

气候变化背景下玉米棉铃虫消长动态 预测及影响因素研究

刘明春^{1,2}, 蒋菊芳², 郭小芹², 孙占峰², 丁文魁²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省武威市气象局, 甘肃 武威 733000)

摘 要: 采用甘肃省武威市农技中心植保站 1999—2008 年棉铃虫观测资料及武威市气象局观测站 1953—2010 年气象资料, 利用统计学方法中的作物生长模型、主成分分析方法, 建立了棉铃虫种群增长模型和气象预报预测模型, 分析了气候变暖特征及对棉铃虫种群增长的影响。结果表明: 玉米棉铃虫百株卵量周年增长动态分缓慢增长、快速增长、减速增长三个时期, 快速增长期出现在 7 月下旬末至 8 月上旬(玉米吐丝期); 建立了棉铃虫卵始见期、卵高峰期、高峰期卵量、高峰期虫量气候预测模型, 预测准确率 78%~89%, 可用于棉铃虫预报业务应用; 揭示了气候变化对玉米棉铃虫发生发展的影响: 棉铃虫越冬期(12—2 月)最低气温每 10 年增温 0.58℃, 暖冬利于棉铃虫安全越冬, 越冬基数增加, 成活率提高; 繁殖期(5—9 月)≥10℃积温每 10 年增加 133℃。热量条件改善, 有利于棉铃虫种群增长加快、繁殖代数增加、危害期延长; 气候极端事件发生的不确定性, 对棉铃虫的发生发展将起到明显的抑制作用。

关键词: 河西走廊; 玉米; 棉铃虫; 气候变化; 影响因素

中图分类号: S431.16 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)02-0114-05

Study on the factors affecting corn's *Helicoverpa armigera* dynamic prediction under the background of climate change

LIU Ming-chun^{1,2}, JIANG Ju-fang², GUO Xiao-qin², SUN Zhan-feng², DING Wen-kui²

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou, Gansu 730020, China; 2. Agrometeorological Experiment Station of Wuwei Meteorological Bureau, Wuwei, Gansu 733000, China)

Abstract: The *helicoverpa armigera* investigation data from the Center of Plant Protection Station of Wuwei and meteorological data during 1953 to 2010 years from Wuwei Bureau of Meteorology were used. We established population growth model of *helicoverpa armigera* and meteorological forecast model, by which the characteristics and effects of climate warming were analyzed. The results showed that the accumulated egg number per 100 plants' growth followed a typical "S" curve. The rapid growth period was in late July to early August (the corn silking stage). The prediction model had a prediction accuracy rate of 78%~89%. The impact of climate change on the occurrence and development of *helicoverpa armigera* were revealed. And the increased temperature was favorable for *helicoverpa armigera* population growth and reproduction.

Keywords: Hexi Corridor; corn; bollworm(*Helicoverpa armigera*); climate change; influencing factors.

农作物病虫害的发生发展除了受其自身的生物学特性影响外, 还受到农作物品种、耕作栽培制度、施肥、灌溉水平等条件的制约, 特别受气候条件的影响较大。研究表明, 几乎所有大范围流行性、爆发性、毁灭性的农作物重大病虫害的发生、发展、流行都和气象条件密切相关^[1-6]。有关棉铃虫消长与气象条件的关系研究已有诸多报道。吴坤君等认为棉铃虫发育速度与温度呈非线性关系^[7]; 刘学义等认为棉铃虫发生程度与降雨量密切相关^[8]; 秦淑莲等认为棉铃虫种群数量消长与北太平洋海温显著遥相关^[9]; 王勤英等提出气候变暖将导致棉铃虫发育速度加快、存活率和繁殖力提高^[10-12], 还影响棉铃虫

