

# 瘿蚊性信息素的研究进展

李红军, 何雄奎, 曾爱军, 江树人, 曹 姗

(中国农业大学 理学院, 北京 100094)

**摘要:**介绍了瘿蚊对农业造成的危害及其原因, 讲述了瘿蚊性信息素的鉴定方法, 分析了已发现的瘿蚊性信息素的化学结构, 总结出瘿蚊性信息素是含有 1~2 个酰基的烷烃取代物, 讲述了瘿蚊性信息素的田间生物学测定方法, 并展望了我国瘿蚊性信息素的研究与应用前景。

**关键词:** 瘿蚊; 性信息素; 进展; 化学结构

中图分类号: S435.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2008)增刊-0278-04

## Research Advance on Sex Pheromone of Gall Midge (Diptera: Cecidomyiidae)

LI Hong-jun, HE Xiong-kui, ZENG A-i jun, JIANG Shu-ren, CAO Shan

(College of Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

**Abstract:** This paper introduced the damage of gall midge to agriculture and the causes. The identification methods of gall midges' sex pheromones were also introduced. By comparison of their chemical structures, it was ensured that the sex pheromones of this family were alkanes with 1 acyl or 2 acyles. Field bioassay methods of these sex pheromones were also discussed. Finally the prospect on the future research and utilization of their sex pheromones in China was given.

**Key words:** Gall midge; Sex pheromone; Progress; Chemical structure

瘿蚊(Gall midge)属于双翅目(Diptera), 瘿蚊科(Cecidomyiidae)。目前, 全球瘿蚊科的昆虫有5 000多种。其中大部分为重要的农业害虫, 危害的粮食作物有水稻、小麦等, 水果有苹果、梨、枸杞等, 经济作物有油菜、豆类、桑树等, 给农业带来了巨大的经济损失<sup>[1]</sup>。小麦麦瘿蚊(包括麦红吸浆虫(Orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana*)和麦黄吸浆虫(Grain gall midge, *Contarinia tritici*)一般在年份会使小麦减产10%~20%, 在重灾年份则使之减产70%~80%<sup>[2]</sup>。水稻稻瘿蚊(Rice midge, *Orseolia oryzae*)是水稻的几种主要病虫害之一, 仅在2002年湖南省永州市降华县的稻瘿蚊发生面积就有1.2万hm<sup>2</sup>, 损失稻谷4.6万t<sup>[3]</sup>。而桑瘿蚊(*Diplosis mori*)对养蚕区的影响也很大, 严余高等报道桑橙瘿蚊自1986年在盐城市滨海县首次发生以来, 每年以10~15 km的速度向盐城南部和东部蔓延, 至1993年后发生面积达3.3万hm<sup>2</sup>, 占全市桑园面积的67%, 由

此造成的经济损失近千万元<sup>[4]</sup>。另外, 甘肃的枸杞和山东的枣均有受到瘿蚊严重侵害的报道。在欧洲和北美, 瘿蚊主要危害苹果、豌豆、高粱等<sup>[1]</sup>。

瘿蚊成为重要农业害虫的原因有2个。一是因为瘿蚊成虫体形小(2~3 mm)、寿命短(1~2 d), 并且它们的羽化期高度一致、繁殖能力很强, 难以在危害早期被察觉, 一旦发现成虫, 大部分都已经产卵繁殖, 不能被及时地防治。二是因为瘿蚊的滞育能力可以使其保持多个季节, 所以常规的轮作往往不能奏效<sup>[1]</sup>。

鉴于瘿蚊造成的严重危害, 人们采用大量的化学农药进行防治, 但这样导致了瘿蚊抗药性的增强, 又促进了更多化学农药的使用, 这与当前的绿色农业很不相适应<sup>[5]</sup>。因此, 现在国内采用选择抗虫品种、土地的轮作与休闲、控制水肥的利用、释放天敌、物理防治等综合防治方法<sup>[2,6]</sup>。由于杀虫剂只对豌豆瘿蚊(Pea midge, *Contarinia pisi*)的成虫有效, 并且

