贵州省黔东南地区草地贪夜蛾寄生性天敌资源调查初报

张柱亭[1]， 秦绍钊[1]， 李 静[1]， 王 迎[1]， 孙 漩[1]，
董 辉[2*]， 刘金文[3]， 宋新元[3*]

（1. 凯里学院，凯里 556011；2. 沈阳农业大学，沈阳 110866；3. 吉林省农业科学院，长春 130033）

摘要 草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*（J. E. Smith）于 2019 年 5 月入侵贵州黔东南地区，严重威胁当地农业生态。黔东南地区丰富的生物资源是挖掘草地贪夜蛾自然天敌的重要基础。为明确黔东南地区草地贪夜蛾天敌的发生情况，2019 年 5 月至 7 月，采用五点取样法对选取的 3 个地点开展调查。结果表明，草地贪夜蛾在黔东南地区的主要寄生性天敌有 5 类，分别为白僵菌属、绿僵菌属、茧蜂科、姬蜂科和黑卵蜂属昆虫，寄生率最高分别为 45.50%、57.00%、3.00%、20.00%和 12.50%，寄生草地贪夜蛾幼虫期 4 种天敌综合控制力最高达 96.50%。本研究可为草地贪夜蛾天敌资源挖掘与利用提供重要参考。

关键词 生物防治； 入侵害虫； 寄生蜂； 虫生真菌

中图分类号： S 476.3，S 433.4 **文献标识码：** A **DOI：** 10.16688/j.zwbh.2019415

Preliminary investigation of parasitic natural enemies against *Spodoptera frugiperda* in southeast of Guizhou province

ZHANG Zhuting[1]， QIN Shaozhao[1]， LI Jing[1]， WANG Ying[1]， SUN Xuan[1]，
DONG Hui[2]， LIU Jinwen[3]， SONG Xinyuan[3]

（1. *Kaili University*，*Kaili* 556011，*China*；2. *Shenyang Agricultural University*，*Shenyang* 110866，*China*；
3. *Jilin Academy of Agricultural Sciences*，*Changchun* 130033，*China*）

Abstract *Spodoptera frugiperda*（J. E. Smith）has invaded southeast of Guizhou province since May of 2019，and posed a great threat to local agricultural production. The resources of natural enemies，which are potentially effective biological control agents against *S. frugiperda*，may be rich due to the particularly abundant biodiversity in southeastern Guizhou. To investigate the parasitic natural enemies of *S. frugiperda*，a five-point sampling method was used to investigate the natural enemies and their parasitism rates at 3 selected sites from May to July in 2019. The results showed that five types of parasitic natural enemy were found in this region，including *Beauveria*，*Metarhizium*，Braconidae，Ichneumonidae and *Telenomus*，and the max parasitism rates were 45.50%，57.00%，3.00%，20.00%，and 12.50%，respectively. The total parasitism rate at larval stage of *S. frugiperda* could reach 96.50%. This study will provide a basic reference for the mining of natural enemy resources for the control of *S. frugiperda*.

Key words biological control； invasive pest； parasitoid wasps； entomogenous fungus

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda*（J. E. Smith）原产于美洲热带和亚热带地区，是跨境迁飞的国际性重大害虫，具有寄主范围广，繁殖能力强，迁飞扩散快，为害程度重和防控难度大等特点。在非洲，草地贪夜蛾为害可使当地玉米减产 25%～67%[1]。2019 年 1 月，草地贪夜蛾被报道首次入侵我国云南省，并在西南地区迅速定殖、蔓延[2]。2019 年 5 月草地贪夜蛾入侵贵州黔东南地区。到目前为

收稿日期： 2019－08－16 **修订日期：** 2019－08－27
基金项目： 贵州省科技厅科技计划项目（黔科合 J 字[2014]2152）
* 通信作者 E-mail：董辉 biocontrol@163.com；宋新元 songxinyuan1980@163.com

