

科技资料76—4(总15)

# 昆虫性诱剂及其应用

金坛县昆虫激素研究室

江苏省镇江地区革委会计委科技组

一九七六年六月



# 一、发展防治害虫新方法的意义

## 1. 害虫的综合防治

目前，使用化学农药防治害虫已成为提高农作物产量的一个重要措施。

我们的祖先早就知道用天然物及一些无机药物来保护农作物，这些所谓“第一代农药”，由于它药效低、用量大、不能适应要求，已逐渐被淘汰。

四十年代以后，出现了有机氯(例如滴滴涕、六六六)，有机磷(例如1605、1059)等有机合成农药，由于它毒性大、用量小、效果较好、防治对象广泛、使用简便，因而获得了迅速的发展。有机合成的化学农药也称为“第二代农药”。目前，全世界化学农药的年产量已达170—220万吨，品种有1000种左右，常用的也有300多种。

“第二代农药”的大量生产和广泛使用，对防治农业病虫害和杂草，防治医学害虫起到了十分巨大的作用。这方面，从事农业生产的人都有深切的体会，农药已是保证农业增产不可缺少的重要物质。例如：1967年由于没有足够的化学农药防治，据估计使世界各国的水稻产量损失达2000亿斤，甘蔗的损失达2亿吨，1968年，美国仅爱阿华一州，因玉米螟危害，损失达7500万美元。由此可见，农业的稳产高产和化学农药的使用是分不开的。

目前，农药不仅广泛地应用在农业上，而且应用在林业、畜牧业、铁路运输业、国防以及家庭和公共卫生事业等各个方面。

但是“事物都是一分为二的”。化学农药有它促进农业增产的一面，也有它有害的一面。长期连续使用化学农药，带来了一系列原来意想不到的问题，主要是：(1)污染了环境，对人体健康造成了不良影响。大量的化学农药年复一年地使用，污染了环境，特别是一些化学稳定性强、不易分解的有机氯农药，能长期储存在水域、土壤和生物体内，并能在生物体内转移、储存和浓缩，有些还可通过空气、水流和动物散播到很远的地方。现在即使远在北极的企鹅和海豹，北极格林兰的冰块与那里居住的爱斯基摩人体内，都有微量的滴滴涕。人和每天食用的麦类、谷类、蔬菜、水果、脂肪、鱼、油、糖，甚至人奶中都残留着农药。虽然残留的含量极少，但是，长期不断地进入人体内积累起来，就会引起慢性中毒，损害神经系统，肝脏功能以及生殖遗传等；(2)许多害虫逐渐产生了抗药性，使农药用量不断增加，效果则反而降低。例如新乡地区施用滴滴涕防治棉铃虫，已有十七、八年历史，由于使用不好，棉铃虫抗药性已较1969年增加了十余倍。危害水稻的螟虫，危害棉花的棉蚜等害虫对农药也都产生了抗药性；(3)有些化学农药在杀灭害虫的同时，也杀死了许多有益生物。如鱼类、鸟类、野生动物、特别是益虫。由于害虫天敌的大量被摧残，某些主要害虫发生更严重，一些原来是次要的害虫日益猖獗，现在水稻田

里稻叶蝉、稻飞虱等所谓小虫普遍大量发生,除其他原因外,可能与稻田施用六六六有关,六六六杀死捕食性蜘蛛等,致使叶蝉数量急剧增加。又如棉蚜与棉铃虫危害日益严重,这与施用农药杀死棉田中多种天敌也有密切关系。

人们通过实践,发现矛盾,总结经验,终于认识到单纯依靠化学农药或其它单一措施,都不能很好地解决虫害问题,甚至会引起许多有害的副作用,从而逐步树立了病虫害综合防治的观念。

综合防治是使用化学的、生物的、物理的和其它有效的防治方法,进行合理配合,交替使用,做到既经济又有效地防治病虫害。同时,对环境污染和人类健康的影响限制在最低限度。综合防治的内容很多,作为综合防治措施中发展的新途径、新方法的主要内容之一,昆虫激素及信息素的化学及应用,正在日益受到重视,有人把它称为“第三代农药”或“无公害农药”。

## 2. 性诱剂的发展概况

所谓“第三代农药”,主要是指本来就存在于昆虫体内的或由昆虫分泌出来的,具有高度生物活性的有机物质,或改造这些有机物结构而获得的活性更高的化合物。利用它能够控制、调节昆虫生长、发育、生殖等生理作用的性能,而作为农药使用。一般来说,它们用量特别小,易于被生物分解代谢,不会污染环境,造成公害。有代表性的即是昆虫激素(包括保幼激素、蜕皮激素等)及其类似物(又称昆虫生长调节剂)和性诱剂。本书将只限于介绍性诱剂。

