

华 / 中 / 师 / 范 / 大 / 学 / 出 / 版 / 基 / 金 / 丛 / 书

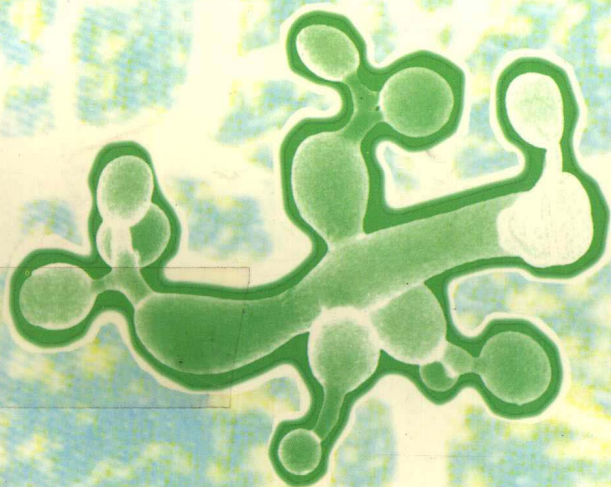
杀虫微生物学纲要

SHACHONG WEISHENGWUXUE

GANGYAO

洪华珠 杨 红 编著

华中师范大学出版社



杀虫微生物字纲要

中国科学院微生物研究所编

1954年10月

中国科学院微生物研究所

中国科学院微生物研究所



杀虫微生物学纲要

洪华珠 杨 红 编著

华中师范大学出版社

1998·武汉

(鄂)新登字 11 号

图书在版编目(CIP)数据

杀虫微生物学纲要/洪华珠 杨红编著.

—武汉:华中师范大学出版社,1998.10.

ISBN 7-5622-1631-2

I. 杀…

II. ①洪…②杨…

III. 杀虫微生物学—纲要

IV. Q93-3

杀 虫 微 生 物 学 纲 要

© 洪华珠 杨红 编著

华中师范大学出版社出版发行

本社照排中心排版

(武昌桂子山 邮编:430079 电话:(027)7876240)

新华书店湖北发行所经销

武汉大学出版社印刷总厂印刷

责任编辑:张小新 严定友

封面设计:甘 英

责任校对:崔毅然

督 印:朱 虹

开本:850 mm×1168 mm 1/32

印张:12.75 字数:314 千字

版次:1997 年 6 月第 1 版

1998 年 10 月第 2 次印刷

ISBN 7-5622-1631-2/Q·22

印数:1 001—4 000

定价:17.00 元

本书如有印装质量问题,可向承印厂调换。

内 容 提 要

杀虫微生物学是一门新兴的应用生物基础学科,最近几十年来发展很快。本书内容主要包括各种杀虫微生物的形态分类和生物学、昆虫与微生物的关系;微生物防治;流行病学;杀虫微生物的分离和鉴定;微生物杀虫剂的生产和标准化以及杀虫微生物的基因工程等。对杀虫微生物学的基础理论、基本知识和近期研究成果均作了介绍和阐述。其中,昆虫病原原生动物和昆虫病原线虫虽不属于微生物,但与昆虫的疾病有着密切的联系,所以也在本书作了介绍。

本书可供昆虫学、微生物学、动物学、植保、森保科学和经济昆虫养殖工作者参考,也可作为综合性大学生物系、农林院校植保系等相关专业师生的教材和教学参考书。

目 录

第一章 导言	1
第一节 杀虫微生物在控制害虫中的作用	1
第二节 微生物杀虫的特点	4
第三节 微生物杀虫剂的发展与发展方向	7
第二章 昆虫与微生物的关系	13
第一节 昆虫与微生物的共生关系	13
第二节 微生物与昆虫的疾病	15
第三节 昆虫对有害微生物的防御	20
第三章 昆虫病毒	32
第一节 引言	32
第二节 杆状病毒	36
第三节 其它 DNA 病毒	57
第四节 质型多角体病毒	66
第五节 其它 RNA 病毒	73
第四章 杀虫细菌	83
第一节 概述	83
第二节 苏云金芽孢杆菌	87
第三节 其它芽孢杆菌	112
第四节 其它杀虫细菌	123
第五节 放线菌	129
第六节 立克次体	131
第七节 软皮纲	134
第五章 真菌	139
第一节 概述	139

