

甜菜夜蛾发生程度的气象等级预报模型

杨文刚^{1,2}, 孟翠丽^{2*}, 望 勇⁴, 刘可群³, 司升云⁴, 陆鹏程²

(1. 湖北省黄石市气象局, 黄石 435002; 2. 湖北省武汉农业气象试验站, 武汉 430040;

3. 湖北省武汉区域气候中心, 武汉 430074; 4. 湖北省武汉市农业科学院蔬菜科学研究所, 武汉 430065)

摘要 甜菜夜蛾是严重影响蔬菜产量和品质的害虫,其发生发展与气象条件关系十分密切。为探索气象条件与甜菜夜蛾发生程度的关系,开展甜菜夜蛾发生程度气象等级预报服务,选取 2009—2010 年湖北省甜菜夜蛾虫情资料 and 对应台站的气象资料,对甜菜夜蛾发生程度等级与各项气象因子做相关分析,在此基础上,筛选出模型因子,采用多元线性回归分析方法,构建了湖北省甜菜夜蛾发生程度气象等级预报模型,并对模型验证。结果表明:历史回代检验旬检验结果达基本一致以上的为 76%;独立样本预测检验旬值达基本一致以上的为 63%,模型总体预报结果较好,可为湖北省开展甜菜夜蛾气象等级预报业务提供技术支持。

关键词 甜菜夜蛾; 气象等级; 预报

中图分类号: S 431.3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2018036

Prediction model of meteorological grading for *Spodoptera exigua*

YANG Wengang^{1,2}, MENG Cuili², WANG Yong⁴, LIU Kequn³, SI Shengyun⁴, LU Pengcheng²

(1. Huangshi Meteorological Bureau, Huangshi 435002, China; 2. Wuhan National Agro-Meteorological Station in Hubei Province, Wuhan 430040, China; 3. Wuhan Regional Climate Center in Hubei Province,

Wuhan 430074, China; 4. Institute of Vegetable, Wuhan Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430065, China)

Abstract *Spodoptera exigua* is a pest seriously affecting the yield and quality of vegetables, the occurrence and development of which are highly related with meteorological conditions. To explore the relationships between meteorological conditions and the occurrence of *S. exigua*, we developed the meteorological grading prediction model for the epidemics of *S. exigua*. Correlation analysis between the occurrence degree of *S. exigua* and meteorological conditions was carried out using data of *S. exigua* and the corresponding meteorological stations in Hubei Province from 2009 to 2010. On this basis, we screened out the model factors and constructed the prediction model for the occurrence of *S. exigua* by adopting the multivariable linear regression method. The results of ten-day test in historical resubstitution reached a basic agreement of 76%, and the independent sample prediction test had a basic consistency of 63%. The overall prediction results were qualified, which can provide technical support for the meteorological grading prediction service for *S. exigua* occurrence in Hubei Province.

Key words *Spodoptera exigua*; meteorological grade; forecast

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* (Hübner) 俗称贪夜蛾,是一种世界性分布的多食性农业害虫^[1],可取食 35 科 108 属 138 种植物,生产上主要为害蔬菜、棉花、玉米,尤以蔬菜受害最重^[2]。随着全球气候变暖,特别是我国大部分地区高温、干旱加剧,经济作物种植面积扩大,设施农业大量推广,甜菜夜蛾为害面积及寄主种类呈迅速上升趋势,由原先的间歇性暴发演变成常发性害虫。受甜菜夜蛾为害的寄主作

物一般减产 10%~20%,严重的达 30%~50%,少数作物甚至绝收,严重威胁着蔬菜的产量和品质^[3]。国内外学者针对甜菜夜蛾的发生规律及生物学特性进行了研究^[4-9],如在 20~32℃ 范围内,甜菜夜蛾发育速率随着温度的升高而加快;在 26℃ 和 29℃ 下,甜菜夜蛾的平均产卵量最高,26℃ 最适合甜菜夜蛾交配^[10]。湿度对甜菜夜蛾的影响也很大。一定的温度配以合适的湿度才能促进种群的增长,26℃ 与

收稿日期: 2018-01-22 修订日期: 2018-02-07

基金项目: 湖北省气象局科技发展基金重点项目(2015Z04)

