

应用前期 ENSO 指标做棉铃虫大发生预测

秦淑莲¹, 翟保平^{1*}, 张孝羲¹, 赵振国², 姜玉英³, 屈西峰³

(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. 国家气候中心, 北京 100081; 3. 农业部全国农业技术推广服务中心病虫测报处, 北京 100026)

摘要:分析了山东郓城 26a (1974~1999) 和德州 22a (1978~1999) 棉铃虫 3 代百株累计卵量、江苏丰县 20a (1980~1999) 棉铃虫 2 代百株累计卵量与从前两年 1 月份开始到当年 7 月份的 ENSO 指标 (包括厄尔尼诺 5 个海温区 N12、N3、N4、NC、NW 的月平均海温距平) 和南方涛动指数 (SOI) 的遥相关关系。遥相关分析结果表明德州、郓城三代卵量和丰县二代卵量与 ENSO 各指标遥相关关系的时间变化规律很相似, 与各时段的 N4 均呈正相关, 与 NW 和 SOI 大多数月份呈负相关。从中筛选出相关显著 ($p < 0.05$) 的区域和时段作为预测因子, 根据判别分析法用不同因子或因子组合分别建立了郓城、德州棉铃虫三代卵、丰县棉铃虫二代卵量的大发生预测模型, 并对各模型进行回测检验及 5~6 a 的预测检验, 根据其预测效果筛选出最佳的灾变预测模型。结果表明, N4 区的因子或因子组合建立的模型对德州、郓城棉铃虫三代卵量和丰县棉铃虫二代卵量的预测效果最好, 可提前 15~25 个月做出大发生预测。

关键词:棉铃虫; ENSO; 相关分析; 长期预测

Using advance ENSO indices to forecast outbreaks of *Helicoverpa armigera*

QIN Shu-Lian¹, ZHAI Bao-Ping¹, ZHANG Xiao-Xi¹, ZHAO Zhen-Guo², JIANG Yu-Ying³, QU Xi-Feng³ (1. Key Laboratory of Pest Monitoring and Management of Chinese Agricultural Ministry, Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. National Climate Center, Beijing 100081, China; 3. Pest Forecasting Division, National Agro-technique Extension and Service Center (NATESC), Beijing 100026, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1695~1711.

Abstract: Statistical evidences is presented to show a teleconnection between population density (egg counts) of cotton bollworm (CBW), *Helicoverpa armigera* Hübner, and ENSO indices during the previous 2.5 years (from January of two years before to the current July). The ENSO indices used were the Southern Oscillation Index (SOI) and the Sea Surface Temperature (SST) anomalies in the five El Niño

基金项目:国家“973”资助项目 (TG2000016210); 国家“十五”攻关资助项目 (2001BA50PB01); 国家“948”资助项目 (201065)

收稿日期:2002-12-31; **修订日期:**2003-05-14

作者简介:秦淑莲 (1962~), 女, 山东招远人, 博士, 副教授, 主要从事病虫测报及农业气候学方面的研究。

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

致谢:海温资料由南京气象学院大气科学系陈海山博士提供, 丰县 1998 年棉铃虫资料由丰县植保站戴率善先生提供; 英文摘要承蒙澳大利亚昆士兰大学动物与昆虫学系 M. P. Zalucki 教授、澳大利亚新南威尔士大学物理学院 V. A. Drake 博士和澳大利亚疫蝗委员会 D. M. Hunter 博士协助修改, 在此一并致谢

Foundation item: National grants TG2000016210, 2001BA50PB01 and 201065

Received date: 2002-12-31; **Accepted date:** 2003-05-14

Biography: QIN Shu-Lian, Ph. D., Associate professor, research interest is on pest forecasting and agricultural climatology. E-mail: qinshulian@263.net

regions: Niño-1&2 region (N12, 0~10°S, 90~80°W), Niño-3 region (N3, 5°N~5°S, 150°~90°W), Niño-4 region (N4, 5°N~5°S, 160°E~150°W), Niño-Central region (NC, 0°~10°S, 90°~180°W) and Niño-Western region (NW, 0°~15°N, 130°~150°E). These ENSO indices were correlated with CBW survey data over 26 years (1974~1999) in Yuncheng, 22 years (1978~1999) in Dezhou, Shandong Province and 20 years (1980~1999) in Fengxian, Jiangsu province.

We found significant ($p<0.05$) or highly significant ($p<0.01$) correlations between changes in CBW populations and ENSO indices. The abundance of CBW eggs was positively correlated with the SST anomaly in the N4 region and negatively correlated with the SST anomaly in NW region and with the SOI. Third generation eggs in Yuncheng and second generation eggs in Fengxian were significantly ($p<0.05$) correlated with ENSO indices during some months for all regions except N12. The only significant ($p<0.05$) correlation of egg numbers with SOI was for October of previous year, and the earliest significant ($p<0.05$) correlation with SST in the NW region was December of two years ago. The earliest month that showed significant ($p<0.05$) correlation between the third generation eggs of CBW in Dezhou and the SST anomaly in the NW region was November of two years ago, and was April of two years ago with SOI. The earliest significant ($p<0.05$) correlation for the third generation eggs in Yuncheng and Dezhou was with the SST of April of two years ago in N4, and was with the SST of August of two years ago for the second generation eggs in Fengxian. There was no significant ($p>0.05$) correlation between the 3rd generation eggs in Dezhou and N12, N3 and NC regions.

The above significant SST anomalies were used as key factors to build predictive models for the forecasting of outbreaks of CBW by discriminant analysis. An outbreak was indicated if egg density exceeded the levels used by NATESC for population density of *H. armigera* in China: 3rd generation eggs were >85 in Yuncheng and Dezhou, or 2nd generation eggs were >500 in Fengxian. Outbreaks were designated as level 1, while lower non-outbreak densities were level 0 for the purpose of this analysis. Several predictive models for long-term forecasting of the amount of CBW eggs were established using data up to 1994. These were tested for predictive accuracy against 1995~1999 CBW data. The results suggested that the SST anomaly in Niño-4 region as the most important factor for forecasting CBW eggs in Fengxian, Yuncheng and Dezhou, but other ENSO indices including SOI showed poor predictive ability. The models are able to make forecasts 15~25 months ahead and had a 70% agreement with historical data (pre 1995) and had a predictive accuracy with 1995~1999 data of 78% (25 of 32 forecasts correct). The possible mechanism for the influence of ENSO on outbreak of *H. armigera* in China is discussed.

Key words: Cotton bollworm; ENSO indices; correlation analysis; long-range forecast

文章编号:1000-0933(2003)09-1695-17 中图分类号: O212.1, P732,Q968,S431,S435.622+.3 文献标识码:A

20 世纪 90 年代初以来棉铃虫 (*Helicoverpa armigera* Hübner) 大暴发,众多论者对其成因从不同角度做了分析,认为气候是促其大发生种群形成的重要因素之一^[1~3]。作为直接影响害虫种群数量变化的因子,气候要素是害虫中短期发生预测中常用的预测因子,但将其用于长期预测时往往效果并不理想。因此,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。

ENSO 是厄尔尼诺(El Niño)和南方涛动(Southern Oscillation)的总称,作为气候大家族中的一员,其消长变化是全球气候异常的直接动因^[4]。因此,ENSO 事件与有害生物种群的暴发也必然存在一定程度的联系,有望成为有害生物种群暴发的早期预警指标。厄尔尼诺事件是指不规则出现的与气候系统的主要调整相联系的赤道太平洋变暖,其强度用海洋表面温度(SST)距平表示;南方涛动描述热带印度洋和热带太平洋地区之间的气压反相振荡现象,其强度通常采用塔西堤岛(Tahiti,148°05'W, 17°53'S)与达尔文

港 (Darwin, 103°59'E, 12°20'S) 两地的海平面气压差的距平值来表示,称为南方涛动指数 (SOI)。Morishita、朱敏等、张知彬分别定性分析过 ENSO 对褐飞虱和欧洲旅鼠种群暴发影响^[5~7], Maelzer 和 Zalucki 发现澳大利亚每年棉铃虫累计上灯蛾量与此前数月的 SOI 显著相关,并可用 SOI 提前 6~15 个月对棉铃虫发生程度做出预报^[8]。作者也曾分析过北太平洋海温与我国棉铃虫大发生的遥相关关系,发现北太平洋海温场与棉铃虫种群数量消长之间存在若干呈现出空间稳定性和时间持续性的大面积显著或极显著的遥相关区域,由此建立的预测模型可提前 20~27 个月做出长期预测^[9]。可见,ENSO 指标也应能作为我国棉铃虫种群数量年际间和代际间波动的另一个长期预测指标。

为此,分析了山东郓城和德州、江苏丰县棉铃虫种群数量的年际间变化与 ENSO 各指标之间在长时间尺度上(从前两年 1 月份开始到当代棉铃虫出现前 1 个月)的遥相关性,以期筛选出相关显著的前期预测因子来建立棉铃虫大发生的长期预测模型,为棉铃虫灾变预警提供简便易行的技术方法。

1 资料与方法

1.1 资料

棉铃虫资料 山东郓城 1974~1999 年(26a)和德州 1978~1999 年(22a)逐年三代棉铃虫百株累计卵量;江苏丰县 1980~1999 年(20a)二代棉铃虫百株累计卵量。

