

宋丽威, 杜陈勇, 刘白璐, 等. 白蛾周氏啮小蜂工厂化生产及应用进展[J]. 中国森林病虫, 2024, 43(1): 17-21.

白蛾周氏啮小蜂工厂化生产及应用进展

宋丽威¹, 杜陈勇², 刘白璐³, 陈存彬³, 徐炳芳¹, 温玄焯⁴

(1. 长春市净月潭实验林场, 吉林 长春 130031; 2. 扶沟县森林病虫害防治检疫站, 河南 扶沟 461300; 3. 漯河市林业事务服务中心, 河南 漯河 462000; 4. 国家林业和草原局生物灾害防控中心, 辽宁 沈阳 110034)

摘要: 白蛾周氏啮小蜂 *Chouioia cunea* 是美国白蛾 *Hyphantria cunea* 的优势天敌。20世纪80年代初, 我国开始对白蛾周氏啮小蜂的人工繁育技术进行系统研究, 成功研发出以柞蚕 *Antheraea pernyi* 蛹为中间寄主的工厂化生产技术。笔者介绍白蛾周氏啮小蜂工厂化生产及林间应用涉及的生产设备、生产工艺、释放技术及应用现状, 提出研究天敌复合体、测试常用农药对白蛾周氏啮小蜂安全性和优化林间释放技术等建议, 以期最大限度地优化白蛾周氏啮小蜂生产工艺, 为提高繁育效率和防治效果提供理论支撑。

关键词: 周氏啮小蜂; 工厂化生产; 生物防治; 美国白蛾

中图分类号: S763.306.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-0886(2024)01-0017-05

DOI: 10.19688/j.cnki.issn1671-0886.20230030

Progress on the factory production and application of *Chouioia cunea*

SONG Liwei¹, DU Chenyong², LIU Bailu³, CHEN Cunbin³, XU Bingfang¹, WEN Xuanyue⁴

(1. Changchun Jingyuetan Experimental Forest Farm, Changchun 130031, China; 2. Fugou County Forest Pest Control and Quarantine Station, Fugou 461300, China; 3. Luohe Forestry Affairs Service Center, Luohe 462000, China; 4. Center for Biological Disaster Prevention and Control, National Forestry and Grassland Administration, Shenyang 110034, China)

Abstract: *Chouioia cunea* is the dominant natural enemy of *Hyphantria cunea*. In the early 1980s, the artificial breeding technology of *C. cunea* has been systematically studied in China and successfully developed a factory production technology with *Antheraea pernyi* pupae as the intermediate host. We reviewed the industrial production and field application of *C. cunea* involving production equipment, production technology, release technique and application status. We put forward to study the natural enemy complex, test safety of common pesticides on *C. cunea*, and optimize forest release technology, in order to optimize the production process to the greatest extent and provide theoretical support for improving breeding efficiency and control effect.

Keywords: *Chouioia cunea*; factory production; biological control; *Hyphantria cunea*

白蛾周氏啮小蜂 *Chouioia cunea* 是全球性检疫害虫美国白蛾 *Hyphantria cunea* 的优势天敌, 广泛应用于美国白蛾、杨扇舟蛾 *Clostera anachoreta*、榆毒蛾 *Ivela ochropoda* 等鳞翅目害虫防治^[1]。1985年, 杨忠岐在我国首次发现白蛾周氏啮小蜂^[2], 并成

功筛选出可应用于防治美国白蛾的优势种群, 深入研究其基本生物学特性^[3]、室内繁殖和释放技术^[4]。随着中间寄主柞蚕 *Antheraea pernyi* 蛹的发现, 利用白蛾周氏啮小蜂防治美国白蛾的技术措施在全国范围内得到了应用^[5]。目前, 我国已成为世界上应

收稿日期: 2023-11-10; 修回日期: 2023-12-23; 网络首发: 2023-12-29

基金项目: 国家重点研发计划“重大林草入侵生物扩张蔓延机制与高效防控技术研究”(2021YFD1400300); 国家林草局生物灾害防控中心优秀项目“美国白蛾四代化趋势研判及国产性信息素应用研究”(FKQX2022001)

