

# 昆虫性信息素微胶囊的研究进展

陈增良 张钟宁<sup>\*\*</sup>

(中国科学院动物研究所 农业虫鼠害综合治理研究国家重点实验室 北京 100080)

**Development of microencapsulated sex pheromone formulations for insects.** CHEN Zeng Liang, ZHANG Zhong Ning\* (*Institute of Zoology, State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*)

**Abstract** Microencapsulated formulation is one type of the main formulating synthetic sex pheromones for application to large areas in the control of insect populations. Two main commercially available methods that have been used to microencapsulate insect sex pheromones are summarized. Some published results of the use of microencapsulated insect sex pheromone formulations in mating disruption are also included. In addition, the influence factors and the future researches are discussed.

**Key words** insect, sex pheromone, microcapsule, mating disruption, methods of microencapsulation, application

**摘要** 微胶囊是应用昆虫性信息素进行害虫治理的主要剂型之一。文章对昆虫性信息素微胶囊常用的制备方法进行总结,并介绍其在害虫控制方面的应用进展,探讨昆虫性信息素微胶囊制备及其田间应用效果的影响因子,并对今后昆虫性信息素微胶囊的发展作了展望。

**关键词** 昆虫性信息素,微胶囊,干扰交配,制备方法,应用

微胶囊技术是一种用成膜材料把一些固体或液体包覆使形成微小粒子的技术<sup>[1]</sup>。得到的微小粒子的粒径在纳米、微米或毫米的范围,不同粒径大小的微小粒子分别称为纳米胶囊、微胶囊、微粒以及微球等。包在微胶囊内部的物质称为芯材或囊芯,成膜材料称为壁材。天然或合成高分子材料是制作囊壁的良好基材,前者主要是动植物蛋白,如明胶、琼脂、阿拉伯树胶等,具有易降解,生物兼容及成膜性好等优点;合成高分子壁材则可显示化学“裁剪”的优势。微胶囊囊壁的形状与所包封物质状态有关,一般来说,含固体的微胶囊形状与固体相同,含液体或气体的微胶囊的形状为球形。囊壁因有许多微孔而具有良好的半透性。液体囊心或水溶性囊心可以通过溶解、渗透或扩散过程,透过囊壁释放出来。其释放速度又可以通过改变囊壁材料的化学组成、厚度、硬度、孔径大小等加以控制。

微胶囊最初是在 1954 年由美国 NCR 公司开发,用于制备无碳复写纸,其后微胶囊制备技

术日益成熟,应用范围已从最初的药物包覆和无碳复写纸扩展到医药、食品、农药、饲料、涂料、油墨、粘合剂、化妆品、洗涤剂、感光材料和纺织等行业,取得广泛的应用<sup>[1]</sup>。由于微胶囊技术将芯材与周围环境隔开,避免了光、空气、温度、pH 等的影响,亦避免了由于不同组分间相互作用而产生化学反应,失去其特有的性质而导致产品的品质劣变,保护了芯材。广义的说,微胶囊具有改善和提高物质外观及其性质的能力。更确切地讲,微胶囊能够贮存维系状态的物质,并在需要时释放该物质。通过对物质进行微胶囊化可以实现许多目的:改善被包裹物质的物理性质(颜色、外观、表观密度、溶解性);提高物质的稳定性,使物质免受环境的影响,改善被包裹物质的反应活性、耐久性(延长

\* 北京市科技计划项目(编号: D0705002040391)和北京市自然科学基金(编号: 6052018)资助。

\*\* 通讯作者, E-mail: zhangzn@ioz.ac.cn

收稿日期: 2007-04-18, 修回日期: 2007-08-10

挥发性物质的贮存时间)、压敏性、和光敏性;减少有毒物质对环境造成的不利影响;使药物具有靶向功能;屏蔽气味;降低物质毒性;根据需要进行持续释放物质进入外界环境;将不相容的化合物隔离等<sup>[2]</sup>。

