

棉铃虫羽化高峰期有效积温预测法的校正^{*}

马吉宏^{1**} 吕昭智^{1***} 刘永建² 张娟^{1,3} 高桂珍^{1,3} 夏德萍¹

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所 中国科学院干旱区生物地理与生物资源

重点实验室 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆石河子炮台镇农业技术

推广站 石河子 832066; 3. 中国科学院研究生院 北京 100049)

摘 要 为减小年际间气温变化对昆虫有效积温预测误差的影响,以新疆石河子垦区 121 团棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 羽化高峰期为例,利用 single sine 模型分别计算 12 年 2 种有效积温范围 (10 ~ 30℃ 和 10 ~ 35℃) 的累计有效积温值,并获得其多年平均值,依此进行棉铃虫羽化高峰期预测;通过当年与 12 年 (有效积温 > 0 日期至羽化高峰日期) 平均气温之差,对预测误差进行校正。结果表明:当年平均气温与 12 年平均值差值越大,预测误差也越大;各代直线回归校正模型均达到显著水平 ($P < 0.05$); 2 种有效积温范围下,校正后各代平均预测误差天数均有所减少,对越冬代误差校正效果最优,校正后各代历史符合率分别为 83.33%、100%、100% 和 100%、100%、93.33%。该校正方法能够显著提高预测准确度,尤其适用于年际间棉铃虫发育期间平均气温变化较大的代别和地区,同时可为多种害虫预测误差校正提供了依据。

关键词 棉铃虫, 高峰期, 有效积温, 平均气温, 校正

A method for reducing error in estimating the effective accumulated temperature of the *Helicoverpa armigera* eclosion peak

MA Ji-Hong^{1**} LV Zhao-Zhi^{1***} LIU Yong-Jian² ZHANG Juan^{1,3} GAO Gui-Zhen^{1,3} XIA De-Ping¹

(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Key Laboratory of Biogeography and Bioresource in Arid Land,

Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China; 2. Paotai Agrotechnical Station, Shihezi 832066, China;

3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract In order to reduce the effect of year temperature variations on effective accumulated temperature forecasting error, we calculated the effective accumulated temperatures of 12 years separately and the average level in two effective accumulated temperature ranges (10 – 30℃, 10 – 35℃) with a single sine model in Farm 121, Xinjiang. We then predicted eclosion peaks of *Helicoverpa armigera* (Hübner) in different years based on the average level. Finally, we corrected the number of forecasted error days through the difference between the average temperature of the forecasted year and that of the 12 year period (date from effective accumulated temperature above 0℃ to eclosion peak). The results indicate that the prediction error was larger when there were larger gaps between single years and 12 year average temperatures. A linear regression model of all generations was significant level ($P < 0.05$). In the two effective accumulated temperature ranges, the number of corrected forecasted error days was fewer than uncorrected in all generations. The method was more effective for overwintering generations; historical coincident rates of all generations were 83.33%, 100%, 100% and 100%, 100%, 93.33%, respectively. This method can improve forecasting accuracy, especially for generations and regions in which average temperatures vary greatly between years. It also can provide a theoretical foundation for reducing the forecasting error for many other pests.

Key words *Helicoverpa armigera*, peak, effective accumulated temperature, average temperature, correction

* 资助项目:院地合作专项 (XBJJ-2011-029)、国家国际科技合作专项 (2011DFA33170)。

**E-mail: majihong08@mails.gucas.ac.cn

***通讯作者, E-mail: zhaozhi@ms.xjb.ac.cn

收稿日期:2012-02-11, 接受日期:2012-04-12

棉铃虫 *Helicoverpa armigera* (Hübner) 是一种易成灾的世界性害虫,主要危害棉花、玉米和小麦等多种重要作物(戴小枫和郭予元,1994)。气候条件是影响棉铃虫种群变动及其区域性灾害的主要因素(中国农科院棉花研究所,1982;吴孔明和郭予元,1997,2000)。新疆近年耕作制度变化巨大,90年代以来棉铃虫在新疆各主要棉区频繁爆发,并且种群数量总体上仍呈上升趋势(李号宾等,2006),已经成为新疆棉区的重要害虫之一。棉铃虫危害程度和发生期年际间变化较大,因此建立一套科学准确的预测预报体系,是棉铃虫有效综合治理的基础,对新疆棉花生产有重要意义。

