



21世纪学科发展丛书 · 植物保护学

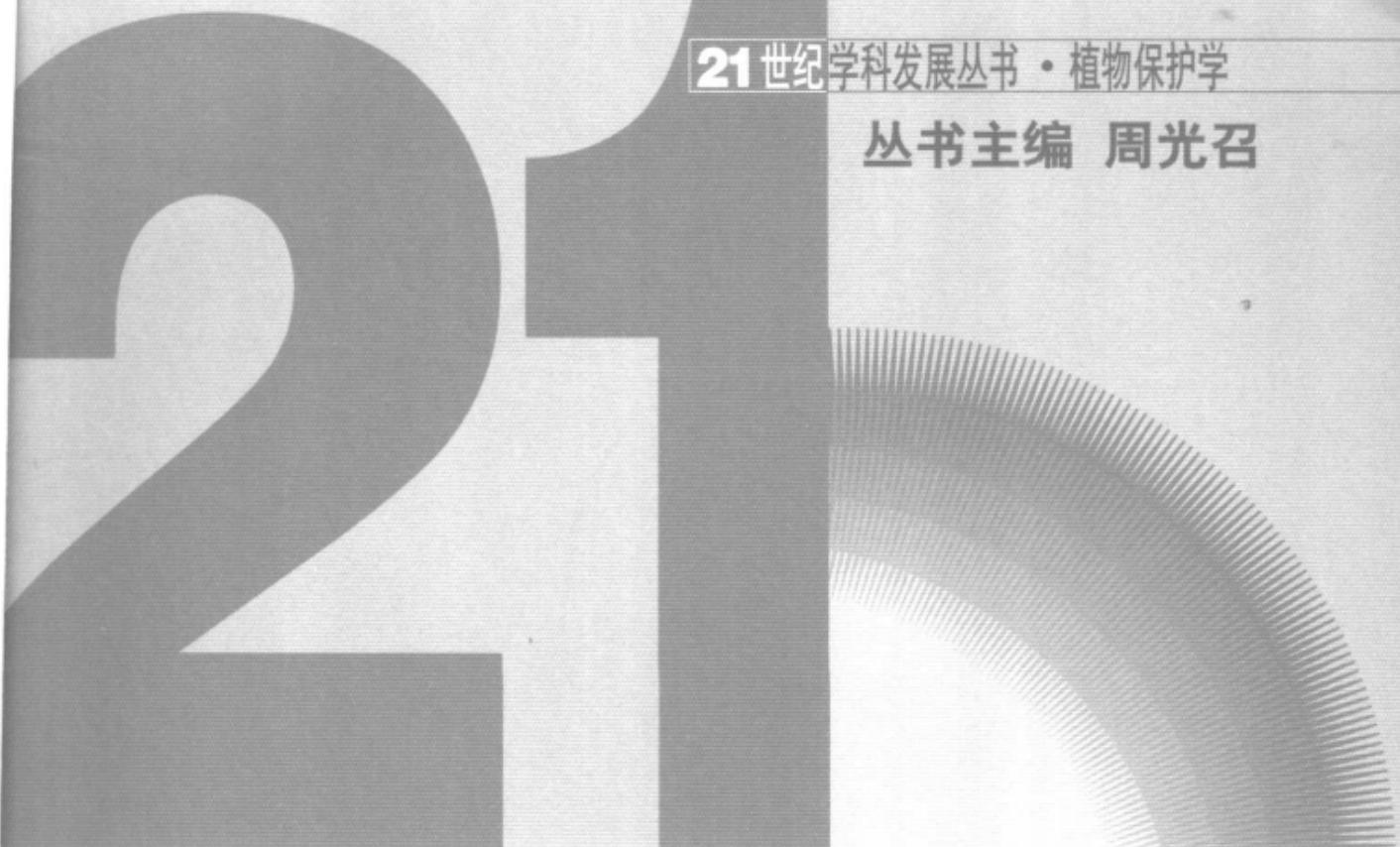
丛书主编 周光召

作物卫士

山东画报出版社

21世纪学科发展丛书 · 植物保护学

丛书主编 周光召



作物卫士

中国植物保护学会 著



山东画报出版社

图书在版编目(CIP)数据

作物卫士/中国植物保护学会著. —济南: 山东画报出版社, 2000.4
(21世纪学科发展丛书·植物保护学)
ISBN 7-80603-530-3

I. 植... II. 中... III. 植物保护—普及读物
IV. S4 - 49

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第16902号

21世纪学科发展丛书·植物保护学

丛书主编 周光召

作物卫士

中国植物保护协会著

出版者: 山东画报出版社
(济南市胜利大街39号)

邮 编: 250001
电 话: (0531) 2060055 转 5420
网 址: <http://www.sdhbs.com.cn>

发 行 者: 山东省新华书店

印 刷 者: 山东新华印刷厂

版 次: 2001年4月第1版第1次印刷

印 数: 1—3000

规 格: 850mm×1168mm 32开本

印 张: 11.25

插 页: 6

字 数: 223千

I S B N 7-80603-530-3/S·2

定 价: 20.70元

(如印装质量有问题,请与印刷厂联系调换)

前 言

植物保护学是研究植物害虫、病害、杂草、鼠害等有害生物的生物学特性和发生危害规律及其与各种生物因子和非生物因子的互作机制，防止其侵害农作物的一门综合学科，是作物的卫士、植物的医生。

在我国，生物灾害一直是农业生产的重要障碍，特别是20世纪最后20年，由于气候异常，加上栽培管理和使用农药不当等方面发生的一些问题，使生物灾害进入发生高峰期，严重威胁农业生产的持续稳定发展。因此，从各级农业行政领导到基层生产单位和农民，特别是广大知识青年，对植物保护都非常重视，迫切希望了解有害生物怎样侵害农作物和掌握控制生物灾害的科学方法。

20世纪科学技术得到迅猛发展，植物保护领域也是如此，无论是控制有害生物的策略，监测有害生物发生的手段，还是抑制有害生物危害的各种技术，都有显著的改进和提高。我们希望《21世纪学科发展丛书》植物保护学科分册能客观反映当前世界在本领域的技术进步。

本册由中国植物保护学会组织编写。撰稿人情况如下：第一章、第八章，郭予元（中国农业科学院植物保护研

前言

研究所);第二章,彩万志(中国农业大学植物保护学院);第三章,陈万权(中国农业科学院植物保护研究所);第四章,张朝贤(中国农业科学院植物保护研究所);第五章,朱恩林(农业部全国农业技术推广服务中心);第六章,姚文国(国家出入境检验检疫局动植物检疫实验所);第七章,郑斐能(中国农业科学院植物保护研究所)。全文由本册编审委员会集体审定。

限于作者与编审者水平,本册内容难免有不当之处,恳请读者批评指正,并欢迎与我学会联系。

编著者

2000年11月30日

《21世纪学科发展丛书》编辑委员会、 出版委员会名单

一、丛书主编、副主编

主 编:周光召

常务副主编:张玉台

副 主 编:徐善衍 常志海 张 泽 宋南平
宫本欣 马 阳

二、丛书编辑委员会

主任:庄逢甘

副主任:闵桂荣 杨 乐 张 泽 宫本欣 马 阳

委员:(按姓氏笔画排序)

王 铸 孙永大 刘 璜 朱道本 仲增墉
陈学振 张 鲁 汪稼明 李慧政 金明善
周 济 胡序威 赵 逊 相重扬 徐世典
谢荣岱 薛全福

各分册编审委员会主任(名单略)

三、丛书出版委员会

主任:宫本欣

副主任:陈学振 张 鲁 李慧政

委员:(按姓氏笔画排序)

王 铸 王昭顺 尹 铭 史 彬 刘传喜
张力军 宋德万 隋千存 董 正 韩 春
鲁颖淮

序

周光召

人类已跨进了新的千年，21世纪的曙光将给全球带来灿烂辉煌的新篇章。回顾过去的20世纪，科学技术的创新与进步引发了人类经济、社会的巨大变革，由此又带来了全球翻天覆地的变化。马克思曾在《资本论》中指出：“生产力的发展，归根结底总是来源于发挥着作用的劳动的社会性质，来源于社会内部的分工，来源于智力劳动特别是自然科学的发展”，人类社会实践有力地证实了这一精辟论断。

随着科学技术在近现代的蓬勃发展，新思维、新理念、新发现推动着新兴学科、交叉学科不断涌现。许多传统学科一方面派生出新的分支学科，另一方面又在与其他学科的融合中形成新的综合性学科。展望21世纪，信息科学技术、生物科学技术、纳米科学技术将成为发展迅速，带动社会经济科技快速进步的前沿学科。环境、能源、材料、航天、海洋等科学技术将继续发展，解决人类面临的持续发展课题。社会进步和经济发展的需求为人类今后如何驾驭科学技术的骏骑，如何继续攀登科技巅峰提出了新的课题。

一个国家的科技水平不仅体现在少数科学家的科技成就中，更要体现在广大群众对科学技术的理解、掌握和应用之中。“科技先行，以人为本”有赖于公众科技文化素质整体水平的提高。因此，弘扬科学精神、传播科学知识和科学方法

就成为科技工作者又一不可推卸的、任重而道远的职责。中国科学技术协会作为党领导下的科技群团组织，肩负着促进学科发展、推动科技进步和普及科学知识、提高全民科技文化素质的重要责任。编写《21世纪学科发展丛书》是使这种重要责任有机融合的一次新尝试。科学普及的对象可分为若干社会群体，其中青少年群体的科普教育尤为重要，因为他们是21世纪的后备人才，是攀登科技高峰的生力军。让广大青少年了解自然科学和技术科学的发展历程、卓越成就，对人类文化、社会、经济发展的巨大贡献，培养他们对科学技术的兴趣、爱好，以及为科技事业献身的精神，是老一辈科技工作者义不容辞的责任，也是我们编撰此套丛书的初衷所在。因此，专家学者们对编著此套丛书表现了极大的热情与关注。68个全国性学会参与了丛书的组织编写，很多院士、知名科学家在百忙中亲自挥笔，运用通俗的语言、生动的描绘、深入浅出的方式，将科学的奥秘揭示给读者。全套丛书介绍了60多个不同学科的起源、发展历程、著名科学家、重大科技成就，以及未来学科发展的态势，为广大读者特别是高中以上文化程度的各阶层读者提供了一套科学性、知识性、前瞻性、趣味性和可读性相统一的科普读物。希望通过浏览这套丛书，不仅能够帮助广大青少年读者拓宽知识领域，而且对于他们选择未来发展方向起到引导和参考作用。同时，此套丛书通俗易懂，也适合其他不同社会群体的干部与公众阅读。丛书将由山东省出版总社于2001年分两批出版发行。

跨入21世纪的中华民族将面临重新崛起的机遇和挑战，衷心地祝愿充满希望的一代丰获知识的硕果，为我国的繁荣富强贡献出才智和力量，作出无愧于伟大中华的重大业绩！

2001年1月16日



↑玉米螟害
茎危害状



↑棉花枯萎病
黄化型症状



→玉米黑粉病
↓小麦蚜虫



← 稻瘟病



↑ 东亚飞蝗



← 稻纵卷叶螟



↑ 黄鼠





← 棉铃虫幼虫钻蛀棉铃

↓ 小麦赤霉病



目 录

第一章 植物保护学发展历程	1
第一节 防治有害生物是发展	
农作物生产的重要保证	2
一、有害生物——农作物的劲敌	2
二、生物灾害的产生	3
三、人类与有害生物的斗争是长期的	3
第二节 有害生物防治对策的发展历史	
一、20世纪40年代以前的防治对策	4
二、化学防治的利与弊	4
三、综合防治策略开创了与有害生物斗争的新局面	5
第三节 有害生物综合防治技术体系和关键技术	
一、我国的农作物有害生物综合防治技术体系	7
二、对上述综合防治关键技术的进一步说明	8
三、改善耕作栽培条件控制有害生物的危害	15
四、科学防治指标——综合防治策略的核心内容之一	18
五、合理用药	20
第四节 实施综合防治策略取得成功的重要实例	
一、褐飞虱的长期准确预报	22

自
录

目 录

二、小麦条锈病的长期控制技术	22
三、改变防治策略 3年控制小麦吸浆虫的技术	23
四、麦类纹枯病发生规律及综合防治技术	24
五、控制棉铃虫猖獗危害的综合防治配套措施	25
六、五大作物田一次性除草技术	27
第五节 中国植物保护学会的成立与发展	28
第二章 虫害——农业丰收的灾星	33
第一节 农田中的六足动物	37
一、农业昆虫的特点	37
二、农业昆虫的“红”与“黑”	39
第二节 农业昆虫学的产生与发展	48
一、农业昆虫学的产生	48
二、中国农业昆虫学简史	50
三、农业昆虫学的分支	54
第三节 虫口夺粮古今谈	55
一、中国古代的三大灾害性害虫及当代治理	55
二、中国古代害虫防治史中的世界之最及近况	61
三、中国当代农业害虫防治	70
四、中国人的唯心治虫法	72
五、国外农业害虫防治趣谈	79
第四节 害虫治理的未来	82
一、未来百年——就在眼前	83
二、未来千年——“天方夜谭”	85
第三章 病害——作物的瘟疫	87
第一节 植物的瘟疫——人类的灾难	88
一、病害的概念	88
二、病害的影响	89
三、植物病理学的诞生	91
第二节 植物疾病的起因——发病因素	93

一、病害的微观世界	93
二、病害的传染蔓延	112
三、病害的暴发流行	116
第三节 寄主和寄生物的互作——侵略和反侵略的斗争	121
一、病原物的致病作用	122
二、寄主植物的抵抗反应	126
三、寄生物在寄主体内的生长和发育	130
第四节 病害防治的一般途径	132
一、培育和利用植物的抗病性	133
二、杜绝和减少病害初染源	134
三、降低病害流行速度	137
第五节 中国植物病害防治古今谈	140
一、古代植物病害防治史	140
二、近代植物病理学史	143
三、当代植物病理学的进展(1950~2000年)	151
第六节 植物病理学的发展趋势和对策	160
一、高新技术在植物病理学中的拓展应用	161
二、经济有效、环保型病害防治新技术的开发应用	164
三、植物病害的系统管理	165
四、进一步提高农作物病害防御能力的基本途径	166
第四章 农田杂草——“绿色强盗”	167
第一节 杂草的强盗行径	168
一、杂草的定义	168
二、杂草的危害	169
三、杂草的类别	170
第二节 我国杂草科学的研究概况	171
第三节 农田杂草危害损失及调查方法	173
一、杂草密度与作物产量损失预测方法	173

目 录

二、农田杂草调查方法	174
第四节 农田杂草综合治理	176
一、农田杂草综合治理的概念.....	176
二、农田杂草综合治理现状	176
三、农田杂草综合治理的特点.....	177
四、农田杂草综合治理措施.....	179
第五节 抗药性杂草及其治理	192
一、研究抗药性杂草的几个概念.....	193
二、抗药性杂草的形成与发展.....	195
三、抗药性杂草治理	197
第六节 我国杂草科学的研究发展方向	200
第五章 鼠害——作物的“灰色窃贼”	203
第一节 鼠害对生产的影响	204
一、鼠类、害鼠与鼠害的含义	205
二、鼠害对农作物产量的影响.....	206
三、鼠害对农户储粮的影响	210
四、鼠害的其它负面影响	210
第二节 鼠类的主要习性	211
一、栖息与活动.....	211
二、取食与繁殖.....	212
三、社群行为	215
第三节 鼠害防治技术的发展	215
一、我国鼠害防治的发展进程.....	215
二、防治鼠害的主要措施	217
第四节 21世纪鼠害防治展望	221
第六章 植物检疫——作物的“警卫”	225
第一节 植物检疫的起源、作用和地位.....	226
一、外来病虫害与植物检疫	226
二、植物检疫制度的产生和现状.....	230

三、植物检疫与国民经济的关系	234
第二节 植物检疫的主要内容	237
一、植物检疫的特点	237
二、植物检疫的主要法规依据	238
三、植物检疫的主要行政措施	239
第三节 我国植物检疫的新发展	241
一、植物检疫策略的改革	241
二、重要检疫性有害生物的检疫对策和技术进展	247
三、加强植物检疫的国际合作	258
四、加强检疫管理	262
五、积极发展科学技术，努力提高检疫水平	263
六、密切注意国际贸易中植物检疫的动态，加强对 关贸总协定(GATT)的调研	263
第四节 21世纪的植物检疫大有作为	265
一、植物检疫面临的新情况和发展机遇	265
二、抓住机遇进一步发展植物检疫工作	268
第七章 农药——作物卫士的武器	275
第一节 农药的概念和分类	276
一、农药的定义和概念	276
二、农药的不同来源	279
三、农药的不同作用对象	282
四、农药的不同作用方式	292
第二节 农药的昨天和今天	296
一、古代农药	296
二、近代农药	297
三、现代农药	300
四、我国的现代农药	301
第三节 农药的剂型和使用	304
一、农药的剂型	304

**目
录**

二、农药的使用	317
第四节 农药在农业生产上的积极作用	324
一、控制农业有害生物	324
二、调节农作物的生长发育	326
三、如何发挥农药的积极作用	327
第五节 农药的副作用及其避免	329
一、毒性	329
二、药害	331
三、抗药性	332
四、残留和环境污染	334
第六节 农药的明天	336
一、农药的发展方向	336
二、农药剂型的发展方向	337
三、农药使用技术的发展方向	338
第八章 21世纪的植物保护学	339
第一节 可持续农业与综合防治策略的协调性	340
一、可持续农业与有害生物的可持续控制	340
二、21世纪有害生物可持续控制综合防治策略的发展	341
第二节 综合防治策略发展的新阶段	342
一、有害生物可持续控制策略的生态学基础	342
二、有害生物综合防治策略的第三阶段	
——有害生物可持续控制	343
第三节 当前我国植物保护工作中急需加强研究的重要课题	344
推荐书目	346

第1章

21世纪学科发展丛书

植物保护学发展历程

第一节 防治有害生物是发展农作物生产的重要保证

一、有害生物——农作物的劲敌

农作物从播种、生根发芽、出苗成长、开花结实，到收获贮藏，都会遭到病虫草鼠等各种有害生物的侵害，造成生长发育不良、器官被破坏、产量减少、品质降低，甚至中途夭折而颗粒无收。有害生物种类繁多，可分为引起作物生病的病原物、吃作物的害虫、害螨和害鼠，以及与作物争夺水分、营养和光照的农田杂草。我国是农作物生物灾害较严重的国家之一，《中国农作物病虫害》(第二版)(中国农业出版社，1995年)上记载了我国主要农业病虫草鼠害对象1648种，其中病害724种、害虫(螨)838种、杂草64种、害鼠22种。据统计，在不防治的条件下，平均每年由于有害生物的危害造成我国粮食作物减产15%左右，棉花减产20%以上，大发生年的损失大大超过常年。开展全面防治可挽回大部分损失，但是防治后我国每年仍

因病虫草鼠危害损失粮食 1 500 万吨左右，棉花 30 多万吨。由此可见，有害生物是农作物的劲敌，不控制住它们的危害，农业生产就不可能持续稳定地发展。

二、生物灾害的产生

有害生物的发生成灾需要具备 3 个适宜的条件：作物对有害生物缺乏抵抗力；有害生物对作物有很强的侵害能力；环境条件有利于有害生物的生长发育繁殖及侵害作物，而不利于作物防卫有害生物的侵害。由于病虫草鼠害种类繁多，适宜它们发生的环境条件各不相同，而作物品种对不同有害生物的抵抗力差异很大，因此在条件不断变化的情况下，常造成各种生物灾害此伏彼起、时伏时起，反映出生物灾害的复杂性和防治有害生物的艰巨性。我们要努力设法增强作物的抵抗力，削弱有害生物的侵害力，尽可能创造有利于作物而不利于有害生物的环境条件，使有害生物的危害得到控制。

三、人类与有害生物的斗争是长期的

自远古时代出现农作物以来，人类就一直在同危害农作物的各种有害生物进行斗争。我国在公元前 239 年面世的《吕氏春秋》一书中已提倡适时播种减轻虫灾。唐朝（618~907 年）政府设立了治蝗官员，专门负责扑灭蝗虫的工作。公元 304 年我国就有利用黄猄蚁防治柑桔害虫的记载，是世界上最早开展生物防治的国家。在漫长的农业发展史中，人类同有害生物的斗争从未停止过，而且今后还要继续斗争下去。随着科学技术的进步和社会生产力的发展，人类防治有害生物的策略和手段得到不断的改进提高，但是有害生物也在发生变化，适应新的条件，继续侵害农作物。我们要认清与有害生物斗争的长

期性，密切注意有害生物的新变化，及时调整我们的对策，提高控制技术，使我们在这场斗争中立于不败之地。

第二节 有害生物防治对策的发展历史

一、20世纪40年代以前的防治对策

在20世纪40年代以前，我国防治农作物有害生物的方法是多种多样的，由于科学技术和社会生产力水平的限制，主要采用农业防治方法，如调整播种期、实行轮作/间套作、深耕晒茬、销毁田间带病虫残枝落叶和选育抗病虫品种等。药物防治主要应用植物性、动物性和矿物性的原料，如喷洒鱼藤、除虫菊、烟叶、苦楝树叶的浸出液防治害虫，用鸡蛋棉油乳剂防治棉蚜，石灰水浸种防治种传病害，用砒霜、马钱子制成毒饵防治蝗蝻、地下害虫和害鼠，用稀面汤防治叶螨（窒息作用）等。物理防治，如用灯火、谷草把诱杀害虫，用鼠夹、鼠笼等诱捕害鼠，温水烫种消灭种子上的病虫，枣树干基部涂胶或培土拍光防止枣尺蠖雌蛾上树产卵，果实套纸袋防治果树食心虫等。生物防治，如引进优势种瓢虫及寄生蜂防治介壳虫等害虫，将马蜂窝移到农田增强马蜂成虫捕杀害虫的作用等。这些防治方法在减轻农作物有害生物的危害方面曾起了重要作用，但其中不少方法比较费工费时，特别是有的时候不得不靠人工捉虫或人工扑打蝗蝻，效率很低，防治效果也不理想，每当病虫大发生时，常常措手不及造成严重灾害和重大经济损失。

二、化学防治的利与弊

自20世纪40年代中期，有些发达国家经过化学合成、筛选，率先研制出滴滴涕、六六六、对硫磷等有机氯和

有机磷农药以来,由于这些农药杀虫效果高、见效快、使用方便、效率高、又可以大规模生产,使化学防治得到迅速发展。化学农药的品种愈来愈多,不仅有杀虫剂,以后又出现杀菌剂、杀鼠剂、杀线虫剂、除草剂等,防治的规模愈来愈大。当时,人们以为有了高效广谱的有机合成农药,许多病虫害问题就能得到根本解决。化学防治成了对付有害生物最重要的方法,逐步取代了其它方法,几乎成为惟一防治措施。在用药策略上,当时主张以消灭病虫为目标,强调“治早、治小、治了”,而且哪一种药好就长期连续用这一种药。至今我国还有很多农民习惯于这种不良的化学防治传统。

实践证明,长期单纯使用化学农药防治病虫草鼠害,出现了一系列恶性问题:1. 农药的有毒残留物污染环境问题日益严重,使环境质量下降,威胁人类、家畜、鱼虾、家蚕、蜜蜂及其它有益生物的健康和生存。2. 有害生物对化学农药产生抗药性,使防治费用增加,防治效果下降,防治愈来愈困难。3. 已被控制危害的有害生物再度猖獗或原来无明显危害的次要对象上升为新的重要危害对象。这就是国际上说的 3R(残留、抗性和再猖獗)问题。显然,想用加大原有化学防治措施的力度来缓解上述问题,结果会适得其反,使问题更严重,形成恶性循环,对我国农业生产的持续发展更加不利,因此是行不通的。

三、综合防治策略开创了与有害生物斗争的新局面

总结分析了化学防治中出现的上述矛盾和问题后,人们才逐渐认识到防治农作物有害生物不能光顾眼前的经济利益,还要想到保护和提高人类赖以生存的环境质量;不能以消灭有害生物为目标,而应把它们作为生态学

的问题来考虑,提出长期对策,将其种群数量控制在经济允许损失的范围内;不能单纯依赖化学防治一种手段,而应围绕以有害生物与农作物为中心的复杂生态系统,采用包括利用自然控制和人为防治在内的多种手段配合起来进行治理。

(一)有害生物综合防治策略

1967年,联合国粮农组织在罗马召开的专家组会议上,认真回顾了过去20年来各国科学家为克服单纯大量使用化学农药带来的3R问题等不良后果而提出的各种“综合防治”观点,经过归纳提炼,正式提出了有害生物综合防治(IPC)策略的定义。到70年代初,有些研究者给IPC充实了系统概念,用系统分析方法选择最佳IPC方案,从而发展为有害生物综合治理(IPM)策略。我国在50年代初的有些农业害虫防治工作报告中就提到了综合防治,以后在不断参考国外有关论述,并结合我们自己几十年的实践体会,对综合防治策略有了更全面、深入的认识。在1975年农业部召开的全国植物保护工作会议上确定“预防为主,综合防治”为我国植物保护的工作方针。在1986年我国第二次农作物病虫害综合防治学术讨论会上,对有害生物综合防治作出了与国外IPM类似的描述:“综合防治是对有害生物进行科学管理的体系。它从农业生态系总体出发,根据有害生物和环境之间的相互关系,充分发挥自然控制因素的作用,因地制宜地协调应用必要的措施,将有害生物控制在经济允许损害水平以下,以获得最佳的经济、社会和生态效益”(经济损害水平是“造成的经济损失相当于防治费用的有害生物种群密度”,见第三节,五、)。

(二)我国农作物有害生物综合防治技术研究示范情况

为了贯彻实施农作物有害生物综合防治策略，我国从第六个五年计划以来，一直把农作物病虫草鼠害综合防治技术研究列入国家科技攻关研究计划。经过国内科研、教学近 1 000 位科学家 10 多年的共同努力，我国 IPM 策略已发展为分不同生态区以作物为单元组建多病虫对象的综合防治技术体系，分别在 17 个省（区）30 多个示范区共 20 多万公顷农田上进行综合防治示范。实践证明，实施综合防治策略的地方不但经受住了病虫害大发生的考验，比常规防治对照区更有效地控制了生物灾害，作物保产效果非常显著，而且化学农药用量和防治成本明显下降，环境污染问题得到改善，取得了突出的经济、社会和生态效益。以上事实充分说明用综合防治策略对付生物灾害，既控制了有害生物猖獗发生，保证农业生产稳定发展，又能防止因环境质量恶化而影响人类和有益生物的生存。因此，这是一种长期有效的策略，它的出现开创了人类与有害生物斗争的新局面。

第三节 有害生物综合防治技术体系 和关键技术

一、我国的农作物有害生物综合防治技术体系

根据我国的经验，为了系统地贯彻实施农作物有害生物综合防治策略，需要深入进行田间调查研究，组建有纲领性作用的以作物为单元的有害生物综合防治技术体系，这是我国大面积实施综合防治策略取得显著成绩的关键。具体做法如下：

（一）分不同生态区设立试验示范区，对一种作物进行系统调查和历史资料分析，弄清该作物主要有害生物的发生动态和种类演替情况，确定当前的主要防治对

象。

(二)研究主要有害生物的发生轻重与作物布局、耕作制度及环境、气候等条件的关系,提出在寄主作物关键受害阶段的有害生物种群动态监测和预测方法。

(三)研究该作物对主要有害生物危害的反应和补偿能力,根据经济学原则确定有害生物单对象和复合对象的防治指标。

(四)研究主要天敌的发生规律和对有害生物的控制作用,提出改进作物布局和合理用药等增强天敌控害作用的措施。

(五)系统监测主要有害生物对于常用农药抗药性的发展变化;筛选对有害生物高效,对天敌无害,对人、畜低毒和在环境中低残留的新农药;提出避免或缓解有害生物抗药性的科学管理和使用农药的配套措施。

(六)鉴定、筛选、培育和推广种植对病虫害单抗或多抗的优良作物品种。

(七)研究提出改变耕作栽培制度和作物布局减轻有害生物发生为害的措施。

(八)在以上研究的基础上,从作物高产、优质和提高经济、社会及生态效益这个总目标出发,本着发挥自然因素和人为防治综合控制作用的原则,将各个环节上研究提出的防治关键技术合理组装起来,建成分别适用于不同生态区的、按寄主作物关键生育期安排的有害生物防治技术体系。

二、对上述综合防治关键技术的进一步说明

(一)生物灾害预警技术

和天气可以预测预报一样,生物灾害也可以预测预报,这一点对于流行性的作物病害和暴发性的虫、鼠害特

别重要，因为它们种群增长快，来势猛，如果事先对它们的发生趋势心中无数，稍不注意防范，就会酿成灾害，无法挽救。因此搞好生物灾害预警工作是有效地实施综合防治策略的前提。预测预报按其内容可分为发生期预测、发生量预测、分布预测、危害损失预测、防治效益预测等；按预测时间可分为短期、中期、长期和超长期预测；按预测对象的多少，又可分为单对象预测和多对象综合预测等。预测预报不仅涉及有害生物的发生情况，也是综合防治决策的重要依据，例如，有害生物需不需要防治、什么时间治、采用什么方法防治、不防治将造成多大损失、防治后可能取得多大效益等问题都需要由预测预报提供信息。

预测预报使用的分析方法很多，如数理统计预报、模糊数学预报、列联表综合评判预报、时间序列分析预报等，所有这些分析都需要在有害生物、寄主作物、环境3个方面积累大量系统的科学记录，才能保证分析结果的可靠性。由于有害生物预测预报是综合运用生态学、生理学、气象学、数理统计学、生物物理学和生物化学等多学科的原理及方法的一项技术，要求从事这项工作的人员具有以上学科的基础知识并懂得一点计算机的使用方法，更重要的是要有认真负责、实事求是的态度，做好工作，力争及时准确地发布预报。

(二)为什么有的作物品种能抵抗病虫害的侵袭

1. 利用作物抗性控制有害生物的意义 在相同的环境条件下，同一种作物的不同品种的病虫害发生程度有差异，有的品种明显比别的品种发生轻，表现出作物对病虫害的抗性。利用作物的抗性控制病虫灾害属于自然控制性质，是一种十分经济而有效的方法，它可以节约化学防治成本，促进天敌的控害作用，并保持良好的农田生

态环境,是综合防治的一个基本措施。

2. 抗性的多种多样 作物对病虫害的抗性表现是多种多样的,对害虫的抗性叫抗虫性,对病害的抗性叫抗病性。抗虫性又可分为不选择性、抗生性和耐害性;不选择性是指寄主作物具有特殊的形态学特性(如叶片有无毛、器官形状、颜色等)或其受害敏感期与害虫发生期不吻合,因此对害虫的取食、产卵等没有吸引力,使危害减轻,这也叫排趋性;抗生性是指作物含有对害虫有毒的物质(如玉米、小麦中的丁布抗玉米螟和麦蚜、棉花中的棉酚、黄酮、单宁抗棉铃虫和卷叶虫等),使害虫取食后生长、发育、繁殖受到抑制甚至中毒死亡;耐害性是指害虫能够正常为害作物,但因作物具有很强的补偿能力而受害后损失小。抗病性的分类比较复杂,按病原物侵染过程分,能防止病原物侵入的叫抗侵人抗性;侵入后由于作物产生坏死反应等阻碍病原物扩展的叫抗扩展抗性;病原物侵入后病程发展缓慢的叫慢病性抗性,作物敏感期躲过了病害高峰期的叫避病性。按对病菌生理小种有无专化性分,如果对某一个或几个小种高抗而对另一些小种高感,抗性常因小种变异而丧失或减弱的叫垂直抗性,对各小种都有一定抗性,虽不一定很高抗,但抗性较稳定的叫水平抗性。除了上述自然抗性外,作物经过病虫害一定程度的危害或被某些药物处理后诱发产生对病虫害的抗性叫诱导抗性或系统获得抗性。用分子生物学方法将外源基因转化到作物种质中,培育成新型的高新技术抗病虫害品种,属于转基因抗性。

3. 抗病虫害作物品种的培育方法 目前主要的方法是接种筛选法。第一步是收集种植某一种作物的大量种质资源(包括野生资源),分别在植株上接种各种病原物和害虫,让它们发生危害,然后按规定的各种病虫害的

发生程度等级进行鉴定，从这些资源中筛选出各种病虫害的抗源。第二步将各种病虫害的抗源分别与感性对照进行杂交和回交试验，研究各抗性基因的特性和遗传规律，为培育抗性品种提供理论依据。第三步将抗源中的抗性基因通过杂交和后代选择，转化到具有优良农艺性状的品种中，育成有抗性的新品种。20世纪30年代以来，特别是新中国成立以来，在育种家和植保科学家的合作下，我国育成了大量抗病虫害的优良品种，如抗稻瘟病、白叶枯病、稻飞虱的水稻品种，抗小麦锈病、白粉病、吸浆虫、麦蚜的小麦品种，抗玉米丝黑穗病、大斑病、小斑病、玉米螟的玉米品种，抗棉花枯萎病、棉蚜、叶蝉、叶螨的棉花品种等，其中有不少品种能兼抗几种病虫对象。这些抗性良种的大面积种植，对于控制病虫灾害、保证农业丰收起到了重要的作用。

4. 作物丧失抗性的原因和对策 实践证明，大多数抗性品种的控害作用不是经久不衰的。人们常见到原来抗病或抗虫的品种种了几年后变成不抗了，有的人以为这是品种退化丧失了抗性，也有人以为是“假种子”造成的。经过科学家深入研究，弄清了出现以上现象的主要原因是病原物或害虫的致害性发生突变，成为能侵害抗性品种的新的病原物小种（真菌）、菌系（细菌）、株系（病毒）或新的害虫生物型，使抗性品种蜕变为感性品种。历史上曾因为不了解这个原因，造成小麦条锈病等几次暴发成灾，因来不及扑救而酿成重大损失。因此，我们要不断监测病原物和害虫致害性的变化，及时培育、种植抗新小种、菌系、株系或生物型的作物品种。

（三）利用有益生物控制有害生物

与农作物一样，有害生物也常遭受多种微生物和昆虫（蜘蛛、螨）的侵袭，使它们的发生和对农作物的危害受到

抑制。这些帮助人类控制有害生物的微生物和昆虫(蛛、螨)是有益生物,是有害生物的天敌,而研究利用有益生物及其产物来控制农作物有害生物的发生及危害就叫做生物防治,它也属于自然控制范畴,是符合综合防治策略要求的另一个重要措施。在本章第一节已提到我国开展生物防治有悠久历史,但是由于种种原因,直到20世纪前半叶,生物防治在我国一直未能得到很好发展。新中国建立以来,先后在应用大红瓢虫防治柑橘吹绵介壳虫、赤眼蜂防治蔗螟或玉米螟、黑青小蜂防治籽棉内越冬红铃虫等方面作出了显著成绩。到1975年把“预防为主,综合防治”定为植保工作方针以后,我国的生物防治得到蓬勃发展,在天敌资源调查、繁殖释放、引进开发、品种筛选、移植助迁、工厂化生产和自然保护利用等方面进行了大量研究和应用实践,在研究的深度和应用的规模及成效上已达到国际同类研究的先进水平,其中有些领域和技术已达到国际领先水平。

1. 生物防治的内涵 生物防治的内容是很丰富的,它包括以虫治虫、微生物治虫、蛛螨治虫、鸟兽治虫、微生物治病、以虫治草、微生物治草等,近年来科学家还发明了用基因突变的或转外源基因的微生物来治虫、治病的新方法。能抑制害虫的益虫种类很多,可分为捕食性和寄生性两类。常见捕食性天敌昆虫有瓢虫、草蛉、食蚜蝇、食虫蝽、泥蜂、步甲等。蜘蛛和捕食螨属于蜘蛛纲,也是一大类捕食害虫的重要天敌。常见的寄生性天敌昆虫大多数属于膜翅目和双翅目,即寄生蜂和寄生蝇两大类,寄生蝇主要寄生害虫的幼虫和蛹,寄生蜂除了能寄生幼虫和蛹以外,还能寄生卵和成虫。寄生性天敌多半寄生在害虫体内(内寄生),也有些种类寄生在害虫体外(外寄生)。捕食性昆虫的食虫谱一般较宽,而寄生性昆虫的寄

主比较专化。值得注意的是，天敌昆虫有时也能捕食或寄生其它天敌，这时它们的作用就变成有害的了。使害虫生病的微生物包括细菌(如苏云金杆菌、金龟子芽孢杆菌等)、真菌(如白僵菌、绿僵菌、蚜霉菌等)、病毒(如核多角体病毒、颗粒体病毒、质型多角体病毒等)、昆虫病原线虫(如斯氏线虫、异小杆线虫等)、微孢子虫(如蝗虫微孢子虫等)，各类微生物引起害虫生病各需要一定的环境条件，在条件适宜时常引起昆虫疾病流行，使害虫大批死亡。在微生物治病方面，人类从自然界分离筛选出大量微生物(主要是链霉菌，还有真菌性的青霉菌等)，以发酵抽提的方法提取它们的活性成分，用来防治引起作物病害的真菌、细菌、线虫，可收到显著的效果。如井冈霉素是一种链霉菌的产物，对于稻、麦、玉米的纹枯病有特效。此外，近年来研制的阿维菌素(阿维链霉菌的产物)控制叶螨类和斑潜蝇类有特效，对于另一些害虫及家畜寄生虫也有良好效果。利用工程微生物治病方面，如有的研究者用转座子 TN₅(一种可在细菌基因组内移动的DNA片段)诱变小麦主要内生菌荧光假单孢杆菌，从中选出高活力的菌株“荧光93”，用来喷洒小麦幼苗，对于小麦全蚀病(一种很难防治的真菌性基腐病害)有很好的防病增产作用。还有的研究者将Bt(苏云金杆菌)内毒素基因转化到经过诱变成为能够控制水稻纹枯病菌的枯草杆菌B916中，初步构建成能够兼治水稻螟虫和纹枯病的转外源基因工程菌，室内试验证明，具有良好的应用前景。

2. 利用天敌防治病虫害的主要途径

(1) 自然天敌的保护利用 包括减少化学农药对天敌的杀伤作用和通过改进耕作栽培制度促进天敌增殖两个方面。由于天敌对大多数化学农药的敏感程度高于害

虫，在使用这些农药防治害虫时往往天敌先被杀死或害虫与天敌同归于尽，使天敌发挥不出控害作用。在防治害虫抗药性种群时，更会造成天敌被杀光而有大量害虫没被杀死，继续为害作物。为了解决这个问题，首先要使用对害虫高效而对天敌比较安全的选择性农药品种，如用灭幼脲防治粘虫、噻嗪酮防治稻飞虱、抗蚜威防治麦蚜等。要提倡使用微生物杀虫剂，如Bt制剂、阿维菌素等，因为它们对大多数天敌无明显伤害作用。其次，要适当拓宽害虫的防治指标，压缩农药防治面积，减少施药次数和按有效剂量的下限施药，尽可能降低农药对天敌的影响。第三，要改进施药技术，如采用内吸杀虫剂浸种、涂茎、滴心等措施，以及在害虫点片发生时及早进行局部施药防止其扩散蔓延，以减少农药对天敌控害作用的影响。

实践已证明，小麦套种棉花可以免去棉花苗蚜的药剂防治，棉田埂种高粱可以减轻棉花伏蚜的危害，油菜套种小麦可以显著减少麦蚜的数量，苹果园和柑橘园等果树行间种植薰衣草等植物招引捕食螨及小花蝽等天敌可以减轻叶螨的危害，甚至不必进行化学防治。这些结果都是因为这些种植制发挥了天敌控制害虫（螨）的作用。如小麦套种棉花田，小麦穗期蚜虫吸引很多天敌来取食，随着小麦黄熟收割，这些天敌迁移到棉苗上，可以基本控制住棉花苗蚜的发生。要是在麦田用农药防治穗蚜时杀伤了天敌，常引起棉花苗蚜种群失控而严重发生。由此可见，通过改进耕作栽培制度能够增强天敌的控害作用，但必须减少农药对天敌的杀伤作用。

（2）重要天敌的工厂化生产和使用 引进或在当地筛选高效天敌，经过人工方法大量繁殖培养（生产天敌产物时还要经过抽提、浓缩、干燥等程序），得到特制的天敌

产品，适时在作物田间施用，以取得大面积用天敌控制有害生物的最佳效果，这是很有效的生物防治措施。天敌工厂化生产和使用的技术关键是：需要适宜的食料寄主/人工饲料/培养基；适宜天敌快速生长发育和繁殖的培养条件；不影响天敌生活力的保存方法；适于田间使用的包装（如卵卡、蛹卡等）以及能充分发挥天敌作用的生态条件（如温度、湿度、晴天/雨天、风力、作物生长状况等）。我国在国家科技攻关等研究计划的推动下，在主要天敌工厂化优化生产条件和天敌制品的田间使用技术方面已制定了一系列标准，并正在不断开发适于工厂化生产的新天敌种类。

需要注意的是，生物防治在综合防治技术体系中应该和其它综防措施相互配合起来实施。这样，各项措施的优点才能充分发挥，而它们的不足之处可以相互弥补，取得最佳控制有害生物的效果。

三、改善耕作栽培条件控制有害生物的危害

（一）我国具备农田生产调控抑制有害生物的优势条件

不同农作物种植制直接影响农田生物群落结构，使作物、有害生物、天敌之间的关系发生变化，影响作物病虫草鼠发生与危害的轻重。我们可以通过调整耕作栽培制度和作物布局减轻有害生物的危害。这种措施叫农田生态调控，是一种人类可操纵的自然控制措施。我国是世界上耕作栽培制度和作物布局最复杂的大国，我们应该充分利用这个优势，广泛开展农田生态调控抑制有害生物的工作。

（二）农田生态调控的主要成功先例

1. 改造蝗源基地控制东亚飞蝗的危害 新中国成立

之初,东亚飞蝗在各沿海、滨湖、河泛区、内涝区的滩地猖獗发生,对农业生产构成严重威胁。我国政府在连年组织人民群众进行人工扑打结合药剂防治杀灭蝗虫的同时,采纳了国内治蝗专家的意见,用开荒种地的办法把飞蝗孳生的滩地改造成长田。由于大范围地消灭了蝗源基地,使各地蝗蝻密度显著下降,并且在 60 年代末到 70 年代末一个相当长的时期内基本解除了东亚飞蝗的威胁。这是新中国植物保护一大成就。

2. 压缩越冬基地解除了粘虫在一代区的大发生 粘虫是我国农作物的重要迁飞性害虫,主要为害禾谷类作物,大发生时也可为害棉、麻、豆类、果树、林木及牧草等。它的成虫羽化后必须经过远距离迁飞,在途中完成生殖器官发育和交尾,然后进入为害区产卵和孵化出幼虫为害庄稼;从羽化地到为害地最远的距离可达 1400 多公里。它只能在广东、广西和福建南部等地区以幼虫过冬,小麦是它主要的越冬寄主;到春天化蛹、羽化出一代粘虫蛾后迁飞到东部北纬 33°~36°的江苏、安徽、湖北西北部、河南、山东南部、浙江和上海等地区,这些地区是一代为害区。在 80 年代以前粘虫在一代区的为害频繁而严重,是当地麦田主要防治的害虫对象。但是从 70 年代末以来,广东、广西两地冬小麦种植面积锐减 80% 左右,由于缺乏越冬寄主,造成越冬代虫源显著降低,迁飞到一代区的粘虫密度减少,对江淮地区小麦已没有明显危害。因此从 80 年代中期到现在的 10 多年里,由苏北到河南的麦田已不需要防治粘虫。相反,由于福建省南部的小麦面积没有减少,粘虫一代区东端的上海市和浙江省的麦田仍继续遭到粘虫严重为害。从这里羽化的大量蛾子还能向东北方向迁飞,跨越大海到日本为害农作物。由此能否设想,如果福建南部不种小麦,上海、浙江

乃至日本的粘虫危害问题能得到基本解决？

3. 改变种植制控制小麦丛矮病的发生 小麦丛矮病是一种由灰飞虱传播的病毒病，小麦感染此病后，植株严重矮化，产生大量分蘖，叶片发硬，隐约可见浅黄色细条纹，极少拔节抽穗，即便抽了穗也不结实，俗名叫小麦坐坡、小麦刚茬。20世纪60年代末到70年代初冀东地区小麦丛矮病连年大发生，造成小麦严重减产。经河北省植保所研究人员的多年研究，发现此病的发生与小麦套种玉米或棉花有密切关系，平作（不套作）小麦比套作小麦发病轻得多。这是因为灰飞虱适合在植株稀疏、光照度较强的环境中活动，套作田正好是这种条件，因此灰飞虱多在这里活动取食，将某些禾本科杂草（毒源植物）上的丛矮病毒传播给麦苗，引起病害猖獗，而平作田仅在田边杂草丛生的地块边缘发病。为了控制这个病害，他们建议在冀东地区恢复小麦平作。建议得到了省、地领导的采纳并在当地贯彻。实践证明，70年代中期该地区恢复小麦平作以后，小麦丛矮病问题得到基本解决（80年代中期以来该地区再次推行小麦套作，丛矮病又再次加重）。

4. 调整作物布局减轻棉田玉米螟害 由于作物布局不合理和玉米、棉花种植面积比例失调，苏北棉区自从80年代春玉米面积大量缩减以后，玉米螟曾成为棉花的最主要害虫，危害损失较重，形成一代玉米螟重发生夏玉米棉区，二、三代玉米螟重发生春玉米棉区和玉米螟逐代加重的玉米稻棉区。通过调整棉花与玉米比例、棉花与玉米分片种植、不同播期玉米按一定比例搭配、改棉花直播为育苗移栽以及玉米秸秆还田等生态调控措施在几十万公顷面积上实施，显著减轻了棉田玉米螟的危害。

5. 切断寄主链解决了保护地的温虱白粉虱问题

70年代中期以来随着大棚、温室等蔬菜生产的发展，温室白粉虱已成为北方保护地瓜类、茄果类和豆类蔬菜的重要害虫。它发生世代多(10多代/年)、种群密度大、扩散蔓延快，而且对各种杀虫剂容易产生抗性，防治很困难。经蔬菜植保科学家多年研究发现，此虫在北方冬季室外不能越冬，主要因为保护地和露地蔬菜生产相互衔接，使温室白粉虱可以周年发生而造成在保护地猖獗危害。如果在传统的周年蔬菜生产过程的冬季不种黄瓜、番茄等温室白粉虱寄主植物，而改种芹菜、蒜黄或其它非温室白粉虱寄主蔬菜，切断此虫的寄主链，将可阻止它的周年发生和危害。经在北京市等地大面积推行这种种植制，使温室白粉虱问题终于得到基本解决。

四、科学防治指标——综合防治策略的核心内容之一

(一)为什么要制定有害生物的防治指标

在第一章第一节中已经提到防治有害生物的正确目标应符合经济学、环境保护、生态学3方面的要求，就是说防治一种病虫草鼠害应算经济账是否划得来，要避免污染环境和不要破坏生态平衡。这就需要规定一个标准来确定对一种有害生物要不要防治，要防治的话在什么情况下防治最合适，这个标准叫做防治指标。我国在1975年把综合防治策略纳入植物保护工作方针以前，植保科学家们已制定了许多种农作物病虫害的防治指标，但是那时候防治病虫害以“消灭”为目标，要求“治早、治小、治了”，所以指标都定得太严，照那些指标防治，花钱多，用化学农药多，还会产生“3R”问题，是不符合综合防治要求的。因此，正确制定有害生物的防治指标是综合防治策略的核心内容之一。为了表示与过去的防治指标

的区别,我们把符合经济学、环境保护和生态学要求的新防治指标叫做科学防治指标。

(二) 经济损害水平和经济阈值的意义

国际上对于有害生物的科学防治指标提出了经济损害水平(EIL)和经济阈值(ET)两个名称。什么是 EIL 呢?拿通俗一点的话说,我们防治病虫草鼠害至少应该够本,也就是防治挽回作物损失的收益(B)不能低于防治成本(C)。假如有害生物种群密度很低,没有造成多少损失,这个时候进行防治,防治的收益小于防治成本(B 小于 C),这种防治是“赔本买卖”,是违背经济学原则的。反过来,假如到了有害生物密度已很高,对作物已造成很大损失,这个时候再防治,损失已无法挽回,花大钱防治却只有很少收益,这当然也是不可取的。因此我们把防治标准定为防治挽回的损失等于防治成本时的有害生物密度,这就是经济损害水平 EIL。EIL 的目标不是消灭有害生物,而是允许它们保留最多造成相当于防治费用的作物损失的低种群密度。这样,保留下来的有害生物有利于天敌的繁衍。化学农药的用量比以杀灭有害生物为目标而过量打药时明显减少,由于减轻了化学农药的选择压,有害生物抗药性的发展得到缓解,同时减少了化学农药对环境的污染。ET 是指“为了防止有害生物种群进一步增加超过 EIL 而需要采取防治措施的种群密度”。与 EIL 这个理论指标不同,ET 是行动指标,正是我们叫的科学防治指标。因为防治活动有一个过程,为了把有害生物种群控制在 EIL 之下,按理应比其种群密度到达 EIL 之前提早一点进行防治,即 ET 值应稍小于 EIL 值。但实际应用中两者的界线是不严格的。

(三) 怎样制定科学防治指标

1. 田间试验 在特定作物田间进行一种有害生物

的多重复小区试验，一般重复3~4次，每个重复5~7个小区，安排有害生物不同密度处理，随机排列。病虫害的不同密度可以用接种、喷洒不同浓度的农药或人工模拟危害等方法来保持。杂草的不同密度可以用种草和间苗的方法来保持。以无有害生物小区为对照。作物的密度和长势应较均匀，使小区之间保持一致。要除去别的有害生物，以免干扰供试种的试验结果。加强栽培管理一直到作物成熟，分小区单收单打，记录各小区有害生物处理密度和作物产量。

2. 分析不同有害生物密度处理与作物产量的关系

用统计分析的方法进行数据分解，去掉重复间误差的干扰后，检验不同密度处理的产量之间的差异显著性。在证明差异显著后，将各密度处理的产量与对照产量比较，算出各密度处理的产量损失率。然后用回归分析等方法求得产量损失率随有害生物密度而变化的关系公式。

3. 推算出这种有害生物在这一作物上的科学防治指标 先统计防治这种有害生物的每单位面积费用（包括药费、人工费、防治器械折旧费等），然后将防治费用折算为作物产量（即防治消耗掉的产量），再将这个产量与对照单位面积产量对比，算出防治费用相当的产量损失率，最后将这个损失率值代入上面的公式，算出该有害生物在B=C时候的密度值——科学防治指标。

五、合理用药

尽管化学防治在过去半个多世纪里给我们带来了3R问题等不良副作用，但是由于它具有收效快速稳定，能在短时间内把大面积严重发生的病虫草鼠害有效地控制住的突出优点，所以在有害生物综合防治技术体系中不是

摈弃化学防治，而是从农药品种到施用方法上将它改良提高，使它符合综合防治策略的要求。这样，合理化的化学防治也是综合防治的关键技术之一。

(一) 对农药的要求

适合在综合防治技术体系中使用的农药应该具有对有害生物高效、对人畜无毒或低毒、对天敌安全(选择性好)、对环境无残留或低残留等特点，同时销售价格也应让农民能接受。当前我国化学农药的产量已居世界前列，但是农药产品的创新性不足，农业生产中还在大量使用甲胺磷、久效磷、对硫磷等剧毒、高毒农药，每年各地农民中毒死亡的事故不断，因此我们首先要停止生产和使用剧毒农药。针对我们创制新农药的能力有限的现状，应加强对生物农药的研制、开发和生产，因为大多数生物农药对环境对天敌是比较安全的。此外，我们应广泛进行农药室内和田间的鉴定、筛选工作，开发更多符合上述要求的新农药、新剂型和农药的新防治对象及新用法。

(二) 改进提高使用方法

为了减少化学农药残留物污染环境，除了使用低残留的农药以外，尽可能减少化学农药的使用量也很重要。具体的措施如严格按科学防治指标施药、采用内吸性农药处理种子、幼苗、涂茎、滴心和局部点片施药，以及化学农药与生物农药结合施用等。为了缓解有害生物抗药性的发展，在做好抗药性监测的同时，采用几种农药轮换施用，在农药中添加增效剂提高有害生物对农药的敏感性，以及适当选用混配农药等。为了避免化学农药杀伤天敌，除了使用对有害生物高效而对天敌无害的选择性农药外，可实行在天敌发挥控制作用的关键时期停用农药的间歇式用药制度等。

第四节 实施综合防治策略取得成功的重要实例

一、褐飞虱的长期准确预报

褐飞虱是水稻重要的暴发性迁飞害虫。据我国科学家查明,它只能在北纬 23° 以南(广东、广西、云南南部和海南省)的小范围稻区越冬,全国广大稻区的初次虫源几乎全部是随春、夏暖湿气流从中南半岛(越南、柬埔寨等国)和菲律宾群岛迁飞来的。其中,中南半岛的虫源可以随季风从广西进入我国,向东北方向迁飞深入到湖南省,这一虫源密度的大小与我国褐飞虱的发生轻重有密切关系,是主流虫源。菲律宾群岛虫源随台风到达东南部沿海,常年影响较小,是一般虫源。参加水稻IPM攻关研究专题的浙江省农科院植保所的专家通过多年资料研究分析,提出了我国褐飞虱猖獗程度的长期异地测报技术。首先根据湄公河三角洲10月和11月的降雨量(10月低于200毫米,11月高于100毫米)预测下一年迁入我国的虫量,然后根据3至4月红河三角洲的雨量预测迁入我国的时期,再根据5、6月份广西龙洲等测报站实测的虫数,作最终虫害预报。经1991年至1994年连续4年提前数月试报,证明完全符合实际情况。专家评价认为本项预测技术在预测时间跨度、异地预测与发生地的间隔距离和预测的精度方面都达到国际领先水平。本项成果获得国家科技进步三等奖。

二、小麦条锈病的长期控制技术

小麦条锈病是世界性重要小麦病害,它的发生使小麦叶片干枯甚至整株死亡,病菌夏孢子能随高空气流远

距离传播，在条件适宜时，病害的发生蔓延非常快，使小麦严重减产。长期以来，我国条锈病研究人员组织协作攻关，广泛深入研究，已查明了条锈病越夏、越冬、传播、流行规律、流行关键地区和小种变异规律及小麦品种抗锈性“丧失”的原因，系统完整地阐明了中国小麦条锈病的流行体系，建立了完整的条锈菌小种监测系统并提出了可靠的测报方法，为在我国长期控制小麦条锈病打下了坚实的基础。例如 1990 年条锈病在我国大流行，病菌优势小种条中 29 号使大面积种植的原来高抗条锈病的小麦品种洛夫林 10 号后代严重感病。小麦 IPM 攻关研究专题负责小种监测的专家早已查明 29 号小种的出现并上升为优势小种，结合 1989 年越冬菌源多和 1990 年 3 月多雨高湿的气候条件，及时发出小麦条锈病将在我国大部分麦区大流行的预报，并建议在流行区适时施用三唑酮等高效药剂控制病害。这一信息对于当年全国条锈病防治有重要指导意义。近几年他们发现占优势的小种已变为条中 31 号，这个小种能使原来在 1990 年高抗条中 29 号小种的繁六后代小麦品种（绵阳系）等严重发病，因此他们及早向有关部门通报，并配合育种部门尽快筛选培育抗条中 31 号小种的小麦品种。本项成果中，中国小麦条锈病的流行体系获国家自然科学二等奖，条锈菌变异监测及其对策研究获国家科技进步三等奖。

三、改变防治策略 3 年控制小麦吸浆虫的技术

小麦吸浆虫幼虫专门吸食灌浆麦粒，使小麦减产，是我国重要小麦害虫之一。自从 80 年代初它的为害在世界范围内大幅度回升以来，我国虽经过连年采用大面积药剂处理土壤结合穗期喷药防治，发生面积仍在逐年扩大，每年在局部地区造成严重损失。小麦 IPM 攻关研究专题

的专家从小麦——吸浆虫关系的系统研究分析中找出了传统吸浆虫防治策略的主要漏洞：

(一) 在小麦品种更替过程中忽略了抗吸浆虫良种的选育推广。

(二) 药剂处理土壤的耗药量是地上部喷药的几十倍，防治费用高，污染环境，对麦穗的保护作用差(因为处理的是当年的麦田土壤，而前茬是小麦的其它作物及套作田的其它作物行下土壤没有被处理，土中的活虫仍能羽化出大量成虫飞到小麦穗上产卵造成严重危害)，而吸浆虫种群没有被控制，因此这种防治方法是很不合理的。

(三) 成虫发生高峰期与小麦抽穗盛期(即小麦感染吸浆虫的敏感期)往往不吻合，因此传统的以成虫高峰期为标准，防治2~3次仍常常出现防治失时而控制作用不好。针对上述问题，攻关专题的专家们在加强品种抗性机理研究和筛选抗虫良种的同时，为化学防治规定了以小麦70%抽穗为防治关键时期，只进行一次性穗部喷施低剂量长效杀虫剂(如每公顷喷洒60克有效成分的林丹制剂等)。经过“七五”、“八五”期间分别在河南省南阳县和修武县两个吸浆虫重发生区开展大面积防治示范，压低麦穗内虫口和增产作用十分明显，用药量和防治费用大大下降，麦粒和土中农药残留量明显低于国际允许标准，土内残虫密度逐年减退，两个示范区分别在3年后将土内虫量降到防治指标以下。这项成果获国家科技进步三等奖。

四、麦类纹枯病发生规律及综合防治技术

近年来麦类纹枯病的发生面积迅速扩大，危害加重，对麦类生产有很大影响，而过去国内外对这个病害了解

很少。参加小麦 IPM 攻关专题的江苏农科院植保所的专家通过多年系统研究，查明了麦类纹枯病菌是不同于水稻、玉米纹枯病菌的另一个种，适合在低温高湿的条件下发生；明确了气候条件、耕作栽培技术对病害消长的影响；提出群体产量损失测定方法和制定了春季病害的防治指标；研究了三唑类杀菌剂处理小麦对病害的杀菌、控病和小麦调节生理和增产作用；研制出高效广谱复配农药纹霉净；组建了“以农业栽培防病措施为基础，药剂处理种子为重点，早春重病田接力喷药防治”的麦类纹枯病综合防治技术体系。这套技术已在长江流域为主的广大麦区推广实施，收到了显著的控病、增产、增收效益。这项成果获国家科技进步三等奖。

五、控制棉铃虫猖獗危害的综合防治配套措施

90年代以来棉铃虫在我国进入猖獗发生阶段，严重威胁棉花生产，特别是1992年的特大发生，造成重灾区棉花减产50%以上，全国减产30%以上。棉花 IPM 攻关研究专题新乡示范区的综合防治技术体系经受了棉铃虫特大发生的考验，在6700公顷棉田综防示范区将棉虫的危害损失控制在15%以内，比非示范区减少损失40%~60%，皮棉单产达到10吨/公顷以上，防治成本却减少40%左右。其主要综合防治配套措施有：

