

微生物农药及其产业化

喻子牛 主编

科学出版社

微生物农药及其产业化

主 编 喻子牛

副主编 柯 云 刘子铎 孙 明

科学出版社

2000

内 容 简 介

本书系统地介绍了杀虫微生物和抗生素微生物农药的最新进展和研究成果,特别介绍了现代生物技术在微生物农药研究开发领域的应用。全书全面系统地反映了我国微生物农药近几年的新进展、新成果以及目前所处的研究水平,对了解我国微生物农药现状以及确定未来发展研究方向,制定相应策略,促进国民经济发展具有现实意义。

全书内容丰富、新颖,既有理论,又有实践,更具应用和参考价值。

本书可供从事与微生物农药有关的农业、林业和卫生害虫微生物防治的教学、科研人员、生产厂家以及相关管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

微生物农药及其产业化/喻子牛主编. - 北京:科学出版社, 2000.12

ISBN 7-03-008896-4

I. 微… II. 喻… III. ①微生物农药-研究 ②微生物农药-化学工业-产业化-研究 IV. TQ458

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 55002 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

北 京 双 青 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2000 年 12 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2000 年 12 月第一次印刷 印张: 19

印数: 1—2 000

字数: 436 000

定价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<新欣>)

序 言

病虫害每年给种植业和养殖业造成巨大的损失，媒介昆虫传播的各种疾病危及人类的生存。虽然化学防治取得显著成效，但同时也带来了环境污染、抗药性等一系列问题。由此，生物防治异军突起，作为生物防治重要内容的微生物农药，具有对人、畜及害虫天敌极少或完全没有毒害作用的特点，不污染环境、保持生态平衡，保持农业、林业的可持续发展，适应人们对无公害农副产品、绿色食品的需求。利用现代生物技术，无论是细胞工程还是基因工程技术进行遗传改良，都能使微生物农药产量大幅度增加，克服天然株系缺点，使防治效果持效期延长，杀虫谱拓宽，防治成本降低，从而生产出新型微生物农药品种，使微生物农药展现出更加美好的前景。从 20 世纪 70 年代开始，生物防治受到了各国政府的重视。1992 年“世界环境和发展大会”的第 21 条决议提出“到 2000 年要在全球范围内控制化学农药的销售和使用，生物农药的产量达到 60%”。90 年代以来，全世界化学农药的销售量不断下降，代之而起的是微生物农药。我国政府十分重视土地及水资源环境保护，将“绿色食品和生物农药的发展”列入 21 世纪议程。

“九五”期间我国微生物农药研究更加深入，国家“九五”攻关计划生物技术开发生物农药课题，经过四年的攻关研究，在苏云金芽孢杆菌杀虫剂、昆虫病毒杀虫剂、植物用抗生素和动物用抗生素的生物技术育种、发酵工艺改进、新剂型研究、新产品的开发等方面取得了良好的进展，获奖科研成果 7 项，获得专利 2 项，3 种生物农药获得农药临时登记，形成中试生产线 19 条，发表论文 177 篇，促进了我国微生物农药事业的发展。

为适应保护生态环境、发展绿色食品和安全有效地控制农业、林业病虫害的需要，进一步推动我国微生物农药事业的发展，科技部生物工程开发中心与华中农业大学微生物农药国家工程研究中心于 1999 年 12 月初在武汉联合召开了“全国微生物农药研究及产业化研讨会”。会上有 60 多篇论文进行了交流，报告了我国微生物农药研究新进展和最新成果，并就我国微生物农药的发展现状、应用前景、新产品开发、产业政策和发展战略等问题进行了广泛交流和研讨。为扩大交流，今选择提交的部分论文编成此文集，以飨读者。希望本书能对我国微生物农药事业的发展起到积极推动作用。

徐庆毅 白新盛

科技部中国生物工程开发中心

1999 年 12 月 28 日于北京

前 言

《微生物农药及其产业化》一书凝聚着全部作者的心血和汗水。我们从提交给“全国微生物农药研究及产业化研讨会”(1999年11月30日~12月2日,武汉)的材料中,选录了部分论文,按农药分类的体系编排成微生物农药总论、微生物杀虫剂、微生物杀菌剂、微生物除草剂、微生物杀线虫剂和微生物植物生长调节剂共6个部分,由于微生物杀虫剂的论文较多,进一步划分为细菌杀虫剂、真菌杀虫剂、病毒杀虫剂、杀虫素和昆虫病原线虫。研究论文按类编在各个部分,涉及所有微生物农药的综述编在总论部分,只涉及某一方面的综述则放在各个部分。

微生物农药具有如下优点:(1)防治病虫害效果高;(2)对人畜安全无毒,不污染环境;(3)无残留,能保持农产品的优良品质;(4)害虫和病原难以产生抗性;(5)不杀伤害虫天敌和有益生物,能保持生态平衡;(6)用农副产品作主要原料来源广泛,生产工艺较简单;(7)能通过现代生物技术对发酵工艺和菌种进行改进和提高。因此,具有广阔的发展前景。本书总结了微生物农药过去研究工作的经验,提出了当前存在的问题,为未来的发展指明了方向,希望本书能对新世纪微生物农药的发展起推波助澜的作用,为可持续发展做贡献。

