

引文格式: 颜振雄, 吴海英, 刘泳秀, 等. 石林县玉米田草地贪夜蛾幼虫种群动态及玉米品种抗性研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2023, 38(4): 549–557. DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).202104039

石林县玉米田草地贪夜蛾幼虫种群动态及玉米品种抗性研究*

颜振雄, 吴海英, 刘泳秀, 尚昊培, 赵 苓, 马 丽**, 李 强**

(云南农业大学 植物保护学院, 云南 昆明 650201)

摘要:【目的】明确草地贪夜蛾 [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)] 种群动态及发生规律、筛选具有抗虫性的玉米种质资源, 有助于对其进行有效防控。【方法】通过 5 点取样法对 30 个玉米品种进行了定期、定点、定株的田间系统调查, 记录草地贪夜蛾幼虫种群数量、为害部位和龄期, 明确幼虫种群数量动态、垂直分布动态、空间分布型及不同玉米品种对草地贪夜蛾种群的抗性。【结果】草地贪夜蛾在玉米整个生育期均能造成危害, 抽雄期种群数量达到最高, 随着果穗成熟种群数量逐渐减少; 不同玉米品种上草地贪夜蛾幼虫种群数量消长趋势大体一致, 但发生数量存在差异。不同玉米生育期, 幼虫种群在玉米上的垂直分布情况不同, 喇叭口期为害上部心叶, 抽雄期及以后为害雌穗及其苞叶。草地贪夜蛾种群在玉米抽雄期呈聚集分布, 聚集原因为自然因子引起, 其他生育期呈均匀分布, 总体上呈聚集-扩散-聚集的趋势。受害最轻的品种瑞白 6 号与受害最重的品种 TR151 之间的虫情指数相差 3.5 倍以上。【结论】草地贪夜蛾在玉米整个生育期均能造成危害, 发生高峰期 of 8 月上旬玉米抽雄期; 不同玉米品种草地贪夜蛾种群数量存在显著差异。研究结果可为石林县草地贪夜蛾种群数量的预测、预报和防控提供依据。

关键词: 玉米品种; 草地贪夜蛾; 种群动态; 抗性评价

中图分类号: S435.132

文献标志码: A

文章编号: 1004-390X (2023) 04-0549-09

Population Dynamics of *Spodoptera frugiperda* in Maize Field and Resistance of Maize Varieties in Shilin County

YAN Zhenxiong, WU Haiying, LIU Yongxiu, SHANG Haopei,

ZHAO Ling, MA Li, LI Qiang

(College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

Abstract: [Purpose] To determine the population dynamics and occurrence rules of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith), screening the germplasm resources with insect resistance to help effectively control *S. frugiperda*. [Methods] A field systematic survey was regularly conducted on 30 maize varieties using a 5-point sampling method with fixed points and plants. The population number, damage location and age of *S. frugiperda* larvae were recorded, and the dynamics of the larval population, vertical distribution, spatial distribution, and the resistance of different maize varieties on *S. frugiperda* population were determined. [Results] *S. frugiperda* was harmful to maize during the

收稿日期: 2021-04-21

修回日期: 2023-08-21

网络首发日期: 2023-09-07

*基金项目: 国家自然科学基金项目 (31360436)。

作者简介: 颜振雄 (1996—), 男, 云南楚雄人, 在读硕士研究生, 主要从事害虫综合治理研究。

E-mail: 1017151678@qq.com

**通信作者 Corresponding authors: 马丽 (1981—), 女, 湖北荆门人, 博士, 教授, 主要从事昆虫分类研究。E-mail: maliwasps@aliyun.com; 李强 (1962—), 男, 山东寿光人, 博士, 教授, 主要从事昆虫分类及害虫治理研究。E-mail: liqiangkm@126.com

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/53.1044.S.20230906.1534.004>



whole growth period. The population reached the highest level in tasseling stage, and gradually decreased with the maturing of the ear. The number of larvae in different maize varieties showed the same trend, but the number of larvae was different. The vertical distribution of larva population on maize was different at different growth stages. The upper heart leaf was harmed at trumpet stage, and the female ear and its bracts were harmed at tasseling stage and later stage. The population of *S. frugiperda* showed an aggregation distribution in the maize tasseling stage, which was caused by natural factors. The population of *S. frugiperda* showed a uniform distribution in other growth stages, forming a trend of aggregation-diffusion-aggregation in general. There was a difference of more than 3.5 times between the least damaged variety Ruibai No. 6 and the most damaged variety TR151.

[**Conclusion**] *S. frugiperda* can cause damage throughout the maize growth stage, and its occurrence peak is the tasseling stage in early August; the population number of *S. frugiperda* is significantly different among different maize varieties. The results of study are beneficial to the prediction and control of *S. frugiperda* population in Shilin County.

Keywords: maize variety; *Spodoptera frugiperda*; population dynamics; resistance evaluation

草地贪夜蛾 [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)] 又称秋黏虫, 隶属于鳞翅目 (Lepidoptera) 夜蛾科 (Noctuidae) 灰翅夜蛾属 (*Spodoptera*), 具有寄主范围广、繁殖速度快、迁飞能力强、危害程度高等特点^[1-2]。草地贪夜蛾 2019 年入侵中国, 并以极快的速度向北迁移, 对中国农业生产和粮食安全构成严重威胁, 截至 2020 年 7 月, 中国见虫面积已超过 53 万 hm^2 ^[3-4]。该虫源自美洲热带和亚热带地区, 分为玉米品系和水稻品系, 据报道, 入侵中国的草地贪夜蛾为玉米品系^[5]。已有报道表明: 草地贪夜蛾已表现出广谱的抗药性, 甚至对非大量使用过的药剂也产生了严重的交互抗性^[6-8]。草地贪夜蛾自 2016 年入侵非洲及中亚、东南亚各国, 杀虫剂的大量使用加速了其抗药性, 此外, 迁飞也将其抗性基因扩散至更广的区域^[9-11]。中国研究人员已在化学防治^[10]、生态治理^[5]、转基因作物应用^[12]和迁飞路径^[13]等方面对草地贪夜蛾进行了广泛的研究, 但在田间种群动态和不同玉米品种对该虫抗性的评测报道较少, 抗性的评测暂无统一标准。将种群动态与植物抗虫性相结合, 对于进一步探索种群变化机制、揭示虫害暴发原因、确定潜在的抗虫品种以及更好地指导害虫综合治理具有重要意义^[14]。本研究对云南省推广的 30 个玉米品种田间草地贪夜蛾的发生危害进行系统调查, 明确其种群动态和空间分布型, 综合评定不同玉米品种对草地贪夜蛾种群的抗性, 以期为选育抗性玉米品种和草地贪夜蛾综合防治提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验地位于云南省昆明市石林县鹿阜镇上蒲草村大菜籽地 (N24.73°, E103.31°, 海拔 1731 m), 是石林县农业农村局种植的玉米品种展示区。