（一）创新的二代棉铃虫中期准确预报

用5月下旬扫网结合目测调查麦田棉铃虫幼虫的密度和龄期，与常年发生情况比较，预测二代棉铃虫的发生期和发生程度。从1990年以来，各年预报全部准确。

（二）提出了“一代监测、二代保顶、三代保蕾、四代保铃”的综防对策

具体含义是：一代棉铃虫幼虫对小麦无明显危害，化

学防治得不偿失,却杀伤大量天敌,削弱二代棉铃虫的自然控制作用,因此对麦田一代棉铃虫不进行防治,主要搞好监测预测。二代的防治关键是确保主茎生长点不因受害而疯长,而这个阶段棉花有强补偿能力,蕾受害脱落能基本补足,不必专为保蕾而打药。三代期间棉花已进入花铃期,补偿能力明显下降,这个阶段应以保护棉蕾和幼铃不受害为关键。四代发生期应根据气候、棉铃虫和天敌发生情况制定相应保铃措施。

(三)研究制定了不同世代、不同肥力的科学防治指标

新的防治指标改变了滥用农药的做法,较好地协调了化防和生防的矛盾,降低了治虫成本,并有益于改善环境质量。

(四)发挥天敌控制棉铃虫的作用

通过4年棉铃虫自然种群生命表的研究,明确了抑制棉铃虫种群的关键因子是幼虫期的寄生蜂(齿唇姬蜂、侧沟茧蜂等),制定了保护利用这些寄生蜂的配套措施。

(五)棉铃虫抗药性的系统监测和治理对策

90年代主要是针对拟除虫菊酯类的抗药性明显上升,抗性倍数已为开始使用时的几百倍到几千倍,采取了限制菊酯类杀虫剂使用次数,轮换使用不同类型的杀虫剂,扩大使用Bt等生物制剂、昆虫生长调节剂、复配杀虫剂和增效剂等缓解抗药性发展和提高杀虫效果的措施。

(六)利用棉花自然抗虫性

从1000多份棉花种质资源中鉴定、筛选出10多个抗棉铃虫、棉蚜、枯萎病等的品种材料,提供给育种部门并在示范区扩大种植。

(七)诱杀成虫压低棉田虫口

全示范区普遍在棉田插杨树枝把诱蛾,重点村设高

压汞灯诱蛾区,还组织群众在蔬菜留种田捕蛾。

本项成果获国家科技进步三等奖。

六、五大作物田一次性除草技术

化学除草攻关研究专题的专家们围绕水稻、小麦、玉米、棉花、大豆五大作物在不同生态区的田间杂草,开展了以下几方面的研究:

(一)查明了田间杂草群落组成、危害和演替趋势及原因,完成了矮慈姑等7种重要杂草发生消长规律的研究。

(二)筛选研制出分别适用于不同作物、不同生态区、不同栽培制度的10种一次性复配除草剂,一次施药,除草效果都在90%~95%。其中大部分复配剂已被登记,提供给工厂生产。

(三)筛选出8种新除草剂,并改进了使用技术。

(四)研究了生态调控与化学除草相结合的除草技术。选用发育快、竞争性强的作物品种,合理轮作,适当密植,增施肥料,增强作物竞争力,抑制杂草发生,在此基础上降低除草剂用量20%以上,达到控制杂草和丰产的要求。

(五)测定了稻无草等7种长残效除草剂在土中的残留量动态及其对后茬作物的药害持续时间,提出了避免后茬作物药害的对策。

一次性化学除草技术在8个省(市)20个示范区3万余公顷的作物田实施,辐射推广面积达210万公顷,收到显著的增产、节省用工和增收的效果。本项成果获国家科技进步二等奖。

第五节 中国植物保护学会的成立与发展

随着我国植物保护学科和植保事业的蓬勃发展，经国家科委批准于1962年6月成立了中国植物保护学会（China Society of Plant Protection）。同年7月，在黑龙江省哈尔滨市举行了成立大会，在中国科协党组书记兼国家科委副主任范长江和农业部副部长、中国农学会会长杨显东的关怀和参与下，组成了第一届理事会，名誉理事长戴芳澜，理事长俞大绂，常务副理事长沈其益，秘书长裘维蕃。

该学会是根据《中国科学技术协会章程》与《中国科学技术协会全国性学会组织工作条例》依法成立登记的具有公益性、学术性的法人社会团体，是中国科学技术协会的组成部分，挂靠单位为中国农业科学院植物保护研究所。现有会员14500多名，分布于全国各省（市、自治区）有关高等院校、科研院所、推广部门及企业厂家。与此同时，全国各地先后相继成立了各省（市、自治区）植物保护学会，业务上接受中国植物保护学会的指导。

学会第二届至第七届理事长先后由俞大绂、沈其益、黄可训（两届）、周大荣（两届）担任，名誉理事长由俞大绂（第三届）、沈其益（第四至第七届）担任，秘书长由裘维蕃、齐兆生、包建中、贾佩华（两届）、倪汉祥担任。

学会目前设有组织、国际交流、青年、科学普及4个工作委员会，设有病虫测报、植保系统工程、植物抗病虫、生物防治、鼠害防治5个专业委员会和植物检疫学、杂草学、农药学3个分会。

学会成立近40年来，在中国科协的领导和有关部门的重视支持下，为促进我国农业生产和植保科技事业的

发展作出了重要贡献。学会自成立之日起，就发挥群众性学术团体优势，开展学术交流，普及科学知识，发展植物保护科学技术；对国家有关植物保护方面的重大科学技术政策、法规和技术措施，以及对植保科研、教学、生产中存在的问题，提出意见及对策方案，充分发挥了学会的桥梁和纽带作用。例如，在1962年学会成立大会期间提出的“关于当前农作物病虫害防治工作的紧急建议”，通过中国科协党组书记范长江、国家科委主任聂荣臻元帅转呈周总理批示后，送呈毛主席。毛主席十分重视，批示作为八届十中全会的会议文件，从而将病虫危害损失的严重性，加强植物保护工作的重要性，提到了议事日程，给中央和省（市、自治区）党政领导留下了深刻的印象。这项建议在当时起到了行政主管部门写报告所起不到的作用，得到中国科协批示表扬。学会1963年在长沙召开年会时，正遇小麦条锈病流行，与会专家预测1964年气候条件适于该病发生，一旦条锈病流行，小麦将减产数十亿斤。学会将此情况写成书面意见，请范长江同志转呈中央并得到周总理批示，指示要求对小麦锈病作长期调查研究，探讨防治对策，减少灾害损失。根据周总理的指示，有关专家组成了小麦调查研究协作组，对西北、华北条锈菌越冬越夏基地组织多次考察，制定了一系列综合防治措施，在相当长的时间内控制了灾害的发生，受到国家的奖励和表彰。

其他如“预防为主、综合防治”植保工作方针的制定，农作物病虫害综合防治技术的研究、普及，植物检疫法规的制定和植检技术的推进，农药品种更新换代及病虫抗药性监测和治理，生物防治技术的发展，病虫测报事业的建设，抗病虫品种的利用，农田杂草及农牧区鼠害防治技术的开发，均有中国植物保护学会和各省（市、自治区）植

保学会的参与,提出相应的建议并得到有关部门的采纳,有力地推动了我国植物保护科学技术事业的发展。

在开展国际间的学术交流活动中,先后派出数批专家、学者参加多次国际学术会议。从1979年第9届国际植物保护大会起至1999年第14届国际植物保护大会,每届学会均派团出席,并在大会上作学术报告。在第9届大会上,沈其益被推选为第10届国际植保会议常委。在第11届(1987年)大会上,增选黄可训、中国昆虫学会副理事长李丽英为第12届国际植保会议常委,他们三位继续连任第13届常委。在第13届(1995年)大会上,增选学会理事长周大荣为第14届国际植保会议常委,沈其益、李丽英继续连任。在第14届(1999年)大会上,对原国际植保组织进行重大改组,成立了国际植保科学协会(IAPPS),周大荣当选为常委。

通过国际交往,不仅宣传了我国植保科技成就,交流有关植保学科新动态,同时还掌握了有关植保科学技术发展的最新信息,对促进我国植保科学技术的深入发展具有重大作用。为了进一步推动我国植保科技工作者的国际交流与合作,中国植物保护学会自1987年开始申请在我国举办国际植物保护大会,经我国植保界多年的努力,在第14届国际植物保护大会上申办终于获得成功,第15届国际植物保护大会将于2003年在北京召开。这次大会是21世纪国际植保界的首次盛会,会议主题为“共商新世纪植保大业的首次大聚会”。

学会1962年开始出版学术刊物《植物保护学报》(季刊),先后由沈其益、周明牂、黄可训任主编。1963年学会编辑的技术性刊物《植物保护》(双月刊)创刊,特邀请中国科学院郭沫若院长亲笔书写刊名,先后由陈善铭、李光博、周大荣任主编。

《植物保护学报》是我国发表植保学科研究成果的重要园地，成为本学科国际交流的重要期刊。截止到 2000 年底，已出版 27 卷 90 期。目前已与国内外 30 多个单位建立了交换关系，在国内“北京高校期刊工作研究会及北京大学图书馆”统计系统中被列为核心期刊，被国外 Review of Agriculture Entomology, CAB International 以及 Ulrich's International Periodical Directory 重要文摘及数据库录用，被国内中国农业文摘和生物学文摘等录用。

《植物保护》本着面向生产面向基层为国民经济建设服务的办刊宗旨，既注重应用技术的介绍，又有一定的基础性理论深度，起到了传播科技信息、发展科学、促进生产的作用，受到广大读者的欢迎。截止到 2000 年底，已出刊 26 卷 132 期。该刊 1988 年被评为全国农口学会系统优秀期刊，1992 年获中国科协首届优秀学术期刊一等奖，北京优秀期刊五项全优奖和国家科委评选的全国优秀期刊二等奖。



第2章

21世纪学科发展丛书

虫害——农业丰收的灾星

自从人类社会步入文明时代以来，衣食住行可以说是人生的基本需求。没有衣服穿时，可用树叶或毛皮裹身；没有房子居住时，可以钻山洞、窑洞栖身，甚至可以天做被地当床地过上一段时光；没有车马可乘时，可以步行，甚至爬行；惟无食可进的情况下，人与“死亡之神”的距离最近。因此，中国有“民以食为天，国以农为本”的古训。

的确，人只要活着，就必须吃饭。在中国，熟人见面最常用、最地道、最亲切的问候用语是“吃了吗？”或“您吃过饭没有？”等类似的语言，至少在 20 世纪 80 年代以前的很长一段时间曾经如此。中国人请客的主要内容是吃喝，逢年过节饮食更是一项倍受重视的内容，有人甚至把中国饮食文化看做中国文化的象征。从“吃”与“乞”、“饭”与“反”的构字关系更可以看出吃饭对中国人的重要性，如果少数人没有饭吃，他们可以行乞糊口；如果大多数人没有饭吃，社会必反乱无疑。为什么中国人对吃饭如此重视呢？只要我们打开史书就不难找到答案。纵观上下数千年，天灾（水、旱、蝗等）、人祸（疾病、战争等）频

繁地袭击着中国人。据竺可桢教授统计,公元前1世纪到19世纪,我国发生水灾658次,旱灾1 013次。而按陈达教授统计,水旱灾害更为频繁,自公元206年至1936年的2 000多年间,我国共有水灾1 031次,旱灾1 060次。事实上,蝗灾总与水、旱之灾相伴而生,据周尧教授统计,从公元前707年到新中国成立前的2 600多年中发生蝗灾的就有800多年。中国农谚有“种田防三害,水、旱与虫灾”之说,但这些自然灾害对旧社会的农民而言,水灾与旱灾常具有可知性及一定程度的可控性,而虫灾的发生则显得突然、神秘而使人束手无策。解放前,江浙一带曾经流传着这样一首民谣:“旱死三千高田,还有三千低田;淹死三千低田,还有三千高田;蝗虫来了实可怜。”可想当年农民们对蝗灾的无奈。明代农学家徐光启在《农政全书》中也曾精辟地写道:“凶饥之因有三:曰水、曰旱、曰蝗。地有高插,雨泽有偏被,水旱为灾,尚多幸免之处,惟旱极而蝗,数千里间,草木皆尽,或牛马毛、幡帜皆尽,其害尤惨过于水旱。”可见,虫灾是制约古代农业生产的重要因素。

从“农”字产生更能看出虫害与粮食生产的关系。农字的繁体有几种写法,其中之一为“𠂇”,其上部两侧的“乚”和“乚”为一双手;上部中间的“𠂔”表面上与田相像,但实际上却是捕虫的工具;下部是“辰”,但辰字在古代和现在的意思却大不相同。图2-1是“辰”字演变过程,最初时(图2-1A),辰字为一条蛴螬的形象,几个黑点便是气门的化身了;当它从土中被挖出来时,不断地抖颤“振”动,造字维妙维肖;在图2-1B的金文里,气门被省去,而头上平添了一横,表示地面;下边则“长”出了两支足;从图2-1C到图2-1D,由线条化到笔画化,便是“辰”的小篆体了。农字起源于除虫,从此可以推测在

—图 2-1
“辰”字的演变



古代粮食生产的过程中害虫防治是最主要的事项。

世界上约有一半的昆虫是吃植物的，在人类栽培的植物中没有一种不受昆虫的为害，大面积栽培的农林植物和贮藏的各种农林产品为部分植食性昆虫提供了富足的食料，因而，常使部分昆虫的种群数量以惊人的速度增大，造成经济上的损失。

今天，害虫所造成的损失仍很巨大，据联合国粮农组织(FAO)统计，全世界五种主要作物(稻、麦、棉、玉米、甘蔗)每年因虫害的损失达2 000亿美元，约相当于我国1990年农业总产值的两倍。我国因虫害损失粮食约150亿公斤。

显然，古往今来，害虫的治理关系到农业的丰产丰收，关系到国家的经济建设，关系到国家的稳定与繁荣。所以，古代思想家管仲在《管子·度地篇》中就曾告诫政治家：“善为国者，必先除其五害……虫一害也”，就是说善于治理国家的人，先要治理“五害”，虫害就是其中之一。

本章中，我们将简单地介绍人类在农事活动中与害虫斗争的过去、现在及未来，有关的基础知识读者可参看本系列丛书的《走进奇妙的昆虫世界》分册。

第一节 农田中的六足动物

一、农业昆虫的特点

(一)农田生态系统的特点

生态系统是某一空间中生物群落与非生物环境的组合体,小的生态系统可以是一粒种子、一池水、一块田,而大的生态系统可以是一片森林、一座高山乃至整个生物圈。在组成生态系统的各个因子之间存在着能量、物质、信息等方面的复杂联系。

农田生态系统是在人类参与下形成的一类特殊的生态系统,农事活动对农田生态系统的形成与演替起着十分重要的作用。在此类生态系统中,作物是生产者的主体和被保护的对象,人类的农事活动创造着利于作物生长的条件,使生态系统中的生产者单一化。另一方面,由于在相近时间中大面积地收获作物,对相关的消费者与分解者的种群动态会产生急剧的影响。

(二)农业昆虫的种类、数量与种间关系

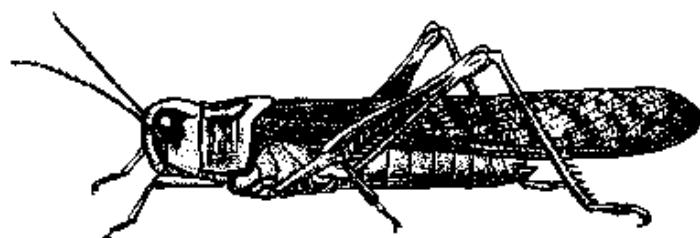
尽管农田生态系统比自然生态系统单一,但其中仍然存在着大量的昆虫,而且各生物间的关系仍然相当复杂。

1. 农业昆虫的种类 据报道我国的较重要的农林害虫在2000种左右,其中稻、棉的害虫各有300多种,小麦、大豆的害虫各100多种,贮粮害虫250余种,苹果害虫180余种,桑树害虫190多种,柳树害虫近100种。实际上农田中的昆虫远远不止这些,除害虫外,尚有天敌、中性昆虫等;如截止1991年,仅中国已知的水稻害虫天敌就有879种,加上未被调查的害虫、天敌、中性昆虫等,稻田中的昆虫至少会有3000种以上。目前中国农田昆

虫的区系尚未彻底清楚。

2. 农业昆虫的数量 在作物生长期內，取食作物的害虫由于食物的富足等原因得以良好的发育和繁殖，一些生命周期短的昆虫在短期内可以达到很高的密度，能进行孤雌生殖的昆虫（如蚜虫）更是如此，如在半个月的时间内一棵树上的蚜虫量可达 10 万头以上；当害虫的密度超过某一限度时就会造成对作物的为害，如果这些害虫不善迁飞或迁移（如介壳虫等），短期内能造成局部为害；如果害虫具有较强的迁飞和迁移能力，在短期内可造成大面积为害，如我国历史上成灾的东亚飞蝗 *Locusta migratoria manilensis* (Meyen) (图 2-2) 迁飞时可遮天蔽日，旬日不息，所到之处作物的茎叶被一扫而光。非洲的沙漠蝗最大蝗群可达 500 公顷 ~ 1 200 公顷，约占全球陆地面积的 1/5，遍及 65 个国家和地区，个体数量有 7 亿 ~ 20 亿个之多。天敌昆虫和中性昆虫有时的种群量也会很大，如一平方米的土壤中可能有弹尾目昆虫 10 万头。

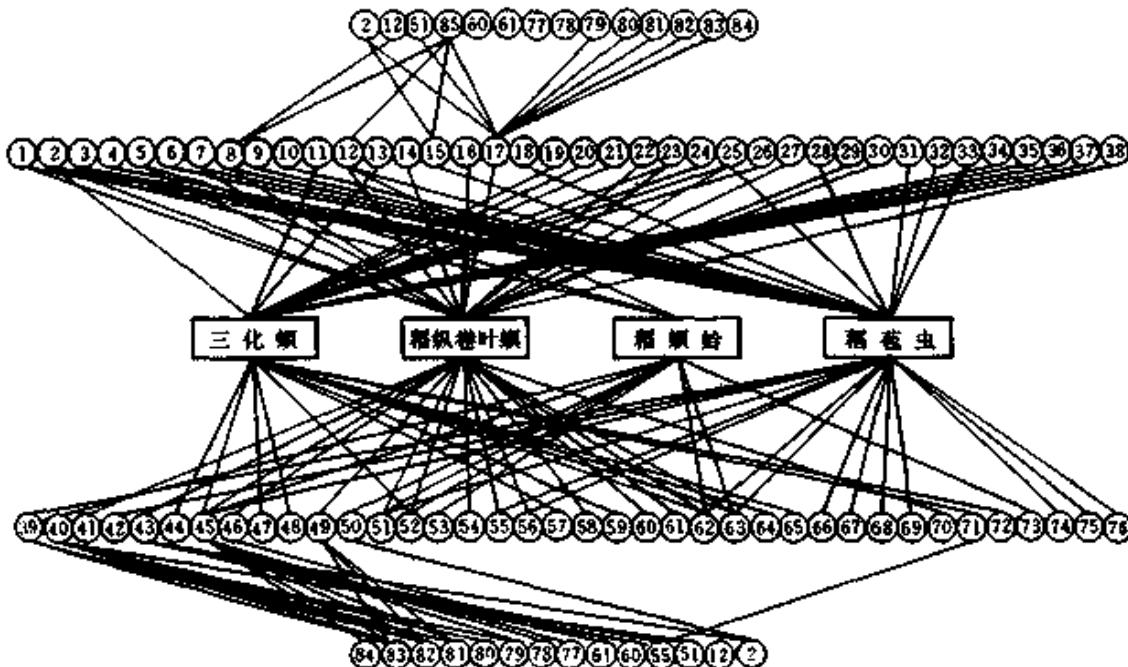
—图 2-2 东
亚飞蝗 *Locusta
migratoria
manilensis*
(Meyen)



大多数取食农田中其它植物的昆虫则因营养条件恶化而数量下降，甚至在某类农田中消失；连一些能取食植物的昆虫也由于植被单一化、播种与收获的时间等原因而处于劣势。植食性昆虫的单一又导致天敌种类的单一，一些天敌会随寄主或猎物种群的上升而增多，但大多数情况下，与自然生态系统相比，农田中的天敌种类的种类与数量下降，个别种类的天敌还可能由于缺乏过渡寄主而不能在某类农田中生存。

3. 农业昆虫间的“关系网” “螳螂捕蝉，黄雀在后”是大家非常熟悉的一句谚语，其中生动而简练地表达了生物间由于食物而形成的链状联系。由于农田生态系统中的生物众多，一种植物常常被几十种到数百种动物取食，每种植食性动物又有几种到上百种天敌，每种天敌又有多种天敌，这样生态系统中各种生物间就通过取食关系形成了一种错综复杂的网状联系，即食物网（food chain）。农田中的食物网虽然比自然生态系统中的简单，但也十分复杂。图 2-3 表示了 4 种水稻害虫与目前已知的 84 种寄生性昆虫和重寄生性昆虫间的关系，图中的圆圈和号码代表一种寄生性昆虫，线条表示寄生关系，可以看出它们的关系非常复杂。如果把所有的水稻害虫的寄生性和捕食性天敌以及天敌的天敌都列在一起，可想而知其复杂程度。

↓ 图 2-3 4
种水稻害虫与其
寄生性天敌的关
系网（仿庞雄飞、
尤民生）



二、农业昆虫的“红”与“黑”

(一) “害”与“益”的概念

在所有的昆虫中，有 35% 是植食性的，25% 是捕食性的，10% 是寄生性的，还有 30% 是腐食性或其它食性的，这为我们大致划出了益害的范围，但这仅是一自然现象，而人类的益害观是以人的利益为中心，以经济的尺度来衡量的，因此要复杂得多。具体来说，所有吃植物的昆虫不能一概称之为害虫，所有能造成危害的昆虫亦并非全是害虫，同理也不是所有捕食和寄生性的种类都是益虫。最明显的例子是养蚕，蚕吃桑叶，在林业上蚕即为害虫，但蚕结茧吐丝，能在吃桑叶后给人类创造更大的价值和用途，蚕就成了大益虫。寄蝇能寄生农林植物的多种害虫，是益虫，但寄蝇却是蚕的大敌，在蚕业上寄蝇又成了头号害虫。这一点完全取决于人类的需求观。

常常会有上百种昆虫取食一种作物，但它们对作物所造成的“虫害”不同，有的对产量有影响，有的对产量没有明显的影响，有的反而有利于植物的生长，即虫害有主次之分。在一种栽培植物的多种取食者中只有几种是需要防治的，它们才是所谓的“害虫”，而那些不造成为害的植食性昆虫甚至可以以“益虫”对待，如德巴克（1974 年）认为北美仅有 1% 的昆虫种类为害虫，其它 99% 的昆虫是无害或有益的。转变人们对“虫害”与“害虫”的观念对于确定合理的管理方式甚为重要，只有当人们正确地理解与合理地确定“害虫”标准后，才能有效、经济、持续地管理害虫。

（二）农业害虫

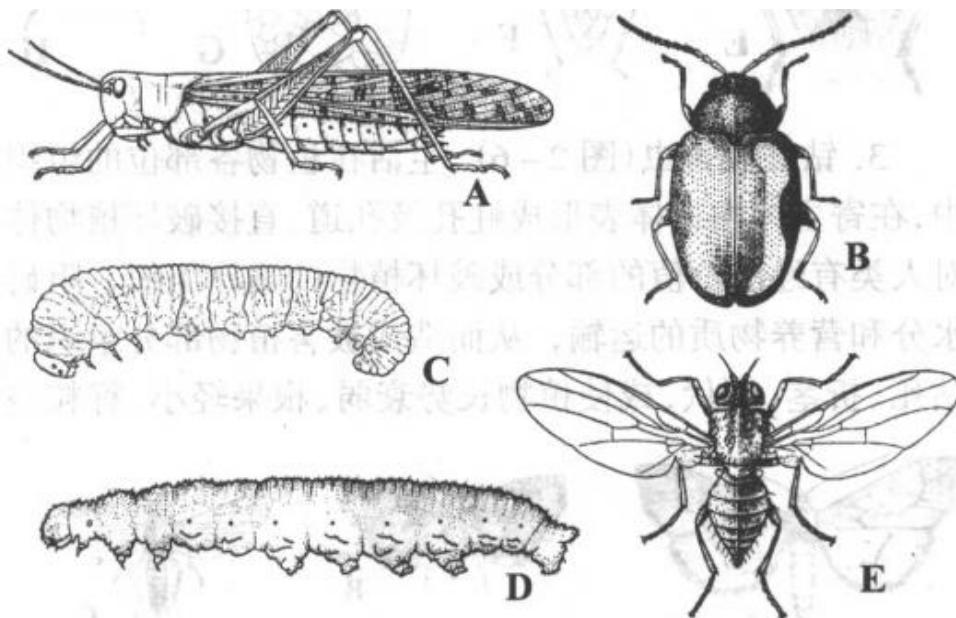
大多数重要害虫属寡食性（为害同科或近缘科的若干种植物）和多食性（为害多科多种植物），如马铃薯瓢虫主要为害茄科植物，属寡食性，而斜纹夜蛾可为害 99 科 290 多种植物，为多食性害虫，仅有少数害虫为单食性，如三化螟仅危害水稻。

害虫对植物的为害方式有直接和间接两大类。直接

为害主要是由于害虫的取食活动造成的，其次是由于某些昆虫的产卵过程而致。根据害虫取食的部位与环境可将害虫分为食叶性害虫、刺吸性害虫、钻蛀性害虫、地下害虫与仓库害虫等类。

1. 食叶性害虫(图 2-4) 绝大多数为咀嚼式口器昆虫，它们常把叶片咬得残缺不全，甚至把作物吃成光秆，如蝗虫大发生时可将植物的幼嫩部分全部吃掉。有些食叶性害虫，如稻纵卷叶螟、稻苞虫等把叶片卷折结包，躲在里面取食，而一些潜叶蝇类和潜叶蛾类的幼虫则钻到叶片里面取食叶肉，造瘿性昆虫中亦有一类专门为害植物的叶片。食叶性种类主要是通过减少植物光合作用面积等直接造成产量的损失。

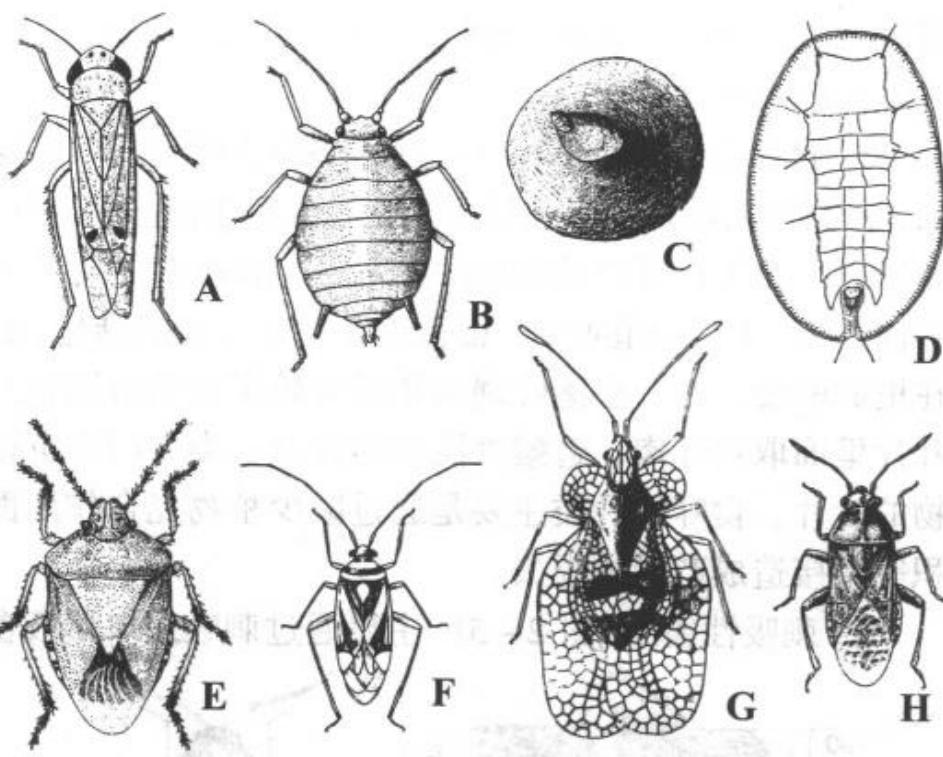
2. 刺吸性害虫(图 2-5) 主要通过刺吸式口器吸食



—图 2-4 常见的食叶性害虫(仿周光)
A. 蝗虫；B. 叶甲；C. 叶蜂幼虫；D. 粉蝶幼虫；E. 潜叶蝇

寄主植物的汁液，造成植物营养损失。同时，由于它们在刺吸时向寄主组织中分泌酶及其它刺激性或毒性物质，会引起植物细胞坏死及新陈代谢机能的失调。另一方面，部分刺吸性害虫产卵于植物组织内，使疏导组织受损，影响养分的运输，有时会造成枝条的死亡，再者它们还会传

播病害。刺吸性害虫几乎包括所有同翅目昆虫和部分半翅目昆虫。



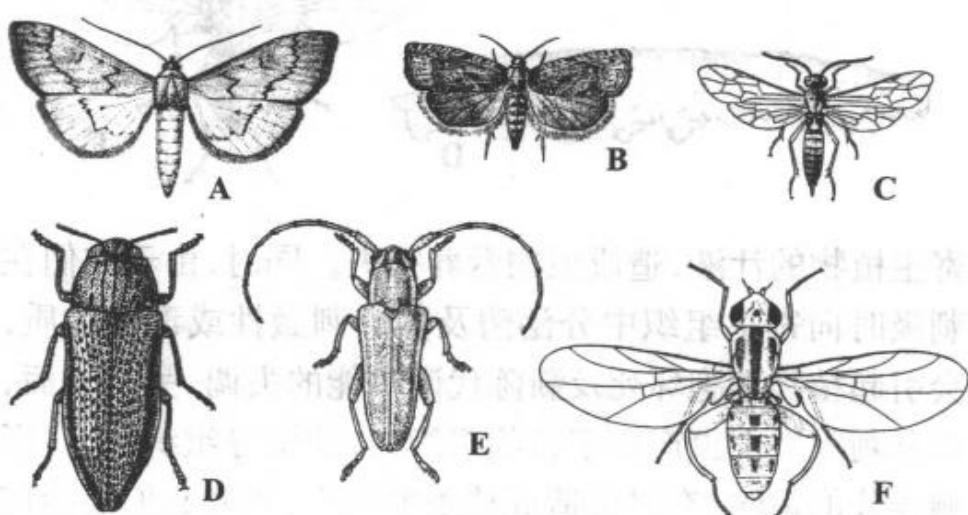
一图 2-5 常见的刺吸性害虫(仿周光)

A. 叶蝉; B. 蚜虫; C. 介壳虫; D. 粉虱; E. 椿; F. 叶蝉; G. 叶蝉; H. 跳蚤

3. 钻蛀性害虫(图 2-6) 生活在植物各部位的组织中, 在寄主体内或体表形成蛀孔及孔道, 直接破坏植物体对人类有经济价值的部分或破坏植物的疏导组织, 阻碍水分和营养物质的运输, 从而造成被害植物部分组织的枯死、折茎、倒伏, 或使植物长势衰弱、根果轻小、籽粒空

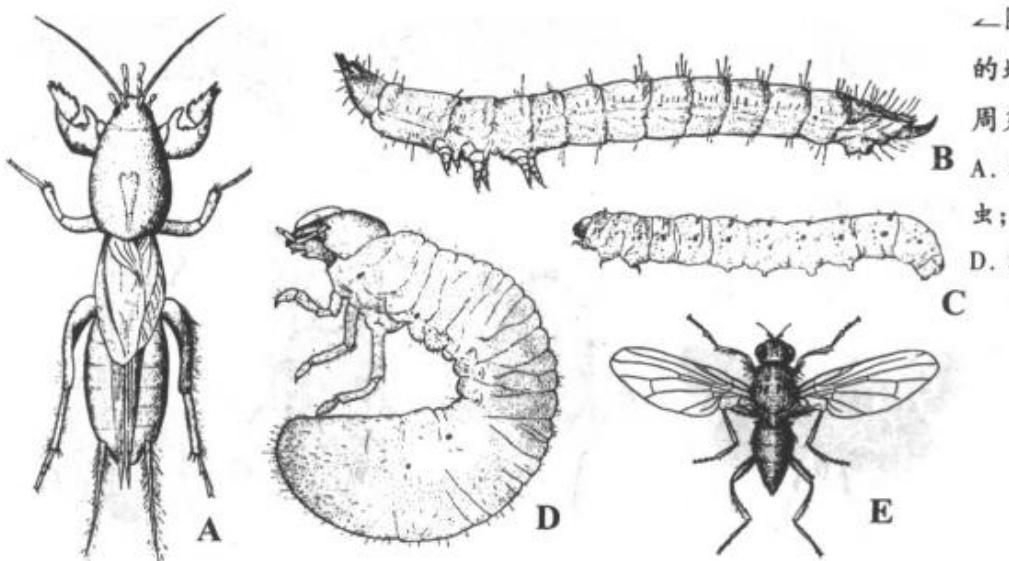
一图 2-6 常见的钻蛀性害虫(仿周光)

A. 玉米螟; B. 食心虫; C. 茎蜂; D. 吉丁虫; E. 天牛; F. 麦秆蝇



瘪、产量下降、品质变劣，严重者可近绝收。常见的钻蛀性害虫有鞘翅目、鳞翅目、双翅目等类群。

4. 地下害虫(图 2-7) 是指活动为害期间生活于土壤中的一类昆虫，为害植物的地下部分或近地面的部分。此类害虫食性杂、分布广，农作物及苗木常受其害，特别是作物播种后至幼苗期，常因其害而缺苗断垄，甚至不得不毁掉重播，贻误农时，严重影响产量。



—图 2-7 常见的地下害虫(仿周尧)
B. A. 融站；B. 金针虫；C. 小地老虎；D. 蛴螬；E. 种蝇

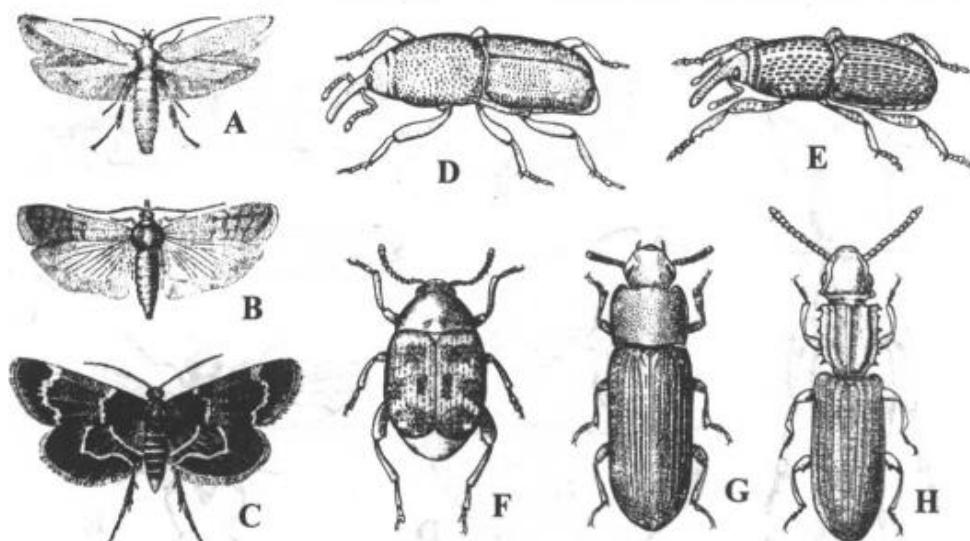
5. 仓库害虫(图 2-8)又称储粮害虫，我国已知 250 多种，按其为害的特性可将仓库害虫分为三类：一类为害完整的粒，如绿豆象、玉米象、谷蠹、麦蛾等，这类害虫为初期性害虫；一类为害损伤过的粒、碎屑、粉沫等，如锯谷盗、拟谷盗类等，这类害虫为后期性害虫；另一类不仅为害完整或损伤的粒，而且兼食粮仓中的腐败尘埃、杂物和虫尸、虫粪等，如黄粉甲、露尾甲等。仓库害虫对粮食的为害有两方面：一是被害虫吃掉所造成的直接损失；二是因被害虫污染或感染而引起的间接损失，如发霉、变质、变色、遗留虫尸、吐丝网缀等。世界上每年因仓虫为害造成的损失约为粮食贮藏量的 10%。

昆虫对植物的间接为害也有两方面：一方面是害虫

取食部位常留下创伤,易于病菌侵染,如飞虱类为害水稻后,伤口处往往导致小粒菌核菌的入侵。另一方面,害虫可传播病原物,如在已知的 249 种植物病毒病中,由蚜虫传染的就占 159 种。叶蝉科中有 135 种传毒者,能传播 86 种病毒体的菌系。昆虫由传毒所造成的为害往往远大于直接取食所造成的为害。

图 2-8 常见的仓库害虫
(仿周免)

A. 蟑螂; B. 印度谷螟; C. 紫斑谷螟; D. 米象; E. 谷象; F. 玉米象; G. 杂拟谷盗; H. 榨谷盗

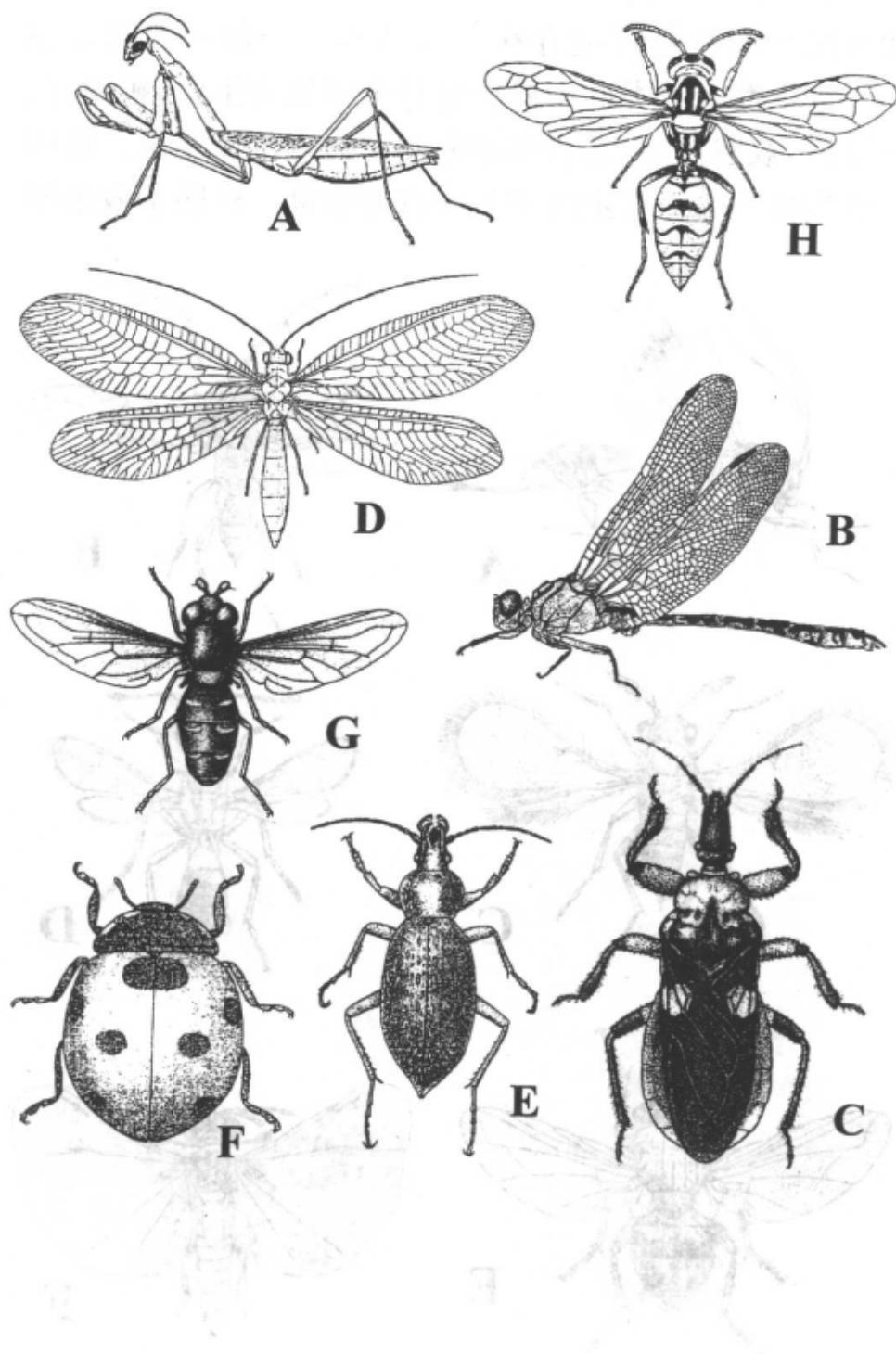


(三) 农田益虫

1. 天敌昆虫 在自然界中,约有 25% 的昆虫是捕食性的,10% 的昆虫是寄生性的,即近 3/1 的昆虫为天敌昆虫,它们在害虫种群的自然控制方面起着十分重要的作用。

(1) 捕食性天敌 (图 2-9) 捕食性昆虫的成虫与幼期昆虫均自由生活,猎物往往被它们立即杀死,一生能杀死多个猎物,成虫与幼期昆虫的食性近似,个体一般比猎物大。捕食性昆虫分布在昆虫纲 18 目 200 多科中,蜻蜓目、螳螂目、长翅目、脉翅目的昆虫全部为捕食性类群,直翅目、半翅目、鞘翅目、膜翅目、双翅目、鳞翅目等都有一部分捕食性天敌。引进该类天敌防治害虫有不少成功的

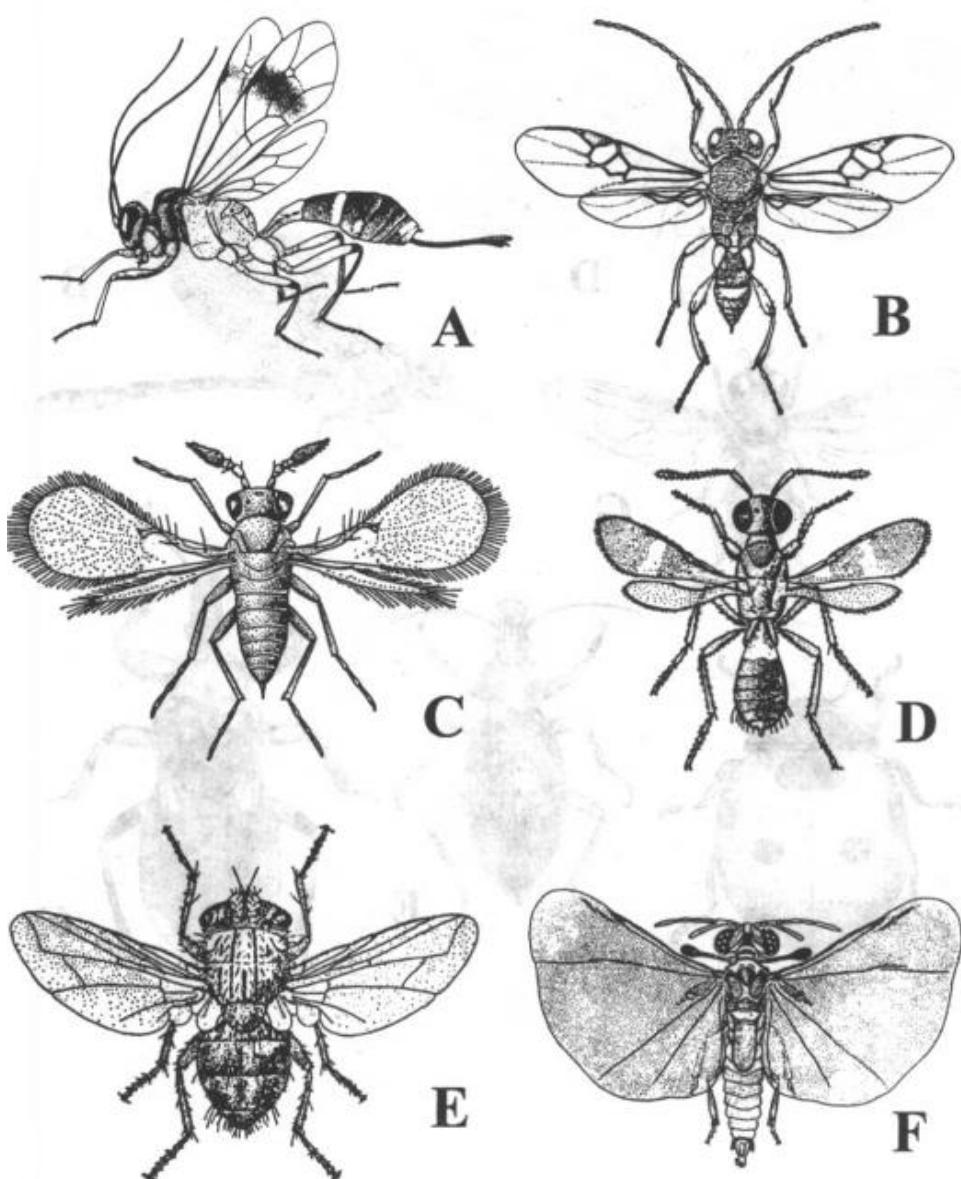
—图 2-9 常见的捕食性天敌
A. 螳螂; B. 青蜓;
C. 猎蝽; D. 草蛉;
E. 步甲; F.瓢虫;
G. 食蚜蝇; H. 胡蜂 (C.G. 原图, 其余仿周尧)

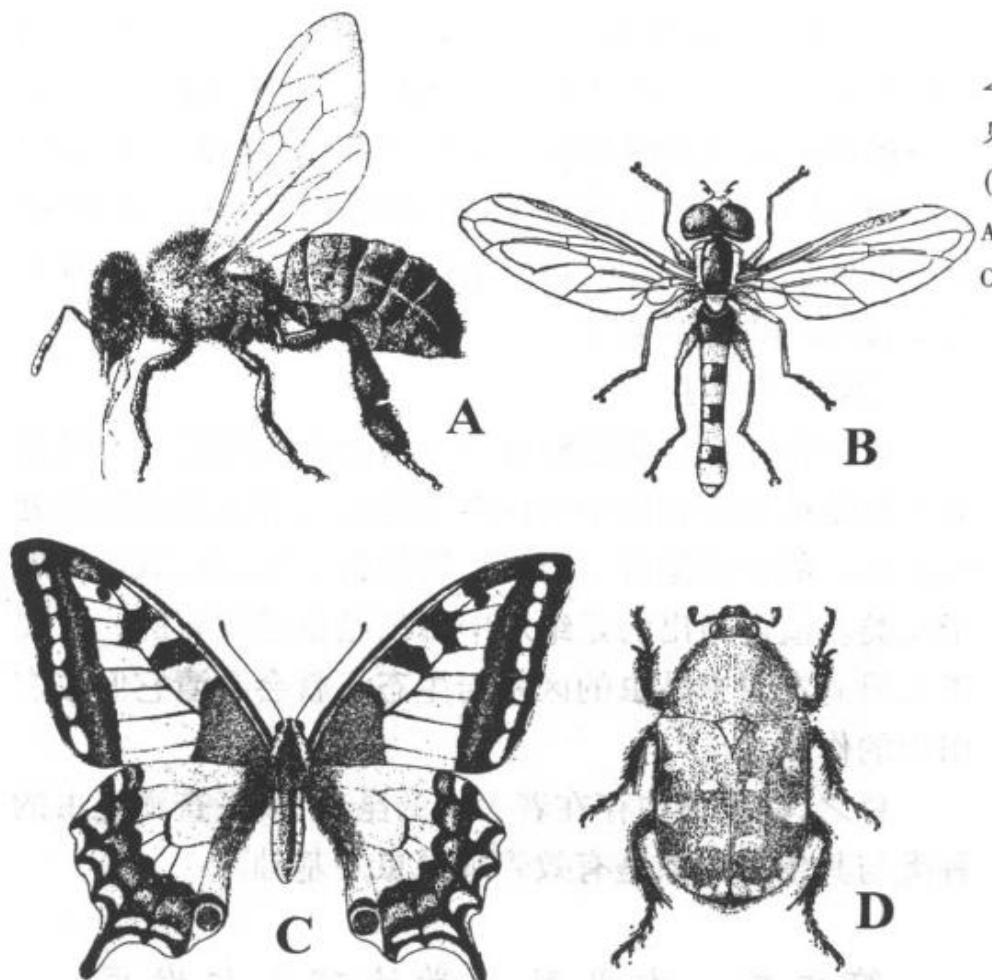


事例。

(2) 寄生性天敌(图 2-10) 寄生性昆虫的幼期昆虫生活在寄主的体内或体外,往往经过一定阶段寄主才被它们杀死,大部分情况下一生只能杀死一个寄主,成虫与幼期昆虫的食性可能存在很大差别,个体一般比寄主小。寄生性天敌类群中仅捻翅目全部为寄生性,鞘翅目、鳞翅目、双翅目、膜翅目仅部分类群为寄生性昆虫。在田间寄生性天敌对害虫的寄生率有时很高,但防治效果不

—图 2-10
常见的寄生性
天敌
A. 姬蜂 (仿赵修
复); B. 苹蜂 (仿
何俊华); C. 赤眼
蜂 (仿庞维飞); D.
小蜂 (仿蒲鳌龙);
E. 寄蝇; F. 蛾
(仿杨集昆)





—图 2-11 常见的传粉昆虫
(仿周尧)
A. 蜜蜂; B. 蝇;
C. 蝴蝶; D. 甲虫

如利用捕食性天敌那样快。

我国是世界上发现与应用害虫天敌最早的国家。早在 3 000 多年前就注意到昆虫寄生现象，1 700 多年前已经人工利用捕食性天敌进行生物防治。

解放后，我国的生物防治工作取得了很大进展。特别是在赤眼蜂的繁育与利用方面居世界领先地位。

2. 传粉昆虫(图 2-11) 大约 80% 的植物属于虫媒植物，蜂类、蝇类、蝶类、蛾类、甲虫类等访花昆虫是虫媒植物授粉的必要媒介，这些“红娘”昆虫为人类创造了巨大的财富，如人类利用蜜蜂授粉可使棉花增产 12% ~ 15%、油菜增产 40% ~ 60%、向日葵增产 30% ~ 50%、荞麦增产 50% ~ 60%、果树增产 50% 以上、瓜类增产 50%

~60%、温室大棚果蔬增产30%~70%等。显然，蜜蜂因授粉促进农作物增产的价值远比蜂产品的价值高。很多经济植物都可用蜜蜂授粉来提高产量，改良种子。据美国1957年统计，该国昆虫授粉所得的收益，当年达45.34634亿美元，比该年因害虫造成的损失（35.2916亿美元）还多10亿多美元。

（四）中性昆虫

对中性昆虫目前还没有一个广为接受的定义，此处的中性昆虫是指农田中对作物不造成为害也无直接益处的昆虫。部分弹尾目、革翅目、鞘翅目、啮虫目、双翅目属于此类。值得指出的是绝对中性的昆虫是没有的，只要深入研究农田中昆虫的区系与生态，就会弄清它们在农田中的作用。

总之，在农田中存在着大量的昆虫，彻底查清昆虫的种类与其生态关系是有效管理昆虫的基础。

第二节 农业昆虫学的产生与发展

一、农业昆虫学的产生

农业昆虫学（agricultural entomology）或称经济昆虫学（economic entomology）的出现是人类在长期农事活动中对昆虫知识不断积累的结果。大约在3000年前，中国与埃及就有了害虫防治的记载，2000多年前，中国人就记载了自然界食物链的现象，但农业昆虫学作为一门现在意义上的学科一般从19世纪中叶算起。

18世纪，随着殖民主义不断扩张，许多有经济价值的植物迅速在欧美各地传播，一些本地害虫因为得到了新的食物而成灾，而一些外来的害虫则因为失去了原来天敌的控制而暴发，使欧美的农业，特别是美国的农业因

虫害蒙受了严重损失。于是，欧洲的蒙梭、寇梯思、美国的卡特、佩克等人开始了对重要经济害虫生物学及防治方法的研究。

1841年，美国昆虫学家T. W. 哈利斯把自己多年的研究成果汇集成《关于为害植物的害虫的报告》一书，该书经过两次修订重印，被视为世界上第一本经济昆虫学教材。哈利斯也因此被誉为经济昆虫学的奠基人、美国经济昆虫学之父。此后，美国、加拿大等国先后建立了联邦昆虫局，出现了专业农业昆虫学家。农业昆虫学就是在这样的背景下应运而生。19世纪中，与哈利斯齐名的农业昆虫学家是C. V. 赖利，他在密苏里州任昆虫学家期间发表的9篇报告被认为是19世纪对经济昆虫学的最佳贡献。此后，他参与组织和创立了美国昆虫学委员会(1877年)和美国经济昆虫学会(1889年)，成功地策划并指导了引进澳洲瓢虫防治加利福尼亚的吹绵蚧，建议法国人成功地用美国的抗虫砧木防治了法国的葡萄根瘤蚜并获得法国政府金质奖章。由于他出色的贡献被誉为美国19世纪最伟大的经济昆虫学家。

20世纪以来，数学、化学、分子生物学、信息技术等的发展与应用对农业昆虫学的发展起到了极大的促进作用。世界各地的农业昆虫学研究取得了很大进展，一些重要害虫得到不同程度的控制，为作物的丰产丰收提供了有力的保障。在该世纪中，对学科发展影响最大的事情有两件，一是1939年滴滴涕的合成与应用，二是1962年卡尔逊《寂静的春天》一书的出版。滴滴涕杀虫剂的发现，使害虫防治出现了“奇迹”，即少量的滴滴涕就能有效地杀灭大量的害虫。此后，新的化学农药不断涌现，农药总用量逐年上升。不久，新的“奇迹”出现了：害虫产生了抗药性，一些次要害虫突然暴发成灾，同时蜜蜂、鱼、鸟和

许多其它野生动物等因农药残留而成为无辜的牺牲者，鸟语花香的世界逐渐变得沉闷单调，人类的健康受到威胁，人类的生活环境日趋恶化。卡尔逊著作的问世，引起了人们对环境污染的普遍关注，人们不得不用生态学的眼光审视化学防治及其它防治方法。此后，害虫综合防治、昆虫综合管理、生物多样性保护、农业可持续发展等理论与方法相继提出并付诸于实施。

二、中国农业昆虫学简史

中国是世界上历史最悠久的文明古国之一，中国农业昆虫学史同中国整个科技史相似，有古代的辉煌、近代的落后与现代的崛起三大明显的特点。

(一) 中国古代(公元前 5000 年~公元 1839 年)农业昆虫学简史

中国是世界上最早进入农耕生活的国度之一。大约在 20 000 年前中国已有了原始农业，到了距今六七千年前的仰韶文化时期，原始农业已初具规模。古代中

治、物理防治措施等的蝗虫综合治理体系已经形成。

在益虫利用上,中国更是远超他国。距今 7 000 年前的河姆渡遗址出土的盅形雕器上就绘有蚕纹; 5 200 年前,中国人已经能养蚕纺纱; 1 600 年前,我国南方橘农就已开始了生物防治实践; 公元 948 ~ 950 年间, 隐帝承祐就下令禁捕取食蝗虫的鸽鹤。

害虫的防治、益虫的利用等都必须对相应的昆虫有深入的了解,古代中国人在数千年前就已对家蚕、蝗虫、蟋蟀的形态和生活史等有正确的认识,特别是在家蚕的化性、孤雌生殖、病害的防治及蝗虫的生活习性的观察与利用等方面都有较科学的记载。

关于中国古代农业昆虫学史,周尧(1957, 1980)、邹树文(1981)有较详细的汇总。从上述的点滴例证中不难看出我国古代农业昆虫学研究远在欧美之前。

(二) 中国近代(1840 ~ 1949 年)农业昆虫学简史

“公元 1 ~ 15 世纪,中国的一系列重大发明极大地推动了世界文明的进程”(李约瑟,1986),但到了 16 世纪以后,由于清朝统治者对外闭关自守、对内文化专制及政治腐败等因,中国科技水平全面落后。1840 年第一次“鸦片战争”失败后,中国沦为半封建半殖民地国度,中国近代农业昆虫学史自然也带着半封建半殖民地的烙印。1895 ~ 1945 年间,日本侵占我国台湾省时该地农业昆虫学发展史以及东北三省在抗战时期的农业昆虫学发展史就是最典型的实例。

大体上,中国近代昆虫学史可以分为 3 个时期。

1. 孕育期(1840 ~ 1910 年) 鸦片战争失败后,西学东进,昆虫科学知识逐渐输入我国。此期,我国现代意义上的农业昆虫学处于翻译与介绍阶段,中国尚无自己的昆虫学家。1898 年浙江蚕学馆创办,该校开设的 19 门课

程中有害虫论，显然中国农业昆虫学教学从此开始。1903年，清政府规定将虫害防治列入初、中等农业学堂农业实习科目，在高等农工商实业学堂中将昆虫学、养蚕学列为农学科的科目，在一定程度上促进了农业昆虫学知识的传播。

在此阶段中，中国人对东亚飞蝗的习性有了较深入的认识，并且采取了系统防治蝗虫的方法。如顾彦的《治蝗全法》就明确记载：“治蝗之法有四：一曰除根；二曰掘子；三曰捕蝻；四曰捕蝗。而捕蝗不如捕蝻，捕蝻不如掘子，掘子不如除根。”这是晚清时期中国人对治蝗规律的最新概括，为当时的系统防治蝗虫奠定了理论基础，甚至对现在蝗虫的综合治理也有一定的指导意义。

2. 初创期（1911~1936年）1911年（也有人记载为1914年），北京中央农业试验场设立病虫害科，章祖纯为主事人；1916年，各省也设立了农业试验场，浙江、安徽等省在试验场内还设置了病虫害科；1922年，专门负责江苏省害虫防治的中国第一个昆虫局——江苏省昆虫局成立，聘请美国加利福尼亚州立大学昆虫学系主任吴伟士（C. W. Woodworth）任局长兼总技师，张巨伯、邹树文为技师；1924年，浙江省效法江苏在嘉兴设置浙江昆虫局，费耕雨为局长，该局于1928年迁址杭州并更名为浙江省昆虫局；接着，江西省、河北省、湖南省、广东省也相继设立昆虫局或昆虫研究所，但不久均因故停办；1924年，中国第一个昆虫学社团——六足学会在张巨伯的倡导下成立；1933年中央农业实验所设立病虫害系（1940年改称植物病虫害系），负责全国植物病虫害的研究与防治工作，吴福桢主持该系工作，组织并实施了第一个全国病虫害防治计划。这一系列的事实标志着中国昆虫学研究和教学从无到有，由小到大逐步创立起来。