* 通信作者 E-mail: linyinmcl@163.com

相对湿度 80% 和 94% 两个组合最适宜甜菜夜蛾的生长发育; 同时 32℃ 与 94% 的组合甜菜夜蛾的内禀增长率最大^[11]。缪为文等报道了夏季高温干旱对甜菜夜蛾寄生性天敌的繁衍不利, 导致甜菜夜蛾幼虫成活率偏高, 以致为害加重^[12]; 李志敏等运用灰色系统-关联度分析方法对影响甜菜夜蛾田间成虫种群数量的非生物因子进行分析, 明确了一年中, 温度对甜菜夜蛾种群数量影响最大, 年度间影响最大的是总降雨量, 降雨量大的年份甜菜夜蛾发生量少^[13]。刘甲魁研究发现设施农业的大量出现, 给甜菜夜蛾提供了冬季食物和越冬场所, 增加了来年为害的虫源^[14]。

笔者拟运用数理统计分析方法, 分析甜菜夜蛾发生程度与前期气象因子的关系, 建立其发生程度气象等级预测模型, 根据该模型开展相关业务服务, 可指导农民开展科学防控, 减少农药使用, 减轻环境污染。

1 资料与方法

1.1 资料

(1) 湖北省历史甜菜夜蛾虫情数据: 采用 2009—2010 年甜菜夜蛾成虫监测数据, 选取襄阳、武汉、荆州作为湖北省代表站, 监测时间: 襄阳市 2009 年 7—10 月, 2010 年 7—10 月; 武汉市 2009 年 7—12 月, 2010 年 4—12 月; 荆州市 2009 年 7—11 月, 2010 年 5—10 月。资料由武汉市蔬菜科学研究所提供。

(2) 2015 年武汉市甜菜夜蛾虫情数据: 在武汉市郊区(蔡甸区、江夏区、黄陂区)开展甜菜夜蛾成虫监测所得。

(3) 气象资料: 湖北省代表站襄阳、武汉、荆州 2009—2010 年及武汉市 2015 年逐日日平均气温、日最高气温、日降水量、日相对湿度、日照时数数据。

1.2 方法

1.2.1 监测方法: 性诱法

诱捕器: 北京依科曼生物技术股份有限公司生产的闪讯害虫远程实时监测仪。

诱芯: 漳州市英格尔农业科技有限公司生产的 PVC 基质缓释长效诱芯(测报型)。

性诱法: 每个监测点安装闪讯害虫远程实时监测系统, 利用性信息素监测成虫发生动态。每天 8:30 系统自动统计诱捕到的成虫数。统计后的成虫进行去除处理, 不再放回环境。诱芯每月更换

1 次。

1.2.2 研究方法

首先, 对甜菜夜蛾成虫虫情资料与前期各气象因子分别做相关分析, 找出显著相关的(通过显著性水平为 0.01 的显著性检验)且具有生物学意义的气象因子, 然后采用多元线性回归方法, 构建甜菜夜蛾发生的气象预测模型, 然后对模型进行历史回代检验以及独立样本预测检验。

2 结果分析

2.1 相关分析及模型因子筛选

2.1.1 相关分析

为了全面考虑气象条件对甜菜叶蛾成虫发生发展的影响, 选用湖北省襄阳市、武汉市、荆州市 2009—2010 年甜菜夜蛾成虫各旬发生状况与当旬各气象因子(其中最高气温、平均气温、相对湿度计算旬平均值, 降雨量、降雨日数、夜间降雨量、夜间降雨日数、日照、平均气温大于 30℃ 日数、最高气温大于 35℃ 日数求取旬累积总和值)、前两旬各气象因子、前两旬加当旬气象因子分别进行单因子相关分析, 筛选出对甜菜夜蛾虫量增长量显著相关的气象因子。筛选的原则如下: 选取通过 0.01 水平显著性检验因子; 所选因子的相关性必须具有生物学意义; 同一气象因子若在多个时间尺度(不同的时间尺度分别为当旬、前两旬、前两旬+当旬)上与虫量发生程度因子的相关性通过 0.01 水平显著性检验时, 取该气象因子相关系数较大的时间尺度作为模型备选因子; 所选的因子组合必须消除共线性影响。相关分析结果见表 1, 当旬最高气温、平均气温、最高气温大于 35℃ 的日数与当旬甜菜夜蛾虫量增长量通过了信度为 0.01 水平的显著性检验, 呈显著正相关。前两旬的平均气温与当旬甜菜夜蛾虫量增长量通过了信度为 0.05 水平的显著性检验, 呈正相关。前两旬加当旬最高气温、平均气温与甜菜夜蛾虫量增长量通过了信度为 0.05 水平的显著性检验, 呈显著正相关。其余各气象因子与甜菜夜蛾增长量均无明显相关性。以上分析表明, 甜菜夜蛾成虫增长量与气温, 尤其是最高气温呈正相关, 气温越高, 高温日数越多, 越有利于其暴发成灾。