1.2 供试玉米

30 个供试玉米品种分别为: TR151、TR158、TR3719、海禾 2 号、瑞白 12 号、瑞白 6 号、田玉 68、田玉 88、田玉 8 号、兴单 106、云瑞 100、云瑞 101、云瑞 106、云瑞 107、云瑞 119、云瑞 151、云瑞 152、云瑞 19、云瑞 206、云瑞 22、云瑞 319、云瑞 395、云瑞 401、云瑞 408、云瑞 519、云瑞 820、云瑞 831、云瑞 838、云瑞 99 和云瑞 999(B), 由云南省农业科学研究院提供。2019 年 5 月 28 日播种, 10 月 13 日收获, 每个品种种植地长 11 m、宽 3 m, 面积 33 m^2 ; 行距 60 cm, 株距 27 cm, 每行种植 40 株, 共 5 行。种植密度为 4000 株/667 m^2 。大田土地平坦, 品种间连贯种植。品种试验田边缘种植 3 行兴单 105 玉米作为隔离行。各试验田以相同方式统一管理, 玉米长势良好。

1.3 研究方法

1.3.1 草地贪夜蛾种群动态调查

采用自然感虫法, 在玉米小喇叭口期 (7 月 4 日) 开始调查, 采用 5 点取样法, 每点 4 株 (8 月 7 日抽雄期后为 2 株) 进行定期、定点、定株系统调查, 记录 30 个玉米品种的草地贪夜蛾各虫态及各龄期的发生数量、为害部位。每隔 15 d 调查 1 次 (如遇大雨等恶劣天气则延期调查), 直至玉米收获。

1.3.2 草地贪夜蛾空间分布型测定

空间分布型的测定选用扩散系数法 C 、负二项分布 K 值法、Kuno (1968) C_A 值法、平均拥挤度 M^* 法和聚集指数 $M^*/\bar{X}$ 法等 4 种参数测定^[15-19], 并采用 IWAQ's 回归法进行进一步检验分析^[20]。若空间分布型为聚集分布, 则采用聚集均数 λ ^[21] 分析其聚集原因。按照 LLOYD^[22] 的方法判断种群扩散或聚集趋势。

(1) 扩散系数法 C :

$$C = S^2/\bar{X}。$$

式中: S^2 为方差, $\bar{X}$ 为样本平均数。若 C 等于或接近 1, 为随机分布; C 大于或小于 1 为聚集分布。

(2) 负二项分布 K 值法:

$$K = \bar{X}^2/(S^2 - \bar{X})。$$

式中: 当 $K>0$ 时为聚集分布, $K \rightarrow +\infty$ 时为随机分布, $K<0$ 时为均匀分布。

(3) Kuno (1968) C_A 值法:

$$C_A = 1/K。$$

式中: C_A 可作为 K 值的补充, 为 K 的倒数。当 $C_A<0$ 时, 为均匀分布; $C_A=0$ 时, 为随机分布; $C_A>0$ 时, 为聚集分布。

(4) 平均拥挤度 M^* 法:

$$M^* = \bar{X} + (C - 1)。$$

式中: M^* 为平均拥挤度, 表示每个样方内个体间的拥挤程度。 $M^*/\bar{X}$ 表示聚集指数, 当 $M^*/\bar{X}<1$ 时, 为均匀分布; 当 $M^*/\bar{X}=1$ 时, 为泊松分布; 当 $M^*/\bar{X}>1$ 时, 为聚集分布。

(5) IWAQ's 回归法:

建立样本平均数 $\bar{X}$ 与平均拥挤度 M^* 的关系:

$$M^* = \alpha + \beta\bar{X}。$$

式中: α 表示基本成分的空间分布型。 $\alpha=0$ 时, 分布的基本成分是单个体; $\alpha>0$ 时, 个体之间相互吸引, 分布的基本成分是个体群; $\alpha<0$ 时, 个体之间相互排斥。 $\beta=1$ 时, 属随机分布; $\beta>1$ 时, 属聚集分布; $\beta<1$ 时, 属均匀分布。

(6) 聚集均数 λ :

$$\lambda = \frac{\bar{X}}{2K}r。$$

式中: λ 可用于分析聚集原因; r 是 χ^2 值表中自由度等于 $2K$ 与概率值等于 0.5 所对应的 χ^2 值。

若 $\lambda<2$, 则聚集原因为自然因子; 若 $\lambda\geq 2$, 则聚集原因为昆虫习性或与环境因素共同作用。

(7) 判断种群扩散或聚集趋势:

按照 LLOYD^[22] 的方法分别计算种群的平均虫量 $\bar{X}$, 平均拥挤度 M^* 、 $M^*/\bar{X}$ 以及 $(M^*+1)/\bar{X}$, 根据各值的变化判断种群扩散或聚集的趋势。当 $\bar{X}\uparrow$ 、 $M^*\uparrow$ 或 $\bar{X}\downarrow$ 、 $M^*\downarrow$ 时 ($\uparrow$ 表示上升, $\downarrow$ 表示下降, 下同), $(M^*+1)/\bar{X}\uparrow$ 为种群呈聚集趋势, $(M^*+1)/\bar{X}\downarrow$ 为种群呈扩散趋势; 当 $\bar{X}\uparrow$ 、 $M^*\downarrow$ 或 $\bar{X}\downarrow$ 、 $M^*\uparrow$ 时, $M^*/\bar{X}\uparrow$ 为种群呈聚集趋势; $M^*/\bar{X}\downarrow$ 为种群呈扩散趋势。

