

胡代花. 中国水稻二化螟性信息素研究及应用新进展[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(3): 736-742.

doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2019.03.033

中国水稻二化螟性信息素研究及应用新进展

胡代花

(陕西理工大学维生素 D 生理与应用研究所/生物科学与工程学院, 陕西 汉中 723000)

摘要: 二化螟是水稻的重要害虫, 应用性信息素防治二化螟具有高效、低毒、无污染、不伤益虫等优点, 顺应和谐植保理念, 对推动绿色水稻生产及保证食品质量安全具有重要意义。本文对近年来二化螟性信息素组分的化学合成、诱芯研发、田间应用技术、植物挥发物与性信息素协同作用、性信息素与赤眼蜂等防治技术相容性以及温度和 Cd^{2+} 胁迫对二化螟性信息素通讯系统的影响等方面进行了总结和展望, 旨在为性信息素应用于二化螟预测预报和防治二化螟提供借鉴。

关键词: 二化螟; 性信息素; 诱芯; 田间应用; 通讯行为

中图分类号: TQ453.4; S482.38

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2019)03-0736-07

Recent advances in the research and application of sex pheromone of *Chilo suppressalis* (Walker) in China

HU Dai-hua

(Vitamin D Research Institute/ School of Biological Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, China)

Abstract: *Chilo suppressalis*, one of the most destructive pests in rice production. The application of sex pheromone in the control of *Chilo suppressalis* the advantages of high efficiency, low toxicity, no pollution, no harm to beneficial insects, and conform with the concept of harmonious plant protection, which was of great significance to promote green rice production and ensure the quality of food safety. To provide reference for the application of sex pheromone in the prediction and control of *Chilo suppressalis*, the chemical synthesis, lure research, field application, the synergistic effect of plant volatiles and sex pheromone, the compatibility of sex pheromone with *Trichogramma* biological control, and effect of temperature and Cd^{2+} on sex pheromone communication system of *Chilo suppressalis* in recent years were reviewed.

Key words: *Chilo suppressalis*; sex pheromone; lure; field application; communication behavior

二化螟 [*Chilo suppressalis* (Walker)] 作为水稻生产中的主要害虫之一, 广泛分布在中国多个稻区, 严重影响水稻的产量和品质^[1]。长期以来二化螟的防治主要依赖于化学防治, 但一方面二化螟的抗药

性导致防治效果明显下降, 同时化学农药应用中会造成影响天敌生存、破坏生态环境以及食品质量安全等一系列问题, 因此开展二化螟的绿色防治迫在眉睫。应用昆虫性信息素防治害虫具有高效、低毒、无污染、不伤益虫等优点, 在害虫的生物综合治理 (Integrated pest management, IPM) 中发挥越来越重要的作用, 具有很好的经济效益、社会效益和生态效益^[2]。

焦晓国等^[1]从二化螟的交配习性与性信息素释放节律、二化螟性信息素的分离鉴定、二化螟性

收稿日期: 2018-09-04

基金项目: 陕西省科技厅项目 (2018NY-154); 陕西省教育厅项目 (18JK0169); 陕西理工大学博士后项目 (SLGBH16-04)

作者简介: 胡代花 (1983-), 女, 陕西安康人, 博士, 副教授, 主要从事有害生物性诱剂防治研究。 (E-mail) hudaihua007@163.com

信息素在虫情测报和防治中的应用(虫情监测、大量诱捕、干扰交配)、二化螟性信息素防治效果的主要影响因子(发生世代、种群密度、诱捕器设置、气候因子、性信息素诱芯特性及其他影响因子)、性信息素防治二化螟效果的评价标准等方面对水稻二化螟性信息素的研究进展进行了归纳总结。近年来,随着“和谐植保”理念的不断深入,以及食品质量安全问题逐步提上日程,利用性信息素防治水稻二化螟的研究及应用呈现防治范围广、田间应用技术趋于进一步完善规范、理论研究支撑应用研究等特点。本文对国内近年来二化螟性信息素组分的化学合成、诱芯研发、田间应用技术、迷向防治、植物挥发物与性信息素协同作用、性信息素与赤眼蜂等生物防治技术相容性以及温度和 Cd^{2+} 胁迫对二化螟性信息素通讯系统的影响等方面进行总结和展望,旨在为应用性信息素防治二化螟的绿色防控提供借鉴。