利用昆虫性信息素防治害虫是 20 世纪 60 年代以来发展的一种治虫技术。由于具有高效、无毒、无污染、不伤益虫等优点,国内外对昆虫性信息素的研究与应用都很重视。其应用主要包括 3 个方面:虫情监测(monitoring),大量诱捕(mass trapping)和干扰交配(mating disruption)<sup>[3-6]</sup>。其中最为广泛应用的是利用昆虫性信息素进行干扰交配进行大面积的害虫防治。许多害虫是通过性信息素相互联络求偶交配的。如果能干扰破坏雌雄间这种通讯联络,害虫就不能交配和繁殖后代。在田里大量设置性信息素释放装置,空气中到处弥漫性信息素,使雄虫分不清真假,无法定向找到雌虫进行交配。或者由于雄虫的触角长时间接触高浓度的性信息素而处于麻痹状态,失去对雌虫召唤的反应能力。雌虫得不到交配,便不能繁殖后代进行危害<sup>[3]</sup>。从性信息素干扰交配的作用情况看干扰交配防治是在合成性信息素弥漫的空间才能见效,而在已经鉴定出来的昆虫性信息素多数为长链的不饱和醇、醋酸酯、醛或酮类,链长一般为 10~20 碳,其中以 12, 14 和 16 碳为最多,并且人工合成的昆虫性信息素多数为具有特殊气味的油状液体。因此在广大空间内长期保持高浓度而且成分比例相对稳定的性信息素气味,就需要一种适当的载体,制成适宜的缓释剂型<sup>[4]</sup>。一方面载体物质不能与性信息素发生化学反应,也不能促使性信息素发生异构化;另一方面,载体物质要对所含性信息素有一定结合力,使其在田间根据设计要求能在一段时间内缓慢均匀释放,达到预期效果和目的,同时易于在较大的空间或地面使用。目前常用于干扰交配防治的剂型有空心纤维、塑料夹层、天然橡胶芯以及微胶囊等<sup>[3]</sup>。其中微胶囊是比较理想的剂型,因为昆虫性信息素微胶囊制备工艺简便,活性成分被封闭在囊壁内,限制了性信息

素的扩散,隔绝光照、空气和水分,降低了活性成分被氧化和分解的速度,可以控制恒定释放并保持较长的作用时间;同时性信息素微胶囊可以采用传统的施药器械进行施用,这就减少了人工投入并增加了调控施药速度和次数的灵活性<sup>[7]</sup>。

## 1 昆虫性信息素微胶囊的制备方法

生产微胶囊的方法种类繁多,从原理上一般可分为化学方法、物理方法和物理化学方法。工业生产中最为常用的方法有界面聚合法、原位聚合法、相分离法、锐孔-凝固浴法、干燥浴法、裹芯交换法、粉末床法、空气悬浮成膜法、喷雾干燥法、真空蒸发沉积法、静电结合法和生物微胶囊法等<sup>[1, 2]</sup>。其中用来制造昆虫性信息素微胶囊主要有相分离法和界面聚合法。

### 1.1 相分离法

相分离法是改变条件使溶解状态的成膜材料从溶液中聚沉出来,并将囊心包覆形成微胶囊的微胶囊加工方法,其中最具有代表性的是凝聚相分离技术,即利用改变温度,或在溶液中加入无机盐电解质、成膜材料的非溶剂,或创造条件诱发 2 种成膜材料间相互结合等方法,使壁材溶液产生相分离,形成 2 个新相,一个是含壁材浓度很高的聚合物丰富相(又称包囊材料相、凝聚胶体相),另一个是含壁材很少的聚合物缺乏相(又称微型包囊介质相、稀释胶体相),形成的聚合物丰富相是可以充分流动的,并能够稳定地逐步环绕在囊心微粒周围。这一相分离步骤是制备微胶囊获得成功的关键。相分离法按凝聚方式可以分为简单凝聚,复合凝聚,或盐析凝聚,其中最为常用的是复合凝聚法。

复合凝聚法是指由 2 种或多种带有相反电荷的高分子材料做壁材,将芯材分散在壁材溶液中,在适当的条件下(如改变 pH 或温度),使得相反电荷的聚合物间发生静电作用。带相反电荷的高分子材料互相作用后,溶解度降低并产生相分离,凝聚形成微胶囊。明胶是常用的阳离子聚合物。一系列天然或合成的阴离子水溶性聚合物和明胶反应形成复合凝聚相,适用

于制备微胶囊<sup>[1,3]</sup>。在复凝聚法中,微胶囊化是在水溶液中进行的,因此,芯材必须是非水溶性的固体粉末或液体。它的优点是非水溶性的液体材料能被高效率和高产率的微胶囊化,壁材单体不会与芯材发生反应。微胶囊化完成后加入适当的助剂就可以制得微胶囊悬浮剂。以明胶为基础,用复合凝聚法制备微胶囊的鳞翅目昆虫性信息素有:

舞毒蛾 *Lymantria dispar*<sup>[8]</sup>、欧洲玉米螟 *Ostrinia nubilalis*<sup>[9]</sup>、红带卷蛾 *Argyrotaenia velutinana*<sup>[9]</sup>、棉褐带卷蛾 *Adoxophyes orana*<sup>[10]</sup>、梨小食心虫 *Grapholitha molesta*<sup>[11]</sup>、海灰翅夜蛾 *Spaloptera littoralis*<sup>[12]</sup>、小桃透翅蛾 *Synanthedon exitiosa*<sup>[13]</sup>、李透翅蛾 *Synanthedon pictipes*<sup>[13]</sup>、枞色卷蛾 *Choristoneura fumiferana*<sup>[14]</sup>、苹果小卷蛾 *Laspeyresia pomonella*<sup>[15]</sup> 以及粉纹夜蛾 *Plusia ni*<sup>[16]</sup> 等。

## 1.2 界面聚合法

界面聚合法是 1957 年美国杜邦(Du Pont)公司发明的。该方法主要用于包裹溶液体系,将芯材物乳化或分散在一个溶有壁材的连续相中,然后在芯材物的表面上通过单体缩合聚合反应而形成微胶囊。界面聚合的基本原理是将 2 种带不同活性基团的单体分别溶于 2 种互不相溶的溶剂中,当一种溶液分散到另一种溶液中时,在 2 种溶液的界面上单体相遇生成了一层聚合物膜。常用的活性单体有水溶性二(多)元醇、二(多)元胺、二(多)元酚和油性二(多)元酰氯、二(多)异氰酸酯等。反应后分别形成聚酰胺、聚酯、聚脲或聚氨酯<sup>[3]</sup>。如果被包裹物是亲油性的,应先将包裹物和油性单体溶于有机溶剂,然后将此溶液在水中分散成很细的液滴,再在不断搅拌下往水相中加入含有水溶性单体的水溶液,于是在液滴表面上很快生成一层很薄的聚合物膜。经沉淀、过滤和干燥工序后,便得到包有液滴的微胶囊。如果被包裹的是水溶性物,则整个过程正好与上述方法相反。界面聚合反应的技术特点是:2 种反应单体分别存在于乳液中不相混溶的分散相和连续相中,而聚合反应是在相界面上发生的。这

种制备微胶囊的工艺方便、简单,反应速度快,效果好,不需要昂贵复杂的设备,可以在常温下进行,避免了由于要求严格控制温度给操作带来的困难。界面聚合法所得微胶囊的壁薄,被包裹物渗透性较好,通过改变搅拌速度或加入不同的适量表面活性剂可以得到不同粒径和分布的微胶囊。不同单体聚合时因交联程度不同可以得到不同厚度、硬度的囊壁,壁材上的微孔大小也可得到控制。

目前通过界面聚合法制备微胶囊的昆虫性信息素有:舞毒蛾 *Lymantria dispar*<sup>[8]</sup>、粉纹夜蛾 *Plusia ni*<sup>[16]</sup>、红带卷蛾 *Argyrotaenia velutinana*<sup>[17]</sup>、浆果小卷蛾 *Paralobesia viteana*<sup>[18]</sup>、苏丹棉铃虫 *Diparopsis castanea*<sup>[19]</sup>、海灰翅夜蛾 *Spodoptera littoralis*<sup>[20]</sup>、烟芽夜蛾 *Heliothis virescens*<sup>[21]</sup>、谷食夜蛾 *Heliothis zea*<sup>[21]</sup> 以及棉铃虫 *Pectinophora gossypiella*<sup>[22]</sup> 等。

