

半翅目昆虫性信息素的研究进展^{*}

张志林 陈利珍 付新华 雷朝亮^{**}

(昆虫资源利用与害虫可持续治理湖北省重点实验室 华中农业大学 武汉 430070)

摘 要 本文主要从半翅目昆虫性信息素的提取鉴定方法、分泌部位、性信息素成分、在防治中的应用以及存在的问题等几个方面综述了半翅目昆虫性信息素的研究进展。

关键词 半翅目昆虫, 性信息素, 害虫防治

Research advance in sex pheromone of Hemiptera

ZHANG Zhi-Lin CHEN Li-Zhen FU Xin-Hua LEI Chao-Liang^{**}

(Insect Resources Utilization and Sustainable Pest Management Hubei Key Laboratory, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract The paper summarizes progress on the extraction and identification of Hemipteran sex pheromone components and the prospects for using sex pheromones in the control of Hemiptera. Current problems in the use of sex pheromones in pest control are discussed.

Key words Hemiptera, sex pheromone, pest control

全世界已知的半翅目昆虫有 38 000 多种(彩万志等, 2004), 我国危害林果的蝽类有 50 多种(萧采瑜, 1977), 危害水稻的仅蝽科就有 40 多种、危害小麦的有 20 多种(卜云和郑哲民, 2004)。它们以刺吸式口器取食植物幼嫩部位和繁殖器官的汁液, 造成植物组织坏死, 严重影响作物的产量和质量。蝽类成虫活动能力很强, 具有转株危害特性, 药剂防治效果不佳。昆虫性信息素具有高效、无毒、专一性强等优点, 已经成为农业和森林害虫防治与监控的重要方法和手段(Zhang and Aldrich, 2003)。自从 Butenandt 和 Hecker (1961) 鉴定并提纯出第一个昆虫性信息素——蚕醇(Bombykol)以来, 已有超过 500 种昆虫的性信息素被鉴定出来, 并且大部分已人工合成, 其中很多已经商品化(王荫长, 2001)。在半翅目昆虫中, 已鉴定出 30 多种性信息素或聚集信息素, 有的已经得到应用(Yasuda, 2004; Mizutani, 2006), 从而成为半翅目害虫防治的重要手段之一。

1 性信息素化学成分确定

1.1 取样前处理

半翅目昆虫性信息素主要是由雌性个体分泌的, 也有少部分是由雄性个体分泌的。不同性成熟期的成虫(处女成虫或非处女成虫)对性信息素分泌和接收的效果不同(Yasuda, 2010)。有的蝽类要在交配前感受到异性的信号之后, 才开始释放性信息素。稻绿蝽 *Nezara viridula* 雄虫在听到雌虫的鸣唱并确定其位置后才释放性信息素(Miklas *et al.*, 2003), 开始吸引雌虫; 在蝽科的 *Chlorochroa* 属中, 北美塞氏蝽 *C. sayi*、野棉蝽 *C. ligata* 和 *C. uhleri* 在求偶之前都有鸣唱行为(Bagwell *et al.*, 2008), 在性信息素的取样鉴定前, 必须了解蝽象的性成熟期和求偶特性, 以便确定试验对象性信息素的最佳分泌和接收时间。

1.2 取样方法

性信息素取样的方法主要有冷凝法、浸泡法、吸附法和顶空固相微萃取法(SPME)。

^{*} 资助项目: 公益性行业(农业)科研专项(201103012)。

^{**} 通讯作者, E-mail: ioir@mail.hzau.edu.cn

收稿日期: 2011-04-13, 接受日期: 2011-06-01

半翅目性信息素取样主要采用后 3 种。浸泡法是在极短的时间内利用 CO_2 或 N_2 气体将实验用虫杀死,然后将除去头部和四肢的单个虫或特定的臭腺浸泡在有机溶剂中,在室温条件下静置浓缩,低温保存以备用。吸附法是在自制玻璃容器内,用吸附剂吸附昆虫分泌的挥发性物质,再用有机溶剂洗涤出来,低温保存以备用 (Yasuda, 2010)。顶空固相微萃取法是将活着的单个成虫放置在广口瓶内,用封口膜封口后将固相微萃取装置的针头穿透封口膜,插入瓶内然后小心地推出纤维头,同时用固定装置固定固相微萃取装置的手柄,自萃取纤维头推出后开始计时,待吸附完毕后立即进行 GC-EAD 检验。浸泡法取样时溶解的物质成分较多,对性信息素分析有很大的干扰,吸附法和顶空固相微萃取法亦存在不足,一些有效成分可能被其他物质吸附,也可能洗涤不完全等 (Yasuda *et al.*, 2007),因此通常是用 3 种方法相结合取样。

