

苹果蠹蛾诱芯性信息素含量变化及其有效时间*

朱虹昱^{1,2} 杜磊^{1,2} 徐婧¹ 刘伟^{1,2} 张润志^{1,3,**}

(1. 中国科学院动物研究所 动物进化与系统学重点实验室 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院 北京 100049; 3. 农业虫害鼠害综合治理技术国家重点实验室 北京 100101)

摘要 载有反口橡皮塞诱芯的三角式诱捕器是我国目前进行苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* (L.) 监测的主要工具。在室内理论条件下悬挂自制的橡皮塞信息素诱芯,苹果蠹蛾性信息素释放持续时间为20周,最后1周的信息素剩余含量仍在500 μg左右。在室外自然条件下,2个处理能够检测到信息素剩余含量的最后时间分别为第9周和第5周,剩余含量分别为33.3 μg和37.7 μg;装有该信息素诱芯的诱捕器能够诱集到苹果蠹蛾成虫的时间可达15周。综合室内和室外结果,得到该自制苹果蠹蛾诱芯的最长有效时间为15周,高效时间为4周。

关键词 苹果蠹蛾,监测,性信息素诱芯,释放量,有效时间

Effective duration of sex pheromone in Delta traps for monitoring the codling moth

ZHU Hong-Yu^{1,2} DU Lei^{1,2} XU Jing¹ LIU Wei^{1,2} ZHANG Run-Zhi^{1,3,**}

(1. CAS Key Laboratory of Zoological Systematics and Evolution, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences,

Beijing 100101, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Beijing 100101, China)

Abstract Delta traps equipped with rubber septa loaded with sex pheromone are currently major tools for codling moth monitoring *Cydia pomonella* (L.). Under theoretical indoor conditions, the effective duration of sex pheromone in Delta traps was 20 weeks, with approximately 500 μg of pheromone remaining after that time. In outdoor natural conditions, two experiments indicated that the effective duration of sex pheromone in traps was 9 and 5 weeks, with 33.3 μg and 37.7 μg of pheromone remaining after these periods respectively. The effective trapping time of these traps was 15 weeks. Comparing the indoor and outdoor results, the longest duration of pheromone on rubber septa was 15 weeks, and the most effective trapping time was 4 weeks.

Key words *Cydia pomonella*, monitoring, sex pheromone-loaded rubber septa, releasing quantity, efficient time

载有诱剂的诱捕器是苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* (L.) 监测工作的主要工具。在目前我国苹果蠹蛾监测工作中,使用较多的是三角式诱捕器,与其他类型的诱捕器相比,这种诱捕器对苹果蠹蛾的诱捕效果比较理想(杜磊等,2007)。诱捕器中诱芯的主要成分为反,反-8,10-十二碳二烯-1-醇(E,E-8,10-dodecadien-1-ol)(Roelofs,1971),其在确定苹果蠹蛾存在状态、种群大小以及防治时机等方面都发挥着重要的作用(Culver and Barnes,1977)。

反口橡皮塞是一种较为常用的信息素载体。许多实验结果表明,橡胶载体能够吸收多种昆虫信息素并将之缓慢释放,而反口橡皮塞是其中最为成功和适合的一种(Daterman,1982)。Maitlen(1976)的研究表明,天然橡胶最适于作苹果蠹蛾性信息素的载体;在该研究中,他还首次对于苹果蠹蛾信息素从该载体中的释放速率、剂量与诱捕量的关系以及存贮对其含量产生的影响等方面的内容进行了报道。在这之后,各国科学家关于影响此种载体中信息素的释放速率的因素开展了一

* 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200903042)、973计划课题(2009CB119204)

** 通讯作者,E-mail: zhangrz@ioz.ac.cn

收稿日期:2011-12-06,接受日期:2011-12-26

系列的研究,如温度 (McDonough *et al.*, 1989; Van der Kraan and Ebberts, 1990)、风速 (Van der Kraan and Ebberts, 1990)、信息素分子结构 (McDonough, 1997) 对信息素释放速率的影响,以及载体材料对共轭二烯类信息素异构化过程的催化 (Vrkoč *et al.*, 1988) 等。