海温场数据 逐年各月 2×2 经纬度网格点的月平均海温资料(SST)。

SOI 数据 历年逐月的南方涛动指数。

1.2 方法

原始资料的处理 ① 虫情数据在相关分析时用实际虫量数据。按全国棉铃虫发生程度的划分标准^[10],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 5 级(大发生)。用判别分析法^[11]建模时将 5 级作为灾变记为 1,其余作为非灾变记为 0。② 海温场数据进行距平处理,计算各格点的历年逐月的海温距平值(SSTA);③ ENSO 指标:包括厄尔尼诺 5 个海区的月平均海温距平和 SOI^[12]。这 5 个海温区分别为 N12:尼诺 1 区和 2 区(0~10°S,90~80°W);N3:尼诺 3 区(5°N~5°S,150°~90°W);N4:尼诺 4 区(5°N~5°S,160°E~150°W);NW:尼诺西区(0°~15°N,130°~150°E);NC:尼诺中区(0°~10°S,90°~180°W)(图 1)。对历年逐月各格点的月平均海温距平在厄尔尼诺 5 个海区各区内求平均,得到各区的 ENSO 指标。

因子的筛选 ① 分别计算三地棉铃虫田间卵量与从前两年的 1 月份开始到当代棉铃虫卵出现前一个月的各 ENSO 指标的相关系数,并绘制相关系数的时间变化图。② 选择达到 $P<0.05$ 概率水平的显著时段为预测因子。

模型的建立及效果分析 用判别分析法分别建立郓城和德州棉铃虫三代卵、丰县二代卵与 ENSO 各指标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,郓城留出 6a、德州和丰县留出 5a 的数据作为预测检验。

所有的计算均以自编程序在 VFP6.0 中完成。

2 结果与分析

2.1 棉铃虫卵量与 ENSO 指标的遥相关分析

将三地棉铃虫田间卵量分别与 ENSO 各指标做遥相关分析,结果表明遥相关性因 ENSO 指标的不同时段、不同地域而异(表 1、图 2~图 4)。德州、郓城三代卵量和丰县二代卵量与 ENSO 各指标遥相关系数的时间变化规律很相似:① 都与 NW 和 SOI 大多数月份呈负相关;郓城三代卵量、丰县二代卵量与 NW 负相关达到显著的时段最早为前两年的 12 月份,与 SOI 负相关达到显著的时段只有前一年的 10 月份;德州棉铃虫三代卵量与 NW 负相关达到显著的时段最早为前两年的 11 月份,与 SOI 达到显著的时段最早为前两年的 4 月份;② 都与各时段的 N4 均呈正相关,德州、郓城三代卵量与 N4 相关显著的时段最多,相关达到显著的最早时段为前两年 4 月份;丰县二代卵量与 N4 相关达到显著的时段最早为前两年的 8 月份;③ 三地卵量与各南方数据相关均未达到显著水平。

2.2 棉铃虫灾变预警模型及其效果分析

从相关分析的结果中选择达到 $p<0.05$ 概率水平的月份,作为一个预测因子,采用两种因子组合方式:同一指标区的因子(不同月份)之间的组合;不同指标区的因子之间的组合。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 5~6a 的预测检验,按预测效果找出最优的超长期预警模型。其部分结果见表 2~表 4。

从表 2~表 4 可以看出,以 N4 区的因子或因子组合建立的模型对德州、郓城棉铃虫三代卵量和丰县棉铃虫二代卵量灾变预警模型的效果最好,可提前 23~24 个月做出预测;以 NW 或 SOI 为因子组建的模型效果次之,ENSO 其它指标组建的模型的效果较差;不同指标区的因子之间组合模型的效果不比同一指标区的因子之间组合模型的效果更优。

表 1 棉铃虫各代卵量与 ENSO 指标显著遥相关的时空分布

ENSO 指标 ENSO indices	遥相关显著的月份 Months with significant correlation ($p<0.05$)		
	郓城三代卵量 3rd generation eggs, Yuncheng	丰县二代卵量 2nd generation eggs, Fengxian	德州三代卵量 3rd generation eggs, Dezhou
N12	无, Not significant	无, Not significant	无, Not significant
N3	MAY	MAY	无, Not significant
N4	APR ₂ , AUG ₂ , MAR ₁ , APR ₁ , MAY ₁ , JUL ₁ , AUG ₁	AUG ₂ , JUL ₁	APR ₂ , MAY ₂ , JUL ₂ **, AUG ₂ **, SEP ₂ , DEC ₂ , MAR ₁ , APR ₁ , MAY ₁ , JUL ₁
NC	APR ₁ , MAY ₁ , MAY	MAY	无, Not significant
NW	-DEC ₂ , -JAN ₁ , -JAN, -FEB	-DEC ₂ , -JAN ₁ , -MAR ₁ , -JAN **, -FEB, -MAR	-NOV ₂ **, -DEC ₂ **, -JAN ₁ **, -FEB ₁
SOI	-OCT ₁	-OCT ₁	-APR ₂ , -SEP ₂ , -APR ₁

* 表中 APR 等分别代表月份,其后的数字表示超前年份,如 APR₂ 为前两年 4 月份该 ENSO 指标的月平均值,余类推;“-”表示负相关,“**”表示相关极显著 ($p<0.01$) APR etc. in the table are Months, the digit behind them means years ahead. For example, APR₂ means the monthly average of the ENSO indices during April of 2 years ahead. N12 etc. are the average SSTA in the five El Niño regions: Niño-1&2 region (0~10°S, 90~80°W), Niño-3 region (5°N~5°S, 150°~90°W), Niño-4 region (5°N~5°S, 160°E~150°W), Niño-Central region (0°~10°S, 90°~180°W) and Niño-Western region (0°~15°N, 130°~150°E). “-” means the negative correlation and “**” for $p<0.01$

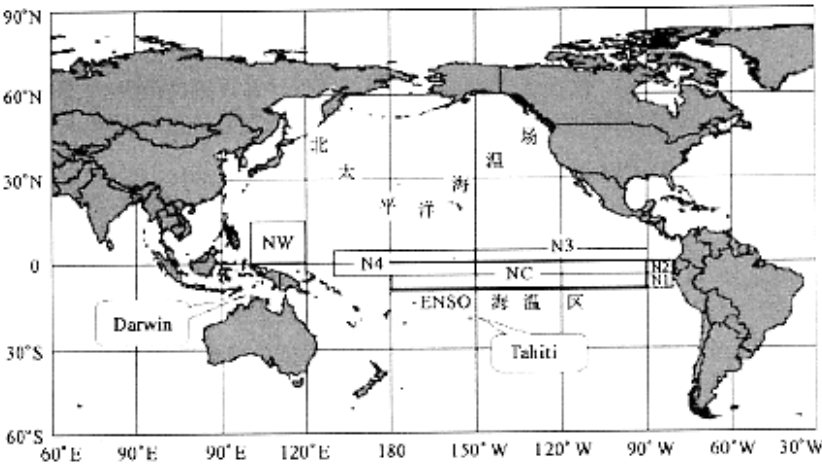


图 1 ENSO 指标分区示意图

Fig. 1 The location of ENSO indices on the Pacific

表 2 郓城棉铃虫三代卵量的灾变预测与检验

Table 2 Verification of the forecasting model of the 3rd generation eggs of Helicoverpa in Yuncheng, China									
ENSO 指标 ENSO indices	预测因子 Predictive factors	建模数据 Modeling data	预测式 Models $Y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$	判别值 Criteria			回测检验 Historical test (%)	预测检验 Predictive accuracy	
				Ya	Yb	Yc		年份 Years	Error years
N4	APR ₂ , AUG ₂	1974~1993	$Y = -1.1999 \text{ APR}_2 + 0.3898 \text{ AUG}_2$	0.1524	-0.1453	0.0333	70	1994~1999	1998, 1999
		1974~1996	$Y = -1.2650 \text{ APR}_2 + 0.1285 \text{ AUG}_2$	0.1988	-0.2639	-0.0225	70	1997~1999	1998, 1999
	APR ₂ , AUG ₂ , APR ₁	1974~1993	$Y = -1.2843 \text{ APR}_2 + 0.5369 \text{ AUG}_2 - 0.2289 \text{ APR}_1$	0.1643	-0.1517	0.0379	75	1994~1999	1999
		1974~1996	$Y = -1.3582 \text{ APR}_2 + 0.3479 \text{ AUG}_2 - 0.3610 \text{ APR}_1$	0.2124	-0.2902	-0.0279	65	1997~1999	1999
	APR ₁ , MAY ₁	1974~1993	$Y = -0.7434 \text{ APR}_1 + 0.6411 \text{ MAY}_1$	0.0259	-0.0078	0.0125	55	1994~1999	1994, 1995 1998, 1999
		1974~1996	$Y = -0.5597 \text{ APR}_1 + 0.2560 \text{ MAY}_1$	0.0042	-0.0351	-0.0146	65	1997~1999	1997~1999
NW	DEC ₂	1974~1993	$Y = 0.8984 \text{ DEC}_2$	0.0591	-0.0303	0.0234	50	1994~1999	1995, 1997 1998
		1974~1996	$Y = 1.1771 \text{ DEC}_2$	0.0775	-0.0556	0.0138	52	1997~1999	1997~1999
	DEC ₂ JAN ₁	1974~1993	$Y = 2.0680 \text{ DEC}_2 - 1.1890 \text{ JAN}_1$	0.0648	-0.0832	0.0056	60	1994~1999	1994, 1995 1997~1999
		1974~1996	$Y = 1.2438 \text{ DEC}_2 - 0.0657 \text{ JAN}_1$	0.0779	-0.0554	0.0142	52	1997~1999	1997, 1998
SOI	OCT ₁	1974~1993	$Y = -0.1507 \text{ OCT}_1$	0.0628	0.0075	0.0407	65	1994~1999	1994, 1995 1998, 1999
		1974~1996	$Y = -0.0334 \text{ OCT}_1$	0.0139	0.0112	0.0126	57	1997~1999	1998, 1999

