

陕西省兴平市玉米田草地贪夜蛾的发生动态 及关键防治技术



董金慧¹ 宋梁栋² 李方向³ 王忠娣² 牛晓萍² 南江磊¹ 成卫宁^{1*}

(1. 西北农林科技大学植物保护学院, 植保资源与病虫害治理教育部重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

2. 兴平市植保植检站, 陕西 兴平 713100; 3. 西安市农业技术推广中心, 西安 710061)

摘要:为明确草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 在陕西省关中地区的种群消长动态, 筛选适合当地的抗虫玉米品种和高效防治药剂, 于2020—2022年连续3年在兴平市玉米田采用性诱捕器监测其发生动态, 采用植株受害5级法评估其对8个当地主栽玉米品种的为害及产卵选择, 同时测定7种不同类型杀虫剂对当地种群卵和3龄幼虫的毒力及田间防效。结果表明, 2020年和2021年草地贪夜蛾在兴平市的成虫始见期为6月中旬, 2022年为7月下旬, 连续3年的终见期均为11月上旬, 高峰期均为8月下旬至9月下旬; 其中在2021年的发生量最大, 为212头/诱捕器。成虫产卵对玉米品种和叶片部位具有选择性, 其中在郑单958上所产卵块数显著低于华农887, 在叶片背面所产卵块数显著高于叶片正面。供试玉米品种中秦龙14和郑单958受害较轻, 播后25~35 d平均受害级别均低于2.0; 正大12和纪元1号受害最重, 平均受害级别介于2.5~3.4之间。供试药剂中, 5.7%甲维盐对草地贪夜蛾卵的毒力最高, LC_{50} 为5.03 mg/L, 其次为60 g/L乙基多杀菌素和10%虫螨腈, 二者 LC_{50} 介于25.81~32.27 mg/L之间; 5.7%甲维盐、60 g/L乙基多杀菌素和50 g/L虱螨脲对幼虫的毒力较强, 三者 LC_{50} 介于0.14~0.63 mg/L之间。施用5.7%甲维盐、60 g/L乙基多杀菌素和50 g/L虱螨脲后3~10 d对草地贪夜蛾的田间防效最好, 为92.34%~99.12%; 其次为200 g/L氯虫苯甲酰胺和150 g/L茚虫威, 药后3~10 d的田间防效为85.67%~92.09%。表明陕西省主栽玉米品种秦龙14和郑单958对草地贪夜蛾有一定抗性, 5.7%甲维盐和60 g/L乙基多杀菌素对当地种群卵和幼虫的毒力最高且田间防效最好。

关键词: 草地贪夜蛾; 种群动态; 玉米品种; 抗性; 杀虫剂; 毒力; 田间防效

Occurrence dynamics and key control techniques of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in maize field of Xingping City, Shaanxi Province, China

Dong Jinhui¹ Song Liangdong² Li Fangxiang³ Wang Zhongdi² Niu Xiaoping²
Nan Jianglei¹ Cheng Weining^{1*}

(1. Key Laboratory of Plant Protection Resources and Pest Management of Ministry of Education, College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi Province, China; 2. Xingping Plant Protection and Inspection Station, Xingping 713100, Shaanxi Province, China; 3. Xi'an Agricultural Technology Extension Centre, Xi'an 710061, Shaanxi Province, China)

Abstract: To clarify the population dynamics of fall armyworm *Spodoptera frugiperda* in maize fields in the Guanzhong area of Shaanxi Province and to screen suitable insect-resistant maize varieties and effective control insecticides, the population dynamics of *S. frugiperda* was monitored by using sex pheromone traps in the maize field in Xingping City during 2020—2022. In addition, the damage caused by *S.*

基金项目: 陕西省农业科技创新驱动项目(NYKJ-2022-YL(XN)21), 陕西省重点研发计划(2022NY-061)

* 通信作者 (Author for correspondence), E-mail: cwning@126.com

收稿日期: 2023-08-31

frugiperda to eight maize varieties cultivated in Shaanxi Province were investigated based on the five-scale assessment of plant damage and the number of egg masses. Meanwhile, the toxicity of seven pesticides to eggs and 3rd-instar larvae of *S. frugiperda* and their field control efficacy were investigated. The results showed that adult *S. frugiperda* began to emerge in Xingping City in mid-June in 2020 and 2021, and in late July in 2022, peaked from late August to late September, and disappearing in early November during 2020–2022. The number of moths trapped was highest in 2021, with 212 individuals per trap, compared to 2020 and 2022. Oviposition of *S. frugiperda* exhibited selectivity among maize varieties and leaf positions, with significantly fewer egg masses laid on Zhengdan 958 than on Huanong 887, and on upper side of leaves than on the underside. Among the maize varieties tested, Qinlong14 and Zhengdan 958 showed less damage, with mean damage ratings lower than 2.0 at 25–35 d after planting, while Zhengda 12 and Jiyuan 1 suffered the heaviest damage, with ratings between 2.5 and 3.4. Of the insecticides tested, 5.7% emamectin benzoate exhibited the strongest toxicity against *S. frugiperda* eggs, with an LC_{50} of 5.03 mg/L, followed by 60 g/L spinetoram and 10% chlorfenapyr, with LC_{50} values ranging from 25.81 to 32.27 mg/L. Furthermore, 5.7% emamectin benzoate, 60 g/L spinetoram, and 50 g/L lufenuron exhibited stronger toxicity against larvae, with LC_{50} values ranging from 0.14 to 0.63 mg/L. The field control efficacy of 5.7% emamectin benzoate, 60 g/L spinetoram, and 50 g/L lufenuron at days 3–10 after application was optimal, ranging from 92.34% to 99.12%, followed by 200 g/L chlorantraniliprole and 150 g/L indoxacarb, with control efficacy ranging from 85.67% to 92.09%. These results suggest that maize varieties Qinlong 14 and Zhengdan 958 planted in Shaanxi Province exhibit some resistance to *S. frugiperda*, and 5.7% emamectin benzoate and 60 g/L spinetoram demonstrate the highest toxicity to eggs and larvae of the local population, as well as the best control effect in the field.

Key words: *Spodoptera frugiperda*; population dynamics; maize variety; resistance; insecticide; toxicity; field control efficacy

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 原产于美洲热带和亚热带地区,近年来迅速扩展到美洲以外的多个国家,并于2019年入侵我国云南省,不到1年蔓延到全国26个省(自治区、直辖市)1 518个县(区、市),目前已在华南、西南等地区定殖(Li et al., 2020; Fu et al., 2022)。该虫迁飞和繁殖能力强,寄主范围广且具暴食性,尤以玉米受害严重(Sun et al., 2021; da Silva Ramos et al., 2022)。陕西省是我国玉米种植大省,也是我国草地贪夜蛾的重点防范区;2019年5月在洋县首次发现草地贪夜蛾,之后相继在63个县区发生(郭海鹏等, 2020),对当地玉米生产构成严重威胁。明确草地贪夜蛾在陕西省的发生规律并制订科学合理的防治对策,对有效控制其为害和保障玉米生产具有重要意义。

草地贪夜蛾入侵我国后,各地迅速开展了虫情监测,如其在云南、广东和浙江等省的发生动态和规律已初步探明(韩海亮等, 2020; 李亚红等, 2022; 齐国君等, 2022)。化学农药在病虫害应急防控中发挥着重要作用,2019年农业农村部推荐了甲维盐、氯虫苯甲酰胺和茚虫威等20多种药剂用于草地贪夜