第二节	半知菌·····	151
第三节	接合菌·····	170
第四节	鞭毛菌·····	181
第五节	其它杀虫真菌·····	189
第六章	昆虫病原原生动物·····	194
第一节	原生动物的分类·····	194
第二节	寄生于昆虫的真孢子虫·····	197
第三节	寄生于昆虫的微孢子虫·····	202
第四节	其它昆虫病原原生动物·····	214
第七章	昆虫病原线虫·····	216
第一节	昆虫病原线虫概述·····	216
第二节	昆虫病原斯氏线虫·····	225
第八章	微生物防治·····	231
第一节	微生物防治的现状及进展·····	231
第二节	微生物防治的安全性·····	236
第三节	影响微生物防治效果的因素·····	240
第四节	微生物防治的方法及策略·····	244
第五节	微生物防治的实例·····	248
第六节	害虫对微生物杀虫剂的抗性及其防治策略·····	256
第九章	流行病学·····	263
第一节	术语与概念·····	263
第二节	流行病模型·····	264
第三节	影响流行病的关键因子——病原体·····	270
第四节	影响流行病的关键因子——宿主·····	276
第五节	影响流行病的关键因子——环境因子·····	280
第十章	微生物杀虫剂的生产和标准化·····	286
第一节	细菌杀虫剂的大量生产和标准化·····	286
第二节	病毒杀虫剂的大量生产和标准化·····	312

第三节	真菌杀虫剂的生产.....	321
第十一章	杀虫微生物的基因工程.....	332
第一节	杆状病毒的基因工程.....	332
第二节	苏云金芽孢杆菌的基因工程.....	348
第三节	抗虫转基因植物.....	362
第四节	杀虫微生物基因工程展望.....	371
第十二章	杀虫微生物的分离和鉴定.....	373
第一节	分离样品的采集.....	373
第二节	杀虫微生物的分离和培养.....	377
第三节	杀虫微生物的鉴定.....	386
主要参考书目		397

第一章 导 言

杀虫微生物是指那些由于微生物本身寄生导致宿主昆虫致病和死亡,或者其代谢产物能直接杀死昆虫的微生物。它们包括昆虫病原细菌、昆虫病原真菌、昆虫病毒、原生动物、立克次体、支原体、线虫等类群,还包括许多能够产生杀虫素的放线菌。目前已知可以杀虫的微生物有近 3 000 种,并且这个数目还在不断的增加。在这些杀虫微生物中,已有不少用于防治农业、林业、畜牧和卫生方面的害虫,并逐步形成了一种防治害虫的新方法——微生物防治。用于控制害虫虫口的微生物或其产物叫微生物杀虫剂。微生物防治已成为当前防治害虫的最有价值的方法之一。

第一节 杀虫微生物在控制害虫中的作用

一 害虫的微生物防治

人类从刀耕火种以来,一直备受害虫的威胁。每年被害虫侵吞的粮食约占总产量的四分之一。此外,还有许多卫生害虫直接危及人体健康。害虫的猖獗是自然界生态平衡被破坏的结果,所以害虫的防治是一个复杂的生态学问题,而不是简单地治治就能解决的问题。长期以来人们寄希望于化学农药,不惜投入大量的人力、物力去研制化学农药;但是单一地使用化学农药,不但不能解决问题,结果还面临三大难题无法解决:①环境污染,残毒上升,人畜均遭毒害;②害虫抗药性直线上升,用药浓度不断提高,防治费用不

