



李子园, 唐敏, 邵屯, 林丹敏, 王磊, 陆永跃, 陈科伟. 一种估算草地贪夜蛾卵块中卵粒数量的简易方法 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (6): 1322–1329.

一种估算草地贪夜蛾卵块中卵粒数量的简易方法

李子园¹, 唐敏³, 邵屯⁴, 林丹敏¹, 王磊¹, 陆永跃^{1*}, 陈科伟^{1,2*}

(1. 华南农业大学植物保护学院, 广州 501642; 2. 广东省生物农药创制与利用重点实验室, 广州 501642;

3. 仲恺农业工程学院农业与生物学院, 广州 510225; 4. 广州海关, 广州 510623)

摘要: 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (Smith) 是 2019 年发现入侵我国的一种重要的外来害虫, 对我国粮食种植业造成严重威胁。明确虫情是做好草地贪夜蛾预测预报和制定科学防控策略基础。在田间调查中需要一种简便、快速估计落卵量的方法, 以明确田间虫口数量。本研究在实验室条件下收集草地贪夜蛾雌虫产于玉米叶片上的卵块, 记录了每个卵块的长、宽、层数和卵粒数量, 获得了卵块面积, 建立了卵粒数量与卵块面积的指数函数模型: $Y = e^{(2.1596 \times 0.00832X)}$, 并依据该模型提出了根据卵块面积测算卵粒数量的分级表。该方法为田间调查中卵块卵粒数量量的快速估计提供了参考。

关键词: 草地贪夜蛾; 田间调查; 卵块; 卵粒数量

中图分类号: Q968.1; S433

文献标识码: A

文章编号: 1674-0858 (2020) 06-1322-08

A method for estimating the number of *Spodoptera frugiperda* (Smith) eggs per egg mass

LI Zi-Yuan¹, TANG Min³, SHAO Tun⁴, LIN Dan-Min¹, WANG Lei¹, LU Yong-Yue¹, CHEN Ke-Wei^{1,2*} (1. College of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Guangdong Key Laboratory of Bio-pesticide Innovation and Application, Guangzhou 510642, China; 3. College of Agriculture and Biology, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China; 4. Guangzhou Customs District, Guangzhou 510623, China)

Abstract: The fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Smith) was an important new invasive pest, which was found to infest in China in 2019, and would cause a serious threat to Chinese crop production. To clear the occurrence of *S. frugiperda* in the fields is the basis of its scientific prediction and controlling. In field surveillance for the moth, a rapid and simple method to estimate the number of eggs at crops is needed. The study analyzed the length, width, tier and number of eggs per egg mass that *S. frugiperda* females laid in corn leaves in lab condition, and calculated the area of the egg mass. The exponential function model between the egg mass area and number of eggs per egg mass was established as $Y = e^{(2.1596 + 0.00832X)}$. The standard to calculate the number of eggs through the egg mass area data was also proposed based on the above model. The result can provide a reference for rapid estimation of number of eggs per egg mass in field investigation.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; field investigation; egg mass; number of eggs

基金项目: 广东省重点领域研发计划 (2020B020223004); 广东省自然科学基金 (2019A151010588); 广东省农业产业技术体系创新团队 (2019KJ104-08, 2020KJ134)

作者简介: 李子园, 女, 1996 年生, 广东饶平人, 硕士研究生, 研究方向为昆虫生态学与害虫生物防治, E-mail: 791046629@qq.com

* 通讯作者 Author for corresponding: 陈科伟, 博士, 副教授, E-mail: chenkewei@scau.edu.cn; 陆永跃, 博士, 教授, E-mail: luyongyue@scau.edu.cn

收稿日期 Received: 2020-10-02; 接受日期 Accepted: 2020-10-13

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* (Smith) 原产于美洲 (Early *et al.*, 2018), 2019 年 1 月在我国云南省局部地区发现危害 (王磊等, 2019), 之后通过不断迁飞蔓延, 当年 10 月就侵入了 26 个省区 1 538 个县区, 2020 年截止 7 月 9 日我国共有 21 个省 (市、区) 1 029 县 (区) 发现草地贪夜蛾幼虫, 危害面积近 66.7 万 hm^2 (王磊和陆永跃, 2020)。我国农业农村部预计 2020 年草地贪夜蛾全年发生面积 1 亿亩左右, 威胁区域占玉米种植区域的 50% 以上, 同时, 西南、华南地区甘蔗、高粱, 以及黄淮以南地区冬小麦也存在受害风险。