1 二化螟性信息素的化学合成及诱芯的研发

1.1 二化螟性信息素的化学合成

二化螟性信息素为顺-11-十六碳烯醛(Z11-16:Ald)、顺-13-十八碳烯醛(Z13-18:Ald)及顺-9-十六碳烯醛(Z9-16:Ald)组成的混合物。对于双键体系构建,传统的 Wittig 方法存在反应条件苛刻、收率低且生成的为 Z/E 异构体混合物等问题,从而限制其大规模生产,并对合成化合物的生物活性具有较大影响。周舒扬等^[3]以廉价易得的 1,8-辛二醇为原料,经单边溴代、羟基保护制成格氏试剂后,与顺-3-辛烯-1-醇的对甲苯磺酸酯经 Li_2CuCl_4 格氏偶联,再经脱保护、氧化后得水稻二化螟性信息素主要组分 Z11-16:Ald,反应总收率 62.80%,合成路线见图 1。该合成路线通过利用含有固定顺式构型的顺-3-辛烯-1-醇,反应过程中保持立体结构,产物立体结构单一,为达到较好的应用效果提供了化合物保证。

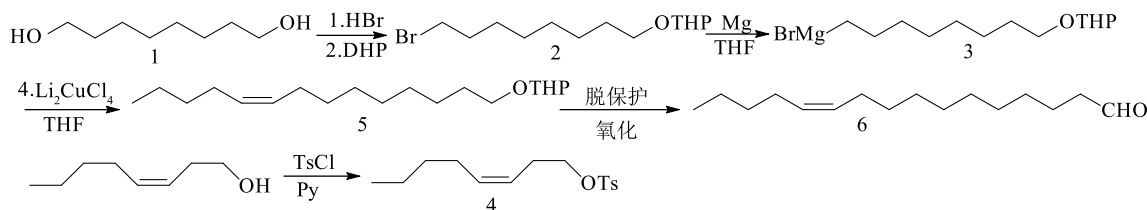


图 1 水稻二化螟性信息素合成路线^[3]

Fig.1 The synthetic route of the sex pheromone of *Chilo suppressalis*

1.2 性信息素诱芯的研发

1.2.1 诱芯剂量及配比 李为争等^[4]比较了 Z11-16:Ald、Z9-16:Ald、Z13-18:Ald 不同配比混合制成的二化螟诱芯的引诱活性,结果表明剂量及配比对诱芯引诱效果影响极大。连续 2 个世代的诱集结果表明,Z11-16:Ald 与 Z9-16:Ald 二者比例分别为 9:1 和 8:2(质量比)时对越冬代成虫的引诱效果最佳,而二者比例为 7:3~1:9(质量比)的诱芯则对越冬代成虫无引诱作用。如果保持诱芯中 Z11-16:Ald 和 Z9-16:Ald 质量比控制在 2:1,则二化螟诱捕量随诱芯中所含 Z13-18:Ald 剂量的增加而下降。所有配比的诱芯对第一代二化螟成虫引诱效果均显著低于对越冬代成虫的诱集效果,但 Z11-16:Ald、Z9-16:Ald、十六碳醛(16:Ald)和 Z13-18:Ald 的质量比为 2.00:1.00:0.70:0.37 时其诱芯的诱捕量

显著优于其他质量比。

1.2.2 诱芯载体 目前商业二化螟性信息素诱芯的载体主要有橡皮塞和毛细管 2 种,左文等^[5]通过比较橡皮塞诱芯+水盘诱捕器、橡皮塞诱芯+筒型诱捕器、毛细管诱芯+筒型诱捕器、毛细管诱芯+水盘诱捕器对二化螟成虫的诱捕效果,结果表明诱芯类型对诱捕效果没有显著影响。

1.2.3 诱芯存贮温度及存贮时间 盛承发等^[6]比较了二化螟诱芯在 $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下分别存贮 2~6 个月和 33~37 个月对二化螟成虫的引诱效果,结果表明供试诱芯存贮期对田间雄蛾诱捕量有显著影响,在 5 月 19 日到 9 月 20 日的调查期内,存贮 2~6 个月诱芯的平均诱蛾量为每盆 35.8 头,存贮 33~37 个月诱芯的平均诱蛾量显著下降,仅为每盆 5.5 头。2 种贮存期处理的最大诱蛾量分别为每天每盆 223 头

和 20 头,但不同处理所反映的田间蛾期发生规律却基本一致。

宣维健等^[7]研究也发现诱芯存贮温度及存贮时间对诱蛾量影响较大,-18℃和-4℃条件下存贮 1 年的诱芯其平均诱蛾总量比对照诱芯(-4℃条件下存贮 3 个月)分别下降 27.1%和 38.8%,处理 I(室温下存贮 1 年)和处理 II(-18℃条件下存贮 1 年,随后又在室温条件下存贮 1 年)2 种诱芯的平均诱蛾总量比对照诱芯分别下降 53.7%和 62.8%。但是,不同处理每盆每天最大诱蛾量与总诱蛾量的变化趋势一致,不同处理所反映的田间发蛾高峰期相近。因此在田间将二化螟诱芯用于大量诱捕和预测预报时,应重视诱芯的科学存贮和合理使用。

