

石羊河流域玉米棉铃虫发生气象条件分析预测

蒋菊芳^{1,2}, 魏育国², 刘明春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 兰州 733000)

摘 要: 为深入了解石羊河流域玉米田棉铃虫的发生规律和准确预测其危害特征, 以石羊河流域 1999~2007 年玉米田棉铃虫和气象资料为基础, 运用膨化相关、SPSS 统计软件进行逐步回归、方差分析, 分析、模拟了气象因子与卵始见期、卵高峰持续期、高峰期百穗卵量关系和预测模型, 模型回代检验效果较好。结果表明: 棉铃虫累计百株卵量增长动态符合典型的“S”生长曲线, $N_t = 206.8536 / (1 + e^{3.8130 - 0.3703t})$, 呈缓慢增长—快速增长—减速增长。棉铃虫卵始见期与光热因子呈负相关, 与风、水分因子呈正相关; 高峰期百穗卵量与此恰恰相反。热量多、气温高使棉铃虫的繁殖力和生存力提高, 棉铃虫卵出现早、年发生程度重。棉铃虫卵期、蛹期相对于干旱利于卵的羽化, 使卵出现早、卵量增加。

关键词: 棉铃虫; 玉米田; 气象条件; 预测模型; 石羊河流域

中图分类号: S162.5⁺9; S435.622⁺.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)03-0221-05

在全球气候变暖、栖息环境改善、食料条件优化、天敌减少、新的种植结构下, 棉铃虫的发生期提前、危害期延长、危害程度加重^[1~4]。对此, 国内学者就棉铃虫做了大量卓有成效的研究工作, 认定环境因素中气候条件的时空变化是影响棉铃虫消长的主要外界条件, 同时对许多气象因子和指标进行了分析。吴坤君等研究表明棉铃虫发育速率与温度之间呈逻辑斯蒂曲线关系^[5]。王勤英等得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, 棉铃虫在全国四大棉区年发生世代数将普遍增加 1 代, 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^[6~8]。20 世纪 90 年代中期棉铃虫在石羊河流域玉米田发现以来, 发生危害程度日趋加重, 尤其是 1999~2003 年棉铃虫在玉米田大面积发生成灾, 目前已成为玉米穗期的主要害虫之一。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, 棉铃虫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%^[4]。故研究棉铃虫发生发展动态及关键气象影响因子, 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、减少农业生产成本具有积极现实意义, 同时为改善生态环境、提高经济效益提供决策依据。

1 数据来源和处理方法

1.1 试验区概况和数据来源

研究区域位于石羊河流域(河西走廊中东部), N 37°53'~39°10', E 102°43'~103°22'。流域 30 年平均气温 7.9℃, 每 10 年增温 0.036℃, ≥0℃的积温 3547.0℃, 平均降水量只有 213.4 mm, 蒸发量 1 890.0 mm, 日照时数 2 873.7 h。

1999~2007 年玉米田二代棉铃虫的发育期、发生面积、高峰期百穗卵量、2002 年百株卵量等资料由武威市农业技术服务中心植保站提供, 同期气象资料为武威市气象局地面观测资料。

1.2 处理方法

气象因子以旬、月为单位统计, 主要包括气温、降水、日照时数、风速、湿热系数(平均气温/相对湿度)等。以二代棉铃虫资料与对应气象资料运用膨化相关筛选因子, 经 SPSS 统计软件进行逐步回归、方差分析, 并建立起棉铃虫卵始见期、卵高峰持续期和高峰期百穗卵量的预报预测模式。

2 棉铃虫发生动态

2.1 发生危害趋势

据调查, 棉铃虫在石羊河流域玉米田发生程度以井水灌区最为严重, 风沙沿线灌区次之, 冷凉河水

收稿日期: 2008-11-29; 修回日期: 2009-01-04
基金项目: 公益性行业(气象)科研专项“西北地区旱作农业对气候变暖的响应特征及其预警和应对技术研究”(GYHY200806021)
作者简介: 蒋菊芳(1980—), 女, 甘肃武威人, 助理工程师, 学士, 主要从事农业气象与荒漠生态业务和科研工作。E-mail: www.eiyuguo@sohu.com, wwqxjif@163.com。

灌区最轻,且地理垂直分布差异明显,其中以海拔 1 450~1 750 m 的区域虫口密度较高^[4]。自 20 世纪 90 年代棉铃虫在此流域发现并于 1999 年在玉米田普遍发生以来,在 1999~2003 的连续 4 年内发生面积较大、危害程度严重,其中以 2001 年发生面积最大,达到 3.12 万 hm² (见图 1),占玉米播种面积的 72.1%,之后呈逐年减少趋势。另外,据统计 1999 年之前棉铃虫在玉米田只是零星分布,未造成经济损失。