收稿日期: 2007-09-25

基金项目: 北京市农业技术攻关项目(BJNY2005-01)

作者简介: 李红军(1978-), 男, 江苏人, 博士, 主要从事生物农药方面研究。

通讯作者: 何雄奎(1966-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事农业工程、药械与施药技术研究。

要求药液直接接触害虫, 这种防治方法既费时, 又不环保<sup>[7]</sup>。因此, 在英国、法国和瑞典通过改变豌豆的种植时期来避免瘿蚊的危害<sup>[8]</sup>。

近年来, 由于环保意识的加强和昆虫化学生态学的发展, 性信息素已经成为各国植保界研究的重点<sup>[9]</sup>。采用昆虫性信息素防治害虫的成功范例也有不少的报道, 但主要集中在鳞翅目害虫, 鞘翅目、双翅目等害虫的报道较少<sup>[10]</sup>。本研究主要从组分的鉴定、化学结构的分析以及应用几个方面对已发现的瘿蚊性信息素进行了综述, 籍以给同行们在今后瘿蚊科性信息素的研究中提供参考。

### 1 瘿蚊性信息素的组分鉴定和化学结构

早在 1922 年, Cartwright 就通过田间诱捕法证明 Hessian fly, *Mayetiola destructor* 的雌虫能释放出引诱雄虫的体外激素, 但是直到 1999 年该性信息素才由 Foster 等<sup>[11]</sup>鉴定合成出来。瘿蚊的性信息素不像鳞翅目害虫那样容易鉴定是因为该虫体形极小, 释放

出的性信息素的量很少, 每头虫子所含的性信息素在 ng 级。同时由于其寿命只有 1~ 2 d, 不容易找到其释放性信息素的最佳时期。因此, 要收集较多的瘿蚊性信息素难度大。到目前为止, 已有 10 多种瘿蚊被证明可以释放性信息素, 其中 7 种瘿蚊的性信息素的化学成分已被鉴定出来(表 1)。

瘿蚊科的性信息素有很大的相似性, 绝大部分的瘿蚊性信息素为含有乙酰基、主链碳数为奇数 (13C 居多, 也有 9C, 11C, 17C) 的酯类化合物<sup>[1, 11, 12]</sup>, 唯一例外的是麦红吸浆虫的性信息素中的取代基不是乙酰基, 而是丁酰基。酰基的数目为 1 个或 2 个, 且 G-2 上必有一个酰基取代基。除了 Hessian fly 和 Douglas fir cone gall midge 的主链中各含有 1 个和 2 个 C= C 之外, 其他瘿蚊的性信息素主链都是饱和的。性信息素的有效成分有的是单一的, 有的是混合的。Pea midge, Swede midge 和 red cedar cone midge 的性信息素都含有 3 种有效成分, 而其他瘿蚊的性

表 1 已知的瘿蚊性信息素

Tab. 1 Gall midge species that are known to use sex pheromones( Modified from Harris and Foster 1999<sup>[16]</sup> )