1.3.3 不同玉米品种对草地贪夜蛾的抗性

参考 PAINTER^[23] 和蔡青年等^[24] 的蚜情指数法, 又鉴于蚜情指数法仅与害虫数量相关, 而草地贪夜蛾幼虫在不同龄期对玉米植株的危害程度不同, 虫龄大的幼虫对植株的危害程度较重, 故引入虫龄参数的虫情指数作为抗虫性鉴定的标准。

$$\text{虫情指数} = \frac{\text{某一品种害虫发生程度}}{\text{全部品种害虫发生程度的平均值}};$$

$$\text{发生程度} = \sum (\text{龄期数} \times \text{该龄期的虫口数量})。$$

1.4 数据处理和统计方法

利用 Excel、SPSS 19 和 Origin 2017 软件对数据进行汇总、统计分析和绘图; 数据采用“平均值 $\pm$ 标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 草地贪夜蛾的田间种群动态

由图 1 可知: 玉米小喇叭口期 (7 月上旬) 草地贪夜蛾种群仅少量发生, 并集中于上部心叶为害; 7 月下旬, 种群数量缓慢下降; 抽雄期 (8 月上旬) 种群数量急剧上升, 并达到峰值, 为 2.0 头/株, 雌穗花丝是其主要为害部位; 8 月中下旬至 9 月上旬, 种群数量急剧下降至较低水平; 9 月下旬以后, 大部分玉米进入完熟期, 植株枯萎, 种群数量缓慢下降至 0。可见, 草地贪夜蛾在玉米小喇叭口期到完熟期均有发生, 发生高峰期为 8 月上旬抽雄期, 种群数量较高, 严重危害玉米生产。

2.2 不同玉米品种的草地贪夜蛾种群数量动态

由表 1 可知: 草地贪夜蛾在不同玉米品种各个生育期的种群消长规律基本一致, 但不同品种之间种群数量差异显著。在抽雄期 (8 月 7 日), 平

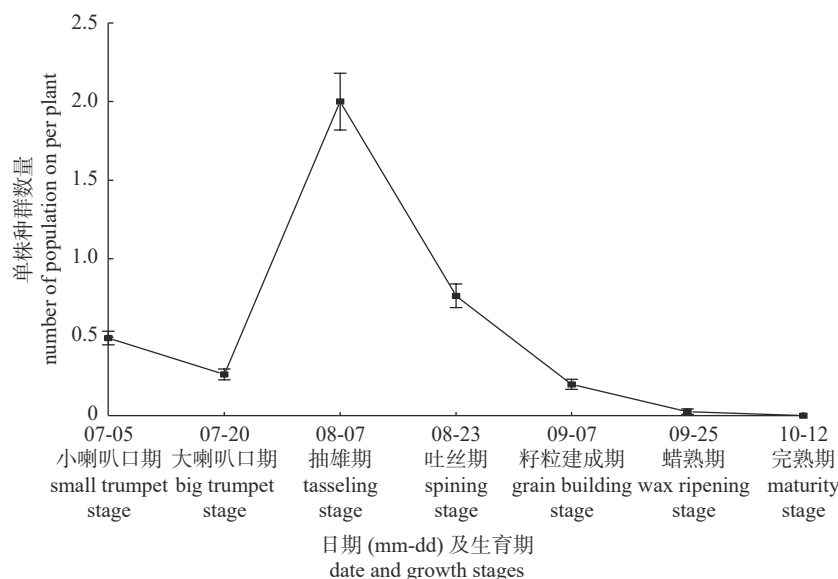


图 1 草地贪夜蛾田间种群动态

Fig. 1 Population dynamics of *Spodoptera frugiperda* in field

均虫量最高的品种包括云瑞 106、云瑞 999(B)、TR151 和云瑞 401, 平均虫量最低的是云瑞 119。

7 月初, 处于小喇叭口期的不同玉米品种均有草地贪夜蛾少量发生, 除云瑞 831 和云瑞 107 外, 单株虫口数均小于 1 头; 7 月中下旬, 多数玉米品种处于大喇叭口期, 部分品种开始抽雄, 种群数量缓慢下降, 云瑞 519、云瑞 319、云瑞 19、田玉 88 和云瑞 999(B) 上的草地贪夜蛾种群数量有所增加; 8 月上旬, 多数玉米品种进入抽雄期, 雌穗吐丝, 部分玉米品种进入籽粒建成期, 种群数量急剧上升并达到峰值, 主要集中为害雌穗花丝, 其中, 云瑞 106 的单株草地贪夜蛾高达 5.40 头; 8 月下旬, 多数品种处于吐丝期, 部分玉米品种进入籽粒建成期, 玉米果实硬度不同程度提高, 草地贪夜蛾数量迅速下降, 少数平缓上升; 9 月上旬多数品种进入蜡熟期, 种群数量继续下降, 少数品种有所回升; 9 月下旬多数品种完全成熟, 部分植株枯萎, 虫量减少为 0, 田玉 8 号、云瑞 100、TR158 和云瑞 119 上的草地贪夜蛾零星发生; 10 月上旬全部品种玉米完全成熟, 植株枯萎, 草地贪夜蛾种群数量下降为 0。

2.3 不同玉米品种的草地贪夜蛾累计幼虫数量及龄期分布

由图 2 可知: TR151 百株累计幼虫数量最多 (675 头), 瑞白 6 号最少 (150 头), 二者相差达 4.5 倍; 云瑞 999(B) 和云瑞 106 的 1~2 龄幼虫数

量最多, 达 495 头/百株; 瑞白 6 号低龄幼虫数量最少, 为 70 头/百株; 所有玉米品种均是 1~2 龄幼虫数量占比最高, 但不同品种高龄期幼虫数量占比差异较大, 其中 TR3719 幼虫总数相对较多, 但其 5~6 龄幼虫数量最多 (140 头/百株), 而田玉 88 的 5~6 龄幼虫数量最少 (20 头/百株), 两者相差达 7.0 倍; 兴单 106、TR158、云瑞 119、云瑞 19、云瑞 408、云瑞 151、云瑞 152、云瑞 831、TR3719 和田玉 68 等 10 个品种的 3~4 龄幼虫数量少于 5~6 龄数量。综上所述, 不同品种玉米上草地贪夜蛾累计发生数量和龄期组成差异较大。

2.4 草地贪夜蛾的田间种群垂直分布动态

由图 3 可知: 玉米小喇叭口期至大喇叭口期 (7 月 5 日至 7 月 20 日) 草地贪夜蛾主要集中在植株上部心叶为害; 玉米抽雄期至蜡熟期 (8 月 7 日至 9 月 7 日) 主要集中在植株花丝、雌穗及苞叶为害; 玉米完熟期 (9 月 25 日) 在上部叶片、雌穗、中部茎秆零星发生; 10 月 12 日玉米收获时草地贪夜蛾种群数量下降为 0。在不同玉米品种上, 草地贪夜蛾的垂直分布动态大致相同。综上所述, 草地贪夜蛾在玉米上的主要受害部位会随玉米生长阶段而改变, 在雌穗吐丝前主要为害上部心叶, 雌穗吐丝后转而为害花丝、雌穗及其苞叶。

