

烟田蛾类害虫性诱芯之间的相互作用研究*

张松涛^{1**} 黄浪平¹ 胡丽涛² 彭 军² 苏梦迪¹
李 航¹ 马 啸^{2***} 李为争^{3,4***}

(1. 河南农业大学烟草学院, 国家烟草栽培生理生化研究基地, 郑州 450002;

2. 中国烟草总公司重庆市公司丰都分公司, 重庆 408200; 3. 河南农业大学植物保护学院, 郑州 450002;

4. 河南省害虫绿色防控国际联合实验室, 郑州 450002)

摘 要 【目的】烟田一般多种害虫同时发生, 为明确烟田蛾类害虫性诱芯之间的相互作用。【方法】采用性诱芯两两叠加的方法, 调查并比较烟田斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*、棉铃虫 *Helicoverpa armigera*、烟青虫 *Helicoverpa assulta* 和小地老虎 *Agrotis ypsilon* 性诱芯之间的相互作用。【结果】小地老虎诱芯与烟青虫诱芯复合使用, 对小地老虎的诱捕量显著多于小地老虎诱芯单独使用, 两者的平均诱捕量分别为 (2.83±0.95) 头/诱捕器/d 和 (1.17±0.79) 头/诱捕器/d; 这种复合诱芯对烟青虫的诱捕量也显著多于烟青虫诱芯单独使用, 两者的平均诱捕量分别为 (3.00±1.46) 头/诱捕器/d 和 (0.83±0.54) 头/诱捕器/d。斜纹夜蛾诱芯单独使用对斜纹夜蛾的诱捕量最多, 为 (7.83±1.97) 头, 小地老虎诱芯、棉铃虫诱芯和烟青虫诱芯分别与斜纹夜蛾诱芯复合, 对斜纹夜蛾的诱捕量均会显著下降, 这 3 种复合诱芯的诱捕量分别为 (2.17±1.08)、(2.67±1.26) 和 (4.33±1.89) 头/诱捕器/d。【结论】烟青虫性诱芯和小地老虎性诱芯复合的诱集效果对 2 种靶标均表现显著的增效作用, 而斜纹夜蛾性诱芯无论和其他任一种类性诱芯复合使用均表现为拮抗作用。

关键词 斜纹夜蛾; 棉铃虫; 烟青虫; 小地老虎; 性诱芯; 相互作用

Interactions between different sex pheromones used to trap different tobacco moth species

ZHANG Song-Tao^{1**} HUANG Lang-Ping¹ HU Li-Tao² Peng Jun²
SU Meng-Di¹ LI Hang¹ MA Xiao^{2***} LI Wei-Zheng^{3,4***}

(1. College of Tobacco Science, Henan Agricultural University, National Tobacco Cultivation, Physiology and Biochemistry

Research Center, Zhengzhou 450002, China; 2. China Tobacco Fengdu County Tobacco Branch of Chongqing Company,

Fengdu 408200, China; 3. College of Plant Protection, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

4. Henan International Laboratory for Green Pest Control, Zhengzhou 450002, China)

Abstract [Objectives] Using sex pheromone lures to trap tobacco pests is both environmentally friendly and effective. However, antagonistic interactions may occur when the sex pheromones of more than one pest are simultaneously deployed. Understanding these interactions will allow such combinations of sex pheromones to be avoided. [Methods] Interactions between different combinations of sex pheromones used to trap *Spodoptera litura*, *Helicoverpa armigera*, *Helicoverpa assulta*, and *Agrotis ypsilon*, were investigated in Taipingba town, Fengdu county, Chongqing. [Results] A combination of *A. ypsilon* and *H. assulta* sex pheromones caught significant more *A. ypsilon* moths[(2.83±0.95) moths/trap/day] than those caught by the

*资助项目 Supported projects: 中国烟草总公司重庆市公司科技项目 “提升丰都烟叶云烟品牌工业可用性关键技术集成与推广” [A20201NY01-1303(2)]

