

草地贪夜蛾在湖北的越冬研究初探

常向前¹, 吕亮¹, 万鹏¹, 许冬¹, 罗汉钢², 李文静¹, 张舒^{1*}

(1. 湖北省农业科学院植保土肥研究所, 农业农村部华中作物有害生物综合治理重点实验室, 农作物重大病虫害防控湖北省重点实验室, 武汉 430064; 2. 湖北省植物保护总站, 武汉 430070)

摘要 湖北省位于我国中部, 承接南北, 区位优势十分明显。草地贪夜蛾在湖北省广大区域能否越冬直接影响翌年当地甚至华北草地贪夜蛾发生的早期预测、预警及防治策略的制定。为探明草地贪夜蛾在湖北的越冬规律, 本研究采用室内低温试验, 冬季室外越冬模拟试验及冬季田间调查等方法, 初步明确了草地贪夜蛾在湖北的越冬情况。结果表明: 经 35 d 的 7℃ 低温胁迫, 草地贪夜蛾幼虫、蛹、成虫均死亡; 2019 年 12 月 15 日—2020 年 3 月 1 日在湖北省襄阳、武汉两地室外越冬模拟试验表明, 2020 年 2 月 1 日, 即放虫后第 47 天两地均未发现存活虫体; 2019 年 12 月中旬—2020 年 4 月中旬, 湖北襄阳、武汉、通山田间生境调查表明, 只有 2019 年 12 月 15 日在襄阳发现 1 头草地贪夜蛾 5 龄活体幼虫, 其他各地均未发现存活虫体或诱捕到成虫。经过室内低温试验、室外越冬模拟试验及田间越冬调查, 初步认为 2019 年—2020 年冬季草地贪夜蛾在湖北大部分地区不能越冬。

关键词 草地贪夜蛾; 湖北; 越冬; 日均温度; 预警

中图分类号: S435.132 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2020523

A preliminary study on the overwintering of *Spodoptera frugiperda* in Hubei province

CHANG Xiangqian¹, LÜ Liang¹, WAN Peng¹, XU Dong¹, LUO Hangang², LI Wenjing¹, ZHANG Shu^{1*}

(1. Hubei Key Laboratory for Control of Crop Diseases, Insect Pests and Weeds; Key Laboratory for Integrated Management of Crop Pests in Central China, Ministry of Agricultural and Rural Affairs; Institute of Plant Protection and Soil Science, Hubei Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430064, China; 2. Hubei Provincial General Station of Plant Protection, Wuhan 430070, China)

Abstract Hubei province is located in the middle of China. Whether *Spodoptera frugiperda* can survive the winter in most areas of Hubei province directly affects the early prediction, early warning and the formulation of control strategies against *S. frugiperda* in the following year in Hubei and even in North China. In order to find out the overwintering pattern of *S. frugiperda* in Hubei, low-temperature indoor experiments, artificial device outdoor simulation experiments in winter and field surveys in winter were carried out in this study. The results showed that the larvae, pupae and adults of *S. frugiperda* died under low-temperature stress at 7℃ for 35 days. The simulation experiments in Xiangyang and Wuhan from December 15, 2019 to March 1, 2020 showed that no alive individuals were found in Xiangyang and Wuhan on February 1, 2020 (47th day after release). From mid-December 2019 to mid-April 2020, field survey in Xiangyang, Wuhan and Tongshan, Hubei province showed that only one fifth-instar larva of *S. frugiperda* was found in Xiangyang on December 15, 2019. No alive individuals or adults were found or trapped in other places. Based on these investigations, it was preliminarily considered that, in most areas of Hubei province, *S. frugiperda* could not survive the winter during 2019–2020.