Midge species	Field trapping	Laboratory bioassays	Identification of compounds
Aphidophagous gall midge			Choi <i>et al.</i> (2004) <sup>[12]</sup>
<i>Aphidoletes aphidimyza</i>			(2 <i>R</i> , 7 <i>S</i> )-diacetoxytridecane
Apple leaf curling midge	Harries <i>et al.</i> (1996) <sup>[17]</sup>	Harries <i>et al.</i> (1996) <sup>[17]</sup>	
<i>Dasineura mali</i>			
Biting midge	Linley (1978) <sup>[18]</sup>		
<i>Culicoides meleus</i>			
Blackcurrant leaf midge	Garthwaite and Wall (1986) <sup>[19]</sup>		
<i>Dasineura tetensi</i>			
Brassica pod midge	Williams (1990)	Williams and Martin (1986) <sup>[20]</sup>	
<i>Dasineura brassicae</i>			
Douglas fir cone gall midge	Miller and Borden (1981) <sup>[21]</sup>	Miller and Borden (1984) <sup>[22]</sup>	Gries <i>et al.</i> (2002) <sup>[15]</sup>
<i>Contarinia oregonensis</i>			( <i>Z</i> , <i>Z</i> )-4, 7-tridecadien- ( <i>S</i> )-2-yl acetate
Hessian fly	Cartwright (1922) <sup>[23]</sup>	McKay and Hatchett (1984) <sup>[24]</sup>	Foster <i>et al.</i> (1991) <sup>[11]</sup>
<i>Mayetiola destructor</i>			(2 <i>S</i> )-( <i>E</i> )-10- tridecen-2-yl acetate
Orange wheat blossom midge	Pyntick (1993) <sup>[25]</sup>	Pyntick (1993) <sup>[25]</sup>	Gries <i>et al.</i> (2000) <sup>[26]</sup>
<i>Sitodiplosis mosellana</i>			(2 <i>S</i> , 7 <i>S</i> )-2, 7- nonanediy-1-dibutyrate
Pea midge	Wall <i>et al.</i> (1985) <sup>[27]</sup>	Hillbur <i>et al.</i> (2000) <sup>[28]</sup>	Hillbur <i>et al.</i> (1999) <sup>[1]</sup>
<i>Contarinia psi</i>			2-acetoxytridecane, (2 <i>S</i> , 11 <i>S</i> )-diacetoxytridecane, (2 <i>S</i> , 12 <i>S</i> )- diacetoxytridecane
Pine gall midge		Lee and lee (1985) <sup>[29]</sup>	
<i>Thecodiplosis japonensis</i>			
Red cedar cone midge			Gries, R <i>et al.</i> (2005) <sup>[30]</sup>
<i>Mayetiola thujae</i>			( <i>S</i> , <i>S</i> )-2, 12-, ( <i>S</i> , <i>S</i> )-2, 13-, ( <i>S</i> , <i>S</i> )-2, 14- diacetoxyheptadecanes
Rice midge	Sain and kalode (1985)		
<i>Orsedia oryzae</i>			
Sorghum midge	Sharma and Vidyasagar (1992)		
<i>Contarinia sorghicola</i>			
Swede midge			Hillbur, Y <i>et al.</i> (2005) <sup>[31]</sup>
<i>Contarinia nasturtii</i>			(2 <i>S</i> , 9 <i>S</i> )- diacetoxyundecane, (2 <i>S</i> , 10 <i>S</i> )-diacetoxyundecane, ( <i>S</i> )-2-acetoxyundecane

信息素只含质种有效成分。Choi 等就利用这些相似点,在鉴别 aphidophagous gall midge, 时,从 GG-EAD 以及 RIs(即保留参数)等测试中确定该性信息素是一个含有 2 个乙酰基的饱和化合物,大胆猜测它是一个 13C 化合物,且 G-2 上有一个乙酰基。据此他们合成了(2, 6)-、(2, 7)-、(2, 8)-、(2, 9)-、(2, 10)-、(2, 11)-和(2, 12)-diacetoxytridecane 等一系列化合物,通过进一步的生物学实验最终确定了(2R, 7S)-diacetoxytridecane 为其性信息素的成分<sup>[12]</sup>。

