

大麦田草地贪夜蛾的发生为害及抽样技术

杨现明¹, 赵胜园¹, 姜玉英², 吴孔明^{1*}

(1. 中国农业科学院植物保护研究所, 植物病虫害生物学国家重点实验室, 北京 100193;

2. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125)

摘要 草地贪夜蛾在中国可取食为害玉米、高粱、小麦等禾本科作物,但其在大麦田的发生为害情况尚不清楚。我们对云南省曲靖市马龙区处于苗期至分蘖期大麦田的调查结果表明,草地贪夜蛾的虫田率高达 62.5%、大麦受害株率为 9.33%~100%、虫口密度为 1~46 头/m²,其中 1~3 龄幼虫比例达 98.6%,受害株率与虫口密度呈显著正相关。大多数草地贪夜蛾幼虫藏匿于大麦心叶为害,取食后叶片形成半透明薄膜窗孔,幼虫在大麦田呈聚集分布。基于空间分布型的研究结果,我们提出了大麦田草地贪夜蛾幼虫理论抽样模型。本研究表明草地贪夜蛾可对大麦生产构成严重威胁。研发的幼虫抽样方法为大麦田草地贪夜蛾幼虫种群调查提供了技术支持。

关键词 草地贪夜蛾; 大麦; 为害症状; 空间分布型; 抽样方法

中图分类号: S 435.132 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2019665

Population occurrence and sampling technique of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in barley field

YANG Xianming¹, ZHAO Shengyuan¹, JIANG Yuying², WU Kongming^{1*}

(1. State Key Laboratory for Biology of Plant Diseases and Insect Pests, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. China National Agro-Tech Extension and Service Center, Beijing 100125, China)

Abstract Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) could cause severe damage on gramineous crops in China, such as corn, surgeon and wheat, however, its occurrence in barley field is unexplored. In this study, the damage and spatial distribution of *S. frugiperda* in barley field were investigated in Malong district, Qujing city, Yunnan province. The barley was all at seedling to tillering stages. The results indicated that the percentage of barley fields infected by *S. frugiperda* was 62.5%, the percentage of damaged plants ranged from 9.33% to 100%, the average larval densities ranged from 1 to 46 individuals per meter square and early larvae at 1st to 3rd instar were found at high percentage (98.6%). There is a significant positive correlation between the percentage of damaged plants and larval density. Larvae of fall armyworm usually hide in the barley seedlings plant and feed on the central whorl leaf, resulting in the windowpane injury. Spatial distribution analysis indicated that the larvae on barley took a pattern of aggregation distribution. Further, a theoretical sampling model based on larval density was proposed. This study indicates that *S. frugiperda* is a serious threat to Chinese barley production, and results in the spatial distribution and theoretical sampling model provides a technical support for population density survey and control of *S. frugiperda* in barley field.

Key words fall armyworm; barley; damage pattern; spatial distribution pattern; sampling technique

世界性重大农业害虫草地贪夜蛾于 2018 年 12 月 11 日入侵我国云南^[1]。该虫入侵后,2019 年 1—3 月在云南多地为害,4 月后快速扩散蔓延至广西、广东、贵州和湖南。截至 10 月 8 号,已侵入西南、华南、江南、长江中下游、黄淮、西北、华北地区的 26 省

(区、市)1 538 个县(区、市),仅青海、新疆、辽宁、吉林、黑龙江 5 省(区)未见发生^[2-3],已发生面积达 108 万 hm²。据预测,草地贪夜蛾可迁飞至东北地区为害,威胁全国农业生产^[4]。

草地贪夜蛾寄主植物广泛,幼虫可取食为害包

括禾本科、菊科、豆科等 76 科的 350 多种植物^[5-9]。在我国,已发现草地贪夜蛾可为害玉米、甘蔗、小麦、高粱和花生等 15 种作物及皇竹草、马唐、牛筋草、苏丹草等禾本科杂草^[2]。草地贪夜蛾无滞育越冬习性,可在中国南方热带、亚热带地区周年发生为害,研究明确其在越冬寄主田的发生规律对指导防控工作意义重大。

