

烟蚜茧蜂的种群退化规律

谢应强¹, 张洪志², 李玉艳², 孔琳², 向梅², 杨红利¹, 张立猛³, 艾洪木^{1*}, 张礼生^{2*}

(1. 福建农林大学植物保护学院, 福州 350002; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100039; 3. 云南省烟草公司玉溪市公司, 玉溪 653100)

摘要: 烟蚜茧蜂是防治烟蚜的优良天敌昆虫。近 20 年, 我国烟蚜茧蜂大规模扩繁技术日臻成熟, 以其防控农作物蚜虫的生产应用也取得显著成效。然而在扩繁实践中发现连续饲养多代后, 烟蚜茧蜂出现了种群退化现象, 成为连续大规模扩繁烟蚜茧蜂生产瓶颈。为探索烟蚜茧蜂的种群衰退程度与饲养代数间的关系, 分析归纳种群退化的特征规律, 在室内续代饲养的条件下, 测定了烟蚜茧蜂不同代数的单雌僵蚜量、羽化率、性比、成虫寿命、成虫胫节长度等特征。试验结果表明: 从 F₁ 代到 F₁₂ 代, 烟蚜茧蜂单雌僵蚜量下降了 67.22%, 羽化率下降了 31.91%, 雌性比上升了 33.32%, 成蜂寿命下降了 53.85%, 雌蜂后足胫节长下降了 17.67%, 雄蜂后足胫节长下降了 28.74%, 在 F₇~F₉ 代各项特征衰退显著。试验验证在室内扩繁烟蚜茧蜂到第 7 代种群出现明显的衰退, 生产上需适时采取复壮措施。

关键词: 烟蚜茧蜂; 人工扩繁; 种群退化; 退化规律

中图分类号: S476.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9261(2020)02-0163-06

Population Degradation Rule of *Aphidius gifuensis* (Hymenoptera: Aphidiidae)

XIE Yingqiang¹, ZHANG Hongzhi², LI Yuyan², KONG Lin², XIANG Mei², YANG Hongli¹, ZHANG Limeng³,
AI Hongmu^{1*}, ZHANG Lisheng^{2*}

(1. College of Plant Protection, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100039, China; 3. Yuxi City Company of Yunnan Tobacco Company, Yuxi 653100, China)

Abstract: *Aphidius gifuensis* Ashmead is a dominant natural enemy insect for controlling *Myzus persicae*. Over the past 20 decades, the technology of propagation of *A. gifuensis* has become increasingly mature, and it has been widely used in the crop control of *M. persicae*. However, it has been found that the parasitism, viability and body size of *A. gifuensis* decrease in varying degrees after successive generations. It will not only reduce the viability of the whole population of *A. gifuensis*, but also becomes the bottleneck of continuous and large-scale propagation. In order to explore the relationship between population decline degree and breeding algebra of *A. gifuensis*, we analyze and conclude the characteristics of population degradation. Under the conditions of indoor continuous breeding, measurement was further carried out focusing on the reproductive amount, eclosion rate, sex ratio, adult longevity, adult metathoracic tibia lengths and other characteristics of gynogenetic mummified *A. gifuensis* of different generation. The results showed that from F₁ to F₁₂ generations of *A. gifuensis*, the number of gynogenetic mummified aphids decreased by 67.22%, the emergence rate decreased by 31.91%, the female ratio increased by 33.32%, the life span of adult bees decreased by 53.85%, the length of tibial spur in hind foot of female and male bees decreased by 17.67% and 28.74%, respectively, and the characteristics of F₇—F₉ generations declined significantly. The present experiment supports that the population of *A. gifuensis* declines generally in F₇ generation

收稿日期: 2019-06-29

基金项目: 国家烟草总公司重大专项 (110201601021-LS-01); 国家重点研发计划 (2017YFD0201000); 国家自然科学基金 (31572062)

作者简介: 谢应强, 硕士研究生, E-mail: xyqxie@foxmail.com。*通信作者, 张礼生, 研究员, E-mail: zhangleesheng@163.com; 艾洪木, 副教授, E-mail: aihongmu@163.com。

DOI: 10.16409/j.cnki.2095-039x.2020.02.002

when it is propagated indoors, production needs to take timely measures to rejuvenation.