Key words *Spodoptera frugiperda*; Hubei; overwintering; daily average temperature; early warning

草地贪夜蛾 *Spodoptera frugiperda* 于 2019 年初入侵我国云南并逐渐向高纬度地区扩展, 对我

国禾本科粮食作物生产造成巨大的威胁^[1]。湖北省于 2019 年 5 月 8 日在仙桃市首次发现草地贪夜蛾,

收稿日期: 2020-10-09 修订日期: 2020-10-30

基金项目: 湖北省农业科技创新行动项目(NYKJ2019011)

* 通信作者 E-mail: ricezs6410@163.com

随后该虫在湖北省内迅速扩散,7月初全省均发现草地贪夜蛾为害^[2]。湖北省位于我国中部,介于 $29.03^{\circ}\sim 33.11^{\circ}\text{N}$, $108.36^{\circ}\sim 116.13^{\circ}\text{E}$ 之间,属于亚热带季风气候,全年气温基本上都在 0°C 以上。在湖北省区域内草地贪夜蛾能否越冬将直接影响翌年当地甚至华北地区草地贪夜蛾发生的早期预测、预警及防治策略的制定。因此明确草地贪夜蛾在湖北的越冬规律非常重要。

草地贪夜蛾没有滞育行为^[3-4],冬季温度是决定其能否越冬的关键因素之一。2019年10月15日至12月4日,谢明惠等在安徽省合肥市(31.89°N , 117.25°E)室外玉米植株上接入草地贪夜蛾幼虫,发现其不能完成世代。分析原因是11月26日至12月4日连续8d日平均温度低于 10°C ,导致幼虫全部死亡^[5]。

2019年12月16日在湖北省浠水县,12月27日在湖北省当阳市田间发现少量高龄幼虫^[6],说明至少到12月份,在自然条件下草地贪夜蛾在湖北省是可以存活的。但是1月是湖北省日均温度最低的月份,1月至2月上旬可能持续多天日均温度不足 10°C ,但在晴好天气,日最高温也会突破 15°C 。这种天气条件下,草地贪夜蛾能否在田间越冬尚不明确。本研究通过室内低温试验结合田间越冬模拟试验、田间越冬调查,初步揭示草地贪夜蛾在湖北的越冬情况。

1 材料与方法

1.1 材料

草地贪夜蛾于2019年5月8日采自湖北省通山县大畈镇板桥村玉米田。在养虫室内(温度 24°C ,相对湿度 $40\%\sim 70\%$,光周期 $L/D=12\text{ h}/12\text{ h}$)用玉米(‘鄂玉24’)叶片饲养获得草地贪夜蛾的幼虫、蛹和成虫供试。根据历史气象记录,2016年—2018年,襄阳、武汉及通山三地12月均温为 $5.5\sim 8.0^{\circ}\text{C}$,因此室外越冬模拟试验中试虫需经 7°C 1d抗寒锻炼。

1.2 方法

1.2.1 室内低温胁迫试验

将20头6龄草地贪夜蛾幼虫单头放入塑料培养皿($d=6\text{ cm}$)中,并提供新鲜玉米叶片,置于 7°C 冰箱(青岛海尔股份有限公司,BCD-579WE,下同)内,每隔1d检查、记录幼虫的存活情况,此处理重

复3次。

将10对初羽化草地贪夜蛾雌、雄成虫,单对放入塑料培养皿($d=10\text{ cm}$)中,并用10%蜂蜜水饲喂,置于 7°C 环境中,每隔1d调查、记录成虫的交配、产卵情况,此处理重复3次。

将3日龄草地贪夜蛾雌、雄蛹各50头置于 7°C 冰箱内,每隔7d取雌、雄蛹各10头转入 24°C 环境中,共取5次(即最长低温胁迫35d),观察其羽化情况,将蛹羽化率记为蛹存活率。同时将经低温胁迫后同一天羽化、翅展正常的雌、雄成虫配对5对以上; 24°C 饲养的同一天羽化、翅展正常的雌、雄成虫配对5对(对照),单对放入塑料培养皿($d=10\text{ cm}$)中,用10%蜂蜜水饲喂,养虫室内观察、记录每头雌虫的产卵量。蛹低温胁迫处理重复3次。

1.2.2 室外越冬模拟试验

分别将10头1日龄草地贪夜蛾成虫(雌、雄虫各5头)、6龄幼虫接入盆栽麦苗内(花盆规格 $d=15\text{ cm}$, $h=17\text{ cm}$,内栽4株分蘖期‘郑麦9023’),并置于120目尼龙网袋内,防止草地贪夜蛾逃逸。1个网袋作为1个重复,共12个重复。