开展草地贪夜蛾监测调查、明确虫情是做好其预报和防控的前提和基础 (洗继东等, 2019)。害虫卵量调查是虫情调查的重要内容之一, 获得准确的卵量对明确虫情、预测种群发生发展趋势、制定防控方案、开展防控等均具有重要意义 (张孝羲, 2011)。在进行草地贪夜蛾田间卵量调查时一般仅记录卵块数量。但是由于该虫的卵块常呈不规则形状, 大小差异较大, 层数不同, 因此所含卵粒的数量也显著不同, 从数十粒到 200 粒不等 (Prasanna *et al.*, 2018)。另外, 由于草地贪夜蛾的卵粒较小, 且卵块上通常覆盖着鳞毛 (赵胜园等, 2019), 使得在田间调查中通过目测很难快速判断出卵块中的卵粒数量。本文测量了草地贪夜蛾卵块面积, 记录了卵粒数量, 分析、建立了卵块中卵粒数量与卵块大小之间关系模型, 提出以卵块面积判断卵粒数量的分级表, 为田间调查中卵块中卵粒数量的快速判断提供了依据。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

草地贪夜蛾: 2019 年 4 月在广州市花都区花山镇红群村玉米地 (23.4829°N, 113.2673°E) 采获幼虫, 在实验室条件下用人工饲料饲养、保持种群 (李子园等, 2019)。饲养条件: 温度 $26 \pm 1^\circ\text{C}$, 相对湿度 60% ~ 70%, 光周期 16 L: 8 D (PQX-450B-22HM 型人工气候箱, 宁波莱福科技有限公司)。

1.2 供试植株

供试玉米品种为粤甜 28 号 (粤审玉 20170004)。将玉米种植在塑料花盆 (外径 23 cm,

底径 14.5 cm, 内径 19.5 cm, 高 20 cm) 中, 种植基质为土壤与有机生物肥按 5:1 比例方式配制, 土壤表面距花盆高度为 5 cm, 种植密度为 3 株/盆。待玉米植株高约 60 cm, 约有 8 片叶完全展开时进行试验。

1.3 试验方案

以草地贪夜蛾 F_6 代作为试验虫源, 幼虫采用新鲜玉米叶单头单管 (3.2 cm $\times$ 10 cm) 饲养, 每日更换足量新鲜叶片。待成虫羽化后随机挑选 10 对健康成虫, 移入放有 4 盆玉米 (共 12 株) 的养虫笼 (100 cm $\times$ 100 cm $\times$ 100 cm) 内, 并添加 15% 蜂蜜水作为补充营养。每日收集产在玉米叶片上的卵块, 记录形状完整的卵块的长 (卵块两端最长距离)、宽 (长的垂直处两端最长距离)、层数和卵粒数量等参数, 散产卵粒不在记录范围。试验重复 3 次。

1.4 数据处理

草地贪夜蛾卵块面积按近似椭圆形面积公式计算, 多层卵面积按每增加一层较底层面积递减 50% 计算, 具体计算公式如下:

$$\text{单层卵块面积: } X = L \times W \times \pi/4 \quad (1)$$

$$\text{含两层卵的卵块面积: } X = 1.5 \times L \times W \times \pi/4 \quad (2)$$

$$\text{含三层卵的卵块面积: } X = 1.75 \times L \times W \times \pi/4 \quad (3)$$

其中, X 为卵块面积, L 为卵块的长 (mm), W 为卵块的宽 (mm)。

采用 SAS 9.1 软件中 NLIN 语句进行指数函数 $Y = e^{(a+bX)}$ 的拟合, 其中 Y 为卵块卵粒数量的平方根, X 为卵块面积, 模型的适合性采用 χ^2 检验。计算预测值 $\pm 25\%$ 的区间, 当实际卵粒数量落于该区间时认为预测值与实际值相吻合, 反之则不吻合。试验共记录了 117 个卵块数据, 其中 97 个卵块数据用于模型的拟合, 20 个卵块数据用于验证模型预测的准确率。采用 origin 2020b 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 卵粒数量与卵块大小的关系