与其他昆虫的性信息素一样,瘿蚊的性信息素的化学结构有着严格的立体要求。分子组成相同的化学物质会因为取代基位置、对映异构、顺反异构的差异而对成虫的交配行为有着不同的影响:有的会引诱刺激交配,有的对交配行为没有作用,有的会阻碍交配行为。例如在研究豌豆瘿蚊的性信息素时, Hillbur 在 2-acetoxytridecane、(2S, 11S)-diacetoxytridecane 和 (2S, 12S)-diacetoxytridecane 的混合物中加入 20% 的 (2S, 11R)-diacetoxytridecane 和 (2R, 12S)-diacetoxytridecane 后,诱捕到的雄性豌豆瘿蚊的量比不加时大为降低,说明(2S, 11R)-diacetoxytridecane 和 (2R, 12S)-diacetoxytridecane 是豌豆瘿蚊性信息素的抑制剂<sup>[13]</sup>。Hessian fly 和 douglas-fir cone gall midge 的对 C=C 的顺反异构也很敏感, Hessian fly 只对反式的 acetoxytridecene 的有反应, Douglas-fir cone gall midge 则只对 acetoxytridecadiene 的 4 种顺反结构中的(顺, 顺)结构有反应。

目前常用的性信息素的提取方法有冷凝法、浸置法、吸附法以及固相微萃取法等<sup>[14]</sup>。针对瘿蚊体小命短、性信息素释放量少的特点,研究人员大多采用吸附法来收集性信息素。在用 GG-EAD 测定收集到的性信息素的活性组分时,由于性信息素的含量极少,活性峰的强度值很低,难以确定。Hillbur 通过实验指出可以采用重复测定多个雌虫的 EAG 进行平均的方法使弱峰加强(注:私人通讯交流)。而在进行组分初步分析比照时,需要将待测物通过不同色谱柱进行分离来比较保留时间,只有在不同色谱柱上的保留时间都基本一致,才能确定该成分。例如 Choi 等就选择了 DB-5, DB-23, DB-210 三种色谱柱分析 Aphidophagous gall midge 的性信息素<sup>[12]</sup>。Gries 等研究 Douglas-fir cone gall midge 时则选用了 DB-5, DB-23, DB-210, SP-1000 和 cyclodex-B 5 种色谱柱<sup>[15]</sup>。

## 2 瘿蚊性信息素的生物学测定

昆虫性信息素的生物学测定包括 Y 型管、十字

型管和风洞的试验以及田间的诱捕试验。Y 型管和十字型管等试验是室内的活性测定,环境稳定,干扰较少,容易验证性信息素的活性。风洞试验则是模拟自然环境下的气流来进行生物活性的测试,比较接近于真实环境。田间试验是最真实环境下的生物学测试,也是最有说服力的测试。所以在研究瘿蚊性信息素的过程中,田间试验也是不可缺少的。通过以上的这些试验可以验证性信息素的有效性,同时还可以得到影响性信息素发挥引诱作用的各种参数的最佳值,如施放量、施放时间、施放高度、诱芯种类等。Linley 等在做 biting midge 性信息素的试验时,比较了 2-methyl docosane, 8-methyl docosane, 9-methyltricosane, 10-methyl docosane 的引诱效果,认为在每个诱捕装置含 1 ng 前 3 者有很好的诱虫效果<sup>[18]</sup>。Hillbur 等在风洞中测出性信息素的施放速度为 10 pg/min 时吸引的雄性豌豆瘿蚊的最多<sup>[28]</sup>。在此后英国和法国的田间诱捕试验中,确定 2-acetoxytridecane, (2S, 11S)-diacetoxytridecane 和 (2S, 12S)-diacetoxytridecane 的比例为 0.1:7:10 时引诱效果最好,而诱饵释放高度为 20 cm 时的引诱效果明显优于高度为 50 cm<sup>[13, 28]</sup>。Heath 等在做苹果瘿蚊的田间引诱试验时,也发现诱饵释放的高度在地面上时诱雄蚊量大于 1 m 和 2 m 高度的诱雄蚊量<sup>[32]</sup>。所有的生物学实验表明性信息素的施放浓度很关键,太高或太低时引诱效果都不理想。浓度太低时瘿蚊感受不到性信息素的存在而不反应,浓度太高则容易刺激瘿蚊产生交配的性行为,只有适当的低浓度的性信息素才有利于瘿蚊的定位行为从而提高引诱效果<sup>[7]</sup>。