将含水量为 $20\%\sim 30\%$ 的土壤装入100 mL塑料冻存管中,管壁钻有小孔透气。分别将2~3日龄草地贪夜蛾雌、雄蛹各10头置于管内5.0 cm深度土内,每管作为1个重复,共24个重复。

于2019年12月15日将装有草地贪夜蛾的网袋及塑料冻存管分别置于襄阳(32.30°N , 112.24°E)、武汉(30.48°N , 114.31°E)的冬闲田内,注意管盖与地面平齐。并于2020年1月1日、1月15日、2月1日、3月1日,将每种虫态各取3个重复,在室温条件下检查幼虫及成虫的存活状态,将蛹放入养虫室内观察羽化情况,以蛹羽化率作为存活率。

1.2.3 冬季田间调查草地贪夜蛾

2019年12月15日至2020年4月15日,调查鄂南通山(29.53°N , 114.53°E)、鄂中武汉(30.48°N , 114.31°E)、鄂北襄阳(32.30°N , 112.24°E)等3地田间草地贪夜蛾存活虫体。调查生境有麦田、玉米秸秆堆积处,每个地点随机调查20个 1 m^2 区域;并分别在3地设置草地贪夜蛾雄性信息素诱捕器(宁波纽康生物技术有限公司)3个,相邻诱捕器间隔100 m。

1.2.4 室外温度记录

用HOB0® Data loggers(U23-002,USA)记录

2019年12月至2020年3月襄阳、武汉两地越冬试验点小生境温度;通山越冬调查点温度由网站下载(<http://lishi.tianqi.com/tongshan/index.html>)。

1.3 数据分析

采用DPS 2000数据处理系统对低温胁迫后蛹的存活率、存活蛹羽化成虫的生殖力数据进行方差分析。百分数在方差分析前进行反正弦平方根转换,采用单因素方差分析处理间的差异,用Duncan氏新复极差多重比较法进行显著性检验。