的滞育率、种群数量和越冬基数,棉铃虫越冬界限将向北推移^[13-18]。

棉铃虫 (*Helicoverpa armigera hubner*) 是我国陕西、河北、山东、江苏等地棉花的主要虫害,在西北的新疆、甘肃等地区也开始有所发展。发生世代一般为每年4代,近年5代也时有发生,90年代以来发生趋势加重,是棉花减产的重要原因。河西走廊海拔1 850 m以下的灌区,光、热、水资源丰富,随着地膜覆盖、立体种植、优良品种等新技术推广应用,现已成为全国重要的玉米制种基地。棉铃虫作为本地虫害的优势种群,因其寄生范围广、繁殖潜力大、种群迁徙能力和对环境适应能力强等特点,常在条件适宜时大面积暴发成灾,使玉米品质与产量下降,年损失产量5%~15%,对玉米生产构成严重威胁^[19]。因此,探究棉铃虫发生发展动态及关键气象影响因素,并预测未来可能发生的危害程度,对开展棉铃虫综合防治、及时施治和玉米稳产、高产具有重要意义。

1 资料来源和处理方法

1.1 资料来源

1999—2008年玉米棉铃虫发生面积、损失产量及卵始见期、卵高峰期、高峰期卵量、高峰期虫量等虫情资料由武威植保站提供,气象资料气温、降水、日照时数、风速、积温等源于武威市气象局地面观测数据。

1.2 处理方法

气象因子以旬、月、季、年为单位统计。各气象要素变化时间趋势分析采用线性倾向估计法。影响棉铃虫关键气象因子的筛选采用简单相关系数和主成分分析法,用多元回归建立预报预测模型。主成分分析方法如下:

将多个研究变量综合成有限个互不关联特征指标的统计学方法^[19]。在数学变化中保持总方差不变时,筛选方差贡献最大的主成分作为研究依据。设 $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)'$ 为 m 维向量,则 X 的第1,2,..., m 主成分定义为:

$$Y_i = L_i X \text{ 且 } L_i L_i' = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

其中, L_i 是 X 协方差矩阵特征值 λ_i ($\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_m \geq 0$) 对应的标准正交化的第 i 个特征向量, L_i' 为 L_i 的转置矩阵。

2 结果与分析

2.1 棉铃虫危害特征

对武威玉米生产危害最大的主要是二、三代棉

铃虫,各代历期30~40 d。越冬蛹于6月中旬末、下旬初气温升至15℃时开始羽化成虫,高峰期6月下旬末~7月上旬,一代成虫盛期8月上旬;二代幼虫始期7月下旬末,盛期8月上旬末~下旬初,此时高温高湿最有利于棉铃虫生育繁殖,此期正值玉米吐丝授粉期;三代幼虫始期8月下旬,盛期9月上旬,当气温降到20℃以下时,于9月中旬老熟幼虫落入土中化蛹越冬。气温降到10℃以下时,棉铃虫进入越冬期。由于二代幼虫和三代幼虫连续危害玉米,致使玉米受害期长达2个月以上。棉铃虫产卵量最多的部位是玉米雌穗,且主要产在花丝上,其次是叶片,主要产在叶片正面,其中以中、上部叶片(2~6叶)居多。1999—2002年对石羊河流域48个乡镇、1296块玉米田二代棉铃虫调查^[20],发生面积占玉米种植面积的53.3%~72.1%,雌穗被害率平均40.7%~79.4%,百穗平均有虫51.0~108.5头,损失率2%~5%。2000、2001年棉铃虫发生面积为2.73、2.75万hm²,分别占播种面积的94.6%和92.3%,尤以平川井水灌区为害最重,平均虫穗率为71.2%和80.0%,百穗虫量为90.1头和105.0头,风沙沿线井灌区次之,冷凉河水灌区为害较轻。以高峰期卵量作为危害程度指标,可将棉铃虫危害划分为3级:<46为轻度,46~92为中度,>92为重度。10a中轻度5a,中度3a,重度2a,累计发生面积23.162万hm²。

