

引用格式:

梅宇宇, 张若彤, 李志文, 杨中侠. 混合菜园中南亚实蝇的寄主转移规律及不同诱杀产品评价[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2026, 52(2): 54–63.

MEI Y Y, ZHANG R T, LI Z W, YANG Z X. Host shift pattern of *Zeugodacus tau* in mixed vegetable gardens and evaluation of trapping products[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2026, 52(2): 54–63.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



混合菜园中南亚实蝇的寄主转移规律及不同诱杀产品评价

梅宇宇^{1,2}, 张若彤^{1,2}, 李志文^{1,2*}, 杨中侠^{1,2}

(1. 湖南农业大学昆虫研究所, 湖南 长沙 410128;

2. 植物病虫害生物学与防控湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128)

摘要: 南亚实蝇(*Zeugodacus tau*)是温带地区瓜类蔬菜的主要害虫,明确其在混合菜园作物间的扩散规律,并科学评价和筛选诱杀产品,是实现绿色防控的关键。于2023年南亚实蝇发生期,在长沙市望城区混合菜园进行系统调查,监测雌、雄成虫在主要作物上的种群密度和寄主果实受害率,并采用线性回归模型分析二者的关联性。在丝瓜挂果盛期,使用6种诱杀产品诱捕成虫,通过单因素方差分析评价其诱杀效果,并定量分析其性价比。结果显示,调查期间南亚实蝇经历了2次明显的定向扩散。越冬代成虫在南瓜地周围的非寄主作物豆角上具有聚集效应,于5月中下旬至6月上旬由豆角地陆续迁入南瓜地定殖;随着南瓜长势衰退及丝瓜、苦瓜长势渐盛,成虫于6月中下旬由南瓜地向丝瓜和苦瓜定向扩散。5月底至6月初以及6月24日前后是这2次扩散的关键时间节点,南亚实蝇在虫源地和迁入区种群密度实现了翻转。南瓜地繁殖的第一代成虫于7月4日开始出土,并就近迁入丝瓜地栖息、觅食。调查期间,南瓜、丝瓜和苦瓜3种寄主果实受害率与南亚实蝇雌虫种群密度呈显著的线性正相关,且雌虫的拟合优度(R^2_{adj})比雄虫的大。6种供试产品中,雌雄双杀类产品中万蝇迷牌诱粘板(IVB)诱捕雌虫数量最多,雌性百分率及性价比均最高;灭雄类产品中果得刚牌诱粘剂(YZJ)的诱虫效果和性价比最佳。

关键词: 南亚实蝇; 瓜类蔬菜; 混合菜园; 成虫诱杀; 寄主转移规律

中图分类号: Q968

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2026)02-0054-10

Host shift pattern of *Zeugodacus tau* in mixed vegetable gardens and evaluation of trapping products

MEI Yuyu^{1,2}, ZHANG Ruotong^{1,2}, LI Zhiwen^{1,2*}, YANG Zhongxia^{1,2}

(1. Institute of Insect, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China; 2. Hunan Provincial Key Laboratory for Biology and Control of Plant Diseases and Insect Pests, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: The pumpkin fruit fly(*Zeugodacus tau*) is a major pest of melon vegetables in temperate regions, and clarifying its dispersal patterns among mixed vegetable gardens and scientifically evaluating and screening trapping products are key to achieving green prevention and control. A systematic survey was conducted on mixed vegetable gardens in Wangcheng District, Changsha City, during the period of occurrence of *Z. tau* in 2023. The population densities of female and male adults on major host crops, as well as the rates of host fruit damage, were monitored, and their correlations were analyzed using linear regression models. At the peak fruiting stage of luffa(loofah), six types of lure-and-kill products were used to trap adult insects. The trapping efficacy was evaluated using one-way ANOVA, and the cost-effectiveness ratios were quantitatively analyzed. The results showed that *Z. tau* experienced two distinct directional dispersal events during the survey period. The overwintering adults aggregated on cowpeas, a non-host crop around pumpkin fields. They gradually migrated from cowpea fields to colonize pumpkin fields from mid-to-late May to early June. As the growth of pumpkin

收稿日期: 2025-07-13

修回日期: 2025-09-10

基金项目: 湖南省现代农业发展专项项目(湘财农指〔2021〕42号、湘财农指〔2022〕67号)

作者简介: 梅宇宇(1998—),女,贵州绥阳人,硕士研究生,主要从事昆虫生态、害虫防治等研究, yumei63499w@163.com; *通信作者, 李志文, 博士, 讲师, 主要从事昆虫生态、害虫防治等研究, lizhw809718@aliyun.com

plants declined while luffa and bitter melon grew vigorously, the adults dispersed directionally from pumpkin fields to luffa and bitter melon fields in mid-to-late June. The results indicated that late May to early June and around June 24th were the critical time points for these two dispersal events, during which the population density of *Z. tau* underwent a reversal between the source habitat and colonized areas. First-generation adults developed in pumpkin fields began to emerge on July 4, and migrated to nearby sponge gourd fields to inhabit and feed. During the survey period, the fruit infestation rates of pumpkin, loofah, and bitter melon were significantly and linearly positively correlated with the female population density of *Bactrocera tau*. Moreover, the adjusted coefficient of determination (R^2_{adj}) was higher for females than for males. Among the six tested products, the dual-gender trapping product Wanyingmi insect viscose board (IVB) trapped the most female adults, with the highest female percentage and cost-effectiveness. For the male-targeted product Guodegang attractant adhesive (YZJ), it achieved the best trapping efficacy and cost-effectiveness.

Keywords: *Zeugodacus tau*; melon vegetables; mixed vegetable garden; adult trapping; host shifting pattern

南亚实蝇(*Zeugodacus tau*(Walker))属双翅目(Diptera)实蝇科(Tephritidae),亦称南瓜实蝇^[1-3],主要分布于亚洲热带、亚热带、暖温带及澳大利亚、南太平洋地区^[4-6],可为害葫芦科(Cucurbitaceae)和茄科(Solanaceae)等16科91种寄主植物^[7],是蔬菜、水果及坚果类作物的主要经济害虫^[8-10]。雌虫产卵于新鲜瓜、果表皮下,造成机械损伤,为其他病菌入侵提供了有利的条件;幼虫为害隐蔽,在果实内取食果肉、果瓢或种子;成虫产卵期长且世代重叠,导致防治极为困难。南亚实蝇可造成作物产量损失20%~30%,严重时达70%~80%,甚至绝收^[11-14]。因此,南亚实蝇已被多个国家列为高风险的检疫性害虫^[15-17]。

