



KUNCHONG XINXISU JIQI YINGYONG

杜家伟 编著

昆虫信息素

及其应用

昆虫信息素及其应用

杜家纬 编著

中国林业出版社

昆虫信息素及其应用

杜家伟 编者

中国林业出版社出版（北京西城区刘海胡同七号）
新华书店北京发行所发行 河北省遵化县印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 7.25印张 144千字

1988年4月第一版 1988年4月第一次印刷

印数1—6,000册 定价：1.75元

ISBN 7-5038-0068-2 /S·0044

前 言

采用生物防治、合理施用农药等综合防治是保证农林业增产的一种有力措施。近年来，又有人提出了“综合性植物保护”的概念，即在考虑整个作物生长环境保护的前提下，使用更有效的措施，包括：耕作制度、品种改良乃至生物和化学防治手段等所有各种方法的协调使用。

目前，害虫防治的基本手段主要依赖施用农药。但长期施用农药，害虫产生抗药性，环境污染严重；同时害虫的天敌也受到大量摧残。有鉴于此，国内外农业研究部门努力探索和研究害虫防治的新途径和新技术，这些研究包括：新型高效低毒杀虫剂、天敌的利用、病毒、化学不育和遗传不育、昆虫激素、昆虫信息素等项目。

近十多年来，国内外对发展利用昆虫本身生理生化特性和行为特点作为害虫防治的一种新技术日益受到重视，譬如田间弥散昆虫性信息素合成物的气味，干扰昆虫雌雄间的交配通信；利用昆虫激素类似物扰乱生长发育，都取得一定进展。其中，昆虫性信息素的研究尤为突出，因为使用昆虫本身为生存和繁殖的需要而产生并释放至外界的性信息素来控制 and 减少它们的危害，是一种最巧妙的防治手段。随着近代科学技术的迅猛发展，使这个领域的研究不断深入和扩大。

我国在昆虫性信息素方面的研究进展很快。分离、鉴定和合成了农林主要害虫的性信息素，并在应用性信息素合成物进行虫情测报和田间防治试验方面取得可喜的进展，积累了大量有价值的科学论据。

使用昆虫性信息素防治害虫具有专一性强、无公害、保护天敌等优点。目前的研究结果表明，昆虫信息素已逐步成为农林害虫综合防治中不可缺少的手段之一。

为适应我国农业现代化的需要，加速普及现代农业科学技术，特编写本书，综合介绍昆虫信息素的基础研究和应用技术方面的发展概况。内容主要包括：昆虫信息素的生物学、生理学、生态遗传学、昆虫嗅觉感受机理、田间应用原理和技术等。

本书承蒙中国科学院上海昆虫研究所杨平澜教授支持和江苏农科院植保所曹赤阳教授审阅，在此表示衷心感谢。在编写过程中，得到中国科学院上海昆虫研究所戴小杰、许少甫、唐贤汉等同志的支持和帮助，在此一并致谢。由于编写时间仓促，内容涉及面较广，限于编者水平，书中错误和遗漏之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

编 者

1986年11月

目 录

前 言	1
第一章 概论	1
一、昆虫个体间的通信方式	2
二、化学信息通信的类型和定义	3
三、化学通信系统在昆虫生命活动中的作用	5
(一) 社会性昆虫	5
(二) 非社会性昆虫	7
第二章 昆虫信息素的生物学	9
一、昆虫信息素腺体的生理学	10
(一) 信息素腺体的构造和部位	10
(二) 信息素的生物合成	15
(三) 昆虫释放信息素的刺激因素	21
(四) 昆虫产生信息素的数量和影响因素	22
二、昆虫对信息素的行为反应	24
(一) 鳞翅目昆虫对性信息素的行为反应	25
(二) 鞘翅目昆虫对信息素的行为反应	29
(三) 双翅目昆虫对信息素的行为反应	31
(四) 膜翅目昆虫对信息素的行为反应	34
三、信息素在种间生殖隔离中的作用	36