1.2.4 诱芯缓释技术 二化螟性信息素化合物为单不饱和长链烯醛的混合物,其稳定性较差,在野外高温、高湿、紫外线和空气中极容易发生氧化和降解,如何保证性信息素化合物的稳定性,提高其田间持效期,一直以来是性信息素田间应用亟待解决的重要问题。目前宁波纽康生物技术有限公司生产的二化螟 PVC 毛细管诱芯具有灌液结构,持效期长达 42~56 d,且实际应用中性信息素化合物释放均匀,可满足测报的需求^[8]。另一方面,提高性诱剂应用效果的关键技术之一是确定性信息素成分的最佳释放速率。Vacas 等^[9]开展了新型介孔材质诱芯的释放速率及田间应用效果研究,并比较了诱捕器中分别设置 1 个、2 个、3 个介孔材质诱芯和标准诱捕器的田间诱捕效果,结果表明释放速率与诱捕效果并非呈正相关,当诱芯释放速率为 34 μg/d 时,诱捕效果最佳。

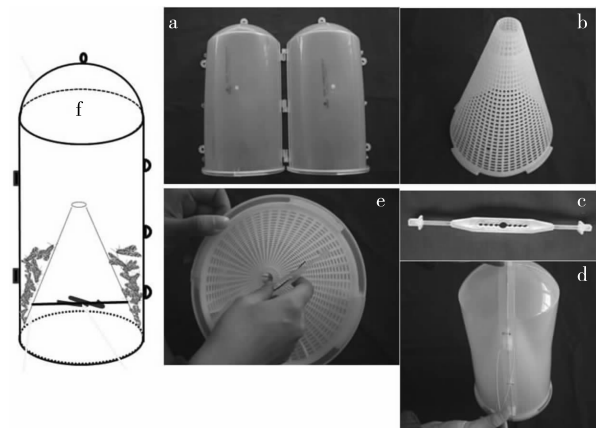
2 二化螟性信息素的田间应用

2.1 诱捕器的田间应用技术

2.1.1 诱捕器类型

2.1.1.1 诱捕器类型及应用效果 诱捕器是诱芯在田间发挥作用的重要载体,如何根据目标昆虫的行为学特征,综合考虑维护和应用成本,研发适宜的诱捕器类型,提高引诱效果和预测预报准确度,是性诱剂田间应用技术的重要研究方向。近年来有关二化螟的诱捕器主要有水盆式、黏胶式、干式^[8]和筒型^[5]诱捕器等,其中传统的诱捕器主要有水盆式和黏胶式 2 种,对于水盆式诱捕器在使用中需要加水(尤其在高温天气需要每天加水),对于黏胶式诱捕

器因有效期较短,需要定期更换黏板,这些都限制了性诱剂防治的大面积推广和应用。杜永均等^[8]通过视频记录和分析成虫交配行为中的定向飞行轨迹,研发了新型干式诱捕器(图 2)。该诱捕器在使用中操作简便,田间应用不需加水,且省工、省力、维护成本低,极大提高了应用性信息素大面积诱杀二化螟的可行性。



a. 诱捕器外壳; b. 诱捕器内带网孔的倒漏斗; c. 诱芯杆; d. 诱捕器整体; e. 诱芯安装示意图; f. 诱捕器整体示意图。

图 2 新型干式飞蛾诱捕器示意图^[8]

Fig.2 The diagram of new dry moth trap

司兆胜等^[10]在黑龙江方正县对杜永均等研制的新型干式诱捕器进行了田间测试,结果表明该诱捕器在田间操作简便,易于维护。调查期内每诱捕器的平均诱虫量可达 344 头,性诱剂处理区、施药区和不施药区虫伤株率分别为 1.77%、1.19%和 81.90%,枯鞘率分别为 1.11%、0.65%和 14.68%,白穗率分别为 1.87%、0.35%和 38.83%。性诱剂防治效果 95.18%,比药剂防治效果低 3.92 个百分点。

刘龙生等^[11]在湖南衡山县开展田间试验,比较了水盆式、干式和黏胶式 3 种诱捕器的引诱效果,结果表明水盆式和黏胶式诱捕器的诱捕能力优于干式诱捕器。胡代花等^[12]采用 2 种市售二化螟诱芯,在陕西汉中比较了水盆和黏胶式诱捕器的诱捕效果,结果表明二者的引诱活性无显著差异。