南亚实蝇虽寄主种类多,但其成功定殖依赖于适合的寄主及可供产卵的寄主果实^[18]。不同生态区的气候特点、寄主种类与布局、栽培方式等均不相同,导致南亚实蝇种群动态和为害程度等也存在差异^[19-20]。在温带地区,气温、寄主种类和数量呈周年性变化,导致该虫在越冬地点与寄主作物间进行周期性的迁移扩散。

扩散是昆虫生活史的重要组成部分,其主要动因是对食物和产卵(或交配)场所的需求^[21-24]。在混合菜园中,南亚实蝇主要寄主作物的物候、长势及适合性均存在一定的差异,从而可能导致其在作物间进行规律性的运动。扩散不仅扩大了种群的分布区,避免了近亲繁殖、种内及种间竞争^[25-26],还调整了种群的性别、年龄及遗传结构^[26-29]。因此,了解害虫的扩散模式对其监测、预测预报和防治具有重要意义^[18,30-31]。据报道,柑橘大实蝇在羽化早期及高峰期在果园和杂树林之间的交界带具有明显的聚集效应^[32-33],此交界带为柑橘大实蝇成虫的最

佳诱捕地点^[30]。RODRIGUEZ-SAONA等^[34]对高丛蓝莓农业生态系统进行了研究,发现在毗邻森林的蓝莓田,蓝莓绕实蝇(*Rhagoletis mendax*)密度最高。由于其向蓝莓田的定殖速率较慢,且定殖前在田块边缘的栖息地进行聚集,因此边缘地带很适合进行种群监测,采用周界处理进行防控也相当有效^[18,35-37]。目前,国内外尚缺乏南亚实蝇寄主转移或扩散方面的详细报道。付翠玉等^[38]观察发现,该虫活动范围广,常栖于作物或果树上,产卵期则飞往临近果园。有研究发现,苦瓜园边行道树(桂花)上雌虫密度较苦瓜地的显著增加,前者是后者的1.87倍^[39]。

在实蝇害虫综合治理(IPM)方案中,成虫诱杀是非常关键的环节,主要涉及灭雄技术、蛋白饵剂诱杀、色板诱杀及其综合应用等^[6]。灭雄技术已在世界范围内成功应用于实蝇类害虫的防控,其作用机制是将引诱剂置于诱捕器中,大量诱杀雄虫,以减少雌虫交配的机会,造成不育,从而抑制实蝇繁殖,以达到扑杀的目的^[20,40]。蛋白饵剂诱杀和色板诱杀是利用实蝇成虫对食物(或气味)和颜色的趋性进行诱杀,几乎对所有实蝇的雌、雄成虫均具有良好的诱捕效果^[41-42]。目前国内引诱剂、诱捕器等实蝇诱捕设备种类繁多,诱虫效果差异显著^[42]。针对不同性质的诱杀产品(按对雌雄成虫的诱集效果可分为灭雄类和雌雄双诱类),其诱捕效果的评价标准也略有不同。赵菊鹏等^[43]分别对灭雄类和雌雄双杀类进行了效果评价;邱飞等^[44-48]分别比较了雄虫诱捕、混合诱捕下两性成虫的诱捕总量。除了关注诱虫总量之外,学者们对种群的性别结构(或雌虫诱集量)也进行了研究^[43,49-51]。

本研究以湖南地区混合菜园为试验场地,旨在探讨南亚实蝇在主要作物间的运动情况,并初步筛

选较优的成虫诱杀产品, 以期为南亚实蝇的监测、预警及绿色防控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

调查的混合菜园(海拔28 m, 28°14'N, 112°41'E)位于湖南省长沙市望城区西南约20 km处, 属亚热带季风气候。该地年平均气温为18.9 °C(极端高温为40 °C), 年降水量为1 390.8 mm, 总日照时间为1 553.1 h。调查作物中, 南瓜地位置居中, 种植面积约600 m², 人字架栽培; 东面为丝瓜地, 种植面积约5 000 m², 中间有乡道相隔, 平棚架栽培; 西南角和西面分别为豆角地和黄瓜地(均约300 m²), 均为人字架栽培。此4种作物相邻, 其北面有小河, 东西走向, 苦瓜位于河对面西北部, 种植面积约1 000 m², 相距约150 m, 采用竹枝立架栽培。豆角开花结实较南瓜早约1周, 南瓜和黄瓜挂果期基本相同(5月中旬至6月下旬), 丝瓜和苦瓜挂果较迟, 两者基本同步(6月中旬始), 但丝瓜挂果持续时间(一直持续到9月底)较苦瓜(8月上旬)长。园内其他种植面积较大的作物有辣椒、茄子、萝卜、茼蒿、甘蓝、水稻及盆栽药材等, 道路两旁有少量行道树。周围1 000 m范围内无大面积其他寄主作物。2023年整个调查期间, 仅于5月26日在南瓜地进行喷药处理, 供试作物按当地常规模式正常管理, 除本研究调查取样外, 无额外防治措施。

1.2 试验材料

第五代万蝇迷瓜果实蝇诱粘板(简称诱粘板, IVB)购自广州多宇多生物科技有限公司(环保PP纸, 规格为428 mm×190 mm, 价格为108元/100张, 用量为20~30张/667 m²), 作用方式为色诱+性信息素。普通黄板(YST)购自山东菏泽农业科技有限公司(规格为200 mm×250 mm, 价格为42.75元/100张, 用量为50张/667 m²)。蛋白饵剂(EBS)购自美国ERA公司(5 g/粒, 5元/粒^[52])。果瑞特实蝇诱杀剂(简称诱杀剂, GFB)购自湖北果瑞特生物技术有限公司(180 mL/袋, 价格为18元/袋, 用量为180 mL/667 m², 取1份原药+2份水稀释备用)。果得刚瓜果实蝇追踪诱粘剂(简称诱粘剂, YZJ)购自东莞牛元生物科技有限公司(450 mL/瓶, 38元/瓶, 用量为150 mL/667 m²),

其原理为利用物理方法使天然黏胶缓释植物提取气味物质诱引昆虫。万蝇迷瓜果实蝇诱引剂(即诱蝇酮, Cue), 购自广州多宇多生物科技有限公司(规格为2 mL/支, 价格为23.8元/10支)。万蝇迷牌果蝇诱捕器购自广州多宇多生物科技有限公司(材质为环保软质橡胶, 黑色经典款, 价格为3.1元/瓶, 使用寿命3~4年)。