蛾的防治(梁沛等, 2020),但长期大量使用易导致其产生抗药性,如在美国佛罗里达州中部和南部地区,草地贪夜蛾对氟胺氰菊酯和西维因产生了264倍和507倍的抗性(Yu, 1992);波多黎各草地贪夜蛾田间种群对乙基多杀菌素、氯虫苯甲酰胺和氟虫双酰胺分别产生了14倍、160倍和500倍的抗性(Gutiérrez-Moreno et al., 2019);我国华南地区草地贪夜蛾种群对氨基甲酸酯类药剂产生了一定的抗性(Zhang et al., 2021)。利用抗虫品种是防控草地贪夜蛾最经济和有效的措施(Cheng et al., 2013)。草地贪夜蛾原产地美国以及巴西等国家通过寄主抗虫性研究筛选出一批抗草地贪夜蛾的玉米自交系和品种,如Mp704(Brooks et al., 2007)、Mp708(Chen et al., 2009)、FAW7061(Ni et al., 2011)和Pérola(Nogueira et al., 2019)等。Morales et al.(2021)和张楠等(2021)研究表明,肯尼亚玉米品种和中国广东省鲜食玉米品种对草地贪夜蛾的抗性存在显著差异。

草地贪夜蛾是陕西省重要的玉米害虫,但尚未见关于其在该地区的发生规律及玉米抗虫性的研究报告,而且生产上用于防治草地贪夜蛾的药剂对该

地种群的毒力和防效如何、当地种群是否已产生抗药性等情况也并不清楚。鉴于此,本研究于2020—2022年连续3年在关中平原地区的兴平市玉米田利用性诱剂监测草地贪夜蛾种群动态;同时以卵块数和玉米受害等级为指标评估陕西省主栽玉米品种对草地贪夜蛾的抗性,测定不同类型杀虫剂对当地种群的室内敏感性和田间防效,筛选适合当地的抗虫玉米品种和高效防治药剂,以期为当地草地贪夜蛾的有效防控提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试玉米品种和昆虫:秦龙14,种子由陕西秦龙绿色种业有限公司提供;正大12,种子由陕西杨凌伟隆农业科技有限公司提供;郑单958、纪元1号、德单123、华农138、华农887和五谷631,种子购于陕西大地伟业种子科技有限公司;这8个玉米品种均为陕西省主栽品种。于2021年9月在陕西省兴平市玉米田采集草地贪夜蛾3~6龄幼虫,用人工饲料(王世英等,2019)于温度26℃、相对湿度70%、光周期16L:8D条件下饲养,待成虫羽化后置于顶部和周边覆盖湿纱布的直径26cm×高30cm圆筒形笼罩箱中,提供10%蜂蜜水饲喂,待其产卵,饲养3代后取新产24h内健康卵块和发育整齐的3龄幼虫供试。

药剂和仪器:双酰胺类药剂200g/L氯虫苯甲酰胺(chlorantraniliprole)悬浮剂和氨基甲酸酯类药剂150g/L茚虫威(indoxacarb)乳油,美国富美实公司;大环内酯类药剂5.7%甲维盐(emamectin benzoate)水分散粒剂和60g/L乙基多杀菌素(spinetoram)悬浮剂,分别购自陕西上格之路生物科学有限公司和科迪华农业科技有限责任公司;菊酯类药剂2.5%高效氯氟氰菊酯(λ -cyhalothrin)水乳剂,河南爱力生生物科技有限公司;芳基吡咯类药剂10%虫螨腈(chlorfenapyr)悬浮剂,巴斯夫植物保护(江苏)有限公司;苯甲酰胺类药剂50g/L虱螨脲(lufenuron)乳油,青岛海纳生物科技有限公司。草地贪夜蛾PVC毛细管性诱剂诱芯及配套的黄色桶型诱捕器,深圳百乐宝生物农业科技有限公司;SMZ-168型体视显微镜,麦克奥迪实业有限公司;6孔细胞培养板,山东思科捷生物技术有限公司;3WBD-16L型背负式电动喷雾器,佛山市顺德区合利植保器械有限公司。

1.2 方 法

1.2.1 草地贪夜蛾成虫发生动态监测

试验于2020—2022年连续3年在陕西省关中中

部的兴平市马嵬街道安家村、东街村和马嵬村玉米田(34.32°N,108.41°E)进行,每个村选择种植面积大于0.33hm²的春播玉米田5块,连片种植面积大于3.33hm²的夏播玉米田1块,主要种植品种为先玉335、陕科6号和郑单958,株距30cm,行距60cm。春玉米3月上旬播种,7月下旬收获;夏玉米6月上旬播种,10月上旬收获。每年从3月下旬开始,在3个村每块春播玉米田中分别安装1个性诱捕器,在夏播玉米田中分别安装5个,诱捕器固定于塑料杆上,呈直线排列,间距约100m,距田边20m,设置高度为距地面1.2m(苗期)或高出植株顶部20cm。春播玉米田从4月中旬开始调查,夏播玉米田从出苗后开始调查,每7d调查1次诱集到的草地贪夜蛾成虫数量,记录结束后清理诱捕器,连续2周诱不到成虫后调查结束(11月中旬)。为保证诱集效果,1个月更换1次诱芯。

1.2.2 草地贪夜蛾对玉米的产卵选择和为害程度调查

供试8个玉米品种于2022年8月10日(在当地监测到草地贪夜蛾成虫2周后)播于草地贪夜蛾发生较重的兴平市马嵬村,试验田地势平坦,水肥和管理状况较好;每个品种种植3个小区,每个小区大小为长10m×宽6m,小区间距1m,小区随机区组排列,试验区两侧各种植5行保护行,前后各种植5m宽保护行。播后15d,在每个小区采用平行跳跃法取样,隔行连续调查10株玉米,调查5行共50株,记录玉米植株上的着卵量及位置;分别于播后25d和35d,每个小区选取玉米植株50株,按5级法调查植株整体受害程度并记录每株玉米的受害等级,等级划分参考Toepfer et al.(2021)和黄建荣等(2022)标准:0级,未受害;1级,轻度受害,部分叶片有针孔或小透天窗样取食斑;2级,中度受害,上层多片叶有大量透天窗样取食斑或少量细长孔洞;3级,严重受害,叶片含大量长条状孔洞或部分叶片有大量大孔洞;4级,整体被害,部分叶片被毁,含各种孔洞或生长点被毁。计算每个小区玉米植株受害等级平均值,根据3个重复的平均受害级别划分抗性(结合选择性和抗性综合考虑),将受害等级分别为0、(0,1]、(1,2]、(2,3]和(3,4]的玉米植株抗性等级定为免疫、高抗、抗虫、感虫和高感。

1.2.3 不同药剂对草地贪夜蛾卵和幼虫的毒力测定

采用浸卵法测定不同药剂对草地贪夜蛾卵的毒力。在预试验基础上,用水将供试药剂稀释为系列浓度梯度,其中5.7%甲维盐浓度分别为40、20、10、5和2.5mg/L,60g/L乙基多杀菌素浓度分别为120、

