全国高等农业院校教材

全国高等农业院校教材指导委员会审定

昆虫毒理学

● 赵善欢 主编

● 植保专业用

农业出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

全国高等农业院校教材

昆 虫 毒 理 学

赵善欢 主编

植物保护专业用

农 业 出 版 社

428102

（京）新登字060号

全国高等农业院校教材

昆 虫 毒 理 学

赵善欢 主编

* * *

责任编辑 李永庆

农业出版社出版（北京市朝阳区农展馆北路2号）

新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092mm 16开本 12.5印张 286千字

1993年5月第1版 1993年5月北京第1次印刷

印数 1—2,000册 定价 3.30 元

ISBN 7-109-02368-0/Q·119

序　言

《昆虫毒理学》是1989年农业部下达编写的作为七·五规划高等农业院校指令性教材之一，供高等农业院校植物保护专业或昆虫学专业教学之用，同时亦可作为昆虫专业研究生或综合性大学生物系的参考书。

本书共分8章。第1章是绪论，讲述昆虫毒理学的原理、研究目的，创制新杀虫剂的途径及研究方法，是由赵善欢编写。第2章杀虫剂对昆虫表皮的穿透及在虫体内的分布，讲述杀虫剂侵入虫体的途径及对虫体各重要组织的穿透，是由陈文奎编写。第3章杀虫剂作用机理，讲述各类杀虫剂对昆虫的毒杀机理及药剂进入虫体后打击的靶标，包括常用的杀虫剂及新发展的品种，是由黄彰欣及黄端平编写。第4章昆虫生长发育调节剂，讲述来源于天然产品（特别是植物）及人工合成的昆虫生长发育抑制剂，并阐明其作用机理及应用，是由赵善欢及陈文奎编写。第5章害虫对杀虫剂的抗药性。讲述抗药性的产生及其机理、抗药性的遗传、抗药性的监测以及对害虫抗药性的治理，是由上海昆虫研究所唐振华编写。第6章昆虫信息素及其在害虫防治上的应用，讲述昆虫信息素的种类及其分泌腺体、作用机理及在害虫防治上的应用和研究方法，是由陈文奎编写。第7章杀虫剂的环境毒理，讲述杀虫剂在环境的分散、转移及残留变化以及对人的影响和环境保护有关问题，是由黄彰欣编写。第8章杀虫剂田间毒理，讲述田间毒理的概念，影响杀虫剂在田间药效的因素，昆虫抗药与杀虫剂药效的关系，害虫在田间种群的[illegible]

主　编　赵善欢（华南农业大学）
编　者　赵善欢（华南农业大学）
　　陈文奎（华南农业大学）
　　唐振华（上海昆虫研究所）
　　黄彰欣（华南农业大学）
　　黄瑞平（华南农业大学）
主审人　尚稚珍（南开大学）

需要全本请访问 www.ertongbook.com

目　录

第一章　绪论 …… 1
一、昆虫毒理学的范畴 …… 1
二、昆虫毒理学研究的对象和目标 …… 1
三、剂量概念的重要性 …… 2
四、杀虫剂对昆虫的作用机理和昆虫种群对杀虫剂的反应 …… 2
五、开发新型杀虫剂的各种途径 …… 2
（一）传统的方法 …… 2
（二）分子结构与生物活性关系的研究 …… 6
（三）天然产品的研究 …… 6
（四）遗传工程的研究及应用 …… 6
六、昆虫毒理学的研究方法 …… 6
（一）收集有关昆虫毒理学的系统信息及资料 …… 6
（二）掌握田间试验和调查方法 …… 6
（三）掌握实验室方法和现代设备 …… 7
（四）查找昆虫毒理学文献的方法 …… 7
第二章　杀虫剂对昆虫表皮的穿透及在虫体内的分布 …… 9
一、引言 …… 9
二、昆虫体壁的一般结构 …… 10
三、杀虫剂对昆虫表皮的穿透 …… 12
（一）杀虫剂的理化性质与穿透 …… 15
（二）昆虫生理及行为特性对穿透的影响 …… 15
（三）辅助剂对穿透的影响 …… 17
四、杀虫剂对昆虫卵壳的穿透 …… 18
五、杀虫剂对昆虫消化道的穿透 …… 19
六、杀虫剂对昆虫神经膜的穿透 …… 20
七、杀虫剂通过不同途径的转运 …… 22
八、杀虫剂在昆虫体内的分布 …… 24
九、研究方法 …… 29
第三章　杀虫剂作用机理 …… 31
一、引言 …… 31
二、按毒杀作用机理划分为三大类 …… 31
（一）作用于神经系统的杀虫剂——神经毒剂 …… 31
（二）作用于呼吸系统的杀虫剂——呼吸毒剂 …… 55
（三）作用于核酸代谢和核酸生成的——化学不育剂 …… 62
第四章　昆虫生长发育抑制剂 …… 67