大麦是一种重要的冬播禾谷类作物,具有生育期短、抗逆性强、适应性广等特点,可作为粮食及饲料和啤酒原料等^[10]。大麦全球种植面积约为 5 000 万 hm^2 ,是继小麦、玉米、水稻之后最重要的禾本科粮食作物,国际上已报道大麦是草地贪夜蛾的适宜寄主^[8, 11-12]。我国有悠久的大麦种植历史,目前种植面积 33 万 hm^2 ^[13-14],分布于我国南北各地 30 个省(市),云南是我国大麦种植的重要省份,常年种植面积约 10 万 hm^2 ^[14]。大麦分为皮大麦(即普通大麦)和裸大麦(即青稞)。我国皮大麦产区分为春播区和冬播区。冬播皮大麦主要分布在黄淮流域、长江流域、华南地区及西南高原等地,春播皮大麦主要分布在内蒙古、黑龙江、甘肃、新疆等西北和东北地区。截至目前,草地贪夜蛾已在上述我国大麦主要种植区域的玉米上发生,对我国大麦生产存在潜在为害风险。因此,开展田间大麦上草地贪夜蛾的发生为害情况调查,尤其是研究冬播大麦田草地贪夜蛾的发生为害和空间分布特点,明确草地贪夜蛾在中国南方的越冬寄主范围和发生规律、分析其为害风险成为当务之急。

1 材料与方法

1.1 大麦种植情况和调查方法

调查地点位于云南省曲靖市马龙区旧县镇附近(25.381°N,103.404°E),调查时间为 2019 年 10 月 20 日—11 月 3 日。调查品种为当地农民自留皮大麦种,前茬作物为玉米或烟草,以烟草居多。大麦种植密度约 50~200 株/ m^2 ,处于苗期至分蘖期。选取单块面积大于 667 m^2 的田块 16 块,每块田 5 点随机取样,每点调查 0.2 m^2 (约 10~25 株),记录植株受害症状、受害株数、草地贪夜蛾幼虫数量、龄期及其他害虫发生情况。

1.2 空间分布型分析方法

1.2.1 聚集度指标法

通过计算以下 6 种聚集度指标,解析草地贪夜

蛾的空间分布情况^[15-16]。1)扩散指数 C , $C=S^2/\bar{x}$ 。式中 S^2 为样本方差, $\bar{x}$ 为抽样单位(0.2 m^2)的平均虫量(下同)。2)平均拥挤度 M^* , $M^*=\bar{x}+S^2/\bar{x}-1$ 。3)丛生指数 I , $I=S^2/\bar{x}-1$ 。4)负二项分布参数 K , $K=\bar{x}^2/(S^2-\bar{x})$ 。5)Cassie 指标 C_A , $C_A=(S^2-\bar{x})/\bar{x}^2$ 。6)聚块指数($M^*/\bar{x}$)。

1.2.2 回归分析法

1)通过 Iwao 建立的 $M^*-\bar{x}$ 回归方程($M^*=\alpha+\beta\bar{x}$)来研究草地贪夜蛾的种群分布特征^[17-18]。 α 为分布基本成分的平均拥挤度,反映了个体散布情况:当 $\alpha=0$ 时,分布的基本成分为单个个体; $\alpha>0$ 时,个体间相互吸引,分布的基本成分是个体群; $\alpha<0$ 时,个体间相互排斥。 β 反映了个体群的空间分布型:当 $\beta<1$ 时,种群为均匀分布; $\beta=1$ 时,为随机分布; $\beta>1$ 时,为聚集分布。

2)利用 Taylor 幂法则 $S^2=a\bar{x}^b$ 分析草地贪夜蛾的空间分布型^[19]。将 Taylor 幂法则经对数转换为回归方程 $\lg S^2=\lg a+b\lg \bar{x}$ 。当 $\lg a>0, b=1$ 时,种群为聚集分布,不具有密度依赖性; $\lg a>0, b>1$ 时,为聚集分布,种群具有密度依赖性; $\lg a<0, b<1$ 时,为均匀分布,密度越高分布越均匀。

1.3 聚集原因分析

利用 Blackkith 的种群聚集均数(λ)理论检验草地贪夜蛾在大麦田的聚集原因^[15-16]。其中, $\lambda=\frac{\bar{x}}{2K}r$,式中 r 为自由度等于 $2K$ 时所对应的 χ^2 值(概率为 0.5)。当 $\lambda<2$ 时,表明个体的聚集是由环境因素引起;当 $\lambda\geq 2$ 时,个体的聚集是昆虫的聚集行为和环境因素综合作用的结果。