第一作者: 宋丽威(1987—), 女, 工程师, 硕士, 主要从事生物防治技术研究, E-mail: 1048209682@qq.com

通信作者: 温玄焯, 工程师, 主要从事林业有害生物防治技术研究, E-mail: 397803265@qq.com。

用周氏啮小蜂防治美国白蛾面积最大的国家^[6]。笔者就白蛾周氏啮小蜂工厂化繁育涉及的生产设备、生产工艺及应用现状进行综述,提出未来生产和应用的完善方向,以期为白蛾周氏啮小蜂工厂化生产的提质增效提供理论依据。

1 规模化繁育的中间寄主选择

白蛾周氏啮小蜂一生除成蜂期外,其他时期均在寄主蛹中度过。因此,适宜的中间寄主是白蛾周氏啮小蜂工厂化繁育的关键。适合工厂化生产的中间寄主应具备以下六个特性:一是蛹能被白蛾周氏啮小蜂寄生,且是偏好性寄生^[5];二是待白蛾周氏啮小蜂寄生后,能顺利完成子代发育并羽化出蜂^[6];三是中间寄主繁育出的白蛾周氏啮小蜂子代活力强,可有效寄生美国白蛾蛹^[7];四是蛹的体积相对较大、价格低廉、容易获得,适合高效繁蜂^[8];五是蛹具备较强的硬度和韧性,便于贮藏、运输^[9];六是寄主昆虫本身繁殖力强,最好可长期冷藏,确保白蛾周氏啮小蜂世代延续^[10]。

在研究初期,我国学者在白蛾周氏啮小蜂中间寄主的选择上做了大量实践探索。1989年,杨忠岐初步确认该蜂可广泛寄生鳞翅目害虫和寄生蝇科 Tachinidae 昆虫的蛹^[11]。王洪魁等^[12]对多种害虫蛹进行人工接种试验,结果表明白蛾周氏啮小蜂对柞蚕蛹的寄生量最多,对赤松毛虫 *Dendrolimus spectabilis*、油松毛虫 *Dendrolimus tabulaeformis*、棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 蛹的寄生率和寄生量仅次于柞蚕蛹和美国白蛾蛹,鉴于易在人工室内大规模繁育的特点,柞蚕蛹仍是最有希望的应用对象。韩瑞东等^[13]经室外林间释放实验证实,在众多适宜寄主中,白蛾周氏啮小蜂对柞蚕蛹的寄生率最高,可达 95%~100%。以上中间寄主的筛选研究,为后续规模化、工厂化生产提供了坚实的理论基础。

工厂化繁殖寄生蜂的品质高低与中间寄主质量息息相关,柞蚕蛹具有个体大、易饲养储存、单蛹出蜂量多、寄生率高、繁育子代健壮等显著优势,是繁育白蛾周氏啮小蜂最佳的中间寄主^[14]。但由于白蛾周氏啮小蜂蜂种保育环境属于高温高湿,在寄生过程中会增加柞蚕病原微生物的感染与传播速率,产生不寄生或即使寄生也很难羽化出蜂的现象,严重影响工厂化生产效率^[15]。此外,柞蚕蛹主要产于我国东北地区,上市季节仅在每年 10 月末,生产时间受季节性影响较大。我国学者亦先后尝试利用

家蚕 *Bombyx mori* 蛹、亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* 蛹、黄粉虫 *Tenebrio molitor* 蛹等作为替代寄主繁育白蛾周氏啮小蜂^[16-18],但这些中间寄主蛹寄生率及出蜂量均不及柞蚕蛹,难以满足大规模生产需要。