(一) 性信息素顺反异构体的比例·····	37
(二) 多元性信息素系统·····	39
(三) 雄性信息素在种间识别中的作用·····	40
第三章 昆虫信息素的化学 ·····	42
一、鳞翅目昆虫的性信息素·····	43
(一) 雌蛾产生的性信息素·····	43
(二) 雄性产生的性信息素·····	50
二、双翅目昆虫的信息素·····	53
三、鞘翅目昆虫的信息素·····	54
(一) 棘胫小蠹科·····	55
(二) 象甲科·····	56
(三) 拟步甲科·····	57
(四) 豆象科·····	57
(五) 皮蠹科·····	58
(六) 叩甲科·····	59
(七) 金龟子科·····	59
四、膜翅目和等翅目昆虫的信息素·····	59
(一) 告警信息素·····	59
(二) 追踪信息素·····	61
五、半翅目及其它目昆虫的信息素·····	64
第四章 昆虫对信息素的感受作用 ·····	67
一、昆虫的嗅觉器官·····	68
(一) 昆虫触角上的化感器形态和种类·····	68
(二) 化感器的基本构造·····	70
(三) 化感器的功能·····	72

二、昆虫嗅觉机理的几种假设	73
(一) 生物“天线”论	73
(二) 分子低频振动学说	76
(三) 信息分子-受体镶嵌论	78
(四) 信息分子和受体蛋白间的能量传递机理	80
三、从嗅觉机理研究看昆虫信息素的发展趋势	82
第五章 昆虫信息素生态遗传学	84
一、昆虫信息素的进化	84
二、昆虫信息素通信系统的差异	87
(一) 种群间的差异	87
(二) 种群内个体间的差异	88
三、单个雌蛾的信息素特征谱	90
四、昆虫是否会对信息素产生“抗性”	95
五、昆虫信息素和分类学	98
第六章 昆虫信息素研究方法论	101
一、昆虫来源	101
二、昆虫信息素的制取方法	102
(一) 制取方法	102
(二) 影响提取物活性的因素	107
三、信息素的生物测定	109
(一) 生物测定方法	109
(二) 生物测定中的一些问题	116
四、风洞实验技术	118
(一) 风洞的设计和装置	118

(二) 风洞的操作.....	119
(三) 风洞中行为反应的判别标准.....	120
(四) 风洞技术在信息素研究中的应用.....	121
五、昆虫信息素超微量分析技术.....	125
(一) 单个雌蛾的信息素全组分超微量分析技术.....	125
(二) 超微量分析辅助技术.....	130
第七章 昆虫信息素在害虫测报上的应用	133
一、信息素测报诱捕器的原理和方法.....	134
(一) 发生期的预测.....	134
(二) 发生量的预测.....	135
(三) 分布区域的预测.....	136
二、信息素测报技术.....	137
(一) 诱捕器的类型.....	137
(二) 诱捕器的颜色.....	142
(三) 诱芯.....	143
(四) 诱捕器的设置技术.....	145
三、影响信息素测报诱捕器准确性的若干因素.....	147
(一) 虫口密度.....	147
(二) 诱捕器在田间的排列.....	149
(三) 气象因素.....	151
(四) 诱芯的信息素释放速率.....	152
四、常见的测报问题.....	153
(一) 诱捕器的有效诱捕半径.....	153
(二) 杀虫剂处理后的雄蛾行为反应.....	155
(三) 种类问题.....	155
(四) 诱捕数和种群数量、幼虫危害程度的关系.....	156

(五) 信息素测报诱捕器标准化.....	157
五、应用实例.....	158
第八章 昆虫信息素在害虫防治上的应用	166
一、用昆虫信息素防治害虫的原理和方法.....	166
(一) 大量诱捕法.....	167
(二) 交配干扰法.....	169
(三) 信息素和其它生物农药组合使用技术.....	171
二、应用技术.....	172
(一) 大量诱捕法中诱捕器的设置和有效使用.....	172
(二) 信息素的释放技术.....	174
(三) 防治效果的评价和计算.....	177
(四) 交配干扰技术中的几个问题.....	180
三、应用信息素防治害虫的田间研究和应用实例.....	182
(一) 杨树透翅蛾.....	183
(二) 舞毒蛾.....	184
(三) 西部松大小蠹.....	187
(四) 苹果蠹蛾.....	188
(五) 二化螟.....	189
(六) 棉铃象甲.....	191
(七) 苏丹棉铃虫.....	191
(八) 棉红铃虫.....	192
(九) 梨小食心虫.....	193
(十) 红带卷叶蛾.....	195
(十一) 李小食心虫.....	196
(十二) 葡萄小食心虫.....	197
(十三) 桃小食心虫.....	198

(十四) 粉纹夜蛾.....	198
(十五) 豆无网长管蚜.....	198
(十六) 麦蛾.....	199
(十七) 家蝇.....	200
主要参考文献.....	201