有效积温法已广泛应用于多种昆虫发生的预测(焦晓国等,2006; Damos and Savopoulou-Soultani,2010;曾爱平等,2010),国际上多通过 sine 函数拟合温度变化(Kenneth,1983; Lindblad and Sigvald,1996;杨燕涛,2001),但由于各地年内、年际间气温变化各异,某些地区预测的误差较大。新疆北部地区为典型的大陆性干旱气候,气温等气象要素年际间变化较大,特别是春季倒春寒等气象过程,不仅影响越冬代蛹羽化,同时也会影响到第1代和第2代的羽化过程,导致对防治关键时刻的预测产生较大误差。本文以新疆石河子垦区121团为例,旨在通过各年份与多年棉铃虫发育期间平均气温的差异对原有预测方法的误差进行校正,减小年际间气温变异对预测结果的影响,同时为提高其它害虫发生预测准确度提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

新疆石河子垦区121团1980—1982、1984—1987、1990—1991、1996、1998—1999年,共12年气象监测和棉铃虫发生量数据,由新疆石河子垦区121团农技站提供。

1.2 方法

1.2.1 棉铃虫羽化高峰期数据 每年4月初至9月底设置黑光灯诱集棉铃虫,监测棉铃虫种群动态。灯诱采用黑光灯(功率30 W),选择棉田间无遮挡物的空地,架灯高度为离地面1.5~2 m,每天日落后开灯,早晨日出关灯,将棉铃虫成虫分出并记录数量。

棉铃虫在新疆北部为不完全的3代(吕昭智等,2005),各代高峰期为达到当代总蛾量的50%的日期距1月1日的天数(张孝曦,2002)。采用越冬代、第1代和第2代羽化高峰期数据。

1.2.2 各代棉铃虫羽化高峰期有效积温计算

参照吕昭智等(2003)的方法,利用全年的气象数据,在美国加利福尼亚州立大学 DEGREE-DAY UTILITY (DDU 版本 2.3) (Degree-day Utility) 软件下计算有效积温。计算采用 single sine 方法,选用 horizontal 方法修正(吕昭智等,2006);计算中键入参数有:发育起点温度(low temperature threshold)、发育上限温度(upper temperature threshold)、每天的最高气温 $T_{\max}$ (maximum temperature) 和最低气温 $T_{\min}$ (minimum temperature);选择输出的数据为:计算并累计有效积温 (calculate and accumulate degree-days),计算结果为全年每天的累积有效积温值。结合棉铃虫实际羽化高峰期(D),获得不同有效积温范围内各代棉铃虫羽化高峰期累积有效积温值。

1.2.3 不同预测标准下各代棉铃虫羽化高峰期预测及预测误差 以10~30℃有效积温范围1980年越冬代为例,说明计算方法和过程,其它年份、代和预测标准计算方法相同。取越冬代羽化高峰日期累积有效积温12年平均值(CHU),以CHU值为蛾量高峰期所需累计有效积温预测值,累积有效积温值接近或等于CHU值的日期为有效积温法预测羽化高峰期预测日期(d),预测误差天数为实际高峰期与预测高峰期的差值 $\Delta d_{1980\text{越冬代}} = D_{1980\text{越冬代}} - d_{1980\text{越冬代}}$ ($D_{1980\text{越冬代}}$ 为1980年越冬代实际羽化高峰期; $d_{1980\text{越冬代}}$ 为1980年越冬代预测羽化高峰期)。

1.2.4 预测误差的校正 以10~30℃有效积温范围1980年越冬代为例,说明计算方法和过程,其它年份、代和预测标准计算方法相同。

1.2.4.1 多年越冬代发育期间平均气温

$$T_{\text{越冬代}} = (t_{1980\text{越冬代}} + t_{1981\text{越冬代}} + \dots + t_{1999\text{越冬代}}) / 12 \quad (1)$$

式中 $t_{1980\text{越冬代}}$ 为1980年有效积温>0之日(3月26日)到越冬代羽化高峰期(5月26日)的日平均气温的均值,其他年份计算方法相同。

