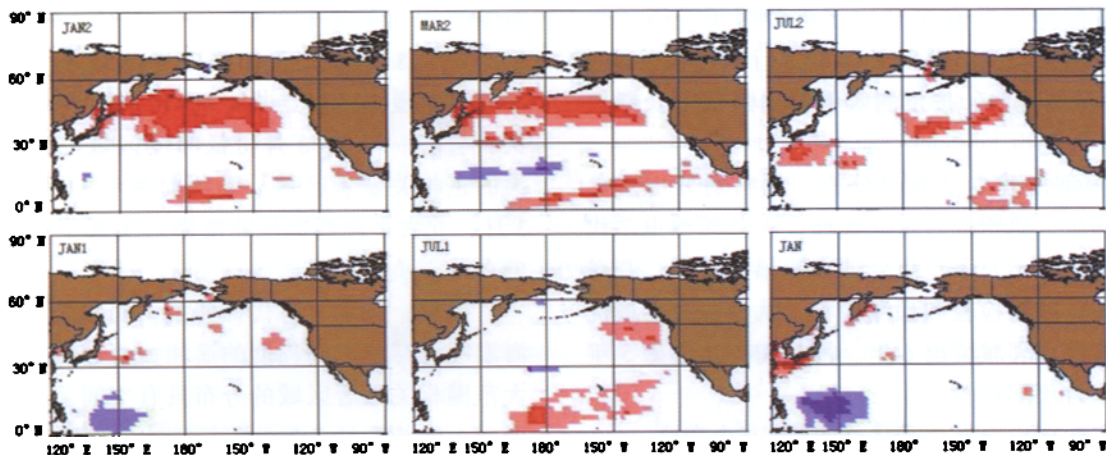


图 1 郟城棉铃虫三代卵量与北太平洋月平均海温场的相关关系

Fig. 1 The correlation between the 3rd generation eggs of *Helicoverpa armigera* in Yuncheng and monthly mean SST in North Pacific

图 1-3 中不同颜色表示该网格点上的相关性，红色为正相关显著区，蓝色为负相关显著区

浅蓝或浅红示  $P < 0.05$ ；深蓝或深红示  $P < 0.01$

The correlation between North Pacific SST and the eggs of *Helicoverpa armigera* is shown by different colors on the grid.

Blue: negative correlation; Red: positive correlation. Light blue and red:  $P < 0.05$ . Dark blue and red:  $P < 0.01$ . The same below.

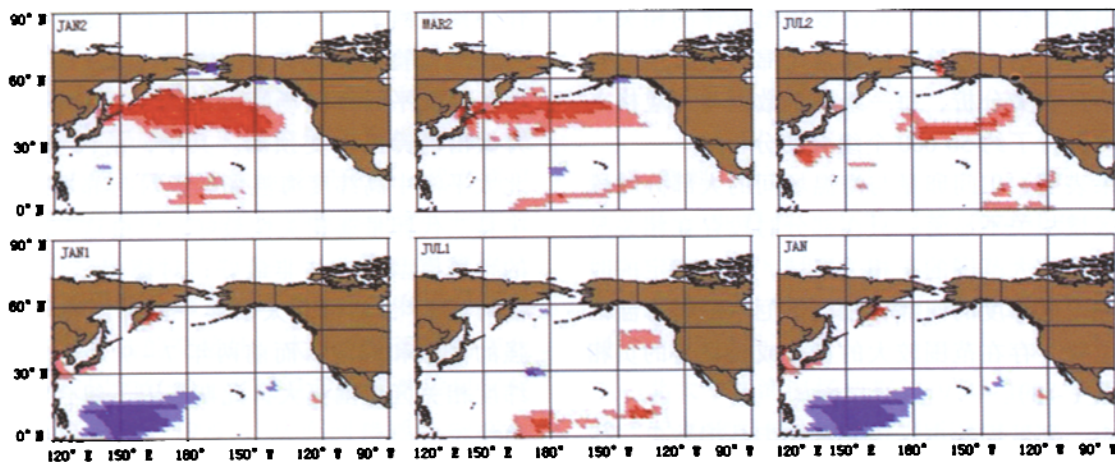


图 2 丰县棉铃虫二代卵量与北太平洋月平均海温场的相关关系

Fig. 2 The correlation between the 2nd generation eggs of *Helicoverpa armigera* in Fengxian and monthly mean SST in North Pacific