2.2 棉铃虫种群动态

在棉铃虫中度灾害的2002年,在武威市六坝乡定位观测点对2代棉铃虫百株卵量进行观测,从棉铃虫开始出现(7月22日)到基本消亡每隔3d观测一次。通过观测发现,棉铃虫累计百株卵量开始增长速度较慢,增长量少,随后增长速度加快,卵量迅速增加,而后增长速度减慢。其消长动态变化符合典型的“S”型生长曲线^[21],可用逻辑斯蒂方程来描述,拟合方程如下:

$$N_t = 206.8536 / (1 + e^{3.8130 - 0.3703t}) \quad (1)$$

式中, N_t 表示百株卵量, t 表示日期。 $R = 0.9829 > R_{0.01}$, 回归检验效果显著。对(1)式求一阶导数可得到卵增长速度(图1),最大增长速度(拐点)出现在8月3日,其值为19.1粒·d⁻¹;求二阶导数可得到线性增长的两个特征点($t_1 = 14.2$ 粒·d⁻¹, $t_2 = 14.6$ 粒·d⁻¹),对应时间分别为7月28日和8月9日。据此可将累计百株卵量增长动态划分为缓慢增长期(7月22日~7月28日)、快速增长期(7月28日~8月9日)和减速增长期(8月9日~8月18日)。即棉铃

虫在玉米抽雄前后逐渐增多,在吐丝阶段快速发展成虫,在乳熟前期增长速度逐渐减缓。

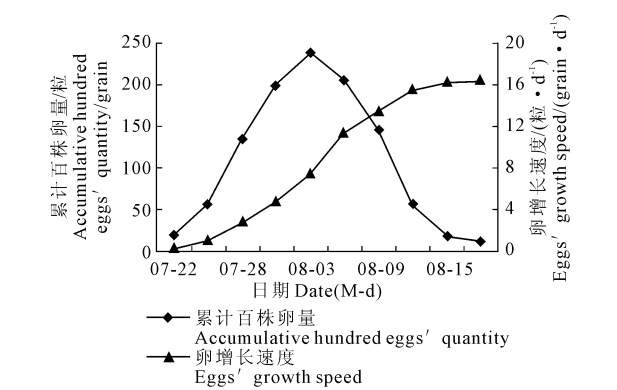


图 1 棉铃虫卵增长动态曲线

Fig. 1 The dynamic curve of bollworm eggs' growth

2.3 气象影响因子分析

从病理学、物候学和农业气象学原理出发,根据农业生态特点与棉铃虫种群变化规律,使用 90% 信度水平检验,首先初选 4 × 30 个相关气象指标,资料段为上年 5 月 ~ 当年 5 月,即取当年 6 月初发布棉铃虫危害预报之前为期一年的数据资料,以充分表达气象指标对棉铃虫影响的延续性与综合性。按照棉铃虫的危害规律,将预报对象分为 4 个特征:用 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 分别表示卵始见期、卵高峰期持续时段、高峰期卵量和高峰期虫量,这些特征是棉铃虫危害程度的重要指标。

按照 1.2 中主成分分析方法,对 30 个初选因子进行逐步剔除,直到因子数量达到有限个为止。计算主成分总方差见表 1。

表 1 主成分分析对总方差的解释

特征 Feature	第一主成分 First principal component			第二主成分 Second principal component		
	特征值 λ_1	方差贡献/%	累计方差/%	特征值 λ_2	方差贡献/%	累计方差/%
	Eigenvalue λ_1	Variance contribution	Cumulative variance	Eigenvalue λ_2	Variance contribution	Cumulative variance
Y_1	1.849	61.643	61.643	1.028	34.257	95.900
Y_2	1.851	61.684	61.684	0.972	32.407	94.091
Y_3	1.817	60.556	60.556	0.898	29.928	90.484
Y_4	1.685	56.153	56.153	0.961	32.042	88.195

从表 1 中可知:在对 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 四类因子进行筛选时,第一、二主成分累积方差贡献值 $\geq 88\%$,其中第一主成分 $\geq 56\%$,第二主成分 $\geq 29\%$,这说明用 30 个因子所反映的信息可以完全由 $(\lambda_1 + \lambda_2)$ 因子个数替代,即用 2 ~ 3 个因子作为整合后的气象指