本研究对我国目前常用的三角式诱捕器中使用的反口橡皮塞诱芯中的信息素释放量及其诱虫有效时间进行了测定,这项工作对我国苹果蠹蛾监测工作中遇到的诱芯维护更换工作具有重要指导意义。

1 材料与方法

1.1 反口橡皮塞诱芯的制作

载体诱芯采用橡胶为材料,整板制模,通过将热熔橡胶注入模板内部并冷却压制成型。成品为包括 96 个单体的诱芯橡胶板 (12 × 8 个)。每个诱芯单体为独立的反口橡皮塞,形状中空,重约 0.3 ~ 0.5 g。诱芯由中国科学院动物研究所研制生产,该产品及其生产工艺获得了国家专利,名称为“昆虫诱芯载体及其制作模具”(国家专利号: CN201217257)。

苹果蠹蛾性信息素(反,反-8,10-十二碳二烯-1-醇)购自美国 Bedoukian 公司,产品纯度为 97%。使用多通道微量移液器将浓度为 100 μg/μL 的信息素溶液注入已制作完成的载体诱芯板背面的小孔内,每孔注入信息素溶液体积为 10 μL,每个诱芯单体中溶剂蒸发后保留的苹果蠹蛾性信息素初始含量为 1 mg。为了防止信息素的提前释放散失,将整个诱芯橡胶板使用塑料自封袋封装并于低温下避光保存。

1.2 诱芯悬挂及诱捕器的设置与检查

信息素诱芯的设置共分为室内和室外共 4 个处理(表 1)。室内设置有 2 种方式,包括整板不分离诱芯单体在室内的直接悬挂,以及定时从冰箱保存的诱芯取出一定数量进行悬挂,主要获取理论上诱芯的信息素释放时间;室外设置则包括一次性悬挂所有诱芯单体,以及在附近果园设置装有该诱芯的三角式诱捕器(北京中捷四方生物科技有限公司),主要获取自然条件下诱芯的信息素释放时间和具体的诱捕效果。诱捕器设置后不对其中的诱芯进行更换,仅定期进行粘虫板的更换等维护操作,以保证其诱集效果正常持久。

表 1 苹果蠹蛾橡皮塞诱芯载体释放设置情况

Table 1 Settings of codling moth rubber septa releasing

| 年份 Year | 地点 Locations | 处理 Treatments | 持续时间 Duration/ week | 诱芯悬挂数量 Rubber septa setting amounts | 田间诱捕器数量 Traps amount in fields |
|------------|---|-------------------|---------------------------|---|--------------------------------------|
| 2008 | 北京 Beijing | 室内 1 Indoor 1 | 20 | 288(3 板/3 plates) | — |
| 2008 | 北京 Beijing | 室内 2 Indoor 2 | 20 | 288(每周增加/ increase every week) | — |
| 2010 | 甘肃张掖 Zhangye, Gansu | 室外 1 Outdoor 1 | 18 | 540 | 3 |
| 2010 | 内蒙古阿拉善左旗 Alxa Left Banner, Neimenggu | 室外 2 Outdoor 2 | 15 | 450 | 9 |

1.3 诱芯的回收与性信息素的提取

自橡皮塞诱芯悬挂的当天及之后每周的同一时间进行诱芯的回收与其中信息素的提取。进行信息素诱芯提取时,在每周的固定时间从已经悬挂的诱芯中取固定的数量,分成若干组进行分别提取。用小刀把每个诱芯平均切成 4 个近似大小的部分,并全部转移入具塞三角瓶内,加入正己烷

(分析纯),摇匀后放置 1 ~ 2 h,使诱芯中的信息素尽可能地被正己烷溶解。提取完毕之后,每个诱芯的提取液各取 1 mL 左右注入色谱样品瓶中 (Agilent 公司),旋紧瓶盖并避光保存待检。2008 年室内处理时,每周提取的信息素诱芯单体为 10 个,分成 2 组进行提取,提取时使用了 30℃ 水浴,并置入摇床 1 h,以促进其提取过程;2010 年室外