Key words: *Aphidius gifuensis*; artificial propagation; population degradation; degradation rule

桃蚜 *Myzus persicae* 也叫烟蚜, 广泛分布在我国南北方烟区, 在整个烟草的生长期均有发生, 不仅刺食烟叶营养, 分泌蜜露诱导煤污病, 直接造成烟叶的质量和产量的下降, 还可传播烟草病原物, 引发其他虫传烟草病害和多种病毒病的发生和流行, 导致烟叶的产量和质量下降^[1,2]。故此, 烟蚜的防治一直都是烟叶病害防控工作的重点。

烟蚜茧蜂 *Aphidius gifuensis* Ashmead 主要分布在亚洲东部、北美洲北部等地, 我国南北方均有分布, 是烟蚜重要的内寄生天敌, 对烟蚜有很强的防控能力^[3], 自然寄生率通常为 20%~60%, 最高可达 89.16%, 大范围用于我国各烟区烟蚜的防治^[4,5], 在烟蚜的生物防治技术推广应用中取得了显著效果。据云南烟草公司统计, 1999—2013 年, 云南省利用烟蚜茧蜂防治烟蚜应用面积已累计达 133 万 hm^2 , 对烟蚜的控制率可达 80%, 减少化学农药使用 1600 t, 累计减少防治成本 5.32 亿元, 提高了烟叶产量, 减少了环境破坏^[6-9]。此外烟蚜茧蜂防治烟蚜技术还在湖南、吉林、河北等地推广, 并取得了很好的防治效果^[10]。

近年来, 国内的主要烟植区都已建立烟蚜茧蜂基地扩繁烟蚜, 以保证在烟蚜的发生期集中释放, 达到最大化的防控效果。但在室内大棚中多代扩繁后发现烟蚜茧蜂存在扩繁速率下降、烟蚜茧蜂体型变小、活动能力下降等现象, 导致烟蚜茧蜂扩繁基地的产量降低, 烟蚜茧蜂的繁殖力、羽化率、成虫寿命等下降, 达不到预期的防治效果。各地实验室种群常来源于少量野外个体, 遗传特异性比较贫乏, 再加上恒定条件下的续代饲养, 同宗近缘繁殖, 导致昆虫种群出现生殖力、存活率、体型、发育整齐度的整体下降^[11]。本文针对目前烟蚜茧蜂扩繁中的退化现象, 在实验室条件下模拟烟蚜茧蜂扩繁基地的环境, 选用河北地区的野生烟蚜茧蜂, 开展烟蚜茧蜂续代扩繁中的退化规律研究, 为烟蚜茧蜂的退化机理研究和退化防治提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试的寄主植物为茄科的烟草 *Nicotiana tabacum* (云烟 87), 豆科的蚕豆 *Vicia faba* (临蚕 5 号), 在温室 (温度 25 °C、相对湿度 40%、光周期 16L:8D) 中用塑料苗盆培育。豆苗长至 3~4 cm 时放入养虫笼中待用。供试的烟蚜采自中国农业科学院植物保护研究所廊坊科研中试基地。由于试验需繁殖多代、设置多组, 而烟草的发育周期太长, 室内极易患病, 因此采用优势替代寄主蚕豆来繁殖烟蚜。烟蚜首先在烟草上繁殖, 待种群稳定后将蚕豆苗盆摆到烟草苗盆中间, 让烟蚜在两个寄主植物中自由扩繁, 扩繁 5~6 代之后, 烟蚜能在寄主植物蚕豆上建立稳定的种群。供试的烟蚜茧蜂采自河北廊坊烟田的野生种群。子代在实验室条件下由野生烟蚜茧蜂接种寄主植物蚕豆上的烟蚜繁殖所得, 后续各代均由上代烟蚜茧蜂接种寄主植物蚕豆上的烟蚜繁殖所得。