1.3 化学成分分析及确定

性信息素化学成分的鉴定主要用 GC-EAD 和 GC-MS 等仪器进行,确定其化学结构后,利用现有的标样或人工化学合成,然后通过室内和田间试验确定其有效性。室内检测主要通过 Y 形管,对分析出的性信息素各成分和成分混合物分别对雌、雄成虫进行引诱试验,并且通过田间的诱捕试验进一步验证性信息素的有效性和真实性。性信息素组分间的最佳配比、阈值以及光学异构性是决定性信息素效果的重要因素 (Millar and Rice, 1998; Kakizaki and Sugie, 2001; Higuchi *et al.*, 2004)。Ho 和 Millar (2001) 在对野棉蜡和 *C. uhleri* 的研究中发现,它们的性信息素化学成分相同,但是 3 种成分之间的配比有差异,分别为 100:0.9:0.6 和 100:0.5:0.4;而卷心菜斑色蜡 *Murgantia histrionica* 的性信息素成分是 4-[3-(3,3-dimethyloxiran-2-yl)-4-methylpropyl]-4-methylcyclohex-2-en-1-ol 的一种异构体 (Zahn *et al.*, 2008)。

2 分泌和释放的部位

半翅目昆虫分泌性信息素的腺体主要是臭腺,包括后胸臭腺、布氏臭腺和腹臭腺 (韩永林等, 2004),大多数种类是后胸臭腺分泌的。如盲蝽科中的 *Phytocoris californicus* 和 *P. relativus* 以及显角

微刺盲蝽 *Campylomma verbasci* (Meyer);长蝽科 (Aldrich *et al.*, 1997, 1999) 和蛛缘蝽科 (Aldrich *et al.*, 2000) 中大多数种类也是后胸臭腺分泌的;少数种类则由其他臭腺分泌,如猎蝽属中长红锥蝽 *Rhodnius prolixus* 是由后胸臭腺和布氏臭腺共同完成的,而后的真正作用还没有明确 (Manrique *et al.*, 2006; Pontes *et al.*, 2008);Borges (1995) 研究发现,雄性绿稻蝽的性信息素,主要由很多独立的单个细胞分泌,各自通过腹部腹面开口的导管,往外释放 (Cribb *et al.*, 2006)。盲蝽科中的原丽盲蝽 *Lygocoris pabulinus* 的分泌部位是着生在足上的分泌腺 (Drijfhout *et al.*, 2003)。

3 性信息素的化学成分

半翅目性信息素的主要成分包括简单的酯、单萜烯、烯炔、醛、醇及乙酰脂等 (Zhang and Aldrich, 2003; Naka *et al.*, 2010)。大多数半翅目昆虫性信息素由 2 种或 2 种以上成分组成,仅用单一成分作为性信息素的很少,如目前发现的 *Tibraca limbativentris* (Borges *et al.*, 2006) 和 *Thyanta periditor* (Moraes *et al.*, 2005)。大多数蝽的性信息素化学成分至少有一种是两性成虫都能释放的,但它们的确切功能还存在疑问。在做 GC-EAD 检测时发现,被引诱的成虫释放的性信息素对自身触角并没有产生反应。Drijfhout 等 (2003) 在研究中发现,原丽盲蝽雌雄都能释放顺-9-二十五碳烯和顺-7-二十五碳烯,但是在触角试验中雄性提取物对雌雄成虫都没有刺激反应。

盲蝽科中已有 8 种盲蝽的性信息素化学成分被鉴定,大都以 8 碳化合物为主,只有一个是二十五碳烯为主要成分的。但是半翅目中各个科性信息素化学成分有各自的特点, Pontes 等 (2008) 研究发现,猎蝽科主要成分包括酮、醇和酯类,长红锥蝽主要含有 2-甲基-3-丁烯-2-醇、第二戊醇、(3E)-2-甲基-3-戊烯-2-酮和 (2R/2S)-4-甲基-3-戊烯-2-酮。蝽科性信息素的关键成分是 (E)-2,7-octadienyl acetate,在其它蝽类性信息素中很少见 (Aldrich *et al.*, 1997, 1999);花蝽科的小花蝽 *Orius insidiosus* 性信息素化学成分主要为 (E)-2,7-octadienal 和反-2-辛烯醛 (Aldrich *et al.*, 2007)。在半翅目昆虫中,也有性信息素化学成分比较复杂的,它们大多由雄性成虫分泌,如 *C. uhleri* 和野