3. 艰难发展期（1937~1949年）1937年，日本帝国主义的大举侵略，使中国刚刚兴起的昆虫学事业受到无情的摧残，大批教研机构被迫迁到西部，很多科研项目中断或几近中断，仅有的几份昆虫学期刊大部分停刊……1945年，抗战胜利不久，内战又起，社会动荡，农业昆虫学教研又遭灭顶之灾。

在极其艰难的环境中，广大农业昆虫学工作者积极创造条件，在西部各省农业昆虫的调查与重要害虫防治、药剂药械的研制等方面取得了一定的成绩。

（二）中国现代（1949年至今）农业昆虫学简史

1949年，新中国的成立是当代中华民族复兴的起点，同时也是中国现代农业昆虫学事业的开端。半个世纪中，中国农业昆虫学发展的历程可明显分为3个阶段。

1. 调整初兴期（1950~1965年）建国之初，百废俱兴，中国农业昆虫学事业盛况空前，不仅迅速在全国范围内形成了科研、教学、推广相互独立又密切配合的植保体系，而且中国昆虫学会（1951年）、植物保护学会（1962年）及各省区相应的分会相继成立，《中国昆虫学报》（1950年）（1951年改为《昆虫学报》）、《中国昆虫学会通讯》（1951年）、《昆虫知识》（1955年）、《昆虫学译报》（1956年）、《应用昆虫学报》（1958年）、《植物保护学报》（1962年）、《植物保护》（1963年）等杂志先后创刊或复刊，一批优秀的农业昆虫学教材和《中国经济昆虫志》各卷纷纷出版，农业昆虫学队伍很快壮大，对于农、林、医等害虫的测报与防治工作广泛开展，特别是对东亚飞蝗、小麦吸浆虫等7大害虫的防治取得了很大成就，为当时农业生产国民经济的振兴作出了重大贡献。

2. 文革动乱期（1966~1976年）1966年开始的“文

“文化大革命”使我国的农业昆虫学事业与其它科教领域一样处于动乱之态，中国昆虫学会停止了活动，《昆虫学报》、《昆虫知识》、《植物保护学报》等杂志先后停刊近10年，正常的昆虫学教育被取消，不少农业昆虫学工作者受到迫害，一批杰出的昆虫学家含冤而逝，农业昆虫学研究几近停滞，我国农业昆虫学事业与国际先进水平的距离再次拉大。

3. 平稳发展期（1977年至今）1977年始，中国迎来了科学的春天，高考制度及学位研究生制度、学会活动恢复正常，科学考察、害虫与天敌普查不断开展，国际交往日趋频繁，《昆虫天敌》、《生物防治通报》等先后创刊。经过十几年的艰苦努力，到20世纪80年代中期中国农业昆虫学事业已基本恢复到文革之前的生机与活力。20世纪80年代中期我国首批农业昆虫学博士的毕业、主要迁飞性害虫迁飞规律的查明、20世纪90年代55卷《中国经济昆虫志》的出版、1992年第十九届国际昆虫学大会在北京的成功召开等，都标志着中国农业昆虫学事业已接近或达到国际先进水平，为我国21世纪农业昆虫学事业的腾飞奠定了一定基础。

三、农业昆虫学的分支

根据不同的角度和范围，农业昆虫学又可细分为果树昆虫学（fruit tree entomology）、蔬菜昆虫学（vegetable entomology）、园艺昆虫学（horticulture entomology）、储物昆虫学（stored product entomology）、植物化学保护（plant chemical protection）、害虫生物防治（biocontrol of insect pest）、推广昆虫学（extension entomology）等。

第三节 虫口夺粮古今谈

一、中国古代的三大灾害性害虫及当代治理

(一) 东亚飞蝗(图 2-2)

在我国的农业害虫中,危害最为严重者当属蝗虫,在蝗虫中为害最烈者为东亚飞蝗。从公元前 707 年到 1949 年的 2 000 多年中,仅中国的蝗灾就有 800 多次,平均每 3~5 年就有一次大的蝗灾。从历史记载的水、旱、蝗灾的发生情况分析,三者常此起彼伏,且常与三年一涝、两年一旱的旱涝灾害相间发生。

由东亚飞蝗造成的蝗灾主要发生在我国黄淮海平原粮食主产区,每次蝗灾均会给人民造成不同程度的苦难,严重的蝗灾更是如此,从下列史书的记载里我们可以想像历史上蝗灾的惨烈。《旧唐书·五行志》中载:(唐贞元元年,即公元 785 年)“夏,蝗,东自海,西尽河陇,群飞蔽天,旬日不息;所至,草木叶及畜毛靡有孑遗,饿殍枕道。”《续安邱县志》卷一载:(明万历四十三年,即 1615 年)“夏,旱、蝗;秋,大饥,米价涌贵,民刮木皮和糠秕而食,林木为之一尽,饿死者道相枕藉,乃有割尸肉而食者,即而逐相食,法不能止;又有奸民掠卖男女贩之远方,辄获重利,谓之贩稍,往来络绎道路不绝,哭号之声震动天地,周岁之间兵死者、狱死者、饥寒死者、疾疫死者、流亡者、弃道旁者、贩至四方者,全齐生齿十去其六,民间相传,从未有此厄。”明崇祯十三年(1640 年)《河南通志》载:“开封大蝗,秋禾尽伤,人相食。汝宁蝗蝻生,人相食。洛阳蝗,草木、兽皮、虫蝇皆食尽,父子、兄弟、夫妇相食,死亡载道。”类似的记载在中国古籍中可谓史不绝书,触目惊心。

不仅如此，蝗灾还会引起战争，如“武帝元光五年（即公元前 130 年）秋，蝗；四将征南越。元封六年（即公元前 105 年）秋，蝗；两将征朝鲜。太初元年（即公元前 104 年）夏，蝗；从东方飞至敦煌；三年（即公元之前 102 年）秋，夏蝗；二师征大宛。征和三年（即公元前 90 年），蝗；四年（即公元前 89 年）夏，蝗；三将征匈奴，二师七万人没不还……”上述几句除括号中为笔者所推算的纪元时间外均为《汉书》原记，大意是“公元前 130 年秋天，蝗虫大发生而成灾；（皇帝便派）四个大将掠夺南越”，余可类推。类似之载，在中国的历史典籍中屡见不鲜。

透过字里行间，我们仿佛看到一幕幕悲惨的景象：蝗虫遮天蔽日之后，禾苗已空；民不聊生，饿殍载道，饥民四处逃难；统治者为了自己存活和维持自己的统治便派军队侵略掠夺周边小国的财富；于是便有了“尸骨成山、血流成河”之战争。

相应，由于连年的战争也会导致或加重蝗虫的为害。最典型的例子是 1938 年，国民党军队抵挡不住日寇的大举侵略，炸开了郑州花园口的黄河大堤，河水淹没了豫、苏、皖 40 余县，使千万亩农田荒芜而成为东亚飞蝗的孳生地。20 世纪 40 年代初，河南省连年发生特大蝗灾，最重的 3 年为 1942~1944 年。1942 年版的《巩县志》中曾记载了当年的情形：“从秋到三十一年（1942 年）夏初，滴雨未落，并干河涸，为蝗虫暴发造成条件，六月，有蝗虫东南来，飞则遮天蔽日，落则盖地无缝，聚则压折树枝，食则沙沙有声，而且可抱团成球状，滚滚洛河，来势之凶，实属罕见。如此六天六夜，庄稼、树叶、野草被食殆尽，全县成为一片赤地。秋，又旱，夏生蝻蝗，又无收。”

近代蝗虫猖獗为害的情况，吴福桢（1951）也曾有生动的记载：“1929 年江苏省下蜀发现大群蝗蝻，从长江边

直趋内地，当大群蝗蝻跳跃过铁路时，把轨道盖没了，火车无法通过，后经许多工人设法把蝗蝻驱除，火车方能通过，但是因此耽误了不少时间。同时下蜀镇被成千万的蝗蝻袭击，房屋顶部都爬满了跳蝻，并向室内进袭，各商店无法开门，仅在门上开一个窗洞，买卖东西……1944年在解放区内，蝗患大发，其分布范围，南北长八百余里，东西宽约一二百里，这是一个严重的蝗情。在《太行山捕蝗记》中有一段说道：‘多么怕人啊，假若有十几亩麦苗，赶进十几群大山羊让他尽量吃半天，也吃不光，可是密集的蝗蝻，一爬进去，只要抽一袋烟的工夫，那十亩田麦苗，可会光秃秃的……8月22日，大批飞蝗，突然从磁武敌占区，暴风雨般地飞来，经过武安、磁山，向岗西一带降落，一点多钟工夫，满山遍野，落了很厚一层，多的地方有一二尺厚。落在树上，就把树枝压弯压断，有16平方里的地区，变成了蝗虫世界。’这是最近代而现实的蝗患记实。”

新中国成立后，党和政府非常重视治蝗工作，加强了对治蝗工作的组织领导，各级政府部门投入了大量人力、物力和财力，建立专门的治蝗机构，强化治蝗基础设施，昆虫学家们全面开展根治蝗害研究与推广工作。20世纪50至60年代，中国昆虫学家在蝗虫的形态学、分类学、生物学、生理学及生态学方面均取得了前所未有的成果。通过政府部门、广大人民群众和昆虫学家们的共同努力，治理和改造了蝗区的自然面貌，改变了蝗虫发生繁殖的环境条件，再加上化学防治、生物防治等措施的应用，基本控制了长期以来危害严重的蝗患。有关成果曾多次获得国家、部、省级奖项。例如，邱式邦领导下完成的“飞蝗防治”1953年获得农业部爱国丰产奖；1978年“蝗虫综合防治研究”获得全国科学大会奖；1982年马世

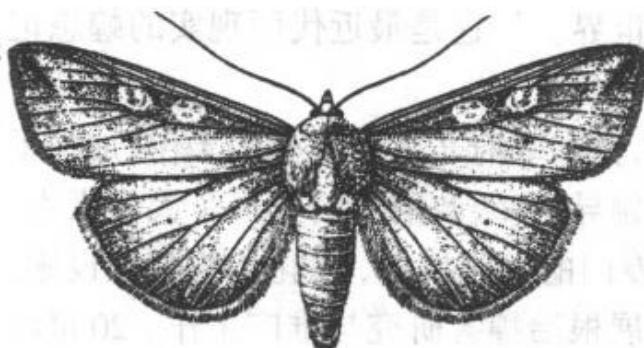
骏主持申报的“东亚飞蝗生态、生理等的理论研究及其在根治蝗害中的意义”获国家自然科学二等奖。中国政府与昆虫学工作者在我国重大害虫治理的历史上谱写了极其光辉的一页。

(二) 粘虫

粘虫 *Mythimna separata* (Walker)(图 2-12)俗称荆枝虫、夜盗虫、五色虫等, 古称“虸蚄”, 西方人称其为“行军虫”(army worm), 为世界性的杂食性害虫。历史上有“食稼殆尽”、“食稼三分之二”等成灾记载。周尧(1980)统计从北魏(公元 5 世纪)到清朝末年(1911 年)此虫曾造成 49 次严重灾害。解放前, 在山西省忻县, 每当这些来无影去无踪的“神虫”猖獗为害时, 束手无策的农民便从四面八方来到虸蚄庙烧香拜佛, 以求神灵保佑。河北省有一地名“虸蚄”, 不知是否与粘虫的成灾相关。

— 图 2-12

粘虫



20 世纪 50 年代末期至 60 年代初期, 由中国农业科学院植物保护研究所和中国科学院动物研究所主持开展了粘虫越冬调查, 明确了粘虫在我国北部地区的越冬北界。在此基础上, 由李光博等主持的“粘虫越冬迁飞规律”协作组开展了粘虫标记回收试验, 通过全国范围内多单位的紧密协作, 首次在世界上成功地采用标记回收的方法研究证实了粘虫季节性南北往返远距迁飞为害规律与路线(图 2-13), 弄清了我国粘虫的初始虫源, 提出了粘虫“异地”测报办法。同期, 杨集昆(1959)、朱弘复等

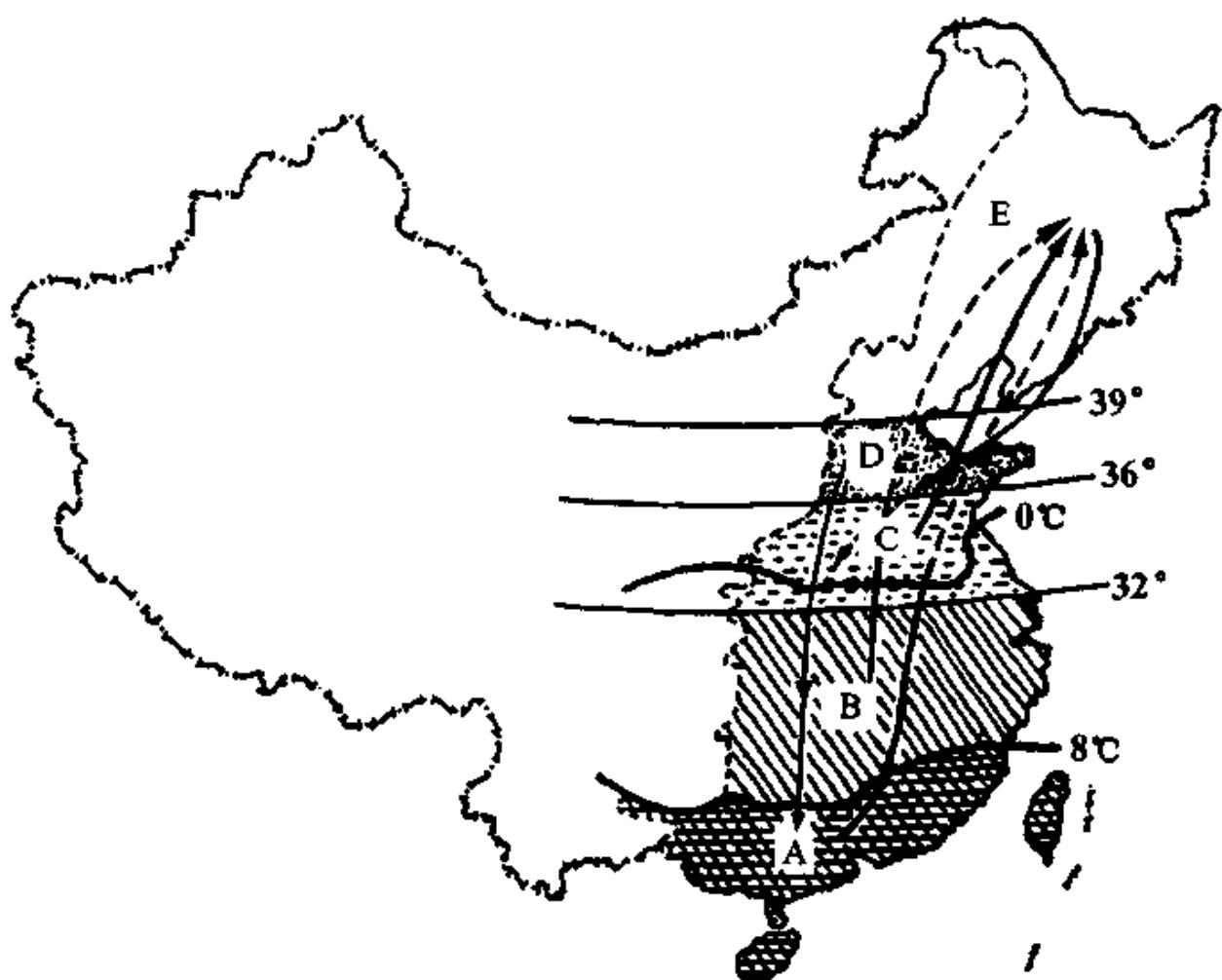


图 2-13 我国东半部粘虫迁
飞危害路线示意图(仿李光博等)
A.6~8代发生区; B.5~6代发生区;
C.4~5代发生区; D.3~4代发生区;
E.2~3代发生区。
(实线表示主要迁入地区; 虚线表示部分
分成虫迁入地区。)

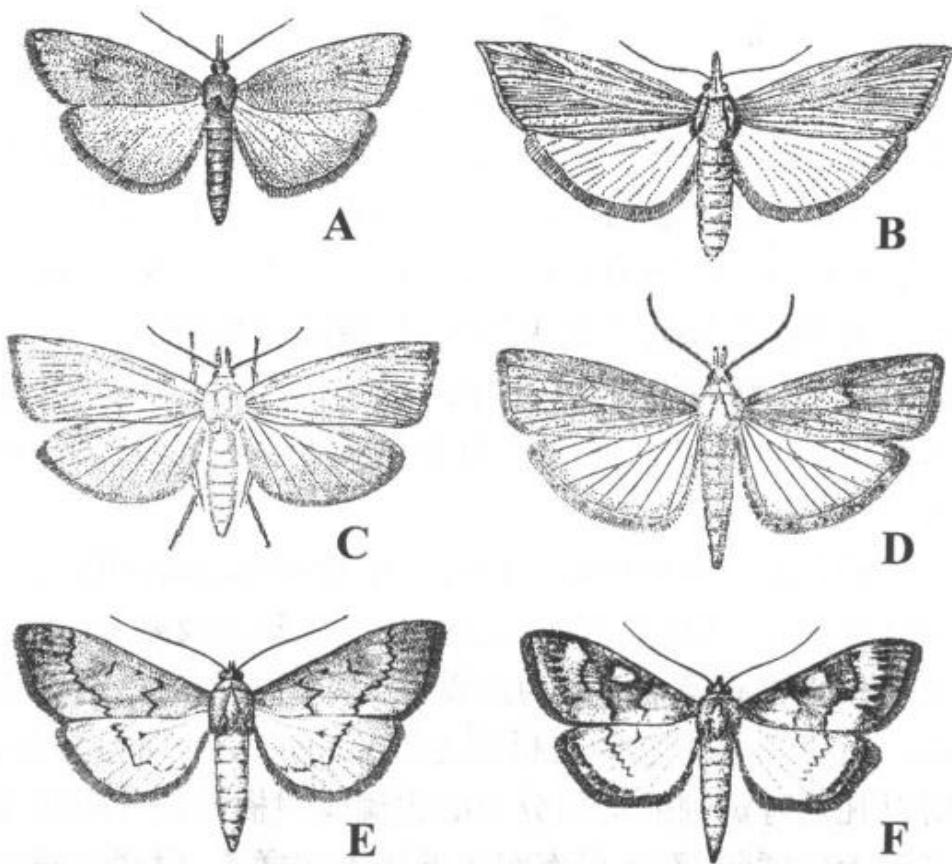
(1962)、陈永林(1963)曾研究了我国粘虫的种类,指出了我国粘虫的正确学名。20世纪70年代后期进一步明确了我国西北、西南地区粘虫越冬迁飞规律。20世纪80至90年代在粘虫迁飞机制方面,先后研制出昆虫模拟飞翔测定仪、昆虫飞翔记录装置、小型风洞及昆虫飞行数据微机采集分析系统,应用现代生理生态手段研究了主要生态因素对粘虫飞行和生殖的影响作用,在防治上组建了以灭幼脲与保护天敌及利用自然天敌相协调的综合防治技术体系,为控制粘虫为害做出了重要贡献。

(三) 蠼虫

古代文献中螟虫的种类不像蝗虫与粘虫那样明确,《诗经》中有“去其螟螣,及其蟊贼”之句,《尔雅》曰:“食苗心螟”,毛亨《传》云:“食心曰螟”。从这些记载中可知在3 000年前人们已经注意到螟虫了。周尧(1980)认为根据当时的栽培制度,当时所指的螟虫在北方可能是粟灰螟 *Chilo infuscatellus* Snellen (图 2-14A) 或高粱条螟 *Proceras venosata* Walker (图 2-14B)。而在南方可能是为害水稻的二化螟 *Chilo simplex* Butler (图 2-14C,D)。

中国历史上第一次螟虫为害的记载见于《春秋》:“鲁隐公五年(公元前 718 年),秋,九月,螟”。并有注曰:“虫食苗心者为灾,故书。”周尧(1980)统计大约有 50 次关于螟灾的记载。

20世纪60年代以来,高粱与粟的种植面积逐年减少,而玉米的面积迅速扩大,玉米螟(图 2-14E,F)成为中国重要的农作物害虫之一。20世纪60年代中期,邱式邦与管致和等提出在玉米心叶期施用颗粒剂治螟,取得了良好的防治效果。20世纪70年代末至80年代初期通过使用性诱剂等手段明确了我国玉米螟优势种为亚洲玉米螟 *Ostrinia furnacalis* Guenée,而不是以前记录的欧洲玉



—图 2-14 埃虫（仿周亮）
 A. 莠灰螟；B. 高粱
条螟；C.（雌），D.
（雄）二化螟；E.
（雌），F.（雄）玉米
螟

米螟 *Pyrausta nubialis* Hübner, 纠正了过去鉴定的错误。周大荣等组建了一套田间和室内玉米螟抗性鉴定技术，筛选出高抗心叶期螟害的材料近 84 个，并培育出我国第一个有生产推广价值、高抗心叶期螟害的单交种子单抗螟一号。对亚洲玉米螟扩散规律、为害损失与经济阈值、测报技术、玉米间作匍匐性绿豆可明显提高玉米螟赤眼蜂对玉米螟卵的寄生率等研究结果均在玉米螟的综合治理中发挥了重要的指导作用。近年来还开展了 Bt 转基因玉米对亚洲玉米螟的抗性鉴定研究以及在田间的防治效果研究。

二、中国古代害虫防治史中的世界之最及近况

（一）世界上最早的生物防治记载及利用现状

公元 304 年晋代稽含所著的《南方草木状》中记载：

“交趾人以席囊贮蚁鬻于市者，其巢如薄絮，囊皆连枝叶，蚁在其中，并巢同卖。蚁赤黄色，大于常蚁，南方柑橘若无此蚁，则其实皆为群蠹所伤，无复一完者矣。”这是世界上以虫治虫和天敌商品化的最早先例，美国哈佛大学威尔逊（E.O. Wilson）教授 1977 年曾称：“在农业上，黄猄蚁的利用是生物防治害虫最古老、最著名的例子。”更可贵的是 1 600 多年来这种方法一直在华南柑橘产区被橘农们沿用与改进，在我国南方柑橘产区发挥着重要作用。

黄猄蚁又叫黄柑蚁、红树蚁、织叶蚁等，体棕黄色，一群可有数巢，有蚁数万头，巢内除有卵、幼虫及蛹外，尚有工蚁和有翅蚁等。该蚁为多食性天敌，可捕食 20 余种害虫。由于其发生盛期与柑橘主要害虫的发生期相吻合，所以凡是有黄猄蚁均匀分布的柑橘园柑橘的健叶率明显高于无蚁橘园，而落果率明显低于无蚁橘园，柑橘的质量也有较大的提高。在长期利用黄猄蚁的橘园，其它天敌的种类与数量也明显多于化防区。20 世纪 70~80 年代，蒲蛰龙、杨沛等在广东、福建等地研究了黄猄蚁的生物学、生态学，调查总结当地群众采集蚁群和放养的经验，提出在橘树间架设蚁桥，在树干基部设置防逸圈，大大提高了以蚁治虫的效果。

（二）世界上最早的害虫寄生现象记载及利用现状

1. 世界上最早的害虫寄生现象记载

（1）寄生性膜翅目昆虫 距今 3 000 多年的《诗经》中有：“螟蛉有子，蜾蠃负之；教诲尔子，式谷似之”之语。大意为螟蛉的小幼虫被慈善的细腰蜂带走养了起来，好好地教育你的子女吧，就像细腰蜂对待小青虫那样。古人认为细腰蜂均为雄性，无法繁殖后代，便收养螟蛉之子。这种化生与感应观误传了近千年之久，历史上许多著名

的哲学家、文学家以及一些博物学家都曾盲目相信此说。在解释“小青虫怎样变成细腰蜂”时，有些古人更加唯心，如杨雄在《法言》（公元1世纪）中写道：“螟蛉之子，殮而逢蜾蠃，祝之曰‘类我’，久则肖之矣”。意思是小青虫在父母死后，碰到了细腰蜂并被细腰蜂所收养，细腰蜂把小青虫放到巢穴内，不断地祈祷说“像我吧！像我吧！”时间长了，小青虫就长成了细腰蜂的模样。唐代的李含光甚至荒谬声称他亲耳听到了蜾蠃对小青虫的“祝”声。

公元502年，我国古代名医陶弘景通过自己的观察首次正确地在其巨著《名医别录》记载了蜾蠃与鳞翅目幼虫及蜘蛛的生态关系。从其记载中可以推测1400年前陶弘景已经知道蜾蠃有许多种类，被捉之青虫实为蜾蠃之后代的食物，蜘蛛也能被蜾蠃所食。此后，虽然仍有部分人相信化生说，但愈来愈多的读书人对此进行了观察、验证与补充。公元935年，韩保升发现一种细腰蜂把卵产在猎物的身上。1116年，寇宗奭拆开泥巢发现蜾蠃的卵产在猎物的上方，但不与猎物相接触。1186年，彭乘观察到蜾蠃先刺杀小青虫，一种蜾蠃幼虫的发育期为10天左右。1528年，皇甫汸已注意到蜾蠃巢内的猎物并未死亡，只是处于麻醉状态，蜾蠃的产卵像寄生蝇在家蚕上产卵一样也是把卵产在寄主的腹节间。尽管这些学者所谓的蜾蠃可能包括泥蜂等类昆虫，但都具有一些科学的成分。1578年，中国医学大师李时珍在其巨著《本草纲目》中对这场两千年的争论作了总结性的论断：“蟠螭之说各异，今通考诸说，并视验其卵，及蜂之双双往来，必是雌雄，当以陶氏、寇氏之说为正，李氏、苏氏之说为误”。

清代文学家蒲松龄（1704年）在《聊斋先生文集·纪灾后编》中对寄生蜂有一段简短的记载：“尝见巨虵伏叶表。两肋坠物，微茫如露珠。瞥长为蛆，蠕蠕动。顷之

堆累数十，锐首挠乱，似各有作。俄已成茧自蔽，如麦然”。

妨为古时对食苗害虫的统称，周尧、邹树文均曾将“好妨”考证为粘虫。此处的“巨妨”似应为天蛾或天蚕蛾科的幼虫或其它大型鳞翅目幼虫。从几十只寄生性幼虫钻出寄主体外结茧化蛹这一习性看，寄生蜂应为茧蜂科 Braconidae 中绒茧蜂类的昆虫。

(2) 寄生性双翅目昆虫 养蚕是古代中国人的伟大发明之一，至少在 4 700 年前中国人已开始了家蚕的饲养。在长期养蚕过程中，人们逐渐注意到寄生性蝇类的存在。在晋代郭璞(公元 276~324 年)所撰的《尔雅疏》中有“蠱，今呼为蛹虫”之记载，即在东晋时，人们也把“蠱”成为“蛹虫”，汪子春(1985)认为“蛹虫”可能是“蛹中之虫”之意，宋代彭年等编撰的《广韵》在注释“蠱”时称“蠱”为“蛹中虫”。我们认为这显然与寄生蝇离开蚕体后不久就化蛹有关。现代养蚕学文献中称家蚕被蝇类寄生的现象为家蚕蛆病或家蚕多化性蛆病，“蛆”可能来源于“蠱”。从养蚕的历史及养蚕的细致过程推测，在晋代或更早时期人们已经知道家蚕寄生蝇类的存在。

最早明确记载家蚕寄生蝇的文献为陆佃(1096 年)所著的《埤雅》，其中载“蝇于蚕身乳子，既茧化而成蛆，俗呼蠱子，入土为蝇”。宋代文学家苏轼(1037 年~1101 年)所撰《物类相感志》也载：“苍蝇叮蚕则生虫”。宋代末年(1200 年左右)刊印的《士农必用》中指出：“夏蚕自蚁至老俱宜凉，忌蝇虫，先于蚕生前用麦糠摊于蚕房壁角烧之。去湿气及诸虫”。严粲《诗辑》载：“今人养晚蚕者，苍蝇也寄卵于蚕之身，其卵为蝇，穴茧而出”。明代皇甫汸(1582 年)的《解颐新语》中也有相似的记载：“今之养蚕者，苍蝇也寄卵于蚕之身，久则其卵化为蛆，穴茧而出”。

清代关于家蚕寄生蝇也有一些记载。如宋应星(1637年)《天工开物》载:“凡害蚕者有雀、鼠、蚊三种。雀害不及茧,蚊害不及早蚕,鼠害则与之相始终。防驱之智,是法不一,惟人所行也”;这里的“蚊”即寄生蝇,蚊蝇不分的现象至今在华南一些地方存在。1642年谭贞默在《谭子雕虫》中的记载甚为详细:“蠶旧说:蝇于蚕身乳子,即茧化而成蛆,俗呼蠶子,入土为蝇,扫亲验之果然……概非初蚕所有,乃二蚕茧中所出。二蚕茧十三为蛾,十七为蛆,凡蝇乳子于蚕背者皆成蛆,乃食蛾而出也”。古代文献中记载的家蚕寄生蝇应为家蚕追寄蝇 *Exorista sorbillans* Wiedemann,其成虫体长为10~13毫米。

在1196年编纂的《高邮州志》中记载:“宋宁宗庆元二年,秋七月,飞蝗戴蛆死。是夏旱,飞蝗自凌塘忽入城,人皆忧惧,继皆抱草死,每一蝗有一蛆食其脑”。这种寄生蝇很可能是线纹折麻蝇 *Blaesoxipha lapidosa* Pape。

上述的关于昆虫寄生现象的记载均为目前所知世界上关于寄生性昆虫的最早或较早记载。

2. 中国关于寄生性昆虫的利用

中国人关于寄生性昆虫的科学研究报告始于1925年,而对寄生性天敌加以保护与利用始于20世纪30年代。

1931年浙江昆虫局为了加强害虫生物防治的研究与应用推广,由吴福桢设计在浙江嘉兴筹建了寄生蜂保护室。1932年,该局又成立了寄生蜂研究室,由祝汝佐任室主任。1932年和1933年每年5月,祝汝佐等分别释放桑蟥卵寄生蜂1万余头,放蜂后4周分别考察桑蟥非越冬卵和越冬卵的寄生率。这是我国首次人工放蜂试验。

对寄生性昆虫也作了不少研究,涉及生物学、分类学、生态学及应用等方面。在中国所有被研究和利用的

寄生性昆虫中以对赤眼蜂和平腹小蜂的研究最为深入，人工利用最为广泛。

(1) 赤眼蜂 中国人关于赤眼蜂研究最早的两篇文献发表于 1936 年，一篇是祝汝佐和胡永锡关于寄生于松毛虫卵的赤眼蜂的生物学及生态学研究报告，另一篇为黎国焘关于在广州人工繁殖赤眼蜂并进行小面积释放防治甘蔗害虫的报告。张若芷于 1941~1946 年在四川调查了稻螟赤眼蜂的生活习性，并进行了田间保护利用试验。1947~1951 年间我国台湾学者陈金壁等曾对螟虫赤眼蜂进行了一系列研究。20 世纪 50 年代用蓖麻蚕卵大量繁殖赤眼蜂的成功、60 年代用利用柞蚕剖腹卵大量饲养赤眼蜂的成功、70 年代赤眼蜂大量饲养机具的改进、柞蚕卵保鲜技术的解决以及庞雄飞等赤眼蜂属分类论文的发表、80 年代卵寄生蜂人工寄生卵制卵机和一系列机具的研制成功及人工寄主卵的质量完善、90 年代赤眼蜂工厂化生产技术的完善都是中国赤眼蜂研究史上的里程碑。20 世纪 80 年代以来，我国赤眼蜂区系与分类学、生物学、生态学、生理学、生物化学、分子生物学等研究全面开展，先后出版了《中国赤眼蜂论文集》、《赤眼蜂人工寄主卵研究》、《中国赤眼蜂的研究与应用》、《中国赤眼蜂分类》等专著。70 年代以来，应用赤眼蜂防治玉米螟、苹果小卷蛾、甜菜甘蓝夜蛾和甘蔗螟的面积稳定在 40 万~53 万公顷，取得了良好的经济效益和生态效益。在赤眼蜂的繁育与利用方面，我国目前已居世界领先水平。

(2) 平腹小蜂 平腹小蜂属于旋小蜂科 *Eupelmidae*，为卵寄生蜂，其卵、幼虫、蛹期均在寄主体内度过，成虫羽化后咬破寄主卵壳飞出。国内对此类寄生蜂研究与利用最多的是荔蝽卵平腹小蜂 *Anastatus* sp.，20 世纪 60 年代始，蒲蛰龙等对此蜂的生物学、生态学、人工繁殖和大田

应用等进行了一系列研究。60年代末到70年代，广东省荔枝产区利用此蜂防治荔枝蝽的面积占荔枝栽培面积的五分之一左右。80年代，体外培育平腹小蜂获得成功，用人工卵即能培育该蜂。近年来，华南荔枝产区用该蜂防治荔枝蝽均取得了良好的效果。此外，该类寄生蜂还被用于防治林业害虫。

(三)世界上最早的法规治虫

中国第一道治虫法规是汉光武帝建武六年（公元30年）公布的（周尧，1980）。

第二道治虫法规见于董煟所著的《救荒活民书》卷二，其中提到宋代熙宁八年（1075年）颁布的《熙宁诏书》：“臣谨按照熙宁八年八月诏。有蝗蝻处，委县令佐躬亲打扑。如地里广阔，分差通判、职官、监司、提举。仍募人得蝻五升，或蝗一斗，给细色谷一斗；蝗种一升，给粗色谷二升。给价钱者作中等实值。仍委官烧瘗，监司差官员覆按以闻。即因穿掘打扑损苗种者，除其税。仍计价，官给地主钱，数毋过一顷。”从上面的记载中我们可以知道1075年前在治蝗时政府已作出4项主要的规定，即：县令及其下属官吏必须亲自参加治蝗；按捕到蝻、蝗、卵的数量给予一定的粮或钱；派官吏按法复查烧、埋蝗虫的情况；捕打蝗虫时损坏禾苗按规定给予赔偿。

第三道治虫法规为宋代孝宗淳熙九年（1182年）颁布的《淳熙敕》：“诸虫蝗初生若飞落。地主邻人隐蔽不言，耆保不即时申举扑除者，各杖一百。许人告报。当职官承报不受理，及受理而不亲临扑除，或扑除未尽而妄申尽净者，各加二等。诸官私荒田（原注：牧地同）经飞蝗住落处，令佐应差募人取掘虫子，而取不尽因致次年生发者，杖一百。诸虫蝗生发飞落及遗子，而捕掘不尽，致再生发者，地主耆保各杖一百。诸给散捕取虫蝗谷而减耗

者，论如吏人乡书手揽纳税受乞财物法。诸系公人因捕掘虫蝗，乞取人户财物者，论如重禄公人因职受乞法。诸令佐遇有虫蝗生发，虽已差出而不离本界者，若嫁虫蝗论罪，并依在任法。”

我国第四道治虫法规为金国章泰和八年（1208年）颁布的治蝗法。《金史·章宗本记》第十二章宗四对此有“秋七月庚子，诏更定蝗虫发坐罪法。”

第五道治虫法规是明成祖永乐元年（1403年）颁布的。《明史》及《明会典》记载：“定捕蝗令，令吏部行文各处有司，春初差人巡视境内，遇有蝗虫初生，设法扑捕，务要尽绝。”

上述五道法规是中国可考的最早的治虫法规，也是世界上最早的治虫法规，既便第五道治虫法规也比欧洲等国的同样法规早400多年。

（四）世界上最早的植物抗虫性记载

公元前239年，吕不韦编纂的《吕氏春秋》中明确记述了作物的抗虫性，并简单地提到抗虫品种的形态特征，如：“得时之麻：必芒以长，疏节面色阳；小本而茎坚，厚枲以均；后熟多荣；日夜分复（孽）生；如此者不蝗。得时之菽（豆类的总称）：长茎而短足，其英二七以为族；多枝数节，竟叶蕃实，大菽则圆，小菽则搏以芳（房），称之为重，食之息以香；如此者不虫。”

北魏农学家贾思勰曾对栽培作物（特别是小米与果树）的抗虫品种作过详细调查，在其《齐民要术》卷一中（成书于公元528~549年）中记述当时的86个小米品种中有14种是抗虫的：“朱谷、高居黄、刘猪瓣、道愍黄、聒谷黄、雀懊黄、续命黄、百日粮、有起妇黄、辱稻粮、奴子黄、穰支谷、焦金黄、鹤履仓——一名争麦场，此十四种，早熟、耐旱、熟早免虫。”

这些记载比国外最早的相关记载要早 1 000 或 2 000 多年。

中国人对作物抗虫性的科学的研究始于 20 世纪 20 年代末与 30 年代初期，唐志方（1926 年）、蔡邦华（1933 年）、沈宗瀚等（1934 年）、胡少波（1936 年）报道了水稻抗螟性，徐天锡（1935 年）、邱式邦（1941 年）报道了玉米、高粱等对钻茎虫类的抗性，吴步青（1936 年）、周明牂（1943 年）报道了棉花对棉大卷叶螟的抗性，武藻（1945 年）报道了棉花抗蚜虫性。

新中国成立后，中国的作物抗虫性研究工作蓬勃开展，对作物品种进行了比较系统的抗虫性鉴定工作，育成了一些高产、优质、抗虫品种，在控制虫害方面起到了重要作用。20 世纪 80 年代以来，分子生物学技术等先进手段也逐步运用于抗虫品种的选育领域，出现了一些转基因抗虫品种。

（五）世界上最早的害虫综合防治思想

如上所述，蝗害是历史上困扰中国农业发展的灾害之一，人们在与蝗虫斗争的过程中，逐步形成了综合防治的思想与举措，这些思想与方法集中体现在明代徐光启所著的《农政全书》中。徐光启在全面总结前人记载的基础上，广泛学习群众经验，结合自己的实际观察，提出了人定胜天、依靠群众、防治结合的蝗虫综合防治方法，除坚持传统的人工防治、农业防治法外，徐光启指出了治理蝗虫原产地的“治本”策略及改治并举之主张。这应该看做是世界上最早的综合防治，比欧美人提出的害虫综合治理的概念要早 300 年左右。但是徐光启的科学思想与方法在当时封建统治下并未得以全面应用于治蝗事业中。新中国成立后，在党和政府的领导下，广大昆虫学工作者对蝗虫的发生规律进行了大量的科学的研究，使徐光

启治蝗思想得以发扬与发展，取得了治蝗工作的辉煌胜利。

三、中国当代农业害虫防治

解放后，国家对农作物虫害的防治工作极为重视，成立了各种科研、教学及推广机构，对许多重要虫害进行了大量的调查和研究。经过半个世纪的艰苦努力，我国在害虫防治理论和实践方面取得了突出成绩，为我国农业的丰产丰收作出了应有的贡献。主要表现在以下几个方面。

1. 建立健全农业昆虫学机构 在过去的半个世纪中，我国的农业昆虫学机构由小变大、从无到有，经过不断调整与建设，基本形成了较为合理的机构体系。中国目前的农业昆虫学机构主要涉及科研、教学、推广、检疫四个方面，基本上由国家、省市自治区、地区、县四级相关单位组成。

2. 壮大科技队伍，不断提高昆虫学工作者的素质
解放初期，从事害虫防治的人才很少，而现在高、中级昆虫学工作者达到数万人，具有硕士和博士学位人员的比例逐年上升。广大昆虫学科技工作者的业务素质有了明显提高。

3. 确立了正确的昆虫管理方针 几十年来，我国的害虫防治指导思想的发展大体可以分为6~7个阶段。

1955年以前，由于国家经济尚处于恢复时期，广大农村的人民生产积极性很高，为了强调预防虫害的意义，当时提出“防重于治”的方针，防虫方法上则是以人工为主，化学农药为辅。

1955~1958年间，随着农村经济的恢复和农药工业的发展，特别是六六六、滴滴涕、对硫磷等农药在国内的大量生产，防治害虫已从人工为主逐步过渡到以药剂为

主的时期。1955年还提出“依靠互助合作，主要采用以农业技术和化学药剂相结合的综合防治办法”。

1958年以后，在全国“大跃进”的形势下，制定了全国农业发展纲要60条，其中明确提出要求在7~12年内消灭为害严重的十大病虫害，并提出了“有虫必治，土洋结合，全面消灭，重点肃清”的植保方针。在纲要中还定出“彻底消灭或肃清某些害虫”的要求。因此，在治虫工作中滥用农药的现象严重，忽视了综合防治。在许多地方还存在着不顾实际效果的形式主义和强迫命令的做法，经济效益很低。

70年代初期，由于连年大面积施用化学农药，出现了一些不良后果，如残留增多，环境污染，害虫抗药性增强等问题。1975年全国植保工作会议上提出了“预防为主，综合防治”的植保工作方针，人们开始认识到综合防治的重要性，开始协调使用生物防治、农业防治和化学防治方法。

1980年全国植物保护工作会议上，认真总结了各地多年同病虫害斗争的丰富经验和教训，会议进一步贯彻1975年提出的“预防为主，综合防治”的植保工作方针。当然，这个方针的含义在吸取国内外病虫防治新成就、新理论的基础上又有了新的内容。1986年在全国第二次农作物病虫害综合防治学术讨论会上对综合防治赋予了与国外“有害生物综合治理”(integrated pest management, 简称IPM)一致的概念。

20世纪90年代中期虽然又提出了害虫持续治理(sustainable pest management)的概念，但实质与有害生物综合治理并无明显差异。

4. 基本上摸清了不同地区农业害虫的分布及其为害性 20世纪80年代进行了全国范围内的害虫和天敌

昆虫普查工作，不少省市出版了昆虫名录或天敌昆虫名录、农业害虫图谱、害虫天敌图谱、手册等。

5. 基本上摸清了各地主要农业害虫的生活史及其发生为害规律、积累了丰富的防治经验 几十年来，特别是近 20 年来，我国昆虫学工作者对主要农业害虫的基础生物学研究取得了一系列的进展，一些迁飞性害虫，如粘虫、稻飞虱、稻纵卷叶螟等在国内的迁飞规律基本弄清。对主要农作物上的主要害虫制定了因地制宜的综合防治措施，在生产上发挥了重大作用。例如飞蝗、水稻螟虫、粘虫等目前均得到了有效控制。全国性的大害虫飞蝗和地区性大害虫小麦吸浆虫等均已达到较长时期的控制水平。

6. 害虫预测预报事业有了很大发展 在新中国成立后的 50 多年中，全国各地积累了大量的害虫发生消长资料，为今后进行数量预测，提高测报水平积累了有价值的数据。20 世纪 90 年代，信息技术的应用对害虫测报体系、虫情传送速度、数据处理、科技咨询、成果和新技术推广等方面起到了重要作用。

7. 新技术、新方法逐步应用于昆虫管理实践 近年来，对生物防治中一些薄弱环节的研究已有不同程度的进展或突破，防治害虫的一些新途径如性外激素、害虫不育技术的利用等方面也取得了一些新研究成果，转基因等分子生物学技术、现代通讯技术先后被用于昆虫管理的实践中，并在生产上取得了一定效益。

四、中国人的唯心治虫法

中国人民在数千年与害虫的斗争中积累了丰富的经验，开创了世界上早期传统科学治虫的先河，但由于古代和奴隶社会和封建社会的漫长，科技水平与目前相比十

分低下,生产力发展的速度在不同的时期差别较大,统治者的政策、信仰和当时广大群众对自然界了解程度的有限等一系列的原因,人们在粮食生产过程中遭到大量突发害虫的侵袭时,常常处于被动地位,为了免遭虫害,人们在采取积极防治的同时,还采取五花八门的迷信手段“对付”害虫。唯心治虫现象在宋代以后渐盛,明清时期达到高峰,新中国成立后这一陋俗才逐渐销声匿迹。从下列大量见于文献的迷信治虫现象中,我们可以想像古代和近代害虫对人们生活的巨大影响。

(一)吓虫

1. 以火吓虫 古人早就注意到火对昆虫的杀伤作用并在防治害虫时加以正确地运用,但有时常夹杂着迷信的成分,就连一些古代农学家也相信火能“唬”虫,如徐光启的《农政全书》和贾思勰的《齐民要术》中均有“嫁树”之记载,即在初一五更鸡鸣时,点火把照桑、枣、果木等树则当年树木无虫。

古时候,全国各地在元宵节前后有以火照田的习俗,如江苏北部的青少年们在元宵节晚上,要高举灯笼,点着火把,绕屋角、田边、场头等处行走,把所到之处的野草烧光,名曰“炸麻虫”;儿童还要跟在后边唱:“灯笼亮、火把红,正月十五炸麻虫;场头田边都炸到,炸得害虫无踪影。”有的地方在元宵节黄昏,由家里的当家人扛着锄头到房后的田地里用杂草或作物秸秆等烧一堆火,然后大喊:“烧死蝗虫,挖死地虫!”边喊边挖土往火里抛,边抛边喊:“烧死蝗虫,五谷丰登!挖死地虫,禾苗葱葱!”烧完后从田里返屋时要丢弃锄头,否则他们认为蝗虫、地虫会活过来跟着人回家。

2. 以鸡血、鸡毛吓虫 旧社会,每年谷子长到发青时,基诺人各家要在自己的窝棚前杀一只鸡,把鸡血、鸡

毛粘在窝棚上，以防害虫出来为害庄稼。有的地方也有用猪血、牛血吓虫的。

3. 以“鸡”吓虫 农历二月二这一天，有些地方的人们要用纸剪成鸡，贴到墙壁上，意在让鸡吃尽害虫。为了不让虫觉察，人们还专门把这些剪纸熏黑。

4. 以神吓虫 明清时代到新中国成立之间全国各地建有许多刘猛将军庙、虫王庙、八蜡庙等，人们相信害虫由刘猛将军或虫王、龙王等神灵掌管，只要神灵满意，害虫就不敢为非作歹。

5. 以术吓虫 旧时，台湾省南投县的农民每年到了小米快要结实的时候，如果发现田中的害虫特别多，就请两个巫师来除虫。他们一到田中，一个巫师就马上捉一只害虫来吃，然后绕田转圈，经过田块的四角时，在每个角捉一只虫吃。他一面吃虫，一面用手驱赶虫，嘴里还喊着：“喂，害虫，我今天专门来吃你们，你们要快点走，否则我要把你们全部吃光，让你们死无葬身之地。”另一巫师则用茅草赶虫，他拿着茅草到田中恐吓害虫快走，然后又持茅草绕田一周，再恐吓它们。这一仪式，当地人称“拉巴式衣雾打节”。据说如此一折腾害虫就全走了。再如，解放前，浙江省瑞安、平阳等县的汉族农民，在春夏交界之际，如果在稻田中发现虫害，就要请道士来“翻九台”，即将九张桌子重叠九层，四周用四根粗竹固定，并系上黄茅。道士攀至顶层，高呼上天，言其有庐山法，定能治服虫害。周围的人们同时吹法螺，摇铜铃，然后提桌，道士一手握一粗竹，力大技佳者能将桌子一侧提至离地面一尺多高处。当时人们以为如此这般害虫就畏惧而逃。

6. 以虫尸吓虫 哈尼族人每年农历六月二十四日的“六月年”后的第一个鸡日或猴日要过吃蚂蚱节。节日那天，村民们便到田间捉蚂蚱。各寨男女老少都到田野里，

以家户为单位四处捕捉。每户捉够一竹筒(大约2斤)后，就将蚂蚱一只只撕成五份，将头、胸、足、翅、腹部分别堆放，再用竹片分别夹起来插在田埂上、水沟边；以此来恫吓漏网的蚂蚱和其它农作物害虫。大约半小时后，人们觉得对害虫已起到了威慑作用，便将这些被肢解的蚂蚱收回竹筒，带回家美餐一顿。离开农田时，人们还要大声高喊：“哦，蚂蚱，三天内不捉你了，三个月内你不要来偷吃庄稼！否则，我们要加倍惩罚！”

不仅如此，哈尼人在秋收之时，都还要捉蚂蚱，并在年三十那天，把蚂蚱的翅、足对着山烧，再把蚂蚱的身子用油炸煎做成年夜菜。至今，这一习俗还延续在新平县哀牢山区的哈尼族群众中。

(二)敬、求、贿、娱“虫神”，莫让害虫害人

古代，害虫(特别是飞蝗)一直是农业生产的大敌，人们对虫灾无能为力，只好把自己的命运托付于威力无边的“自然神”，如虫王、驱蝗神刘猛将军、天曹猛将刘琦、百虫之神、邢公大帝、莫一大王、云南省大理甸中四村的本主赤子三爷、浙江省绍兴一带的稽山大王，甚至龙王、土地神、山神、玉皇大帝等诸神明，人们心目中的司虫之神尽管形象不同，传说各异，但它们都直接或间接地掌管着各类昆虫的发生与为害。如在解放前，华北有很多虫王庙、蝗神庙等虫庙，庙中的虫王手持装满各种各样虫子的瓶子，他按着瓶盖，不让害虫跑出来为害庄稼。人们相信如果谁做恶事，玉皇大帝就会发怒，就会命令虫王把瓶盖打开，让各类害虫跑出来为害田禾。所有的神几乎全都是为适应小农们对虫灾的躲避心态而“设计制造”的。虫王庙的分布范围和密度大体与蝗虫成灾的范围与严重程度相吻合。

既然神为人所造，那么神也具有人之性情，有的神善

良，有的神邪恶，有的神有求必应，有的神需惩方灵。既然神具有人的性情，人对神的态度难免跳不出人际关系的圈套。逢年过节或当害虫为害时，人们会先敬蝗神、求蝗神，给蝗神送礼，不但让蝗神“吃饱喝足”，而且还给蝗神演大戏、荤戏，希望获得蝗神的欢心，不再让蝗虫们吃他们的庄稼或者让蝗虫只吃别人和邻地的庄稼。如果蝗神不给面子，人们会请驱蝗神灵刘猛将军，来用武力镇压蝗虫。所以，在华北蝗虫频频猖獗的地区常常是虫王庙、八蜡庙、猛将庙并存，连对神也进行“先礼后兵”、“软硬兼施”的综合“治理”。

(三)送虫、撵虫、扫虫、“嫁”虫、“射”虫、咒虫

1. 送虫 江苏省南通一带汉族群众在清明节时，家家户户必在墙上斜贴一齐眉高的红标语，上面写着“清明送百虫，一去永无踪”。

2. 撵虫 旧时，除夕之夜，汉族孩子们往往把一束冬青或白蜡树叶子放在床前，点燃蜡烛，供奉酒肉饭菜，并磕头祈拜，再把冬青叶放在烛火上点燃，着火的冬青叶会发出“噼啪、噼啪”的爆响，孩子们举着此叶束送出大门外，边走边大声唱念：“爆虼蚤，爆虼蚤，虼蚤向着隔壁张家李家跑……”据说，这么一爆，自家的虼蚤就跑到邻家去了。

在元宵节的黄昏，贵州省赤水附近的孩子们把点燃了的香烛插在田头地边，大声高呼：“蝗虫，腊花土虫，碾到河的那边去了！”

3. 扫虫 浙江省宁波一带的汉族农民在正月十三夜晚，要避开他人耳目，带上扫帚，悄悄地来到棉田进行扫虫，先逆扫三次，再顺扫三次，边扫边轻轻地说：“正月十三夜，百虫在地外。”以为这样—扫，棉花害虫就不会为害棉花了。

4.“嫁”虫 以佛驱虫的习俗大体流行于清朝至解放初期，流行的区域为湖北、湖南、四川、贵州、福建五省。人们在这一天以纸书写诸如“佛生四月八，毛虫今日嫁；嫁到（或往）深山去，永远不归家。”之类的内容贴在墙上，想借无边的佛力驱逐可恶的害虫。这一习俗的名字在各地不尽相同，最普遍的称呼是“嫁毛虫”。此外还有嫁毛娘、架毛虫、嫁瓦蜡（贵州都匀、麻江、榕江一带）、嫁毛辣（贵州荔波）、辟毛虫（四川华阳）、嫁蟓虫（四川雅安）、嫁百虫（四川荥阳）、嫁毛女（湖南蓝山）等。“嫁”显然是为了把毛虫送到别的地方，而“架”则意味着杀灭或架走害虫。

5.“射”虫 土家族群众认为惊蛰一过，冬天蛰伏的害虫就会苏醒而出来为害庄稼；所以，便于惊蛰的前一天，即在害虫尚未出来时，用炭灰在地面上画出弓箭之图，以待惊蛰那天害虫爬出土表时射杀害虫。

6. 咒虫 安徽省寿春一带的汉族妇女在每年的正月十九，要把米炒熟，悄悄地撒在墙壁的裂缝里或其它隐蔽的地方，并在心里默默诅咒或大声叫喊：

蜈蚣、蛇、蝎，吃了炒米七窍出血；
蚂蚱、蚊、蝇，吃了炒米头脑发疼；
蟾蜍、老鼠，吃了炒米断肠痛苦；
壁虎、蜘蛛，吃了炒米病死入土；
……

人们以为百虫经此一咒，不死也伤，当年肯定五谷丰登，六畜兴旺。

无独有偶，哈尼人在过托资节时不到田里农耕劳作，而在当日清晨，趁露水未干，昆虫活动比较艰难之际，男主人到山野中捉来一些蚊子、蚂蚱、蟋蟀、蝴蝶之类的害虫，哪怕几只也行。然后，带着这些害虫同女主人一起来

到碓房。由女主人踩起木碓，男主人将害虫投入碓窝中，并诅咒与祈祷道：

白霜降，蚊虫死！

蚊虫死，人种活！

害虫死，牛马壮！

蚂蚱死，庄稼旺！

蟋蟀死，蔬菜长！

害人虫，都死光！

都死光，好景象！

……

男主人每念一句，女主人踩一下木碓。这样反复进行四次，以示把四季中、田野里和山坡上的害虫全部咒死。

(四)炒虫、吃“虫”

1. 炒“虫” 广东省乐昌一带的百姓在惊蛰那天晚上家家户户都要“炒虫”。所谓炒虫，实际上是炒五谷，即把稻米、玉米、高粱、黄豆、花生等炒熟，以谷代虫，把虫炒熟也就意味着把虫炒死。炒熟的五谷会发出诱人的香味，人们自然会把它们统统吃掉。不知此举是“以牙还牙”还是“专饱口福”，也许二者兼而有之。有些地方还会按人口平均分配“炒虫”，以达“消灭害虫，人人有责！”

在江苏和安徽的徐淮地区，民间则有“炸虫眼”的习俗。农户们要用自家储藏的玉米去爆米花，玉米粒爆开了花意味着害虫被杀死，他们想借此举消灭虫灾，以爆玉米来表示“炸虫眼”，如果把害虫的眼睛炸瞎，害虫就找不到庄稼了。

甘肃省灵台县民间，人们在农历二月二日黎明，家家炒炙麦、豆，谓之“点虫眼”。这种习俗与咬虫儿、咬蝇子、炒虫米同源。

广西金秀一带的瑶族人，在惊蛰的清晨，家家户户都以玉米当害虫炒之。届时，瑶族村寨中会响起一阵阵炒虫声，同时散发出一股股诱人的香味。炒虫时还加入适量的白糖或红糖，所炒出的“虫”不但颜色好看，而且十分香甜可口。“虫”炒熟后，倒在一个大簸箕里，大家在屋中围箕坐定，随着：“吃炒虫啦，吃炒虫啦！”的喊声，大家便开展一场激烈的“吃虫”竞赛。

普米人在年节的最后一天要举行“布柯笛”（即吃虫头）仪式，青年们相约来到村外的山上，各人带着炒熟的包谷、青稞、麻籽、大麦、小米、小麦等谷花，将这些东西与姑娘们的手镯相混后放到一个竹编的大簸箕里，手镯在下，谷花在上，以谷花为“小虫”，以手镯为“大虫”。青年们围坐一周，边说笑边吃谷花，以吃谷花表示捉小虫。在捉小虫时，谁的手镯露出来了，大家便在她的手背上弹一下，表示消灭了一只大虫。手镯全部露出时，表示大虫全部被歼灭。

五、国外农业害虫防治趣谈

（一）谈“蝗”色变

“……上帝对莫依赛说：把你的手伸向埃及，号召蝗虫降灾大地，把冰雹没有打尽的植物统统吃光。莫依赛照着做了，上帝让热风吹了整整一天零一个晚上，到了早晨，风夹着蝗虫降落在埃及，繁殖得到处都是。蝗虫毁掉了全国没被冰雹打尽的植物和果实。这样，整个埃及原野上没剩下一丝绿色。”按照《旧约》中的说法，埃及的蝗灾是上帝安排的。实际上，对世界其它国家而言，虽然“上帝”没有安排蝗虫暴发，蝗灾仍然是各国政府与人民头痛的难题。除南极洲外的各大陆均可发生蝗害，古往今来，蝗虫的为害一直威胁着农业的丰产丰收。

世界上有上万种蝗虫，危害最严重者当属沙漠蝗 *Schistocerca fregaria* (Forskål)，仅这种蝗虫的扩散区域可达 2 800 万平方公里，包括 65 个国家的全部或部分地区，约占全世界陆地表面的 20%，而其中发生为害的区域约占 50% ~ 54%。沙漠蝗在大发生的衰退期，其发生区域亦可达 16 万平方公里，包括 30 个国家的全部或部分地区。

1879 ~ 1880 年，沙漠蝗在俄罗斯南部暴发，人们躲进房屋，家家户户都紧闭门窗，以防蝗虫侵入，街道上堆积了厚厚的蝗虫，河渠和水池中填满了蝗虫的尸体，面包房的炉子里填满了蝗虫，人们的吃水和烤面包受到阻碍，顿河草原的列车被迫停开，因为不仅钢轨被蝗虫的尸体淹没，而且压死的蝗虫使得车轮像在油上行驶似的直打空转。1945 年，在非洲的肯尼亚，蝗群降落在 10 平方公里面积的土地上，1 公顷内的沙漠蝗达到 1 700 吨。这样的蝗群一过，所有的农作物、包括枣椰子树的树叶都被一扫而光。据调查，在地表或草地上的蝗虫密度为每平方米 160 ~ 370 头，灌木丛上的密度为每平方米 1 000 头，树干上的密度为每平方米 1 500 头，而最高密度则高达每平方米 20 万头。据联合国粮食与农业组织 (FAO) 统计：沙漠蝗在 12 个国家严重危害所造成的损失每年约 150 万英镑 (1949 ~ 1957 年)，而 1955 年是为害严重的一年，蝗群殃及长达 250 公里、宽为 20 公里的大片地区，其损失超过 500 万英镑。摩洛哥仅在 1954 年年底至 1955 年初，其柑橘种植业就损失 450 万英镑。1958 年索马里共和国的一个较大蝗群就覆盖 1 000 平方公里，1 平方公里则约有 4 000 万 ~ 8 000 万头蝗虫，最高每平方公里曾达 4 万兆头蝗虫。当蝗虫最活跃和迁飞期间，一头沙漠蝗可取食与其体重相等的食物，如按蝗虫体重 2 克计，则总蝗群一

