



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

生物农药

SHENGWU NONGYAO

■ 主编 洪华珠 喻子牛 李增智



教育部直属师范大学
华中师范大学出版社

SHENGWUXUE

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

生 物 农 药

华中师范大学出版社

内 容 提 要

本书是高等院校植物生产类专业的教材,共九章,系统介绍了病毒农药、细菌农药、抗生素农药、真菌农药、植物农药、动物农药等不同类群生物农药的特点、作用机理、生产方法和使用技术,同时为了满足读者对生物农药研制知识的需求还安排了生物农药剂型、生物农药的创制、生物农药与可持续发展等内容,以体现理论与实践有机结合,有利于学生创新能力的培养。

本书体系新颖,基础理论与实际应用并重。每节开头都以框文形式陈述内容提要,每章末附有思考题。本书适合农林院校、综合性大学、生物工程职业技术学院本、专科学生及研究生学习使用,也可供农业、林业、生物工程等相关科技人员参考。

新出图证(鄂)字 10 号

图书在版编目(CIP)数据

生物农药/洪华珠,喻子牛,李增智 主编.

—武汉:华中师范大学出版社,2010.3

ISBN 978-7-5622-3980-2

I. 生… II. ①洪… ②喻… ③李… III. 微生物农药 IV. S482.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 104873 号

生物农药

主 编:洪华珠 喻子牛 李增智

选题运作:华中师范大学出版社第二编辑室 电 话:027—67867362

出版发行:华中师范大学出版社©

地 址:武汉市武昌珞喻路 152 号 邮 编:430079

销售电话:027—67863426 67863040 67867371 67861549 67867076

邮购电话:027—67861321 传 真:027—67863291

网 址:<http://www.ccnapress.com> 电子信箱:hscbs@public.wh.hb.cn

策划编辑:严定友 责任编辑:肖 颖 严定友 责任校对:张晶晶

封面设计:罗明波 印 刷 者:孝感市三环印务有限责任公司 督 印:章光琼

开本/规格:787 mm×960 mm 1/16 印 张:20.5 字 数:400 千字

版次/印次:2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1—3100

定 价:39.80 元

欢迎上网查询、购书

敬告读者:欢迎举报盗版,请打举报电话 027—67861321。



前 言

自 1992 年在里约热内卢召开的世界环境与发展大会确定了人类社会可持续发展 (sustainable development) 的原则和方针, 以及 1995 年在海牙召开的第 13 届国际植物保护大会提出可持续植物保护 (sustainable plant protection) 的概念以来, 人类社会开始转向可持续发展的模式, 世界各成员国相继制定了可持续发展战略与政策。生物农药 (biopesticide) 具有安全、有效、无污染、不造成生态损害以及良好的宿存和扩散能力等特点, 与保护生态环境和可持续发展的要求相吻合。近年来, 随着人们环境保护意识的增强以及对食品安全的关注, 生物农药的研究、生产和应用都呈现出蓬勃发展的新局面, 在可持续植物保护中的地位也得到了巩固和提高。

鉴于生物农药研发和产业快速发展的势头以及生物农药在植物保护中的特殊作用、在环境保护中不可取代的地位, 各农林院校都积极开设生物农药这门新课程。基于此, 教育部首次将《生物农药》列入普通高等教育“十一五”国家级规划教材。华中农业大学喻子牛教授提议组织国内开展生物农药教学科研较早的几个单位联合编写这本教材。于是华中师范大学农药与化学生物学教育部重点实验室、华中农业大学微生物农药国家工程研究中心和农业微生物学国家重点实验室, 以及安徽农业大学微生物防治省重点实验室的几位长期在生物农药教学科研第一线工作的教师共同申请编写这本教材, 并得到教育部的批准。

由于《生物农药》是植物生产类专业的一种新教材, 我们没有编写经验, 为了按教育部的要求做好教材的编写工作, 华中师范大学出版社组织全体编写人员对这本教材的编写进行了认真的讨论。讨论中最核心的问题是生物农药的概念如何界定。目前专家们对生物农药的提法较多, 见仁见智。争论最多的是植物农药和抗生素农药是不是生物农药, 转基因农作物算不算农药。我们认为学术争论可以继续, 对促进农药的发展有利。其实生物农药与化学农药的界定应该是相对的, 当前生物农药和化学农药都在创新和发展, 生物学方法与有机化学方法在农药生产中的综合运用已成为农药发展的一种新趋势, 都在取长补短。所以作为教