处理,每周提取的信息素单体数量为 30 个,共分 3 组,提取时由于条件限制未使用水浴和摇床,但适当增加了提取时间(2 h),以保证相同的提取效果。

1.4 气相色谱分析

诱芯信息素全部提取完毕之后,将原始提取的信息素溶液进行定量的稀释(原始提取液:正己烷=1:10),之后进行气相色谱检测分析。首先使用气相色谱-质谱联用仪(Agilent 6890N-5973N)进行气相色谱-质谱联用(GC-MS)检测,确定苹果蠹蛾信息素化合物的保留时间及适当的样品稀释倍数。之后使用气相色谱仪(Agilent 7890A GC),并配合 FID(火焰离子化检测器)进行信息素的气相色谱检测,得到信息素的定量数据。在色谱测定样品之前,配置并测定系列浓度梯度信息素标准溶液的信息素含量,计算得到标准溶液的校正曲线。所有诱芯信息素提取液样品检测完毕后,同标准曲线比对峰面积值,计算得到信息素的具体含量。样品峰面积值通过色谱仪连接的安捷伦化学工作站软件(Agilent Chemstation)进行积分计算和输出。以上试验均在中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室内进行。

1.5 数据分析

根据提取和气相色谱分析中做出的变化添加换算参数,将色谱测定得到的样品峰面积进行换算,得到初始每个诱芯单体中信息素的含量。在计算过程中,取每次测定样品的峰面积平均值进行,以保证计算精度。得到诱芯中信息素含量之后,使用 SPSS19.0 统计分析软件进行含量变化曲线的拟合以及含量对于时间的回归分析。

2 结果与分析

2.1 诱芯信息素含量变化趋势

室内外处理的信息素标准溶液校正曲线斜率分别为 42.414 和 6.743,截距分别为 -39.272 和 0.914。由于色谱测定时对于溶液进行稀释及其他操作,添加换算系数 0.05 以得到最终单一诱芯提取液信息素含量。

2 个室内处理的时间设置均为 20 周,从初始悬挂第 1 周到第 20 周的提取液样品均可测到信息素的存在。室内处理 1 的信息素含量变化范围

为 765.4 μg (第 1 周后)至 490.8 μg (第 20 周后)。按信息素释放量变化来说,该处理一开始就保持较低水平,第 1 周单周释放量为 234.6 μg ,设置结束前最后 1 周的信息素释放量为 23.5 μg ,整个过程单周信息素平均释放量为 57.7 μg (去除无效数据)。室内处理 2 的信息素含量变化范围为 841.5 μg (第 1 周后)至 520.2 μg (第 20 周后)。按信息素释放量变化,该处理第 1 周单周释放量为 234.6 μg 为最高,最后 1 周的信息素释放量为 27.5 μg ,整个过程单周信息素平均释放量为 120.7 μg 。

室外处理 1 和 2 中,原始时间设置为 18 周和 15 周,但在开始释放第 9 周和第 5 周后,信息素提取液的色谱测定结果均已显示为痕量(含量低于色谱仪检测灵敏度下限而无法测定得到),记为 0 值。2 处理的信息素含量变化范围分别为 753.3 μg (第 1 周后)至 33.3 μg (第 9 周后),及 397.6 μg (第 1 周后)至 37.7 μg (第 5 周后)。按信息素释放量变化,最大值均出现在设置后第 2 周内,平均单周释放量分别为 199.5 μg 和 142.6 μg 。在无法测到信息素含量的最后 1 周内,信息素释放量分别为 9.9 μg 和 25.0 μg 。

2.2 曲线拟合和回归分析

用诱芯中信息素的含量对设置时间做出变化趋势的散点图(图 1),可以看到诱芯中信息素剩余含量随时间变化均呈“先快后慢”的趋势,尤其室外处理曲线更加明显。使用多种曲线进行拟合,结果考虑到信息素释放的实际情况,可知橡皮塞诱芯中信息素的含量随时间呈指数曲线下降。