## 2 昆虫性信息素微胶囊在害虫防治中的应用

应用昆虫性信息素微胶囊防治农林业害虫,已有很多报道。例如:Sanders 等在加拿大使用枞色卷蛾的性信息素微胶囊对 12 hm<sup>2</sup> 的白云杉林进行干扰交配防治,其主要成分是反-11-十四碳烯醛和顺-11-十四碳烯醛,剂量 7.4 g/hm<sup>2</sup>,处理区防治效果达到 95.7%<sup>[14]</sup>;Caro 等在美国应用舞毒蛾性信息素顺-7,8-环氧-2-甲基十八烷的微胶囊进行大规模干扰交配试验,试验表明在剂量 50 g/hm<sup>2</sup> 时可以使舞毒蛾交配率降低 95%~97%;在剂量 5 g/hm<sup>2</sup> 时交配率下降 76%,而且微胶囊中释放出来的剂量足够维持 30 d 的效果<sup>[23]</sup>;Campion 等用顺-9-十四碳烯乙酸酯微胶囊剂在希腊克里特岛苜蓿田防治海灰翅夜蛾进行干扰交配防治,剂量 100 g/hm<sup>2</sup>,并以诱蛾减退率作为干扰交配防治效果指标,前 5 d 处理区诱蛾总 E 数比对照区较少 70%<sup>[20]</sup>;Trimble 等利用顺-9-十二碳烯乙酸酯微胶囊对浆果小卷蛾 *Endopiza viteana* 进行干扰交配防治,与药剂防治区对比,对浆果小卷蛾干扰交配率为 67%~100%<sup>[24]</sup>;

Albajes 等在西班牙、希腊和法国应用 2 种不同剂型的性信息素顺-11-十六碳烯乙酸酯和顺-11-十六碳烯醇(9:1)微胶囊对粉茎螟 *Sesamia nonagrioides* 进行干扰交配防治;在施用后 15 d 内对粉茎螟成虫定向抑制效率 60%, 3 年试验期内,在西班牙和希腊虫口减退率达到 60% 以上,在法国虫口减退率为 65% 以上,利用性信息素微胶囊对粉茎螟进行干扰交配处理在控制虫口密度的效果方面与化学防治效果相当,并且干扰交配防治可以和其他生物防治手段结合使用<sup>[25]</sup>; Gary 等报道在风洞内用性信息素主要成分乙酸顺-11-十四碳烯醇酯微胶囊对鳞翅目卷蛾科的玫瑰色卷蛾 *Choristoneura rosaceana* 和三线褐卷蛾 *Pandemis limitata* 的雄蛾分别进行 1, 10 和 100 mg/m<sup>2</sup> (相当于田间 10, 100 和 1 000 g/hm<sup>2</sup>) 干扰交配处理,并以洁净空气中的雄蛾对召唤期雌蛾的定向反应为对照,结果表明对三线褐卷蛾的干扰交配率为 23.3%, 46.3% 和 71.3%, 而玫瑰色卷蛾的干扰交配率为 31.6%, 37.7% 和 45.8%, 这对生态分布区重叠并采用相同的性信息素组分的不同种害虫同时进行干扰交配防治提供了依据<sup>[26]</sup>; Il'ichev 等应用可喷施的梨小食心虫性信息素微胶囊(MEG-OFM phase V, 3M 公司,加拿大)在澳大利亚的桃园和梨园中对梨小食心虫进行大面积干扰交配试验,在剂量 37.1 g/hm<sup>2</sup> 时可以使梨小食心虫迷向率达到 96%~99%,与通过手工安放的迷向释放装置(500 个/hm<sup>2</sup>) 效果相当,与应用广谱杀虫剂的对照区相比,虫果率明显降低,试验表明在澳大利亚应用性信息素微胶囊对梨小食心虫进行大面积的干扰交配防治,可以有效降低劳动强度,节约生产成本<sup>[27]</sup>; Stelinski 等利用 2 种剂型的苹果小卷蛾性信息素(反,反-8,10-十二碳二烯-1-醇)微胶囊在风洞内对苹果小卷蛾进行干扰交配试验,结果表明,在无需增加施药次数的情况下,通过低量、集中性信息素微胶囊形成点状释放源的施用方式可以提高干扰交配效果<sup>[28]</sup>; 陈增良等以离心管装载小菜蛾 *Plutella xylostella* 性信息素顺-11-十六碳烯醇,顺-11-十六

碳烯乙酸酯和顺-11-十六碳烯醇(50:50:1)微胶囊的进行干扰交配防治试验,剂量为 18 g/hm<sup>2</sup>,在试验期间与药剂防治区对比,对小菜蛾成虫定向抑制效率维持在 76%~98% 之间<sup>[29]</sup>。