2 以柞蚕蛹为中间寄主的繁育技术改进

2.1 配套设备的改进

在早期探索阶段,白蛾周氏啮小蜂的繁育设备以玻璃试管、矿泉水瓶和玻璃瓶等工具为主,由于每头寄主体内承载几千头白蛾周氏啮小蜂,如操作不当,极易产生蜂种外逃或大量死亡的现象,严重影响生产进度。21 世纪初,广口瓶对接法逐渐应用于生产实践,但此方法不便生产操作,故未得到广泛应用^[19]。随着白蛾周氏啮小蜂的大规模生产释放,适用于批量繁育白蛾周氏啮小蜂的接种箱、繁蜂架、抽屉式接蜂盒以及配套的冷藏柜、周转箱等冷藏设备陆续问世,为工厂化生产提供了便利条件^[20]。新型白蛾周氏啮小蜂批量接种培养箱和一体化周氏啮小蜂培养管的相继研发,解决了培养间无法保持完全暗室环境、种蜂逃逸、繁殖和接种合二为一等技术问题^[21-22]。2016 年,郝德君等^[23]研发的新型繁育装置,减小了白蛾周氏啮小蜂寄生时间差异,进一步提升了大批量标准化繁育水平。同时,放蜂袋及释放装置的开发,也进一步提升了白蛾周氏啮小蜂的林间羽化率,减少产品损耗,提高了野外寄生效果^[24]。

2.2 接蜂比例的选择

不同蜂蛹比例直接影响着白蛾周氏啮小蜂的寄生率、羽化率和子代出蜂量,适宜的蜂蛹比例是工厂化繁育寄生蜂关键。北京市密云区植保植检站采用蜂蛹比为 40:1 的接蜂比例,平均出蜂量和羽化率均较高^[25]。魏建荣等^[26]以蜂蛹比 50:1 的比例测试发现,该比例可有效提高子代出蜂率和雌雄性比。乔建军等^[27]模拟工厂化大规模生产发现,将蜂蛹比设为 80:1 有利于提高寄生率并降低生产成本。曾现春等^[19]在大规模生产扩繁中按照 50:1 到 75:1 的蜂蛹比接种,寄生率达 90% 以上。刘芹等^[20]在白蛾周氏啮小蜂大规模人工繁育技术应用研究中建议根据柞蚕蛹的大小与健壮程度,将小蜂与柞蚕蛹按 50:1 到 80:1 的蜂蛹比,单蛹在黑暗条件下接种,繁育效果较好。

2.3 工厂化生产环境的筛选

工厂化生产白蛾周氏啮小蜂时,需要严格控制

湿度与温度。当温度过高、湿度过大时,中间寄主容易腐烂;而当温度过低、湿度过小时,则会直接降低白蛾周氏啮小蜂的世代发育速率^[5]。此外,白蛾周氏啮小蜂不同地理种群的生物学特性差异较大,在不同温度下,种群个体的生长发育速率存在显著差异^[28]。已有研究表明,温度为24~26℃时,白蛾周氏啮小蜂对柞蚕蛹寄生率最高^[29],当温度超过这一阈值时,白蛾周氏啮小蜂发育加快,而成蜂寿命明显降低^[30],寄主体内组织腐烂加速,导致白蛾周氏啮小蜂不能顺利完成发育。因此,为了确保工厂化规模、有序地生产,繁蜂室的最佳温度应控制在25℃,湿度应控制在50%左右^[31]。

2.4 最佳贮藏条件

由于白蛾周氏啮小蜂世代周期较长,在大规模人工繁育生产中,出蜂时间与放蜂时间一般无法做到完全吻合,因此需要灵活把握白蛾周氏啮小蜂的生产时间。除此之外,受温度、降雨等自然因素影响,美国白蛾蛹期进度并不一致,需要对发育到一定阶段的白蛾周氏啮小蜂进行提温培育或低温贮藏。发育至老熟幼虫期的白蛾周氏啮小蜂在6~9℃下贮藏时间不宜超过30d^[32],而人工诱导滞育的白蛾周氏啮小蜂在冷藏70d后仍可保持高达95%以上的出蜂率^[33]。白蛾周氏啮小蜂成品蜂贮藏温度在4℃左右,贮藏时间可达40d,进行低温贮藏时,使用接蜂管贮藏腐烂率低于纸箱和培育筐贮藏腐烂率^[28]。