2.1.1.2 诱捕器与诱芯的组合实用效果 左文等^[5]比较了水稻二化螟性信息素不同诱芯载体(橡皮塞和毛细管诱芯)和不同诱捕器(水盆和筒形诱捕器)组合的诱捕装置的诱蛾效果,结果表明传统的诱捕装置(橡皮塞诱芯+水盆诱捕器)比新型诱捕装置

(毛细管诱芯+筒型诱捕器)诱蛾效果更佳,且二者之间差异显著。在对一代和二代二化螟成虫诱捕过程中,不同类型诱捕装置的诱蛾效果仍差异显著。

2.1.2 诱芯设置个数 为了保证防治效果和降低经济成本,刘兴龙等^[13]采用中国科学院动物研究所研制的二化螟橡胶塞诱芯和水盆诱捕器,比较了诱芯设置个数对诱捕量和防治效果的影响,结果表明每盆1芯处理的诱蛾量低于每盆2芯处理,每盆1芯处理和每盆2芯处理的防治效果分别为73.8%和80.7%,二者无显著差异,均低于施药对照的防治效果(86.4%),且与施药对照具有显著性差异。

石桥德等^[14]采用宁波纽康CS2011W供试二化螟毛细管诱芯和水盆诱捕器,比较了每盆2芯、每盆1芯和每盆0.5芯3个不同处理对二化螟的引诱效果,结果表明三者供试期内总诱蛾量无显著差异。

2.1.3 诱芯摆放方式 刘龙生等^[11]采用干式诱捕器,研究了垂直摆放(诱芯与中间孔口垂直)和水平摆放(诱芯与中间孔口在同一水平线上)2种诱芯摆放方式对诱蛾效果的影响,结果表明诱芯的摆放位置对成虫引诱效果有较大影响,其中垂直摆放的诱蛾量是水平摆放的5倍,显著提高了诱蛾效果。

2.1.4 诱捕器设置密度 在有害生物性诱剂推广应用于大量诱捕,尤其是迷向防治中,性诱剂的高成本一直以来是制约其广泛应用的瓶颈,因此研究诱捕器设置密度对田间防治效果的影响十分必要。

为了明确性诱剂对水稻二化螟的防治效果,刘兴龙等^[13]采用水盆诱捕法,进行了水稻二化螟的田间防治试验。结果表明,以 1 hm^2 45盆的密度设置性诱剂处理可有效控制二化螟的虫伤株率和水稻枯心率。

苏建伟等^[15]应用二化螟性信息素对早稻田的越冬代和第一代二化螟成虫进行了大面积诱捕,其诱捕器设置密度为 1 hm^2 25个,对照区采用化学农药防治。结果表明不同处理差异显著,其中诱捕区的卵块数和一代成虫发生量较对照区分别下降74.39%和61.41%,诱捕区百株枯鞘率、枯心率和白穗率比对照区均有明显下降。

梁文勇等^[16]比较了每 100 m^2 悬挂二化螟诱芯1枚、2枚、3枚对成虫诱蛾量的影响,结果表明诱芯设置量为2枚和3枚处理的30 d总诱蛾量为106只和63只,二者在0.05水平差异显著,而诱芯设置量为1枚的30 d总诱蛾量为78只,与诱芯设置量

为2枚和3枚处理的诱蛾量均无显著差异。

在标准迷向防治中,诱捕器设置密度为 1 hm^2 51个,为了明确降低诱捕器设置密度对迷向防治效果的影响,Alfaro等^[17]以诱捕量和作物损害率为评价指标,比较了3种诱捕器设置密度(1 hm^2 31个、25个、16个)与标准对照(1 hm^2 51个)和化学药剂米螨对二化螟连续3年的防治效果,结果表明降低诱捕器设置密度对二化螟的迷向防治仍然具有较好的效果,提高诱芯持效期可极大提高迷向防治效果,该项研究结果对降低性诱剂防治二化螟的成本,提高经济效益具有重要意义。

Chen等^[18]于2011年6月-10月,在中国东北稻区开展了水稻二化螟的大量诱捕和迷向防治试验,其中用于大量诱捕的诱捕器设置密度分别为 1 hm^2 20个、30个、40个、50个,用于迷向防治的诱捕器设置密度分别为 1 hm^2 200个、300个、400个、500个。结果表明 1 hm^2 40个、50个、500个3种密度下100垌田间卵块数均小于2.0,同期化学农药防治处理的100垌田间卵块数大于9.5。结果表明 1 hm^2 40个和500个的诱捕器设置密度可推荐用于中国东北稻区二化螟防治的大量诱捕和迷向防治中。