由于指数函数通过对数变换为线性函数后更加直观和准确,因此我们对诱芯信息素含量 M (M 的 μg 值)进行了转换,得到了其对数 $\ln M$ 对于时间 t 的线性回归结果(表 2)。从表 2 中可以看出室外处理的回归相关性更高,模型实际符合程度非常好。通过计算得到所有处理的诱芯信息素半衰期值 $t_{1/2}$ 分别为 1.92、1.47、38.51 以及 36.48 周,并使用半衰期计算释放时间为 t 时的诱芯信息素含量 M ,公式为 $M = M_0 e^{-t/t_{1/2}}$ (Butler and McDonough, 1979)。在初始剂量统一为 1 mg 时,所有处理诱芯在 t 时间的信息素含量分别如下:

$$M = 1000e^{-0.361t}, M = 1000e^{-0.4721t}, M = 1000e^{-0.018t} \text{ 以及 } M = 1000e^{-0.019t} \text{ (单位: } \mu\text{g)}。$$

对于室内设置来讲,拥有更平缓的斜率但更

不均匀的变化情况是其较显著的特征;而对于室外设置,斜率较高而变化较快,但整体释放情况更加符合模型的理论值,这说明了自然条件下该橡

皮塞诱芯中性信息素的规律释放情况同以往的研究结果相类似。

表 2 诱芯信息素含量的对数 $\ln M'$ 对时间 t 的线性回归结果

| 处理 Treatments | 室外 1 Outdoors 1 | 室外 2 Outdoors 2 | 室内 1 Indoors 1 | 室内 2 Indoors 2 |
|------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| R | 0.996 | 0.999 | 0.863 | 0.863 |
| R^2 | 0.991 | 0.999 | 0.745 | 0.744 |
| $Sig.$ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| k | -0.361 | -0.473 | -0.018 | -0.019 |
| $SE.$ | 0.012 | 0.008 | 0.002 | 0.003 |

注: R 为回归的相关系数; $Sig.$ 为回归结果的显著性水平; k 为 $\ln M'$ 对 t 的斜率; $SE.$ 为回归斜率的标准误差。

R is the correlation coefficient; $Sig.$ is significance of regression; k is the slope $\ln M'$ to t ; $SE.$ is the standard error of regression slope.

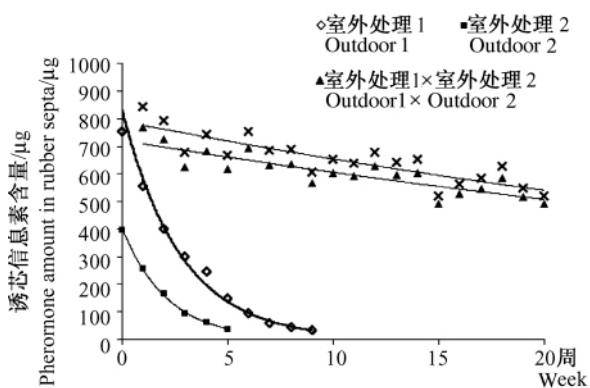


图 1 诱芯信息素含量变化曲线
Fig.1 Pheromone amount variation curve of the rubber septa

2.3 田间诱捕效果

室外处理悬挂的信息素诱芯诱捕器从设置第 1 周开始即可捕到苹果蠹蛾成虫(图 2)。最后一次捕捉到苹果蠹蛾成虫的时间,在分别为第 11 周和第 15 周。在室外处理 1 中,在能够诱集到成虫的 11 周时间之内,成虫诱捕量最大值出现在 5 月 28 日(设置第 3 周),该周内平均诱捕量为每部诱捕器 8.0 头;在室外处理 2 中,在能够诱集到成虫的 15 周时间之内,成虫诱捕量最大值出现在 8 月 31 日(设置第 14 周),该周内平均诱捕量为每部诱捕器 16.0 头。

