

## 基于昆虫性信息素的综合害虫防控(IPM)新技术应用

史姝娜<sup>1,2</sup>, 于广威<sup>1\*</sup>, 李圣辰<sup>3</sup>

(1. 潍坊科技学院, 山东寿光 262700; 2. 釜庆大学技术经营专门大学院, 韩国釜山 45813; 3. 青岛罗素生物技术有限公司, 山东青岛 266100)

**摘要** 通过对昆虫性信息素的应用现状进行分析, 提出可以将昆虫性信息素技术与物联网及人工智能相结合对靶标害虫进行监测, 并制定综合防控方案对靶标害虫进行综合防治, 以达到最佳的经济效益、社会效益和生态效益。**关键词** 昆虫性信息素; 监测; 人工智能; 综合防控

中图分类号 S476 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)05-0126-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.05.031



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Integrated Pest Management Based on Insect Sex Pheromone****SHI Shu-na<sup>1,2</sup>, YU Guang-wei<sup>1</sup>, LI Sheng-chen<sup>3</sup>** (1. Weifang University of Science and Technology, Shouguang, Shandong 262700; 2. Graduate School of Technology Management, Pukyong National University, Busan, South Korea 45813; 3. Qingdao Russell Biotechnology Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266100)**Abstract** Based on the analysis of the application status of insect sex pheromone, this paper proposed that the technology of insect sex pheromone could be combined with internet of things and artificial intelligence to monitor the target pests, and the comprehensive prevention and control scheme could be formulated to achieve the best economic, social and ecological benefits.**Key words** Insect sex pheromone; Monitoring; Artificial intelligence; Integrated pest management

近年来, 化学杀虫剂在虫害防控中的使用越来越广泛, 导致大量靶标害虫对有机磷类、氨基甲酸酯类、拟除虫菊酯类等化学杀虫剂耐受性明显增强, 抗药性现象日渐突出<sup>[1]</sup>。而且化学农药过量使用给蔬菜及粮食的安全带来巨大的隐患, 使土壤污染日益严重<sup>[2-4]</sup>。昆虫性信息素是由昆虫的某一雌性或雄性个体性腺体分泌、释放于体外, 只能被同种异性个体的感受器所识别, 并引起异性个体产生觅偶定向、求偶交配等一定的生殖行为, 从而帮助同种昆虫顺利交配的微量化学物质<sup>[5]</sup>。昆虫性信息素具有使用量低、生物活性高、不产生抗药性等优势, 而且昆虫性信息素只对同种类的异性具有极其强烈引诱作用, 专一性强, 可以更好地保护天敌, 是一类极具发展前景的生物农药<sup>[6-8]</sup>。

**1 昆虫性信息素的发展进程**

1959年, 德国科学家 Butenandt 首次从雌蛾家蚕中提取、分离、鉴定了其性信息素蚕蛾醇<sup>[9]</sup>; 1979年, 美国正式批准了红铃虫、家蝇、舞毒蛾和日本丽金蝇4种昆虫性信息素用于防治农业害虫; 1978年, 全球第一个迷向产品(棉红铃虫)在美国登记; 1983年, 日本第一个迷向产品(茶小卷叶蛾)登记; 1991年, 第一个苹果蠹蛾迷向散发器在美国登记; 截至目前, 上千种昆虫的性信息素已经进行了成功的鉴定, 且人工合成其中的绝大部分, 上百种昆虫性信息素已商品化生产<sup>[10]</sup>。

我国以中国科学院动物所、上海生命科学研究院、中国农业科学院等为代表的科研机构也很早开始这方面的研究, 但大部分产品和技术仅停留在实验室阶段, 并未真正地将这些绿色虫控产品与技术实现商品化。

近年来, 随着国家《农药管理条例》(2017年修订版)、《关于创新体制机制推进农业绿色发展的意见》等相关法律文件的推出, 说明在以后的病虫害防控中, 要加快转变病虫害防控方式, 大力推行绿色防控替代化学防治, 逐步减少化学农药用量, 改进产品品质, 保护生态环境, 昆虫性信息素因其“零”残留、“零”污染的特性, 得到快速发展, 尤其是近年来, 部分主要害虫的相关产品已经在国内获得了登记, 国内部分昆虫性信息素登记情况见表1。

