

豫北多时效归一化棉铃虫气象预报模式

贾金明¹ 张相梅¹ 郭明荣² 李改琴¹
王春铃¹ 毛桂萍¹ 李汉浸¹

(1. 河南省濮阳市气象局, 457000; 2. 河南省濮阳市植保站)

提 要: 按照棉铃虫繁育规律, 将棉铃虫周年活动期划分为秋季预蛹期、越冬期、春季羽化期、夏季危害期 4 个阶段, 分阶段选取有昆虫学、统计学意义的气象因子, 通过归一化处理 and 加权组合, 组成棉铃虫气象指数, 建立多时效、归一化棉铃虫气象预报模式和分析、评价指标。结果显示: 气象条件与棉铃虫发生程度密切相关, 各时段预报模式的复相关系数达 0.7780~0.8780, 回代拟合率为 96.7%, 回归效果极显著。经试报应用, 取得较好效果。结论认为: 将诸多气象因子作无量纲化处理, 不但便于因子间相互组合, 还可提高模式的预报精度; 将棉铃虫周年繁育期划分为秋季预蛹期、越冬期、春季羽化期、夏季危害期, 突出了阶段性特点, 分阶段组建预报模式, 预报效果较好。对组合因子的生物学意义, 有待生物学试验认定。

关键词: 棉铃虫 归一化 气象条件 模式

Development and Application of Multi-effectiveness Normalized Prediction Model for Bollworm in Northern Henan Province

Jia Jinming¹ Zhang Xiangmei¹ Guo Mingrong² Li Gaiqin¹
Wang Chunling¹ Mao Guiping¹ Li Hanjin¹

(1. Puyang Meteorological Office, Henan Province 457000; 2. Puyang Plant Protection Station)

Abstract: According to the breeding behavior of bollworm, its anniversary activity can be divided into four phases: the Pupa in autumn, overwintering, eclosion in spring and damage in summer. For each phase, by selecting some meteorological parameters which is of entomological and statistical meaning a multi-effectiveness normalized meteorological prediction model of bollworm and analysis-evaluation indices are developed by normalized processing and weighted combination of parameters. It shows that occurrence of bollworm is closely related to the meteorological conditions. The complex correlation coefficients of each phase are 0.778 - 0.878, with the fit of 96.7%. The model has a good result in the practice. It concludes that the non-dimensional proc-

资助项目: 中国气象局新技术推广项目 CMATG2005Z02 资助

收稿日期: 2007 年 2 月 26 日; 修定稿日期: 2007 年 4 月 13 日

essing of meteorological parameters is not only favorable to its combination each other, but also to increase the precise of model prediction. However the biological meanings of these combination parameters are to be defined through biological experiments.

Key Words: bollworm normalized meteorological condition process

引 言

棉铃虫的发生发展与危害程度,主要取决于虫源、食物源、防治技术与措施、气象条件等多项因素。就宏观情况而言,在棉铃虫常发区,虫源、食物源普遍存在;防治技术与措施年际间也不会有大的改变,这两个条件都不会引起年际间棉铃虫发生与危害程度出现大的差别;气象条件年际间差别对棉铃虫的发生、发展与危害程度影响较大。正因为如此,人们常用气象条件制作棉铃虫预报,气象工作者还建立了一些棉铃虫气象指标和预报方法^[1-4],但以往的指标与方法,对棉铃虫危害期的气象条件考虑较多,对虫源形成期的气象条件考虑较少。其实,棉铃虫的发生及危害程度具有年际、代际间传承的特点,前期的虫源条件对夏季棉铃虫发生危害程度影响较大。作者根据棉铃虫周年活动规律,将棉铃虫周年繁育期划分为秋季预蛹期、越冬期、春季羽化期、夏季危害期 4 个阶段,分阶段建立棉铃虫分析评价指标与预报模式,取得较好效果。

1 资料来源与处理

气象资料来自当地气象部门,棉铃虫资料来自豫北各市植保部门。对比分析各地虫情资料发现,尽管各地虫情资料时间序列长短不一,并多有缺漏现象,但仍可看出,豫北各市历年棉铃虫发生趋势比较一致,故在建立豫北棉铃虫发生程度时间序列时,采用资料年代较长(1976—2005 年),又较完整的新