* ①预测模型中的字母代表月份,月份后面的数字表示超前年份,如 APR2 为前两年 4 月份 ENSO 指标的月平均值,余类推; ENSO 指标的说明同表 1 The capitals in above models are Months, the digit behind them means years ahead. For example, APR2 means the monthly average of the ENSO indices during April of 2 years ahead. The meaning of each ENSO index is the same as table 1

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 和 Y_b are criteria. If $Y_a > Y_b$, there will be no outbreak when $Y > Y_c$ but be outbreak when $Y < Y_c$; Else if $Y_a < Y_b$, outbreak when $Y > Y_c$ and no outbreak when $Y < Y_c$

3.1.1 ENSO 通过影响大气环流进而影响我国气候 ENSO(海洋-大气耦合体)作为气候大家族中的一员,其变化与全球气候变化密切相关。刘颖、倪允琪 1998 年分析了 ENSO 对亚洲夏季风环流和中国夏季降水的影响,认为在厄尔尼诺年,印度夏季风减弱,东亚夏季风增强;而拉尼娜年印度夏季风增强,东亚夏季风减弱;对亚洲夏季风环流影响显著的区域主要在长江流域南北交汇区,而对中国夏季降水影响最显著的区域则在江淮流域^[13]。对厄尔尼诺与东亚暖冬的数值模拟结果表明,厄尔尼诺强时,东亚冬季风弱,东亚冬季气温偏高^[14]。影响我国东部地区夏季降水的主要环流系统是西太平洋副热带高压,其位置和强度的变异直接影响到我国旱涝的分布,而副热带高压的变异正是 ENSO 循环过程中全球大气环流发生变异的一个有机组成部分。方芳数据 厄尔尼诺现象与北半球大气环流的研究表明,当赤道东太平洋海温升高时,西太平洋副高增强且西伸;而在赤道海面降温时,西太平洋副高减弱且偏东;两者之间最大的滞后相关为 6 个月左右,

而且海温和副高还具有相同的振荡周期约 42 个月。在厄尔尼诺开始年的春夏季,对流层上部位势高度和副热带高压都处在由弱到强的转变状态,我国东部地区大范围少雨;秋季发生明显的趋势转折,当年秋季到翌年夏季,对流层上部位势高度升高,副高增强西伸,除翌年 2、3 月份全国大范围少雨外,其余月份大都为南多北少的分布型;这种分布型在厄尔尼诺开始年秋季最典型,且当年和翌年长江中下游入梅期偏晚^[15]。

表 3 丰县棉铃虫二代卵量的灾变预测与检验

Table 3 Verification of the forecasting model of the 2nd generation eggs of <i>Helicoverpa</i> in Fengxian, China									
ENSO 指标 ENSO indices	预测因子 Predictive factors	建模数据 Modeling data	预测式 ^① Models $Y=a_1x_1+a_2x_2+a_3x_3$	判别值 ^② Criteria			回测检验 Historical test (%)	预测检验 Predictive accuracy	
				Ya	Yb	Yc		年份 Years	Error years
N4	AUG ₂	1980~1994	$Y=-0.8788AUG_2$	0.0400	-0.2417	-0.0727	73	1995~1999	1999
		1980~1996	$Y=-1.2092AUG_2$	0.0551	-0.4488	-0.1968	78	1997~1999	1999
	AUG ₂ , JUL ₁	1980~1994	$Y=-0.7296AUG_2-0.7246JUL_1$	0.0099	-0.4097	-0.1579	73	1995~1999	1998
		1980~1996	$Y=-1.0911AUG_2-0.8826JUL_1$	0.0213	-0.6991	-0.3389	72	1997~1999	1998
NW	DEC ₂ , JAN ₁ , MAR ₁	1980~1994	$Y=-6.0048DEC_2+3.7514JAN_1+5.1326MAR_1$	1.3329	-1.3221	0.2709	93	1995~1999	1995,1998,1999
		1980~1996	$Y=-7.0168DEC_2+6.8154JAN_1+2.0117MAR_1$	1.1799	-0.8928	0.1435	89	1997~1999	1999
SOI	OCT ₁	1980~1994	$Y=0.9773OCT_1$	-0.0217	1.3193	-0.5408	73	1995~1999	1996~1998
		1980~1996	$Y=0.9023OCT_1$	-0.0201	-1.1053	-0.5308	71	1997~1999	1997,1998

* ①和②同表 2 The meaning of each ENSO index is the same as table 1 and the explanation of variables and criteria in above models are the same as table 2

3.1.2 ENSO 对我国气候的影响因时因地而异 ENSO 对我国气候的影响是复杂的,不同的指标区对我国气候的影响不同,同一指标区不同时段对我国气候的影响也不同。ENSO 事件的冷暖性质、发生强度、持续长度和起始时间及海温变化最先出现的区域不同,也都会对我国的旱涝产生完全不同的影响。

有关 ENSO 对我国降水的影响已有很多研究,目前人们已经知道:第一,我国东部地区夏季降水与 ENSO 循环发展的位相有关。在 ENSO 的发展阶段,当年夏季我国江淮流域降水偏多,发生洪涝;而黄河流域、华北及江南等地降水偏少,出现干旱。当 ENSO 处于衰减阶段时正好相反^[16]。第二,厄尔尼诺形成期海温变化最先出现的区域不同,对我国汛期降水的影响不同;厄尔尼诺东部型(海水增温最先从赤道东太平洋开始)和反厄尔尼诺中部型(海水降温最先从赤道太平洋中西部开始)峰期过后,我国汛期大尺度降水的特点是长江流域雨量偏少,江南和华北地区降水偏多;但厄尔尼诺中部型和反厄尔尼诺东部型峰期过后则相反,长江流域雨量偏多而江南和华北地区降水偏少^[17]。第三,秋冬季开始出现明显增暖的厄尔尼诺事件,无论其当年或次年长江中下游地区梅雨量偏少,而春夏季开始增暖的厄尔尼诺事件则无论当年或次年梅雨均偏多^[18]。第四,春季发生厄尔尼诺事件时,当年夏季主要多雨带位于淮河流域一带;夏秋季发生厄尔尼诺事件,翌年夏季主要多雨带出现在长江沿岸及其以南地区^[19]。第五,赤道东太平洋和印度洋海温与长江流域夏季降水呈正相关,与长江以北大部分地区为负相关;而暖池区(10°S~10°N, 140°~170°E)、黑潮区(22°~35°N, 122°~150°E)、西风漂流区(35°~45°N, 160°E~160°W)海温与长江流域夏季降水则表现为负相关,与长江以北大部分地区为正相关^[20]。

ENSO 对冬季降水的影响也有不少研究。赤道东太平洋海温偏高、厄尔尼诺位相下,我国大部分地区冬、春季气温容易偏高,夏、秋季东北和江淮地区气温往往偏低;赤道东太平洋海温偏低,拉尼娜位相下情

况则相反。即厄尔尼诺年我国容易出现暖冬凉夏,拉尼娜年容易出现冷冬热夏。冬季赤道东太平洋海温与我国东半部大部分地区(除东北北部地区外)的冬季气温为正相关,相关显著地区在黄河流域到长江中下游及东南沿海等地区^[18]。夏季赤道东太平洋海温与我国东北地区和江淮地区的夏季气温呈负相关,但二者之间的关系可能还受到年代际振荡的影响^[20]。

表 4 德州棉铃虫三代卵量的灾变预测与检验

Table 4 Verification of the forecasting model of the 3rd generation eggs of Helicoverpa in Dezhou, China									
ENSO 指标 ENSO indices	预测因子 Predictive factors	建模数据 Modeling data	预测式 ^① Models $Y = a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3$	判别值 ^② Criteria			回测检验 Historical test (%)	预测检验 Predictive accuracy	
				Ya	Yb	Yc		年份 Years	Error years
N4	APR ₂ MAY ₂	1978~1994	$Y = -0.0944\text{APR}_2 - 1.5788\text{MAY}_2$	0.0674	-0.6082	-0.1313	71	1995~1999	1998
		1978~1996	$Y = -0.3450\text{APR}_2 - 1.4156\text{MAY}_2$	0.0793	-0.6417	-0.1864	79	1997~1999	1998
	JUL ₂ , AUG ₂ , SEP ₂	1978~1994	$Y = -2.1770\text{JUL}_2 + 0.3413\text{AUG}_2 + 0.0750\text{SEP}_2$	0.0642	-0.6336	-0.1410	71	1995~1999	1998
			$Y = -3.0996\text{JUL}_2 + 0.9363\text{AUG}_2 - 0.0894\text{SEP}_2$	0.0465	-1.0277	-0.3493	68	1997~1999	1998
		1978~1996	$Y = 4.3844\text{JAN}_1 + 0.3859\text{FEB}_1$	0.7128	-1.2566	0.1336	71	1995~1999	1997, 1998
			$Y = 5.2438\text{JAN}_1 + 1.0748\text{FEB}_1$	0.6476	-0.9465	0.0603	68	1997~1999	1997, 1998
SOI	APR ₂	1978~1994	$Y = 0.4798\text{APR}_2$	-0.1160	-0.4606	-0.2173	65	1995~1999	1998
		1978~1996	$Y = 0.6252\text{APR}_2$	-0.1511	-0.7949	-0.3883	79	1997~1999	1998