**2 昆虫性信息素的基本介绍**

**2.1 昆虫性信息素的作用机理** 昆虫之间的交配行为由一套基于性信息素的化学通信系统所主导。这套系统是由释放系统(性信息素释放器)、传递系统(传播信息素的介质)和接收系统(接收信息素分子的器官)所组成<sup>[11]</sup>。

**释放系统:** 昆虫性信息素一般由昆虫成虫性腺体成熟后分泌产生, 不同种类昆虫的分泌腺体有所差异<sup>[12]</sup>。如鳞翅目螟蛾科的雌性成虫大多数种类性信息素释放腺体位于第8、9腹节间膜背部<sup>[13]</sup>, 而鳞翅目的多数蝶类雄性昆虫成虫的性信息素释放器多位于翅上<sup>[14]</sup>。

**传递系统:** 昆虫性信息素主要通过空气传播<sup>[15]</sup>。

**接收系统:** 即昆虫性信息素的识别系统, 昆虫性信息素的识别主要依靠昆虫触角和感觉毛等部位的化感器。昆虫性信息素分子的特定的性信息素结合蛋白与淋巴液中相对应的气味结合蛋白结合, 然后神经系统即对同种异性昆虫作出相应的求偶行为<sup>[16]</sup>。

昆虫正是通过这一套化学通信系统进行交配、产卵、繁殖后代, 在自然界中, 一般情况下昆虫的雌性成虫释放昆虫性信息素, 同种雄性昆虫识别后进行交配; 但也有少数昆虫性信息素由雄虫释放, 引诱同种雌虫进行交配, 或者雌虫、雄虫同时释放昆虫性信息素进行相互吸引<sup>[17]</sup>。

昆虫性信息素就是基于这一原理的仿生产品, 通过模拟

**作者简介** 史姝娜(1986—), 女, 甘肃定西人, 工程师, 从事科技管理、农业科普研究。\* 通信作者, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事病虫害绿色防控研究。

**收稿日期** 2021-06-24; **修回日期** 2021-10-27

雌性或雄性靶标害虫释放的性信息素,搭配固定的设备,干扰雌雄交配,最终达到害虫识别、监测及防治的目的。

表 1 国内昆虫性信息素的登记情况

Table 1 Registration of insect sex pheromones in China

序号 No.	公司 Company	登记证号 Registration certificate No	登记名称 Registered name	毒性 Toxicity	有效日期 Effective date
1	杨凌翔林农业生物科技有限公司	PD20190106	绿盲蝽性信息素	低毒	2019-08-26—2024-08-25
		PD20200312	二化螟性诱剂	微毒	2020-05-22—2025-05-21
2	宁波纽康生物技术有限公司	PD20190003	二化螟性诱剂	低毒	2019-01-30—2024-01-29
		PD20184024	靶标害虫诱集性信息素	微毒	2018-08-30—2023-08-29
3	江苏宁录科技股份有限公司	PD20181863	梨小性迷向素(缓释管)	低毒	2018-05-17—2023-05-16
		PD20181572	梨小性迷向素(原药)	低毒	2018-04-18—2023-04-17
4	澳大利亚环球科技有限公司	PD20171757	梨小性迷向素(原药)	微毒	2017-08-31—2022-08-30
		PD20171758	梨小性迷向素(缓释剂)	微毒	2017-08-31—2022-08-30
5	浙江新安化工集团股份有限公司	PD20184324	梨小性迷向素	低毒	2018-11-06—2023-11-05

## 2.2 昆虫性信息素的基本特征与功能

(1) 敏感度高。大部分昆虫嗅觉器官发达,可以感受几千米甚至十几千米外的微量气味,如雄性蜜蜂可嗅到 2 km 远雌蜂散发的气味;雄王蝶在 11 km 外可以感受到雌王蝶释放的气味;1 mg 切叶蚁信息素,可引导同伴绕地球 3 周。

(2) 特异性强。昆虫性信息素只针对同种昆虫的行为起调节作用,对其进行监测、诱捕及迷向,可以对靶标害虫进行防控而很好地保护天敌。

(3) 操作简单。昆虫性信息素在使用过程中只需要与固定类型的诱捕器或迷向设施进行搭配,即可对靶标害虫进行诱捕、迷向,与药剂防治相比具有操作简单、省时、省力等优势。

