

吴文君 高希武 主编

生物农药及其应用



Chemical Industry Press



化学工业出版社

“三农”读物出版中心

生物农药及其应用

Biopesticide and Its Usage

吴文君 高希武 主编



化学工业出版社
“三农”读物出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

生物农药及其应用/吴文君,高希武主编. —北京:
化学工业出版社, 2004. 7
ISBN 7-5025-5804-7

I. 生… II. ①吴…②高… III. 微生物农药-基
本知识 IV. S482.3

中国版本图书馆CIP数据核字 (2004) 第 073914 号

生物农药及其应用

Biopesticide and Its Usage

吴文君 高希武 主编

责任编辑: 杨立新

文字编辑: 孔 明

责任校对: 顾淑云 战河红

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社 出版发行
“三农”读物出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

中国纺织出版社印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 10 1/2 字数 277 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5804-7/TQ · 2032

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

生物农药 (biopesticides), 按照 Copping 和 Menn 的定义包含活体微生物 (病毒、细菌、真菌), 昆虫致病线虫, 植物源农药, 微生物农药, 微生物次生代谢产物 (抗生素), 昆虫信息素, 用于表达抗虫、抗病、抗病毒、耐除草剂的基因以及昆虫天敌。生物农药的独特优点是对人类健康威胁小, 对环境安全, 而这正是全社会最关心的问题之一。因此, 进入 21 世纪以来, 各国政府和民众更加重视生物农药的开发和应用, 生物农药在整个农药市场的份额正在逐年上升。

1998 年和 1999 年, 国外相继出版了 “The Biopesticide Manual”、“Formulation of Microbial Biopesticides: Beneficial Microorganisms, Nematods and Seeds Treatments” 以及 “Biopesticide: Use and Delivery” 等专著, 系统介绍了生物农药的制剂加工、主要品种及应用技术等。国内虽然出版了几本有关微生物农药、植物杀虫剂方面的书, 但至今没有一本真正全面介绍生物农药的读物。为此, 我们编写了此书, 想以较短的篇幅, 系统、扼要地介绍生物农药的基本知识和主要品种, 促进我国生物农药的研发及推广应用。

全书共分 9 章。第 1 章主要阐述生物农药的基本概念及基本特点; 第 2 章至第 7 章分别介绍植物源、微生物源天然产物农药, 活体微生物农药, 昆虫信息素、天敌昆虫以及抗病虫与耐除草剂的转基因作物 (植物-农药) 的特点和重要品种; 第 8 章介绍生物农药的制剂加工与应用技术; 第 9 章介绍生物农药的登记管理, 着重介绍欧美及我国对生物农药登记的具体资料要求。

值此书出版之际, 我们谨向本书中引用其著述的中外作者们致谢。我们还要感谢仪美芹、胡进峰、刘洪霞、冯涛、张静等在该书

资料收集整理过程中所做的工作。

由于我们的学识水平有限，特别是本书涉及的知识面较广，书中难免有欠妥乃至错误之处，恳请读者和各方面的专家批评指正。

吴文君 高希武

2004 年春节

目 录

第 1 章 生物农药概述	1
1.1 农药和生物农药	1
1.2 生物农药的特点	3
1.3 生物农药的前景	5
第 2 章 植物源农药	7
2.1 植物源农药概述	7
2.1.1 植物源农药的历史与现状	7
2.1.2 植物源农药的特点	9
2.1.3 植物源农药的研究与开发	11
2.2 植物源杀虫剂	14
2.2.1 产业化的植物源杀虫剂品种	14
2.2.2 其他重要的植物源杀虫活性物质	33
2.3 植物源杀菌剂	40
2.3.1 产业化的植物源杀菌剂	40
2.3.2 其他植物源杀菌活性物质	42
2.4 植物源除草剂	44
2.4.1 1,8-桉叶素与 1,4-桉叶素	45
2.4.2 黄花蒿素	45
2.4.3 卡帕里酮和 ailanthone	46
2.4.4 纤精酮	46
第 3 章 微生物源农药	47
3.1 微生物源杀虫剂	48
3.1.1 商品化品种	48
3.1.2 其他研究较多的杀虫杀螨抗生素	55
3.2 微生物源杀菌剂	56

