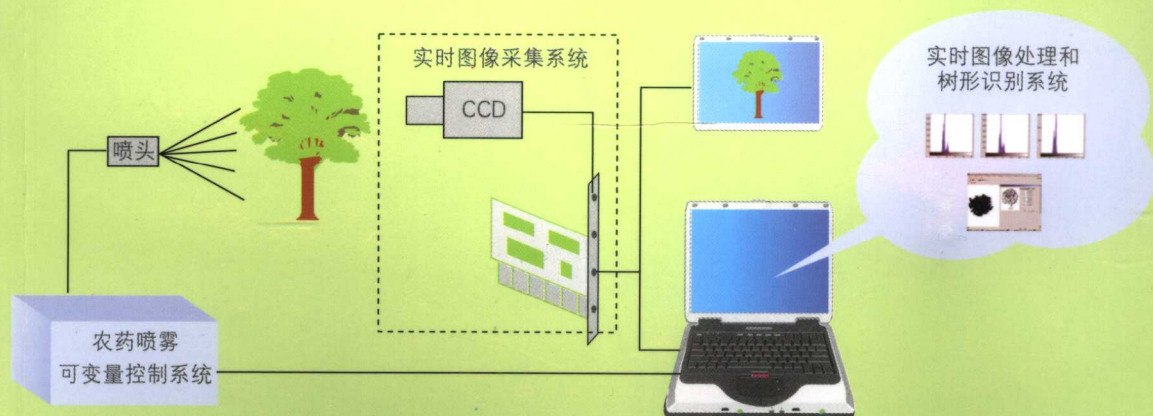


农药精确使用技术

郑加强 周宏平 徐幼林 编著



科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书为国家自然科学基金资助的科学出版资助项目(30424011),是在国家自然科学基金项目(30070625)研究成果和作者近 20 年研究实践的基础上,吸收国内外部分相关研究成果编著而成的。本书是一部有关农药精确使用技术的专著,详细阐述了农药使用方法及存在问题,农药精确使用技术的定义、原理和系统组成,精确使用农药的目标图像等信息采集与处理技术,自动喷雾系统及典型农药精确使用系统研究实例,最后介绍了农药安全使用要求和农药精确使用技术的实施与发展。

本书可供农药使用技术与设备研究人员、植保机械设计与制造企业人员、农药应用操作农技人员和农林科技管理人员参考,也可作为高等院校植物保护学、森林保护学、农业工程、森林工程和卫生防疫等学科和专业的学生和教师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

农药精确使用技术/郑加强,周宏平,徐幼林编著. —北京:科学出版社, 2006

ISBN 7-03-016636-1

I. 农… II. ①郑… ②周… ③徐… III. 农药措施 IV. S48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 150102 号

责任编辑:庞在堂 吴伶俐 王国华/责任校对:陈丽珠

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社编务公司排版制作

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2006年4月第 一 版 开本: B5 (720 × 1000)

2006年4月第一次印刷 印张: 12 插页: 2

印数: 1—2 500 字数: 227 000

定价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

本书为国家自然科学基金资助的科学出版资助项目(30424011),是国家自然科学基金项目(30070625)的研究成果,结合著者和课题组相关人员近 20 年的研究实践及大量国内外文献资料有机融合而成。国内已出版了一些有关农药使用与植保机械的教材或著作,但本书着眼于 21 世纪农药使用领域要求,本着前瞻性、超前性、实用性和针对性等原则阐述农药精确使用技术。

各种各样农药对农林植物病虫害的作用、对非目标生物和环境的影响、农药施用方法等已有很多专著和教材论及,可是应当如何精确使用农药的论述却很少。农药使用是一门横跨多门学科的技术,涉及农林学、生物学、化学、经济学、工程技术、医学和物理学等。在农林植物保护中,化学农药“应成为刺向病虫害的剑,而不是良莠不分的镰”。对于研究这门应用科学的研究人员来说,要取得实质性进展就必须掌握第一手先进技术资料,尤其是那些融合最新科研成果的资料。本书试图把自然科学基金项目研究成果与一些分散在书籍、杂志、网络和商业文献中的资料通过农药精确使用技术这一主线汇集起来,以期相关研究人员和农药使用人员能够更好地了解精确施药技术的原理及其中相关技术问题。

本书共计 6 章,阐述农药、农药使用方法及存在问题,循序渐进地系统阐述农药精确使用技术的定义、原理和系统组成,详细介绍了精确使用农药的目标图像等信息采集与处理技术、自动喷雾系统及典型农药精确使用系统实例,最后还介绍了农药安全使用要求和农药精确使用技术的实施与发展趋势。书末附有参考文献和名词术语表等,以便读者阅读和参考。

本书由郑加强编写第 1、2、5、6 章,徐幼林编写第 3 章,周宏平编写第 4 章。本书部分内容曾多次在博士生、硕士生的专题课讲授与讨论,并在有关国际和国内会议上进行交流。在国家自然科学基金项目研究过程和本书撰写过程中,博士生赵茂程、陈勇、张慧春、孙松平、刘秀娟、茹煜、黄秀玲、黄凯等和硕士研究生向海涛、葛玉峰、万永志、贾志成、汪东、甘英俊、周凤芳、马凯、杜治平、万凤鸣等做了不少基础工作,在此一并表示感谢!本书在编著过程中参考了世界各地许多专家学者的著述,在此也表示感谢!