标进入模型,即可得到满意的拟合结果。
将原始数据矩阵(包括 Y_i)标准化处理,消除尺度影响,以抽象出数据的本质特征。用第一、二主分量的特征向量值构造新变量 Z_1 、 Z_2 ,建立回归方程见表 2。

表 2 棉铃虫危害特征预测模型

预报方程 Prognostic equation	R^2	标准误差 Standard error	F 值 F value	P 值 P value	信度检验 Reliability test
$Y_1 = 0.363 Z_{11} + 0.621 Z_{12}$	0.856	0.438	17.815	0.003	< 0.05
$Y_2 = -0.445 Z_{21} - 0.329 Z_{22}$	0.779	0.543	10.544	0.011	< 0.05
$Y_3 = -0.427 Z_{31} - 0.447 Z_{32}$	0.762	0.683	9.623	0.013	< 0.05
$Y_4 = -0.464 Z_{41} - 0.457 Z_{42}$	0.804	0.511	12.307	0.008	< 0.05

在模型 Y_1 中其相关因子为 3 月份相对湿度 ($R = 0.636^*$, * 表示通过 95% 信度水平检验)、3 月份降水量 ($R = 0.443$) 和 5 月份平均风速 ($R = 0.696^*$)。棉铃虫老熟幼虫是在土壤内化蛹的,这是翌年主要卵源。河西走廊东部 3 月份平均气温只有 2.5℃,低温高湿条件使棉铃虫延长了越冬期;5 月份是棉铃虫从土壤逐渐向玉米苗寄生的过程,此时风力越大越不利于棉铃虫的迁移,从而使大范围

的卵始见期延后。
 Y_2 中相关因子为 2 月下旬 0 cm 地温 ($R = -0.674^*$)、4 月份平均最低气温 ($R = -0.681^*$)、4 月下旬蒸发量 ($R = -0.671^*$)。春季升温越早,温度越高,棉铃虫复苏越早(蒸发量实质上是温度的函数),而研究区域频发寒潮、低温、霜冻、倒春寒等冷空气活动,加上春季植被稀少,土壤裸露,不利于棉铃虫的发生发展,使得卵高峰期持续时间缩短。

Y_3 中相关因子为 2 月下旬平均地面气温 ($R = -0.576$)、3 月份平均最低气温 ($R = -0.607^*$)、4 月上旬极端最高气温 ($R = -0.741^*$)。同理,春季冷空气频繁活动导致棉铃虫生存环境异常变化,早春时段的高温对棉铃虫高峰期卵量的发生发展非常不利。

Y_4 中相关因子为 3 月份平均最低气温 ($R = -0.655^*$)、4 月份相对湿度 ($R = 0.588$) 和 4 月上旬极端最高气温 ($R = -0.691^*$)。春季高温对卵量形成有抑制作用,进而也影响到虫量的发生发展。适宜的湿度条件有利于棉铃虫种群生长繁殖,使高峰期虫量增加。

$Y_1 \sim Y_4$ 预测模型经过 95% 信度检验,效果显著。模型回代准确率 78% ~ 89%。用模型对 2008 年棉铃虫危害特征做预测,其结论是卵始见期实测值 7 月 30 日,预测值 7 月 28 日;卵高峰期持续时段实测值 17 天,预测值 20 天;高峰期卵量实测值为轻度,预测值为中度,订正值轻度 (< 46);高峰期虫量实测值为轻度,预测值及订正值均为轻度(按高峰期虫量分为 3 级, < 26 为轻度)。预测结论基本准确。因此,上述模型可作为实际业务应用。