1.3 试验方法

1.3.1 南亚实蝇在作物间的扩散路径调查

调查时间为2023年5月18日(南瓜第一批果实果径达20~30 mm)至7月30日, 每5 d调查1次, 共调查14次(豆角枯萎、南瓜和黄瓜停止挂果后依次结束在该作物上的调查)。豆角地和黄瓜地各挂诱粘板3块, 均匀分布; 南瓜、丝瓜和苦瓜地各挂5块, 采用五点取样法, 每点挂板1块。由于丝瓜地面积大, 诱粘板设置于靠近南瓜地一侧。诱粘板下端距地面高约1.5 m, 板面与瓜架走势平行(由于丝瓜是平棚架栽培, 诱粘板悬挂于瓜架下方), 以保证无枝叶遮挡。相邻诱粘板距离≥8 m。上午收、换诱粘板并编号, 之后将其带回实验室检查实蝇种类、性别并计数。

1.3.2 寄主作物果实受害率调查

采用隔畦取样法调查果实受害率(即实蝇为害果实数量在调查果实总数中的占比), 调查时间与诱粘板回收时间保持一致。调查由4人同步开展, 设置4组生物学重复。丝瓜仅调查诱粘板悬挂侧(邻南瓜一侧); 南瓜、丝瓜、苦瓜的单次调查面积均约300 m²。黄瓜采用全田普查方式, 因该作物在本混合菜园中基本无受害情况, 相关数据不纳入后续数据分析。逐畦统计落果、外观异常果实(畸形、着色不均、具刺孔、流胶及腐烂等)与健康果实数量。对落果和外观异常果实, 就地或带回实验室解剖检测: 果实出现实蝇典型危害特征(刺孔、流胶), 或解剖发现卵粒、幼虫, 均判定为实蝇受害果。

田间调查同时发现, 园区果实亦受果蝇侵染。该类果蝇多在果蒂、果实伤口处的表皮产卵, 幼虫后气门呈纯黑色, 可据此特征区分其与实蝇为害果实。

1.3.3 南亚实蝇成虫诱杀试验

于8月13日至8月25日在丝瓜地进行成虫诱杀

试验(丝瓜仍处于挂果盛期),调查间隔期为4 d(较短的间隔期可保证诱粘板等的诱捕效果不受诱捕量的影响),共调查3次。试验设诱粘板、蛋白饵剂、普通黄板、诱杀剂、诱粘剂和诱蝇酮共6个处理。试验采取随机区组设计,即选取5畦试验田,每畦等距离分成6个小区,随机悬挂诱捕器。诱捕器悬挂方式见1.3.1节,诱剂用量遵照产品说明,相邻诱捕器距离 ≥ 8 m。每次调查收集诱捕到的所有实蝇,并更换诱捕器或诱芯。将捕获物装入封口袋并按诱捕器编号后带回实验室,统计实蝇种类、性别和数量。

1.4 数据统计与分析

采用Excel 2010、SPSS 13.0和Origin 9.0进行数据分析与作图。果实受害率为实蝇危害果数占调查总果数的百分比;雌虫百分率为雌虫诱捕量占雌、雄虫总诱捕量的百分比。采用线性回归分析南亚实蝇雌、雄虫种群跟随关系,以及雌、雄虫种群密度与果实受害率的相关性;运用单因素方差分析对比不同诱杀产品的诱集效果。数据分析前,对虫口计数数据进行对数(lg)转换,对百分率数据进行反正弦(Asin)转换。

2 结果与分析

2.1 南亚实蝇种群密度时空格局

在实蝇扩散试验中,分别诱集到南亚实蝇、瓜实蝇和具条实蝇6 024头、3头和38头,其中南亚实蝇占99.3%,为优势种。首次(5月23日)调查发现,豆角地的南亚实蝇种群密度高达(22.7 $\pm$ 8.1)头/板,雌虫百分率为(71.7 $\pm$ 2.7)%;南瓜地的种群密度为(11.6 $\pm$ 4.8)头/板,雌虫百分率略低,为(60.5 $\pm$ 15.4)%。南亚实蝇在5种作物上的种群动态变化见图1。由图1可见,自调查开始至6月13日,南亚实蝇多在南瓜地和豆角地活动,黄瓜、丝瓜和苦瓜地的诱虫量极少,平均每板诱虫量不超过5头。此期间南亚实蝇发生了一次明显的寄主定向转移,即由非寄主作物(豆角)向寄主作物(南瓜)转移,其关键的时间节点在5月底至6月初,种群密度在2种寄主间实现了翻转。6月18日南瓜始现黄叶,长势开始衰退,南瓜地的实蝇种群密度开始下降;临近的黄瓜地的实蝇种群密度短暂急剧增加后又持续下降;而丝瓜地的实蝇种群密度增长总体上较为稳定,在6月13日至6月24日的3次调查中,实蝇种群密度分别为(0.8 $\pm$ 0.4)、

(5.4 $\pm$ 0.8)和(18.4 $\pm$ 2.0)头/板,后一次调查时的实蝇种群密度分别是前一次调查的6.8倍和3.4倍。距离较远的苦瓜地的实蝇种群密度增长趋势与丝瓜地的类似,但在时间上略有推迟,6月18日的实蝇种群密度为(2.2 $\pm$ 0.9)头/板,至6月24日增加到(18.8 $\pm$ 3.9)头/板,为6月18日的8.5倍。这表明田间第2次寄主转移发生在南瓜长势衰退期,即6月中下旬,由南瓜向丝瓜和苦瓜进行定向扩散。至6月24日,后两者实蝇种群密度分别为(18.4 $\pm$ 2.0)头/板和(18.8 $\pm$ 3.9)头/板,略高于南瓜的(16.2 $\pm$ 4.5)头/板,实现了翻转。由此可见,调查期间南亚实蝇在混合菜园发生了2次明显的寄主定向转移。

由图1还可见,第2次寄主转移后,丝瓜地与苦瓜地的实蝇种群密度均进入稳定阶段,对应时段为6月24日至7月4日,其间,丝瓜地实蝇种群密度分别为(18.4 $\pm$ 2.0)、(17.6 $\pm$ 1.2)和(21.4 $\pm$ 3.1)头/板,苦瓜地的分别为(18.8 $\pm$ 3.9)、(19.6 $\pm$ 4.6)和(21.4 $\pm$ 5.7)头/板。此后,南亚实蝇种群密度在2种寄主上均经历一个剧烈上升期(7月上旬)和下降期(7月中旬)。7月9日,丝瓜地和苦瓜地的实蝇种群密度分别为(41.8 $\pm$ 8.4)头/板和(51.4 $\pm$ 8.2)头/板,相较于上一次调查,二者实蝇种群密度分别上涨95%和140%。在随后的2次调查(7月14日和7月19日)中,丝瓜地的实蝇种群密度持续下降,依次降至(17.8 $\pm$ 4.8)头/板和(10.6 $\pm$ 4.0)头/板,分别下降至前一调查时段的42.6%和59.6%。苦瓜地的下降期相对较短且降幅相对平缓,7月14日下降至前一调查时段的76.3%,为(39.2 $\pm$ 7.0)头/板。下降期后(7月下旬),丝瓜地的实蝇种群密度始终比苦瓜地的低。