甜菜夜蛾成虫的暴发不单与气温密切相关, 但由于虫害资料逐旬波动变化大, 不利于相关性气象因子的挖掘, 因此本研究结合田间调查数据并咨询

相关专家意见,以平均单个诱捕器诱捕到成虫数小于等于 50、(50, 100]、(100, 200]、(200, 300]、大于 300 头共五个等次,将甜菜夜蛾危害划分为无害、轻度、中度、重度、特重 5 个等级。将襄阳市、武汉市、荆州市 2009—2010 年甜菜夜蛾发生主要时段各旬甜菜夜蛾发生程度等级与当旬各气象因子、前两旬各气象因子、前两旬加当旬气象因子分别进行单因子相关分析,相关分析结果见表 2,由表 2 可见,当旬各气象因子与当旬甜菜夜蛾发生程度等级的相关系数均未通过信度为 0.01 或 0.05 水平的显著性检验,无显著相关性。前两旬的最高气温与当旬甜菜夜蛾发生程度等级通过了信度为 0.05 水平的显著性检验,呈正相关;前两旬降雨日数与当旬甜菜夜蛾发生程度等级通过了信度为 0.01 水平的显著性检

验,呈显著负相关;前两旬最高气温大于 35℃ 日数与甜菜夜蛾发生程度等级通过了信度为 0.01 水平的显著性检验,呈显著正相关;前两旬相对湿度与当旬甜菜夜蛾发生程度等级通过了信度为 0.05 水平的显著性检验,呈负相关。其余前两旬气象因子甜菜夜蛾发生程度等级均无显著相关性。前两旬加当旬的降雨日数与甜菜夜蛾发生程度等级通过了信度为 0.01 水平的显著性检验,呈显著负相关;前两旬加当旬最高气温大于 35℃ 日数与当旬甜菜夜蛾发生程度等级通过了信度为 0.01 水平的显著性检验,呈显著正相关;前两旬加当旬相对湿度与当旬甜菜夜蛾发生程度等级通过了信度为 0.05 水平的显著性检验,呈负相关;前两旬加当旬其余气象因子与甜菜夜蛾发生程度等级均无显著相关性。

表 1 旬甜菜夜蛾成虫数量增长量与气象因子相关分析结果¹⁾

Table 1 Correlation analysis results between the growth of *Spodoptera exigua* adult quantity and meteorological factor in a period of ten days

气象因子 Meteorological factor	相关系数 Correlation coefficient		
	当旬气象因子与 虫量增长量 The ten-day meteorological factor and pest population growth	前两旬气象因子与 虫量增长量 The last twenty days meteorological factor and pest population growth	前两旬加当旬气象因子与 虫量增长量 The last twenty days and ten days meteorological factor and pest population growth
最高气温 Maximum temperature	0.355**	0.249	0.316*
平均气温 Average temperature	0.372**	0.291*	0.338*
降雨量 Rainfall	-0.063	0.085	0.037
日照时数 Sunshine duration	0.144	0.173	0.225
降雨日数 Rain days	0.031	0.117	0.11
夜间降雨量 Night rainfall	-0.001	0.181	0.135
夜间降雨日数 Night rain days	-0.074	-0.041	-0.081
平均气温大于 30℃ 日数 Days with average temperature more than 30℃	0.265	0.173	0.250
最高气温大于 35℃ 日数 Days with maximum temperature more than 35℃	0.288**	0.123	0.237
相对湿度 Relative humidity	-0.008	0.129	0.089

1) ** 表示通过 99% 的显著性检验, * 表示通过 95% 的显著性检验, 无符号表示未通过检验。下同。

** indicates passing significance inspection at 99% level; * indicates passing significance inspection at 95% level; the unsigned indicates not passing the significance inspection. The same below.