虽然,在征稿时对稿件提出了明确的要求,有些稿件却并非如此,加之在编辑过程中,水平有限,难免有疏忽和遗漏,谬误之处敬请原谅。

喻子牛

华中农业大学

1999年12月于武昌狮子山

目 录

序言.....	徐庆毅 白新盛 (i)
前言.....	喻子牛 (iii)

微生物农药总论

微生物农药在病虫害可持续控制中的应用及发展策略	喻子牛 柯云 刘子铎 孙明 (1)
我国生物农药的现状及其问题.....	顾宝根 姜辉 (13)
我国微生物农药存在的问题及解决对策.....	朱昌雄 (21)

微生物杀虫剂

细菌杀虫剂

我国苏云金芽孢杆菌杀虫剂产业化现状及出路	杨自文 王开梅 吴继星 钟连胜 (27)
细菌生物工程杀虫剂研究进展.....	孙明 刘子铎 李林 喻子牛 (35)
杀蚊细菌的研究进展.....	孙钊 张用梅 (45)
广谱重组苏云金芽孢杆菌的构建及其基因的高效表达	李荣森 高梅影 彭可凡 戴顺英 赵蔚 (55)
苏云金芽孢杆菌 <i>cry1</i> 类基因鉴定及工程菌构建	关雄 林毅 黄志鹏 黄必旺 陈建武 (62)
苏云金芽孢杆菌 <i>cry3Aa</i> 基因在不同受体菌中的转化与表达	李林 喻子牛 (67)
具有多种高效 <i>cry</i> 基因苏云金芽孢杆菌菌株 15A3 的特性.....	陈月华 王津红 李红秀 王飞 任改新 (73)
苏云金芽孢杆菌制剂增效因子的研究	王明道 贾新成 吴云汉 尹新明 (79)
双效菌素的生物测定方法及苏云金芽孢杆菌高产双效菌素菌株的筛选	喻晓辉 李晗 喻子牛 (86)
环流反应器培养苏云金芽孢杆菌的研究.....	杨建州 (92)
苏云金芽孢杆菌工程菌的发酵培养基的优选.....	操时树 鲁松清 喻子牛 (98)
防治地下害虫的苏云金芽孢杆菌新制剂的开发和利用	冯书亮 范秀华 王容燕 胡明峻 (105)
苏云金芽孢杆菌杀虫剂的剂型研究进展.....	刘明秋 戴经元 喻子牛 (109)

真菌杀虫剂

真菌生物技术与真菌杀虫剂的发展.....	李增智 樊美珍 (115)
----------------------	-----------------

白僵菌 Bb98 的液固两相发酵生产及其应用效果的初步研究·····	杨长举 蔡万伦 靳勇 (122)
蜡蚧轮枝菌的发酵培养基筛选及其产物的保藏温度研究 ·····	李国霞 郭友中 周夏娣 (130)
温度对蜡蚧轮枝菌蓟马菌株生长及产孢的影响·····	谢明 邱卫亮 万方浩 (136)
蜡蚧轮枝菌对害虫的侵染机理及其应用·····	郭友中 李国霞 杜家纬 (143)
病毒杀虫剂	
重组病毒杀虫剂研究及产业化的成就、问题与对策 ·····	胡志红 陈新文 孙修炼 王华林 彭辉银 (150)
·····	王汉中 张忠信 张友清 J. M. Vlak
广谱高效病毒杀虫剂的发展方向·····	洪华珠 彭建新 (156)
昆虫病毒增效蛋白基因工程 ·····	孟小林 袁哲明 徐进平 刘平 欧洋 马永平 胡蓉 柯江波 (162)
两种杆状病毒生产工艺研究·····	侯建文 赵烨烽 杨文勤 (169)
八字地老虎核型多角体病毒在替代宿主甘蓝夜蛾上增殖的研究 ·····	席景会 潘洪玉 陈玉江 李长友 刘伟成 (176)
杀虫素	
杀虫抗生素的研究进展·····	宋渊 (180)
昆虫病原线虫	
昆虫病原线虫对四种害虫的控制及产业化初探·····	潘洪玉 席景会 张浩 (187)

微生物杀菌剂

我国农用杀菌抗生素的研究开发现状和产业化展望·····	朱昌雄 蒋细良 (193)
大型真菌抗烟草花叶病毒 (TMV) 活性的初步筛选 ·····	孙慧 吴祖建 林奇英 谢联辉 (199)
防治油菜菌核病农抗 2-16 初步研究 ·····	曾洪梅 石义萍 刘泽银 张克诚 林德炘 (207)
多抗灵的研究·····	夏湛恩 桑金隆 施跃峰 姚杭丽 吴文娟 竺莉红 (211)
双稠哌啶类生物碱的高效毛细管电泳分离 ·····	蒋继宏 吴祖建 谢荔岩 谢联辉 林奇英 (219)
武夷菌素产生菌重组菌株 F029、F050 生理生化特性研究 ·····	张克诚 林德炘 曾洪梅 石义萍 (224)
拮抗菌对黄瓜霜霉病的防治效果·····	马利平 乔雄梧 高芬 郝变青 (232)
海洋放线菌 MB-97 抗生特性及高活性菌株的诱变选育 ·····	胡江春 薛德林 马成新 王书锦 (236)
宁南霉素防治辣椒病毒病药效试验·····	胡厚芝 陈家任 赵秀榆 李朝荣 (243)
枯草芽孢杆菌 B-916 分泌物对水稻纹枯病菌的抗生活性及其抗菌物质的研究 ·····	陈志谊 许志刚 陆凡 刘永锋 陈毓苓 (248)