一、引言 ……67
二、昆虫生长发育抑制剂的种类 ……67
(一) 灭幼脲 (Dimilin) 及其类似物 ……68
(二) 与灭幼脲结构不同的化合物 ……70
(三) 昆虫保幼激素及其类似物 ……71
(四) 抗保幼激素——早熟素等 ……73
(五) 植物性蜕皮甾酮 ……74
(六) 蓝雪花素 ……76
(七) 印楝素及其类似化合物 ……76
(八) 柠檬素 ……78
(九) 其他天然产物 ……79
三、昆虫生长发育抑制剂的中毒症状及作用机制 ……80
(一) 中毒症状 ……80
(二) 作用机制 ……81
四、昆虫生长发育抑制剂的应用前景 ……84
第五章 害虫对杀虫剂的抗药性 ……90
一、昆虫抗药性及其概况 ……90
二、抗性测定与监测 ……94
(一) 抗药性测定原理 ……94
(二) 抗性监测 ……95
三、害虫抗药性的机理 ……96
(一) 生理抗性 ……97
(二) 代谢抗性 ……99
(三) 行为抗性 ……105
四、害虫抗药性的遗传 ……105
(一) LD-p线在抗性遗传中的应用 ……106
(二) 标记品系在抗性遗传中的应用 ……108
(三) 抗性遗传机理 ……109
五、害虫抗性治理 ……110
(一) 影响抗性发生发展的因子 ……111
(二) 抗性治理策略 ……113
第六章 昆虫信息素及其在害虫防治上的应用 ……125
一、引言 ……125
二、昆虫信息素的种类及其分泌腺体 ……126
(一) 昆虫信息素的分泌腺体 ……126
(二) 昆虫信息素的种类 ……127
三、昆虫信息素的作用机理 ……139
(一) 信息素的感受器官 ……139
(二) 信息素的感受机理 ……139
四、昆虫信息素作为害虫防治法的应用现状 ……140
(一) 昆虫信息素在虫害测报上的应用 ……141
(二) 大量诱捕法 ……141

（三）迷向法 …… 142
五、昆虫信息素应用前景展望 …… 143
六、昆虫信息素的研究方法 …… 143
第七章　杀虫剂的环境毒理 …… 146
一、引言 …… 146
二、杀虫剂在动、植物体内的代谢 …… 147
（一）初级代谢 …… 147
（二）次级代谢——轭合 …… 151
（三）杀虫剂在动物体内的代谢 …… 153
（四）杀虫剂在植物上代谢 …… 154
三、杀虫剂的光解作用 …… 157
四、杀虫剂对环境的污染 …… 159
五、杀虫剂在植物、动物及人体内的残留 …… 161
（一）几种主要类型杀虫剂在作物上的残留 …… 163
（二）杀虫剂在动物体内的残留及其影响 …… 167
（三）杀虫剂残留对鸟类、兽类及其它脊椎动物的影响 …… 167
（四）杀虫剂在人体内的残留及其危害 …… 168
六、杀虫剂的转移及分布 …… 171
七、如何控制杀虫剂在环境中的污染及其展望 …… 174
第八章　杀虫药剂田间毒理 …… 176
一、温度、湿度对杀虫剂毒力作用的影响 …… 177
二、营养因素与杀虫剂药效的关系 …… 180
三、害虫种群结构和动态对杀虫剂药效的影响 …… 182
四、杀虫剂对害虫天敌的影响 …… 184
五、在田间条件下杀虫剂抗药性的发展 …… 188
六、田间毒理的研究方法 …… 189

第一章 绪 论

一、昆虫毒理学的范畴

毒理学是药物学最早的分支之一。习惯上，人们认为毒理学是影响人类生命的毒剂的科学。因此，也把毒理学看作医学的分支。杀虫剂毒理学论述杀虫剂在各种生物体上的反应。它主要阐述杀虫剂的作用机理、在不同的生物体中其代谢途径和毒效作用的差异、以及产生这些差异的原因。换句话说，杀虫剂毒理学是研究特定有毒化合物本身的科学，而不是研究杀虫剂在特定动物类群上的反应。昆虫毒理学则包括了这两方面，在范畴上更为广泛。