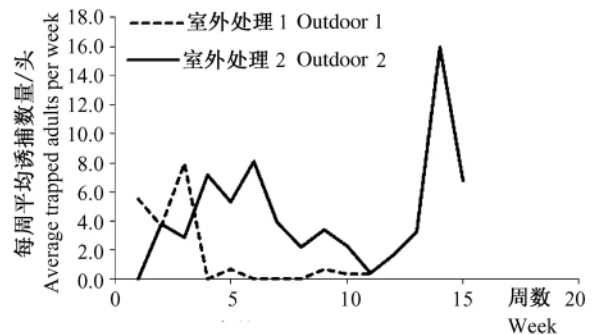


图 2 苹果蠹蛾田间诱捕效果
Fig.2 Field trapping effect to codling moth

3 讨论

3.1 信息素的提前消耗及室内外影响因素

本实验得到的诱芯释放情况与以往许多苹果蠹蛾信息素发散器的研究结果相类似(Brown, 1992; McDonough *et al.*, 1992; McDonough, 1997; Kehat, 1994)。Bierl-Leonhardt(1982)等研究的结果均指出,多数信息素从发散器中释放的速率均符合一级动力学,即 $\ln(M_0/M) = kt$ 。该模型的特点就是初始时间释放速度较快,因此本实验设置的所有诱芯均存在信息素初始量消耗的问题,即从信息素诱芯制作完成到设置开始的“空档期”内的包装、运输等过程中,诱芯一直在向外释放信息素。在设置当周,室外处理 1 和 2 的信息素释放

量分别为平均 246.7 μg 和 602.4 μg , 后者甚至超过了 50% 的初始信息素含量。为尽量减少该情况, 橡皮塞诱芯均在设置前才进行制作, 并在运输和田间设置的过程中尽量保证信息素诱芯板的完整密封, 降低阳光、高温和湿气的影 响, 尽量减少信息素的提前消耗。室内处理的信息素损耗较少, 整个信息素含量变化曲线比较平稳、持续时间较长, 这与室外处理的信息素含量变化曲线存在比较大的差异。

信息素的化学结构以及环境因素对橡胶塞这一优良载体中信息素的释放速率有重要的影响 (Daterman, 1982)。即使是在同样的环境下, 同样剂量的苹果蠹蛾性信息素从不同的橡胶塞中释放出来的速率也不尽相同 (Kehat *et al.*, 1994)。Maitlen (1976) 最早在其工作中计算出苹果蠹蛾橡胶塞诱芯中信息素的半衰期 $t_{1/2}$ 为 26.5 d。但本实验中未使用半衰期作为衡量标准, 其仅用于计算处理中拟合模型中信息素含量的中间变量。

温度和风速是影响信息素诱芯释放的重要因素。Van der Kraan 和 Ebberts (1990) 发现, 载有十四碳烯-1-醇乙酸酯的几种发散器中的信息素释放速率同风速的平方根成正比; McDonough (1992, 1997) 认为, 发散器周围信息素向空气中扩散的速率是决定信息素释放速率的一个因素, 而它又取决于空气流动的速度。信息素挥发速率同风速之间成正比。室内设置时, 在无风的有限空间内悬挂较多彼此相连的橡皮塞诱芯, 必定会导致空气中信息素弥散浓度较高, 这降低了橡胶塞周围信息素蒸汽向空气中扩散的速率, 因此信息素的释放相对比较稳定。而在室外, 受空气流动和温度变化的影响, 信息素的释放变化较为迅速, 单个诱芯内的信息素剩余量比在室内实验的结果要低。该结果同时也说明, 如果使用单一信息素诱芯能够达到诱捕效果则不需悬挂多个诱芯, 因为实际上并不能起到加强诱集效果的作用。

信息散发器的形状及物理结构也会改变信息素释放的动态变化, 例如表面积大小、厚度以及载体弹性等因素 (Daterman, 1982; Quisumbing, 1982)。在该诱芯的制作过程中, 信息素溶液均由较窄小的反口小孔滴入, 而该小孔内径小且壁厚, 这均减小了信息素释放的表面积, 减缓了诱芯内部信息素向诱芯表面扩散的速率, 故整体降低了信息素向环境中的释放。这是室内处理能够获得