**第一作者 First author, E-mail: zhangsongzi@163.com

***共同通讯作者 Co-corresponding authors, E-mail: 491291998@qq.com; wei-zhengli@163.com

收稿日期 Received: 2022-01-12; 接受日期 Accepted: 2022-08-08

A. ypsilon pheromone alone [(1.17±0.79) moths/trap/day]. This pheromone combination also caught significantly more *H. assulta* [(3.00±1.46) moths/trap/day] than traps baited with *H. assulta* sex pheromone alone [(0.83±0.54) moths/trap/day]. *Spodoptera litura* sex pheromone caught more *S. litura* moths [(7.83±1.97) moths/trap/day] than all other lures tested. However, combining this pheromone with either the *A. ypsilon*, *H. armigera*, or *H. assulta*, sex pheromones significantly decreased the number of *S. litura* moths captured to (2.17±1.08), (2.67±1.26) and (4.33±1.89) moths/trap/day, respectively.

[Conclusion] A combination of *H. assulta* and *A. ypsilon* sex pheromones had a significant synergistic effect, but combining *S. litura* sex pheromones with those of other species significantly decreased the number of *S. litura* captured.

Key words *Spodoptera litura*; *Helicoverpa armigera*; *Helicoverpa assulta*; *Agrotis ypsilon*; sex pheromonal lure; interaction

重庆烟区的夜蛾类害虫主要有烟青虫 *Helicoverpa assulta*、棉铃虫 *H. armigera*、斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 和小地老虎 *Agrotis ypsilon* 等, 已对常规化学农药产生了较强的抗性, 且除小地老虎外, 其他 3 种烟草关键害虫存在发生期重叠现象。因此, 迫切需要在不恶化烟草品质前提下, 寻找更加安全高效的防控手段(周晓梅和黄炳球, 2002; 郑旭川等, 2020)。蛾类性信息素是求偶期雌虫性腺分泌并释放到体外空气中引诱同种雄性趋向的极微量化学物质, 是烟草害虫绿色防控的关键选项之一, 具有特异性强、环境友好、不伤天敌和无抗性的优势(姚梦霜, 2021)。一般认为, 蛾类性信息素的应用主要体现在预测下一代幼虫发生期、发生量和分布范围, 帮助确定最佳化学防治时间(李宏光等, 2012)。在多种靶标害虫同期混合发生的生态系统中, 不同害虫种类的性诱芯之间可能会产生严重的诱捕干扰作用, 以致其防效远远不如常规的化学杀虫剂(周利琳等, 2013)。因此, 烟田主要的 4 种害虫性诱芯两两之间是否存在相互作用(干扰、无关和增强)? 如果不同诱芯间无干扰甚至有一定程度的增效作用, 在一定程度上可简化诱芯, 并降低劳动力成本; 如果存在相互干扰作用, 就能为不同害虫性诱芯的配置、布放间距和规格等提供科学依据。

“特异性强”是性信息素众所周知的特点, 但生产实践中发现这些诱芯活性成分的配比并非十分严格, 例如烟青虫 2 个性诱剂配方(Z9-十六碳烯醛: Z11-十六碳烯醛=100: 95; 十六碳醛: Z9-十六碳烯醛: Z11-十六碳烯醛=19.3: 100: 70)对其成虫均有很强的诱杀效果(洪家保和陈学平, 2002)。Brockerhoff 等(2013)研

究了 75 种森林害虫性信息素的相互作用, 发现同一诱捕器放置多种害虫的性诱芯(舞毒蛾 *Lymantria dispar*、美国白蛾 *Hyphantria cunea*、松异舟蛾 *Thaumetopoea pityocampa* 和欧洲松梢小卷蛾 *Rhyacionia pinicolana*)并未产生相互干扰的作用。Brockerhoff 等(2013)认为, 一般情况下, 同一总科的种类性信息素的干扰作用比遗传距离较远的种类之间的干扰作用更强。烟草主要蛾类害虫的性信息素之间的相互作用尚缺乏系统的研究。尽管宋宏伟和宋小菊(1998)建议在烟青虫和棉铃虫混发的烟区将二者性诱芯混合放置, 但是并无诱捕数据证实其间不存在干扰作用。王崇林等(2018)诱捕试验证实, 烟青虫+斜纹夜蛾性信息素“同器安放”, 棉铃虫+斜纹夜蛾性信息素“同器安放”, 均对斜纹夜蛾的诱捕效果无任何影响。本研究选择的烟田中棉铃虫和烟青虫均为零星发生, 而斜纹夜蛾性诱芯是否对棉铃虫或者烟青虫的诱捕量产生干扰作用, 还需要进一步试验验证。为此, 本研究选择烟田 4 种夜蛾类害虫, 研究其性信息素诱芯两两之间的相互作用, 为简化诱芯复合设计、配置规格、布放间距和降低其饲服成本提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验田概况与管理

