

中国印度谷螟性信息素次级组份的研究*

胡文利^{1,2*} 杜家纬¹(¹ 中国科学院上海生命科学院植物生理生态研究所, 上海 200032; ² 中国科学院研究生院, 北京 100039)

【摘要】 印度谷螟是我国危害性较严重的仓储害虫之一, 食性很广, 几乎危害每一种植物性仓储物。印度谷螟雌性信息素主要成份顺 9, 反 12-十四碳二烯醇醋酸酯(TDA) 早已被鉴定, 并利用 TDA 单一组份诱捕印度谷螟雄蛾也较为有效, 但该虫的完整信息素系统尚不清楚。本研究采用单个雌蛾性信息素腺体抽提技术, 利用毛细管气相色谱 GC 保留时间定性方法和气质联用 GC-MS 分析鉴定技术, 从印度谷螟雌虫腺体提取物中鉴定了顺 9, 反 12-十四碳二烯醇醋酸酯(A), 顺 9, 反 12-十四碳二烯醇(B), 顺 9, 反 12-十四碳二烯醛(C) 和顺 9-十四碳烯醇醋酸酯(D) 4 种主要信息素成份, 其比例为 A: B: C: D= 100: 22: 12: 9。风洞试验结果表明, 以该 4 种主要成分按 A: B: C: D= 8: 2: 1: 0.8 比例配制成的诱芯, 其引诱雄蛾的活性接近于雌蛾腺体提取物。

关键词 印度谷螟 性信息素 顺 9, 反 12-十四碳二烯醇醋酸酯 行为反应

文章编号 1001- 9332(2005) 09- 1751- 05 中图分类号 Q968 文献标识码 A

Sex pheromone secondary components of Indian meal moth *Plodia interpunctella* in China. HU Wenli^{1,2}, DU Jiawei¹ (¹*Institute of Plant Physiology and Ecology, Shanghai Institute for Biological Sciences, Shanghai 200032, China;* ²*Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2005, **16**(9): 1751~ 1755.

Indian meal moth *Plodia interpunctella* Hübner (Lepidoptera: Pyralidae) is considered as an important insect pest infesting stored grains and other products in China. The major sex pheromone component of *P. interpunctella*, Z9, E12-14: OAc (TDA), has already been identified. Though the efficiency of male capture by using the bait with this component alone is quite good, the pheromone system is far from fully understood. The identification with capillary chromatographic analysis and GC-MS methods showed that there were four main components, i. e., Z9, E12-14: OAc (A), Z9, E12-14: OH (B), Z9, E12-14: Ald (C), and Z9-14: OAc (D), in the sex pheromone gland of female *P. interpunctella*, and the ratio of these four components was A: B: C: D= 100: 22: 12: 9. Wind tunnel experimental results suggested that the response of male *P. interpunctella* to a blend (A: B: C: D= 8: 2: 1: 0.8) was not significantly different from that to female sex pheromone gland extracts.

Key words Indian meal moth, Sex pheromone, (Z, E)-9, 12-tetradecadienyl acetate, Behavioral response.

1 引言

印度谷螟(*Plodia interpunctella*) 属鳞翅目卷蛾科, 是最具危害性的仓储害虫之一。近年来的研究表明, 以昆虫性信息素为基础的大量诱捕法^[4,7] 和交配干扰法^[5] 成功地应用于印度谷螟等仓储害虫防治, 为我们提供了一条有效解决上述问题的新技术^[11, 16, 24, 25]。

从印度谷螟雌蛾中鉴定出第 1 种信息素组份是顺 9, 反 12-十四碳二烯醇醋酸酯(Z9, E12-14: OAc)^[2,3,14,15]。该组份对于与印度谷螟同属的雄虫都具有较强的引诱作用, 诸如地中海粉蛾(*Ephesia kuehniella*)^[1,13,14,17]。随后 Kuwahara 等^[13]、Sower 等^[20] 又鉴定出另一种信息素组份顺 9, 反 12-十四碳二烯醇(Z9, E12-14: OH)。Soderstrom 等^[19] 和 Vick 等^[22] 发现这个醇化合物与其醋酸酯一起使用