乡市棉铃虫资料代之,其余地市的资料仅作参考使用。棉铃虫发生程度采用植保部门《棉铃虫调查测报规范》5 级表示法,1 级为轻度发生,2 级为中度偏轻发生,3 级为中度发生,4 级为中度偏重发生,5 级为重度发生,各代棉铃虫的发生程度不尽相同,取其中发生程度最重一代的发生程度为年发生程度。

2 棉铃虫繁育与气象条件

棉铃虫在豫北地区一年发生 4 代,9 月下旬当气温降到 20℃ 以下时,老熟幼虫开始在 5~15cm 深处的土层筑土室进入冬前滞育期。秋季降温早,棉铃虫滞育也早,反之,则滞育晚。滞育阶段棉铃虫滞育蛹如遇到一段时期的高温天气过程(例如 9 或 10 月份气温偏高),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。

11 月初,当气温降到 10℃ 时,棉铃虫便以蛹态进入越冬期,棉铃虫越冬的关键因素是最冷月气温的高低,冷冬不利于棉铃虫越冬,暖冬有利于棉铃虫越冬。

翌年 4 月下旬气温升至 15℃ 以上时,越冬蛹开始羽化为成虫,5 月上旬为羽化盛期,第一代幼虫主要危害小麦。春季气温回升早,棉铃虫羽化早,反之,则羽化晚。影响春季羽化阶段棉铃虫存活的关键因素是春季天气的不稳定程度,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,春季霜冻终止日期出现越晚、强度越强,降水越多,棉铃虫死亡率越高。

第一代成虫盛发期为6月上、中旬,产卵盛期在6月中、下旬。6月底为第二代(棉田第一代)幼虫危害盛期,成虫盛发期在7月上、中旬,产卵盛期在7月中旬。7月下旬为第三代幼虫危害盛期,成虫盛发期在8月上、中旬。8月下旬到9月上旬为第四代幼虫危害盛期。在豫北第二、三代幼虫危害棉花最严重,第四代主要发生在贪青的棉田。此期棉铃虫发育的最适温度为25~30℃,相对湿度为70%~95%。棉铃虫适宜于半干旱的气候条件,若降水过多,造成土壤过湿或板结不利于棉铃虫入土化蛹,同时降水强度大时还可冲刷掉部分虫卵与幼虫,据观察,伴有大风的阵雨常可冲掉60%~70%的卵,对棉铃虫的种群增长及危害起到抑制作用^[5]。

3 棉铃虫气象指数的建立

3.1 阶段划分

根据棉铃虫的繁育规律,并结合棉铃虫气象条件分析,将棉铃虫周年活动期划分为4个阶段。第一阶段为9月中旬至10月下旬,称作秋季预蛹期,此期的气象条件影响着进入越冬期蛹量的多少;11月上旬至翌年3月下旬,为第二阶段,称作越冬期,此期气象条件直接影响越冬蛹的存活量;4月上旬至5月中旬为第三阶段,称为春季羽化期,此期的气象条件对越冬蛹的成虫羽化率影响较大;第四个阶段为5月下旬至9月上旬,称为夏季危害期,此期的气象条件适与否,对2、3、4代棉铃虫的繁育量影响较大。前3个阶段的气候条件主要影响当年虫源基数,是制作棉铃虫预报的重要基础。夏季的气象条件则直接影响虫害发生与危害程度,是制作棉铃虫预报的主要对象。

3.2 气象因子的选取

根据棉铃虫各阶段活动规律及其对气候

环境的不同要求,通过棉铃虫发生程度与气象因子的相关分析,分阶段选取气候因子,共选取有统计学意义与昆虫学意义的因子11个,其中有4个因子通过 $\alpha \geq 0.01$ 的相关显著性检验,有2个因子通过 $\alpha \geq 0.05$ 的相关显著性检验,其余5个因子虽未通过检验,但相关系数较大,仍可作进一步处理应用(见表1)。