1.4 种群密度理论抽样数的确定

采用 Iwao 提出的抽样数公式,建立大麦田的草地贪夜蛾幼虫理论抽样数计算模型:

$$N = \frac{t^2}{D^2} \left(\frac{\alpha+1}{\bar{x}} + \beta - 1 \right)$$

式中: N 为最适理论抽样数; t 为一定置信度下的 t 分布值; D 为允许误差, α, β 为 Iwao $M^*-\bar{x}$ 回归方程中的截距和斜率。

2 结果与分析

2.1 草地贪夜蛾对大麦的为害情况

大麦田发现的草地贪夜蛾为 1~4 龄幼虫,比例分别为 74.1%、16.5%、8.0%及 1.4%,4 龄幼虫仅发现 3 头,均在叶片上。草地贪夜蛾 1~3 龄幼虫白

天多藏匿于心叶中啃食叶肉,大麦叶正面叶肉组织多被取食形成半透明薄膜窗孔,心叶被吃透后,随着叶片的伸长呈大小不等的孔洞(图 1)。低龄幼虫可吐丝并借助风力扩散转移到周边的植株上。调查大麦田未发现玉米自生苗,也未发现黏虫等其他食叶类害虫。

在调查的 16 块大麦田中,有 10 块田发现草地贪夜蛾为害,6 块无虫田块大麦生育期均为苗期。有虫田块占 62.5%,虫口密度为 1~46 头/m²,受害株率 9.33%~100%(表 1)。受害株率与虫口密度呈显著正相关($R^2=0.292\ 9^*$)(图 2)。



图 1 草地贪夜蛾为害大麦的症状

Fig. 1 Damage symptoms on barley caused by fall armyworm

表 1 草地贪夜蛾幼虫在云南寻甸大麦田的发生为害情况

Table 1 Occurrence of fall armyworm in barley fields in Xundian county, Yunnan province

样地 Sampling field	调查日期/年-月-日 Date	大麦生育期 Developmental stage of barley	受害株率/% Plant damaged rate	平均虫口密度/头·m ⁻² Average density
1	2019-10-20	苗期 Seedling stage	77.00	46.0
	2019-11-01	分蘖期 Tillering stage	100.00	18.0
2	2019-10-20	苗期 Seedling stage	29.00	9.0
	2019-11-01	分蘖期 Tillering stage	26.67	6.0
3	2019-10-21	分蘖期 Tillering stage	50.00	43.0
	2019-11-02	分蘖期 Tillering stage	34.19	1.0
4	2019-10-21	分蘖期 Tillering stage	30.00	13.0
	2019-11-02	分蘖期 Tillering stage	26.67	9.0
5	2019-11-02	苗期 Seedling stage	37.62	5.0
6	2019-11-02	分蘖期 Tillering stage	9.33	1.0
7	2019-11-02	分蘖期 Tillering stage	19.00	8.0
8	2019-11-03	苗期 Seedling stage	24.44	12.0
9	2019-11-03	分蘖期 Tillering stage	80.72	13.0
10	2019-11-03	分蘖期 Tillering stage	41.29	23.0

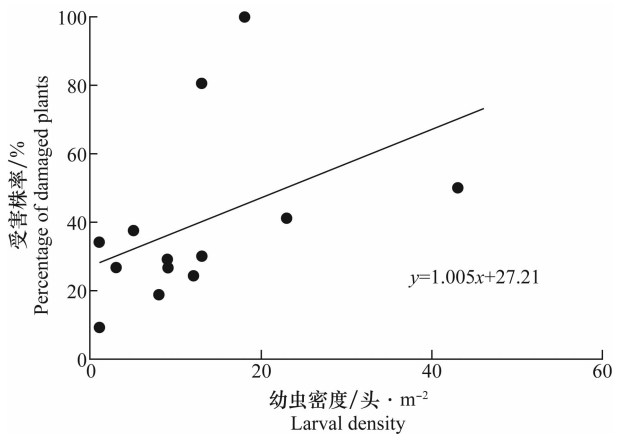


图 2 草地贪夜蛾幼虫密度与大麦受害株率的关系

Fig. 2 Relationship between larval density of fall armyworm and percentage of damaged barley plants