2.1.5 诱捕器颜色及悬挂高度 胡代花等^[12]采用2种市售二化螟诱芯和黏胶式诱捕器,比较了诱捕器颜色及悬挂高度对二化螟诱捕效果的影响。结果表明诱捕器颜色和悬挂高度对引诱效果均有较大影响,其中白色诱捕器的引诱效果最佳,而绿色、蓝色、黄色、黑色、红色、棕色等诱捕器的引诱效果次之;黏胶式诱捕器悬挂高度为1.4 m和1.2 m时的引诱效果优于1.0 m和0.8 m。

2.2 二化螟性信息素田间防治效果

田间应用防治效果指标主要有诱虫量、虫伤株率、枯心率、百株枯鞘率、白穗率、田间卵块数等。近年来国内已经在贵州^[19]、湖北(蕲春^[20]、鄂州^[21])、安徽(池州^[22]、庐江^[23])、江苏(如东县^[24])、广西(临桂^[25]、灌阳^[26]、全州^[14])、广东(韶关^[27])、湖南(衡山^[11])、黑龙江(尚志、方正县^[28])、浙江(诸暨^[29]、奉化^[30]、上虞^[31]、金华^[32]、临海^[33])、吉林(长春^[34]、柳河^[35])、辽宁(辽阳^[36])、河南(信阳^[37])、陕西(汉中^[12,38])等水稻产区开展了应用性诱剂防治二化螟的工作。

姜照琴^[37]在河南信阳对性信息素防治水稻二化螟的试验结果表明,性诱区对二化螟一代、二代成

虫的诱杀效果显著优于群众自防区,性诱区对二化螟一代、二代成虫的防治效果(91.68%和86.54%)亦高于群众自防区(88.12%和78.02%),但性诱区对二化螟三代成虫的防治效果(86.04%)与群众自防区(88.03%)相当。此外,性诱区的农药费用支出和水稻产量比群众自防区 1 hm²相应减少 750 元和增加 1 230 kg,体现出较好的经济效益。

戈峰等^[19]在贵州中部单季稻区,应用性信息素诱杀二化螟一代成虫,平均每日每盆诱捕量为 1.95~4.19 头,最高可达每日每盆 24.00 头,与对照田块相比,性诱剂试验田块二化螟幼虫的数量减少 87.7%,枯鞘数量和白穗数量分别减少 76.19%和 90.92%。

2.3 性信息素指导化学药剂施用

虽然近年来二化螟性信息素的发展及应用取得了一定成绩,但国内水稻二化螟的防治仍然以化学防治为主。鉴于二化螟的防治以化学防治为主,如何利用性信息素引诱结果确定化学药剂施药时间和施药次数,从而降低化学药剂使用量,对发展 IPM 综合防治具有重要意义。Chen 等^[39]在 2010 年和 2011 年根据田间二化螟雄蛾诱捕量指导确定单次化学药剂施药时间,取得较好的防治效果。在 2010 年田间试验中,溴氰菊酯、乐果、毒死蜱、杀螟单、氟虫腈、高氰戊菊酯等 6 种化学药剂的防控效果均大于 90%;在 2011 年田间试验中,当溴氰菊酯和毒死蜱的使用量为 0.35 kg/hm²时,防控效果大于 90%,而乐果的使用量在 0.30 kg/hm²或 0.35 kg/hm²时,其防治效果大于 90%。

2.4 植物挥发物与性信息素协同作用

左文^[40]研究了水稻等植物挥发物及其与性信息素混合物对二化螟的触角电位(EAG)反应。结果表明顺-3-乙酸叶醇酯、正十五烷、正十六烷和芳樟醇等多数植物挥发物与性信息素的混合物能显著增强雄虫的 EAG 反应。植物挥发物与性信息素混合时能显著增强螟虫 EAG 的恢复速率。

胡代花等^[41]发明了一种成本较低、具有较高引诱活性和较强单一诱捕性能的引诱二化螟的性诱剂及诱芯,通过大量的田间试验结果证明,添加苯乙醛可大幅度提高二化螟性诱剂的诱杀效果,体现在诱捕量大、引诱效果稳定,且使用简单、安全,成本较低,可应用于二化螟的预测预报和防治,具有较好的社会效益、经济效益和生态效益。

2.5 性信息素与其他生物/物理防治技术的相容性

2.5.1 生物农药与二化螟性信息素的协同作用

翟宏伟^[42]研究结果表明,二化螟性诱剂结合生物农药短稳杆菌,对水稻二化螟的防治效果达 90.94%,其与化学药剂 20% 氯虫苯甲酰胺的防治效果(93.52%)基本一致。

2.5.2 赤眼蜂与二化螟性信息素的协同作用

翟宏伟^[42]以虫伤株率、枯梢株率等为指标研究了性诱剂与赤眼蜂协同作用对水稻二化螟的防控效果,结果表明性诱剂与赤眼蜂寄生协同作用对水稻二化螟的防控效果较好,优于单独使用赤眼蜂寄生或单独使用性诱剂的防控效果。