对草地贪夜蛾卵块数据统计分析表明, 随着卵块面积的增大, 卵粒数量呈几何增长, 卵块所

含卵粒数量与卵块面积的关系可用指数方程 $Y = e^{(2.1596 + 0.00832X)}$ ($R^2 = 0.9916$, $P < 0.0001$) 来进行描述, 其中 Y 为卵块中卵粒数量的平方根, X 为卵块面积。预测模型具有较高的适合度 (χ^2 检验, $\chi^2 = 10.2828$, $P = 1$, $df = 97$; 图 1)。试验中用于模型拟合的共有 97 个卵块, 其中有 17 个卵块的实际卵量落于估值区间范围之外, 模型回测的准确率为 82.47%; 用于模型验证的有 20 个卵块, 其中有 5 个卵块的实际卵量落于估值区间范围之外, 吻合率为 75% (表 1)。

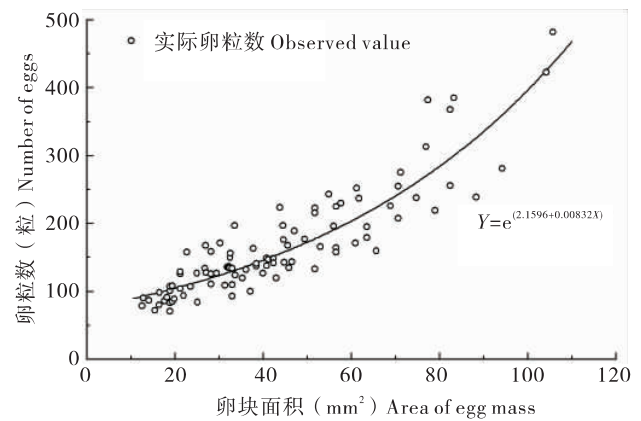


图 1 草地贪夜蛾卵块中卵粒数量与卵块面积的关系
Fig. 1 Relationship between the number of eggs and the area of egg mass of *Spodoptera frugiperda*

表 1 草地贪夜蛾卵块含卵量预测结果

Table 1 Predicting results of number of eggs in egg mass of *Spodoptera frugiperda*

数据类型 Data type	卵块参数 Parameters of egg mass						预测值 25% 估值区间 (粒) 25% upper and lower of predicted value	模型吻 合度 Model fitting
	卵块编号 No. of egg mass	层数 Number of layer	长 (mm) Length	宽 (mm) Width	卵块面积 (mm ²) Area	卵粒数量 (粒) Number of eggs		
用于模型 拟合数据 Data used to fit the forecasting model	1	2	6.3	1.7	12.61	79	70 ~ 116	✓
	2	2	5.2	2.1	12.86	90	70 ~ 116	✓
	3	2	4.0	3.0	14.13	87	71 ~ 119	✓
	4	1	5.8	3.4	15.48	72	73 ~ 122	下限* Lower limit
	5	1	8.7	2.4	16.39	80	74 ~ 123	✓
	6	3	4.0	3.0	16.49	98	74 ~ 124	✓
	7	2	5.0	3.0	17.66	86	76 ~ 126	✓
	8	1	7.5	3.1	18.25	91	76 ~ 127	✓
	9	1	6.0	4.0	18.84	101	77 ~ 128	✓
	10	1	6.0	4.0	18.84	71	77 ~ 128	下限 Lower limit
	11	1	6.0	4.0	18.84	83	77 ~ 128	✓
	12	2	8.0	2.0	18.84	107	77 ~ 128	✓
	13	1	7.5	3.3	19.43	85	78 ~ 130	✓
	14	2	5.5	3.0	19.43	108	78 ~ 130	✓
	15	1	6.5	3.9	19.90	89	78 ~ 131	✓
	16	2	6.0	3.0	21.20	126	80 ~ 134	✓
	17	2	6.0	3.0	21.20	129	80 ~ 134	✓
	18	2	6.0	3.0	21.20	104	80 ~ 134	✓
	19	1	7.0	4.0	21.98	94	81 ~ 135	✓
	20	3	5.7	2.9	22.71	158	82 ~ 137	上限* Upper limit