60、30、15和7.5 mg/L, 50 g/L 虱螨脲、200 g/L 氯虫苯甲酰胺、10% 虫螨腈、2.5% 高效氯氟氰菊酯和150 g/L 茚虫威的浓度均为200、100、50、25和12.5 mg/L。选择24 h内产的新鲜淡绿色健康卵块,用细毛笔将其分散为单个卵粒,选择饱满的90粒卵均匀粘在透明胶带上制成卵卡;将卵卡分别在各系列浓度药液中浸渍10 s,用滤纸吸掉多余药液并晾干,然后放入培养皿中,用保鲜膜封培养皿口,针刺小孔后于温度26 ℃、相对湿度70%、光周期16 L:8 D条件下培养;以在清水中浸渍相同时间的处理为对照,每个浓度处理重复3次,72 h后用体视显微镜检查并统计未孵化卵的数量。采用Probit法求得7种药剂对卵的毒力回归方程、 LC_{50} 及95%置信限。

采用浸叶法测定不同药剂对草地贪夜蛾幼虫的毒力。在预试验基础上,用水将供试药剂稀释为系列浓度梯度,其中5.7% 甲维盐和60 g/L 乙基多杀菌素浓度均为1、0.5、0.25、0.125和0.062 5 mg/L, 50 g/L 虱螨脲浓度分别为5、2.5、1.25、0.625和0.312 5 mg/L, 200 g/L 氯虫苯甲酰胺和10% 虫螨腈浓度分别为40、20、10、5和2.5 mg/L, 2.5% 高效氯氟氰菊酯和150 g/L 茚虫威浓度分别为60、30、15、7.5和3.75 mg/L。选取玉米品种正大12进行测定,将种子播于直径30 cm×高30 cm的育苗盆中,在温度26 ℃、相对湿度70%、光周期16 L:8 D条件下生长至喇叭口期,取顶端2片展开叶(倒一叶和倒二叶),将其剪成5 cm长的片段,在配制好的各系列浓度药液中浸渍10 s后取出晾干,放入6孔细胞培养板中,每孔接入1头饥饿4 h的3龄幼虫,以清水中浸渍相同时间的处理为对照,每个浓度处理重复3次,每个重复30头试虫。处理后的试虫于温度26 ℃、相对湿度70%、光周期16 L:8 D条件下培养,分别于24 h和48 h检查并记录幼虫的存活状态,以毛笔轻触虫体没有反应者记录为死亡,采用Probit法求得7种药剂对3龄幼虫的毒力回归方程、 LC_{50} 及95%置信限。

1.2.4 不同药剂对草地贪夜蛾的田间防效测定

试验于2022年9月在陕西省草地贪夜蛾发生较重的兴平市马嵬街道玉米田进行,玉米品种为正大12,8月10日播种,株距30 cm,行距60 cm,每个试验小区大小为长10 m×宽6 m,小区间距1 m,边行作为保护行。试验设8个处理,分别为200 g/L 氯虫苯甲酰胺(有效成分用量为180 mL/hm²)、2.5% 高效氯氟氰菊酯(有效成分用量为600 mL/hm²)、10% 虫螨腈(有效成分用量为1 005 mL/hm²)、5.7% 甲维盐(有效成分用量为112.5 g/hm²)、150 g/L 茚虫威(有

效成分用量为240 mL/hm²)、60 g/L 乙基多杀菌素(有效成分用量为600 mL/hm²)和清水对照,各药剂剂量设置参考防治鳞翅目夜蛾科害虫的推荐剂量,每个处理重复3次,每个重复为1个小区,小区随机区组排列,于2022年9月6日玉米处于小喇叭口期时,使用背负式电动喷雾器均匀施药,药液用量为450 L/hm²。

施药前(0 d)和施药后3、7和10 d调查各处理区草地贪夜蛾的幼虫数,每个小区采取平行跳跃法取样,每隔1行连续调查10株,调查5行,共50株;药后第10天同时调查心叶及顶端2片展开叶的受害情况,根据调查结果计算各药剂处理的防效及保叶效果。防效=(1-(处理区防后虫量×对照区防前虫量)/(处理区防前虫量×对照区防后虫量))×100%;保叶效果=(对照区新生叶被害率-处理区新生叶被害率)/对照区新生叶被害率×100%。

1.3 数据分析

所有试验数据利用SPSS 25.0软件进行分析,其中田间防效和保叶效果需先进行平方根反正弦转换后再进行单因素方差分析,不同玉米品种植株着卵量及受害等级直接进行单因素方差分析,并应用Duncan氏新复极差法进行差异显著性检验;而叶片背面和正面着卵率采用*t*测验法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 陕西省兴平市草地贪夜蛾的发生动态

2020—2022年陕西省兴平市草地贪夜蛾成虫的年发生动态基本相似,每年均有2次发生高峰期,集中在8月下旬至9月下旬,此时期为夏玉米灌浆至蜡熟期,其中在2020年和2021年第2次高峰期的诱捕量明显高于第1次高峰期,每周诱捕量分别达37头/诱捕器和140头/诱捕器,且不同年度间的诱捕量差异较大,2020年、2021年和2022年诱捕量分别为129、212和132头/诱捕器,即2021年诱捕量高于2020年和2022年(图1)。

从发生时间来看,草地贪夜蛾在2020年和2021年的成虫始见期接近,分别为6月19日和6月17日(夏玉米苗期),2022年成虫始见期则较晚,为7月26日(夏玉米大喇叭口期);全年2次高峰出现时间逐年提前,其中第1次高峰由2020年的9月14日提前至2021年的9月2日和2022年的8月24日,分别较上一年提前12 d和9 d;第2次高峰出现时间由2020年的9月23日提前至2021年的9月15日和2022年的