为了进一步研究昆虫性信息素在田间的应用是否会对二化螟寄生性天敌产生影响,以及与卵寄生蜂协同作用的效果,白琪等^[43]采用 Y-型嗅觉仪测定了稻螟赤眼蜂、螟黄赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂 3 种稻田赤眼蜂对 6 种不同剂量(0.01 μg、0.10 μg、1.00 μg、10.00 μg、100.00 μg 和 1 000.00 μg)性信息素诱芯的嗅觉反应。结果表明二化螟性信息素对稻螟赤眼蜂雌蜂具有显著的吸引作用,而对螟黄赤眼蜂和松毛虫赤眼蜂的吸引作用不明显。表明赤眼蜂可以利用寄主的性信息素对寄主进行定位,利用人工合成性信息素对赤眼蜂具有吸引力的特性可增加稻田的赤眼蜂密度,从而提高稻田的生物防治能力。

宋静等^[44]通过室内试验研究发现二化螟性信息素混合物影响稻螟赤眼蜂的寄生。当混合物(Z11-16:Ald:Z13-18:Ald:Z9-16:Ald=48:6:5,质量比)质量浓度从 0.01 μg/μl 升高到 10.00 μg/μl 时,供试米蛾卵被寄生率从 50.29% 下降到 1.71%,均显著低于对照(62.14%)。当寄生发生后,赤眼蜂子代的雌性比不受性信息素质量浓度的影响。远离诱芯位置的卵块的被寄生率高于距离诱芯近的卵块,但挂放诱芯吸引了自然界中的松毛虫赤眼蜂和玉米螟赤眼蜂。以上结果显示二化螟性信息素影响了稻螟赤眼蜂的寄生,但不同种赤眼蜂对二化螟性诱剂的反应不同。

2.6 温度及重金属 Cd²⁺胁迫对二化螟性信息素通讯行为的影响

2.6.1 温度对二化螟性信息素通讯行为的影响

昆虫两性间的化学通讯和性信息素技术的田间防治效果均会受环境因素的影响。余棋等^[45]将二化螟

蛹期和成虫期进行不同温度(15℃、20℃、25℃、30℃和35℃)处理后,分析了雌蛾性腺内各性信息素组分的含量及比例,同时测定雄蛾对性信息素组分的EAG反应。结果表明二化螟性信息素通讯的适宜温度为20~25℃,温度过高或过低均不利于两性间的正常化学通讯。该研究结果为二化螟性信息素防治技术的合理应用及极端温度条件下害虫种群发生的预测预报提供了重要参考。

2.6.2 Cd^{2+} 对二化螟雄蛾性信息素定向行为的影响

随着工业化和城市化进程的加快,环境中 Cd^{2+} 污染日趋严重,昆虫在自然界动物类群中数量最多、分布最广,极易接触到重金属,还能积累、代谢重金属并通过食物链转移^[46],因此研究 Cd^{2+} 对二化螟生长发育和生殖的影响,对二化螟种群动态的预测具有重要意义。张宇瑶等^[46]采用室内添加含不同含量 Cd^{2+} [0 mg/kg、1 mg/kg、5 mg/kg、10 mg/kg、15 mg/kg、20 mg/kg]的人工饲料饲养二化螟2龄幼虫,研究重金属 Cd^{2+} 胁迫对二化螟性信息素通讯及调控行为方面的影响,结果发现雄蛾对性信息素的定向反应率受 Cd^{2+} 的影响较大,高含量 Cd^{2+} 处理的雄蛾接近正常求偶雌蛾的百分率降低,而低含量 Cd^{2+} 处理后的雄蛾接近正常雌蛾、 Cd^{2+} 雌蛾的百分率与对照组无显著差异^[46]。研究结果表明, Cd^{2+} 进入二化螟体内会损坏二化螟成虫的性信息素通讯系统,使二化螟对性信息素的感应与识别等化学通讯行为受到影响。

3 展望

中国农产品自加入WTO后面临巨大的机遇和挑战,技术壁垒成为中国农产品出口的主要障碍,随着人民群众生活水平的提高和健康意识的增强,城乡居民对安全食品及绿色食品的需求迅速增加,如何更大程度保证和提高农产品质量和安全一直是广大植保工作者的不懈努力方向。近年来,随着IPM、“和谐植保”等理念的不断深入,以及食品质量安全问题逐步提上日程,利用性信息素防治水稻二化螟的研究及应用呈现防治范围广、田间应用技术趋于进一步完善规范、理论研究支撑应用研究等特点。但在二化螟的实际防治中,化学农药仍占主导地位,笔者认为限制二化螟性信息素应用的主要原因包括经济成本高、设备应用和维护繁琐,具体体现在性信息素组分合成成本高、诱芯组分田间稳定性效果不