止草地贪夜蛾至少已经在我国 20 个省市自治区发生，已严重影响我国玉米等粮食安全和农民的收入，及时研发应急防控技术及其可持续控制技术已迫在眉睫[3-4]。

有文献根据草地贪夜蛾在美洲原产地的生物学特性及非洲地区对其的控制实践，总结了草地贪夜蛾的天敌昆虫（寄生性和捕食性昆虫）和昆虫病原微生物（病毒、细菌、真菌和线虫）种类、主要天敌类群的生物学、天敌昆虫的大量繁殖技术、昆虫病原微生物的规模化生产、淹没释放应用、生态调控及生物防治的情况，认为我国应当高度重视对草地贪夜蛾天敌的研究和利用，必须对我国草地贪夜蛾的天敌资源进行本底调查、评价和保护，筛选和利用最有效的天敌种类，为草地贪夜蛾天敌的人工大规模饲养、繁殖与释放提供科学依据，使天敌资源在我国对草地贪夜蛾的控制中发挥持续的重要作用[4]。但草地贪夜蛾作为新入侵我国的害虫，目前国内关于其天敌的报道较少，关于黔东南地区草地贪夜蛾天敌资源的研究未见报道。

黔东南地区所具有的特殊农业种植环境和生态资源可能对草地贪夜蛾的进一步入侵以及生物防治起到关键作用。一方面，黔东南地区农作物种植结构复杂，不同生育期玉米和其他作物周年生长，为草地贪夜蛾提供了丰富的生存资源。同时冬季温度高，利于草地贪夜蛾越冬。这些预示着黔东南地区可能成为草地贪夜蛾的繁衍、越冬地及入侵其他地区虫源地。另一方面，黔东南地区森林覆盖率高达 67.37%，生态环境好，生物资源丰富，极有可能发现草地贪夜蛾天敌资源，为草地贪夜蛾的生物防治提供重要支撑。

本研究选取黔东南地区具有代表性的 3 个地点开展草地贪夜蛾发生为害情况与天敌资源调查，为黔东南地区草地贪夜蛾的生物防治提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 调查时间和地点

于 2019 年 5 月－7 月，在黔东南苗族侗族自治州凯里市三棵树镇、丹寨县兴仁镇和剑河县南明镇选择连片玉米地对草地贪夜蛾寄生性天敌资源进行调查。每 10～15 d 调查 1 次。黔东南苗族侗族自治州位于贵州省东南部，地跨 107°17′20″E－109°35′24″E；25°19′20″N－27°31′40″N。境内东西宽 220 km，南北长 240 km，总面积 30 337 km^2，属中亚热带季风湿润气候区，具有冬无严寒，夏无酷暑，雨热同季的特点。

1.2 调查方法

参考冼继东的方法[5]，在连片玉米地进行草地贪夜蛾卵和幼虫被寄生情况调查，每个地区根据不同玉米生育期选取 2～3 个未防治过草地贪夜蛾的地块。在田间虫量较低的情况下，全田调查，采集幼虫 100 头以上，以总虫量被寄生情况计算寄生率；田间虫量较大的情况下，以五点取样法每点取 30 头，共计 150 头计算天敌寄生率，并评价寄生性天敌的综合控制率，综合控制率为同一地点同一时间调查的各种寄生性天敌寄生率的和。

1.3 培养方法

将采集的带有草地贪夜蛾卵、幼虫和寄生蜂蛹的玉米叶片带回实验室，在人工气候箱（25℃±1℃；RH 70%；L//D=16 h//8 h）内饲养，每个卵块或虫体放入一个培养皿，棉球保湿，对虫生真菌进行分离和鉴定，对活体幼虫加新鲜玉米叶片饲养，直至死亡或化蛹。观察天敌寄生情况，发现天敌后继续饲养至天敌羽化，然后进行鉴定。