大田诱捕试验于 2020 年 6 月初至 9 月底在重庆市丰都县武坪镇太平坝乡的烟田进行。平均海拔为 1 500 m, 全年雨水充沛, 夏季平均气温 28 ℃。试验田地势平坦开阔, 肥力均匀。种植品种为“云烟 116”, 田间管理规范, 烟草整个生育区不喷施任何杀虫剂。

1.2 供试性诱芯

供试性诱芯包括烟青虫性诱芯、棉铃虫性诱芯、斜纹夜蛾性诱芯和小地老虎性诱芯,均购买于中国科学院动物研究所,载体为硅橡胶塞。每个诱芯中活性成分及其含量如下:

棉铃虫性诱芯: 285 μL 顺-11-十六碳烯醛, 15 μL 顺-9-十六碳烯醛;

烟青虫性诱芯: 279 μg 的顺-9-十六碳烯醛, 21 μg 的顺-11-十六碳烯醛;

斜纹夜蛾性诱芯: 270 μg 的顺-9, 反-11-十四碳烯乙酸酯, 30 μg 的顺-9, 反-12-十四碳烯乙酸酯;

小地老虎性诱芯: 250 μg 的顺-7-十二碳烯乙酸酯, 50 μg 的顺-9-十四碳烯乙酸酯。

1.3 性诱芯复合配置

上述 4 种性诱芯单独使用作为参照。另外, 两两诱芯复合并置于同一诱捕器中, 共设置 6 组复合诱芯, 研究不同害虫种类性诱芯两两之间的相互作用(拮抗、加成、增效)。当前烟草生产中多使用笼式诱捕器, 捕获的是活体雄蛾, 导致前期诱捕的对象会对后期诱捕的对象产生干扰作用。为了有效地克服这种干扰现象, 本研究使用 24 cm 口径的不锈钢水盆诱捕器, 悬挂在 1 m 高的竹制三脚架上。盆中加适量清水, 并加入适量洗衣粉作为表面活性剂辅助诱杀捕获对象。诱芯悬挂在水盆中央离水面 1-3 cm 处, 并在盆侧避雨的位置贴上处理编号。

1.4 烟田诱捕试验设计

诱捕器在烟田的布放采用完全随机化区组设计, 每个处理重复设置 6 个诱捕器, 间距为 20 m, 在平坦的烟田呈棋盘格式放置, 区组之间相隔 200 m。2020 年 4 月 26 日-8 月 20 日, 每隔 7 d 记录一次诱捕害虫种类和数量并将诱捕器的位置重新随机化排布一次。调查期间, 及时自性诱芯诱捕器中清理非动态靶标害虫尸体。

1.5 统计分析

将同一诱捕器不同日期捕获的害虫按种类

分别累计。为满足方差分析的正态性(Shapiro-Wilk 检验)和方差齐性(Levene 检验), 将原始诱捕量经 $\text{Log}_{10}(X+1)$ 转换后进行单因素方差分析, 采用 Duncan's 多重比较判断不同处理诱捕量之间的差异显著性($P<0.05$)。所有数据采用 SPSS 19.0 统计软件进行, 将原始数据折算为相同诱芯的诱捕器平均每个诱捕器每天的诱捕量进行图表绘制。