佳、持效期短、诱捕器使用中人工维护工序多,难以大规模推广和应用等多方面。鉴于此,可从优化性信息素组分化学合成方法,有效控制诱芯性诱剂释放速率和提高诱芯持效期,积极探索二化螟高活性拟性信息素的合成,深入植物挥发性信息化学物质与二化螟性信息素的互作关系研究以及进一步开展二化螟性信息素的迷向防治技术研究等。另一方面,在二化螟性诱剂的实际田间应用中,还应考虑二化螟种群的地理区系差异,重视诱芯类型、诱捕器类型、诱捕器设置密度和高度等以及温度、湿度、风向、天敌等环境因素的影响,进而在各水稻产区建立适宜有效的田间应用技术,以更大程度保证二化螟预测预报的准确度,提高综合防控的实际效果。相信在以上工作的积极开展下,可切实推进二化螟性信息素的推广和应用。

参考文献:

- [1] 焦晓国,宣维健,王红托,等. 水稻二化螟性信息素防治研究进展[J]. 昆虫知识, 2003, 40(3):193-200.
- [2] 孟宪佐. 我国昆虫信息素研究与应用的进展[J]. 昆虫知识, 2000, 37(2):75-84.
- [3] 周舒扬,叶阳,梁霆. 水稻二化螟性信息素的简便合成[J]. 安徽农业科学, 2015, 42(26):120-121,124.
- [4] 李为争,盛承发,郭线茹,等. 二化螟性诱芯中不饱和十六醛的比例对诱捕效果的影响[J]. 植物保护, 2008, 34(3):105-108.
- [5] 左文,巩中军,祝增荣,等. 水稻二化螟性信息素和诱捕器组合的田间诱蛾效果比较[J]. 核农学报, 2008, 22(2):238-241.
- [6] 盛承发,康芝仙,陈日墨,等. 二化螟性诱芯不同存贮期对诱蛾效果的影响[J]. 植物保护, 2002, 28(4):9-11.
- [7] 宣维健,焦晓国,王红托,等. 存贮温度和时间对二化螟性诱剂诱蛾效果的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2003, 25(4):367-370.
- [8] 杜永均,郭荣,韩清瑞. 利用昆虫性信息素防治水稻二化螟和稻纵卷叶螟应用技术[J]. 中国植保导刊, 2013, 33(11):40-42,39.
- [9] VACAS S, ALFARO C, NAVARRO-LLOPIS V, et al. Study on the optimum pheromone release rate for attraction of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2009, 102(3):1094-1100.
- [10] 司兆胜,宫香余,翟宏伟,等. 昆虫性信息素配备新型飞蛾诱捕器群集诱杀水稻二化螟的效果研究[J]. 中国稻米, 2016, 22(4):102-104.
- [11] 刘龙生,彭云良,曾良贵,等. 性诱剂在水稻二化螟及稻纵卷叶螟防治中的应用[J]. 湖南农业科学, 2013(20):25-27.
- [12] 胡代花,杨晓伟,韩鼎,等. 二化螟性诱剂田间应用技术研究