1.2 烟蚜茧蜂的种群退化试验

1.2.1 烟蚜茧蜂的生物学测定 从野外采集强壮的野生烟蚜茧蜂僵蚜, 随机挑取僵蚜分装到 2 mL 指形管中, 每个指形管放 1 头, 用脱脂棉塞住管口, 防止烟蚜茧蜂逃逸和保证管内气流畅通, 每 12 h 观察一次管内烟蚜茧蜂的羽化情况和羽化后的雌性比例, 记录烟蚜茧蜂的羽化率、雌雄比, 每组处理 20 头, 5 个重复。取 20 头刚羽化的烟蚜茧蜂单独置于指形管中, 每 12 h 观察一次试虫存活情况并在脱脂棉上滴加 20% 蜂蜜水饲喂, 直至成蜂死亡, 记录烟蚜茧蜂的成虫寿命。将死亡后的成蜂尸体按性别不同分装, 在体视解剖镜 (Olympus SZX10) 下测量其后足胫节的长度, 记录烟蚜茧蜂后足胫节长。后续各代的数据测量方法同上。

1.2.2 烟蚜茧蜂的寄生力测定 从烟蚜茧蜂种群中随机挑选羽化 12 h 内的成蜂 5 对, 按性比 1:1 分装于指形管中, 交配 2 h, 期间用 20% 蜂蜜水饲喂, 从烟蚜实验种群上取 200 头 2~3 龄的烟蚜, 接到预先准备好的蚕豆苗上, 定殖 12 h 后按蜂蚜比 (1:200) 接入一对交配完成的烟蚜茧蜂, 在人工气候箱 (温度 25 °C、相对湿度 75%、光周期 16L:8D) 内饲养, 24 h 后去除成蜂, 待僵蚜形成后用毛刷取下僵蚜, 统计僵蚜总数。后续各代的数据处理方法同上, 在实验室内续代饲养连续 12 代。

1.3 数据统计与分析

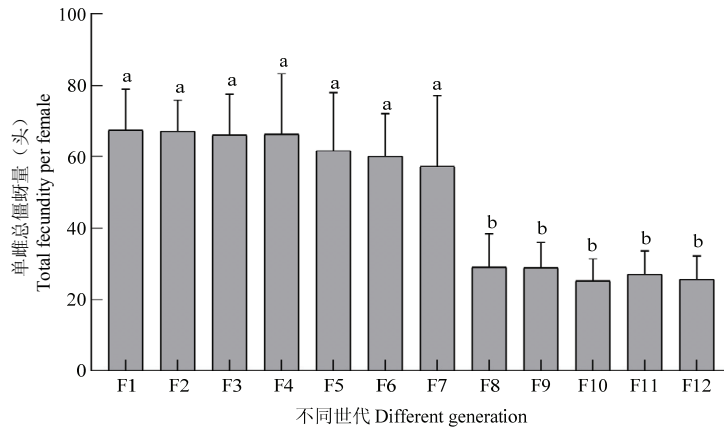
采用统计分析软件 Graphpad 8 进行 ANOVA 单因素方差分析, 不同处理间的显著差异性用 LSD 进行

检验。文中数据以平均值±标准误的形式表示。

2 结果与分析

2.1 烟蚜茧蜂传代次数对子代僵蚜量的影响

方差分析的结果显示，烟蚜茧蜂的传代次数对子代僵蚜量存在显著性差异 ($F_{11,48}=13.10$, $P<0.05$)， F_1 代到 F_7 代相邻世代之间，烟蚜茧蜂单雌总僵蚜量均无显著性差异， F_7 代与 F_8 代间存在显著性差异。在排除温度、光照、湿度的影响后可以看出，衰退效果在第8代表现为总僵蚜量的下降，烟蚜茧蜂室内繁育到第7代后，繁殖力出现了明显的下降（图1）。



注：图中数据为平均值±标准误，图中不同世代间的不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

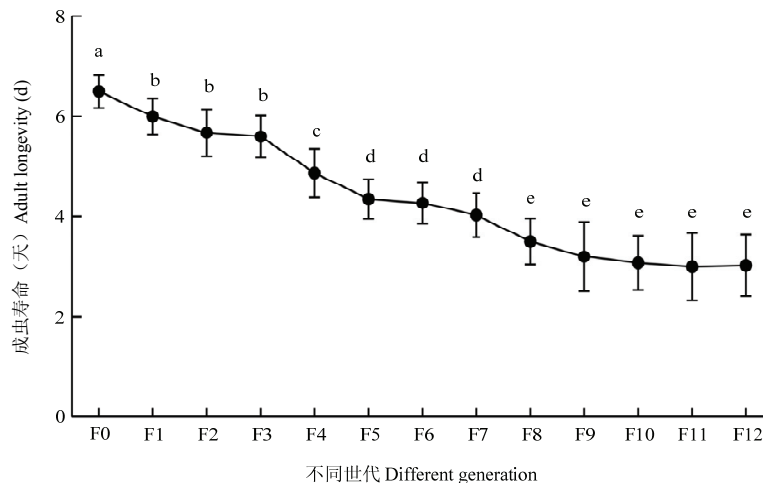
Note: Data were mean ± SE, the different lowercase letters in the figure indicated significant difference between generations ($P<0.05$).