杀虫剂的环境毒理学（Environmental Toxicology）是一门内容广泛的新学科。它的历史可追溯到1962年。那一年，卡尔逊女士（Rachel Carson）写出了一本著名的书——“寂静的春天”，提出了农药对环境污染的严重问题。环境毒理学是由许多学科(包括生物化学、生理学、昆虫学和生态学等学科）互相渗透、互相交叉发展产生的。它包含了毒理学的整个领域（杀虫剂仅是其中的一部分）。例如，在美国加利福尼亚大学戴维斯（Davis）分校的环境毒理学系开设了一系列课程，其中与环境毒理学直接有关的就有：①环境中的毒素，②毒素的生物学效应，③毒素分析，④中毒机理，⑤环境毒理学的立法。在本书第七章杀虫剂的环境毒理，将着重讨论杀虫剂在环境的残留、代谢、降解；杀虫剂在环境中的运转；杀虫剂通过食物链的积累；杀虫剂对人类及动植物的污染及危害以及对杀虫剂的污染解决的方法。

赵善欢在1961年中国昆虫学会年会上提出的杀虫剂田间毒理学在某些方面比环境毒理学的范畴更广，它强调了生态学的指导思想（赵善欢 1962)。对此，在本书第八章将作详细的论述。

二、昆虫毒理学研究的对象和目标

昆虫毒理学研究的对象和目标是：

（一）研究杀虫剂对昆虫的作用方式及毒杀机制（包括分子毒理学)。

（二）研究杀虫剂对生态系统的影响、昆虫抗药性种群的形成、以及由于施用杀虫剂不适当而导致的害虫种群再猖獗等问题。

（三）研究杀虫剂的合理使用以及化学防治在害虫综合治理（IPM）系统中的作用。

（四）探索及研制对害虫高效、而对环境安全的新型杀虫剂。例如通过天然除虫菊素的研究从而创制出一系列拟除虫菊酯类杀虫剂。

简言之，研究昆虫毒理学的主要目的是，为害虫综合治理计划提供安全有效的杀虫剂及制定其合理使用方法。农药的合理使用是害虫综合治理成功的基础。

三、剂量概念的重要性

化合物的剂量与毒性的关系是毒理学研究的重点。任何化合物对生物体的致毒效应都与剂量有关。在极高浓度下，大多数化合物都对生物体有毒。有毒化合物的毒理学在某种意义上可以说是剂量的科学。在拒食剂的研究中可以看到，不同浓度的同一个化合物对昆虫可能显示出完全不同效应——拒避或引诱。

剂量—效应关系可作为测定杀虫剂毒性的一个方法。杀虫剂毒性的大小通常用致死中量（LD_{50}）、致死中浓度（LC_{50}）或致死中时（LT_{50}，即杀死50%个体所需时间）表示。从统计学上看，LD_{50}比LD_{30}或LD_{90}更准确，因为根据正态分布曲线，在LD_{50}剂量下对毒物起反应的生物个体数理论上是最大的，高度抗性和高度敏感性的个体数理论上是最少的。在实际工作中也有应用LD_{90}和LC_{90}。例如在植物检疫工作中灭虫率要求很高，实蝇类卵和幼虫的死亡率要求达到99.9968%（机率值为9）。

为了估计一个昆虫种群对某一毒剂的敏感性，通常以死亡百分率的机率值为纵座标，剂量对数值为横座标作出一条直线。在实际观察中得出一条经验：在许多生物化学和生理学过程中，只有当刺激的强度呈现对数增加时，即浓度以某一“比例”增加，而不是以一常量增加时，才能导致效果上的等量增加。C. I. Bliss在1937年首先提出了这个方法，以浓度对数值及死亡百分率机率值作图，得到一条直线。