本书篇幅不长,将使读者从整体上了解农药精确使用技术的内涵和发展状况,提高技术人员的综合能力和创新能力,使他们触类旁通,掌握农药使用技术及其设备设计的基本特点和最新技术,提高对现代科技成果的敏感性,从而指导开展现代农药使用技术研究和创新性植保机械设计工作,提高农药使用技术水平,促进精确低污染防治病虫害技术和装备的开发与推广。本书在拓展我国农药使用

技术研究领域和提升植保机械设计与制造水平方面具有良好的学术价值和应用前景，对推动我国农林植物保护和可持续发展将产生积极的作用。

尽管我们已经在本书中尽力融入最新的农药使用技术及相关技术研究成果，但由于农药使用科技及其相关学科发展迅速，本书仍可能存在错误和不足。诚盼使用本书的各方人士不吝赐教，以便我们根据各方建议和农药使用技术最新发展及时修正和完善。

郑加强 周宏平 徐幼林^①

2005年10月于南京

^① 参考网址：<http://www.yangtze-lab.net>

电子邮件：jqzheng@njfu.edu.cn, hpzhou@njfu.edu.cn, youlinxu@njfu.com.cn

Abstract

The book is supported by the Scientific Publishing Funding Project from the National Natural Science Foundation of China (30424011). It is written based on the project achievement (NNSF 30070625) supported by the National Natural Science Foundation of China and on the authors' research experiences for about 20 years and by extracting part of the related research information at home and abroad. The book on precision pesticide application technique introduces the pesticide application methods and their associated problems. Then the definition, principle and system components of the precision pesticide application technique are systematically expatiated in proper sequence. The signal acquiring and processing technique for the target images of precision pesticide application, the automatic spraying system and the typical examples of precision pesticide application systems are analyzed in detail. Finally, the requirements for applying the pesticide safely and the implementation principles and the development trends of the precision pesticide application technique are introduced.

The book is suitable to the reference for the researchers on the pesticide application technique and equipment, the workers and the designers on the design and manufacturing of plant protection machineries, the operators and the technicians of pesticide application, and the managers of agricultural and forestry science and technology management. It also can be suitable to the teaching and research reference for the university undergraduate students, graduate students and teachers on the disciplines of plant protection, forestry protection, agricultural engineering, forestry engineering and sanitarian epidemic prevention, etc.

目 录

前言

Abstract

第 1 章 绪论	1
1.1 农林病虫害	1
1.2 植物保护方法	2
1.2.1 物理防治	3
1.2.2 化学防治	3
1.2.3 生物防治	4
1.2.4 农业防治	7
1.2.5 植物检疫	8
1.2.6 综合防治	8
1.3 农药使用方法概览	10
1.3.1 农药及其作用	10
1.3.2 农药使用与生态环境	15
1.3.3 农药使用方法	20
1.4 农药精确使用	26
1.4.1 农药喷洒目标物分析	26
1.4.2 农药使用相关技术及农药精确使用	27
第 2 章 农药精确使用技术概述	30
2.1 精确施药技术概述	30
2.1.1 传统农药使用与农药精确使用	30
2.1.2 精确施药意义	33
2.2 农药精确使用原理	34
2.2.1 农药精确使用系统组成	34
2.2.2 农药精确使用方法	36
第 3 章 农药精确使用信息采集技术	38
3.1 传感器技术	38
3.2 农药喷雾目标图像采集	39
3.2.1 绿色植物目标反射光谱特性	39
3.2.2 喷雾目标运动图像采集系统简介	43
3.2.3 树木目标图像采集	44
3.3 遥感、定位系统和地理信息系统	46
3.3.1 遥感技术	46

