



徐汉虹 编著

杀虫植物 与植物性杀虫剂



中国农业出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助

杀虫植物与植物性杀虫剂

徐汉虹 编著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

杀虫植物与植物性杀虫剂/徐汉虹编著. —北京: 中国农业出版社, 2001.6

ISBN 7-109-06877-3

I. 杀... II. 徐... III. ①野生植物, 杀虫用-基本知识②植物性杀虫剂-基本知识 IV. S482.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 027055 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 沈镇昭

责任编辑 张洪光

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 32.5

字数: 741 千字 印数: 1~1 000 册

定价: 148.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

谨以此书献给

我敬爱的导师——赵善欢 院士



我国有着丰富的植物资源，有些植物体内含有的某些成分可以用来杀虫，我们把这些植物称为杀虫植物，而把用这些植物的根、茎、叶、花、果实、种子等进行提炼加工而制成的杀虫制剂称为植物性杀虫剂。

从历史上看，我国是使用杀虫植物最早的国家。早在公元前若干世纪的《周礼秋官》中就有用芥草熏杀蠹物的记载。后魏时代（公元 530—550 年）贾思勰所著的《齐民要术》中记载可用藜芦根煮水洗治羊疥。明万历 24 年（1596 年）李时珍所著的《本草纲目》记录的药用植物中有不少是可以用来杀虫的，如百部、雷公藤、苦参、川楝、巴豆等。清道光年间广东省潮阳县志中说：“烟草秆及纸叶插稻根，可杀害苗诸虫”。

新中国成立以来，我国在大力发展化学农药工业的同时，也十分重视植物性杀虫剂的生产和应用。1958 年大搞土农药的群众性运动，对植物性杀虫剂的发展起到了一定的推动作用。随着化学农药引发的环境污染问题日益突出，环保受到了全世界的关注；无污染的生物农药因而倍受重视。20 世纪 60 年代以来化学生态学和分离技术的发展将植物性杀虫剂推进到一个新的发展时期，由土农药向高技术含量的产品方向发展。

杀虫植物体内所含有的杀虫活性成分各不相同，不同植物之间的差异很大。从数量上看，有些杀虫植物仅含有一种有活性的化合物，有些是多种相类似或完全不同的化合物。杀虫植物所含有的活性成分的种类繁多，包括毒蛋白、有机酸、挥发性的精油、单宁、树脂、酚类、酯类、糖甙等，分布最广的是生物碱（如烟碱、百部碱等），有的杀虫植物只含有其中的一类物质，而有些则含有属于不同类别的多种化合物。杀虫植物的活性成分在植株体内的分布也是各有特色。

有的是全株都含有，有的是分布在植物的不同组织器官中，如烟碱存在于烟草的叶中，除虫菊酯存在于除虫菊的花中，鱼藤酮和百部碱分别存在于鱼藤和百部的根中，巴豆酯存在于巴豆的种子中。杀虫植物体内的活性成分的含量与杀虫植物的品种、年龄、植株所处的土壤和气候条件等因素有关。

关于植物性杀虫剂的加工使用，有的是采用简单方法就地处理植物原料，得到粗制品后直接使用，如用水冷浸、热煮，或用酒精或煤油处理，或晒干磨成粉；有的粗制品进一步用化学方法提炼精制，再加工成各种制剂。如把鱼藤根中的杀虫成分鱼藤酮提取出来加工制成鱼藤酮乳油，把烟草中的烟碱提取出来加工制成硫酸烟碱和油酸烟碱等。

植物性杀虫剂与化学合成杀虫剂相比具有很多优点：（1）植物性杀虫剂的活性成分是自然存在的物质，自然界有其顺畅的降解途径，不会污染环境，因而被称为绿色农药。其安全间隔期短，特别适用于蔬菜、水果和茶叶等被人直接食用的作物，对作物也不产生药害；（2）植物性杀虫剂对害虫的作用机理与常规化学农药差别很大，大多数常规化学农药仅作用于害虫的某一生理系统的一个或少数几个靶标，而多数植物性杀虫剂由于活性成分复杂，能够作用于昆虫的多个器官系统，有利于克服害虫抗药性；（3）有些植物性杀虫剂（如烟草和鱼藤的加工品）还可刺激作物的生长；（4）植物性杀虫剂原料较易得到，既绿化了环境又提供了原材料，有时可以因地制宜，就地取材，就地加工，制造方法简便，成本低廉。