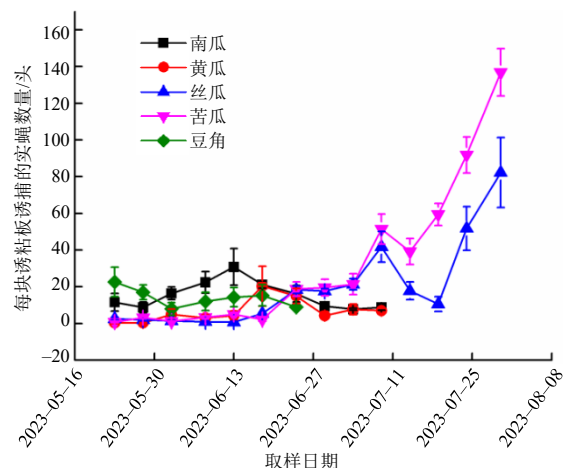


图1 南亚实蝇在5种作物上的种群动态变化

Fig. 1 The population dynamics of *Zeugodacus tau* on five crops

2.2 果实受害率与南亚实蝇两性成虫种群密度的关系

整个调查期间,南亚实蝇占99.3%,瓜实蝇只诱集到3头,其中雌虫1头。在成虫诱杀试验中,6种诱捕器共诱集到瓜类实蝇9 226头,其中南亚实蝇、瓜实蝇和具条实蝇分别占89.90%、0.02%和10.08%。930头具条实蝇中,雌虫仅占0.65%(6头),远低于南亚

实蝇雌虫占比(12.21%),说明具条实蝇并不为害瓜类蔬菜,这与李志文等^[39]的研究结果相符。由此可见,本试验中瓜类果实受害主要由南亚实蝇造成。

南亚实蝇两性成虫在主要寄主作物(南瓜、丝瓜和苦瓜)间的变化趋势相似(图2)。线性回归分析结果显示,3种作物上的雄虫密度与雌虫密度均呈显著线性正相关(回归系数 $b>0$, $P<0.05$),且苦瓜、丝瓜、南瓜的拟合优度(R^2_{adj})依次降低(表1)。

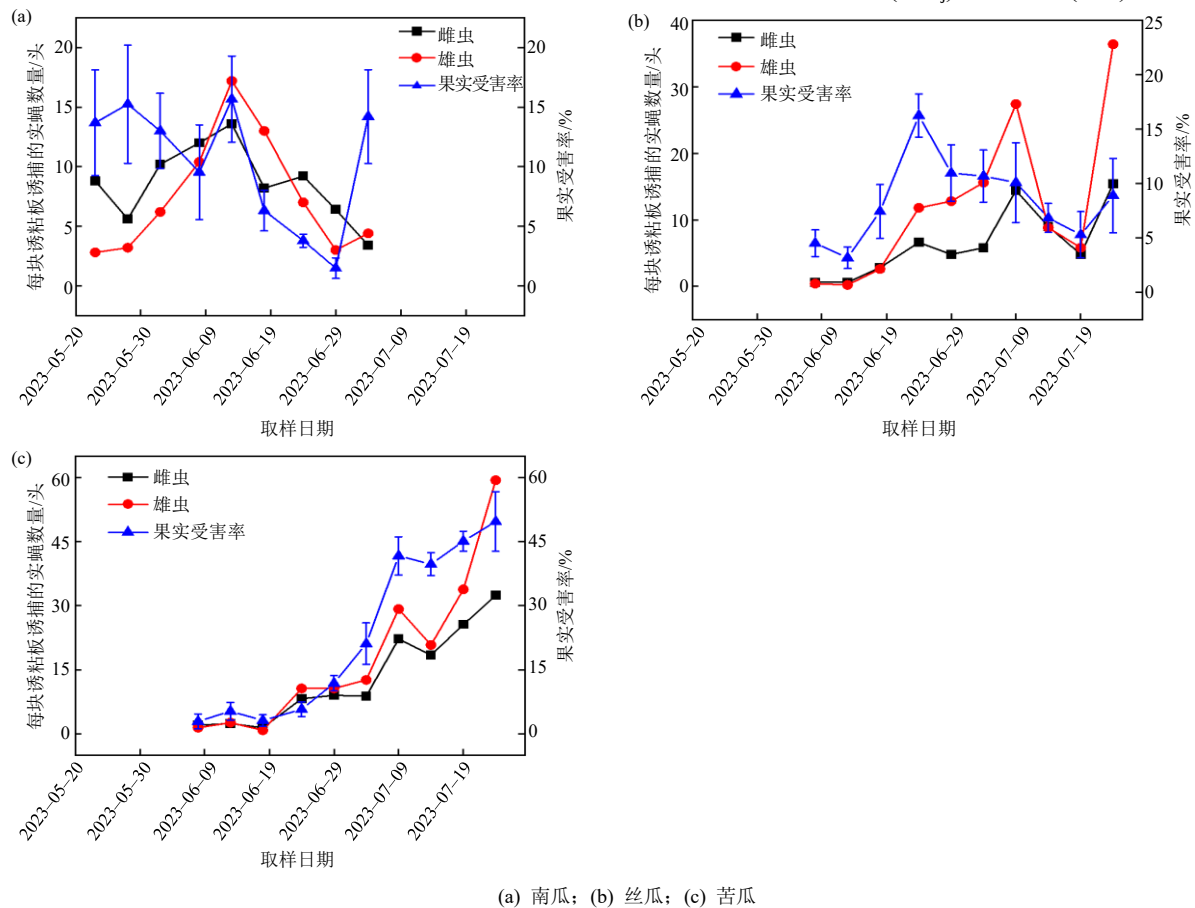


图2 南亚实蝇两性成虫种群密度及寄主果实受害率

Fig. 2 Two-sex adult population density of *Zeugodacus tau* and host fruit infestation rate

表1 南亚实蝇两性成虫种群密度的关系

寄主植物	样本量/头	参数		拟合效果		
		<i>a</i>	<i>b</i>	残差平方和	R^2_{adj}	<i>P</i>
南瓜	10	-1.984	1.108	101.178	0.473	0.016 8
丝瓜	10	-4.017	2.779	481.712	0.876	<0.000 1
苦瓜	14	-1.093	1.440	244.866	0.965	<0.000 1

注: 回归方程为 $y=a+bx$ 。其中, y 为雄虫密度; x 为雌虫密度; a 为截距; b 为回归系数。

果实受害率的季节变化与南亚实蝇雌雄成虫的密度变化趋势基本一致(图2和表2)。南瓜地于5月26日开展化学药剂防治,虫口密度受到明显抑制,且雌虫受影响更为显著,因此,5月28日调查结果显