2.5 滞育生产研究

滞育是昆虫应对不良环境维持种群和个体生存的重要策略^[34],光周期和温度是诱导昆虫滞育的主要因子^[35]。我国学者从滞育因子角度研究发现,白蛾周氏啮小蜂属于长日照型昆虫,以老熟幼虫滞育,18~24℃、短光照可较好诱导白蛾周氏啮小蜂滞育,滞育后发育起点温度和有效积温分别为(14.60±0.31)℃和(209.38±8.72)℃^[36]。尤薇等^[37]发现温度胁迫对于白蛾周氏啮小蜂*sHSP10*基因表达有影响。孙永岭等^[38]发现随滞育时间的延长白蛾周氏啮小蜂发育起点温度逐步下降,有效积温缓步上升,且基本维持在137℃左右,但当滞育天数大幅度增加时,发育起点温度与有效积温均呈现大幅度上升趋势。沈阳农业大学将滞育技术成功应用于白蛾周氏啮小蜂的工厂化生产,滞育的老熟幼虫期冷藏60d后出蜂率仍高达95%以上^[30],实现了白蛾周氏啮小蜂的长期贮存,对人工大规模繁育商品

蜂具有重要的现实意义。

3 白蛾周氏啮小蜂应用现状

自规模化生产以来,全国各地陆续开展了白蛾周氏啮小蜂防治美国白蛾的示范应用。其中,以山东省数量最多、规模最大,全省共建成繁蜂基地36处,年生产量超600亿头,防治面积7.46万公顷次^[5]。截至2023年,我国已建立了超百所白蛾周氏啮小蜂繁育中心,年防治面积达79.07万hm²,占全国美国白蛾发生面积的1/3^[39]。

3.1 释放技术

适合的时间、方法和释放比例是应用白蛾周氏啮小蜂防治美国白蛾的关键。在释放时间上,各地放蜂时间均不一致,需要根据美国白蛾老熟幼虫出现时期确定,一般应选择气温25℃以上,短期内无雨的早晨或傍晚分2次进行释放^[6],第1代美国白蛾6龄盛期和第2代幼虫7龄是白蛾周氏啮小蜂的最佳放蜂期^[40]。放蜂前,需对林间虫口密度进行详细调查,以每粒柞蚕蛹孵化4000头白蛾周氏啮小蜂计算,美国白蛾低度发生时选择蜂虫比3:1释放经济性最佳;当虫口密度过大时,应采用蜂虫比9:1或10:1以上进行淹没式放蜂防治^[41]。林间释放时,利用图钉或释放器将茧悬挂至树高1.5~2m处^[42],可配套搭配牛皮纸包裹蛹体,以达到防雨防鸟效果。

3.2 防治效果

河北省大规模利用白蛾周氏啮小蜂防治美国白蛾,防治区美国白蛾蛹寄生率达59.2%^[43]。山东省东营市连续3年大面积释放白蛾周氏啮小蜂防治美国白蛾,有虫株率从15%下降至2%^[40]。辽宁、江苏等地也报道白蛾周氏啮小蜂对美国白蛾具有持续防治效果^[44-45]。然而生物防治措施受环境条件影响很大,除降雨、低温等常规逆境外,农药和人类活动也是影响白蛾周氏啮小蜂防治效果的主要因素。因此,在实际应用中,有必要针对每次放蜂进行防效调查以确定其实际控制效果,为美国白蛾的可持续防控提供数据基础。

4 问题与展望

经过20余年的研究,我国学者在筛选出白蛾周氏啮小蜂是美国白蛾特优寄生性天敌的基础上,开创了以柞蚕蛹为中间寄主的白蛾周氏啮小蜂工厂化生产体系,推动了我国林业害虫生物防治整体水平的提升。然而,现有研究多集中于白蛾周氏啮小

蜂的生物学、生态学和生产技术改进等方面,在多天敌种类混合应用、农药对周氏啮小蜂的影响和林间释放技术改进研究等方面仍非常薄弱,远不能满足防治工作的实际需要。结合现有基础,可从以下几方面进行深入研究。