* ①与②同表 2 The meaning of each ENSO index is the same as table 1 and the explanation of variables and criteria in above models are the same as table 2

热带海洋大气环流出现异常时,通过经向环流影响到中高纬度的大气环流和我国的天气气候,这个过程极为复杂;在 ENSO 期间,尽管我国气候易发生明显的异常,但所表现出的特点差异十分显著。对 20 世纪 90 年代发生的 4 次 ENSO 事件与我国气候异常的关系的分析表明,1991~1995 年热带太平洋地区维持长达近 5a 的暖位相特征,期间发生的 3 次 ENSO 事件表现了高频低强度的特征,这种现象在近半个世纪以来极为罕见;1997 年的 ENSO 过程则是 20 世纪最强的一次过程(图 5)。1991~1995 年西太平洋副热带高压持续增强,与此期热带太平洋地区维持的暖位相特征相对应,但同期副高主体的位置却有很大的差异;在 ENSO 爆发当年(1991、1993、1994、1997),副高面积都比上一年有明显的增大,但副高主体的变化却不尽相同,特别是夏季脊线位置的变化有着显著差异。1991 年副高脊线位置变化的突出特点是,初夏位置偏北,盛夏位置偏南;1993 年副高脊线位置无论是初夏还是盛夏均比常年明显偏南;1994 年夏季副高脊线位置变化的突出特点与 1991 年恰好相反,即初夏位置偏南,盛夏位置异常偏北。1997 年初夏,副高偏弱,主体位置偏东,脊线偏南,盛夏副高开始加强,位置偏北西伸,脊线位置接近常年。所以在 ENSO 爆发的当年,我国夏季降水表现不同。1991 年夏季我国淮河流域及江淮地区持续多雨,洪涝灾害严重;而我国西北及华北大部分地区整个夏季降水明显偏少,特别是江南及华南北部地区,因长时间处于副高的直接控制下,则出现了严重的干旱。1993 年我国旱区主要集中在北方,持续时间不长;雨涝区主要集中在南方,部分地区洪涝较重;长江中下游地区入梅晚,梅雨季节短,强度很弱。1994 年夏季我国出现了南北两条明显的雨带,南方多雨区位于江南南部和华南,两广等地出现了严重洪涝灾害;北方多雨带位于东北、华北中部和西北东部一带,雨季开始时间较长,部分地区也出现了洪涝灾害;而在这两条雨带之间,由于长期受副高控制,大

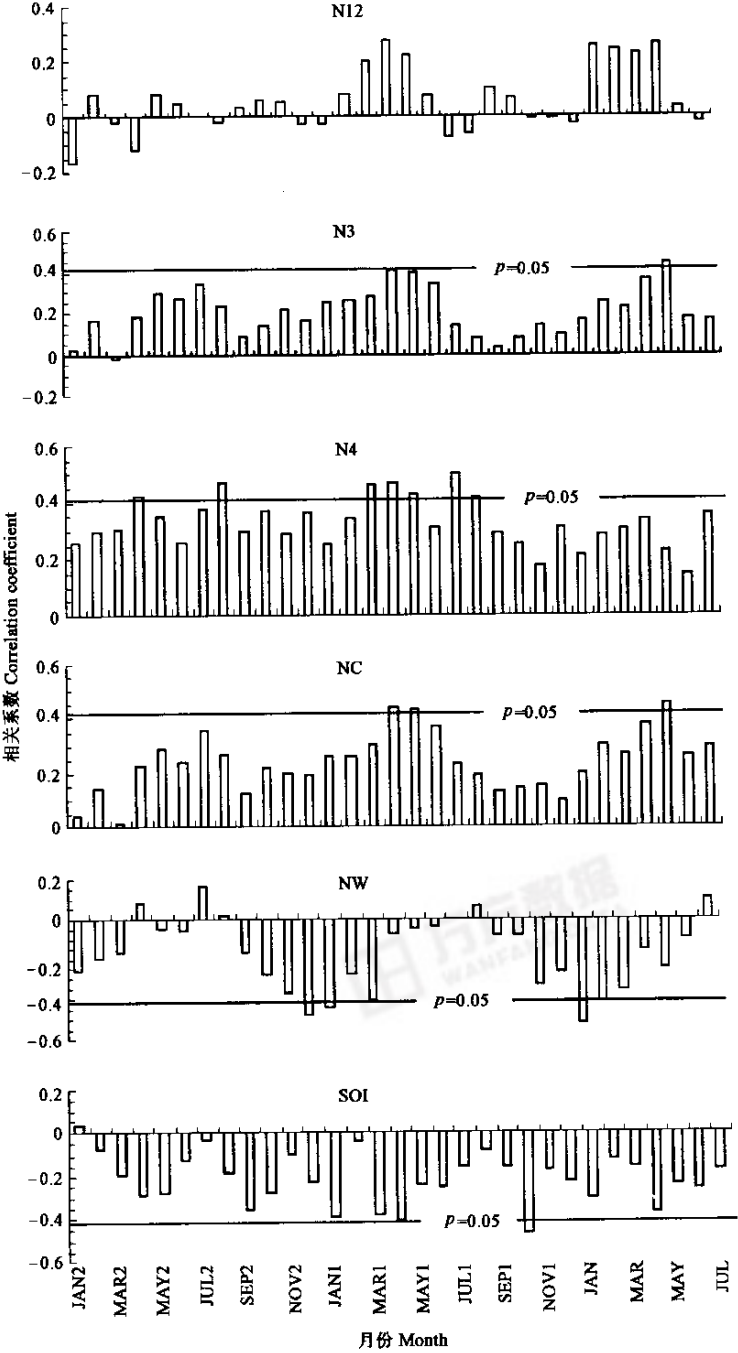


图 2 郓城棉铃虫三代卵量与前两年 1 月份到当年 7 月份的 ENSO 指标的遥相关

Fig. 2 The teleconnection between the 3rd generation eggs of *Helicoverpa armigera* and the ENSO indices from JAN₂(two years ago)to JUL(this year)

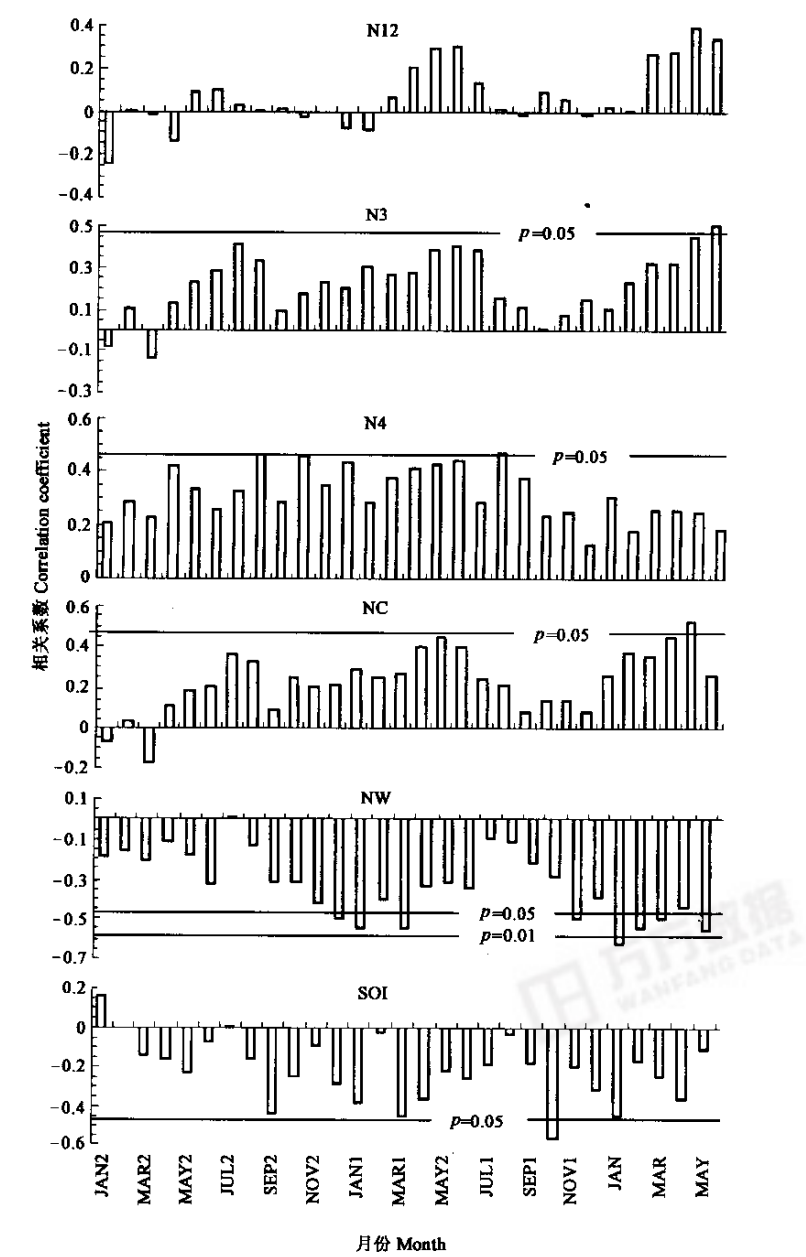


图 3 丰县棉铃虫二代卵量与前两年 1 月份到当年 5 月份的 ENSO 指标的遥相关

Fig. 3 The teleconnection between the 2nd generation eggs of *Helicoverpa armigera* in Fengxian and the ENSO indices from JAN₂(two years ago)to MAY (this year)