示,南瓜果实受害率与雌虫密度呈负相关(图2(a))。6月13日前,丝瓜地的南亚实蝇种群密度极低,仅偶尔诱捕到少量成虫(图1),且以雌虫为主,此时丝瓜处于挂果初期,可供利用的果实数量有限,因而果

实受害率处于较低水平(图2(b))。尽管如此,调查期间南瓜、丝瓜和苦瓜3种寄主果实受害率总体上仍然与南亚实蝇雌虫密度呈显著线性正相关($P<0.05$,表2),且其拟合优度比雄虫的高(表2)。

表2 寄主果实受害率与南亚实蝇种群密度的关系

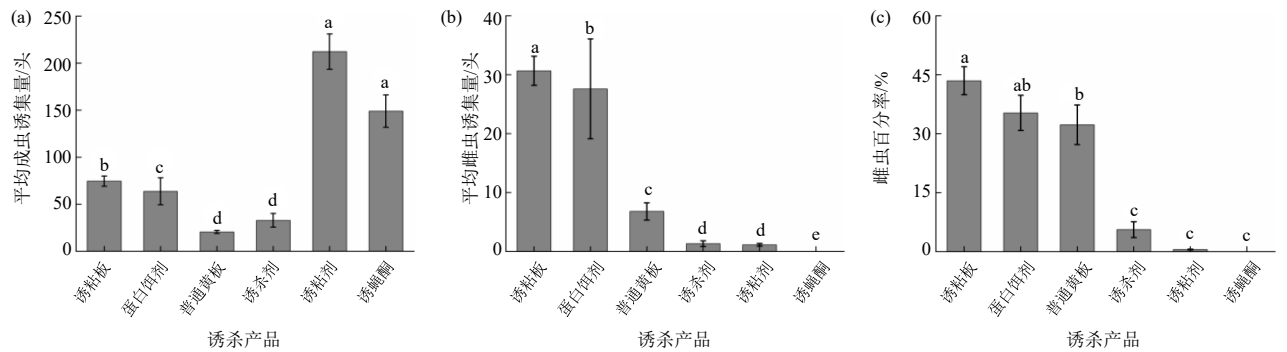
Table 2 Relationship between host fruit infestation rate and population density of <i>Zeugodacus tau</i> adults							
寄主植物	类别	样本量/头	参数		拟合效果		
			<i>a</i>	<i>b</i>	残差平方和	R^2_{adj}	<i>P</i>
南瓜	雌虫	9	-3.967	1.344	15.223	0.700	0.003 0
	雄虫	9	1.298	0.776	45.106	0.111	0.200 1
丝瓜	雌虫	13	3.545	0.494	16.615	0.616	0.000 9
	雄虫	13	4.075	0.169	20.939	0.516	0.003 4
苦瓜	雌虫	9	-6.416	1.514	220.760	0.497	0.020 5
	雄虫	9	-4.878	1.052	235.776	0.462	0.026 3

注: 回归方程为 $y = a + bx$ 。其中, y 为寄主果实受害率; x 为南亚实蝇种群密度; a 为截距; b 为回归系数。

2.3 不同诱杀产品对南亚实蝇成虫的诱杀效果

不同诱杀产品的南亚实蝇诱集量见图3。由图3(a)可见, 诱粘剂和诱蝇酮的平均成虫诱集量最高, 分别为(212.3±18.7)头和(149.0±17.3)头; 诱粘剂和诱蝇酮、诱粘板、蛋白饵剂、诱杀剂和普通黄板的平均成虫诱集量依次降低。由图3(b)可见, 诱粘板、蛋白饵剂、普通黄板、诱杀剂和诱粘剂、诱蝇酮的平均雌虫诱集量依次降低, 其中, 诱粘板的平均雌虫诱集量为(30.7±2.5)头, 是普通黄板((6.8±1.5)头)的4.5倍, 诱蝇酮对雌虫无诱集效果。不同诱杀产品所诱集南亚实蝇的雌虫百分率存在显著差异。其中, 诱粘板所诱集南亚实蝇的雌虫百分率最高, 为43.5%; 蛋白饵剂为35.3%, 普通黄板为32.3%。诱杀剂和诱粘剂诱集的南亚实蝇以雄虫为主, 雌虫百分率极低, 不超过5.6%, 二者与诱蝇酮(雌虫百分率为0%)间均无显著差异($P>0.05$)。

由此可见, 诱粘板、蛋白饵剂和普通黄板的平均雌虫诱集量、雌虫百分率均显著高于其他诱杀产品的(图3(b)和图3(c)), 对南亚实蝇雌雄成虫均有良好诱捕效果, 因此, 将其归为雌雄双杀类。诱粘剂仅能捕获少量雌虫, 诱蝇酮对雌虫基本无诱集作用, 诱杀剂的平均雌虫诱集量与雌虫百分率也与前两者相近, 组间差异不显著(图3), 故将这3类产品归为灭雄类。在此基础上, 对6种供试诱杀产品的诱杀效果开展定量评价。结果表明(表3), 雌雄双杀类中, 蛋白饵剂由于购自国外, 其性价比(南亚实蝇诱集量/防治成本)最低, 仅为2.8头/元, 与国内商品化产品不具可比性。诱粘板不仅诱蝇量最高, 为普通黄板的4.5倍, 其性价比亦最高, 单位成本诱蝇量为28.4头/元, 是后者的1.8倍。灭雄类产品中, 诱粘剂、诱蝇酮、诱杀剂的诱蝇量和性价比均依次降低, 其中诱粘剂单个诱捕器诱蝇量和性价比分别是诱蝇酮的1.4倍和1.7倍。



不同小写字母表示诱杀产品间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

(a) 平均成虫诱集量; (b) 平均雌虫诱集量; (c) 雌虫百分率

图3 不同诱杀产品的南亚实蝇诱集量

Fig. 3 Number of *Zeugodacus tau* adults trapped by different trapping products

表3 供试成虫诱杀产品效果评价

Table 3 Effect evaluation of the tested adult attractant products									
产品类型	产品	单价/ 元	每667 m ² 诱捕 器数量/个	每667 m ² 防治 成本/(元·次 ⁻¹)	每年防治次数	每年每667 m ² 防治成本/元	单个诱捕器 诱蝇量 ^a /头	每年每667 m ² 诱蝇量 ^a /头	单位成本诱蝇 量 ^a /(头·元 ⁻¹)
雌雄双杀类	诱粘板	1.080	30	32.4	12 ^d	388.8	30.7	11 052	28.4
	蛋白饵剂	5.000	10	100.0	12 ^d	1 200.0	27.6	3 312	2.8
	普通黄板	4.275	50	21.4	12 ^d	256.5	6.8	4 080	15.9
灭雄类	诱杀剂	18.000	10	18.0	16 ^e	298.3 ^j	31.5	5 040	16.9
	诱粘剂	38.000	10	9.5	16 ^e	152.0	211.2	33 792	222.3
	诱蝇酮	2.380	10	23.8 ^b 7.9 ^c	8 ^f	89.4 ⁱ	149.0	11 920	133.3