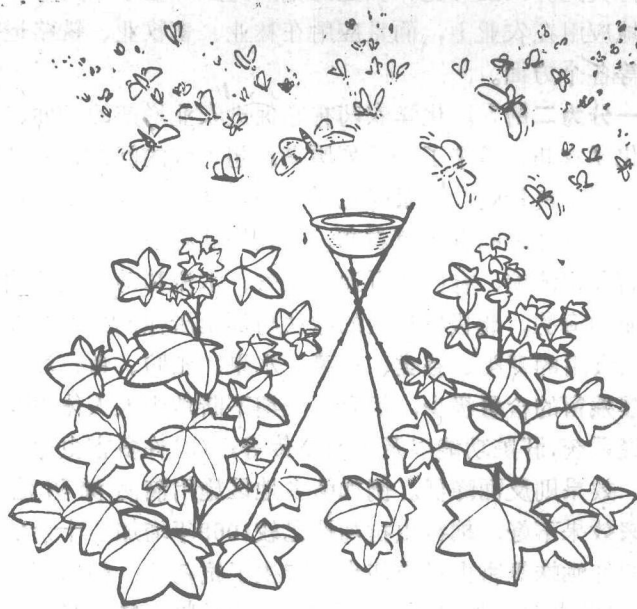


图1 用性诱剂诱集害虫聚而歼之

利用昆虫的某些习性，诱集大量害虫，聚而歼之，这是一个很理想的治虫方法。人们观察到放在笼中的雌蛾能够从远处引来许多雄蛾，很早便也有利用雌虫能放出性引诱物的特点，设法诱捕同种异性昆虫的想法。1931—32年，捷克便有人做过用性诱物来防治害虫的试验，他把未交配过的僧尼舞蛾雌蛾放在小箱内，挂在本杆上，周围贴上捕蝇胶纸，引来了许多雄蛾。就在许多初步试验的基础上，经过了近二十年的长时间的努力。终于从约50万头雌蚕蛾腹部提取出了12毫克的纯性诱剂，测定了它的结构，人工合成了第一种昆虫性诱剂。此后，各国相继以各种昆虫(主要是鳞翅目昆虫)为对象，进行了大量的研究。现在已发现了250多种昆虫能分泌性诱剂，有80多种具有经济价值的昆虫其性诱剂已被鉴定和合成，不少性诱剂已作为商品试销试用。

我国昆虫激素和性诱剂的研究和生产，从一九七三年开始以来，发展很快。在性诱剂方面，中国科学院上海有机化学研究所、北京动物研究所及上海昆虫研究所等正在研究一些害虫的性诱剂。合成的几种性诱剂，正在进行较大规模的田间试验。

我国广大贫下中农、干部和科学技术人员在毛主席革命路线的指引下，在昆虫性诱剂粗提物的制取和应用方面，大搞群众性的科学实验活动。在江苏、安徽、江西、湖北、吉林、河北等地都有进行试验的报导，规模较大的曾采虫剪尾达20万头，有的在数十万亩田地中进行诱捕，这是综合防治农业病虫害方法中出现的一项新事物。可以预期，性诱剂在综合防治虫害、夺取农业丰收上，必将获得愈来愈广泛的应用。



## 二、昆虫传递信息的物质

### 1. 信息素

很久以前就已经知道，昆虫的“气味语言”，在维持种族及获得其生活上的基本需要方面，发挥很重要的作用。但只是到近十多年来，由于微量化学及分析仪器的发展，才对这种“气味语言”的本质有了深入的了解，这种传递信息的化学物质现在称为信息素。把一只雌蛾放在网笼内，许多同种的雄蛾就会飞来，这种引诱同种异性赶来寻找配偶的化学物质称为性信息素或性诱剂（这两个名词含义的区别见下一节）。许多蚁类在它们走过的地方留下刺激性很强的气味，用这种方法形成一条回巢的道路，并指示同伴可跟踪而来。这种化学物质称为追踪信息素；一些埋葬虫在找到获得物时，散发出特殊的气味，招呼同伴们知道，赶快聚集来一起享用，这种物质称为结集信息素；群居昆虫如蚂蚁、蜜蜂等在受到惊扰时，放出某种物质，引起个体警戒、逃避或奋起防卫的动作，这种物质称为告警信息素。信息素的种类很多，它们具有一些共同的特点，即都是由昆虫本身所分泌的，具有相当程度挥发性的物质，生物活性很高，只要极微量就能引起特殊的感应，这种感应有一定的专属性等等。在信息素中，研究得最多、目前看来应用前途最广的是性信息素。

### 2. 性信息素和性诱剂

严格地说，性信息素和性诱剂的含义是有区别的。凡是存在于昆虫体内具有性引诱活性的化学物质称性信息素，而那些并不存在于昆虫体内但也具有性引诱作用的化学物质称性诱剂。例如存在于棉红铃虫雌蛾体内的“红铃蛾诱”，是一种性信息素，而经生物试验从许多合成化合物中筛选出来的，也能引诱棉红铃虫雄蛾的“己诱”，便是一种性诱剂。但从应用的目的着眼，严格区分它们并无必要，因此在本书中，为简单起见，不加以区别而统称为性诱剂。

前面说过，在室外把一只雌蛾放在网笼内，它可以把远处的雄蛾引来，但如果把雌蛾放在玻璃容器内，雄蛾的眼睛虽然完全可以看到里面的雌蛾，却毫无反应，即并不能感觉到雌蛾的存在。那末雄蛾怎么感受到雌蛾发出的气味的呢？一个极简单的实验可以解答这个问题。剪掉这种雄蛾的两个触角，于是它就不再能找到雌蛾了。如果把虫胶涂在雄蛾的触角上，使不与空气接触，也发生同样的现象。但如果只部分地切除触角或涂以虫胶，则它仍然能感到雌蛾的存在。所以，雄蛾的触角是对性诱剂发生感应的器官。

雌蚕蛾放出的性诱剂是一种醇，称蚕醇。雄蚕蛾的触角是一个非常灵敏的感受器。每

一立方厘米空气中只要含有14,000个蚕醇分子(这是极低的浓度),雄蛾便开始寻找雌蛾。雄蚕蛾羽毛状触角上大约有10,000个感觉毛(它和感受细胞连结),就靠这些毛捕捉蚕醇分子,只要一个蚕醇分子就可以激活感受细胞。而这类感受细胞对其它分子完全没有反应。由于这种讯号的特异性,雄蛾的行为极象一枚“性导弹”,它径直自行取向飞往雌蛾,因为那里蚕醇浓度最大。

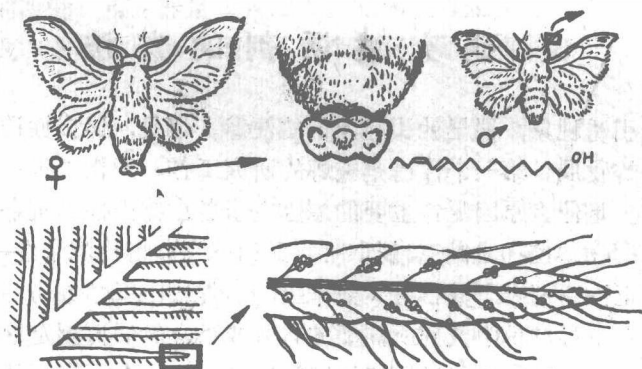


图2 家蚕性诱剂的释放和感受示意图

大多数昆虫是由雌性分泌性诱剂引诱雄性,但也有一些昆虫是雄性分泌性诱剂,也有一些昆虫则雌雄两性都能分泌。以研究得最多的鳞翅目昆虫来说,蛾类和蝶类就不一样,蛾类是由雌性分泌性诱剂,蝶类则由雄性分泌。一般地说,雌性昆虫分泌的性诱剂,作用的距离较远,引诱力也强;雄性昆虫分泌的性诱剂,引诱距离较近。