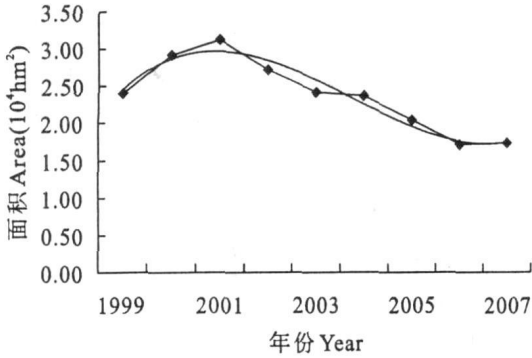


图 1 棉铃虫发生面积动态曲线

Fig. 1 The dynamic curve of bollworm occurrence area

2.2 卵量增长动态

于 2002 年 7 月 22 日开始在武威市六坝乡定位观测点对 2 代棉铃虫百株卵量进行调查,每隔 3 d 观测 1 次百株卵量。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,并呈现波动性。

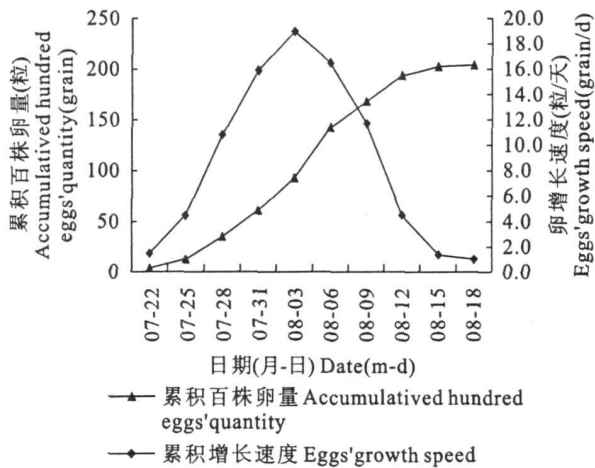


图 2 棉铃虫卵增长动态曲线

Fig. 2 The dynamic curve of bollworm eggs' growth

对棉铃虫卵增长动态进行回归分析,得出其变

化动态符合典型的“S”型生长曲线,可用逻辑斯蒂方程修正式来描述,拟合方程如下:

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

$R = 0.9829 > R_{0.01}$, 回归检验效果显著。其中式(1)中 N_t 表示百株卵量; t 表示日期。对(1)式求一阶导数可得到卵增长速度(见图 2),最大增长速度(拐点)出现在 8 月 3 日,其值为 19.1 粒/d;求二阶导数可得到线性增长的两个特征点,对应时间分别为 7 月 28 日和 8 月 9 日,这段时间增长速度最快,其值为 14.2 粒/d 和 14.6 粒/d。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)。

2.3 高峰期变化趋势

石羊河流域二代棉铃虫由卵到幼虫的蜕变需 6~12 d,高峰期幼虫量占卵量的 30%~63%。卵高峰期开始时间最早出现在 7 月 16 日,结束时间最迟 8 月 25 日,持续时间长达 9~28 d,且 1999~2007 年高峰期持续时间呈缩短态。虫高峰期开始时间最早出现在 8 月 8 日,结束时间最迟 9 月 17 日,持续时间长达 13~32 d,且幼虫高峰期持续时间亦呈缩短趋势。

3 气象因子分析及预测模型

3.1 卵始见期

3.1.1 卵始见期的气象因子分析 石羊河流域棉铃虫来年卵始见期与冬季 1 月份浅层地温(20 cm)呈显著负相关,相关系数为-0.803,冬季地温低,影响卵的正常越冬,来年卵出现时间迟,反之,则出现时间早。3 月中旬的蒸发、日照时数与卵始见期亦呈显著负相关,日照时间长,蒸发大,光热充足,促进了蛹羽化出土,使卵出现期提早。2~3 月降水日数、3 月上中旬相对湿度与棉铃虫卵始见期有显著正相关性,相关系数分别达 0.904、0.870,通过 0.01 水平检验(见表 1)。水分因子抑制其发生发展,棉铃虫卵期、蛹期相对干旱有利于卵的羽化和孵化,使卵出现早。棉铃虫以蛹越冬,石羊河流域一代棉铃虫主要危害小麦、蔬菜,二、三代主要危害玉米,风速的大小只影响棉铃虫成虫的蔓延和迁移。5 月、6 月平均风速与棉铃虫的卵始见期呈显著正相关,说明此时正是一代棉铃虫向玉米转移的时期。