4.1 天敌复合体开发

美国白蛾天敌种类较多,异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 和丽草蛉 *Chrysopa formosa* 等捕食性昆虫对美国白蛾有较强的捕食能力^[46],但所有天敌中,只有白蛾周氏啮小蜂防治美国白蛾的应用技术相对成熟^[47]。山东白蛾啮小蜂 *Tetrastichus shandongensis*、白蛾黑棒啮小蜂 *Tetrastichus septentrionalis* 等寄生蜂防治美国白蛾也具有广阔的应用前景^[48]。白蛾周氏啮小蜂与白蛾黑基啮小蜂 *Tetrastichus nigricoxae* 混合释放,对美国白蛾第2代蛹的寄生率和天敌总寄生率均显著高于释放1种天敌^[49]。开发潜力天敌种群、增加不同种类天敌间相互协作,开展天敌复合体的研究可成为未来美国白蛾生物防治的新方向。

4.2 农药对白蛾周氏啮小蜂的影响

化学防治仍是美国白蛾防治工作中最主要的技术措施,我国开展以航空施药防治为主、地面防治为辅的大规模美国白蛾防治取得了显著的成效^[50]。然而,施药方法、药剂毒性、施药剂量和降解速度等一系列因素相关试验较少,许多杀虫剂种类对天敌昆虫应用的影响尚不明确。以美国白蛾常用农药灭幼脲、杀铃脲、高效氯氰菊酯为例,目前仅明确了灭幼脲对白蛾周氏啮小蜂的释放无任何影响^[51],有必要开展美国白蛾常用药剂对白蛾周氏啮小蜂的毒力评估,以明确美国白蛾综合防控的配套药剂及其使用方法。

4.3 林间释放技术改进

天敌昆虫能否大面积推广应用,林间操作和防治成本兼顾的释放技术至关重要。目前,白蛾周氏啮小蜂的林间释放方法仍以人工悬挂方式为主,人力成本耗费巨大。可考虑研发无人机释放器具,与人工悬挂卵卡方式配套施用,以降低防治成本。还可通过遥感、物联网等新型监测技术,提前预测美国白蛾老熟幼虫发育进度和发生数量,为实现白蛾周氏啮小蜂精准防控美国白蛾提供技术保障^[52]。

参考文献:

[1] 陈颖,魏雪生,赵淑艳. *Bt-15A3* 防治美国白蛾的试验[J]. 天津农学院学报, 2003, 10(1): 24-26.