表1 棉铃虫各阶段相关因子及相关系数表

阶段名称	因子名称	相关系数
秋季预蛹期	X ₁₁ :10月份日照时数	r=-0.2758
	X ₁₂ :9月份降水量	r=-0.4721**
	X ₁₃ :9月连续降温最大幅度值	r=-0.5167**
	X ₁₄ :日平均气温稳定通过20℃终止日期	r=0.2011
越冬期	X ₂₁ :1月日平均5cm最低温度	r=0.5086**
	X ₂₂ :1月最大冻土深度	r=-0.2226
春季羽化期	X ₃₁ :4月降水量	r=0.2695
	X ₃₂ :4月最长连续无降水日数	r=0.3877*
	X ₃₃ :日平均气温稳定通过20℃初始日期	r=-0.4759**
夏季危害期	X ₄₁ :夏季日降水量≥100mm日数	r=-0.3731*
	X ₄₂ :6月最长连续无降水日数	r=-0.3192

注:样本数 n=30,*表示 $\alpha=5\%$,**表示 $\alpha=1\%$

3.3 因子处理

在筛选因子时,虽兼顾了统计学与昆虫学意义两个方面,但若用这些因子直接建立预报模式或建立棉铃虫气象指标,其回代与外延精度仍不能得到满意效果。为提高预报精度,需对所选因子进行重新组合。影响棉铃虫发生程度的气象因素较多,各种因子对棉铃虫的影响程度各不相同,其量纲也不同,往往不能进行直接组合,为解决这一问题,需要对各气象因子作无量纲化处理。对与棉铃虫发生程度呈正相关的因子,用式(1)进行计算^[4]:

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \quad (1)$$

对与棉铃虫发生程度成负相关的因子用式(2)进行计算:

$$Y_{ij} = 1 - \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \quad (2)$$

式中: Y_{ij} 为规格化因子, X_{ij} 为气象因子, $X_{j\max}$ 和 $X_{j\min}$ 分别为 X_{ij} 的最大值和最小值, i 为年代序号, j 为因子序号, 下同。处理后的归一化因子理论最大值为 1, 最小值为 0, 因子消除了量纲差异, 按前面划分的 4 个阶段, 分别用式(3)进行加权组合:

$$R_{ij} = \sum_{j=1}^m Y_{ij} A_j \quad (3)$$

式中 A_j 为权重系数, 由各因子与棉铃虫发生程度之间的相关系数求得, k 为气象指数序数, m 为各组合式中组合因子的个数。

本文将 R_k 定名为棉铃虫气象指数(见表 2)。棉铃虫气象指数系由与其发生程度密切相关的气象因子按照相关系数的大小组合而成, 其值大, 表示气象条件有利棉铃虫发生, 反之则不利棉铃虫的发生。通过不同发病年份的气象指数分析和回归分析, 可进一步制定出棉铃虫气象指数指标并建立棉铃虫发生程度预报模式, 依此对各阶段棉铃虫气象条件作定量分析评价与预报。

表 2 各阶段气象指数权重组合式表

阶段名称	组合式形式
秋季预蛹期	$R_{i1} = 0.1882y_{11} + 0.3221y_{12} + 0.3525y_{13} + 0.1372y_{14}$
越冬期	$R_{i2} = 0.6956y_{21} + 0.3044y_{22}$
春季羽化期	$R_{i3} = 0.2378y_{31} + 0.3422y_{32} + 0.4200y_{33}$
夏季危害期	$R_{i4} = 0.5389y_{41} + 0.4611y_{42}$
秋冬组合	$R_{i5} = 0.6415R_{i1} + 0.3587R_{i2}$
秋冬春组合	$R_{i6} = 0.43731R_{i1} + 0.2446R_{i2} + 0.3232R_{i3}$
秋冬春夏组合	$R_{i7} = 0.3571R_{i1} + 0.1997R_{i2} + 0.2639R_{i3} + 0.1834R_{i4}$

3.4 归一化棉铃虫气象指标的建立与检验

归一化棉铃虫气象指数, 系由与棉铃虫发生程度密切相关的气象因子, 以相关系数为权重组合而成, 犹如提取了各因子的有用成分(事实是各因子之间在一定程度上存在着互补作用), 不但使各因子原有的生物学意义得到保留, 还使其与棉铃虫发生程度之间