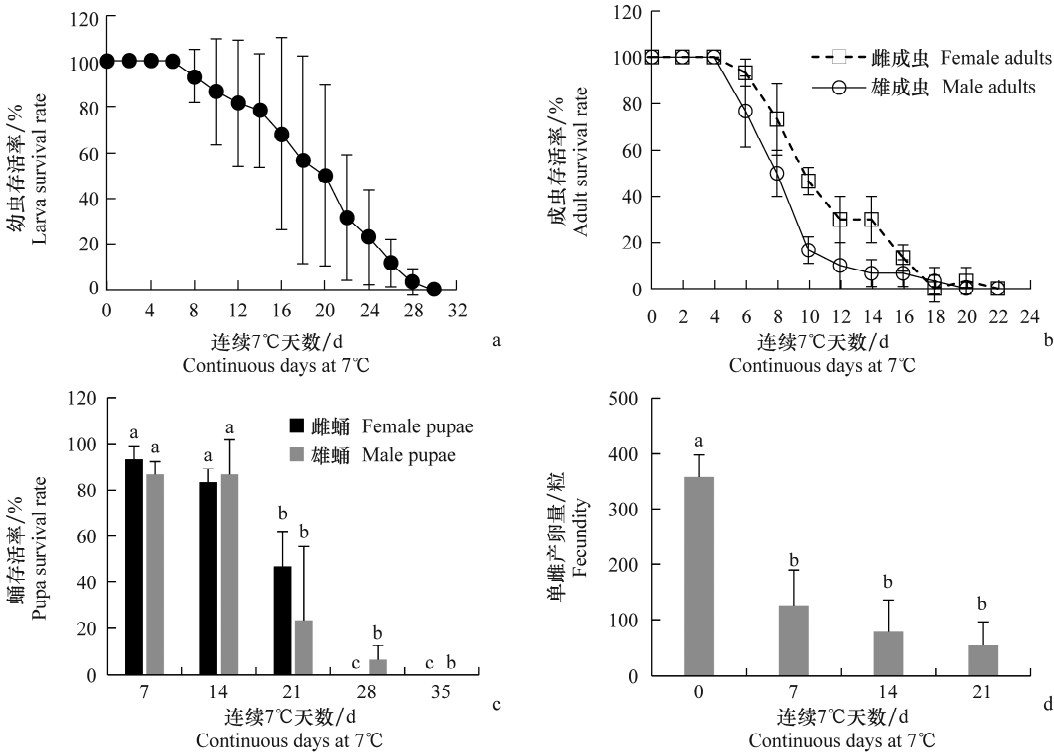
2 结果与分析

2.1 低温对草地贪夜蛾室内种群的影响

将草地贪夜蛾从24℃转入7℃后,幼虫基本不取食,不发育,从胁迫第8天开始,幼虫出现死亡,第30天所有幼虫死亡(图1a)。在7℃低温胁迫下,成

虫也基本没有活动迹象,雌、雄成虫个体从第8天开始出现死亡,雌虫在第22天全部死亡,雄虫在第20天全部死亡(图1b),在此条件下没有发现成虫有产卵行为。

经7℃7 d及14 d胁迫后,草地贪夜蛾雌蛹的存活率分别为93.33%及83.33%,雄蛹的存活率分别为86.67%及86.67%(图1c);而7℃低温胁迫超过14 d,雌、雄蛹存活率均显著下降($F_{雌蛹}=91.92, P<0.05; F_{雄蛹}=15.58, P<0.05$);7℃处理21 d,雌、雄蛹存活率分别为46.67%和23.33%;处理28 d,雌蛹全部死亡,雄蛹的存活率为6.67%;处理35 d雄蛹也全部死亡(图1c)。低温胁迫后存活蛹羽化的雌虫生殖力显著下降($F=27.63, P<0.05$)。7℃处理7 d,羽化雌虫单头产卵量比对照降低65.2%,处理14 d,降低78.10%;处理21 d后降低84.60%(图1d)。



c: 不同小写字母表示同一性别蛹存活率有显著差异 ($P<0.05$); d: 不同小写字母表示存活蛹羽化成虫生殖力有显著差异 ($P<0.05$)
c: Different lowercase letters indicate significant difference in the survival rate of pupae for the same sex ($P<0.05$); d: Different lowercase letters indicate significant difference in the fecundity of adults emerged from survived pupae ($P<0.05$)

图1 连续低温条件下草地贪夜蛾幼虫(a)、成虫种群存活率(b),蛹存活率(c)和存活蛹羽化的雌虫生殖力(d)变化
Fig. 1 Survival rates of larvae (a), adults (b), pupae (c) populations and fecundity of adults emerged from survived pupae (d) of *Spodoptera frugiperda* under continuous low temperature

2.2 冬季自然温度下人工装置内草地贪夜蛾的种群变化

分别于2020年1月1日、1月15日、2月1日、3

月1日调查模拟越冬试验各虫态存活情况。2020年1月1日,即田间放虫后第15天,存活率最高的虫态为成虫,襄阳及武汉两地成虫存活率分别为40.00%

和 46.67%,但未见其产卵;其次为幼虫,两地幼虫存活率分别为 30.00%和 33.33%;蛹存活率最低,两地雌、雄蛹的存活率分别为 10.00%、3.33%、6.67%及

10.00%。2020 年 1 月 15 日即田间放虫后第 30 天,两地均只有少量的幼虫或成虫存活;2020 年 2 月 1 日即放虫后第 47 天,两地均已无存活虫态(图 2)。