较为平稳信息素变化结果的原因之一。

3.2 诱芯有效时间与高效时间

Bäckman 等 (1997) 的研究显示, 召唤雌蛾在信息素释放高峰时期的释放速率为 6.5 ng/h, 而在田间放置 10 d 的 0.1 mg 剂量诱芯的信息素释放速率约比雌蛾释放高峰时期的速率高 10 倍多。McNally 和 Barnes (1980) 的研究发现, 在诱芯悬挂出去 16 周之后, 仍然对成虫具有吸引力。本实验室外处理中信息素诱芯的信息素释放速率在 63 d (9 周) 和 35 d (5 周) 时 (含量测定临界点) 能达到 58.9 ng/h (9.9 μg /周, 室外处理 1) 和 148.8 ng/h (25.0 μg /周, 室外处理 2), 均比召唤雌蛾的高峰释放速率高 10~20 倍, 无疑对于成虫仍旧具有强烈的召唤作用, 田间诱捕数据也证明了该点。在诱芯悬挂 77 d (11 周) 和 105 d (15 周) 时, 使用该诱芯的诱捕器仍旧能诱集到苹果蠹蛾成虫, 尽管信息素含量在当时已无法提取检测得到。而室内的诱芯在悬挂 140 d 时, 信息素释放速率分别为 139.9 ng/h (23.5 μg /周, 室内处理 1) 和 163.7 ng/h (27.5 μg /周, 室内处理 2), 仍为召唤雌蛾高峰释放速率的 20~25 倍。在室外处理中, 当诱芯悬挂至 28 d (4 周) 时间内, 信息素平均释放速率分别为 758.3 ng/h (127.4 μg /周, 室外处理 1) 和 498.2 ng/h (83.7 μg /周, 室外处理 2), 平均诱蛾量分别为 4.3 头和 3.5 头。

因此, 结合信息素诱芯含量及释放速率计算结果, 以及田间的成虫诱捕情况, 可以认定, 在信息素诱芯悬挂的前 4 周完全可以视作诱芯高效且稳定的使用期; 而其有效释放时间可达 15 周。由于本实验中气相色谱仪的检测浓度下限为 0.1 ng/ μL , 最后进样的溶液也经过稀释等操作, 因此在该数值之下的含量无法测定, 换算结果即含量检测下限为 10 μg (每个诱芯单体信息素含量)。之后可考虑降低稀释倍数等方法, 提高检测的灵敏度和数据的准确性。

3.3 监测诱芯的信息素剂量及更换间隔

许多研究显示, 当诱芯中苹果蠹蛾信息素的含量超过 1 mg 后, 诱芯吸引雄蛾的数量反而会下降。McDonough 等 (1993) 研究发现, 在风洞实验中, 当诱芯的信息素剂量在 10~300 μg 之间时, 雄蛾上风飞行的比例及接触到诱芯的比例均在 80% 左右, 而当超过 300 μg 后雄蛾的反应比例稳定下

降,直到 100 mg 时趋近于 0。在田间诱捕实验中, Kehat(1994) 发现,在 100 μg 至 1 mg 之间,诱芯诱集雄虫效果会随剂量的增加而增加;而在 1~5 mg 之间,诱芯的吸引力随剂量的上升而下降。Maitlen(1976) 则发现在短期诱捕当中,含有 0.75~1.5 mg 信息素的橡皮塞对雄虫的引诱力最高。综合考虑诱芯间可能的相互干扰作用以及生产成本等因素,仍推荐 1 mg 作为监测使用诱芯的标准剂量。

为了使诱芯在监测时期内对雄蛾具有前后一致的引诱力,需要定期对诱芯进行更换以保证其具有相对稳定的释放速率。Maitlen(1976) 认为,诱芯最佳更换时间为 1 个月;Riedl(1980) 则认为诱芯的更换时间为 4~6 周比较合适。在本实验中,全部室外处理悬挂的诱芯均不予更换,主要目的在于得到橡皮塞诱芯在自然状态下的高效释放时间和最长有效释放时间,这主要体现在对于苹果蠹蛾成虫的有效诱集时间之上。根据我们的结果,在实际的苹果蠹蛾监测时,推荐的诱芯更换时间仍为 1 个月,这样能一直保持诱捕效果的高效和稳定。

致谢: 本实验得到了甘肃省植保植检站蒲崇建站长、姜红霞科长的大力支持以及甘肃省张掖市植保植检站张建朝站长、高宜明农艺师在具体实验开展中的协助。另外,中国科学院动物研究所农业虫害鼠害综合治理研究国家重点实验室化学分析技术平台的秦小微老师,以及外来物种鉴定与控制研究组的刘宁老师提供了很多实验设计和技术操作等方面的指导和帮助,在此一并表示感谢!