3.2.1	商品化产品	56
3.2.2	正在研发中的品种	71
3.3	微生物源除草剂	73
3.3.1	商品化的微生物源除草剂	73
3.3.2	尚未商品化的微生物除草剂活性物质	74
第4章	微生物农药	78
4.1	细菌杀虫剂	78
4.1.1	细菌杀虫药剂的特性	78
4.1.2	细菌杀虫药剂的产业化	80
4.1.3	苏云金杆菌	81
4.1.4	B. t. 的致病型分类	84
4.1.5	球形芽孢杆菌	88
4.1.6	细菌杀虫剂产品介绍	90
4.2	真菌杀虫剂	99
4.2.1	真菌杀虫剂的发展历史	99
4.2.2	种类与特性	100
4.2.3	应用与前景	102
4.2.4	病原真菌产品介绍	105
4.3	病毒杀虫剂	110
4.3.1	昆虫病毒研究概况	111
4.3.2	杆状病毒	112
4.3.3	病毒杀虫剂产品介绍	119
4.4	线虫杀虫剂	127
4.4.1	线虫杀虫剂的发展历史	127
4.4.2	种类及特性	128
4.4.3	线虫杀虫剂的应用前景	130
4.4.4	病原线虫产品介绍	136
4.5	原生动物杀虫剂	141
4.5.1	昆虫病原原生动物特性	141
4.5.2	原生动物的发展与类别	143
4.5.3	昆虫病原原生动物产品介绍	144

4.6	微生物杀菌剂及除草剂	145
4.6.1	微生物杀菌剂	145
4.6.2	微生物除草剂	147
4.6.3	微生物杀菌剂和除草剂品种介绍	148
第5章	昆虫信息素	154
5.1	昆虫信息素概述	154
5.1.1	简史	154
5.1.2	昆虫信息素的特点	155
5.1.3	昆虫信息素在害虫综合治理体系 中的作用	157
5.1.4	信息素的生物合成	157
5.1.5	信息素的微量分析技术	158
5.1.6	信息素在周围介质作用下的化学转化	159
5.2	昆虫信息素类型及品种	159
5.2.1	性信息素	159
5.2.2	聚集素	188
5.2.3	报警信息素	198
5.2.4	追踪素	199
第6章	天敌昆虫	200
6.1	天敌昆虫在农业生产中的应用	200
6.1.1	天敌昆虫的应用历史	200
6.1.2	我国天敌昆虫产业化前景分析	203
6.1.3	天敌昆虫的基因工程改造	205
6.1.4	天敌昆虫防治效果的评价	206
6.2	捕食性天敌昆虫	208
6.2.1	巴氏钝螨	208
6.2.2	<i>Amblyseius californicus</i>	209
6.2.3	库库姆卡斯植绥螨	210
6.2.4	<i>Amblyseius degenerans</i>	212
6.2.5	<i>Amblyseius fallacies</i>	213
6.2.6	<i>Galendromus occidentalis</i>	214