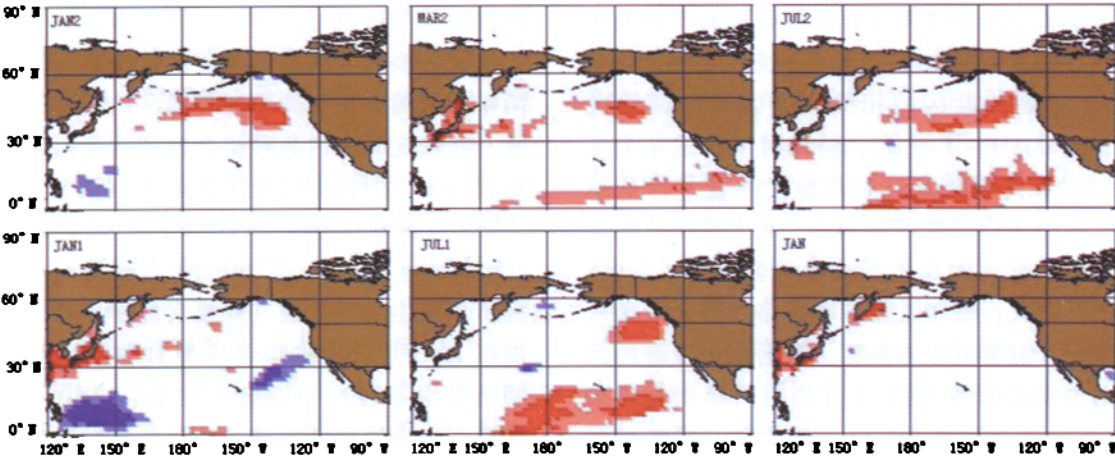


图 3 德州棉铃虫三代卵量与北太平洋月平均海温场的相关关系

Fig. 3 The correlation between the 3rd generation eggs of *Helicoverpa armigera* in Dezhou and monthly mean SST in North Pacific

影响棉铃虫大发生的关键气候因子为冬季的气温和发生繁殖期的降水(郭予元, 1998b; 王厚振等, 1999; 苏战平等, 2000; 陈法军等, 2003)。我们的相关研究表明, 北太平洋海温与华北气候也存在遥相关关系。其中, 前两年1~3月份的北太平洋海温与当年2月份的气温呈显著正相关而与3月份的降水呈显著负相关、与8月和11月的降水达显著或极显著正相关(待发表)。从1999年2月的气温距平分布图中可以看出, 整个分析区域内2月份气温为正距平, 比常年高3~4℃(图4), 以主要影响气温的前两年1~3月份北太平洋海温场因子预测棉铃虫将大发生; 但从1999年5月的降

水分布图及多年5月的平均降水量分布图中可以看出, 郓城和丰县等区域当年5月份的降水比常年明显偏多(图5, 6), 而5月份正好是越冬代蛾羽化出土的时期, 过量的降水影响土中蛹的存活率和成虫羽化率及其生殖能力(苏战平等, 2000; 陈法军等, 2003), 从而影响当年的虫源基数, 继而影响其后的大发生。丰县1980~1999年5月份降水量的20年平均为60.6 mm, 但1998年5月份的降水为139.4 mm, 是常年的2.3倍, 也是20年中5月份降水最高的年份; 1999年5月份降水为82.6 mm, 也比常年明显偏多, 所以1998年和1999年棉铃虫二代卵量在丰县未能达到大发生的程度。

表1 郓城棉铃虫三代卵量的灾变预测与检验

Table 1 Verification of the forecasting model for the 3rd generation eggs of *Helicoverpa armigera* in Yuncheng, China

相关显著预测因子 Predictive factors	建模数据 Modeling data	预测式 Models $Y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$	判别值 Criteria			回测检验 Historical accordant %	预测检验 Predictive veracity	
			Ya	Yb	Yc		年份 Years	错报年份 Error years
前2年1~3月中高纬度 Jan. to Mar. 2 years ago Mid and high latitude	1974~1993	$Y = -0.7354JAN_{21} + 3.1235FEB_{22} - 4.3246MAR_{23}$	0.7371	-1.3274	-0.0887	85	1994~1999	1999
	1974~1996	$Y = 0.2980JAN_{21} + 1.5395FEB_{22} - 3.5693MAR_{23}$	0.6899	-1.4478	-0.3325	87	1997~1999	1999
前2年1~3月低纬度 Jan. to Mar. 2 years ago Low latitude	1974~1993	$Y = 0.5528JAN_{21} - 1.003FEB_{22} - 0.8425MAR_{23}$	0.1197	-0.2923	-0.0451	80	1994~1999	1999
	1974~1996	$Y = 1.0063JAN_{21} - 0.8684FEB_{22} - 1.8791MAR_{23}$	0.1815	-0.5368	-0.1620	74	1997~1999	1999
前2年2月高纬和低纬 Feb. 2 years ago, $x_1, x_2$ High and low latitude	1974~1993	$Y = -0.2979 FEB_{21} - 1.1155 FEB_{22}$	0.1681	-0.2329	0.0078	80	1994~1999	1999
	1974~1996	$Y = -0.6312 FEB_{21} - 1.2667 FEB_{22}$	0.2729	-0.2965	0.0006	78	1997~1999	1999
前2年4月两正相关区 April 2 years ago $x_1: 40^\circ \sim 50^\circ N, 141^\circ \sim 150^\circ E;$ $x_2: 31^\circ \sim 37^\circ N, 150^\circ \sim 177^\circ E$	1974~1993	$Y = -0.7071 APR_{21} - 1.2430 APR_{22}$	0.4417	-0.2680	0.1578	75	1994~1999	1999
	1974~1996	$Y = -0.7291 APR_{21} - 1.8422 APR_{22}$	0.5603	-0.4031	0.0996	83	1997~1999	1999
前2年5,6两月正相关区 May to Jun. 2 years ago $x_1: 40^\circ \sim 50^\circ N, 139^\circ \sim 150^\circ E;$ $x_2: 45^\circ \sim 50^\circ N, 140^\circ \sim 160^\circ E;$ $x_3: 25^\circ \sim 31^\circ N, 127^\circ \sim 139^\circ E$	1974~1993	$Y = -0.8047MAY_{21} - 0.3847JUN_{22} - 1.1042 JUN_{23}$	0.5701	-0.5110	0.1376	85	1994~1999	1994, 1999
	1974~1996	$Y = -0.4161MAY_{21} - 0.7189JUN_{22} - 1.0850 JUN_{23}$	0.5377	-0.4528	0.0640	78	1997~1999	1999
前2年10,11月正相关区 Oct to Nov 2 years ago $x_1: 34^\circ \sim 47^\circ N, 143^\circ \sim 133^\circ W;$ $x_2: 35^\circ \sim 49^\circ N, 150^\circ \sim 133^\circ W$	1974~1993	$Y = -0.0482 OCT_{21} - 0.6152 NOV_{22}$	0.1867	-0.2138	0.0265	70	1994~1999	无 None
	1974~1996	$Y = -0.4102 OCT_{21} - 0.5708 NOV_{22}$	0.2419	-0.4166	-0.0730	74	1997~1999	无 None