昆虫分泌性诱剂的腺体随种类而变,雌蛾释放性诱剂的腺体大多在腹部第八节与第九节的节间膜内,少数也有在第七与第八腹节之间或第九与第十腹节之间。也有些昆虫释放性诱剂的腺体在头部、胸部等处。蛾类常以伸缩腺体的方法来控制性诱剂的释放。

各种昆虫分泌的性诱剂的结构不同,性质也不同,仅对同种异性昆虫发生作用,而不会把别的昆虫引来,这样才能保持种族绵延和生殖隔离,因此性诱剂有很大的专属性。但现在也发现同一科或同一亚科的昆虫往往相互之间有一定引诱力,例如印度谷螟(*Plodia interpunctella*)的雌蛾可以诱到地中海粉螟(*Anagasta kuehniella*)的雄蛾;粉斑螟(*Cadra cautella*)的雌蛾也可以诱到印度谷螟的雄蛾,这三种蛾同属于螟蛾科的斑螟亚科。再如同属夜蛾科棉铃虫亚科的美棉铃虫(*Heliothis zea*)与烟草夜蛾(*H. virescens*)之间有相互引诱力。不难推测这些亲缘关系很近的昆虫,它们的性诱剂结构是相同的或相类似的,这一点现在已经得到证实。但在另一方面,粉斑螟雌蛾虽可以诱到印度谷螟的雄蛾,但印度谷螟的雌蛾却很难诱到粉斑螟的雄蛾。这表明,昆虫雌雄两性的诱引,除了性诱剂(也并不都是单一的化合物)的作用外,还有其他物质(称为付次化合物)在近距离内也起着重要的作用。

性诱剂诱集异性昆虫的有效距离,和这种昆虫的生活习性有密切关系,同时也与性诱剂释放扩散后在空气中的浓度有关。实际在田间做这类实验进行测定,涉及的因素更多,要获得正确的数据比较困难。据说一种天蚕蛾亚科(*Philosamia cyathia* Dr.)的雌蛾对在2.4公里处的雄蛾有引诱力。有人以舞毒蛾做试验,据说当风速在100厘米/秒时,雌蛾释放的性诱剂对在4.5公里外的雄蛾就有反应;有人则认为没有这么远,推测其有效距离不超过0.4—0.8公里。这个数值也够大了,一般蛾类的活动范围并没有这么大。在田间用合成的或天然的性诱剂诱捕蛾类时,有效距离为数十公尺至一百多公尺。

### 3. 研究性诱剂的方法

虽然昆虫的性引诱现象,很早就引起人们的注意。但是,昆虫性诱剂的研究,只是在近年来才取得较大的发展。第一个性诱剂蚕醇的研究工作,竟花了近二十年(1939—1957)之久的时间才完成。是什么原因呢?主要的原因在于昆虫体内性诱剂存在的数量实在太小了,一般每头昆虫仅含0.01至0.1微克,提取时它又和其它有机物混杂在一起,所以研究者首先要从数量上比真正性诱剂大了数百甚至数千倍的粗提物中把各成份分离出来,还要用迅速而可靠的方法从几十种成份中找到所需要的有效成份,然后再测定这有效成份的结构。最后,任何方法所得的结果都要经过慎密的田间试验才能肯定下来。从这里不难了解,工作是多么艰巨,多么复杂,一些早期关于性诱剂的报导出现错误也并不是偶然的。

常规研究昆虫性诱剂的程序是:

1. 提取50,000至500,000头雌虫的性诱剂粗提物;
2. 通过蒸馏、层析等方法分离各成份;
3. 测定这种昆虫对各成份的反应,从而确定有效成份;
4. 通过各种微量化学反应及物理方法鉴定有效成份的结构;
5. 合成这种化合物及其异构体;
6. 把这些化合物在田间进行诱捕试验。

这种研究方法是很严密的,结果可靠,但是要饲养或采集大量的昆虫,从大量的油状粗提物中分离出一点点有效成份也非易事,因此研究时间也很长。

由于研究了许多鳞翅目昆虫的性诱剂,发现它们在结构上有相似性,都是长链的不饱和醇的醋酸酯,所以对于鳞翅目昆虫的性诱剂来说,主要是确定碳链的长度、不饱和双键的位置及其立体构型。色层分析、特别是气体层析(简称GC法),不但提供了一个分离微量混合物的高效方法,而且从几次改变实验条件所得的数据中,可以推测这化合物的碳链长度。利用鳞翅目昆虫的触角对性诱剂极为灵敏的感应,使用了电生理测定方法,即触角电位检测装置(简称EAG法)。近年来把这两者结合在一起,发展成为一个简便的测定鳞翅目昆虫性诱剂的新方法,简称EAG—GC法。用这个新方法测定鳞翅目昆虫性诱剂的程序是:

1. 提取50—200只雌蛾的性诱剂粗提物;
2. 把粗提物注射到极性和非极性气相层析柱中,以一分钟为间隔,分别收集各馏份,用EAG法确定哪个馏份是有效成分;

3. 用EAG—GC监视有效成份所进行的化学反应，以及用灵敏的物理方法(如光谱、色谱等)分析有效成分的结构；
4. 用对照化合物，进行EAG测试，以决定双键的位置、数目与空间构型；
5. 合成所测得的化合物及其异构体；
6. 把这些化合物进行田间诱捕试验。

这个方法的优点是只需要几百个雌蛾和少量雄蛾(取它的触角)，研究过程在时间上缩短很多。显然和前面的程序相比，基本步骤是类似的，主要是测定有效成份及其结构的方法作了较大的改进，使工作量大为减少。它的缺点是需要许多对照化合物。对于鳞翅目以外的昆虫，这个方法的原理也提供了一个很好的研究途径。