## 3 瘿蚊性信息素的研究及应用展望

昆虫雌雄虫是依赖性信息素进行性行为的,雄虫对雌虫的反应分为定向飞行、降落、刺探<sup>[7]</sup>。利用昆虫的这一行为,性信息素在种群监测、大量诱捕、干扰交配、区分近缘等方面得到了应用,例如棉红铃虫、二化螟、小菜蛾、梨小食心虫等的防治都是很成功的实例<sup>[9]</sup>。如前所述,瘿蚊体小,繁殖能力强,难于防治。但从已经研究出来的性信息来看,它们对瘿蚊有很强的引诱作用,而且它们成分有较大的相似性,所以对瘿蚊的性信息素的研究应该是有序可循的,它们也可以像其他的性信息素一样被得到推广应用。今后研究的重点是分析已知瘿蚊性信息素的相似性,以便更好地研究其它瘿蚊性信息素。同时,在我国水稻种植面积大,是主要的粮食作物,而蚕茧是养蚕区农民重要的副业收入来源,菊花是

中药的一种原材料, 所以在我国今后还应该重点研究稻瘿蚊、桑瘿蚊和菊花瘿蚊的性信息素, 以使用更安全的方式来防治这些害虫。

## 参考文献:

- [1] Hillbur Y, Anderson P, Arn H, *et al.* Identification of sex pheromone components of the pea midge, *Contarinia pisi* (Diptera: Cecidomyiidae) [J]. *Naturwissenschaften*, 1999, 86(6): 292–294.
- [2] 袁 锋. 小麦吸浆虫成灾规律与控制[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 12–16.
- [3] 何吉昌. 湘南地区稻瘿蚊发生特点与治理对策[J]. 中国植保导刊, 2004, 24(11): 15–17.
- [4] 严余高, 吴 华, 唐正方. 盐城市桑橙瘿蚊发生情况综述[J]. 江苏蚕业, 2003, 4: 16–17.
- [5] 何雄奎. 改变我国植保机械和施药技术严重落后的现状[J]. 农业工程学报, 2004, 20(1): 13–15.
- [6] 乐承伟. 稻瘿蚊发生危害及其防治[J]. 植物保护, 1998, 24(3): 28–29.
- [7] 杜家纬. 昆虫性信息素及其应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1988: 145–157.
- [8] Jonsson B G. An ecological approach to management of the pea midge, *Contarinia pisi* (Winn.), in vining peas [D]. Department of plant protection and forest protection: Swedish University of Agricultural Sciences, 1988.
- [9] 沈君辉, 唐大武, 黄勇平, 等. 灰翅夜蛾属昆虫的性激素研究概况[J]. 昆虫知识, 2001, 38(1): 18–22.
- [10] 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.
- [11] Foster S P, Harris M O, Millar J G. Identification of the sex pheromone of Hessian fly, *Mayetiola destructor* (Say) [J]. *Naturwissenschaften*, 1991, 78(3): 130–131.
- [12] Choi M Y, Khaskin G, Gries R, *et al.* (2R,7S)-diacetoxitridecane: sex pheromone of the aphidophagous gall midge, *Aphidoletes aphidimyza* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2004, 30(3): 659–670.
- [13] Hillbur Y, Bengtsson M, Lofqvist J, *et al.* A chiral sex pheromone system in the pea midge, *Contarinia pisi* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2001, 27(7): 1391–1407.
- [14] 蔡双虎, 程立生. 昆虫性信息素的研究进展[J]. 华南热带农业大学学报, 2002, 8(7): 347–353.
- [15] Gries R, Khaskin G, Gries G, *et al.* (Z,Z)-4,7-tridecadien-(S)-2-yl acetate: sex pheromone of Douglas-fir cone gall midge, *Contarinia oregonensis* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2002, 28(11): 2283–2297.
- [16] Harris M O, Foster S P. Pheromone of non-Lepidoptera insects associated with agricultural plants [M]. United Kingdom: CAB International, Oxford, 1999: 27–49.
- [17] Harris M O, Foster S P, Agee K, *et al.* Sex pheromone communication in the apple leafcurling midge (*Dasineura mali*) [C] // O'Callaghan M. Proceedings of the Forty Ninth New Zealand Plant Protection Conference. Rotorua, New Zealand: New Zealand Plant Protection Society, 1996: 52–58.
- [18] Linley J R, Carlson D A. A contact mating pheromone in the biting midge, *Culicoides melleus* [J]. *Journal of Insect Physiology*, 1978, 24(5): 423–424.