2.1.2 模型因子筛选过程

当旬平均气温、最高气温、最高气温大于 35℃ 日数与当旬虫量增长量存在显著性相关,而前两旬最高气温、最高气温大于 35℃ 日数与甜菜夜蛾发生程度等级呈正相关,前两旬加当旬最高气温大于 35℃ 日数与甜菜夜蛾发生程度等级呈正相关。一般而言,最高气温大于 35℃ 日数越多,最高气温值就越大,平均气温也就越高,这 3 个因子存在显著关联

性,为了消除模型因子的共线性影响,且遵循相关系数数值最大的因子的原则,本研究选用前两旬加当旬最高气温大于 35℃ 日数作为建模因子。遵循上述原则,本研究还选择了前两旬加当旬的降雨日数、前两旬的相对湿度值作为建模因子。前人研究表明:在同一温度下,甜菜夜蛾幼虫体长的增长率随湿度的升高而降低,而在同一相对湿度下,甜菜夜蛾幼虫体长的增长率随温度升高而显著加快,甜菜夜蛾成

虫产卵量明显受温度和湿度的影响^[10-11]。有关专家研究表明连续的降水将导致预蛹期延长,影响蛹的

成活和正常羽化。因此模型所选因子均具有生物学意义^[11]。

表 2 甜菜夜蛾发生程度等级与气象因子相关分析结果

Table 2 Correlation analysis results between the occurrence degree of *Spodoptera exigua* and meteorological factor in a period of ten days

气象因子 Meteorological factor	相关系数 Correlation coefficient		
	当旬气象因子与 虫量发生程度等级 The ten-day meteorological factor and the occurrence degree	前两旬气象因子与 虫量发生程度等级 The last twenty-day meteorological factor and the occurrence degree	前两旬加当旬气象因子与 虫量发生程度等级 The last twenty-day and ten-day meteorological factors and the occurrence degree
最高气温 Maximum temperature	0.157	0.270*	0.242
平均气温 Average temperature	0.152	0.253	0.222
降雨量 Rainfall	-0.057	-0.161	-0.155
日照时数 Sunshine duration	-0.062	0.125	0.065
降雨日数 Rain days	-0.179	-0.373**	-0.395**
夜间降雨量 Night rainfall	-0.023	0.037	0.018
夜间降雨日数 Night rain days	0.056	-0.176	-0.116
平均气温大于 30℃ 日数 Days with average temperature more than 30℃	0.06	0.235	0.213
最高气温大于 35℃ 日数 Days with maximum temperature more than 35℃	0.169	0.387**	0.398**
相对湿度 Relative humidity	-0.189	-0.295*	-0.280*

2.2 甜菜夜蛾发生程度的气象等级预报模型

2.2.1 模型构建

选用 2009—2010 年时间段,以旬为时间尺度,结合各旬甜菜夜蛾发生程度等级及以上选取的建模因子,采用多元线性回归方法进行建模。甜菜夜蛾成虫发生主要时段气象发生等级的预测模型见式(1)。

$$y = 9.750 + 0.144x_1 - 0.088x_2 - 0.082x_3 \quad (1)$$

式中,y 为甜菜夜蛾发生等级, x_1 为前两旬加当旬最高气温大于 35℃ 日数, x_2 为前两旬加当旬降雨日数, x_3 为前两旬相对湿度值。实际使用模型时,当旬最高气温大于 35℃ 日数、当旬降雨日数采用气象部门的旬预报值。

该回归方程的显著性检验:由方差分析表中得知: $F=7.408$, $Sig=0.000$,通过显著性水平为 0.01 的显著性检验,表明方程回归效果较好,具有良好的统计学意义,可用于甜菜夜蛾成虫气象发生等级的预测预警。

2.2.2 预测模型的历史回代检验及效果分析

根据建立的湖北省甜菜夜蛾发生等级统计模型,分别将 2009—2010 年所选气象因子代入模型计算得到各站点逐旬的甜菜夜蛾成虫发生等级模型

值,模型得出等级值小数部分四舍五入,然后通过对所建模型进行历史回代检验。

检验方法:计算得出 2009—2010 年湖北省襄阳市、武汉市、荆州市甜菜夜蛾发生主要时段成虫逐旬发生等级模型预测值,与逐旬实际发生等级进行比较,验证模型的可靠性。模型等级与实际等级值无级差认为完全一致,等级值有 1 级级差认为基本一致,等级值有 2 级以上级差认为不一致。