#### 4. 鳞翅目昆虫的性诱剂

由于新技术的发展，使得近年来的研究工作进展较快，经多种方法鉴定以及用EAG法确定的鳞翅目昆虫性诱剂已有80多种。从昆虫分类学来看，研究得较多的是螟蛾科、卷蛾科和夜蛾科的蛾类。由于亲缘相近的昆虫，它们的性诱剂的结构也相似，因此如果资料足够的话，分科属来研究，比较他们的性诱剂及付次化合物的结构应该是很有意义的，可惜目前积累的资料还不多。农业上主要的害虫许多都属于鳞翅目的螟蛾科和夜蛾科，所以如果集中研究这几科昆虫的性诱剂，将会对农业生产有巨大的实际价值。参看下面鳞翅目昆虫的分类图示，可以了解本目中各科昆虫性诱剂的研究情况。

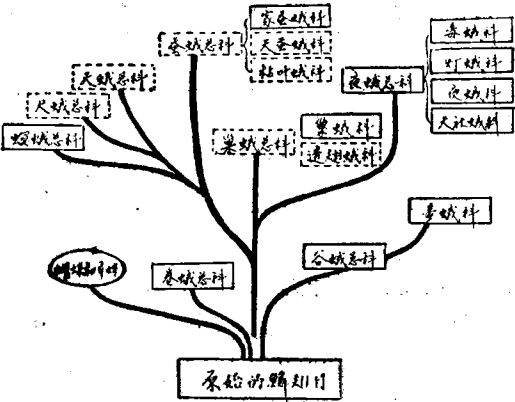


图3 鳞翅目昆虫分类图。粗实线表示在这一总科中有一些性诱剂结构已经鉴定，虚线表示其性诱剂结构尚属未知。在总科中，如果仅有一种昆虫的性诱剂是已知的，这一总科就用虚线画出，而这一科则用细实线画出来。



### 三、天然的性诱剂

研究某种昆虫的性诱剂，总是要从提取这种昆虫所含的天然性诱剂开始，这在前面已说过了。除了这个目的以外，还可以直接利用提取的天然性诱剂来预测预报虫情，或者用它来诱捕这种昆虫。这方面，自从1973年利用红铃虫雌蛾性诱剂粗提物在田间诱捕红铃虫雄蛾以来，由于试验效果较好，所以许多地区相继开展了群众性的昆虫天然性诱剂粗提物诱杀害虫的试验，试验的规模不断扩大。近几年间，在江苏、安徽、上海、天津、湖南、江西、吉林、四川、广东等地广大贫下中农、干部和技术人员进行了多种昆虫天然性诱剂的提取与诱捕试验，试验对象包括棉红铃虫、玉米螟、梨小食心虫、粘虫、梨大食心虫、松毛虫、二、三化螟、茶小卷叶蛾、甘蔗螟虫、稻瘿蚊等等，有的试验规模也较大。如湖北省潜江县，土法自制棉红铃虫性诱剂粗提物，于74年6月上、中旬，在全县34万亩棉田中放诱钵17,000个，共诱杀棉红铃虫蛾132万多头。

群众性的科学实验证明，应用昆虫天然性诱剂粗提物测报虫情和诱杀害虫，效果是显著的，确实是一种操作简便、成本低廉、对人畜和有益昆虫均无毒害的灭虫新方法，完全可以因陋就简，使用很少的设备和材料进行试验。

#### 1. 昆虫来源

为了提取某种昆虫的性诱剂，必须先有相当数量适用的这种昆虫。取得某种昆虫的方法大致有两个。

(1) 人工饲养：在农村，最方便的方法是采集越冬的老熟幼虫或蛹，加以简便的饲养或保藏，让它们自然羽化为成虫，把雌雄虫分开，待雌虫性成熟后，立即剪尾提取性诱剂。

例如玉米螟，吉林省植保所等的饲养方法是在3~4月采集越冬幼虫，饲养在折叠纸中，室温保持在25~28℃，经常喷水，这样饲养约一个月就可以化蛹，再过几天把雌蛹挑出来，分别放在保温(相对湿度保持在80%以上)的纱笼中任其羽化。成虫饲养在纱笼中，保温(约25℃)、保湿(相对湿度80%)，喂以清水或5%糖水。剪尾提取的适宜时间约在羽化后48小时，最好在后半夜剪取雌蛾腹部。

再如棉红铃虫，江西湖口马影农技站等是在收花晒花时，收集老熟幼虫(雌性，腹背面无隐现的睾丸体)装入试管，任其结茧越冬，到了第二年3月，放进土温箱加热(27~28℃)，盖上湿布保持湿度，促使整齐化蛹。或者在4月下旬至5月上旬，从吊籽花里检出雌蛹(腹部末端生殖器部位的腹节呈两个“人”字形)，任其自然羽化。羽化后，连续进行三天光照处理，每天光照22小时，黑暗2小时。在第三天黑暗2小时后，剪腹提取。

(2) 诱捕采集：在田间出现成虫时，可以在被害田块采集成虫，或者利用诱捕得的成虫。现在各地常常利用昆虫的趋性来诱捕害虫。例如各地普遍用糖醋酒混合物或枯草把诱捕粘虫，用树枝把诱集棉铃虫、棉红铃虫，用黑光灯诱集各种害虫等等。这样获得的成虫可以直接使用(把雌雄分开，有的地方甚至不分雌雄)，剪下虫腹进行提取。但是由于虫龄不一致，有的已经交配过(一般已经交配过的雌虫性诱剂的含量减少，甚至停止分泌性诱剂)，有的已产过卵，所以粗提物中一般含量较少，而且简单地以虫数来计算含量也不准确，用它来诱虫时，效果当然也要差些。