部分地区出现了高温少雨,江淮梅雨异常偏弱,出现了 1949 年以来罕见的伏旱。1997 年夏季我国华北、东北、西北地区东部出现了罕见的长时间少雨干旱、酷热高温天气;华南北部和东部及江南部分地区雨水偏多,其中,浙江、广东、福建等地降水量比同期偏多 5 成至 1 倍以上,接近 40a 中最大值或次大值;长江中下游地区入梅和出梅晚,梅雨期降水量也偏少,但比 1993 和 1994 年多^[21]。

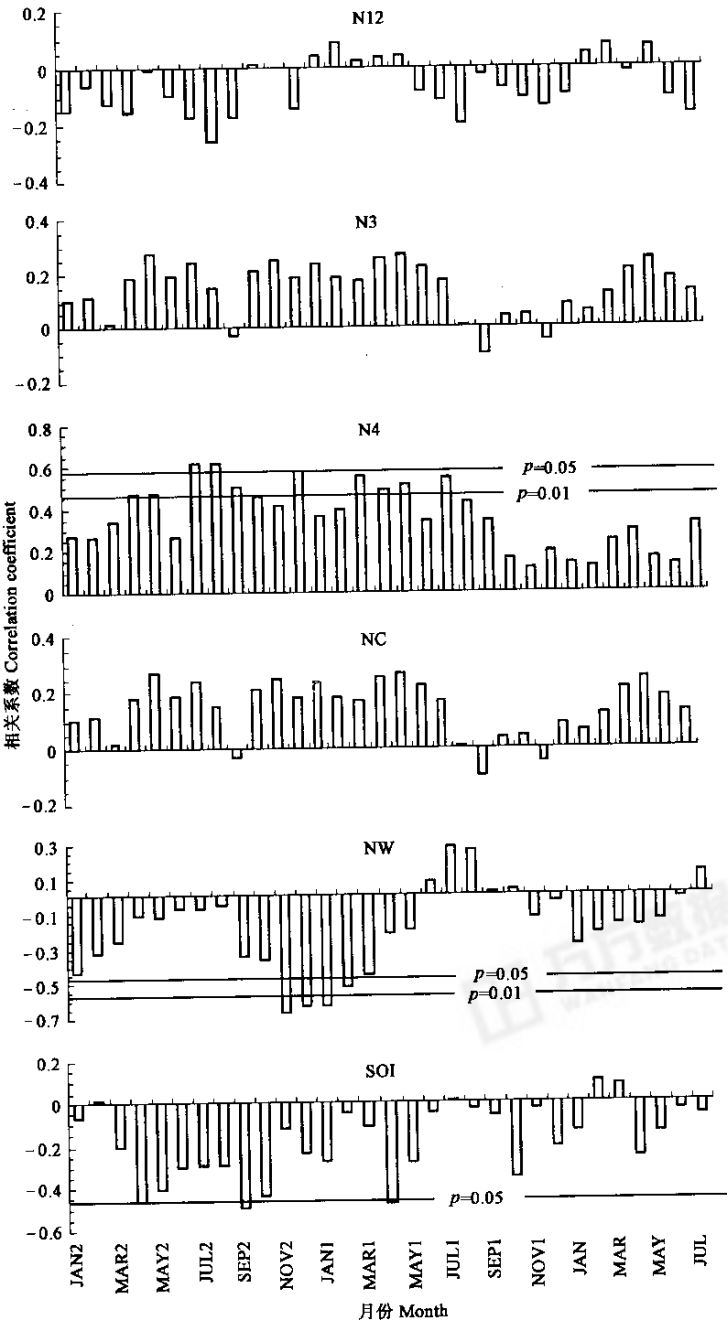


图 4 德州棉铃虫三代卵量与前两年 1 月份到当年 7 月份的 ENSO 指标的遥相关

Fig. 4 The teleconnection between the 3rd generation eggs of *Helicoverpa armigera* in Dezhou and the ENSO indices from JAN₂(two years ago)to JUL(this year)

3. 1. 3 ENSO 通过影响气候进而影响棉铃虫的种群数量 气候对棉铃虫种群数量年际间波动的影响有

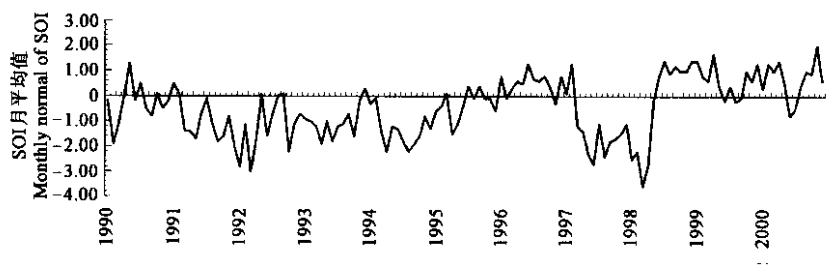


图 5 1990~2000 年 SOI 月平均值
Fig. 5 Monthly normal of SOI in 1990~2000

两个关键因子及关键时段,一个是冬季气温,直接影响棉铃虫越冬存活率,从而影响其虫源基数,虫源是造成棉铃虫大发生的前提;另一个是夏季降水,过量的降水不仅造成卵及初孵幼虫的死亡,还导致土壤湿度过大而影响棉铃虫的化蛹、羽化和成虫的生殖能力及下代卵的孵化^[22~25]。而 ENSO 对我国气候影响最大的正是冬季气温和夏季降水,所以 ENSO 事件消长与我国棉铃虫的发生危害密切相关。山东德州和郓城棉铃虫三代卵量、丰县棉铃虫二代卵量与 ENSO 各指标区的相关性随时间的变化也充分反映了 ENSO 指标对我国气候的影响的复杂性。德州处于鲁西北棉区、郓城处于鲁西南棉区、丰县地处苏北棉区,德州、郓城两地棉铃虫三代卵量和丰县棉铃虫二代卵量与 ENSO 各指标区的相关性的时间变化趋势存在着大同小异的特点,都与 N4 区(赤道中太平洋)和 NW 区(赤道西太平洋,也称暖池区)相关并达到显著水平($P < 0.05$),且与 N4 区的所有时段均为正相关、与 NW 区的大多数时段为负相关、与大多数时段的 SOI 呈负相关。

奚秀芬、郑世芳分析了 ENSO 事件与初夏副高脊线位置及山东半岛夏季降水的关系,表明厄尔尼诺事件次年初夏副高位置正常或偏南,对应山东半岛夏季降水偏少;拉尼娜事件次年初夏副高位置偏北,对应山东半岛夏季降水偏多^[26]。徐振山 1997 年则对厄尔尼诺事件按开始时间分型,发现当上半年(1~5 月份)开始厄尔尼诺事件时,当年山东汛期一般降雨正常偏多,主要多雨涝区在鲁南地区;当下半年(6~10 月份)开始发生厄尔尼诺事件时,山东汛期一般降雨正常偏少,而且主要少雨干旱区在鲁南和半岛地区;连续性厄尔尼诺年的次年,山东汛期降雨特征无明显规律;而非连续性厄尔尼诺年的次年,山东省汛期的主要多雨涝区多数在鲁中、鲁北地区;在拉尼娜年,山东全省大部分地区降雨量偏多,最大降雨正距平中心在鲁南和半岛地区。另外,拉尼娜年夏季 6~8 月份副高脊线平均位置为 26°N,较常年偏北,这是拉尼娜年山东汛期降雨偏多的主要原因之一^[27]。

由于 ENSO 对我国气候的影响因时因地而异,也直接影响到利用 ENSO 指标对棉铃虫灾变预测的准确性。由表 2~表 4 可见,在郓城、德州、丰县三地以 N4 区指标做的不同代次棉铃虫卵量的 32 年次预报中,只有 7 年次的预报结果与实际发生程度不符,其中郓城、丰县误报的年份均为 1998 年和 1999 年,而德州误报的年份为 1998 年。显然,这两年的海温变化与棉铃虫发生的关系不同于其他年份。