植物性杀虫剂也有一些缺点：（1）除了除虫菊酯、烟碱、鱼藤酮等极少数品种外，大多植物性杀虫剂发挥药效缓慢，不易为农民所接受；（2）活性成分易分解，制剂成分复杂；（3）由于植物的分布存在地域性，在加工厂地的选择上受到的限制因素要比化学农药多；（4）有些植物的活性成分存在于植株的特殊部位，如鱼藤酮主要存在于鱼藤的根中，要提取鱼藤酮就得挖出根部，很费工时，并且杀虫植物的采集具有季节性，使工厂化生产的原材料供给得不到保障。不过随着科学的发展这些缺点正在逐步得到解决，如现代提取加工技术就克服了稀释倍数低、贮存稳定性差的缺点，杀虫植物

的组织培养技术也将使原材料突破种植条件和季节性的限制。

徐汉虹博士毕业后一直留在我身边从事植物性杀虫剂的研究和教学工作，工作勤恳，颇有建树。该书是徐汉虹同志在我的直接指导下完成的，既收集了国内外的主要文献，又融汇了我们昆虫毒理研究室几十年的研究成果，颇有参考价值。相信该书的正式出版，会促进我国杀虫植物的研究与发展，令人欣慰。

谨此作序

中国科学院院士 **赵善欢**
华南农业大学教授

1999年2月28日

前言

植物性杀虫剂是天然产品杀虫剂中最重要、来源最广的一大类。目前，公认成熟的三大类杀虫剂中的拟除虫菊酯和氨基甲酸酯以及近几年迅速发展起来的新烟碱类，其合成的先导化合物就来自植物。我国植物资源丰富，种类繁多，杀虫植物的应用历史悠久。我的导师赵善欢教授早在 20 世纪 40 年代就曾进行西南各省杀虫植物的深入调查及毒力测定，取得了可贵的第一手资料。50 年代在他的支持及指导下，部分师生及科技人员从事烟草及鱼藤酮的研究工作。1964 年，农业部拨款建实验楼，成立昆虫毒理研究室，1980 年，升格为部批研究室。此后，该室顺应农药发展的需要，以植物性杀虫剂为主要研究方向，先后开展了以苦楝、川楝、印楝为主的楝科植物、植物光活化杀虫毒素及植物精油等方面的深入研究，获得了可喜的成果，有些成果已在生产实际中推广应用，取得了显著的经济效益、生态效益和社会效益。如已经注册登记的鱼藤酮、异羊角扭甙和印楝素等植物性杀虫剂都已商品化。在 50 多年的植物性杀虫剂研究过程中，我们积累了不少宝贵的经验和资料，在国内外刊物上已发表有关的论文 200 余篇，培养了一批高素质的博士、硕士研究生，主持召开了第一届全国杀虫植物学术研讨会。

90 年代初，随着相关知识的不断积累和这一边缘学科日见雏形，我们为博士研究生开出了《植物性杀虫剂的有效成分及其作用机理》课程。由于科研和教学的双重需要，赵善欢先生一直想编写一本植物性杀虫剂方面的专著，因年事已高，未能如愿，在赵先生的鼓励、支持和直接指导下，我承担起这一历史责任。承蒙南开大学尚稚珍教授、中国科学院上海昆虫研究所唐振华教授、西北农林科技大学吴文君教授、