2 结果与分析

方差分析表明, 不同诱芯对 4 种夜蛾类害虫的诱捕量之间均存在极显著差异(小地老虎: $F_{9,50}=6.33$, $P<0.0001$; 斜纹夜蛾: $F_{9,50}=12.76$, $P<0.0001$; 棉铃虫: $F_{9,50}=5.52$; 烟青虫: $F_{9,50}=12.43$, $P<0.0001$)。结果表明, 含靶标害虫的性诱芯对靶标害虫具有引诱作用; 而不含靶标害虫的性诱芯, 其靶标害虫诱捕量均为 0 头, 4 种害虫性诱芯均不存在任何交叉引诱现象。

2.1 不同诱芯对小地老虎诱捕时的相互作用

小地老虎诱芯+烟青虫诱芯组成的复合诱芯, 对小地老虎的诱捕量为 (2.83 ± 0.95) 头/诱捕器/d, 显著大于小地老虎单独诱芯的诱捕量($P<0.05$), 表现为增效作用。与小地老虎单独诱芯相比, 棉铃虫诱芯、斜纹夜蛾诱芯分别与小地老虎诱芯复合的诱捕器对小地老虎的诱捕量无显著差异($P>0.05$), 表现为加成作用(图 1)。因此, 针对小地老虎性诱芯而言, 与其他 3 种害虫性诱芯的复合均没有拮抗作用。

2.2 不同诱芯对斜纹夜蛾诱捕时的相互作用

斜纹夜蛾诱芯单独使用对斜纹夜蛾诱捕量最多, 诱捕量为 (7.83 ± 1.97) 头/诱捕器/d。小地老虎诱芯、棉铃虫诱芯和烟青虫诱芯分别与斜纹夜蛾诱芯复合的诱捕量分别为 (2.17 ± 1.08) 、 (2.67 ± 1.26) 和 (4.33 ± 1.89) 头/诱捕器/d, 且三者之间差异不显著($P>0.05$), 说明小地老虎诱芯、棉铃虫诱芯和烟青虫诱芯对斜纹夜蛾诱芯诱捕的干扰程度大致相似(图 2)。

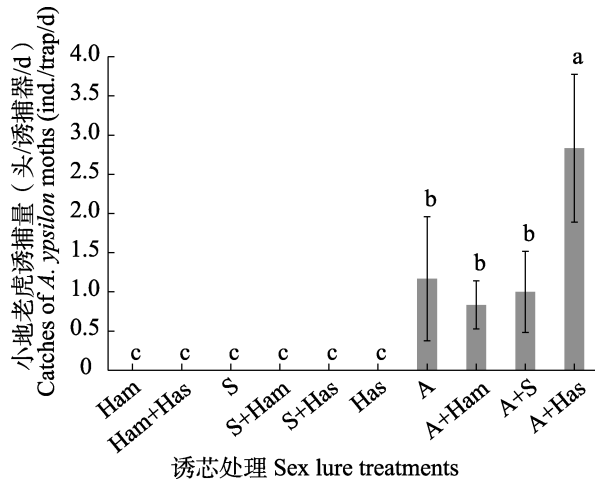


图 1 不同复合诱芯对小地老虎雄蛾的诱捕量

Fig. 1 Mean captures of *Agrotis ypsilon* male moths by different combinations of sex lures

Ham: 棉铃虫性诱芯; Has: 烟青虫性诱芯;
S: 斜纹夜蛾性诱芯; A: 小地老虎的性诱芯。

柱上标有不同小写字母表示相应的平均数之间有显著性差异 ($P < 0.05$, Duncan's 多重比较)。

下图同。

Ham: Sex lure of *Helicoverpa armigera*; Has: Sex lure of *Helicoverpa assulta*; S: Sex lure of *Spodoptera litura*; A: Sex lure of *Agrotis ypsilon*. Histograms with different small letters indicate significant differences between or among corresponding means ($P < 0.05$, Duncan's multiple range test). The same below.