2.5 草地贪夜蛾的田间种群空间分布型

2.5.1 草地贪夜蛾空间分布型的测定及聚集分析

由表 2 可知: 草地贪夜蛾的各项聚集度指

表 1 不同玉米品种单株上的草地贪夜蛾种群数量
Tab. 1 Population of *Spodoptera frugiperda* on per plant of different maize varieties

玉米品种 maize varieties	日期 (mm-dd) date						
	07-05	07-20	08-07	08-23	09-07	09-25	10-12
云瑞106 Yunrui 106	0.45±0.12 bc	0.05±0.05 b	5.40±2.88 a	0.40±0.29 b	0.10±0.10 bc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞999(B) Yunrui 999(B)	0.30±0.09 c	0.45±0.10 b	4.90±1.26 ab	0.60±0.24 ab	0.90±0.29 a	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
TR151	0.60±0.12 bc	0.20±0.09 b	4.70±0.51 abc	1.00±0.48 ab	0.10±0.10 bc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞401 Yunrui 401	0.85±0.30 abc	0.40±0.24 b	4.30±0.60 abcd	0.30±0.12 b	0.20±0.12 bc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞831 Yunrui 831	1.15±0.52 ab	0.30±0.06 b	3.80±1.37 abcde	0.40±0.22 b	0.20±0.12 bc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞107 Yunrui 107	1.25±0.30 a	0.60±0.29 ab	3.60±0.82 abcdef	1.00±0.19 ab	0.40±0.19 abc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
海禾2号 Haihe No. 2	0.60±0.15 bc	0.40±0.28 b	3.30±1.06 abcdefg	1.00±0.32 ab	0.20±0.20 bc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
兴单106 Xingdan 106	0.45±0.15 c	0.30±0.15 b	3.20±0.56 bcdefgh	0.80±0.19 ab	0.00±0.00 c	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞820 Yunrui 820	0.45±0.39 bc	0.25±0.19 b	2.70±1.02 bcdefgh	0.90±0.16 ab	0.10±0.10 bc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
田玉8号 Tianyu No. 8	0.20±0.09 c	0.00±0.00 b	2.50±0.55 bcdefgh	0.30±0.20 b	0.30±0.12 bc	0.10±0.10 b	0.00±0.00 a
云瑞101 Yunrui 101	0.70±0.34 abc	0.35±0.20 b	2.30±0.56 bcdefgh	1.10±0.20 ab	0.00±0.00 c	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞395 Yunrui 395	0.50±0.22 bc	0.00±0.00 b	2.10±0.71 cdefgh	0.90±0.10 ab	0.40±0.29 abc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞99 Yunrui 99	0.30±0.15 c	0.20±0.05 b	1.80±0.33 cdefgh	0.50±0.22 ab	0.20±0.12 bc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞100 Yunrui 100	0.75±0.27 abc	0.05±0.05 b	1.80±0.25 defgh	0.50±0.48 ab	0.00±0.00 c	0.10±0.10 b	0.00±0.00 a
云瑞408 Yunrui 408	0.25±0.15 c	0.20±0.09 b	1.60±0.75 defgh	1.10±0.33 ab	0.20±0.12 bc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
瑞白12号 Ruibai No. 12	0.90±0.34 abc	0.05±0.05 b	1.50±0.76 defgh	0.30±0.19 b	0.00±0.00 c	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞838 Yunrui 838	0.35±0.22 c	0.10±0.05 b	1.50±0.62 defgh	1.20±0.30 ab	0.60±0.24 ab	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
TR3719	0.55±0.18 bc	0.20±0.15 b	1.30±0.43 efgh	1.50±0.45 ab	0.00±0.00 c	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞151 Yunrui 151	0.25±0.14 c	0.15±0.06 b	1.20±0.62 efgh	0.40±0.19 b	0.20±0.12 bc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞319 Yunrui 319	0.40±0.10 c	0.65±0.38 ab	0.90±0.85 efgh	0.70±0.19 ab	0.10±0.10 bc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞19 Yunrui 19	0.04±0.13 c	0.10±0.10 b	0.80±0.53 fgh	0.60±0.27 ab	0.60±0.29 ab	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
田玉88 Tianyu 88	0.35±0.29 c	1.55±0.24 a	0.80±0.43 fgh	0.90±0.33 ab	0.20±0.12 bc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
田玉68 Tianyu 68	0.25±0.11 c	0.05±0.05 b	0.70±0.34 gh	1.10±0.56 ab	0.10±0.10 bc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞152 Yunrui 152	0.50±0.39 bc	0.05±0.19 b	0.70±0.34 gh	1.50±0.43 ab	0.10±0.10 bc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞206 Yunrui 206	0.40±0.17 c	0.00±0.00 b	0.60±0.24 gh	0.50±0.22 ab	0.00±0.00 c	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
TR158	0.45±0.17 bc	0.05±0.05 b	0.60±0.37 gh	0.70±0.20 ab	0.00±0.00 c	0.50±0.50 a	0.00±0.00 a
瑞白6号 Ruibai No. 6	0.45±0.20 bc	0.15±0.06 b	0.40±0.19 gh	0.20±0.19 b	0.60±0.19 ab	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞22 Yunrui 22	0.20±0.15 c	0.05±0.05 b	0.40±0.29 gh	0.60±0.25 ab	0.40±0.19 abc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞519 Yunrui 519	0.30±0.09 c	0.90±0.61 a	0.40±0.29 gh	0.60±1.53 ab	0.50±0.39 abc	0.00±0.00 b	0.00±0.00 a
云瑞119 Yunrui 119	0.30±0.12 c	0.10±0.06 b	0.20±0.12 h	1.30±0.41 ab	0.30±0.12 bc	0.20±0.12 b	0.00±0.00 a

注：同列不同小写字母表示在0.05水平上差异显著；下同。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at the level of 0.05; the same as below.