- [19] Garthwaite D G, Wall C, Wardlow L. Further evidence for a female sex pheromone in the black currant leaf midge, *Dasineura tetensi* [J]. Brighton Crop Protection Conference-Pests and Diseases, 1986, 1(1): 355–357.
- [20] Williams I H, Martin A P. Evidence for a female sex pheromone in the brassica pod midge *Dasineura brassicae* [J]. *Physiological Entomology*, 1986, 11(4): 353–356.
- [21] Miller G E, Borden J H. Evidence for a sex pheromone in the Douglas-fir cone gall midge [J]. *Canadian Forestry Service Research Notes*, 1981, 1(2): 9–10.
- [22] Miller G E, Borden J H. Reproductive behaviour of the Douglas-fir cone gall midge, *Contarinia oregonensis* (Diptera: Cecidomyiidae) [J]. *Canadian Entomologist*, 1984, 116(4): 607–618.
- [23] Cartwright W B. Sexual attraction of the female Hessian fly (*Phytophago destructor* Say) [J]. *The Canadian Entomologist*, 1922, 54: 154–155.
- [24] McKay P A, Hatchett J H. Mating behavior and evidence of a female sex pheromone in the hessian fly, *Mayetiola destructor* (Say) (Diptera: Cecidomyiidae) [J]. *Annals of the Entomological Society of America*, 1984, 77(5): 616–620.
- [25] Pivnick K A. Response of males to female sex pheromone in the orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis mosellana* (Gehin) (Diptera: Cecidomyiidae) [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1993, 19(8): 1677–1689.
- [26] Gries R, Gries G, Khaskin G, *et al.* Sex pheromone of orange wheat blossom midge, *Sitodiplosis Mosellana* [J]. *Naturwissenschaften*, 2000, 87(11): 450–454.
- [27] Wall C, Pickett J A, Garthwaite DG, *et al.* A female sex pheromone in the pea midge, *Contarinia pisi* [J]. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1985, 39(1): 11–14.
- [28] Hillbur Y, El-Sayed A, Bengtsson M, *et al.* Laboratory and field study of the attraction of male pea midges, *Contarinia pisi*, to synthetic sex pheromone components [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26(8): 1941–1952.
- [29] Lee C H, Lee H P. Studies on the sex pheromone and antennal ultrastructure of the pine gall midge (*Thecodiplosis japonensis* Uchida et Inouye) [J]. *Korean Journal of Entomology*, 1985, 15(1): 31–40.
- [30] Regine Gries, Grigori Khaskin, Robb G B, *et al.* (S,S)-2,12-, (S,S)-2,13-, and (S,S)-2,14 diacetoxypentadecanes: sex pheromone components of red cedar cone midge, *Mayetiola thujae* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2005, 31(12): 2933–2946.
- [31] Hillbur Y, Celander M, Baur R, *et al.* Identification of the sex pheromone of the Swede midge, *Contarinia nasturtii* [J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2005, 31(8): 1807–1828.
- [32] Heath J, Zhang Aijun, Roelofs L, Smith F, *et al.* Flight activity and further evidence for a female produced sex pheromone of the apple leaf midge, *Dasineura mali*, in Nova Scotia [J]. *Northeastern Naturalist*, 2005, 12(1): 93–102.