天可取食 8 万吨食物，如果折算为人的口粮，则可供 40 万人一年食用。

(二)“法办”地老虎

不仅中国人用唯心法治虫，国外也不乏类似的现象。西欧诸国在罗马帝国灭亡后的很长一段时间里，人们依赖于用宗教信仰和迷信手段“防治”害虫。如公元 666 年，方丈圣马格纳斯 (St. Magnus) 曾用圣哥伦比亚 (St. Columbia) 的饰杖驱逐蝗虫和其它害虫。1320 年，主教在法国阿维尼翁市的一座教堂中驱逐过五月金龟子。15 世纪中，瑞士洛桑的大主教也曾率领教徒将害虫金龟子驱逐出境 (图 2-15)。1476 年，在瑞士伯尔尼，人们把地老虎捉到法庭，宣判地老虎有罪后，由大主教把它们逐出教会，并且驱逐出境。



图 2-15
瑞士洛桑的大
主教率领教徒
将金龟子驱逐
出境。

(三)为害虫树碑立传

棉铃象甲 *Anthonomus grandis* Boheman 是美国为害最

重的棉花害虫，农学家们估计自 1909 年至 1949 年，美国因此虫为害平均每年损失 2.03 亿美元，每 5 年中有 1 年的损失超过 5 亿美元。1973 年的报告中，棉农损失每年仍持续在 2 亿美元左右，但是在阿拉巴马州的咖啡县却有一座棉铃象甲纪念碑。

原来，该县的居民祖祖辈辈以植棉为生，他们单一的生产方式和落后的管理方法受到了当时世界棉花市场价格下跌的极大冲击。到了 19 世纪末，当地的棉花生产已不景气，棉农的处境日趋困难。但是，只要有一线希望，他们仍不愿放弃祖辈传下的谋生手段。到了 20 世纪初，棉铃象甲在美国南方诸州大肆蔓延为害，棉农们遭到灭顶之灾。该县的居民出于无奈，只得改种其它作物和从事畜牧业生产，结果经济形势迅速得到改善与稳定，可谓因祸得福。于是，该县居民便在恩特波丽斯镇广场上为棉铃象甲建立了一个纪念碑。碑上刻着 “In profound appreciation of the boll weevil and what it has done as the herald of prosperity”（我们深深感谢棉铃象鼻虫，因为它使这里经济繁荣；或译为：我们深深感谢棉铃象甲，它曾使这里经济蓬发）。

第四节 害虫治理的未来

早在人类在地球上出现之前，昆虫已存在了三亿多年，人类改造自然的每一步都受到地球上这类为数最多生物的顽强抵抗。因此，我们不能自夸在自然界人类已占有明显优势。这是 70 多年前美国昆虫学家福布斯对昆虫之争的悲观看法，今天我们也不得不承认福氏之论。21 世纪已经敲响了第一年的钟声，被人们称为生物学的世纪将会给社会带来一系列的革命，害虫的治理工作也不

例外。在新世纪、新千年中害虫治理前景如何是人们关注的问题之一，也是非常困难的命题之一。这里所谓的“未来”仅为笔者一孔之见，未来的实际情况到底如何，只能由未来回答。

一、未来百年——就在眼前

(一) 昆虫持续管理的思想会广为大家所接受

数千年来，人们一直努力寻找各种办法对付害虫的为害。在此过程中，20世纪中叶化学农药的“神力”曾一度使人们以为害虫的末日已经来临，一旦发现害虫，就大量使用剧毒农药。不久，便出现了3R问题，即残留(residue)、害虫再猖獗(resurgence)和害虫抗药性(resistance)。20世纪末叶，愈来愈多的人认识到环境、资源与物质文明之间的矛盾，逐渐意识到可持续发展的重要性。21世纪，随着高度物质文明的国际化，害虫持续管理的策略会为全世界人民所接受，维护环境将成为人们在害虫治理和益虫利用活动中的自觉行动。

(二) 高新技术更广泛地运用于昆虫管理的实践中

1. 进一步加强害虫的检疫工作 未来百年中，经济全球化的速度会逐渐加快，国际贸易日趋频繁，有害生物传播的途径增多，区域性的害虫检疫及有关害虫治理工作的任务将会更加艰巨与繁重。检疫的技术及设备将更加简便、准确。

2. 昆虫预测预报系统的现代化 在21世纪的昆虫预测预报工作中，在应用有效的传统监测手段基础上，雷达、卫星、遥感监测技术、计算机数据采集与分析技术、地理信息系统、全球定位系统等先进的技术与方法会逐步得到应用，对灾害性昆虫的发生动态的测报能力会有较大幅度的提高。21世纪中叶以前，国际性的昆虫测报机

构或体系将发挥更大的作用。

3. 自然抗虫植物与转基因抗虫植物的广泛应用

自然抗虫品种的选育与利用是 21 世纪害虫综合治理体系的重要组成部分, 是所有措施中最安全、经济、简便、有效的基础措施之一。在人们未能全面接受转基因食物的时期内, 种植高产、优质、抗虫的品种仍然是昆虫持续管理的首选之策。

培育和种植转基因抗虫作物也有望成为解决 21 世纪害虫防治问题的有效措施之一, 在今后几十年中有效抗虫基因的筛选、基因整合的位置、外植体的再生、提高基因表达水平和调控基因的特异性表达、转基因植物对害虫及天敌的影响及安全性评价等方面仍然是广大昆虫学工作者应该重点关注的问题。同时应该合理管理与利用现有基因, 避免滥用使害虫产生抗性。

4. 自然天敌与转基因天敌的广泛应用 利用自然天敌昆虫和昆虫病原微生物是害虫治理有效、安全的方法, 特别是在种植了抗虫品种的基础上, 保护与利用自然生态系统中的各类天敌或人工释放人工增殖的天敌会使害虫治理工作获得更满意的效果。

转基因天敌昆虫, 如抗药性天敌、耐湿性天敌、耐寒性天敌、耐热性天敌、不滞育性天敌、失飞性天敌、善飞性天敌、适温室性天敌、善钻性天敌等, 为解决特殊类型的害虫发挥更大的作用。

基因工程可将外源杀虫基因转入病原微生物, 提高昆虫病原微生物的效力, 加速害虫的死亡。病毒、真菌、细菌等遗传工程研究工作在我国将会进一步进行并推广应用。

5. 高效、无公害化学物质的合理应用 根据目前我国农业与农村发展的现状与城市化进度, 在 21 世纪中叶

之前，我国农药的使用量仍然能维持一定的规模。但随着时代的进步，农药的概念与研制思路会逐渐向有利于环境及人畜健康方面发展，剧毒、高残留、降解速度慢的农药将被农民们自觉淘汰。

6. 生态调控的自动化 在设施农业的害虫管理中，生态调控将逐步现代化，即在害虫发生自动化监测的基础上，用计算机自动调控设施内的光照、温度、湿度等主要生态因子，营造一个最利于植物生长和天敌繁育而不利于害虫发生的环境。

(三) 昆虫管理的基础研究将会受到空前的重视

有效的昆虫管理必须建立在对农田生态系深入了解的基础上，只有弄清各环境因子之间的复杂关系，才能有的放矢地治理害虫，达到事半功倍的效果。因此，在 21 世纪里，有关农田昆虫的多样性、生物学、生态学、生物地理学等基础研究将受到更多的关注。

二、未来千年——“天方夜谭”

英国作家兰格兰在其著名的科幻小说《爱伦是无辜的》中构思了一个奇妙的故事：科学家安德鲁在自己的身体上作基因重组试验时使人与苍蝇的基因对调了，结果苍蝇长出了小人头与胳膊，而科学家则长出了毛绒绒的苍蝇头和蝇足……

这一故事乍听起来很荒诞离奇，但用现代生物工程原理与技术看似乎不难实现。20世纪 80 年代以来，克隆鼠、克隆羊等克隆动物以及 20 世纪末期一批转基因动、植物相继出现，人类及部分动物的基因组序列的测定等一系列生物技术成果使人们的心灵受到极大的震撼。飞速发展的生物技术强烈地撞击着人们的传统观念，与之相关的伦理学、社会学、法学、心理学话题至今仍是人们

探讨与争论的焦点。在未来的千年中，生物技术等发展的程度尚不能精确估计，但改造生命（包括改造人类自己）的诸多幻想将会在一定范围内成为现实。

新千年中昆虫的管理也同样受到各类新技术革命的影响。生物技术、信息技术、自动化技术等会更合理地应用于昆虫管理的各项活动中。也许300年后主要农作物和相关害虫与天敌的基因图谱会基本弄清，各类生物芯片会应用于昆虫治理中，自动监测系统、自动控制系统等会在微型智能型机器人（或微型飞行器）的指挥下部分代替人们的劳动。

随着时间的推移，不论是在益虫的利用还是进行害虫防治之时，人们更会从维护自然状态出发，本着持续治理的原则，更加注重长远与整体利益。这就意味着未来的昆虫管理将要在经济、生态和社会效益三方面寻找最佳结合点。

第3章

21世纪学科发展丛书

病害——作物的瘟疫

第一节 植物的瘟疫——人类的灾难

一、病害的概念

在自然界中，植物的生长和发育需要有适当的条件，当植物受到其它生物的侵袭，或者不适当的环境条件超越了它们的适应范围，其正常的生长发育就会受到干扰和破坏，从而发生病变，不同程度地偏离健康状态，轻微者可以恢复，严重者导致死亡，这一过程称之为植物病害。植物病害的症状通常表现为变色、坏死、腐烂、萎蔫和畸形等。在某种意义上，病害是生物代谢活动中各式各样的极端变动，而这种变动可由环境中任何一种物理的、化学的或生物的因素造成。最常见的致病因素是能够繁殖的，叫做生物因素或者病原物。这类因素所致的病害起初随着病原生物的繁殖而增加，其后又随着健康寄主的减少而减轻。理化因素所致的病害不表现这种特征。植物病理学(phytopathology)便是研究植物病害特征、发生和防治的科学，是农业科学的一个分支学科。其目

的在于通过对植物病害发生原因、本质和规律的研究，获得控制病害流行成灾的科学方法，保障农业的增产增收。

二、病害的影响

植物病害对农业生产和社会经济会产生显著影响，最普遍的影响是降低植物产品的产量和品质，减少以植物作原材料及燃料的工业生产。植物得病后，其正常的生理活动将受到干扰和破坏，小则伤害，大则毁灭，给人类带来灾难。历史充满了由瘟疫、腐烂、锈病和衰退所致灾害的例证。19世纪40年代爱尔兰的大饥荒直接归因于马铃薯晚疫病。爱尔兰农民以马铃薯为主食品，1845年马铃薯晚疫病在爱尔兰大流行，使马铃薯减产，贮藏的块茎腐烂，以致粮食短缺，引起饥荒，其结果是大约100万人死亡，150万人背井离乡。20世纪40年代，孟加拉的水稻胡麻斑病也使人们遭受到了同样的灾难，病害的大流行严重降低了水稻的产量，米价高涨，引起孟加拉邦的饥馑，直接死亡人数达200万之多。有些病害的大面积流行虽然未曾给人类带来灾难性的饥荒和逃亡，但也造成了大规模的危害，引起巨大的经济损失。例如，1951~1960年间，美国因植物病害所造成的损失达42.5亿美元，这还不包括2.5亿美元的防治费用及病害对消费产品的为害。1970年玉米小斑病毁掉了美国15%的玉米，损失大约10亿美元。20世纪30年代至70年代荷兰榆树疫病毁掉美国东部2/3地区的田园榆树和榆林林，造成个人及地方政府财政困难，环境严重恶化。中国小麦条锈病曾在1950年、1964年和1990年三次全国性大流行，分别损失小麦600万、300万和265万吨。进入20世纪90年代，尽管人们采取各种措施进行植物保护和病害控制，

但全世界每年因病害所致的产量损失仍达 12%，经济损失高达 420 亿美元。

植物病害除在田间直接危害植物、影响产量和降低质量外，还可引起果蔬和薯类在运输和贮藏过程中的腐烂，限制产品供应的期限和地区。还有少数感染病害的农产品，食用后可引起人畜中毒。最有名的是食用发生麦角病的黑麦、燕麦和牧草，引起人畜中毒和流产。如 857 年欧洲莱茵河谷麦角病流行，致使食用者中毒死亡数千人。麦类赤霉病的病粒引起的中毒也较突出，而且是至今尚未完全解决的问题。病害的严重发生和流行也限制了植物的栽培地域。如板栗的干腐病毁灭了美国感病的板栗树；锈病几乎完全摧毁当时斯里兰卡广泛栽培的咖啡而改种茶树；50 年代我国华北红麻因炭疽病流行而停种等等。至于一种作物因发生病害改换品种的情形则更为普遍，有些优良高产品种，往往因病害的严重为害不能继续种植而被淘汰。因此，植物病害对农业生产和社会经济的影响是多方面的。

植物病害除对农业生产和经济产生不利影响外，对社会发展和进步也起过重要的推动作用。病害的严重为害直接影响了古代和现代人们的社会态度和思维方式，自觉地用宗教和法律手段进行病害防治。《圣经》中耶和华 (Jehovah) 对于不服从的人们所施的可怕灾罚中，包括有植物的瘟病和霉病、蝗虫和毛虫等。所罗门 (Solomon) 为驱除“瘟病或霉病、蝗虫或毛虫”而祈祷。阿摩士 (Amos) 和哈基 (Haggai) 都说上帝确实用瘟病和霉病来责罚人类。植物病害作为对罪行的严重惩罚，必然会被人们广泛地知晓和惧怕。因此，它们至少对古代以色列道德法的发展有所贡献。在公元前 700 年，罗马人对锈病专神类比加斯 (Rubigus) 予以安抚，祷告开头便是“冷

酷的锈病神，宽恕谷类的植株吧；我祈祷，止住你那粗暴的手……”。法娄(Varro)在他的“农业志”中将锈病神列为十二个议神之一。为了尊敬锈病神，创立了庄严的罗比加利亚(Robigalia)节日。在古罗马时代，植物病害已成为罗马科学的一部分，并在罗马的诗和宗教里有所体现。病害的严重为害也使人们通过制订法律来进行病害的防治。远在植物病害本质还未被真正认识以前，一些有关植物病害的好思想已写进了法律里。如在300多年以前，法国的卢恩地区便首先用法律措施来消灭小麦秆锈病的帮凶——小檗。1912年美国制订了第一部植物检疫法，防止危险性病原物引入无病区。而今，世界上许多国家都制订了植物检疫法规和条例，以防治植物病害的传入、传播和蔓延。法律是社会发展的标志，表达了社会的愿望。当在植物病害防治上以明确的法律出现时，标志着思想方式的改变。此外，植物病害对英国的社会改革也起过促进作用。在英国近代史上，马铃薯晚疫病引致的饥荒，使英国取缔了谷物法令，走上了自由贸易的道路。

三、植物病理学的诞生

植物病理学是一门年轻的学科，它作为一门科学真正为植物病害提供科学知识距今不足150年。植物病理学没有确切的生日，是应农业和社会发展需要，于19世纪中后叶逐步发展起来的，具有复杂而悠久的历史起源。

(Theophrastus, 公元前 374 ~ 公元前 288 年) 及古罗马人普利尼 (Pliny, 23 ~ 79 年) 都注意到了植物病害。前者是一个著名的植物学家, 被尊称为“植物学之父”, 他对植物病害的为害状进行了分类; 后者除对病害进行记载外, 还注意了病害的防治。然而, 他们对病害的认识还处于迷信阶段, 带有浓郁的迷信色彩, 缺乏科学依据。因此, 为抑制病害所作的一切努力都是徒劳的。长期以来, 由于植物病害“自然发生论”的影响, 真菌学家和植物病理学家对在发病植物上观察到的真菌是引起病害的原因, 还是植物病组织的产物, 一直认识不清。到 18 世纪后半叶, 蒂利特 (M. Tillet) 对小麦腥黑穗病的传染和防治研究证明, 小麦腥黑穗病是传染性的, 孢子球中的孢子是传“毒”来源, 于 1755 年发表了论文, 并获得了波尔多皇家文学、科学和艺术学院的奖金, 但对所谓的传“毒”本质未作进一步说明。随后不久, 福尔坦那 (Fortana) 和塔尔焦尼 (Targioni) 通过研究和观察认为小麦锈病是由一种微小的寄生植物引起的, 但是他们没有证实, 只是推测。由于当时的条件所限, 这三位学者虽然未曾弄清病原物传染为害的本质, 但他们的工作却成功地改变了人们对事物的看法, 为真菌病原学正确概念的建立奠定了基础。他们是杰出的开拓者, 1958 年曾被美国著名的植物病理学家斯塔克曼 (Stakman) 称之为植物病理学的祖父。

1807 年瑞士籍法国人普雷维特 (M. Prevost) 证实黑粉病菌的孢子就是传染病害的“毒”, 是用显微镜观察到的引起病害的植物繁殖体。他同时提出禾本科植物锈病也是由相应的病原物引起的。1882 ~ 1895 年法国化学家和细菌学家巴斯德 (Louis Pasteur) 从酿酒工业中发现了微生物的作用, 从而彻底摧毁了古老的生物自生学说, 对一切生物的病害研究产生了深远的影响。植物学家和真

菌学家德国的德巴利(Anton de Bary, 1831~1888年)确定了多种锈菌、黑粉菌、马铃薯晚疫病菌以及其他许多真菌是植物病害的病原物，从而创立了植物病害的病原生物学说。在此期间，德国人库恩(Julius Kuhn, 1825~1910年)出版了第一本植物病害的教科书，其中包括了巴斯德、德巴利及其他一些真菌学家确立的寄生物学原则。一般认为植物病理学始于库恩，他在农场工作近14年，是当时比较突出的真正的植病工作者，37岁被聘为德国哈雷大学教授，被誉为第一个植物病理学家、植物病理专业的创始人。虽然在这一时期，德巴利等人对植物病害的研究起了奠基的作用，但他们的研究大都是学院式的。

由此可知，植物病理学的形成与发展与真菌学(mycology)是相伴而生的，真菌学显然先于植物病理学。真菌学家对世界各地的真菌进行采集、描述、命名和分类，不仅促进了真菌学本身的发展，而且对其后研究这些真菌的致病性打下了基础。长期以来，植物病理学被称之为应用真菌学(applicable mycology)，所以植物病害的研究是以病原真菌所致的病害开始的。

第二节 植物疾病的起因——发病因素

一、病害的微观世界

大多数植物病害是传染性的，由人的肉眼不易看见的细小生物的侵染为害引起，也就是说由生物因素所致的病害。这些细小生物称之为病原物，包括真菌、细菌、病毒、线虫和寄生性种子植物等。病害的表现是病原物和寄主植物在一定条件下相互作用的结果。

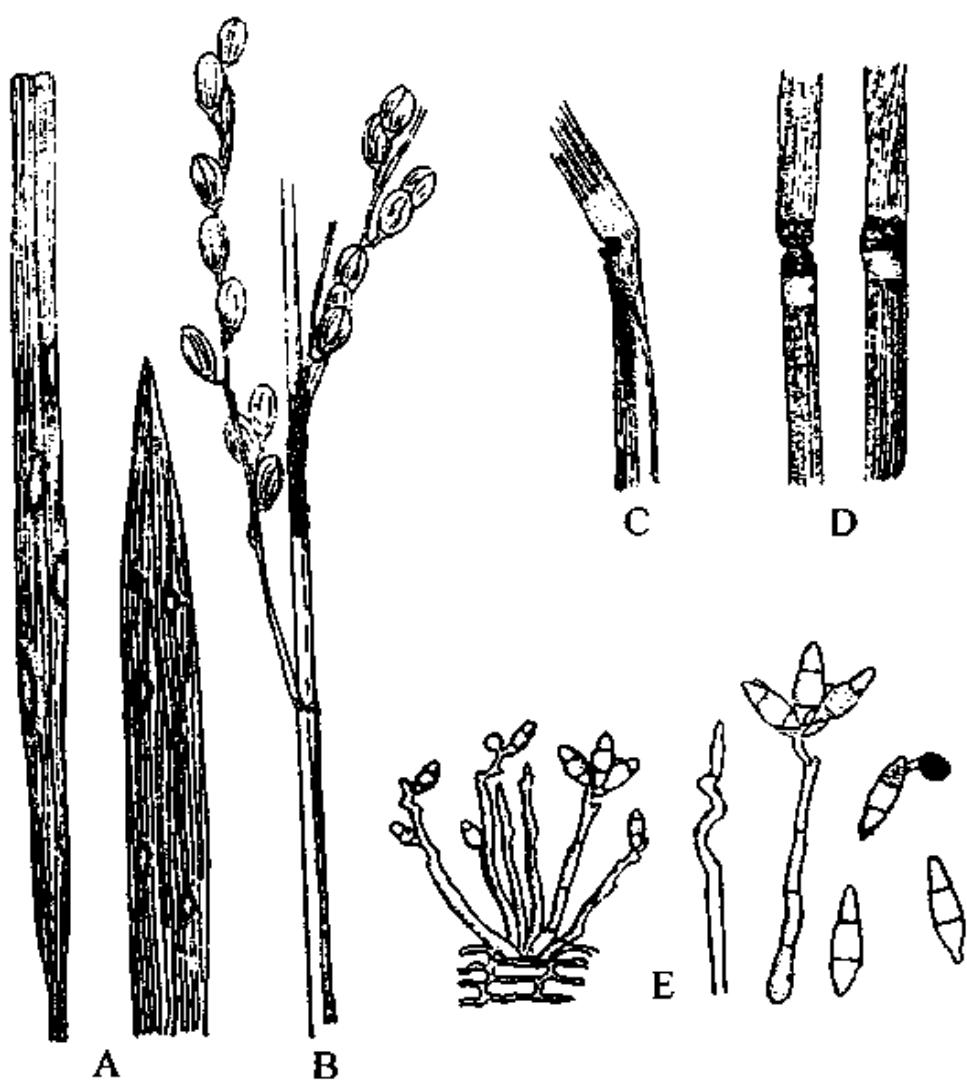
(一) 植物病原真菌

一类具有真正细胞核，营养体为丝状，能产生孢子，无叶绿素，靠吸收其它生物的养分维持生命的异养生物。真菌种类多，分布广，繁殖快，地球上凡是有空气的地方都有真菌存在。真菌分为鞭毛菌、接合菌、子囊菌、担子菌和半知菌五大类。1983年出版的《真菌词典》中记载了4 835属、63 585种。

真菌可侵染所有高等植物，大多数农作物都可受多种真菌的侵染为害，如马铃薯、菜豆和棉花三种作物都受30种以上病原真菌的为害。从全世界范围来看，仅仅是真菌这一类病原物引起的植物病害就有3万余种，如稻瘟病、水稻胡麻斑病、小麦锈病、白粉病、黑粉病、玉米大斑病、小斑病、丝黑穗病、棉花枯萎病、黄萎病、马铃薯晚疫病、甘薯黑斑病、葡萄霜霉病、油菜霜霉病等重要病害都是由真菌引起的（图3.1~3.7），每年因真菌病害而造成若干亿美元的损失。植物的各种器官——根、茎、叶、花、果实、种子都可能受害。病原真菌除降低植物种子的生活力和发芽率，毁坏幼苗，并在寄主生长期持续为害外，它们还在运输和贮藏期间为害块根、球茎、鳞茎、根茎、棉麻纤维和木材等收获了的产品。真菌的多样性和变异性给防治带来许多困难。有些真菌要在两种寄主上完成其生活史，有些真菌能够长期腐生，如果碰到寄主植物，又营寄生生活，有些真菌产生适于传播的孢子（图3.8），能在空气中、水中或土壤中传播，另一些产生休眠孢子，能生存好几年。真菌在形态、功能和生活史等方面比其他病原物表现出较大的多样性，通过有性生殖和突变等途径能产生新的、遗传性状不同的个体，从而增加新小种或新致病类型。它们最早被认为是植物病害的起因，古书里就有锈病、黑穗病、疫病和毒病的记载。

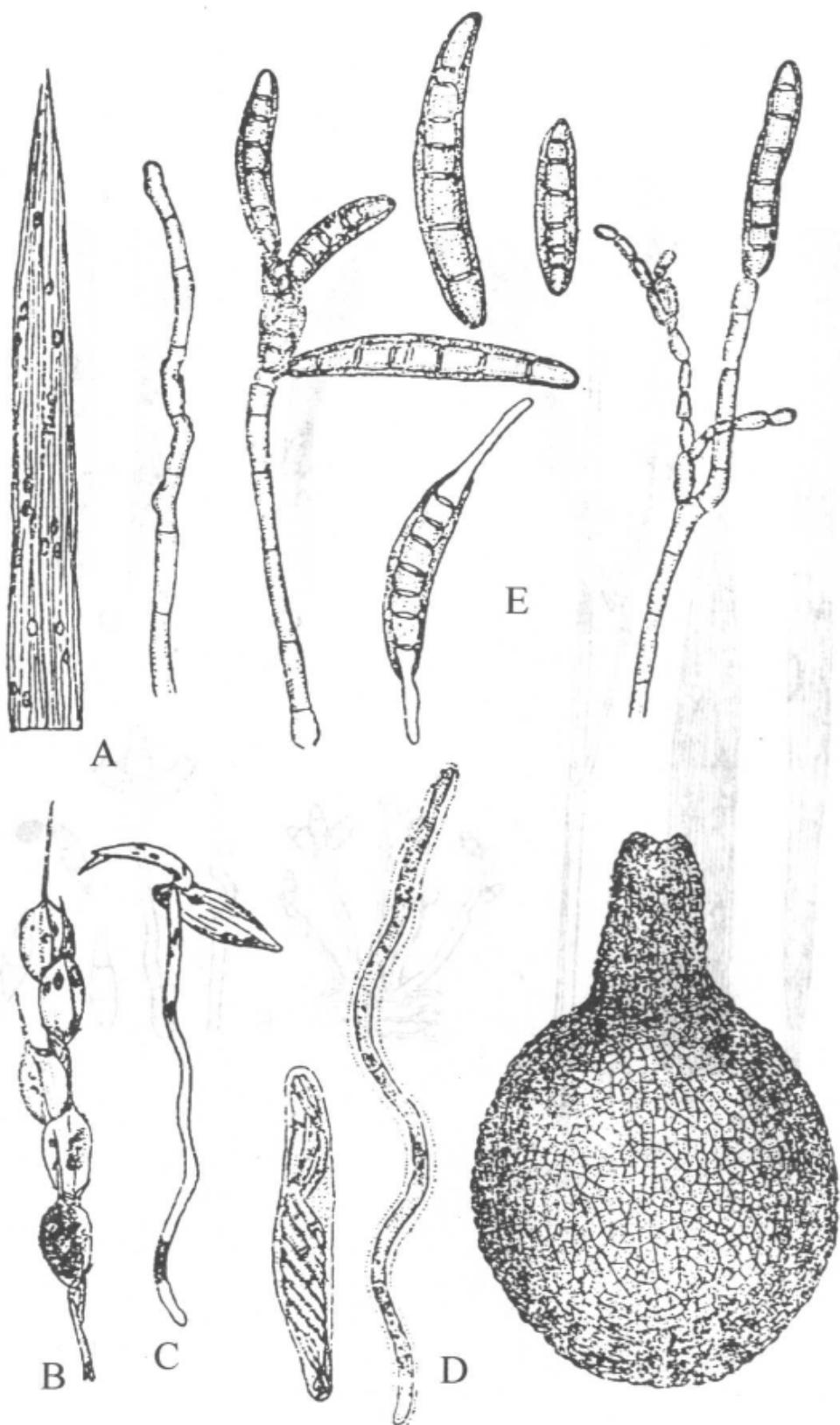
有些真菌，如十字花科植物根肿菌 *plasmodiophora*

—图 3-1 稻瘟病(仿自中国农业植物病害)
A. 叶瘟; B. 穗颈
瘟; C.D. 节瘟;
E. 病菌分生孢子梗及分生孢子



—图 3-2 水稻胡麻斑病 (仿自中国农业植物病害)

A. 叶部症状; B. 谷粒症状; C. 秧苗症状; D. 病菌子囊壳、子囊和子囊孢子; E. 病菌分生孢子梗及分生孢子



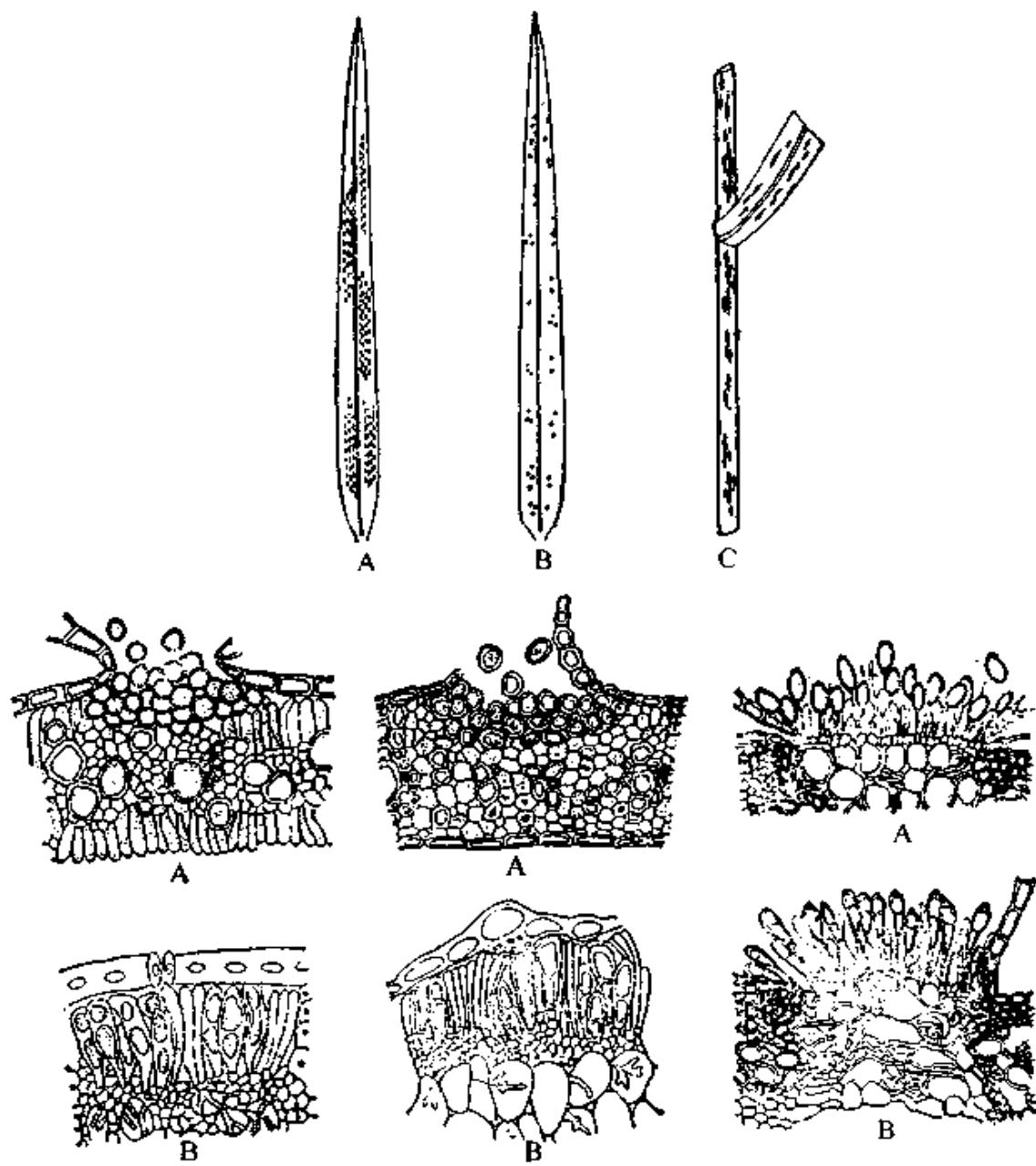


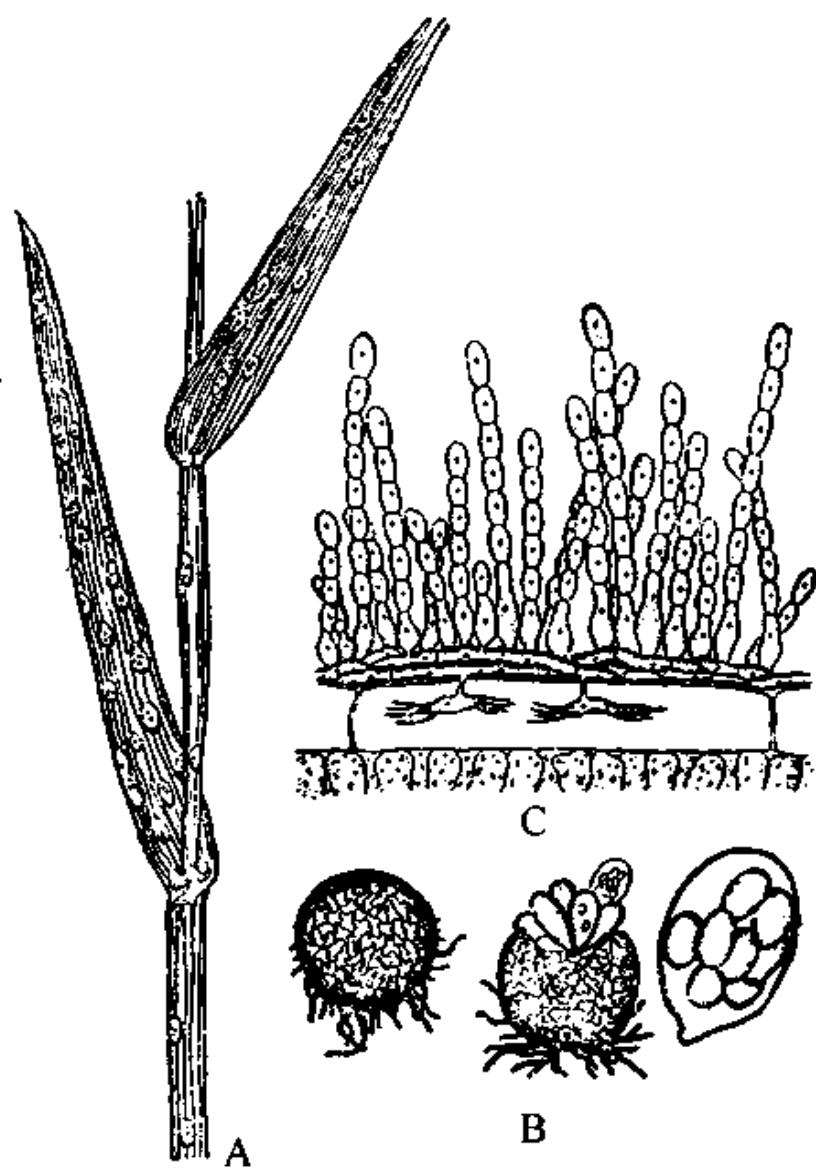
图 3-3 小麦锈病(仿自农业植物病理学)

上图:A. 条锈病症状;B. 叶锈病症状;C. 茎锈病症状

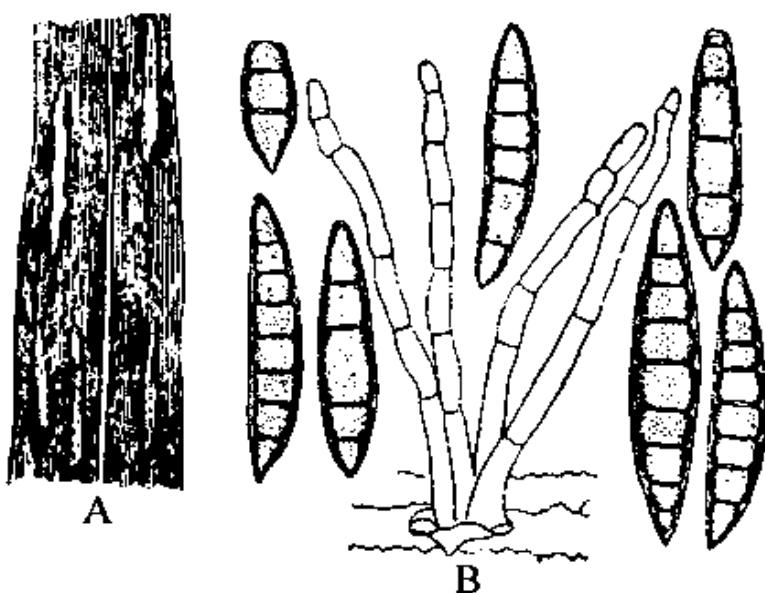
下图: A. 病菌夏孢子堆及夏孢子; B. 病菌冬孢子堆及冬孢子

—图 3-4 小麦白粉病 (仿自普通植物病理学)

A. 白粉病症状;
B. 病菌闭囊壳及子囊;
C. 病菌分生孢子梗及分生孢子



—图 3-5 五
米大斑病 (仿自
中国农业植物
病害)



A. 病叶症状;
B. 病菌分生孢子
梗及分生孢子

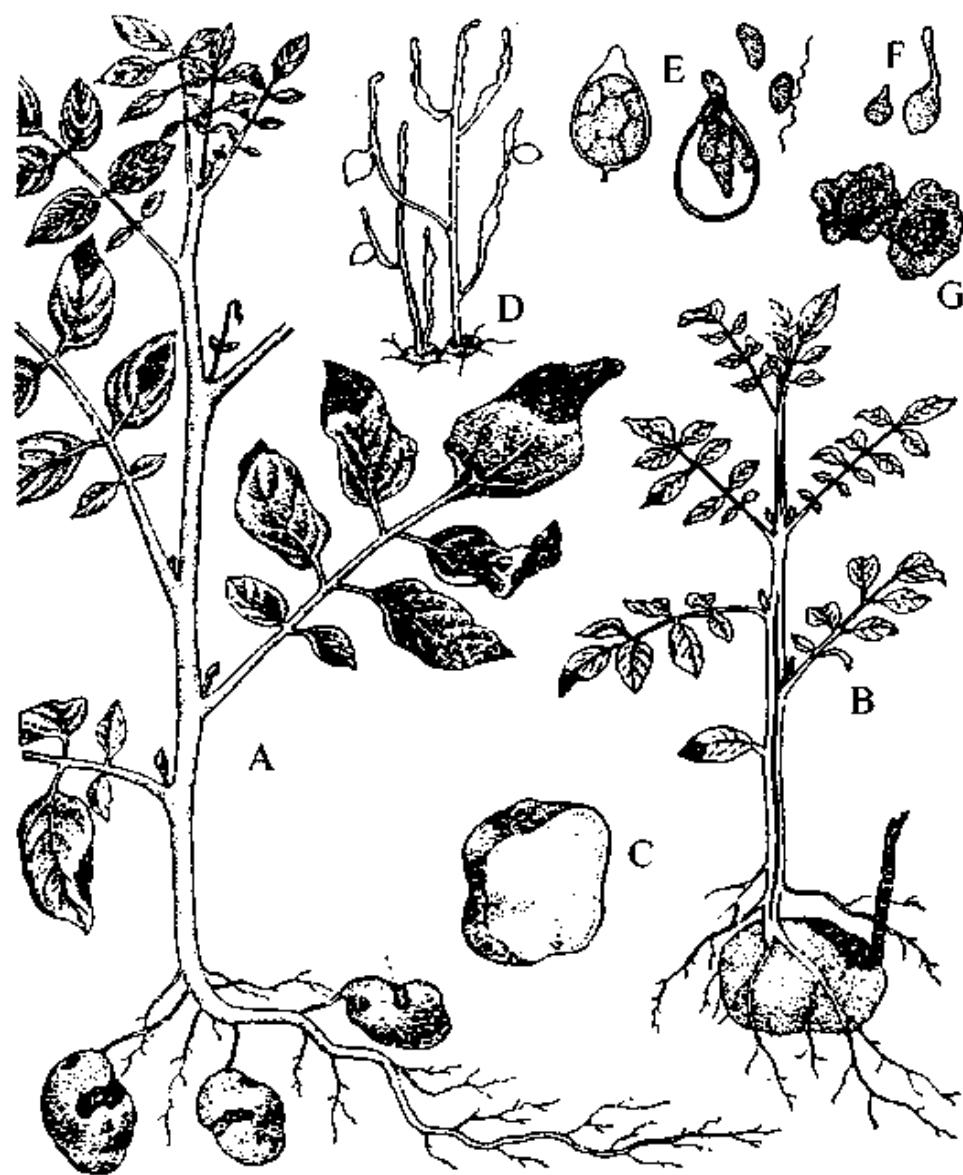


—图 3-6 棉
花枯萎病 (仿自
中国农业植物
病害)

A. 病株; B. 病茎
(示维管束变色);
C. 病菌分生孢子
梗及分生孢子

—图 3-7 马铃薯晚疫病（仿自中国农作物病虫害）

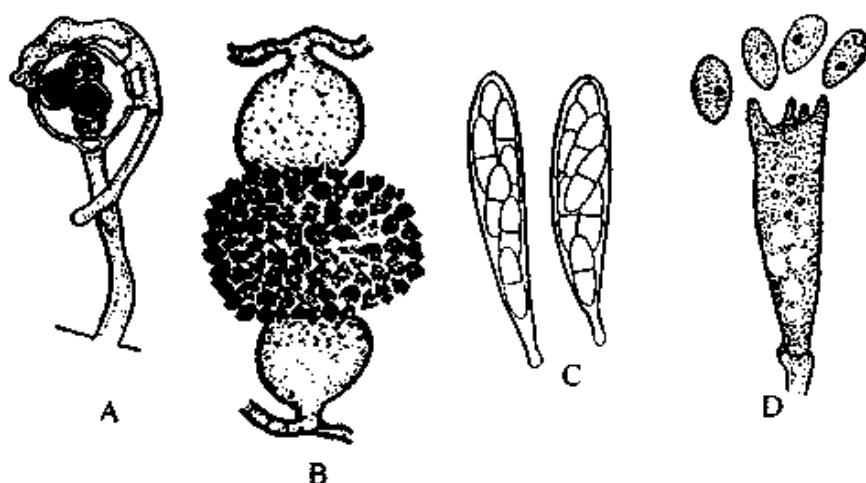
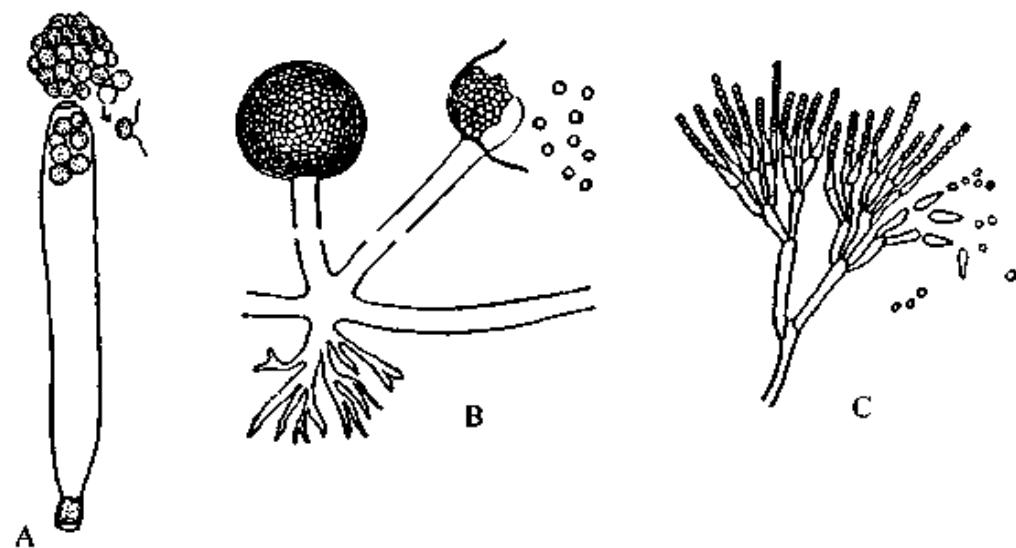
A. 病株；B. 病苗；
C. 病薯；D. 病菌孢子梗及孢子囊；E.
孢子囊萌发形成游动孢子；F. 游动
孢子失去鞭毛发芽；G. 卵孢子



—图 3-8 病原真菌产生的各种孢子 (仿自普通植物病理学)

无性孢子 (上图): A. 游动孢子囊和游动孢子; B. 孢子囊及孢囊孢子; C. 分生孢子梗及分生孢子

有性孢子 (下图): A. 卵孢子; B. 接合孢子; C. 子囊孢子; D. 担孢子



brassicae 生活在寄主细胞内,与寄主原生质联系紧密。另些真菌生活在寄主细胞之间,长出一种叫做吸器的专化结构伸入寄主细胞,如十字花科植物霜霉菌 *Peronospora parasitica*。真菌一般都能在寄主上产生坏死、腐烂、畸形、萎焉等各式各样的症状。有些真菌所致的症状并不显著,象莴苣根上的十字花科植物油壶菌 *Olpidium brassicae* 便是如此,但它可传染莴苣粗脉病毒,在莴苣叶上表现出显著的病毒症状。

真菌病害通过气流、雨水、虫媒等传播,种苗带菌的真菌病害主要通过种苗调运作远距离传播。真菌侵入寄主的途径不一,有些能直接侵入寄主完好的角质层,有些由气孔等自然孔口及伤口侵入植物。直接侵入系借助于从芽管上长出来的纤细侵入钉。炭疽病菌孢子发芽时在芽管顶端长出一种称为附着器的结构,粘着于寄主表皮,并在下面长出侵入钉,侵入植物表皮细胞。丝核菌 *Rhizoctonia solani* 在以单个菌丝侵入前,常在寄主茎或根的表面形成由菌丝缠结而成的垫状物。层孔菌属病菌和蜜环蕈 *Armillaria mellea* 由菌丝缠结形成根状菌索的专化结构,在土中蔓延,从营养基吸取养料,当其与根部接触时便产生分枝,侵入寄主。与此相反,鞭毛菌微小的游动孢子在水中游动后,便在寄主体表形成静体。一旦静体形成,很快就长出一根纤细的侵入丝,侵入寄主细胞内或细胞间。这种侵染情况不论是在植物的地下或地上部都是如此。各种真菌的侵入和侵染的程序很不相同。

(二) 植物病原细菌

细菌属于单细胞生物,有细胞壁但没有固定的细胞核。绝大多数细菌需从其他生物上吸取营养,但少数细菌也能进行光合作用。细菌分布较广,凡是有植物生长的地方都有细菌病害分布,迄今记载的植物细菌病害有500

种以上，分别归入假单胞杆菌 *Pseudomonas*、黄单胞杆菌 *Xanthomonas*、野杆菌 *Agrobacterium*、欧氏杆菌 *Erwinia* 和 棒状杆菌 *Corynebacterium* 5 个属。有的植物只患一种细菌病害，有的患几种。有些植物病原细菌，如根癌细菌和软腐细菌可为害多种植物，但有些植物病原细菌，如大豆细菌性疫病菌 *Pseudomonas glycincina* 只为害一种植物。虽然细菌所致的重要病害比真菌要少，但是有些细菌病害为害还是严重的。例如，仁果火疫病曾经是高度毁灭性的，对仁果造成过很大损失，它曾使感病梨树发生大面积死亡。水稻白叶枯病、条斑病、植物青枯病、根癌病、大白菜软腐病、柑橘溃疡病、梨火疫病、马铃薯环腐病等都是世界性重要病害。1976 年美国 31 个州因植物多种细菌病害的危害造成经济损失达 2 亿多美元。新鲜水果和蔬菜在运输、贮藏和销售期间的腐烂、败坏，主要是由细菌性软腐病引起的。

细菌与其它病原物在植物上所致的症状没有显著差别，但不同细菌种或致病菌系在一种植物上常导致一定形式的症状。大多数植物病原细菌只产生一种类型的症状，但有些细菌病害产生一种症状群，可以由三种以上的不同症状以及这些症状的不同组合综合而成。下面列举细菌病害的几种主要症状类型，以及表现这些症状的一些病害和它们的病原细菌。

黄化：苜蓿细菌萎蔫病 *Corynebacterium insidiosum*。

萎蔫：番茄、烟草、马铃薯青枯病，香蕉细菌枯萎病

Pseudomonas solanacearum；瓜类细菌萎蔫病 *Erwinia tracheiphila*。

焦枯：梨和苹果火疫病 *Erwinia amylovora*；烟草野火病 *Pseudomonas tabaci*；水稻白叶枯病 *Xanthomonas oryzae*。

斑点: 核果细菌斑点病 *Xanthomonas pruni*; 棉花角斑病 *Xanthomonas malvacearum*。

溃疡: 火疫病 *Erwinia amylovora*; 核果细菌溃疡病 *Pseudomonas syringae*。

腐烂: 蔬菜软腐病 *Erwinia carotovora*。

肿瘤: 果树、花卉等植物根癌病 *Agrobacterium tumefaciens*; 叶瘿病 *Corynebacterium facians*。

疮痂: 马铃薯疮痂病 *Streptomyces scabies*。

大多数植物病原细菌具有纤细的鞭毛, 能在液体中自行向前划行(图 3~9)。鞭毛的数目和着生的部位是细菌分属的一个主要依据。例如欧氏杆菌属具周生鞭毛, 而黄单胞杆菌属只生一根极生鞭毛。黄单胞杆菌大都侵害叶部, 产生粘性渗出物, 并产生一种特殊的水溶性黄色色素。假单胞杆菌属为数最多, 约占整个植物病原细菌的一半, 它们可引起许多种植物的腐烂、萎蔫和叶枯等多种病害。野杆菌属的病菌不多, 其中对由根癌病菌 *Agrobacterium tumefaciens* 引起的植物根癌病研究最多, 这主要由于根癌组织的生长情况与动物和人的癌组织有相似之处。此外, 少数放线菌也能引起植物病害, 如马铃薯疮痂病 *Streptomyces scabies*。

植物病原细菌主要靠风雨传播, 昆虫介体、农事操作、农机具等也可传染细菌。由于病原细菌不像真菌孢子那样能长出芽管和附着胞, 故不能直接侵入叶部角质层或根、茎部的木栓组织, 它们必须从伤口或自然孔口侵入。作为侵入渠道的自然孔口, 在叶上为气孔和吐水孔, 在木栓组织上为皮孔, 在花上为蜜腺。各种因素, 特别是嚼食柔嫩叶、茎组织的昆虫, 会造成使细菌得以入侵的伤口。许多线虫, 如根结线虫, 可为萎蔫细菌提供侵入寄主根部的途径。嫁接伤口、耕作损伤以及许多其它

图 3-9 病原细菌及其鞭毛的着生方式
(仿自普通植物病理学)

A. 单极鞭; B、C.
极鞭; D. 周鞭

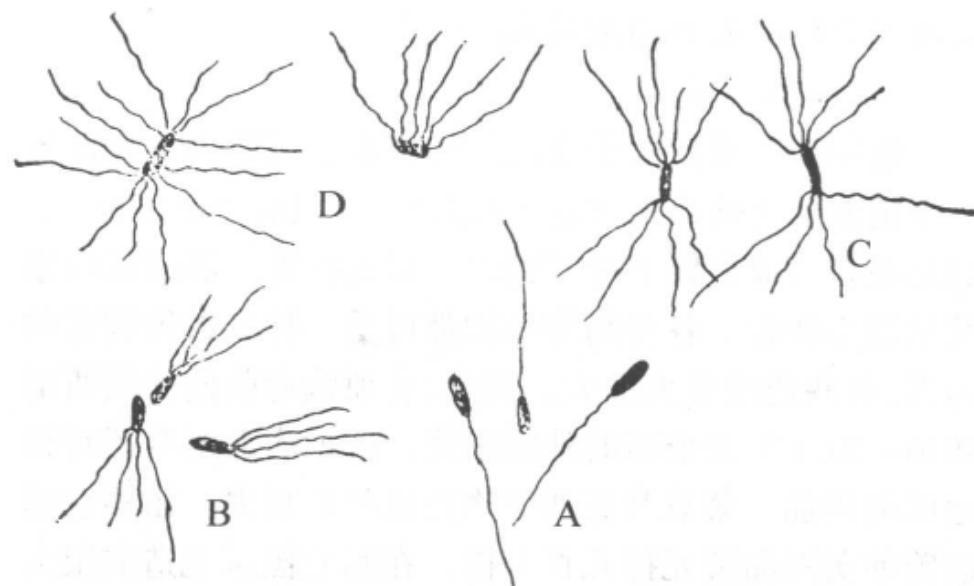
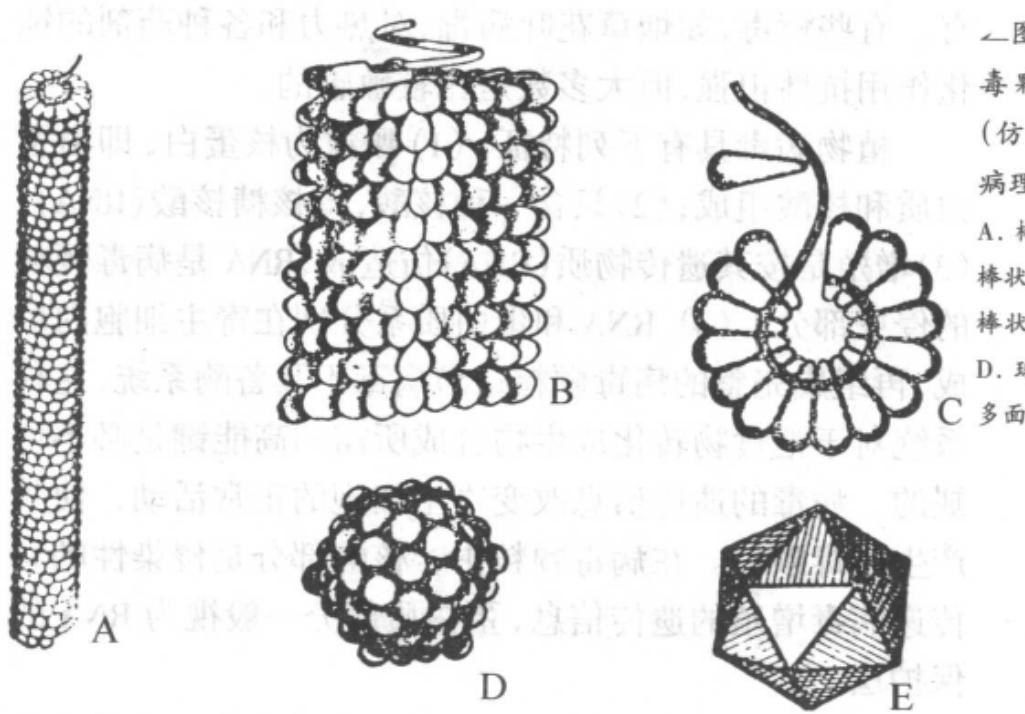


图 3-10 病毒颗粒的结构
(仿自普通植物病理学)

A. 棒状颗粒; B.
棒状颗粒放大; C.
棒状颗粒横切面;
D. 球形颗粒; E.
多面形颗粒



伤害都会增加根癌细菌侵入的机会。

(三) 植物病毒

植物病毒是仅次于真菌的植物重要病原物。全世界已报道的植物病毒病害达 700 余种，中国有 100 多种。它们是在普通显微镜下看不到的，只能在寄主活细胞内繁殖的细小颗粒。各种高等植物都可受一种或数种病毒的为害，有些造成重大损失。例如，卷顶病毒曾使美国西部 1916~1932 年完全不能种植甜菜，这种病毒至今还对该地区的番茄、菜豆及其他作物造成严重损失。柑橘衰退病曾使美洲甜橙死掉几百万株，在其它国家也造成很大损失。

各种植物病毒的形状有所不同。电子显微镜的观察表明，有些病毒的颗粒是棒状的，有些是球形或多面形的（图 3.10）。少数植物病毒颗粒外有被膜，但大多数没有。有些病毒，如烟草花叶病毒，对热力和各种药剂的钝化作用抗性很强，但大多数是比较敏感的。

植物病毒具有下列特征：(1) 颗粒为核蛋白，即由蛋白质和核酸组成；(2) 只含一种核酸，即核糖核酸(RNA)；(3) 增殖是按其遗传物质(RNA)仿造成，RNA 是病毒颗粒的侵染部分；(4) RNA 和蛋白质系分别在寄主细胞内形成，再组成完整的病毒颗粒；(5) 病毒不具备酶系统，这种系统对于把食物转化成生物合成所需的高能键是必不可缺的。病毒的遗传信息改变寄主细胞的正常活动，使其产生病毒颗粒。在病毒颗粒中，核酸部分是侵染性的并传递病毒增殖的遗传信息，蛋白质部分一般视为 RNA 的保护层。

植物遭受病毒病为害后可产生多种症状。有的为花叶型，致叶部斑驳和退绿或坏死斑，有的为黄化型，主要致黄化、缩叶、矮化及丛枝，很少致斑驳或斑点症状。但

是，在某些病害或在某些环境条件下，症状可能轻微乃至隐蔽不出现。植物能同时受两种或更多病毒侵染。当植物受一种病毒侵染之后又受另一种病毒的侵染时，第二种病毒所致的症状常重叠在第一种上面。有时在两种病毒的症状中只有一种占优势，有时两种病毒所致的症状较单一一致的严重得多。例如，番茄双病毒条斑病系由烟草花叶病毒和马铃薯 X 病毒的双重侵染所致。这两种病毒单独侵染时只产生斑驳和轻度矮化，但当它们复合侵染同一株植物时危害显著增加，使叶和茎严重坏死。

因为病毒能够突变，所以在自然界中病毒常以不同株系组成的株系群状态存在。各株系在寄主范围、症状产生及其它特性方面有所不同。如黄瓜花叶病毒的株系群含有许多株系，有的能侵染菜豆，有的却不能，有的能在百日草上产生局部坏死斑，有的能使百日草发生全株性病害，产生斑驳，但不坏死。对许多病毒来说，一个株系的侵染能保护第二个与它有关株系的再侵染或为害。这种情况同前面谈的相反，前面谈的是一种病毒对完全不同的或不相关的病毒不起保护作用。烟草花叶病毒相关株系之间的关系可用以说明保护作用。用感染了烟草花叶病毒的植物制取汁液，轻轻地擦到毛叶烟健株的叶表，会产生很多小坏死斑，标志着分散的侵染点。但是，如果先用一个不产生坏死斑的烟草花叶病毒株系接种，使毛叶烟发生全株性侵染，然后用一个相关的、但能产生坏死斑的烟草花叶病毒株系再接种，毛叶烟上便不产生或仅产生极少的坏死斑。

病毒的传播途径因各自的特征不同而异。所有能在寄主体内作全株性蔓延的病毒都能借嫁接传播。大多数病毒在寄主体内扩展的范围很广，可达到植株的各个部位。当用果树、草莓、马铃薯、甘薯等无性繁殖作物的病