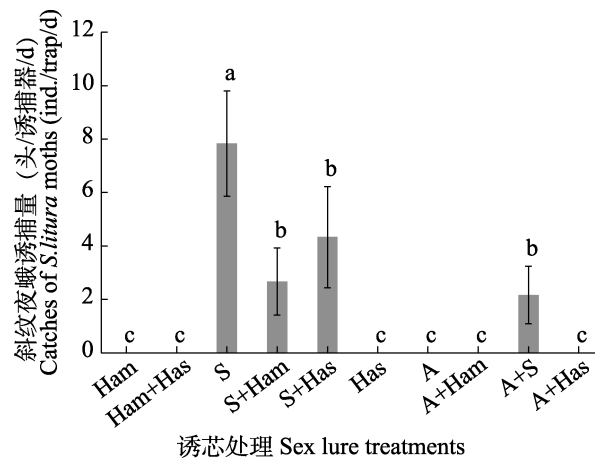


图 2 不同复合诱芯对斜纹夜蛾雄蛾的诱捕量

Fig. 2 Mean captures of *Spodoptera litura* male moths by different combinations of sex lures

2.3 不同诱芯对棉铃虫诱捕时的相互作用

棉铃虫诱芯单独使用对棉铃虫的诱捕量最多, 为 (1.67 ± 0.42) 头/诱捕器/d, 小地老虎诱芯

和棉铃虫诱芯、斜纹夜蛾诱芯和棉铃虫诱芯及烟青虫诱芯和棉铃虫诱芯分别两两复合使用, 对棉铃虫的诱捕量分别为 (0.67 ± 0.67) 、 (1.17 ± 0.48) 和 (0.33 ± 0.21) 头/诱捕器/d。除棉铃虫诱芯外, 其它 3 种诱芯叠加均有一定干扰作用 (图 3)。3 组复合诱芯中, 棉铃虫姊妹种烟青虫的性诱芯干扰作用最强, 小地老虎诱芯的干扰作用次之, 斜纹夜蛾诱芯对棉铃虫性诱芯无显著干扰 ($P > 0.05$) (图 3)。

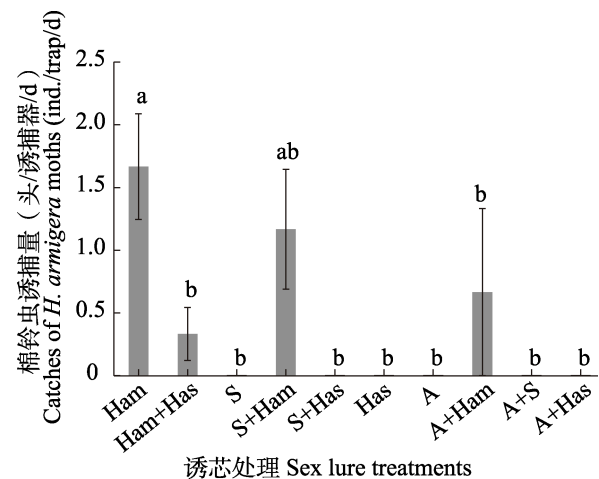


图 3 不同复合诱芯对棉铃虫雄蛾的诱捕量

Fig. 3 Mean captures of *Helicoverpa armigera* male moths by different combinations of sex lures

2.4 不同诱芯对烟青虫诱捕时的相互作用

斜纹夜蛾诱芯和小地老虎诱芯分别与烟青虫诱芯复合的诱捕器对烟青虫的诱捕量分别为 (3.33 ± 0.42) 头/诱捕器/d 和 (3.00 ± 1.46) 头/诱捕器/d, 且二者无显著差异 ($P > 0.05$), 但均显著高于单独使用烟青虫诱芯的 ($P < 0.05$)。说明这 2 种复合诱芯表现为较强的增效作用, 且增效程度大致相似。与单独使用烟青虫诱芯相比, 棉铃虫诱芯与烟青虫诱芯复合的诱捕器对烟青虫的诱捕量无显著差异 ($P > 0.05$), 表现为加成作用 (图 4)。