张兴教授、中国农业大学高希武教授、广东省农业科学院植物保护研究所高永根研究员和广东省昆虫研究所黄明度研究员等人的关心和支持，使赵善欢先生的宿愿得以实现。

本书是集体智慧的结晶，是华南农业大学昆虫毒理研究室在植物性杀虫剂研究方面的工作总结。值此专著出版之际，谨向我的导师赵善欢院士及所有参加过此项研究工作的老师和同学致以崇高的敬意！感谢国家自然科学基金（基金编号：39300087、39870437）、广东省自然科学基金（基金编号：960429）、农业部中华农业科教基金人才基金、教育部〔高等学校骨干教师培养计划、高校博士点基金（基金编号：970501）〕、广东省“千百十”人才培养基金。广东省科委、广东省农委及南开大学元素有机化学研究所、中国科学院昆明植物研究所、华南植物研究所、上海药物研究所、上海有机研究所等单位给予本研究持续不断的经费资助或工作支持！

在本书的编写过程中，研究生陈立、万树青、田永清、张国洲、何道航、张志祥、黄继光、王新国和胡林等付出了大量辛勤的劳动，华南农业大学李秉滔教授审定植物学名，许再福副教授审定昆虫学名，中国科学院华南植物研究所植物化学室主任魏孝义副研究员和张凤仙副研究员审定植物化学方面的名词。蒋志胜博士后、侯学文博士后和杨仕平博士后提出了许多宝贵意见，选修此门课程的学生魏玉平、周利娟、程东美、文艳华、谢建军等人也做了不少有益的工作，黄翠玲、翁群芳同志协助部分文字输入工作。

植物性杀虫剂内容广泛，发展迅速，我们仅是就我们自己的研究工作，结合相关的资料编写，难免挂一漏万，有些观点也只是一家之言，提出供大家讨论。不妥之处恳请读者批评指正。

最后感谢中国农业出版社的张洪光编辑，从立题到编审，直至出书，是她洒下一路的汗水，才使这株小草破土而出。

徐汉虹

2000年8月28日

目 录

序 前言

第一章 植物源光活化杀虫毒素	1
1.1 概述	1
1.2 植物源光活化毒素的类型及其在植物中的分布	2
1.2.1 呋喃香豆素类	3
1.2.1.1 化合物的结构	3
1.2.1.2 分布	4
1.2.2 多炔类和噻吩类	4
1.2.2.1 天然化合物结构类型	4
1.2.2.2 合成化合物结构类型	6
1.2.2.3 分布	8
1.2.2.4 多炔类和噻吩类的多重作用机制	9
1.2.3 生物碱类	10
1.2.3.1 呋喃喹啉类生物碱	10
1.2.3.2 哈尔满类生物碱	10
1.2.4 扩展醌类	11
1.2.5 其他的光活化毒素	11
1.2.5.1 苯并呋喃和苯并吡喃	11
1.2.5.2 去甲二氢愈创木酸	12
1.2.5.3 Lachnanthocarpone	12
1.2.5.4 脱镁叶绿酸甲基酯类	12
1.2.5.5 咕吨染料	12
1.3 植物光活化毒素的光化学性质及其生物学效应	13
1.3.1 光化学的基本理论	13

1.3.1.1 单线态与三线态	13
1.3.1.2 光敏化合物的光化学基本过程	13
1.3.1.3 光氧化的机理	14
1.3.2 植物光活化毒素的生物效应	15
1.3.2.1 毒杀机理	15
1.3.2.2 光活化毒素对昆虫的毒性效应	16
1.3.3 结构与活性的关系	26
1.3.3.1 α -T 不同取代基对活性的影响	26
1.3.3.2 噻吩类化合物的理化性质对活性的影响	27
1.4 昆虫对光活化毒素的适应	28
1.4.1 体征和结构上的适应	28
1.4.2 行为的适应	29
1.4.3 代谢与排泄	29
1.4.4 抗氧化剂作用	30
1.4.4.1 激发态猝灭剂	30
1.4.4.2 $^1\text{O}_2$ 猝灭剂	31
1.4.4.3 自由基抑制剂	31
1.5 实验方法	31
1.5.1 多炔类和噻吩类化合物的提取与鉴定	31
1.5.1.1 提取方法	31
1.5.1.2 胡萝卜中的多炔类化合物的分离与鉴定	31
1.5.1.3 常用的检测方法	33
1.5.2 呋喃香豆素的检测 (HPLC 分析)	33
1.5.3 光活化毒力测定	34
1.6 展望	34
参考文献	35