3.3.2	定位系统	51
3.3.3	地理信息系统	72
第4章	农药精确使用信息处理技术	78
4.1	喷雾目标图像分割处理算法	78
4.1.1	景物图像分割方法	78
4.1.2	基于相对色彩因子的树木图像分割算法	85
4.1.3	基于小波变换的树木图像过渡区提取及分割方法	93
4.2	目标图像特征参数	100
4.2.1	摄像机成像模型及摄像机参数标定	100
4.2.2	目标图像特征参数获取	105
4.3	目标图像深度信息提取和真实信息恢复	108
第5章	农药精确对靶使用系统	112
5.1	可变量控制技术	112
5.1.1	可变量控制器	112
5.1.2	可变量喷头	115
5.2	定点杂草控制技术	116
5.2.1	杂草识别技术	117
5.2.2	除草剂定点喷雾技术	117
5.2.3	除草剂定点涂抹技术	121
5.3	树木对靶施药技术	124
5.3.1	农药精确对靶使用系统总体设计	124
5.3.2	农药精确对靶使用系统功能设计	125
5.3.3	树形识别系统	129
5.3.4	树冠形态与农药精确对靶使用系统	136
5.3.5	高射程农药精确对靶喷雾机	139
第6章	农药精确使用技术实施与发展	144
6.1	农药安全使用要求	144
6.1.1	农药侵入人体主要途径	144
6.1.2	农药使用安全防护设备	146
6.1.3	农药使用安全准则	148
6.2	农药精确使用技术实施原则	151
6.2.1	操作实用性原则	151
6.2.2	渐进阶段性原则	152
6.2.3	整体协调性原则	153
6.3	农药精确使用技术发展趋势	153
6.3.1	农药精确使用技术体系研究	154
6.3.2	农药精确使用关键支撑技术研究	155
6.3.3	农药精确使用技术示范推广	160

参考文献 164

附录 1 名词术语 168

附录 2 著者已发表的相关论文 176

图版

第 1 章 绪 论

1.1 农林病虫草害

昆虫在地球上出现已经 3.5 亿年，而人类的出现只有 100 多万年，这值得我们深思！在地球上，约有 10 000 多种昆虫、1800 多种杂草、1500 多种植物病害、1500 多种植物病毒以及啮齿动物。据世界粮农组织(FAO)的统计，这些病虫草鼠害每年造成全世界粮食生产损失 35%(虫害损失 14%、病害损失 10%、草害损失 11%)、棉花等经济作物损失 33.8%(虫害损失 16%、病害损失 12%、草害损失 5.8%)，相当于每年少收粮食 6 亿 t 和棉花等 600 万 t，约等于中美两国粮棉产量的总和。中国每年损失粮食有 1500 万 t(2003 年损失 1600t，约占粮食总量的 8%)、棉花损失达 600 万担。全世界每年因病虫草等有害生物的危害造成的农作物经济损失达 1200 亿美元，相当于中国农业总产值的 1/2 强、美国的 1/3 强、日本的 2 倍、英国的 4 倍多。在病虫草害等发生严重的年份，其损失远远大于这个数值^[1]。1845 年，爱尔兰的马铃薯受晚疫病菌(*Phytophthora infestans*)的危害几乎绝收，导致全国 1/3 的人口因为饥饿而死亡，数十万人逃荒移居到国外，即著名的“爱尔兰大饥荒”。1927 年，山东省的一场蝗虫灾害，使 700 万人流离失所，四处逃荒，饿死的人不计其数……人类为了生存，必须生产充足的食物和纤维，这就要为生存而与病虫草鼠争夺食物和纤维。

随着气候变暖，各种病虫害将可能激增，因为高温给它们的生活和繁殖提供了更为优越的温床。同时各种昆虫天敌也可能增加，新的平衡取决于哪一方繁殖得更快。作物生长季的延长将增加昆虫在春、夏、秋三季繁殖的代数，而冬季温度较高则更有利于幼虫安全越冬。各种病虫害出现的范围将扩大，向高纬度地区延伸，大气运动变化也会影响风播病原的扩散。在高温条件下，由于作物生育期缩短，病虫感染的方式也有可能发生变化。气候变化使北纬 36°以南地区的黏虫全年可多繁殖一个世代，其越冬北界转移到北纬 34°附近，在华北一些地区，二代、三代黏虫将呈上升趋势。稻飞虱的发生代数将有所增加，一般增加 1~2 代，特别是北纬 29°~30°地区的春、夏稻飞虱均可迁入，在田间多次危害的概率增加。随着温度升高，稻飞虱大多数年份可在北纬 23°~25°之间越冬，安全越冬北界在北纬 23°~24°附近。区域性病虫害的发生将有以下特点：在华北地区水稻虫害与病害发生并重；在长江中下游地区，水稻虫害发生重于病害，小麦病害发生重于虫害；在黄淮海地区，小麦和玉米病虫害的发生重于水稻病虫害，小麦病害发生重于虫害，玉米虫害发生重于病害^[1]。