参考文献(References)

Bäckman AC, Bengtsson M, Witzgall P, 1997. Pheromone release by individual females of codling moth, *Cydia pomonella*. *J. Chem. Ecol.*, 23(3): 807—815.

Bierl-Leonhardt BA, 1982. Release rates from formulations and quality control methods // Kydonieus AF, Beroza M (eds.). *Insect Suppression with Controlled Release Pheromone Systems*. Boca Raton, Florida: CRC Press. 245—258.

Brown DF, Knight AL, Howell JF, Sell CR, Krysan JL, Weiss M, 1992. Emission characteristics of a polyethylene pheromone dispenser for mating disruption of codling moth

(Lepidoptera: Tortricidae). *J. Econ. Entomol.*, 85(3): 910—917.

Culver DJ, Barnes MM, 1977. Contribution to the use of the synthetic pheromone in monitoring codling moth populations. *J. Econ. Entomol.*, 70(4): 489—492.

Daterman G, 1982. Monitoring insects with pheromones: Trapping objectives and bait formulations // Kydonieus AF, Beroza M (eds.). *Insect Suppression with Controlled Release Pheromone Systems*. Boca Raton, Florida: CRC Press. 195—212.

Kehat M, Anshelevich L, Dunkelblum E, Fraishtat P, Greenberg S, 1994. Sex pheromone traps for monitoring the codling moth: Effect of dispenser type, field aging of dispenser, pheromone dose and type of trap on male captures. *Entomol. Exp. Appl.*, 70(1): 55—62.

Maitlen JC, McDonough LM, Moffiti HR, George DA, 1976. Codling moth sex pheromone: Baits for mass trapping and population survey. *Environ. Entomol.*, 5(1): 199—202.

McDonough LM, 1997. Release dynamics of pheromone from a pheromone dispenser. *J. Chem. Ecol.*, 23(5): 1211—1216.

McDonough LM, Aller WC, Knight AL, 1992. Performance characteristics of a commercial controlled-release dispenser of sex pheromone for control of codling moth (*Cydia pomonella*) by mating disruption. *J. Chem. Ecol.*, 18(12): 2177—2189.

McDonough LM, Brown DF, Aller WC, 1989. Insect sex pheromones. *J. Chem. Ecol.*, 15(3): 779—790.

McDonough LM, Davis HG, Chapman PS, Smithhisler CL, 1993. Response of male codling moths (*Cydia pomonella*) to components of conspecific female sex pheromone glands in flight tunnel tests. *J. Chem. Ecol.*, 19(8): 1737—1748.

Quisumbing AR, Kydonieus AF, 1982. Laminated structure dispensers // Kydonieus AF (ed.). *Insect Suppression with Controlled Release Pheromone Systems*. Boca Raton, Florida: CRC Press. 213—231.

Riedl H, 1980. The importance of pheromone trap density and trap maintenance for the development of standardized monitoring procedures for the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Can. Entomol.*, 112(7): 655—663.

Roelofs W, Comeau A, Hill A, Milicevic G, 1971. Sex attractant of the codling moth: Characterization with electroantennogram technique. *Science*, 174(4006): 297—299.

Van der Kraan C, Ebbers A, 1990. Release rates of tetradecen-1-ol acetates from polymeric formulations in

- relation to temperature and air velocity. *J. Chem. Ecol.* , 16(4) : 1041—1058.
- Vrkoč J , Konečný K , Valterová I , Hrdy I , 1988. Rubber substrates and their influence on isomerization of conjugated dienes in pheromone dispensers. *J. Chem. Ecol.* , 14(5) : 1347—1358.
- 杜磊 , 张润志 , 蒲崇建 , 贾迎春 2007. 两种苹果蠹蛾性引诱剂诱捕器诱捕效率比较及地面植被的影响. *昆虫知识* 44(2) : 233—237.