微生物除草剂

- 微生物除草剂的研究和开发进展..... 余柳青 黄世文 徐正浩 (256)
利用稗草病原菌开发微生物除草剂的研究
..... 黄世文 Alan K. Watson 段桂芳 余柳青 (260)

微生物杀线虫剂

- 穿刺巴斯德氏柄菌的生物学与生物防治潜力的研究概况..... 潘沧桑 (267)
淡紫拟青霉防治植物线虫及其几丁质酶作用的研究进展
..... 丘文杰 潘沧桑 (276)

微生物植物生长调节剂

- 植物激素的研究与应用..... 谭红 肖亮 周金燕 (284)
天然脱落酸高产菌株的研究..... 谭红 李志东 雷宝良 杨杰 (291)

微生物农药在病虫害可持续控制中的应用及发展策略

喻子牛 柯云 刘子铎 孙明

(微生物农药国家工程研究中心, 华中农业大学微生物科技系,
农业微生物农业部重点实验室, 武汉 430070)

摘 要: 本文论述了微生物农药在病虫害可持续控制中的地位和作用, 概括地介绍了微生物农药研究和应用的现状, 分析了微生物农药发展中面临的问题和机遇。

关键词: 微生物农药; 应用; 发展策略

Applications and Policies of Microbe Pesticides in Standing Control of Plant Diseases and Insect Pests

Yu Ziniu, Ke Yun, Liu Ziduo, Sun Ming

(National Engineering Research Center of Microbe Pesticides,
Department of Microbial Science and Technology, Huazhong Agricultural University;
Key Laboratory of Agricultural Microbiology, Ministry of Agriculture 430070 Wuhan)

Abstract: The paper was expatiated the station and function of microbe pesticides in standing control of plant diseases and insect pests, introduced resumptively the actualities of the researches and appliances of microbe pesticides, analyzed the problems and accidents in development of microbe pesticides.

Key words: Micorbe Pesticides; Applications; Policies

1 病虫害给植物和动物生产造成的危害及其防治

1.1 动植物生产中病、虫、杂草、鼠害造成的损失

在农业生产过程中, 每年因病虫害造成巨大的损失。据 FAO 统计, 全世界农林业中每年因虫害、病害和杂草危害造成的损失占总产值的 37%, 其中虫害占 14%, 病害占 12%, 杂草占 11%。棉花每年因虫害损失 16%, 病害 12%, 草害为 5.8%。每年的损失额高达 1260 亿美元, 相当于中国农业总产值的一半, 英国的 4 倍多^[1]。我国 1993 年因病虫害粮食减产 10.4%, 棉花少收 52.2%^[2]。森林病虫鼠害每年平均发生面积都在 1.2 亿亩左右, 其损失在 50 亿元以上。1998 年我国畜禽疾病的流行和发生居高不下, 畜禽的死亡率分别为 8% 和 18%。每年因疫病和草原鼠害所造成的损失达 150 亿元以上。1998 年养殖产量达 2100 万吨, 但因病害和洪水危害, 损失达 15%, 海水养殖损失

30%，其经济价值达 150 亿元。民以食为天，人类的生存离不开植物生产和动物生产。在人口剧增、环境恶化、资源枯竭的严峻形势下，我国如何用占世界 3.22% 的耕地，养活占 22% 的人口，只有走具中国特色的可持续发展的道路^[3,4]。

1.2 病虫害的综合治理

病、虫、杂草和鼠害造成农牧业的巨大损失，为挽回这些损失，普遍采用了化学防治、生物防治、遗传防治、物理防治等方法。化学防治具有防治效果高，速度快，杀虫谱广，成本低，使用简便等优点，从而得到迅速发展，并成为防治病虫害夺取动植物生产丰收的一个重要手段。据统计，我国 1985 ~ 1994 年间化学防治面积占总防治面积的 75.4% ~ 95.2%，平均 86.1%^[2]。由于化学农药的长期、大量和反复使用，也带来了対土壤、水体和大气的污染，农副产品中农药残留增加，直接危害了人类的健康及生存；同时，害虫的抗药性不断加深和扩大，全世界至少已有 504 种害虫对农药产生了抗性，有的害虫抗性高达几万倍；此外，化学农药在杀灭害虫的同时，也杀伤了天敌及其他有益生物，破坏了生态平衡，引起害虫再增猖獗。这样，不得不加大农药的施用量和频度，从而造成化学农药应用的恶性循环^[2]。