注 Notes: 1. 预测模型中的字母代表月份, 月份后面第一个数字表示超前年份, 第二个数字表示自变量  $x_i$  中的  $i$ 。如  $MAR_{23}$  即  $x_3$  为前两年3月份相关显著区域中各格点的月平均海温距平的总平均值, 余类推。The capitals in the above models are months, the 1st digit behind them represents years ahead and the 2nd one indicates the subscript  $i$  in  $x_i$ . For example,  $MAR_{23}$  means that the  $x_3$  is an average of the mean SST departures on each grid in the significant correlative area during March 2 years ago. 下表同 The same for the following tables.

2.  $Y_c$ 、 $Y_a$  和  $Y_b$  为判别标准。当  $Y_a > Y_b$  时,  $Y > Y_c$  预测为非灾变 (a类发生),  $Y < Y_c$  预测为灾变 (b类发生); 当  $Y_a < Y_b$  时,  $Y > Y_c$  预测为灾变,  $Y < Y_c$  为非灾变。 $Y_c$ ,  $Y_a$  and  $Y_b$  are criteria. If  $Y_a > Y_b$ , there will be no outbreak when  $Y > Y_c$  but there will be an outbreak when  $Y < Y_c$ . Otherwise, if  $Y_a < Y_b$ , there will be an outbreak when  $Y > Y_c$  and no outbreak when  $Y < Y_c$ . 下表同 The same for the following tables.

表 2 丰县棉铃虫二代卵量的灾变预测与检验

Table 2 Verification of the forecasting model for the 2nd generation eggs of *Helicoverpa armigera* in Fengxian, China

相关显著预测因子 Predictive factors	建模数据 Modeling data	预测式 Models $Y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$	判别值 Criteria			回测检验 Historical accordant %	预测检验 Predictive veracity	
			Ya	Yb	Yc		年份 Years	错报年份 Error years
前 2 年 1 月中高纬 $x_1$ , 低纬 $x_2$ . Jan. 2 years ago Mid-high & low latitude	1980 ~ 1994	$Y = -1.4831 \text{ JAN}_{21} - 1.5423 \text{ JAN}_{22}$	0.5452	-0.8815	-0.0255	87	1995 ~ 1999	1998, 1999
	1980 ~ 1996	$Y = -1.8686 \text{ JAN}_{21} - 1.5080 \text{ JAN}_{22}$	0.8606	-0.8640	-0.0462	88	1997 ~ 1999	1998, 1999
前 2 年 2 月中高纬 $x_1$ , 低纬 $x_2$ . Feb. 2 years ago Mid-high & low latitude	1980 ~ 1994	$Y = -2.1159 \text{ FEB}_{21} - 1.8949 \text{ FEB}_{22}$	-0.0025	-1.0012	0.1455	93	1995 ~ 1999	1998, 1999
	1980 ~ 1996	$Y = -3.0051 \text{ FEB}_{21} - 1.9242 \text{ FEB}_{22}$	1.2800	-1.1838	0.1206	94	1997 ~ 1999	1998, 1999
前 2 年 1 ~ 3 月中高纬度 Jan. to Mar 2 years ago Mid and high latitude	1980 ~ 1994	$Y = 2.8677 \text{ JAN}_{21} - 5.0637 \text{ FEB}_{22} - 1.0472 \text{ MAR}_{23}$	1.4873	-0.2753	0.7823	87	1995 ~ 1999	1998, 1999
	1980 ~ 1996	$Y = 2.5689 \text{ JAN}_{21} - 6.2050 \text{ FEB}_{22} + 0.7624 \text{ MAR}_{23}$	1.6293	-0.3941	0.6771	88	1997 ~ 1999	1998, 1999
前 2 年 5 月 4 个相关区 May 2 years ago $x_1$ : 35° ~ 47°N, 139° ~ 150°E; $x_2$ : 9° ~ 41°N, 163° ~ 177°E; $x_3$ : 37° ~ 49°N, 139° ~ 150°W; $x_4$ : 9° ~ 17°N, 95° ~ 113°W	1980 ~ 1994	$Y = -1.2051 \text{ MAY}_{21} + 0.7657 \text{ MAY}_{22} - 0.4632 \text{ MAY}_{23} - 0.8115 \text{ MAY}_{24}$	0.3409	-0.3442	0.0669	73	1995 ~ 1999	无 None
	1980 ~ 1996	$Y = -1.5920 \text{ MAY}_{21} + 1.1750 \text{ MAY}_{22} - 0.5104 \text{ MAY}_{23} - 1.5612 \text{ MAY}_{24}$	-0.3815	-0.6204	-0.0900	82	1997 ~ 1999	无 None
前 2 年 5, 6 两月正相关区 May to Jun. 2 years ago $x_1$ : 35° ~ 47°N, 139° ~ 150°E; $x_2$ : 23° ~ 35°N, 120° ~ 150°E; $x_3$ : 43° ~ 49°N, 135° ~ 159°E	1980 ~ 1994	$Y = -0.7806 \text{ MAY}_{21} - 0.7983 \text{ JUN}_{22} + 0.3050 \text{ JUN}_{23}$	0.3724	-0.2292	0.1318	80	1995 ~ 1999	1995
	1980 ~ 1996	$Y = -0.7714 \text{ MAY}_{21} - 0.6331 \text{ JUN}_{22} + 0.0520 \text{ JUN}_{23}$	0.4098	-0.1189	0.1610	76	1997 ~ 1999	无 None