第二章 杀虫生物碱

2.1 概述	40
2.1.1 生物碱的定义	40
2.1.2 生物碱在植物体的积累和储藏	40
2.1.3 杀虫生物碱在植物界的分布	41
2.1.4 生物碱与昆虫的关系	41
2.1.5 研究杀虫生物碱的成就与意义	42
2.2 杀虫生物碱的分类与杀虫活性	43
2.2.1 吡咯啉 (pyrrolidine) 类生物碱	43
2.2.2 托品烷 (tropane) 类生物碱	44

2.2.3 哌啶 (piperidine) 类生物碱	45
2.2.4 吡啶 (pyridine) 类生物碱	46
2.2.5 喹啉联啶 (quinolizidine) 类生物碱	47
2.2.6 喹啉 (quinoline) 类生物碱	49
2.2.6.1 奎宁 (quinine) 碱类生物碱	49
2.2.6.2 呋喃喹啉 (furoquinoline) 类生物碱	49
2.2.6.3 喹啉酮 (quinolone) 类生物碱	49
2.2.6.4 喹唑酮 (quinazoline) 类生物碱	50
2.2.6.5 其他	50
2.2.7 吲哚 (indole) 类生物碱	50
2.2.7.1 简单吲哚类生物碱	510
2.2.7.2 蛇根草生物碱	51
2.2.7.3 长春花生物碱	52
2.2.7.4 马钱子碱类生物碱	53
2.2.7.5 毒扁豆碱	53
2.2.7.6 其他吲哚生物碱	53
2.2.8 异喹啉 (isoquinoline) 类生物碱	54
2.2.8.1 苄基异喹啉 (benzyl isoquinoline) 类生物碱	54
2.2.8.2 萘基异喹啉类生物碱	55
2.2.8.3 小檗碱和药根碱	55
2.2.8.4 原鸦片碱类生物碱	56
2.2.8.5 α -萘菲啶 (α -naphthaphenanthridine) 类生物碱	56
2.2.8.6 吗啡类生物碱	57
2.2.8.7 刺桐属生物碱	57
2.2.9 甲基黄嘌呤 (methylxanthine) 类生物碱	57
2.2.10 苄基苯乙胺 (benzylphenethylamine) 类生物碱	58
2.2.11 二萜类生物碱 (diterpenoid alkaloids)	58
2.2.11.1 C_{19} -二萜类生物碱	58
2.2.11.2 C_{20} -二萜类生物碱	59
2.2.12 甾体类生物碱 (steroidal alkaloids)	59
2.2.12.1 甾类生物碱	59
2.2.12.2 异甾类生物碱	60
2.3 烟碱及含有烟碱的植物	60
2.3.1 烟碱 (nicotine, 尼古丁) 的理化性质	61
2.3.2 含烟碱的植物	61
2.3.3 烟碱及其类似物的杀虫作用	62
2.3.3.1 烟碱的旋光性与杀虫作用的关系	62
2.3.3.2 烟碱溶液的 pH 与杀虫作用的关系	63

2.3.3.3 烟草生物碱的杀虫作用	63
2.3.3.4 烟碱的杀虫谱	63
2.3.4 烟碱的杀虫作用机制	64
2.3.5 新型氯化烟酰杀虫剂——吡虫啉 (imidacloprid)	66
2.4 藜芦生物碱	69
2.4.1 藜芦生物碱的结构	69
2.4.2 藜芦的杀虫作用	70
2.5 鱼尼丁	71
2.5.1 鱼尼丁的杀虫成分和作用机制	72
2.5.2 鱼尼丁的杀虫作用	74
2.6 雷公藤生物碱	74
2.6.1 雷公藤所含生物碱	75
2.6.2 雷公藤的杀虫作用	76
2.7 苦参生物碱	77
2.7.1 苦参 (<i>Sophora flavescens</i>)	78
2.7.2 苦豆子 (<i>Sophora alopecuroides</i>)	79
2.8 异丁基酰胺	81
2.8.1 黑胡椒	83
2.8.1.1 黑胡椒的杀虫活性及有效成分	83
2.8.1.2 piperide 的杀虫作用机理	84
2.8.1.3 piperide 的合成	85
2.8.1.4 piperide 的结构改造及其改造物的杀虫活性	86
2.8.2 澳洲蜜茱萸	89
2.8.3 假茛菪	91
2.9 生物碱的提取与分离	92
2.9.1 总生物碱的提取	92
2.9.2 生物碱的分离与纯化	93
2.9.2.1 利用生物碱的碱性差异进行分离	93
2.9.2.2 分馏	94
2.9.2.3 利用生物碱及其盐溶解度的差异进行分离	95
2.9.2.4 层析法	96
2.9.3 几种常见生物碱的提取方法	97
参考文献	98