断增加,不得不无休止地研制新型农药;③杀伤天敌、破坏了生态平衡,引起害虫再猖獗和次级害虫大暴发。这在国外称为“三R”(即:Resistance, Residue & Resurgence),意思是抗性、残毒、再猖獗三大问题。有些地方由于大面积喷撒化学杀虫剂,结果使大量的鱼、鸟、家禽中毒死亡,包括蚯蚓在内的一些低等动物亦被毒杀,甚至危及人类,导致严重中毒症状,产妇的死胎、怪胎和缺陷型胎儿明显增多。据资料报道,当前发展中国家农民由于缺乏科学知识和安全措施,每年有200万人农药中毒,其中2%的人(约4万人)死亡。平均每10分钟有28人中毒,每17分钟就有1人死亡。与此相反,昆虫的抗性却成百成千倍地增强,自从害虫对DDT产生了抗性之后,相继有500余种新的化学农药被研制出来,这些新的杀虫剂往往开始还奏效,但过不了多久就失效了。经过与害虫长期反复的较量,人们已从实践中逐渐认识到必须对害虫采取综合治理的措施,才能有效地控制害虫的危害。

其实,自然界害虫的消长有一定的规律性,随着害虫种群的增加,合理地人工传播杀虫微生物是控制害虫的最有效途径之一。事实上,早在化学农药出现之前,已经开始试用了几种有效杀虫微生物,最典型的是绿僵菌(*Metarhizium*, 1865~1870)和苏云金杆菌(*Bacillus thuringiensis*, 1901~1936)。只是由于化学农药的出现及其所表现的高效而快速的杀虫威力,激发了人们试图通过化学农药干净彻底地扑杀害虫、使它们在地球上绝迹的热情。然而事与愿违,害虫反而更加猖獗,甚至出现抗化学农药的新种。于是人们重新想到了微生物防治,由此杀虫微生物防治害虫的研究得到了新的发展。近年来,不少生产杀虫微生物的新技术进一步提高,许多新的杀虫微生物资源不断被开发利用,新型微生物杀虫剂相继诞生,并像化学农药一样商品化。表1-1(见第5页)列出了近几十年来开发的几类微生物杀虫剂。这些微生物杀虫剂不仅对人畜和害虫的天敌无害,还能长期控制害虫的虫口。至今还没有发现害

虫对这些微生物杀虫剂产生严重的抗性,杀虫微生物在害虫的防治中已经发挥了巨大的作用。

二 杀虫微生物和农业生态系统的管理

如上所述,害虫的暴发成灾是一个复杂的生态学问题,作为防治害虫的基本策略,有必要考虑到改变农业生态系统本身的结构。由于人们要发展生产增加粮食的产量,势必改进栽培技术;由于栽培技术的进步和大面积单一种植农作物,使得农业生态系统的结构向更有利于害虫发生和发展的方向转化。如果不及时调整,必然很快会引起害虫猖獗成灾。因此害虫的防治问题,最后必须放到农业生态系统管理的高度来认识。

在农业生态系统中,人工地传播杀虫微生物或引种使其自然传播,可以导致多种昆虫的流行病,这种方法在一定的条件下能长期抑制害虫的虫口。

许多类群的杀虫微生物有能力侵入昆虫体内,并在其中增殖,从而导致昆虫的疾病,并使昆虫死亡。这种由于杀虫微生物的活动所引起的昆虫疾病一般称为传染性疾病,传染性疾病在适当的条件下能在昆虫的种群中形成地方病(enzootic disease)或者流行病(epizootic disease)。

在林地及其他作物的生态系统中加强微生物环节,建立植物、昆虫、昆虫病原微生物的食物链,并在此基础上扩大生物多样性,发展一定程度的食物网,有可能使生态环境沿着良性循环的方向发展,达到生态平衡。