芽、接穗或其他部分作繁殖材料时，培育出来的新植物一般也染病。有些植物病毒由种子的染病胚传播，但在大多数病害中，病株种子的胚带毒率不高。种子传播的重要性在于为昆虫或其它传毒媒介提供毒源，尽管起初数量很小，也能使病毒得以蔓延。几乎所有的种传病毒都侵入花粉，有时带毒的花粉也传染，授粉后使母株染病。植物病毒在自然界的传播大都借生物媒介，其中最主要的是昆虫。昆虫媒介有叶蝉、蚜虫、粉虱、蓟马、甲虫及其他咀嚼式昆虫。不过，并不是这些虫媒都能传播各种病毒，每种虫传病毒都有一定的虫媒。昆虫在病株上取食并获得病毒之后，有些病毒能相当持久地在虫体中维持传染性，有些甚至能在虫体中繁殖，这叫做持久型的（宿存的）；另一些是非持久型的（非宿存的），它们维持传染性的时间不长。此外，土壤及螨类、寄生线虫、真菌等媒介也可传播病毒。

（四）植物病原线虫

线虫又称蠕虫，属于低等动物，体型细小，肉眼不易看见，但却有复杂而专化的器官，包括消化和神经系统。它们没有专门的呼吸和循环器官，这两种生理功能由体腔内体液流动承担。雌雄常为异体，雌虫和雄虫都具有很发达的生殖和消化系统，这些结构会因它们的食物来源和所处的环境不同而改变。线虫种类繁多，目前已经命名的有 9 000 种，在各种环境中广泛分布。其中，寄生植物的线虫有数百种，几乎每一种作物上都有线虫危害。线虫以蛇形运动方式在水中移动，植物寄生线虫口器具有能刺进植物细胞的针状物（吻针），当线虫摄食时，唾液由吻针射进寄主细胞，将细胞内含物溶解后摄取。据统计，全世界每年因线虫造成的损失达 1 000 亿美元。

线虫对植物为害所致的症状与一般的病害症状相似，常称为线虫病。由于线虫的为害主要发生于根部。因此，不检查根部是很难识别线虫病的。断定病害是由哪种线虫所致，一般还要在实验室进行检验。

在植物上发生普遍、危害严重的主要有根结线虫 *Meloidogyne* spp. 和胞囊线虫 *Heterodera* spp. 两类（图 3.11、图 3.12）。根结线虫分布于全世界，它们的侵染可导致几种最重要的植物病害，多发生于温暖地带和温室中。这类线虫的唾液分泌使寄主产生大的多核细胞（巨型细胞），引起病部肿大，以致根部畸形扭曲。胞囊线虫也是重要的植物病原物，雌虫在摄食时同样产生大的多核细胞，但受害部分并不怎么肿大。由于雌虫的外膜在发育后期变为坚韧的囊状物（胞囊），所以才叫这个名字。胞囊能抵抗化学的和微生物的作用，其中含卵数百粒，能在土中生存十年以上。一般来说，胞囊线虫的为害在温带较在热带和亚热带为重。

地上部线虫主要有芽、叶线虫 *Aphelenchoides* spp.、茎线虫 *Ditylenchus* spp. 和瘿线虫 *Anguina* spp. 三个属。它们为害植物后造成芽死亡或丧失活力，茎和叶皱缩和扭曲，产生种瘿或叶瘿，叶部发生病斑或坏死。

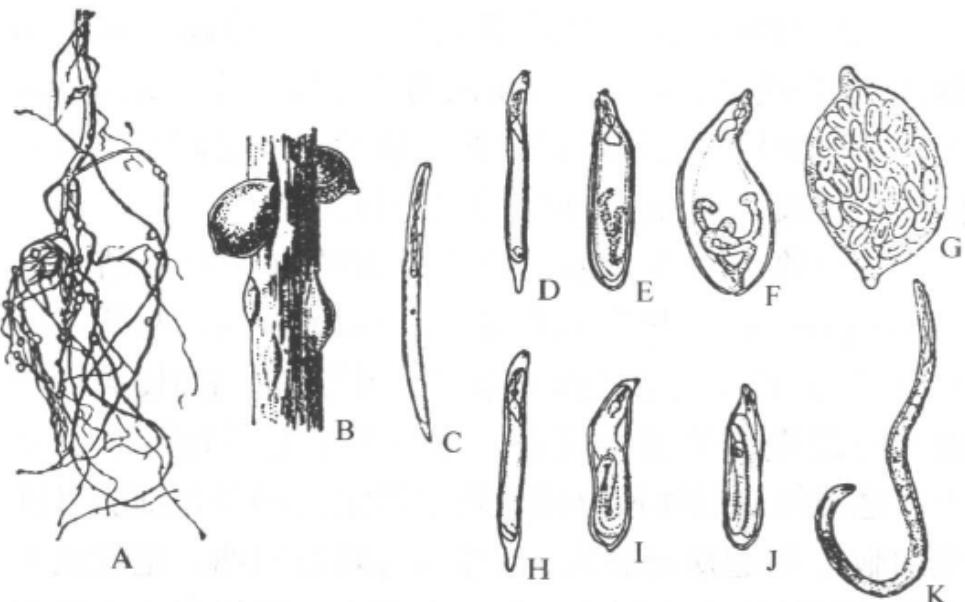
（五）寄生性种子植物

寄生性种子植物是依赖寄主植物提供水、无机盐或全部营养物质才能生长繁育的高等植物（图 3.13）。它们都能开花结籽，但这类植物的根和叶片退化而不能独立生活，必须在其他植物上寄生生活。一些寄生性种子植物是大田作物、林木和观赏植物病害的重要病原物。它们可分为几大类：（1）桑寄生 *Loranthaceae*：为有叶或无叶的绿色、黄色或褐色植物，以根伸入乔木或灌木的枝干中；（2）菟丝子 *Cuscuta*：纤细、缠绕的无叶藤茎，橙黄色或

—图 3-11 胞

囊线虫 (仿自普通植物病理学)

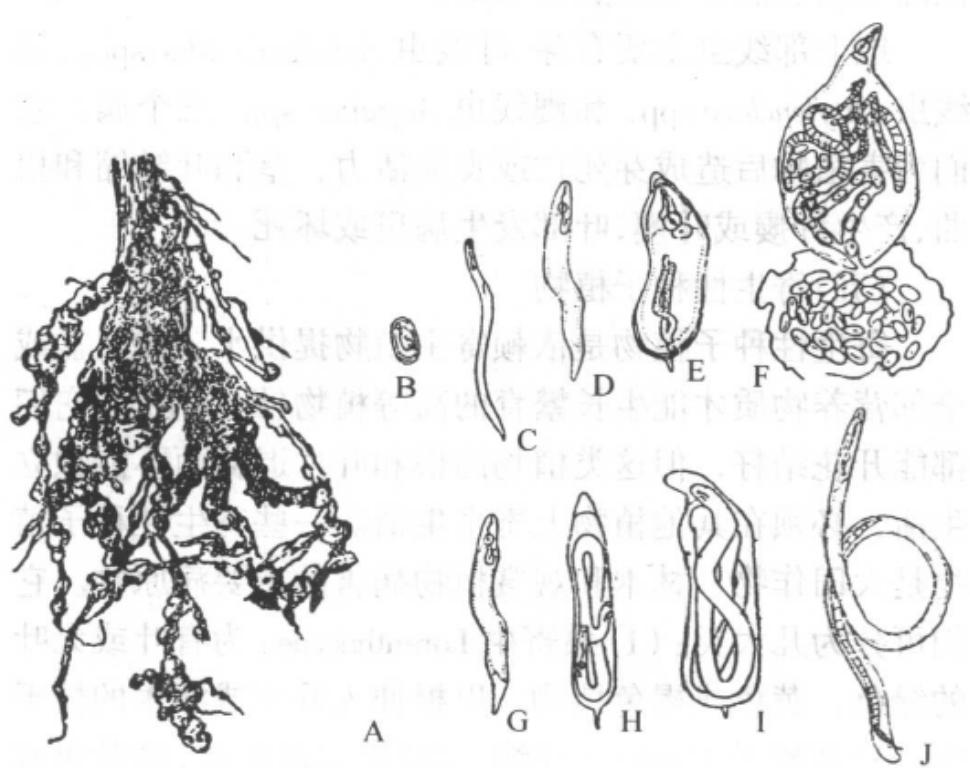
- A. 危害状; B. 雌虫在根部不同发育阶段; C. 二龄雌虫; D. 三龄雌虫; E. 四龄雌虫; F. 成熟雌虫; G. 胞囊; H. 三龄雄虫; I. 四龄雄虫; J. 成熟前的雄虫; K. 成熟雄虫

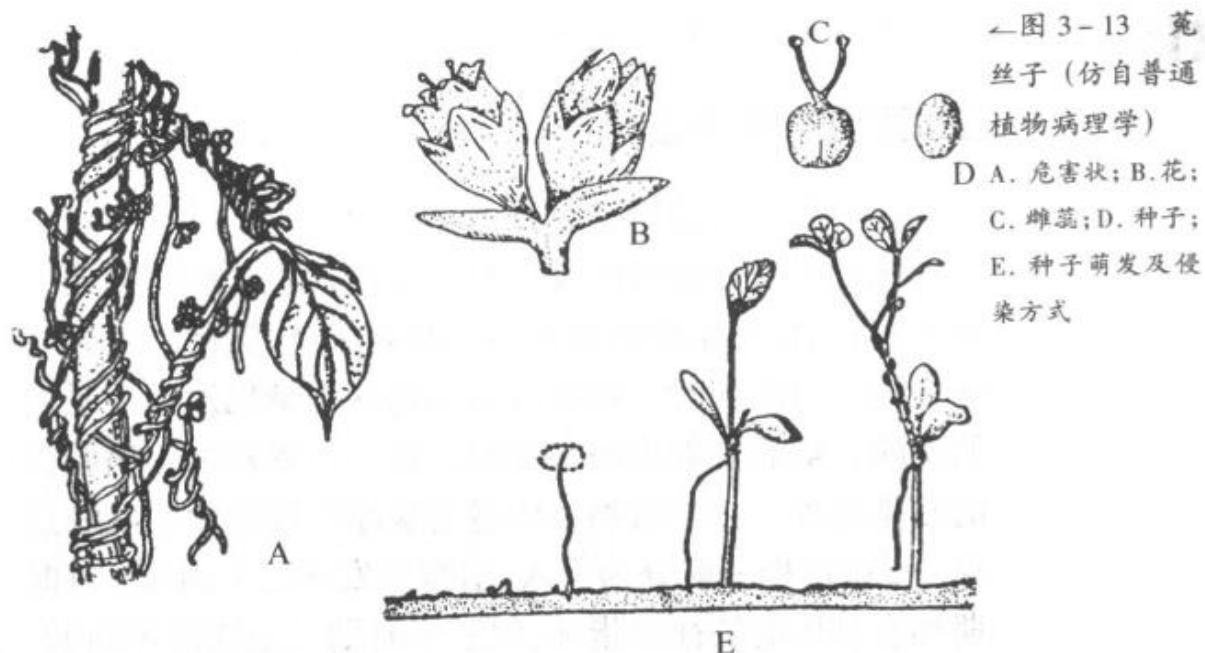


—图 3-12 根

节线虫 (仿自普通植物病理学)

- A. 危害状; B. 卵; C. 二龄雌虫; D. 将蜕化的雌虫; E. 未成熟的雌虫; F. 成熟雌虫及卵囊; G. 将蜕化的雄虫; H. 未成熟的雄虫; I. 将蜕化的雄虫; J. 成熟雄虫





—图 3-13 菟丝子 (仿自普通植物病理学)
D A. 危害状; B. 花;
C. 雌蕊; D. 种子;
E. 种子萌发及侵染方式

黄色，少数为白色或紫色，以根固着于寄主，并在其上到处蔓延，缠结成丛；(3)列当 *Orobanchaceae*：从寄主根部长出成丛的白色、褐色或紫色茎。

桑寄生科植物约 900 种，大都寄生于热带树木。不过油杉寄生属 *Arceuthobium* 中的所谓矮桑寄生，无叶，在北美西部针叶树上为害很重。槲寄生属 *Viscum* 在欧洲树木上为害重。美洲槲寄生属 *Phoradendron* 有叶，寄生于树木，主要分布于西半球的温带和热带。菟丝子寄生于多种植物，亚麻、甜菜、洋葱等作物受害较重。列当约 90 种，主要属于列当属 *Orobanche* 和肉苁蓉属 *Phelipaea*。巫婆草 *Striga lutea* 为玄参科 *Scrophulariaceae*、独脚金属植物，在东半球的热带和亚热带为害多种禾本科植物的根部，具毁灭性。1956 年在美国北加罗来纳州的玉米与禾本科野草上发现这种植物，它的进一步蔓延已引起高度警惕。

寄生性种子植物的致病作用主要靠伸出吸收器官进入寄主体内，以吸取水分及养料并致病。吸收器官为吸器或根，因种类不同而异。由于靠种子传播，防治措施主要是阻止种子的产生和散播，也采用物理的或化学的方

法从作物上或作物生长处将寄生植物清除掉。

二、病害的传染蔓延

(一) 病原物的侵染过程

植物侵染性病害的发生有一定的过程。病原物侵入寄主植物后，先是在植物体内繁殖和扩展，然后才发生致病作用。与此同时，植物对病原物的侵染也发生一系列的反应，最后表现出病害症状。这一过程称之为病原物的侵染过程，也是植物个体遭受病原物侵染后的发病过程。侵染过程一般分为侵入、潜育和发病三个时期。每时期都有具体的特征或指标，但三个时期又是连续不断的，时期之间没有绝对的界限。一般来讲，侵入期是指病原物的接种体降落或接触到寄主植物表面后，经过病原物和寄主植物的相互识别和斗争，直至与寄主建立寄生关系这段时期。病原物侵入寄主所需时间通常很短，多则几个小时，少则瞬间即可。侵入途径有直接穿透侵入、自然孔口侵入和伤口侵入等多种。大多数真菌和细菌都是以植物的自然孔口侵入，尤其是以气孔侵入最为常见。如小麦锈菌夏孢子萌发产生的芽管遇到气孔后，顶端形成附着胞，附着胞下方长出侵入丝进入气孔，在气孔下腔膨大形成泡囊，再从泡囊上长出侵染丝侵入寄主细胞；水稻白叶枯病菌则通过植物的水孔进入排水腺，再进入导管侵害寄主。病原物能否成功地侵入寄主，除与自身的特性有关外，同时也受温、湿、光等环境因素的影响。潜育期是指病原物侵入寄主建立寄生关系后，在寄主体内不断生长、繁殖和扩展，直到寄主外表出现症状的时期，也就是病原物在寄主体内潜伏发病的阶段。在此阶段，病原物在寄主体内的定殖和生长受寄主植物的抵抗和环境因素的影响，这也是病原物和寄主植物在一定环境条

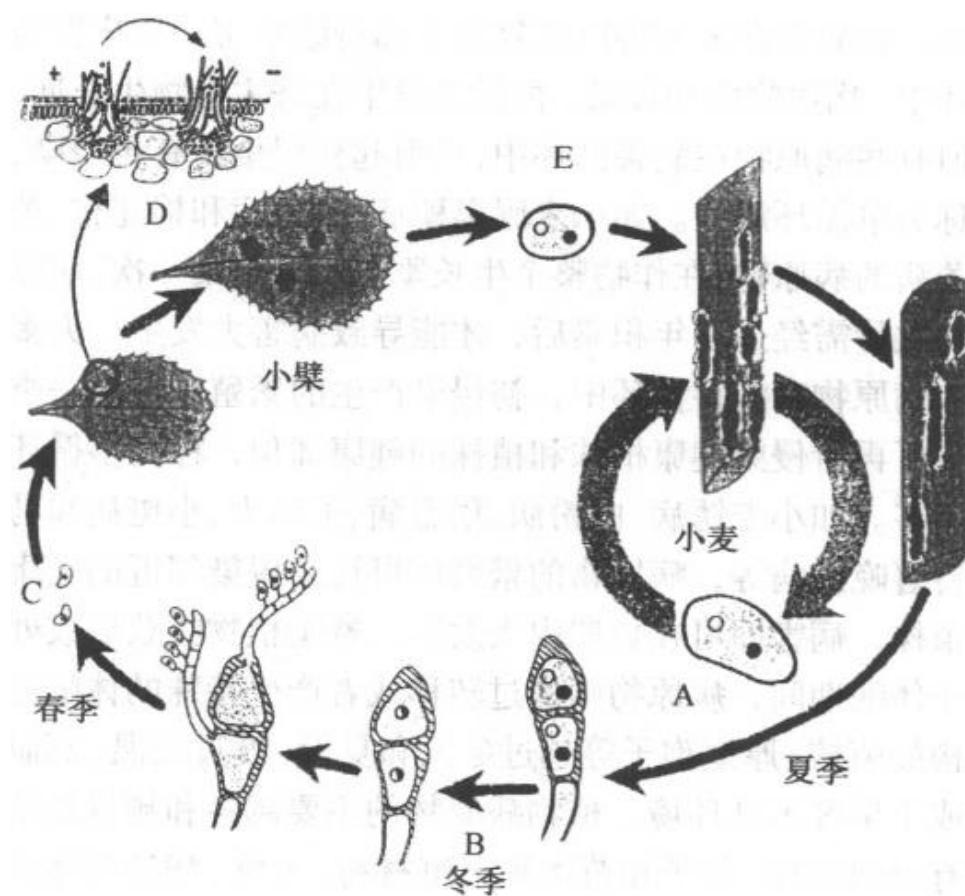
件下相互激烈斗争的过程。病害潜育期的长短主要取决于病原物和寄主的生物学特性，同时也受温度等环境因素的影响。有的病害如禾谷类黑粉病，其潜育期可长达几个月，有的只需两三天。发病期指寄主外表显示病害症状的时期。绝大多数病害的发病期很长，从开始发病一直到收获或落叶。木本植物的丛枝、肿瘤等畸形症状，可保持终生不减退。随着症状的发展，真菌引起的病害往往在受害部位产生孢子，而细菌、病毒病害则没有产孢期。

(二) 病害循环

病害从植物前一个生长季节开始发病直到下一个生长季节再度延续发病的过程称之为病害循环。由病原物的初侵染、再侵染、越冬(或越夏)和传播等几个部分组成，使病害在田间得以反复发生和持续危害。在病害循环中，病原物的初侵染、再侵染发生在寄主植物生长期，但有些病原物在病害循环中，只引起初侵染没有再侵染，称为单循环病害。如小麦腥黑穗病、黑粉病和棉花枯、黄萎病的病原物，在作物整个生长季节中只侵染一次，病原物数量需经过多年积累后，才能导致病害大发生。大多数病原物在病害循环中，初侵染产生的繁殖体在同一季节可再行侵染健康植株和植株的健康部位，称为多循环病害。如小麦锈病、白粉病、稻瘟病、玉米大、小斑病和马铃薯晚疫病等，病原物的繁殖体可反复侵染邻近的健康植株，病害即可在短期内大发生。寄主植物收获后或处于休眠期间，病原物则通过转移或者产生特殊的休眠结构如菌核、厚垣孢子等越过冬天和夏天，度过低温、高温或干旱等不良环境。植物病原物的主要越冬和越夏场所有田间病株、种子和苗木等繁殖材料、土壤、病株残体及肥料等。经过越冬(或越夏)的病原物，若遇适宜的环境

条件，则从休眠状态转变为活跃状态，大多产生繁殖体，成为下一个生长季节的初侵染源。有的病原物除可在一种寄主上以无性繁殖方式反复侵染危害外，还可在其它称之为转主寄主的植株上进行有性繁殖，产生的有性孢子同样可成为病害的初侵染源，如小麦秆锈菌便是如此（图 3.14）。一年生植物发生的病害，一般是在寄主植物收获后，病原物进入越冬状态。多年生果木上发生的病害，病原物多半在寄主体内随寄主体眠而休眠或潜伏，每年都可作为侵染源，既侵染原来病株的健康部位，又可侵染邻近的健康植株，即病原物的初侵染与再侵染重迭。因此，研究不同种类病害循环中各个组成部分的特点，可为进行病害预测预报和制定病害防治策略提供科学依据。

图 3-14 小麦秆锈病侵染循环（仿自 A. P. Roelfs 等）
A. 病菌夏孢子；
B. 病菌冬孢子；
C. 病菌担孢子；
D. 病菌性子器及性孢子；
E. 病菌锈孢子



(三)病原物的传播

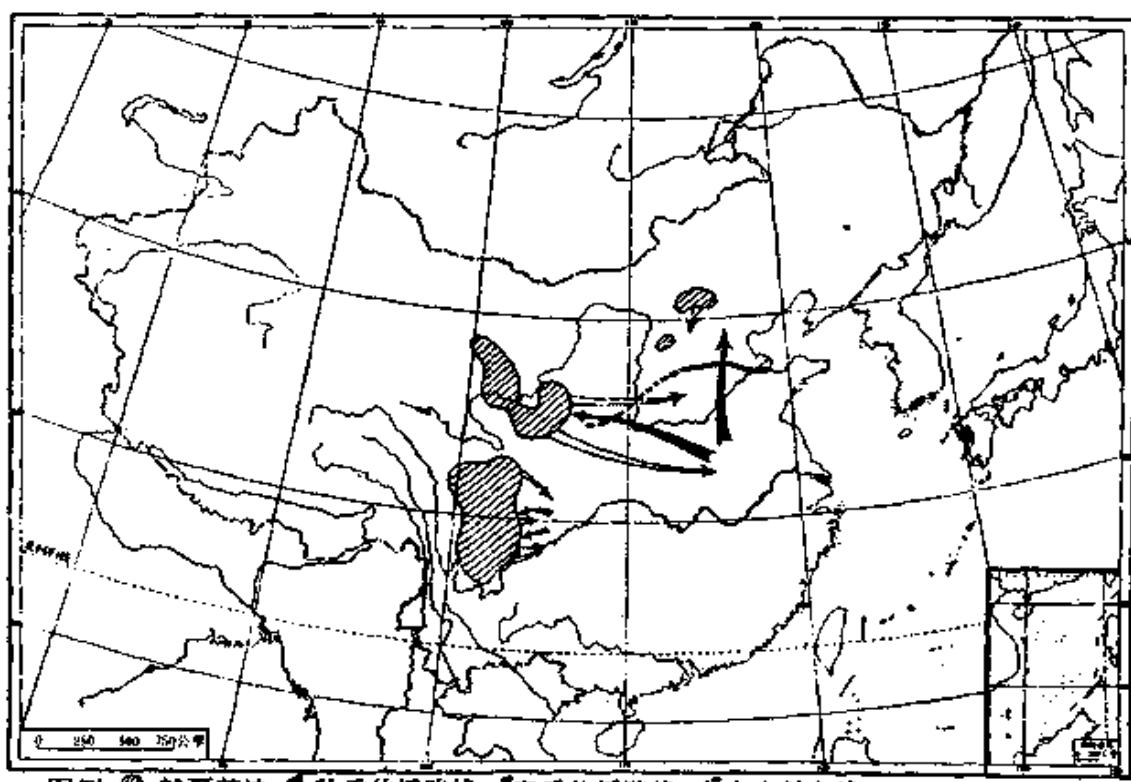
越冬或越夏的病原物必须传播到可以侵染的植株上才能发生初次侵染，在植株之间的传播则能进一步引起再次侵染。病原物的传播方式有主动传播和被动传播。有些病原物可以依靠自身的活动，主动向周围扩散或弹射，如真菌菌丝体向寄主株丛间扩展、根状菌索的延伸、子囊孢子或担孢子的弹射；游动孢子或细菌在水中的游动，线虫的蠕动以及菟丝子蔓茎的蔓延等。由于病原物个体小，依靠自身的力量很难扩散蔓延至较远的距离和较大的范围。大多数病原物主要依赖外界因素进行被动传播，如借助于气流、水流、昆虫等自然因素及通过农事操作和种苗调运等人为因素传播。小麦锈菌(夏孢子)是随气流作远距离传播的典型事例，如条锈菌主要在陕西关中、华北平原中南部、成都平原及江汉流域等冬麦区以潜伏菌丝或夏孢子越冬或冬繁，春季随东南风传播到甘、川、青、宁等高山冷凉地带的晚熟冬、春麦和自生麦苗上越冬过夏天，冬麦区小麦秋季出苗后，病菌通过西北风又吹回危害秋播麦苗，如此春去秋来，循环往复，以异地转移方式在小麦上逐代侵染完成周年循环（图 3.15）。又如，美国得克萨斯州越冬的小麦秆锈病菌夏孢子，能通过气流传播到 1 700 公里以外的北达科他州春麦上为害。水流传播病原菌不如气流传播远，但传播效率高。如暴风雨或洪涝常导致水稻白叶枯病病株率迅速增多，烟草苗期多雨，炭疽病重。具刺吸式口器的昆虫如蚜虫、叶蝉和飞虱等的取食行为，能有效地传播多种植物病毒，成为重要的传毒介体。已知的有 400 种昆虫能传播约 200 种病毒。介体昆虫在传毒种类上有不同程度的专业性，如叶蝉和灰稻虱分别传染水稻矮缩病毒和条纹病毒等。植物种子、球根、块根、分株、插条等繁殖器官和苗木常带有

病原物,可随人类的经济贸易、科技交流活动等作远距离传播。如马铃薯晚疫病菌原先只在南美洲发生,18世纪随种薯调运传到欧洲,导致该病在欧洲大发生;我国棉花枯、黄萎病是20世纪30年代随美国棉花种子传入的,现已扩散到我国多数棉区。此外,人类在农业操作中也能传播扩散多种病原物。

三、病害的暴发流行

图3-15 我国小麦条锈菌传播示意图 (仿自农业植物病理学)

病害的暴发流行是指在一定时间和空间内病害在植物群体中大量发生,迅速传播,对农业生产造成不同程度的损失乃至灾害。植物侵染性病害的流行是一个过程,主要表现在病害的数量消长变化上,包括年度间的消长,一年内季节变化和逐日变化。变化的内因是寄主和病原物自身的特性及其相互作用,外因是自然环境条件和人为干预。从生态学观点看,植物病害流行是由于生态平



图例 ◎ 越夏基地 ▲ 秋季传播路线 ↗ 春季传播路线 ━ 安全越冬线

衡受到破坏所致，大都是由于人类不适当的农业活动所造成的。植物病害种类不同，其发生和流行的特点也各不相同，按其内在规律可分为单年流行和积年流行；按病害流行表现的年度变化可分为突发流行和稳态流行。此外，一些病害如小麦条锈病，还有大区流行和流行区系的现象。如前所述，历史上不乏植物病害大流行给人类带来灾难的事例。

(一) 病害流行程度和频率

植物病害的流行程度通常分为大流行、中度流行和轻度流行三级，有时也加上一些中间等级。流行程度主要是根据田间病情严重程度、所致产量损失百分率和流行范围等人为划定的，其分级的具体数量和标准因作物和病害种类而不同。病害中度或中度以上流行年份的发生频率称之为流行频率。一个地区某种病害的流行频率主要取决于当地的地理环境和气候条件。有些地区逐年气候条件经常有利于发病，在大多数年份中病害不同程度流行，该地区称为这种病害的“常发区”。如多雾山区是稻瘟病的常发区，长江中下游地区是小麦赤霉病的常发区，陇南冬春麦交错地区是小麦条锈病的常发区。有些地区，气候条件逐年波动，部分年份利于流行，称为“易发区”，如黄淮麦区是小麦条锈病的易发区，在十几年中有几年不同程度流行。还有些地区，其气候条件常年不利于发病，偶尔有个别年份气候利于流行，称为“偶发区”，如北京地区的小麦条锈病流行便是如此。在作物品种更换较快或病菌生理小种经常发生变异时，病害流行频率除与气候条件有关外，还取决于品种和小种相互作用的具体情况。

(二) 病害流行因素

植物病害的流行受病原物群体、寄主植物群体和环

境因子(包括栽培条件)三要素的影响。只有在这三方面因素均有利的条件下,病害才会大流行,但在一定变化范围内,有些因素不足可由其他相关因素补偿。这些因素包括下述的一些方面。

1. 病原物致病力的强弱 病原物致病力有强有弱,当存在致病力强的菌系时,可以造成病害的流行和更大的为害。如棉花黄萎病菌 *Verticillium dahliae* 有致病力特强的落叶型菌株和较弱的非落叶型菌株。在落叶型菌株发生的地区,棉花黄萎病的发生非常严重。

2. 病原物致病力的变化 除致病力强弱外,病原物致病力不同的生理小种变化,往往使作物原来抗病的品种丧失抗性,从而引起病害的流行。如 1990 年小麦条锈病全国大流行便是由于条中 29 号小种的产生和发展,从而导致原来抗病的洛夫林系统品种丧失抗病性的结果。

3. 病原物的大量繁殖和有效传播 越冬和越夏菌源多、初次侵染发生早和再次侵染次数多,均为病害流行提供大量的菌源。病原物的有效传播是病害流行的条件。介体传染的病害如许多植物的病毒病,与介体发生的数量有关。

4. 感病寄主植物的大量存在 大面积单一化种植感病品种,有利于病原物大量产生和发展,有些病害就可以流行。许多植物病害的流行与品种的选择和更换有关,有些流行性病害往往采取改换较抗病的品种而得到解决。某些转主寄生的病原物,转主寄主的存在也是病害流行的必要条件。

5. 有利于病害发生的气象条件 气象因素中以温度、水分(包括相对湿度、雨量、雨日、雾和露)和光照的影响最为重要。气象条件既影响病原物的繁殖、传播和侵入,又影响寄主植物的抗病性。例如,小麦三种锈病在许

多地区常常随着小麦生长发育过程中气温的逐步升高，而按条锈、叶锈和秆锈的顺序发生，其主要原因是由于三种锈菌的生长发育对温度的要求不同。又如，绝大多数病原真菌如霜霉菌的孢子在水滴中才能萌发，而水滴却不利于白粉菌分生孢子的萌发。因此，多雨天气容易引起霜霉病的流行，而对白粉病却有抑制作用。一般说来，寄主植物在不适宜的条件下生长不良，抗病能力降低，可以使病害加重或流行。例如，水稻抽穗前后遇低温阴雨天气，稻株组织生长衰弱，易感染穗颈稻瘟病。同一环境因素有时对寄主和病原物都有利，有时仅对一方有利，而对另一方不利。例如，高湿度一方面对马铃薯晚疫病菌孢子的萌发和侵入有利，另一方面又增大马铃薯叶片细胞的膨压而使之更为感病。又如，水稻穗期低温有利稻瘟病的流行，实际上，温度低于 20°C 对稻瘟菌的发育不是很适宜的，但却大大削弱了水稻的抗病性，因而加重了稻瘟病的发生。

6. 有利于病害发生的土壤和栽培条件 土壤和栽培条件一般只影响局部地区病害的流行。土壤的性质影响许多病害的发生，一般来说，砂质土壤有利于植物线虫病的发生。土壤酸碱度对有些病害发生的影响也很大，例如，为害十字花科植物的芸薹根肿菌 *Plasmodiophora brassicae* 在酸性土壤发生较重。相反，提高土壤酸度到 pH4—5 可以大大减轻茄科植物青枯病 *Pseudomonas solanacearum* 的为害。栽培条件中，除播种期的迟早外，土壤的肥水管理对病害发生的关系很大，在水稻方面尤为突出。稻田的长期淹水或深灌以及后期施用氮肥过多，往往引起白叶枯病等多种病害的流行。

不同病害的流行所要求的条件有所不同。当其中有些条件符合要求，但不具备其他所需的条件时，这些条件

就成为一种病害能否流行的决定因素。一般来说，当一种病害的病原物普遍存在，而品种抗病性又没有明显差别时，这种病害的流行主要决定于气象和栽培条件，如稻苗绵霉病 *Achlya oryzae* 和棉花立枯病 *Rhizoctonia solani* 等。当一种病害的病原物寄生性很强，没有再次侵染，如麦类黑粉病等，其流行主要决定于初次侵染的数量。若一种病害的病原物寄生性很强，可以发生多次再侵染，品种间抗病性差别很大，如麦类锈病，其流行往往与作物品种、气象和栽培条件等都有一定的关系，但品种抗性的强弱往往是决定因素。

(三) 病害流行过程

植物病害的流行有一个发生、发展和衰退的过程。这个过程是由病原物对寄主的侵染活动和病害在空间和时间上的动态变化表现出来的。在农作物的一个生长季节中，病害流行发展的过程与病害的侵染循环有关。

在单循环病害中，如种苗和土壤传播的小麦腥黑粉病、小麦秆黑粉病，以及棉花枯萎病和黄萎病等，病菌侵染所需要的环境条件一般容易得到满足，病原物数量可以逐年积累，病害要在若干年后才达到流行程度，这些病害称之为积年流行病害。一般多循环病害和有些气流传播的单循环病害，例如，麦类锈病和稻瘟病等多循环病害，当年就能达到流行的程度。有些气流传播的单循环病害如苹果和梨的锈病等，在有利的气候条件下，或侵染来源数量大时，当年也能达到流行程度，这些病害一般也称为单年流行病害。

(四) 病害在田间扩展和分布

病害在田间的扩展和分布与病原物初次侵染的来源有关。多循环的病害，如果初次侵染来源于种苗、土壤和病株残体，发病初期在田间常有明显的发病中心，由于初

次侵染引起的病株或病斑数量有限，早期的再次侵染主要发生在发病中心邻近的植株上，以后从发病中心向外扩展，其扩展的方向和距离在很大程度上取决于风向和风速，下风方向出现病害迅速而严重，扩散距离也较远。如果初侵染数量大，发病中心很多，环境条件又有利于病原物的侵染、繁殖和传播，发病中心就很快扩展，引起全田普遍发病。以后，随着病害的发展，病害的严重度逐渐增高。马铃薯晚疫病、麦类锈病、玉米大斑病、小斑病等田间蔓延都是这种类型。如果初期发病中心不多，及时采取扑灭措施，可收到限制病害扩展的效果。

初次侵染的来源如果来自外地，病害初发生时在田间一般随机分布或接近均匀分布，如果外来菌量大，传播广，开始就可呈现全田普遍发病，例如小麦秆锈病和黄瓜霜霉病的发生就表现这种特点。

由昆虫传播的多循环病害，田间分布则决定于媒介昆虫的活动习性，一般也是距离初次侵染来源愈远发生数量愈少，田间发病数量随再次侵染次数的增多而逐渐增多。

第三节 寄主和寄生物的互作——侵略和反侵略的斗争

植物病害的表现是在一定环境条件下寄主和病原物相互作用、激烈斗争的结果。病原物侵染寄主后除从寄主体内掠夺大量养分和水分，影响寄主植物的正常生长和发育外，还可产生一些有害代谢物质如各种酶、毒素、激素等，使寄主植物细胞的正常生理功能遭到破坏，引起一系列内部组织和外部形态的变化，表现出各式各样的症状。寄主植物为了保持物种的繁殖，在遭受病原物侵

袭时，常常要启动防卫系统，产生一系列的抵抗反应，以减轻和克服病原物的致病作用。这种病原物的致病特性和寄主植物的抗病特性是二者在长期斗争中逐步发展起来的，并能以不同的方式传递给后代。

一、病原物的致病作用

(一) 寄生性和致病性

植物病原物很少能够单独生存，它们与周围的其他植物都有一定的联系。有些生物在与植物紧密接触过程中，双方都可以得到好处，这种现象称为共生现象。如豆科植物和它的根瘤细菌之间就是一种共生关系。但绝大多数植物病原物都是寄生物，它们对寄主植物在营养上有强烈的依赖性，需寄主植物提供必要的生活条件，但对寄主植物本身没有任何益处，病原物的这种特性称为寄生性。病原物的致病性则是指病原物对寄主的破坏作用。病原物的种类不同，这种破坏作用的大小亦不相同，同种病原物的不同个体对寄主植物的致病性也有可能不同，有的致病力强，有的致病力弱，有的甚至不能致病。这种病原物致病能力的差异称为致病性的分化。

寄生物从寄主植物获得养分，有两种不同的方式。一种是寄生物先杀死寄主植物的细胞和组织，然后从中吸取养分；另一种是寄生物不立即杀伤寄主植物的细胞和组织，而主要是从活的寄主组织中获得养分。前一种营养方式称为死体营养，这种方式生活的寄生物称为死体寄生物，后一种则分别称为活体营养和活体寄生物。寄生物的两种营养方式，事实上也反映了病原物的不同致病作用。属于死体营养的病原物，从伤口或寄主植物的自然孔口侵入后，往往只在寄主组织的细胞间生长和繁殖，通过它们所产生的酶或毒素等物质的作用，使寄主

的细胞和组织很快死亡，然后以死亡的植物组织作为它们生活的必需品，再进一步为害周围的细胞和组织。死体营养的病原物的腐生能力一般都较强，它们能在死亡和腐烂的植物上生长，有的可以长期离体在土壤中或其他场所生活。这类病原物对寄主植物细胞和组织的直接破坏作用比较大，在适宜条件下有的只要几天甚至几小时，就能破坏植物的组织，对幼嫩多汁的植物组织的破坏更大。此外，典型的死体营养病原物的寄主范围一般较广，可以为害多种不同的植物。立枯丝核菌 *Rhizoctonia solani*、齐整小核菌 *Sclerotium rolfsii* 和胡萝卜软腐欧氏杆菌 *Erwinia carotovora* 等，都是典型的死体营养病原物，可以为害几十种甚至上百种不同的植物。它们主要以水解酶(如果胶酶)或纤维素酶的作用使寄主组织腐烂。一般认为，活体营养的病原物是更高级的寄生物，它们可以从寄主的自然孔口或直接穿透寄主的表皮细胞侵入，侵入后常常形成特殊的吸取营养的机构(吸器)伸入到寄主细胞内吸取营养物质，如霜霉菌、锈菌、白粉菌等便是如此。这些病原物的寄主范围一般较窄，大都是专性寄生物。它们的寄生能力很强，但是它们对寄主细胞的直接杀伤作用较小，这对它们的生长繁殖是有利的。

(二) 病原物的毒害物质

病原物对寄主的影响除了夺取寄主植物的营养物质和水分外，还产生一些对寄主正常的生理活动有害的代谢产物，如各种酶、毒素和激素等。

1. 酶 许多植物病原真菌和细菌都能产生一些酶，以瓦解植物细胞壁，使完整的植物细胞崩溃，组织表现柔軟腐烂。植物细胞壁是许多植物病原物侵入时首先遇到的障碍，针对植物细胞壁中的每一种成分，病原物都有相应的酶促使其降解，例如果胶酶、纤维素酶、半纤维素酶、

蛋白酶和木质素酶等。

不同种类的病原物在致病过程中起主要作用的酶是不同的。大多数立枯病菌如立枯丝核病和齐整小核菌等引起草本植物茎秆的软化倒伏，起主要作用的是纤维素酶。大多数软腐病菌在致病过程中起主要作用的是果胶酶。引起木材腐朽的真菌大都具有较强的木质素酶活性。由于植物细胞壁成分的复杂性以及一些病原物所产生的酶的多样性，这些病原物所产生的不同种类的酶，在降解植物细胞壁的过程中常常协同作用。

组织的浸离是许多病害，特别是软腐病的典型症状。这种症状的发生是由于连结组织细胞的胞间层被病原物的酶分解消化，使寄主组织的细胞彼此分离，组织软化而呈水渍状。植物细胞壁胞间层的主要成分是果胶物质，因此人们认为果胶酶是使组织浸离的主要因素。

2. 毒素 毒素是病原物在致病过程中产生的除酶和激素以外的有害代谢产物。毒素是一种非常高效的致病毒物，它能在很低浓度下导致植物生病。由毒素作为主要致病因素的病害，病原物产生毒素的能力与该病原物的致病能力直接相关。同样，寄主植物对毒素的敏感性，也与产生毒素的病原物的敏感性是一致的。许多毒素的化学结构并不十分复杂，都是低分子量的化合物，所以毒素一般能在植物体内运转。毒素对寄主植物的影响主要表现在干扰正常的代谢活动，但毒素本身一般不会被植物的代谢破坏掉。

由病原物产生的毒素引起的病害种类很多，但目前研究很清楚的还不多。由毒素引起的植物病害，往往表现一定类型的症状，常见的有褪绿、坏死和萎蔫等。不同种类的病原物毒素对寄主细胞的作用是不同的，但它们大都是直接影响寄主植物的原生质体。有些毒素可能是

影响寄主细胞膜的透性，有的能使细胞中的某些酶受到抑制或失活，还有一些毒素是作为抗代谢物质而使受影响的细胞缺乏某种生长必需的物质。不同种类的毒素影响寄主的范围是不同的，有些是只对病原菌原来的寄主植物起作用的寄主专化性毒素，如维多利毒素、玉米圆斑病炭色长蠕孢毒素等，还有一些毒素是能影响范围广泛的不限于寄主植物的非寄主专化性毒素，如菜豆毒素、丁香毒素、根疣菌毒素等。

3. 激素 健康植物的正常生长在一定程度上是受植物体内激素的控制的，主要有吲哚乙酸、赤霉素、细胞激动素和乙烯等。植物病害中常见的许多畸形症状，如肿瘤和生长过度等，大都与植物体内激素的失调有关。因此，病株中激素含量的增加，除引起植物生长习性的改变外，还可影响植物中某些正常的生理功能。激素对植物影响的主要反映是植物生长不正常，但病组织的结构并不发生明显的破坏，这说明激素对寄主的作用与毒素是有差别的。

吲哚乙酸在植物组织中的分布很广，主要与细胞伸长和组织的分化、根和芽生长的抑制、顶芽的休眠以及叶片和果实的脱落等现象有关。许多病原真菌和细菌在一定条件下都能产生吲哚乙酸，病组织中吲哚乙酸含量的增加主要还是病原物和寄主相互作用的结果。许多植物受癌肿野杆菌 *Agrobacterium tumefaciens* 侵染后形成肿瘤和大量须根，以及侧芽的生长和衰老叶片的脱落受到抑制等症状，与吲哚乙酸诱发的基本相似。赤霉素是在引起水稻恶苗病的藤仓赤霉 *Gibberella fujikuroi* 中发现的，它除使植物生长加快外，还能促进开花和结果。细胞激动素是一类与植物细胞分裂和生长有关的激素。植物受癌肿野杆菌侵染后形成的肿瘤、侧芽丛生而形成的“雀

“窝”以及由专性寄生菌侵染引起的“绿岛”症状都可能与病原物产生的细胞激动素有关。乙烯可引起植物叶片反曲生长、早衰和落叶等，与某些植物病害的症状很相似，如感染青枯病的香蕉一般表现早熟，这是因为病组织中乙烯的含量大大增加的缘故。

二、寄主植物的抵抗反应

(一) 抗病、耐病和避病

植物能抵御自然界中大量与它无关的病原物的侵染，但感染与它有关的病原物，前者称为不亲和关系，后者称为亲和关系。实际上，寄主植物和病原物的种都是由无数个体组成的群体。植物的种可以有许多品种，不同品种对于同一种病害的反应可以不同。同样，根据致病力的差异，同一种病原物可以分化为对寄主植物有一定程度专化性的专化型、生理小种和生物型，或者也可以分化为对寄主植物并不专化，但致病力强弱明显不同的菌株。由此可见，植物的抗病性是指植物特定的品种阻止病原物特定的小种或菌株侵染危害的能力。因此，就一种寄主植物的不同种来说，对它的病原物的不同小种或菌系可以是亲和的，也可以是不亲和的。即使是亲和关系，反应程度也可以不同，发病重的称为感病，发病轻的称为抗病。

耐病性是指植物忍耐病害的能力。例如，马铃薯不同品种受晚疫病侵染后，从地上部分的症状来看，植物受侵染的程度基本是一致的，但最后这些品种产量的高低则不同。在环境条件相似和发病程度相同的情况下，具有较高产量的品种称为耐病品种。

植物避病作用是由于种种原因避开了病原物的侵染，而不是植物本身具有的抗性。避病作用有些是因为

没有受到足够数量的病原物侵染，有些是因为某些品种的感病期避开了病害盛发期或最适于发病的环境季节。

(二)植物的抗病机制

抗病性是寄主植物抵御病原物的侵染以及侵染后所造成损害的能力。寄主植物的抗病能力有的是植物固有的，有的是由于病原物的侵染诱发的。无论是固有的或诱发的抗性，它们的抗病机制都不外乎表现为形态结构方面的抗性或生理生化方面的抗性。形态结构方面的抗性主要表现在寄主植物表面或细胞壁等结构，所以多半与病原物的侵入有关。细胞内部生物化学方面的抗性，多半与病原物侵入后在寄主组织和细胞内的扩展有关。因此，植物对病原物的抗性，也可以分为抗侵入和抗扩展两种类型。在抗侵入的机制中也有些是化学性质的，如植物表面的一些分泌物质可能只有利于某些真菌孢子的萌发，却不利于另一些真菌孢子的萌发。同样，有些组织结构也可以限制病原物的扩展，而使植物具有一定的抗性。

植物中的固有结构组织——角质层且植物表面是

一种大分子量的有机酸。植物组织中的木栓细胞对所有病原物都具有防卫作用,伤口组织木栓后,不仅可以有效地保护伤口不受细菌和真菌的侵染,同时也防止病原物产生的有毒物质向健康细胞进一步扩散。如马铃薯和甘薯伤口表面组织形成木栓质后,就能有效地阻止软腐细菌的侵染。

植物细胞组织中某些成分的增加与积累也可增强它们的抗病性。如水稻细胞壁和细胞汁液中硅酸盐含量的增加便可阻止稻瘟病菌的侵入和侵入后菌丝体的发展。有些病害组织中钙离子的含量与抗病性有一定的关系。

2. 植物中的固有化学抗性 这类抗性涉及植物体外以及组织内具有抗病原物作用的化学物质。植物体外的抗微生物化学物质主要是指从叶片、根以及种子等分泌到植物体外的一些化学物质。植物体内几乎所有可溶性的化学物质都可以在植物分泌物中发现,其中有些物质可以为叶面微生物的生长提供所需要的营养,但其中也存在着一些对其他微生物有毒性的物质。这些物质的作用可以是直接对病原物本身有毒性的,如影响真菌孢子的萌发、芽管的生长和侵染器官的形成。它们的作用也可以是间接的,如刺激对病原物有拮抗能力的微生物的发展而对病原物起抑制作用,或者破坏病原物的致病机制。植物分泌到体外的对微生物具有毒性的物质有酚类化合物、有机酸和某些角质层中能溶于有机溶剂的成分。

寄主组织内与抗性有关的化学因子对病原物的直接影响是多方面的,有的可能是缺乏某些病原物所需的基本因素,也可能是寄主中存在着能直接杀死病原物的有毒物质。大多数植物中都有对病原物有害的物质,其中有的是植物组织中的酶,有的是植物的正常成分。例如,

许多植物中的 $\beta-(1,3)$ 菊聚糖酶和几丁质酶,可以使侵入寄主组织的菌丝体溶解;有些植物中的蛋白酶,能纯化某些病毒。植物中常见对病原物有毒的化学物质有含氯基和含酚基的葡萄糖苷、芥子油、不饱和内脂和皂角碱等,大多数是次生代谢产物。植物组织中的化学物质对病原物的间接影响主要是破坏病原物的致病机制,特别是抑制一些死体营养的病原真菌和细菌所分泌的胞外酶的作用。植物组织中的酚类化合物、单宁和有些蛋白质都能抑制病原物分泌的酶的作用。

3. 诱发的结构抗性 病原物侵染引起寄主植物组织结构的变化,有些与对病原物的抗性有关。如真菌的侵染丝或吸器侵入抗病品种时,在细胞壁内侧和原生质膜之间可以看到乳状突起,在感病品种上则没有这种反应。乳突的形成是寄主对真菌侵入的反应,是新合成碳水化合物的沉积使细胞加厚而形成的,具有延迟和阻止真菌侵染的作用。

寄主植物受真菌、细菌、病毒和线虫侵染后,在侵染点和病斑周围的细胞组织都会木质化或木栓化。在许多植物病害中,可发现组织木质化的速度和程度与植物的抗病性有关。由于病原物侵染的刺激,抗病品种的坏死细胞或病斑周围的细胞壁很快木质化,而感病品种则没有这种现象。到目前为止,还几乎没有发现病原物能侵入和穿透植物的木质化或木栓化细胞,因此植物受病原物侵染后,细胞的木质化和木栓化为阻止病原物在寄主体内无限制的扩展提供了有效屏障,即使是病毒也很难逾越木栓化的细胞扩展。

许多植物受枯萎病菌侵染后在维管束中产生凝胶和侵填体,以减少真菌孢子的系统扩散。

4. 诱发的化学抗性 寄主植物受病原物侵染后,无

论是抗病还是感病，其代谢活动都会增强。在抗病植物组织中代谢活动的增强常常伴随着合成较多的与植物抗病性有关的酶和其它生化物质。植保素便是植物受侵染后产生的抗病原物的小分子化合物。其产生的速度和积累的量与植物的诱发抗病性有关。目前已发现和鉴定出200多种植保素，包括许多化学结构不同的化合物，如类萜、异类黄酮、香豆素、异香豆素、二氢基蒽酮、二苯乙酰、聚乙炔和多烯化合物。植保素抗真菌最有效，但有些也能抗细菌、线虫和其它有害生物。对一些活体营养的病原物，植保素的积累在抗病品种中比在感病品种中快，但在感病品种中当受侵染的组织明显坏死时，最终也会有相当数量的植保素积累。对于死体营养的病原物，抗病和感病植物开始合成植保素的时间基本是一致的，但在抗病品种中植保素的积累要比在感病品种中快，这是因为病原物在感病植株中可以代谢植保素。但病斑发展较大时，植保素在感病品种中也能积累到一定的数量，以致对病原物产生毒性。由此可见，寄主植物的抗性可能与它合成植保素的能力有关，而一个病菌的毒性也常常与它对植保素的解毒能力有关。

三、寄生物在寄主体内的生长和发育

(一) 病原物对寄主植物的营养要求

病原物从开始侵染寄主植物到最后寄主植物发病需经历一个复杂的过程。如小麦叶锈菌在感病品种上的发育过程可分为几个明显的阶段，即孢子的萌发、附着胞的形成、气孔下囊的分化、初生菌丝和次生菌丝的形成和生长、吸器母细胞和吸器的形成、夏孢子床和夏孢子的产生以及夏孢子的形成等。在此过程中，病原物对寄主体内的营养有一定的要求。不同病原物对寄主组织的要求差

别很大，表现出对寄主植物的绝对依赖到仅在寄主体外作表面生长两个极端。

在寄生物定殖的过程中，早期的生长不依赖寄主，如真菌芽管的生长或细菌的最初几次分裂是靠它们自己的养料供给的，但其后的生长和繁殖活动则依靠寄主。大多数兼性寄生菌仅需简单的碳水化合物和无机质，如供应现成的氨基酸和维生素能促进其生长。专性寄生菌还需要别的东西，它们的生长是靠吸器直接与寄主的原生质接触。用实验方法已经使某些兼性寄生菌产生许多营养缺陷型，即不能自行合成某种养料的突变菌系。如果用病菌的这些营养缺陷型接种，只有当寄主能供应病菌自身不能合成的那些有机物时，它们才能致病。

(二) 接种体的繁殖

在许多真菌所致的病害中，孢子的产生是病菌蔓延的一个重要前提。孢子生成与否，以及生成的数量和速度是受代谢因素控制的，而控制繁殖和控制生长的代谢因素又有所不同。外部供应的有机养料耗竭能诱致孢子生成。此外，改变外界条件，如光照、二氧化碳浓度、温度等也能促进孢子形成。一旦开始生成孢子，真菌的营养要求便同它们的生长时的要求有所不同。例如，黑曲霉 *Aspergillus niger* 生成孢子时需要锰离子，但菌丝的生长没有这种需求。许多藻菌生成孢子时需要类固醇。专性寄生的霜霉菌的孢子生成有周日循环，与高等植物代谢变化的日循环相似。病菌孢子在寄主上生成后，离体前一般是不活动的。有些真菌产生挥发性的或高度水溶性的自抑化合物，以阻止孢子在分散前发芽，有的则需要有成熟的过程，也就是说有休眠期。

第四节 病害防治的一般途径

病害防治便是通过各种途径或措施，有效地预防病害的发生或减轻为害的程度，从而减少病害所造成的损失。植物病害种类不同，其发生和发展的规律也不同，采用的防治方法也就有所不同。有些病害只需用一种措施就能解决问题，但大多数病害都要有多种防治措施相配合，才能收到较好的防治效果。植物病害的发生是由寄主植物、病原物和环境条件以及人为因素等诸多因素综合作用的结果。因此，制订任何一种防治方案都必须全面地考虑病原物的致病特性、寄主植物的抗病特性、病害的发生流行特点以及植物的栽培措施和环境条件等各方面的因素，采取“预防为主，综合防治”的策略。70年代后形成的植物有害生物综合治理（IPM）概念为植物病害的防治注入了生态学观点、经济学观点和环境保护学观点，即以互不矛盾的方式联合使用物理、化学、农业、遗传和生物等一切适当的防治技术，有效而经济地抑制病害的发生和危害，而对于非靶子生物和环境的不良影响降低到最低限度。要达到病害综合治理的目的，必须充分地了解和掌握植物病害发生、流行和危害的特点。例如，只有了解病害发生程度与产量损失的关系，才能够确定一种病害是否需要防治、何时防治以及防治后的经济效益。

植物病害防治的基本原理主要有培育和利用植物的抗病性、杜绝和减轻病害初染源及降低病害流行速度三个方面。其基本途径包括植物检疫、农业防治、抗病品种利用、生物防治、物理防治和化学防治等。

一、培育和利用植物的抗病性

利用植物的抗病性来防治植物病害是人类最早采用的防治方法，合理利用各种类型的抗病品种来控制病害发生是最经济有效的途径。培育和利用植物的抗病性包括通过杂交等途径获得抗病品种以及改进栽培技术提高植物对病害的抵抗力。我国农作物病害中有 80% 以上要靠抗病品种或主要靠抗病品种来解决，如在对麦类锈病、白粉病、稻瘟病、水稻白叶枯病、玉米大、小斑病、棉花枯黄萎病、马铃薯晚疫病等的防治中，抗病品种的利用几乎是主要的措施。即使在化学药剂防治为主的一些病害防治中，也要求作物本身有一定程度的抗性，才能更好地发挥药剂的防治作用。

（一）抗病品种选育

通过引种、系统选育、杂交育种和人工诱变等措施获得抗病品种。抗病品种选育要针对病害的不同流行特点，选育和利用抗侵入、抗扩展、抗繁殖及避病性、耐病性等不同类型的抗病品种，同时要注意抗源的多样性，通过聚合选育或轮回选择抗多种病害或同一种病菌的多个生理小种的多抗性品种。抗病品种的应用，要避免大面积种植单一抗源品种，要注意抗病品种的合理布局和搭配种植，以达到抗病性的持久化。

（二）保健栽培技术

适当的施肥排灌、合理的种植密度和种植时期等耕作栽培技术可促进寄主的健康生长，提高作物的抗病能力。如在水稻栽培过程中肥水的“三黄三黑”控制技术，就是控制水稻生长发育条件，使之“清、秀、老、健”，达到控制病害、提高产量的目的。水稻四叶期、分蘖期和抽穗后期，控制氮肥施用，可以控制稻瘟病和白叶枯病的发生。

发展。棉花田增施钾肥,可减轻红叶茎枯病发生。

二、杜绝和减少病害初染源

植物病害的发生来自病原物最初的侵染,杜绝或减少初侵染菌源量,可以控制或减轻病害的发生。

(一) 植物检疫

植物检疫的目的在于防止某种危险性病原物从病区向无病区传播。许多植物病害的发生是有区域性的,病原物的远距离传播要受到自身的传播能力和地理条件的限制。随着交通和商贸的发展,农产品的大量调运、植物材料的交流和人员的交往活动就成为危险性病害传播的重要因素。如甘薯黑斑病、水稻干尖线虫病和棉花枯萎病等从国外传到我国后,已成为农业生产上的重大问题。植物检疫就是通过对植物的种子、苗木等繁殖材料、农产品及其包装材料等进行检查,对于检查到带有危险性病原物的材料,通常都要做灭菌、退回或销毁处理。

植物检疫带有严格的法规性,各国都具有相应的机构和法律、法令。根据不同的任务,有对外检疫和对内检疫两种。对外检疫的机构多设立在国境线上与国外有直接交通往来的地方如机场、车站和港口等,负责对国外输入的农产品和植物材料等进行检查。内检机构大多设在省、县级人民政府农业局,负责对国内邮寄和调运的种苗、植物材料等实行检查。1992年我国颁布了《中华人民共和国进出境动植物检疫法》,目前列入对外检疫的病害有40多种,对内检疫的病害有30多种。植物检疫的实施对于阻隔和根除病害的初侵染来源具有特殊的效能,是一种经济有效的病害预防手段。

(二) 栽培技术

利用和改进耕作栽培制度可有效地杜绝和铲除一些

病害的初染源。这些措施包括：(1)选择作物适宜的栽培地区、种植地点和种植时期。如在病原菌不存在、无效和稀少的时间和地区种植作物，可避免病害的发生；选择适宜的种植日期，使环境条件（主要是温、湿度）对寄主的生长发育有利而对病原物不利，使植物在大多数接种体消失后才生长出来。(2)铲除或不种越冬寄主。如在梨产区周围10~15公里地区铲除或不种梨锈菌的越冬寄主桧柏，打断病菌生活循环，杜绝病菌的初侵染。(3)隔离侵染源。在时间和距离上将作物与侵染源隔离，阻止病原物与寄主接触，如山东部分地区实行粪种隔离法，防止粪肥携带的小麦腥黑穗病菌从芽鞘侵染。(4)建立无病留种基地，培育无病种苗。带病种苗是病害远距离传播的主要途径之一，因此，建立无病留种田和无病繁殖区，是防止病害传播和扩散的重要手段。如甘薯黑斑病的主要防治措施就是采取高剪苗等一系列方法培养无病薯苗。茎尖培养获得无病种苗，对防治许多病毒病具有很好的效果。(5)田园卫生。拔除田间病株和消灭发病中心，清除残留在田间的病株残体，清洗在病田耕作过的农机具，清洁冲洗仓库、容器以及深翻土壤等，可以大大减少病原物的越冬菌量，是广泛采用的病害有效防治方法。如美国佛罗里达州发现少数柑橘树患有溃疡病以后，立即销毁了病区的所有柑橘树，以防止病害的蔓延，取得了很好的效果。一些病毒可在杂草上越冬，铲除这些野生杂草，可减少初染源的毒源量。深耕深翻可将在土壤表面集存的病原物深埋到下层土中，使它们不容易侵染到寄主植物。消除田间残留的有病马铃薯块，可减轻晚疫病的发生。水稻栽秧前，捞出漂浮在水面上的菌核，对减轻纹枯病的发生有一定作用。冬季修剪果树，除掉病枝病灶，可有效地减少一些病害第二年初侵染的菌量。(6)轮作。不同作