时具有增强印度谷螟雄蛾定向反应的行为功能。进入 20 世纪 90 年代, 随着昆虫性信息素超微量技术的快速发展, Teal 等^[21] 从正在求偶的印度谷螟雌蛾挥发物中鉴定出第 3 种信息素组份为顺 9, 反 12-十四碳二烯醛(Z9, E12-14: Ald), 但并未证明这个组份具有明显的行为上的意义。最新的研究发现, 第 4 种具 EAG 活性的印度谷螟雌蛾性信息素组份是顺 9-十四碳烯醇醋酸酯(Z9-14: OAc)。迄今为止, 印度谷螟雌蛾性信息素至少存在顺 9, 反 12-十四碳二烯醇醋酸酯, 顺 9, 反 12-十四碳二烯醇, 顺 9, 反 12-十四碳二烯醛和顺 9-十四碳烯醇醋酸酯四种组份, 而这 4 个组份的比例经分析测定为 100: 18: 11: 10^[5,12,30]。

国内在利用印度谷螟雌蛾性信息素单一主要组

* 中国科学院知识创新工程项目(KSCX2-2-02) 和上海市科学技术委员会资助项目(023912004)。

** 通讯联系人。

2004- 08- 25 收稿, 2005- 01- 17 接受。

份顺 9, 反 12-十四碳二烯醇醋酸酯进行了不少诱捕试验的研究工作. 戴小杰^[6]、周祖琳^[29]、沈兆鹏^[18]和赵奇等^[26, 27]分别采用或提出使用各种不同形状的诱捕器来诱杀印度谷螟等仓储鳞翅目害虫.

本研究采用单个雌蛾性信息素腺体抽提技术, 利用毛细管气相色谱 GC 保留时间定性方法和气质联用 GC-MS 分析鉴定技术^[8, 10, 23, 28], 对印度谷螟中国种群的雌蛾性信息素组份及各组份的比例进行分析测定, 利用风洞试验对性信息素各组份的定向行为功能进行了研究, 为我国今后利用性信息素监测和防治印度谷螟及研制高效印度谷螟高效诱芯提供可靠的依据.

2 材料与方法

2.1 实验昆虫

印度谷螟虫源采用人工捕捉方式从附近住户内采集, 并于实验室生化培养箱内饲养和连续繁殖. 生化培养箱温度为 25 ± 1 °C, 相对湿度控制在 60% ~ 70%; 光照周期为 17 h 光照、7 h 黑暗(17L: 7D). 将数对刚羽化的雌雄成虫放入 30 cm × 20 cm × 20 cm 带金属纱网的养虫箱内交配产卵, 箱内放入一定量的麦胚饲料, 将孵化幼虫饲养至老熟(4~5 龄), 并将其按雌雄分开, 各自饲养于直径为 20 cm、高 10 cm 带金属纱网的圆形养虫箱内. 待幼虫化蛹后, 取当日羽化成虫作为本研究虫源.

2.2 性信息素腺体提取物的制备

在雌蛾羽化后第 1 个暗期的 5~6 h 后, 取出呈现求偶行为的雌蛾, 用手指轻轻挤压雌蛾腹部使产卵器外伸, 用眼科虹膜剪剪下性信息素腺体, 置于滤纸上除去体液, 然后将性信息素腺体放入微型尖底指管内. 加入 5 μ l 含有 5 ng 饱和十三碳醋酸酯(作为内标)的重蒸正己烷, 室温下浸提 1 h 后剔除腺体, 直接进行毛细管气相色谱分析.

印度谷螟性信息素次级组份的鉴定时取用 4 头雌蛾的腺体同时放入一个微型尖底指管内, 加入 10 μ l 含有 10 ng 饱和十三碳醋酸酯内标的重蒸正己烷, 室温下浸提 2 h 后剔除腺体, 以备毛细管色谱和气质联用色谱的分析使用. 微量腺体提取液在室温下的保存方法采用向放置微型尖底指管的带密封螺帽样品瓶内预先注入 100 μ l 重蒸正己烷.