当前,人们已经充分认识到保护生态环境和农业的可持续发展,已成为 21 世纪人类面临的两大中心问题。因此,我们应该重视利用杀虫微生物的研究,并将微生物防治与农业生态系统的管理结合起来,在发展以生产绿色食品为目标的现代农业工程中,把杀虫微生物的基础研究和应用研究推向新阶段。

第二节 微生物杀虫的特点

一 微生物杀虫的一般优点

与化学农药相比,微生物杀虫剂用于防治害虫有下列优点:

(一) 害虫不易产生抗药性

化学杀虫剂的使用虽然只有 40 多年的历史,但是在不断更新换代,而害虫的抗药性却呈直线上升,致使防治费用不断地提高,甚至要花费比保护得来的增产更多的资金。而杀虫微生物与昆虫在长期共同生活的过程中,适应了昆虫的防卫体系,它们依靠昆虫而生存下来。可以说昆虫对一些病原微生物的免疫能力几百年乃至几千年来都是保持在一个很低的水平。多年来人们试图筛选对某些病原微生物有抗性的益虫而未获成功,就是很好的例证。

(二) 有较强的选择性,一般对脊椎动物无害

昆虫病原体的宿主特异性虽然程度不同,但一般来说选择性都比较强。因此,微生物杀虫剂具有对人畜等防治目标以外生物(非目标生物 non-target organism)安全无害的特点。甚至对于天敌昆虫也是安全的。尤其是有些在昆虫种群中传播很快的专性病原体,其杀虫范围十分狭小,甚至杀虫只限于某一种或少数几种昆虫,以至于影响到它们的推广应用。

(三) 病原体可通过病虫或虫尸散布蔓延

一般来讲,昆虫是各类昆虫病原体最理想的培养基,特别是对一些专性病原体来说,甚至是不可代替的培养基。病原体能在虫体内增殖,最后能产生具有感染力的繁殖体,如芽孢、分生孢子、病毒多角体等,去感染其它健康昆虫,尤其是在虫口密度较高时蔓延传播更快。

(四) 通过对病原体的选择,可以获得致病力强的品系

杀虫微生物资源丰富,可以通过分离筛选的方法获得致病力

更强的菌株,例如球孢芽孢杆菌在定名后,一直被认为是一种腐生菌;发现了 K 菌株后,才了解它对蚊幼虫有毒,是一种病原菌。1973 年又分离到一株名叫 SSII-1 的菌株,其杀蚊活性是 K 菌的 1 万倍,1979 年后又分离到另一株球形芽孢杆菌 1593,其芽孢的杀蚊活性又高于 K 菌的 100 万倍。此外,通过微生物的诱变选育的方法,也可以得到致病力较强的品系。据报道,核多角体病毒如果在宿主体内连续多次传代,其毒力也有所提高。

(五) 病原体不但能抑制目标昆虫,而且能深刻影响目标昆虫的种群

在应用微生物杀虫剂之后,不但能在短期内杀死害虫确保丰收,还能在一段时间内控制害虫的暴发,这是微生物杀虫剂明显优于化学杀虫剂之处。这里有两个原因:第一,微生物杀虫剂的选择性强,对天敌无害,保持了天敌对害虫的制约作用;第二,病原微生物在昆虫体内增殖,继续扩散传播。所以会出现用昆虫病原防治一次,多年控制害虫危害的情况。

二 不同杀虫微生物的杀虫特点

前面所述是利用杀虫微生物来防治害虫的一般特点。各类不同的杀虫微生物也各具自己的特点和不足之处,因此在使用时必须严格区分不同类群,扬长避短,注意应用策略。表 1-1 简要概括了不同杀虫微生物的主要特点。

表 1-1 不同杀虫微生物的主要特点

类群	大小	主要特点	已描述的种类
病毒	病毒粒子 13 nm ~400 nm, 包涵体 1.0 μm ~15 μm	(1)专一性强,杀虫范围窄小。 (2)需要活体培养。 (3)对人畜安全。 (4)包涵体有抗性。 (5)常形成流行病。	1 690 余种, 试验证明很 有前途,许多 已商品化。