3 气候变化对棉铃虫消长的影响

3.1 气温的变化

冬季气温的高低,对棉铃虫蛹能否安全越冬影响很大。暖冬使棉铃虫蛹越冬死亡率降低,越冬基数增大,有利蛹的成活率和蛹量增加,有利于次年流行和趋重发生,因此,各地在进行病虫害流行危害趋势预报时,均十分重视冬季的气温状况,特别是冬季极端低温的高低对病虫越冬影响较大^[1,22]。分析河西走廊东部武威凉州区玉米主产区冬季最低气温历年变化,呈逐年代增加趋势,线性倾向率增加值为 $0.58^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。特别是最冷月(1 月份)平均最低气温逐年代升高趋势更为显著(图 2),线性倾向率增加值为 $0.67^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$,特别是本世纪 2001—2010 线性倾向率高达 $0.7^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$,较 20 世纪 50 ~ 90 年代偏高 $1.7^{\circ}\text{C} \sim 4.3^{\circ}\text{C}$ 。计算越冬基数与 12 月上、中旬和次年 2 月中旬极端最低气温之间呈显著的正相关,相关系数在 $0.653 \sim 0.885$,均通过信度 0.01 的极显著水平检验。极端最低气温越高,越冬基数越高,反之则低。其中 2 月中旬极端最低气温每增加 1°C ,每样方越冬基数增加 6.4 头。如 2004 年 12 月中、下旬、2 月中旬极端最低气温分别为 -7.3°C 、 -8.8°C 、 -7.5°C ,越冬基数高达 107.7 头,创 1999 年以来最高值。2005 年同期极端最低气温分别为

-20.0°C 、 -19.2°C 、 19.0°C ,越冬基数下降至 32.7 头。冬季气温升高也有利于虫蛹越冬界限由川区向南部沿山地带扩展,进而使为害区域扩大。

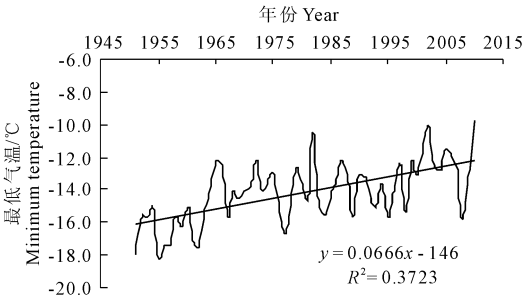


图 2 武威冬季最冷月(1 月)平均最低气温历年变化
Fig.2 The average minimum temperature in the coldest month (January) of Wuwei

3.2 热量的变化

计算武威玉米主产区稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初日,70 年代平均出现在 4 月 27 日,终日出现在 10 月 3 日,2001—2010 年分别出现在 4 月 23 日、10 月 11 日,较 70 年代初日提前 4 d、终日推后 8 d,初终日间隔日数增加 12 d。分析 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初终日之间积温变化,呈逐年代增加趋势(图 3),线性倾向率增加值为 $133^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。21 世纪 2001—2010 年平均为 $3\ 264^{\circ}\text{C}$,较 20 世纪 70 年代($2\ 879^{\circ}\text{C}$)偏多 385°C ,按棉铃虫发育起点温度 10°C ,完成 1 个世代约需积温 $560^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 计算^[13],可能发生的世代数 70 年代为 5.1 代,80 年代 5.3 代,90 年代 5.4 代,到 2001—2010 年增加为 5.8 代。说明随着气候的逐渐变暖,春季回暖快,秋季降温慢,棉铃虫羽化早,繁育和危害时间提前,危害期延长。同时由于 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温增多,适宜病虫害发生繁殖的时间相对延长,使世代数增多,对寄主作物的危害程度呈逐渐加重趋势。加之近年来热量条件改善,玉米主产区由中晚熟品种逐步调整为高产晚熟品种,作物生育期延长,为棉铃虫提供了充足的食料。

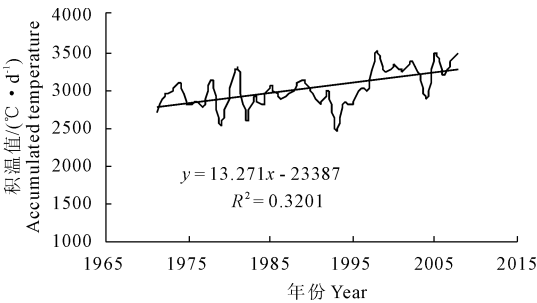


图 3 武威 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温历年变化
Fig.3 Accumulated temperature ($\geq 10^{\circ}\text{C}$) changes of Wuwei