2.3 色谱分析

2.3.1 气相色谱 GC 条件 采用 HP5890 型带无分流进样器和 FID 氢火焰离子检测器的毛细管气相色谱仪, 并配有 CDMG 21 色谱数据处工作站(上海计算技术研究所). 柱: HP 5 25 m × 0.2 mm × 0.5 μ m; 进样器温度为 220 °C, 检测器温度为 250 °C, 载气为高纯氮气, 流速为 2.0 ml·min⁻¹, 柱头压为 75 kPa, 气谱条件为起始温度 100 °C, 保持 2 min, 然后以 10 °C·min⁻¹ 速率程序升温至 220 °C.

2.3.2 气质联用色谱 GC-MS 条件 采用 HP6890-HP5973N 气质联用仪. 1) 气谱 GC: HP6890; 柱: HP 5 MS 30 m × 0.25

mm × 0.25 μ m; 进样器温度为 250 °C, 柱压为 72.5 kPa, 载气为高纯氮气, 流速为 1.0 ml·min⁻¹. 起始温度为 100 °C, 保持 2 min, 然后以 10 °C·min⁻¹ 速率程序升温至 250 °C. 2) 质谱 MS: HP5973N; 电子捕获型(type: EI); 离子源温度 230 °C. 性信息素组份分析采用与标准化合物 GC 保留时间相比较, 并结合 GC-MS 方法定性; 性信息素腺体中各组份的比例采用峰面积计算, 以饱和十三碳醋酸酯 13: OAc 作为内标物.

2.4 标准化合物

实验使用的 5 个标准化合物: 顺 9, 反 12-十四碳二烯醇醋酸酯 Z9, E12-14: OAc(日本 SHIN-ETSU Chemical Industries 产品); 顺 9, 反 12-十四碳二烯醇 Z9, E12-14: OH 由 Zhu (Dept. of Entomology, Iowa State University Ames, U. S. A.) 提供; 顺 9, 反 12-十四碳二烯醛 Z9, E12-14: Ald, 顺 9-十四碳烯醇醋酸酯 Z9-14: OAc 以及饱和十三碳醋酸酯 13: OAc 由本实验室合成. 所有人工合成标准化合物经 HP5890 带无分流进样装置的气相色谱检测纯度均大于 95%.

2.5 风洞实验

2.5.1 风洞装置 风洞定向飞行试验均在本实验室自制的大型风洞内进行^[9]. 风洞实验室温控制在 25 ± 1 °C, 相对湿度控制在 60% ~ 70%.

2.5.2 风洞测试用滤纸片气味源的配制 试验用性信息素化合物(不同浓度和组份比例均经 GC 检测)以及雌蛾性信息素腺体粗提物提取液的定向行为测定均采用滤纸片作为信息素载体. 滤纸片呈底边 1 cm、高 1.5 cm 的三角形. 试验前先将配制成各种剂量或比例的正己烷溶液或雌蛾腺体提取液滴于滤纸片上, 室温下放置 5 min, 待溶剂挥发后放入风洞内. 待测滤纸片用昆虫针插在诱芯支架上, 每个诱芯只使用 1 次.

2.5.3 雄蛾定向行为测试 取用处于 1~2 日龄暗期的雄蛾. 暗期开始前, 先将待测雄蛾单头置于 2.5 cm × 10 cm 的玻璃试管内, 塞上棉花备用. 试验前将雄蛾移入风洞条件下适应 0.5 h. 进入暗期 5~6 h 开始进行风洞定向行为测定. 将被测滤纸片插上昆虫针上并置于封闭小瓶内, 带入风洞上风端侧门处, 随后取出被测滤纸片, 置于诱芯支架上. 引入单头雄蛾到释放架上, 任其反应 2 min. 每头雄蛾只使用 1 次.

本实验取雄蛾行为反应明确且易观察的环节作为雄蛾对诱芯产生行为反应的判定标准, 即按起飞、定向飞行、飞行至风洞 1/2 距离以上(1/2UP)、接近诱芯(10 cm 以内)及降落到气味源上等步骤记录. 每个处理一般重复 3 次, 每次重复至少测试 10 头雄蛾.