第一章

概 论

许多动物为其种族的生存和繁殖，施展各种手段进行个体间的相互通信。回顾动物通信的早期进化，首先被采纳的第一种信号是化学信息。对于具近百万种的昆虫来讲，或许比任何一类动物更依赖于嗅觉刺激来显示整个行为模式，有些是相当复杂的。在昆虫的整个生命周期中，至今已知大部分生命活动的重要环节都是受化学气味信息调节的，诸如交配、繁殖、寄主定向和选择，产卵场所的识别，告警和防御等。

在自然界，两个有机体间的化学信息通信必然是一个有机体释放化学信息，并通过传输信息的中介质而被另一个有机体所接受，尔后产生一系列生理和行为的应答反应。对昆虫的化学信息通信而言，释放化学信息的器官主要是腺体。这些腺体一般位于昆虫的腹部、胸部或翅等处；传输化学信息的介质根据其栖息方式不同可以是空气或水；接受者则主要依赖嗅觉和味觉器官来察觉这些化学信息。昆虫的一生，信息素是种间通信、用以表达许多行为“语言”的最重要形式。

例如昆虫雌雄间的求偶行为。以鳞翅目的蛾类而言，雌蛾由位于腹端的腺体释放极其微量的性信息素，向雄蛾表达求偶行为；而雄蛾则借助头部的两根触角察觉这些求偶化学信息，并循迹赴会。因此，掌握和了解昆虫雌雄间的这一交配通信特点，就能人为地加以模拟和利用。这类微量化学信息所显示的奇妙和巨大的生物效应，引起了当今世界各国昆虫学家和化学家的极大兴趣，因为由此可开辟一条害虫防治的新途径。

一、昆虫个体间的通信方式

就昆虫的通信方式而言，有采用物理方法的，如声音、萤光、超声波等，也有利用化学信息作为通信手段的。

常见的直翅目害虫蟋蟀雄虫的唧唧鸣声能招引十米方圆内雌虫前来赴会，而没有发音器的雄虫就无法招引雌虫。又如雄蚊借助翅振频率吸引雌蚊；鞘翅目某些种类的雄虫当发现新的寄主树时，会发出一种特殊频率的声音召唤雌雄两性前来聚食。此外，双翅目、鞘翅目和弹尾目的一些种类，在夜间它们的胸、腹或整体表面产生萤光。有些种类是连续发光，也有些则是间歇发光，还有些却是受刺激后才发光。它们是利用萤光的发光形式来表达某种行为的“语言”。又如蚂蚁会发出一种超声波来进行种间联系，许多鳞翅目的蛾子易被烛光所引诱等等。综上所述，许多昆虫可利用不同物理方式进行各种行为的通信联系。

在昆虫的整个生命周期中，化学信息是种间通信的一种

最重要形式。这些化学信息控制着昆虫的多种行为。譬如自然界中雄蛾怎么会找到雌蛾进行交配的；而雌蛾又以什么方式和雄蛾保持联系呢？早在1837年有人经反复观察和试验发现雌蛾腹部有一种能释放特殊化学气味物质的腺体，在求偶期间雌蛾释放这类化学信息引诱雄蛾前来赴会。

除此之外，在昆虫的许多习性和行为中普遍存在利用化学信息作为通信手段的现象。例如蚂蚁或白蚁外出觅食时，从其腹部的一种腺体中释放出一类化学信息作为路途标记，返巢时循迹而归。在这类社会性昆虫中还有利用化学信息作为告警信号，譬如蜂巢受到其它动物侵袭时，工蜂立即释放出一种化学气味物质向其它工蜂发出警告，凡感受到此类告警气味物质的工蜂即引起一种警卫蜂巢的防御攻击行为。又如农业害虫中常见的蚜虫，其腹末端两侧各有一个突起物，当其受到外来攻击时，突起物就分泌和释放出一种挥发性物质向同伴报警，使聚集取食的蚜虫立即分散和躲避外来威胁。鞘翅目中许多小蠹虫从其粪便中排泄出一种召唤两性聚集的气味物质。此外，昆虫的产卵场所选择、寄主定向、忌避等行为都是利用化学信息作为通信手段的。当然，在昆虫的整个通信手段中，视觉、听觉和触觉同样起着重要作用。