20 世纪 40 年代后，农作物病虫害的防治一直以化学农药为主，形成一种“农药万能”的思想。直到 1962 年，卡尔逊发表了《寂静的春天》一书后，才引起政府与公众对化学农药的关注。化学农药所带来的危害——环境污染（特别是地下水和食品）、害虫抗药性、对非目标生物的影响、次要害虫爆发、目标害虫再猖獗、生产和市场费用逐渐增加、资源消耗，逐步被人们所认识。从 70 年代以来，国内外普遍提倡病虫害的综合防治。1976 年，美国科学家对害虫综合治理定义为：“害虫综合治理乃是一个多学科、偏重于生态系的对害虫种群的管理方法。它应用各种防治方法，配合成为一个协调的害虫管理系统。有害生物综合治理（IPM）实施乃是多战术的战略，但是在这些战术中，要充分利用自然防治因素，而只是在必要时，才用人工的防治害虫方法”。强调在任何情况下，防治策略都要使其所有的防治手段与环境中的自然调节因素或限制因素配合起来^[5-7]。

1.3 生物防治的可持续性

生物防治与其他方法相比，具有安全、有效、持久的特点。特别是避免了化学防治带来的一系列问题。1987 年美国国家科学院的专家将生物防治的定义扩大为：“利用自然的或经过改造的生物、基因或基因产物来减少有害生物的作用，使其有利于有益生物，如作物、树木、动物和益虫及微生物”。生物防治的方法基本上可归纳为三大技术体系：传统生物防治、本地天敌的自然保护与利用、微生物农药的产品化。随着生物防治的推广应用，微生物农药的研究与生产逐步成为生物防治的支柱产业。由于微生物农药具有许多优点，因而已引起许多国家的重视，并投入大量人力和物力进行开发和研究。1992 年“世界环境与发展大会”的第 21 条决议指出“要在全球范围内控制化学农药的销售和使用，到 2000 年生物农药的产量将占农药总量的 60%”。我国已将发展生物农药和绿色食品列入《中国 21 世纪议程》。在微生物农药迅速发展的过程中，国际上新型生物技术公司，如：Mycogen 公司、Ecogen 公司等应运而生，全球性大型化学农药公

公司和生物技术公司, 如: 美国的杜邦公司和孟山都公司、德国的拜耳公司、瑞士的汽巴嘉基公司、丹麦的 Novo 公司、日本的住友公司等也纷纷投巨资发展微生物农药。据美国环保局统计, 80 年代初, 苏云金芽孢杆菌杀虫剂的销售额仅 5000 ~ 6000 万美元, 80 年代末增至 5 亿美元, 预计本世纪初可达 80 亿美元^[5,8]。

2 微生物农药的研究和应用状况

2.1 微生物农药的内涵及种类

微生物农药是利用微生物及其基因产生或表达的各种生物活性成分, 制备出用于防治植物病虫害、环卫昆虫、杂草、鼠害, 以及调节植物生长的制剂的总称。能够用于制备微生物农药的微生物类群, 包括细菌、真菌、病毒、原生动物、线虫等, 昆虫病原线虫虽不属微生物, 但由于其致病机理与含活体的微生物杀虫剂类似, 且与一些细菌伴生, 故也将它归为此类。按照用途, 微生物农药包括微生物杀虫剂、微生物杀菌剂、微生物除草剂、微生物生长调节剂、微生物杀鼠剂、微生态制剂等^[1,9~13], 最近, 美国环保局和一些公司还把转苏云金芽孢杆菌杀虫晶体蛋白基因的抗虫植物称为微生物植物杀虫剂。有关微生物农药的种类与微生物类群的关系, 见表 1。

表 1 微生物农药的种类及其相关的微生物类群
Table 1 Kinds of microbe pesticides and correlative microbe

微生物农药种类 microbe pesticides species	微 生 物 类 群 microbe species				
	细 菌 bacteria	真 菌 epiphytes	病 毒 virus	原生动物 protozoan	线 虫
微生物杀虫剂	芽孢杆菌 赛氏杆菌 放线菌素发光光杆菌	白僵菌 绿僵菌 多毛孢 雕蚀菌	核多角体病毒 质多角体病毒 颗粒体病毒 痘病毒	微孢子虫	斯氏线虫 异小线虫
微生物杀菌剂	放线菌	真菌	病毒		
微生物除草剂	放线菌	鲁保一号			
微生物生长调节剂	芽孢杆菌	920 产生菌			
微生物杀鼠剂	沙门氏杆菌		病毒		
微生物生态制剂	芽孢杆菌 放线菌				
微生物植物杀虫剂	Bt 抗虫植物				