材, 考虑到系统性和多数人的意见, 我们仍然把来源于生物体的天然活性物质纳入生物农药, 将生物农药定义为“用生物活体、或生物代谢过程产生的具有生物活性的物质、或从生物体中提取的物质, 防治农林作物病虫草鼠害, 并可以制成商品上市流通的制剂”。至于在病虫害等防治中作用日益重要的转基因植物, 我们认为是新的作物品种, 并已经是植物生产类专业其他课程讲授的内容, 因此本教材中不作论述。最后, 我们确定了本教材编写体系, 首先按生物农药的来源分章, 再按来源于不同种群生物农药的用途分节编写, 对当前发展十分迅速的代谢产物类农药, 我们单列了抗生素农药一章。对每一种重要的生物农药都以来源生物的基本特征、作用机理、生产方法和应用技术为主线, 本着总结新成果、推广新技术、提炼新知识、注重实用性的原则来认真编写, 力求处理好基础性与实用性、系统性与先进性之间的关系。由于生物农药种类繁多、成分复杂, 同时各类生物农药研发、生产和使用情况差异很大, 这种编写体系也导致各章节较不平衡。这样的编写体系还有待实践检验, 希望同行们在使用中多提宝贵意见, 以利于修正。

本教材的绪论、第一章、第五章、第六章和第八章由洪华珠教授(华中师范大学)编写, 第二章和第三章由张吉斌教授和喻子牛教授(华中农业大学)编写, 第四章由李增智教授(安徽农业大学)编写, 第七章和第九章由李建洪教授(华中农业大学)编写。本教材在编写过程中得到了华中师范大学出版社的大力支持, 融入了华中师范大学出版社副总编辑严定友和责任编辑肖颖的大量心血, 同时华中师范大学昆虫学研究所所长彭建新教授辛苦审阅了全部书稿, 在此一并表示感谢!

由于生物农药尚属年轻学科, 国内还没有系统的教材参考, 当前生物农药又正值飞速发展之中, 生物农药的数量和内容在不断更新, 加之编者知识水平有限, 谬误之处在所难免, 敬请广大师生和读者批评指正。

洪华珠 喻子牛 李增智

2009年9月



目 录	
绪论	1
第一节 生物农药概述	1
一、定义和范围	1
二、生物农药的特点	1
三、生物农药的分类	3
第二节 生物农药的兴起和发展	4
一、生物农药的兴起	4
二、生物农药的发展	5
三、生物农药的发展方向	6
四、我国生物农药的发展态势	9
第三节 生物农药与农业生产	10
一、生物农药在植物保护中的作用	10
二、生物农药在生产无公害绿色食品中的作用	11
三、生物农药在维护农业生态平衡中的作用	12
第一章 病毒农药	14
第一节 病毒杀虫剂概述	14
一、病毒的主要特征	14
二、病毒的分类与命名	15
三、昆虫的病原病毒与病毒杀虫剂	17
四、病毒杀虫剂的作用特点	20
第二节 DNA 病毒杀虫剂	21
一、NPV 杀虫剂	21
二、GV 杀虫剂	28
三、EPV 杀虫剂	30
四、DNV 杀虫剂	32
五、其他 DNA 杀虫病毒	33
第三节 RNA 病毒杀虫剂	35
一、CPV 杀虫剂	35
二、其他 RNA 杀虫病毒	38



第四节 病毒杀虫剂的遗传改造	39
一、病毒杀虫剂遗传改造的研究进展	39
二、病毒杀虫剂遗传改造的方法	43
三、研究展望	46
思考题	47
第二章 细菌农药	48
第一节 细菌农药概述	48
一、细菌农药的分类	48
二、细菌农药的特点	50
第二节 苏云金芽孢杆菌杀虫剂	51
一、特征和分类	51
二、作用机制	55
三、基因工程菌	58
四、制剂生产工艺和应用	61
第三节 其他细菌杀虫剂	69
一、球形芽孢杆菌	69
二、金龟子芽孢杆菌	75
三、嗜虫黏质赛氏杆菌	77
四、梭状芽孢杆菌	77
第四节 细菌杀菌剂	78
一、假单胞菌	78
二、枯草芽孢杆菌	79
三、地衣芽孢杆菌	81
第五节 细菌杀线虫剂和杀鼠剂	82
一、穿刺巴斯德氏柄菌	82
二、肉毒梭菌	84
第六节 微生态制剂	85
一、抗菌作用机理	85
二、几种常用的微生态制剂	85
思考题	86
第三章 抗生素农药	87
第一节 抗生素农药概述	87
一、抗生素农药的分类	87
二、抗生素农药的特点	93
第二节 井冈霉素	94