2 结果与分析

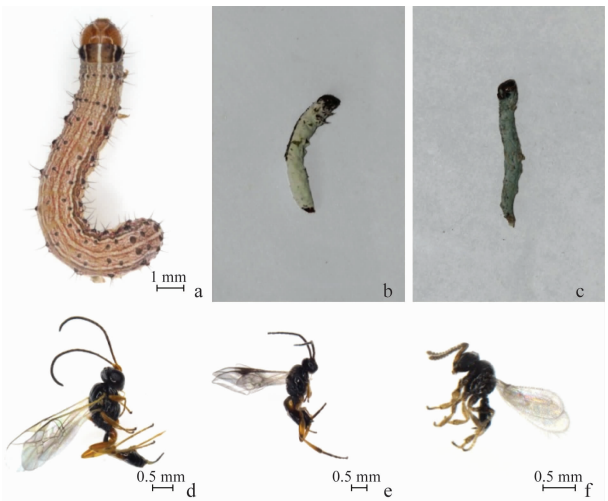
2.1 草地贪夜蛾天敌种类和致死虫态

截至 7 月中旬，贵州省黔东南地区共发现草地贪夜蛾天敌 5 类（表 1），均为寄生性天敌，其中虫生真菌 2 类（图 1b 和图 1c），分别为白僵菌属和绿僵菌属昆虫；寄生性昆虫 3 类，分别为姬蜂科（图 1d）、茧蜂科（图 1e）和黑卵蜂属（图 1f）昆虫。5 类天敌中除黑卵蜂属属于卵期寄生性天敌外，其他 4 类均为草地贪夜蛾幼虫期天敌。白僵菌和绿僵菌侵染的草地贪夜蛾幼虫龄期从 2 龄到 6 龄不等，一代草地贪夜蛾发生期，被感染的寄主龄期偏大，多为 5～6 龄幼虫；二代草地贪夜蛾发生期，低龄幼虫被感染的比例上升。根据被姬蜂寄生后死亡的草地贪夜蛾幼虫特征判断，被姬蜂寄生后幼虫死亡龄期多为 3～4 龄，每头被寄生的草地贪夜蛾幼虫只发现一个姬蜂茧，旁边均可发现死亡的草地贪夜蛾幼虫。茧蜂为田间发现，每头被寄生的草地贪夜蛾幼虫出现茧蜂数量 8～12 头不等，根据茧蜂数量和大小判断，被寄生幼虫死亡龄期应为高龄，茧蜂周围未发现死亡的草地贪夜蛾幼虫。

表 1　贵州黔东南部分地区草地贪夜蛾寄生性天敌发生情况

Table 1　Occurrence of parasitic natural enemies of *Spodoptera frugiperda* in southeast of Guizhou province

天敌种类 Natural enemy species	调查地点 Investigate site	调查时间/月-日 Survey time	寄生率/% Parasitic rate	致死虫态 Lethal development stage	致死虫体所处世代 The generation of dead insect
白僵菌	剑河县南明镇	06-20	10.95	2～6 龄幼虫	一代
Beauveria	凯里市三棵树镇	07-06	12.00	3～6 龄幼虫	一代、二代
	凯里市三棵树镇	07-14	45.50	2～6 龄幼虫	二代
	丹寨县兴仁镇	07-14	32.00	2～6 龄幼虫	二代
绿僵菌	剑河县南明镇	06-20	5.24	4～6 龄幼虫	一代
Metarhizium	凯里市三棵树镇	07-14	28.00	3～6 龄幼虫	二代
	丹寨县兴仁镇	07-14	57.00	3～6 龄幼虫	二代
茧蜂科	凯里市三棵树镇	07-14	3.00	-	二代
Braconidae	丹寨县兴仁镇	07-14	1.00	-	二代
姬蜂科	凯里市三棵树镇	07-06	3.81	3～4 龄幼虫	二代
Ichneumonidae	凯里市三棵树镇	07-14	20.00	6 龄幼虫	二代
	丹寨县兴仁镇	07-14	2.00	3～4 龄幼虫	二代
黑卵蜂属 *Telenomus*	凯里市三棵树镇	07-06	12.50	卵	二代



a: 健康的草地贪夜蛾幼虫; b~c: 感染了虫生真菌的草地贪夜蛾幼虫, b: 白僵菌; c: 绿僵菌; d: 姬蜂科昆虫; e: 茧蜂科昆虫; f: 黑卵蜂属昆虫
a: Healthy larvae of *S. frugiperda*; b-c: *S. frugiperda* larvae infected by entomogenous fungi, b: *Beauveria*; c: *Metarhizium*; d: Ichneumonidae insect; e: Braconidae insect; f: *Telenomus* sp.