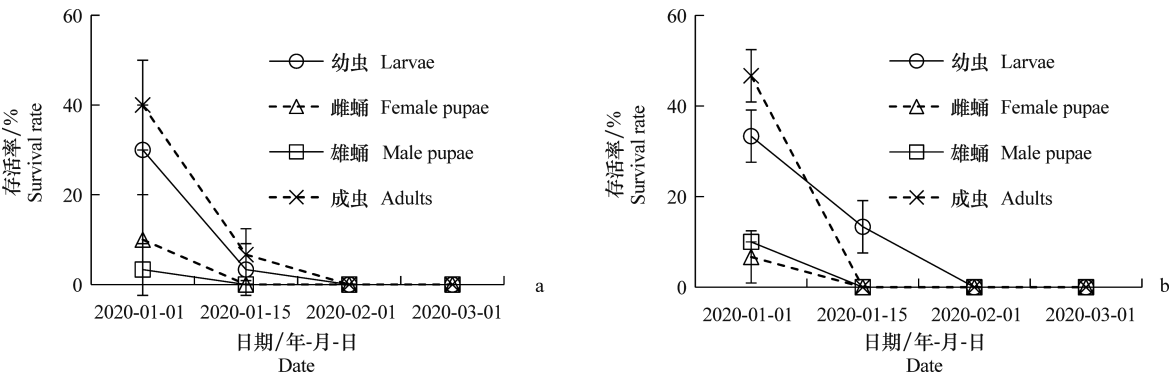


图 2 室外人工装置内草地贪夜蛾幼虫、蛹及成虫在襄阳(a)及武汉(b)冬季不同日期存活率
Fig. 2 Survival rates of larvae, pupae and adults of *Spodoptera frugiperda* at different dates in outdoor artificial devices during winter in Xiangyang (a) and Wuhan (b)

2.3 冬季田间调查

2019 年 12 月中旬—2020 年 4 月中旬,2019 年 12 月 15 日、2020 年 1 月 1 日、2020 年 2 月 1 日、2020 年 3 月 1 日、2020 年 4 月 1 日及 2020 年 4 月 15 日,在襄阳、武汉、通山等 3 地田间生境调查中,只有 2019 年 12 月 15 日在襄阳玉米秆堆积处发现 1 头草地贪夜蛾 5 龄活体幼虫,其他各地均未发现存活虫态。

2.4 冬季室外各地低温特征

2019 年 12 月 15 日—2020 年 3 月 1 日,3 个越冬试验点中,纬度最高的襄阳连续 60 d 日均温度为

0~10℃,其中 2020 年 1 月 6 日至 1 月 31 日,连续 26 d 日均温度为 0~7℃;处于中部的武汉连续 57 d 日均温度为 0~10℃,其中 2020 年 1 月 7 日至 1 月 31 日,连续 25 d 日均温度为 0~7℃;纬度最低的通山连续 57 d 日均温度为 0~10℃,其中 2020 年 1 月 8 日至 1 月 31 日,连续 24 d 日均温度为 0~7℃。从 2 月 10 日之后,各地日均温度上升趋势明显,逐渐回暖(图 3)。1 月份是 3 地冬季最冷的时间段,纬度最低的通山试验点在 1 月份也有接近一个月的时间日均温度低于 7℃;冬季湖北境内从南到北各地的连续低温环境不利于草地贪夜蛾越冬。

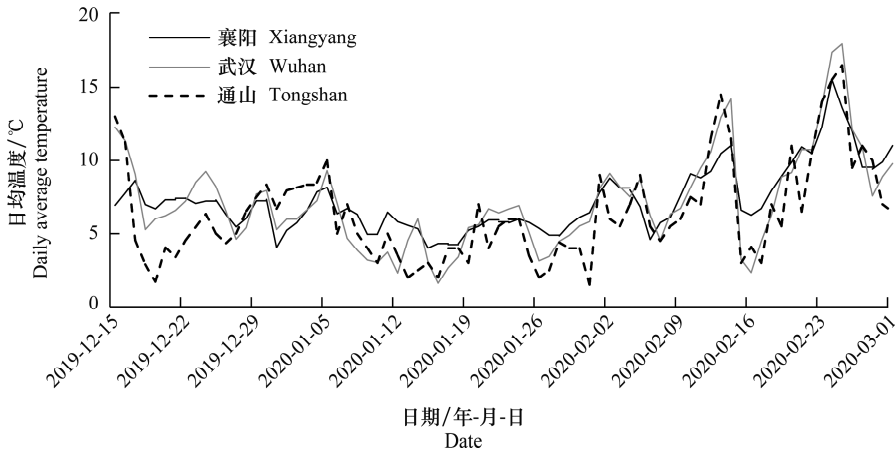


图 3 2019 年—2020 年冬季襄阳、武汉、通山三地日均温度
Fig. 3 Daily average temperature in Xiangyang, Wuhan and Tongshan in the winter of 2019—2020