表 3 德州棉铃虫三代卵量的灾变预测与检验

Table 3 Verification of the forecasting model for the 3rd generation eggs of *Helicoverpa armigera* in Dezhou, China

相关显著预测因子 Predictive factors	建模数据 Modeling data	预测式 Models $Y = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4$	判别值 Criteria			回测检验 Historical accordant %	预测检验 Predictive veracity	
			Ya	Yb	Yc		年份 Years	错报年份 Error years
前 2 年 1 ~ 3 月中高纬度 Jan. to Mar. 2 years ago Mid and high latitude	1978 ~ 1994	$Y = -2.1405 \text{ JAN}_{21} + 2.0078 \text{ FEB}_{22} - 1.3725 \text{ MAR}_{23}$	0.4108	-0.8653	0.0355	82	1995 ~ 1999	无 None
	1978 ~ 1996	$Y = -2.4258 \text{ JAN}_{21} + 2.0008 \text{ FEB}_{22} - 1.7609 \text{ MAR}_{23}$	0.5915	-1.3325	-0.1174	84	1997 ~ 1999	无 None
前 2 年 4 月正相关区 April 2 years ago $x_1$ : 39° ~ 47°N, 135° ~ 155°E; $x_2$ : 35° ~ 39°N, 155° ~ 165°E; $x_3$ : 31° ~ 49°N, 129° ~ 149°E; $x_4$ : 3° ~ 15°N, 95° ~ 180°W	1978 ~ 1994	$Y = -0.5957 \text{ APR}_{21} - 0.6749 \text{ APR}_{22} + 0.8425 \text{ APR}_{23} - 0.9122 \text{ APR}_{24}$	0.5338	-0.4270	0.2512	76	1995 ~ 1999	无 None
	1978 ~ 1996	$Y = -0.9893 \text{ APR}_{21} + 0.0186 \text{ APR}_{22} + 0.0723 \text{ APR}_{23} - 0.9122 \text{ APR}_{24}$	0.7989	-0.6404	0.2686	84	1997 ~ 1999	无 None
前 2 年 5 月正相关区 May 2 years ago $x_1$ : 39° ~ 47°N, 139° ~ 149°W; $x_2$ : 39° ~ 47°N, 137° ~ 143°E; $x_3$ : 3° ~ 17°N, 99° ~ 175°W	1978 ~ 1994	$Y = -1.0192 \text{ MAY}_{21} + 0.2599 \text{ MAY}_{22} - 1.9848 \text{ MAY}_{23}$	0.2032	-1.2170	-0.2145	65	1995 ~ 1999	无 None
	1978 ~ 1996	$Y = -1.0149 \text{ MAY}_{21} - 0.1990 \text{ MAY}_{22} - 2.5928 \text{ MAY}_{23}$	-0.6404	0.7989	0.2686	74	1997 ~ 1999	无 None
前 2 年 6 月正相关区 June 2 years ago $x_1$ : 41° ~ 49°N, 137° ~ 149°E; $x_2$ : 23° ~ 35°N, 127° ~ 145°E	1978 ~ 1994	$Y = -0.5509 \text{ JUN}_{21} - 0.8741 \text{ JUN}_{22}$	0.3380	-0.3314	-0.1411	76	1995 ~ 1999	无 None
	1978 ~ 1996	$Y = -0.7173 \text{ JUN}_{21} - 1.0056 \text{ JUN}_{22}$	0.4213	-0.4561	0.9800	74	1997 ~ 1999	无 None
前 2 年 7 月正相关区 July 2 years ago $x_1$ : 35° ~ 51°N, 175°E ~ 135°W $x_2$ : 1° ~ 13°N, 165°E ~ 120°W	1978 ~ 1994	$Y = -1.6985 \text{ JUL}_{21} - 1.5469 \text{ JUL}_{22}$	1.2730	-1.0262	0.5968	82	1995 ~ 1999	无 None
	1978 ~ 1996	$Y = -1.8361 \text{ JUL}_{21} - 2.0465 \text{ JUL}_{22}$	1.3839	-1.3073	0.3924	89	1997 ~ 1999	无 None
前 2 年 7 ~ 9 三个月低纬度 July to Sep. 2 years ago Low latitude	1978 ~ 1994	$Y = 0.5703 \text{ JUL}_{21} - 1.2241 \text{ AUG}_{22} - 6.1806 \text{ SEP}_{23}$	-0.6258	-2.3564	-1.3995	88	1995 ~ 1999	无 None
	1978 ~ 1996	$Y = 0.6768 \text{ JUL}_{21} - 1.3742 \text{ AUG}_{22} - 6.6845 \text{ SEP}_{23}$	-0.6760	-3.7651	-1.8141	89	1997 ~ 1999	无 None