图 1　草地贪夜蛾的寄生性天敌

Fig. 1　Parasitic natural enemies found in *Spodoptera frugiperda*

2.2　草地贪夜蛾天敌控制率

由表 1 可知,4 种幼虫期天敌白僵菌、绿僵菌、茧蜂和姬蜂对草地贪夜蛾的田间自然控制率在 1.00%～57.00%之间,其中白僵菌和绿僵菌发生最普遍且寄生率较高。白僵菌和绿僵菌在草地贪夜蛾一代发生期开始发挥控制作用,二者在剑河县南明镇对草地贪夜蛾的控制率分别为 10.95%和5.24%,综合控制率为 16.19%。白僵菌和绿僵菌对二代草地贪夜蛾的最高控制率分别为 45.50%(凯里市三棵树镇)和 57.00%(丹寨县兴仁镇)。其中,在丹寨县兴仁镇,7 月 14 日调查发现白僵菌和绿僵菌的综合控制率最高达 89.00%。调查发现草地贪夜蛾卵期寄生蜂 1 种,属于黑卵蜂属,其卵块寄生率为 12.50%。在草地贪夜蛾二代为害严重的地块,4 种幼虫期天敌的综合控制率较高且寄生率上升速度较快,如在凯里市三棵树镇,7 月 6 日,4 种幼虫期天敌综合控制率不到 20.00%,而 7 月 14 日其综合控制率高达 96.5%。7 月 14 日丹寨县兴仁镇的 4 种幼虫期天敌的综合控制率也达到了 92.00%,表明幼虫期天敌的田间控制能力极高。

3　结论与讨论

我国已启用应急防控措施应对草地贪夜蛾入侵,目前采取化学防治措施控制成虫和幼虫是主要防治策略,但是草地贪夜蛾具有很强的抗药性,容易对化学药剂产生抗性,故草地贪夜蛾的长期防控策略应侧重依靠绿色防控、生态调控等措施[3,6]。生物防治是绿色防控的主要方法,草地贪夜蛾天敌种类丰富,据不完全统计,在世界范围内,草地贪夜蛾的天敌有 10 科 121 种寄生蜂、4 科 66 种寄生蝇和丰富的捕食性天敌昆虫、病原微生物等[4]。

草地贪夜蛾在黔东南发生近 4 个月,田间调查发现 5 类天敌,分别为白僵菌、绿僵菌、姬蜂、茧蜂和卵寄生蜂(黑卵蜂属)。黔东南州森林覆盖率为 67.37%,一般距离玉米田 500 m 范围内便会有山林存在,其气候和丰富的自然和生物资源为害虫天敌的生存和发生提供了良好的环境。在发现 5 类天敌的田块,草地贪夜蛾为害率高达 95.00%,百株虫量为 386 头,推测草地贪夜蛾被寄生较多的原因为当其发生量达到一定程度,幼虫种内竞争增加,为了找到合适取食的植株需要更长的转移距离和转移时间,导致暴露时间增加,被寄生的几率增大。在草地贪夜蛾一代发生期,天敌对其控制力在 20.00%以下,

二代发生期达到 96.50%。天敌对一代草地贪夜蛾控制率较低可能是由于其在黔东南首次出现且一代期发生量较低。同一调查地点,7 月 6 日到 7 月 14 日,4 种幼虫期天敌的控制率从 15.81%上升到 96.50%,说明随着草地贪夜蛾发生时间的延长和发生量的增加,天敌的控制力逐渐增加,这也是天敌对害虫控制过程中典型的跟随效应,同时在此期间连续的阴雨天气也为白僵菌和绿僵菌的侵染提供了良好的环境条件。国外关于草地贪夜蛾的研究和实践已表明,草地贪夜蛾的天敌资源相当丰富,且展示出了良好的控制效果[3]。在黔东南地区丹寨县兴仁镇和凯里市三棵树镇,4 种幼虫期天敌对草地贪夜蛾二代期幼虫的自然控制率分别达到 92.00%和 96.50%,说明利用天敌控制草地贪夜蛾有很好的应用前景。