2.2 大麦田草地贪夜蛾幼虫空间分布型

有草地贪夜蛾为害的 10 块大麦田中,对其中 4 块田进行了两次调查。根据对聚集度指标扩散指数 C、平均拥挤度 M*、丛生指数 I、负二项分布参数 K、Cassie 指数 C_A 及聚块指数(M*/ $\bar{x}$)进行分析,结果表明共有 7 块大麦田 8 次调查的草地贪夜蛾为聚集分布(表 2)。

对所有抽样田块的样本平均密度 $\bar{x}$ 与平均拥挤度 M* 进行回归分析表明, $\bar{x}$ 与 M* 的线性回归方程为:M* = 0.159 5 + 1.438 7 $\bar{x}$ ($R^2=0.659\ 2^{**}$)。回归方程中, $\alpha > 0$ 表明草地贪夜蛾幼虫在大麦田中分布的基本成分是个体群,个体间相互吸引, $\beta > 1$ 表明草地贪夜蛾幼虫个体群在所有大麦田中总体

上呈聚集分布。回归分析表明,草地贪夜蛾幼虫在大麦田整体上呈聚集分布。

根据 Taylor 幂法则公式 $S^2 = a\bar{x}^b$, 对大麦田草地贪夜蛾幼虫的平均密度及方差进行回归分析,得

到回归方程 $\lg S^2 = 0.038\ 7 + 1.341\ 8\ \lg \bar{x}$ ($R^2 = 0.640\ 5^{**}$)。参数 $\lg a = 0.038\ 7 > 0$, $b = 1.341\ 8 > 1$, 表明大麦田中草地贪夜蛾幼虫为聚集分布,且具有密度依赖性,幼虫聚集程度随密度的升高而上升。

表 2 大麦田草地贪夜蛾幼虫聚集度指标¹⁾
Table 2 Aggregation indices of fall armyworm larvae in barley fields

样地 Sampling field	调查日期/ 年-月-日 Investigation date	方差 S^2 Variance	扩散指数 C Diffusion coefficient	平均拥挤度 M^* Mean crowded degree	丛生指数 I Clumping index	负二项分布参数 K Parameter of negative binomial distribution	Cassie 指数 C_A Cassie index	聚块指数 $M^*/\bar{x}$ Aggregating index	种群聚集 均数 λ Aggregation intensity index
1	2019-10-20	20.7	2.25	10.45	1.25	7.36	0.14	1.14	16.46
	2019-11-01	8.3	2.31	4.91	1.31	2.76	0.36	1.36	21.76
2	2019-10-20	0.7	0.39	1.19	-0.61	-2.95	-0.34	0.66	—
	2019-11-01	0.8	1.33	0.93	0.33	1.80	0.56	1.56	7.22
3	2019-10-21	38.3	4.45	12.05	3.45	2.49	0.40	1.40	5.80
	2019-11-02	0.2	1.00	0.20	0.00	/	0.00	1.00	—
4	2019-10-21	0.3	0.12	1.72	-0.88	-2.94	-0.34	0.66	—
	2019-11-02	6.2	3.44	4.24	2.44	0.74	1.36	2.36	0.56
5	2019-11-02	1.0	1.00	1.00	0.00	/	0.00	1.00	—
6	2019-11-02	0.2	1.00	0.20	0.00	/	0.00	1.00	—
7	2019-11-02	0.3	0.19	0.79	-0.81	-1.97	-0.51	0.49	—
8	2019-11-03	6.3	2.63	4.03	1.63	1.48	0.68	1.68	1.93
9	2019-11-03	3.8	1.46	3.06	0.46	5.63	0.18	1.18	14.62
10	2019-11-03	57.8	12.57	16.17	11.57	0.40	2.51	3.51	2.66

1) 表中数据用加粗字体的表示该田块中草地贪夜蛾幼虫为聚集分布,非加粗表示为均匀分布。/表示该田块草地贪夜蛾数量少,未计算负二项分布参数 K 。—表示该田块草地贪夜蛾为非聚集分布,未计算其种群聚集均数。
Data in bold font indicates the larvae show an aggregation distribution and others means that larvae exhibits an evenly distribution. / indicates parameter of negative binomial distribution cannot be calculated because of the low number of individuals in the specific field. — indicates aggregation intensity index cannot be calculated because of the non-aggregative distribution of fall armyworm in the specific field.