3 结果与分析

3.1 雌蛾求偶规律观察

印度谷螟羽化后第 1 天即开始求偶, 1 日龄至 2 日龄是求偶高峰期, 4 日龄后雌蛾求偶率显著下降. 每日求偶在暗周期开始后 5~6 h 达到高峰.

3.2 性信息素组份鉴定

GC 分析结果表明, 印度谷螟雌蛾信息素腺体

的正己烷提取液中含有 4 个色谱峰. 其保留时间分别与顺 9, 反 12-十四碳二烯醇醋酸酯 Z9, E12-14: OAc, 顺 9, 反 12-十四碳二烯醇 Z9, E12-14: OH, 顺 9, 反 12-十四碳二烯醛 Z9, E12-14: Ald 和顺 9-十四碳烯醇醋酸酯 Z9-14: OAc 标准化合物完全吻合(图 1). 在腺体提取液中加入相应的标准化合物, 可使对应组份的所得峰面积成比例增加, 且没有新的样品峰出现. 同时, 以 GC-MS 进一步分析证实印度谷螟雌蛾性信息素腺体中所含有 4 个色谱峰分别为 Z9, E12-14: OAc(A), Z9, E12-14: OH(B), Z9, E12-14: Ald(C) 和 Z9-14: OAc(D).

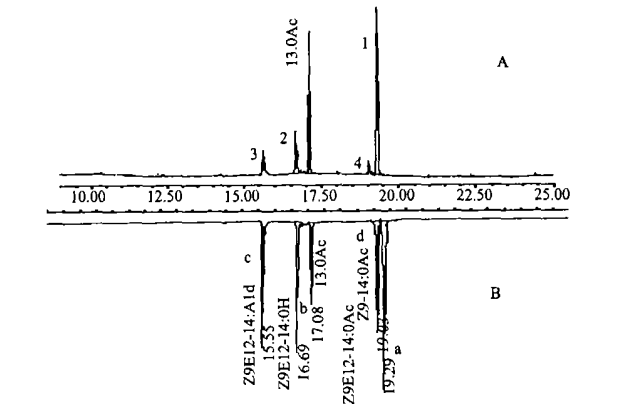


图 1 印度谷螟雌蛾腺体浸提物 GC 图谱(A) 与标准化合物 GC 图谱(B) 比较
Fig. 1 Gas chromatograms of extracts from sex pheromone glands of female *P. interpunctella* (A) and standard components(B).
图中 13: OAc 为内标 13: OAc was the internal standard. 图 A 的 1、2、3 和 4 号峰分别和图 B 中 a(Z9, E12-14: OAc)、b(Z9, E12-14: OH)、c(Z9, E12-14: Ald) 和 d(Z9-14: OAc) 相对应 Peak 1, 2, 3 and 4 in A were consistent with that of Z9, E12-14: OAc, Z9, E12-14: OH, Z9, E12-14: Ald, Z9-14: OAc in B, respectively.

3.3 性信息素多元组份的比例测定

取羽化后 1 日龄或 2 日龄并在暗周期处理 5~6 h 的处女雌蛾 30 头. 单个雌蛾性信息素腺体提取物经气相色谱分析, 根据色谱峰面积值计算雌蛾性信息素腺体内 4 个组份 Z9, E12-14: OAc(A)、Z9, E12-14: OH(B)、Z9, E12-14: Ald(C) 和 Z9-14: OAc(D) 的比例为 A: B: C: D= 10: 22: 12: 9(表 1).

3.4 雄蛾在风洞中对性信息素不同组份及配比的定向行为反应

雄蛾在风洞中对处女雌蛾腺体提取物诱芯的行为反应最为强烈, 能使绝大部分雄蛾产生起飞、定向、飞至风洞 1/2 距离以上, 接近诱芯及降落至气味源的完整行为过程.