一、井冈霉素产生菌的分类和特点	94
二、抗菌活性及安全性	96
三、作用机制	96
四、制剂生产工艺和应用	97
第三节 其他防病抗生素	98
一、嘧啶核苷类抗生素	98
二、N-糖苷类抗生素	102
三、嘧啶核苷肽类抗生素	105
四、苄氨基苯磺酸盐类抗生素	108
五、大环内酯抗生素	110
六、多组分抗生素	110
七、其他抗生素	111
第四节 阿维菌素	113
一、阿维菌素的结构和理化性质	113
二、阿维菌素的杀虫特征	114
三、阿维菌素生物合成相关基因	115
四、阿维菌素的生物合成	117
五、阿维菌素的制剂生产工艺和应用	117
第五节 其他杀虫抗生素	120
第六节 微生物杀螨剂	122
第七节 微生物除草剂	123
思考题	125
第四章 真菌农药	127
第一节 真菌农药概述	127
一、真菌的特征和繁殖方式	127
二、真菌的分类	130
三、可用于生产真菌农药的主要菌物	134
第二节 真菌杀虫剂	147
一、昆虫病原真菌和昆虫真菌病	147
二、真菌杀虫剂的生产	150
三、真菌杀虫剂的应用	160
第三节 真菌杀线虫剂	169
一、真菌的捕食现象	169
二、真菌杀线虫剂的生产和应用	171
第四节 真菌植病生防剂	173



一、利用真菌防治植物病害的作用方式	173
二、真菌植生防剂的生产和应用	176
第五节 真菌除草剂	178
一、真菌对植物的致病性	178
二、真菌除草剂的生产和应用	179
第六节 真菌农药的遗传改良	181
一、真菌的遗传机制	181
二、真菌菌种退化和防退	182
三、真菌优良菌种选育	183
思考题	188
第五章 植物农药	189
第一节 植物农药概述	189
一、植物农药的含义与发展	189
二、植物农药的分类	191
三、植物农药资源	194
第二节 植物杀虫剂	197
一、毒素类植物杀虫剂	197
二、拒食类植物杀虫剂	202
三、绝育类植物杀虫剂	204
四、其他植物杀虫剂	205
第三节 植物杀菌剂	206
一、植物杀菌有效成分	207
二、植物抗菌物质的抗菌机理	209
三、几种植物杀菌剂	210
四、病毒抑制剂	212
五、植物防御素	212
第四节 植物灭鼠剂及植物除草剂	213
一、植物灭鼠剂	213
二、植物除草剂	215
第五节 植物生长调节剂	217
一、植物生长调节剂的生理作用和应用	217
二、几种重要的植物生长调节剂	219
思考题	222
第六章 动物农药	223
第一节 动物农药概述	223



一、动物农药的含义和发展	223
二、动物农药的特点	224
三、动物农药资源	225
第二节 动物杀虫剂	229
一、原生动物杀虫剂	229
二、线虫杀虫剂	234
三、赤眼蜂	240
四、激素类杀虫剂	241
第三节 动物杀菌剂	243
一、海洋动物杀菌剂	243
二、抗菌肽	245
第四节 其他动物农药	246
一、动物毒素	246
二、昆虫信息素	249
思考题	250
第七章 生物农药剂型	251
第一节 生物农药剂型的原理	251
一、剂型作用	251
二、剂型种类	253
第二节 农药助剂	255
一、填充剂	255
二、润湿剂	256
三、分散剂	256
四、黏着剂	256
五、稳定剂	256
六、其他助剂	257
第三节 主要生物农药剂型	257
一、粉剂	258
二、可湿性粉剂	259
三、油剂	261
四、颗粒剂	263
五、其他剂型	265
思考题	267
第八章 生物农药的创制	268
第一节 生物农药的创制思路	268