## 2. 提取方法

(1) 溶剂提取法：这是一种常用的方法，对蛾类来说，通常是将未交配过而性成熟的雌蛾腹部末端三节剪下浸泡在溶剂中，然后把雌蛾腹尖连同浸泡的溶剂放在组织捣碎机中或放在研钵中充分研磨捣碎，滤掉残渣，蒸去滤液中溶剂，即可得到粗提物。除去溶剂的方法是在室温下待其自然挥发，也可采用减压蒸馏等办法。如粗提物中含有少量水，可用无水硫酸钠干燥，但要注意，干燥剂用得不当，会使性诱剂的性诱活性减少或消失。

对于体形较小的昆虫如介壳虫，只能用整体提取的方法。将介壳虫整体收集于冷乙醚中，经捣碎后在索氏脂肪提取器内于48℃水浴中提取8小时，待乙醚蒸发后即可得到提取物。

一般来说，一百头雌蛾腹部末端约需10ml左右溶剂。这样得到的粗提物一般可长期贮存于冰箱(0~4℃)中，活性并不降低。

采取以上提取方法，可在短期内获得大量的性诱剂粗提物，而且所需的设备条件简单，方法容易掌握，但提取物中杂质含量较高。例如有人从15,100头雌的白菜粉纹夜蛾提取得到17.2克粗提物，其中只含有4.5毫克性诱剂。

(2) 从昆虫分泌物或排泄物中提取性诱剂。将能够分泌性诱剂的活虫装入放有皱折滤纸或纱布的瓶内，数天后用乙醚洗涤瓶壁和滤纸，将溶剂蒸发后可得少量的提取物。或者把未交配的雌虫放在瓶中，让气流通过这瓶，把气流冷凝或者把气流通过吸附剂，让雌虫分泌的性诱物留下来，再用溶剂洗脱，即可得有活性的物质。用乙醚洗涤虫体，特别是洗涤性诱物分泌腺部位，也可得到性诱物质。

有些昆虫如甲虫，它们的性诱剂分泌腺位于后肠，性诱物常常随粪便排出体外，这些昆虫的性诱物可从其粪便中提取。例如曾从1.6公斤西区松小蠹的粪便中，用苯提取，纯化后得到2毫克性诱剂。

上述这些方法适用的情况随昆虫种而变动，很难说那种方法最好。例如收集云杉梢蛾(*Choristoneura fumifera*)的性诱物时，用有机溶剂提取或气流凝集法都未能获得活性物质，而从洗涤装虫的瓶壁及虫停留过的纱布却得到活性很高的材料。

## 3. 影响天然性诱剂提取物活性的因素

(1) 昆虫本身的因素：

①昆虫的虫龄：昆虫性诱剂含量与昆虫虫龄有关。如刚羽化的白菜粉纹夜蛾，雌蛾每

头含0.01微克的性诱剂，羽化后第一夜含量增至0.2微克，其后在第二到第六夜含量基本上是稳定的，约为1微克。一般来说，生活期长的昆虫，羽化后第二、三天内性诱剂含量最高；生活期短的昆虫，羽化后很短时间内，体内性诱物的含量便已达高峰。

②交配的情况：昆虫体内性诱剂的形成与释放是为了昆虫的交配，所以性诱剂的含量与昆虫交配的特性有很大关系。如夜蛾科，雌蛾是多次交配的，所以性诱剂的形成在羽化后一日间迅速增加，第一次交配后性诱剂仍继续形成和释放。玉米螟一般在羽化后30小时左右开始交配，剪尾提取的适宜时间约在羽化后的48小时。家蚕的情况则不同，成虫只交配一次，雌虫刚羽化后，性诱剂的含量迅速增加，在1—2天内达到高峰，交配之后性诱剂的含量则迅速下降。所以一般地说，羽化后性成熟而未交配过的雌虫，它体内性诱剂含量最多。

③昼夜节律的影响：研究工作表明，某些昆虫产生的性诱剂是储存在体内的，在行将交配时才释放到体外。而有些昆虫则在行将交配时才产生性诱剂并释放到体外。所以为了尽可能多地获得性诱剂，提取、收集的工作应该在该虫交配活动高峰期或临近高峰期之前进行。各种昆虫在交配方面有各自的特性，许多夜蛾在夜间进行交配，玉米螟多数在凌晨0—4时交配，而僧尼舞毒蛾却在白天交配，少数舞毒蛾在阴暗天气交配等等。因此，很容易想到，昆虫体内性诱剂含量受环境昼夜节律影响。如白菜粉纹夜蛾通常在无光照以后8—11小时的时候，性诱剂的释放进入高峰。

北京动物研究所为确定提取马尾松毛虫性诱剂的适宜剪尾时间，曾分别在夜间21—22时、次日0—1时、2—3时、4—5时，剪取当日羽化的各700头雌蛾腹部末端，分别进行提取，结果是凌晨4—5时剪取的诱蛾效果最佳，其它各份样品的诱蛾效果随剪取时间的前移而下降。这表明松毛虫性腺体很可能在午夜后才活跃起来，分泌高峰估计是2—5时，这和松毛虫交配活动大多发生于凌晨2—5时的习性是一致的。

因此要提取和应用某种昆虫的性诱剂，必须了解这种昆虫的生活习性和交配情况，适时剪尾，才能获得最好的效果。

④光照及其他因素的影响：上海昆虫研究所1974年在提取棉红铃虫性诱剂时，发现每天对刚羽化的蛾子光照22小时，黑暗2小时，待羽化后第三天剪取腹部末端提取可获得较高生物活性的性诱剂。在以饲养的昆虫作为提取性诱剂的虫源时，要加以注意。此外，昆虫在长时期的进化过程中，已形成了适应自然环境的变化，调节性诱剂的释放以适应交配的要求。例如：夜间低温也会促使某些雌蛾释放性诱剂。风速也能明显地影响白菜粉纹夜蛾性诱剂的释放，在风速4.0米/秒时几乎能抑制释放，风速在0.3—1.0米/秒时，释放的性诱剂两倍于无风的静夜。

在考虑提取方法时，要注意到性诱剂有可能是复合多种组份组成的，因而需要提取完全。另外也要考虑杂质过多为以后纯化造成困难，甚至有些杂质，（包括性诱剂的前体或类似物）在诱虫效果上起着抑制作用。