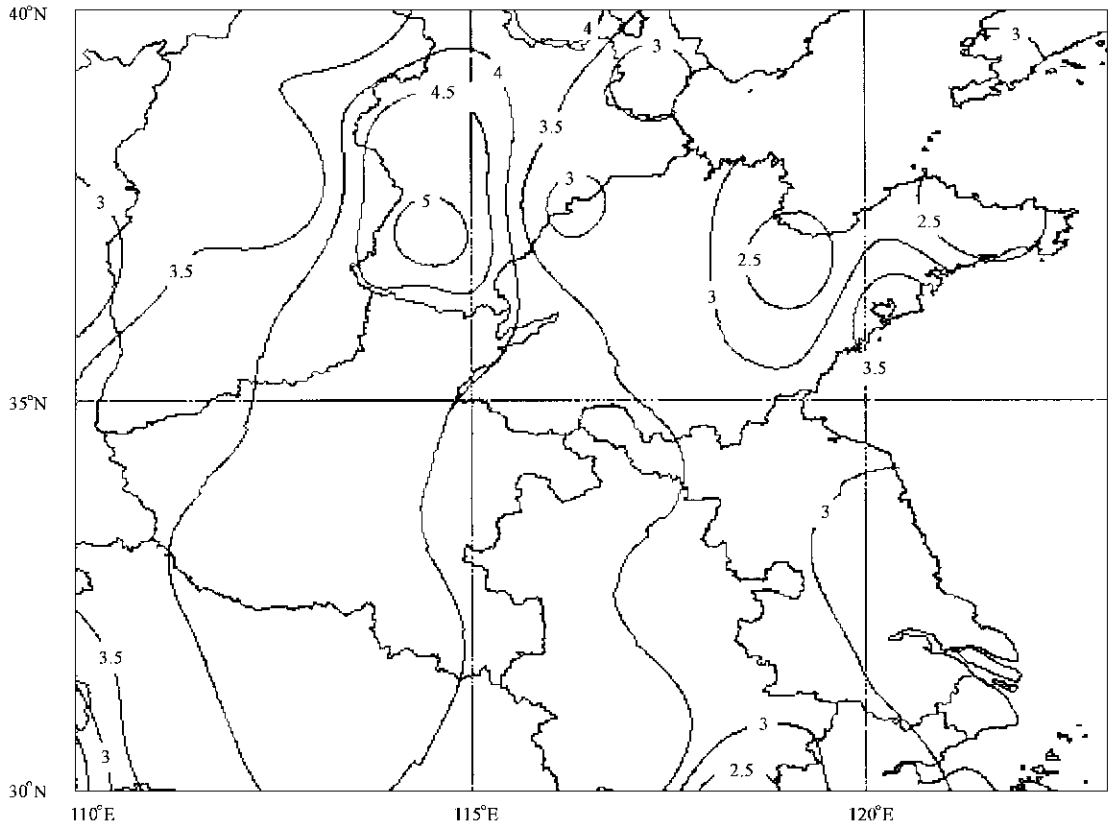


图4 1999年2月华东地区气温距平分布

Fig. 4 Air temperature anomaly in Eastern China in February of 1999

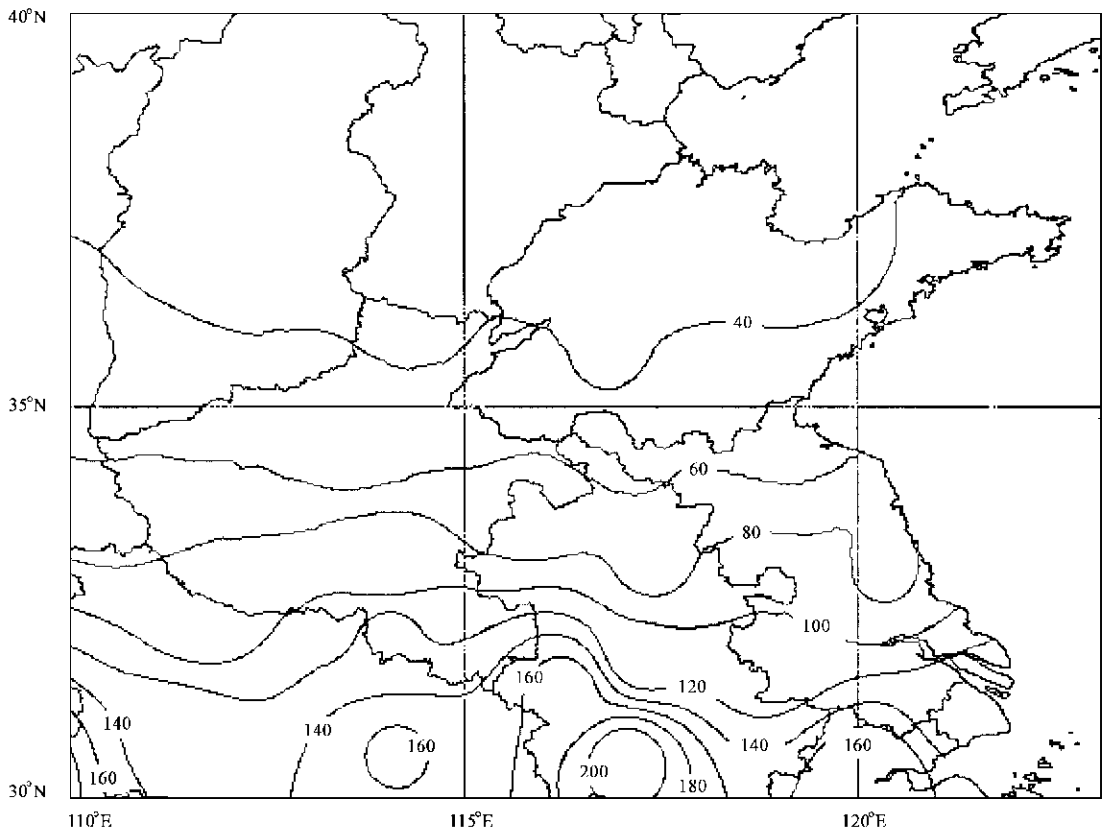


图5 华东地区5月份多年平均降水分布

Fig. 5 Normal precipitation in Eastern China in May

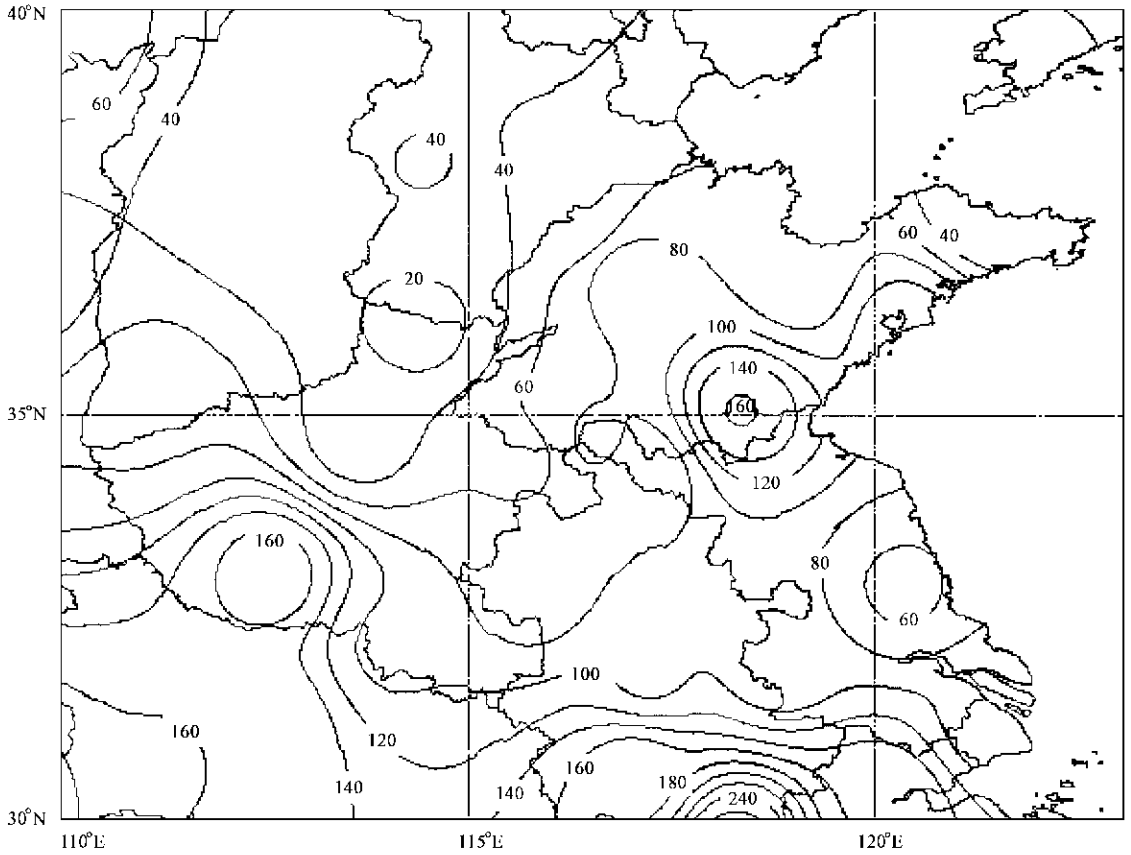


图6 1999年5月华东地区降水量分布

Fig. 6 Precipitation in Eastern China in May of 1999

据此, 我们可以提出一个概念性的机理解释: 北太平洋海温变化影响了两年后华北的冬季气温和春季降水, 而冬季气温和春季降水则影响了棉铃虫越冬种群的存活率, 从而影响到棉铃虫当年的越冬虫源基数进而影响到二代和三代棉铃虫的卵量。

### 3 讨论

海陆分布、海陆热力特性的差异是气候的成因之一, 海温的变化必将通过大气环流和洋流影响热量和水分的输送, 从而影响大范围气候的变化, 尤其是对我国季风气候区冬季的气温和夏季的降水有很大的影响。如副热带高压的两次北跳与东西进退都与海温场的扰动加热有关, 海洋的热力强迫作用是引起大气环流季节变化的重要原因之一, 而西北太平洋副热带高压的活动对东亚大气环流, 特别是对我国夏半年雨季的开始、雨带的推移及雨季的结束有非常重要的影响(蒋全荣等 1997); 而且夏季不同降水型所对应的前期(12月至次年2月)海温场分布也不同(谭桂容等 1998)。