表 1 卵始见期与气象因子的相关系数

Table 1 The correlation coefficient between meteorological factors and the beginning date of eggs' appearance

气象因子 Meteorological factor	<i>Td</i>	<i>Zx</i>	<i>Ti</i>	<i>Ta</i>	<i>N</i>	<i>Ux</i>	<i>S</i>	<i>V</i> (5)	<i>V</i> (6)
卵始见期 The beginning date of eggs' appearance	-0.803**	-0.893**	-0.744*	-0.792*	0.904**	0.870**	-0.751*	0.714*	0.764*

注:卵始见期(卵出现的最早日期);地温(*Td*—1月20 cm);旬蒸发(*Zx*—3月中旬);平均最低气温(*Ti*—3月);平均最高气温(*Ta*—7月);降水日数(*N*—2~3月);旬相对湿度(*Ux*—3月上、中旬);旬日照(*S*—3月中旬);平均风速(*V*—5、6月);**表示通过0.01极显著水平检验,*通过0.05显著水平检验。

Note: The beginning date of eggs' appearance(The earliest day of eggs' appearance); Soil temperature(*Td*—January 20 cm); 10-day evaporation(*Zx*—mid 10-day of March); Lowest mean temperature(*Ti*—March); Highest mean temperature(*Ta*—July); Days of rainfall(*N*—February—March); 10-day relative humidity(*Ux*—first and mid 10-day of March); 10-day sunshine(*S*—mid March); Mean wind speed(*V*—May and June); ** means significant level at 0.01%, and * means significant level at 0.05%.

3.1.2 卵始见期预测模型 针对近几年棉铃虫在玉米上发生的新特点,对影响玉米棉铃虫发生的气象条件进行了定量定性分析,找到了影响棉铃虫发生发展的主要气象因子^[9,10],并在此基础上建立了卵始见期模式。

卵始见期预测模型:
$$Y=5.543-0.528X_1+4.503X_2+0.279X_3+4.891X_4$$
$$(F=212.89>F_{0.01}=16.0, R=0.998, N=9, \text{信度} 0.01), \text{回归检验效果显著。}(2) \text{式中,} Y \text{ 为玉米棉铃虫卵始见期(规定 7 月 1 日为 1); } X_1 \text{ 为 3 月中旬蒸发量; } X_2 \text{ 为 6 月平均风速; } X_3 \text{ 为 3 月中旬日照时数; } X_4 \text{ 为 5 月平均风速。将各年的因子代入模型进}$$

行回代检验,卵始见期模型的历史符合率为 100%,预测效果理想(见表 4)。

3.2 卵高峰持续期

3.2.1 卵高峰持续期的气象因子分析 卵高峰持续期与 7 月上旬的 $\Sigma \geq 15^{\circ}\text{C}$ 、旬平均气温呈极显著负相关,而与 7 月下旬的诸要素却呈极显著正相关(见表 2)。7 月下旬是玉米田卵盛期,亦是防治适期。卵高峰持续期与 7 月上旬极端最高气温呈极显著负相关、与 7 月上旬的相对湿度呈显著正相关,相关系数分别为-0.807、0.840(表 1),7 月上旬极端最高气温是限制棉铃虫卵活动的上限温度,此时石羊河流域温高水少,湿度成为关键因子。

表 2 卵高峰持续期与气象因子的相关系数

Table 2 The correlation coefficient between meteorological factors and eggs' duration time of peak

气象因子 Meteorological factor	$\Sigma \geq 15^{\circ}\text{C}$	<i>Tx</i>	<i>Ux</i>	<i>Th</i>	<i>R</i>
卵高峰持续期 Eggs' duration time of peak	-0.832**0.806**	-0.835**0.802**	0.840**	-0.807**	0.831**

注:卵高峰持续期(百穗卵量达到最多时的持续时间); $\Sigma \geq 15^{\circ}\text{C}$ (7月上、下旬);旬平均气温(*Tx*—7月上、下旬);旬极端最高气温(*Th*—7月上旬);旬相对湿度(*Ux*—7月上旬)旬降水(*R*—8月);**表示通过0.01极显著水平检验,*通过0.05显著水平检验。

Note: Eggs' duration time of peak (Duration of eggs' peak quantity in 100 spikes); $\Sigma \geq 15^{\circ}\text{C}$ (First and last 10-day of July); 10-day mean temperature(*Tx*—first and last 10-day of July); 10-day extreme high temperature(*Th*—first 10-day of July); 10-day relative humidity(*Ux*—first 10-day of July); 10-day precipitation(*R*—August); ** means significant level at 0.01%, and * means significant level at 0.05%.