物间的轮换种植以及水旱轮作，可以减少或去除土壤中的病原物，从而减轻病害的发生和危害程度。同时还可改善土壤理化性能，提高土壤肥力。大豆胞囊线虫病、小麦根结线虫病、棉花枯萎病和番茄青枯病等的发生和流行，是靠土壤中病原物的数量逐年增多造成的，水稻与小麦轮作、大豆与马铃薯轮作，可取得显著的防病增产效果。(7)改变耕作制度。耕作制度的改变，常使生态环境发生改变，使病原物难于适应或难于完成侵染循环，从而减轻病害。如华北地区大面积将间套作制改变为纯作小麦，使生态环境不利于传毒介体灰飞虱的繁衍，从而减少了病毒的初侵染量，控制了小麦丛矮病的发生。旱田改水田、单季改双季也能减轻或控制某些病害的发生，如旱田常见的炭疽病、立枯病、枯萎病等病害，在改成水田后，这些病害就不再发生或者发生很轻。

(三)物理防治

利用物理学方法处理种子、苗木和土壤等，达到杜绝病害初侵染来源、防治病害的目的。目前主要采用土壤蒸汽消毒、阳光爆晒、淹水和种子汰选等方法。在温室或田间，用80℃~95℃蒸汽处理土壤30~60分钟，绝大部分病原菌都可被杀死。夏季在潮湿土壤上覆盖塑料薄膜，阳光爆晒数天，可使土壤温度升高，杀死或抑制土壤中的枯萎病菌等病原物。土壤淹水数周或数月，可使土壤中病原物窒息死亡。种苗的热水浸种不仅是防治病毒病的重要方法，对于许多真菌、细菌和线虫病害都可以用热水浸种处理来杀死种苗内外的病原物，如水稻种子放在56℃热水中浸泡10分钟，可杀死稻瘟病菌孢子和白叶枯病的细菌。汰选主要用于有病植物的种子与健康种子混杂的情形。利用病种干瘪、细小、粒轻等特点，通过风选、筛选和水选等方法，去除病粒，减少初侵染

菌量。

(四) 化学药剂保护

化学保护就是利用化学药剂处理土壤、种子和病株等，以铲除或减少病原物，杜绝或减少病害的初侵染来源。（1）土壤处理。将化学药剂穴施或沟施，消灭土中的病原物，防止初侵染，如用氯化苦、溴甲烷、滴滴涕等处理土壤，达到完全去除病原物，防治猝倒病、立枯病、枯萎病、根腐病等多种病害的目的。（2）种子处理。用药剂浸种、拌种、闷种或包衣种子，可杀死或抑制种子内外的病菌，减少初侵染菌量，对于一些只有一次初侵染的种传植物病害特别有效。（3）消毒处理。对农产品贮藏库进行清扫、焚烧病残体和喷施药剂以及对在移栽、修剪、整枝和虫害等造成的伤口进行药剂消毒处理或涂抹保护剂，防止失水和病菌的侵染，可大大减少病害的初次侵染来源；新鲜果蔬在贮藏前用消毒剂和保护剂浸渍处理，可避免或减少贮藏期的腐烂。

（4）喷药保护。在寄主植物生长期喷洒药剂，阻止附着于枝叶上病菌孢子的萌发、生长和繁殖，降低侵染菌量。果树休眠期，喷洒铲除剂，杀死树皮内的病菌，减少侵染源。对于虫媒传播的病害，喷洒杀虫剂防治媒介昆虫，可将病原物拒于无病区之外。

三、降低病害流行速度

病害的流行速度受气候、寄主的感病性、病原物的侵袭力等多种因素的影响，合理控制影响因素，可降低病害的流行速度，减轻病害的发生。

(一) 品种抗病性

植物的不同品种抗病性存在很大差异，品种抗病性的强弱是影响病害流行速度的重要因素。种植专化抗性

品种,由于寄主和病原物的不亲和,可抑制病菌优势小种的发展,控制病害的发生。多抗性品种可降低病原物的侵染数量和产孢量,病斑少而小,潜育期长,从而减慢病害流行速度。

(二)化学防治

用化学药剂处理植物及其生长环境,以减少、清除、消灭病原物,或者改变植物代谢过程,提高植物的抗病能力,达到预防和治疗植物病害的目的。病原物侵染植物以后,在植物表面喷施杀菌剂,可控制病害的蔓延,降低病害的流行速度。如在小麦苗期锈病病叶率达5%时喷施三唑酮杀菌剂,可降低病害的流行速度,控制小麦后期锈病的发生,起到压前控后的作用;在小麦抽穗扬花期叶面喷洒三唑酮等杀菌剂,也可铲除病斑。另外,有些杀菌剂如三唑类杀菌剂使用后,可以诱导植物产生抗病性,从而减少病原物的再侵染,降低病害的流行速度。

(三)调节环境因素

调节温室、田间或贮藏库等场所的温度、湿度和光照等环境条件,造成不利于病原物发展的环境,可降低病害流行速度。如在长江中下游地区,早稻分蘖末期搁田,以降低田间湿度和增强田间通风透光,可推迟和抑制水稻纹枯病的发展;西瓜田覆盖银灰色薄膜,拒避蚜虫传毒以及在油菜育苗地灌溉,造成田间高湿条件,不利于蚜虫栖息,均可降低西瓜和油菜病毒病的发病率。

(四)生物防治

利用其它对植物无害的生物来影响或抑制病原物的生存和活动,从而降低病害的发生率和严重度。自然界存在的一些无害生物对植物病原物可发生各式各样的作用,如抗菌、溶菌、重寄生、竞争、交互保护和捕食等。(1)抗菌作用。拮抗生物产生的抗菌物质可影响病原物的生

存和活动，如绿色木霉菌产生的抗菌物质可对立枯丝核菌起拮抗作用；链霉菌产生的抗菌素可防治油菜菌核病、番茄叶霉和灰霉病、黄瓜白粉病和黑星病等多种植物病害。拮抗微生物产生的这种抗菌物质大都可以提取，通过大规模工厂化生产出生物制剂出售，如用于防治水稻纹枯病的商品农药井冈霉素、防治多种作物病害的武夷菌素、农抗 120、农抗 216 等。(2)竞争作用。具有拮抗作用的一些生物可在氧气、水分、营养和空间等方面与病原物竞争，从而影响病原物的生长和繁殖，减轻病害的发生。如荧光假单胞菌和芽孢杆菌能很快地占据植物根周围的地位，从而阻止一些土传病原物与植物根部接触，达到防治土传病害如小麦全蚀病、马铃薯软腐病等的发生和危害。(3)重寄生作用。植物的病原物也可以被其它非病原微生物寄生，从而影响病原物的生长发育，降低所引起病害的流行速度。如用寄生性种子植物菟丝子的炭疽病菌来防治菟丝子有很好的效果，鲁保一号就是利用了这种重寄生原理研制出的生物制剂。(4)溶菌作用。植物病原真菌和细菌的溶菌现象非常普遍，生物防治中的溶菌作用是由不同生物所产生的酶的作用导致病原物细胞组织的破坏，这是植物病害生物防治值得利用的途径。(5)交互保护作用。这一现象最早是在植物病毒中发现的。当有亲缘关系的两个植物病毒株系都感染植物时，植物在感染一个株系后就不再感染另一个株系。因此，利用病毒的弱毒株系事先感染植物作为生物防治的手段，以保护植物不再受强毒株系的侵染，在生产上已开始利用。除病毒外，在其它病原物中也有类似的交互保护作用，如受烟草坏死病毒和黄瓜角斑假单胞杆菌侵染的黄瓜植株，可以免受或减轻黄瓜炭疽病菌的危害。(6)捕食作用。在植物病害的生物防治中，捕食作用主要是指在土

壤中的一些原生动物或线虫可以捕食真菌的菌丝和孢子等,从而影响土壤中真菌的数量,减轻土传病害的发生和危害。但此类研究大都还处于实验室阶段,尚未在植物病害防治中应用。

第五节 中国植物病害防治古今谈

一、古代植物病害防治史

(一) 植物病害的观察记载

早在 2 000 多年前中国古籍中已有关于植物病害的记载。如在公元前 239 年,《吕氏春秋·审时篇》中记载有“先时之麦”有“多疾”的毛病,说明过早播种的麦子,易受病虫害的侵袭,反映出植物病害已开始被中国古代人们所认识。宋代(1149 年前)人们已懂得掌握气候变化规律,适时播种,防止烂秧。如在《陈旉农书·善其根苗篇》中记载有“先看其年气候早晚冷暖之宜,乃下种,则万无一失”。宋代韩彦直的《橘录》(1178 年)中提出了柑橘病害与虫害的区别,这可算是中国首次确定植物病害概念。元代 14 世纪中期,麦类赤霉病在《田家五行·三月类》记载为“谷雨日雨,则鱼生,必主多雨,二麦红烂,不可食用”。可见当时已观察到多雨有利赤霉病发生,病麦有毒,不可食用。明代 1624~1644 年《沈氏农书》中对桑萎缩病已有观察:“设有癭桑,即番去之,不可爱惜,使其缠染,皆缘剪时刀上传过,凡桑一癭,再无医治,断不可留者。”所谓癭桑,即桑萎缩病。可见当时已知该病能随剪刀切口传染,并能作出“即番去之”、“断不可留”的果断处理。清代农书中关于植物病害的记载更多,如在祁秀藻的《马首农言》(1836 年)中有关于“五谷病”的内容,所列各种病主要由栽培技术不良或旱涝引起,同时也包括“灰

鼠”、“霉”、“老谷穗”等病害，书中将作物生长不正常的症状均称之为病，对病害的认识尚无传染的概念。在《区田试种实验图说》（1908年成书）里有“预防霉病传染说”一篇，将麦、高粱、玉米和谷的“糠谷老”病（即粟白发病）描述为“麦有黑穗而无子，高粱有黑穗而无子，玉交（米）子有黑顶而无穗，谷穗斜长而无子。”并提出用黑矾可以防治霉病。书中记载：“用防止病，用雪水盐浸种皆可，更有用黑矾当作肥田料者，既可除此发霉之病、又能杀虫，又能使苗叶茂盛，较雪水盐水更大益于农工。”

（二）植物病害的栽培防治

533至544年间，北魏贾思勰著的《齐民要术》记载了植物病害的轮作防治。例如，“稻无所缘，惟岁易为良”，“麻欲得良田，不用故墟”，指出在重茬地上种大麻“有点叶夭折之患”，并提出“田欲岁易”的换茬方法，对种谷也提出“谷田必须岁易”，因为谷子连作就会“莠多而收薄”，这里的“莠”就是谷病，又叫“毛莠”。明代1544年《祐山杂谈·稻蹲》对稻瘟病进行描述，并观察其病因，提出栽培防病措施，“嘉靖23年（1544年）平湖、海盐大荒，五、六月禾苗成长，至七月即蹲缩黄萎，粪多者尤甚”，这里所提蹲缩黄萎，很可能是稻瘟病。并提出“今田家插秧，宜在芒种一日之后，久旱不宜多粪，三耘后断水数日，使根实，则可免矣”！这三条措施一是适时栽秧避病；二是天旱多粪有利诱发稻瘟；三是烤田，使根实，增强植株抗病力。迄今此三条仍适用于防治稻瘟病。还有1637年宋应星《天工开物·稻灾》对“稻灾”稻瘟病的描述提到“祟在种内，反怨鬼神”，已有破除迷信的思想，这在植病认识上可谓有了长足的进步。徐光启撰《农政全书》（1639年刊行）记载了播种期与棉花病害的关系，并介绍适当推迟播种的防病措施。

(三)种苗消毒处理

公元前 30 多年汉代的《汜胜之书》记载了用冬藏雪水处理种子，以及《尹都尉书》在种瓜法中“先以水净淘之，以盐和之(和则不死)”的用盐处理瓜种法，为世界种子处理最早的记录。至北魏《齐民要术》种瓜第十四中也提到“先以水净淘种子，以盐和之——盐则不笼死”的记载以及稻种“渍经三宿”及催芽记载，宋代 11 世纪的《格物粗谈》也有用腊雪水浸种的记载。由于雪水中含重水较少，因此雪水浸种有促进作物生长茁壮、增强抗病虫能力的功效。元、明两代种子处理又有发展，除沿用腊雪水浸种和种瓜以盐拌种外，还采用草木灰拌种方法。如在元代公元 1273 年《农桑辑要》上记载了木棉种子用灰拌种的措施，“水淘过子粒，堆于湿地上，瓦盆覆一夜，次日取出用小灰搓得伶俐，看稀稠撒于浇过畦内”。同时还记载了利用热力对桑树插条进行消毒的方法，即“将畦内种成鲁桑，连根据出，一棵自根上留身六七寸，其余截去，截断处大微上烙过”。明代《天工开物》(1637 年)除记载草木灰拌种外，还介绍了砒霜拌种，“凡麦种紧压方生，南地与北地不同，都多耕多耙之后，然后以灰拌种，手指拾而种之……陕洛之间，忧虫蚀者，或以砒霜拌种子，南方所用惟灰烬也”。砒霜拌种，不仅治虫，而且可以防病，此方在民间流传，直到 19 世纪 50 年代，华北民间仍有用砒霜拌种防治地下害虫和禾谷类黑穗病的做法。至于棉籽消毒处理，到清代更为完善，方观承命人编制的《棉花图》(1765 年)中说：“选种青黑核，冬月收藏之，清明后淘取坚实者，灭以沸汤，俟其冷，和以柴灰种之”，说明用综合处理棉籽的方法，有杀菌和催芽的效果。这种方法直到解放后，尚在民间流传应用。这一记载比丹麦人延森(T.L.Jensen)首创的温汤浸种(1887 年)还早 100 多年。

(四) 化学杀菌剂的应用

我国晋代(304年)葛洪在《抱朴子》一书中记有“铜青涂木，入水不腐”，即用化合物作木材防腐剂的方法。对硫磺的应用，宋、元时期记载较多。宋代11世纪后期《格物粗谈·种植》记有茄根放硫磺栽培，“茄秧根上掰开，嵌硫磺一皂子大，以泥培土，结子倍多，味甘”。元末明初14世纪后期，俞贞木《种树书》中的种茄法以及徐光启《农政全书》中也有类似记载，显然此种方法主要用于杀菌灭虫。直到民国抗战时期，陕甘宁边区防治茄子的“白绢病”仍有在根际撒硫磺粉的办法。可见我国用铜、硫等杀菌也为世界之创举。果品贮藏保鲜在《齐民要术》中已有不少记载，值得一提的是隋代已使用柑橘涂蜡保鲜。581~604年《隋书·五行志》与《五代新说》中均谈到隋文帝嗜橘，以“蜡封其蒂献之”，“香气不散”，“日久犹鲜”。

二、近代植物病理学史

(一) 晚清至民国初期植物病理学启蒙阶段(1840~1926年)

19世纪中后叶，植物病理学在西方国家已逐步形成一门独立的科学。中国在鸦片战争以后，打破了封建隔绝，逐渐掀起学习西方近代农业科技的活动，在我国老式的农业科学中激起了一个革新的浪花。光绪24年(1898年)下诏：“农为富国之本，——劝谕绅民兼采中西各法，切实举办。”此后，西方植物病理学开始传入中国，植物病害防治采用了中西结合的方法。

关于稻麦病害的防治，光绪28年(1902年)陈启谦《农话》一书详细描述了稻瘟病的症状后指出，“此名稻热病”，并详细分析了病因，提出了四项预防措施。光绪29年(1903年)何刚德《抚郡农产考略》也提到稻热病的防

治方法。此外,《农话》中还提到麦类黑粉病,不仅观察到症状、传染途径,并提出“农家如见到麦穗之中生有黑粉,急宜拔去烧之”的处理办法。《抚郡农产考略》中又进一步阐明黑粉病的病原物为“霉菌之一”,“黑粉为霉菌之种子(孢子)”,也主张拔而烧之。光绪 32 年(1906 年)《东方杂胞》3 卷 10 期对麦类黑穗病的侵染循环作了详细描述。黑粉“即是使麦发生是病之霉色菌孢子,若种子染有此种粉末,发芽之时,粉即寄生其上……若不设法预防,任其循环传染,遭害何可胜言”,所提防治方法中已出现温汤浸种“浸麦种子于华氏寒暑表一百二十七度之温汤中约五分时。”在《抚郡农产考略》中记载了用硫酸铜石灰液防治李树瘤病的办法,即现在的波尔多液,为法国米亚尔代(Alexis Millardet)1883 年首次试验报告,20 年后见于中国书籍。宣统元年(1909 年)或稍前刊印的《布种洋芋办法》一文中,又记载了用硫酸铜石灰液防治马铃薯晚疫病的情况。在麦病研究方面,1916 年钱懿孙最早引进丹麦金生温汤浸种法防治小麦黑穗病。1919 年邹秉文在南京近郊指导农民用温汤浸种防治麦类黑穗病。

20 年代前后,一些国外学者及留学欧美、日本的我国生物学家、农业科学家、植物学家和植物病理学者开始向国内传授西方先进的生物学和农业科学的观点和方法,介绍国际植物病理学的发展概况。植物病理学作为植物学的一分支学科于 1910 年(宣统 2 年)京师大学堂农科聘请日本人三宅市郎讲授植物病理学,这是我国第一所开设植物病理学课程的学校。1913 年北京农商部中央农业试验场成立植物病虫害科,由章祖纯负责,这是我国农业病虫防治事业的最早举措。到 1916 年各省设立了农事试验场。同年邹秉文在美国康奈尔大学学成植物病理学回国,被金陵大学聘请为教授,农科开设植物病理学

课程。东南大学农科于 1918 年增设植物病理学课程，也由邹秉文任教，1923 年成立植物病虫害系，下设昆虫与植病两门，病害由戴芳澜主持。金陵大学农科又于 1924 年波特 (P. H. Porter) 来华成立植物病理学组。同年，浙江省政府建设厅成立昆虫局，任费耕雨为局长，后由邹秉文主持工作，包括病害的研究与防治。在此期间，国内一些学者开始编写或翻译植物病理学的教材或参考书，开始对植物病害进行调查研究，并发表调查报告。如章祖纯于 1916 年发表了《北京附近发生最盛之植物病害调查表》，这是我国自志作物病害的第一篇调查报告。随后，钱燧孙（1918 年）发表北京病害调查目录，邹秉文、邹钟琳（1919 年）发表中国真菌闻见录，邹钟琳（1922 年）发表南京植物病菌名录，并于 1924 年翻译了美国访问教授赖因凯因 (O. A. Reinkeing) 于 1919 年撰写的《中国南部经济植物病害志》。1916 年邹秉文在《科学》杂志上首次发表了一篇题为《中国植物病理学概要》的论文，其后编入商务印书馆出版的《高等植物学》一书之中。随后张石明发表了《植物的内科疗法》，戴芳澜发表《植物病害之现行治法》、《中国植物病问题》，俞大绂、朱学曾、王铭新等人翻译介绍国外植病防治与研究方法，蔡邦华提出植物检疫问题，朱凤美撰文论述植物病害的重要性，并介绍苏、英、法、美、匈牙利、荷兰等国的植病事业的组织机构，从多方面促进植病事业的发展。

（二）民国时期植物病理学初创阶段（1927~1936 年）

1. 组织机构的建设 在此期间我国涉及植物病理学和植物病害的组织机构渐渐地多了起来。1929 年美国威斯康星大学的国际知名植物病理学家琼斯 (L. R. Jones) 访问中国，介绍了美国植物病理学的发展经历及其成功经验，激发了邹秉文、戴芳澜等人筹建成立中国植物病理

学会的愿望。虽然当时参加的仅有几十人，其中一半还不是专业植病工作者，但这一举措反映了当时社会对植物病理学的需求和重视。浙江省昆虫局在张巨伯的领导下，出版了《昆虫与植病》刊物。1930年中央研究院添设动植物研究所，设有植物病理研究室，由邓叔群主持。1932年中央农业实验所成立，内设病虫害系，负责全国植物病虫害的研究与防治工作，病害部分由朱凤美主持。1931年后，国内各大学以及农事试验场纷纷设立植物病理学课程或研究室，从事教学、研究和推广工作。经过10年的建设，中国植物病理学的科研、教学与推广组织机构已具雏形。这个阶段，除筹建植物病理学的组织机构外，还积极进行人才培养和植病知识的传播。

2. 病害的调查研究 在此期间，我国学者对植物病害开展了一些调查研究。如戴芳澜（1927年）对麦病进行调查，并发表了麦病调查报告；朱凤美（1929年）发表了《中国植物病菌所见》，记载7省82属295种；涂治等（1932年）在广东进行经济植物病害调查；魏景超（1913~1934年）对稻病进行调查和研究；邓叔群（1931~1937年）、沈其益、周咏曾（1936~1937年）对棉病进行大量调查；中央农业实验所吴昌济（1933~1935年）调查了全国23省麦种1022件，查明了我国大麦、小麦、燕麦和黑麦上的7种黑穗病及其分布等等。到抗日战争前夕，当时所进行的病害调查工作已涉及全国大部分地区，包括粮、棉、柑橘、苹果、梨和蔬菜等多种作物。从零星的病害调查记录中，可见当时病害所致损失的严重性。

我国的真菌形态分类最早从鉴定病原菌开始，在这方面，戴芳澜、邓叔群做了大量的工作，发表了许多有关论著。戴氏之研究，初以寄生菌类为主，从1927年起先后发表江苏真菌名录、中国真菌杂录和中国真菌名录，收集

国内外有关我国真菌的记载 2 600 多种。邓氏之研究甚广，除藻菌外，无不涉及，从 1932 年起先后发表了南京、浙江、广东和福建真菌的记载，1936 至 1937 年连续发表中国真菌续志(1~7)。

3. 病害的防治研究 朱凤美、吴昌济（1933~1934 年）、邓叔群（1936 年）、崔伯棠（1935~1936 年）都研究温汤浸种防治麦类黑穗病。他们的研究均说明大、小麦散黑穗病用一般温汤浸种无效，而必须采用冷水温汤浸种法。邓氏还研究夏季应用日光热处理麦种可以防治小麦散黑穗病。俞大绂等人自 1925 年起到抗日战争前夕，先后多次发表有关小麦秆黑粉病、大麦坚黑穗病和条纹病、粟黑穗病的侵染源以及种子处理、生理小种和抗病品种等的研究结果，提出应用硫酸铜处理种子等有效防治办法。1925 至 1930 年间金陵大学推广系在河南、河北、山东、江苏、安徽 5 省推广硫酸铜拌种防治大麦、高粱及粟的黑穗病，防治面积达 2 600 多公顷，深受农民欢迎。在稻病研究方面，魏景超、林传光、裘维蕃等人对稻胡麻叶斑病的病原菌及其传染、种子处理和抗病品种进行试验研究，裘维蕃还对白秆病的病菌形态、生理分化和病菌分泌物对稻苗的毒害等进行研究。在棉病研究方面，王善栓（1934 年）、邓叔群（1935 年）先后报道他们的实验结果，证明当时棉花受害严重的缩叶病为叶蝉 *Chlorita biguttata* 直接伤害所致。邓叔群还研究了该虫生活史与寄主范围，提出喷波尔多液等可以防治。对炭疽病和立枯病的防治，研究提出以开水烫种后拌 1.25% 氧化汞最好，还能兼治猝倒病，操作简便，具有推广价值。在经济作物方面，柑橘类疮痂病、贮藏病害、桑树病害等均有人进行研究。此时的病害研究已从单纯的真菌病害发展到细菌性病害、病毒病和线虫病。如吴昌济（1931 年）和朱

学曾(1934年)分别发表《植物之视外生物病》和《嵌工病(花叶病)之特征》。黄亮(1933、1935年)连续报道了蔬菜软腐病的研究成果。作者在查明病原物的基础上,还对病菌的形态、培养、生理特性、生活史、寄主范围和防治方法等进行了研究。用拮抗菌防治菌核类病害研究也有报道。邓叔群(1936年)用木霉菌 *Trichoderma loignorum* 拌种和土壤接种防治棉茎腐病 *Sclerotium rolfsii* 均取得一定效果。中央农业实验所(1935年)对菌核病的研究指出,该菌与其它生物之间存在显著相克现象等等。

(三) 民国后期植物病理学艰苦创业期(1937~1949年)

30年代后期,抗日战争爆发,半壁山河沦陷,我国主要科研单位和大专院校纷纷内迁到大西南后方。由于流动性大,加上物资流通不畅,通货膨胀,使学校和科研机构的工作受到很大影响。但是,在这样艰苦的条件下,我国植病工作者还是开展了一些有关病害调查、病害防治和抗病育种等方面的研究工作。

1. 麦类病害的研究与防治

在此期间,吴友三先后对黄淮及长江流域诸省进行麦病调查。当时全国已知小麦病害有20余种,重要的约10种,造成的损失巨大。如四川、福建两省于1940年和1941年条锈病大发生,平均损失小麦分别为10%~15%和60%。涂治、尹莘耘、方中达和王焕如等先后对三种锈菌的生理小种及小麦品种的抗病性进行研究,分别鉴定出条锈菌生理小种9个、叶锈菌生理小种3个和秆锈菌生理小种20个。凌立在西南各省对锈菌转主寄主进行调查,发现13种小檗科植物。清华大学及中央农业实验所通过多年抗病育种研究,获得了高抗的品种和品系。据调查,当时全国每年因小麦黑穗病所致损失达19亿公斤。

以上,因小麦线虫病损失每年约 2.5 亿公斤。因此,中央农业实验所朱凤美等人主要从事麦类黑穗病和小麦线虫病的研究和防治推广工作,从 1939 年开始在重庆、成都等地研制硫酸铜,分别运往西南、西北各省,以供防治小麦腥黑穗病及大麦、燕麦坚黑穗病,防病增产显著。为防治小麦线虫病,朱凤美与蹇先达设计的线虫病麦汰除机,虫瘿汰除效果可达 99%~100%,1939 年到 1942 年间在贵州用汰除机处理防病示范共 3 432 公顷,增收小麦 64 万公斤。1936 年当时的三江省小麦腥黑穗病大发生,造成了巨大损失。日本人岩垂悟等从 1938 年开始在东北地区推行王铜、赛力散等化学药剂拌种,防治小麦腥黑穗病、高粱黑穗病、黍黑穗病、粟黑穗病和白发病等,具有较好的防治效果。

2. 棉花病害的研究与防治 当时棉花以炭疽病为害最重,其次是立枯病、角斑病、缩叶病和叶切病等。1939 年到 1941 年凌立、杨演在四川进行棉病调查研究和防治试验,明确指出用 60℃温汤浸种可防治棉花炭疽病,谷仁乐生拌种可防治炭疽病和立枯病两种病害,喷波尔多液或石硫合剂可防治缩叶病,平均增产约 20%。凌立与金聿报告均认为棉花喷波尔多液不仅可以防病,而且能促进棉株生长。此外,沈其益(1937 年)、欧世璜(1948 年)等也有关于棉花病害方面的研究报道。

3. 稻作病害的研究 魏景超、林传光和裘维蕃(1936~1940 年)除对稻瘟病菌的形态、生理分化进行研究外,还研究发现多施氮肥能促进病害的发生。孕穗期前后喷波尔多液防治穗颈瘟十分有效,品种间抗病性存在显著差异。裘维蕃还对水稻胡麻叶斑病的抗病性和白秆病菌的生理分化进行研究。林亮东就水稻 25 种病害从症状、病原和防治方法进行论述。1937 年至 1938 年沿拉

滨线一带稻瘟病大发生，重者颗粒无收。从 1939 年开始由吉林省开拓厅同伪兴农部农事试验场合作开展防治。1941 年在凤凰城及汤山城设置“稻热病防治指导实验圃”进行防治技术指导。

4. 果蔬病害的研究 何畏冷自 1935 年到 1937 年三次连续发表广东果树病害汇志，记载各种果树病害 83 种，并详细叙述了病害症状、病原和防治方法。魏景超、黄亮等分别研究甜橙和沙田柚的贮藏病害。陈其瀑（1943 年）在我国首次发表潮州柑橘黄龙病研究报告，认为可能是由一种病毒引起的病害，提出了掘焚病树等 5 项防治措施。1944 年到 1947 年王铃茂研究十字花科霜霉病，对病菌的生活史、生理分化、抗病机制等进行研究。俞大绂自 1936 年到 1948 年对蚕豆病害进行了大量的研究，发现了 5 种新病害。魏景超等还报告成都番茄病害有 26 种，并发现添腐病 *Discosporella phaeochlorina* Wei et Cheo 为一新种，在收获期为害严重。其它如薯类、油料、烟、甘蔗、桑、茶等病害也有研究。

在这段时期内，我国少数植病工作者也先后编辑出版了一些著作，如凌立（1944 年）写出了《二十年来中国之植物病理学》，段永嘉编写了《植物病理学》，俞大绂发表了《中国植物病毒病害之观察》。在真菌学方面，继戴芳澜《中国真菌名录》之后，邓叔群于 1939 年出版《中国高等菌类志》，成为植物学工作者不可缺少的工具书。在东北敌占区，日本人岩重悟等人（1943 年）提出的《满州国农作物病害目录》记载了东北地区农作物病害 440 种，其中病原细菌 29 种，真菌 312 种，粘菌 1 种，显花植物 2 种，线虫 2 种，生理病害 6 种。

1945 年，日本投降，战时迁往西南的机关、学校回迁，中央农业实验所迁回南京，并在北平和吉林公主岭分

别建立北平农业试验场和东北农事试验场，设有病虫害系病害研究室。清华大学和北京大学农学院均于 1946 年分别设立植物病理系，大部分省级农业改进所、农事试验场也都恢复，但由于内战影响，工作无大进展。

三、当代植物病理学的进展(1950~2000年)

(一) 新中国植病事业的复兴期(1950~1966年)

新中国刚刚成立就面临着农作物病害严重成灾的形势：小麦条锈病于 1949 年和 1950 年连续大流行，1950 年全国因条锈病减产达 60 亿公斤，相当于当年夏征的总和；麦类黑穗病严重发生，不少地区发病率高达 20%~30%；甘薯黑斑病在华北地区造成大量烂窖；马铃薯晚疫病在冀北、晋北大面积绝产；水稻稻瘟病、白枯病、麦类赤霉病、柑橘黄龙病在南方部分地区严重为害；大白菜霜霉病、细菌性软腐病和病毒性孤丁病、苹果腐烂病在北方地区普遍发生等等，对当时的农业生产和人民生活构成了很大的威胁。

党和政府十分重视植保工作，1949 年农业部成立时就设置了病虫害防治局，下设病害防治科。1950 年经政务院批准，在全国各地建立了 28 个病虫防治站，到 1952 年发展到 120 个。各大区农林部及河北、河南、山东等省也都先后成立了病虫防治机构。由于当时植保科技人员缺少，农业部和各大区农林部还举办各种植保培训班，加速培训人员，以补充生产上的需要。为培养植保专业人才和加强植保科研工作，在院系调整后的北京农业大学和南京、华中、华南、西南、东北等农学院都大量招收植保、植病专业的学生，与解放前每年寥寥无几的毕业生相比，可谓天壤之别。与此同时，各大区农科所均成立植保系，以后各省相继成立的省级农科所也都有植保系，对植

物病害問題开展研究。1957年，中国农业科学院植物保护研究所成立。1949年中国植物病理学会恢复活动，1953年2月在北京召开第一届全国代表大会，选举戴芳澜为理事长，裘维蕃为秘书长，当时有会员311人。在50年代，学会活动一直很活跃。自1955年起，中国植物病理学会编辑出版了《植物病理学报》，随后，1963年中国植物保护学会又编辑出版了《植物保护学报》和《植物保护》杂志，为广大植病工作者提供了学术交流园地，大大促进了我国植物病理科学的发展。

当时科研、教学的特点是与生产紧密结合，以科研、教学与生产三结合的形式进行攻关。1950年在周恩来总理和陈云同志的关怀下，批示召开全国小麦锈病座谈会，邀请了国内知名的植病、育种专家，共商小麦锈病防治问题。会上成立了全国小麦锈病防治研究委员会，以加强领导。委员会由中央农业部席风洲局长、华北农科所陈凤桐所长以及国内知名的植病、育种专家卜慕华、祖德明、庄巧生、陈善铭、俞大绂、蔡旭、戴芳澜、王云章、王鸣岐、王焕如、方中达、朱凤美、梅藉芳、季良等30多人组成。这次会议被记载为“小麦研究史上第一次科技力量大统一、大结合”，会议决定加速推广碧蚂1号、南大2419和平原50等抗锈良种。但是由于大面积单一品种种植碧蚂1号等品种，从1957起，品种开始丧失抗锈性，60年代初病害再度猖獗流行。当时全国用大搞群众运动的办法征服锈病，但因缺少有效的技术以失败而告终。1964年又因条锈病损失小麦30亿公斤。周总理指示“要像对付人的癌症一样抓小麦锈病”，要求认真总结，“做出防治麦锈病的多种有关结论”，“通过各地今后继续实践，继续观察，不断改进，求得扩大效益，减少病害”。此后，科研和推广工作大都集中于选育和推广抗锈良种，把锈病为害压下

去。与此同时，中国农科院植保所等单位还加强了对条锈病大区流行规律、生理小种和品种抗锈性鉴定等研究，在“文革”前，基本摸清了病害越冬、越夏和大区流行规律。在麦类黑穗病、小麦线虫病的研究与防治上，积极推广已有科研成果。到 1957 年前后，每年种子消毒面积已达 1.7 亿公顷，使病害基本得到了控制。甘肃、黑龙江两省腥黑穗病的损失率分别由 50 年代初的 18% 降低到 1% 以下。在防治麦类黑穗病中，朱凤美、夏禹田、吴昌济等许多科技人员作出了贡献，如朱凤美多次深入山东农村，研究探明小麦黑穗病菌通过牛马肠胃后仍能继续存活，修正了国外学者只能经种子传染的结论，为有效防治病害提供了科学依据。他所研制的线虫病麦汰除机，在全国各地广泛应用。50 年代初，南京农学院方中达等首先提出稻白叶枯病菌源不同于日本来自杂草，而主要由种子传病的论点。据此，国家将白叶枯病列为检疫对象，在病区推行升汞水消毒处理和换用无病种子等措施。60 年代初，随着水稻品种高秆改矮秆及稻种人为调运，白叶枯病不断扩展蔓延，进一步证实该病属种传病害。但在病害流行区，经江苏省农科院等单位研究，证实稻草为主要传病来源。病菌通过水的媒介在秧田期淹苗与秧苗建立初侵染关系，从而提出以杜绝菌源为中心（管理病稻草），秧田期防治为重点（严防淹苗）的综合防治措施，在该省练湖农场进行示范防治，效果显著。对稻瘟病的研究与防治南方有林亮东和黎毓干（1955 年），北方有裘维蕃、刘仪和褚菊珍，东北有石山哲尔和李成栋（1953 年），研究提出选用抗病品种、合理施肥，辅以赛力散石灰进行防治的措施，在浙江镇海和东北病区等地推广取得成效。对薯类病害的防治，50 年代初，北京农业大学林传光等深入马铃薯晚疫病区，研究了病菌经由种薯传染，从少

数中心病株逐步向外蔓延的流行规律，设计了预测预报办法。这是我国首例有关病害的预测预报。陈延熙、司权民等对甘薯黑斑病进行研究，积极推选检疫与防治。北方苹果腐烂病与柑桔黄龙病，分别由北京农业大学俞大绂、陈延熙与华南农学院林孔湘等结合省、地科研单位进行调查研究，摸清发病规律。苹果腐烂病到 1955 年得到控制，柑橘黄龙病当时作为病毒病实施检疫。此外，仇元、吴友三等对小麦赤霉病，王鸣岐、裘维蕃、朱象三等对小麦病毒病，尹莘芸、藉秀琴等对棉花病害，余茂勋和陈瑞达对烟草病害也有研究报道。1959 年到 1961 年国民经济困难时期，各种病害虽一度上升，但经采取防治措施后又得到控制。

我国植物检疫和预测预报工作，从无到有，始于 1954 年。北京农业大学俞大绂教授等为我国植物检疫的创建专门培训了植检专业毕业生。苏联专家来华举办的植检训练班，也培养了一部分植检人员，这批人分配到全国各省植检站，成为我国开创植物检疫的技术骨干。我国病害预测预报始于 50 年代初有关马铃薯晚疫病的预测预报办法，到 1967 年已有一定规模，对稻、麦、棉、果树等主要作物的流行性病害均制定了测报办法，在主产区进行推广实施。

在此期间，我国植物病理学已取得举世瞩目的成就，有效地控制了历史上遗留下来的麦类黑穗病、小麦线虫病、甘薯黑斑病、马铃薯晚疫病、棉炭疽病、立枯病和苹果腐烂病等多种病害的危害。有关植病的基础理论研究工作也已系统开展，如有关真菌、细菌和病毒等学科在中国科学院、南京农学院、北京农业大学与华南农学院等分别形成研究重点开展工作，均取得较大进展。

（二）“文化革命”植病事业消沉期（1967~1977 年）

“文化革命”前期，知识分子和科技工作者受到不同程度的冲击，植保工作遭到严重破坏。从上至下，教学、科研和推广工作基本上处于停顿状态，以致植物病害发生频繁，危害日益加重。如华北、西北地区的多种小麦病毒病、玉米大、小斑病和丝黑穗病，由次要病害上升为主要病害，部分地区造成毁种和绝产。长江流域 1973 年麦类赤霉病和 1974 年水稻白叶枯病大流行，分别减产稻谷 6.5 亿公斤和 10 亿公斤。检疫性病害如棉花枯、黄萎病、马铃薯环腐病等也随人为调种传播，危害猖獗。“文革”后期，在周恩来总理等中央领导同志关怀下，农业生产形势有所好转，农林部于 1973 年在农业局内设植保处，各省市也相继恢复植保机构，加强了病虫防治工作。1975 年 5 月，农林部在河南新乡召开了全国植保工作会议，制定了“预防为主，综合防治”的植保方针及病害防治研究规划。对小麦锈病、麦类赤霉病、小麦病毒病、小麦全蚀病、水稻白叶枯病、稻瘟病、水稻病毒病、玉米大、小斑病和丝黑穗病、棉花枯、黄萎病和马铃薯环腐病等 10 项课题组织科研协作组，并提出了 3 至 5 年内的重点研究任务与防治要求，加强十大类病害的研究与防治。

“文革”后期，在植病化学防治和生物防治方面有较大进展。我国五六十年代主要使用有机汞剂和硫酸铜杀菌剂。1972 年，汞制剂停止使用后，发展了多菌灵、硫菌灵等三唑类化学农药防治麦类赤霉病和果菜病害，以及稻瘟净、异稻瘟净和克瘟散等有机磷杀菌剂防治稻瘟病。特别需要指出的是在农用抗生素的研究和应用方面取得了突破性进展，如筛选出井冈霉素防治水稻纹枯病和公主岭霉素、内疗素等防治禾谷类黑穗病，在防治上起了重要作用。至今井冈霉素仍是防治稻、麦纹枯病的重要药剂，年防治面积达 1 000 万公顷，开创了国际上应用

抗生素防治植物病害的新局面。

(三) 植物病理学的振兴期(1978~2000年)

1978年后，中共中央作出全党必须集中主要精力把农业尽快搞上去的指示，我国植病工作者纷纷回到各自的岗位，重操旧业。中国农业生产进入全面大发展的新时期，植病事业得到蓬勃发展。农林部先后恢复了植物保护局、植物检疫实验所和农药检定所，增设病虫测报总站，1982年改建为全国植保总站，负责全国植物病虫害防治工作。各省、地、县也相应建立健全了植保组织机构，拥有各级植保技术人员近3万人。在科研和教学方面的植保机构也得到大大加强，各大专院校和科研机构都大力革新，制订发展方案，加紧步伐，努力追赶。中国植物病理学会1981年再度恢复活动，并在青岛召开了第二届全国代表大会，选举俞大绂为理事长。从此，每年都有地区性和全国性的学术活动。1984年起，先后筹建成立了东北、华北、西北、华东、中南和西南大区分会。1985年在北京召开了第三届全国会员代表大会，裘维蕃当选为理事长。连任两届后，刘仪和曾士迈分别于1993年和1998年当选为第五、六届理事长。中国植物病理学会除频繁组织召开全国性学术会议外，还成功地组织召开了多次国际性会议，如1988年在北京召开了“北京国际植物病理学会议”，这是该会首次组织的国际性学术会议，为加强国际间的联系打下了良好的基础。1996年在北京召开了“国际生物防治学术会议”。2000年在北京召开了“第一届亚洲植物病理学大会”，在会上成立了“亚洲植物病理学协会”，我国曾士迈和唐文华教授分别当选为理事长和秘书长。1998年在德国爱丁堡召开的第七届国际植物病理学大会上，我国曾士迈、周广和、王金生和刘松林被推选为国际植物病理学会理事，并授予裘维蕃院士国

际植物病理学会荣誉会员称号。这反映了我国植病事业已得到国际同行的认可和重视。随着改革开放，我国各大专院校和科研单位先后派出大批访问学者和出国留学学生，参加各种国际学术会议，并频繁接待各国植病学家来华参加会议、考察访问等，增强国际间交流与合作，学习和引进国外植病先进技术和理论。因此，在 80 年代后，植物病理学在中国无论是从防治上还是从科研和教学方面都有了突飞猛进的发展。

八九十年代，随着农业种植业结构的调整、耕作栽培制度的变更和全球性气候变化以及病原物本身的适应性和变异性，我国农作物病害态势不断发生变化。（1）一些重大病害如稻瘟病、小麦锈病、白粉病、棉花枯、黄萎病等的发生与危害不断加重，成灾频率明显加快，致害强度逐年加剧，如稻瘟病随着杂交稻面积扩大，品种单一化严重，1985 年汕优 2 号丧失抗病性损失稻谷 24.5 亿公斤，1993 年南方稻区稻瘟病再度流行，受害面积约 667 万公顷，损失稻谷 11 亿公斤；1990 年小麦条锈病全国大流行，发病面积约 667 万公顷，损失小麦 26.5 亿公斤；棉花枯、黄萎病 1982 年发病面积已由 1973 年的 37 万公顷增为 148 万公顷，损失皮棉约 25 万吨；1995 年棉花黄萎病再度流行成灾，导致皮棉损失 15 万吨。（2）部分次要或潜在病害如稻麦纹枯病、小麦全蚀病、赤霉病、棉花苗病、玉米穗茎腐病、粗缩病、矮花叶病和大豆胞囊线虫病等已跃升为生产上的主要致灾因子，如水稻纹枯病，80 年代中期以来常年发病面积 1 333 万公顷以上，比 70 年代中期增长 2 倍，经大力防治后，年损失仍达 10 亿公斤；1989 年麦类赤霉病在长江中下游特大流行，直接损失小麦 16 亿公斤，而且病粒毒素对人、畜还具有毒害作用；1998 年小麦赤霉病和纹枯病大面积发生，发病面积 1 500 万公顷。

(3) 有些原已长期控制或消灭危害的病害如小麦黑穗病等死灰复燃, 变得更加猖獗。(4)新的危险性病害如小麦黑颖病等不断传入。

为有效控制各种病害的流行和危害, 自“六五”以来, 国家一直将农作物病虫害综合防治技术研究列入国家科技攻关研究计划, 在农业部主持下, 组织全国 50 多个科研教学单位进行协作攻关, 取得了很大的进展。农作物病害的防治研究也从过去的单打一发展成为按作物特定生态区组建多病虫综合防治技术体系, 即从农田生态系统整体出发, 把病害作为农田生态系中的一个重要组成部分, 结合其它有害生物进行综合治理。1990 年至 2000 年间, 在我国农作物主产区建立综合防治示范区 20 多万公顷, 开发和推广应用单项关键技术 67 万公顷, 取得了显著的经济、社会和生态效益, 使我国农作物病虫害综合防治技术研究在深度、广度和规模上一跃跻身于国际先进行列。如在长江流域和广东、福建省水稻病虫害综合防治示范区, 将水稻纹枯病、稻瘟病、白叶枯病三大病害纳入稻田生态系进行综合治理, 1990 年已发展到 1 000 万公顷, 经济、生态效益显著; 在小麦、玉米、棉花等作物主产区分别针对小麦锈病、白粉病、纹枯病、赤霉病、玉米大、小斑病、禾谷类黑穗病以及棉花枯、黄萎病等主要病害开展综合防治研究, 分别建立了综合防治试验示范区。如“七五”期间(1985~1990 年)中国农科院植保所等单位在陇南小麦条锈病越夏区建立了以条锈病为主的小麦有害生物综合防治体系, 每年示范面积 16 667 公顷, 有效地控制了有害生物的发生和危害, 经济效益比 1:7.6, 社会和生态效益显著。与此同时, 全国有关科研、教学单位还研究开发出一大批综合防治关键技术: (1) 鉴定、筛选和评价大量的作物种质资源, 并培育出许多优良

抗病品种。在水稻上强调选育多抗品种, 鉴定和评价了 8 万余份品种材料, 利用了大批抗稻瘟病、白叶枯病等多种病害的品种, 综防区每年应用抗病品种面积占总面积 70% 以上; 在小麦上针对锈病、白粉病、纹枯病、赤霉病、根腐病、黄矮病等进行多抗性鉴定和筛选, 鉴定了近 4 万份小麦品种材料, 并选育出一批单抗或多(兼)抗性品种在生产上应用, 如洛夫林系统品种、绵阳系统品种、扬麦系统品种等; 针对玉米大、小斑病和丝黑穗病以及棉花枯、黄萎病也选育、推广了不少抗病品种, 如棉花高抗枯萎病高产品种 86-1 号, 1984 年获国家发明二等奖。(2) 开发出成套的多功能保健栽培技术, 如针对小麦条锈病、黄矮病等多种病虫害, 因地制宜地进行适期晚播, 可有效地控制或减轻它们的发生和危害。(3) 开发应用井冈霉素、增产菌等生物制剂进行防病和保健。(4) 开发出一批高效内吸杀菌剂, 解决一些“疑难病症”。如应用三唑酮防治小麦锈病、白粉病、水稻穗期“综合症”; 应用三环唑、稻瘟灵防治稻瘟病; 用甲霜灵防治粟白发病及蔬菜霜霉病等。

在植物病害的流行预测研究方面, 进一步查清了一些重要病害的流行规律, 完善和建立了预测预报方法, 提高了病害流行预测的时效性和准确率。如在小麦条锈病流行体系研究方面, 查明了我国小麦条锈菌的越冬、越夏和春季流行规律, 筛选建立了适合中国的条锈菌生理小种鉴别寄主, 查明了陇南和西北地区是我国小麦条锈菌新小种产生的“策源地”和品种抗病性变异的“易变区”。该项研究成果于 1987 年获得国家自然科学二等奖。

在病原学 (aetiology) 研究方面, 不仅真菌、细菌学有很大发展, 原来比较落后的病毒学, 随着国外先进技术和设备的引进, 也取得了显著的进展。植物线虫学、类菌质

体等的研究也填补了我国的空白或奠定了基础。

现代生物技术如单克隆抗体的制备和应用、细胞组织培养技术、酶联免疫技术、腹水抗体技术、核酸重组技术以及基因工程技术等在植物病理学中的拓展和应用，初见成效，已跟上或超过国际先进水平。如中国农业科学院植物保护研究所有关“应用基因工程技术创造抗黄矮病毒转基因小麦新种质”科研成果，1995年被评为全国十大科技成就之一。

在教育方面，各农业院校也都有植病或植保专业，并培养了不少植病的硕士生、博士生，象征着我国80年代后植病人才培养已进入一个崭新的阶段。

20多年来，中国植物病理学成就之巨大，是历史上任何一个时代所不能比拟的。随着国民经济的发展，我国科学技术的日益繁荣，植物病理学在中国将有更加美好的明天。

第六节 植物病理学的发展趋势和对策

植物病理学是人类和植物病害长期斗争的结晶，其100多年的发展历程即是人们对植物病害本质和规律的“由浅入深”、“由表及里”的认识过程。人类在农业生产过程中获得的病害知识和经验教训构成了植物病理学的基础，其它相关科学如物理、化学、数学和生物化学等的渗透和促进，对植物病理学的发展起到了极大的推动作用。目前植物病理学已发展成为集传统和现代、基础和应用、宏观和微观、感性和理性分析研究方法于一身的综合性完整学科。20世纪90年代以来，随着生命科学、信息科学、材料和能源科学领域的重大突破，以及生物技术、信息技术、系统工程技术等在农业上的加速应用，新

世纪之初正孕育着一场新的农业科技革命，这为植物病理科学的发展注入了新的活力，提供了更加广阔前景。

一、高新技术在植物病理学中的拓展应用

80年代中期以来，生物技术、信息技术等高新技术在植物病害防治中的扩展应用已成为植物病理学研究的热点，并取得了一系列突破性进展，一跃成为农业与生命科学领域重要的发展前沿。

(一) 利用免疫和核酸技术进行植物病害的诊断和判别

利用以制备抗体为基础的植物免疫技术以及核酸杂交技术为迅速而有效地诊断和判别植物病害提供了一种新的途径，不仅灵敏快速，而具准确性高。近年来已越来越受到人们的重视，并取得了显著的进展。如我国一些教学和科研单位先后研制并建立了多种植物病毒单克隆杂交瘤细胞株，相继获得成功的有烟草花叶病毒、马铃薯Y病毒及X病毒、番木瓜环斑病毒、甜菜坏死黄脉病毒、葡萄扇叶病毒等。在植物细菌病害方面，水稻白叶枯病、马铃薯青枯病单克隆抗体的研制和应用也已填补了植物细菌病害在科研和生产上应用的空白，但在植物真菌和线虫病害的诊断和鉴定方面还处于探索阶段。80年代末至90年代初，国际上出现了核酸杂交技术检测植物病原物的报道，近年来已成功地应用在诸如镰刀菌、禾谷类锈菌、白粉菌、叶枯菌、马铃薯晚疫菌等多种植物病原物的种、亚种、专化型、生理小种或致病类型的鉴定和诊断中。尽管目前这些技术还不够完善，尚未在生产上大量应用，但也不乏成功的例子。随着技术的不断改进和试验程序的简化，免疫和核酸技术将成为植物病害常规的

检测手段。

(二) 依靠信息技术,提高病害预测预警能力

利用先进的卫星、飞机和雷达遥感遥测系统、全球定位系统、计算机网络信息技术、人工智能技术、地理信息系统和多媒体技术等对农作物重大病害的发生和为害进行监测、预测和防治决策,这将大大提高病害的预测预报的时效性和准确率,使植物病害的发生和为害动态始终处于人类的掌握和控制之中。目前,国际上已开展了一些有关研究工作,并展露出广阔的应用前景。

(三) 利用生物技术培育植物抗病品种和无病种苗

生物技术即是利用生物体或生物有机体制造或改进产品、改良品种或微生物,以供特殊用途的新技术,包括细胞工程技术、基因工程技术、发酵工程技术和酶工程技术等。因此,在作物抗病育种中,应用生物技术,创造群体新的遗传变异,并通过选择、培养获得新的抗病材料或新抗源是完全可行的。植物细胞的全能性为细胞工程提供了极大的有利条件,人们利用细胞培养能够把一个植物细胞培养成一个完整的植株。如通过花粉培养和原生质体培养,可在短期内创造出高度纯合的再生抗病材料;利用茎尖脱毒技术以繁育薯类、果树、花卉及蔬菜等植物的无病毒种苗,方法简便,技术可靠,成功的事例不少,有的已在生产上大规模应用,如脱毒马铃薯种薯以及脱毒柑橘、苹果、香蕉、草莓种苗等,对提高作物的品质和产量取得了显著的成效。DNA分子标记的迅速发展,为在植物抗病遗传育种中利用分子标记定位、分离和克隆抗病基因打下了坚实的基础。利用与抗病基因紧密连锁的分子标记进行抗病育种的辅助选择,可大大提高育种选择效率,缩短育种周期。特别是在多个抗病基因的聚合选育及转移利用远缘抗病基因和数量抗病基因方面具有很

大的应用前景。目前，在10多种作物数十种病害系统中，均发现了与抗病基因共分离或紧密连锁的分子标记，在水稻抗稻瘟病育种中得以成功地应用。植物基因工程是近几年发展起来的一项分子生物学技术。利用基因工程技术可将不同来源的抗病基因通过各种方法转移到植物中，并使其表达，获得转基因抗病工程植物。目前有关研究已取得了可喜的进展。如将病毒的外壳蛋白基因转移到烟草、番茄乃至小麦等多种作物上，成功地获得了转基因抗病毒病植株；将水稻抗菌肽B基因导入水稻品种中获得了抗白叶枯病和细菌性条斑病的水稻植株；将海岛棉DNA导入陆地棉，获得了既抗枯萎病又抗黄萎病的棉花品种3118号，并已在生产上推广应用。除此外，将大麦DNA、小牛胸腺DNA导入小麦，均分别获得了抗白粉病、条锈病的小麦品系，等等。

(四) 利用生物技术进行生防微生物的遗传改良

利用有益微生物来防治植物病害已有很长的历史。由于微生物种类多、繁衍快，遗传背景相对比较简单，这为利用生物技术进行遗传改良提供了便利的条件和巨大的潜力。人们可利用遗传工程技术对生防微生物进行修饰或装配，以提高其防病效果。近年来，国际上有关研究十分活跃，并先于抗病基因工程植物进入了实用化阶段。如1992年澳大利亚对防治桃树冠瘿病的生防细菌K4进行缺失处理，构建了工程菌K1026，不但显著地提高了防病效果，而且药效稳定、持效期长，成为第一个商品化的遗传工程微生物杀菌剂，在澳、美、日等国销售。我国通过转座子诱变技术对荧光假单胞菌进行遗传改造，获得了对小麦全蚀病有较好防效的工程菌杀菌剂“荧光93”。

二、经济有效、环保型病害防治新技术的开发应用

经济有效、环保型病害防治新技术的开发应用是农业科技革命和可持续发展的需求。随着农业可持续发展战略的实施及全球环境保护意识的加强，对植物病害的防治技术提出了更高的要求，既要与环境保护“相融”，又必须与可持续发展“一致”。人类同植物病害的斗争是一场没有钟点的战争，由于病原物本身的变异性和平多样性，加之防治手段落后，许多农作物病害此起彼伏，防不胜防。化学农药带来的环境污染、农药残留、抗药性产生等问题又使人类面临新的挑战。因此，在今后相当长的时期内，除大力挖潜利用传统防治技术外，还必须不断开发经济有效、环保型病害防治新技术，以适应时代发展的要求。重点应从以下几方面开展研究，获得突破。(1)农作物品种抗病性利用技术，关键在于多(兼)抗性和持久抗性资源的开掘及其合理利用，以及有害生物种型变异和品种抗病性变异的超前预测；(2)植物种苗的脱毒快繁技术及弱毒疫苗技术；(3)重大病害农田生态调控技术，主要研究农作物抗病性品种(或基因)的合理布局和栽培控害配套技术；(4)植物源杀菌剂的开发利用技术，主要是探索植物源杀菌剂的分离、鉴定与合成；(5)重大病原物抗药性检测和治理技术，着重研究开发抗药性早期诊断技术和大吨位药剂、转基因抗病植物的风险评估技术；(6)环境友好的新农药研制及其应用技术，重点在高活性、无公害生物农药和非抗菌化合物(即植物抗病性诱导剂)的产业化和作物良种包衣新技术上突破；(7)危险性病害检疫、检验及处理技术，重点研究突破检疫措施的规范化和标准化；(8)病害形成机理的基础研究，重点研究解析病原物和寄主植物相互作用的群体遗传和分子基础，以及

病害暴发成灾的生态学机理。

三、植物病害的系统管理

应用一般系统论的观点和方法来研究复杂多变的植物病害流行和防治是植物病理学发展的一个重要动向。植物病害是农业生态系统的一个组成部分，即是以一定地区的农业生产为背景的，因此，病害的发生和发展除与病原物本身的致病为害特点有关外，还受寄主品种、耕作栽培制度、土壤条件、气候因素、人为因素、经济和社会因素等多种因素的影响，动态性很强。采取任何一项防治措施都会对整个农业生态系统产生或大或小的影响。人类同植物病害长期斗争的实践经验也告戒人们，对于任何一种病害都不能实施消灭，而且也不可能彻底消灭，只能通过系统管理将其危害控制在经济允许的范围内。植物病害系统管理源于综合治理和生态系统概念向植病学科的渗透，是近年来植物病理学中发展起来的一个新概念。病害管理是所有有意识或无意识行动的全体，起着调节病害水平使之保持在经济允许范围内的作用。它的目标不仅是防病保产，而且包括经济、生态和社会三大效益。发展一种病害管理计划，应从农业生态系统的整体出发，始终着眼于从整体与部分（要素）之间以及整体与外部环境之间的相互联系、相互作用、相互制约的关系中，综合地、定量地考虑研究对象，以达到防治决策的最佳化。既蕴含有综合治理的经济、生态和环境保护三大观点，又具有系统分析的整体性、综合性、最佳化。在可持续农业和有害生物持续治理的方向下，病害系统管理这种高层次多学科综合研究是必不可少的。

四、进一步提高农作物病害防御能力的基本途径

世界性的农业科技革命及我国科技兴国、兴农的战略，为我国农业科技的发展提供了大好的机遇。面对 21 世纪，成功与挑战同在。在高科技、信息化的未来，如何进一步做好植物病害的综合治理，如何突破社会综合减灾能力，正是我们所面临的重任。其基本途径是：贯彻“预防为主，综合防治”的植保方针，以加强基础研究、开发利用高新技术为前提，以革新关键防御技术、提高社会综合减灾能力为目标，全面开展农作物产前、产中、产后病害的研究与防治工作，以达到持续控制各种植物病害的流行和危害，确保作物安全生产的目的。

第4章

21世纪学科发展丛书

农田杂草——“绿色强盗”

第一节 杂草的强盗行径

一、杂草的定义

农田杂草是指农田中非栽培的植物。最简单而通俗地讲，杂草就是那些“生长在人们不希望生长的地方的任何植物”或“长错了地方的植物”。从生态经济的角度讲，在一定条件下，凡害大于益、生长在农田的植物都可称为杂草。虽然这些定义没有表达出杂草自身的特征，但这些定义均明确地指出了杂草虽不是栽培植物，但又与人类种植业生产活动密切相关。我国杂草专家李扬汉先生给杂草的定义是：“通常所说的杂草，既不是栽培植物，也不是野生植物。具体地说，除田园种植的目的植物之外，所有其它受到人为栽培条件的影响，但本身又不是栽培对象而在田间滋生带有野生特征（多实性、脱落性等）的植物，都可统称为杂草。”可见，杂草的存在是由来已久的。