标中，抽雄期 (8 月 7 日) 的 $C>1$, $K>0$, $C_A>0$, $M^*/\bar{X}>1$, 说明草地贪夜蛾在抽雄期的空间分布型为聚集分布, 聚集指数 $\lambda<2$, 说明其聚集原因为自然环境因子, 而非昆虫自身习性导致; 其他生育期 $C<1$, $K<0$, $C_A<0$, $M^*/\bar{X}<1$, 说明草地贪夜蛾在其他生育期为均匀分布。由 IWAO's 直线回归方程得到 $M^*=1.645\ 0\bar{X}-0.248\ 3$ ($R^2=0.867\ 5$), 其中

$\alpha=-0.248\ 3<0$, 表明个体之间相互排斥; $\beta=1.645\ 0>1$, 表明该分布属于聚集分布。上述结果与草地贪夜蛾集中产卵孵化、幼虫分散取食的生物学特性相吻合。

2.5.2 草地贪夜蛾聚集与扩散趋势分析

由表 3 可知：草地贪夜蛾种群在抽雄期 (8 月 7 日) 前呈聚集趋势, 抽雄期至籽粒建成期 (8 月

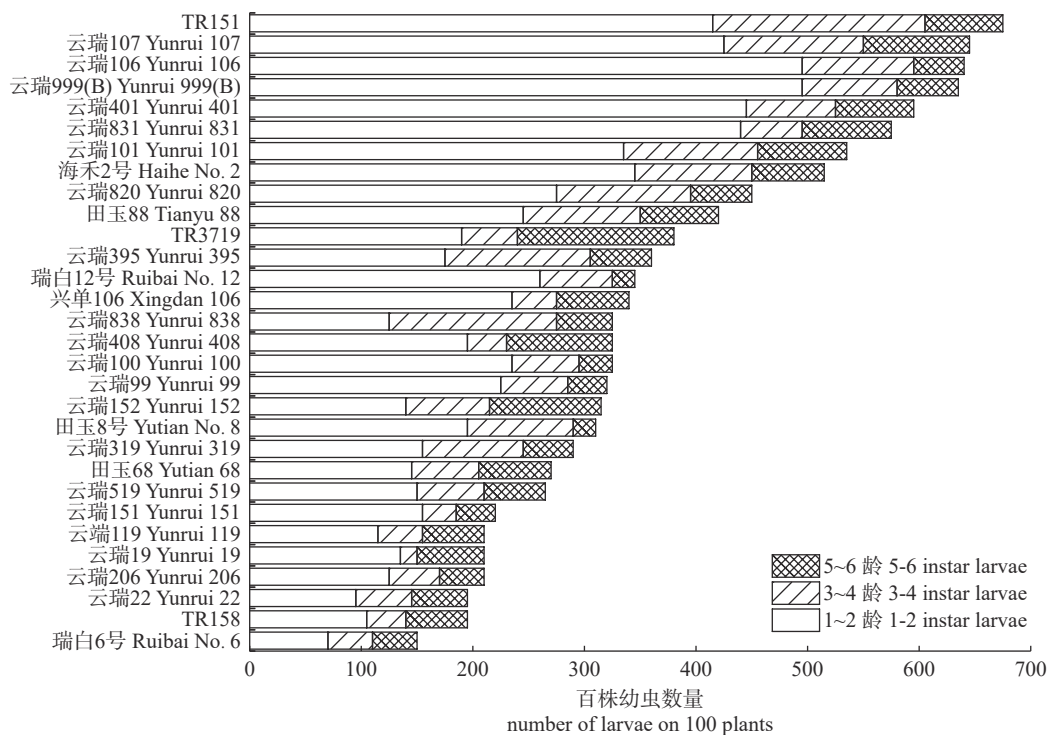


图 2 不同玉米品种草地贪夜蛾累计幼虫数量及龄期分布

Fig. 2 Accumulated number and instar distribution of *S. frugiperda* larvae in different maize varieties

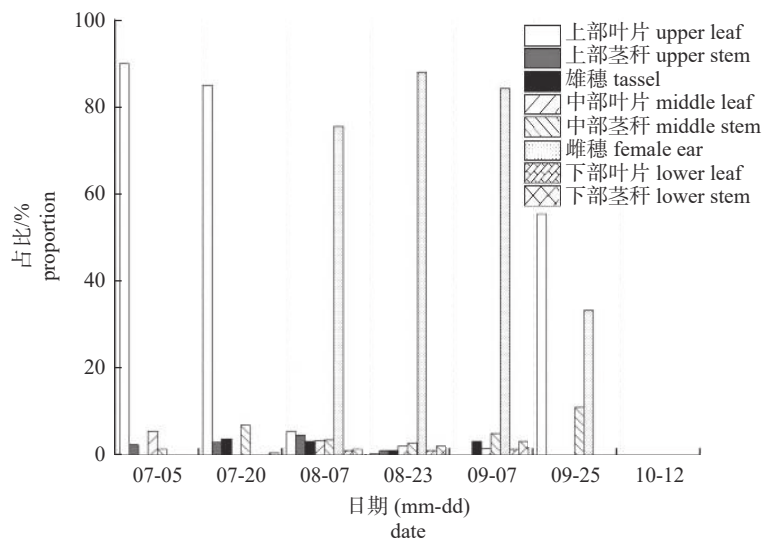


图 3 草地贪夜蛾幼虫在玉米植株上的垂直分布

Fig. 3 Vertical distribution of *S. frugiperda* on maize in field

7 日—8 月 23 日) 呈扩散趋势, 蜡熟期 (9 月 7 日) 后呈聚集趋势, 总体呈聚集—扩散—聚集的趋势。

2.6 不同玉米品种对草地贪夜蛾的抗性

由表 4 可知: 不同玉米品种上的草地贪夜蛾累计虫量差异显著, TR151 上的累计虫量最高, 与累计虫量最低的瑞白 6 号相比相差超过 4.0 倍, 虫情指数相差 3.5 倍以上; 瑞白 6 号的累计

虫量和高龄幼虫数量均较少, 为供试品种中对草地贪夜蛾抗性表现最佳的品种; TR151 和 TR3719 分别为累计虫量和高龄幼虫数量最高的玉米品种, 对草地贪夜蛾的抗性较差。此外, 高龄幼虫发生总数与平均累计虫量无明显的相关性 (Pearson 相关系数为 0.160), 说明仅凭借高龄幼虫数量无法判断累计虫量和评价品种抗性, 仍需统计