续表 1 Continued table 1

数据类型 Data type	卵块参数 Parameters of egg mass						预测值 25% 估值区间 (粒) 25% upper and lower of predicted value	模型吻 合度 Model fitting
	卵块编号 No. of egg mass	层数 Number of layer	长 (mm) Length	宽 (mm) Width	卵块面积 (mm ²) Area	卵粒数量 (粒) Number of eggs		
用于模型 拟合数据 Data used to fit the forecasting model	21	2	5.0	4.0	23.55	107	83 ~ 139	√
	22	3	6.5	2.8	25.00	127	85 ~ 142	√
	23	1	8.0	4.0	25.12	84	86 ~ 143	下限 Lower limit
	24	2	6.7	3.4	26.82	134	88 ~ 147	√
	25	2	10.9	2.1	26.95	168	88 ~ 147	上限 Upper limit
	26	2	7.2	3.2	27.13	128	88 ~ 147	√
	27	1	12.0	3.0	28.26	126	90 ~ 150	√
	28	2	8.0	3.0	28.26	111	90 ~ 150	√
	29	2	6.0	4.0	28.26	159	90 ~ 150	上限 Upper limit
	30	2	5.0	5.0	29.44	127	92 ~ 153	√
	31	2	9.9	2.6	30.31	171	93 ~ 156	上限 Upper limit
	32	1	10.0	4.0	31.40	109	95 ~ 158	√
	33	2	8.2	3.3	31.86	136	96 ~ 160	√
	34	2	6.2	4.4	32.12	136	96 ~ 160	√
	35	3	5.1	4.6	32.23	137	96 ~ 161	√
	36	2	5.5	5.0	32.38	135	97 ~ 161	√
	37	2	12	2.3	32.50	150	97 ~ 161	√
	38	2	7.9	3.5	32.56	156	97 ~ 161	√
	39	1	7.0	6.0	32.97	93	98 ~ 163	下限 Lower limit
	40	2	7.0	4.0	32.97	110	98 ~ 163	√
	41	2	7.0	4.0	32.97	134	98 ~ 163	√
	42	3	7.4	3.3	33.55	197	98 ~ 164	上限 Upper limit
	43	2	8.4	3.4	33.63	124	99 ~ 164	√
	44	2	6.0	5.0	35.33	120	101 ~ 169	√
	45	2	10.6	2.9	36.20	132	103 ~ 172	√
	46	3	7.1	3.8	37.06	100	104 ~ 174	下限 Lower limit
	47	1	10.7	4.5	37.80	163	106 ~ 176	√
	48	1	7.0	7.0	38.47	137	107 ~ 178	√
	49	3	7.0	4.0	38.47	141	107 ~ 178	√
	50	2	5.0	6.8	40.04	127	110 ~ 183	√
	51	1	13.0	4.0	40.82	138	111 ~ 185	√
	52	1	13.0	4.0	40.82	149	111 ~ 185	√
	53	2	7.0	5.0	41.21	147	112 ~ 186	√