一、21 世纪新农药的特点	268
二、生物新农药创制的现状和发展趋势	269
三、大力挖掘生物农药的生物资源	270
四、通过对生物农药的改造开发新农药	273
五、以化学和生物相结合的方法开发新农药	274
第二节 生物农药的创制过程	276
一、生物农药创制的一般过程	276
二、生物农药的筛选和鉴定	277
三、生物农药的毒理学	279
四、生物农药的残毒、残留及安全性	280
五、生物农药登记注册	282
六、生物农药的行业标准	282
第三节 创制生物农药的关键技术	283
一、生物活性物质的提取和鉴定	283
二、昆虫病原体的分离纯化与鉴定	284
三、生物农药的生物测定	287
思考题	294
第九章 生物农药与可持续发展	295
第一节 生物农药的环境安全性	295
一、农药对大气、水和土壤的污染	296
二、农药对水生生物的毒性	297
三、农药对陆生生物的毒性	298
四、农药对生物多样性的影响	299
五、土壤中农药的生物降解与污染土壤的生物修复	300
第二节 生物农药与人体健康	301
一、农药的毒性	301
二、农药对人体健康的影响与危害	303
三、农药对妇女和儿童的影响	304
四、农药对人体危害的预防和控制	304
第三节 生物农药与可持续发展	305
一、可持续农业的内涵及特征	305
二、生物农药在可持续农业发展中的地位和作用	308
三、生物农药发展中存在的问题及策略	310
思考题	312
参考书目	313



绪 论

第一节 生物农药概述

一、定义和范围

1. 定义

农药 (pesticide), 即杀害物剂, 系指用于防治危害农林牧业生产和卫生上的有害生物 (如害虫、害螨、线虫、病原菌、杂草及鼠类等) 与调节植物生长的药剂。农药按其来源, 可分为矿物 (源) 农药、化学合成农药以及生物 (源) 农药。

生物农药 (biopesticide) 指用生物活体、或生物代谢过程产生的具有生物活性的物质、或从生物体中提取的物质, 防治农林作物病虫草鼠害, 并可以制成商品上市流通的制剂。

2. 研究范围

在自然界中, 从简单的病毒到较复杂的动物和植物, 都可以从中发现具有农药作用的生物体或者由它们产生的生物活性物质。有些昆虫自身的性信息素可以把其他害虫引诱过来, 利于人类将其集中歼灭, 也能起到农药的作用。

害虫的天敌, 如赤眼蜂、丽蚜小蜂、食虫瓢虫、草蛉等, 也可以用来杀灭害虫, 从更广义的角度来看, 也是一种农药。利用鸭子、青蛙到稻田吃虫, 保护蛇类以消灭田鼠, 属于生物防治, 但这不是它们自身功能的主要方面, 所以我们不把它们称为农药。还有那些具有农药功能的转基因植物, 有的学者和一些国家的政府部门把具有农药功能的抗虫抗病转基因植物与化学合成农药、生物农药一起并列为第三类农药, 故本书也没有提及。

生物农药当前应用相当成功的例子是微生物农药, 包括病毒、细菌、真菌等。由于微生物农药可以用发酵的方法大规模生产, 并研制成不同的剂型, 因此已成为生物农药中应用量最大的一类, 其重要性日益突显, 应用范围越来越广。

二、生物农药的特点

与化学农药相比, 生物农药在农业上的应用有下列优点: ① 对病虫害防治效果好, 而对人畜安全无毒, 不污染环境, 无残留; ② 对病虫害特异性强, 不



杀伤害虫的天敌和有益生物，能保护生态平衡；③ 生产原料和有效成分属于天然产物，能保证可持续发展；④ 可用现代生物技术手段对产生菌及其发酵工艺进行改造，不断改进性能和提高品质；⑤ 由多种因素和成分发挥作用，害虫和病菌难以产生抗药性。