3 结论与讨论

本研究选择 6 龄幼虫、3 日龄蛹及 1 日龄成虫分

别代表幼虫、蛹及成虫作为室内低温胁迫对象。室内 24℃条件下饲养的草地贪夜蛾 6 龄幼虫、2 日龄蛹、3 日龄蛹、5 日龄蛹及 1 日龄成虫的过冷却点分别为

—7.35 ~ —7.76℃^[7-8], —15.50℃^[8], —17.23℃^[7], —14.32℃^[8], —14.89 ~ —15.03℃^[7-8], 相对来说, 3 日龄蛹可能是草地贪夜蛾最耐低温的虫态。在持续 7℃ 恒温条件下, 草地贪夜蛾幼虫在第 30 天全部死亡; 雌成虫在第 22 天全部死亡, 雄成虫在第 20 天全部死亡; 7℃ 低温胁迫 28 d 后雌蛹存活率为 0, 35 d 后雄蛹存活率为 0。草地贪夜蛾幼虫和蛹的发育起点温度分别为 11.10℃ 和 12.20℃^[9]。本研究设置的温度与冬季环境温度接近, 且低于发育起点温度, 即使是最耐低温的 3 日龄蛹也在 7℃ 低温处理 35 d 后全部死亡, 说明当环境温度低于发育起点温度时, 持续的低温会对草地贪夜蛾种群造成灭绝性伤害。2019 年—2020 年冬季, 湖北襄阳、武汉、通山 3 地的田间温度记录显示, 12 月至翌年 3 月, 各地日均温度虽然高于 0℃, 但均出现持续 50 d 以上日均温度 <10℃ 的低温, 甚至存在持续 20 d 以上日均温度 <7℃ 的低温。尽管室外为变温条件, 但根据室内低温试验及室外温度记录, 推测草地贪夜蛾的这 3 种虫态不能在这 3 地越冬。

利用人工装置的越冬模拟试验是研究昆虫越冬的常用方法^[10-14]。2019 年 12 月 15 日—2020 年 3 月 1 日在襄阳及武汉的室外越冬模拟试验中, 网罩中的草地贪夜蛾幼虫或冻存管内的蛹在室外放置 30 d 后只有少量存活, 而 47 d 后全部死亡。谢明惠等在安徽合肥的室外模拟试验中也发现, 日均温度持续 8~10 d 低于 10℃ 时草地贪夜蛾幼虫全部死亡^[5]。越冬模拟试验表明, 2019 年—2020 年襄阳及武汉的冬季持续较长时间的低温天气造成两地草地贪夜蛾无法越冬存活。在自然界, 昆虫在经历逐渐降温的过程中会通过减少体内水分来提高抗寒性^[15-16]。本试验模拟装置的小环境和自然生境的温、湿度都有差异, 所以越冬模拟试验结果可能会出现比实际更高的致死率, 需要田间调查结果对模拟试验进一步验证。

在田间调查昆虫的越冬情况是确定昆虫能否越冬最直接的证据^[13-14]。根据草地贪夜蛾不同虫态过冷却点^[17-18]及对极端低温下不同虫态存活率的比较^[19], 推测草地贪夜蛾可能会以蛹越冬^[18-19]。但 2019 年 12 月中旬—2020 年 4 月中旬在湖北 3 地的越冬调查中, 各地均未发现越冬蛹, 在 3 地设置的草地贪夜蛾性信息素诱捕器均未诱到成虫。2020 年 3 月底至 4 月中旬, 湖北省襄阳等地田间环境温度已

经升高, 日均温度在 11~20℃, 日最高温度可达 23~27℃ (<http://lishi.tianqi.com>), 已超过蛹的发育起点温度, 如果有蛹越冬, 应该能诱捕到本地越冬蛹羽化的成虫, 但本次越冬调查中未诱到成虫, 进一步说明草地贪夜蛾在湖北襄阳、武汉和通山 3 地无法越冬。

湖北省介于 29.03° ~ 33.11° N, 108.36° ~ 116.13° E 之间, 全年气温基本上 >0℃, 但冬季日均温度可连续多天 <10℃。通山、武汉、襄阳分别位于鄂南、鄂中、鄂北, 纬度跨度范围是 29.53° N ~ 32.30° N, 覆盖了湖北省大部分地区, 因此根据本研究的室内低温试验、田间模拟试验及田间普查的结果, 初步认为草地贪夜蛾在湖北大部分地区不能越冬。这与草地贪夜蛾在美国本土只能在气候温暖 (温度 >10℃) 的佛罗里达州和得克萨斯州南部越冬^[3,20]的现象一致。