采用不同剂量单一组份顺 9, 反 12-十四碳二烯醋酸酯(A) (10、50、100、500 和 1 000 ng) 的风洞定向飞行行为测定结果表明, 当剂量由 10 ng 增加到 100ng 时, 单一组份 A 能诱导产生由起飞、定向、飞

表 1 单个印度谷螟雌蛾性信息素平均含量和各组份相对比例
Table 1 Relative proportion and average amounts of pheromone components in individual Indian meal moth female(n= 30)

单雌腺体性信息素 平均含量 Average amount of sex pheromone component in single female gland (ng/ female) ±SE	相对比例 Relative proportion (%)
Z9, E12-14: OAc(A)	100
Z9, E12-14: OH(B)	22
Z9, E12-14: Ald(C)	12
Z9-14: OAc(D)	9

行至风洞 1/2 距离以上、接近诱芯及降落至气味源的完整行为过程的雄蛾数量随剂量增加而显著增加. 100 ng 剂量的单一组份 A 引起雄蛾起飞至风洞 1/2 距离的数量约为处女雌蛾腺体提取物的 60%~70%, 而接近及降落至气味源的雄蛾数量约为处女雌蛾提取物的 45%. 而当组份 A 的剂量增至 500 ng 及 1 000 ng 剂量时, 雄蛾产生行为反应的数量反而下降, 以降落至气味源的雄蛾数量下降尤为明显. 而相同剂量的单一组份 B、C 及 D 则不能引起雄蛾有任何明显的行为反应.

在顺 9, 反 12-十四碳二烯醋酸酯(A) 中加入不同比例的顺 9, 反 12-十四碳二烯醇(B) (A: B 为 10: 1、8: 2、1: 1、2: 8、1: 10), 分别制成 100 ng 剂量的二元组份诱芯. 风洞试验结果表明, 二元组份比例(A: B) 为 8: 2 的诱芯活性最高. 而比例(A: B) 为 10: 1 和 1: 1 的诱芯所诱导的起飞、定向、飞行至风洞 1/2 距离等行为的雄蛾数量有所下降, 而能接近及降落至气味源的雄蛾数量则明显下降. 随着二元组份中 B 组份含量的增加(A: B 为 2: 8、1: 10), 只能引起雄蛾起飞, 部分雄蛾有定向的行为反应. 只有极少数雄蛾能接近诱芯及降落至气味源. 同样将组份 C 或 D 分别加入到 A 组份中, 产生完整定向行为反应的雄蛾数量则显著下降.

在 100 ng 的二元组份(A: B= 8: 2) 诱芯中分别加入不同剂量的顺 9, 反 12-十四碳二烯醛(C) 或顺 9-十四碳烯醇醋酸酯(D) 配制成三元组份诱芯, 其中组份 C 和 D 占混合物的比例分为两种: 一是近似于雌蛾腺体的自然比例(A: B: C= 8: 2: 1; A: B: D= 8: 2: 0.8), 另一种是组份 C 和 D 分别占混合物总量的 33%(A: B: C= 8: 2: 5; A: B: D= 8: 2: 5). 实验结果表明, 雌蛾在风洞中对三元组份 A+ B+ C(8: 2: 1) 诱芯、A+ B+ D(8: 2: 0.8) 诱芯以及 A+ B+ C(8: 2: 5) 诱芯所引起雄蛾各项风洞行为反应与二元组份 A+ B(8: 2) 诱芯无显著差异, 而 A+ B+ D(8: 2: 5) 诱芯引起雄蛾接近诱芯和降落的数量要低于 A+ B(8: 2)

诱芯.

在 100 ng 的二元组份(A: B= 8: 2) 诱芯中以近似于雌蛾腺体提取物自然比例同时加入组份 C 和 D 配成四元组份诱芯(A: B: C: D= 8: 2: 1: 0. 8). 结果表明, 与处女雌蛾提取物诱芯、二组份诱芯(A: B= 8: 2)、三元组份(A: B: C = 8: 2: 1) 相比, 四元组份诱芯能引起雄蛾产生完整的风洞行为反应, 其中引起雄蛾产生起飞、定向飞行、飞行至 1/2 距离的行为反应的活性略低于处女雌蛾提取物诱芯, 将近有 70% 的雄蛾接近诱芯乃至降落至气味源, 其活性高出二元及三元组份诱芯活性 10% ~ 20%, 并远高于单一组份 A(图 2).