1.2.4.2 当年日平均气温与其多年平均值的差值 (有效积温>0之日~当代蛾量高峰期)

$$\Delta t_{1980\text{越冬代}} = T_{\text{越冬代}} - t_{1980\text{越冬代}} \quad (2)$$

1.2.4.3 建立直线回归校正模型 建立越冬代 12 年的校正因子 Δt 和校正量 Δd 直线回归校正模型 (OriginPro 7.5)。

$$\Delta d = a + b \times \Delta t \pm 2S_{\text{越冬代}} \quad (3)$$

式中 $S_{\text{越冬代}}$ 为回归估计标准误, a 和 b 为拟合参数。

1.2.4.4 误差天数校正 利用 $\Delta t_{1980\text{越冬代}}$, 通过直线回归校正模型, 得到校正天数 ($\Delta d_{1980\text{越冬代校正}}$),

$$\Delta d_{1980\text{越冬代校正}} = a + b \times \Delta t_{1980\text{越冬代}} \pm 2S_{\text{越冬代}} \quad (4)$$

式中 $\Delta d_{1980\text{越冬代校正}}$ 为校正模型校正值。

$$\Delta d_{1980\text{越冬代校正后}} = \Delta d_{1980\text{越冬代}} - \Delta d_{1980\text{越冬代校正}} \quad (5)$$

式中 $\Delta d_{1980\text{越冬代校正后}}$ 为校正后预测误差天数, $\Delta d_{1980\text{越冬代}}$ 为物候学预测误差天数, $\Delta d_{1980\text{越冬代校正}}$ 为校正模型校正天数。

1.3 统计分析方法

利用 SAS 统计软件 (SAS Institute Inc., 1996) (GML 过程) 对 2 种有效积温范围下不同代校正前后平均预测误差天数进行方差分析, 差异显著时进行多重比较 (SAS Institute Inc., 1996) (ANOVA 过程)。

2 结果与分析

2.1 2 种预测标准各代棉铃虫羽化高峰期累计有效积温值

害虫预测预报研究中多选择 5、10 或 15℃ 为发育起点温度, 30℃ 或 35℃ 为发育上限温度, 本文以 10~30℃ 和 10~35℃ 2 种有效积温范围为例, 计算棉铃虫各代羽化高峰期累积有效积温值 (表 1)。

表 1 2 种有效积温范围的各代棉铃虫羽化高峰期累积有效积温值
Table 1 Effective accumulated temperature of all generation eclosion peaks in two ranges

年份 Year	10~30℃ 积温范围的累积有效积温 (日·度) Effective accumulated temperature in 10—30℃ (degree days)			10~35℃ 积温范围的累积有效积温 (日·度) Effective accumulated temperature in 10—35℃ (degree days)		
	越冬代 Overwintering generation	第 1 代 1 st generation	第 2 代 2 nd generation	越冬代 Overwintering generation	第 1 代 1 st generation	第 2 代 2 nd generation
1980	372.84	1 022.98	1 549.88	366.43	1 044.93	1 598.60
1981	409.08	991.09	1 612.04	407.78	1 013.65	1 666.65
1982	359.91	—	1 515.10	362.18	—	1 574.38
1984	157.71	1 057.58	1 584.32	154.93	1 077.22	1 628.07
1985	406.32	1 081.87	1 635.04	404.15	1 101.56	1 674.38
1986	401.03	1 006.92	1 600.59	397.56	1 020.84	1 647.12
1987	251.06	1 099.27	1 698.53	248.21	1 125.16	1 756.31
1990	580.81	1 066.63	1 697.39	584.17	1 091.76	1 741.54
1991	508.19	1 083.91	1 731.92	511.18	1 110.48	1 760.98
1996	642.02	1 184.75	1 719.01	652.03	1 220.40	1 781.65
1998	614.22	998.95	1 680.94	613.50	1 026.57	1 742.65
1999	899.84	1 220.25	1 740.50	906.00	1 243.61	1 782.90
平均 Mean	466.92	1 074.02	1 647.11	467.34	1 097.83	1 696.27

注:—表示数据缺失。下表同。— indicates the lack of data. The same below.