- [J]. 中国农学通报, 2015, 31(23):77-80.
- [13] 刘兴龙,王克勤,刘春来,等. 性诱剂防治水稻二化螟效果的初步研究[J]. 黑龙江农业科学, 2015(5):49-50.
- [14] 石桥德,宾莉,文鸿,等. 二化螟性诱剂在稻田的应用技术初探[J]. 广西植保, 2012, 25(4):8-9.
- [15] 苏建伟,宣维健,盛承发,等. 水稻二化螟性信息素技术大量诱捕二化螟的防治效果研究[J]. 中国水稻科学, 2003, 17(2):171-174.
- [16] 梁文勇,周华光,赵丽稳,等. 二化螟诱芯对水稻二化螟的防治效果[J]. 浙江农业科学, 2014(8):1220-1221.
- [17] ALFARO C, NAVARRO-LLOPIS V, PRIMO J. Optimization of pheromone dispenser density for managing the rice striped stem borer, *Chilo suppressalis* (Walker), by mating disruption [J]. Crop Protection, 2009, 28(7):567-572.
- [18] CHEN R Z, KLEIN M G, SHENG C F, et al. Mating disruption or mass trapping, compared with chemical insecticides, for suppression of *Chilo suppressalis* (Lepidoptera: Crambidae) in northeastern China [J]. Journal of Economic Entomology, 2014, 107(5):1828-1838.
- [19] 戈峰,王常平,陈小飞. 二化螟性信息素诱杀剂在贵州稻区诱蛾的效果[J]. 贵州农业科学, 2002, 30(5):13-14.
- [20] 邹春华,郭茂禄,许本元,等. 两种二化螟性信息素诱集效果比较[J]. 湖北植保, 2011(1):45-46.
- [21] 叶生海,卢增斌,程年娣,等. 二化螟性诱剂田间防治效果初步研究[J]. 湖北植保, 2008(6):39-40.
- [22] 姚卫平. 不同诱芯及配套诱捕器诱杀水稻二化螟效果及应用于病虫测报的初步研究[J]. 安徽农学通报, 2011, 17(5):88-89.
- [23] 王德好,王松洋,费铭海,等. 二化螟性诱剂大面积诱捕2代雄蛾的效果[J]. 安徽农业科学, 2002, 30(3):396-397.
- [24] 姜海平,阚李斌,陈迎春,等. 性诱剂在水稻二化螟预测预报中的应用[J]. 江苏农业科学, 2010(5):161-162.
- [25] 蔡昭雄,徐成生,蒋德赏. 二化螟性诱剂防治水稻二化螟田间应用技术初报[J]. 吉林农业, 2011(6):84-85.
- [26] 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.
- [27] 石海英. 水稻二化螟性诱剂防治研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(5):940-941.
- [28] 洪峰,张艳菊,张洪文,等. 性诱剂防治二化螟效果的研究[J]. 黑龙江农业科学, 2009(6):72-73.
- [29] 蔡国梁,张华旦,王华弟,等. 水稻二化螟性诱测报技术研究[J]. 中国植保导刊, 2005, 25(9):5-7.
- [30] 蒋永太,王国忠,周华光,等. 二化螟性诱剂防控水稻二化螟田间试验[J]. 上海农业科技, 2011(1):112.
- [31] 尹国娟,马祺,章云斐. 水稻二化螟性信息素诱蛾试验及测报技术探讨[J]. 安徽农学通报, 2012, 18(14):91-92.
- [32] 盛仙俏,张发成,陈桂华,等. 二化螟性诱剂在测报及防治上的应用探讨[J]. 浙江农业科学, 2009(4):754-755.
- [33] 罗鉴多,汪恩国,方辉. 水稻二化螟性诱监测与灯诱监测效果比较试验[J]. 现代农业科技, 2009(23):169,175.
- [34] 盛承发,王文铎,焦晓国,等. 应用性信息素诱杀水稻二化螟效果的初步研究[J]. 吉林农业大学学报, 2002, 24(5):58-61,65.
- [35] 金春丽,邢红菲,陈虹玉,等. 性诱剂在水稻二化螟防治方面的应用[J]. 吉林农业, 2012(4):82.
- [36] 李金栋. 二化螟性信息素全程防控二化螟试验研究[J]. 现代农业科技, 2016(18):98,101.
- [37] 姜照琴. 性信息素防治水稻二化螟的试验研究及效果评价[J]. 种业导刊, 2017(8):20-22.
- [38] 胡代花,杨晓伟,韩鼎,等. 不同性诱剂对陕南水稻三大害虫引诱效果比较[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(7):119-121.
- [39] CHEN R Z, KLEIN M G. Efficacy of insecticides against the Rice Stem-borer, *Chilo suppressalis* (Walker) (Lepidoptera: Crambidae), and use of sex pheromones to time accurately the yearly application [J]. International Journal of Pest Management, 2012, 58(4):354-360.
- [40] 左文. 水稻挥发物与二化螟性信息素对二化螟的协同作用 [D]. 杭州:浙江大学, 2007.
- [41] 胡代花,杨晓伟. 引诱二化螟的性诱剂及诱芯: ZL201410465931.9[P]. 2016-04-02.
- [42] 翟宏伟. 性诱剂在水稻二化螟绿色防控中的应用初步研究 [D]. 北京:中国农业科学院, 2013.
- [43] 白琪,田俊策,鲁艳辉,等. 3种赤眼蜂对二化螟和稻纵卷叶螟性信息素的嗅觉反应[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(5):584-589.
- [44] 宋静,黄静,王雷英,等. 二化螟性信息素对稻螟赤眼蜂寄生能力及田间寄生效果的影响[J]. 中国生物防治学报, 2017, 33(4):481-486.
- [45] 余棋,闫祺,董双林. 温度对二化螟性信息素通讯的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(11):3784-3788.
- [46] 张宇瑶,胡新娣,郑丽霞,等. Cd^{2+} 对二化螟生长发育及雄蛾对性信息素定向行为的影响[J]. 环境昆虫学报, 2017, 39(2):423-430.

(责任编辑:陈海霞)