9月14日,分别较上一年提前8 d和1 d;连续3年的 终见期相近,为11月4日至9日(图1)。

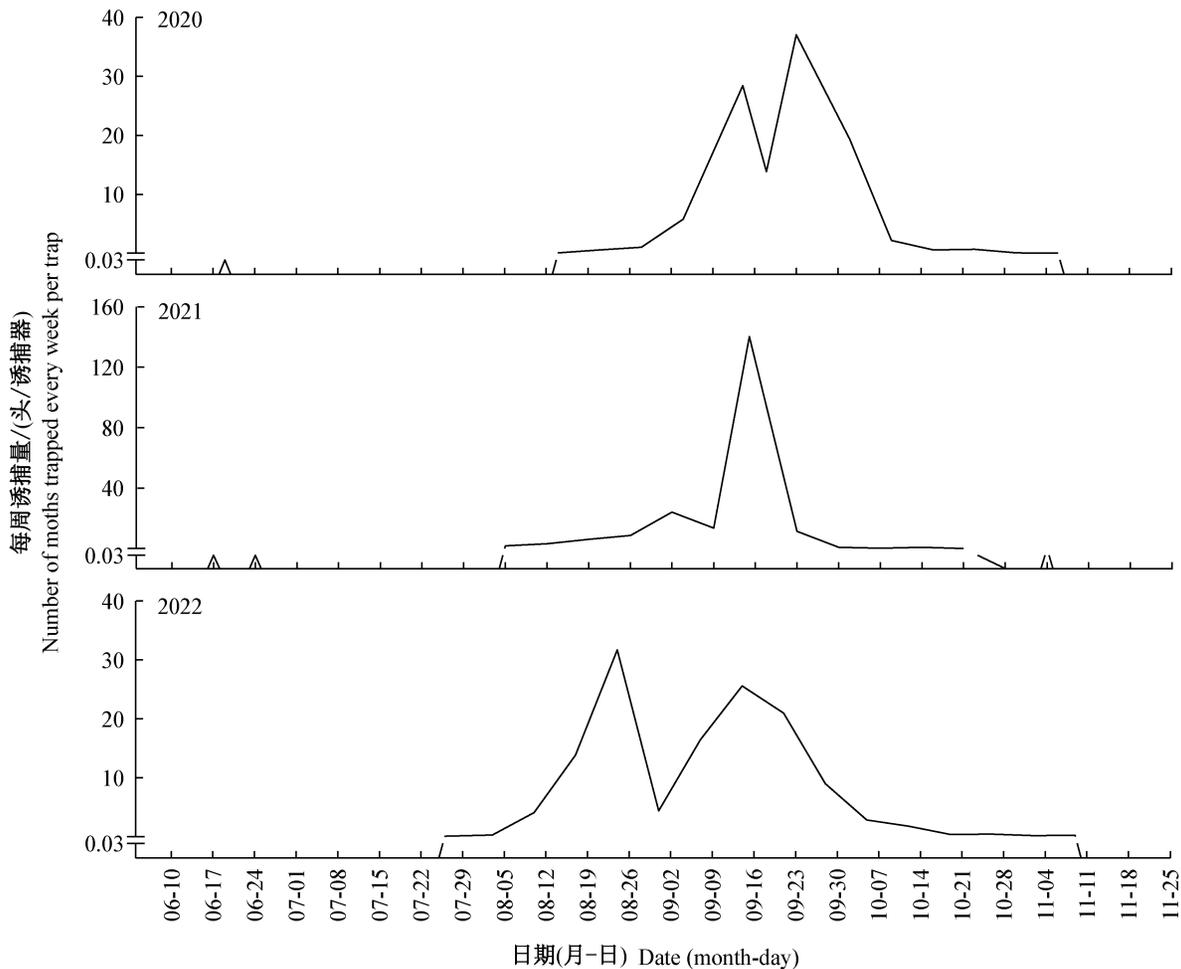


图1 2020—2022年陕西省兴平市玉米田草地贪夜蛾成虫的发生动态

Fig. 1 Population dynamics of *Spodoptera frugiperda* adults in maize fields in Xingping City, Shaanxi Province during 2020—2022

2.2 草地贪夜蛾产卵时对玉米品种和叶片位置的选择

供试8个玉米品种中,华农887植株上的着卵量最多,百株卵块数为20.8块,其次为华农138、五谷631和德单123植株上的着卵量,而郑单958植株上的着卵量最少,百株卵块数为8.0块;除华农887与郑单958之间的着卵量差异显著外,其余品种之间的着卵量均差异不显著(图2-A)。统计8个玉米品种叶片正面和背面的着卵量,发现产于叶片背面的卵块数显著多于正面,着卵率分别为91.9%和8.1%(图2-B),说明草地贪夜蛾产卵时对玉米品种及其叶片部位均具有选择性。

2.3 草地贪夜蛾对不同玉米品种的为害程度比较

不同玉米品种对草地贪夜蛾的抗性存在差异,其中秦龙14和郑单958在播后25~35 d的平均受害等级分别介于1.6~1.8和1.7~1.9之间,均显著低于其余6个品种,表现为抗虫;而正大12和纪元1号受害最重,播后25 d的平均受害级别分别为2.8和2.5,播

后35 d的平均受害等级分别为3.4和3.1,表现为高感;华农138、五谷631、华农887和德单123这4个品种播后25 d和35 d的平均受害级别均介于2.0~3.0之间,表现为感虫(图3)。

2.4 不同药剂对草地贪夜蛾卵和幼虫的毒力

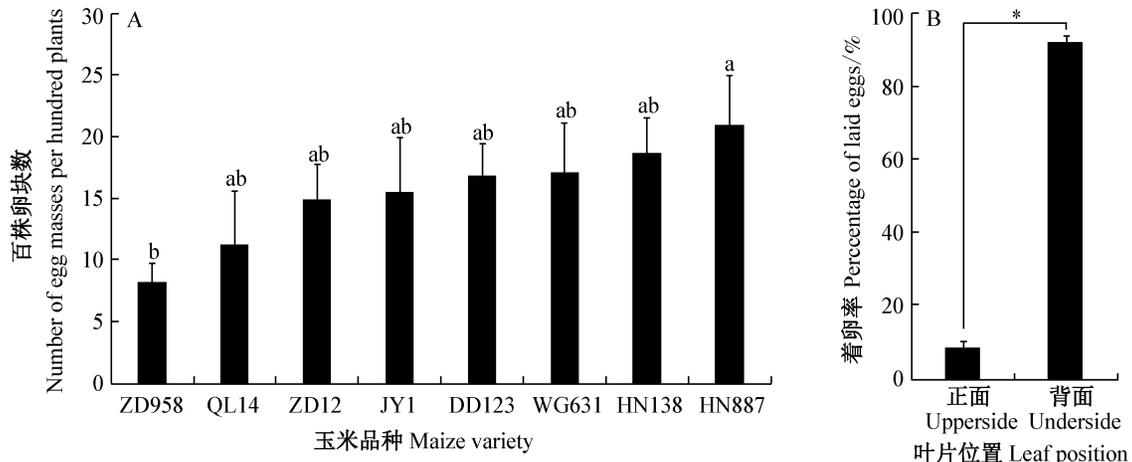
2.4.1 对卵的毒力

供试杀虫剂对草地贪夜蛾卵的毒力由高到低依次为5.7%甲维盐>60 g/L乙基多杀菌素>10%虫螨脲>200 g/L氯虫苯甲酰胺>2.5%高效氯氟氰菊酯>50 g/L虱螨脲>150 g/L茚虫威,其中5.7%甲维盐的毒力最强,处理后72 h对卵的 LC_{50} 为5.03 mg/L;其次为60 g/L乙基多杀菌素和10%虫螨脲,处理后72 h对卵的 LC_{50} 分别为25.81 mg/L和32.27 mg/L;再次为200 g/L氯虫苯甲酰胺和2.5%高效氯氟氰菊酯,处理后72 h对卵的 LC_{50} 为60.17~63.00 mg/L;50 g/L虱螨脲和150 g/L茚虫威的毒力最低,处理后72 h对卵的 LC_{50} 均大于100 mg/L(表1)。

2.4.2 对幼虫的毒力

7种杀虫剂处理草地贪夜蛾3龄幼虫后24~48 h, 其 LC_{50} 均小于等于19.75 mg/L, 表明供试药剂对草地贪夜蛾3龄幼虫均有良好的毒杀作用, 其中, 5.7%甲维盐、60 g/L乙基多杀菌素和50 g/L虱螨脲的毒力较强, 三者处理24 h后的 LC_{50} 介于0.23~0.63 mg/L之间, 处理48 h后的 LC_{50} 介于0.14~0.28 mg/L之间;

其次为200 g/L氯虫苯甲酰胺和10%虫螨脲, 处理24 h后的 LC_{50} 分别为7.89 mg/L和11.20 mg/L, 处理48 h后的 LC_{50} 为5.37 mg/L和7.64 mg/L; 相比较而言, 150 g/L茚虫威和2.5%高效氯氟氰菊酯的毒力略逊色, 处理24 h后的 LC_{50} 大于等于17.51 mg/L, 处理48 h后的 LC_{50} 大于等于11.29 mg/L(表2)。