### 3 昆虫性信息素微胶囊应用的限制因子

#### 3.1 复合凝聚法制备微胶囊过程中的限制因子

3.1.1 复合凝聚法工艺条件较难控制 由于复凝聚法同时受 pH 值和浓度 2 个重要条件的影响,有的物质如白蛋白和海藻酸的复凝聚的浓度范围很窄,另外,只有复凝聚的两物质的电荷相等时,才能获得最大的产率,为了达到最高产率必须同时严格控制好浓度和 pH 值。

3.1.2 试验重复性差 由于复凝聚法制备微球或微囊所采用的微囊大多为天然高分子材料,各批材料本身差异较大,这也为实际控制带来一定的难度,从而试验重复性差。

#### 3.2 界面聚合法制备微胶囊过程中的限制因子

在界面聚合反应生产微胶囊过程中,由于作为囊芯的某些昆虫性信息素组分与界面聚合反应的单体发生副反应,因此影响微胶囊的性能或失去生物活性。例如:醛在以脂肪族多胺为单体的界面聚合反应中,会在微胶囊化过程中和贮存期间与脂肪族多胺发生反应;醇不能通过界面聚合法进行微胶囊化,因为醇会与亲电子的单体迅速发生反应<sup>[27]</sup>。

由于在界面聚合反应中常有小分子酸或碱生成,因此界面聚合法制备昆虫性信息素微胶囊时,要求被包裹的性信息素组分能耐酸碱性或者采用加聚反应形成不释放强酸的聚氨酯的方法来包裹遇酸易变性的材料<sup>[1]</sup>。

通过界面聚合法制备的微胶囊,不可避免地夹杂着一些反应单体。这些单体有些是无害的,如乙二醇、甘油等;但有的是有毒的;多余单体的去除是必须认真对待的技术问题<sup>[1]</sup>。

#### 3.3 环境条件对性信息素微胶囊应用的影响

3.3.1 温度 随着温度的升高,微胶囊中性

信息素的释放速率会明显加快。例如: Hall 等报道, 相同的微胶囊在 27, 32 和 38 °C 条件下, 微胶囊中的性信息素的释放速率分别为 0.14, 0.38 和  $1.0 \mu\text{g h}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$ <sup>[30]</sup>。

**3.3.2 湿度** 一般认为湿度会对明胶微胶囊中的性信息素释放速率产生明显影响。通过显微镜观察可以看到在高湿度条件下, 更多的囊壁会塌陷崩溃。Bierl 等通过试验测定表明在初始阶段, 在潮湿空气中的微胶囊会比在干燥空气中的微胶囊的释放速率快 13% ~ 26%; 经过 20 天的释放以后, 潮湿空气中的微胶囊的释放速率会比干燥空气中的微胶囊的释放速率降低 30% ~ 40%, 推断认为这可能是由于此时潮湿空气中的微胶囊中的性信息素含量相对较低造成的<sup>[31]</sup>。

**3.3.3 降雨** 2004 年, Knight 等对苹果, 梨和胡桃叶上的苹果小卷蛾性信息素微胶囊的降雨牢固性进行了试验, 试验表明通过模拟降雨, 增加降雨强度和降雨持续时间, 苹果叶面、叶背上的微胶囊的流动性明显增强, 并且叶面明显高于叶背。同时发现叶子角度是影响微胶囊在叶面流动性的显著性因素之一, 因为叶子有一个天然向下的陡角。相对胡桃叶而言, 苹果叶和梨叶上保持了更高比例的微胶囊, 并且苹果叶的叶背保持的微胶囊比例明显高于梨叶, 并且发现以乳胶作为微胶囊粘合剂明显增加了微胶囊在苹果叶面和叶背以及梨叶面上的保持力, 而乳胶对于胡桃叶上的微胶囊保持力没有显著性影响<sup>[32]</sup>。

## 4 研究展望

### 4.1 剂型方面

国外已对许多昆虫性信息素的微胶囊产品进行了登记并得以应用<sup>[33]</sup>, 而国内在这方面的研究起步晚, 进展缓慢, 与国外相比, 还有很大的差距。重点应开发作用时间长, 适于大面积使用的剂型, 为农林部门提供质高效好、价格适宜、使用方便的产品, 以促进性信息素微胶囊更大规模的推广应用。