10~30℃ 积温范围, 12 年越冬代、第 1 代和第 2 代累积有效积温平均值 (CHU) 分别为: 466.92、1074.02 和 1647.11 日·度; 10~35℃ 积温范围,

12 年越冬代、第 1 代和第 2 代累积有效积温 (CHU) 平均值分别为: 467.34、1 097.83 和 1 696.27 日·度 (表 1) (1982 年第 1 代羽化高峰

期数据缺失)。

10~30℃积温范围各代CHU与各年累积有效积温最大差值分别为:432.92、146.23和132.01日·度;10~35℃积温范围各代CHU与各年累积有效积温最大差值分别为:438.66、145.78和121.89日·度。

2种有效积温范围累积有效积温极差均为越冬代最大,分别为484.31和497.10日·度,接近多年越冬代平均累计有效积温,第2代最小(表1)。2种预测标准下各代高峰期累积有效积温极差均是随代数增加而减小。

2.2 有效积温法预测高峰期

预测高峰期与真实高峰期之间的差值天数 Δd ,及年内平均气温与多年平均气温差值(有效积

温 >0 之日至当代蛾量高峰期) Δt 见表2。

10~30℃积温范围越冬代1999年预测日期误差最大,比实际日期早32d,当年平均气温偏差仅次于1984年, Δt 为4.23℃;1991年预测误差最小,比实际日期早3d,当年 Δt 为1.51℃;越冬代预测误差大于10d的有5个年份;第1代1981年预测误差最大,比实际日期晚11d;第2代1982年预测误差最大,比实际日期晚22d, Δt 为-2.32℃。

10~35℃积温范围越冬代1984和1999年预测日期比实际日期分别晚31d和早31d,当年 Δt 分别为-4.66℃和4.23℃。第1代1999年预测日期比实际日期早8d, Δt 为1.53℃;第2代1982年预测日期比实际日期晚8d, Δt 为-1.13℃。

表2 温度差值 Δt (℃)与single sine有效积温法预测误差天数 Δd (d)
Table 2 Temperature difference Δt (°C) and forecast error Δd (d) by single sine method

年份 Year	10~30℃积温范围(日·度) Effective accumulated temperature in 10—30℃ (degree days)						10~35℃积温范围(日·度) Effective accumulated temperature in 10—35℃ (degree days)					
	越冬代 Overwintering generation		第1代 1 st generation		第2代 2 nd generation		越冬代 Overwintering generation		第1代 1 st generation		第2代 2 nd generation	
	Δt	Δd	Δt	Δd	Δt	Δd	Δt	Δd	Δt	Δd	Δt	Δd
1980	-0.51	-8	-0.01	-3	-0.04	-7	-0.51	-9	-0.01	-3	-0.04	-7
1981	-0.53	-6	-0.73	-11	-0.32	-2	-0.53	-6	-0.73	-4	-0.32	-2
1982	-2.32	-8	—	—	-1.13	22	-2.32	-8	—	—	-1.13	-8
1984	-4.66	-30	-1.25	-1	-1.11	-6	-4.66	-31	-1.25	-2	-1.11	-6
1985	0.18	-6	0.23	1	0.04	-1	0.18	-6	0.23	0	0.04	-2
1986	-0.25	-5	-0.60	-4	-0.20	-4	-0.25	-6	-0.60	-4	-0.20	-4
1987	-1.72	-20	0.04	2	0.15	4	-1.72	-20	0.04	2	0.15	5
1990	1.31	8	0.03	0	0.20	4	1.31	8	0.03	-6	0.20	4
1991	1.51	3	0.65	1	0.83	3	1.51	3	0.65	-5	0.83	4
1996	1.76	13	0.56	7	0.39	5	1.76	13	0.56	8	0.39	6
1998	0.99	11	-0.44	-5	0.18	3	0.99	11	-0.44	-5	0.18	3
1999	4.23	32	1.53	9	1.02	6	4.23	31	1.53	8	1.02	5

2.3 预测误差天数校正

分别建立2种预测标准下各代校正量 Δd 和校正因子 Δt 的直线回归校正模型,10~35℃第1代达到显著水平($P<0.05$),其它均达到极显著水平($P<0.01$)(表3)。

2.4 校正前后有效积温法预测误差天数比较

利用各代各年份 Δt 值,通过校正回归模型,对预测结果进行了校正(图1,2)。

校正前10~30℃越冬代、第1代和第2代最大误差天数为32、11和22d,校正后为9、7和9d,校正前平均误差天数分别为 (12.5 ± 2.80) 、 (4.00 ± 1.10) 和 (5.58 ± 1.57) d,校正后分别为: (4.17 ± 0.79) 、 (2.45 ± 0.72) 和 (3.67 ± 0.67) d,均少于