2.5 4 种诱芯相互作用综合分析

根据上述结果, 对重庆丰都烟区常见的 4 种蛾类害虫性诱芯之间的相互作用如表 1 所示。小地老虎性诱芯和烟青虫性诱芯复合使用效果较

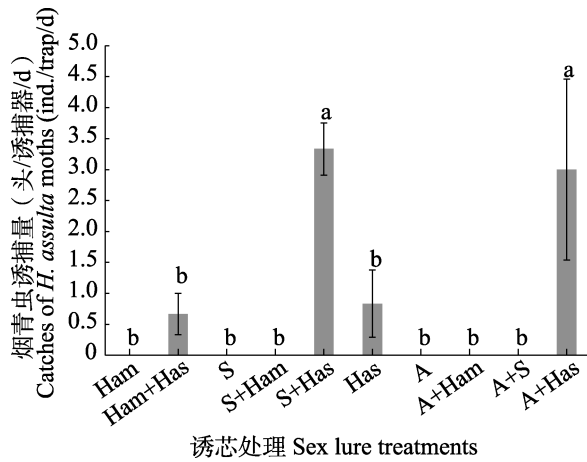


图 4 不同复合诱芯对烟青虫雄蛾的诱捕量
Fig. 4 Mean captures of *Helicoverpa assulta* male moths by different combinations of sex lures

好, 表现为双向增效。斜纹夜蛾诱芯和烟青虫诱芯复合, 表现为不对称相互作用, 即对于斜纹夜蛾的诱捕有害, 对于烟青虫诱捕有利。其他两两复合的诱芯整体表现都是负面的。

3 结论与讨论

斜纹夜蛾性诱芯的诱捕效果优于棉铃虫、烟青虫和小地老虎性诱芯的诱捕效果 (张翠萍等, 2010; 李晓婷等, 2011; 张春林, 2018), 然而, 这些研究者指的是斜纹夜蛾性诱芯对斜纹夜蛾的诱捕量显著比其他 3 种性诱芯对各自靶标的诱捕量大, 并没有研究这些性诱芯对不同种类的交叉引诱现象。我们认为, 由于不同害虫种类自

然种群数量和发生期不同, 不能仅从绝对诱捕量上来判断, 或许以每种害虫的诱捕数量占该害虫自然种群的百分比作为指标, 才能比较不同害虫性诱芯的相对优劣。因此, 本研究将两两复合型诱芯分别和相应的单一诱芯放置在同一田块进行诱捕量的比较, 这些单一诱芯既可以用来估计自然种群的大小, 也可以作为参照探讨诱芯叠加时的相互作用。本研究结果发现, 重庆市丰都植烟区常发性的 4 种害虫棉铃虫、烟青虫、斜纹夜蛾和小地老虎的性诱芯之间不存在任何交叉引诱现象, 即诱集靶标害虫时, 诱捕器必须含有靶标害虫的性诱芯。其中, 小地老虎性诱芯和烟青虫性诱芯复合对小地老虎和烟青虫的诱捕均有显著增效作用, 该复合诱芯比单一性诱芯放置的参比诱芯诱捕量显著增多, 因此, 建议在重庆市丰都植烟区设置此类型诱捕器。斜纹夜蛾诱芯和烟青虫诱芯复合有利于烟青虫诱捕, 而对斜纹夜蛾诱捕有害, 其他两两复合型诱芯不适合共置于同一诱捕器。由于蛾类性信息素通讯信道的极其复杂性, 更多种类的诱芯复配在对照的设置上以及统计方法上存在很大的障碍, 作者暂不考虑更复杂的相互作用。

目前, 采用田间试验方式研究烟田害虫性信息素诱芯之间相互作用的研究相对较少。相关研究发现, 烟青虫性诱芯、棉铃虫性诱芯分别和斜纹夜蛾性诱芯放置同一诱捕器中时对斜纹夜蛾诱捕效果无任何影响 (王崇林等, 2018)。本研

表 1 重庆丰都烟区 4 种关键蛾类害虫性诱芯相互作用交叉表
Table 1 Cross-table of interactions between sex lures of four key tobacco moth species occurred in Fengdu tobacco production area, Chongqing