## (2)提取方法的影响：

①溶剂：用于提取性诱剂的溶剂要比较容易挥发（便于除去），性质稳定（不会和性诱剂发生反应），纯度较高（不要带入其他杂质，以免影响引诱效果），而更重要的是对被提取的性诱剂要有较好的溶解性能。各种昆虫性诱剂的结构不同，有的是醇类、有的是酯类、

有的是烃类等等，各种溶剂对这些化合物的溶解性能也不同。因此，不可能有某一个溶剂，适于提取所有的昆虫性诱剂。在试验提取某种昆虫性诱剂时，最好是多取几种溶剂试试，以实验来决定采用那一种溶剂最适合。

最常用的溶剂有乙醇、甲醇、丙酮、乙醚、苯、甲苯、石油醚、1、2-二氯乙烷和二氯甲烷等。前面几种溶剂可以和水混合或在水中溶解度较大。后面几种溶剂对脂肪溶解性能较好。鳞翅目昆虫的性诱剂大多是酯，所以一般以二氯甲烷提取时效果较好。乙醚中有时会含有微量过氧化物，使提取物的活性降低，所以最好先用硫酸亚铁溶液处理后使用。二氯甲烷或者有可能含微量的酸，可用少量碳酸钾与它一起振摇而除去。这些溶剂大多易燃，使用时必须注意远离火源。氯代烃类一般都有毒，使用时要避免与皮肤接触及吸入蒸汽。

北京动物研究所在提取马尾松毛虫时，曾比较乙醇、丙酮、石油醚、乙醚、二氯甲烷和二氯乙烷这六种溶剂所得提取物的诱虫效果。实验表明，乙醚和二氯甲烷的提取物诱虫效果明显地高于其他溶剂。

吉林省植保所研究玉米螟性诱剂时，比较了乙醇、乙醚、二氯乙烷和二氯甲烷的提取物的诱蛾效果。发现以二氯甲烷提取物的效果最好。

湖北省潜江县测报站用二氯甲烷、酒精、普通白酒、醋和清水分别提取棉红铃虫性诱剂进行比较。以二氯甲烷的提取物的效果比较稳定，有效期长。但普通白酒，醋甚至清水的提取物也可诱到相当数量的雄蛾。

但也并不都是二氯甲烷提取的效果最好。南开大学生物系用乙醚、二氯甲烷、乙醇及苯提取梨小食心虫的天然性诱剂，在田间试用。结果表明诱蛾的顺序是乙醚>二氯甲烷>苯>乙醇。即以乙醚为溶剂提取的效果最好。

## ②付次化合物的影响：

昆虫的种类是这样多，有的亲缘关系非常近，有的昆虫种间在形态上几乎没有区分，并且分布于相同或邻近地区，并且已证明也有几种昆虫使用同一个化合物（或同一组化合物）为性诱剂的情况。但是，昆虫依然维持着种间生殖隔离，避免了种间杂交，所以昆虫性诱剂的组成比一般想象的要复杂得多，除了主要的性诱剂之外，常常有付次化合物在起着重要的作用。

这些付次化合物包括增效剂及抑制剂等。这种付次化合物或者增强性诱剂对一个虫种的引诱作用，或者抑制性诱剂对第二个虫种的引诱作用，或者两种作用都有。对一种昆虫来说，有时付次化合物还能在不同时间增强或抑制雄蛾对性诱物的反应。现在这些付次化合物的结构与作用研究清楚的还只有极少数。

根据这种情况，不仅可以明瞭一些合成的性诱剂，在田间试验时无效或效果不显著的原因，而且有助于理解为什么有些昆虫，例如三化螟，棉铃虫等等，把他们的活雌蛾放在笼中，可以诱来许多雄蛾，但提取了雌蛾的天然性诱剂，放在田间诱雄蛾时却并不成功。除了它们的性诱剂可能本身很不稳定这个原因外，造成这种情况的另一个可能的原因是，在提取天然性诱剂时，把抑制剂也提出来混在一起了。由于抑制物质的存在，影响了粗提物中活性成份的引诱作用，使得整个粗提物失去或大为降低了它的生物活性，这种现象称为屏蔽现象。

显然，如果能除去这些抑制物质，则粗提物便会有引诱活性了。除去抑制物质可有物理的和化学的两类方法。物理的方法是用色层分析和挥发度等加以分离，化学方法则是利用某些化学反应，改变屏蔽物质的结构从而失去屏蔽作用。

例如将天蚕蛾科的*Samia cynthia*雌蛾腹尖剪下浸于正己烷中，经匀浆过滤而得的粗提物，不能引起雄蛾的性反应。将粗提物溶在少量正己烷中，在硅藻土（60—100目）柱上层析，用正己烷，3%、5%、10%及25%乙醚—正己烷，最后用纯乙醚洗脱，仅是5%乙醚—正己烷洗脱的酯馏份能引起雄蛾的性反应，其他馏份均无活性。在有活性的酯馏份中加入等量的纯乙醚洗脱馏分时，酯馏份原来的活性就消失，而加入其他无活性馏份时，酯馏份的活性不变。由此可见，抑制物质存在于最后这部分洗脱液内。用层析法分离性诱剂粗提物是最常用的方法。

舞毒蛾雌性诱剂粗提物中，发现有一种非持久性的抑制剂。把粗提物进行诱捕时，最初几天几乎没有活性，放置10天以后活性开始变强，20天左右时达到高峰，到25天后仍有相当活性。这表明抑制剂的挥发性比性诱剂强，只是在抑制剂挥发散失后，引诱活性才显示出来。进一步的研究表明，舞毒蛾性诱剂是个环氧化合物，而抑制剂就是形成这环氧化合物的前体烯烃。

在以前，舞毒蛾性诱剂的结构尚未弄清的时候，曾大量制取天然的性诱剂提取物，用于测报虫情。当时发现，为了使提取物活性稳定，把它先进行催化氢化是有效的。这便用化学反应除去付次化合物或改变付次化合物结构的一个实例。