表 3 2 种有效积温范围直线回归校正模型

Table 3 Linear regression models of two kinds of effective accumulated temperature ranges

积温范围 Effective accumulated temperature	代数 Generation	回归方程 Linear regression model	R	P
10—30℃	越冬代 Overwintering generation	$Y = -1.33336 + 6.77961 X \pm 5.63$	0.950	<0.01
	第 1 代 1st generation	$Y = -0.36361 + 5.61755 X \pm 7.40$	0.773	<0.01
	第 2 代 2nd generation	$Y = -1.41669 + 9.86083 X \pm 9.49$	0.817	<0.01
10—35℃	越冬代 Overwintering generation	$Y = -1.66669 + 6.80043 X \pm 10.60$	0.950	<0.01
	第 1 代 1 st generation	$Y = -0.99998 + 4.04329 X \pm 8.35$	0.614	0.045
	第 2 代 2 nd generation	$Y = -0.16668 + 6.50791 X \pm 6.42$	0.810	<0.01

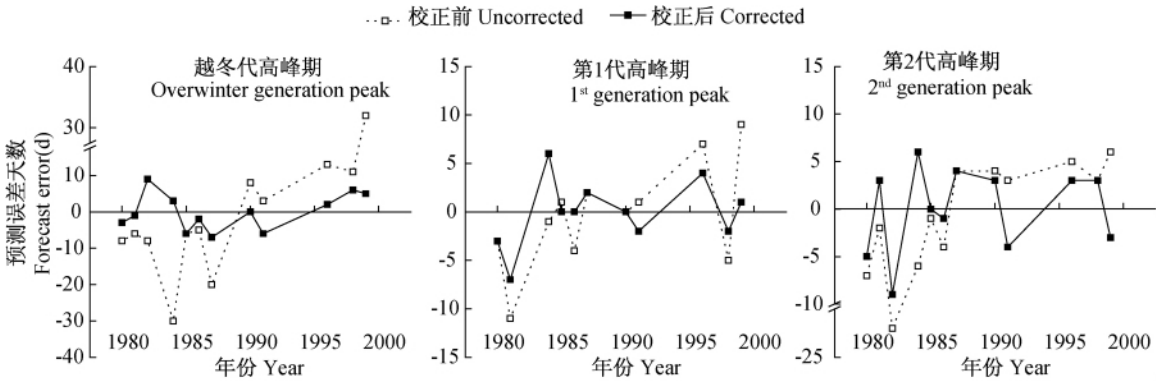


图 1 10 ~ 30℃有效积温范围校正前后预测误差天数比较

Fig. 1 Uncorrected and corrected forecast error days in 10—30℃ effective accumulated temperature range

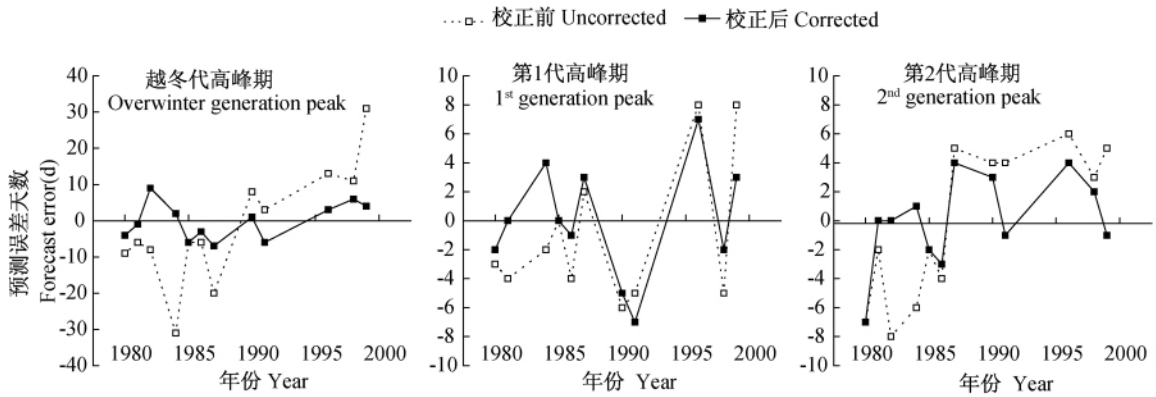


图 2 10 ~ 35℃有效积温范围校正前后预测误差天数比较

Fig. 2 Uncorrected and correction forecast error days in 10—35℃ effective accumulated temperature range