靶标害虫诱芯 Sex lure of target	叠加的诱芯类型及其对靶标害虫诱捕的影响 Sex lure added and effect on target capture			
	棉铃虫诱芯 Sex lure of <i>H. armigera</i>	烟青虫诱芯 Sex lure of <i>H. assulta</i>	小地老虎诱芯 Sex lure of <i>A. ypsilon</i>	斜纹夜蛾诱芯 Sex lure of <i>S. litura</i>
棉铃虫诱芯 Sex lure of <i>H. armigera</i>	—	显著拮抗 Significant antagonism	显著拮抗 Significant antagonism	加成 Additive
烟青虫诱芯 Sex lure of <i>H. assulta</i>	加成 Additive	—	显著增效 Significant synergism	显著增效 Significant synergism
小地老虎诱芯 Sex lure of <i>A. ypsilon</i>	加成 Additive	显著增效 Significant synergism	—	加成 Additive
斜纹夜蛾诱芯 Sex lure of <i>S. litura</i>	显著拮抗 Significant antagonism	显著拮抗 Significant antagonism	显著拮抗 Significant antagonism	—

究结果表明, 烟青虫、棉铃虫和小地老虎的性诱芯与斜纹夜蛾的性诱芯叠加会对斜纹夜蛾的诱捕造成显著的干扰作用, 斜纹夜蛾是与其他种类性诱芯叠加全部表现拮抗作用的唯一靶标害虫。这可能与试验的地区棉铃虫和烟青虫均为零星发生且诱捕时间较短, 诱芯之间的相互作用不明显有关(王崇林等, 2018)。此外, 本研究发现与烟青虫诱芯叠加后会显著干扰棉铃虫的诱捕, 且干扰作用显著强于与小地老虎、斜纹夜蛾性诱芯的叠加。尽管棉铃虫性诱芯叠加对烟青虫诱捕的干扰作用并不明显, 但其整体表现为负面。可能的原因是, 棉铃虫和烟青虫是一对姊妹种, 嗜好寄主作物和发生期均十分类似(苗昌见等, 2018), 与其他非近缘的害虫相比, 二者有更强的生殖隔离的生态学需求。虽然棉铃虫和烟青虫的性信息素的主要成分均为 Z-11-十六碳烯醛和 Z-9-十六碳烯醛, 但这两种主成分的比例截然相反。因此, 烟青虫性诱芯叠加后对棉铃虫性诱芯呈现严重干扰现象, 这与宋宏伟和宋小菊(1998)在实验室的研究结论不同。

总之, 在重庆市丰都植烟区, 小地老虎性诱芯和烟青虫性诱芯复合可以有效控制这两种靶标害虫, 减少诱捕器的布放个数, 降低伺服诱捕器的劳动力成本。斜纹夜蛾的性诱芯诱捕器应当单独使用并和其他诱捕器保持至少 30 m 以上的距离。

参考文献 (References)