2.2 微生物农药的研究和应用

2.2.1 微生物杀虫剂

2.2.1.1 细菌杀虫剂

2.2.1.1.1 苏云金芽孢杆菌 苏云金芽孢杆菌杀虫剂是目前世界上用途最广、产量最大

的微生物杀虫剂。自 1938 年商品在法国登记以来, 它已经发展成为开发时间最长, 应用最成功的微生物杀虫剂, 占微生物杀虫剂总量的 95% 以上, 已有 60 多个国家登记了 120 个品种, 广泛用于防治农业、林业和贮藏的害虫, 以及医学昆虫。苏云金芽孢杆菌已鉴定了 70 个血清型, 82 个亚种, 它对无脊椎动物中的 4 个门, 以及节肢动物门中 9 个目的近 600 种昆虫和有害生物有活性。自 80 年代初克隆第一个杀虫晶体蛋白基因以来, 已经命名了 184 个亚类的基因。90 年代以来, 第二代细胞工程杀虫剂和第三代基因工程杀虫剂相继投入市场。我国自 1965 年第一个商品制剂“青虫菌”问世以后, 其产量长期稳定在 1 千到 2 千吨, 90 年代得到迅速发展, 已有 20 多个工厂登记了 30 多种产品, 年产量达 3 万吨, 并能部分出口^[14~16]。我国的细胞工程杀虫剂和基因工程杀虫剂即将问世。

2.2.1.1.2 球形芽孢杆菌 自 1965 年 Kellen 等首次分离到对蚊幼虫有毒的菌株 K 以来, 相继从世界各地分离到更高毒力的菌株, 在 48 个血清型中, 仅 10 个血清型中含有毒菌株。它的主要活性成分是在芽孢外膜外形成一至多个具蛋白质晶格结构的伴孢体, 降解成二元毒素而发挥作用, 已有几种商品制剂在灭蚊幼虫中发挥作用^[17]。

2.2.1.1.3 金龟子芽孢杆菌和缓死芽孢杆菌 它们是一种专性蛱蝶病原菌, 1948 年在美国登记了 Doom 制剂, 该制剂应用后能引起蛱蝶的流行病, 并能较长期地控制蛱蝶的危害。

2.2.1.2 杀虫素

2.2.1.2.1 阿维菌素 阿维菌素由日本北里 (Kitasato) 研究所与美国默克 (Maric) 公司联合用阿维链霉菌 (*Streptomyces avermitilis*) MA-4680 (NRRL8165 或 ATCC31271) 开发的一种大环内酯类杀虫素。它不仅对一些目的昆虫, 而且对动植物寄生线虫、螨类有很好的杀除效果。由于它具有内吸作用, 能有效防治潜叶蝇类等难以防治的害虫^[18]。1994 年美国默克公司该产品的销售额达 20 亿美元。去年, 默克公司已将阿维菌素的产品及市场以 100 多亿美元卖给了另外的公司, 而该公司又通过改造获得了效果更好, 毒理性更低的新产品。R. W. Burg 博士指出, 莫能霉素 (monensin) 的发现, 为抗生素在农业中的应用开拓了一个新领域, 而阿维菌素的发现是抗生素在农业上应用的第 3 个里程碑^[11,8]。

2.2.1.2.2 浏阳霉素 浏阳霉素 (macratrelic antibiotics) 是上海农药所筛选的活性物质属大四环内酯类杀螨抗生素。它对红蜘蛛有较强的生物活性, 而无杀卵作用。大田试验结果表明, 20% 复方浏阳霉素乳油施用在多种作物、瓜果上, 防治红蜘蛛效果达 85% 以上, 但还需进一步提高发酵效价, 降低生产成本, 扩大应用^[10,11]。

2.2.1.2.3 杀蚜素 杀蚜素是浙江农业科学院 70 年代初研制出的, 也是我国首次报道的农用杀虫素, 80 年代在 10 多个省推广应用, 除对蚜虫有显著防效外, 对红蜘蛛、壁虱等有较好的防效, 还对菜粉蝶、粘虫、孑孓等有效, 应用面积一度达几十万亩^[10,11]。

2.2.1.2.4 南昌霉素 南昌霉素是 1979 年江西农业大学筛选的链霉菌 32 号产生的杀虫素, 它对 30 多种害虫, 包括蚜虫、红蜘蛛、飞虱、夜蛾、螟虫等有不同程度的效果。它所产生的是酯溶性的多组分杀虫素, 组分 A、B、C、D 都有较强杀虫活性。在结构上与阿维菌素有所不同, 南昌霉素是一种具有我国知识产权的杀虫素, 但其发酵效价至今

仍较低^[11]。

此外,我国还有韶关霉素、梅岭霉素等杀虫素。

2.2.1.3 真菌杀虫剂

自19世纪末以来,利用真菌作为微生物杀虫剂的大量田间试验,曾经历过显著成功或完全失败的复杂曲折情况,导致认为效果不稳定。但随着对病原、寄主、环境条件的深入研究和田间防治实践,不少真菌制剂被工业化生产,并在森林和田间的大面积应用。杀虫真菌的种类很多,已发现的约有100多属800多种,其中以白僵菌、绿僵菌、拟青霉的应用面积最大^[9]。真菌杀虫剂与其他微生物杀虫剂相比,具有类似某些化学杀虫剂的触杀性能,并具广谱的防治范围、残效长、扩散力强等特点。其缺点在于作用比较缓慢,但其侵染过程较长,效果受环境影响较大^[19]。