### ③性诱剂的前体：

昆虫是怎样在体内形成性诱剂的？显然，昆虫是利用体内的材料在特有的腺体中，经过一系列生物化学变化而形成性诱剂的。不难设想，在昆虫体内，用以合成性诱剂的材料会比性诱剂的数量大得多，我们把这种材料称为性诱剂的前体。如果我们从昆虫体内取出这种前体，经过一定的化学处理，就可以获得较多量的性诱剂。现在已经知道许多昆虫的性诱剂是长链不饱和醇和酯类、长链不饱和醛类，它们的前体便是长链不饱和醇类。把这些烯醇类提取出来，用醋酐使之成酯，就可得半合成性诱剂，这不仅提供了一个获得较多量性诱剂的方法，並可为测定性诱剂的结构提供可贵的线索。

例如梨小食心虫雌蛾粗提物经皂化后再进行乙酰化，得到的性诱剂的量比未经皂化和乙酰化的粗提物高100倍。

又如舞毒蛾的粗提物经硅藻土层析分离后，用正己烷洗脱的馏份並無活性，但在用间氯过苯甲酸处理后，出现了强烈的引诱力。现已了解，这就是烯烃前体经过环氧化作用而形成舞毒蛾性诱剂所致。

### (3)应用方面要注意的几点：

①剂量：天然性诱剂使用的剂量是以一头雌蛾的粗提物为一个单位来计算的，简写为1FE。例如：用5000头雌蛾制成的粗提物，稀释到1000ml，即每毫升含有相当于5头雌蛾的提取物，剂量就是5FE。

一个性诱剂的纸筒上放多少粗提物最好呢？对于各种昆虫不会一样。例如，棉红铃虫一般使用5FE最好，太多了(30, 50FE)诱虫的效果反而不好。梨小食心虫则以20FE的剂量最好。



## ②放性诱剂的场所:

用性诱剂诱捕昆虫,所得的效果和昆虫的生活习性,特别是交配的习性有密切关系。昆虫有选择适宜交配和适宜产卵的场所的能力。所以要得到良好的诱捕效果,必须把性诱钵放在适宜的地方。对于比较了解其生活习性的昆虫,可以根据这方面的材料来选择;如对某种昆虫的生活习性不甚了解,则要在加强观察的同时,常常变换放置性诱钵的场所来寻找最适宜的位置。

例如,第一代棉红铃虫源主要在棉仓和户内,所以性诱钵放在距离棉仓20—50米的棉田中,诱捕效果最好,设在棉仓内的几乎诱不到蛾,距离棉仓太近的诱蛾效果也差。

第二、三代棉红铃虫主要在长势好、青桃多的棉田内活动产卵,所以凡棉株高大,上部青桃多的棉田诱蛾效果好。棉红铃虫常在棉株顶部飞翔交配,所以引诱钵高度与棉株顶部相近时效果好。

活动能力强的昆虫,可以从很远的地方把它们诱来。对于飞翔范围不大的昆虫,性诱钵要接近虫源。例如梨小食心虫,在离桃园15米、30米以外设的诱捕盆都没有诱到蛾子,表明梨小食心虫成虫活动范围不大。

凡能影响昆虫交配活动的气候变化,如刮风、下雨、低温等都能直接影响性诱剂的效果,实际使用和估计时要考虑到这些因素。

把性诱剂和黑光灯配合使用,许多地方都做过试验,表明效果很突出,比单独使用性诱剂和单独使用黑光灯都有效得多。例如湖北省潜江县测报站,把自制棉红铃虫性诱剂与黑光灯配合使用,比单用黑光灯效果高40倍,比单用性诱剂的高41倍。数据见表1。

表1 性诱剂和黑光灯配合使用的效果

| 诱 蛾 方 式              | 诱 蛾 量 |
|----------------------|-------|
| 一支20瓦黑光灯配合一个5FE粗提物纸筒 | 811头  |
| 一个5FE粗提物纸筒           | 17头   |
| 一支20瓦黑光灯             | 20头   |
| 100个树枝把              | 41头   |

## 四、合成的性诱剂

### 1. 性诱剂的结构特点

要把性诱剂付诸大规模的试验和应用，依靠提取天然性诱剂显然是不适宜的，必须通过合成方法制取。在某种性诱剂的结构基本上搞清楚以后，合成工作也就有了依据，可根据它来拟订合成途径。在合成工作进行的过程中，以及把合成产品在田间试验时，还会对性诱剂的结构了解得更清楚，有时还会发现和改正原来认识的不足和错误。所以，在性诱剂的研究中，测定结构、合成、田间试验这三者很自然地结合为一个整体，不可分割或偏废。目前，有八十多昆虫的性诱剂已经测定和合成，合成中的一些基本方法已较成熟，所以工作进行得比较顺利。

现已发现，鳞翅目昆虫的性诱剂，其结构大都是长链不饱和醇的醋酸酯类。链长从十二碳开始、十四碳、十六碳、十八碳等都有，以十二碳、十四碳最多；碳原子数都是偶数；碳链大都是直链，很少带有支链。不饱和的基团一般是碳—碳双键，含有一个或两个双键。功能团大多是醇羟基(很多成为醋酸酯)，个别也偶有其他基团如醛基等，大都总是位于碳链的末端。参看如下的示意图，可以明瞭这些一般的结构特点。

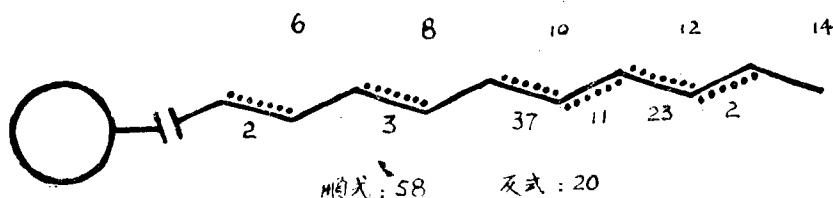
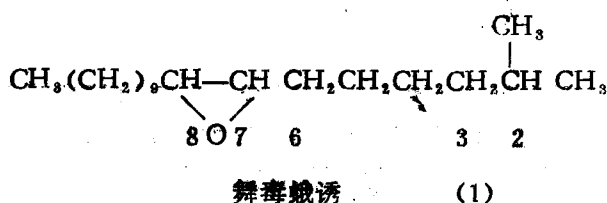