本研究采取的 3 种方法还存在一定的局限性。首先, 试验所选试虫的生理状态种类不够丰富。种群饲养温度^[8]、取食寄主^[17]都会显著影响草地贪夜蛾的过冷却点; 幼虫不同的龄期、蛹的不同发育阶段过冷却点也不同^[7-8,17-18], 因此不同生理状态的草地贪夜蛾耐低温能力差异很大。本研究仅采用 24℃ 条件下玉米叶饲养获得的 6 龄幼虫、3 日龄蛹及 1 日龄成虫作为试虫, 可能会遗漏潜在的越冬虫态; 其次, 田间模拟试验第 1 次调查中, 蛹的死亡率远高于其他虫态, 与通常认为蛹具有较高的耐低温能力不一致, 说明埋蛹的装置可能需要改进; 再次, 在田间生境普查中会疏漏可能的越冬场所; 而且由于不同年份间冬季的温度是有变化的, 特别是近年来极端气象条件增多, 天气反常现象越来越普遍^[21]。因此, 本文的研究结果只能说明当年当地或近似条件下草地贪夜蛾的越冬情况, 草地贪夜蛾能否在当地越冬, 仍需要进行实地调查、监测, 从而获得草地贪夜蛾的真实越冬数据, 为翌年春季草地贪夜蛾的早期预测、预警及防治提供参考。

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和未来趋势分析[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(2): 33-35.
- [2] 谢原利, 朱晓明, 张求东, 等. 湖北省 2019 年草地贪夜蛾防控实践及监控对策[J]. 中国植保导刊, 2020, 40(4): 74-76.
- [3] SPARKS A N. A review of the biology of the fall armyworm [J]. The Florida Entomologist, 1979, 62(2): 82-86.

- [5] 张南南,季清娥,陈家骅. 中国果实蝇属一新种记述(双翅目,实蝇科,寡鬃实蝇亚科)[J]. 动物分类学报,2012,37(1):206-208.
- [6] 李人柯. 瓜实蝇的为害与防治[J]. 中国蔬菜,1997(3):26-27.
- [7] 江昌木,艾洪木,赵士熙. 不同寄主营养条件下的瓜实蝇实验种群生命表[J]. 福建农林大学学报(自然科学版),2006,31(1):24-28.
- [8] 汪兴鉴. 重要果蔬类有害实蝇概论(双翅目:实蝇科)[J]. 植物检疫,1995,9(1):20-30.
- [9] 梁广勤,梁帆,赵菊鹏,等. 中国实蝇检疫研究概况[J]. 环境昆虫学报,2008,30(4):361-369.
- [10] 黄月英. 福建省实蝇种类监测和寄主初步调查[J]. 亚热带农业研究,2006,2(1):49-52.
- [11] 李伟丰,龚秀泽,黄永成,等. 广西实蝇的种类及发生动态[J]. 西南大学学报,2008,30(2):124-128.
- [12] 陈旭,刘晓飞,叶辉. 云南主要有害实蝇种类及区划[J]. 生态学报,2010,30(3):717-725.
- [13] 林明光,汪兴鉴,曾玲,等. 海南果蔬实蝇种类、地理分布及危害调查[J]. 植物检疫,2013,27(5):85-89.
- [14] 王涛,任艳玲,张润志,等. 贵州实蝇种类及多样性构成[J]. 植物保护学报,2016,43(5):752-758.
- [15] 刘元标,陈经国. 贵州水果产业发展现状及建议[J]. 中国热带农业,2015(5):11-13.
- [16] DUYCK P F, DAVID P, QUILLICI S. Climatic niche partitioning following successive invasions by fruit flies in La Réunion [J]. Journal of Animal Ecology, 2006,75(2):518-526.
- [17] VERA M T, RODRIGUEZ R, SEGURA D F, et al. Potential geographical distribution of the Mediterranean fruit fly, *Ceratitis capitata* (Diptera: Tephritidae), with emphasis on Argentina and Australia [J]. Environmental Entomology, 2002, 31(6): 1009-1022.
- [18] DE MEYER M, ROBERTSON M P, MANSELL M W, et al. Ecological niche and potential geographic distribution of the invasive fruit fly *Bactrocera invadens* (Diptera, Tephritidae)[J]. Bulletin of Entomological Research, 2010,100(1):35-48.
- [19] 李子忠,汪廉敏. 贵州农林昆虫志:第4卷[M]. 贵阳:贵州科技出版社,1992:6-19.
- [20] 吴佳教,梁帆,梁广勤. 实蝇类重要害虫鉴定图册[M]. 广州:广东科技出版社,2009.
- [21] 梁广勤. 实蝇[M]. 北京:中国农业出版社,2011.
- [22] 姜帆,李志红,梁亮,等. 实蝇科昆虫线粒体基因组研究进展[J]. 植物检疫,2016,33(3):12-17.
- [23] 姜帆. 我国检疫性实蝇分子鉴定技术体系的研究[D]. 北京:中国农业大学,2015.
- [24] DOORENWEERD C, LEBLANC L, NORRBOM A L, et al. A global checklist of the 932 fruit fly species in the tribe Dacini (Diptera, Tephritidae) [J]. ZooKeys, 2018,730:19-56.
- [25] 李伟东,刘福秀,周卫川,等. 海南岛实蝇群落的多样性分析[J]. 热带作物学报,2010,31(12):2260-2266.
- [26] 陈霄,陈力,王艳,等. 贵州省实蝇种类监测情况研讨[J]. 植物医生,2007,20(1):47-49.