2.2.1.3.1 白僵菌 白僵菌对多种农林害虫具有致死作用,已知的寄主昆虫达707种,大面积用于防治松毛虫、玉米螟和水稻叶蝉等害虫。近年来,美国环保局相继登记了几种白僵菌产品。我国白僵菌制剂的生产一直以林场自办小厂为主体,大多数自产自用。90年代初以来,在十多个省中年产30吨以上的工厂至少有64个,年产50~100亿孢子/克的产品,估计在3000~3500吨,防治松毛虫面积达2500~3000万亩,可挽回经济损失2~3亿元。除防治林业害虫外,还将其用于防治稻飞虱等害虫,也取得了较好的效果。白僵菌制剂产业化的重要问题是尽快实现标准化,解决大规模生产中的工艺技术问题,以及开发能耐贮藏的新剂型^[9,20]。

2.2.1.3.2 绿僵菌 绿僵菌主要用于防治地下害虫、天牛、飞蝗、蚊幼虫等。我国的绿僵菌生产工厂,产品含孢量为50亿个/克,萌芽率90%以上。用含孢量2亿/ml林间喷雾防治杨天牛,连续两年防效在70%以上,用于防治桃小食心虫效果可达90%以上,用于防治东亚飞蝗,处理后的第3天开始死亡,第7天死亡达50%,第10天达100%。另外,对蛱蝶亦有明显的防治效果,表现出较好的开发利用前景^[4]。

2.2.1.3.3 拟青霉 我国应用的淡紫拟青霉不但具有较高的杀虫活性,而且其发酵液具有类似生长素和细胞分裂素的作用。该菌主要用于防治大豆孢囊线虫和烟草根结线虫,还可以促进作物的生长,提高产量。用肉色拟青霉固体发酵孢子粉(含孢量80亿/克)每亩1.5公斤,掺25公斤细土均匀施撒,防治稻褐飞虱12天后虫口下降47.2%~81.6%^[9,19]。

2.2.1.4 病毒杀虫剂

昆虫病毒是害虫生态体系中不可分割的一部分,并在调节宿主昆虫的数量方面起重要作用。已经分离到昆虫病毒1200多种,其中不少种类具有生物防治潜力,并能感染许多重要的农林害虫。应用最多的有核型多角体病毒和颗粒体病毒。病毒杀虫剂具有宿主特异性强,能在害虫群体内流行,持效作用长等明显的特点。但是,制剂在生产过程中需大量饲养昆虫,施用效果受外界环境影响较大,宿主范围窄^[4,21]。

2.2.1.4.1 核型多角体病毒杀虫剂 1985年科技部投资在湖北蒋湖农场建立了我国第一座棉铃虫病毒杀虫剂工厂,1996年中国科学院武汉病毒所在武汉市汉阳区用该技术又建了一新厂,已具有年产500~600吨的生产能力,其产品防治棉铃虫经济有效。中

山大学研制的斜纹夜蛾核多角体病毒,也进入批量生产,在无公害蔬菜生产中发挥了应有的作用。

2.2.1.4.2 颗粒体病毒杀虫剂 武汉大学研制出了我国第一个经中试生产研究的颗粒体病毒杀虫剂,并将该小菜蛾颗粒体病毒杀虫剂与苏云金芽孢杆菌配制成复合制剂,能有效地防治十字花科蔬菜、油菜和板蓝根药材的菜青虫、大菜粉蝶、东方粉蝶、斑粉蝶等害虫,其防效为 74.4%~96.4%。

2.2.1.5 原生动物杀虫剂

80 年代以来,在内蒙古、青海、新疆等省区,由于干旱、过度放牧、滥垦草场,加剧了草场退化,并使得一些旱生性草原蝗虫发生情况日趋严重。1986 年,北京农业大学从美国引进蝗虫微孢子虫 (*Nosema locustae*),防治草原蝗虫,可使亚洲小车蝗、宽须蚁蝗、白边痲蝗和皱膝蝗等感病,既能在短时期内迅速压低虫口密度,又能引起流行病,达到长期控制种群的目的。

2.2.1.6 昆虫病原线虫制剂

昆虫病原斯氏属 (*Steinernema*) 和异小杆属 (*Heterhabditis*) 线虫是目前国际上新型的生物杀虫剂。它具有寄主范围广,对寄主动搜索能力强,特别是对土栖性及钻蛀性害虫,对人畜、环境绝对安全,并能人工大量培养的优点。

2.2.2 微生物杀菌剂

2.2.2.1 井冈霉素

井冈霉素是上海农药所 1972 年分离筛选出,对水稻纹枯病有良好防效的农用抗生素,现有 30 多个工厂生产。十多年来年产量(含 5% 制剂)稳定在 3~4 万吨,防治面积约 1.5~2.0 亿亩^[22],并有部分产品出口到东南亚。井冈霉素除具有微生物农药的优点外,还表现出:①效果高,持效期长,耐雨水冲刷。每亩用 3~5 克,持效期可长达 20~30 天。一旦被菌丝吸附,雨水难以冲掉。②发酵效价高,应用成本低。随着菌种和发酵技术的不断改进,发酵效价大幅度提高,生产工艺简单,从而成为防治纹枯病用药成本最低的农药品种。③未发现抗药性。一方面井冈霉素制剂含有多种组分,另一方面,它对纹枯病菌无致死作用,使其形成不正常分枝而影响致病力,不具备对抗性菌的筛选作用。因此,井冈霉素拥有稳定的市场而经久不衰。从衡量农药生命期的几个因素判断,井冈霉素的安全性不会改变,防治对象随着生产技术和用肥水平的提高,纹枯病只会增加而不会减少,但其抗药性也很难产生。因此,井冈霉素的生命期还会继续延长,除非 10~20 年内有更好的新农药出现。今后,井冈霉素的研究重点是提高有效组分的比例,使其达到 90% 以上^[10,22]。