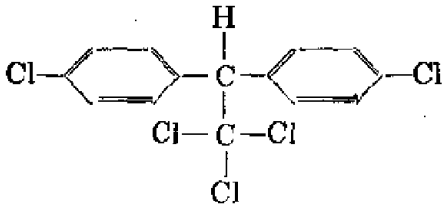
四、杀虫剂对昆虫的作用机理和昆虫种群对杀虫剂的反应

昆虫毒理学的一个重要内容是研究杀虫剂如何杀死害虫。例如胆碱酯酶和它的抑制剂以及细胞色素P_{450}与药剂间的相互作用就是一个重要的研究领域。近年来，通过对生物化学和生理过程的深入研究，阐明了杀虫剂和其作用部位的相关性。此外，还可研究环境条件的变化对药剂效果的影响及探讨某一药剂使昆虫中毒过程的动力学。值得注意的是，在某些情况下，杀虫剂并不马上杀死害虫，而是产生如下反应：出现不正常的变态或者后代中出现部分不育，这通常是由于杀虫剂作用于昆虫体内RNA的结果。化学不育剂如噻替派（Thiotepa）就是影响RNA和DNA的。此外，还可能形成抗性种群。一种杀虫剂的亚致死剂量可能导致害虫种群的再猖獗。例如在水田使用亚致死剂量的喹硫磷，由于刺激了稻褐飞虱（*Nilaparvata lugens*）的繁殖，导致这种虫出现了再猖獗现象。

五、开发新型杀虫剂的各种途径

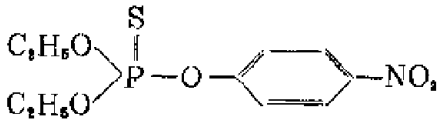
（一）传统的方法 传统的方法是合成大量的化合物，然后进行生物测定，初步筛选出有毒效的化合物，从其中探索出有毒性的母体结构，更换取代基，模拟合成高效的杀虫剂。自第二次世界大战以来，人们对50种不同结构的化合物进行了试验，初步发现16种结构的化合物具有杀虫活性，13种具有杀菌活性。值得注意的是，它们当中许多都是酯类化合物，例如各种磷酸酯、氨基甲酸酯和拟除虫菊酯。下面列举16种不同结构的杀虫剂及其代表品种，括号中的年份表示发现该化合物具杀虫活性的时间：

1. DDT（1942）



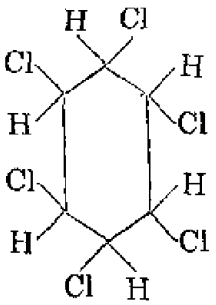
滴滴涕(P,P'—DDT)

2.芳香族磷酸酯 (1946) (Aromatic phosphorus esters)

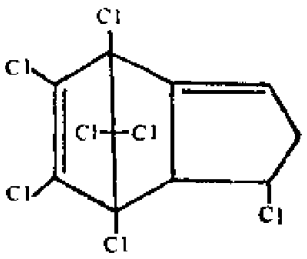


对硫磷(parathion)

3.氯化环烷烃类 (1948) (Chlorinated cycloaliphatics)

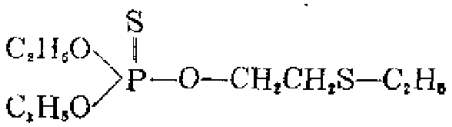


六六六(BHC)



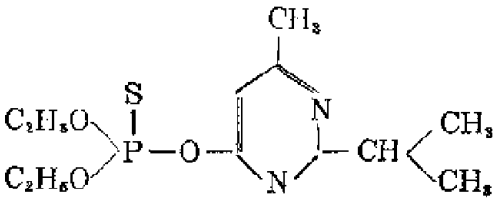
七氯 (heptachlor)

4.脂族磷酸酯 (1951) (Aliphatic phosphorus esters)

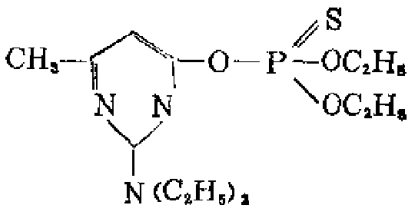


内吸磷(demeton)

5.杂环磷酸酯 (1951) (Heterocyclic phosphorus esters)

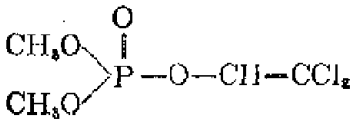


二嗪农(diazinon)

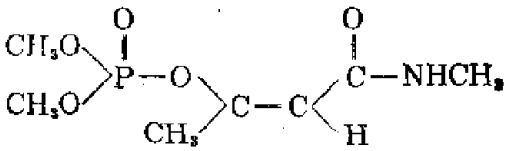


嘧啶硫磷(pirimiphos-methyl)

6.烯醇磷酸酯 (1951) (Enophosphates)



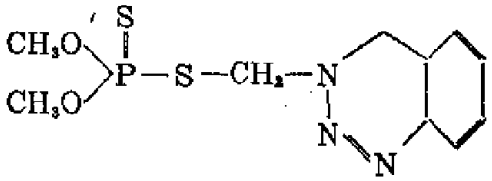
敌敌畏(dichlorovos)