注：a表示雌虫诱集量(雌雄双杀类)或雄虫诱集量(灭雄类)；b表示第1次防治成本；c表示第1次以后，各次防治成本；d表示平均每10 d防治1次(一年防治4个月)；e表示每周防治1次；f表示每15 d添加1次诱剂；j表示防治成本包括诱捕器折旧费，按使用寿命为3年进行计算。

3 结论与讨论

3.1 南亚实蝇在混合菜园的扩散模式

试验期间，南亚实蝇在混合菜园经历了2次定向寄主转移，第1次是由非寄主植物向寄主植物转移，其关键时间节点为5月底至6月初；第2次转移主要发生在6月下旬(6月24日前后)，是寄主植物间的转移，这种转移与寄主植物物候密切相关(图1)。

第2次寄主转移后，丝瓜和苦瓜上的南亚实蝇种群先进入稳定阶段(6月24日至7月4日)，随后种群密度快速攀升(7月4日至7月9日)，表明田间有成虫大量迁入。这与陈运康等^[14]在湖南攸县的监测结果一致，两地均在6月下旬观测到南亚实蝇诱捕量明显上升。本研究区与攸县种群峰值密度分别为稳定期的2.0倍、2.4倍，据此判断种群增长并非由菜园外虫源迁入引发。已有研究表明，湖南地区的南亚实蝇完成1个世代需21~35 d^[14]。本试验中，种群密度骤增时段距离越冬代成虫产卵始盛期约35 d，从发生时间来看，菜园种群数量上升主要由南瓜地第一代成虫羽化所致。

丝瓜地与南瓜地相邻，而苦瓜地与南瓜地和丝瓜地相距约150 m。扩散是昆虫逃离胁迫环境、避免种内与种间竞争的重要方法，对食物和产卵(或交配)场所的需求是昆虫扩散的主要动因。当食物丰富或不受外界干扰时，昆虫往往局限于食物源附近，扩散距离一般较短^[21,53]。据报道，不同日龄的实蝇飞翔能力不同，其中，桔小实蝇在性成熟期(15日龄)时的飞行能力最强^[54-55]；柑橘大实蝇在橘园内外存在往返扩散的活动规律^[56]，其雌虫卵巢发育在约15日龄达到成熟高峰，并于18日龄左右回迁橘园^[53]。

本研究中，7月上旬南瓜已处于挂果末期，幼果稀疏，叶片基本黄化，无法为刚羽化成虫提供足够适合的食物和良好的栖息环境，因此，飞行能力较弱的初羽化成虫就近迁入长势茂盛的丝瓜地进行取食和栖息，符合理论推测，但需进一步详细论证。

第2次定向扩散发生之前(6月13日前)，南亚实蝇主要聚集在南瓜地和豆角地。丝瓜、苦瓜植株虽不适宜其栖息和取食，但田间仍可诱捕到少量个体，且以雌虫居多(图1)。已有研究表明，南亚实蝇雌雄成虫分布格局存在差异：雌虫以个体群为基本分布单元，且个体群呈随机分布^[39]。由此推测，除定向扩散外，雌虫为缓解种内竞争、寻觅适宜产卵位点，会在主要栖息区域周边发生随机扩散。第2次定向扩散后，苦瓜上的南亚实蝇种群密度(图1)和果实受害率(图2)始终比丝瓜上的高，该现象一方面可能由虫体自由扩散不均衡引起，另一方面也可能因苦瓜成熟后果实变红变软，对雌虫吸引力更强所致。

7月中旬，南亚实蝇在丝瓜地和苦瓜地均经历了一个种群密度下降期，苦瓜地下降期相对较短且不如丝瓜地剧烈(图1)。这可能是受高温干旱的影响。据报道，瓜实蝇和枣实蝇(*Carpomya vesuviana*)最适飞行温度分别为20~30℃和28~34℃^[57-58]，南亚实蝇在日最高温度为33.4℃时诱捕量最大^[14]，当温度超过34℃时，成虫大量死亡或转移至别处，而且，刚羽化成虫的耐饥饿和耐饥渴能力更弱^[2]。本研究中，7月9日至7月13日连续5 d日最高温度高达37℃，日均温度为33.0~33.5℃，为整个调查季节最高温，因而导致实蝇诱集量大幅回落。丝瓜地由于就近迁入了大量刚羽化的成虫，其受影响的程

度更为剧烈和持久(图1)。

3.2 成虫诱杀产品效果评价

实蝇害虫综合防治(IPM)体系中的重要环节,主要包括灭雄技术、蛋白饵剂诱杀、色板诱杀及其组合应用^[6]。灭雄技术已在全球实蝇防控中得到广泛应用,日本、印度尼西亚均有成熟应用案例^[15,59]。该技术通过性信息素大量诱杀雄虫,降低雌虫交配概率,抑制种群繁殖,进而达到扑灭的目的^[40]。由于性信息素对雌虫没有效果,未被诱捕的雄虫可多次交配,因此不能从根本上防治实蝇害虫^[20,60]。灭雄类产品受成虫迁移、灭杀不彻底等限制,仅在雄虫种群基本绝迹时才能实现有效防控,单独使用防效欠佳。蛋白饵剂和色板诱杀可同时诱捕雌雄成虫,应用优势更突出^[41-42]。本研究中,南亚实蝇在南瓜、丝瓜和苦瓜3种寄主作物上的为害率与雌虫密度均呈显著的线性正相关($P<0.05$),且其拟合优度高于雄虫的(表2)。鉴于南亚实蝇繁殖力极强^[8,10],雌虫种群数量的下降能有效降低果实受害程度。综上,若未结合果实受害率与实际防效开展对比试验,仅依靠雄虫或雌雄成虫诱捕量评价灭雄型、雌雄兼杀型产品的防控效果,存在明显局限性,评价方法并不合理。目前国内实蝇诱杀产品(或装置)种类多,诱虫效果差异大^[42]。有些产品的作用成分和作用机制也未详细说明。因此,对各类产品进行科学、客观的评价是避免无效防治,保证农产品品质以及高产、稳产的关键。通常情况下,效果评价需要调查寄主果实受害率、测算防治效果或防治收益^[61],这往往比较费时、费工。本研究根据不同产品对雌雄成虫的作用效果,将其划分为雌雄双杀类或灭雄类,再按类别比较其对南亚实蝇的诱杀效果及其性价比,可初步、快速筛选出对南亚实蝇比较有效的产品,为构建科学的诱杀策略及制定绿色防控技术规程提供依据。