由图 5 可知,20 世纪 90 年代初至 1995 年的 SOI 月平均值持续为负值,期间有 3 次明显的下降过程,与赤道中东太平洋海域出现的 3 次增温过程相对应。尽管 1996 年 SOI 有一次短暂的回升过程,但到了 1997 年 SOI 再度出现大幅度下降,且在 1997 年的 ENSO 事件期间 SOI 持续异常偏低,到 1998 年 3 月 SOI 达到了本次事件的最低值(-3.6)。但 1998 年 4 月份起,SOI 迅速回升,5 月份 SOI 已成正值(0.1)^[21]。对应于海温,尽管 1998 年 5 月份 N12 区海温距平为 3.8℃、N3 区为 1.4℃,但负距平区已出现在 150°~120°W 海域,强度迅速增加;6 月份 N3 区已骤降到 0.2℃,7 月份 N4 区降到-0.4℃。至此,20 世纪最强的 1997/1998 年厄尔尼诺事件匆匆结束,赤道中、东太平洋海温迅速进入 ENSO 冷位相阶段;10 月份负距平区已向西扩展至数据 1998/1999 年冬季,低于-0.5℃的海温负距平已控制了 160°E 以西的赤道太平洋海域,20 世纪 80 年代以来最强的一次拉尼娜事件形成(持续 18 个月)。这次事件具有爆发快、强度大、结束

时东太平洋海温变化突然、大气响应滞后等特点,对我国 1998 和 1999 年的气候产生了重要影响^[28]。显然,以前期海温驱动的棉铃虫预测模型尚无法对如此强烈而迅速的位相转变做出恰当的反应,因而这两年的发生程度在不同区域几乎全部错报。而且,回测检验中的错报年份也多处于这种位相转变期。

3.2 预测检验中误报原因分析

如前所述,1998 年处于 ENSO 位相转变的特殊时期,作为拉尼娜事件的形成年,对应的应是山东汛期多雨,预报 1998 年郓城和德州为非灾变年,但实际是大发生年。分析其原因,郓城 1998 年的降水主要出现在 5 月份(距平 82.9mm)和 8 月份(距平 253.1mm),6~7 月份都是负距平(-46.6,-48.0);而且 5 月份的降水又集中在上旬和下旬(图 6),这样虽然 5 月份的降水对越冬代蛾的羽化(盛期 5 月 1~20 日)有一定影响,但 5 月中旬的降水负距平和此后 6、7 两个月份的少雨偏旱天气却使得棉铃虫种群迅速发展到大发生的水平,二代棉铃虫百株累计卵量达 1160 粒,三代棉铃虫百株累计卵量达 1556 粒;在德州,1998 年 5 月上旬降水距平为 10.2mm,中旬却是负距平(-11.1mm),下旬虽又达 22.1mm,但对越冬代蛾的羽化(盛期 5 月 4~12 日)已无影响;6 月份又出现负距平(-50.3mm),使大发生种群得以形成(二代棉铃虫百株累计卵量 856 粒),虽经 7 月上中旬降水(正距平 79.6mm 和 45.2mm)对二代蛾羽化出土(盛期 7 月 20~25 日)的强力阻击,其三代棉铃虫百株累卵仍达到了大发生水平(259 粒)。

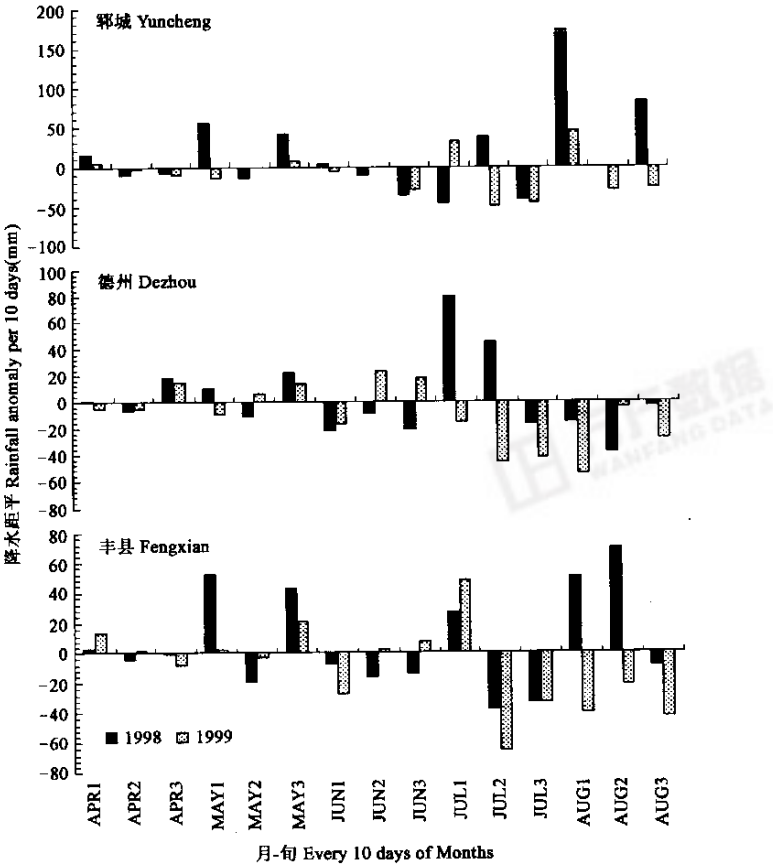


图 6 郓城、德州和丰县 1998 和 1999 年棉铃虫发生期各旬降水距平
Fig. 6 Rainfall anomaly of every 10 days in Yuncheng, Dezhou and Fengxian in 1998 and 1999
万方数据

1999 年德州为大发生年,预报正确;而郓城实际为非灾变年,但误报为大发生年。从两地的降水情况看(图 6),从越冬代蛹期到一代蛾羽化盛期,德州降水量虽然都是正距平(4 月下旬 14.8mm,5 月份 11.3mm,6 月份 25.1mm),但由于上年度虫源基数的充足,其一代幼虫的亩残留量仍有 77.8 头,二代百株累卵达 1455 粒(5 级,大发生),比常年平均值增加了 65.7%;而郓城同期的降水量都是负距平(4 月中下旬 -12.2mm,5 月份 -7.3mm,6 月份 -35.6mm),但即使在这样的条件下,郓城越冬代棉铃虫诱蛾量比常年减少 62.9%,一代幼虫的亩残留量只有 33.2 头,二代百株累卵只有 226 粒(3 级,中发生),比常年平均值减少了 84.8%;到 7 月上旬二代蛹期,郓城却出现了 32.6mm 的正距平,使二代蛾的羽化率及其生殖能力大大降低,三代百株累卵只有 67 粒(3 级,中发生),比常年平均值减少了 94.3%;而德州 7 月的降水则为负距平 -101.8mm(图 6),三代百株累卵为 130 粒(5 级,大发生)。该年鲁北各地棉铃虫大发生,当地植保部门预测郓城、德州两地二代棉铃虫的发生程度均为 5 级大发生,也将郓城的发生程度报错了;但对三代棉铃虫的预测则是正确的:德州 5 级,郓城 3 级。分析其原因,一是棉铃虫更喜在长势好的棉株上产卵,但郓城当年一类棉田面积比率仅占 25%,比常年减少 21.6%,迫使棉铃虫转到其他寄主作物上产卵,而用于检验预测效果的虫情是棉田的百株累卵(目前的监测调查规范只用棉田的系统调查数据);相反,德州的一类棉田面积比率为 70%,比常年增加了 40%。另外,当年郓城的防治用药特别多:二代防治 4.3 次,三代 6 次,而德州仅分别防治了 2 次和 1.5 次。

丰县 1998 和 1999 年均均为二代卵量的非灾变年,但都误报为大发生,应是多重原因所致。

丰县 5 月份降水量的多年平均为 60.6mm,但 1998 年 5 月份的降水为 139.4mm,是常年的 2.3 倍,也是近 20 年中 5 月份降水最多的年份;而 5 月 份正好是越冬代蛾羽化出土的时期(越冬代蛾盛期在 5 月 4~26 日),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,从而影响当年的虫源基数及其后的发生。尽管 6 月份降水偏少(距平 -38mm),二代百株累卵仅 159.6 粒,未能达到预报的大发生的程度;其后,二代蛹期(7 月中旬)和蛾盛期(7 月 19~25 日)的降水又均为负距平(-71.1mm),使三代百株累卵达到 269.1 粒(4 级),比常年增加了 89.2%。同时,三代幼虫期的迟衰棉田面积占了 31.4%,比常年增加了 84.7%;三代幼虫平均 666.7m² 残虫量达 191.9 头,比常年增加 206.5%;其他寄主作物上的总幼虫量为 14385 万头,比常年增加 41.3%;当地植保部门据此预报四代棉铃虫发生程度为 4.5 级。这样虽然 8 月份的雨量高达 241.6mm(距平 129.5mm),但三代棉铃虫成虫上灯量仍达 13732 头,四代百株累卵达到 1288.8 粒(5 级,大发生)。

1998 年,丰县出现了连续高温,尤其是 9 月和 10 月两个月份的月均温(23.7℃和 17.7℃)都是近 20a 中的最高值,其中 9 月各旬和 10 月上旬的旬均温分别为 25.5℃、24.4℃、21.3℃和 21.7℃,秋季异常高温使棉铃虫四代幼虫发育数据

表 5 1998 年丰县棉铃虫发生期
Table 5 The peak period of development episodes of cotton bollworm in Fengxian in 1998