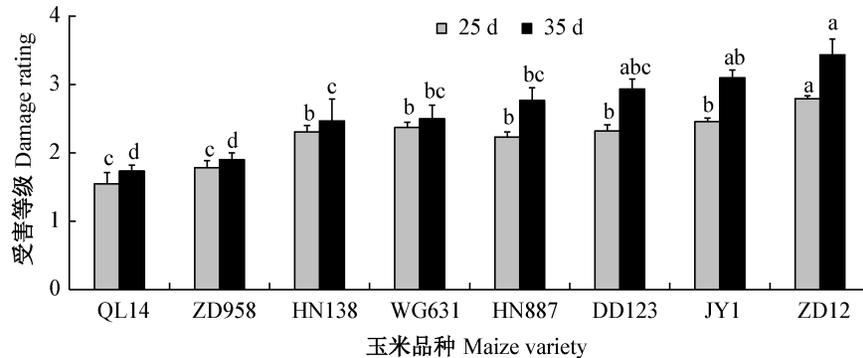


ZD958: 郑单 958; QL14: 秦龙 14; ZD12: 正大 12; JY1: 纪元 1 号; DD123: 德单 123; WG631: 五谷 631; HN138: 华农 138; HN887: 华农 887。ZD958: Zhengdan 958; QL14: Qinlong 14; ZD12: Zhengda 12; JY1: Jiyuan 1; DD123: Dedan 123; WG631: Wugu 631; HN138: Huanong 138; HN887: Huanong 887。

图2 草地贪夜蛾对玉米品种(A)和叶片位置(B)的产卵选择性

Fig. 2 Oviposition preference of *Spodoptera frugiperda* to different maize varieties (A) and leaf sites (B)

图中数据为平均数±标准误。柱上不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$); *表示经 t 测验法检验差异显著($P<0.05$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters on the bars indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$); * indicates significant difference by t test ($P<0.05$).



QL14: 秦龙 14; ZD958: 郑单 958; HN138: 华农 138; WG631: 五谷 631; HN887: 华农 887; DD123: 德单 123; JY1: 纪元 1 号; ZD12: 正大 12。QL14: Qinlong 14; ZD958: Zhengdan 958; HN138: Huanong 138; WG631: Wugu 631; HN887: Huanong 887; DD123: Dedan 123; JY1: Jiyuan 1; ZD12: Zhengda 12。

图3 草地贪夜蛾对播后25 d和35 d不同玉米品种的为害程度

Fig. 3 Damage rating of *Spodoptera frugiperda* to different maize varieties at 25 and 35 days after planting

图中数据为平均数±标准误。同色柱上不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验差异显著($P<0.05$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters on the bars of same color indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P<0.05$).

2.5 不同药剂对草地贪夜蛾的田间防效

不同药剂对草地贪夜蛾的田间防效差异显著, 其中, 60 g/L乙基多杀菌素、5.7%甲维盐和50 g/L虱

螨脲的田间防效最好, 药后3 d的防效为92.34%~95.77%, 药后7~10 d的防效为95.22%~99.12%; 其次为150 g/L茚虫威和200 g/L氯虫苯甲酰胺, 药后3~

10 d的防效为85.67%~92.09%;相比较而言,2.5%高效氯氟氰菊酯和10%虫螨腈的田间防效较差,药后3、7和10 d的防效分别为77.96%~85.14%、77.24%~89.23%和82.84%~84.69%(表3)。

表1 供试7种杀虫剂处理72 h对草地贪夜蛾卵的毒力

Table 1 Toxicity of seven pesticides to *Spodoptera frugiperda* eggs after 72 h

杀虫剂 Insecticide	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC ₅₀ / (mg/L)	95%置信限 95% confidence limit/ (mg/L)	相关系数 Correlation coefficient
5.7%甲维盐 5.7% emamectin benzoate	$y=-0.54+0.76x$	5.03	2.24-8.44	0.965
60 g/L乙基多杀菌素 60 g/L spinetoram	$y=-1.79+1.27x$	25.81	15.02-35.81	0.998
10%虫螨腈 10% chlorfenapyr	$y=-1.28+0.85x$	32.27	20.61-58.33	0.998
200 g/L氯虫苯甲酰胺 200 g/L chlorantraniliprole	$y=-2.55+1.43x$	60.17	45.07-90.56	0.963
2.5%高效氯氟氰菊酯 2.5% lambda-cyhalothrin	$y=-2.42+1.35x$	63.00	41.88-120.46	0.993
50 g/L虱螨脲 50 g/L lufenuron	$y=-4.54+2.23x$	108.87	88.87-141.31	0.967
150 g/L茚虫威 150 g/L indoxacarb	$y=-3.81+1.85x$	116.04	87.80-199.55	0.989

x: 药剂浓度的对数值; y: 死亡率概率值。x: Logarithmic value of concentration dose; y: probability of mortality.

表2 供试7种杀虫剂对草地贪夜蛾3龄幼虫的毒力

Table 2 Toxicity of seven insecticides to 3rd-instar larvae of *Spodoptera frugiperda*

杀虫剂 Insecticide	时间 Time/h	毒力回归方程 Toxicity regression equation	LC ₅₀ / (mg/L)	95%置信限 95% confidence limit/ (mg/L)	相关系数 Correlation coefficient
5.7%甲维盐	24	$y=0.93+1.44x$	0.23	0.17-0.31	0.969
5.7% emamectin benzoate	48	$y=1.36+1.60x$	0.14	0.10-0.18	0.966
60 g/L乙基多杀菌素	24	$y=0.88+1.51x$	0.26	0.18-0.35	0.963
60 g/L spinetoram	48	$y=1.15+1.46x$	0.16	0.10-0.23	0.937
50 g/L虱螨脲	24	$y=0.23+1.11x$	0.63	0.31-0.96	0.979
50 g/L lufenuron	48	$y=0.68+1.22x$	0.28	0.09-0.47	0.941
200 g/L氯虫苯甲酰胺	24	$y=-1.83+2.04x$	7.89	6.17-9.73	0.946
200 g/L chlorantraniliprole	48	$y=-1.46+2.01x$	5.37	3.83-6.78	0.945
10%虫螨腈	24	$y=-2.17+2.07x$	11.20	9.20-13.74	0.963
10% chlorfenapyr	48	$y=-2.15+2.43x$	7.64	6.36-9.11	0.956
150 g/L茚虫威	24	$y=-2.93+2.36x$	17.51	14.65-21.59	0.963
150 g/L indoxacarb	48	$y=-2.79+2.44x$	13.87	11.60-16.57	0.944
2.5%高效氯氟氰菊酯	24	$y=-3.15+2.43x$	19.75	16.80-24.40	0.997
2.5% lambda-cyhalothrin	48	$y=-2.00+1.88x$	11.29	8.38-13.85	0.991

x: 药剂浓度的对数值; y: 死亡率概率值。x: Logarithmic value of concentration dose; y: probability of mortality.