万蝇迷牌诱粘板由于添加了性信息素,理论上其雌虫百分率应低于蛋白饵剂和普通黄板的。但本研究结果显示,此产品不仅雌虫诱集量最高(图3(b)),且雌虫百分率显著高于普通黄板的,但其与蛋白饵剂间则无显著差异(图3(c))。这表明性信息素

对南亚实蝇雄虫可能不起作用。鉴于其良好的诱虫效果,且操作方便,该方法后续可用于研究南亚实蝇两性成虫扩散规律及机制。

参考文献:

- [1] 陈海东,周昌清,杨平均,等. 瓜实蝇、桔小实蝇、南瓜实蝇在广州地区的种群动态[J]. 植物保护学报, 1995, 22(4): 348-354.
- [2] 张清源,林振基,刘金耀,等. 南亚寡鬃实蝇生物学特性[J]. 植物检疫, 1991, 5(3): 164-167.
- [3] 周昌清,梅流柱. 瓜实蝇和南瓜实蝇的种内竞争[J]. 中山大学学报(自然科学版), 1999, 38(2): 60-64.
- [4] HU F, ZHANG G N, JIA F X, et al. Morphological characterization and distribution of antennal sensilla of six fruit flies(Diptera : Tephritidae)[J]. Annals of the Entomological Society of America, 2010, 103(4): 661-670.
- [5] 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.
- [6] JALEEL W, LU L H, HE Y R. Biology, taxonomy, and IPM strategies of *Bactrocera tau* Walker and complex species(Diptera: Tephritidae) in Asia: a comprehensive review[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2018, 25(20): 19346-19361.
- [7] FLETCHER B S. The biology of dacine fruit flies[J]. Annual Review of Entomology, 1987, 32: 115-144.
- [8] JALEEL W, YIN J, WANG D, et al. Using two-sex life tables to determine fitness parameters of four *Bactrocera* species(Diptera: Tephritidae) reared on a semi-artificial diet[J]. Bulletin of Entomological Research, 2018, 108(6): 707-714.
- [9] SHEN K, HU J, WU B, et al. Competitive interactions between immature stages of *Bactrocera cucurbitae* (Coquillett) and *Bactrocera tau*(Walker)(Diptera : Tephritidae) under laboratory conditions[J]. Neotropical Entomology, 2014, 43(4): 335-343.
- [10] SINGH S K, KUMAR D, RAMAMURTHY V V. Biology of *Bactrocera*(*Zeugodacus*) *tau*(Walker) (Diptera : Tephritidae)[J]. Entomological Research, 2010, 40(5): 259-263.
- [11] HASYIMA, MURYATIM, DE KOGEL W J. Population fluctuation of adult males of the fruit fly, *Bactrocera tau* (Walker)(Diptera: Tephritidae) in passion fruit orchards in relation to abiotic factors and sanitation[J]. Indonesian Journal of Agricultural Science, 2016, 9(1): 29.
- [12] PRABHAKAR C S, SOOD P, MEHTA P K, et al.

- Distribution and developmental biology of fruit flies infesting cucurbits in the north-western Himalaya[J]. *Journal of Insect Science*, 2009, 22(3): 300–308.
- [13] SOOD P, PRABHAKAR C S, MEHTA P K. Eco-friendly management of fruit flies through their gut bacteria[J]. *Journal of Insect Science*, 2010, 23: 275–283.
- [14] 陈运康, 梅宇宇, 杨中侠, 等. 湖南南瓜类实蝇的发生及其关键气象影响因子[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2022, 48(4): 443–448.
- [15] OHNO S, TAMURA Y, HARAGUCHI D, et al. First detection of the pest fruit fly, *Bactrocera tau*(Diptera: Tephritidae), in the field in Japan: evidence of multiple invasions of Ishigaki Island and failure of colonization[J]. *Applied Entomology and Zoology*, 2008, 43(4): 541–545.
- [16] HOSSAIN M A, HALLMAN J G, KHAN A S, et al. Phytosanitary irradiation in South Asia [J]. *Journal of Entomology and Nematology*, 2011, 3(3): 44–53.
- [17] ZHAN G P, REN L L, SHAO Y, et al. Gamma irradiation as a phytosanitary treatment of *Bactrocera tau*(Diptera: Tephritidae) in pumpkin fruits[J]. *Journal of Economic Entomology*, 2015, 108(1): 88–94.
- [18] DRUMMOND F A, COLLINS J A, BUSHMANN S L. Movement of *Rhagoletis mendax*(Diptera: Tephritidae) in fruit-bearing wild blueberry fields. Part II[J]. *Journal of Economic Entomology*, 2020, 113(3): 1323–1336.
- [19] 许恒瑜, 何衍彪, 詹儒林, 等. 我国南方实蝇类害虫概述[J]. *热带农业科学*, 2015, 35(3): 62–69, 76.
- [20] 张艳, 陈俊谕. 南亚果实蝇国内研究进展[J]. *热带农业科学*, 2018, 38(11): 70–77.
- [21] DINGLE H. Migration strategies of insects [J]. *Science*, 1972, 175(4028): 1327–1335.
- [22] PROKOPY R J, COOLEY S S, PROKOPY J J, et al. Interactive effects of resource abundance and state of adults on residence of apple maggot(Diptera: Tephritidae) flies in host tree patches[J]. *Environmental Entomology*, 1994, 23(2): 304–315.
- [23] PROKOPY R J, DUAN J J, VARGAS R I. Potential for host range expansion in *Ceratitis capitata* flies: impact of proximity of adult food to egg-laying sites[J]. *Ecological Entomology*, 1996, 21(3): 295–299.
- [24] SENG E, TYSON R, ROITBERG B D, et al. Influence of habitat structure and resource availability on the movements of *Rhagoletis indifferens*(Diptera: Tephritidae)[J]. *Environmental Entomology*, 2009, 38(3): 823–835.
- [25] CLOBERT J, DANCHIN E, DHONDT A A, et al. Dispersal[M]. New York, USA: Oxford University Press, 2001.
- [26] NEWTON I, BROCKIE K. The speciation and biogeography of birds[M]. Amsterdam, Netherlands: Academic Press, 2003.
- [27] HANSKI E, GILPIN M E. Metapopulation biology[M]. San Diego, USA: Academic Press, 1997.
- [28] LESTER S E, RUTTENBERG B I, GAINES S D, et al. The relationship between dispersal ability and geographic range size[J]. *Ecology Letters*, 2007, 10(8): 745–758.
- [29] SUGDEN A, PENNISI E. When to go, where to stop[J]. *Science*, 2006, 313(5788): 775.
- [30] 梁凌云, 温强, 王珊珊, 等. 柑橘大实蝇成虫最佳诱捕时间和诱捕地点[J]. *植物保护学报*, 2023, 50(2): 501–506.
- [31] 周国法. 昆虫种群的生长: 扩散模型研究[J]. *生物数学学报*, 1996, 11(4): 172–175.
- [32] WANG S Q, ZHANG H Y, LI Z L. Small-scale spatio-temporal distribution of *Bactrocera minax*(Enderlein) (Diptera: Tephritidae) using probability Kriging[J]. *Neotropical Entomology*, 2016, 45(5): 453–462.
- [33] 李杖黎, 李涛, 石章红, 等. 柑橘大实蝇成虫的时空分布与产卵规律[J]. *华中农业大学学报*, 2012, 31(5): 609–612.
- [34] RODRIGUEZ-SAONA C R, POLK D, OUDEMANS P V, et al. Landscape features determining the occurrence of *Rhagoletis mendax*(Diptera: Tephritidae) flies in blueberries[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, 258: 113–120.
- [35] COLLINS J A, DRUMMOND F A. Field-edge based management tactics for blueberry maggot in lowbush blueberry [J]. *Small Fruits Review*, 2004, 3(3/4), 285–293.
- [36] DRUMMOND F A, COLLINS J A. Temporal dynamics of the blueberry maggot fly(Diptera: Tephritidae) and its primary parasitoid, *Biosteres melleus*(Hymenoptera: Braconidae), in the maine wild blueberry system[J]. *Journal of Economic Entomology*, 2020, 113(2): 720–730.
- [37] RENKEMA J M, CUTLER G C, GAULS O. Field type, trap type and field-edge characteristics affect *Rhagoletis mendax* captures in lowbush blueberries[J]. *Pest Management Science*, 2014, 70(11): 1720–1727.
- [38] 付翠玉, 陈朝阳. 南瓜实蝇生活习性及其防治试验[J]. *植物保护*, 1992, 18(1): 23–24.
- [39] 李志文, 彭恋, 陈越华, 等. 南亚实蝇成虫空间分布型及抽样技术[J]. *植物保护*, 2022, 48(2): 69–77, 93.