白僵菌已被广泛应用于夜蛾属昆虫的防治。与其他鳞翅目害虫相比,草地贪夜蛾幼虫似乎不易被白僵菌侵染[7]。已有的研究表明,在筛选的 3 个不同属(绿僵菌属 *Metarhizium*、白僵菌属 *Beauveria* 和棒束孢属 *Isaria*)的几种真菌菌株中,只有 1 株球孢白僵菌菌株在感染草地贪夜蛾 2 龄幼虫试验中造成高达 30%的死亡率。目前研究者正在筛选分离对草地贪夜蛾其他生长发育阶段有效的菌株[4]。但在我们的调查中,白僵菌和绿僵菌的控制率分别高达 45.50%和 57.00%,两种真菌的综合控制率达到 89.00%,且对低龄期草地贪夜蛾便可致死,我们所发现的菌株可能对草地贪夜蛾有更好的控制效果,有良好的应用前景和潜力。

目前在我国已记载且有分布的草地贪夜蛾寄生蜂中姬蜂科有 4 种:棉铃虫齿唇姬蜂 *Campoletis chlorideae* Uchida、细颚姬蜂 *Enicospilus merdarius* (Gravenhorst)、盘背菱室姬蜂 *Mesochorus discitergus* (Say)和红足黑瘤姬蜂 *Pimpla rufipes* (Miller);姬小蜂科 2 种:长距姬小蜂 *Euplectrus platyhypenae* Howard 和突额姬小蜂 *Trichospilus diatraeae* Cherian & Margabandhu[4]。国外报道研究较多的寄生草地贪夜蛾的为黄带齿唇姬蜂 *Campoletis flavicincta* (Ashmead),其内寄生于鳞翅目幼虫,通常将卵产于 3 日龄草地贪夜蛾幼虫体内,明显降低寄主取食活动[8-9]。在玉米田释放黄带齿唇姬蜂可明显降低草地贪夜蛾对玉米为害且玉米田产量增加约 11%,其寄生率随着寄生蜂释放数量增多而升高,最高可达 50%[10]。本文调查发现,姬蜂对草地贪夜蛾致死龄期较低,一般在 3～4 龄,控制率最高为 20.00%。

草地贪夜蛾卵期寄生蜂主要有赤眼蜂 11 种,我国已知分布的有微小赤眼蜂 *Trichogramma minutum* Riley、短管赤眼蜂 *Trichogramma pretiosum* (Riley)和夜蛾黑卵蜂[3]。在玉米田大规模释放短管赤眼蜂对草地贪夜蛾卵寄生率可达 79.2%,玉米平均每公顷增产约 19.4%[11];夜蛾黑卵蜂在田间每公顷释放 5 000～8 000 头时对草地贪夜蛾的寄生率可达 80%～100%[12],其已被引入印度、巴基斯坦、澳大利亚、新西兰、加勒比海地区、哥伦比亚、委内瑞拉等多个国家防治夜蛾科害虫[13]。岛甲腹茧蜂 *Chelonus insularis* Cresson 是一种鳞翅目卵-幼虫内寄生蜂,其将卵产于寄主草地贪夜蛾卵内,被寄生幼虫取食量是健康幼虫的 1/15。岛甲腹茧蜂在寄主 4 龄时从寄主体内孵化并导致寄主死亡[9,14],其自然条件下寄生率为 6.63%～21.96%[15-16],由于岛甲腹茧蜂比赤眼蜂或夜蛾黑卵蜂的体型要大得多,所以岛甲腹茧蜂在今后生物防治应用中更具竞争力[3]。由此可见,如果充分发挥卵期寄生蜂的作用,将会对草地贪夜蛾有很好的控制效果。调查发现的卵期寄生蜂初步判断为夜蛾黑卵蜂,但鉴定结果尚需进一步确定。调查所发现茧蜂是否为卵期寄生,尚不可知,有待进一步研究。