的相关性明显增强, R_{i1} 、 R_{i2} 、 R_{i3} 、 R_{i4} 与棉铃虫发生程度之间的相关系数分别达到 0.8332、0.4660、0.6061 和 0.4299, 经检验, 前三个阶段的相关系数通过了 $\alpha \geq 0.01$ 的相关显著性检验, 后一阶段则通过 $\alpha \geq 0.05$ 的相关显著性检验。将 R_{i1} 、 R_{i2} 、 R_{i3} 、 R_{i4} 按时段顺序再次作加权组合, 并使后一阶段的组合中包含有前期的有效气象信息。组合后, 得到三组气象指数 R_{i5} 、 R_{i6} 、 R_{i7} (注: R_{i5} 为 R_{i1} 、 R_{i2} 加权集成值, R_{i6} 为 $2R_{i1}$ 、 R_{i2} 、 R_{i3} 加权集成值, R_{i7} 为 R_{i1} 、 R_{i2} 、 R_{i3} 、 R_{i4} 加权集成值), 这些组合因子与棉铃虫发生程度之间的相关性更为显著, 相关系数分别达到 0.7943、0.8378 和 0.8574, 均通过 $\alpha \geq 0.01$ 的显著性检验。将 R_{i1} 、 R_{i5} 、 R_{i6} 、 R_{i7} 分别命名为棉铃虫秋季预蛹期、越冬期、春季羽化期、夏季危害期归一化气象指数。

1976—2005 年, 秋季预蛹期气象指数 R_{i1} 的平均值为 0.58, 最大值为 0.85, 最小值为 0.35。棉铃虫发生程度所对应的气象指数范围分别为: 1 级 0.38~0.46; 2 级 0.35~0.46; 3 级 0.49~0.74; 4 级 0.62~0.67; 5 级 0.69~0.85。据此制定出棉铃虫不同发生年份, 秋季预蛹期气象指数指标为: 1、2 级 $R_{i1} \leq 0.50$; 3、4 级 $0.51 \leq R_{i1} \leq 0.70$; 5 级 $R_{i1} \geq 0.68$ 。用此指标评价历年秋季预蛹期的气象条件, 30 年中符合年份有 26 年, 不相符的年份有 4 年, 符合率为 84%。

越冬期气象指数 R_{i5} 的平均值为 0.60, 最大值为 0.79, 最小值为 0.32。棉铃虫各级发生程度所对应的气象指数范围分别为: 1 级 0.39~0.51; 2 级 0.32~0.52; 3 级 0.53~0.77; 4 级 0.65~0.72; 5 级 0.70~0.78。据此制定出棉铃虫不同发生年份, 越冬期气象指数指标为: 1、2 级 $R_{i5} \leq 0.52$; 3、4 级 $0.53 \leq R_{i5} \leq 0.69$; 5 级 $R_{i5} \geq 0.70$ 。用此指标评价

历年越冬期的气象条件,30年中符合年份有25年,不相符的年份有5年,符合率为83%。

春季羽化期气象指数 R_{16} 的平均值为0.54,最大值为0.78,最小值为0.31。棉铃虫不同发生程度所对应的气象指数范围分别为:1级0.31~0.45;2级0.34~0.46;3级0.44~0.69;4级0.56~0.72;5级0.63~0.78。据此制定出棉铃虫不同发生年份,春季羽化期气象指数指标为:1、2级 $R_{16} \leq 0.45$;3、4级 $0.46 \leq R_{16} \leq 0.64$;5级 $R_{16} \geq 0.65$ 。用此指标评价历年越冬期的气象条件,30年中符合年份有25年,不相符的年份有5年,符合率为83%。

夏季危害期气象指数 R_{17} 的平均值为0.604,最大值为0.80,最小值为0.40。棉铃虫不同发生程度所对应的气象指数范围分别为:1级0.40~0.53;2级0.41~0.54;3级

0.51~0.69;4级0.64~0.71;5级0.69~0.80。据此制定出棉铃虫不同发生年份,夏季危害期气象指数指标为:1、2级 $R_{17} \leq 0.54$;3、4级 $0.55 \leq R_{17} \leq 0.69$;5级 $R_{17} \geq 0.70$ 。用此指标评价历年越冬期的气象条件,30年中符合年份有25年,不相符的年份有5年,符合率为83%。