(责任编辑:杨明丽)

(上接 120 页)

- [4] 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.
- [5] 谢明惠,钟永志,陈浩梁,等. 草地贪夜蛾在安徽地区越冬能力初探[J]. 植物保护, 2020, 46(3): 236-241.
- [6] 杨俊杰,郭子平,罗汉钢,等. 2019年湖北省草地贪夜蛾发生为害规律和监测技术探索[J]. 植物保护, 2020, 46(3): 247-253.
- [7] 张智,郑乔,张云慧,等. 草地贪夜蛾室内种群抗寒能力测定[J]. 植物保护, 2019, 45(6): 43-49.
- [8] 谢殿杰,张蕾,程云霞,等. 不同饲养温度对草地贪夜蛾过冷却点和体液冰点的影响[J]. 植物保护, 2020, 46(2): 62-71.
- [9] 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(5): 18-26.
- [10] 吴孔明,郭予元,韦建福,等. 棉铃虫抗寒能力的研究[J]. 生态学报, 1997, 17(3): 298-302.
- [11] 江幸福,罗礼智,李克斌,等. 甜菜夜蛾抗寒与越冬能力研究[J]. 生态学报, 2001, 21(10): 1575-1582.
- [12] 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.
- [13] GU Hainan. Cold tolerance and overwintering of the diamond-back moth (Lepidoptera: Plutellidae) in southeastern Australia [J]. Environmental Entomology, 2009, 38(3): 524-529.
- [14] 马春森,马罡,杨和平. 小菜蛾在温带地区越冬研究进展[J]. 生态学报, 2010, 30(13): 3628-3636.
- [15] 管致和. 昆虫的越冬和预测预报的关系[J]. 植物保护, 1964, 2(1): 35-37.
- [16] HOFFMAN K H. Environmental physiology and biochemistry of insects [M]. Berlin: Springer,1985.
- [17] 张悦,邓晓悦,张雪艳,等. 取食不同食物的草地贪夜蛾的过冷却点和结冰点[J]. 植物保护, 2020, 46(2): 72-77.
- [18] 罗举,俞俊杰,周明好,等. 草地贪夜蛾过冷却点和结冰点的测定[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(3): 428-432.
- [19] 张同强,张蕾,程云霞,等. 草地贪夜蛾耐低温能力研究[J]. 植物保护, 2021, 47(1): 176-181.
- [20] JOHNSON S J. Migration and the life history strategy of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* in the western hemisphere [J]. International Journal of Tropical Insect Science, 1987, 8: 543-549.
- [21] WANG Huijun, SUN Jianqi, CHEN Huopo, et al. Extreme climate in china: facts, simulation and projection [J]. Meteorologische Ztschrift, 2012, 21(3): 279-304.

(责任编辑:杨明丽)