	三代成虫期 Third generation adults	四代卵期 Fourth generation eggs	四代成虫期 Fourth generation adults
起止日期 ^①	6Aug~8Sep	7Aug~11Sep	8Sep~7Oct
始盛期 ^②	14Aug	15Aug	10Sep
高峰期 ^③	18Aug	20Aug	15Sep
盛末期 ^④	27Aug	26Aug	22Sep

* Early peak period, peak period and late peak period means the date when accumulative value up to 16%, 50% and 84% of the total amount respectively

①Duration, ②Early peak period, ③Peak period, ④Late peak period

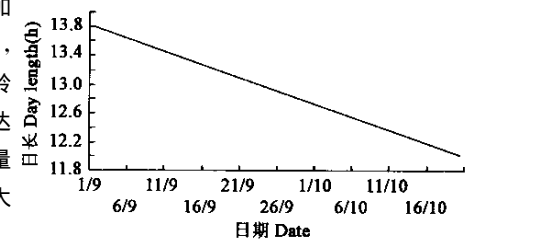


图 7 丰县四代棉铃虫发生期间的日长
Fig. 7 The day length during the diapause induction period of the fourth generation cotton bollworm in Fengxian

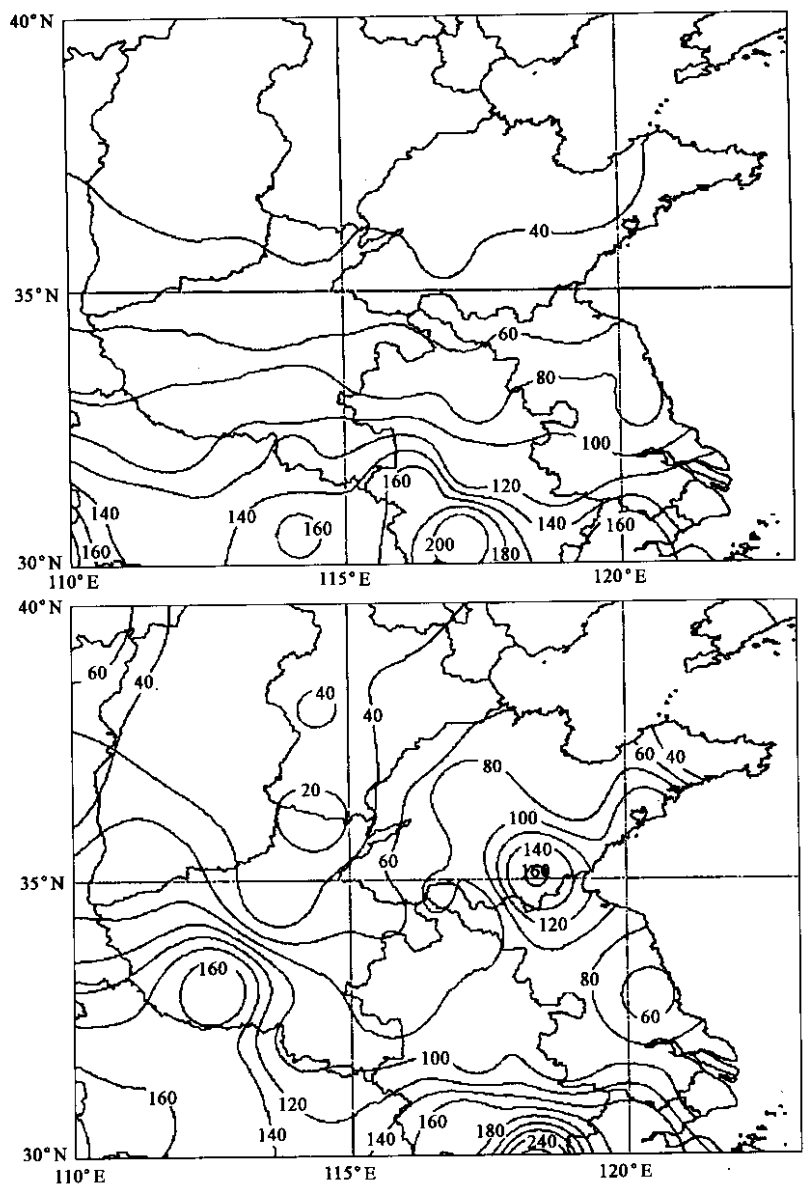


图 8 华东地区 5 月份多年平均降水分布(上)和 1999 年 5 月华东区降水量分布(下)

Fig. 8 Precipitation normal in eastern China in May(top)and the rainfall in eastern China in May of 1999(below)

丰县棉铃虫种群在 20℃、22℃、24℃和 26℃时滞育的临界光周期分别为 13.717h、13.133h、12.683h 和 12.117h^[29],其所对应的临界日期分别是 9 月 3 日、9 月 19 日、10 月 1 日和 10 月 17 日(图 7)。从表 5 可知,四代棉铃虫蛾的羽化盛期出现在 9 月中旬,而此时的气温还在 24℃以上;显然,这意味着四代幼虫的绝大部分个体并未进入滞育而是羽化成蛾,即形成了局部世代的第 5 代,也即构成了大量的无效虫源,从而大大降低了 1999 年的发生基数。丰县植保站的室内饲养结果也证实了这一点^[30];9 月 12 日采集的 146 头各龄四代幼虫经室内饲养,化蛹 94 头(占 64.4%),羽化 50 头(占 34.2%),其中 5 龄以上的幼虫成功羽化的比率高达 92.7%。1998 年丰县五代棉铃虫的出现已极大地压低了越冬种群基数,1999 年 5 月份降水(82.6mm)又比常年明显偏多(图 6、图 8),使越冬代蛾的羽化再受重创;6 月份的雨量(60.3mm)虽与常年

持平,但上旬无雨,中旬降水 38.6mm,下旬 21.7mm,这些降水恰好集中出现在一代棉铃虫蛹期和羽化出土的关键时期(一代蛾盛期在 6 月 13~24 日)而致灭顶之灾,再加上当年一类棉田面积比率(24.2%)下降(16%),使二代棉铃虫百株累计卵量仅有 62.5 粒(1 级),比常年减少 92.7%;三代卵量 56.7 粒(1 级),比常年减少 60.1%;四代卵量 482.6 粒(3 级),比常年减少 51.4%。

可见,ENSO 指标虽与这三个地方的棉铃虫发生情况有显著的遥相关,但并不能解释棉铃虫数量动态和灾变的全部机制,尤其在 ENSO 的位相转换期。同时,棉花的苗情长势和防治措施等也在很大程度上影响本模型的预测精度,特别是在全国 1998 年起转基因棉大面积推广的背景下。

3.3 棉铃虫对 ENSO 指标的遥响应

ENSO 的变化影响全球气候的变化,从而导致全球生态系统的变化。在全球生态系统中,各组份之间互相制约、互为因果,系统中的某一组份发生变化时就会引起其它组份随之变化,使整个系统处于动态平衡状态。当 ENSO 发生变化时,随之而来的是全球大气环流形势的变化和大气活动中心的调整及全球气候的变化。当 ENSO 处于极端状态时,系统中的其它组份也会或迟或早地到达极端状态,ENSO 的极端状态将引起全球大气环流形势、大气活动中心处于极端的位置和强度,从而引起全球气候异常(尤其是温度和降水),气候的异常又必然导致土壤条件(温、湿度和土壤通透性)、植被(寄主植物)和天敌等诸要素的极端状态,当某些区域这种极端状态的各种因素的组合特别有利于某种有害生物的生存和繁殖时,就将导致该有害生物种群在该地区的急剧增加、暴发成灾。如日本褐飞虱大发生年出现在厄尔尼诺次年^[5];在南方涛动强烈异常的当年,我国褐飞虱将大发生^[6];而棉铃虫田间种群数量年际间和代际间的波动对前期某些时段的 SOI 或某些区域的海温异常存在明显的遥响应:郓城三代卵量和丰县二代卵量与 SOI 相关显著($p<0.05$)的时段为前一年 10 月份,德州三代卵量与 SOI 相关显著($p<0.05$)的时段最早为前两年的 4 月份;郓城三代卵量和丰县二代卵量与 NW 呈显著($p<0.05$)负相关的时段最早为前两年 12 月,德州三代卵量与 NW 呈显著($p<0.05$)负相关的时段最早为前两年 11 月;德州和郓城两地棉铃虫三代卵量与 N4 相关显著($p<0.05$)的最早时段均为前两年 4 月份,丰县二代卵量与 N4 相关显著($p<0.05$)的最早时段为前两年 8 月份。此外,郓城棉铃虫三代卵量和丰县二代卵量与北太平洋中高纬度地区存在一片大范围($35^{\circ}\sim 55^{\circ}\text{N}$, $135^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{W}$)长时间(持续时间长达 4 个月;前两年 1~4 月份)的正相关显著区(中心区域 $p<0.001$);同一时段与德州棉铃虫三代卵量相关显著的区域则位于 $35^{\circ}\sim 51^{\circ}\text{N}$, $175^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{W}$ 的北太平洋海区^[9]。由于各因素之间存在时间上的滞后性,所以可选择不同时段的早期指标,做不同时效的灾变预测模型。因此,ENSO 指标可以成为比大陆气候因子更早期的棉铃虫灾变预警因子。当然,仅靠 ENSO 指标不可能解释棉铃虫大发生的全部机制,其预测效果的可靠性和稳定性尚需经更长年份、更多站点的预测实践来进一步验证。

由于 ENSO 对气候的影响因时因地而异,ENSO 事件对各棉区气候的影响以及各棉区棉铃虫种群数量波动与 ENSO 指标的遥相关关系及遥响应机制自然也有所不同,对此将由另文探讨。另外,近年来所推广的转基因抗虫棉以及棉花面积减少与玉米或其它经济作物面积的增加也会影响预测的准确性,如何将

References :

[1] Zhang X X. Dissect on outbreak of *Helicoverpa armigera* Hübner. *Entomological Knowledge*, 1996, **33**(2): 121~124.