6.2.7	尖狭下钝螨	215
6.2.8	兵下钝螨	215
6.2.9	智利植绥螨	216
6.2.10	西方盲走螨	218
6.2.11	<i>Typhlodromus pyri</i>	218
6.2.12	温室桃蚜瘿蚊	219
6.2.13	<i>Feltiella acarisuga</i>	221
6.2.14	普通草蛉	222
6.2.15	<i>Cryptolaemus montrouzieri</i>	223
6.2.16	<i>Delphastus pusillus</i>	224
6.2.17	异色瓢虫	225
6.2.18	集栖瓢虫	226
6.2.19	白翅小花蝽	227
6.2.20	<i>Orius insidiosus</i>	228
6.2.21	<i>Orius laevigatus</i>	229
6.2.22	大型小花蝽	230
6.2.23	斑腹刺益蝽	231
6.3	寄生性天敌昆虫	232
6.3.1	微细缨小蜂	233
6.3.2	苜蓿蚜蚜小蜂	233
6.3.3	岭南蚜小蜂	234
6.3.4	丽蚜小蜂	235
6.3.5	加州粉虱小蜂	237
6.3.6	科尔曼氏蚜茧蜂	237
6.3.7	棉长管蚜蚜茧蜂	239
6.3.8	桃赤蚜蚜茧蜂	240
6.3.9	<i>Cotesia</i>	241
6.3.10	番茄潜蝇离顎茧蜂	241
6.3.11	豌豆潜蝇薄茧小蜂	242
6.3.12	胭蚱跳小蜂	243
6.3.13	<i>Metaphycus Bartletti</i>	244

6.3.14	蜜黄阔柄跳小蜂	244
6.3.15	甘蓝夜蛾赤眼蜂	245
6.3.16	广赤眼蜂	246
第7章 植物-农药		248
7.1	表达 B. t. 毒素的转基因植物	248
7.2	表达消化蛋白酶抑制剂的转基因植物	249
7.3	表达凝集素的转基因植物	251
7.4	表达其他抗昆虫因子的转基因植物	252
7.5	植物-农药产品	253
7.5.1	<i>als 1</i> 基因	253
7.5.2	苏云金杆菌基因	254
7.5.3	抗溴苯腈基因	255
7.5.4	第二类兴奋性突触后电位合成酶基因	256
7.5.5	<i>CpTi</i> 基因	257
7.5.6	<i>GNA</i> 基因	258
7.5.7	抗 IMI 基因	258
7.5.8	木瓜环斑病毒外壳蛋白基因	259
7.5.9	鳞丝菌素乙酰转移酶基因	259
7.5.10	马铃薯卷叶病毒外壳蛋白基因	260
7.5.11	马铃薯 Y 病毒衣壳蛋白基因	261
7.5.12	烯禾定耐受基因	261
7.5.13	瓜类病毒外壳蛋白基因	262
第8章 生物农药制剂加工及应用技术		263
8.1	农用抗生素	263
8.2	植物提取物	263
8.2.1	制剂加工	263
8.2.2	质量控制	265
8.2.3	混用	267
8.2.4	应用技术	268
8.3	信息素	273
8.3.1	诱捕法	273

8.3.2 迷向法	275
8.4 活体微生物农药	277
8.4.1 细菌制剂	277
8.4.2 真菌制剂	280
8.4.3 病毒制剂	282
8.4.4 昆虫致病线虫制剂	282
第9章 生物农药的登记管理	285
9.1 美国对生物农药登记的要求	285
9.1.1 登记微生物农药所要求的资料	286
9.1.2 登记生物化学农药所要求的资料	289
9.1.3 转基因植物农药	293
9.2 欧盟对生物农药登记的要求	295
9.2.1 生物农药活性成分登记资料要求	295
9.2.2 生物农药产品登记的资料要求	300
9.3 中国生物农药的登记管理	304
9.3.1 生物化学农药	304
9.3.2 微生物农药	309
9.3.3 植物源农药	312
9.3.4 转基因生物	314
9.3.5 天敌生物	316
主要参考文献	317

第 1 章 生物农药概述

1.1 农药和生物农药

什么是农药 (pesticide)? 按《中国农业百科全书·农药卷》的定义, 农药主要是指用来防治危害农林牧业生产的有害生物 (害虫、害螨、线虫、病原菌、杂草及鼠类) 和调节植物生长的化学药品, 但通常也把改善有效成分的物理、化学性状的各种助剂包括在内。需要指出的是, 对于农药的含义和范围, 不同的时代、不同的国家和地区有所差异。如美国, 早期将农药称之为“经济毒剂” (economic poison), 欧洲则称之为“农业化学品” (agrochemicals), 还有的书刊将农药定义为“除化肥以外的一切农用化学品”。20 世纪 80 年代以前, 农药的定义和范围偏重于强调对有害物的“杀死”, 但 20 世纪 80 年代以来, 农药的概念发生了很大变化。今天, 人们并不注重于“杀死”, 而是更注重于“控制”。