说起森林灾害,人们往往会想到烈焰冲天的森林大火(20 世纪大兴安岭林区特大森林火灾给人留下刻骨铭心的记忆),而比森林火灾危害更为严重的是病虫害。森林病虫害对森林的威胁极大,如马尾松毛虫严重发生时,成片马尾松林的松针叶被全部吃光;杉木黄化病发生时,感病针叶发黄,远看似火烧过,有的几年以后成片枯死;天牛等蛀干害虫能对森林造成毁灭性灾害;杨树被密密麻麻的草履蚧覆盖后枯死;一些行道树叶子被食光,呈现一片残败;被病虫害侵蚀后的青藏高原森林千疮百孔……近年来,中国的人工林面积增加近 50%,与此同时,森林病虫害的发生面积也增加了将近 40%,两者基本上呈同步增长的趋势。中国森林病虫害年均发生面积达到 800 万 hm^2 (1.2 亿亩^①),经济损失高达 50 亿元人民币^[2]。仅 1998 年,因病虫害致死树木 4 亿多株,折合面积 25 万多公顷,相当于每年人工造林面积的 6%。病虫害使一批风景名胜面临严重威胁,松材线虫病发生区距黄山的直线距离越来越远。森林病虫害对中国出口贸易造成严重影响,美国、加拿大、英国等国家因木质包装材料天牛虫害问题,对中国采取苛刻检疫限制措施,使中国外贸损失巨大。

农林病虫害年年治理、年年发生,其复杂性主要表现于两个方面^[3]。一是量的复杂性:①病虫害种类多。寄主种多→品种多→病虫害的专寄生和多寄主。②种群数量大。病害属于微生物,只要环境条件适宜,一周内可产生大量个体,害虫属于微小动物,多以 r 型生态对策生存,繁殖力极强,孤雌生殖是其独有的方式之一。③危害严重。④种的季节性变化明显。⑤防治困难。二是组织结构的复杂性:①种的生态位(两个方面:从一维到 n 维;潜在生态位与实际生态位);②种间联系(正的作用与负的作用);③群落的整体作用;④立体空间的占有及其联系;⑤时序动态规律;⑥系统变化与发展趋势。

虫口夺粮就是人类在与自然抗争的长期实践中总结的经验,人类近万年的农业发展史,就是与病虫害斗争的历史。显然人类要生存与发展,植物保护工作任务重而道远。

1.2 植物保护方法

病虫害的泛滥、蔓延,意味着将不得不采取有效的措施来保证农林生产,如使用农药和除草剂,这不仅要耗费大量资金,而且会造成环境的进一步恶化。目前植物保护方法有物理防治、化学防治、生物防治、农业防治、植物检疫、综合防治等,这里进行综合分析归纳。

① 1 亩=666.67 m^2 。

1.2.1 物理防治

物理防治是利用物理学原理和方法(如热、光、声、电、色、同位素等)杀灭有害生物或控制其危害的方法,如机械、太阳能、蒸汽、热水、烟火、高压脉冲电击、红外辐射、微波或超声波防治等。

机械防治是利用机械方法控制病虫草害,包括使用灯光诱捕、粘捕或者用机械方法排除虫卵或幼虫等,如黑光灯诱杀螟蛾、红铃虫等。

日本曾采用 15~20kV 的小容量高压脉冲电火花放电进行杂草防治试验,这不同于除草剂的杀草机理,是利用放电时的冲击波破坏细胞壁、细胞膜而杀伤杂草植物。

采用模拟或收录虫鸣声在田间播放以招诱捕杀害虫。如 Bird Gard 和 Crop Gard 产品^[4]用电子学的方法从果园、葡萄园、庄稼、飞机场以及填埋场驱散有害鸟类(八哥、知更鸟、白头翁、海鸥、啄木鸟等),将可使鸟痛苦的声音以数字方式记录在微芯片上,然后放大并广播以驱赶鸟类,可保护 0.4~12hm² 的面积。新的全数字随机操作的 Bird Gard Super Pro 可保护最多 2.4hm² 的面积。

红外辐射可以防治杂草和仓库害虫,红外型机具可使用液化石油气作燃料,或电力型机具。可使用不同波长进行红外辐射,为了有效杀伤杂草,需要辐射体的辐射在植物组织吸收率最高的波长处,因为此处能量密度最高。

20 世纪 50 年代采用原子核农业技术,利用一定剂量 ⁶⁰Co 放射性同位素辐照,使害虫不育而达到控制害虫数量的目的,在农作物和果树的病虫害综合防治上取得了显著效果。

全球各地开发了众多的微波或超声波防治方法。如利用微波或超声波诱使雄虫离开雌虫,以控制害虫繁殖;利用一定波长的电磁波,有选择地消灭土壤中的害虫(如线虫类);利用适当波长的激光对害虫进行辐射,使雄虫不育或使害虫变异,以至于解除生育能力,或以特定波长的激光选择地杀灭某种细菌而保护(或促进)所需要的细菌生长;利用γ射线和微波联合辐射杀灭害虫。

1.2.2 化学防治

化学防治指使用化学农药来消灭或控制有害生物。早在公元前 1000 多年,人们就开始使用硫磺熏杀害虫与病菌,到 19 世纪中期,人们根据直观的经验,利用一些天然物质对一些有害生物进行零散防除,但并未形成农药的商品概念。有科学家认为“没有农药,全世界将挨饿!”这不是危言耸听,殊不知病虫草害如同“祸从天降”^[1]。第二次世界大战以后,“威力巨大”的杀虫剂问世了,特别是有机氯和有机磷化学农药的大量出现,它们具有使用方便、杀虫率高等特点,一度形成了农药万能的趋势,也就形成了化学农药防治的策略。