检验结果显示(见表 3):湖北省甜菜夜蛾发生等级模型预测值与甜菜夜蛾发生等级实测值的旬检验结果完全一致的占 26%,旬检验结果基本一致以上的占 76%。模型的检验结果表明,甜菜夜蛾发生等级预测模型模拟结果较好,可靠性较强。

2.2.3 预测模型的独立样本预测检验及效果分析

根据建立的甜菜夜蛾发生等级预测模型,把 2015 年武汉市所选气象因子代入模型计算得到武汉站 8—10 月逐旬甜菜夜蛾成虫发生等级模型预测值,再利用上述历史回代检验中提到的验证指标对预报结果进行验证。模型预测检验结果显示(表 4):武汉地区甜菜夜蛾发生等级模型预测值与实际值完全一致的占 22%,旬值达基本一致以上的占 63%,总体预报结果较好。

表3 甜菜夜蛾成虫气象预报模型历史回代检验结果

Table 3 The test results of the meteorological grading model for *Spodoptera exigua* with historical data

站点	年	旬	模型等级	实际等级	级差绝对值	模型验证	站点	年	旬	模型等级	实际等级	级差绝对值	模型验证
Station	Year	Ten days	Model grade	Actual grade	Absolute differential	Model validation	Station	Year	Ten days	Model grade	Actual grade	Absolute differential	Model validation
襄阳	2009	8月上旬	2	1	1	基本一致	荆州	2010	8月上旬	3	1	2	不一致
襄阳	2009	8月中旬	1	1	0	完全一致	荆州	2010	8月中旬	4	2	2	不一致
襄阳	2009	8月下旬	1	2	1	基本一致	荆州	2010	8月下旬	4	4	0	完全一致
襄阳	2009	9月上旬	2	1	1	基本一致	荆州	2010	9月上旬	3	5	2	不一致
襄阳	2009	9月中旬	2	1	1	基本一致	荆州	2010	9月中旬	3	5	2	不一致
襄阳	2009	9月下旬	2	1	1	基本一致	荆州	2010	9月下旬	3	5	2	不一致
襄阳	2009	10月上旬	2	1	1	基本一致	荆州	2010	10月上旬	3	5	2	不一致
襄阳	2009	10月中旬	2	1	1	基本一致	荆州	2010	10月中旬	2	4	2	不一致
襄阳	2009	10月下旬	2	1	1	基本一致	荆州	2010	10月下旬	2	2	0	完全一致
襄阳	2010	8月上旬	1	1	0	完全一致	黄陂	2009	8月上旬	3	5	2	不一致
襄阳	2010	8月中旬	2	1	1	基本一致	黄陂	2009	8月中旬	3	4	1	基本一致
襄阳	2010	8月下旬	3	1	2	不一致	黄陂	2009	8月下旬	3	4	1	基本一致
襄阳	2010	9月上旬	2	1	1	基本一致	黄陂	2009	9月上旬	4	3	1	基本一致
襄阳	2010	9月中旬	2	1	1	基本一致	黄陂	2009	9月中旬	3	3	0	完全一致
襄阳	2010	9月下旬	1	1	0	完全一致	黄陂	2009	9月下旬	2	2	0	完全一致
襄阳	2010	10月上旬	2	1	1	基本一致	黄陂	2009	10月上旬	2	3	1	基本一致
襄阳	2010	10月中旬	2	1	1	基本一致	黄陂	2009	10月中旬	2	3	1	基本一致
襄阳	2010	10月下旬	3	1	2	不一致	黄陂	2009	10月下旬	2	2	0	完全一致
荆州	2009	8月上旬	4	3	1	基本一致	黄陂	2010	8月上旬	2	2	0	完全一致
荆州	2009	8月中旬	3	3	0	完全一致	黄陂	2010	8月中旬	4	5	1	基本一致
荆州	2009	8月下旬	4	5	1	基本一致	黄陂	2010	8月下旬	3	2	1	基本一致
荆州	2009	9月上旬	4	5	1	基本一致	黄陂	2010	9月上旬	2	1	1	基本一致
荆州	2009	9月中旬	4	4	0	完全一致	黄陂	2010	9月中旬	2	1	1	基本一致
荆州	2009	9月下旬	4	4	0	完全一致	黄陂	2010	9月下旬	1	3	2	不一致
荆州	2009	10月上旬	3	5	2	不一致	黄陂	2010	10月上旬	2	4	2	不一致
荆州	2009	10月中旬	3	3	0	完全一致	黄陂	2010	10月中旬	1	2	1	基本一致
荆州	2009	10月下旬	3	3	0	完全一致	黄陂	2010	10月下旬	2	1	1	基本一致