不同药剂防治草地贪夜蛾后对玉米上部叶片均有一定的保护效果,其中,60 g/L乙基多杀菌素和50 g/L虱螨脲处理的保叶效果最高,分别为96.13%和94.21%,显著高于其余药剂处理;其次为5.7%甲维盐处理,保叶效果为79.74%;150 g/L茚虫威、200 g/L氯虫苯甲酰胺和2.5%高效氯氟氰菊酯处理的保叶效果介于51.33%~62.10%之间;而10%虫螨腈处理的保叶效果最低,为47.19%(表3)。

3 讨论

本研究结果表明,2020—2022年陕西省兴平市草地贪夜蛾成虫的发生动态与季节密切相关,夏初6—7月始见,8月下旬至9月下旬盛发,秋末11月上

旬终见,与在同为草地贪夜蛾重点防范区(北纬33°以北的黄淮海夏播玉米区和北方春播玉米区)的河南省新乡市的发生动态基本一致(刘彬等,2019)。结合当地6—11月气温与草地贪夜蛾世代发育历期和有效积温(鲁智慧等,2019; Malekera et al., 2022),推测陕西省兴平市草地贪夜蛾1年发生2~3代,由于成虫持续迁入,世代重叠严重,根据峰期难以区分世代的分界线;推测8—9月出现的第1个成虫高峰为持续迁入种群和本地羽化虫源的叠加,第2个高峰可能为迁入种群、本地羽化虫源和回迁虫源的叠加(郭安红等,2022)。本研究结果显示,2020—2022年3年的最大诱捕量差异很大,其中2021年的诱捕量最高,可能当年9月气温、风场和气流等气象因素更利于种

群繁衍和成虫迁飞沉降。有研究表明风温场、大气环流在白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Ji & Zhu, 2012)、草地螟 *Loxostege sticticalis* (陈智勇等, 2022) 以及草地贪夜蛾 (Wu et al., 2021) 等重大农业害虫的迁飞沉降中发挥了重要作用。2022年草地贪夜蛾在兴平市的始见日较2020—2021年晚(7月), 同为草地贪夜

蛾西线迁飞轨迹上的内蒙古自治区阿拉善左旗也发现类似现象 (<https://www.natesc.org.cn/news/des?id=00952102-1bbc-4b93-aac0-0c14fec9e969&Category>), 分析原因可能与虫源地高度重视前期防治使得迁飞虫源减少有关, 也可能与6月的气象因子有关, 关于影响其种群动态的因素还有待进一步深入研究。

表3 供试7种药剂对玉米田草地贪夜蛾的防效及保叶效果

Table 3 Control efficacy of seven insecticides against *Spodoptera frugiperda* in maize fields and leaf protection effect

处理 Treatment	防效 Control efficacy/%			保叶效果 Leaf protection effect/%
	药后 3 d	药后 7 d	药后 10 d	
	3 d after spraying	7 d after spraying	10 d after spraying	
60 g/L 乙基多杀菌素 60 g/L spinetoram	95.77±2.44 a	98.76±1.24 a	99.12±0.88 a	96.13±1.94 a
5.7% 甲维盐 5.7% emamectin benzoate	95.39±2.66 a	98.17±1.83 a	96.14±2.25 ab	79.74±0.16 b
50 g/L 虱螨脲 50 g/L lufenuron	92.34±1.51 ab	95.22±2.73 ab	97.28±1.57 ab	94.21±1.38 a
150 g/L 茚虫威 150 g/L indoxacarb	88.33±3.40 abc	86.82±1.51 cd	91.71±1.54 bc	62.10±4.35 c
200 g/L 氯虫苯甲酰胺 200 g/L chlorantraniliprole	85.67±1.63 bc	92.09±1.75 bc	86.68±1.16 c	55.53±2.66 cd
2.5% 高效氯氟氰菊酯 2.5% lambda-cyhalothrin	85.14±2.86 bc	77.24±3.10 d	82.84±1.56 c	51.33±4.34 cd
10% 虫螨腈 10% chlorfenapyr	77.96±4.28 c	89.23±1.44 bcd	84.69±1.87 c	47.19±6.66 d

表中数据为平均数±标准误。同列小写不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验差异显著 ($P < 0.05$)。Data are mean±SE. Different lowercase letters in the same column indicate significant difference by Duncan's new multiple range test ($P < 0.05$).

种植抗虫品种是控制农业害虫最经济和有效的措施, 尤其是草地贪夜蛾这类在心叶内潜藏为害的害虫。随着陕西省乃至全国玉米栽培面积的不断扩大, 筛选和培育抗虫玉米品种显得尤为重要。植株受害等级是国内外普遍应用且公认的评估作物对草地贪夜蛾抗性的重要指标 (Sisay et al., 2019; Morales et al., 2021)。本研究应用植株受害5级法评估了8个陕西省主栽玉米品种对草地贪夜蛾的抗性, 发现秦龙14和郑单958受害程度明显较其他品种轻, 说明抗性相对较强, 可作为潜在抗虫品种加以利用; 其余6个品种抗性较差, 可在草地贪夜蛾发生较轻地区推广种植。陕西省关中地区2022年草地贪夜蛾发生程度调查结果表明, 该虫在咸阳市、西安市和宝鸡市的发生相对较重, 在渭南市的发生较轻(未发表数据)。本研究同时还发现抗性较强的郑单958上草地贪夜蛾所产卵块数量最低, 与在华农887上所产卵块数量差异显著, 说明产卵非选择性是构成该品种对草地贪夜蛾抗性的重要机制之一。通常认为植物挥发物、颜色和表面形态结构等都可能影响昆虫对寄主植物的选择 (Huang et al., 2022), 但是哪个因子在草地贪夜蛾的产卵选择中发挥着主导作用还有待进一步研究。另外, 草地贪夜蛾成虫在郑单958、秦龙14和正大12的产卵量无显著差异, 但前2个品种的受害程度明显较轻, 说明抗性在这2个品种对草地贪夜蛾幼虫产生抗性的过程中同样发挥着重要作用。另外, 草地贪夜蛾偏好在玉米叶片背

面产卵, 这与 Ribeiro et al. (2014) 和巴吐西等 (2020) 的研究结果相似, 但与黄建荣等 (2021) 发现玉米拔节期草地贪夜蛾所产卵块有81.48%分布于叶片正面的结果不同, 可能与调查时玉米生育期不同有关, 本研究调查时玉米处于苗期。

化学药剂在草地贪夜蛾的应急防控中发挥了重要作用。根据其在寄主植物表面产卵、幼虫孵化不久转入心叶内隐藏为害的习性, 卵和低龄幼虫为药剂防治的最佳靶标。本研究测定了国内防治鳞翅目害虫常用的7种杀虫剂对陕西省兴平市草地贪夜蛾卵和3龄幼虫的毒力及田间防效, 发现大环内酯类杀虫剂5.7%甲维盐和60 g/L乙基多杀菌素不仅对卵和幼虫的毒力最高, 田间防治的速效性和持效性也好, 药后3~10 d防效高达95.39%~99.12%, 且顶叶保叶效果达79.74%~96.13%; 苯甲酰脲类药剂50 g/L虱螨脲的杀卵效果虽差, 但对幼虫的毒力高且田间防效好, 药后3~10 d的防效高达92.34%~97.28%; 200 g/L氯虫苯甲酰胺和150 g/L茚虫威的防效略次于前三者; 2.5%高效氯氟氰菊酯和10%虫螨腈的防效相对较差。这与前人对美国波多黎各 (Gutiérrez-Moreno et al., 2019) 和中国湖北、云南、安徽等省草地贪夜蛾种群 (赵胜园等, 2019; 郭志敏等, 2020; 殷雪等, 2023) 的研究结果基本一致; 但与闫文娟等 (2019) 和关秀敏等 (2021) 的报道有一定差异, 他们发现200 g/L氯虫苯甲酰胺和60 g/L乙基多杀菌素对广东省广州市草地贪夜蛾种群的防效在药后3~7 d

均大于90%,显著优于50 g/L虱螨脲;而3个药剂对山东省滕州市种群的防效相当。这说明不同地区草地贪夜蛾种群对药剂的敏感性存在差异,甲维盐、乙基多杀菌素和虱螨脲可作为防控陕西省种群的首选药剂,为防止或延缓抗药性产生,可与氯虫苯甲酰胺或茚虫威等不同作用机理药剂轮换使用。