久效磷(monocrotophos)

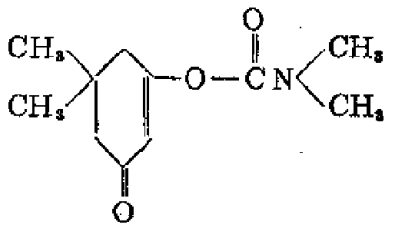
需要全本请访问 www.ertongbook.com

7.亚甲基-二硫代磷酸酯（1955） (Methylene-dithiophosphates)



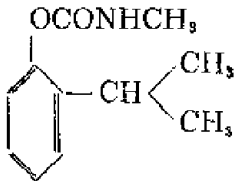
保棉磷(azinphos-methyl)

8.烯醇式氨基甲酸酯（1955） (Enolcarbamates)

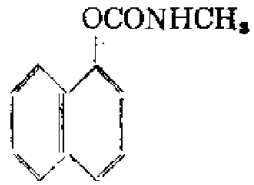


地麦威(dimetan)

9.芳香族氨基甲酸酯（1958） (Aromatic carbamates)

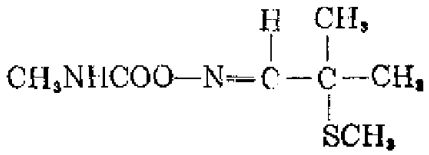


异丙威(isoprocarb)



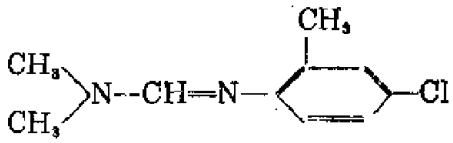
叶蝉威(carbary)

10.氨基甲酰肟类（1962） (Oximcarbamates)



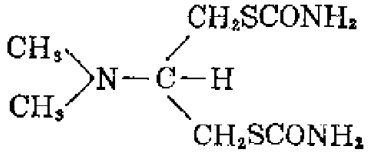
铁灭威(aldicarb)

11.甲脒类（1963） (Formamidines)

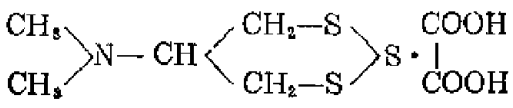


杀虫脒 (chlordimeform)

12.巴丹及其类似物（1965—1970） (Cartap and related compounds)

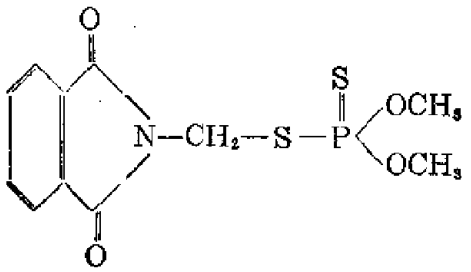


杀螟丹(cartap)



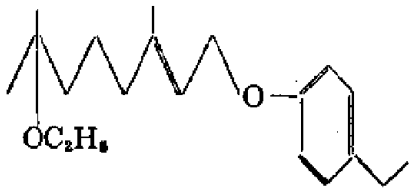
杀虫环(thiocyclam)

13.混合磷酸酯 (1971) (Mixed phosphates)

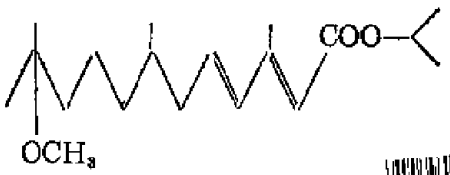


亚胺硫磷(phosmet)

14.昆虫保幼激素类似物 (1972) (Juvenile hormone analogs)



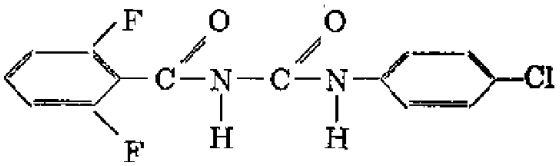
JH-25("738")



烯虫酯(methoprene)

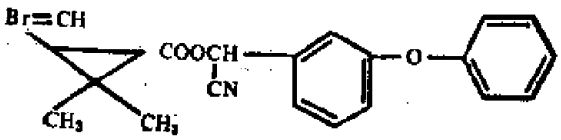
北林图 A00114475

15.酰基脲类 (1972) (Acylureas)