表 2 草地贪夜蛾调查样本统计量及有关参数

Tab. 2 Sample statistics and related parameters of *S. frugiperda* survey

日期 (mm-dd) date	$\bar{X}$	S^2	C	K	C_A	M^*	$M^*/\bar{X}$	λ
07-05	0.4900	0.2890	0.5898	-1.1945	-0.8372	0.0798	0.1628	—
07-20	0.2150	0.1800	0.8372	-1.3207	-0.7572	0.0522	0.2428	—
08-07	2.0667	4.8850	2.3637	1.5155	0.6598	3.4304	1.6598	1.6132
08-23	0.8700	0.8400	0.9655	-25.2300	-0.0396	0.8355	0.9604	—
09-07	0.2333	0.1570	0.6730	-0.7134	-1.4018	-0.0937	-0.4018	—
09-25	0.0300	0.0480	1.6000	0.0500	20.0000	0.6300	21.0000	0.0533
10-12	0.0000	0.0000	0.0000	—	—	—	—	—

注: $\bar{X}$: 平均单株虫量, S^2 : 样本方差, C : 扩散系数, K : 负二项分布值, C_A : K 的倒数, M^* : 平均拥挤度, $M^*/\bar{X}$: 聚集指数, λ : 聚集均数; —: 不存在; 下同。
Note: $\bar{X}$: average number of insects per plant, S^2 : sample variance, C : diffusivity, K : negative binomial distribution value, C_A : the K reciprocal, M^* : average degree of congestion, $M^*/\bar{X}$: aggregation index, λ : aggregate mean; —: not exist; the same as below.

表 3 草地贪夜蛾聚集与扩散趋势

Tab. 3 Trend of aggregation and dispersal of *S. frugiperda*

日期 (mm-dd) date	$\bar{X}$	M^*	$M^*/\bar{X}$	$(M^*+1)/\bar{X}$	趋势 trend
07-05	0.4900	0.0798	0.1628	2.2037	—
07-20	0.2150↓	0.0522↓	0.2428↑	4.8940↑	聚集 aggregation
08-07	2.0667↑	3.4304↑	1.6598↑	2.1437↓	扩散 dispersion
08-23	0.8700↓	0.8355↓	0.9604↓	2.1098↓	扩散 dispersion
09-07	0.2333↓	-0.0937↓	-0.4018↓	3.8845↑	聚集 aggregation
09-25	0.0300↓	0.6300↑	21.0000↑	54.3333↑	聚集 aggregation
10-12	—	—	—	—	—

注: ↑表示上升, ↓表示下降。
Note: ↑ means up, ↓ means down.

表 4 不同玉米品种对草地贪夜蛾的抗性

Tab. 4 Resistance of different maize varieties to *S. frugiperda*

品种 varieties	单株累计虫量 accumulated insect number of per plant	5~6龄幼 虫总数 total number of 5-6 instar larvae	发生 程度 occurrence degree	虫情 指数 pest index	品种 varieties	单株累计虫量 accumulated insect number of per plant	5~6龄幼 虫总数 total number of 5-6 instar larvae	发生 程度 occurrence degree	虫情 指数 pest index
TR151	6.55±0.61 a	14	334.5	1.75	田玉8号 Tianyu No. 8	3.60±0.26 abcde	4	147.0	0.77
云瑞 107 Yunrui 107	6.50±1.06 a	19	319.5	1.67	云瑞 100 Yunrui 100	3.55±0.46 abcde	6	145.5	0.76
云瑞 106 Yunrui 106	6.30±2.88 ab	9	268.0	1.40	云瑞 152 Yunrui 152	3.55±0.36 abcde	20	204.5	1.07
云瑞 999(B) Yunrui 999(B)	6.25±1.48 ab	11	268.5	1.40	云瑞 99 Yunrui 99	3.50±0.49 abcde	7	148.0	0.77
云瑞 401 Yunrui 401	5.90±0.90 ab	14	266.5	1.39	兴单 106 Xingdan 106	3.50±0.79 abcde	13	170.0	0.89
云瑞 831 Yunrui 831	5.60±1.13 abc	16	258.5	1.35	云瑞 408 Yunrui 408	3.40±0.72 abcde	19	187.5	0.98
云瑞 101 Yunrui 101	5.60±0.66 abc	16	272.5	1.43	田玉 88 Tianyu 88	2.95±0.64 bcde	14	224.0	1.17
海禾2号 Haihe No. 2	5.25±1.30 abcd	13	248.5	1.30	TR158	2.40±0.51 cde	11	116.5	0.61
云瑞 820 Yunrui 820	4.40±1.28 abcde	11	227.0	1.19	田玉 68 Tianyu 68	2.40±0.90 cde	13	157.0	0.82
云瑞 838 Yunrui 838	4.25±0.65 abcde	10	197.5	1.03	云瑞 151 Yunrui 151	2.20±0.74 de	7	106.0	0.55
云瑞 519 Yunrui 519	4.15±1.25 abcde	11	147.5	0.77	云瑞 206 Yunrui 206	2.10±0.48 de	8	113.0	0.59
TR3719	4.15±0.58 abcde	28	246.0	1.29	云瑞 119 Yunrui 119	2.10±0.33 de	11	123.0	0.64
云瑞 395 Yunrui 395	3.85±0.92 abcde	11	204.0	1.07	云瑞 19 Yunrui 19	2.05±0.76 de	12	117.0	0.61
云瑞 319 Yunrui 319	3.80±0.99 abcde	9	159.0	0.83	云瑞 22 Yunrui 22	1.95±0.85 de	10	118.5	0.62
瑞白12号 Ruibai No. 12	3.75±1.10 abcde	4	145.5	0.76	瑞白6号 Ruibai No. 6	1.60±0.15 e	8	93.0	0.49

其他龄期的数量进行评价。

3 讨论

3.1 草地贪夜蛾的种群动态

本研究表明：云南省石林县草地贪夜蛾种群在玉米整个生育期均能造成危害，其中 8 月上旬玉米抽雄期为草地贪夜蛾发生高峰期，苗期和喇叭口期集中在心叶为害，籽粒建成期后转移至雌穗及其苞叶为害。有研究表明^[25-27]：玉米喇叭口期和抽雄期的草地贪夜蛾发生数量较高，籽粒建成期后其种群数量明显下降，与本研究结果基本一致。各地的草地贪夜蛾盛发期不同，陕西汉中市中盛发期为 7 月上旬^[25]，河南新乡为 9 月初^[26]，闽中地区为 9 月下旬^[27]，本研究为 8 月上旬，究其原因可能与各地玉米种植生育期、农事管理、气候环境条件、成虫迁飞和回迁等有关，具体原因仍需进一步研究验证。不同玉米品种草地贪夜蛾累计发生数量和龄期组成差异较大，其原因可能是草地贪夜蛾 3~4 龄发育历期较短，5~6 龄发育历期较长，且在较低温度下可出现 7 龄幼虫^[28]；另外，高龄幼虫爬行能力较强，具有转移到感虫品种为害的可能^[29-30]，且高龄幼虫具有自相残杀的特性，可攻击较低龄幼虫导致其数量减少^[2]。