- [2] 杨忠岐. 美国白蛾的有效天敌:白蛾周氏啮小蜂[J]. 森林病虫害通讯, 1990, 9(2): 17.
- [3] YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, WEI Jianrong, et al. Survey of the native insect natural enemies of *Hyphantria cunea* (Drury) (Lepidoptera: Arctiidae) in China[J]. Bulletin of Entomological Research, 2008, 98(3): 293-302.
- [4] 苏智,杨忠岐,魏建荣,等. 白蛾周氏啮小蜂转主寄主的研究[J]. 林业科学, 2004, 40(4): 106-116.
- [5] 刘芹. 白蛾周氏啮小蜂大规模人工繁育技术与应用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.
- [6] 郑雅楠,祁金玉,孙守慧,等. 白蛾周氏啮小蜂 *Chouioia cunea* Yang 的研究和生物防治应用进展[J]. 中国生物防治学报, 2012, 28(2): 275-281.
- [7] 王桂清,王洪魁. 利用柞蚕蛹繁殖白蛾周氏啮小蜂技术[J]. 沈阳农业大学学报, 1999, 30(3): 317-319.
- [8] 宋德胜. 利用柞蚕蛹繁育白蛾周氏啮小蜂的几项关键技术措施[J]. 北方蚕业, 2007, 28(4): 32.
- [9] 赵利伟. 白蛾周氏啮小蜂繁育特性及遗传多态性研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2010.
- [10] 杜伟,王虎诚,宋明辉,等. 人工保存白蛾周氏啮小蜂蜂种的初步研究[J]. 安徽林业科技, 2016, 42(4): 20-22.
- [11] 杨忠岐. 中国寄生于美国白蛾的啮小蜂一新属一新种(膜翅目, 姬小蜂科, 啮小蜂亚科)[J]. 昆虫分类学报, 1989, 11(1/2): 117-123.
- [12] 王洪魁,许国庆,戚凯,等. 利用柞蚕蛹人工繁殖白蛾周氏啮小蜂的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 1997, 28(1): 21-25.
- [13] 刘发邦,韩瑞东,郭光智,等. 白蛾周氏啮小蜂从寄主柞蚕蛹体爬出后的习性及其林间释放的观察研究[J]. 山东林业科技, 2009, 39(6): 32-34.
- [14] 孙静. 利用柞蚕蛹人工繁育白蛾周氏啮小蜂[J]. 辽宁林业科技, 2019, 46(3): 71-72.
- [15] 程瑞春,崔建国,李永民,等. 柞蚕病害对人工繁殖白蛾周氏啮小蜂的影响及其防控措施[J]. 辽宁林业科技, 2008, 35(4): 40-42.
- [16] 王卫斌,陈瑞琴,张卫光,等. 利用家蚕蛹人工繁殖白蛾周氏啮小蜂的研究[J]. 植物保护, 2007, 45(2): 99-101.
- [17] 孙海燕,丛斌,崔蕾. 利用亚洲玉米螟蛹人工繁殖白蛾周氏啮小蜂的研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2009, 40(3): 353-355.
- [18] 杨明禄,李时建. 利用黄粉虫蛹人工繁殖白蛾周氏啮小蜂的研究[J]. 中国生物防治学报, 2011, 27(3): 410-413.
- [19] 曾现春,孟向东,李文娟,等. 白蛾周氏啮小蜂人工繁育工艺流程[J]. 山东林业科技, 2010, 40(1): 84-85.
- [20] 刘芹,闫家河,王文亮,等. 白蛾周氏啮小蜂大规模人工繁育技术应用研究[J]. 山东林业科技, 2011, 41(2): 77-83.
- [21] 刘云鹏,解春霞,郑华英,等. 一种周氏啮小蜂批量接种培养箱: CN201820686304.1[P]. 2018-12-11.
- [22] 高祎铭,刘昌睿,罗心雨,等. 一体化周氏啮小蜂培养管: CN202122897343.0[P]. 2022-06-21.
- [23] 郝德君,刘鹏程,陈梦义,等. 一种繁育和释放白蛾周氏啮小蜂的专用装置: CN205623970.0[P]. 2016-10-12.