棉蚜的性信息素组分中包含有 (R)-3-(E)-6-2, 3-氢化法尼酸甲酯、(2E,6E)-法尼酸甲酯和 (E)-5-2,6,10-三甲基十一碳酸-5,9-二烯-甲酯 (Ho and Millar, 2001)。

在半翅目有些科中,不同种的性信息素中也存在相同的成分,如壁蝽 *Piezodorus guildini* 的性信息素化学成分中的 methyl 2, 6, 10-trimethyltridecanoate 也正是尖角二星蝽 *Eysarcoris parvus* 性信息素的一种组分 (Borges *et al.*, 1998; Endo *et al.*, 2006); 并且还有很多在性信息素混合物中含有某些相同的成分,能诱到不同科的蝽类昆虫,如长蝽科中的乳草长蝽 *Oncopeltus fasciatus* 性信息素能诱到盲蝽科 *Phytocoris difficilis* 的雄虫。半翅目昆虫中性信息素不但能够引诱不同种类的昆虫,而且还能用于昆虫的种内竞争,如 Zhang 和 Aldrich (2008) 研究显示,在 *P. difficilis* 中丁酸己酯作为性信息素的一种主要成分,具有驱赶其他雄性的效果或是以防止雄虫再次和雌虫交配,并且这种现象在其他的盲蝽中也存在。

4 在防治中的应用前景

4.1 预测预报

昆虫性信息素具有专一性强的特点,所以性信息素制成的诱捕器灵敏度高、专一性强,能够发现早期发生的害虫,并准确预报发生期和发生量。目前半翅目昆虫性信息素用于预测预报还只是处于试验阶段,如在高粱地利用合成性信息素对蝽科中的 *Euschistus heros* 进行监控 (Borges *et al.*, 2011)。

4.2 害虫防治

性信息素在害虫防治中主要有诱杀法和性信息素与其他生物农药联用技术两种。在农田放置适量的具有性信息素的诱捕器,诱杀大量雄性或雌性成虫,造成雌雄比例失调,降低其交配机会;例如在加拿大的苹果园中利用性信息素防治显角微刺盲蝽。还可用带有病毒的性信息素诱芯引诱雄性成虫,使其沾染上病毒后将其释放,让病毒在种群中传播,从而产生流行病或子代不育,达到防治的目的。

4.3 吸引天敌控制害虫

研究发现点蜂缘蝽的性信息素能够引诱卵的寄生蜂卵跳小蜂 *Ooencyrtus nezarae* (Mizutani,

2006)。飞蝇能利用盲蝽的性信息素来寻找受伤和死亡的盲蝽作为食物 (Zhang and Aldrich, 2004)。这些发现说明,可以利用性信息素作为天敌引诱剂,引诱天敌来控制害虫种群数量。

5 性信息素使用中存在的问题

性信息素使用过程中存在的主要问题有:1) 昆虫性信息素的化学组分不能完全确定,因此不能很好的发挥其诱捕效果;2) 不能很好的确定性信息素成分之间的最佳配比,最佳配比是性信息素诱导能力的重要因素,如前所述的植盲蝽属中的 *P. californicus* 和 *P. brevisculus* 的性信息素之间的差异性;3) 性信息素组成在混合配比过程中容易产生变异和可能与载体结合,从而会影响其效果;4) 性信息素化学成分的光学异构体也是造成效果不佳的重要因素;5) 性信息素在使用中易受到外界因子的影响,如天气、摆放位置、高度等;6) 不同地理种群性信息素成分存在差异,由于长期的地理隔离、寄主品种差异、气候条件等环境因子的差异导致昆虫性信息素释放的量、组分和比例产生较大的变化;7) 性信息素传播、接收的分子机制及调控机理尚不明确。

昆虫性信息素作为一种防治害虫的工具,已投入生产和使用,更深入的研究应在性信息素各成分的具体作用、性信息素成分间的最佳配比、阈值、生物合成机理和感受机理、性信息素化学合成的纯度、异构、稳定性和释放节律 (杜永均, 2007), 以及性信息素大面积推广的田间应用技术等方面的研究有所突破,这在化学和行为生态学以及害虫综合治理中有着重要的理论意义和应用价值。