- Brockerhoff EG, Suckling DM, Roques A, Jactel H, Branco M, Twidle AM, Mastro VC, Kimberley MO, 2013. Improving the efficiency of lepidopteran pest detection and surveillance: Constraints and opportunities for multiple-species trapping. *Journal of Chemical Ecology*, 39(1): 50–58.
- Hong JB, Chen XP, 2002. Effect on the controlling oriental tobacco budworm, *Helicoverpa assulta* by using sex pheromone. *Entomological Knowledge*, 39(1): 27–30. [洪家保, 陈学平, 2002. 用性信息素诱剂防治烟青虫的效果. 昆虫知识, 39(1): 27–30.]
- Li HQ, Liu CM, Du YJ, Pan LM, Qin YX, 2012. Species identification and population monitor of closely-related target insect species in tobacco field using synthetic sex pheromones. *China Plant Protection*, 32(3): 38–41. [李宏光, 刘春明, 杜永均, 潘烈明, 秦元霞, 2012. 合成性信息素对烟草田间近缘种靶标害虫的鉴定及其种群动态监测. 中国植保导刊, 32(3): 38–41.]
- Li XT, Luo HY, Chen YW, Li PF, Chen C, Kong NC, 2011. Control efficiency of different biological control technologies on three major pest insects of tobacco. *Crop Research*, 25(4): 361–365. [李晓婷, 罗华元, 陈月舞, 李鹏飞, 陈初, 孔宁川, 2011. 不同生物防治技术对烟草烟蚜和烟青虫及斜纹夜蛾的防治效果. 作物研究, 25(4): 361–365.]
- Miao CJ, Li WZ, Tang JR, Li GN, Wang GP, Yuan GH, Guo XR, 2018. Studies on olfactory and feeding preferences of *Helicoverpa armigera* and *H. assulta* to two tobacco species. *Chinese Tobacco Science*, 39(6): 51–57. [苗昌见, 李为争, 汤金荣, 李冠楠, 王高平, 原国辉, 郭线茹, 2018. 棉铃虫和烟青虫对两种烟草的嗅觉和取食偏好性. 中国烟草科学, 39(6): 51–57.]
- Song HW, Song XJ, 1998. Efficiency analysis of larger-scale controlling *Helicoverpa assulta* using sex lure. *Tobacco Science & Technology*, 42(2): 43–44. [宋宏伟, 宋小菊, 1998. 应用性诱剂大面积防治烟青虫的效益分析. 烟草科技, 42(2): 43–44.]
- Wang CL, Xie YC, Zhou F, Zhang DX, Wang LW, Wu WG, Zhang YY, Pan Y, 2018. Effect of the same device installation of sexual inducer for *Prodenia litura* (Fabricius) with *H. assulta* (Guenée) or *Helicoverpa armigera* Hübner on trapping efficacy. *Journal of Anhui Agricultural Science*, 46(21): 145–148. [王崇林, 谢友成, 周丰, 张大信, 王龙武, 吴文高, 张圆圆, 潘云, 2018. 斜纹夜蛾与烟青虫或棉铃虫性诱芯同器安放对诱捕效果的影响. 安徽农业科学, 46(21): 145–148.]
- Yao MS, 2021. The joint synergism attracting effect tobacco volatiles and sex pheromone on *Spodoptera litura*. Master dissertation. Guizhou: Guizhou University. [姚梦霜, 2021. 烟草挥发物与性信息素引诱斜纹夜蛾的协同增效作用研究. 硕士学位论文. 贵州: 贵州大学.]
- Zhang CL, 2018. Research on trapping of tobacco insect pest species using four types of sex lures. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 47(4): 50–51. [张春林, 2018. 4 类性诱剂诱杀烟草害虫试验研究. 云南农业科技, 47(4): 50–51.]
- Zhang CP, Yang SY, Yang BS, Yang S, 2010. Attractive effects of sex pheromone on three major lepidopteran pest insects in tobacco fields. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 23(3): 744–746. [张翠萍, 杨硕媛, 杨璧臻, 杨松, 2010. 性诱剂对烟田 3 种主要鳞翅目害虫诱虫效果的初步研究. 西南农业学报, 23(3): 744–746.]
- Zheng XC, Zeng XL, Zhang S, Xiong W, Yang C, Wang WN, Liu QS, 2020. Effects of different agents on the control effect of black cutworm and tobacco leaf quality in Chongqing tobacco area. *Modern Agricultural Science and Technology*, 49(21): 127–128, 130. [郑旭川, 曾宪立, 张帅, 熊伟, 杨超, 王伟宁, 刘强树, 2020. 不同药剂对重庆烟区小地老虎防治及烟叶质量的影响. 现代农业科技, 49(21): 127–128, 130.]
- Zhou LL, Si Y, Wang Y, Cong XP, Si SY, 2013. Interference effect of combined use of sex pheromone lures of *Spodoptera exigua* (Hübner) and *S. litura* (Fabricius) in field. *Hubei Agricultural Sciences*, 52(5): 1071–1073. [周利琳, 司越, 望勇, 丛晓平, 司升云, 2013. 甜菜夜蛾与斜纹夜蛾性诱芯田间合用的干扰作用. 湖北农业科学, 52(5): 1071–1073.]
- Zhou XM, Huang BQ, 2002. Insecticide resistance of the common cutworm (*Spodoptera litura*) and its control strategies. *Entomological Knowledge*, 39(2): 98–102. [周晓梅, 黄炳球, 2002. 斜纹夜蛾抗药性及其防治对策的研究进展. 昆虫知识, 39(2): 98–102.]