不同生物农药有其不同的优势，下面着重从三个方面详述生物农药一般都具有的特点。

1. 环境相容性

环境相容性是指农药对非靶标生物 (non-target organism) 的毒性低，影响小，在大气、土壤、水体、作物中易于分解，无残留影响。生物农药来源于自然，比较容易分解，大多数生物农药都有较高的选择性，有些是宿主特异性的病原体，一般对脊椎动物是低毒性的，因此，生物农药具有对人畜等防治目标以外生物安全无害的特点。比如生物农药中应用最多的微生物杀虫剂，它们绝大多数是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，甚至只限于某一种或少数几种昆虫，对于天敌昆虫完全是安全无害的。

由于生物农药对植物病原体、害虫、杂草的天敌无害或毒性极低，而天敌又制约着植物病原体、害虫、杂草的发生和为害，这就形成了生物防治的长期防治效果；另一方面，生物农药能直接杀死部分植物病原体、害虫和杂草，这即为生物防治的短期防治效果。如果加上其他防治措施的密切配合，我们不但可以用生物农药防治病虫害鼠害，使农林业生产免遭较大的损失，而且可以使捕食性天敌有食料来源，使寄生性天敌有宿主，在防治植物病原体、害虫、杂草过程中使它们长期地发挥作用，使农业生态保持局部平衡，从而预防病虫害鼠害的爆发。

2. 不易产生抗药性

化学农药的使用虽然只有 50 多年的历史，而且在不断更新换代，但病菌和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。大多数生物农药作用成分和作用机理复杂，病虫害鼠害对它们的抗药性发展很慢。特别是活体生物农药，其活体生物在与植物病原体、害虫长期共同生活的过程中进化，能适应它们的防卫体系，依靠它们而生存下来，因此多数生物农药本身能够在适应抗性的过程中发展。比如苏云金芽孢杆菌已发现 100 余年，其杀虫活性成分是一种细菌在生长过程中形成的一些毒素，在生物杀虫剂中防治害虫的效果是可以和化学农药媲美的，生产量很大，应用范围很广。虽然也发现害虫对它产生抗性，但抗性的影响较小并且容易克服，所以至今其生产规模还在不断扩大。还有些生物农药目前没有发现对它们产生抗性，有人试图筛选对某些病原微生物有抗性的益虫均告失败，这就是很好的例证。

3. 资源丰富，开发成本较低

由于现代农业和环境保护对新农药品种的性能要求日益提高，化学农药开发



的成功率愈来愈低。20 世纪 70 年代末至 80 年代初开发一个新品种大约需要随机合成筛选 1 万个化合物,并要通过详细的毒理和环境评价。开发一种新农药的耗资也日益增加,从 50 年代需 1 500 万美元到 80 年代需 5 000 万美元,甚至更高。研究开发的时间,从发现新化合物的生物活性到投产上市长达 8 年~10 年。

生物农药资源丰富,我们不仅可以在自然界找到更多的环境相容性更好、活性更高、更安全的生物农药资源,而且可以在原有的资源中通过分离筛选的方法获得生物活性更强的品系。例如球形芽孢杆菌在定名之前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,其芽孢的杀蚊活性是 K 菌的 100 万倍。现在球形芽孢杆菌已经开发成一种非常有效而安全的杀灭各种蚊幼虫的杀虫剂。此外,通过生物工程技术,也可以大大提高生物农药的活性和使用效果,或是大大提高生物产生生物活性物质的产量。例如对于农用抗生素就可以通过许多不同的方法提高产生菌的效价,由此可以用较少的投入产生很高的经济效益。

生产生物农药多半利用的是农副产品,属于可再生生物源。微生物农药一般是用农副产品的下脚料发酵而成,如一种海洋生物杀菌剂,是用海洋生物虾、蟹等甲壳动物的外壳经深加工而制成的生物农药,其主要功能是杀菌并兼有抗病毒作用。植物农药的有效成分存在于根、茎、叶、花、种子等不同部位,如烟草含有烟碱,豆科植物鱼藤含有鱼藤酮,菊科植物除虫菊的花含有除虫菊素,印楝树的种子含有楝素,经过工业化萃取后,即可作为农药。这些生物农药生产所用原料均为可再生生物源,产业可持续发展,发展前景良好。