参考文献 (References)

- Aldrich JR, Leal WS, Nishida R, Khirman AP, Lee CJ, Sakuratani Y, 1997. Semiochemistry of aposematic seed bugs (Heteroptera: Lygaeidae). *Entomol. Exp. Appl.*, 84: 127—135.
- Aldrich JR, Oliver JE, Shifflet T, Smith C, Dively G, 2007. Semiochemical investigations of the insidious flower bug, *Orius insidiosus* (Say). *J. Chem. Ecol.*, 33 (11): 1477—1493.
- Aldrich JR, Oliver JE, Taghizadeh T, Ferreira JTB, Liewehr D, 1999. Pheromones and colonization: Reassessment of the milkweed bug migration model (Heteroptera: Lygaeidae:

- Lygaeinae). *Chemoecology*, 9:63—71.
- Aldrich JR, Zhang A, Oliver JE, 2000. Attractant pheromone and allomone from the metathoracic scent gland of a broad-headed bug (Hemiptera: Alydidae). *Can. Entomol.*, 132 (6):915—923.
- Bagwell GJ, Cokl A, Millar JG, 2008. Characterization and comparison of substrate-borne vibrational signals of *Chlorochroa uhleri*, *Chlorochroa ligata*, and *Chlorochroa sayi* (Heteroptera: pentatomidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 101 (1):235—246.
- Borges M, 1995. Attractant compounds of the southern green stink bug, *Nezara viridula* (L.) (Heteroptera: Pentatomidae). *Ann. Soc. Entomol. Brasil.*, 24:215—225.
- Borges M, Birkett M, Aldrich JR, Oliver JE, Chiba M, Murata Y, Laumann RA, Barrigossi JA, Pickett JA, Moraes MC, 2006. Sex attractant pheromone from the rice stalk stink bug, *Tibraca limbativentris* Stål. *J. Chem. Ecol.*, 32 (12):2749—2761.
- Borges M, Moraes MCB, Peixoto MF, Pires CSS, Sujii ER, Laumann RA, 2011. Monitoring the neotropical brown stink bug *Euschistus heros* (F.) (Hemiptera: Pentatomidae) with pheromone-baited traps in soybean fields. *J. Appl. Entomol.*, 135 (1/2):68—80.
- Borges M, Schmidt FGV, Sujii ER, Medeiros MA, Mori K, Zarbin PHG, Ferreira JTB, 1998. Field responses of stink bugs to the natural and synthetic pheromone of the Neotropical brown stink bug, *Euschistus heros* (Heteroptera: Pentatomidae). *Physiol. Entomol.*, 23 (3):202—207.
- Butenandt A, Hecker E, 1961. Synthese des bombykols des sexuallockstoffes des seidenspinners, and seiner geometrischen isomeren. *Angew. Chem.*, 73:349—353.
- Cribb BW, Siriwardana KN, Walter GH, 2006. Unicellular pheromone glands of the pentatomid bug *Nezara viridula* (Heteroptera: Insecta): Ultrastructure, classification, and proposed function. *J. Morphol.*, 267 (7):831—840.
- Drijfhout FP, Groot AT, Van Beek TA, Visser JH, 2003. Mate location in the green capsid bug, *Lygocoris pabulinus*. *The Netherlands Entomological Society Entomologia Experimentalis et Applicata*, 106 (2):73—77.
- Endo N, Wada T, Nishiba Y, Sasaki R, 2006. Interspecific pheromone cross-attraction among soybean bugs (Heteroptera): Does *Piezodorus hybneri* (Pentatomidae) utilize the pheromone of *Riptortus clavatus* (Alydidae) as a kairomone? *J. Chem. Ecol.*, 32 (7):1605—1612.
- Higuchi H, Takahashi A, Fukumoto T, Mochizuki F, 2004. Attractiveness of synthetic sex pheromone of the rice leaf bug, *Trigonotylus caelestialium* (Kirkaldy) (Heteroptera: Miridae) to males. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 48 (4):345—347.
- Ho HY, Millar JG, 2001. Identification and synthesis of male-produced sex pheromone components of the stink bugs *Chlorochroa ligata* and *Chlorochroa uhleri*. *J. Chem. Ecol.*, 27 (10):2067—2095.
- Kakizaki M, Sugie H, 2001. Identification of female sex pheromone of the rice leaf bug, *Trigonotylus caelestialium*. *J. Chem. Ecol.*, 27 (12):2447—2458.
- Manrique G, Vitta ACR, Ferreira RA, Zani CL, Unelius CR, Lazzari CR, Diotaiuti L, Lorenzo MG, 2006. Chemical communication in Chagas disease vectors. Source, identity, and potential function of volatiles released by the metasternal and Brindley's glands of *Triatoma infestans* adults. *J. Chem. Ecol.*, 32 (9):2035—2052.
- Miklas N, Lasnier T, Renou M, 2003. Male bugs modulate pheromone emission in response to vibratory signals from conspecifics. *J. Chem. Ecol.*, 29 (3):561—574.
- Millar JG, Rice RE, 1998. Sex pheromone of the plant bug *Phytocoris californicus* (Heteroptera: Miridae). *J. Econ. Entomol.*, 91 (1):132—137.
- Mizutani N, 2006. Pheromones of male stink bugs and their attractiveness to their parasitoids. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.*, 50 (2):87—99.
- Moraes MC, Millar JG, Laumann RA, Sujii ER, Pires CS, Borges M, 2005. Sex attractant pheromone from the neotropical red-shouldered stink bug, *Thyanta perditor* (F.). *J. Chem. Ecol.*, 31 (6):1415—1427.
- Naka H, Mochizuki M, Nakada K, Do ND, Yamauchi T, Arita Y, Ando T, 2010. Female sex pheromone of *Glossospehia romanovi* (Lepidoptera: Sesiidae) identification and field attraction. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 74 (9):1943—1946.
- Pontes GB, Bohman B, Unelius CR, Lorenzo MG, 2008. Metasternal gland volatiles and sexual communication in the triatomine bug, *Rhodnius prolixus*. *J. Chem. Ecol.*, 34 (4):450—457.
- Yasuda T, 2004. Stinkbug pheromones related with bug's aggregation. *Plant Prot.*, 58:304—308.
- Yasuda T, Mizutani N, Endo N, Fukuda T, Matsuyama T, Ito K, Moriya S, Sasaki R, 2007. A new component of attractive aggregation pheromone in the bean bug, *Riptortus clavatus* (Thunberg) (Heteroptera: Alydidae). *Appl. Entomol. Zool.*, 42 (1):1—7.
- Yasuda TKO, 2010. Effects of age and mating on female sex