### 4.2 应用研究方面

**4.2.1 “伪雌”应用研究** 利用性信息素微胶囊引诱雄蛾, 使大量雄蛾沾染性信息素微胶囊颗粒成为“伪雌”后返回田间, 使其成为可以移动的释放载体, 造成其自身无法定向飞行; 或种内其它雄虫尾随追逐; 再则雌虫拒绝与其交尾, 干扰害虫正常交尾或延迟交配从而成为一种干扰交配手段<sup>[34]</sup>。对性比接近 1:1, 雄雌多数单次交配的害虫种群密度进行控制。

**4.2.2 性信息素微胶囊与病菌、病毒和不育剂等生物制剂配合使用研究** 近年来, 不少科研单位致力于生物源农药和微生物农药微胶囊的开发研制。美国科学家用淀粉为壁材将苏云金杆菌做成微胶囊剂后提高了它在田间条件下使用的稳定性, 并延长残效期。安徽农业大学对白僵菌微胶囊剂也进行了研究, 云南大学已经研制成功阿维菌素微胶囊。当性信息素微胶囊与不育剂、病菌和病毒等生物制剂配合使用时, 利用性信息素微胶囊引诱雄蛾, 使被引诱雄蛾沾染病毒、原生动物或化学不育剂后仍返回田间, 导致整个种群产生流行病或子代不育, 达到控制种群密度目的。赵博光等以大袋蛾 *Clania variegata* 为实验昆虫进行了性信息素加病毒诱芯的风洞试验<sup>[35]</sup>。雄虫从性信息素加病毒诱芯上感染、携带上病毒; 携带有病毒的雄虫能与雌虫交尾, 并将病毒经雄虫、卵传给下一代幼虫, 引起幼虫死亡, 证明了应用该技术的可行性, 对雄虫可以多次交尾的鳞翅目害虫的防治具有重要意义。

**4.2.3 性信息素微胶囊与农药微胶囊结合使用研究** 譬如对公共卫生害虫德国小蠊 *Blattella germanica* 等不易飞行的害虫, 应用性信息素微胶囊和触破式农药微胶囊相结合使用, 扩大性信息素微胶囊的应用范围和治虫效果。

## 5 结语

随着害虫对农药抗性的增强及施用农药对环境、食品等造成的污染, 人们日益重视害虫的综合治理。性信息素微胶囊具有制备工艺简便; 保护性信息素避免环境因素影响, 延长作用时间; 施用方便, 可以利用已有的施药器械进行

大面积喷施;对害虫防治具有专一性强、无污染以及保护天敌等优点,使其成为一种比较理想的应用剂型并且具有很好的应用前景。可以预期,随着更多主要害虫性信息素的鉴定、合成以及微胶囊应用研究的不断深入和发展,昆虫性信息素微胶囊将在农林等害虫的综合治理中发挥越来越大的作用,并带来极大的经济效益和社会效益。