二、杂草的危害

自古以来,农田草害一直是阻碍农业生产快速、持续发展的一个重要因素。我国地域辽阔,农田杂草种类繁多。据《中国杂草志》(1998年)记载,田园杂草有106科、591属、1 380种、11亚种、60变种、3变型,计1 454种。据农业部全国植物保护总站调查结果表明,我国有农田杂草580种,隶属77个科,其中菊科77种,占13%;禾本科66种,占11%;莎草科35种,占6%;唇形科28种、豆科27种、蓼科27种、十字花科25种、藜科18种、玄参科18种、石竹科14种、蔷薇科13种、伞形科12种。按生物学特性分,一年生杂草278种,占48%;越年生杂草59种,占10%;多年生杂草243种,占42%。按生态学特性分,水田杂草129种,占22%;旱田杂草427种,占74%;水旱田均可出现的杂草24种,占4% (植物医生手册,1994年)。经常出现并在全国造成危害的杂草120种,地区性危害的重要杂草135种。据《中国农作物病虫害》(1996年版)记载,在全国造成严重危害的杂草有64种。

杂草的危害集中表现为与农作物争光、争气、争水、争肥,传播病虫害,导致农作物产量下降、品质变劣、增加作物收获难度、降低土地利用价值。研究和农田调查结果显示,农田杂草的危害是十分惊人的。以野燕麦为例,当麦田野燕麦密度达每公顷215.1万株时,小麦减产48%,且品质明显降低。在我国1亿公顷耕地中,每年遭受杂草危害的耕地达4 000余万公顷,严重危害面积达2 000万公顷以上,造成粮食减产750万吨。

杂草具有惊人的多实性。与栽培作物相比,杂草的结实力通常要高数十倍,甚至上千倍。如一株牛筋草可结实135 000粒,藜可结实200 000粒,荠菜可结实

223 000 粒,蒲公英可结实 810 000 粒。

杂草的生命力极强,其种籽和无性繁殖器官具有很强的抗逆力。杂草种籽成熟后极易脱落,在土壤中能长期存活,如繁缕种籽的发芽力可保持 10 年之久,马齿苋种籽的发芽力能保持 20 年以上,而且有些杂草种籽经牲畜、鸟类的消化道排出体外后仍能发芽。杂草的无性繁殖器官——地下根茎、块茎、球茎在多数逆境中都能保持其生命力,如芦苇的根茎,在极其寒冷的冬天在浅土层中也能存活,将其切割成 2~3 厘米的小段,照样能生长成正常植株。而且,经人工锄去的杂草,残留根系遇到潮湿的土壤也能重新生长。

三、杂草的类别

如前所述,杂草的种类十分繁多。依据杂草的子叶形态特征,可将杂草分为单子叶杂草和双子叶杂草,依据杂草的生物学特性可将杂草分为一年生杂草、二年生杂草和多年生杂草。

单子叶杂草:有禾本科、百合科、莎草科、灯心草科和鸭跖草科等 18 科。

双子叶杂草:有苋科、十字花科、旋花科、葫芦科、菊科、豆科、茄科、茜草科、马齿苋科和列当科等 72 科。

一年生杂草:一年生杂草以种籽为其繁殖体。通常从种籽萌发、营养生长到新世代种籽的形成在当年数月内即可完成。

二年生杂草:二年生杂草(越年生杂草)也以种籽为其繁殖体。通常在第一年秋季萌发,植株耐寒性强,当年不抽茎开花,翌年春季开始生长、开花、结实,在夏季完成其世代交替。

多年生杂草:大多数多年生杂草以种籽和无性繁殖

体(根茎、块茎、球茎、鳞茎)为其繁殖器官。无论是由种籽或无性繁殖体形成的植株开花结实后，其地上部于秋季死亡，翌年春季从地下无性繁殖体或种籽再发芽生长。通常其无性繁殖体抗逆力极强，在作物生长季节可随时发芽生长，即使在极其恶劣的环境条件下也如此，同时在冬季能抗御严寒。

第二节 我国杂草科学的研究概况

我们的祖先早就已用刀耕火种进行灭草播种。早在公元前 1066 至公元前 771 年，我国就出现了薅、耘、耔等除草名词，《说文》记载，“薅，拔去田草也”，“耘，除田间秽”。公元 1 世纪，《汜胜之书》对“锄”已有明确记载，《释名》：“锄者，助也，去秽助苗长也。”十三四世纪，我国太湖地区首创耘耥使草溺弱，“虽以去草，实以固苗”，它“既胜耙锄，又代手足”，这说明除草工具已有改进。西周时代《周礼·蕡氏》除草法即有“蕡氏，掌杀草……以水火变之”之说。盛唐时期已有在“稻田养鱼，使鱼吃草，鱼粪肥田，草净鱼稻丰”的生态农业先例。同时，我国劳动人民在长期生产实践中创造的锄、镰、犁、耙、耱等实用工具在杂草防除中发挥了重要作用。新中国成立后，随着科学种田意识的增强，在各级人民政府的支持和杂草科学工作者的努力下，我国杂草研究工作得到不断发展。在农业生产中作用日益突出。

1981 年 10 月第三届中国植物保护学会第一次常务理事会决定增设杂草研究会，聘请李扬汉为主主任，张泽溥为副主任，李孙荣为秘书长。次年即在昆明召开了规模为 150 余人参加的第一次全国杂草学术讨论会，并于 1984 年召开了第二次全国杂草学术讨论会。1986 年中国科协

正式批准成立了中国植物保护学会杂草学分会，张泽溥任主任委员。随后，分别于1988年1月、1990年4月、1994年11月、1999年3月在天津、石家庄、昆明和南宁召开了第三、四、五、六次全国杂草学术讨论会。并将于2001年5月在北京主办第十八届亚太地区杂草科学大会。同时，江苏、东北三省、北京、上海、天津、河北、青海、安徽、湖南、四川、云南、广东、浙江、山东等省市先后分别成立了省、区杂草研究会或杂草专业委员会。学会还创办出版了《杂草学报》和《杂草科学》两个学术刊物，普及杂草科学知识，宣传杂草科研成果，为发展我国杂草科学，推动杂草防除现代化发挥了积极作用。

我国杂草科学的发展，凝聚着我国劳动人民智慧的结晶和几代杂草科学工作者的心血。新中国成立以来，我国杂草科学工作者为继承和发展我国杂草科学作出了重要贡献，编著出版了一批学术专著，如张泽溥等编著的《中国农作物病虫害》巨著中的《农田杂草》，张泽溥编著的《中国杂草原色图鉴》，李扬汉主编的《中国杂草志》，苏少泉编著的《杂草学》、《除草剂概论》、《中国农田杂草化学防治》，王枝荣、辛志远等编著的《中国农田杂草原色图谱》，唐洪元等编著的《中国农田杂草彩色图谱》，李孙荣编著的《杂草及其防治》，张殿京、马德慧等编著的《中国农垦农田杂草及防除》，黄建中编著的《杂草学》，张朝贤等编著的《农田杂草防除手册》。1986年以来，国家又将农田杂草综合治理技术研究列入重点科技攻关计划，开展协作攻关研究，并取得了一系列重大成果。继张泽溥主持的“七五”国家科技攻关成果“农田杂草综合治理技术”1993年获得了农业部科技进步三等奖以来，近几年还获得了多项省级科技进步奖。1997年，由涂鹤龄主持的“八五”科技攻关成果“五大作物农田杂草群落种群演

替及一次性除草技术研究”又获得了国家科技进步二等奖。与此同时,多项科研成果已转化为生产力,充分发挥了控害增产作用。

第三节 农田杂草危害损失及调查方法

一、杂草密度与作物产量损失预测方法

农田杂草和作物是一对十分复杂的矛盾,二者对水分、养分、空间和阳光等有限资源的竞争是这对矛盾的突出表现。杂草与作物竞争对作物所造成的最直接危害就是作物产量损失。因此,在研究杂草对作物危害、确定杂草防除经济阈值、制定一定生态环境下杂草的综合治理策略时,杂草竞争与作物产量损失间的关系、杂草的潜在危害性往往是杂草科学工作者首先研究的重要内容。

在作物分布均匀且密度恒定的条件下,杂草与作物在农田的竞争关系具有以下特征:

(1)当杂草密度(单位面积或行长上的杂草株数, $d = \text{杂草株数} / \text{面积或长度}$)为零时,田间不存在杂草与作物的竞争,所以,此时由杂草竞争造成的作物产量损失率(Y_L)应为零。

(2)当杂草与作物在农田竞争时,不论杂草的密度有多大,杂草的竞争力有多强,由杂草竞争所造成的作物产量损失率不超过100%,即作物最大产量损失率(Y_{LM})应在0~100%之间。

(3)当杂草密度很小时,尽管由于作物群体对杂草的抑制作用,杂草群体不至于对作物经济产量构成威胁,但是由于不存在杂草种内竞争,杂草单株对作物的竞争力最大。此时作物产量损失率随杂草密度的加大而直线上

升。但是,当杂草密度加大时,杂草种内出现竞争,单株杂草对作物的危害力随之降低。此时,随着杂草密度的增加,作物产量损失率呈负增加,即作物产量损失率与杂草密度间呈曲线关系。

实际生产中,在农田与作物竞争的杂草往往不止一种,因此,多杂草复合危害研究更具实际意义。

二、农田杂草调查方法

随着农村种植业结构的调整、耕作制度的改变、化学除草剂的不断大面积使用,农田杂草种群和群落不断发生着变化。为制订切实可行的综合治理技术体系,解决农业生产中的杂草危害问题,掌握农田杂草的种群现状和群落演替趋势是十分必要的。长期以来,我国杂草调查普遍采用的是目测法,它具有工作量小,效率高等特点,适用于大范围杂草踏查、工作人员少的情况,但要求调查人员具有丰富的经验,且调查结果量化性较差。在小范围进行杂草调查时,人们往往采用双对角线五点取样法或样线取样法。常规双对角线五点取样的样方面积为0.25平方米(50cm×50cm),调查每个样方中的杂草种类、各种杂草的数量和平均高度以及作物的平均高度等。样线取样是为调查田间各种杂草出现的频率。调查时,在随机选定的田间样方拉出两条与样方点成45度夹角的10米长的样线,每条样线设10个样点(每米为一点),每块地设10条样线,计产生100个样点,查各样点上是否有杂草及其种类。但是,随着农田化学除草技术的迅猛发展,量化、精确地掌握农田杂草分布状况显得日益重要,故研究采用倒置“W”九点取样法。

倒置“W”取样方法最早于1978年由迪尤(Dew)所描述,后由托马斯(G.Thomas)改进并在加拿大的萨斯喀彻

温(Saskatchewan)和其它地区得以成功地应用。

田间调查时，根据托马斯的调查方法将每块地调查20个样方调整为9个。调查者到达选定的地块后，沿地边向前走70步，向右转后向地里走24步，开始倒置“W”九点的第一点取样。第一点调查结束后，向纵深前方走70步，再向右转后向地里走24步，开始第二点取样。以同样的方法完成九点取样后转移到另一选定的地块取样(地块较大时，可相应调整向前向右的步数以尽可能使样方在田间均匀分布)。样方面积为0.25平方米(50cm×50cm)，取样时记载样方框内杂草种类、各种杂草的株数和平均高度，同时记载所调查地块的其它有关资料。为便于记载，杂草的株数以杂草茎干数表示。

样方面积为0.25平方米(50cm×50cm)，调查每个样方中的杂草种类、各种杂草的数量和平均高度以及作物的平均高度等。

几个量化指标

为量化调查数据，在对样方取样数据进行处理时运用了田间均度、平均密度、频率等三种指标，而样线频率直接采用调查所得频率。

1. 田间均度(U) 某种杂草在调查田块中出现的样方次数占总调查样方数的百分比。

2. 平均密度(MD) 某种杂草的平均密度(株数/平方米)为这种杂草在各调查田块样方中的密度之和与调查田块数之比。

3. 频率(F) 某种杂草的频率为这种杂草出现的田块数占总调查田块数的百分比。

为便于比较某种杂草在杂草群落中所占的比重，还得引用相对多度(RA)的概念。某种杂草的相对多度为这种杂草的相对频率(RF)，相对均度(RU)，相对密度(RD)

之和。即： $RA = RF + RU + RD$

经过在田间对两种取样方法的比较、分析，结果显示，后者能更多地调查到杂草种类，较好地反映田间的草情。尤其在农户种植面积较小时，用倒置“W”取样法有更多的机会避免在同一农户田中调查。

第四节 农田杂草综合治理

一、农田杂草综合治理的概念

农田杂草综合治理的概念是“以预防为主为指导思想，运用生态学的观点，从生物和环境关系的整体出发，本着安全、有效、经济、简易的原则，因地制宜，合理运用农业、生物、化学、物理的方法，以及其它有效的生态手段，把杂草控制在不足为害的水平，以实现增产和保护人畜健康的目的”。

农田杂草综合治理的实质是一个生态学问题。农田杂草综合治理的目的是建立优良的农业生态系统。因此，生态系统的观点，是杂草综合治理理论的核心。农田杂草综合治理就是采取综合措施，把杂草为害控制在最低程度。

二、农田杂草综合治理现状

我国农田杂草综合治理技术研究，“七五”开始列入国家科技攻关计划，由农业部和中国科学院组织、中国农业科学院植物保护研究所主持（“八五”由青海省农科院植保所主持）。“七五”期间，摸清了全国主要农业区稻、麦、棉、大豆4种作物的8种重要杂草的生物学特性和发生、消长规律，研究了耕作、轮作与化学除草相结合的农田杂草综合治理技术，奠定了我国杂草科学的研究的基

础。“八五”期间，针对稻、麦、玉米、棉花和大豆五大作物，调查了几种主要农田杂草种群动态、群落演替趋势和危害，开展了包括生态调控在内的，以开拓一次性化学除草为主体的综合防治技术研究，把我国农田杂草综合治理技术提高到了一个新水平。“九五”国家科技攻关针对我国农业生产中栽培方式的变化、化学除草剂的广泛应用、农田杂草种群和群落发生变化的特点，以六大作物轮作区为基础，以控制水稻、小麦、玉米、棉花、大豆五大作物农田草害为目标，采取化学除草与生态调控和传统措施相结合的战略，突出周年治理，在不同生态区应用种群生态学原理，采取大田调查、定点定位观测，调查土壤中杂草种子库容量、研究杂草种群动态及危害、杂草群落演替成因和规律。以安全（当茬和后作）、高效、经济为原则，以生态区主要杂草群落和优势杂草种群为对象，室内生测和田间试验、示范相结合，研究开发新除草剂品种和配套应用技术。研究包括合理密植、秸秆覆盖、优化水肥等生态调控措施对改善作物栽培管理条件，改变作物和杂草生长环境的作用，使之有利于作物增强竞争性，有利于发挥自然控草效果，降低除草剂用量。重点研究、建立分别适用于不同轮作生态区的以生态调控与一次性化学除草相结合的周年农田杂草综合治理技术体系，实现控制草害，保障作物高产，为我国耕作制度变革、推进农村科技与经济的发展和持续农业的建设发挥越来越重要的积极作用。

三、农田杂草综合治理的特点

杂草的综合治理不要求彻底消灭杂草，允许一定密度的杂草在作物田存在。这对防止水土流失，保持生态平衡，发挥自然控制的作用更为有利。

杂草综合治理强调分析杂草的密度所造成的经济损失水平与防治费用的关系。一般当杂草密度所造成的经济损失达到或超过防治所需的费用时才进行防治，这就是通常讲的经济阈值，即不达到经济阈值一般不进行防治。

杂草综合治理强调各种防治方法的有机配合。尽量采用农业耕作措施、物理防治措施。尽管化学除草是综合治理的重要措施之一，但应推行以生态调控为主，化学除草为辅的杂草综合防除体系。

杂草综合治理是以生态系统为理论依据，把作物、杂草、病虫害与光、热、风、干旱、降雨、土壤等因子有机地联系起来，其着重点是改变生态环境，提高作物生长势，恶化杂草发生的条件，通过人为干扰控制杂草的发生。

杂草综合治理反映了农业生态系统的整体观点。因为自然界是由多种多样的生物和非生物所组成的整体。农田、果园等都是自然界的一部分。综合治理正是体现了生物与生物、生物与非生物，包括人类生产活动的整体观点。在这个整体中，生物之间经常保持着一个动态的平衡关系，当农业生态系中的非生物因子、生物因子、人类的农副业活动发生变化时，往往引起杂草种群数量的增减。因此，综合治理就是要把各种防除措施有机地互相配合，取长补短，协调起来，使其经济有效地把杂草控制在经济为害水平以下，并对农业生态系内和农业生态系外不产生或少产生不良的影响。要协调好这些措施，必须有农业生态系统的整体观点。

一种作物田内有多种杂草，但作物和杂草与生境及人为生产活动之间存在着复杂的对立统一关系。在一定条件下，通常只有几种杂草具有经济重要性。要不要对其进行防除，取决于杂草种群数量的多少和可能造成的

为害程度。在什么时候,采用什么措施进行防除,则要根据当地的生境、生产需要和社会条件来决定。也就是说,在制定防除措施前,要分析人为因素(耕作制度、不同作物及相应耕作管理措施)、自然因素(土壤、气候、水肥条件)与杂草之间的关系,以及各种防除措施的优缺点。每种杂草都有其生理生态特性,当这些特性所需要的环境条件得到满足,它会猖獗发生。相反则发生很少。人们掌握了杂草的这些特性,采用不同的防除技术,便能恶化杂草的发生环境,使其有利于作物生长发育而不利杂草的发生。由于各种防治措施都有其优缺点,人们通常在杂草大量发生时,采用中耕除草或化学防除。因杂草种子在耕作层中分布的深浅不同和休眠期长短的差异,中耕作业消灭了已出苗的杂草,被翻到土壤表层的杂草种子便应运而生。长期使用单一品种除草剂,控制了主要杂草,次要杂草得到生息的机会,而上升为主要杂草,这就是年年除草,杂草年年都发生的简单原因。因此,需有针对性地采取防与治相结合的措施。从整体观点出发,采用综合治理手段,发挥各种措施的优点,克服单一措施的局限性,把杂草控制在造成危害之前。

四、农田杂草综合治理措施

农田杂草综合治理就是人类必须造就一个有利于作物生长发育,有利于保护自然资源和其他良好环境因素的生态环境。农田杂草防除是对环境的一种重要管理措施,这对农作物的安全、经济、有效的生产以及保护人类的健康和繁荣都是必不可少的。由于作物田中存在多种杂草,包括一年生、二年生或多年生的杂草,它们各有不同的生物学特性,如种子数量、传播方式、发芽期、发育周期等,显然这些杂草不可能采用单一的方法去防除,而应

当根据杂草种类、分布、生物学特性,掌握其发生消长规律,采用先进而经济的有效防治措施,充分发挥各种除草措施的优点,相辅相成,扬长避短,达到经济、安全、高效地控制杂草为害的目的。农田杂草综合防除的关键,在于把杂草在萌芽期或幼苗期,即作物生育前期,抓住主要矛盾,采取相应措施,以最少的投入,获得最佳的经济效益。

农田杂草综合治理中的防治指标的确定非常重要。防除农田杂草的主要目的是提高作物产量和品质,增加经济效益。因此,制定合理的防除指标,是科学使用除草剂的关键,是开展农田杂草综合治理的依据。按照防治指标进行防除,有利于各种防除措施的协调和农业生态系统的平衡,把杂草的危害损失控制在经济允许水平以下。

杂草对作物的危害与杂草的群落组成、密度及发生时期有关。杂草危害损失率的测定通常采用大田随机调查法,选择单一杂草或某种群落组成,并在作物植株密度相同和肥力均匀的田块进行。此法的关键是调查足够的点,选择不同的杂草密度,求出密度——产量对应值(至少5对以上)进行统计分析。另一种损失率测定的方法是进行系统的损失率测定试验,包括损失条件试验和损失过程分析。对一些可辨认的损失(受害作物不致于死亡,而且受害症状可保留到收获之前),如夹棵稗对水稻造成的危害损失计算或有无草区设计下的杂草危害损失率。

农田杂草综合治理,既要力求通过生态发挥持久的控制作用,又要讲求经济效益。因此,应该允许与经济允许水平相对应的杂草密度存在,这样不致于造成防除措施的得不偿失。经济允许损失的确定,涉及到生产水平、

产品价格、防治费用和防除效果，以及社会所能接受的水平。其原则为允许相当于防除费用的经济损失。

防除适期应以防治费用最少而防除后经济效益最高为原则，以草龄来说，应在杂草2~4叶期为防除适期，把杂草消灭在造成危害之前，而防除指标或经济阈值是在防治适期与主害期经济允许密度相应的杂草数量。由于防除指标处在为害期出现前，因此防治指标往往低于经济允许密度，但有时也等于或大于为害期的经济允许密度。其原则是尽可能考虑适应推行各种防除措施，而不要单纯从药剂防除去考虑。防除指标针对主要杂草，但要考虑到次要杂草的发生情况。防除挽回的经济损失原则上要大于防治费用，但检疫性杂草例外。防除指标必须以危害损失的数据为基础。

(一) 农业防除

农业防除措施包括轮作、选种、施用腐熟的有机肥料、清除田边、沟边、路边杂草、合理密植、淹水灭草等。

1. 轮作灭草 不同作物常有自己的伴生杂草或寄生杂草，这些杂草所需的生境与作物极相似，如扁秆藨草、稗草、异型莎草等湿生型杂草，它们所需的生境与水稻相似，因而成为水稻伴生杂草。野燕麦生物学特性与小麦相似，成为麦田的主要杂草。由于不同作物与其所伴生的杂草所要求的生境相似，如用科学的轮作倒茬，改变其生境，便可明显减轻杂草的危害。如黑龙江友谊农场在50年代末期的水旱轮作，采用麦—麦—麦—稻—稻—稻轮作，小麦播期早，出苗早，植株密，能抑制稗草的生长。另外，小麦成熟早、收割早，通过翻耕在稗草种子未成熟之前把它消灭。江苏省推广稻麦轮作，麦田改种水稻，连茬种植水稻两年后，基本上控制麦田杂草的为害。新疆生产建设兵团二十九团，采用稻棉轮作，稻田改种棉花，

田间优势种杂草扁秆藨草的发生大大减少。

2. 精选种子 杂草种子传播的途径之一是随作物种子传播，如狗尾草种子随糜子、谷子的种子传播；稗草种子随稻谷子传播；菟丝子随着大豆、苜蓿种子传播；播野燕麦、猪殃殃、毒麦、王不留行种子随着小麦、亚麻种子传播等，这种传播往往随着种子的长途调动，人为地将杂草种子远距离扩散。为了减少杂草种子的传播扩散，播种前对作物种子进行精选，清除混杂在作物种子中的杂草种子，是一种经济有效的方法。精选种子的方法很多，如良种繁殖单位通过良种圃，人工穗选、粒选、汰除草籽；生产单位在播种前通过晒种、风选、筛选、盐水选、泥水选、硫酸铵水选种等方法汰除草籽。

3. 施用腐熟的厩肥 厩肥是农家的主要有机肥料。这些肥料有牲畜过腹的圈粪肥，有杂草、秸秆沤制的堆肥，也有饲料残渣、粮油加工的下脚料等，其中程度不同的带有一些杂草种子。如牲畜吃了带有野燕麦的饲草，排出的粪便中野燕麦种子仍有发芽能力。如果这些肥料不经过腐熟而施入田间，所带的杂草种子也带到田间萌发生长，继续造成为害。新疆生产建设兵团农九师调查，每公斤秸秆中有 8~600 粒野燕麦，有的高达 841 粒。一八六团每公顷施用腐熟有机肥 37.5 公斤，每公顷有野燕麦 585 万株，单产只有 1 312.5 公斤，而未施有机肥的同一块麦田，单产达 4 620 公斤。因此，堆肥或厩肥必须经过 50℃~70℃ 高温堆沤处理，闷死或烧死混在肥料中的杂草种子，然后方可施入田中。

4. 清除田边、路边、沟渠边杂草 田边、路边、沟边、渠埂杂草也是田间杂草的来源之一，如农田四周杂草不清除，杂草种子、地下根茎等能以每年 1~3 米的速度向田间扩散，几年内就会遍布全田。路边、沟边的杂草种子

也可通过人为活动或牲畜、风力带入田间。灌溉渠内杂草种子还可通过流水带入田间。为防止田外杂草向田内扩散蔓延，必须认真的清除田边、路边、沟渠边的杂草，特别是在杂草种子未成熟之前，采取防除措施，予以清除，防止扩散。

5. 合理密植，以密控草 农田杂草以其旺盛的长势与作物争水、争肥、争光。因此，科学地合理密植，能加速作物的封行进程，利用作物自身的群体优势抑制杂草的生长，即以密控草，可以收到较好的防除效果。如近年来不少地区推广的棉花高密度栽培，可以控制棉田中后期杂草的生长。

6. 深水淹稗 该措施在北方稻田中采用的时间较久，在大面积种植水稻的地区，采用这一方法是有效的。稗草在幼苗1~3叶期，因其种子小，贮存养分少，幼苗耐水淹的能力特别弱，在水层里6~7天就失去生命力。一般在稻草初出苗后1~3叶期，采用10厘米~15厘米深水层淹稗，即可消灭70%~80%的稗草。

(二)物理防除

1. 机械防除 采用各种农业机械，包括手工工具和机力工具，在不同季节采用不同方法消灭田间不同时期的杂草。特别是机械防除农田杂草是田间管理的一项重要措施。我国幅员辽阔，各地的农副业生境，包括光、热、水、土等生态因素差异较大。作物种类和耕作制度亦不相同，如东北和西北的旱田耕作制度以垄作为主，伏耕和秋耕是主要措施，而南方一年两熟、一年三熟或两年三熟的地区各有自己的耕作体系。虽然耕作制度不同，但消灭杂草的目的是一致的。其方法如下：

(1) 深耕 深耕是防除多年生杂草如问荆、苣荬菜、刺儿菜、田旋花、芦苇、小叶樟等杂草的有效措施之一。

土壤经多次耕翻后，多年生杂草的数量逐渐减少或长势衰退，从而受到控制。深翻对防除一年生杂草效果更快更好，同时通过深耕晒田、促进微生物活性，固定空气中的氮素，增加土壤营养。农民从长期实践中总结出“头伏耕地一碗油，二伏耕地半碗油”的道理就在于此。按深耕的季节可分为春耕、伏耕和秋耕。

(2) 春耕 是指从土壤解冻到春播前一段时间内的耕翻地作业，它能有效地消灭越冬杂草和早春出苗的杂草，同时将前一年散落于土表的杂草种子通过深耕埋于土壤深层，使其当年不能萌发出苗。但在杂草种子数量较多的土壤中，经春季耕翻，将原来深埋在土壤深层中的杂草种子翻于地表，又造成当年杂草大量发芽出苗。因此，为了既能消灭播前杂草，又不将土壤深层杂草种子翻到土表，春耕深度应适当浅一些。新疆昭苏地区农民有春耕习惯，即在早春深耕耙地，在春播油菜地待野燕麦大量出苗后再进行浅耕灭草，然后播种，称这种方法为“春耕诱法灭草”。此外，在保证适期播种的前提下，也可适当推迟春耕时间。

(3) 伏耕 伏耕是指在夏季作物如小麦、大麦、元麦、油菜、蚕豆、亚麻、春玉米、早稻收获后的茬地、6~8月份进行耕翻地作业，开垦荒地也应在高温多雨季节耕翻。伏耕的适耕期一般南方地区较短，北方地区较长。抢种秋茬作物适耕期较短，休闲地较长。北方地区小麦、亚麻收获后，田间杂草迅速生长，草籽成熟脱落，伏耕过晚会降低灭草效果。黑龙江地区麦茬的伏耕，通常采用机械平翻或大犁垄翻，称为“搅麦茬”。垄翻于麦收后翻两遍，相隔时间为十天左右。西北地区于麦收后，采用大犁垄翻，在麦收后冬有耕翻2~3次，其灭草效果很好。南方地区多进行浅耕、耙地、这样既有利于灭草保苗，又有利于

抢季节播种。

6~8月份气温较高，雨水较多，北方地区杂草均可萌发出苗，南方地区的杂草正在生长季节，这时进行伏耕，不论是新垦荒地，还是休闲地，都可将杂草翻埋于土中，不仅增加土壤养分，而且灭草效果好，特别是对多年生以根茎繁殖的芦苇、小叶莘、三棱草、香蒲、田旋花等，通过深耕将其根茎切断翻至地表，经风吹日晒，使其失去发芽能力而死亡，受伤的根茎埋入土壤深层，经灌水后闷死腐烂。

(4) 秋耕 秋耕是指9~10月份秋作物如玉米、大豆、棉花、高粱等收获后的茬地进行的耕翻作业。秋耕主要可以有效消灭春、夏季出苗的残草、越冬杂草和多年生杂草，可在前茬收割后立即进行，不仅可把一年生杂草消灭在种子未成熟前，同时也可消灭越年生杂草和多年生杂草，若秋耕过晚，一年生杂草种子成熟，反而会增加田间杂草数量。

耕茬、少耕和免耕 北方不少地区有深浅轮番耕作的习惯，即在农作物收获后先深耕20厘米，经1~2周后再进行8~10厘米深高质量耙茬，能收到灭草增产的效果。不少地区在收后先用圆片耙切地进行浅耕灭茬，然后进行20厘米左右深耕，可将地表的杂草及残枝落叶一并翻入土壤深层。近十多年来，不少地区推广少耕法和免耕法。从生产实践出发，在近期内耕茬即浅耕或免耕可使杂草种子留在地表浅土层中，增加杂草种子出苗的机会，但在杂草大部分出土后，通过耕作或化学除草集中防治，则收效更大。进行少耕或免耕必须与耕作和化学除草密切配合，否则会造成严重的草害。从长远看，浅耕或免耕既可减少土壤中杂草种子的感染程度，又可使土壤深层的杂草种子不能出土，同时减少土壤流失，起到保

持水土和灭草的双重效果。

(5) 苗前耙地和苗期中耕灭草 播前耙地或播后苗前耙地，苗期中耕是疏松土壤、提高地温、防止土壤水分蒸发、促进作物生长发育和消灭杂草的重要方法之一。新疆生产建设兵团不少单位在春季解冻后麦田进行浅耙，或在玉米播前及播后苗前浅耙，灭草效果一般达31.7%~69.6%。在水稻种植区插秧前先进水后整地并在苗前进行耢地裸草，既消灭了杂草，草腐烂后又可肥田。北方地区的中耕作物如玉米、甜菜、向日葵等，在苗期进行人工或机械中耕，一则灭草，二则松土保墒。中耕灭草的适期是草龄越小越好，中耕次数一般2~3次为宜，将一年生杂草消灭在结实之前，使散落在田间的杂草种子逐年减少。对多年生杂草切断其地下根茎，削弱其积蓄养分的能力，使其长势逐年衰竭而死亡。

2. 火焰除草 近代的火焰除草则采用火焰发射器用来选择性或非选择性消灭杂草。通过火焰使杂草细胞原生质凝固，造成其死亡。大多数植物活细胞的原生质凝结点为45℃~55℃，而干燥种子抗性比绿色植物要强。

通常利用火焰发射器或蒸汽防除铁路及公路两旁的杂草。火焰除草还可用来消灭局部感染的杂草，如苜蓿地的菟丝子等。由于洋葱、棉花、玉米幼株对火焰的抵抗性比大多数杂草幼苗强，所以在这些作物地可用火焰选择性防除杂草。在作物播种前，可在拖拉机上安装火焰喷射器，进行全面除草后再播种作物。火焰除草防除一年生杂草的效果优于多年生杂草，但往往导致土壤中腐殖质含量下降以及作物生育期土壤中养分含量下降。因此，火焰除草目前应用并不普遍，作为一种特殊的除草方法，在特殊的条件下采用。在有条件的情况下，可在田边

地头用高压蒸汽锅炉提供蒸汽，经输汽管将高压蒸汽导入经覆盖的田中，用高压蒸汽可杀死表土层中的杂草种子及多年生杂草的地下繁殖器官。

3. 电力除草 人们早在 100 年前就曾设想利用电力防除杂草，但直到最近随着电力技术的发展，才开始逐步迈向应用性阶段。美国 Lasco 公司经过多年的研究，设计了一种防除作物田阔叶杂草的电力放电系统，由拖拉机带动，通过拖拉机上的安全装置控制电能的输出，其电力约 50 千瓦。此放电系统的一端通过犁刀与土壤接触，另一端通过操作器与高于作物的杂草接触，当杂草接触放电系统后，电流通过杂草茎引起细胞壁灼伤，并在数日内迅速干枯。这种电力除草装置作业幅宽 7 米，拖拉机时速约 11.27 公里，适用于防除甜菜、大豆、棉花等矮杆作物田中的反枝苋、藜、苘麻、野向日葵等，但只能杀死高于作物的杂草植株，而不能使全株死亡。田间大面积鉴定证明，作业 1、2 或 3 次后，甜菜产量相当于人工除草区的 82%、87% 与 98%。

在上述机引电力除草的基础上，又设计出了拖拉机牵引的 8 千瓦电力除草装置以及手持 20 千瓦电力除草器，用来防治一年生野生甜菜 *Beta maritima*，防治效果可达 75%。

4. 覆盖除草 目前覆盖物防治杂草主要是通过覆盖防止光的透入，抑制光合作用，造成杂草幼苗残损并防止其再生和喜光性杂草种子的萌发，一般用于作物行间及果树树干周围。所用材料有秸秆、青草与干草、有机肥料、稻草等，覆盖厚度以不透光为宜，防除多年生杂草比防治一年生杂草厚。观赏植物栽植后用树皮、刨花或木炭覆盖，能有效防除一年生杂草，防除效果达 95% ~ 97%，对土壤水分无不良影响。

近年来北方地区广泛应用塑料薄膜进行覆盖，不仅增温保水，而且借助于膜内的高温可以发挥除草作用，既用于水稻育秧，又用于棉花、蔬菜、玉米、甜菜、烟草等多种作物，是一项重要的增产措施。

(三)生物防除

1. 生物防除的概念 生物防除是农田杂草综合治理中的一项措施。利用生物灭草，既可减少除草剂对环境的污染，又有利于生态环境，近年来已日益引起各国的重视。国内外研究利用动物、昆虫、真菌、细菌、病毒等防除农田杂草，积累了不少宝贵的经验，有些项目已大面积推广应用，取得显著效果。“九五”期间，农业部为此设立了专题项目。

杂草生物防除是利用杂草的天敌如动物、昆虫、病原微生物等将杂草种群密度压低到经济允许损失程度以下。凡利用生物学方法控制杂草的为害，均属于杂草生物防除的范围。在长期的进化过程中，生物之间形成了一种相互依存、相互制约的自然平衡。实际上，昆虫、微生物控制植物群体是一个经历了无数世纪的自然过程。由于农业生产的发展，才促使人们有意识地利用这一途径来防除杂草。当代的杂草生物防治，是在整个农业生态系统中尽可能通过各种手段来增殖杂草本身所固有的天敌来控制杂草，把杂草天敌的种群调整到足以控制杂草发生的程度。早期夏威夷从墨西哥引入天敌昆虫防治马樱丹开创了杂草生物防治的先例，随后澳大利亚用天敌昆虫防治仙人掌获得成功。近年来，随着近代天敌行为昆虫学、遗传学、种群生态学及昆虫营养学等学科的发展，从而将生物防治推向一个的新的高度。

2. 农田杂草生物防治的过去和现在 据朱利恩(Julien)1987年编著的《杂草生物防治的作用物及其目标

杂草的世界目录》中记载,至1985年止,世界各国用外来无脊椎动物和真菌控制杂草的项目有727项,利用外来脊椎动物的项目有67项,利用本地生物的项目有57项。人类有意识地引进天敌防治杂草第一个最早的例证是1795年印度从巴西将胭脂虫 *Dactylopius ceylonicus* 引入到印度北部防除仙人掌 *Opuntia vulgaris*, 1836~1838年引入印度南部,1865年后由印度引入斯里兰卡,然后到智利,控制仙人掌均获成功。澳大利亚1925年从阿根廷引进仙人掌穿孔螟蛾 *Cactoblastis cactorum*, 到1934年90%仙人掌被该螟蛾幼虫取食,同时根腐细菌从幼虫蛀孔进入,最终在2400万公顷地上,消灭了两种仙人掌。

3. 生物防除的措施

(1) 以菌灭草 鲁保一号 *Colletotrichum gloeos* 是从感病的菟丝子植株上分离培养出来的真菌分生孢子,其在适宜的温度下吸水萌发,长出侵染丝,穿透菟丝子表皮组织进入内部与分泌毒汁,使菟丝子感病而死。当大豆菟丝子缠绕大豆时以每毫升菌液含孢子2000万~3000万个,在晴天早晚或阴天、小雨天喷雾,可以有效地防治菟丝子。镰刀菌 *Fusarium orobanche* 是新疆哈密动植物检疫站从自然罹病的埃及列当上分离获得的一种寄生真菌,将其制成生防菌F798,采用割茎涂液的方法防治埃及列当,收到95%以上的效果。

(2) 以虫灭草 中国农业科学院在防治豚草和水葫芦方面取得了成功的经验。湖北五三农垦科研所在当地发现取食香附子的尖翅小卷蛾 *Bactra phaeopis*,初孵幼虫沿香附子叶背行至心叶,吐丝并蛀入嫩心,使心叶失绿萎蔫枯死,继而蛀入鳞茎,咬断输导组织,致使整株死亡。新疆生产建设兵团三十团农场研究当地蛀害扁秆藨草的尖翅小卷蛾 *Bactra bactrana*,喜食扁秆藨草的幼嫩心叶和

花苞而后钻入茎内蛀食,也可蛀入球茎内,自然侵蛀率很高。黑龙江建三江农场发现专食鸭趾草的盾负泥虫 *Lemascufelaris kraatz* 和专食蓼科杂草的褐地甲 *Galeracella grisea*。吉林四平农垦科研所研究取食眼子菜叶片的斑水螟 *Nympnula mttzznpfulis*。江苏农学院植保系对嗜食黄花蒿的尖翅筒喙象 *Linns acutipennis* 进行了观察。目前国内外有关昆虫灭草的例子很多,为生物灭草提供了很多很好的经验。

(3) 利用动物灭草 我国南方稻田有养鸭灭草的习惯,水稻移栽一星期后,赶鸭群入田,可吃掉部分草芽。80年代以来,浙江、江苏、湖北、四川、安徽等省开展养鱼除草,效果显著。鱼类中以草鱼食草量最大,稻田每平方米中放养5厘米的草鱼2尾,可有效地抑制稻田多种杂草。稻田混养草鱼、鲤鱼、鲢鱼,对稻田中的15科22种杂草都有控制作用。在棉田中待棉株生长较高时,可放鹅、鸭进田食禾本科杂草,烟草田放鹅、鸭可取食向日葵列当。

(四) 化学防除

我国从1956年开始进行化学除草试验至今,农田化学除草已有40余年的历史。1962年由国家科委牵头,组织农垦部、化工部、农业部、中国科学院和农业科研教学单位成立了“全国化学除草领导小组”,指导化学除草剂的研制、试验和使用技术研究,以及技术培训等工作,至1967年全国化学除草面积达33万公顷,70年代中期化学除草面积达170万公顷。随着70年代末国外新型高效除草剂的引进和应用,我国化学除草面积进一步扩大,至80年代中后期化学除草面积为1300多公顷。90年代以来,尤其是一次性化学除草技术的推广和应用,农村种植业结构的调整,第三产业的兴起,农田化学除草日益为

广大农民所接受，化学除草面积在 90 年代初期猛增至 2 300 万公顷，至“八五”末，实现了化学除草面积翻一番的目标，化学除草面积已达 4 000 多万公顷，占全国作物播种面积的四分之一以上。

随着化学除草面积的持续扩大，国产除草剂品种也得到不断增长。据统计，目前我国生产的除草剂原药品种已有 47 个，单剂和混剂 200 多个。近年来，除草剂生产持续增长，1992 年到 1995 年间，每年除草剂生产增长各达 17.67%、23.17%、18.18% 和 14.66%，而且生产能力不断扩大，1998 年的生产能力已由 1991 年的 1.98 万吨（有效成分）增长到 5.5 万吨。1995 年以来，草甘膦、乙草胺和丁草胺的年生产力均已超过 5 000 吨。

（五）生态调控

农田杂草生态调控就是从农田生态系的观点出发，合理运用各种有效措施，创造有利于作物生长的农田生态环境，增强作物群体生长优势，发挥作物自身控草作用，周年内抑制杂草生长，减轻杂草为害。

通过在农田应用裂区设计和二次正交组合设计，进行多因素生态调控研究，表明选用优良品种、合理密植、优化水肥、深水控草、壮秧控草、秸秆覆盖等生态调控与一次性化学除草相结合的配套技术既能增强作物群体的竞争力，又能明显地抑制农田杂草的密度和生长势，减轻杂草的危害，还有利于降低化学除草剂用量。这一技术既突出了控制周年内农田杂草的重点，又体现了综合治理的原则。

（六）植物检疫

植物检疫是防止国内外危险性杂草传播的主要手段，通过农产品检疫防止国外危险性杂草进入我国，同时也要防止省与省之间、地区与地区之间危险性杂草的传

播。因此，加强危险性杂草的检疫工作是防除杂草的重要措施。

在我国，杂草传播蔓延的例子很多，野燕麦在 60 年代初期仅限于青海、甘肃、黑龙江等省的部分地区，随着各省大量调种而未加严格检疫，致使野燕麦传播到全国十多个省、市、自治区；毒麦在 50 年代仅在黑龙江省个别麦田中混生，随小麦、亚麻种子的调运推广，也渐渐扩散。

第五节 抗药性杂草及其治理

自本世纪 40 年代以来，除草剂在农田中用来防除杂草，既省时又省力。农田化学除草已成为全球性现代化农业生产的重要组成部分。从全世界来看，除草剂在过去和当今农田杂草防除中占有举足轻重的作用。除草剂的长期和大面积使用给农民带来巨大好处，但其较不明显的负效应之一通过历年累积表现出来，即抗药性问题逐渐突出。

杂草抗药性是全球关注的严重问题。北美和西欧对除草剂的依赖性很大，用药历史悠久，抗药性问题比较突出。50 年代首先在欧洲发现抗 2, 4 - 滴的铺散鸭跖草 *Commelina diffusa* 和野胡萝卜 *Daucus carota* 后，70 年代中期以来，抗药性杂草种类一直呈直线上升趋势。目前全球已有 185 种杂草对化学除草剂产生了抗药性，其中对三氮苯类除草剂具有抗性的杂草就有 60 种，有 35 种杂草对乙酰乳酸合成酶 (ALS) 抑制剂产生了抗药性，13 种杂草对苯氧羧酸类除草剂产生了抗药性。从产生抗药性的杂草种类来看，产生抗药性的双子叶杂草要多于单子叶杂草。最不幸的是，1996 年在澳大利亚已出现了对草

甘膦具有抗性的瑞士黑麦草 *Lolium rigidum*。

为解决抗性杂草问题，国际上专门成立了治理除草剂抗性的组织，如由各大主要化学农药公司（如：孟山都、氰胺、杜邦、捷利康、罗门哈斯等）组成的除草剂抗性治理委员会（Herbicide Resistance Action Committee），专门支持、资助除草剂抗性治理研究，并积极参与有关研究。

70年代末、80年代初我国除草剂应用就已初具规模。虽然品种繁多，交替使用及混剂的使用都在一定程度上延缓了抗性的发展，但国内除草剂用量正在上升，尤其对于防除效果呈下降趋势的农药，其继续使用势必造成抗性杂草的发生。有关杂草抗性问题在我国仅有几例报道：稗草对禾草丹和丁草胺、日本看麦娘和莎草对绿麦隆、台湾的 *Conyza sumatrensis* 对百草枯均在不同程度上产生了抗性。钱希在实践中也曾注意到牛筋草对氟乐灵；猪殃殃、麦家公对2,4-滴以及扁秆藨草对2甲4氯（MCPA）产生抗性的种种现象。唐正辉等发现2,4-滴对藜的药效降低现象。

一、研究抗药性杂草的几个概念

1. 作用部位 这是指除草剂在植物体内发生生化反应的部位。人们对一些除草剂的作用部位已研究得很清楚，但仍不了解另一些除草剂的作用部位。人们所清楚的除草剂作用部位都是植物生长发育过程中起重要作用的酶系和蛋白质。一些除草剂有多个作用部位。

2. 代谢 代谢指的是在植物体内发生的使除草剂毒性降低的生物化学反应。作物和杂草间对除草剂不同的代谢速率正是作物对除草剂获得选择性的重要基础，一种代谢过程可能会影响不同类别的除草剂。

3. 除草剂类别 人们根据除草剂的化学结构和除

草活性将除草剂进行分类。不同类别的除草剂可能具有相同的作用部位，因而表现出相似的除草剂活性和使杂草表现相似的受害特征。

4. 生物型 生物型是一个生物种群中与群体不同的生物小种。例如，抗普施特的玉米杂交系先锋3377IR就是该杂交系中的生物型，抗莠去津的藜是藜种群中的生物型。多数情况下，用普通的观察方法是无法识别特定生物型的。

5. 选择强度 选择强度是作物系统中杂草防治方法使特定除草剂通过竞争优势使一种杂草或作物产生抗药性能力的程度。

6. 敏感性 指的是在推荐剂量下，一种杂草或作物的生物型对除草剂的敏感度。

7. 耐药性 耐药性是指在一定的除草剂浓度下植物的生长部分减弱或部分存活的一种反应，该浓度正常情况下对敏感种群有100%的防效。

8. 抗性 除草剂抗性治理委员会(HRAC)认为：抗性指在一个给定的杂草种群中，除草剂处理后仍存活的杂草生物型自然产生的遗传能力，在使用正常(或推荐)剂量下，能有效地控制该杂草种群。抗药性的形成是一个过程，经由稀少的抗药性个体发展成为抗药性种群。

9. 交互抗性 交互抗性是指由于单一抗性机制的存在，一个杂草生物型对两种或多种除草剂产生抗性的现象。交互抗性可在具有相同或不同作用部位的或不同类型的除草剂中出现。例如，一种除草剂在一农田长期使用后对这种除草剂产生抗药性的杂草生物型对另一从未在该农田使用过的另一种除草剂也具有抗药性。

10. 除草剂多抗性 指一种杂草或作物生物型对多

种除草剂产生了抗药性，即抗性植物具有两个或多个不同抗性机制的情形，而且这种抗性是由不同的选择过程而形成的。例如一种杂草或作物生物型对除草剂 A 产生抗性后，换用除草剂 B，这种生物型又对除草剂 B 产生了抗性，即通过不同的选择，这种生物型对 A 和 B 这两种除草剂都产生了抗性。

二、抗药性杂草的形成与发展

1. 前适应基因假说 借用昆虫抗药性“前适应学说”一词，即杂草种群内本来就携带有抗性基因，只是其频率很低。在杂草种群中大面积使用除草剂（选择因子）之前，抗性特性就存在，只是没有检测到。如果地肤这种杂草对 ALS 抑制剂的抗性突变频率为 10^{-7} ，地肤密度为每公顷 10 亿株，那么在 100 公顷农田中仅有 10 株抗性个体。这样，检测到抗性是不大可能的。如果在没有除草剂的选择下，每代以同样的突变频率发生，将在 1 000 代以后才发展到每平方米有一株抗性个体。然而，在除草剂的连续选择下，抗性生物型的比例在几代以后会迅速增加到一个显著水平。除草剂连续选择 3~10 代，遗传抗性等位基因在该种群中逐渐占据主导地位，即形成了抗性种群。抗 ALS 抑制剂杂草生物型与敏感性生物型竞争能力相当，其适合度约为 1。可以估算，设除草剂对敏感种群的防效为 99%，抗性与敏感存活体生长发育不受药剂影响，每株存活体结出的有效种子为 100 粒，供下一代发芽生长，只要连续四年用药，在给定种群内抗性植株与敏感植株的比例由原来的 $1:10^7$ 戏剧性地变为 $10:1$ ，即抗性个体占绝大多数（91%），抗性种群便形成了。

通常在选择压下，抗性植株比敏感性植株生长得更好。这会加剧抗性与敏感个体之间的比例变化。

当某种外在因子对植物有作用时，植物会产生“记忆”。当环境变化时，记忆被隐性保留下，如可能某一基因由于长期不表达功能（环境条件不成熟），而其启动子被封闭或阻遏。只有当缓慢持续作用打开启动子，基因被表达成功能性蛋白质，此时记忆恢复。

而 ALS 抑制剂抗性机制，除了靶标位点突变外，杂草体内解毒酶活性提高，使 ALS 抑制剂代谢失活。解毒酶活性提高就是除草剂长期缓慢作用的结果。

前适应基因假说认为，杂草种群中本来就存在抗性或耐药性个体，由于除草剂帮助逐渐淘汰了敏感个体，使抗性个体在群体中的比例渐进增长，到一定累积程度宏观上便表现为形成抗性种群。

2. 基因突变形成抗性假说 一个种群在使用除草剂选择以前，并不含有抗性等位基因，种群通过突变获得抗性的机会大小依赖于突变频率与种群大小两个因素的联合作用。在田间使用除草剂时，靶标杂草受药不均匀，形成了局部的亚致死剂量。如三嗪类除草剂以亚致死剂量应用到敏感杂草——藜 *Chenopodium album* 基因型上，结果其后代抗三嗪类特性与高抗性植株相似，这意味着在某一遗传型上低剂量除草剂能诱导三嗪类抗性。突变率是一个可变的因素，在除草剂胁迫下促进突变，增加遗传变异。但没有进一步证据表明药剂直接作用产生突变。基因表达频率改变的机制构成了基因表达调控中固有的随机成分，导致多态现象和最后种群异质性的产生。种群中适应生存环境的那些突变体逐渐地被选择出来，从而形成抗性种群。

田间使用时亚致死剂量的存在，诱导抗性突变发生，而致死剂量成为选择因子，杀死敏感个体，从而逐渐累积

形成抗性种群。

三、抗药性杂草治理

杂草种群从敏感型向抗性型转变的过程，实际上是由于在这种杂草中存在着能使这种杂草耐受一种特定除草剂的遗传基因。但是，人们并不清楚这种不同的基因位于何处。除草剂并没有被认为能直接导致植物产生抗性的基因突变。因此，在自然种群中存在着为数很少的抗性生物型，使用一种除草剂后，多数敏感个别被杀死，那些少数的抗性个体得以幸存并繁衍种子。如果继续使用同种除草剂，那些具抗性的杂草再繁殖，使得抗性种群不断扩大。

(一)降低选择强度是预防抗药性的关键

从一定程度上讲，选择强度就像一个过滤器，滤去敏感杂草生物型，留下抗性生物型。从定义上讲，除草剂是能有效杀死杂草的化合物，因此，除草剂在杂草上有发挥选择压的潜力。对一种除草剂越敏感的杂草种类，在其种类上所具有的选择压就越高。事实是，在一特定的农田，具有相同作用部位的除草剂用得越频繁，杂草对这种或这类除草剂的选择频率也越高。

那么有人会认为，用这么高效的除草剂，抗除草剂生物型的数量会很容易观察到。事实并非如此，通常，只有当抗性生物型占群体的30%左右时才能被监测到。在使用一种除草剂防除杂草的头几年里，抗性生物型的比例是很低的(不足种群的1%)。只要继续使用这种除草剂，抗性生物型就会繁殖，它在种群中的比例就会上升。在同一个生长季节，一种除草剂从能非常好地防除一种杂草变得对这种杂草几乎失去防除作用的现象也是很普通的。除草效果逐渐变差的现象并不多见。研究表明，重复

使用绿磺隆后，地肤种群中抗性生物型比例迅速上升。在田间条件下，连续3~5年使用磺酰脲类除草剂，抗性杂草就会出现。而抗三氯苯类除草剂的杂草，往往要在重复使用这类除草剂7年以上才能出现。因此，连续几年以上重复使用一种除草剂就可以导致杂草抗药性问题，当然也就取决于这个杂草种群中抗性生物型本来所占的比例。

(二) 避免和治理抗药性杂草的策略

美国北方杂草学会除草剂抗性委员会建立了下述避免和治理抗药性杂草生物型的策略。需要明确的是依赖于任何一种策略都不可能获得足以良好的效果。如果农场主希望避免或治理抗除草剂杂草的问题，就必须将不同的策略有机地结合起来。

只在完全必要时才使用除草剂。在有条件的情况下，应根据经济阈值来确定是否使用化学除草剂。

轮换使用作用机制不同的除草剂。不要在同一地块连续两次使用，连续两次使用包括两年内每年使用一次或在同一生长季节使用两次作用部位相同的除草剂，除非在治理技术体系中包含其它有效的措施。

使用作用机制不同的除草剂混剂。混剂中的各个除草剂必须对次要杂草有持续活性。请牢记一点，已具有抗药性的杂草往往过去都不是主要防治对象。或许使用明显扩大杀草谱的混剂会比较昂贵，但是许多价廉的混剂可能已不能发挥所期望的效果。

轮种作物，尤其是轮种生活史（生育期）不同的作物。同时，在轮作田防治相同杂草时不要使用作用部位相同的除草剂。

在种植抗除草剂作物新品种时也不能连续两次使用作用方式相同的除草剂。

在可能的条件下，进行化学除草时应结合其它机械措施，如中耕。在不存在土壤流失的潜在危险时，杂草治理体系中应包括主要耕作措施。

经常性地进行田间杂草调查和识别，及时了解田间杂草种群的变化以控制可能产生抗性杂草的扩散和传播。

在耕具和收割机械从已有抗性杂草的田块进行到其它田块之前，对其进行彻底清扫。

在铁路沿线、公共场所、高速公路等地应鼓励使用杂草治理策略而不用彻底清除的措施，以降低诱发杂草产生抗药性的“选择压力”，因为在这些地方选择出的抗性杂草往往能再传入农田。

抗药性杂草在发展中国家的广泛发生几乎是不可避免的。事实上，在发展中国家抗药性杂草已经出现，例如在肯尼亚发现了抗百草枯的狼毒，在中美洲发现了抗敌稗的稗草，在印度发现了抗异丙隆的小子虉草 *Phalaris minor*，在哥斯达黎加发现了抗咪唑乙烟酸的牛筋草。莫斯 (Moss) 等人在研究了许多关于抗药性杂草的观点后认为，杂草抗药性的发展和形成是因为人们在防除杂草时过于依赖同样作用方式的除草剂。化学除草失去作用的后果是由于杂草的竞争致使作物产量降低，更常见的后果是增加杂草防治费用。现在还没有一个通用的防止抗药性杂草形成的策略，但是非常清楚的一点是在防除杂草时的确应采取不同方法，尤其是化学除草和非化学除草方法的有机结合。当发展中国家从非化学除草向化学除草过渡时，最好能保持传统的除草技术以减少除草剂的使用，争取避免抗药性杂草的出现。

为了及时了解田间杂草防除动态，合理使用农药，监测杂草抗药性是很重要的。为此，建立一套快速、有效、

准确、经济的监测方法,使抗药性杂草在形成之初就得到治理,具有重要意义。

第六节 我国杂草科学研究的发展方向

我国是一个农业大国和人口大国,我国杂草科学的研究起步晚,与植物病虫害研究相比,与国外杂草科学的研究相比还存在不小差距。今后的努力方向为:

全面、系统地研究粮、棉、油、菜、果、茶及特种作物田影响杂草发生消长的因素、监测杂草种群动态、群落演替,并对杂草发生危害进行监测和中长期预测,以提高草害综合治理的预见性和主动性。

研究作物—农田杂草—环境间的互作关系,研究杂草复合危害,制定杂草防治指标,研究农田生态环境、作物品种和栽培措施对杂草发生危害的控制作用,通过选用竞争力强的作物品种,优化作物栽培措施,优化水肥管理,创造利于作物生长发育的农田生态环境,达到提高作物群体生长势,增强作物自身竞争力,持续控制杂草为害。

加强传统的生物防治技术研究,尤其加强生物除草剂的研制、开发,同时积极开展异株克生化合物研究探索,为生态农业提供杂草综合治理新技术、新措施,开辟杂草治理新途径,并使其逐步产业化。

研究适用于特种作物、新型栽培措施、对作物安全、持效期适中、杀草谱广、选择性强的系列除草剂及其科学合理的配套应用技术。强化“安全、经济、高效”意识,强调改进施药技术,严格避免漏喷、重喷,确保均匀用药。

抗药性杂草的出现,对全球农业生产产生了不可忽视的威胁。必须根据除草剂应用、杂草种子库动态、杂草

种群动态和群落演替，运用常规生物测定技术和高新分子生物学技术开展杂草抗药性监测与治理方面的研究。针对可能出现的抗药性杂草、已出现的抗药性杂草，尤其是多抗性和交互抗性杂草，研究延缓抗药性和抗药性杂草治理技术，制定农田除草剂应用规范。

随着分子生物学在农业领域的影响的日益深入，抗除草剂转基因作物在我国将不断问世。因此，必须结合国际标准，建立适用于我国农业生产系统的环境安全性评价标准，种植技术措施，保护环境，保护生态多样性。

运用日新月异的计算机网络技术和信息技术，组建农田杂草综合治理专家支持系统，农田杂草识别系统。

严酷的事实使人们清醒地认识到，杂草综合治理才是农田杂草可持续治理的出路。建立分别适用于不同生态区以生态调控为基础的草害持续治理体系，使其关键技术产业化、系列化、计算机网络化，最终实现农田无草害化，使杂草科学的研究在 21 世纪可持续发展的生态农业中发挥更重要的作用，使我国杂草科学的研究和农田杂草综合治理技术水平达到国际同类研究先进水平。



第5章

21世纪学科发展丛书

鼠害——作物的“灰色窃贼”

第一节 鼠害对生产的影响

害鼠主要偷窃作物的种子、果实及其地下和地上部分等，造成农业减产、农户储粮损失，故有“灰色窃贼”之称。中国是一个鼠害多灾国家，农区常见鼠种有30种，其中重要的鼠种有黑线姬鼠、大仓鼠、黄毛鼠、中华鼢鼠、褐家鼠和小家鼠等。80年代初以来，这些鼠类种群密度逐年上升，并成为影响农业丰收和农户粮食安全储存的一个突出问题。进入90年代，全国每年受威胁的作物面积达2500多公顷，受害农户约1.5亿户，平均每年损失粮食在1000万吨以上。中国政府从1983年开始加强了控制农区鼠害项目的实施，在农业部的领导和有关部门的支持下，全国植保总站（现全国农业技术推广服务中心）在全国建立了害鼠监测网络，同时加强了春秋季节大规模统一灭鼠等措施，通过推广慢性抗凝血杀鼠剂等防治技术，对减少作物损失取得了明显效果。

在鼠害研究方面，国家自“七五”开始将农田重大害鼠成灾规律及综合防治技术研究列入重点科技攻关计

划,开展协作攻关研究,对不同生态区域的主要害鼠优势种的发生规律、生物学特性、预测预报以及综合防治等技术进行了系统研究,取得了显著进展。

一、鼠类、害鼠与鼠害的含义

鼠类是鼠形类动物的泛称,狭义的鼠类是指对人类有害的啮齿类或其它鼠形动物类群,鼠类俗称“老鼠”或“耗子”。广义的鼠类应包括所有的啮齿类动物和食虫目动物,而啮齿类动物(Glires)通常又包括啮齿目(Rodentia)和兔形目(Lagomorpha)两个目。全世界已知哺乳动物有4 321种(Corbet, 1986),其中啮齿目1 738种,兔形目70多种,食虫目350多种。我国目前已知啮齿类动物有190余种(其中兔形目20余种),食虫目9种。因此,鼠类动物是哺乳动物中种类最多、分布最广、数量最大的类群。