关于生物农药 (biopesticide) 的概念则有许多争议, 概括起来主要有下述几种看法。

(1) 认为不应将生物农药和生物源农药混为一谈 生物农药是指用来防治农林牧业有害生物的活的生物体, 可分为 3 大类: 天敌昆虫 (寄生性天敌、捕食性天敌), 天敌微生物 (细菌、病毒、真菌、线虫、原生动物) 和遗传工程生物 (转基因植物、遗传工程微生物、遗传工程昆虫)。生物源农药则主要是指生物代谢产生的具有农药活性的物质, 包括植物源农药, 微生物源农药 (抗生素类), 外激素 (性外激素、聚集外激素、报警外激素、标迹外激素等) 及昆虫生长调节剂 (蜕皮激素类似物、保幼激素类似物等)。

(2) 认为不应将生物农药和生物防治混为一谈 生物农药即生物源农药, 指来自动物、植物或微生物的代谢产物 (主要指植物提取物、抗生素、昆虫信息素等)。农药、医药和兽药等药物是具体的化学物质, 有固定的元素组成和分子结构。正是其分子结构决定了药物的理化性质和生物活性。农药作为药物有其确定的作用机制 (无论是否被人类认识), 而这种药物的作用机制主要表现为药物小分子和靶标大分子的相互作用。可以用来防治农林有害生物的活体生物, 如昆虫天敌, 无论是寄生性的还是捕食性的, 都不具备药物的上述两个基本特征, 它们对有害生物的防治不是像药物那样的分子间相互作用, 而是一种生命活动中的行为反应; 又如某些天敌微生物对植物病害的防治, 是依赖天敌微生物竞争性的占据空间、争夺营养而抑制病原菌的生长, 表现为一种生态效应。这些有生命的生物体和无生命的化学物质之间差异太悬殊, 其研究、开发的思路和使用方法各不相同, 不宜都归于农药的范畴, 而应归为生物防治的一种手段。生物农药和传统的化学农药同属于农药的范畴, 其最大的区别在于前者是生物合成的, 后者是人工化学合成的。但随着社会的进步、科学的发展, 两者的界限会越来越模糊。

(3) 认为生物农药既包括活体生物也包括生物体的代谢产物 活体生物即天敌动物、天敌微生物、转基因植物等生物体的代谢产物是指植物提取物、抗生素、信息素等。不同国家的农药管理部门对生物农药的概念和内涵亦有不同的界定, OECD (国际经济合作与发展组织) 提出的生物农药的定义包括: ①信息素; ②昆虫和植物生长调节剂; ③植物提取物; ④微生物; ⑤大生物 (主要指捕食性和寄生性昆虫天敌)。OECD 没有将抗生素列入生物农药范畴。欧洲经济和货币联盟 (简称欧盟) 农药登记指令 91/414/EEC 虽然采用 OECD 关于生物农药的定义, 但在登记时仍将信息素、植物提取物等视作化学农药, 而且不允许转基因植物登记。EPA (美国环境保护局) 界定的生物农药包括: ①微生物农药 (指活体微生物); ②生物化学农药 (包括信息素、激素、天然的昆虫或植物生长调节

剂、驱避剂以及作为农药活性成分的酶)；③转基因植物。其中“生物化学农药”还必须具备两个条件：①对防治对象没有直接毒性，而只有调节生长、干扰交配或引诱等特殊作用；②必须是天然产物，如果是人工合成的，其结构必须和天然产物相同（允许异构体比例的差异）。显然 EPA 没有将抗生素列为生物农药，也没有笼统地将植物提取物列为生物农药（除非植物提取物符合生物化学农药的条件）。我国农药管理机关对生物农药的界定类似于 EPA，在正式文件中将微生物农药和生物化学农药视为生物农药。