另外,地膜覆盖玉米种植技术的推广,使河西玉米适宜种植海拔高度提高 200 ~ 250 m,玉米已在古浪等海拔 1 900 ~ 2 100 m 地区成功种植,种植带的扩展也为玉米棉铃虫的越冬、迁移、繁殖等活动提供了更广阔的生存地域空间。

3.3 灾害性天气的变化

随着气候变暖,气候极端事件的不确定性增加,对病虫害的影响也随之加大。早晚霜冻、强降温、暴雨等对棉铃虫的发生发展将起到明显的抑制作用。春季气温回升早,棉铃虫羽化时间提前,由于春季天气的不稳定性变化,尤其是倒春寒、低温、霜冻、降雨天气将大大降低棉铃虫成虫羽化率。春季霜冻出现越晚、越强,降水越多,棉铃虫死亡率越高。在秋季降温早的年份,棉铃虫滞育也早,若滞育阶段滞育蛹遇到一段时期的高温天气过程(例如 9 月或 10 月气温偏高),造成部分蛹羽化,而后遇到秋季低温、霜冻将导致全部羽化个体死亡。忽高忽低的剧烈变温是导致该阶段棉铃虫死亡的主要气候原因。

4 结论与讨论

1) 在甘肃河西地区,玉米棉铃虫百株卵量周年增长呈典型的“S”型生长曲线,即慢-快-慢规律。分为缓慢增长期(7 月 22 日~7 月 28 日)、快速增长期(7 月 28 日~8 月 9 日)和减速增长期(8 月 9 日~8 月 18 日)。百株卵量最大增长速度(拐点)出现在 8 月 3 日,其值为 $19.1 \text{ 粒} \cdot \text{d}^{-1}$,这一时期为生产上重点防治期。

2) 使用主成分方法建立了棉铃虫危害特征预测模型。建模中利用主成分有效降维,使气象指标权重达到最大。建立了卵始见期、卵高峰期持续时段、高峰期卵量和高峰期虫量预测数学模型,模型回代检验准确率在 78% ~ 89%,可用于研究区域棉铃虫发生程度的监测、预警业务应用。

3) 棉铃虫生态环境逐渐趋好。冬季(12 ~ 次年 2 月)最低气温呈逐年代增温趋势,线性倾向率为正值,每 10 年增温 0.58°C 。特别是最冷月(1 月份)平均最低气温增温更为显著,每 10 年增温 0.67°C 。稳定通过 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 初终日间隔日数呈逐年代增加趋势,2001—2010 年较 20 世纪 70 年代增加 12 d。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温呈逐年代增加趋势,每 10 年增加 133°C 。21 世纪 2001—2010 年较 70 年代增加 385°C 。

4) 气候变暖有利于棉铃虫安全越冬,越冬基数增加,次年成活率提高,虫源初始量增大,棉铃虫提早爆发;气候变暖和作物带移动使棉铃虫越冬界线

由川区向南部沿山地带扩展,危害范围扩大,原来过渡带有可能成为棉铃虫的稳定发生区;热量条件改善,使棉铃虫生长季节延长,繁殖代数增加,危害期延长,对寄主作物的危害程度逐渐加重;另一方面,随着气候变暖,气候极端事件的不确定性增加,对病虫害的影响也随之加大。早晚霜冻、强降温、暴雨等对棉铃虫的发生发展将起到明显的抑制作用。