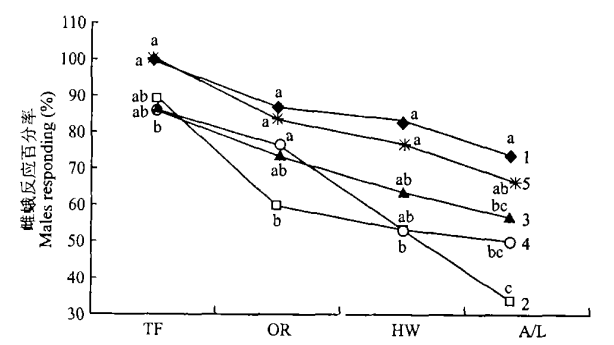


图 2 印度谷螟雄蛾在风洞中对雌蛾腺体中性信息素不同组份的行为反应(n= 30).

Fig. 2 Behavioral responses of male *P. interpunctella* to different pheromone component in wind tunnel.

相同字母表示经 DMRT 检验差异不显著($P > 0. 05$). The same letters do not differ significantly ($P > 0. 05$, Duncan's test); TF: 起飞 Taking off; OR: 定向 Orientation; HW: 半程 Half way; A/L: 接近或到达诱芯 Approaching or landing. 1) 1 FE-ext; 2) 1 comp(A); 3) 2 comp(A: B= 8: 2); 4) 3 comp(A: B: C= 8: 2: 1); 5) 4 comp(A: B: C: D= 8: 2: 1: 0. 8).

4 讨 论

本研究通过单个雌蛾腺体微量分析技术, 鉴定出印度谷螟(中国种群) 雌蛾腺体内含有 4 种主要组份: 顺 9, 反 12-十四碳二烯醇醋酸酯(A)、顺 9, 反 12-十四碳二烯醇(B)、顺 9, 反 12-十四碳二烯醛(C) 和顺 9-十四碳烯醇醋酸酯(D), 这 4 个组份在单个印度谷螟雌蛾腺体内的比例为 A: B: C: D= 100: 22: 12: 9. 该比例与 Zhu 等^[30] 报道的印度谷螟雌蛾性信息素组份比例结果基本一致, 证实我国印度谷螟种群的性信息素系统与美国印度谷螟种群无显著地理差异.

在本实验中, 雌蛾腺体内含量较高的组份顺 9, 反 12-十四碳二烯醇醋酸酯(A) 在风洞中能引起雄蛾产生从起飞、定向飞行、接近诱芯到降落至气味源等完整的行为反应, 而另三个单一组份均不能诱导雄蛾产生完整的风洞行为反应. 因此, 顺 9, 反 12-十

四碳二烯醇醋酸酯是雌蛾性信息素通讯系统中的主级成份. 如顺 9, 反 12-十四碳二烯醇醋酸酯组份中加入一定比例的顺 9, 反 12-十四碳二烯醇(B) 后, 能使雄蛾产生完整风洞行为反应的数量提高 20% ~ 30%. 由此可见, 虽然单一组份 B 并不能引起雄蛾有明显的行为反应, 但当其与主要组份 A 的组成一定比例的二元混合组份诱芯则对雄蛾定向飞行有较为明显的增效作用, 是印度谷螟性信息素通讯系统中的主要次级组份. Soderstrom 等^[19] 和 Vick 等^[22] 也在实验中发现组份 B 与组份 A 一起使用, 具有加强印度谷螟雄蛾的行为反应的行为功能.