图1 不同世代烟蚜茧蜂单雌的总僵蚜量

Fig. 1 Total reproductive amounts per *A. gifuensis* female in different generations

2.2 烟蚜茧蜂传代次数对子代成蜂寿命的影响

烟蚜茧蜂的传代次数对子代成蜂寿命存在显著差异 ($F_{12,52}=124.10$, $P<0.05$)。随着饲养代数的增多，子代成蜂寿命总体呈下降趋势且相对平缓， F_3 代之后，寿命低于5 d， F_7 代后，寿命低于4 d。烟蚜茧蜂在室内繁育到第7代时，成蜂寿命出现了明显的衰退（图2）。



注：图中数据为平均值±标准误，图中不同世代间的不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

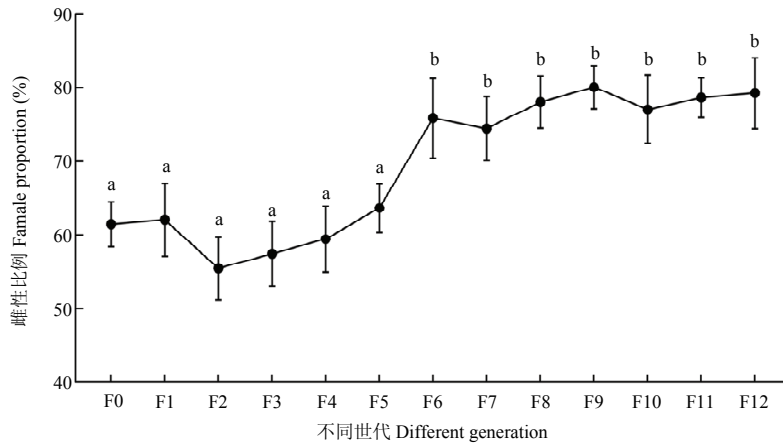
Note: Data were mean ± SE, the different lowercase letters in the figure indicated significant difference between generations ($P<0.05$).

图2 不同世代的烟蚜茧蜂成蜂寿命

Fig. 2 Adult longevity of *A. gifuensis* in different generations

2.3 烟蚜茧蜂传代次数对子代羽化率和性比的影响

烟蚜茧蜂的传代次数对子代羽化率存在显著差异 ($F_{12,52}=51.73$, $P<0.05$), 子代雌性比存在显著差异 ($F_{12,52}=21.83$, $P<0.05$)。随着饲养代数的增加, 子代雌性在第 $F_1\sim F_5$ 代时, 比例为 50%~60%, F_5 代之后, 比例为 70%~80%, F_5 代之后, 性比变化显著 (图 3)。随着饲养代数增加, $F_1\sim F_5$ 代羽化率比较平稳, $F_1\sim F_7$ 代羽化率高于 80%, F_7 代之后下降显著, 羽化率约为 70%, F_{12} 代之后, 羽化率已下降至 60% (图 4)。

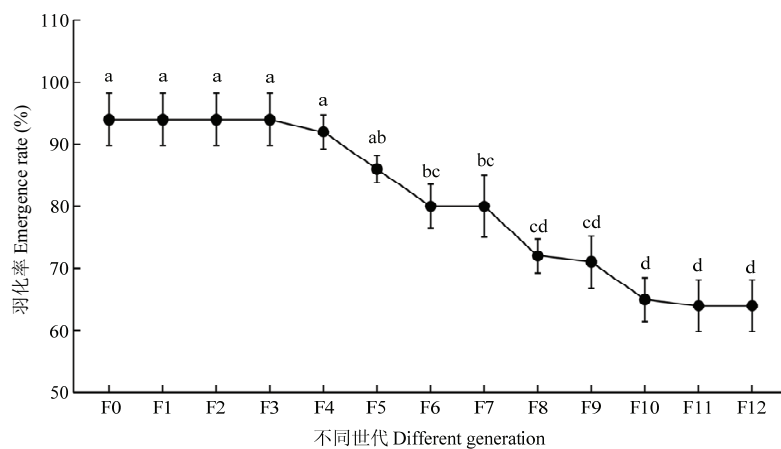


注: 图中数据为平均值±标准误, 图中不同世代间的不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

Note: Data were mean±SE, the different lowercase letters in the figure indicated significant difference between generations ($P<0.05$).