### 参 考 文 献

- 梁治齐. 微胶囊技术及其应用. 北京: 中国轻工业出版社, 1999. 1~ 15.
- 宋健, 陈磊, 李效军. 微胶囊化技术及应用. 北京: 化学工业出版社, 2001. 8~ 11.
- 唐进根. 江苏林业科技, 1998, **25** (4): 58~ 62.
- 孟宪佐. 昆虫知识, 2000, **37** (2): 75~ 84.
- 赵连吉, 王兆荣, 赵博, 张曙光. 吉林林业科技, 2003, **32** (3): 68~ 72.
- 王亚维. 青海大学学报, 2002, **20** (5): 41~ 44.
- Gut L. J., Stelinski L. L., Thompson D. R., Miller J. R. In: Koul O., Dhaliwal G. S., Cuperus G. (ed.), Behavior Modifying Chemicals: Prospects and Constraints in IPM. Integrated Pest Management: Potential, Constraints, and Challenges. UK: CABI Press, 2004. 73~ 121.
- Beroza M., Stevens L. J., Bierl B. A., Philips F. M., Tardif J. G. R. *Environ. Entomol.*, 1973, **2**: 1 051~ 1 057.
- Klun J. A., Chapman O. L., Mattes K. C., Beroza M. *Environ. Entomol.*, 1975, **4**: 871~ 876.
- Minks A. K., Voerman S., Klun J. A. *Ent. Exp. Appl.*, 1976, **20**: 163~ 169.
- Gentry C. R., Bierl Leonhardt B. A., Blythe J. L., Plimmer J. R. *J. Chem. Ecol.*, 1980, **6** (1): 185~ 192.
- Campion D. G., McVeigh L. J., Murlis J., Hall D. R., Lester R., *et al. J. Bull. Ent. Res.*, 1976, **66**: 355~ 344.
- Gentry C. R., Yonce C. E., Bierl Leonhardt B. A. In: Kydonieus A. F., Beroza M. (ed.), Insect Suppression with Controlled Release Pheromone Systems, Vol. 2. Florida: CRC Press Inc, 1982. 107~ 115.
- Sanders C. J., Seabrook W. D. In: Kydonieus A. F., Beroza M. (ed.), Insect Suppression with Controlled Release Pheromone Systems, Vol. 2. Florida: CRC Press Inc, 1982. 175~ 183.
- Rothschild G. H. L. In: Kydonieus A. F., Beroza M. (ed.), Insect Suppression with Controlled Release Pheromone Systems, Vol. 2. Florida: CRC Press Inc, 1982. 117~ 134.
- M. Laughlin J. R., Mitchell E. R., Tumlinson J. H. In: Harris F. W. (ed.), Proceedings 1975 International Controlled Release Pesticide Symposium. Ohio: Dayton, 1975. 209~ 215.
- Cardé R. T., Trammel K., Roelofs W. L. *Environ. Entomol.*, 1975, **4**: 448~ 450.
- Taschenberg E. F., Roelofs W. L. *Environ. Entomol.*, 1976, **5**: 681~ 688.
- Marks R. J. *Bull. Ent. Res.* 1978, **68**: 11~ 29.
- Campion D. G., McVeigh L. J., Hunter Jones P., Hall D. R., Lester R., Neshitt B. F., Marrs G. J., Alder M. R. In: Mitchell E. R. (ed.), Management of Insect Pests with Semiochemicals: Concepts and Practice. New York: Plenum Press, 1981. 253~ 265.
- Shaver T. N., Lopez J. D. *Southwe. Entomol.*, 1982, **7**: 181~ 187.
- Critchley B. R., Campion D. G., McVeigh L. J., McVeigh E. M., Cavanagh G. G., *et al. Bull. Ent. Res.*, 1985, **75**: 329~ 345.
- Caro J. H., Freeman H. P., Brower D. L., Bierl Leonhardt B. A. *J. Chem. Ecol.*, 1981, **7** (5): 867~ 880.
- Trimble R. M., Vickers P. M., Nielsen K. E., Barinshlyeyn G. *Agrc. Forest. Entomol.*, 2003, **5** (3): 263~ 268.
- Albajes R., Konstantopoulou M., Etchepare O., Elzaguirre M., Férot B., *et al. Crop Prot.*, 2002, **21**: 217~ 225.
- Gary J. R., Judd, Naomi C. DeLury, Mark G. T. Gardiner. *Entomol. Exp. Appl.*, 2005, **114** (1): 35~ 45.
- Il'ichev A. L., Stelinski L. I., Williams D. G., Gut L. J. *J. Econ. Entomol.*, 2006, **99** (6): 2 048~ 2 054.
- Stelinski L. L., Gut L. J., Ketner K. C., J. R. Miller. *J. Appl. Entomol.*, 2005, **129** (9/10): 481~ 488.
- Chen Z. L., Fang Y. L., Zhang Z. N. *Chinese Sci. Bull.*, 2007, **52**(10): 1 365~ 1 371.
- Hall D. R., Marrs G. J. Microcapsules. In: Jutsum A. R., Gordon R. F. S. (eds.), Insect Pheromones in Plant Protection. New York: John Wiley & Sons Ltd, 1989. 219~ 220.
- Bierl B. A., DeVilbiss E. D., Plimmer J. R. In: Paul D. R., Harris F. W. (eds.), Control Release Polymeric Formulations. Washington, DC: American Chemical Society, 1976. 265~ 272.
- Knight A. L., Larsen T. E., Ketner K. C. *J. Econ. Entomol.*, 2004, **97** (6): 1 987~ 1 992.
- [http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/product\\_list/](http://www.epa.gov/pesticides/biopesticides/product_list/).
- McKendry R. *Pestic. News*, 2003, **62**: 10~ 11.
- 赵博光, 杨秀莲, 柯立明. 林业科学, 1996, **32** (2): 182~ 187.