表4 2015年甜菜夜蛾成虫气象预报模型预测检验结果

Table 4 The test results of the meteorological grading model for *Spodoptera exigua* with forecast data in 2015

站点	年	旬	模型等级	实际等级	级差绝对值	模型验证	站点	年	旬	模型等级	实际等级	级差绝对值	模型验证
Station	Year	Ten days	Model grade	Actual grade	Absolute differential	Model validation	Station	Year	Ten days	Model grade	Actual grade	Absolute differential	Model validation
蔡甸	2015	8月上旬	3	2	1	基本一致	黄陂	2015	9月下旬	2	3	1	基本一致
蔡甸	2015	8月中旬	2	3	1	基本一致	黄陂	2015	10月上旬	3	3	0	完全一致
蔡甸	2015	8月下旬	3	5	2	不一致	黄陂	2015	10月中旬	3	1	2	不一致
蔡甸	2015	9月上旬	3	5	2	不一致	黄陂	2015	10月下旬	3	2	1	基本一致
蔡甸	2015	9月中旬	3	5	2	不一致	江夏	2015	8月上旬	5	3	2	不一致
蔡甸	2015	9月下旬	2	3	1	基本一致	江夏	2015	8月中旬	3	3	0	完全一致
蔡甸	2015	10月上旬	3	1	2	不一致	江夏	2015	8月下旬	3	3	0	完全一致
蔡甸	2015	10月中旬	3	1	2	不一致	江夏	2015	9月上旬	3	2	1	基本一致
蔡甸	2015	10月下旬	2	1	1	基本一致	江夏	2015	9月中旬	3	1	2	不一致
黄陂	2015	8月上旬	4	3	1	基本一致	江夏	2015	9月下旬	3	1	2	不一致
黄陂	2015	8月中旬	3	3	0	完全一致	江夏	2015	10月上旬	3	2	1	基本一致
黄陂	2015	8月下旬	3	2	1	基本一致	江夏	2015	10月中旬	2	1	2	不一致
黄陂	2015	9月上旬	3	3	0	完全一致	江夏	2015	10月下旬	2	1	2	基本一致
黄陂	2015	9月中旬	3	3	0	完全一致							

3 结论与讨论

随着全球气候变暖及蔬菜大棚的大量推广,甜

菜夜蛾已经成为发生面积最大、为害程度最重的害虫,成为制约湖北省“菜篮子工程”安全性的主要因素之一。甜菜夜蛾的发生发展受温度、湿度、降水等

气象环境因子的影响,因此,可利用气象因子对甜菜夜蛾发生程度进行预测。本文对甜菜夜蛾发生等级与前期各项气象因子进行单因子相关分析,找出显著相关且具有生物学意义的因子,采用多元线性回归统计分析方法,构建了甜菜夜蛾发生流行的气象等级预测模型,并对模型进行历史回代和独立样本预测检验。历史回代检验结果显示:76%的样本回代检验结果达基本一致以上;独立样本预测检验结果显示:63%的样本回代值达基本一致以上,模型总体预报结果较好,可靠性强。因此,可利用该模型开展甜菜夜蛾发生程度气象预测相关业务服务。

一般而言,甜菜夜蛾幼虫发生量与前期成虫发生量成正比,且甜菜夜蛾成虫暴发后的10~15 d是幼虫暴发时间。预测到甜菜夜蛾成虫发生程度,一方面可提前采用人工除卵的方式减少幼虫量;另一方面,化学农药防治甜菜夜蛾的最佳时段为3龄幼虫期前,成虫的发生预测,对幼虫的防治有很好的指导意义。