表 1-1(续)

类群	大小	主要特点	已描述的种类
立克次体	0.3 μm ~ 0.6 μm	(1)许多致病性很强。 (2)可由卵传递。 (3)无抗性阶段。 (4)只能活体培养。	6 种可能有应用价值,但安全性不明。
支原体	100 nm $\times$ 250 nm 120 nm $\times$ (2 ~ 4)nm	(1)可由卵传递。 (2)可人工培养。	
细菌	0.5 μm ~ 50 μm	(1)不少种类能产生毒素,杀虫速度快。 (2)大多数便于工业生产。 (3)杀虫范围广。 (4)产生芽孢的细菌易于保存。 (5)不常形成流行病。	100 余种,多种商品化,并成功地应用。
真菌	5 μm ~ 数厘米	(1)能离体培养。 (2)孢子贮存持久。 (3)容易扩散。 (4)常形成流行病。	750 余种,部分引种,定植成功,部分批量生产。
原虫	2.0 μm ~ 20 μm	(1)安全。 (2)只能活体培养。 (3)一般由昆虫卵传递。 (4)抗性较强。	300 余种。
线虫	1 mm ~ 数厘米	(1)绝对安全。 (2)主动进入寄主。	新线虫 14 种, DD-136 已生产应用,索科线虫数十种。

(引自:陈曲侯,李琮池.昆虫病理学纲要.武汉:华中师范大学出版社,1989.)

第三节 微生物杀虫剂的发展与发展方向

一 微生物杀虫剂的发展

在整个耕种历史中,人们一直在与害虫打交道,很早就认识了許多昆虫病原微生物,并以此来杀灭害虫。据《本草纲目》记载,我国太湖地区蚕户就知道采集僵病死亡的野蚕,加水捣碎,喷洒在桑叶上,以此来防治一种桑螵的危害。梅契尼科夫(И. И. Мечников, 1845~1916)将患绿僵菌病的死虫或绿僵菌的孢子渗入土中,成功地引起了日本金龟子幼虫(*Popillia japonica*)发病,并且想出了用生产啤酒的麦芽汁来大量培养绿僵菌的方法,为开展微生物防治迈出了有实践意义的第一步。在梅契尼科夫研究工作的启发下,世界各地都进行了用真菌防治害虫的试验。随后美国用金龟子芽孢杆菌(*Bacillus popillia*)防治日本金龟子也取得了实际的成效。本世纪初,苏云金杆菌的发现,使微生物杀虫剂的研制步入了商品化。苏云金杆菌成为微生物杀虫剂的典型代表,因为它已经逐渐具备了适合短期防治的特性,即:①在昆虫病原中,杀虫谱较广;②具有强力杀虫效果;③迅速阻止摄食而防止对作物的危害;④能用人工培养基廉价生产;⑤可经长期贮藏;⑥可用通常的器具和方法进行撒播。由于苏云金杆菌具备有上述特性,它在杀虫效果和价格上均可以和化学杀虫剂相竞争,使用的面积已逐渐扩大。

在苏云金杆菌应用成功的鼓舞下,近来各种微生物杀虫剂生产有了飞速发展。防治目标害虫由农作物害虫、森林害虫扩展到卫生害虫。苏云金杆菌与白僵菌(*Beauveria*)在许多国家已成为有效的微生物杀虫剂,大面积用于防治害虫。病毒杀虫剂的研究起步也很快,美国至少有5种昆虫病毒的13种商品制剂,用于大田试验,其中“维朗/HZ”、“生防VHZ”与“Elcar”三种已经正式登记,产品

销售到国内外。此外,苏联、加拿大、日本、捷克、芬兰以及我国也都有昆虫病毒制剂的工业生产与应用。

随着对滥用化学农药危害性的认识,以及对无公害绿色食品的需求和对环境保护意识的增强,生态学工作者所主张的综合防治很快为人们所接受,并推广开来。世界范围内对生物农药的需求正在逐步增加。