化学防治的农药使用方法将在 1.3 节重点介绍。

1.2.3 生物防治

生物防治是指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,使其有益于生物种群^[5,6]。生物防治已有许多成功的实例,其内涵非常广泛,包括所有生物有机体和以生物为基础的产品,如性外激素、抗性植物品种和不育昆虫技术之类的自杀技术。但一般来讲,常用的生物防治含义仅指应用天敌来管理有害生物种群,如最早的生物防治是1888年美国加利福尼亚州从澳大利亚引进澳洲瓢虫,成功地控制危害果园的吹绵蚧。生物防治虽在有害生物治理中有悠久的历史,并且因可避免使用化学药剂带来的问题而日益受到重视,但发展一直较为缓慢。主要原因是生物农药有先天的缺陷:①生物农药是一种有生物活性的物质,击杀害虫较慢,通常需要数天时间,而化学农药使用后立竿见影;②生物农药本身是一个活体,它的药效受到使用时的环境条件的很大影响。下面介绍常用的生物防治方法。

1. 助增、引进或保育天敌

助增(augmentation):天敌助增(天敌的人工繁殖和释放)包括体内、离体的群体繁殖技术,大面积种群抑制和逐田治疗处理等运输和释放技术。尽管该技术很有发展价值,但仍是治标范式的延伸,原理上讲,这样使用天敌实际上就是使用生物农药,其不同于常规农药的仅仅是其产品类别。从“产品剂型”的观点和现有设施而言,助增的重点已成为如何以较低的成本生产和运输大量的天敌,但很少研究天敌如何作用 and 如何促进其作用。大面积投放天敌单靠人力是难以胜任的,原苏联曾研制成功II P3-35型害虫天敌(赤眼蜂)全面投放器^[7],可以把天敌投放和蔬菜、谷类、豆类作物、甜菜、玉米等多年生草本植物和半休闲地上。在气温14~25℃、风速不超过5m/s的春夏季节使用。使用这种投放器可部分或全部免去化学农药处理,减少环境污染。同时可减少劳动量,缩短投放时间,提高利用率。

引进(importation):通过引进天敌并建立种群可解决一些有害生物问题。成功引进一般局限于某些特定类型生态系统或有害生物(比如多年生植物生态系统中的外来害虫),在某些短生育期作物的害虫防治中也取得成功。但至今为止,引进天敌仍是凭个别参与专家的经验,用试错法来进行,问题通常不是没有有效的天敌而是没有良好的管理措施,对在特定农林生态系统中天敌引进成败的决定因素也还缺乏详尽的研究。

保育(conservation):天敌的保育在人工合成农药出现之前就作为栽培管理措施的一部分受到了充分的重视。之后,这类生物防治因对合成农药的迷信而被忽视了。我们应该采用一种主动的途径来了解天敌和天敌作为生态系统的一部分所发挥的功能,并通过栖境管理(景观生态学)和其他栽培管理措施来促进它们的作用。如种植作物或野生植被,以便为有害昆虫的天敌提供食物和遮蔽场所等生存

环境。一些植物对害虫有引诱作用,利用此特征可陪植植物将害虫诱集并歼灭,以防止其危害其他作物^[8]。中国每年利用赤眼蜂防治农林害虫的面积达 67 万~100 万 hm^2 ,如河北滦州在玉米地释放赤眼蜂防治玉米害虫^[9]。赤眼蜂是一种寄生蜂,将赤眼蜂卵卡挂在防治地块,几天后赤眼蜂就可羽化出来开始灭虫,可灭玉米螟、棉铃虫、甘蓝夜蛾、菜青虫等多种鳞翅目害虫,可杀死 70%~90%的玉米害虫,能减少玉米害虫蛀茎率 30%以上。南京市园林部门将一个长约 5cm、直径约 1cm 的小试管倒扣挂在一个斜插入行道树离地 1.5m 处树干的大头针上,试管里装有 100 只天牛的天敌——管氏肿腿蜂,它们在树上寻找天牛钻出的洞眼,从而“寄生”在栎选木柄天牛、松褐天牛等天牛科幼虫身上,吸取天牛幼虫的养分进而杀死天牛^[10]。

从历史上以治疗为基础的态度和目前的现实来看,生物防治的主要精力第一是放在“繁与放”的助增,第二是引进,第三才是保育。其实这种优先顺序应该反转才对。首先我们需理解、促进和最大限度地让本地天敌发挥作用,然后在积累这些知识和结果的基础上,以引进填补一些关键的空白,最后在必要时运用治疗性的繁放作为后备^[11]。