第三章 植物精油

3.1 概述	107
3.2 精油的提取与分离	108

3.2.1 精油的提取	108
3.2.2 精油化学成分的分离	109
3.2.2.1 分馏法	109
3.2.2.2 化学法	109
3.3 植物精油对害虫的生物活性	110
3.3.1 植物精油对昆虫的引诱作用	110
3.3.2 植物精油对昆虫的忌避、拒食与生长发育 抑制作用	111
3.3.3 精油对昆虫卵的毒杀作用	114
3.3.4 精油对幼虫和成虫的毒杀作用	115
3.3.5 植物精油作为储粮防护剂的研究	119
3.3.6 精油的混用及其对有机合成农药的 增效作用	120
3.3.7 精油与有机合成杀虫剂混用增效的机理	122
3.4 精油的化学成分与构效关系	122
3.5 精油用于害虫防治的安全性评价	125
3.6 有待进一步探讨的问题	126
3.7 精油植物的栽培与开发效益	126
参考文献	127

第四章 倍半萜和二萜 134

4.1 概述	134
4.2 倍半萜化合物的提取分离	134
4.3 杀虫植物中的倍半萜及其杀虫活性	135
4.3.1 拒食、驱避和引诱活性	135
4.3.2 杀卵及产卵忌避活性	144
4.3.3 抑制昆虫生长发育	145
4.3.4 毒杀活性	146
4.3.5 杀软体动物	146
4.3.6 典型倍半萜杀虫植物——苦皮藤	147
4.3.6.1 苦皮藤生物学特征	147
4.3.6.2 苦皮藤杀虫活性成分	147
4.3.6.3 苦皮藤素的生物活性	148
4.3.6.4 苦皮藤素的作用机制	149
4.4 含二萜的杀虫植物及其生物活性	150
4.4.1 拒食活性	150
4.4.2 抑制昆虫生长发育	151

4.4.3 典型的二萜杀虫植物——黄杜鹃	152
4.4.3.1 黄杜鹃杀虫活性成分	153
4.4.3.2 黄杜鹃的杀虫活性	153
4.4.3.3 主要杀虫活性成分的作用机理	155
参考文献	156

第五章 柠檬素

5.1 概述	159
5.2 柠檬素的分类	160
5.3 柠檬素的杀虫活性	168
5.4 柠檬素的结构与活性的关系	173
5.5 印楝	175
5.5.1 印楝和印楝素的杀虫作用	176
5.5.1.1 拒食和忌避作用	176
5.5.1.2 生长发育抑制作用	178
5.5.1.3 毒杀作用	181
5.5.2 印楝素与有机合成农药的联合作用	182
5.5.3 印楝的生长栽培与综合利用	185
5.6 川楝	186
5.6.1 川楝和川楝素的杀虫作用	186
5.6.1.1 拒食和忌避作用	186
5.6.1.2 生长发育抑制作用	187
5.6.1.3 毒杀作用	188
5.6.2 川楝素的混用	188
5.6.3 含川楝素植物的生物学特性及其 综合利用	193
5.7 苦楝	194
5.7.1 苦楝的杀虫活性	194
5.7.1.1 拒食和忌避活性	194
5.7.1.2 生长发育抑制作用	195
5.7.1.3 毒杀作用	195
5.7.2 苦楝的杀虫活性成分	196
5.7.3 苦楝物质与有机合成杀虫剂的混用	196
5.7.4 苦楝的生物学特征及其综合利用	198
5.8 其他楝科植物的杀虫活性	199
5.8.1 楝亚科〔Meliaceae (Meliodeae)〕	199
5.8.2 桃花心木亚科 (Swietenideae)	200