[2] Dai X F, Guo Y Y. Causality exploration for cotton bollworm plague occurred in China in 1992 and the counter-measures. *Journal of Catastrophology*, 1994, **9**(1): 22~30.

[3] Lu Z Q, Xu Y H. The consideration with the incessant outbreak of cotton bollworm *Helicoverpa armigera* Hübner. *Entomological Knowledge*, 1998, **35**(3): 132~136.

[4] Allan 万方数据 Parker D. *El Niño, Southern Oscillation and Climatic Variability*. Australia: CSIRO, 1996, 405.

- [5] Morishita M. A possible relationship between outbreaks of planthoppers, *Nilaparvata lugens* Stål and *Sogatella furcifera* Horath (Hemiptera: Delphacidae) in Japan and the El Niño phenomena. *Applied Entomology Zoology*, 1992, **27**(2): 297~299.
- [6] 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.
- [7] Zhang Z B. Relationship between ENSO and *Lemmus* spp, *Microtus* spp in Europe. *Chinese Science Bulletin*, 2001, **46**(3): 197~204.
- [8] Maelzer D A, Zalucki M P. 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*, 2000, **90**: 133~146.
- [9] Qin S L, Zhai B P, Zhang X X, *et al.* Teleconnection between sea surface temperature in North Pacific and outbreaks of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) in Northern and Eastern China; an approach for long-term forecast. *Acta Entomologica Sinica*, 2003, **46**(4): 479~488.
- [10] Qu X F. *The criterion, districts division and method of forecast for cotton pests in China*. Beijing: China Scientific & technological Press, 1992. 1~656.
- [11] Wei S Q. *Statistics in Agricultural Meteorology*. Fuzhou: Fujian Scientific & Technical Press, 1985, 220~227.
- [12] Zhao Z G. *Summer Drought and Flood in China and the Background Fields*. Beijing: Meteorological Press, 1999. 1~297.
- [13] Liu Y, Ni Y Q. Diagnostic research of the effects of ENSO on the Asian summer monsoon circulation and the summer precipitation in China. *Acta Meteorologica Sinica*, 1998, **56**(6): 681~691.
- [14] Chen S J. Numerical simulation of El Niño and East Asia warm winter. *Acta Meteorologica Sinica*, 1995, **53**(3): 380~384.
- [15] Zhao Z G. Impact of El Niño events on atmospheric circulations in the Northern Hemisphere and precipitation in China. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1996, **20**(4): 422~428.
- [16] Huang R H. Teleconnection patterns between the anomalous Asian atmospheric circles and the summer drought and flood in China. In: *Advances in Researches on Drought and Flood Climate*. Beijing: Meteorological Press, 1990. 37~50.
- [17] Lin X C, Yu S Q. El Niño and rainfall during the flood season (June-August) in China. *Acta Meteorologica Sinica*, 1993, **51**(4): 435~441.
- [18] Zhao H G, Zhang X G, Ding Y H. El Niño and climate changing in China. In: *Studies on Long-term Weather Forecasting*. Beijing: Meteorological Press, 1990. 108~118.
- [19] Liao Q X, Zhao Z G. Seasonal forecast of the summer precipitation in Eastern China. *Journal Applied Meteorology*, 1992, **3**(supl): 1~9.
- [20] Zhao Z G, Jiang B R, Chen G Z, *et al.* Impact of ENSO on the climate in China. *Shandong Journal of Meteorology*, 2000, **20**(1): 4~12.
- [21] Ye Y, Qian Y H, Liu C X, *et al.* ENSO events since 90's and climatic anomaly in China. *Marine Forecasts*, 1998, **15**(4): 14~23.
- [22] Chen F J, Zhai B P, Zhang X X. Effects of soil moisture during pupal stage on population development of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, **23**(1): 112~121.
- [23] Su Z P, Zhai B P, Zhang X X. Effect of soil moisture on pupal survival, emergence and fecundity of *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Scientia Agricultura Sinica*, 2000, **33**(6): 104~106.
- [24] Guo Y Y. *Researches on Cotton Bollworm*. Beijing: China Agricultural Press, 1998. 129~141.
- [25] Wang H Z, Hua Y N, Mou J Y. *Forecasting and Control of Cotton Bollworm*. Beijing: China Agricultural Press, 1999. 174~186.
- [26] Xi X F, 万方数据 The relationship of the ENSO event with the position of Subtropical High in early summer and the summer rainfall in Shandong peninsula. *Marine Forecasts*, 1994, **11**(1): 35~41.

[27] Xu Z S. Influence on the flood in Shandong province by ENSO event. *Marine Forecasts*, 1997, **14**(4): 44~50.

[28] Li X Y. A diagnostic study of 1998/2000 ENSO cold episode. *Journal of Tropical Meteorology*, 2001, **17**(1): 90~96.

[29] Jiang M X, Xie L Q, Zhang X X. Characteristic of diapause induction of cotton bollworm. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, **10**(1): 60~62.

[30] Dai S S. The key factors affecting the formation of the fifth generation cotton bollworm. *Jiangsu Crop*, 1999, (4): 59~60.

参考文献:

[1] 张孝羲. 棉铃虫种群猖獗的剖析. 昆虫知识, 1996, **33**(2): 121~124.

[2] 戴小枫, 郭予元. 棉铃虫暴发的特点、成因及治理对策. 灾害学, 1994, **9**(1): 22~30.

[3] 陆自强, 徐勇惠. 棉铃虫持续大爆发引起的思考. 昆虫知识, 1998, **35**(3): 132~136.

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

[7] 张知彬. 欧洲的旅鼠和田鼠种群暴发与厄尔尼诺~南方涛动的关系研究. 科学通报, 2001, **46**(3): 197~204.

[9] 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长期灾变预警. 昆虫学报, 2003, **46**(4): 479~488.

[10] 屈西峰. 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, 1992. 1~656.

[11] 魏淑秋. 农业气象统计. 福州: 福建科学技术出版社, 1985. 220~227.

[12] 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场. 北京: 气象出版社, 1999. 1~297.

[13] 刘颖, 倪允琪. ENSO 对亚洲夏季风环流和中国夏季降水影响的诊断研究. 气象学报, 1998, **56**(6): 681~691.

[14] 陈受钧. 厄尔尼诺与东亚暖冬的数值模拟. 气象学报, 1995, **53**(3): 380~384.

[15] 赵振国. 厄尔尼诺现象对北半球大气环流和中国降水的影响. 大气科学, 1996, **20**(4): 422~428.

[16] 黄荣辉. 引起我国夏季旱涝的东亚大气环流异常遥相关及其物理机制的研究. 见: 旱涝气候研究进展. 北京: 气象出版社, 1990. 37~50.

[17] 林学椿, 于淑秋. 厄尔尼诺与我国汛期降水. 气象学报, 1993, **51**(4): 435~441.

[18] 赵汉光, 张先恭, 丁一汇. 厄尔尼诺与我国气候异常. 见: 长期天气预报论文集. 北京: 气象出版社, 1990. 108~118.

[19] 廖荃荪, 赵振国. 我国东部夏季降水分布的季度预报方法. 应用气象学报, **3**(增刊): 1~9.

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

[21] 叶英, 钱粤海, 刘春笑, 等. 九十年代以来的 ENSO 事件与我国气候异常. 海洋预报, 2003, **15**(4): 14~23.

[22] 陈法军, 翟保平, 张孝羲. 棉铃虫蛹期土壤水分对其种群发生的影响. 生态学报, 2003, **23**(1): 112~121.

[23] 苏战平, 翟保平, 张孝羲. 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, 2000, **33**(6): 104~106.

[24] 郭予元. 棉铃虫研究. 北京: 中国农业出版社, 1998. 129~141.

[25] 王厚振, 华尧楠, 牟吉元. 棉铃虫预测预报与综合治理. 北京: 中国农业出版社, 1999. 174~186.

[26] 奚秀芬, 郑世芳. ENSO 现象与初夏副高位置及山东半岛夏季降水的关系. 海洋预报, 1994, **11**(1): 35~41.

[27] 徐振山. 厄尔尼诺现象对山东省洪涝的影响. 海洋预报, 1997, **14**(4): 44~50.

[28] 李晓燕. 1998/2000 年 ENSO 冷事件过程诊断. 热带气象学报, 2001, **17**(1): 90~96.

[29] 蒋明星, 谢立群, 张孝羲. 棉铃虫的滞育诱导特性. 应用生态学报, 1999, **10**(1): 60~62.

[30] 戴率善. 影响五代棉铃虫发生的主要因子及防治策略. 江苏作物通讯, 1999, (4): 59~60.