北太平洋海温场的变化通过对大陆气候的种种影响进而决定了相关区域害虫种群的数量消长。棉铃虫田间卵量与北太平洋遥相关分析结果表明, 这种相关性的确不是偶然的巧合, 而是有很明显的规律性。大范围的显著或极显著的遥相关区域具有范围稳定和持续时间长的特点, 一般持续3~4个月; 该遥相关区域的位置也是特定的: 大范围正相关显著或极显著区的分布, 一块在中高纬地区、一块在低纬度地区, 与北太平洋两个大气活动中心(阿留申低压和夏威夷高压)的位置相对应; 同时, 中高纬度的显著或极显著区出现在冬季, 低纬度的显著或极显著区则以夏季为强, 恰好与北太平洋两个大气活动中心的强盛时期相对应。北太平洋海温场的变化, 可能直接影响到北太平洋两个大气活动中心的强度及位置, 从而影响大气环流, 进而影响棉铃虫发生地的气候, 气候的变化通过直接(影响棉铃虫生长发育、繁殖率和死亡率等)和间接(影响棉铃虫的寄主植物、天敌等)的方式影响棉铃虫的种群数量。已有的研究表明, 北太平洋涛动(NPO)强, 即夏威夷高压区(25°~35°N, 160°E~160°W)



和阿留申低压区 ( $45^{\circ} \sim 55^{\circ}\text{N}$ ,  $160^{\circ}\text{E} \sim 160^{\circ}\text{W}$ ) 的月平均海平面气压累积值之差为正时, 华北北部到黄河中上游一带少雨; 而 NPO 弱, 则华北北部到黄河中上游一带多雨 (赵振国, 1999)。因此, 北太平洋海温场可以成为比大陆气候因子更稳定的棉铃虫灾变早期预警因子, 其预测效果的可靠性和稳定性尚需用更长年份、更多站点来进一步验证。