二、化学信息通信的类型和定义

昆虫的化学信息通信原则上可描述为：由昆虫本身或其它有机体释出一种甚至多种化学物质刺激、诱导和调节接受者（昆虫或其它有机体）的行为，最终的行为反应可有益于

释放者或接受者。

目前，按化学信息的基本作用性质和功能大致分成二个大类：信息素（Pheromone）和它感作用物质（Allelo-chemic）。信息素是同种个体间的化学信息，包括性信息素、聚集素、告警素和追踪素等。它感作用物质是异种间的化学信息，并按其作用性质分成利它素（Kairomone）和益己素（Allomone）。上述几种类型的化学信息在昆虫的行为通信中普遍存在，调节和诱导昆虫的各种行为反应。

（一）信息素

信息素是一种由同种个体释放并引起其它个体行为反应的化学物质。这个定义是由卡尔生等1959年提出的。“Pheromone”这个英语术语取自于希腊语“Pherein”（运载之意）和“Hormone”（兴奋之意）的组合。早年，Bethe把这类生物活性物质称为外激素，曾一度被广泛采用，但这个概念和内分泌系统的激素概念很易混淆，目前都不大使用。

信息素是同种昆虫个体间的化学通信物质，作用于同种个体间。属于这一类化学物质的有鳞翅目雌蛾分泌的性信息素，鞘翅目蠹虫分泌的两性聚集素，蚁类释放的告警素和追踪素等。其中特别是雌蛾释放的昆虫性信息素是研究得较详尽的一种，也是本书比较侧重叙述的内容。

（二）利它素

利它素是一种由某个体释放并引起它种个体行为反应的化学物质，行为反应有益于接受者。例如某些幼虫和蛹散发

一种特殊化学气味物质招之寄生蜂的寄生等。

(三) 益己素

益己素是一种由某个体释放并引起它种个体行为反应的化学物质，行为反应有利于释放者。属于这一类化学物质的有昆虫分泌的防御物质等。

此外，还有按照化学信息物质所诱导的行为特征分为：运动刺激剂、引诱剂、驱避剂、取食、交配或产卵刺激剂和忌避剂等。这种划分方式显然过于简单化，因为同一化学信息物质有时能引起多种行为反应。

三、化学通信系统在昆虫生命活动中的作用

昆虫本身是没有思维能力的，在其整个生命周期中的许多行为活动是受化学信息所调节和控制的。社会性昆虫具有比较复杂和高级的化学信息通信系统，而非社会性昆虫则比较简单。

(一) 社会性昆虫

在社会性昆虫中，利用化学信息作为通信手段的系统尤为复杂和高级。它们利用化学信息相互传递各种行为反应，并协调着成千上万个个体间的行为。例如筑巢、告警、防御、觅食、繁殖甚至攻击外来侵犯者。就以蜜蜂来讲，一个蜂巢约有2—6万头蜂，由三种不同职能的蜂所组成。一个蜂后，成百上千头雄蜂，数万头工蜂。由于蜂巢内部黑暗，

视觉功能极弱，大部分行为活动均采用化学信息作为通信手段。首先，蜂后分泌一种经口传递的信息素，使整个蜂巢的工蜂卵巢停止发育，如将蜂巢中的蜂后取走，立即会引起蜂群焦躁不安，同时工蜂的生理状态也发生变化，卵巢开始发育，哺育出新的蜂后。经化学结构分析表明蜂后所分泌的活性物质为9-酮基-反-2-癸烯醇，每头蜂后约含200微克的量。蜂后还借助这种活性物质以引诱雄蜂前来交配，繁殖后代。

一个很有趣味的问题是工蜂外出采蜜，如何正确无误地返回蜂巢。据研究工蜂离巢外出采蜜时，沿途以一定间隔撒放一种路途标记化学信息物质（上颚腺分泌物），返巢时借助触角辨认路途标记而准确地返回，当然蜜蜂还具有利用偏振光定向的能力。

每当蜂巢或蜂群受到外来攻击和侵犯时，工蜂即释放一类异戊酸乙酯和2-庚酮的告警素，激起附近其它工蜂产生警卫和攻击行为。如果在蜂巢入口处，设置这类告警素合成物，立即会强烈地引起蜂群的聚集和保卫蜂巢行为，并摆出准备攻击侵犯者的姿态。

在社会性昆虫中，蚁类的化学信息通信系统已达到相当发达的程度。譬如蚁类外出觅食时，沿途撒放一种追踪物质作为返巢时的路标，以免迷失路途。每种蚁类都有它们自己的追踪素标记，绝不会误入异巢。当蚁类受到侵犯和攻击时，同样会释放一种告警素，使其它兵蚁处于警卫蚁巢并向侵犯者发起攻击行为。在这些化学信息通信系统中，比较引人注目的是追踪素，在防治上有实际应用价值。例如人为地在蚁