参 考 文 献 (References)

- Ba TX, Zhang YH, Zhang Z, Guan DD, Li CC, Ji ZY, Yin XT, Zhang AH, Tang QB, Liu YH, et al. 2020. The host preference and population life tables of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed on maize and wheat. *Plant Protection*, 46(1): 17–23 (in Chinese) [巴吐西, 张云慧, 张智, 关豆豆, 李翠琴, 季昭云, 殷新田, 张爱环, 汤清波, 刘延辉, 等. 2020. 草地贪夜蛾对小麦和玉米的产卵选择性及其种群生命表. *植物保护*, 46(1): 17–23]
- Brooks TD, Shaun Bushman B, Paul Williams W, McMullen MD, Buckley PM. 2007. Genetic basis of resistance to fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) and southwestern corn borer (Lepidoptera: Crambidae) leaf-feeding damage in maize. *Journal of Economic Entomology*, 100(4): 1470–1475
- Chen YG, Ni XZ, Buntin GD. 2009. Physiological, nutritional, and biochemical bases of corn resistance to foliage-feeding fall armyworm. *Journal of Chemical Ecology*, 35(3): 297–306
- Chen ZY, Zhang Z, Liu J, Kang AG, Zhao SM, Yin XJ, Li ZQ, Xie AT, Zhang YH. 2022. Spatiotemporal dynamics and source of *Loxostege sticticalis* in northern China in 2020. *Scientia Agricultura Sinica*, 55(5): 907–919 (in Chinese) [陈智勇, 张智, 刘杰, 康爱国, 赵素梅, 尹祥杰, 李占清, 谢爱婷, 张云慧. 2022. 2020年我国北方地区草地螟种群的时空动态与虫源分析. *中国农业科学*, 55(5): 907–919]
- Cheng WN, Lei JX, Rooney WL, Liu TX, Zhu-Salzman K. 2013. High basal defense gene expression determines sorghum resistance to the whorl-feeding insect southwestern corn borer. *Insect Science*, 20(3): 307–317
- da Silva Ramos R, da Silva CAD, de Andrade Lima T, de Souza Albuquerque P Jr., Castellani MA, Serrão JE, Zanuncio JC. 2022. Development, survival and reproduction of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) fed an artificial diet or on cotton, castor bean and corn leaves. *Insects*, 13(5): 428
- Fu Y, Wu T, Yu H, Xu J, Zhang JZ, Fu DY, Ye H. 2022. The transcription of flight energy metabolism enzymes declined with aging while enzyme activity increased in the long-distance migratory moth, *Spodoptera frugiperda*. *Insects*, 13(10): 936
- Guan XM, Zhao M, Yang JG, Tang YH, Wang ZH. 2021. Control effects of the pesticides on *Spodoptera frugiperda* in field. *Plant Protection*, 47(5): 320–324 (in Chinese) [关秀敏, 赵猛, 杨建国, 唐永辉, 王振华. 2021. 草地贪夜蛾防治药剂田间试验示范效果. *植物保护*, 47(5): 320–324]
- Guo AH, Wang CZ, Deng HH, Yuan FX, He L, Zhang L. 2022. Atmospheric dynamics analysis and simulation of the migration of fall armyworm. *Journal of Applied Meteorological Science*, 33(5): 541–554 (in Chinese) [郭安红, 王纯枝, 邓环环, 袁福香, 何亮, 张蕾. 2022. 草地贪夜蛾迁飞大气动力条件分析及过程模拟. *应用气象学报*, 33(5): 541–554]
- Guo HP, Fan DS, Feng XJ, Yuan DZ, Wen YD, Wei HX, Zhang JG, Shi JN. 2020. Practice for prevention and control of *Spodoptera frugiperda* in Shaanxi Province in 2019. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 66(11): 44–45, 74 (in Chinese) [郭海鹏, 范东晟, 冯小军, 袁冬贞, 文耀东, 魏会新, 张建国, 史静妮. 2020. 陕西省2019年草地贪夜蛾防控实践及对策. *陕西农业科学*, 66(11): 44–45, 74]
- Guo ZM, Deng XQ, Li J, Yuan MJ, Wan H, Li JH, Ma KS. 2020. Detection of insecticide sensitivity and target site mutations in field populations of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in four regions of Hubei, central China. *Acta Entomologica Sinica*, 63(5): 582–589 (in Chinese) [郭志敏, 邓晓倩, 李静, 袁茂钧, 万虎, 李建洪, 马康生. 2020. 湖北四个地区草地贪夜蛾田间种群的杀虫剂敏感性及其靶标突变检测. *昆虫学报*, 63(5): 582–589]
- Gutiérrez-Moreno R, Mota-Sanchez D, Blanco CA, Whalon ME, Terán-Santofimio H, Rodriguez-Maciuel JC, DiFonzo C. 2019. Field-evolved resistance of the fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) to synthetic insecticides in Puerto Rico and Mexico. *Journal of Economic Entomology*, 112(2): 792–802
- Han HL, Zhang JM, Xu HX, Bao F, Liu M, Zhao FC, Lü YB, Lü ZX, Wang GY. 2020. Occurrence and control strategy of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) on maize plants in fields in Dongyang, Zhejiang, eastern China. *Acta Entomologica Sinica*, 63(5): 613–623 (in Chinese) [韩海亮, 章金明, 徐红星, 包斐, 刘敏, 赵福成, 吕要斌, 吕仲贤, 王桂跃. 2020. 草地贪夜蛾在浙江东阳田间玉米植株上的发生及防治策略. *昆虫学报*, 63(5): 613–623]
- Huang JR, Liu B, Tian CH, Huang B, Zhao WX, Lü GQ, Li GP, Feng HQ. 2021. Spatial distribution of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* egg masses on corn plant. *Plant Protection*, 47(1): 218–221, 240 (in Chinese) [黄建荣, 刘彬, 田彩红, 黄博, 赵文新, 吕国强, 李国平, 封洪强. 2021. 草地贪夜蛾卵块在玉米植株上的空间分布. *植物保护*, 47(1): 218–221, 240]
- Huang JR, Wang GS, Tian CH, Li SK, Zhang YJ, Li GP, Feng HQ. 2022. Classification methods of the damaged maize plant leaves by fall armyworm *Spodoptera frugiperda* and its performance in the control efficacy assessment of insecticides in the field. *Journal of Plant Protection*, 49(5): 1482–1492 (in Chinese) [黄建荣, 王根松, 田彩红, 李松科, 张永军, 李国平, 封洪强. 2022. 草地贪夜蛾为害玉米叶片程度的分级法及其在田间药效评价中的应用效果. *植物保护学报*, 49(5): 1482–1492]
- Huang QT, Han XQ, Zhang GJ, Zhu-Salzman K, Cheng WN. 2022. Plant volatiles mediate host selection of *Sitotiplosis mosellana* (Diptera: Cecidomyiidae) among wheat varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(34): 10466–10475
- Ji L, Zhu M. 2012. Relationship between rice planthopper occurrence area in China and atmospheric circulation indices. *Agricultural Science & Technology*, 13(9): 2006–2011
- Li XJ, Wu MF, Ma J, Gao BY, Wu QL, Chen AD, Liu J, Jiang YY, Zhai BP, Early R, et al. 2020. Prediction of migratory routes of the invasive fall armyworm in eastern China using a trajectory analytical approach. *Pest Management Science*, 76(2): 454–463
- Li YH, Lu ZH, Lu WK, Shi ZY, Fan JJ, Yang CZ, Su L, He RW, Xie