北太平洋海温场对各地气候的影响因时因地而异。郟城和德州棉铃虫三代卵量及丰县棉铃虫二代卵量与北太平洋海温场的相关显著区域时空分布形式的差异表明, 北太平洋海温场对同一时段不同地区和同一地区不同时段的气候的影响各不相同, 故需按发生区域和时段对棉铃虫在各地各世代分别做出遥相关分析并建立相应的预测模型。关于北太平洋海温场对各农业区域或害虫发生区各时段气候的具体影响, 以及棉铃虫种群数量年际间的波动与北太平洋海温场的遥相关机制, 尚需今后进一步研究。

本研究中所建模型的预测检验做到了 1999 年 (2000 年以来的海温资料尚缺)。但应该指出的是, 我国自 1998 年开始大面积推广抗虫棉, 目前北方棉区抗虫棉的种植比例几乎达到了 100%, 彻底改变了棉田棉铃虫种群的发生动态。尤其在棉花生长前中期, 棉田棉铃虫种群数量剧减。不过, 抗虫棉上的棉铃虫卵量并未减少, 只是幼虫存活率很低。因此 1998 年之后的棉田棉铃虫卵量并不反映其后幼虫的真实发生情况, 这些卵基本上来自其它作物上的棉铃虫蛾。本研究按全国棉铃虫测报规范以卵量作为划分大发生与否的标准, 故虽然仍可应用近年的棉铃虫卵量 (按规范只有棉田卵量的系统调查数据) 来检验模型, 但检验预测准确与否只是表明按卵量标准达到或未达到大发生的程度, 抗虫棉田的棉铃虫已不大可能大发生了, 其它作物的情况则无系统记载。若要预测其它作物上棉铃虫的发生情况, 必须在模型中加入修正因子, 这需要专项研究才能得到。