但是天敌引进失控也可能会造成另一种生物入侵的灾难,需要引起高度关注。如澳大利亚于 1935 年从夏威夷引进 100 只蟾蜍(toad)来捕食危害甘蔗田的灰背类甲虫(greyback beetle),但现在蟾蜍已在澳大利亚北部泛滥成灾,数量已达数百万只(雌性蟾蜍一次产卵 8000~35 000 枚,在一年内成熟,寿命至少五年)。现在以每年 50km 的速度在澳大利亚北部热带地区扩散和以每年 1.6km 的速度向南推进。这种蟾蜍头部有剧毒液囊,如果鳄鱼、毒蛇和澳洲野狗吃了这种蟾蜍后,在 15min 内就死亡。数十年来,澳大利亚持续治理这种有毒生物,但未能阻止其繁衍,最近澳大利亚投入 270 万美元寻找生物方法来控制这种有毒和对环境产生破坏的蟾蜍^[12]。

2. 生物化学制剂

化学农药的毒副作用及筛选新农药的艰难,使得企业和研究人员把注意力转移到生物农药的研究开发与使用上。生物源农药一般指直接利用自然界有益的生物或从某些生物中获取的具有杀虫、防病等作用的生物活性物质,这些物质进入生物圈后,极易被阳光或环境微生物分解。这主要包括性外激素等天然或者合成的能够改变昆虫行为或者影响其生殖的物质、植物生长调节剂、荷尔蒙和酶制剂等。例如,昆虫激素已经应用于稻飞虱、三化螟、二化螟、棉铃虫、玉米螟、棉红铃虫、马尾松毛虫等多种害虫的控制^[5]。

用微生物控制有害生物,包括病菌、细菌、原生动物、其他微生物或者用其制成的制剂。例如,1898 年日本学者石渡繁胤,从家蚕的病死尸液中分离到一种对鳞翅目幼虫致死的杆状细菌,研究了对家蚕的致病性,1938 年法国第一次生产

出这种细菌的生物农药制剂,即苏云金芽孢杆菌的生物农药制剂,用于防治地中海粉蛾,效果良好。苏云金杆菌(*Bacillus thuringiensis*, Bt)能够产生伴孢晶体毒素和苏云金霉素,用于控制农业中的幼虫、毛虫和有害昆虫。Bt 能够防治上百种害虫,对鳞翅目害虫特别有效,是世界上生产量和使用量最大的微生物农药,中国于 1950 年引进苏云金杆菌,以后又相继分离出杀螟杆菌、青虫菌、松毛虫杆菌和 140 杆菌等。

俄罗斯学者利用自然界中广泛存在的微生物提取各种生物制剂用于植物保护,这类微生物包括各种有益细菌以及能感染害虫的各种病毒和一些低级真菌。例如,俄罗斯圣彼得堡全俄植物保护研究所从一种真菌中培育出能耐高温和盐碱的菌株,可以感染 95%~97% 的蝗虫,使其病死。此外,俄罗斯学者还通过调节害虫、病菌和农作物三者间的相互关系,抑制害虫和病菌。他们用没有污染危险的物质喷洒在植物上,使这种物质的分子进入植物细胞,改变其新陈代谢过程,在农作物内形成不利于害虫和病菌生存繁衍的环境,以防止其危害农作物。俄罗斯学者发现病菌在侵入农作物以后,先是释放出一种多糖类探测物质,以确定该植物是否是它的寄主。如果确认该植物是其寄主,就开始吸取植物的营养,进行繁殖,从而造成植物死亡。研究人员从几丁质中提炼出一种几丁素,喷洒在农作物后,病菌就像吃了“迷魂药”,无法辨别该植物是否是它的寄主,因而不危害农作物。几丁质是自然界中广泛存在的天然物质,从这种天然物质中提炼出来的几丁素不会对农作物产生任何副作用。以虫治虫方法被学术界称为“重磅炸弹”。圣彼得堡全俄植物保护研究所已经培育出 20 种专食蛾类害虫的益虫,而且使这些益虫的活动周期与害虫的活动周期一致。该研究所还从一种食虫性蠕虫中提取出蠕虫素,喷洒在农田后,可以杀死叩头虫、蝗虫等地表害虫^[6]。

3. 生物技术

生物技术日益受到重视且正引导一场为有害生物治理提供新产品的浪潮,各国政府、大企业、财团相继投入巨资研究、开发,至今已有相当数量的成果问世并投入使用。许多人认为,生物技术可以为基本解决有害生物问题提供安全、有效的工具。

化学、生物化学、行为、神经生理、分子遗传学和基因工程的技术进步已经产生了一系列比常规农药低毒、对人体和环境安全的生物合理产品和材料。这些产品包括对有害生物有较强抗性的遗传工程植物(Bt 抗虫棉、抗虫稻、蔬菜等)、对农药(除草剂、杀虫剂)有较强耐性的植物和天敌,以及剂型和输导方法复杂的生物农药、信息化合物等。这些生物合成或以生物学为基础的材料,在现代有害生物治理中确有潜在的价值和应有的地位。但是,开发和使用这些“高科技”工具的基本策略,仍受制于继续寻求类似处方形式来医治有害生物发生或者排除有害生物存在的“银弹”(silver bullet)思想。生物技术的突破已经延缓了对长期的、