对草地贪夜蛾为聚集分布的 7 块大麦田 8 次调查数据进行分析,得到其种群聚集均数 λ 值在 0.56~21.76 之间。2 块田的 λ 值小于 2,表明草地贪夜蛾在这两块大麦田中的聚集是由环境因素主导。其余 5 块田 6 次调查数据的 λ 值均大于 2,表明草地贪夜蛾在这些大麦田的聚集由环境因素或该虫本身的聚集习性导致。

2.3 大麦田草地贪夜蛾幼虫的理论抽样技术

将大麦田草地贪夜蛾幼虫的 $I_{wao} M^* - \bar{x}$ 回归

模型系数 $\alpha = 0.159\ 5$, $\beta = 1.438\ 7$ 代入公式得出在概率 0.95 (t 值为 1.96) 条件下的最佳理论抽样数模型: $N = \left(\frac{3.84}{D^2}\right) \left(\frac{1.159\ 5}{\bar{x}} + 0.438\ 7\right)$ 。基于上述公式,可计算不同误差条件下 ($D = 0.1, 0.2, 0.3$) 草地贪夜蛾幼虫在相应密度 $\bar{x}$ 时的理论最佳抽样数 N (表 3)。结果表明,为保证 0.3 的误差,在虫口密度为 10 头/ m^2 时,需调查 11 个 0.2 m^2 的抽样单元,在虫口密度为 20 头/ m^2 时,需调查 8 个抽样单元。

表 3 大麦田中不同密度下草地贪夜蛾幼虫的理论抽样数¹⁾
Table 3 Theoretical sampling number of fall armyworm larvae at different densities in the barley fields

误差 D Error	不同虫口密度下的理论抽样数/个* Theoretical sampling number at different larval densities					
	2.5 头/ m^2	5 头/ m^2	10 头/ m^2	20 头/ m^2	40 头/ m^2	80 头/ m^2
0.1	276	160	102	73	58	51
0.2	69	40	25	18	15	13
0.3	31	18	11	8	6	6

1) * 抽样单元面积为 0.2 m^2 。
* The size of sample unit for this table is 0.2 m^2 .

3 讨论

草地贪夜蛾入侵我国后,玉米是其最喜食的寄主作物。2019年10月中旬,我们于云南省寻甸县发现草地贪夜蛾严重为害小麦,幼虫虫口密度可高达105.6头/m²^[20],已对我国小麦生产构成严重威胁。在我国另一重要麦类作物大麦上进一步调查表明,发生严重的大麦田块受害株率可达100%,虫口密度最高达46头/m²,草地贪夜蛾已成为我国大麦上的重要新害虫。在草地贪夜蛾起源地美国,大麦也是草地贪夜蛾的重要寄主作物,受害严重的地块,大麦和黑麦丧失饲用价值^[12]。目前草地贪夜蛾已在我国大部分省(市)玉米上发生^[2]。同时,该虫在我国的适生区广,涵盖了除新疆、青海、黑龙江、吉林外的大部分区域^[21-22]。草地贪夜蛾发生及适生区域基本覆盖了我国大麦种植区。因此,草地贪夜蛾对我国大麦生产将造成直接威胁。需加强各地大麦上草地贪夜蛾发生为害的监测与防控。

国外对大麦上草地贪夜蛾发生为害的研究较少。在美国,草地贪夜蛾多于大麦苗期产卵,卵孵化后幼虫为害约3周,是大麦苗期的重要害虫^[11]。本研究在苗期至分蘖期大麦上均发现草地贪夜蛾为害。在本研究调查的田块中,有6块未发现草地贪夜蛾为害。该6块大麦田处于苗期,推测调查时草地贪夜蛾尚未产卵,随着植株的生长,可能会出现该虫产卵、为害现象。不同田块草地贪夜蛾受害株率及幼虫密度差异较大,除受本地虫源和外地迁入虫源数量影响外,可能是由于作物播期及长势不同或者用药程度不一致导致,原因需进一步调查研究。本研究表明为害苗期至分蘖期大麦的草地贪夜蛾主要为1~3龄幼虫。幼虫白天于心叶中藏匿取食,被取食叶片形成半透明薄膜“窗孔”,表现症状与受害的小麦和玉米类似^[23-28],该症状可作为田间发生调查的诊断依据。低龄幼虫为害大麦的生育期同小麦一致^[20],因低龄幼虫发生盛期为防治草地贪夜蛾的关键时期,因此,在生产中应密切监测苗期及分蘖期大麦上草地贪夜蛾种群数量,以指导科学防控。本研究在大麦上暂未发现草地贪夜蛾卵块。在小麦上,草地贪夜蛾高龄幼虫多于晚上取食为害,白天落于地面、隐藏于土壤缝隙中^[23-24]。大麦田草地贪夜