## 参 考 文 献 (References)

- Chen F J, Zhai B P, Zhang X X, 2003. Effects of soil moisture during pupal stage on population development of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Acta Ecologica Sinica*, 23 (1): 112–121. [陈法军, 翟保平, 张孝羲, 2003. 棉铃虫蛹期土壤水分对其种群发生的影响. 生态学报, 23 (1): 112–121]
- Dai X F, Guo Y Y, 1994. Causality exploration for cotton bollworm plague occurred in China in 1992 and the countermeasures. *Journal of Catastrophology*, 9 (1): 22–30. [戴小枫, 郭予元, 1994. 棉铃虫暴发的特点、成因及治理对策. 灾害学, 9 (1): 22–30]
- Guo Y Y, 1998a. The reasons for *Helicoverpa armigera* outbreak and the trend of 1998. *Plant Protection*, 24 (2): 25–26. [郭予元, 1998. 棉铃虫大发生原因和 1998 年发生趋势预测. 植物保护, 24 (2): 25–26]
- Guo Y Y, 1998b. Researches on Cotton Bollworm. Beijing: China Agriculture Press. 129–141. [郭予元, 1998b. 棉铃虫研究. 北京: 中国农业出版社. 129–141]
- Hou J H, Kong F Z, Liu H Z, 1997. The long term forecast method of the *Helicoverpa armigera* (Hübner) generation degree. *Journal of Meteorology*, 23 (2): 41–44. [侯敬和, 孔繁忠, 刘厚赞, 1997. 棉铃虫发生程度长期预报方法. 气象, 23 (2): 41–44]
- Jiang Q R, Zheng D Y, Yu Z H, 1997. The relation of the seasonal movement of the subtropical high over northwestern Pacific with SST. *Scientia Atmospherica Sinica*, 21 (2): 199–204. [蒋全荣, 郑定英, 余志豪, 1997. 副热带高压季节性移动与海温场的联系. 大气科学, 21 (2): 199–204]
- Lu Z Q, Xu Y H, 1998. The consideration with the incessant outbreak of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Entomological Knowledge*, 35 (3): 132–136. [陆自强, 徐勇惠, 1998. 棉铃虫持续大爆发引起的思考. 昆虫知识, 35 (3): 132–136]
- Maelzer D A, Zalucki M P, 2000. Long range forecasts of the numbers of *Helicoverpa punctigera* and *H. armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) in Australia using the southern oscillation index and the sea surface temperature. *Bulletin of Entomological Research*, 90: 133–146.
- Qu X F, 1992 Cotton Pests Forecast in China: the Criterion, Zoning and Method. Beijing: China Scien-tech Press. 1–656. [屈雪峰, 1992. 中国棉花害虫预测预报标准、区划和方法. 北京: 中国科学技术出版社. 1–656]
- Su Z P, Zhai B P, Zhang X X, 2000. Effect of soil moisture on pupal survival, emergence and fecundity of *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Scientia Agricultura Sinica*, 33 (6): 104–106. [苏战平, 翟保平, 张孝羲, 2000. 土壤相对含水量对棉铃虫化蛹、羽化和生殖力的影响. 中国农业科学, 33 (6): 104–106]
- Tan G R, Sun Z B, Zhao Z G, 1998. Relation of summer East-China rainfall patterns to Northern Circulation and SST. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology*, 21 (1): 1–7. [谭桂容, 孙照渤, 赵振国, 1998. 我国东部夏季降水型与北半球大气环流和北太平洋海温的关系. 南京气象学院学报, 21 (1): 1–7]
- Wang H Z, Hua Y N, Mou J Y, 1999. Forecasting and Control of Cotton Bollworm. Beijing: China Agriculture Press. 174–186. [王厚振, 华尧楠, 牟吉元, 1999. 棉铃虫预测预报与综合治理. 北京: 中国农业出版社. 174–186]
- Zhang X X, 1996. Analysis on outbreak of *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Entomological Knowledge*, 33 (2): 121–124. [张孝羲, 1996. 棉

铃虫种群猖獗的剖析. 昆虫知识, 33 (2): 121 - 124]

559 - 560]

Zhao S J, 1987. Forecasting model for *Mythimna separata* with sea surface temperature. *Chinese Science Bulletin*, 32 (7): 559 - 560. [赵圣菊, 1987. 粘虫发生量海温预测模式的研究. 科学通报, 32 (7):

Zhao Z G, 1999. Summer drought and flooding in China and the background fields. Beijing: Meteorological Press. 95 - 97. [赵振国, 1999. 中国夏季旱涝及环境场. 北京: 气象出版社. 95 - 97]