以生态学为基础的有害生物治理的追求，因为新产品的快速出现给人一种如 20 世纪 40 年代化学合成农药时代一样的欣喜感、安全感。应用遗传改良和其他技术来增加生物农药的毒力和寄主范围，也代替了将之设计成自然作用力的互补因子的努力，因此改良过的病原物和表达病原物毒素的工程作物实际上就成了合成农药的替代物，并将与农药一样失效。但若这些强有力的制剂最终成了废物而没有使其成为有害生物持续治理体系的重要组成部分，将是人类进步史上的又一大不幸，因此我们应当趁现在各类转基因作物尚未大面积推广种植之前，采取适当措施，先做潜在抗性、环境风险评价，加强管理^[11]。2005 年 9 月 22 日出版的 *Nature* 报道，荷兰瓦格宁根大学和以色列魏斯曼研究所研究人员，培育出全新的转基因作物^[13]，这种作物可释放出一些能吸引益虫的复杂挥发性物质，通过把害虫的天敌吸引过来而杀灭害虫，因为这些害虫通常会吞食作物，造成农作物的大幅减产。研究人员诱发拟南芥(*Arabidopsi*)，使它产生一种能吸引益虫的、被称为类萜的化合物，所使用的关键方法是诱发最初起源于草莓细胞线粒体的酶，而线粒体正是形成类似化合物的关键部位，一旦这些酶在植物中存在，植物就能够产生两种类萜的化合物。研究人员指出，培育这种全新转基因作物的方法，可能为植物病虫害防治找到新法，但这种化合物目前还无法大批量地人工合成，也不容易得到足够使用的数量。

1.2.4 农业防治

农业防治指综合运用栽培技术、栽培模式、耕作制度、清洁田园、积沤肥料、施肥、灌溉、收获等农业手段控制病虫害鼠危害。农业防治是古老的防治措施，但是又在相当长时间内未能得到重视，直到 20 世纪 50 年代中期才又引起人们的注意。农业防治具有经济有效、无公害以及优化农田生态作用的特点，既关系着农作物的生长，又关系着有害生物的寄主、越冬、越夏种群数量以及与环境、食物、小气候的关系等^[5]。

轮作是农业防治中历史最长也是最成功的方法，通过在不同年度改变一块田地中的作物，打乱昆虫或其他有害生物的生命周期。

改变种植和收获日期以避免有害生物爆发，如通过延迟种植秋麦苗来避免小麦瘰蚊造成的损失。

清洁田园卫生来转移或毁灭有病的、为有害生物创造越冬环境的或以其他形式有益于有害生物的作物。

耕作制度就是通过对土壤的翻动，把虫草埋到深层土壤中使之不能生活或生长，同时也可以把一些害虫暴露在土表被天敌破坏或晒死、冻死。如中国北方大豆产区往往在豆茬地来年种小麦，在麦收后一般要翻耙除草，这就可以有效地防治大豆食心虫，因为此时正值大豆食心虫化蛹的盛期，大豆食心虫一般在土表 0~3cm 处化蛹，如果将蛹翻到 6cm 以下就不能羽化。

灌溉可以影响土壤湿度及农田小气候,因而影响病虫害的发生。

施肥种类及水平对病虫害也有很大的影响,例如,过量的氮肥往往导致植物疯长,作物抗性下降,许多病虫害会加剧;重施底肥、早施追肥可以使作物生长健壮,从而抵御病虫害侵袭。

1.2.5 植物检疫

植物检疫是为了保护农林牧渔业生产的安全,防止危险性有害生物(病虫草以及其他有害生物)随植物及植物产品的调动而传播、蔓延与扩散。所以要以政策法规为基础,以先进科学技术为手段,由执法机构对调运的植物及植物产品进行检验,包括现场检查、产地检验、调动检验和调运后的跟踪检验等,还包括发现疫情后的对策和各种处理技术等。“植物”是指栽培植物、野生植物及其种子、种苗及其他繁殖材料等;“植物产品”是指来源于植物未经加工或者虽经加工但仍有可能传播病虫害的产品,如粮食、豆、棉花、油、麻、桑、茶、糖、烟草、籽仁、鲜果(《中华人民共和国进出境动植物检疫法》中包括干果)、蔬菜、生药材、木材、饲料、花卉、牧草、绿肥、热带作物等植物、植物的各部分,包括种子、块根、块茎、球茎、鳞茎、接穗、砧木、试管苗、细胞繁殖体等繁殖材料。