综上所述,生物农药与农业生产、环境保护和社会发展具有良好的相容性,因此其研究与开发利用有着十分广阔的发展前景。

三、生物农药的分类

生物农药种类繁多,据估计有 5 000 余种,来源于不同的生物体,大到动、植物,小到十分微小的病毒;从生物农药的活性成分来看,有复杂的有机体、结构复杂的蛋白质,也有简单的化合物。为了教学和生产应用的方便,常常按生物农药的用途来分类,把它们分为生物杀虫剂、生物杀菌剂、生物杀螨剂、生物杀病毒剂、生物杀鼠剂、植物生长调节剂、生物杀草剂等,这种分类方法可以使人们明确生物农药的使用目的。第二种方法是按生物农药的来源分类,即按用于创制生物农药的生物类群,分为植物源农药、微生物源农药(细菌农药、真菌农药、病毒农药和农用抗生素等)以及动物源农药。第三种方法是按生物农药的活性成分来分类,可分为活体生物农药(病毒农药、细菌农药、真菌农药、动物农药等)、生物代谢产物类生物农药(农用抗生素、植物激素等)、生物体内提取农



药（植物农药、激素等），以这种方式划分出来的不同类型生物农药有不同的作用机理，有利于我们认识生物农药的本质。表1列举了几种有代表性的生物农药的不同分类方式。

表1 生物农药分类举例

按用途分类	按生物来源种类分类	按作用成分分类	代表品种
杀菌剂	真菌杀菌剂	活体生物农药	木霉菌
	抗生素杀菌剂	代谢产物	武夷菌素
	海洋生物杀菌剂	提取物	OS-施特灵
	混合杀菌剂	混合	新植霉素
杀虫剂	植物杀虫剂	提取物	烟碱
	细菌杀虫剂	代谢产物	苏云金杆菌
	真菌杀虫剂	活体生物农药	白僵菌
	病毒杀虫剂	活体生物农药	棉铃虫核型多角体病毒
	抗生素杀虫剂	代谢产物	阿维菌素
	微孢子虫杀虫剂	活体生物农药	微孢子虫
	线虫杀虫剂	活体生物农药	斯氏线虫
	混合杀虫剂	混合	速杀威
	抗生素杀螨剂	代谢产物	浏阳霉素
杀病毒剂	抗生素杀病毒剂	代谢产物	菌克毒克
杀线虫剂	真菌杀线虫剂	活体生物农药	大豆保根菌剂
杀鼠剂	细菌杀鼠剂	代谢产物	C-型肉毒梭菌素
杀草剂	真菌杀草剂	活体生物农药	鲁保1号
	抗生素杀草剂	代谢产物	双丙氨膦
生长调节剂	真菌生长调节剂	代谢产物	赤霉素
	植物生长调节剂	提取物	芸苔素
	细菌生长调节剂	活体生物农药	蜡质芽孢杆菌
基因活化剂	植物基因活化剂	提取物	福生壮芽灵
保鲜剂	动物源保鲜剂	提取物	利中壳糖鲜

第二节 生物农药的兴起和发展

一、生物农药的兴起

我国勤劳智慧的劳动人民在与害虫打交道的实践中，积累了丰富的经验，很早以前就认识了生物农药的作用。早在公元前7世纪，我国就用莽草等植物灭杀害虫，是世界上利用植物源农药最早的国家。公元2世纪左右的《神农本草经》中就有白僵菌的记载。与此年代相近的《淮南万毕术》也提到白僵（蚕）这个名称。宋代陈敷著的《农书》（1149年）卷下《蚕桑叙》，在世界上首次描述了



家蚕的僵病、脓病、空头性软化病等病症，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并将其捣烂用于防治害虫，积累了用生物防治害虫的经验。

到 17 世纪，人们把烟草、松脂、除虫菊、鱼藤等植物作为农药使用。1763 年，法国用烟草及石灰粉防治蚜虫，这是国外首次报道的生物杀虫剂。1800 年，美国人吉姆第考夫（Jintikoff）发现高加索部族用除虫菊粉灭杀虱、蚤等害虫，并于 1828 年将其商品化。1848 年，沃克累（Oxley T）研制生产了鱼藤根粉农药。这些具有农药活性的植物沿用了几个世纪，至今仍在应用，可谓比较早的生物农药。