草地贪夜蛾寄生蜂目前在我国记载有分布的茧蜂有 7 种:台湾甲腹茧蜂 *Chelonus formosanus* Sonan、菜粉蝶盘绒茧蜂 *Cotesia glomerata* (Linnaeus)、螟蛉盘绒茧蜂 *Cotesia ruficrus* (Haliday)、马尼拉侧沟茧蜂 *Microplitis manilae* Ashmead、红腹侧沟茧蜂 *Microplitis rufiventris* Kokujev、灰灯蛾原绒茧蜂 *Protapanteles creatonoti* (Viereck)和截距滑茧蜂 *Homolobus truncator* (Say)[3]。调查所得茧蜂种类尚未鉴定,但其主要寄生草地贪夜蛾高龄幼虫,不能及时减轻草地贪夜蛾的为害,故不是生物防治首选天敌种类。

参考文献

[1] MEGERSA K, TAMIRU S. Out-break, distribution and management of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) in Africa: The status and prospects [J]. Academy of Agriculture Journal, 2018, 3(10): 551-568.

[2] 郭井菲,何康来,王振营. 草地贪夜蛾的生物学特性、发展趋势及防控对策[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(3): 361-369.

[3] 王磊,陈科伟,钟国华,等. 重大入侵害虫草地贪夜蛾发生危害、防控研究进展及防控策略探讨[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(3): 479-487.

[4] 唐璞,王知知,吴琼,等. 草地贪夜蛾的天敌资源及其生物防

治中的应用[J]. 应用昆虫学报, 2019, 56(3): 370 - 381.
[5] 冼继东, 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.
[6] CHENG Guiping, DUAN Xuewu, SHI J, et al. Effects of reactive oxygen species on cellular wall disassembly of banana fruit during ripening [J]. Food Chemistry, 2008, 109(2): 319 - 324.
[7] WRAIGHT S P, RAMOS M E, AVERY P B, et al. Comparative virulence of *Beauveria bassiana* isolates against lepidopteran pests of vegetable crops [J]. Journal of Invertebrate Pathology, 2010, 103(3): 186 - 199.
[8] DEQUECH S T B, DA SILVA R F P, FIUZA L M. Interaction between *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), *Campoletis flavicincta* (Ashmead) (Hymenoptera: Ichneumonidae) and *Bacillus thuringiensis* aizawai in laboratory [J]. Neotropical Entomology, 2005, 34(6): 937 - 944.
[9] PRASANNA B, HUESING J, EDDY R, et al. Fall armyworm in Africa: A guide for integrated pest management [M]. Wallingford: CAB International, 2018: 1 - 109.
[10] NETO F D C, CRUZ I, ZANUNCIO J C, et al. Parasitism by *Campoletis flavicincta* on *Spodoptera frugiperda* in corn [J]. Pesquisa Agropecuaria Brasileira, 2004, 39(11): 1077 - 1081.
[11] CORREA FIGUEIREDO M D L, CRUZ I, DA SILVA R B, et al. Biological control with *Trichogramma pretiosum* increases organic maize productivity by 19.4% [J]. Agronomy for Sustainable Development, 2015, 35(3): 1175 - 1183.
[12] POMARI A F, BUENO A D, BUENO R, et al. Releasing number of *Telenomus remus* (Nixon) (Hymenoptera: Platygastridae) against *Spodoptera frugiperda* Smith (Lepidoptera: Noctuidae) in corn, cotton and soybean [J]. Ciência Rural, 2013, 43(3): 377 - 382.
[13] KENIS M, DU PLESSIS H, VAN DEN BERG J, et al. *Telenomus remus*, a candidate parasitoid for the biological control of *Spodoptera frugiperda* in Africa, is already present on the continent [J]. Insects, 2019, 10(4): 92.
[14] ZENNER I, ALVAREZ A, BARRETO S, Influence of parasitism by *Chelonus insularis* Cresson (Hymenoptera: Braconidae) on the susceptibility of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) to insecticides [J]. Neotropical Entomology, 2006, 35(6): 818 - 822.
[15] MOLINA-OCHOA J, CARPENTER J E, LEZAMA-GUTIERREZ R, et al. Natural distribution of Hymenopteran parasitoids of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) larvae in Mexico [J]. Florida Entomologist, 2004, 87(4): 461 - 472.
[16] MURUA M G, MOLINA-OCHOA J, FIDALGO P. Natural distribution of parasitoids of larvae of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in Argentina [J]. Journal of Insect Science, 2009, 9(1): 20.