3.2 草地贪夜蛾的空间分布

昆虫的空间分布是种群生态学的重要研究内容之一，揭示害虫在空间分布上的行为习性对其防治方案的制定具有指导作用。草地贪夜蛾在玉米田间存在多种空间分布型，不同年份和种群密度会呈不同分布型^[31]。孙小旭等^[32]对 6~9 叶生长期的玉米田调查表明：草地贪夜蛾幼虫呈聚集分布，聚集度随密度的增加而升高，聚集分布主要由环境因素导致，与本研究结果基本一致。也有研究表明：草地贪夜蛾的近缘种斜纹夜蛾和棉铃虫在发生高峰期也呈聚集分布^[33-34]。本研究表明：在垂直分布动态上，喇叭口期草地贪夜蛾集中在上部心叶为害，抽雄期集中在中部雌穗及其苞叶为害；在空间分布型上，抽雄期草地贪夜蛾种群呈聚集分布，聚集原因为自然环境因子，而非昆虫自身习性，其他时期呈均匀分布，在整个玉米生育期呈聚集—扩散—聚集分布。因此，玉米喇叭口期是防治的关键期，可采用心叶滴灌药液的方式进行防治；抽雄期后玉米植株较高大，草地贪夜蛾集中于雌穗，通过打药较难防治，可

采用喷洒绿僵菌、保护自然天敌等生物防治方法进行防治。

3.3 不同玉米品种对草地贪夜蛾的抗性

20 世纪 90 年代，美国使用传统育种方式培育出高抗草地贪夜蛾的经典抗性自交系 Mp708，该品系较敏感品系叶片细胞壁中含有更多的半纤维素，韧性较强，而蛋白含量显著减少，可显著放缓草地贪夜蛾的生长^[35]。李贤嘉等^[36]报道了甜糯玉米品种受草地贪夜蛾为害较重，饲料玉米受害较轻；戴钊萱等^[37]用不同甜质和糯质玉米饲养草地贪夜蛾，发现该虫在甜质玉米上有更高的生存适合度。本研究表明：不同普通玉米品种上草地贪夜蛾的种群数量存在差异，在供试的 30 个不同玉米品种中，受害最轻的品种瑞白 6 号与受害最重的 TR151 之间虫情指数相差 3.5 倍以上。产生差异的原因可能是品种农艺性状的差异或产生的次生代谢物和挥发物等内在机制所致^[38-39]，具体原因还需要进一步研究。

4 结论

石林县玉米整个生育期均能被草地贪夜蛾危害，发生高峰期为 8 月上旬玉米抽雄期，喇叭口期幼虫主要聚集在上部心叶，是防治的关键期，可采用心叶滴灌药液的方式进行防治；不同玉米品种上的草地贪夜蛾种群数量存在显著差异。本研究结果可为石林县草地贪夜蛾种群数量的预测、预报和防控以及抗虫玉米品种的选育提供依据。

[参考文献]

- [1] 郭井菲, 赵建周, 何康来, 等. 警惕危险性害虫草地贪夜蛾入侵中国[J]. 植物保护, 2018, 44(6): 1. DOI: 10.16688/j.zwbh.2018452.
- [2] 崔志斌, 李智群, 王勇, 等. 草地贪夜蛾研究现状及防控策略[J]. 湖南农业科学, 2020, 4(4): 38. DOI: 10.16498/j.cnki.hnnykx.2020.004.011.
- [3] 姜玉英, 刘杰, 朱晓明. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态和未来趋势分析[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(2): 33. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6820.2019.02.006.
- [4] 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. DOI: 10.16688/j.zwbh.2019539.
- [5] 张磊, 靳明辉, 张丹丹, 等. 入侵云南草地贪夜蛾的分子鉴定[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 19. DOI: 10.16688/j.zwbh.2019121.
- [6] OKUMA D M, BERNARDI D, HORIKOSHI R J, et al. Inheritance and fitness costs of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) resistance to spinosad in Bra-