3.2.2 卵高峰持续期预测模型

卵高峰持续期持续时间模型:
$$Y=41.497+0.398X_1-1.385X_2$$
$$(F=18.785>F_{0.01}=10.9, R=0.929, N=9, \text{信度} 0.01), \text{回归检验效果显著。}(3) \text{式 } Y \text{ 为卵高峰持续期; } X_1 \text{ 为 7 月上旬相对湿度; } X_2 \text{ 为 7 月上旬极端最高气温。卵高峰持续期模型检验中,只有 1 a 误差较大,而其它相差 1~2 d,总体误差较小(见表 4)。}$$

3.3 高峰期百穗卵量

3.3.1 高峰期百穗卵量气象因子分析 高峰期百穗卵量与冬季温度呈正相关,气温高,有利于虫卵安全越冬。与 4 月上旬 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 积温、7 月平均最高气温呈显著正相关,与 6 月平均最低气温呈显著负相关(见表 3),相关系数分别达 0.704、0.826、-0.723,说明热量多、气温高有利于提高棉铃虫的繁殖力和生存力,使棉铃虫年发生程度重。2~3 月降水日数

与高峰期卵量呈负相关, 相关系数达 -0.737 , 水分因子抑制其发生发展, 棉铃虫卵期、蛹期相对干旱利于卵量的增加。1999~2006 年损失产量高达 5.8~27.8 万 kg。

表 3 高峰期卵量与气象因子的相关系数

Table 3 The correlation coefficient between meteorological factors and eggs' peak quantity

气象因子 Meteorological factor	Td	$\Sigma \geq 15^{\circ}\text{C}$	Ti	Ta	N	Ux	S
高峰期卵量 Eggs' peak quantity	0.753 *	0.704 *	$-0.723 *$	0.826 **	$-0.737 *$	-0.473	0.722 *

注: 高峰期卵量(高峰期百穗卵量最多时的卵量); 地温($Td-1$ 月 20 cm); $\Sigma \geq 15^{\circ}\text{C}$ (4 月上旬); 平均最低气温($Ti-6$ 月); 平均最高气温($Ta-7$ 月); 降水日数($N-2-3$ 月); 旬相对湿度($Ux-3$ 月上、中旬); 旬日照($S-3$ 月中旬); ** 表示通过 0.01 极显著水平检验, * 通过 0.05 显著水平检验。

Note: Eggs' peak quantity (Eggs' peak quantity in 100 spikes); Soil temperature (Td -January 20 cm); $\Sigma \geq 15^{\circ}\text{C}$ (First 10-day of April); Lowest mean temperature (Ti -June); Highest mean temperature (Ta -July); Days of precipitation (N -February-March); 10-day relative humidity (Ux -first and mid 10-day of March); 10-day sunshine (S -mid March); ** means significant level at 0.01%, and * means significant level at 0.05%.

3.3.2 高峰期百穗卵量预测模型

高峰期百穗卵量(年发生程度)模型:
$$Y = -366.813 + 23.883X_1 - 0.907X_2 - 2.383X_3 - 11.364X_4 \quad (4)$$
 $(F = 249.979 > F_{0.01} = 16.0, R = 0.998, N = 9,$
信度 0.01), 回归检验效果显著。(4) 式 Y 为高峰期

百穗卵量(粒/百穗); X_1 为 7 月平均最高气温; X_2 为 4 月上旬 $\geq 15^{\circ}\text{C}$ 的积温; X_3 为 3 月降水日数; X_4 为 6 月平均最低气温。将因子回代, 高峰期卵量每百穗相差 0.7~3.8 粒, 误差百分率在 1.1%~15.6%, 检验效果较好(见表 4)。

表 4 棉铃虫气象预测模型历史回代检验结果

Table 4 The back substitution test results for last years of meteorological prediction models' bollworm

年份 Year	卵始见期(d) The beginning date of eggs' appearance			卵高峰持续期(d) Eggs' duration time of peak			高峰期卵量(粒/百穗) Eggs' peak quantity per 100-spike		
	实际值 Actual value	预测值 Predictive value	误差(天) Error(d)	实际值 Actual value	预测值 Predictive value	误差(天) Error(d)	实际值 Actual value	预测值 Predictive value	误差(%) Error
1999	20	20	0	28	27	1	40.6	43.6	7.4
2000	19	19	0	23	19	4	140.8	137	2.7
2001	10	10	0	13	11	2	125.6	127	1.1
2002	22	22	0	18	20	-2	70	73.1	4.1
2003	31	32	-1	18	19	-1	60.5	61.2	1.1
2004	25	25	0	9	10	-1	52.4	53.3	1.7
2005	27	27	0	16	18	-2	30.6	31.5	3.1
2006	28	27	1	16	17	-1	22.8	19.2	15.6
2007	30	30	0	17	18	-1	28.6	25.8	9.7

注: 卵始见期日期以 7 月 1 日为 1, 卵高峰持续期以天为单位。
Note: 1 means the beginning date of eggs' appearance is July 1.