在二元组份诱芯(A: B= 8: 2) 中同时加入顺 9, 反 12-十四碳二烯醛(C) 和顺 9-十四碳烯醇醋酸酯(D) 配成近似于雌蛾腺体提取物自然比例的四元组份诱芯(A: B: C: D= 8: 2: 1: 0. 8), 能使雄蛾产生完整风洞行为反应, 同时诱蛾活性接近于处女雌蛾腺体提取物诱芯, 而明显高于二元组份诱芯(A+ B) 及三元组份诱芯. Zhu 等^[30] 也在风洞实验中得到类似结果. 由于在二元组份中单独加入组份 C 或 D 并不能起到增加引诱活性的作用, 而同时将组份 C 和 D 加入时却能起到明显增加引诱活性的作用, 表明组份 C 和 D 也是印度谷螟性信息素通讯系统中的次级组份, 推测其可能是在短距离范围内起作用的信息素组份. 有关组份 C 和 D 在信息素化学通讯中的短距离行为功能还有待于进一步深入研究.

根据风洞试验的结果可以认为, 印度谷螟性信息素诱芯以四元组份和接近雌蛾性信息素腺体提取物自然比例配制成的诱芯为最佳, 但从实用角度来分析, 由于四元组份诱芯中 C 和 D 二种成份的含量相对较少, 配制时比例不容易精确控制, 尤其是当 D 组份含量过高时, 反而会导致引诱活性下降, 而二元组份诱芯的引诱活性虽略低于四元组份诱芯, 但其配制相对比较简单, 成本相对较低, 而且诱蛾效果又远超出目前国内实际防治工作中主要使用的以主要组份 A 配制的单一组份诱芯, 因此我们认为二元组份诱芯(A: B= 8: 2) 是更为可靠和有效的我国印度谷螟性信息素诱芯配方.

参考文献

1 Brady UE, Edward GJ, Redlinger LM, et al. 1975. Mating activity of *Plodia interpunctella* and *Cadra cautella* during exposure to synthetic sex pheromone in the field. *Environ Ent*, 4(3): 441 ~ 444
2 Brady UE, Eleanor BS 1968. Production and release of sex attractant by the female Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. *Ann Ent Soc Am*, 61(8): 1260~ 1265
3 Brady UE, Tumlinson JH, Brownee RG, et al. 1971. Sex stimulant