- [40] DOMINIAK B C, NICOL H I. Chemical analysis of male annihilation blocks used in the control of Queensland fruit fly *Bactrocera tryoni*(Froggatt) in New South Wales[J]. Plant Protection Quarterly, 2012, 27(1): 31–35.
- [41] 李国平, 何衍彪, 詹儒林, 等. 荧光粘板对瓜实蝇的引诱作用及田间防治效果[J]. 广西植保, 2016, 29(4): 1–4.
- [42] 涂华龙, 高旭渊, 田震亚, 等. 不同诱捕方法对苦瓜连作区内3种果实蝇的诱捕效果[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(4): 92–96.
- [43] 赵菊鹏, 刘龙地, 陆永跃. 4种引进的引诱剂制剂对桔小实蝇引诱效果评价[J]. 环境昆虫学报, 2017, 39(4): 830–834.
- [44] 邱飞, 冯光春, 黄庆文, 等. 5种引诱剂诱集实蝇类害虫比较试验[J]. 南方园艺, 2014, 25(2): 16–18.
- [45] 邝平, 李钊, 汤家红, 等. 几种桔小实蝇诱杀产品田间比较试验[J]. 中国南方果树, 2018, 47(1): 44–45.
- [46] 刘勇, 黄伟康, 吴乾兴, 等. 三亚瓜类作物上实蝇优势种类鉴别及不同诱捕处理的效果[J]. 中国瓜菜, 2019, 32(12): 27–30.
- [47] 胡伟, 税静, 陈松, 等. 不同诱蝇球与实蝇粘胶板对柑橘大实蝇成虫的诱杀效果评价[J]. 四川农业科技, 2020(10): 29–30.
- [48] 严小兵, 刘箐, 卢亚楠, 等. 不同诱集方式对丝瓜实蝇成虫诱杀的效果[J]. 辣椒杂志, 2023, 21(2): 44–47, 52.
- [49] 周庆贤, 梁帆, 梁广勤, 等. 应用光波技术诱捕桔小实蝇试验[J]. 广东农业科学, 2008, 35(3): 62–63, 76.
- [50] 李月红, 张小亚, 孟幼青. “好黏”等不同诱剂对桔小实蝇的诱杀作用分析[J]. 中国南方果树, 2011, 40(4): 49–50.
- [51] 马艳粉, 田先娇, 胥勇, 等. 几种物质对火龙果园内桔小实蝇的诱集效果[J]. 中国南方果树, 2017, 46(2): 116–118, 123.
- [52] 付东. 果瑞特3号和蛋白诱饵防治蔬菜南亚果实蝇试验报告[J]. 南方农业, 2011, 5(2): 6–7.
- [53] 许博, 李再园, 杨慧敏, 等. 柑橘大实蝇不同扩散阶段成虫对糖和蛋白的需求及其生殖发育节点与繁殖动态[J]. 昆虫学报, 2023, 66(3): 326–337.
- [54] 陈敏. 桔小实蝇飞行能力及其生理机制探讨[D]. 昆明: 云南大学, 2016.
- [55] 袁瑞玲, 杨珊, 王晓渭, 等. 桔小实蝇飞行能力测试[J]. 西部林业科学, 2014, 43(6): 66–71.
- [56] 王福莲. 柑橘大实蝇成虫防控技术基础研究[D]. 荆州: 长江大学, 2018.
- [57] 丁吉同, 阿地力·沙塔尔, 主海峰, 等. 枣实蝇成虫飞行能力的测定[J]. 昆虫学报, 2014, 57(11): 1315–1320.
- [58] 崔志富, 曹凤勤, 程立生, 等. 温度、光照强度对瓜实蝇成虫飞行行为的影响[J]. 生物安全学报, 2016, 25(1): 31–34.
- [59] HASYIMA, MURYATI, ISTIANTO M, et al. Male fruit fly, *Bactrocera tau*(Diptera; Tephritidae) attractants from *Elsholtzia pubescens* Bth[J]. Asian Journal of Plant Sciences, 2006, 6(1): 181–183.
- [60] 张栩浩, 罗流河, 王珊珊, 等. 实蝇高引诱性酵母菌的分离和筛选[J]. 植物保护, 2022, 48(6): 133–140.
- [61] DANIEL C, BAKER B. Dispersal of *Rhagoletis cerasi* in commercial cherry orchards: efficacy of soil covering nets for cherry fruit fly control[J]. Insects, 2013, 4(1): 168–176.

责任编辑: 伍锦花