植物检疫工作包括检疫技术和检疫处理技术。植物检疫工作中可采用X射线、探伤、引诱剂、DNA探针、ELISA、单克隆抗体、荧光免疫、电镜、电泳、电子扫描、计算机、色谱仪等先进设备和技术,来提高有害生物检出率及工作效率。植物检疫处理技术可采用药物熏蒸、热空气处理、低温处理、微波处理、 ^{60}Co 照射等,这对有效封锁、控制和消灭危险性病虫杂草的传播蔓延起到积极作用。

1.2.6 综合防治

综合防治是指根据植物保护原理利用一系列防治措施有机组合形成一套防治策略和防治战术。

有害生物综合治理(integrated pest management, IPM):在所有寻求替代单一化学防治措施中,IPM作为一项综合性的有害生物治理途径最引人注目^[14,15]。20世纪初,在西方产生了所谓的生境管理,即充分发挥生物控制和环境控制的效益,这时就产生了早期综合防治的概念。随着农药的大量使用,出现了害虫防治的“3R”现象[即残留(residue)、害物再猖獗(resurgence)和害物抗药性(resistance)],于是提出了“有害生物综合治理”,以代替单纯的“化学农药防治”。20世纪70年代初形成了“有害生物全部种群治理策略”,主张全部、彻底消灭害虫,但与“综合治理”策略并不完全互相排斥。1983年,Ridgay和Lloyd提出“有害生物区域治理”,这个防治策略实际是“综合治理”和“全部种群治理”的合并,原则上采用“综合治理”,具体方法偏重“全部种群治理”。随着大面积种群治理的推广,化学农药防治的“3R”现象有所改进或解决。1990年,张宗炳把抗药性

治理问题也考虑在“全部种群治理”中,提出了“合理种群治理”策略,主要强调合理。20世纪90年代以来,农药的概念也从“杀生物剂”转向生物合成农药或环境和谐农药(无公害农药)。随着经济的持续发展与资源的持续利用,丁岩钦于1993年提出害虫种群的生态控制^[16]。其指导思想是用“调控”代替现行的“防治”,即利用“系统工程”的原理与方法,在生态总体水平上,在目标函数与约束条件的控制下,利用一切可以利用的条件,对害虫种群进行调控,达到优化生态结构的目的。

基于生态学的有害生物治理(ecologically based pest management, EBPM): 早年的农学家面临严重的有害生物问题,他们通过试错法研究采用各种有效措施,其成功的原因大多是能维持该地区的生态平衡和有害生物与其天敌间的自然平衡,这些措施与当今各种生物学技术相结合就构成了能发展有利、安全和持久(长期、自我维持)的有害生物治理的最具逻辑性的途径,这种途径就称为EBPM。EBPM首先依赖于有关有害生物及其所在生态系统的生物学知识的投入,其次是物理的、化学的和生物学(生物防治生物及其制剂、抗性品种、窄谱农药)的补充。EBPM系统建立在人管生态系统知识(包括抑制有害生物的自然过程及其受一些农业措施的不良影响)的基础上。早期的IPM倡导者构想了一个治理有害节肢动物、杂草和病原物的综合途径的框架,IPM致力于用有害生物的自然死亡因子、害虫-捕食者(拟寄生者)关系、遗传抗性和栽培措施等的生态学原理来管理有害生物,这一点IPM与EBPM是一致的。但IPM在实际应用时往往被简化为有害生物监测(甚至还做不到这一点)和杀虫剂的精确使用。IPM原有框架概念已远离了现在这种新的信息密集型的管理策略,EBPM将建立在植物生产中复杂的生态学过程有关的知识基础上。EBPM是一种大系统途径,它对非目标生物和环境的不利影响达到最小,因为其中的生物防治局限于其对目标生物的专一性或其分布或在环境中的存留。另外,在生物防治有机体及其制剂中,尚未发现常规农药所固有的对人类、高等动物等的毒性,尽管多次接触可能存在类似于变应性反应一类的风险。据报道,在农田生态系统天敌对害虫的控制作用在50%以上,天敌和抗性的综合控害作用超过80%。在FAO亚洲国家间水稻有害生物综合防治项目的带动下,通过减少农药使用,充分发挥稻田自然生物因素控制的作用,实现了对原来频繁暴发成灾的褐飞虱的持续治理,这表明农作物系统害虫种类增多和频繁暴发的基本原因是削弱了自然生物控制作用,同时也改变了传统的以增加外部投入(尤其是农药)来防治害虫为害的观念,从而促使人们探索通过促进作物系统内在的自然生物控制作用来持续控制害虫的途径。国际水稻所对稻田系统节肢动物群落结构进行比较研究,表明节肢动物群落中植食性、肉食性(捕食性和寄生性天敌)及其他(非植食和肉食性)节肢动物相对比例与主要害虫种群增长动态有密切关系,稻田前期施用杀虫剂将导致肉食性节肢动物比例下降,植食性昆虫(尤其是主要害虫)增长速率增加,从而在