2.2.2.2 公主岭霉素

公主岭霉素是吉林农业科学院 1971 年分离的放线菌 No. 769 产生的代谢产物,具有广谱抗植物病原菌作用,在 16 个省推广应用 4200 多万亩,对禾谷类黑穗病、水稻恶苗

病、稻曲病的防效显著,效果达95%以上^[10]。

2.2.2.3 春雷霉素

春雷霉素是一株小金色链霉菌产生的抗生素,它与日本的春雷霉素在结构上非常相似,对水稻稻瘟病菌特别敏感,能选择性地抑制某些真菌和一些细菌(包括假单胞菌)的生长。春雷霉素已经在许多国家注册应用,它不仅适用于水稻稻瘟病的防治,而且也适用于蔬菜、水果、豆类、糖甜菜、咖啡等作物的真菌或细菌病害。由于这种抗生素没有毒性,而且对耐庆大霉素的绿脓杆菌具有很强的抑制作用,所以它是一种农医两用的抗生素^[10]。

2.2.2.4 农抗 120

农抗 120 是中国农业科学院生防所针对农作物真菌病原菌筛选的一种真菌抗生素,它对多种农作物真菌病害,如白粉病、炭疽病、枯萎病、纹枯病等有很好的防效,增产显著。自 1984 年工厂化生产以来,经多处的试验示范和推广,累计应用面积在 500 万亩以上^[23]。

2.2.2.5 农抗 5102

农抗 5102 是华中农业大学 1972 年分离的吸水链霉菌应城变种产生三种抗生素(5102-I、5102-II、5102-III)的总称。这三种抗生素分别对水稻纹枯病、玉米小斑病和棉花枯萎病有良好的防治效果。5102-I 号抗生素具有井冈霉素类似的作用,对水稻纹枯病有显著的防治效果。另外,该菌的产物对水稻小粒菌核病和棉花立枯病也有明显的防治效果。70 年代末,应用面积曾达 20 万亩^[10]。

2.2.2.6 中生菌素

中生菌素(农抗 751)是由淡紫灰链霉菌海南变种产生的 *N*-糖苷类抗生素,其理化性质与谷津霉素类似,用于防治作物细菌性病害,如白菜软腐病、黄瓜角斑病、水稻白叶枯病等^[8]。

2.2.2.7 武夷菌素

武夷菌素是一种核苷类抗生素,它对多种农作物病害,尤其是真菌病害具有较好的防病增产效果,如对番茄叶霉病、番茄灰霉病、黄瓜白粉病、黄瓜黑星病、柑桔炭疽病等病害的防效均在 85% 以上^[10]。

2.2.3 微生物除草剂

随着除草剂的广泛应用,微生物除草剂引起了许多国家,如美国、澳大利亚、加拿大、俄罗斯等国的重视,并相继开展了大量的研究,所涉及的微生物有 80 多种,包括真菌、病毒、细菌等。美国有 24 个州列出了 50 多个研究项目,到 80 年代中期,已有 17 项取得了明显的防杂草效果,有的已进入大规模化生产。1999 年 9 月作者访问巴西时,生防所也筛选到除杂草效果显著的真菌,正在着手开发利用。

2.2.3.1 鲁保一号

鲁保一号是 60 年代初分离的一株对杂草大豆菟丝子有显著杀伤作用的毛盘孢。该制剂在大田应用后, 菟丝子开始发病, 到 10 天菟丝子死亡达 50%, 15 天可达 90% 以上。70 年代, 曾在我国 20 多个省推广应用 1000 多万亩, 防效 85% 以上, 平均可挽回损失 30% ~ 50%。在生产过程中, 菌种退化严重。

2.2.3.2 双丙氨磷

双丙氨磷 (Bialaphos) 是一种比较实用的除草抗生素, 它是 1972 年德国 Zohner 研究组分离的一种链霉菌 (*Streptomyces viridochromogenes*) 产生既抗细菌和又抗真菌的抗生素, 以后发现它有强烈的广谱杀草活性, 能防治一年生和多年生的农田杂草。它还是一种既速效, 又持效的除草剂。与此同时, 日本制果公司也独立从一种链霉菌 (*S. hygroscopicus*) 得到同样的产物, 后被命名为双丙氨磷, 化学结构为 (2-氨基-4-甲基磷酰-乙酰)-丙氨酰-丙氨酸。它是通过放线菌细胞融合而实现商品化的第一个具内吸作用能除多种杂草的制剂, 同时, 它还具有很高的杀螨活性。