- DC, Hu XQ. 2022. Study on dynamics and damage of *Spodoptera frugiperda* in Yunnan Province in 2020. *China Plant Protection*, 42(10): 36–41 (in Chinese) [李亚红, 鲁智慧, 鲁伟坤, 石兆云, 范俊珺, 杨春震, 苏龙, 何儒武, 谢德昌, 胡雪琼. 2022. 2020年云南省草地贪夜蛾田间发生动态及为害调查研究. *中国植保导刊*, 42(10): 36–41]
- Liang P, Gu SH, Zhang L, Gao XW. 2020. Research status and prospects of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in China. *Acta Entomologica Sinica*, 63(5): 624–638 (in Chinese) [梁沛, 谷少华, 张雷, 高希武. 2020. 我国草地贪夜蛾的生物学、生态学和防治研究概况与展望. *昆虫学报*, 63(5): 624–638]
- Liu B, Huang B, Zhao J, Huang JR, Zhao WX, Lü GQ, Li GP, Feng HQ. 2020. Occurrence of *Spodoptera frugiperda* in Xinxiang City, Henan Province in autumn 2019. *Plant Protection*, 46(5): 181–185 (in Chinese) [刘彬, 黄博, 赵军, 黄建荣, 赵文新, 吕国强, 李国平, 封洪强. 2020. 2019年秋季河南新乡草地贪夜蛾发生调查. *植物保护*, 46(5): 181–185]
- Lu ZH, He SQ, Yan NS, Zhao WJ, Yao WF, Chen YP, Yang T, Jiang YY, Gui FR. 2019. Effects of temperatures on the development and reproduction of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* Smith). *Plant Protection*, 45(5): 27–31, 53 (in Chinese) [鲁智慧, 和淑琪, 严乃胜, 赵文杰, 姚万福, 陈亚平, 杨通, 姜玉英, 桂富荣. 2019. 温度对草地贪夜蛾生长发育及繁殖的影响. *植物保护*, 45(5): 27–31, 53]
- Malekera MJ, Acharya R, Mostafiz MM, Hwang HS, Bhusal N, Lee KY. 2022. Temperature-dependent development models describing the effects of temperature on the development of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Insects*, 13(12): 1084
- Morales XC, Tamiru A, Sobhy IS, Bruce TJA, Midega CAO, Khan Z. 2021. Evaluation of African maize cultivars for resistance to fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Plants*, 10(2): 392
- Ni XZ, Chen YG, Hibbard BE, Wilson JP, Williams WP, Buntin GD, Ruberson JR, Li XC. 2011. Foliar resistance to fall armyworm in corn germplasm lines that confer resistance to root- and ear-feeding insects. *Florida Entomologist*, 94(4): 971–981
- Nogueira L, Costa EN, Di Bello MM, Diniz JFS, Ribeiro ZA, Boiça Júnior AL. 2019. Oviposition preference and antibiosis to *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Brazilian maize landraces. *Journal of Economic Entomology*, 112(2): 939–947
- Qi GJ, Zhong WD, Chen T, Shi QX, Chen J, Huang DC, Zhang ZF. 2022. Seasonal population dynamics and occurrence characteristics of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in Guangdong Province. *Journal of Environmental Entomology*, 44(4): 792–799 (in Chinese) [齐国君, 钟文东, 陈婷, 石庆型, 陈洁, 黄德超, 张振飞. 2022. 广东省草地贪夜蛾种群周年动态及发生特征. *环境昆虫学报*, 44(4): 792–799]
- Ribeiro LP, Dequech STB, Camera C, Sturza VS, Poncio S, Vendramim JD. 2014. Vertical and temporal distribution of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) egg masses, parasitized and non-parasitized, on maize plants. *Maydica*, 59: 315–320
- Sisay B, Simiyu J, Mendesil E, Likhayo P, Ayalew G, Mohamed S, Subramanian S, Tefera T. 2019. Fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* infestations in East Africa: assessment of damage and parasitism. *Insects*, 10(7): 195
- Sun XX, Hu CX, Jia HR, Wu QL, Shen XJ, Zhao SY, Jiang YY, Wu KM. 2021. Case study on the first immigration of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* invading into China. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3): 664–672
- Toepfer S, Fallet P, Kajuga J, Bazagwira D, Mukundwa IP, Szalai M, Turlings TCJ. 2021. Streamlining leaf damage rating scales for the fall armyworm on maize. *Journal of Pest Science*, 94(4): 1075–1089
- Wang SY, Zhu QZ, Tan YT, Ma QL, Wang RF, Zhang MF, Xu HH, Zhang ZX. 2019. Artificial diets and rearing technique of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in laboratory. *Journal of Environmental Entomology*, 41(4): 742–747 (in Chinese) [王世英, 朱启旋, 谭煜婷, 马千里, 王瑞飞, 张美芳, 徐汉虹, 张志祥. 2019. 草地贪夜蛾室内人工饲料群体饲养技术. *环境昆虫学报*, 41(4): 742–747]
- Wu QL, Jiang YY, Liu J, Hu G, Wu KM. 2021. Trajectory modeling revealed a southwest-northeast migration corridor for fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) emerging from the North China Plain. *Insect Science*, 28(3): 649–661
- Yan WJ, Yang S, Wang YQ, Zheng Q, Zhang ZX, Xu HH. 2019. Comparison of the effectiveness of chemical and biological agents for the emergency control of *Spodoptera frugiperda* in the field. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 56(4): 788–792 (in Chinese) [闫文娟, 杨帅, 王勇庆, 郑群, 张志祥, 徐汉虹. 2019. 草地贪夜蛾应急防控药剂田间药效筛选. *应用昆虫学报*, 56(4): 788–792]
- Yin X, Fang XH, Niu DB, Liao M, Sheng CW, Cao HQ. 2023. Toxicity and field efficacy of metaflumizone against the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Acta Entomologica Sinica*, 66(1): 63–70 (in Chinese) [殷雪, 方小涵, 牛多邦, 廖敏, 盛成旺, 操海群. 2023. 氟氟虫脒对草地贪夜蛾的毒力与田间防效. *昆虫学报*, 66(1): 63–70]
- Yu SJ. 1992. Detection and biochemical characterization of insecticide resistance in fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Economic Entomology*, 85(3): 675–682
- Zhang DD, Xiao YT, Xu PJ, Yang XM, Wu QL, Wu KM. 2021. Insecticide resistance monitoring for the invasive populations of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(3): 783–791
- Zhang N, Chen T, Li XF, Li W, Xiao HX, Li GK. 2021. Identification and evaluation of resistance of 54 fresh corn hybrids to fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Guangdong Agricultural Sciences*, 48(12): 25–32 (in Chinese) [张楠, 陈婷, 李小凤, 李武, 肖汉祥, 李高科. 2021. 54份鲜食玉米品种草地贪夜蛾抗性鉴定与评价. *广东农业科学*, 48(12): 25–32]
- Zhao SY, Sun XX, Zhang HW, Yang XM, Wu KM. 2019. Laboratory test on the control efficacy of common chemical insecticides against *Spodoptera frugiperda*. *Plant Protection*, 45(3): 10–14, 20 (in Chinese) [赵胜园, 孙小旭, 张浩文, 杨琨明, 吴孔明. 2019. 常用化学杀虫剂对草地贪夜蛾防效的室内测定. *植物保护*, 45(3): 10–14, 20]