二 我国杀虫微生物研究的成就

勤劳智慧的我国劳动人民在与害虫打交道的实践中,积累了丰富的经验,很早以前就认识了杀虫微生物,并创造了一些利用杀虫微生物控制害虫的有效办法。

公元2世纪左右的《神农本草经》中就已有“白僵菌”的记载。与此差不多时候的《淮南万草术》也提到“白僵(蚕)”这个名称。宋代陈旉著的《农书》卷下“蚕桑叙”(1149),在世界上首次描述了家蚕的僵病、脓病、空头性软化病等症状,并探讨了这些蚕病发生与环境因素的关系。尽管碍于当时的技术条件人们无法观察到引起这些疾病的微生物,但也知道了采集病死僵蚕捣烂用于防治害虫,积累了用微生物防治害虫的经验。

解放以后,党和政府十分重视新中国的科学技术研究,中国科学院在50年代成立了昆虫病理研究组,进行了昆虫病原细菌、昆虫病毒等方面的研究,许多高等院校和科研单位也相继开展了微生物防治害虫的研究。60年代初我国已开始引入苏云金芽孢杆菌,投入工业生产,与此同时应用与基础理论研究并进,取得了不少引人注目的成绩。70年代,微生物防治害虫的研究在我国普遍展开。我国分离筛选出大量的有效的杀虫微生物,如苏云金杆菌的山东变种(*B. t. var. shandongiensis*)、云南变种(*B. t. var. yunnanensis*)、武汉变种(*B. t. var. wuhanensis*)等都被世界公认为优良新变种。同时也在世界上首次发现一批新的昆虫病毒,

创造了白僵菌大面积防治玉米螟 (*Ostrinia nubilalis*)、松毛虫 (*Dendrolimus punctatus*) 等农林害虫的新方法。当然那时不免也受到了一些“左”的干扰,有些地区大搞群众运动,完全排斥化学农药,继而用土法生产微生物农药,由于质量得不到保证或者防治措施不够科学,使农业生产受到了一些不必要的损失。但是,从实践中人们还是逐步认识到杀虫微生物不仅是单纯的治虫问题,而且具有保护环境、有利于生态平衡、节省能源等方面的优点,具有强大的生命力。

改革开放以后,我国杀虫微生物的科研、生产、应用已走上了稳步前进的健康道路。国家对生物防治工作十分重视,把它看成是涉及千家万户、有利民族健康、造福子孙后代的大事。近年来我国杀虫微生物的研究在农、林、卫生等害虫防治上取得了很大的成绩,苏云金杆菌防治蔬菜害虫已在全国 177 个城市推广,应用面积达 $1.3 \times 10^5 \text{hm}^2$; 广东省林区马尾松毛虫每年有 $1.3 \times 10^5 \text{hm}^2$ 用白僵菌防治,效果很好。在昆虫病毒杀虫剂方面,据初步统计已有 21 株病毒研制成杀虫剂并通过省级鉴定,棉铃虫病毒杀虫剂进入了商品化生产。

三 杀虫微生物的发展方向

近百年来,杀虫微生物的发展,走过了一段曲折而艰难的历程,有成功的经验,也有失败的教训。其原因有来自化学杀虫剂的激烈竞争,也有杀虫微生物工作者的失误。但是总的看来,杀虫微生物的研究是在不断向前发展的。与此同时化学杀虫剂也在竞争中前进。针对这样的现实,各国都在制定新的策略提高微生物杀虫剂的效力。目前微生物杀虫剂的研究有三个最引人注目的发展方向。一是从生态学的角度向生态系统中引入天敌微生物,设法让其在比较长时间内定殖下来,并控制害虫的危害;二是从化学的角度,从微生物代谢产物中筛选高效低毒的杀虫物质;三是利用生物