续表 1 Continued table 1

数据类型 Data type	卵块参数 Parameters of egg mass						预测值 25% 估值区间 (粒) 25% upper and lower of predicted value	模型吻 合度 Model fitting
	卵块编号 No. of egg mass	层数 Number of layer	长 (mm) Length	宽 (mm) Width	卵块面积 (mm ²) Area	卵粒数量 (粒) Number of eggs		
用于模型 拟合数据 Data used to fit the forecasting model	54	2	9.7	3.7	42.26	148	114 ~ 190	√
	55	2	12.0	3.0	42.39	148	114 ~ 190	√
	56	2	9.0	4.0	42.39	142	114 ~ 190	√
	57	2	8.3	4.4	43.00	120	115 ~ 192	√
	58	2	8.1	4.6	43.87	224	117 ~ 195	上限 Upper limit
	59	2	9.0	4.2	44.51	197	118 ~ 197	√
	60	2	14.6	2.6	44.70	176	119 ~ 198	√
	61	1	19.0	3.0	44.75	143	119 ~ 198	√
	62	2	8.8	4.4	45.59	168	120 ~ 201	√
	63	2	8.3	4.7	45.93	135	121 ~ 202	√
	64	2	11.3	3.5	46.57	144	122 ~ 204	√
	65	1	10.0	6.0	47.10	189	123 ~ 206	√
	66	3	9.0	4.0	49.46	177	128 ~ 214	√
	67	2	11.0	4.0	51.81	223	133 ~ 222	上限 Upper limit
	68	2	11.0	4.0	51.81	216	133 ~ 222	√
	69	2	11.0	4.0	51.81	133	133 ~ 222	√
	70	2	9.0	5.0	52.99	166	136 ~ 227	√
	71	3	8.0	5.0	54.95	243	141 ~ 234	上限 Upper limit
	72	2	7.2	6.6	55.95	196	143 ~ 238	√
	73	2	9.6	5.0	56.52	164	144 ~ 241	√
	74	2	12.0	4.0	56.52	225	144 ~ 241	√
	75	2	8.0	6.0	56.52	158	144 ~ 241	√
	76	3	7.0	6.0	57.70	230	147 ~ 245	√
	77	2	14.0	3.7	60.99	171	155 ~ 259	√
	78	2	13.0	4.0	61.23	252	156 ~ 260	√
	79	3	9.0	5.0	61.82	237	158 ~ 263	√
	80	2	9.0	6.0	63.59	195	162 ~ 271	√
	81	2	9.0	6.0	63.59	179	162 ~ 271	√
	82	2	14.3	3.9	65.67	160	168 ~ 280	下限 Lower limit
	83	2	13.6	4.3	68.86	226	177 ~ 295	√
	84	2	12.0	5.0	70.65	255	183 ~ 304	√
	85	1	18.0	5.0	70.65	208	183 ~ 304	√
	86	3	10.8	4.8	71.22	275	184 ~ 307	√

续表 1 Continued table 1

数据类型 Data type	卵块参数 Parameters of egg mass						预测值 25% 估值区间 (粒) 25% upper and lower of predicted value	模型吻 合度 Model fitting
	卵块编号 No. of egg mass	层数 Number of layer	长 (mm) Length	宽 (mm) Width	卵块面积 (mm ²) Area	卵粒数量 (粒) Number of eggs		
用于模型 拟合数据 Data used to fit the forecasting model	87	2	13.8	4.6	74.75	238	195 ~ 326	√
	88	3	8.0	7.0	76.93	313	203 ~ 338	√
	89	3	11.5	4.9	77.41	382	204 ~ 341	上限 Upper limit
	90	2	11.0	6.1	79.01	219	210 ~ 350	√
	91	2	14.0	5.0	82.43	256	222 ~ 370	√
	92	3	10.0	6.0	82.43	368	222 ~ 370	√
	93	3	12.9	4.7	83.29	385	225 ~ 376	上限 Upper limit
	94	2	15.0	5.0	88.31	239	245 ~ 408	下限 Lower limit
	95	2	20.0	4.0	94.20	281	270 ~ 450	√
	96	3	15.8	4.8	104.19	423	319 ~ 532	√
用于模型 验证数据 Data used to verify the forecasting model	97	3	11.0	7.0	105.78	482	328 ~ 546	√
	98	1	4.9	3.6	13.85	73	71 ~ 118	√
	99	1	5.4	4.5	19.08	74	77 ~ 129	下限 Lower limit
	100	1	11.7	4.0	36.74	135	104 ~ 173	√
	101	1	8.2	2.7	17.38	76	75 ~ 125	√
	102	1	6.2	3.7	18.01	79	76 ~ 127	√
	103	2	13.0	5.0	76.54	136	201 ~ 336	下限 Lower limit
	104	2	8.2	4.6	44.42	139	118 ~ 197	√
	105	2	8.3	2.9	28.34	142	90 ~ 150	√
	106	2	9.8	3.6	41.54	143	112 ~ 187	√
	107	2	11.5	5.7	77.19	226	204 ~ 339	√
	108	1	19.5	5.0	76.54	231	201 ~ 336	√
	109	1	15.9	3.6	44.93	234	119 ~ 198	上限 Upper limit
	110	3	9.9	5.7	77.52	236	205 ~ 341	√
	111	3	8.8	5.3	64.07	246	164 ~ 273	√
	112	2	12.3	6.5	94.14	299	270 ~ 450	√
	113	3	13.1	4.8	86.38	319	237 ~ 395	√
	114	3	11.6	4.7	74.90	350	196 ~ 327	上限 Upper limit
	115	3	10.0	7.9	108.53	368	343 ~ 571	√
	116	1	13.0	4.0	40.82	269	111 ~ 185	上限 Upper limit
	117	1	5.5	5.6	24.18	86	84 ~ 140	√