- and attractant in the Indian meal moth and almond moth. *Science*, **171**: 802~ 804
- 4 Campbell JF, Mullen MA, Dowdy AK. 2002. Monitoring stored product pests in food processing plants with pheromone trapping, contour mapping, and mark-recapture. *J Econ Ent*, **95**(5): 1089~ 1101
 - 5 Camilla R, Glenn PS, Christer L. 2001. Mating disruption of *Plodia interpunctella* in small scale plots: Effects of pheromone blend, emission rates, and population density. *J Chem Ecol*, **27**(10): 2109~ 2124
 - 6 Dai X-J(戴小杰). 1994. Pheromone of stored product insects and its application. *Grain Storage(粮食储藏)*, (2~ 3): 69~ 78(in Chinese)
 - 7 Deng W-X(邓望喜), Zhang H-Y(张宏宇), Hua H-X(华红霞). 2001. Advance of biological controlling stored product insects in China. *Grain Storage(粮食储藏)*, (3): 3~ 7(in Chinese)
 - 8 Dong S-L(董双林), Du J-W(杜家纬). 2002. Effects of mating experience and temperature on sex pheromone production of beet army worm, *Spodoptera exigua*. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, **13**(12): 1633~ 1636(in Chinese)
 - 9 Du J-W(杜家纬). 1988. Insect Sex Pheromone and Its Application. Beijing: China Forestry Press. (in Chinese)
 - 10 Han G-B(韩桂彪), Du J-W(杜家纬), Li J(李捷). 2000. Mating behavioral ecology of *Ancylis sativa* adult. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, **11**(1): 99~ 102(in Chinese)
 - 11 Hou M-L(侯茂林), Sheng G-F(盛承发). 1998. Ecological scale in insect pests research and control. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, **9**(2): 213~ 216(in Chinese)
 - 12 Glenn PS, Camilla R, Christer L. 2002. Heritable variation of sex pheromone composition and the potential for evolution or resistance to pheromone based control of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. *J Chem Ecol*, **28**(7): 1447~ 1461
 - 13 Kuwahara Y, Casida JE. 1973. Quantitative analysis of the sex pheromone of several phycitid moths by electron capture gas chromatography. *Agric Biol Chem*, **37**: 681~ 684
 - 14 Kuwahara Y, Hara H, Ishii S, et al. 1971. The sex pheromone of the Mediterranean flour moth. *Agric Biol Chem*, **35**: 447~ 448
 - 15 Kuwahara Y, Kitamura C, Takahashi S, et al. 1971. Sex pheromone of the almond moth and the Indian meal moth: *cis*-9, *trans*-12 tetradecadienyl acetate. *Science*, **171**: 801~ 802
 - 16 Muller D, Pierce L. 1992. Stored product protection in paradise. *Pest Control*, **60**: 34~ 36
 - 17 Mullen MA. 1994. Response of *Cadra cautella* and *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) to pheromone baited traps. *J Ent Sci*, **29**: 215~ 221
 - 18 Shen Z-P(沈兆鹏), et al. 1994. Sex pheromone of stored product insects and trapping tests. *Grain Storage(粮食储藏)*, (4): 12~ 15(in Chinese)
 - 19 Soderstrom EL, Brandl DG, Vick KW, et al. 1980. Evaluation of synthetic sex pheromone. *Insect Acaricide Test*, **5**: 207~ 208
 - 20 Sower LL, Vick KW, Tumlinson JH. 1974. (Z, E)-9, 12-Tetradecadienyl acetate: A chemical released by female *Plodia interpunctella* that inhibits the sex pheromone response of male *Cadra cautella*. *Environ Ent*, **3**: 120~ 122
 - 21 Teal PEA, Heath RR, Dueben BD, et al. 1995. Production and release of (Z, E)-9, 12 tetradecadienyl by sex pheromone glands of females of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). *J Chem Ecol*, **21**: 787~ 800
 - 22 Vick KW, Coffelt JA, Mankin RW, et al. 1981. Recent developments in the use of the pheromones to monitor *Plodia interpunctella* and *Ephesia cautella*. In: Mitchell ER ed. Management of Insect Pests with Semiochemicals. New York: Plenum Publisher. 19~ 28
 - 23 Wei H-Y(魏洪义), Du J-W(杜家纬). 2003. Identification of active components of sex pheromone for *Sidemia depravata* and field trapping. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, **14**(5): 730~ 732(in Chinese)
 - 24 Wendell EB, Michael MA. 1985. Pheromones for monitoring and control of stored product insects. *Ann Rev Ent*, **30**: 257~ 272
 - 25 Zhang Z-B(张宗炳). 1994. Strategy of controlling stored product insects IPM, TPM and APM. *Grain Storage(粮食储藏)*, (2~ 3): 3~ 8(in Chinese)
 - 26 Zhao Q(赵奇), Tian B-Z(田本志), Xu G-Q(许国庆), et al. 2001. Analysis of factors affecting captures of *Plodia interpunctella* by synthetic sex pheromone traps. *Acta Ent Sin(昆虫学报)*, **44**(3): 321~ 326(in Chinese)
 - 27 Zhao Q(赵奇), Tian B-Z(田本志), Zhao G-D(赵成德), et al. 2000. The effect of the modified pheromone traps for capturing Indian meal moth (*Plodia interpunctella*). *Grain Storage(粮食储藏)*, (2): 3~ 8(in Chinese)
 - 28 Zhou H-C(周弘春), Du J-W(杜家纬), Huang Y-P(黄勇平). 2003. Effects of deltamethrin on pheromone perception in male Asian corn borer (*Ostrinia furnacalis*). *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, **14**(5): 725~ 729(in Chinese)
 - 29 Zhou Z-L(周祖琳). 1978. Trapping study on the sex attracting substances of the Angoumois grain moth. *Ent Know(昆虫知识)*, **1**: 12~ 15(in Chinese)
 - 30 Zhu JW, Camilla R, Unelius CR, et al. 1999. Reidentification of the female sex pheromone of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*: Evidence for a four component pheromone blend. *Ent Exp Appl*, **92**: 137~ 146

作者简介 胡文利, 男, 1968年生, 硕士. 主要从事昆虫化学生态学研究以及化学分析工作. Tel: 021-54924028; E-mail: wlhu@iris.sipp.ac.cn