校正前;校正前 10 ~ 35℃越冬代、第 1 代和第 2 代 校正前平均误差天数为 (12.67 ± 2.77)、(3.92 ± 最大误差天数为 31、8 和 8 d,校正后为 9、7 和 7 d, 0.77) 和 (4.67 ± 0.54) d,校正后分别为 (4.33 ±

0.72)、 (2.83 ± 0.73) 和 (2.33 ± 0.58) d,均少于校正前(图 1,2)。2 种预测标准下越冬代预测前后平均预测误差天数均存在显著差异,第 1 代和第 2

代校正后预测误差天数小于校正前,但无显著差异。校正前越冬代误差天数显著大于第 1 代和第 2 代,但第 1 代和第 2 代间无显著差异(图 3)。

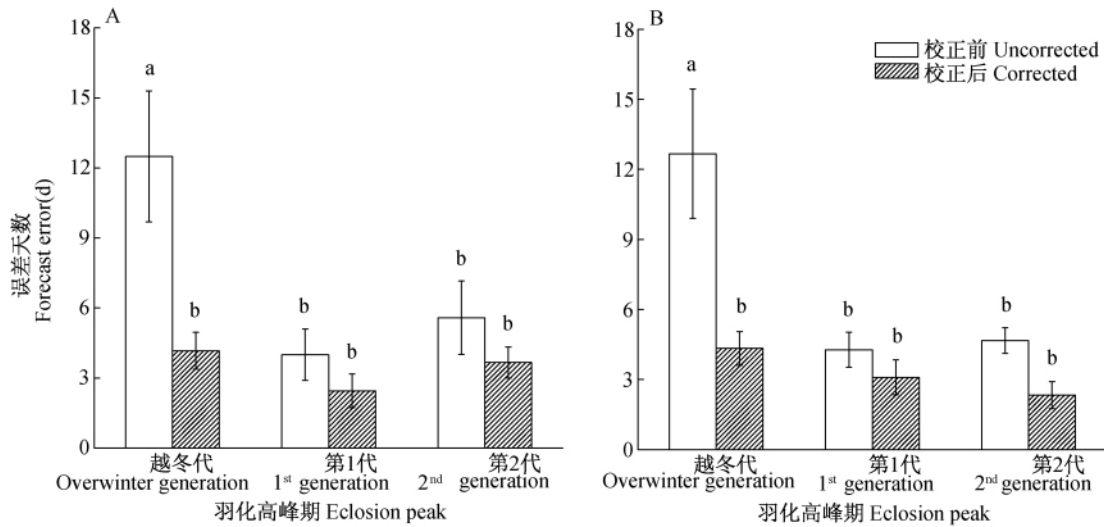


图 3 10 ~ 30℃ (A) 和 10 ~ 35℃ (B) 校正前后有效积温范围预测误差天数比较
Fig.3 Comparison of uncorrected and corrected forecast error days in 10—30℃ (A)
and 10—35℃ (B) effective accumulated temperature ranges

不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 (one-way ANOVA)。

Histograms with different letters indicate significant difference at 0.05 level (one-way ANOVA)。

2.5 校正后的预测值历史符合率

10 ~ 30℃ 和 10 ~ 35℃ 积温范围,校正后各代历史符合率分别为 83.33%、100%、100% 和

100%、100%、93.33%。此处以 10 ~ 30℃ 积温范围越冬代各年份蛾量高峰期预测日期和实际发生期符合情况为例(表 4)。

表 4 10 ~ 30℃ 积温范围越冬代各年份羽化预测高峰期和实际高峰期符合情况
Table 4 Overwintering generation fit condition between forecast and actual CBW eclosion peak date
under 10—30℃ effective accumulated temperature range