- zil[J]. Pest Management Science, 2018, 74(6): 1441. DOI: [10.1002/ps.4829](https://doi.org/10.1002/ps.4829).
- [7] ZHU Y C, BLANCO C A, PORTILLA M, et al. Evidence of multiple/cross resistance to Bt and organophosphate insecticides in Puerto Rico population of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*[J]. Pesticide Biochemistry & Physiology, 2015, 122: 15. DOI: [10.1016/j.pestbp.2015.01.007](https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.01.007).
- [8] YU S J. Insecticide resistance in the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)[J]. Pesticide Biochemistry & Physiology, 1991, 39(1): 84. DOI: [10.1016/0048-3575\(91\)90216-9](https://doi.org/10.1016/0048-3575(91)90216-9).
- [9] 王芹芹, 崔丽, 王立, 等. 草地贪夜蛾对杀虫剂的抗性研究进展[J]. 农药学学报, 2019, 21(4): 401. DOI: [10.16801/j.issn.1008-7303.2019.0072](https://doi.org/10.16801/j.issn.1008-7303.2019.0072).
- [10] 赵胜园, 孙小旭, 张浩文, 等. 常用化学杀虫剂对草地贪夜蛾防效的室内测定[J]. 植物保护, 2019, 45(3): 10. DOI: [10.16688/j.zwbh.2019160](https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019160).
- [11] 李永平, 张帅, 王晓军, 等. 草地贪夜蛾抗药性现状及化学防治策略[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 14. DOI: [10.16688/j.zwbh.2019315](https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019315).
- [12] 张丹丹, 吴孔明. 国产Bt-Cry1Ab和Bt-(Cry1Ab+Vip3Aa)玉米对草地贪夜蛾的抗性测定[J]. 植物保护, 2019, 45(4): 54. DOI: [10.16688/j.zwbh.2019251](https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019251).
- [13] 吴秋琳, 姜玉英, 吴孔明. 草地贪夜蛾缅甸虫源迁入中国的路径分析[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 1. DOI: [10.16688/j.zwbh.2019047](https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019047).
- [14] 周绍群. 不同玉米品种对草地贪夜蛾抗性的评估及其在防治中的应用前景[J]. 植物保护, 2019, 45(5): 8. DOI: [10.16688/j.zwbh.2019403](https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019403).
- [15] TAYLOR L R. Assessing and interpreting the spatial distributions of insect populations[J]. Entomology, 1984, 29(1): 321. DOI: [10.1146/annurev.ento.29.1.321](https://doi.org/10.1146/annurev.ento.29.1.321).
- [16] 汪信庚, 刘树生, 吴晓晶, 等. 杭州郊区菜蚜种群的空间动态[J]. 应用生态学报, 1997, 4(6): 599. DOI: [10.13287/j.1001-9332.1997.0119](https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.1997.0119).
- [17] 赵志模, 周新远. 生态学引论[M]. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1984.
- [18] 黄钰淼, 董晨晖, 柴正群, 等. 云南两个不同生态区玉米蚜种群动态研究[J]. 环境昆虫学报, 2015, 37(5): 946. DOI: [10.3969/j.issn.1674-0858.2015.05.4](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-0858.2015.05.4).
- [19] 张德昌, 张广林, 李长友, 等. 小麦蚜虫种群动态随时间序列变化的趋势分析[J]. 昆虫知识, 1995(4): 204.
- [20] MYERS J H. Selecting a measure of dispersion[J]. Environmental Entomology, 1978, 7(5): 619. DOI: [10.1093/ee/7.5.619](https://doi.org/10.1093/ee/7.5.619).
- [21] 丁伟, 王进军, 赵志模, 等. 春玉米田蚜虫种群的数量消长及空间动态[J]. 西南农业大学学报, 2002, 24(1): 13. DOI: [10.3969/j.issn.1673-9868.2002.01.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-9868.2002.01.004).
- [22] LLOYD M. Mean crowding[J]. The Journal of Animal Ecology, 1967, 36(1): 1. DOI: [10.2307/3012](https://doi.org/10.2307/3012).
- [23] PAINTER R H. Resistance of plants to insects[J]. Annual Review of Entomology, 1958, 3(1): 267. DOI: [10.1146/annurev.en.03.010158.001411](https://doi.org/10.1146/annurev.en.03.010158.001411).
- [24] 蔡青年, 张青文, 高希武, 等. 小麦体内次生物质对麦蚜的抗性作用研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(8): 910. DOI: [10.3321/j.issn:0578-1752.2003.08.009](https://doi.org/10.3321/j.issn:0578-1752.2003.08.009).
- [25] 余正军, 范晓培, 王清文, 等. 2019年草地贪夜蛾在陕西省汉中市的发生为害情况调查[J]. 植物保护, 2020, 46(6): 223. DOI: [10.16688/j.zwbh.2020087](https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2020087).
- [26] 刘彬, 黄博, 赵军, 等. 2019年秋季河南新乡草地贪夜蛾发生调查[J]. 植物保护, 2020, 46(5): 181. DOI: [10.16688/j.zwbh.2020157](https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2020157).
- [27] 田新湖. 2019年闽中地区草地贪夜蛾发生为害动态[J]. 中国植保导刊, 2020, 40(10): 75. DOI: [10.3969/j.issn.1672-6820.2020.10.014](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-6820.2020.10.014).
- [28] 何莉梅, 葛世师, 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(5): 18. DOI: [10.16688/j.zwbh.2019409](https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019409).
- [29] 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. DOI: [10.3969/j.issn.1672-6820.2019.05.005](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-6820.2019.05.005).
- [30] 魏向敏, 崔勇, 叶国浚, 等. 草地贪夜蛾寄主适应性、种群动态特征及防控新思路展望[J]. 环境昆虫学报, 2020, 42(1): 42. DOI: [10.3969/j.issn.1674-0858.2020.01.6](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-0858.2020.01.6).
- [31] MITCHELL F L, FUXA J R. Distribution, abundance, and sampling of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) in south-central Louisiana cornfields[J]. Environmental Entomology, 1987, 16(2): 453. DOI: [10.1093/ee/16.2.453](https://doi.org/10.1093/ee/16.2.453).
- [32] 孙小旭, 赵胜园, 靳明辉, 等. 玉米田草地贪夜蛾幼虫的空间分布型与抽样技术[J]. 植物保护, 2019, 45(2): 13. DOI: [10.16688/j.zwbh.2019115](https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019115).
- [33] 陈浩, 赵文路, 门兴元, 等. 玉米灌浆期3种鳞翅目害虫的空间分布[J]. 玉米科学, 2016, 24(1): 160. DOI: [10.13597/j.cnki.maize.science.20160127](https://doi.org/10.13597/j.cnki.maize.science.20160127).
- [34] 汪恩国, 陈克松, 李达林, 等. 玉米田斜纹夜蛾空间分布型及抽样技术[J]. 昆虫知识, 2004, 41(6): 585. DOI: [10.3969/j.issn.0452-8255.2004.06.021](https://doi.org/10.3969/j.issn.0452-8255.2004.06.021).
- [35] JIANG B, SIREGAR U, WILLEFORD K O, et al. Association of a 33-kilodalton cysteine proteinase found in corn callus with the inhibition of fall armyworm larval growth[J]. Plant Physiology, 1995, 108(4): 1631. DOI: [10.1111/j.1365-2885.1995.tb00558.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2885.1995.tb00558.x).
- [36] 李贤嘉, 吴吉英子, 戴修纯, 等. 草地贪夜蛾对不同玉米品种果穗的为害研究[J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(2): 71. DOI: [10.7671/j.issn.1001-411X.202006031](https://doi.org/10.7671/j.issn.1001-411X.202006031).
- [37] 戴钊萱, 李子园, 田耀加, 等. 不同品种玉米对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(10): 3273. DOI: [10.13287/j.1001-9332.202010.020](https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202010.020).
- [38] 刘旭明, 金达生. 作物抗虫鉴定中对照品种的作用与设置[J]. 植物保护, 1995, 4(3): 36.
- [39] 阎凤鸣. 丁布研究进展[J]. 昆虫知识, 1995, 4(3): 178.

责任编辑: 何承刚