影响棉铃虫消长的因素非常复杂,除气候变化自然因素影响外,人类活动也促进了棉铃虫的发生危害。一是近年来大力调整农业种植结构,提倡压夏扩秋,压缩小麦、扩大玉米、发展蔬菜及其它经济作物,使棉铃虫嗜食寄主作物的种类增加,栽培面积增大,作物链延长,取食条件和食料营养质量明显优化。二是栖息环境改善,多种作物不规则的相嵌式种植格局,有利于棉铃虫在不同作物间转移取食,加之日光温室面积的迅速增加,为棉铃虫提供了最佳越冬场所,活动时间和空间得到延长和扩展。三是近年来土壤耕翻时间推后,耕翻深度变浅甚至不耕翻(免耕法),更有利于棉铃虫在土壤中化蛹越冬,从而使越冬基数增加;四是农田防治中大量使用化学农药,使棉铃虫天敌减少,削弱了天敌的自然控害作用,也是导致棉铃虫持续大发生的重要原因之一。因此,在研究未来气候变化趋势和开展棉铃虫预报预测工作时,还要综合考虑上述人类活动的影响,使预报结果更接近实际和具有指导性。

参考文献:

- [1] 叶彩玲,霍治国.气候变暖对我国主要农作物病虫害发生趋势影响[J].中国农业信息快讯,2001,(4):9-10.
- [2] 程遐年,张孝羲,程极益.褐飞虱在中国东部秋季回迁的雷达观察[J].南京农业大学学报,1994,17(3):24-32.
- [3] Naidu R, Kookana RS, Baskaran S. Pesticide dynamics in the tropical soil plant ecosystem: potential impacts on soil and crop quality [C]// Seeking Agricultural Produce Free of Pesticide Residues. proceedings of an international Workshop, 17 ~ 19 February 1998, Yogyakarta, Indonesia. ACIAR Proceedings Series, 1998, 85: 171-183.
- [4] 陈素华,潘进军,王志春.气候变化对内蒙古马铃薯晚疫病流行的影响[J].干旱地区农业研究,2006,24(6):48-51.
- [5] 张强,邓振镛,赵映东,等.全球气候变化对我国西北地区农业的影响[J].生态学报,2008,28(3):1210-1218.
- [6] 姚玉璧,邓振镛,王润元,等.气候暖干化对甘肃马铃薯生产的影响研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):196-202.
- [7] 吴坤君,陈玉平,李明辉.温度对棉铃虫实验种群生长的影响[J].昆虫学报,1980,23(4):358-367.
- [8] 刘学义,王洪涛,高伟力,等.棉铃虫发生程度与降雨量关系的研究[J].农业科学与技术(英文版),2008,9(2):139-142.

也可以为一些水资源缺乏地区的水稻生产上提供品种支持。

参 考 文 献:

[1] Barker R, Dawe D, Tuong T P, et al. The outlook for water resources in the year 2020: challenges for research on water management in rice production[C]//Assessment and Orientation Towards the 21st Centur. Cairo, Egypt, 1998:96-109.

[2] Klemm W. Water saving in rice cultivation[C]//Assessment and Orientation Towards the 21st Centur. Cairo, Egypt, 1998:110-117.

[3] 康绍忠. 新的农业科技革命与 21 世纪我国节水农业的发展[J]. 干旱地区农业研究, 1998, (1):14-20.

[4] 罗利军, 张启发. 栽培稻抗旱性研究的现状与策略[J]. 中国水稻科学, 2001, (3):50-55.

[5] 杜家会, 董超, 汤翠凤, 等. 缅甸引进稻种资源苗期抗旱性鉴定[J]. 浙江农业学报, 2012, (5):764-770.

[6] 申时全, 曾亚文, 李自超, 等. 云南稻种核心种质抗旱性研究[J]. 中国农学通报, 2001, (5):6-8.

[7] 余新桥, 梅捍卫, 李明寿, 等. 节水抗旱杂交稻的选育和应用前景[J]. 分子植物育种, 2005, (5):637-641.

[8] 唐建淮, 李道远. 水旱两用型杂交稻“培杂桂旱一号”单季早作栽培技术[J]. 贵州农业科学, 2007, 35(6):120-124.