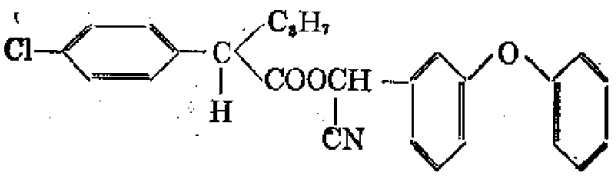


灭幼脲(diflubenzuron)

16.合成拟除虫菊酯类 (1954) (Synthetic pyrethroids)



溴氰菊酯(detamethvin)



氰戊菊酯(fenvalerate)

428102

另外，最近还开发出一些新型的品种，如噻嗪酮（Buprofezin）等杀虫剂。

（二）分子结构与生物活性关系的研究 研究分子结构与生物活性之间的关系是开发新型杀虫剂的另一条途径。研究方法就是利用一系列紧密相关的化合物来评估几种物理化学参数对毒效的相对影响。考虑的参数可以是空间特征方面的（如分子的大小、形状、揉曲性等）、电子学方面的（如电子的得失及空间电负性等）或脂溶性大小方面的。应用回归分析，可确定几个参数的相对重要性，并可检验它们之间的关系。我们对化合物和生物体生理反应之间的关系了解得愈多，我们就愈能够适当地改变化合物的分子结构，从而使它们达到预期的效果。有关这方面的探讨，我们仍处于初级阶段，但近几年来已取得明显的进展。

（三）天然产品的研究 与一般的有机合成杀虫剂对比，天然产品对人和环境的危害性较小。大多数天然产品是生物体内合成的，在大气环境条件下易于分解失效（例如天然除虫菊素和昆虫保幼激素），且不易于穿过结构复杂的生物膜。毒扁豆中含有的主要生物碱——毒扁豆碱就是如此。天然产品所含有效成分的化学结构可供作人工合成的模板。在许多情况下，只有人工合成的类似物成为商品杀虫剂，才可能大量投入实际应用。必须指出，许多来源于植物的拒食剂和昆虫生长调节剂（例如印楝油、印楝素、川楝素、蓝雪花素等）以及从抗虫性植物中分离出的某些化合物（例如从抗欧洲玉米螟的玉米中分离出的Dimboa）这些年来得到了国际上广泛的重视。这些以天然产品为原料的物质已经发展成为第三代杀虫剂的重要组成部分，并将成为21世纪的杀虫剂。此外，近十余年发展起来的信息化合物（Semiochemicals），特别是昆虫性信息素及其模拟合成的化合物，作用于昆虫行为方面，有实际应用价值，它们也是天然产品。

（四）遗传工程的研究及应用 利用遗传工程创造新型杀虫剂将是今后发展方向之一，具有很大潜力。实验证明，可把一种生物专用的某种物质合成的核酸片断纳入另一种生物的遗传载体中，从而导致该生物（后者）具有合成此物质的本领。例如马铃薯被甲虫咬食后，产生一种抑制蛋白酶的物质，可利用DNA重组技术转入另一种植物体内，从而使之产生抗虫性。最近，英国已成功地将一种杀死鳞翅目幼虫的病毒，通过遗传工程技术改造成为一种专一性强、对环境污染少的高效杀虫剂。

六、昆虫毒理学的研究方法

（一）收集有关昆虫毒理学的系统信息及资料

（二）掌握田间试验和调查方法 有关这方面可阅读下列材料：

1.Ciba—Geigy（汽巴—嘉基公司）主编（1975）田间试验手册（英文本）。

2.Southwood, T. R. E.（1979）特别适于昆虫种群研究的生态学方法（第二版，英文本）。

3.Heinrichs, E. A.等（1981）防治水稻害虫使用的杀虫剂试验手册（英文本），菲律宾国际水稻研究所。

4.深见顺一（J. Fukami）等（1981）农药实验法（1）杀虫剂篇（日文本），Soft Science, Inc., Tokyo.

5.Mandara, H. B.主编(1985) 天然农药CRC手册：方法(英文本)。CRC Press.

主要参考文献

1.华南农业大学主编，1990，植物化学保护。第二版 农业出版社。

2.张宗炳，1982，昆虫毒理学的新进展。北京大学出版社。

3.张宗炳，1987，杀虫剂的分子毒理学。农业出版社。

4.赵善欢，1962，昆虫毒理学的发展方向。中国农业科学 1962 (3)：1—9。

5.Buchel, K. M. (Ed.) 1983 Chemistry of Pesticides. John Wiley and Sons.