年份 Year	预测值(校正后) Forecast value (corrected)	实际高峰期 Actual peak	符合情况 Consistency
1980	149.23 ± 5.63 (143.60—154.86)	146.00	✓
1981	146.10 ± 5.63 (140.42—151.68)	145.00	✓
1982	132.93 ± 5.63 (127.30—138.56)	142.00	×
1984	125.10 ± 5.63 (119.45—130.71)	128.00	✓
1985	155.86 ± 5.63 (150.23—161.49)	150.00	✓
1986	149.98 ± 5.63 (144.35—155.61)	148.00	✓
1987	142.99 ± 5.63 (137.36—148.62)	136.00	×
1990	160.58 ± 5.63 (154.95—166.21)	161.00	✓
1991	160.91 ± 5.63 (155.27—166.53)	155.00	✓
1996	168.63 ± 5.63 (163.00—174.26)	171.00	✓
1998	161.40 ± 5.63 (155.77—167.03)	167.00	✓
1999	176.37 ± 5.63 (170.74—182.00)	181.00	✓
历史符合率 Historical coincident rate			83.33%

3 讨论

3.1 现有有效积温法预测的不足

利用美国加利福尼亚州立大学 DEGREE-DAY UTILITY (DDU 版本 2.3) 软件,通过多年累积有效积温的平均值进行预测,适用于年际间气象要素(尤其是温度)差异较小的地区,在北美已经成功应用于农业生产中多种害虫的治理和作物栽培(Degree-day Utility)。但是北美与新疆 2 个地区气候特点不同,北美气候稳定,年际间气温浮动较小(潘东勋和何玉启,2003)。而新疆为典型大陆性气候,早春易发生倒春寒等气候现象,早春气温的剧烈变化影响了棉铃虫越冬蛹滞育的解除和羽化,同时也使第 1、2 代棉铃虫发生的时间和整齐度发生变化,从而影响预测的准确性。

3.2 年际间气温变化与棉铃虫发生期

根据害虫预测预报常用发育起点温度和发育上限温度及新疆实际气候特点(杨燕涛,2001;吕昭智等,2004),选择 10~30℃ 和 10~35℃ 2 种棉铃虫有效积温范围。121 团气象资料表明,棉铃虫发育期间平均气温年际间变化较大, Δt 较大的年份羽化高峰期预测误差天数也较大,在越冬代中该现象尤为明显。这在一定程度上验证了上述年际间气温变化对害虫发生期影响较大的推测。对于不同有效积温范围内各代平均误差天数,越冬代均显著高于第 1 代和第 2 代,可能是由于新疆地区气温不稳定的时间主要发生在早春。同时随着第 1 代和第 2 代羽化高峰日期距 1 月 1 日天数增多和累计有效积温值的增大,减轻了春季气温不稳定造成的影响。校正后预测结果与历史实际羽化高峰日期基本相吻合,拟合率较高。建立更加准确的温度和害虫发生的关系,是提高害虫预测预报准确性的一种重要、可行的方法。

虽然有效积温法原理在国内外各地早已研究应用,但是对其预测误差校正方法的研究甚少。有学者将全年或数个月份的平均气温应用于害虫预测预报研究中(潘东勋和何玉启,2003;李红,2003),实际上气温未达到有效积温范围内对害虫发育的影响尚不明确,因此我们去除了有效积温为 0 的时期,取累积有效积温 >0 到高峰期时间段内各天日平均气温的算术平均值作为当年当代棉铃虫发育的平均温度 t ,再对 12 年 t 值取算数平均

数作为此代棉铃虫发育的平均温度标准 T ,利用各年 t 值与标准值 T 的差异 Δt 来校正年际间气温因素变化对棉铃虫发育时间的影响。

一定范围内低温对昆虫发育的作用尚不明确(薛芳森等,2001;成兆金等,2008),这与温度影响昆虫发育的机理有关,有学者已对此进行了研究,但结果比较复杂,难以用于生产实践,本文所阐述的修正方法生物学意义比较简单,不但易于在生产中推广使用,而且在探明有效发育积温外的温度变化对昆虫发育影响后,结合此方法,可以建立通用的生物发育模型。

3.3 气象监测体系的完善与区域害虫预警

根据新疆地区气候特点,通过减小年际间气温变化对棉铃虫发生期的影响,校正有效积温法预测羽化高峰期的误差,可明显减少越冬代的预测误差天数。该校正方法还可应用于其它年际间气温变化较大地区的多种重要害虫发生期预测及校正,也可为其防治提供重要依据。