(4) 持效期长。将昆虫性信息素通过溶剂加入缓释载体(橡胶塞、PVC 管、缓释小瓶等)中,其持续释放时间达几个月;因此在防治靶标害虫方面,昆虫性信息素的使用频率远低于普通化学药剂。

(5) 提高作物品质。昆虫性信息素具有“零”污染、“零”残留等特点,通过对靶标害虫的监测及用迷向技术防治抗药性强的害虫,可以做到完全覆盖,持续压低虫口密度(尤其针对钻蛀性害虫的隐蔽阶段,更具有化学药剂难以企及的优势),从而减少化学药剂使用量,降低农残,提升蔬菜、水果、粮食作物的品质。

**2.3 现阶段昆虫性信息素的主要应用技术** 依据昆虫性信息素有效成分及含量、使用方法、作用效果的不同可以将昆虫性信息素分为监测及防治(诱捕和趋避)2种<sup>[18-21]</sup>。

**2.3.1 监测。**昆虫性信息素单个诱芯含量为  $10^{-4} \sim 10^{-3}$  g。以北方具有越冬特性的靶标害虫为例,在春天靶标害虫发生前 14 d 左右,在田间按照 3~5 套/hm<sup>2</sup> 的数量悬挂靶标害虫性诱捕装置,性诱捕装置内含昆虫性信息素,专一性地吸引同种异性与之交配。通过昆虫性诱捕装置对靶标害虫的发生动态实行实时监测:自诱捕到第一头靶标害虫雄性成虫开始,每天记录诱捕到的靶标害虫数量,统计其越冬代靶标害虫的虫蛹羽化始发期、高峰期,结合当地的温湿度、土壤温湿度、降雨量等环境条件预测越冬代成虫的产卵高峰期、初代幼虫的卵孵化高峰期、初代幼虫的危害高峰期。通过对靶标害虫动态的实时监测,及时掌握靶标害虫发生动态,分布、扩散、危害及消长动态情况,指导其科学用药,在初代靶标害虫

的卵期及幼虫的低龄期进行防治,全面压低初代靶标害虫的数量,对控制靶标害虫后续的发生具有极其重要的意义。

**2.3.2 诱捕。**昆虫性信息素单个诱芯含量  $10^{-4} \sim 10^{-3}$  g。昆虫性信息素与固定诱捕器搭配后,按照 45~75 套/hm<sup>2</sup> 数量,依据作物生长情况(蔬菜、玉米等农作物按照 1.0~1.5 m 的高度悬挂,或根据作物实际情况而定;果树一般悬挂于阴面通风处的树干上,悬挂高度在株高的 2/3 处或根据实际情况而定)对诱捕器进行棋盘式悬挂。捕获前来“亲密付会”的成虫,减少靶标害虫成虫雌虫或雄虫数量,影响雌雄比例,从而减少雌虫交配产卵的机会,减少幼虫数量,保护寄主免受伤害<sup>[22]</sup>。

**2.3.3 迷向。**昆虫性信息素单根迷向丝含量  $10^{-2} \sim 10^{-1}$  g。通过在空气中释放大量人工合成的昆虫性信息素,使靶标害虫的雌雄成虫长久处于高浓度的人工激素环境中,感受器产生适应性,对性信息素失去反应,令靶标害虫雌性或雄性成虫不能准确定位异性,破坏靶标害虫的正常交尾,导致雌雄交配概率降低,从而不能完成交配、产卵,使下一代种群密度降低<sup>[23]</sup>。昆虫迷向剂的使用时间:越冬代成虫扬飞期前,悬挂监测诱捕器,诱到第一头成虫时,开始使用迷向散发器,直至作物完成整个生育期。

**2.3.4 昆虫的鉴别。**昆虫性信息素在对靶标害虫进行监测与防治的同时,可以依据专一性强的特性对近似昆虫或者分类上容易混淆昆虫进行鉴定。

## 3 昆虫信息素发展优势与缺陷

作为一种在国内兴起不久的生物农药,具有以下优势:①专一性强、准确性高、对环境友好、使用方便;②可以通过大量诱捕靶标害虫的成虫及对靶标害虫的成虫进行迷向等方法,大幅度降低靶标害虫雄虫与雌虫的交配概率,从而从根源上大幅度降低其靶标害虫主要危害阶段幼虫的数量<sup>[24]</sup>;③对靶标害虫的监测能力可以有效指导农药的使用,在靶标害虫的低龄期对其灭杀,以最小的经济成本最大程度上降低靶标害虫对作物的危害;④化学结构的高度复杂性和特殊性,可以有效保护天敌,维持生态平衡;⑤降低农药用量和劳动力成本,解决农药残留问题,有利于恢复农业生态环境<sup>[25]</sup>。