6.Beeman, R. W. 1982 Recent advances in the action of insecticides. Ann. Rev. Ent. 27：253—281.

7.Chiu Shin-Foon(赵善欢) 1983 Recent advances in the chemical control of insects. Chinese Journal of Agricultural Sciences 1983 (3)：71—78 (In Chinese with English summary).

8.Elliott, M. 1980 The future for insecticides. In Insect Biology in the Future. Academic Press n. 879—903, London.

9.Keyserlingk, H. C. Von, A. Jager and CH. Von Szczepanski (Ed.) 1985 Approaches to New Leads for Insecticides. Springer-Verlag New York 159 pp.

10.Landolt, P. J., D. L. Chambers and V. Chew 1984 Alternative to the use of probit 9 mortality as a criterion for quarantine treatments of fruit fly (Diptera, Tephritidae) -infested fruit. Jour. Econ. Ent. 77(2)：285—287.

11.Menn, J. J. 1980 Contemporary frontiers in chemical pesticide research. Jour. Agric. and Food Chem. 28(1)：2—8.

12.Menn, J. J. 1983 Present insecticides and approaches to discovery of environmentally acceptable chemicals for pest management. In Natural Products for Innovative Pest Management. Chap. 1, p. 5—31, Pergamon Press.

13.Matsumura, F. 1985 Toxicology of Insecticides. Second Ed. Plenum Press, New York.

14.Plimmer, J. R. (Ed.) 1976 Pesticide Chemistry in the 20th Century. ACS Symposium Series 37. American Chemical Society, Washington, D. C.

15.Ware, G. W. 1983 Pesticides——Theory and Application. W. H. Freeman and Company. San Francisco.

16.Wilkinson, C. F. (Ed.) 1976 Insecticide Biochemistry and Physiology. Heyden London, New York.

(赵善欢)

第二章　杀虫剂对昆虫表皮的穿透及在虫体内的分布

一、引　言

任何一种杀虫剂，不论是传统习惯上称为胃毒剂、触杀剂、熏蒸剂、内吸剂的各类杀虫剂，还是近代分为的神经毒剂、不育剂、拒食剂、驱避剂、昆虫生长发育调节剂等，要对目标昆虫起作用，首先碰到的第一道障碍就是昆虫的表皮（包括体壁表皮、消化道表皮以及气管表皮）。而杀虫剂究竟是如何穿透昆虫表皮和各种细胞膜结构而进入昆虫体内，并到达作用部位的？这是昆虫毒理学所要解决的首要问题之一。

杀虫剂通过体壁的穿透具有重要的意义，因为它能够影响杀虫剂对昆虫和哺乳动物之间的选择作用。在有机合成杀虫剂出现的初期，人们都认为杀虫剂穿透昆虫表皮是毫无困难的，而哺乳动物的皮肤却能有效地阻止杀虫剂通过，因而认为，杀虫剂对昆虫和哺乳动物之间的毒性差异是由于渗透性不同而造成的。但是随着研究杀虫剂对表皮穿透的不断深入，许多实验结果却很难对早期的杀虫剂穿透表皮的观点作出有力的支持。

如Matsumura（1963）曾用^{32}P-马拉硫磷点滴处理美洲蜚蠊(*Periplaneta americana*)前胸背板，6小时后，用丙酮洗脱“未吸收”的组分，结果发现仅有11%的点滴剂量保留在虫体内。Olson（1970）用^{14}C-DDT点滴处理美洲蜚蠊的前胸背板，60小时后，用水和丙酮洗脱出的点滴剂量高于80%。Polles等（1972）用^{14}C-异狄氏剂处理烟草夜蛾(*Heliothis virescence*)，48小时后，从表皮外部洗脱出63%的放射活性剂量，从表皮中仅抽提到22%的放射活性剂量。这些试验结果表明：昆虫体壁表皮可以有效地保留杀虫剂，所以昆虫表皮是阻止杀虫剂穿透的有力屏障。