将以上统计分析结果列于表3,表中各时段的气象指数指标值,是根据历年棉铃虫发生程度,对照各时段气象指数的实况值而制定的,各时段的指标相互独立,每一时段内虫害等级间的指标相互衔接,无交叉现象。秋、冬、春、夏4个阶段的气象指数统计分析结果表明,气象指数与棉铃虫发生程度密切相关,各阶段棉铃虫气象指数指标的回代准确率均在83%以上,此指标可以用于棉铃虫气象条件的分析评价与预报。

表3 各时段气象指数实况统计值与指标值

		虫害程度				
		1级	2级	3级	4级	5级
秋季预蛹期	实况值	0.38~0.46	0.35~0.46	0.49~0.74	0.62~0.67	0.69~0.85
	指标值	$R_{11} \leq 0.50$		$0.51 \leq R_{11} \leq 0.70$		$R_{11} \geq 0.68$
越冬期	实况值	0.39~0.51	0.32~0.52	0.53~0.77	0.65~0.72	0.70~0.78
	指标值	$R_{15} \leq 0.52$;		$0.53 \leq R_{15} \leq 0.69$		$R_{15} \geq 0.70$
春季羽化期	实况值	0.31~0.45	0.34~0.40	0.44~0.69	0.56~0.72	0.63~0.78
	指标值	$R_{16} \leq 0.45$		$0.46 \leq R_{16} \leq 0.64$		$R_{16} \geq 0.65$
夏季危害期	实况值	0.40~0.53	0.41~0.54	0.51~0.69	0.64~0.71	0.69~0.80
	指标值	$R_{17} \leq 0.54$		$0.55 \leq R_{17} \leq 0.69$		$R_{17} \geq 0.70$

3.5 归一化棉铃虫气象预报方程的建立

将各阶段入选的气象因子作回归分析,可组建多时效棉铃虫预报模式,模式通式为:

$$Z_{ij} = a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + b$$

式中 z 为棉铃虫发生程度的预报值, a 、 b 为回归系数, x 为归一化气象因子。

用归一化气象因子和气象指数,逐时段建立棉铃虫发生程度预报方程,共建立4组

方程。考虑到前后期气象条件对棉铃虫影响的累积效应,将每一方程的预报、回代结果引入下一阶段的预报方程中作预报因子使用,这样既充分利用了与棉铃虫密切相关的前期气象信息,也使预报、回代精度得到了逐步提高,其形式见表4。每时段有两个方程,①为归一化气象因子组成的预报方程,②为气象指数(归一化气象因子的加权集成值)所组成的预报方程,预报结论取两方程的平均值。

经检验,各个方程的复相关系数在 0.7780~0.8780 之间, F 检验值在 9.5846~63.5625 之间,均通过回归检验。若以回代

误差小于 1 为准,30 年中只有一年的绝对误差大于 1,回代准确率为 96.7%,历年回代情况见图 1。

表 4 棉铃虫发生程度多时效预报模式

时段	模式形式	R	F	n
秋季预蛹期	① $z_{11}=1.08y_{11}+2.23y_{12}+2.27y_{13}+1.70y_{14}-1.39$	0.7780	9.5846	30
	② $z_{12}=7.07R_{11}-1.16$	0.8332	63.5625	30
越冬期	① $z_{21}=0.90z_{11}+1.22y_{21}-0.15y_{22}-0.45$	0.8090	16.4202	30
	② $z_{22}=0.93z_{12}+0.87R_{12}-1.39$	0.8438	33.3878	30
春季羽化期	① $z_{31}=0.84z_{21}+0.31y_{31}+0.61y_{32}+0.87y_{33}-0.30$	0.8260	13.4202	30
	② $z_{32}=1.01z_{22}-0.02R_{13}-0.004$	0.8418	32.8455	30
夏季危害期	① $z_{41}=0.97z_{31}+0.46y_{41}+1.42y_{42}-1.40$	0.8780	29.1565	30
	② $z_{42}=0.94z_{32}+1.32R_{14}-0.89$	0.8647	39.9940	30