2.2.4 植物生长调节剂

2.2.4.1 赤霉素

920 是一种双萜类化合物, 它是从引起水稻恶苗病的赤霉菌的代谢产物中分离获得的活性物质, 定名为赤霉素。它是一种广谱植物生长调节剂, 具有促进种子发芽, 植物生长, 提早开花结果的作用。它对水稻、蔬菜、花生、蚕豆、葡萄、柑橘、棉花等有显著增产作用, 同时对麦类、甘蔗、苗圃、茄类栽培亦有良好作用。我国自 50 年代以来, 一直在农作物上应用, 尤其在杂交稻上应用, 增产效果显著。

2.2.4.1 脱落酸

脱落酸是以异戊二烯为基本结构的倍半萜类化合物。1963 年美国 Addicot 等人从棉花幼铃中分离到能促进离体棉花去叶柄脱落的结晶物, 后命名为脱落酸。脱落酸对植物的生长具有加快花果脱落, 促进顶芽休眠, 抑制芽鞘、嫩枝、根、胚轴的生长, 促进气孔关闭等调控植物生理活动的功能。由于天然脱落酸生产成本低, 在应用上受到限制。利用微生物发酵获得脱落酸是降低生产成本的重要途径, 1990 年, 日本 TORAY 公司开始利用微生物发酵进行脱落酸的规模化生产, 它具有广阔的开发前景。

2.2.5 微生物制剂

为了调控生态平衡, 利用有益微生物群或其促生成分, 可制备成微生物制剂。微生物制剂根据用途可分为医学微生物制剂、兽医微生物制剂、植物微生物制剂、土壤微生物制剂等, 其品种繁多。五六十年代, 5406 制剂在促进作物生长、抗病和增产方面取得了显著的成效。80 年代, 中国农业大学研制以芽孢杆菌为主的增产菌, 亦具有促进植物生长、抗病、抗逆性等作用。

3 微生物农药发展中的问题及解决途径

3.1 加强农药管理, 实现可持续发展

环境是指与人类密切相关的影响人类生活和生产活动的各种自然力量的总和, 它是人类生活和生产的物质基础。农业生产主要是在自然条件下进行的, 它对自然条件的依赖是任何其他行业或部门所不能及的。如果生态环境遭到破坏, 农业的发展就会受到严重阻碍; 相反, 人类自觉保持生态平衡, 保护环境, 就会有利于农业的发展。加强农药管理, 减少有毒化学物质的释放, 降低土壤中农药的残留, 是保护生态环境的重要措施。因此, 美国、欧盟等许多国家, 制订了相应的法律法规, 严格限制或停止使用一些剧毒化学农药, 并制订了环境保护、食品管理等政策。我国也制订了《农药管理条例》、《环境保护法》, 建立了一批绿色食品生产基地, 实行绿色食品登记, 这为微生物农药的发展创造了良好的发展环境。但是, 在农药生产、销售和使用的各个环节, 法规的落实还不够有力, 要实现农业的可持续发展和使微生物农药得到广泛应用, 还需要各级政府加大力度加强农药管理。

3.2 加强中试研究, 加速实现产业化

我国微生物农药进行实验室研究、小试乃至中试的产品和品种很多, 而真正最终实现产业化的却寥寥无几。究其原因, 主要是大多中试鉴定成果, 未能解决产、销、用三个环节的实际问题。有的产品受技术和设备条件的限制, 其生产规模无法扩大; 有些虽然可进行大规模生产, 但生产工艺中某一环节的问题却不能解决, 而使生产水平不稳定; 有些则因为发酵效价低、成本高而无法进入大规模生产应用, 长期停留在实验室研究阶段; 有的还因为稳定性差, 剂型单一, 销售环节中运输和保藏问题不能解决, 导致应用效果不稳定, 从而制约了新产品的发展。为了加快微生物农药的发展, 国家计委投资建设的微生物农药国家工程研究中心, 预计 2000 年开始运行。该中心建成后, 将以开放的管理形式和灵活的合作机制, 广泛接纳国内外微生物农药上游成果, 并为其提供中试开发研究的条件, 促进科学成果迅速转化为生产力, 充分发挥该中心在微生物农药科研、中试、产业化中的纽带作用, 加快微生物农业的商品化, 带动行业的发展。

3.3 健全产品质量标准, 加强产品质量的监督和管理

产品质量是实现产业化的关键, 我国苏云金芽孢杆菌杀虫剂自 1965 年开始规模化生产以来, 由于产品质量没有可靠的标准, 产量一直徘徊在 1000 ~ 2000 吨之间, 经过长期协作攻关, “八五”期间建立了我国自己的产品质量标准。进入 90 年代, 由于产品质量的提高, 产量稳步增加, 近些年来年产量稳定在 3 万吨左右^[5]。然而, 除井冈霉素的质量检测有国家标准外, 绝大多数微生物农药产品, 尤其是含活体的产品, 没有具权威性的行业或国家标准, 从而制约了我国微生物农药行业的健康稳定发展。同时, 仅有部级检定所的监督和管理还不够, 还必须发挥地方所的作用。为加强这方面的工作, 农业部已批准建立“农业部微生物产品质量监督检测中心”。微生物农药质量标准的建立, 产品质量的监督和管理是该中心的主要任务之一。