杀虫剂一经穿透昆虫表皮进入虫体后，其中一部分除被保留在表皮内，此外，可能一部分被内部非靶标组织（如脂肪体、马氏管等）所吸收，这样就减少了到达靶标组织的剂量。同时，杀虫剂在穿透和分布过程中的任何时间内，都会受到昆虫体内各种酶系的影响，而出现杀虫剂的化学转化和生物转变，导致生成更毒的分子结构（如敌百虫转化成敌敌畏），产生增毒作用或生物活化作用，另外在解毒酶系的作用下，杀虫剂也可能被分解、转化，变为无毒的分子，而被排出体外。有机杀虫剂及其转化物都可以被昆虫排泄系统所排泄，这就为有机体（包括昆虫）抵抗毒物提供了很好的保护方法。由此可见，杀虫剂对昆虫表皮的穿透和在虫体内的分布，情况是复杂的。在这些过程中，影响的因子是多方面的，但最重要的是两个方面，一是杀虫剂本身的理化特性；二是昆虫自身的特异性，不同的昆虫种类，它们的体壁结构存在着很大的变异。甚至在同一种昆虫的不同虫态或龄期，体壁表皮特性也有很大的差异。对这些情况，我们在研究杀虫剂的穿透与分布时应当充分估计到。

近年来，研究杀虫剂对昆虫表皮的穿透与分布又受到了重视，主要是由于两方面的原因，①在研究害虫抗药性机理的工作中，科学家们发现有许多害虫对杀虫剂抗性的增强与

昆虫表皮对杀虫剂的穿透性降低有关，并在家蝇中找到抗穿透的“Pen”基因，有关这方面的详细情况将在第五章中论述。②随着昆虫生长发育抑制剂——苯甲酰基苯基脲类(Benzoylphenl Ureas) 的发展，昆虫表皮生理，以及表皮穿透等问题也得到进一步的研究，这部分的内容将在第四章中讨论。鉴于上述这些情况，对昆虫表皮生理及与杀虫剂穿透表皮的关系正在日益深入研究，弄清了许多问题，但也还存在着一些问题需要进一步探索。

二、昆虫体壁的一般结构

昆虫的体壁是一个特殊而又复杂的组织，其结构与哺乳动物的皮肤存在着很大的差异。昆虫的体壁与消化道的前肠和后肠、气管组织、神经组织等，都是同源器官，它们均起源于胚胎时期的外胚层，因此它们具有同一性，同时又由于在分化过程中形成了特殊的功能，所以它们之间又存在着各自的特异性。

昆虫的体壁主要由三部分组成：表皮层、真皮细胞层和底膜。表皮层又分为：上表皮、外表皮和内表皮，在有些种类中还存在着中表皮（图 2—1），而在有些种类中不存在外表皮。

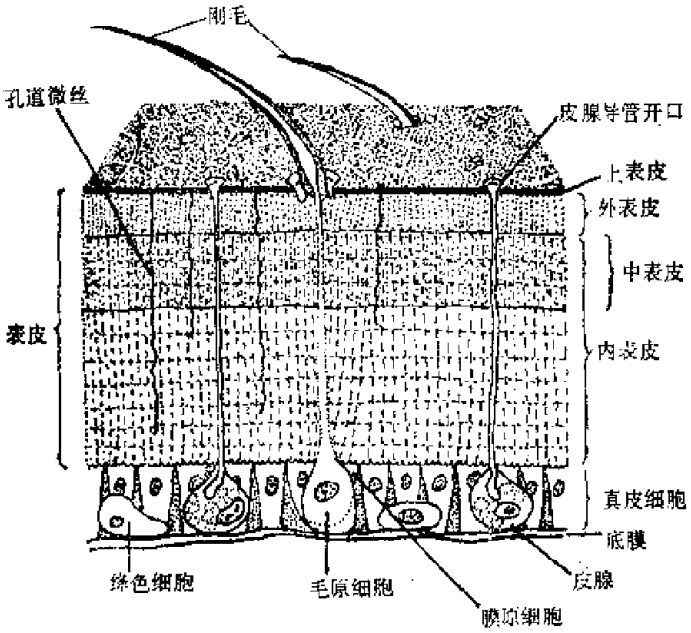


图 2—1　昆虫体壁结构的一般模式图
(Hackman, 1971)

（一）表皮层

1. 上表皮　上表皮是昆虫体壁的最外一层，它是由皮细胞顶膜的微绒毛分泌形成的薄片或板状结构，是由若干微小的层次组成的复合体。在整个表皮层中，上表皮是极其复杂，而又最为重要的一层，它控制着体壁与渗透性有关的表面特性，并且还能抵御病原微生物的侵袭，它还可贮存代谢废物。

上表皮又可分为几个不同的层次：

（1）护蜡层　护蜡层是由真皮细胞中的皮腺分泌到上表皮最外层，直接与环境接触，它含有被多元酚稳定的脂类和蛋白质。

需要全本请访问 www.ertongbook.com