然而昆虫性信息素在虫害防控中也存在诸多不足,导致其发展受到一定的限制:①性迷向类产品具有很高的专一性,如梨小食心虫性迷向技术只防治梨小食心虫,不能同时

兼治其他害虫,可能使盲蝽等次要害虫的危害上升;②某些危害较重的靶标害虫(蓟马、烟粉虱、白粉虱、蚜虫、瓜绢螟等),目前市面上并未有效果良好的产品,当多种虫害同时发生时,农业种植者仍需要进行喷药,并不能显著降低其施药、用工成本;③使用迷向技术时,处理果园的面积越大效果越好,最好的使用面积不低于 $2\text{ hm}^2$ ,且其周边 $200\text{ m}$ 的范围内不应有未防治的其他寄主果园。而我国农业种植仍以小农户为主,这极大地限制了昆虫性信息素的发展;④种植户的技术水平有限,不能掌握昆虫性信息素对靶标害虫的监测技术,以及对昆虫性诱捕装置、迷向丝进行合理使用。

#### 4 基于昆虫性信息素的虫害综合防控技术

随着物联网及人工智能技术(AI)的快速发展,可以将昆虫性信息素与AI进行有机结合,制定针对某种作物的虫害综合防治方案。

(1)建立虫害监测系统。根据要监测的靶标害虫选择其相应的昆虫性信息素诱芯,依据靶标害虫诱集行为变化特征选择固定类型的诱捕器(上行螟蛾类,下行灯蛾类和双向叶蛾类),结合红外计数,形成智能监测设备。智能监测设备可以融合风向、风力、温度、湿度、光照度、雨感等小气候系统。将诱捕到的靶标害虫的成虫情况形成大数据进行上传,在物联网系统及云空间储存的配合下,进行数据统计、分析,预测靶标害虫卵、幼虫、蛹、成虫等各个阶段的始发期、发生高峰期、发生末期等指标,为靶标害虫防治提供科学依据<sup>[26]</sup>。

(2)建立实时监测系统。通过多方位、多角度安装摄像头,对作物生长情况、虫害的发生情况进行实时监测。

(3)虫害综合防控技术的制定。依据土壤墒情、小气候系统、作物生长情况、作物虫害发生、发展的预测,与大数据比对后,提供针对该农田系统的靶标虫害综合防控方案,指导科学用药,即在虫害发生初期,优先使用微生物农药或对靶标害虫低毒高效的化学农药进行防治,坚决杜绝高毒、剧毒及违禁化学农药的施用。

基于昆虫信息素的作物虫害绿色防控技术集成方案,可以及时监测靶标害虫发生动态,准确及时掌握害虫的分布、扩散、危害及消长动态,对保障国家的食品生产安全和农产品质量安全意义重大,不仅有助于保护生物多样性,降低病虫害暴发机率,实现病虫害的可持续控制,而且有利于减轻虫害危害损失,保障粮食、蔬菜、水果等农产品的有效供给;另外,病虫害绿色防控也是促进标准化生产、提升农产品质量安全水平的必然要求和降低化学农药使用风险、保护生态环境的有效途径。

#### 5 结语

自2015年《食品安全法》修订至《中共中央 国务院关于深化改革加强食品安全工作的意见》的发布等相关法律法规的日益完善,充分体现了以习近平主席为核心的党中央对“人民群众舌尖上的安全”的高度重视,作物病虫害的绿色防控提上日程。2017年习近平主席主持召开的中央全面深化改革领导小组第三十七次会议通过了《关于创新体制机制推进农业绿色发展的意见》,《意见》指出:要强化病虫害防治统