图4 长链醇及酯类性诱剂不饱和基团的位置和构型示意图(左边的圆圈代表功能团，双键下括号内的数字表示这种结构的性诱剂的数目。)

试和自然界生物体内所含脂肪的羧酸比较一下，它们是多么相似。这也提示我们，昆虫性诱剂的前体很可能是脂肪酸。

性诱剂结构上的一个特点是必须在特定的位置上引进某个功能团。功能团的构型也必须符合要求，稍有变更，生物活性方面就会出现数以百倍、千倍、甚至几亿倍的差别。例如舞毒蛾性诱剂的结构是顺—7，8—环氧—2—甲基十八碳烷(1)，如环氧基或甲基移动一个碳原子，即顺—6，7—环氧—2—甲基十八碳烷或顺—7，8—环氧—3—甲基十八碳烷，这三者许多性质非常相似，甚至气相色谱也难以区别，但后两者的诱蛾能力仅各是前者的千分之一和千分之四。



再如家蚕蛾性诱剂分子中含有两个双键，每个双键可能有顺式或反式两种构型，所以共有四种可能的结构。把这四种异构体都合成出来，用雄蛾进行试验，发现双键的构型对性诱力的影响极大。以50%被试雄蛾发出阳性行为所需的最低浓度(每毫升含若干微克)来进行比较，数据有如表2所载。各异构体之间的生物活性的差别，竟然有数千亿倍之多，因此要获得生物活性高的合成性诱剂，必须在设计合成方法时充分考虑这些结构上的特点。

表2 蚕 醇 的 生 物 活 性 试 验

| 化 合 物               | 结 构                                                                                                                                                                                  | 发生阳性反应的<br>最 低 浓 度 |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 天 然 的 蚕 醇           |                                                                                                                                                                                      | $10^{-10}$ 微克/毫升   |
| 合成的：                |                                                                                                                                                                                      |                    |
| 顺—10—顺—12—十六碳二烯—1—醇 | $  \begin{array}{c}  \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\  \text{—C}=\text{C}\text{—}\text{C}=\text{C}\text{—} \\  \quad \quad 12 \quad \quad 10  \end{array}  $ | 1 微克/毫升            |
| 顺—10—反—12—十六碳二烯—1—醇 | $  \begin{array}{c}  \text{H} \quad \quad \text{H} \quad \text{H} \\  \text{—C}=\text{C}\text{—}\text{C}=\text{C}\text{—} \\  \quad \quad \quad \text{H}  \end{array}  $             | $10^{-3}$ 微克/毫升    |
| 反—10—顺—12—十六碳二烯—1—醇 | $  \begin{array}{c}  \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\  \text{—C}=\text{C}\text{—}\text{C}=\text{C}\text{—} \\  \quad \quad \quad \text{H}  \end{array}  $                   | $10^{-12}$ 微克/毫升   |
| 反—10—反—12—十六碳二烯—1—醇 | $  \begin{array}{c}  \text{H} \quad \quad \text{H} \\  \text{—C}=\text{C}\text{—}\text{C}=\text{C}\text{—} \\  \quad \quad \quad \text{H} \quad \quad \text{H}  \end{array}  $       | 10微克/毫升            |

合成性诱剂工作中有一个困难，即必须要试制立体化学上纯度相对高的产品。以引进碳—碳双键的方法来说，虽然可以选择适当的方法和条件，使所得的产品中碳—碳双键是反式或顺式的构型，但是很难做到仅生成顺式而不产生一点反式，反过来也是这样。更何况反应条件稍有不合适，还会发生异构化作用。过去没有认识到这种特点时，曾多次发生合成的性诱剂在田间试验失败的事故。

## 2. 性诱剂的合成

现在，国内外已人工合成了多种昆虫性诱剂，不少合成的产物已在田间试用。下面选两个用得较多的性诱剂为例，列出其合成的过程。第一个是舞毒蛾诱(Disparlure)，它是由两个中间体通过有机磷化合物而缩合成性诱剂分子的长链，再把双键环氧化。所得的产物是含有85%顺式(舞毒蛾诱)和15%反式环氧化物的混合物，再经硅胶—硝酸银柱层析，分离而得纯顺式产物。

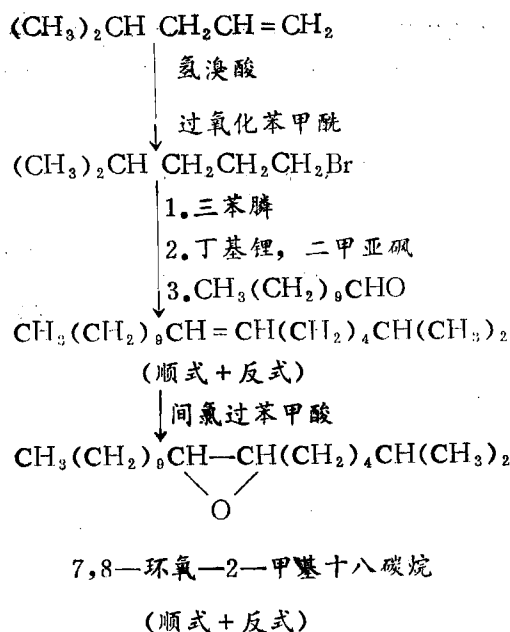


图5 舞毒蛾诱的合成过程

棉红铃虫性诱剂合成的步骤很长，现在以对棉红铃虫也有一定引诱力的己诱(Hexalure)，作为第二个合成方法的例示。这个分子的结构还算是比较简单的，但是比合成舞毒蛾诱要困难些。合成中应用了保护性基团，在液氨中进行反应，在最后把碳—碳叁键氢化时，使用了选择性较强的催化剂，进行顺式氢化，使产品中反式的含量尽量降低。