注: z_{ij} 为棉铃虫发生程度的预报值,其余因子的意义同前。

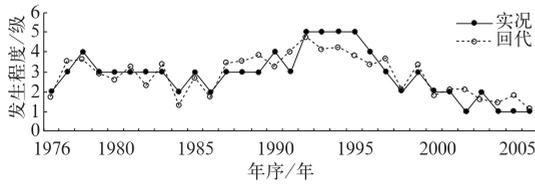


图 1 棉铃虫发生程度预报模式回代检验曲线图

4 应用与效果

将 2005 年度和 2006 年度各阶段的气象因子代入与之对应的指标和模式中进行试报应用,取得较好效果(见表 5,6,7)。

表 5 2006 年度棉铃虫各阶段因子实况值

阶段名称	因子名称	2006 年实况
秋季预蛹期	X_{11} :10 月份日照时数	156.5 小时(0.75)
	X_{12} :9 月份降水量	197.9mm(0)
	X_{13} :9 月连续降温最大幅度值	6.8℃(0.62)
	X_{14} :日平均气温稳定通过 20℃ 终止日期	14 日/9 月(0)
越冬期	X_{21} :1 月日平均 5cm 最低温度	-1.4℃(0.59)
	X_{22} :1 月最大冻土深度	14cm(0.77)
春季羽化期	X_{31} :4 月降水量	9.8mm(0.12)
	X_{32} :4 月最长连续无降水日数	8 天(0.05)
	X_{33} :日平均气温稳定通过 20℃ 初始日期	29 日/5 月(0.34)
夏季危害期	X_{41} :夏季日降水量≥100mm 日数	0 天(1)
	X_{42} :6 月最长连续无降水日数	12 天(0.32)

注:括号内数值为归一化气象因子 y_{ij} 值

表 6 2006 年度归一化气象指数表

	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}	R_{16}	R_{17}
2006 年	0.35	0.64	0.19	0.69	0.45	0.37	0.42

表 7 2006 年度棉铃虫发生程度多时效气象指数模式预报结果

	11 月上旬		3 月末		5 月下旬		6 月末	
	①	②	①	②	①	②	①	②
预报值	0.83	1.31	0.90	1.76	0.79	1.77	0.28	1.61
预报集成	1.07		1.33		1.28		0.95	
实况	1		1		1		1	
评定	正确		正确		正确		正确	

将表 5 中的归一化气象因子和表 6 中的归一化气象指数,分别代入表 4 中的相关方程,把每组方程的预报值作等权集成,即可作出不同时效的棉铃虫发生程度预报,由表 7 可以看出,各时段的试报结果均正确。

5 结论

(1) 影响棉铃虫繁育的气象因子较多,将诸多气象因子作无量纲化处理,不但便于因子间相互组合,还可提高模式的预报精度。

(2) 棉铃虫的发生程度具有世代传承的

特点,每年的发生危害程度不仅与发生危害期的气象条件有关,还与前期的气候条件及上年的虫原残留量有关。将棉铃虫周年繁育期划分为秋季预蛹期、越冬期、春季羽化期、夏季危害期,既突出了阶段性特点,又便于把棉铃虫周年活动期的气候变化作为一个连续体,分阶段组建预报模式,预报效果较好。

(3) 棉铃虫多时效预报模式的预报时效超前,不但对于棉铃虫的防御有积极意义,而且对农药的生产、调运与购进也有指导作用。

(4) 豫北各市气候背景基本一致,每年棉铃虫的发生趋势也基本一致,在制作棉铃虫发生程度预报时,可用以点代面的方法,通过一站资料的深入分析,作出全区的预报。

(5) 对组合因子的生物学意义只作了初

步推断分析,有待通过生物学试验,进一步确定其准确的生物学意义。

参考文献

- [1] 周志香,王志伟,刘文平,等. 棉铃虫综合因素预报模型研究[J]. 农业气象,2000,21(4):38-42.
- [2] 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]. 农业气象,2000,21(3):27-32.
- [3] 侯敬和,刘厚赞. 棉铃虫发生程度长期预报方法[J]. 气象,1997,23(2):41-44.
- [4] 张建华,李迎春. 新疆棉铃虫越冬气候指标的分析[J]. 气象,2000,23(2):41-44.
- [5] 河南农业大学. 农业昆虫学[M]. 郑州:河南农业大学出版社,1985:219-225.
- [6] 贾金明. 黄河中下游小麦赤霉病气象指数的建立与应用[J]. 气象,2002,28(3):50-53.