- [24] 解春霞, 郑华英, 徐明, 等. 一种新型周氏啮小蜂放蜂袋: C202120147570.9[P]. 2021-09-28.
- [25] 罗明. 大规模繁育周氏啮小蜂最佳接蜂比例的选择[J]. 安徽农学通报, 2016, 22(17): 85.
- [26] 魏建荣, 苏智, 王传珍, 等. 大规模繁殖白蛾周氏啮小蜂接蜂比例选择[J]. 林业科学研究, 2006, 19(1): 66-69.
- [27] 乔建军, 姚圣忠, 宋淑霞, 等. 不同蜂蛹比对白蛾周氏啮小蜂寄生率的影响试验[J]. 河北林业科技, 2011(5): 11.
- [28] 张桂莉. 环境因子对周氏啮小蜂扩繁中柞蚕蛹腐烂的影响研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2019.
- [29] 蒋丰泽, 郑灵燕, 郭技星. 温度对昆虫繁殖力的影响及其生理生化机制[J]. 环境昆虫学报, 2015, 37(3): 653-663.
- [30] 孙守慧, 赵利伟, 祁金玉. 白蛾周氏啮小蜂滞育诱导及滞育后发育[J]. 昆虫学报, 2009, 52(2): 1307-1311.
- [31] 宋淑霞, 翟金玲, 赵秀英, 等. 不同温湿度对白蛾周氏啮小蜂寄生率的影响[J]. 河北林业科技, 2011, 28(6): 6-7.
- [32] 孙守慧, 赵利伟, 祁金玉, 等. 白蛾周氏啮小蜂成虫补充营养及低温贮藏虫期的研究[J]. 中国生物防治学报, 2012, 28(3): 320-325.
- [33] 林利, 刘亚莉, 刘俊国. 白蛾周氏啮小蜂人工繁殖不同温度条件下世代效果试验分析[J]. 内蒙古林业调查设计, 2009, 32(5): 125-126.
- [34] 张向欣, 王正军. 外来入侵种美国白蛾的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(1): 215-219.
- [35] 王小平, 薛芳森, 戈峰, 等. 光周期和温度对大猿叶虫滞育后成虫生物学特性的影响[J]. 昆虫学报, 2005, 33(2): 285-289.
- [36] 李紫成, 吕宝乾, 周世豪, 等. 温度对不同地理种群周氏啮小蜂寄生椰子织蛾的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(14): 92-94.
- [37] 尤薇, 王冬梅, 李敏. 温度胁迫对于白蛾周氏啮小蜂 *sHSP10* 表达的影响[J]. 园林科技, 2018, 38(3): 22-26.
- [38] 孙永岭, 刘红霞, 孙颖慧. 白蛾周氏啮小蜂的低温滞育研究[J]. 凯里学院学报, 2020, 38(6): 62-64.
- [39] 杨忠岐, 张永安. 重大外来入侵害虫—美国白蛾生物防治技术研究[J]. 昆虫知识, 2007, 44(4): 465-471.
- [40] 景志高, 张希画, 宋家清, 等. 大面积刺槐林内释放周氏啮小蜂防治美国白蛾试验研究[J]. 山东林业科技, 2021, 51(1): 46-48.
- [41] 屈年华, 郑洪军, 房连杰. 白蛾周氏啮小蜂繁殖技术及其在防治美国白蛾中的应用[J]. 中国林副特产, 2007, 22(6): 40-42.
- [42] 徐秀源, 魏美娜. 唐山市白蛾周氏啮小蜂大规模繁殖技术研究[J]. 现代园艺, 2015, 38(20): 11-12.
- [43] 聂书海, 于斌, 刘永清, 等. 美国白蛾生物防治技术应用效果调查[J]. 河北林业科技, 2016, 44(4): 57-58.
- [44] 闻鸣, 王寅亮, 任炳忠. 入侵害虫美国白蛾综合防治研究概述[J]. 安徽农学通报, 2019, 25(5): 65-69.
- [45] 黄瑞芬, 马妍, 李硕, 等. 我国重大检疫性害虫美国白蛾生物防治研究进展[J]. 辽宁林业科技, 2019, 46(3): 42-45.
- [46] LI Jialin, CHEN Jingyun, CAI Ping. Research progress of occurrence and comprehensive control of fall webworm *Hyphantria cunea* (Drury)[J]. Plant Diseases and Pests, 2013, 4(4): 32-35.
- [47] 南俊科. 沈阳地区美国白蛾天敌复合体的研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2019.
- [48] 杨忠岐, 魏建荣. 寄生于美国白蛾的黑棒啮小蜂中国二新种(膜翅目: 姬小蜂科)[J]. 林业科学, 2003, 49(5): 67-73.
- [49] 朱兴沛, 凌超, 张亮, 等. 利用白蛾周氏啮小蜂生物防治美国白蛾研究[J]. 江苏林业科技, 2021, 48(5): 39-43.
- [50] 卢修亮, 林晓, 孙倩, 等. 对林业有害生物航空施药防治质量监管的探索: 以美国白蛾为例[J]. 中国森林病虫, 2020, 39(1): 42-46.
- [51] 张彦龙, 陈合志, 武三安. 灭幼脉III号对白蛾周氏啮小蜂的安全性测试[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(4): 1486-1487.
- [52] 花春艳, 孙超, 曹刚. 昆虫性诱智能测报系统在美国白蛾监测上的应用探讨[J]. 农业灾害研究, 2022, 12(12): 188-190.

(责任编辑 马和婷)