图3 不同世代烟蚜茧蜂的雌性比

Fig. 3 Female rate of *A. gifuensis* in different generations



注: 图中数据为平均值±标准误, 图中不同世代间的不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

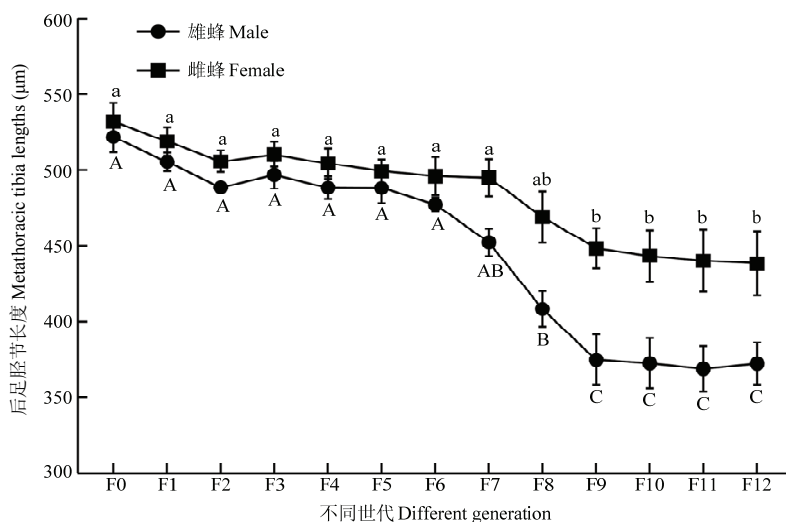
Note: Data were mean±SE, the different lowercase letters in the figure indicated significant difference between generations ($P<0.05$).

图4 不同世代烟蚜茧蜂的羽化率

Fig. 4 Eclosion rate of *A. gifuensis* in different generations

2.4 烟蚜茧蜂传代次数对子代体型大小的影响

随着传代次数的增加, 烟蚜茧蜂雌、雄后足胫节长有显著差异, 其中雌 ($F_{12,91}=225.676$, $P<0.05$)、雄 ($F_{12,91}=45.042$, $P<0.05$), 整体呈下降趋势。 $F_1\sim F_7$ 代时, 烟蚜茧蜂雌、雄蜂的后足胫节长变化不显著且变化规律基本一致, 雄蜂从 F_7 代开始出现较明显下降, 在第 $F_7\sim F_{10}$ 代下降明显, F_{10} 代后趋于稳定; 雌蜂从 F_8 代开始出现较明显下降, 在第 $F_8\sim F_{10}$ 代下降明显, F_{10} 代后趋于稳定。在整个烟蚜茧蜂续代饲养过程中, 与 F_1 代相比, 雄蜂后足胫节长的退化程度比雌蜂大, 误差也在不断上升, 这说明随着饲养次数的增多, 烟蚜茧蜂种群的体型整齐性逐渐下降, 并在雌蜂 F_8 代、雄蜂 F_7 代后体型衰退最显著 (图 5)。



注：图中数据为平均值±标准误差，图中不同世代间不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Data were mean \pm SE, the different lowercase letters in the figure indicated significant difference between generations ($P < 0.05$).