注：上限、下限分别表示实际卵量落于预测估值区间的上限或下限外。Note: The upper limit and lower limit indicated that the observed number of eggs falling outside the upper or lower limit of the predicted range, respectively.

2.2 卵块所含卵量快速估算的分级表

基于以上关系模型,提出了通过计算卵块面积,以计算卵量 $\pm 25\%$ 作为估值区间来快速估计草地贪夜蛾卵块含卵量的分级表(表2),而卵块

面积可通过记录卵块的长、宽及层数,按照公式①~公式③计算获得。例如,田间调查获得某一卵块面积为 $81 \sim 90 \text{ mm}^2$ 时,卵的数量应在213~420粒之间。

表2 草地贪夜蛾卵块卵量快速估算分级表

Table 2 The rank for estimate the number of eggs in egg mass of *Spodoptera frugiperda*

卵块面积 (mm ²) Area of egg mass	卵粒数量 (粒) Predicted number of eggs in egg mass		卵块面积 (mm ²) Area of egg mass	卵粒数量 (粒) Predicted number of eggs in egg mass	
	下限 Lower limit	上限 Upper limit		下限 Lower limit	上限 Upper limit
≤10	—	111	61 ~ 70	153	301
11 ~ 20	67	131	71 ~ 80	181	356
21 ~ 30	79	155	81 ~ 90	213	420
31 ~ 40	93	183	91 ~ 100	252	496
41 ~ 50	110	216	101 ~ 110	298	586
51 ~ 60	129	255	> 110	351	—

注:表中上限、下限为模型预测值的25%上限、下限。Note: The upper and lower limit is the predicted valued plus and minus 25%, respectively.

3 结论与讨论

草地贪夜蛾危害范围大、面积广,在调查中需要记录卵、幼虫、蛹和成虫数量、作物受害程度等(刘杰等,2019),其难度和工作量均较大。因此,建立快速获得卵数量的方法可以为田间调查降低一定的难度,并提高工作效率。在养蚕产业中常应用称重法大致估计家蚕 *Bombyx mori* 卵数量(刘中文,2018)。刘巧(2016)研究显示福寿螺 *Pomacea canaliculata* 卵块的重量与卵粒数量有极显著的正相关性。但是,利用重量估计卵数量一般适用于较大的卵块,草地贪夜蛾的卵块较小,在调查中难以将其从植株上剥离并进行称重。Bean(1961)提出了以云杉卷叶蛾 *Choristoneura fumiferana* 卵块长度和行数进行卵数量的估计方法,但是该方法仅适用于一般为单层多行的云杉卷叶蛾卵块。本试验统计了一定数量卵块长、宽、层数和卵数量,分析、建立了相关模型,为田间草地贪夜蛾卵块卵数量的快速判断提供了方法。在田间调查时可用细毛笔轻刷去除草地贪夜蛾卵块上的鳞毛,观察卵块层数,可更准确测量卵块大小。在试验中我们发现卵块的形状、顶层的卵粒数量差异很大。当卵块顶层仅有少数粒卵时,