(责任编辑: 杨明丽)

(上接 49 页)

参考文献

[1] 姜玉英, 刘杰, 朱晓明. 草地贪夜蛾侵入我国的发生动态与未来趋势分析[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(2): 33 - 35.
[2] 张智, 张云慧, 姜玉英, 等. 草地贪夜蛾覆毛卵块与绒茧蜂茧块的识别特征[J/OL]. 植物保护: 1 - 4[2019 - 08 - 23]. https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019402.
[3] 全国农业技术推广服务中心. 当前玉米重大病虫害发生动态[EB/OL]. (2019 - 08 - 23). https://www.natesc.org.cn/Html/2019_08_23/28092_151760_2019_08_23_459724.html.
[4] LEATHER S R, WALTERS K F A, BALE J S. The ecology of insect overwintering [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
[5] RENAULT D, SALIN C, VANNIER G, et al. Survival at low temperatures in insects: What is the ecological significance of the supercooling point? [J]. CryoLetters, 2002(4), 23: 217 - 228.
[6] 景晓红, 康乐. 昆虫耐寒性的测定与评价方法[J]. 昆虫知识, 2004, 40(1): 7 - 10.
[7] SALT R W. Principles of insect cold-hardiness [J]. Annual Review of Entomology, 1961, 6(3): 55 - 74.
[8] 陈若篪, 赵健, 徐秀媛. 褐飞虱越冬温度指标的研究[J]. 昆虫学报, 1982, 25(4): 390 - 396.
[9] 王荫长, 陈长琨, 尤子平. 小地老虎抗寒能力的研究[J]. 植物保护学报, 1987, 14(1): 9 - 14.
[10] 吴孔明, 郭予元. 棉铃虫的抗寒能力[J]. 生态学报, 1997, 17(3): 298 - 302.
[11] SPARKS A N. A review of the biology of the fall armyworm [J]. Florida Entomologist, 1979, 62(2): 82 - 87.
[12] BOTHA A S, ERASMUS A, DU PLESSIS H, et al. Efficacy of Bt maize for control of *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) in South Africa [J/OL]. Journal of Economic Entomology, 2019, doi: 10.1093/jee/toz048.
[13] 江幸福. 甜菜夜蛾抗寒与越冬能力研究[J]. 生态学报, 2011, 21(10): 1575 - 1582.
[14] 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/OL]. 植物保护: 1 - 11[2019 - 08 - 23]. https://doi.org/10.16688/j.zwbh.2019409.
[15] 韩兰芝, 翟保平, 张孝羲. 甜菜夜蛾的抗寒力研究[J]. 植物保护学报, 2005, 32(2): 169 - 173.
[16] 段云, 巩中军, 李慧玲, 等. 黏虫幼虫和蛹过冷却点及结冰点的测定[J]. 植物保护, 2016, 42(4): 147 - 150.
[17] 秦建洋, 兰建军, 张蕾, 等, 劳氏黏虫幼虫和蛹过冷却点及结冰点的测定[J]. 中国植保导刊, 2018, 38(8): 33 - 38.
[18] 李朝绪, 罗礼智, 潘贤丽. 草地螟滞育和非滞育幼虫抗寒能力的研究[J]. 植物保护, 2006, 32(2): 41 - 44.
[19] 赵琦, 张云慧, 韩二宾, 等. 旋幽夜蛾各虫态的过冷却点测定[J]. 植物保护, 2011, 37(2): 63 - 66.
[20] KLOK C J, CHOWN S L. Interactions between desiccation resistance, host plant contact and the thermal biology of aleaf-dwelling sub-antarctic caterpillar, *Embryonopsis halticella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) [J]. Journal of Insect Physiology, 1998, 44: 615 - 628.

(责任编辑: 杨明丽)