本文中甜菜夜蛾仅有2009—2010年、2015年监测数据,数据资料序列偏短,应在以后的研究中不断增加样本序列,可对模型进行不断修正,进一步提高其预报精度。甜菜夜蛾是一种迁飞性害虫,其发生发展不仅受地面气象因子的影响,还与大气环流特征、虫源基数、天敌条件及人工防治等密切相关,而本文只讨论了在甜菜夜蛾成虫发生程度与气象因子的关系。在以后的研究工作中将继续对其他影响因素做进一步分析和探讨。

(责任编辑:田喆)

参考文献

- [1] 韩兰芝,翟保平,张孝羲.不同温度下的甜菜夜蛾实验种群生命表研究[J].昆虫学报,2003,6(2):184-189.
- [2] 张彬,刘怀,王进军,等.甜菜夜蛾研究进展[J].中国农学通报,2008,24(10):427-433.
- [3] 王瑞明,徐文华,林付根,等.江苏沿海农区甜菜夜蛾发生特点研究进展[J].华东昆虫学报,2007,16(2):81-86.
- [4] 罗礼智,曹雅忠,江幸福.甜菜夜蛾发生危害特点及其趋势分析[J].植物保护,2001,27(4):41-43.
- [5] 周传金,徐学序.甜菜夜蛾的生物学特性及防治研究[J].中国甜菜,1993(1):24-27.
- [6] 江幸福,罗礼智.甜菜夜蛾暴发原因及防治对策[J].植物保护,1999,25(3):32-34.
- [7] 周利琳,司越,王香萍,等.2009年湖北省甜菜夜蛾发生动态的系统监测与调查[J].湖北农业科学,2016,55(9):2259-2271.
- [8] 徐爱仙,熊本江,汤少云,等.武汉市2016年蔬菜主要病虫害发生趋势预报[J].湖北植保,2016(2):40.
- [9] 薛敏生,高九思,李可兴.影响甜菜夜蛾发生程度的原因及预测模式研究[J].现代农业科技,2008(16):117-118.
- [10] 徐金汉,关雄,黄志鹏,等.不同温湿度组合对甜菜夜蛾生长发育及繁殖力的影响[J].应用生态学报,1999,10(3):335-337.
- [11] 李淑清.甜菜夜蛾的生长发育与温湿度的关系[J].华中农业大学学报,2002,21(4):352-355.
- [12] 缪为文,戴元才.棉田甜菜夜蛾发生规律及防治对策[J].安徽农业科学,2007,35(6):1718,1854.
- [13] 李志敏,何成兴,高纯林,等.影响甜菜夜蛾种群数量的非生物因子的灰色系统分析[J].云南大学学报(自然科学版),2008,30(S1):148-151.
- [14] 刘甲魁,王桂凤,马旭峰.山东聊城地区甜菜夜蛾突发原因及综合防治对策[J].植物医生,1998,11(1):25-26.
- [22] SIIDDIQUI W H, BARLOW C A. Population growth of *Drosophila melanogaster* (Diptera: Drosophilidae) at constant and alternating temperatures [J]. Annals of the Entomology Society of America, 1972, 65(5): 993-1001.
- [23] 张孝羲.昆虫生态及预测预报[M].北京:中国农业出版社,2001:77-84.
- [24] 刘玉娟,张天涛,白树雄,等.不同变温组合条件下二点委夜蛾的生长发育[J].昆虫学报,2014,57(10):1198-1205.
- [25] KIECKHEFER W, ELLIOTT N C. Effect of fluctuating temperatures on development of immature Russian wheat aphid (Homoptera: Aphididae) and demographic statistics [J]. Journal of Economic Entomology, 1989, 82(1): 119-122.
- [26] KOSTAL V, RENAULT D, MEHRABIANOVA A, et al. Insect cold tolerance and repair of chill-injury at fluctuating thermal regimes: role of ion homeostasis [J]. Comparative Biochemistry & Physiology Part A Molecular & Integrative Physiology, 2007, 147(1): 231-238.
- [27] MESSENGER P S. The influence of rhythmically fluctuating temperatures on the development and reproduction of the spotted alfalfa aphid *Therioaphis maculata* [J]. Journal of Economic Entomology, 1964, 57(1): 71-76.
- [28] 王海鸿,薛瑶,雷仲仁.恒温 and 波动温度下西花蓟马的实验种群生命表[J].中国农业科学,2014,47(1):61-68.

(责任编辑:田喆)

(上接91页)