图5 不同世代烟蚜茧蜂雌蜂和雄蜂的后足胫节长度

Fig. 5 Metathoracic tibia lengths of female and male *A. gifuensis* in different generations

3 讨论

昆虫的退化是普遍存在的，张艳魁等^[12]在研究双翅目昆虫翅的退化提到气候、生存环境、翅的偶然损伤、生殖的需要以及天敌因素都是导致翅退化的主要原因。代平礼和徐志强^[13]在管氏肿腿蜂研究中提出，人工繁殖的种群退化现象是遗传因素造成的；王秀琴等^[14]在果蝇复壮研究中提到，果蝇的长期低温保种中，在延长生活周期的同时也使各机能产生微弱的变化，可能导致突变，最后造成种群的退化；李全平等^[15]在冬虫夏草的寄主昆虫退化研究中，通过切片观察蝙蝠蛾雄性生殖系统发现存在精囊减少和畸形的现象。本研究对室内饲养的烟蚜茧蜂的各项能力测定，F₁~F₁₂代，烟蚜茧蜂单雌僵蚜量下降了67.22%，羽化率下降了31.91%，雌性比上升了33.32%，成蜂寿命下降了53.85%，雌蜂后足胫节长下降了17.67%，雄蜂后足胫节长下降了28.74%，证明烟蚜茧蜂续代饲养会诱发种群退化现象，在F₇代后退化特征非常显著，这一规律未见国内外研究报道。本试验同时证实，室内续代扩繁烟蚜茧蜂种群退化后，严重影响扩繁效率和产品质量。

昆虫的退化通常意味着繁殖能力、存活能力、飞行能力、个体大小等特征出现衰退现象。胡霞等^[16]在川硬皮肿腿蜂的退化研究中，以寄生蜂的搜索率、寄生率、产卵量、羽化量的退化评价指标，说明了川硬皮肿腿蜂由于替代寄主的长期饲养，出现了退化现象。胡尊瑞等^[17]在管氏肿腿蜂的退化研究中，以寄生蜂的寄生率、出蜂量、体型为退化评价指标，说明了经连续多代利用中间寄主黄粉甲人工扩繁管氏肿腿蜂后，种蜂出现一定退化，主要表现为寄生率和寄生成功率下降、单管出蜂量减少、子代蜂体型趋小。刘爱萍等^[18]在伞裙追寄蝇的退化研究中，以产卵量、羽化率、发育历期、寄生成功率、飞行能力等为退化评价指标，说明了伞裙追寄蝇累代培养中，生活力和生殖力指标不断下降，发育整齐度也不断下降。李会等^[19]在白蛾周氏啮小蜂的退化研究中，以羽化率、飞行能力、寿命、个体大小等退化评价指标，说明了人工繁殖多代后，蜂种搜寻寄主的能力很可能丢失，同时蜂种得不到外界营养的补充，出现了同一批蜂羽化不整齐、飞翔能力弱、寿命短、个体变小等不同程度的退化。在本试验中，归纳总结了其他学者使用的评价指标，结合供试种群出现的衰退特征，将烟蚜茧蜂的子代僵蚜量、成蜂寿命、羽化率、性比、体型设为退化评价指标。寄生蜂的后足胫节骨化程度高，在成蜂死亡后不易变形，且长度与体型大小呈正相关，因此常作为衡量寄生蜂体型的指标^[20]。子代僵蚜量和羽化率是烟蚜茧蜂繁殖力的体现，直接影响着烟蚜茧蜂人工饲养中的扩繁效率和田间防治效果^[21]。成蜂寿命和体型是烟蚜茧蜂生存力的体现^[22]，而性比是寄生蜂种群稳定的关键因素，Crozier^[23]在昆虫的进化遗传中提到，寄生蜂的退化过程中，往往伴着雄性个体的减少、

雌性个体的增多。从试验数据可以看出,烟蚜茧蜂的子代僵蚜量、羽化率、体型在 $F_1\sim F_7$ 代变化幅度不大, F_7 代后出现了明显的衰退现象,子代僵蚜量的衰退最明显,而且在扩繁实践中容易测得,在扩繁中可将烟蚜茧蜂的寄生力作为评价烟蚜茧蜂退化的主要依据。

本研究测定了河北省烟蚜茧蜂种群 $F_1\sim F_{12}$ 代的退化规律,结果表明在室内饲养烟蚜茧蜂到第7代时寄生力、羽化率、体型、寿命等出现显著的衰退。对此,建议在烟蚜茧蜂的室内续代扩繁中,野外采集烟蚜茧蜂后扩繁到第7代时应实施必要的复壮措施,保障烟蚜茧蜂产品的质量和扩繁速率,以达到预期的防控效果。