从上述关于生物农药概念的介绍不难看出，因为出发点不同，看问题的角度不同，人们往往会对同一术语、同一概念有不同的理解、不同的表述。本书主要采用 L. G. Copping 主编的“The Bio-pesticide Manual”中关于生物农药的界定，包括：①微生物农药（病毒、细菌和真菌）；②昆虫致病性线虫；③植物源农药（植物提取物）；④微生物的次生代谢产物（抗生素）；⑤昆虫信息素；⑥转移到植物中可表达抗虫抗病及耐受除草剂的基因。此外，本书将天敌昆虫也纳入了生物农药的范畴。

1.2 生物农药的特点

与传统的合成化学农药相比，生物农药具有下述特点。

(1) 对哺乳动物毒性较低，使用中对人、畜比较安全。生物农药中的活体生物（包括微生物）、信息素等对靶标有明显的选择性，乃至专一性，因而基本上不对哺乳动物构成威胁。生物农药的植物提取物和抗生素往往具有不同于化学农药的作用机制或具有特异的靶标，因而对哺乳动物毒性较低，如印楝素，对昆虫主要表现为拒食作用和干扰生长发育，对大鼠急性经口 LD_{50} 值大于 $5000\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，对兔急性经皮 LD_{50} 值大于 $2000\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；鱼藤酮对大鼠急性经口 LD_{50} 值为 $132\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，对兔急性经皮 LD_{50} 值为 $1500\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ；除虫菊素Ⅰ和除虫菊素Ⅱ对大鼠急性经口 LD_{50} 值为 $340\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，

急性经皮 LD_{50} 值大于 $600\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。亦有少数抗生素毒性较高，如阿维菌素，对大鼠急性经口 LD_{50} 值仅为 $10.06\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，但急性经皮 LD_{50} 值大于 $380\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，而且因其活性极高，其制剂有效成分含量很低，如 1.8% 爱力螨克（阿维菌素）乳油含 abermectin 仅 1.8%，对大鼠急性经口 LD_{50} 值为 $650\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，对兔急性经皮 LD_{50} 值大于 $2000\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，一般稀释 4000~6000 倍喷雾，因而在使用中仍然对人畜安全。

(2) 防治谱较窄，甚至有明显的选择性 大多数生物农药，特别是昆虫天敌、活体微生物以及昆虫信息素对靶标有明显的选择性，有时甚至表现为专一性，即只对部分靶标生物有效。以昆虫天敌为例，棉田、麦田的异色瓢虫、七星瓢虫、龟纹瓢虫等主要捕食棉蚜、麦蚜，松毛虫赤眼蜂和螟黄赤眼蜂主要寄生棉铃虫卵、松毛虫卵、玉米螟卵；以活体微生物为例，即使是广泛使用的 B. t. 制剂，其株系或品种之间的专一性也是很强的，如有的株系主要对某些鳞翅目幼虫有效，布氏白僵菌主要防治天牛、金龟子，玖烟色拟青霉主要防治白粉虱，淡紫拟青霉主要防治根结线虫，胶孢炭疽菌孢子专一性地寄生菟丝子；以植物提取物为例，苦皮藤素主要用于防治某些鳞翅目害虫如小菜蛾、菜青虫、槐尺蠖等，但对同是鳞翅目的甜菜夜蛾、甘蓝夜蛾、小地老虎等根本无效；再以抗生素为例，井冈霉素对水稻纹枯病、小麦纹枯病高效，对稻曲病也很有效，但对其他许多病害却防效很差，甚至根本无效。