4 结果与讨论

1) 自 20 世纪 90 年代棉铃虫在石羊河流域发现并于 1999 年在玉米田普遍发生以来, 发生危害程度趋重, 以 2001 年最为严重, 之后呈减小态势。

2) 棉铃虫累计百株卵量增长动态符合典型的“S”生长曲线, 拟合方程为 $N_t = 206.8536 / (1 + e^{3.8130 - 0.3703t})$, 可将其划分为缓慢增长期(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)。

3) 卵始见期与浅层地温、3 月中旬的蒸发、日照时数呈负相关, 与水分因子 2~3 月降水日数、相对湿度呈正相关, 高峰期百穗卵量与此恰恰相反。说明冬季温度低, 来年卵出现迟、卵量少; 热量多、气温高有利于提高棉铃虫的繁殖力和生存力, 使棉铃虫年发生程度重。棉铃虫卵期、蛹期相对干旱有利于卵的羽化和孵化, 使卵出现早、卵量增加。5 月、6 月平均风速与棉铃虫的卵始见期呈显著正相关, 说明此时正是一代棉铃虫向玉米转移的时期。7 月下旬是玉米田卵盛期, 亦是防治适期。

4) 运用膨化相关筛选因子、SPSS 统计软件进行逐步回归、方差分析,建立的棉铃虫卵始见期、卵高峰持续期、高峰期百穗卵量的预测模型回代检验准确率较高,具有实际意义,有助于指导农业防治。

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的影响[J].中国农业信息快报,2001,(4):9-10.
[2] 李淑华.气候变暖对病虫害的影响及防治对策[J].中国农业气象,1993,14(1):41-43.
[3] 屈西峰,邵振润,王建强.30 年来我国棉铃虫预测预报的进展[J].昆虫知识,1996,33(6):357-362.

[4] 甘国福,彭治云.武威市农作物病虫害草害综合治理研究[M],兰州:兰州大学出版社,2003:182-232.
[5] 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.
[6] 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.
[7] 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.
[8] 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.
[9] 李火苟,汤建国,刘定忠,等.棉铃虫发生动态及其与气候因素的关系[J].江西农业大学学报,1998,20(4):481-484.
[10] 王海东.淮北地区棉铃虫发生程度与防治适期气象预报模式探讨[J].中国棉花,2001,28(2):14-15.

Meteorological condition analysis and prediction for occurrence
of corn fields ' Bollworm in Shiyang River basin

JIANG Ju-fang^{1,2}, WEI Yu-guo², LIU Ming-chun²

(1. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of CMA, Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou, Gansu 730020; 2. Wuwei Meteorological Bureau, Wuwei, Gansu 733000, China)

Abstract: In order to study the occurrence rules and perfect forecast the harm characteristic of corn fields ' bollworm in Shiyang River basin, based on the datas of meteorological and bollworm in Shiyang River basin from 1999 to 2007, we, using puffs related and 'spss' software counts, analyzed and simulated prediction model between meteorological factors and the beginning see term of eggs, eggs ' peak continuing, eggs ' quantity of peak each hundred ears by stepwise regression and variance analysis. The prediction effect was preferable. The results showed that the accumulative dynamic of bollworm eggs was "S" growing curve, the equation was $N_t=206.8536/(1+e^{3.8130-0.3703t})$, assuming the slow growth ~accelerating growth~decelerating growth. The light and heat factors were negative correlation to the beginning see term of eggs. The water factors and wind restrained positive correlation to the beginning see term of eggs. They were on the contrary to eggs ' quantity of peak each hundred ears. If the heat was much and the temperature was high, the bollworm ' s fecundity and viability advanced,the eggs occurrence was early and the year occurrence degree was worse. If the egg and pupal stage were comparatively arid, it ' s good to eggs ' eclosio and good to egg ' s quantity increasing and egg ' s early occurrence.

Keywords: Bollworm (*Heliothis amigera*); Shiyang River basin; corn field; meteorological condition; prediction model