参 考 文 献

- [1] 郭线茹,贺钟麟. 烟蚜 *Myzus persicae* 为害对烟叶化学成分含量及性状的影响[J]. 河南农业大学学报, 1990, 24(4): 419-427.
- [2] Zhang H Z, Li Y Y, An T, et al. Comparative transcriptome and iTRAQ proteome analyses reveal the mechanisms of diapause in *Aphidius gifuensis* Ashmead (Hymenoptera: Aphidiidae)[J]. *Frontiers in Physiology*, 2018, 9: 1697.
- [3] 李玉艳, 张礼生, 陈红印, 等. 烟蚜茧蜂滞育诱导的温光周期反应[J]. 应用昆虫学报, 2013, 50(3): 718-726.
- [4] 杨静, 邹光进, 杨颜, 等. 烟蚜茧蜂对烟蚜与蚜传病毒病的生物防控效果[J]. 贵州农业科学, 2017, 45(7): 47-50.
- [5] 安涛, 张洪志, 韩艳华, 等. 烟蚜茧蜂滞育关联基因的转录组学分析[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(5): 604-611.
- [6] 何晓冰, 马文辉, 王明鑫, 等. 我国烟蚜茧蜂防治烟蚜技术的研究进展[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(1): 42-46.
- [7] 谷星慧, 杨硕媛, 余砚碧, 等. 云南省烟蚜茧蜂防治桃蚜技术应用[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(1): 1-7.
- [8] 母少东, 廖勇, 刁朝强, 等. 烟蚜茧蜂防控烟蚜技术效果评价[J]. 安徽农业科学, 2015(33): 211-213.
- [9] Yang S, Yang S Y, Zhang C P, et al. Population dynamics of *Myzus persicae* on tobacco in Yunnan Province, China, before and after augmentative releases of *Aphidius gifuensis*[J]. *Biocontrol Science and Technology*, 2009, 19(2): 10.
- [10] 翟颖妍, 张家韬, 张强, 等. 烟蚜茧蜂寄生蚜虫种类范围研究[J]. 现代农业科技, 2017(17): 97-98.
- [11] 陈明华, 周祖基. 天牛的饲养及寄生蜂的复壮[J]. 辽宁林业科技, 2008(5): 40-42.
- [12] 张魁艳, 安淑文, 杨定. 双翅目昆虫翅的退化[J]. 应用昆虫学报, 2006, 43(2): 274-278.
- [13] 代平礼, 徐志强. 人工扩繁管氏肿腿蜂的蜂种复壮研究[J]. 应用昆虫学报, 2007, 44(3): 402-405.
- [14] 王秀琴, 屈艾, 高焕. 期实验室培养条件下果蝇复壮的初步研究[J]. 生物学通报, 2004, 39(7): 54.
- [15] 李全平, 贺媛, 刘杰明, 等. 冬虫夏草寄生昆虫选育及生殖退化研究[J]. 菌物学报, 2016, 35(4): 456-466.
- [16] 胡霞, 尹鹏, 周祖基, 等. 川硬皮肿腿蜂的复壮技术研究[J]. 环境昆虫学报, 2014, 36(5): 763-767.
- [17] 胡尊瑞, 李志强, 姜晓龙, 等. 管氏肿腿蜂不同类型种蜂的繁蜂效果研究[J]. 环境昆虫学报, 2016, 38(1): 148-153.
- [18] 刘爱萍, 王育青, 韩海斌, 等. 伞裙追寄蝇的复壮方法[P]. 中国发明专利, 2016, CN201510965188.8.
- [19] 李会, 李杨, 王艳华, 等. 白蛾周氏啮小蜂的转寄主复壮研究[J]. 山东林业科技, 2011, 41(2): 38-39.
- [20] 张洁, 张礼生, 陈红印, 等. 大规模扩繁烟蚜茧蜂的蚜类寄主筛选研究[J]. 中国生物防治学报, 2014, 30(1): 32-37.
- [21] 黄继梅, 邓建华, 龚道新, 等. 烟蚜茧蜂防治烟蚜的散放次数及其田间防治效果研究[J]. 中国农学通报, 2008, 24(10): 437-441.
- [22] 燕赛英, 李振亚, 杜孟芳, 等. 饲养条件对烟蚜茧蜂寿命和寄生能力的影响[J]. 华中昆虫研究, 2015, 11: 293-301.
- [23] Crozier H R. Evolutionary genetics of the Hymenoptera[J]. *Annual Review of Entomology*, 1977, 22(1): 263-288.