- attractant pheromone levels in the sorghum plant bug, *Stenotus rubrovittatus* (Matsumura). *J. Chem. Ecol.*, 36 (5):548—552.
- Zahn DK, Moreira JA, Millar JG, 2008. Identification, synthesis, and bioassay of a male-specific aggregation pheromone from the harlequin bug, *Murgantia histrionica*. *J. Chem. Ecol.*, 34 (2):238—251.
- Zhang QH, Aldrich JR, 2003. Pheromones of milkweed bugs (Heteroptera: Lygaeidae) attract wayward plant bugs: phytocoris mirid sex pheromone. *J. Chem. Ecol.*, 29 (8):1837—1851.
- Zhang QH, Aldrich JR, 2004. Attraction of scavenging chloropid and milichiid flies (Diptera) to metathoracic scent gland compounds of plant bugs (Heteroptera: Miridae). *Environ. Entomol.*, 33:12—20.
- Zhang QH, Aldrich JR, 2008. Sex pheromone of the plant bug, *Phytocoris calli* Knight. *J. Chem. Ecol.*, 34 (6):719—724.
- 卜云, 郑哲民, 2004. 我国蝽科昆虫的研究进展. 宁夏农学院学报, 25 (3):76—79 转 83.
- 彩万志, 庞雄飞, 花保祯, 梁广文, 宋敦伦, 2004. 普通昆虫学. 北京:中国农业大学出版社. 318—320.
- 杜永均, 2007. 化学信息素在蔬菜害虫综合防治中的应用. 中国蔬菜, 1:35—39.
- 韩永林, 彩万志, 徐希莲, 2004. 蝽类昆虫的臭腺. 昆虫知识, 41 (6):607—610.
- 王荫长, 2001. 昆虫生物化学. 北京:中国农业出版社. 448—480.
- 萧采瑜, 1977. 中国蝽类昆虫鉴定手册. 北京:科学出版社. 3—7.