(3) 对环境压力小，对非靶标生物比较安全 生物农药中的活体生物（微生物和天敌昆虫等）本身就是自然环境存在的生物体。这些生物体死亡后很快就被其他微生物分解，不可能对环境产生不利影响。植物提取物、抗生素则是植物和微生物的次生代谢产物，亦是天然产物，在环境中容易通过光解、水解、酶解等途径降解，在自然界参与能量和物质的循环，不会像一些化学农药那样引起残毒、生物富集等问题。前已述及，许多生物农药对靶标生物具有选择性，乃至专一性，而作用方式往往又多是而非毒杀性的，因而对非靶标生物，特别是对鸟类、兽类、蚯蚓、害虫天敌及有益微生物影

响较小。笔者等曾对 0.2% 苦皮藤素乳油进行过系统的非靶标生物安全评价, 结果表明: 鹌鹑急性经口 LD_{50} 值 2880.6~2885.6 $mg \cdot kg^{-1}$, 对鸟类低毒; 红鲫鱼的 LC_{50} (72h) 值为 171.1 $mg \cdot L^{-1}$, 对鱼类低毒; 意大利蜜蜂饲喂 LC_{50} 值为 1660.0 $mg \cdot L^{-1}$, 触杀 LC_{50} 值为 9213.0 $mg \cdot L^{-1}$, 对蜜蜂低毒; 对家蚕 LC_{50} (触杀) 值为 3277.3 $mg \cdot L^{-1}$, 低毒; 对蚯蚓 LC_{50} (3d) 值为 2178.8 $mg \cdot L^{-1}$, 低毒; 对泽蛙蝌蚪 LC_{50} (7d) 值为 72.8 $mg \cdot L^{-1}$, 低毒; 对七星瓢虫、异色瓢虫和龟纹瓢虫 LC_{50} (触杀) 值为 1893.2~1948.7 $mg \cdot L^{-1}$, 低毒; 对土壤微生物群落无明显影响。生物农药的这一特点不仅有利于保护生态平衡, 而且有利于有害生物综合治理 (IPM) 方案的实施。

(4) 对靶标生物作用缓慢 和传统化学农药作用的速效性相比, 大多数生物农药尤其是活体微生物及某些植物提取物和抗生素对靶标生物作用缓慢。如细菌杀菌剂 *B. t.* 制剂防治小菜蛾, 施药后 1d 基本上不表现防效, 往往要 3d 后才表现出明显的防治效果; 病毒杀虫制剂, 真菌杀虫制剂, 因病毒或真菌孢子首先要对寄主侵染, 然后在寄主体内大量繁殖, 害虫从被感染到死亡大约要 3~5d 时间。植物杀虫剂印楝素制剂、苦皮藤素制剂防治小菜蛾, 大田施药 3d 后才有 80% 以上的防治效果。抗生素制剂阿维菌素, 在推荐浓度下防治小菜蛾, 施药后 1d 防效往往不到 60%, 3d 后方可达 90% 以上。生物农药的这种缓效性, 在遇到有害生物大量发生迅速蔓延时往往不能及时控制危害。

1.3 生物农药的前景

生物农药目前在世界农药市场所占的份额还很小。1995 年全球农药市场是 290 亿美元, 其中生物农药为 3.8 亿美元, 约占世界农药市场的 1.3%。截至 2000 年, 中国已注册登记生物农药有效成分品种 77 个, 占农药有效成分品种的 13.4%; 产品 691 个, 占注册登记农药产品的 7.1%。产量接近 10×10^4 t 制剂, 使用面积

$0.27 \times 10^8 \text{ ha} \cdot \text{次}$ ($4 \times 10^8 \text{ 亩} \cdot \text{次}$)[●]。

尽管生物农药目前在世界农药市场所占的份额还很小，但由于其对人畜毒性小，环境兼容性好，有害生物不易产生抗性等优点而符合现代社会对农业生产及农药的要求。特别是跨入 21 世纪后，各国政府更加强调环境保护，更加注重可持续农业的发展，公众也更加关注自身健康，崇尚有机食品。这种形势将促进生物农药的快速发展，预计全球生物农药的需求量将以每年 5.6% 速度增长，所占的农药市场份额将越来越大。

● $1 \text{ 亩} = \frac{1}{15} \text{ ha}$ 。