排除顶层后计算面积,通过分级表判断卵粒数量后,再将顶层卵粒数量计入会使数据更加准确些。何莉梅等(2019)发现温度对草地贪夜蛾的卵孵化率有显著影响。本试验得出的模型仅限应用于田间调查卵块中卵粒数量的大致计算,应对不同季节、不同环境下草地贪夜蛾各个虫期的存活、发育等进行深入研究、分析,才能准确掌握并预测该虫种群发生和发展趋势。

参考文献 (References)

- Bean JL. A method for estimating the number of spruce budworm eggs per egg mass [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1961, 54 (5): 1064.
- Early R, González – Moreno P, Murphy ST, et al. Forecasting the global extent of invasion of the cereal pest *Spodoptera frugiperda*, the fall armyworm [J]. *NeoBiota*, 2018, 40: 25 – 50.
- He LM, Ge SS, Chen YC, et al. The developmental threshold temperature, effective accumulated temperature and prediction model of developmental duration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* [J]. *Plant Protection*, 2019, 45 (45): 18 – 26. [何莉梅,葛世帅,陈玉超,等.草地贪夜蛾的发育起点温度、有效积温和发育历期预测模型[J].植物保护,2019,45(45): 18 – 26]
- Li ZY, Dai QX, Kuang ZL, et al. Effects of three artificial diets on development and reproduction of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (6): 1147 – 1154. [李子园,戴钊萱,邱昭琅,等.]

- 3 种人工饲料对草地贪夜蛾生长发育及繁殖力的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (6): 1147–1154]
- Liu J, Jiang YY, Liu WC, *et al.* Investigation and forecast techniques of *Spodoptera frugiperda* [J]. *China Plant Protection*, 2019, 39 (4): 44–47. [刘杰, 姜玉英, 刘万才, 等. 草地贪夜蛾测报调查技术初探 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39 (4): 44–47]
- Liu Q. Study on the Fecundity Characteristics, Shell Regeneration and Eggs Utilization of Invasive Apple Snail (*Pomacea canaliculata*) in Sichuan Area [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2016. [刘巧. 四川地区福寿螺繁殖力特征、壳修复及卵利用的研究 [D]. 成都: 四川农业大学, 2016]
- Liu ZW, Pu LM, Song S, *et al.* Several methods of counting the number of silkworm eggs [J]. *North Sericulture*, 2018, 39 (4): 53–55. [刘中文, 卜黎明, 宋松, 等. 蚕卵计数的几种方法 [J]. 北方蚕业, 2018, 39 (4): 53–55]
- Prasanna BM, Huesing JE, Eddy R, *et al.* Fall Armyworm in Africa: A Guide for Integrated Pest Management (First Edition) [M]. Mexico, CDMX: International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), 2018: 51–54.
- Wang L, Chen KW, Lu YY. Long-distance spreading speed and trend predication of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (4): 683–694. [王磊, 陈科伟, 陆永跃. 我国草地贪夜蛾入侵扩张动态与发生趋势预测 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (4): 683–694]
- Wang L, Lu YY. Spreading trend predication of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in year of 2020 in China [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2020, 42 (5): 1139–1145. [王磊, 陆永跃. 2020 年我国草地贪夜蛾蔓延发生趋势及预测 [J]. 环境昆虫学报, 2020, 42 (5): 1139–1145]
- Xian JD, Chen KW, Wang L, *et al.* Surveying and monitoring methods for fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2019, 41 (3): 503–507. [洗继东, 陈科伟, 王磊, 等. 外来入侵新害虫草地贪夜蛾调查监测方法探讨 [J]. 环境昆虫学报, 2019, 41 (3): 503–507]
- Zhang XX. Insect Ecology and Prediction (3rd Edition) [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2011. [张孝羲. 昆虫生态及预测预报 (第三版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2011]
- Zhao SY, Luo QM, Sun XX, *et al.* Comparison of morphological and biological characteristics between *Spodoptera frugiperda* and *Spodoptera litura* [J]. *China Plant Protection*, 2019, 39 (5): 26–35. [赵胜园, 罗倩明, 孙小旭, 等. 草地贪夜蛾与斜纹夜蛾的形态特征和生物学习性比较 [J]. 中国植保导刊, 2019, 39 (5): 26–35]