蛾的产卵习性、生长发育及种群消长规律尚不清楚,还需进一步观测研究。

开展对草地贪夜蛾的监测,需明确其空间分布特点,进行科学抽样。本文对草地贪夜蛾空间分布型的研究结果表明,1~3龄幼虫于大麦田多为聚集分布,与其低龄幼虫在小麦、玉米寄主作物上的空间分布型一致^[20,29-30]。因此,在抽样调查时应该进行多点调查取样,以降低试验误差。根据该虫空间分布类型,我们进一步提出了大麦田草地贪夜蛾的理论抽样模型,以实现田间草地贪夜蛾的科学抽样。

草地贪夜蛾于华南热带、亚热带地区可周年发生为害,明确其在该地区的发生规律对指导科学防控具有重要意义。在云南、广西、广东、海南、福建等草地贪夜蛾周年繁殖区,夏季大面积种植玉米、甘蔗等作物,为草地贪夜蛾提供了充足的偏好奇主植物,减少了其为害当地其他作物的风险,也一定程度延缓了其北迁的时间。秋冬季,随着夏玉米收获,玉米种植面积大幅减少,本地虫源及北方回迁虫源叠加的种群对食料的需求不能得到满足,自然会转移到秋季陆续播种的大麦、小麦等作物上为害,从而使小麦、大麦等作物受害的风险增加。草地贪夜蛾于冬季可为害小麦、大麦,验证了该虫具有夏季主要为害玉米,冬季可向小麦、大麦等作物转移为害的多寄主转移规律。因此,在周年繁殖区,冬季作物种植结构的多样性为草地贪夜蛾提供了较多适生寄主,使其能够繁殖一定的越冬虫量,维持其种群基数。在国外,草地贪夜蛾的多食性使其在非偏好作物生长季节或非偏好作物种植区,可通过取食非偏好寄主维持种群,从而威胁下季作物安全生产。例如,在巴西,旱季草地贪夜蛾可取食为害谷子,导致其在玉米生产淡季及种植季均可保持较高虫量^[31]。同时,草地贪夜蛾也可以非喜食作物田旁边或作物田内的杂草作为桥梁寄主产卵为害,从而增加对偏好作物的损害程度^[8]。

因此,在草地贪夜蛾周年繁殖区,要对该虫的发生情况进行全年监测。首先,加强对玉米、高粱、甘蔗、谷子、小麦、大麦等已知受害作物上草地贪夜蛾发生为害情况的监测和控制;同时加强大豆、向日葵、烟草及各种蔬菜等草地贪夜蛾潜在寄主作物的调查和预防;最后,利用性诱剂、高空测报灯和昆虫雷

达等综合技术,掌握本地种群和迁飞种群的动态。通过以上三方面的研究,最终掌握周年繁殖区草地贪夜蛾发生为害特点和演变规律,研判草地贪夜蛾发生形势,做好监测预警,为科学防控提供基础数据。