5.9 柠檬素的作用机理	200
5.9.1 物理机制	200
5.9.2 生化机制	201
5.9.2.1 对血淋巴的影响	201
5.9.2.2 对昆虫消化系统的影响	203
5.9.2.3 对呼吸强度的影响	205
5.9.2.4 对遗传物质含量的影响	206
5.9.2.5 对生殖功能的影响	206
5.9.2.6 阻碍神经冲动传导	211
5.9.2.7 抑制解毒酶, 破坏昆虫免疫系统	213
5.9.2.8 影响昆虫内分泌系统	214
5.9.2.9 作用于表皮	215
5.10 柠檬素的模拟合成和前景展望	217
参考文献	218
第六章 植物源昆虫激素	228
6.1 概述	228
6.2 植物源蜕皮激素	228
6.2.1 植物源蜕皮激素的分布	228
6.2.2 植物中蜕皮激素类似物的含量及变化	236
6.2.3 植物源蜕皮激素的种类	237
6.2.4 植物源蜕皮激素的提取和分离	252
6.2.5 植物源蜕皮激素的生物活性	255
6.2.6 植物源蜕皮激素的生物活性测定方法	258
6.2.7 植物源蜕皮激素的开发利用	261
6.3 植物源保幼激素	262
6.3.1 种类及分布	262
6.3.2 保幼激素类似物的生物活性测定方法——检验和 评价	264
6.3.3 植物源保幼激素的开发利用	268
参考文献	269
第七章 黄酮类化合物	276
7.1 概述	276
7.2 黄酮类化合物的提取与分离	277
7.3 黄酮类化合物的理化性质	279

7.4 黄酮类化合物的抗氧化性能·····	280
7.5 黄酮类化合物的结构与分类·····	281
7.6 黄酮类化合物的杀虫作用·····	284
7.7 鱼藤酮及其类似物·····	289
7.7.1 含有鱼藤酮的植物·····	290
7.7.1.1 鱼藤属植物·····	290
7.7.1.2 鸡血藤属植物·····	291
7.7.1.3 灰叶属植物·····	291
7.7.1.4 其他植物·····	292
7.7.2 鱼藤酮的提取·····	293
7.7.3 鱼藤酮及鱼藤酮类化合物的理化性质·····	293
7.7.3.1 鱼藤酮的物理性质·····	293
7.7.3.2 鱼藤酮的主要化学性质·····	294
7.7.3.3 鱼藤酮类化合物的理化性质·····	296
7.7.4 鱼藤酮对植物的影响·····	297
7.7.5 鱼藤酮类化合物的生物活性及其作用方式·····	298
7.7.5.1 鱼藤酮类化合物对鱼类的毒性·····	298
7.7.5.2 鱼藤酮及其类似物对昆虫的活性和作用方式·····	298
7.7.5.3 鱼藤酮与一些药剂混用时的杀虫活性·····	303
7.7.6 鱼藤酮的作用机制·····	304
7.7.6.1 鱼藤酮对昆虫的作用机理·····	304
7.7.6.2 鱼藤酮与其他药剂混用的作用机理·····	306
7.7.7 鱼藤酮的应用展望·····	306
7.7.7.1 鱼藤酮的使用·····	306
7.7.7.2 鱼藤制剂·····	307
7.7.7.3 鱼藤酮的应用前景·····	308
参考文献·····	309

第八章 番荔枝内酯····· 317

8.1 概述·····	317
8.2 番荔枝内酯的提取分离·····	318
8.3 化学结构类型·····	318
8.4 杀虫活性·····	327
8.5 结构与活性的关系·····	329
8.6 作用机制·····	329
8.7 展望·····	330
参考文献·····	330