随着信息技术的快速发展,农业部门可用自动化气象站密度逐年上升,气象数据质量从时间和空间尺度上大幅度提高(孟昭辉和李庆军,2009),同时自动化气象站的联网工作,为害虫预测和田间管理提供更为有力的工具;利用传统的物候模型技术,利用我们提出基于温度偏离程度的方法修正模型,将有利于区域化害虫监测、预警和管理技术。

参考文献(References)

- Damos PT, Savopoulou-Soultani M, 2010. Development and statistical evaluation of models in forecasting moth phenology of major lepidopterous peach pest complex for integrated pest management programs. *Crop Prot.*, 29 (10): 1190—1199.
- Degree-day Utility. <http://www.ipm.ucdavis.edu/IPMPROJECT/software.html>.
- Kenneth PP, 1983. Day-degree method for pest management. *Environ. Entomol.*, 12: 613—619.
- Lindblad M, Sigvald R, 1996. A degree-day model for regional prediction of first occurrence of flit flies in oats in Sweden. *Crop Prot.*, 15 (6): 559—565.
- 成兆金, 薛晓萍, 王建源, 冯建设, 李鸿怡, 郑美琴, 2008. 山东棉铃虫发生发展气象预测模型. *中国农业气象*, 29 (2): 224—229.

- 戴小枫, 郭予元, 1994. 1992 年我国棉铃虫爆发的特点、成因和治理对策. 灾害学, 9(2):91—94.
- 焦晓国, 宣维健, 盛承发, 2006. 用诱蛾量和有效积温模型预测东北越冬代水稻二化螟发生期. 昆虫学报, 49(4):705—709.
- 李号宾, 吴孔明, 杨秀荣, 徐遥, 姚举, 汪飞, 马祁, 2006. 新疆南部棉区棉铃虫发生趋势及 Bt 棉花的控制效率. 中国农业科学, 39(1):199—205.
- 李红, 2003. 玉米螟发生发展模型及软件开发. 硕士学位论文. 南京:南京气象学院.
- 吕昭智, 李莉, 田长彦, 杨新建, 王军, 刘永建, 2003. 新疆北部 20 年棉花物候计算和分析—以炮台镇为例. 干旱区地理, 26(4):340—344.
- 吕昭智, 马桂龙, 李永龙, 刘永建, 王军, 杨新建, 2004. 新疆北部棉铃虫越冬代羽化物候学模型. 石河子大学学报(自然科学版), 22(6):461—464.
- 吕昭智, 沈佐锐, 田长彦, 刘永建, 田建华, 晋禄生, 2006. 改进型物候模型对越冬代棉铃虫羽化始期预测. 干旱区研究, 23(1):46—49.
- 吕昭智, 田建华, 沈佐锐, 田长彦, 王涛, 2005. 有效积温 Sine 函数拟合模型及其应用. 生态学杂志, 24(12):1549—1552.
- 孟昭辉, 李庆军, 2009. 自动气象站综述. 气象水文海洋仪器, 26(4):54—56.
- 潘东勋, 何玉启, 2003. 北美和亚欧大陆的气候比较. 地理教育, (3):25—26.
- 吴孔明, 郭予元, 1997. 棉铃虫迁飞与滞育的研究—我国各棉区棉铃虫滞育诱导的光温反应特点. 中国农业科学, 30(3):1—6.
- 吴孔明, 郭予元, 2000. 新疆棉铃虫的抗寒性研究. 植物保护学报, 27(1):23—26.
- 薛芳森, 李爱青, 朱杏芬, 2001. 温度在昆虫滞育期间的作用. 江西农业大学学报, 23(1):62—67.
- 杨燕涛, 2001. 棉铃虫滞育与抗逆性研究进展. 昆虫知识, 38(4):246—251.
- 张孝羲, 2002. 昆虫生态及预测预报. 北京:中国农业出版社. 216—217.
- 曾爱平, 陈永年, 周志成, 胡日生, 龙建中, 李小一, 吴春娥, 2010. 湖南烟区斜纹夜蛾 (*Spodoptera litura*) 的发生规律及预测方法. 中国烟草科学, 31(6):9—13.
- 中国农科院棉花研究所, 1982. 中国棉花栽培学. 上海:上海科学出版社. 57—59.