治和全程绿色防控,完善农药风险评估技术标准体系,加快实施高剧毒农药替代计划。因此,在后续的作物病虫害防治上,应提升人们的绿色防控意识,落实农业农村部在全国农作物病虫害绿色防控推进落实会上提出的“绿色植保”和“公共植保”2个理念及“替、集、制、品”四字真言,尽量减少化学农药的使用,改变以往灾后治理的被动局面。在虫害防治方面,可以形成以昆虫信息素为核心的作物虫害综合防控方案,结合AI、物联网等现代技术对靶标害虫实行全方位的实时监测,指导科学用药、科学防控、绿色防控,将靶标害虫的危害控制在经济损害允许水平(EIL)以下,在保证作物产量的同时,提升农产品品质,保护生态环境,以达到最佳的经济效益、社会效益和生态效益。

#### 参考文献

- [1] 张丽阳,刘承兰.昆虫抗药性机制及抗性治理研究进展[J].环境昆虫学报,2016,38(3):640-647.
- [2] 刘海英.安达市耕地土壤污染现状及防治措施[J].现代农业科技,2017(11):178.
- [3] 籍春蕾,陈飞.重金属污染场地固化稳定化处理药剂的选择[J].环境与发展,2020,32(3):45,47.
- [4] 郑国璋.关中灌区农业土壤重金属污染调查与评价[J].土壤通报,2010,41(2):473-478.
- [5] 胡玉伟,管楚雄,安玉兴,等.国内外昆虫性信息素剂型及其在不同作物上的研究概况[J].甘蔗糖业,2015(5):68-73.
- [6] 孙效,吴燕华,王敏,等.草地贪夜蛾性信息素的化学合成与应用研究进展[J].农药学报,2021,23(2):199-208.
- [7] 江南纪,王琛柱.草地贪夜蛾的性信息素通讯研究进展[J].昆虫学报,2019,62(8):993-1002.
- [8] 严力,李卓睿,韩国志.昆虫信息素缓释技术的研究进展[J].应用化学,2019,36(10):1099-1108.
- [9] 张岩,刘敬泽.昆虫的性信息素及其应用[J].生物学通报,2003,38(12):7-10.
- [10] 马涛,温秀军,李兴文.昆虫性信息素人工合成技术研究进展[J].世界林业研究,2012,25(6):46-51.
- [11] 杨红珍,李湘涛.昆虫的性信息素求偶行为[J].生物学教学,2017,42(9):74-75.
- [12] 张新慰,李景刚,武海卫.昆虫性信息素研究进展[J].山东林业科技,2020,50(3):88-91.
- [13] 王丽平,嵇保中,刘曜雯,等.螟蛾总科昆虫性信息素的种类、分泌及感受机制研究[J].环境昆虫学报,2014,36(4):585-596.
- [14] 贾宗锴,刘满光.昆虫性信息素研究现状[J].河北林业科技,2010(3):50-52.
- [15] 沈兆鹏.用信息素监控储粮害虫[J].四川粮油科技,1999(1):34-36,49.
- [16] 向玉勇,杨茂发.昆虫性信息素研究应用进展[J].湖北农业科学,2006,45(2):250-256.
- [17] 项兰斌,谢广林,王文凯.昆虫求偶行为在分类学上的应用[J].环境昆虫学报,2016,38(5):883-887.
- [18] 王振辉.性诱剂测报梨小食心虫发生期与防治试验[J].新疆农垦科技,2013,36(8):18-19.
- [19] 熊彩珍,李洁,范全根.梨小食心虫发生期预测与防治[J].安徽农业科学,2017,45(16):147-148,152.
- [20] 翟浩,陈汝,薛晓敏,等.苹果园应用性信息素迷向防治梨小食心虫[J].农业知识,2018(2):25-26.
- [21] 李苗,王亚红,韩魁魁,等.应用性信息素迷向技术防治桃园梨小食心虫的效果与分析[J].陕西农业科学,2016,62(7):43-45.
- [22] 高旭晖,杨春秋,梁丽云.昆虫性信息素与茶树害虫治理[J].蚕桑茶叶通讯,2006(4):27-29.
- [23] 翁旭升.昆虫性信息素在防治果树害虫上的应用[J].福建农业科技,2015(4):39-40.
- [24] 王蕾.昆虫性信息素在病虫害测报及防治中应用的特点与优势[J].乡村科技,2020(4):88,90.
- [25] 蔡昭雄,罗标,蒋德赏.昆虫性信息素诱捕水稻二化螟效果试验初报[J].南方农业,2011,5(9):27-29,37.
- [26] 刘流,郭红英.昆虫性外激素与害虫防治[J].生物学教学,2002,27(2):5-7.