(上接第 118 页)

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

[10] 王勤英, 马学峰. 灰色系统模型对二代棉铃虫卵量的灾变性预测[J]. 昆虫学研究进展, 1997, 12:55-59.

[11] 王勤英, 季正端. 温室效应对棉铃虫发生与危害的影响[J]. 河北农业大学学报, 1996, 19(2):36-40.

[12] 张淑杰, 张玉书, 吴微微, 等. 辽宁省玉米螟发生程度的气象预报模型[J]. 中国农业气象, 2009, 30(2):262-266.

[13] 王勤英, 季正端. 温室效应对棉铃虫发生和危害的影响[J]. 河北农业大学学报, 1996, 19(2):36-40.

[14] 华尧楠, 王厚振, 肖云丽. 气象因素对棉铃虫种群数量变动的影响[J]. 中国农业气象, 1996, 17(1):38-40.

[15] 于玲, 杨彬云, 相云, 等. 不同气候年型棉铃虫气象指标系统的研究[J]. 中国农业气象, 2000, 21(3):27-32.

[16] 吴坤君, 陈玉平. 温度对棉铃虫实验种群生长的影响[J]. 昆虫学报, 1980, 23(4):360-362.

[17] 贾金明, 张相梅, 郭明荣, 等. 豫北多时效归一化棉铃虫气象预

[9] 梁耀懋. 广西栽培稻资源类型初析[J]. 西南农业学报, 1991, (3):10-14.

[10] 梁耀懋. 广西作物品种资源调查征集概况[J]. 广西农业科学, 1984, (4):23-26.

[11] 农保选, 夏秀忠, 梁耀懋, 等. 广西隆林县陆稻种质资源考察初报[J]. 广西农业科学, 2010, (2):104-107.

[12] 李丹婷, 夏秀忠, 农保选, 等. 广西地方稻种资源核心种质构建和遗传多样性分析[J]. 广西植物, 2012, (1):94-100.

[13] 韩龙植, 魏兴华. 水稻种质资源描述规范和数据标准[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.

[14] 胡标林, 余守武, 万勇, 等. 东乡普通野生稻全生育期抗旱性鉴定[J]. 作物学报, 2007, (3):425-432.

[15] 兰巨生. 农作物综合抗旱性评价方法的研究[J]. 西北农业学报, 1998, (3):92-94.

[16] 程建峰, 潘晓云, 刘宜柏, 等. 水稻抗旱性鉴定的形态指标[J]. 生态学报, 2005, 25(11):3117-3125.

[17] 张燕之, 周毓航, 曾祥宽, 等. 不同类型稻抗旱性鉴定指标研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2002, (2):90-93.

[18] 鲁雪林, 王秀萍, 张国新. 早稻抗旱性评价指标研究[J]. 中国农学通报, 2006, (1):124-126.

[19] 吕凤山, 侯建华. 陆稻抗旱性主要指标的研究[J]. 华北农学报, 1994, (4):7-12.

报模型[J]. 气象, 2007, 33(7):105-111.

[18] 周志香, 王志伟, 刘文平, 等. 棉铃虫综合因素预报研究[J]. 农业气象, 2000, 21(4):38-42.

[19] 魏风英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.

[20] 徐生海, 甘国福. 二代棉铃虫卵在玉米田的分布规律调查[J]. 植物保护, 2005, 31(1):76-78.

[21] 蒋菊芳, 魏育国, 刘明春. 石羊河流域玉米田棉铃虫发生气象条件分析预测[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(3):221-225.

[22] 霍治国, 刘万才, 邵振润, 等. 试论开展中国农作物病虫害危害流行的长期气象预测研究[J]. 自然灾害学报, 2000, 9(1):117-121.

[23] 郭小芹, 刘明春, 魏育国. 基于主成分分析的玉米棉铃虫预测模型研究[J]. 西北农业学报, 2010, 19(8):69-73.

[24] 刘明春, 蒋菊芳, 史志娟, 等. 小麦蚜虫种群消长气象影响成因及预测[J]. 中国农业气象, 2009, 30(3):440-444.