1969 年，美国女海洋学家莱切尔·卡逊（Rachel Carson）出版了《寂静的春天》一书，引起了人们对“三害”问题的关注。这种社会压力促使政府机构官员、植物保护科技工作者寻求非化学防治的新途径，生物防治的研究被提到议事日程上来，并得到各国政府的重视，形成了全世界范围内开发生物农药的热潮。20 世纪 70 年代初期，我国大力提倡的“积极开展生物防治”的策略已初见成效。1972 年，全国生物防治面积约占全国耕地总面积的 7%，这还不包括林业生物防治面积。以生物农药为主体的生物防治已成为植物保护的重要组成部分，并形成一门新兴学科。

二、生物农药的发展

生物农药的发展并不顺利，是在与化学农药激烈竞争中艰难地波浪式发展的。20 世纪 40 年代初期出现了滴滴涕、六六六等有机氯农药，第二次世界大战后出现了对硫磷等有机磷农药，有机合成农药的应用曾有效地控制了病虫害。较之此前使用的生物农药，这些有机合成农药的药效相对高得多，见效非常快，由此有机合成农药很快取代了生物农药。当时化学农药的发展曾一度引起昆虫学家的恐慌，以为害虫真的会被化学农药全部消灭，因而争先恐后地去收集昆虫标本。

后来人们发现害虫没有完全被消灭，反而更加猖獗，事实使大家清醒地认识到，单一地使用化学农药不但不能解决问题，还造成三大难题无法解决：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爆发。

正在有机合成农药蓬勃发展的时期，另一类生物农药——微生物农药也悄然而生。赤霉素可谓最早的微生物农药商品，最初是从植物中发现，后通过微生物分离、培养、发酵制得，并在 20 世纪 50 年代初大量生产。赤霉素是一种很好的



植物生长调节剂，能刺激植物细胞生长，使作物植株高大、叶片增大，能打破种子、块茎、块根的休眠，促其萌发，能刺激果实生长，提高结实率，成为生物农药中的一枝奇葩。与此同时，1911年发现的苏云金芽孢杆菌（*Bacillus thuringiensis*, Bt）通过工业发酵也开始走上了商品化的道路。

到20世纪60年代，生物农药得到了快速发展，细菌杀虫剂、病毒杀虫剂和真菌杀虫剂都应运而生。在日本，由于有机汞、有机砷农药的毒性问题，有机汞杀菌剂引起水俣病成为当时的头条新闻，由此推动了杀菌抗生素的开发与应用，如春雷霉素、多氧霉素、有效霉素、杀瘟素等一批农用抗生素投入市场，成为农药领域中一个重要的组成部分。在世界范围内，农用抗生素的开发热悄然兴起。

但是，化学农药的发展并没有止步，到20世纪70年代后期仿照生物农药结构，成功开发了拟除虫菊酯类杀虫剂。而生物农药方面，由于人们期望值过高，再加之当时技术手段的限制，产品的标准化还没有成熟，应用技术不够科学，生物农药开发和应用再一度降温。

到了20世纪90年代，随着人类对环境要求越来越高，化学农药开发的难度越来越大，开发费用越来越高，成功率也越来越低。而生物农药的开发费用相对要低得多，特别是生物技术的突飞猛进给生物农药的发展带来了新机遇。人们积极运用生物工程技术从事生物农药的研究开发，率先利用生物工程技术改造和提高了微生物农药的作用效果和发酵水平，降低了成本，增强了与化学农药的竞争力。20世纪90年代，生物农药的开发又重新升温，包括以生物农药作为先导化合物，通过结构改造来开发化学农药，使生物农药的研究达到了一个更高的层次和水平。

三、生物农药的发展方向

人类防治植物病害可以追溯到几千年前，当时使用的一直为植物性或天然的无机化学农药。但是近半个世纪以来，生物农药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。其原因有来自化学农药的激烈竞争，也有生物工作者的失误。但是总的看来，生物农药的研究是在不断向前发展的，与此同时化学农药也在竞争中前进。针对这样的现实，各国都在制订新的策略以提高生物农药的活性和防治病虫害鼠害的效果。目前生物农药有三个最引人注目的发展方向：一是利用生物工程技术改造生物农药，包括运用基因工程作为作物保护的手段；二是科学使用生物农药，扬长避短；三是以化学和生物相结合的方法开发与创制新农药。

1. 利用生物工程技术改造生物农药

采用生物工程技术改造生物农药是农药产业中有光辉前景的新领域。尽管生