参考文献

- [1] SUN Xiaoxu, HU Chaoxing, JIA Huiru, et al. Case study on the first immigration of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* invading into China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2019, 18: 2–10.
- [2] 姜玉英, 刘杰, 谢茂昌, 等. 2019 年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 10–19.
- [3] 农业农村部就草地贪夜蛾防控工作举行新闻发布会[EB/OL]. (2019–09–17)[2019–11–28]. http://www.moa.gov.cn/hd/zbft_news/cdtyefk/.
- [4] WU Qiulin, HE Limei, SHEN Xiujing, et al. Estimation of the potential infestation area of newly-invaded fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in the Yangtze River valley of China [J/OL]. Insects, 2019, 10(9): 298. doi: 10.3390/insects10090298.
- [5] CAPINERA J L. Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) [EB/OL]. (1997–07)[2019–10–28]. http://entnemdept.ufl.edu/creatures/field/fall_armyworm.htm#host.
- [6] CABI. *Spodoptera frugiperda* (fall armyworm)[R]. Wallingford, UK: CAB International, 2016.
- [7] LUGINBILL P. The fall army worm [M]. USDA Technology Bulletin, 1928, 34: 91.
- [8] MONTEZANO D G, SPECHT A, SOSA-GÓMEZ D R, et al. Host plants of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in the Americas [J]. African Entomology, 2018, 26(2): 286–300.
- [9] SPARKS A N. A review of the biology of the fall armyworm [J]. The Florida Entomologist, 1979, 62(2): 82–86.
- [10] 边秀秀, 李志兰, 任红艳, 等. 我国大麦产业发展现状和遗传育种研究重点趋势分析[J]. 生物技术进展, 2012, 2(5): 309–314.
- [11] SCHAFFER J A, PALM E, MUNSON R. Barley [R]. Extension University of Missouri. MF845. 1993. 10. <https://extension2.missouri.edu/g4312>.
- [12] Agricultural Research Service Plant Pest Control Division. Summary of insect conditions in the United States-1960 [J]. Cooperative Economic Insect Report, 1961, 11(8): 104.
- [13] 贾小玲, 孙致陆, 李先德. 我国大麦价格波动特征及其影响因素分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(1): 23–30.
- [14] 中国人民国国家统计局. 国家数据.[EB/OL][2019–11–29]. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>.
- [15] 丁岩钦. 昆虫数学生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [16] 徐汝梅. 昆虫种群生态学[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 1987.
- [17] IWAO S. Application of the *m-m* method to the analysis of spatial patterns by changing the quadrat size method to the analysis of spatial patterns by changing the quadrat size [J]. Population Ecology, 1972, 14(1): 97–128.
- [18] IWAO S. A new regress method for analyzing the aggregation pattern of animal population [J]. Population Ecology, 1968, 10(1): 1–20.
- [19] TAYLOR L R. Aggregation, variance and the mean [J]. Nature, 1961, 189(4766): 732–735.
- [20] 杨现明, 孙小旭, 赵胜园, 等. 小麦田草地贪夜蛾的发生为害、空间分布与抽样技术[J]. 植物保护, 2020, 46(1): 10–16.
- [21] 林伟, 徐森锋, 权永兵, 等. 基于 MaxEnt 模型的草地贪夜蛾适生性分析[J]. 植物检疫, 2019, 33(4): 69–73.
- [22] 秦誉嘉, 蓝帅, 赵紫华, 等. 迁飞性害虫草地贪夜蛾在我国的潜在地理分布[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 43–47.
- [23] STUDEBAKER G E, KRING T, LORENZ G, et al. Wheat insect management and control [R]. University of Arkansas Cooperative Extension Service Printing Services. FSA7016-PD-11-04RV.
- [24] MICHAUD J P, WHITWORTH R J, SCHWARTING H N. Wheat insect management [R]. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. MF845. 2015. 01.
- [25] ARAHAMS P, BEALE T, COCK M, et al. Fall armyworm status: Impacts and control options in Africa: Preliminary evidence note (April 2017) [R]. CABI, UK, 2017.
- [26] Food and Agriculture Organization of the United Nations. Integrated management of the fall armyworm on maize: A guide for farmer field schools in Africa [R]. 2018.
- [27] LUGINBILL P. The fall army worm [R]. USDA Technology Bulletin, 1928, 34: 2–7.
- [28] PRASANNA B M, HUESING J E, EDDY R, et al. Fall armyworm in Africa: a guide for integrated pest management [R]. CIMMYT/USAID, 2018.
- [29] FARIAS PAULO R S, BARBOSA J C, BUSOLI A C. Spatial distribution of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), on corn crop [J]. Neotropical Entomology, 2001, 30(4): 681–689.
- [30] FARIAS PAULO R S, BARBOSA J C, BUSOLI A C, et al. Spatial analysis of the distribution of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and losses in maize crop productivity using geostatistics [J]. Neotropical Entomology, 2008, 37(3): 321–327.
- [31] FAVETTI B M, BRAGA-SANTOS T L, MASSAROLLI A, et al. Pearl millet: a green bridge for lepidopteran pests [J]. Journal of Agricultural Science, 2017, 9(6): 92–97.

(责任编辑: 杨明丽)