害鼠是指对人类直接或间接造成危害的鼠种类群。鼠类不一定是害鼠,而害鼠是鼠类的重要组成部分。在我国目前已知的190多种鼠类动物(啮齿类)中,大约有80%以上不同程度地对人类及其生存环境造成直接的危害或潜在的威胁。目前对农作物构成为害的主要有30多种,其中发生面积较大,为害频繁的种类有10余种,主要是黑线姬鼠、黄毛鼠、黑线仓鼠、大仓鼠、鼢鼠、沙鼠、达乌尔黄鼠、花鼠、板齿鼠、褐家鼠、黄胸鼠、小家鼠等。然而,鼠类作为生态系统的组成部分,在能流和物流中扮演重要作用。它们取食植物,有时造成了危害,但从某种意义上讲又改善植物的生长条件,或有助于植物群落的更新。它们有时掘洞可能造成堤坝决口或破坏草场,但也可能改良土壤。其实,有的鼠类动物是有益种类,如旱獭、麝鼠、松鼠、毛丝鼠、海狸、野兔等是重要的毛皮兽和食肉兽。一些有害的鼠类,有时也取食害虫或虫卵(如小

家鼠在蝗虫孳生地可以大量取食蝗虫卵)。在自然生态环境中,保持少量的鼠类动物种群(即使是有少数可造成危害鼠类),不仅不会对人类构成危害,而且有助于生态平衡。因此,有鼠不一定就有害,鼠类在生态系统中的益害关系是辩证的。

鼠害是相对于人的生活和生产活动来评估的一种经济概念。只有在生态系统遭到破坏,而人类又在继续利用这个生态系统,改造或恢复这些生态系统时,鼠类干扰了人类的活动,此时才有鼠害发生。因此,鼠害是指鼠类对人类的生产、生活以及生态环境或生存条件造成直接和间接的经济损失或负面影响。只有鼠类的密度超过一定限度(即危害阈值)时才对人类有害,一般而言,密度越高,分布区越大,危害越重。鼠害是一种世界性的自然灾害,根据受害的对象不同,可将鼠害分为农业鼠害、牧业鼠害、林业鼠害、农户鼠害、城市鼠害、卫生鼠害、工业鼠害和交通鼠害等类型。本书主要介绍有关农村鼠害的情况。

二、鼠害对农作物产量的影响

鼠害对农作物的危害可以追溯到近 1 万年前的农耕文化起源时期,也就是说,有了农作物的栽培,就有农田鼠害的发生。在中国,早在《诗经》中就有“硕鼠食黍”的描述。据调查,害鼠在农田的危害几乎涉及所有的农作物及其整个生育期。我国常见的农田害鼠有 20 多种,水稻、小麦、玉米、豆类、甘蔗以及瓜果和蔬菜均不同程度受到鼠害(见表 5-1)。据联合国粮农组织(FAO)统计,全世界每年因鼠害造成的农作物损失约占其总产量的 10% ~ 20%,特别是非洲、中东及东南亚的一些国家,鼠害的损失常常超过植物病害、虫害、草害的损失。我国 20 世纪

80年代以后，鼠害发生面积呈上升趋势，80年代中期农田鼠害曾严重发生，经过几年的大面积防治行动，至80年代后期鼠害有所缓解。但进入90年代以后，由于各地放松对鼠害的防治，加之受异常气候的影响，鼠害再次回升（见表5-2）。

据统计，1987年全国发生农田鼠害面积达3933万公顷，损失粮食1500万吨，约占当时世界粮食损失量（约5000万吨）的30%，等于当年我国进口粮食的总和，相当于6200万人口一年的口粮。1993~1995年，全国鼠害发生面积2200~2500万公顷，防治鼠害后每年仍造成田间损失粮食500~700万吨、棉花2500多万公斤、甘蔗20多万吨，此外，蔬菜、果树等经济作物的损失也相当严重。1996年鼠害发生面积扩展到3000万公顷。随着农田鼠害发生面积的扩大，农区鼠密度也有所上升，90年代后期春秋季高峰期鼠密度由80年代末的7%~10%（百夹捕鼠数，下同）上升至10%~15%，部分地区甚至高达40%~80%。

鼠密度的上升，致使农作物损失严重。如鼠害发生较重的江淮地区、华南地区以及西南、西北和东北的部分地区，水稻、小麦、玉米、豆类等作物受害一般减产3%~5%，重者减产5%~10%，局部地区高达30%以上，有的田块甚至造成毁种或绝收。1993年，湖南省发生农田鼠害200多公顷，仅邵阳县的一个村就有18公顷水稻失收，全村人均损失稻谷54公斤。广西贵港市一户农户损失稻谷高达1250公斤。1994~1997年，江西、四川、重庆等省市，受害重的稻田减产三到五成。江苏宿迁、四川甘洛县的玉米受害率分别高达50%以上。在安徽怀远、河北丰宁、北京顺义、吉林榆树、黑龙江杜蒙等地，大豆受害减产20%~30%，重者颗粒无收。有的农民地里收不上

豆子，去挖鼠洞，少者一天能得豆子几十公斤，多者上百公斤。因此，群众说：“种地的不如挖鼠洞的。”

此外，经济作物受鼠害也日益突出。在棉花主产区，如湖北、河北、江苏、新疆等地，低酚棉（无毒棉）受鼠害逐年加重，轻者减产10%~20%，重者30%以上，有的地区的鼠害已超过棉铃虫的危害损失。值得注意的是，近年来北方地区保护地蔬菜发展迅速，目前已达到200多万亩，但鼠害问题对保护地蔬菜生产已构成威胁，如辽宁丹东调查，保护地蔬菜被害率为20%~40%，以茄果类、瓜类和豆类受害为重。此外，甘蔗、花生、果树等经济作物也受害频繁。据估计，90年代中后期，全国每年因鼠害造成的粮食和经济作物的经济损失折款达100亿元。

表5-1 我国主要害鼠对农作物的危害程度

鼠种	水稻	小麦	玉米	甘薯	豆类	瓜果	蔬菜	甘蔗
小家鼠	+	+	++			+	++	
褐家鼠	++	++	++	+		++	++	
黄胸鼠	++	+	++	+		++	++	+
黄毛鼠	++			+		+	+	++
黑线姬鼠	++	++	++		+	++	++	
黑线仓鼠	+	++	++		++	++	++	
大仓鼠		++	++			+		
板齿鼠	+	+	+	+				++
社鼠		+	+	+		+		
巢鼠	+	+	+		+	+		
大足鼠	++		+			+		
棕色田鼠		++		+	+	+	+	
中华鼢鼠		++	+	+	+	+	+	
长爪沙鼠		+	+		+		+	
东方田鼠		+	+		+	+	+	
草原黄鼠		++	+		+	+	+	
达乌尔黄鼠		+	+		+			
松鼠			+		+	++		

注：+ 轻度危害；++ 严重危害

表 5-2 1980~1999 年中国农田鼠害发生防治面积及田间损失表

年份	发生面积 (万公顷)	防治面积 (万公顷)	防治挽回损失 (万吨)	田间损失 (万吨)
1980	333.33	163.33		
1981	666.66	333.33		
1982	1 999.98	246.67		
1983	2 146.65	986.66		
1984	2 399.98	866.66		
1985	2 479.98	1 453.32		
1986	3 393.30	1 746.65		
1987	3 933.29	1 733.32	379.74	40.15
1988	2 666.64	1 166.66	201.73	70.52
1989	2 133.31	1 466.65	156.73	90.32
1990	2 100.50	666.66	151.30	86.25
1991	2 027.14	1 388.43	197.35	116.92
1992	2 150.00	1 333.33	214.00	208.52
1993	2 147.00	1 553.33	218.37	121.40
1994	2 415.38	1 505.91	295.80	158.05
1995	2 842.67	1 895.33	372.37	215.95
1996	3 126.67	2 173.33	398.12	222.82
1997	2 760.00	1 920.00	384.28	177.42
1998	2 670.00	1 350.00	270.00	210.00

注:1980~1982 年为 18 省统计,1983~1987 年为 20~24 省统计,1987 年以后为 27~30 省统计。

三、鼠害对农户储粮的影响

鼠害不仅在田间发生，对农户储粮的损失也相当严重。如褐家鼠、黄胸鼠、小家鼠既为害田间作物，也是农舍的主要害鼠。这些鼠类在农田和农舍之间往返迁移，造成“春吃苗、夏吃籽、秋冬回家咬袋子”的现象。据调查，一个农户一年损失储粮少者 10~20 公斤，多者 50~60 公斤，有的地方高达 100 公斤以上。我国有三分之二以上的农户不同程度存在鼠害。90 年代以来，每年全国农村因鼠害造成损失的农户储粮达 30~50 公斤。

四、鼠害的其它负面影响

鼠害对牧业的危害也相当严重，我国每年发生草原鼠害 1 500 万~2 000 万公顷，不仅影响牧草产量，而且对草地植被造成破坏，进而加剧了草场的退化和沙化。

在安徽、四川、湖南、陕西等省的部分地方，由于农户鼠害猖獗，老鼠还咬伤牲畜、咬死家禽。如 1993 年湖南省邵阳县有 130 多头母猪被老鼠咬死咬伤。1994 年安徽太湖县发现几百斤重的肥猪也被老鼠咬得遍体鳞伤。

此外，鼠类对森林、苗圃、果园、堤坝以及交通和工业等方面均有危害。由于鼠害原因，造成森林覆盖率下降、果园被毁、堤坝倒塌、电线短路、输电和通讯中断、飞机坠毁以及引发火灾等现象时有发生。

第二节 鼠类的主要习性

一、栖息与活动

1. 栖息 鼠类的栖息地是指它的居住生活环境,包括孳生地和发生地,前者主要指鼠类的繁殖、生长和躲避场所,后者主要指鼠类的觅食、迁移、扩散等活动场所。根据栖息环境的不同,可将鼠类分为家栖类和野栖类。家栖鼠类一般发生在室内和居民区周围,野栖鼠类一般发生在室外(如农田、林地、草原等环境),少数鼠类家栖和野栖兼有。根据栖息地的适宜程度,可将其分为最适栖息地、一般栖息地(可栖息地)和临时栖息地(不适栖息地)。

鼠类的隐蔽性很强,除少数鼠种为树栖和半水栖外,绝大多数鼠种要掘洞筑巢,过穴居或洞居生活。洞穴是鼠类休息、避敌、繁殖、存食和逃避不良气候的主要场所。不同的鼠种在不同的环境中所营造的洞穴有很大差异,同一鼠种甚至在不同的季节也有差异。不少鼠类有长期居住的洞穴,也有偶尔入内的临时洞,前者洞道较长,后者洞道较浅。典型的鼠洞由洞口、洞道、窝巢、仓库、厕所、盲道和暗窗等全部或部分组成。有的鼠种洞穴复杂,洞道长而分支多,洞口也多,有的鼠种洞穴简单,甚至仅在树缝、石块下、抽屉里或柴草堆里筑巢做窝。

2. 活动 鼠类的活动可分为日行性、夜行性和昼夜兼行三种类型。日行性鼠类多栖息在隐蔽条件良好或便于躲避的环境,其活动以白天为主,一天中的活动高峰可随天气变化或季节变化而变化,即天气寒冷时多在午间活动,夏天多在早晨和午后活动,如布氏田

鼠、长爪沙鼠、达乌尔黄鼠等。夜行性鼠类多在日落后和日出前活动，如仓鼠、毛足鼠、跳鼠，也有些鼠在午夜活动，如褐家鼠、小家鼠、子午沙鼠等。地下生活及树栖鼠类的活动没有明显的活动规律，昼夜均有活动，但受气候影响较大。

鼠类的活动经常有一个范围——巢区，洞居鼠类的巢区以洞穴为中心，在其范围内不同洞系个体间在活动和觅食上有相容性。巢区内多数鼠种有“家族”或“领地”观念，当有外来鼠进入时，会发生驱赶或争斗。

幼鼠与亲体分居期间，鼠类会出现大量迁移活动，其距离少者几十米至上千米，多者可达数公里至十几公里，这是鼠类扩散的重要途径之一。另外，食物匮乏而另觅食源，发情觅偶以及环境恶化等原因也会造成鼠类的迁移活动。如家鼠有明显的季节迁移习性，春夏季从室内向野外迁移，秋冬季又迁入室内。

3. 越冬 在我国北方地区，冬季严寒对鼠类的生存构成很大威胁，因此，鼠类采取越冬对策来适应环境。其越冬方式主要有冬眠、贮粮、迁移以及改变食性。冬眠的鼠类有黄鼠、跳鼠、旱獭等。贮粮越冬的种类有仓鼠、田鼠、鼢鼠、沙鼠等。这些鼠类为了越冬常常贮藏大量食物，数量可达几公斤至十几公斤。改变食性的鼠类多见于林区，如大林姬鼠、鼢鼠等，食物匮乏时转而啃食树皮、树根、幼苗等。

二、取食与繁殖

1. 取食 鼠类的食性与其种类和分布区域有关，大多数鼠类是以植物性食物为主，可食植物一般有几十种。一些鼠类除吃植物外，还采食昆虫、鸟蛋、鱼虾或其它小动物。对农作物而言，被鼠类取食的主要部位有种

子、果实、块根、块茎等，有的鼠采食茎叶，有的在地下取食植物的根茎。在鼠类食物中，根据其采食频率的高低，可分为嗜食性、可食性和偶食性食物。酒、糖、香油、醋、肉对有的鼠类有引诱作用，但也不能一概而论。鼠对水的需求也随种类、季节和环境而异。褐家鼠、屋顶鼠有饮水的习性，而小家鼠和绝大多数干旱地区的鼠类很少直接饮水，其所需水分来源于食物。

鼠类的活动频繁，代谢旺盛，而植物性食物的含热量较低，因此，鼠类的食量通常都比较大。其食量因鼠的大小而异，一般日食量为 5~10 克（干重），相当于鼠体重的 10%~30% 不等。

2. 繁殖 鼠类属于哺乳动物，具有寿命短、性成熟快、怀孕期短、产仔数多的特点。其繁殖力由种群个体的年产仔窝数、每窝产仔数、年龄结构、雌雄比例等因素决定。春、秋季是鼠类的繁殖高峰，夏季高温时繁殖力下降，冬季除南方少数温暖地区外，鼠类很少有繁殖活动。鼠类的繁殖过程有交尾、妊娠、产仔等几个阶段。一般来说，小型鼠种、家栖鼠类或同一鼠种的成年个体的繁殖力较强，而大型鼠或老龄鼠个体的繁殖力较弱。鼠类一年可繁殖一次至几次。雌鼠的怀孕期一般 20~28 天。以小家鼠为例，从其出生到性成熟需要 45~60 天，孕期 20 天左右。褐家鼠的性成熟期 60~90 天，孕期 21 天。不同鼠种或同一鼠种的不同季节和生态区，其繁殖力有明显差异（见表 5-3）。

表 5-3 我国主要害鼠的繁殖情况表

鼠 种	繁殖期	年胎数	孕期(天)	平均胎仔
小家鼠	全年	5-8	19-20	4-6
褐家鼠	全年	4-6	20-22	5-10
黄胸鼠	全年	3-5	21-22	5-7
黄毛鼠	全年	4-6	21	5-8
板齿鼠	全年	4-6	30	4-6
黑线姬鼠	4-9月(北) 全年(南)	2-3 3-5	20 20	4-7 4-7
黑线仓鼠	3-10月	4-5	28-30	4-8
大仓鼠	3-10月	3-4	22-23	7-10
东方田鼠	4-10月(北) 全年(南)	4-5 5-7	19-21 19-21	4-6 5-7
棕色田鼠	全年	5-7	20-23	3-5
布氏田鼠	4-9月	3-4	20-25	6-8
大足鼠	3-11月	5-7	23	6-8
中华鼢鼠	2-8月	1	30-40	2-4
高原鼢鼠	3-7月	1	38-43	2-3
长爪沙鼠	全年	2-5	25-28	5-7
大沙鼠	全年	2-3	22-25	5-9
达乌尔黄鼠	2-9月	1	28	4-7
松鼠	1-8月	1-4	35-40	2
花鼠	4-6月	1	35-40	4-6

3. 发育 鼠类完整的个体发育需要经过胚胎期、幼鼠期、亚成体期、成体期(可分为成体Ⅰ期和成体Ⅱ期)、老体期。幼鼠出生后,约10天睁眼、长毛,20天左右出洞活动,这一时期需要母鼠哺育才能存活。约1个月后可与母鼠分居,通常仍与母鼠同居一个洞穴。性器官发育未成熟的小鼠称为亚成体,进入成体性器官成熟后与母鼠分居。成体鼠的生存能力和繁殖能力都很强。

三、社群行为

鼠类的社群行为是指鼠个体之间的行为调节和群体关系。其主要表现为觅食行为、婚配制度、社群序位、领域行为以及个体之间的信息联系。觅食行为包括对生存环境中事物的选择性、取食习惯和食物竞争。婚配制度是指雌雄鼠发生性行为的关系、配偶方式等,鼠类的婚配制度可分为单配偶制和多配偶制。社群序位是指鼠类群体生活中对资源占有的形式,包括在群体中的趴窝顺序、交尾优先、采食次序、警戒护巢和避敌行为等。领域行为指鼠类为了生存而在一定范围内占据食物和活动空间。但领域需要通过巡视、标记、争斗等方式护卫。通常各种鼠类都有相对稳定的领域,这也是为什么鼠密度不可能无限增加的重要原因之一。

第三节 鼠害防治技术的发展

一、我国鼠害防治的发展进程

我国鼠害发生的历史悠久,人类与害鼠的斗争已持续了几千年,传统的灭鼠方式基本是自发的、零星的人工捕打活动;而真正有组织地治理鼠害,始于1949年以后。新中国成立以来,从中央政府到地方各级政府非常

重视鼠害的治理。近 50 年来，灭鼠工作曾掀起两次高潮。第一次是 50 年代初至 60 年代，为了控制鼠传疾病，预防生物战争，减轻农业鼠害损失，在各级领导的重视和政府的发动下，群众的热情高涨，广泛参与灭鼠行动。在防治技术薄弱的情况下，仍消灭了大量害鼠，削弱了鼠疫等疾病流行。70 年代灭鼠工作有所放松，80 年代初以后，由于鼠害的加重发生，1983 年开始再次掀起第二次灭鼠高潮，并持续到 90 年代中期。此阶段的鼠害防治工作组织严密，加之科研、教学、推广等部门协作研究，使灭鼠技术有了快速发展。一方面，全国植保总站（全国农业技术推广服务中心）和浙江、河南、云南、贵州、四川等省植保站在鼠害监测、防治标准、综合防治等方面加强了研究与推广工作，取得了 10 余项国家和省部级科技成果；另一方面，中国科学院动物研究所会同有关教学、科研单位，在“七五”、“八五”和“九五”期间，对 10 余种重要鼠类的生物学、生态学及其综合治理技术也进行了系统研究，取得了很大进展。

从我国药物灭鼠的技术发展历程看，可大致分为以下三个阶段：

第一阶段（1983 年以前）为急性杀鼠剂普及时期。主要应用磷化锌、毒鼠磷、氟乙酰胺、氟乙酸纳、甘氟、毒鼠硅等。

第二阶段（1983~1995 年）是急性杀鼠剂的取代与抗凝血杀鼠剂的推广时期。此阶段取缔或禁用了氟乙酰胺、氟乙酸钠、毒鼠硅等剧毒鼠药，同时，随着杀鼠灵、杀鼠迷、敌鼠钠盐、氯敌鼠、溴敌隆等一、二代抗凝血杀鼠剂（慢性杀鼠剂）的推广应用，磷化锌、毒鼠磷、甘氟等急性杀鼠剂逐步被取代。

第三阶段（1995 年以后）为生物杀鼠剂的发展与抗

凝血杀鼠剂的普及时期。90年代中期以后，90%的大面积灭鼠区域均采用了杀鼠灵、杀鼠迷、敌鼠钠盐、氯敌鼠、溴敌隆等抗凝血杀鼠剂灭鼠，急性杀鼠剂仅在零星地区使用。同时，C型和D型肉毒素已通过登记并在5个省区的草原灭鼠上大面积示范和推广应用。此外，不育剂和沙门氏杆菌也在部分地区开展了灭鼠试验，为生物杀鼠剂的进一步开发利用奠定了基础。

二、防治鼠害的主要措施

(一) 防治决策

1. 时机决策 老鼠的危害众所周知，但在什么时间防治，在什么密度下需要防治，是人们关心的问题。调查研究表明，对地面危害鼠，当春季鼠密度达到3%（或平均每公顷的有效鼠洞在15个以上）、秋季鼠密度到5%（或每公顷有效鼠洞在20个以上）时需要开展防治。对鼢鼠等危害地下根茎的鼠类，其鼠密度平均每公顷在3只以上即需要防治。在苗圃及高经济作物区，防治指标还应降低1~2个百分点。由于春秋季是大多数鼠类的繁殖高峰，因此，投放毒饵防治的时机应把握在幼鼠出生高峰期。总的防治策略是“春季普防，秋冬挑治”。即长江以南地区，重点抓好2~3月的大面积防治，秋冬季挑治高密度地区。长江以北地区，重点抓好3~4月份防治，秋季挑治重发生地区。

2. 行动决策 鼠类的分布广，活动性强，加之某些鼠种在地区之间、农田和农舍之间有频繁的迁移危害习性。因此，在防治行动上需要采取大范围或全方位统一行动，特别是在毒饵投放方面，必须农田和农舍同步，乡村行动统一，才能取得良好的防治效果。单家独户或小范围开展防治，只能取得短期效应和事倍功半的效果。

鼠类的繁殖力强,即使防治效果达到90%,其残余鼠在1年左右便可基本恢复到防治前的鼠密度。因此,防治鼠害并非一劳永逸,需要定期或经常性采取防治行动。实践证明,鼠密度在5%以下的轻发生地区,可以隔年防治一次。鼠密度在5%~10%的中等发生地区,应每年开展一次灭鼠活动为宜。鼠密度超过10%的重发生地区,每年需要两次防治行动(春、秋各一次)。

3. 技术决策 不同的鼠种和不同的农业生态环境,鼠害的发生规律有所差异。因此,防治技术的选择必须因地制宜、因鼠制宜采取综合防治措施。如在农业措施上可破坏鼠类栖息环境,减少食源。在发生严重地区,采用化学防治迅速压低鼠密度,并在鼠药品种上应优先选用抗凝血杀鼠剂。对鼢鼠等地下活动鼠,灭鼠雷和毒饵防治相结合。对洞系结构简单、易于发现的有效鼠洞,可选择烟雾剂防治。对鼠害轻发生地区,可采取生物防治等治理措施抑制鼠密度增长速度,减少化学鼠药的使用频率。在毒饵投放方法上,可选用一次性饱和投饵、全方位投饵和封锁带投饵等。

(二)防治技术

1. 生态控制 生态控制主要是通过一系列农业措施或其他非化学及物理手段来改造或预防鼠类孽生环境,恶化鼠类取食和栖息条件,进而达到抑制或预防鼠害的发生之目的。如在北方旱作区,采取秋耕冬灌、挖掘鼠洞、开垦农田夹荒地等措施,能有效地降低田间鼠密度。在作物收获季节,对成熟的粮油作物快收快打,尽量做到颗粒归仓和妥善保存,也是减少鼠类粮源的良好途径。此外,调整作物布局、精耕细作、水旱轮作、清除杂草、清洁田园以及搞好农舍周围的环境卫生等,对控制鼠害发生均有积极作用。

2. 物理防治

(1) 器械捕杀 灭鼠器械种类很多,就其捕鼠方式不同,大致可分为夹类(如板夹、钢丝夹、弓表夹等)、笼类(如捕鼠笼)、刺杀类(如地剑)、压板类、套扣类以及水淹类等。上述方法可在局部地方或特殊环境防治少量鼠时采用,由于成本高或操作上比较麻烦,因此大面积防治鼠害受到局限,但捕鼠夹在测定地面活动密度时用得较多。

(2) 灭鼠雷防治 灭鼠雷又叫鼢鼠雷,是防治北方农田鼢鼠的有效手段。其原理是利用鼢鼠的堵洞习性,自己将灭鼠雷引爆而被炸死。山西临汾等地已有多年实践经验。

(3) 电捕鼠器 电捕鼠器也称“电子捕鼠器”、“电猫”等,其原理是利用日常220伏的交流电,经升压到1500~2000伏时,将鼠打晕或击毙。可用于仓库或没有人、畜活动的室内鼠类经常出现的环境灭鼠。

3. 生物防治

(1) C型肉毒梭菌毒素 C型肉毒梭菌毒素是利用肉毒梭菌培养的代谢产物,近年经过青海、四川、黑龙江、青岛等地的试验示范,对多种野鼠的防治效果一般在80%~90%,对人、畜也比较安全。毒饵使用浓度为1万~2万个鼠单位,投放方法与常规的化学毒饵相似,每公顷投放300~450堆,每堆2~3克。这种生物杀鼠剂目前在青海牧区草原已大面积应用,但防治农田鼠害尚处于试验示范阶段。

(2) 保护利用天敌 在自然界,如黄鼬(黄鼠狼)、貂、豹猫、猫头鹰、蛇类以及一些猛禽等,都是捕食鼠类的能手。因此,严禁滥捕乱杀,充分保护好这些天敌,对抑制鼠害发生、促进生态平衡具有重要意义。此外,家猫也是

控制农舍及其周围农田鼠害的有生力量。俗话说“一猫镇三鼠”，即指一只好猫能为三户人家捉老鼠。因此，有条件的地区，发展养猫活动，对减轻鼠害是有效的。

值得注意的是，由于猫可传播多种人、畜共患疾病，应注意猫的清洁，有条件的地方应定期注射预防疫苗。在有猫的地区，防治鼠害应选择抗凝血杀鼠剂，不宜使用高毒急性杀鼠剂，更不可乱买集市个体摊贩的鼠药，因为其中不少是禁用鼠药，对猫、狗及牲畜都不安全，易引起其他有益动物二次中毒。

4. 化学防治 害鼠的化学防治是指用有毒的药物——杀鼠剂来杀灭老鼠。人类使用化学药物灭鼠历史悠久，我国战国时期就有利用砒霜毒鼠的记载。最早使用的杀鼠剂是亚砷酸、硫酸亚铊等无机化合物和马钱子、红海葱等植物。20世纪30年代以后，鼠甘氟等一批有机合成杀鼠剂生产出来，其灭鼠作用快速，但易于产生二次中毒。40年代，随着杀鼠灵、杀鼠酮、敌鼠等抗凝血作用的品种问世，进入慢性杀鼠剂时期，使用的安全性大为提高。70年代开发出的对抗药性鼠有效的溴敌隆、大隆等新型第二代抗凝血杀鼠剂，是当前灭鼠中使用的主要化学药剂，大大地提高了化学灭鼠效果和安全性。

化学防治是当前灭鼠方法中使用最广、见效最快、同时也是最为有效的方法。其突出优点是：

(1) 见效快，效果好 化学灭鼠能在投毒后很短的时间内(急性杀鼠剂3天、慢性杀鼠剂7天左右)大量杀死害鼠，只要使用得当，目前的杀鼠剂的灭鼠率一般在90%左右。

(2) 适用范围广，方法简便 化学灭鼠适用于不同环境、不同条件下鼠害的防治，不受地区或生态环境限制。常用的投毒法，毒饵配制和投毒方法易为群众掌握，也不

需要特殊的设备和条件,很容易被群众所接受。

(3) 省工省时,经济高效 与其他灭鼠方法相比,化学灭鼠工效较高。每人每天可以投毒饵防治几十公顷,在林区和草原采用飞机撒毒饵(丸),工效更高,防治成本较低。

实践证明,在较短的时间内(1~2月)大面积使用化学杀鼠剂,可以将高的鼠密度压下去,防止鼠害的发生。但是,由于杀鼠剂多数是高毒药物,对人畜毒性高,人畜可因直接误食或二次中毒引起死亡,因此必须高度重视化学灭鼠的安全性。

第四节 21世纪鼠害防治展望

随着今后农业生态环境的改变以及异常气候等诸因素的影响,21世纪我国农区鼠害的发生将更加频繁。特别是长江中游区域受三峡工程的影响和后期水库水位的上升,会促使区域性的鼠类种群转移和集中危害现象。另外,随着长江、淮河、黄河等大江大河治理工程的实施(如退耕还草、还湖、还林等),亦将扩大鼠害的孳生环境。从21世纪初期的害鼠发生态势看,江淮及华南地区、西南山区、华北北部山区以及西北和东北的农牧交错接壤地带,将是鼠害重发生的活跃区。华北平原、东北平原、陕西关中、四川盆地以及黄河故道地区,鼠害发生将趋于平稳。分析目前及今后几年的鼠害形势,不但粮食作物将蒙受较大损失,而且一些地区的鼠传疾病也会加重流行。因此,必须采取有效措施,综合治理鼠害。

1. 完善鼠害监测网络体系建设 我国地域广阔,生态环境复杂,鼠害发生面积约占耕地面积的四分之一,为及时掌握鼠害发生动态,90年代已在全国设立40个鼠

情监测网点,今后要改善监测手段,增加鼠害活跃区的监测网点,提高灾害预报能力。

2. 加强社区鼠害治理 鼠类具有较强的迁移习性,加上农村生态环境复杂,因此,靠单家独户或小范围灭鼠均难以奏效,只有开展区域性的统一治理行动,才能取得好的灭鼠效果。社区鼠害治理的主要措施:一方面是推行乡村统一灭鼠行动,即在一般鼠害发生区,灭鼠区域至少要在一个乡或几个乡的范围内统一进行。鼠害重灾区,灭鼠区域要求扩展到几个县甚至更大范围。实践证明,开展区域性灭鼠,能提高整体灭鼠效果,降低灭鼠成本,减少人、畜中毒事故,有助于灭鼠新技术的推广应用。二是建立鼠害综合防治技术体系,综合配套各项技术措施,提高技术的可操作性、适用性和科学性。

3. 重视生态控制和天敌的保护利用 生态控制的核心是恶化害鼠的生存环境,如合理安排作物茬口,早中晚作物品种规模化和区域化种植,及时收获成熟的粮食并予妥善贮藏,可以断绝或减少鼠类食粮。精耕细作、减少农田夹荒地、修整田埂、中耕翻地、开挖鼠洞等,能减少和破坏鼠类的孳生繁殖场所。保护和利用猫头鹰、黄鼬、蛇、豹猫、狐狸、獾等天敌,对抑制害鼠种群增长、维护生态平衡也具有重要作用。要制定有效的法律手段,禁止乱捕、乱杀蛇类和黄鼬等有益动物,促进生态平衡,提高生物制约能力。

4. 加快生物杀鼠剂的开发利用 生物毒素(C-型肉毒素)防治农牧区鼠害的研究已有十多年的历史,近年在青海、新疆、四川、内蒙等草原灭鼠达100万公顷以上,灭鼠效果平均达80%~90%。该项技术在农区的应用也取得新的进展,1992至1998年经在陕西、四川等省试验,对地下鼠(鼢鼠)和多种地上鼠均有良好的防治效果。如

果生物毒素毒饵在温度下的稳定性进一步解决，有助于今后大面积推广并取代化学灭鼠剂。

另外，“九五”期间，利用雄性不育剂(α -氯代醇)防治农田鼠害的研究也取得新的进展。通过不育剂的使用，可有效地阻断雄鼠精子输出，并抑制雌鼠不育或生殖力的下降。如在防治大仓鼠方面，室内实验的不育率可达100%。在田间试验，使用不育剂10天后，总死鼠率达75%，47天后残留雄鼠的无精子率达100%（张知彬等，1993年，1997年）。因此，开发和推广应用不育剂，将是21世纪防治鼠害的一个良好途径。

5. 应用慢性杀鼠剂取代急性杀鼠剂 实践表明，慢性抗凝血杀鼠剂（如溴敌隆、敌鼠钠盐、杀鼠迷、杀鼠灵等）毒饵，采用一次性饱和投饵或封闭式投饵技术，对农田和农舍的灭鼠效果一般在85%~95%。这些杀鼠剂对人、畜比较安全，对猫、狗以及其他鼠类天敌一般不引起二次中毒，适宜今后在广大农村推广应用。

控制鼠害是一项特殊的防灾减灾工作，各级政府有必要增加这方面的科研投入和技术推广投入，并对贫困地区和鼠害重灾区的应急灭鼠行动给予扶持。同时，要加强对鼠药市场的管理，严厉打击和取缔剧毒、伪劣鼠药的销售和使用，减少鼠药对环境的污染和对鼠类天敌的杀伤。



第6章

21世纪学科发展丛书

植物检疫——作物的“警卫”

第一节 植物检疫的起源、作用和地位

一、外来病虫害与植物检疫

(一) 植物检疫的起源

植物检疫 (Plant Quarantine) 工作是人类同病虫害进行长期斗争总结出来的经验，是防止危险性有害生物传播的警卫。19世纪后期，在农林业方面世界上发生了一些重大的因外来病虫传播而造成灾害的事例：十字花科根肿病 *Plasmodiophora brassicae* Woronin, 原发生在西班牙，18世纪传到英国，1895年传到匈牙利，以后到了俄国，20世纪初传到了北美洲。白松疱锈病 *Cronartium ribicola* J. C. Fish ex Rabenhorst, 最初于1860年在欧洲俄国的部分松树上发现，1865年此病侵入北美的五叶松和东方白松，1890年几乎毁灭了美国的全部白松。1874年马铃薯甲虫 *Leptinotarsa decemlineata* (Say) 从美国侵入欧洲，严重地威胁马铃薯的生产，使欧洲大为恐慌。马铃薯晚疫病 *Phytophthora infestans* (Mont.) De Bary 的传播造成爱尔兰

马铃薯大量减产，导致爱尔兰大饥荒，由于缺粮饿死许多人。1898年梨圆介壳虫 *Quadraspidiotus perniciosus* (Comstock) 从东方传到美国的加利福尼亚州，毁坏了该州的许多果园。为了防止外来病虫杂草传入为害，许多国家的政府采取措施，对进口的种子、苗木、农产品实施检疫检验，或者对来自危险性病虫杂草地区的植物和植物产品采取禁止进口的措施，这是早期植物检疫的主要做法。

(二) 外来病虫害的传播途径

为什么要对植物和植物产品实施检疫，这与病虫害的传播途径和方式有着十分密切的关系。植物病虫害的传播主要有以下几种途径：(1)由带有病虫的种植材料(包括种子、苗木和其他繁殖材料)、带有病虫的农产品的输入、输出。(2)由国际贸易或国内调运中包装货物的材料带进带出，这些材料可能是农作物的秸秆或边材，其中常常带有潜伏的病菌、虫卵或休眠状态的、甚至活的害虫。(3)通过鸟类或昆虫作远程的传带，或者由高空气流或水流传带到较远的地区。(4)依附在现代交通工具如轮船、火车及飞机上做远距离传播。这四种传播途径除第三种是属自然因素不易由人力控制外，其它三种则完全是人为的因素，是可以通过动植物检疫制度来加以控制的。

随着贸易的发展和交通运输事业的日益发达，国与国之间，地区与地区之间的运输时间大大缩短，从外地或外国调运种子、苗木等繁殖材料及其他植物产品的活动日趋频繁，这为本地区或国内各地区增多新的作物品种，丰富了人民生活。但是，事物总是一分为二的，实践证明，这样的商业活动也带来了另一方面的问题：首先，贸易部门从外地调运或从外国进口的农产品，往往只考虑

价格、数量和品质，并不注意藏带的害虫、寄生或夹带的真菌、细菌、病毒和杂草种子等等；其次，人们购买这些繁殖材料，播种于田间或苗圃中，也只注意新品种的优良性状，精心栽培，期望获得丰收，在无意中为这些新引进的病原物、害虫、杂草创造了适宜的生长发育条件，使这个地区成为新的病、虫、杂草的分布区。因此，贸易活动既促进了种子、苗木等繁殖材料及其他植物产品输出输入，为国家建设和人民生活带来了好处，同时也给危险性病、虫、杂草通过上述货物和包装、填充、铺垫材料，以及运输工具、行李、包裹、废弃物、下脚料等途径进行远距离传播提供了有利的条件。

1. 植物及其产品 植株、幼苗和砧木是携带危险性病、虫、杂草最危险的繁殖材料。这些繁殖体带有根、茎、叶，甚至还带有土壤，往往给可能被携带的危险性病、虫、杂草提供隐蔽场所，增加了检验工作的困难。

插条和接穗，由于无根，而且体积小，一般容易检查，若发现带有危险性病、虫，也容易处理。

块根、块茎、鳞茎和球茎，虽然没有地上部分的茎、叶，但带有原产地的土壤，可能隐藏着害虫、害螨、杂草种子和各种根腐病、某些细菌性凋萎病等侵染性病害。

种子能传播仓库害虫、线虫、病毒、细菌和真菌病害，甚至带有许多危险性病、虫、杂草，如从美国进口的棉籽中常带有枯萎病菌。由马里进口的花生和豆类中往往发现许多谷斑皮蠹等等。

其他如粮食、水果、蔬菜、棉花、林木及植物性废弃物等，都是危险性病、虫、杂草远距离传播的有利途径。

2. 包装、填充材料 木箱、柳条箱、竹篓及麻袋等包

装物，往往隐藏着危险性害虫，如我国从马里、苏丹进口棉花的麻布包皮上，经常于褶缝处发现谷斑皮蠹 *Trogoderma granarium* Everts 幼虫，应该进行杀虫处理或烧毁。我国植物检疫人员从进口货物的木质包装上多次发现松材线虫。为此，检验检疫部门做出规定，对于来自疫区的木质包装必须经过检疫处理。对于稻草、麦秆、木屑、谷壳等容易夹带病、虫、杂草的填充材料，也需集中烧毁处理。

3. 运输工具和铺垫材料 车、船、飞机等运输工具及其铺垫材料，也常携带危险性病、虫、杂草，所以现在许多国家对远洋货轮的货舱和食品储藏库消毒，有的于停机坪或装卸货物地点喷洒药剂，有的则在列车或卡车到达时，彻底清除废物集中销毁。

4. 土壤 植物及其产品所带的土壤，可能集中和保存有原寄主植物所寄生的真菌孢子、细菌、线虫，或者隐藏有害虫，是危险性病、虫、杂草传播的媒介。因此，植物检疫人员必须禁止土壤进口，凡带有土壤的盆栽植物，经过检验合格的，要采取换土和药剂消毒措施，换下的土壤也必须进行销毁。

5. 行李和邮包 植物及其产品通过旅客行李或邮包往往夹带许多危险性病、虫、杂草，如我国经常发现国际邮包中的豆类种子带有四纹豆象 *Callosobruchus maculatus* (F.) 和大豆象 *Acanthoscelides obtectus* (Say)，药材中带有咖啡豆象 *Araecerus fasciculatus* De Geer，甜菜籽中带有甜菜锈病 *Uromyces betae* (Pers.) Tul. 等等。旅客携带的盆栽植物中的土壤和来自玉米细菌性枯萎病疫区的甜玉米种子，都应全部进行销毁。

二、植物检疫制度的产生和现状

(一) 早期的植物检疫

最早的或最初的植物检疫的萌芽，都是因为在某个国家或某一地区内的农业或林业受到病虫害的袭击而遭到重大损失时才开始的。那时的检疫方式并不对农林产品加以检验，而只是对有病虫害地区的有关农林产品和种植材料，不管它是否带有危险的病虫，一律禁止输入。早在 19 世纪 70 年代，欧洲的一些地区由于葡萄根瘤蚜危害，使葡萄生产造成严重损失，德国为了防止葡萄根瘤蚜 *Viteus vitifoliae* (Fitch) 传入，制定并公布了禁止葡萄进口的法令。欧洲由于马铃薯甲虫的流行，严重影响了马铃薯生产。为了防止马铃薯甲虫的传入，1875 年德国、法国相继发布了不准从美国进口马铃薯的禁令。

针对某一病虫害制定单项的检疫法令是早期检疫法规的特点。随着国际贸易和交通运输事业的发展，植物和植物产品的贸易来往日益频繁，病虫害在国际间传播蔓延的严重性越来越引起人们的重视，针对某一种病虫害而制定的单项检疫法令已不能适应需要，植物检疫法规由单项规定逐步向系统完整的法令发展，使植物检疫制度日趋完善。1912 年美国在过去单项法规的基础上，通过立法程序，由政府制定和公布了《植物检疫法》，作为检疫的母法。1917 年又发布了补充法令，授权农业部制定国内植物检疫法。以后又陆续发布各项有关规定，形成整套植物检疫的法律。日本 1914 年制定《出口植物检查证明规程》，1905 年制定《植物防疫法》和执行细则，1978 年修订的《植物防疫法》有 7 章 45 条 121 款，对各方面的工作都做了详尽的规定。现在，世界上绝大多数国家都建立了植物检疫制度，并以法律形式固定下来。

(二) 我国近代的植物检疫

我国的植物检疫工作开始于 1927 年, 当时由于我国纺织工业已有相当发展, 但原棉不足和棉纤维长度不够, 需要引进美国棉花种子。由于考虑到美国的棉铃象鼻虫危害严重, 为防止由引进美国棉种而传入棉铃象鼻虫, 就仿照欧美的办法建立植物检疫制度。1927 年我国植物病理学家邹秉文先生任上海商检局局长期间, 在该局设立动植物检疫处, 开始对上海口岸进出口的动植物及其产品进行病虫害检验。第一任处长为我国昆虫学家张景欧先生。1929 年张景欧先生受国民政府农矿部委托到广州筹建农产物检查所。这是我国第一个植物检疫机构。1934 年 10 月实业部根据国民政府的《商品检验法》, 公布了《实业部商品检验植物病虫害检验实施细则》, 这是中国关于植物检疫的第一个法令。这个法令规定输出输入的植物及植物产品, 必须经商品检验局进行病虫害检验, 没有病虫害才能允许进口。但是, 旧中国是个半封建半殖民地的社会, 没有海关的自主权, 虽有检疫制度也难以执行。随着帝国主义的侵略和外国农畜产品的倾销, 使不少危险病虫害传入我国, 造成了巨大损失。如甘薯黑斑病 *Ceratocystis fimbriata* Ell. Et Halsted 是 1937 年由国外传入的, 后蔓延至我国许多省、市, 50 年代估计全国每年因此病烂薯 500 万吨左右。其他如棉花枯萎病 *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* (Atk.) Snyd. & Hans.、马铃薯块茎蛾 *Phthorimaea operculella* (Zeller)、蚕豆象 *Bruchus rufimanus* Boheman、豌豆象 *Bruchus pisorum* (L.) 等危险性病虫先后传入我国, 在国内传播为害, 给农业生产造成相当大的损失, 年年防治, 年年危害, 留下长期祸害。

1949 年新中国成立以后, 党和政府十分重视动植物检疫工作, 加强了对这项工作的领导(当时, 对外植物检

疫工作由外贸部领导，国内植物检疫工作由农业部领导）。在建国初期，为了适应对外贸易发展的需要，人民政府制订了一系列的植物检疫规定，建立了统一的植物检疫制度。1951年外贸部颁布了《输出入植物病虫害检验暂行办法》。同时，根据当时搜集的各国植物检疫资料，编订了“世界危险植物病虫害表”及“各国禁止及限制输入植物种类表”，作为植物检疫工作的依据。在参考一些国外植物检疫规章制度及我国病虫害的发生情况的基础上，1954年，中央人民政府政务院公布了《输出输入商品检验暂行条例》，明确规定对动植物及其产品实施有害病虫的检疫。外贸部制订了《输出输入植物检疫暂行办法》及“输出输入植物应施检疫种类与检疫对象名单”。1957年经国务院同意，农业部公布《国内植物检疫试行办法》。

为了加强对植物检疫工作的统一领导，1964年经国务院批准，对外植物检疫由外贸部移交给农业部领导，同时批准在上海、大连、丹东、天津、秦皇岛、塘沽、青岛、福州、厦门、广州、湛江、汕头、凭祥、昆明、满洲里等20多个口岸设立国境动植物检疫所。1966年农业部公布了《关于执行对外植物检疫工作的几项规定（草案）》和“进口植物检疫对象名单（草案）”。以后又陆续制定和公布了关于旅客携带植物检疫、国际邮寄植物检疫以及加强对种子、苗木、进口粮检疫等许多单项规定和补充规定。

（三）近年来我国的植物检疫法规

在总结我国检疫工作经验的基础上，国务院陆续制定和公布了一系列有关植物检疫法规。1982年6月4日国务院发布了《中华人民共和国进出口动植物检疫条例》（通称外检条例，包括动物检疫和植物检疫）。1983年1月3日，国务院发布了《植物检疫条例》（通称植物内检条

例)。1991年10月30日公布了《中华人民共和国进出境动植物检疫法》，于1992年4月1日施行。1996年12月2日国务院发布了《中华人民共和国进出境动植物检疫法实施条例》。1992年5月13日国务院修订发布了新的《植物检疫条例》。为了更好地贯彻检疫法规，农业部、国家检验检疫局会同有关部门分别制定了实施细则和一系列配套规定。这些检疫法规是目前我国植物检疫工作的基本法规，也是广大植物检疫人员执法的主要依据。这些检疫法规的发布，使植物检疫工作更有保障，更有利于检疫工作的进一步开展，对促进我国农、林、牧、渔业生产的发展具有重要意义。

(四) 我国现有的植物检疫体系

我国植物检疫工作包括农业植物检疫(国内)、森林植物检疫(国内)、出入境植物检疫。分属农业部、国家林业局、国家出入境检验检疫局管理。农业植物检疫实行农业部和各省、自治区、直辖市分级管理体制。农业部种植业管理司设有种子与植检处。农业部全国农业技术推广服务中心内设植物检疫处，负责具体管理和实施农业植物检疫工作。目前在各省、自治区、直辖市和1800多个地、县建立了农业植物检疫站。全国专职农业植物检疫人员1万多人，聘请兼职农业植物检疫人员2万多人。

森林植物检疫也实行国家林业局和各省、自治区、直辖市林业厅两级管理体制。国家林业局主管全国森林植物检疫工作，并由植树造林司具体管理和实施森林植物检疫工作。全国在各省、自治区、直辖市和县级以上林业厅、局设立森林植检站。据统计，全国省、地、县森林植物检疫机构2599个，配备专职森林植物检疫人员1.3万多人，聘请兼职森林植物检疫人员1.79万人。

出入境植物检疫实行国家出入境检验检疫局垂直领

导的管理体系，统一管理全国出入境植物检疫工作。国家出入境检验检疫局是适应我国改革开放和政府体制改革需要由原农业部动植物检疫局、原卫生部卫生检疫局和国家商品检验局“三检合一”组建而成的，目前在全国各省、直辖市、自治区设立 35 个直属检验检疫局，278 个分局，268 个办事处，检验检疫人员约 28 300 多人。国家出入境检验检疫局内设的动植物监管司主要负责动植物检验检疫管理工作。下设的动植物检疫实验所主要负责动植物检验检疫的应用技术研究和技术支持工作。根据《中华人民共和国进出境动植物检疫法》及其《实施条例》，出入境检验检疫机关在实施检疫时可以行使以下职权：依法登船、登车、登机实施检疫。进入港口、机场、车站、邮局以及检疫物的存放、加工、养殖、种植场所实施检疫，并依照规定采取样品。根据检疫需要，进入有关生产、仓库等场所，进行疫情监测、调查和检疫监督管理；查阅、复制、摘录与检疫物有关的运行日志、货运单、合同、发票及其他单证等。

三、植物检疫与国民经济的关系

植物检疫工作是一项直接关系到国家安全和人民利益的大事。它对保护我国农、林、牧、渔业生产和人民身体健康以及维护对外贸易信誉等方面起着重要的作用。

(一) 保护农业的生产安全

建立动植物检疫制度是为了防止国外的危险性病虫传入，保护农业、林业、畜牧业、渔业的生产安全。植物检疫工作者在长期实践中得出一条结论，即“病虫传入容易消灭难”。病虫传入后，虽每年耗费大量人力、物力进行防治，但也难以彻底消灭，造成长期危害，甚至影响子孙后代的利益。甘薯黑斑病是日本侵略中国时传入的。中

国人民经过 8 年抗战打败了日本侵略者，取得了胜利，但到目前，抗战胜利已经 50 多个年头，甘薯黑斑病至今尚在继续为害。甘薯黑斑病的防治工作将是一场无休止的持久战。

我国植物检疫工作在防止国外危险性病虫传入，保护农业生产方面发挥了重要作用。据 1986 年至 1989 年统计，在进口植物检疫中截获检疫性病虫 1 000 多批次，检出其他危险性病虫 20 295 批次。1995 年至 1997 年，据不完全统计，截获检疫性病虫 31 种，共 2 553 批货物带有检疫疫情，按检疫法规进行了处理。由于严格把关，控制了地中海实蝇 *Ceratitis capitata* (Wiedemann)、烟草霜霉病 *Peronospora hyoscyami* de Bary f. sp. *tabacina* (Adam) Skalicky、甜菜锈病、玉米细菌性枯萎病 *Erwinia stewartii* (E. F. Smith) Dye 等国际上重要的检疫性病虫的传入，有效地保护了农作物免受这些危险性病虫的侵袭。

(二) 保护人民身体健康和保障群众生活质量

植物检疫与人体健康是密切相关的，例如，有一种杂草籽——毒麦 *Lolium temulentum* L.，它跟小麦一起生长，收割时小麦和毒麦就混合在一起，如果毒麦达到一定的比例，加工成食物或饲料人畜会中毒。70 年代，曾经在天津发生过食物中毒事件。很多人觉得肚子疼、头痛，到医院检查，起初医院查不出原因，等患者多了以后，医生才发现他们都有一个共同特点，就是这几天早上喝了豆浆，后来卫生防疫部门和农业部门进行调查得知此黄豆是从美国进口的，在黄豆里含有一种有毒的杂草籽，磨黄豆时可以进入豆浆里，造成喝豆浆者中毒。

植物检疫与保障群众生活质量也有密切关系。对病虫害，大家在现实生活中都有体会，例如我们买的大米、面粉放在粮食缸中，时间长了就会生虫。我们吃水果，有

时会吃到黑心的,这是一种植物病害造成的。《北京青年报》曾登了一篇文章“进口小麦中的艾滋病”,即报道进口小麦中截获检疫性植物病害——小麦矮腥黑穗病 *Tilletia controversa* Kuhn。这篇文章引起读者很大的反响。当时有关部门收到不少的电话,问小麦艾滋病是怎么回事。这些例子说明了植物的检疫和我们日常生活休戚相关,弄不好大家都不敢吃大米,也不敢吃水果,小麦面粉也不敢吃,吃了担心会得病。可见病虫害跟我们的米袋子和果筐子、菜篮子都是密切相关的,它跟生活质量也是密切相关的。

(三)维护和促进对外贸易

过去强调检疫在保护生产安全的方面作用较多,改革开放后,检疫系统的观念也在改变。进来的东西能够进得来,出去的东西能够尽量扩大市场。应该说近几年植物检疫部门通过检疫谈判和技术合作,为出口创汇做了不少的工作。

(四)保护国内农产品市场

这几年随着我国加入世贸组织谈判,逐步认识到检疫的作用。这在世贸组织协定中叫做技术壁垒措施。贸易壁垒主要包括关税壁垒和非关税壁垒。技术性壁垒是非关税壁垒中的重要措施,植物检疫属于非关税壁垒措施之一。

以前的关贸总协定的谈判,主要目的就是降低关税,降低关税才能实现自由贸易。有的提出降低至零关税。除关税的下降以及一些许可证的取消或者减少,作为技术性壁垒措施的植物检疫保护市场的功能得到重视和加强。虽然关贸总协定或者世贸组织都要求减少壁垒,实行自由贸易化,但是实际上,许多国家都在强化保护国内市场的措施。技术性壁垒措施,应用比较好的是日本。日

本检疫制度非常严格,为了保护本国农民的利益,保护本国农产品市场,日本政府颁布了很多有关植物检疫方面的法规,特别是针对中国这个农业大国,它禁止中国所有的水果及瓜类向日本出口,这在很大程度上属于技术壁垒措施。我国参加复关谈判以后,对这个问题也越来越重视。有关部门也在研究加入世界贸易组织后对国内农产品市场的冲击问题,这是一个很严重的问题。今后的植物检疫在保护这些农产品时需要发挥应有作用,很多发达国家也是这样。植物检疫在保护我国内农产品市场方面将会发挥越来越重要的作用。

第二节 植物检疫的主要内容

一、植物检疫的特点

(一) 法律、行政和技术手段的综合利用

利用立法的手段来制止病虫害的传播蔓延,实施强制性的检查制度。进境、出境检疫都是依靠法律来实施强制性的检查的,这属于国家行为。另一种是行政管理措施,如审批、注册登记和监督管理等等,以此来达到检疫的目的。还有一个是技术手段,因为要认识它是不是检疫性病虫害,自然界的病虫害有成千上万种,我们能真正控制的只是少数。首先要用技术的手段来识别是不是属于检疫性害虫,通过仪器设备来鉴定,通过技术方法进行检疫处理。它是一个法律、行政、技术综合运用的结果。

(二) 检疫措施以预防为主

外国的病虫传入国内相当容易,可以通过人为的或自然的途径传播,但要消灭它们比较困难。从生物学方面看,一个物种如果存在下来,通过各种扑灭措施,只能

压低它生存的基数，要彻底地消灭一个物种是非常困难的。当然，现在自然界生物生存的环境逐步恶化，有些物种濒于灭绝，但真正灭绝的还是很少，只是数量慢慢减少而已。所以，作为一项检疫措施，它是一项有预见性的、也是有超前意识的行动，是一种防患于未然的措施。

(三)实行检查与处理相结合的制度

检疫工作首先要查清有没有疫情，查出疫情以后还要对疫情进行处理，处理就是要把病虫消灭掉，我们过去经常讲“拒疫情于国门之外”就是这个意思。这个跟海关、商检的工作不太一样。商检如遇到货物不合格，这批货物不可能全部销毁。海关查出走私物品，也不可能把这批货物全都销毁。但是，植物检疫如果查到疫情的话，要通过除害处理，若是严重的话，则把货物全销毁掉。

(四)社会涉及面广

植物检疫不仅与农、林、牧、渔业等部门直接相关，而且与外贸、内贸、粮食、交通、邮政、海关、工商、卫生等部门有许多业务联系，有间接关系的行业就更多。植物检疫几乎涉及到各行各业，在实施植物检疫工作中，需要各级政府和多个部门的支持、配合。“民以食为天”，食物中以植物及其产品为主体，所以，植物检疫工作关系到千家万户。植物检疫工作需要得到社会各界和广大群众的理解和支持，特别在植物疫情的发现、报告和扑灭等方面更要取得民众的支持才能行得通。

二、植物检疫的主要法规依据

由于植物检疫是政府采取强制性检查等措施来实施的，所以植物检疫要以国家的法律、规章为执法依据。目前，我国存在着进出境植物检疫和国内植物检疫两个植

物检疫执法体系。

(一)植物检疫法规

有进出境植物检疫法规和国内植物检疫法规。《中华人民共和国进出境动植物检疫法》是进出境植物检疫最重要的法律依据，此法是1991年10月颁布，1992年4月实施的，一共8章50条。1992年5月由国务院令第98号发布施行的《植物检疫条例》是国内植物检疫(包括农业和森林检疫)的主要执法依据。《植物检疫条例》共24条。两个检疫法规主要内容包括立法宗旨、主管部门和检疫机构、检疫范围和检疫项目等。

(二)植物检疫名录

植物检疫名录是执法的重要依据，包括应检物品名录、检疫性病虫名录、禁止进口物品名录等。

(三)检疫操作规程

为了使植物检疫程序规范化、标准化，原国家动植物检疫局于1996年编制了《中国进出境植物检疫手册》，检疫程序主要包括以下几个方面：报检、现场检验、检验结果的评定、签发检疫证件等。

三、植物检疫的主要行政措施

(一)禁止进口措施

即对于特别危险又缺乏检验和处理方法的病虫害则采取禁止进口的比较严格的措施。这个措施效果非常有效，但随着科技的发展以及国际贸易的发展，实施这种手段的难度在逐步增加，实施的范围也在逐步减小。过去禁止进口的范围往往是整个国家，现在则缩小到一个国家的一些州或地区。这里面牵涉到不少的具体技术问题，如疫区范围的划分、疫情的标准以及有害生物风险分析技术等方面问题。

(二) 检疫的审批

动植物检疫的审批分为两类,一类叫一般审批,另一类叫特殊审批。一般审批是对进口的动植物及其产品事先提出一些检疫的要求,符合要求的才批准进口。特殊审批则主要是指来自疫区的植物及其产品,本来是属于禁止进口的,但因特殊的需要,如科研的需要,一些高档的宾馆、饭店特供需要的农产品,通过特别批准,少量地、有控制地、有条件地进口。

(三) 实施检查和检验

货物进境时,都得抽取一定的样品进行现场检查或实验室的检验,对旅客携带或者邮寄的包裹也都要根据规定开包进行检查。

(四) 隔离检疫

因为植物的疫病都有一定的潜伏期,在口岸检查的当时不一定能发现,有些症状过一段时间以后才表现出来,所以要隔离起来观察一段时间,是否显示疫病的症状。植物隔离检疫的时间为一个生长期,有的植物隔离检疫则为两个生长期。为了隔离检疫的需要,我国已经建立了三个植物检疫隔离圃。

(五) 检疫的处理

检疫工作不仅要查出疫情,更重要的还要把疫情予以消灭。现在植物检疫的处理有几种方法,如果病虫害相对比较轻,可以通过改变用途来达到处理的目的,如原是作种用的,现在则加工成产品,通过加工处理来消灭这些病虫。一般处理是通过物理、化学的方法来达到灭菌或灭虫。对于疫情比较严重,扩散的可能性比较大的,要采取退回或销毁的措施。由于这种措施要影响到双方的贸易,甚至会影响到两个国家的关系,所以,这种比较严格的措施采取得比较少。比如,在 70 年代初期从美国小

麦中发现小麦矮腥黑穗病（简称 TCK），当时就退回 3 艘 TCK 病麦。此事件引起两国领导人的关注。当时在报刊上也有很大的篇幅来报道此事。

（六）检疫的监督

在生产、加工或储存过程中进行监督是检疫工作的一个重要手段。因为进口时不一定能完全查出病虫来或者有些是漏报漏检的，那么就通过生产、加工、储存这些环节进行监督，一旦发生病虫及时进行处理。

（七）病虫害的监测和调查

调查的地点，一是种植地，如农场、农田，另一个是对生产、加工和储存地进行调查，三是对口岸进行调查。除了人工调查以外，现在还用监测的手段，在种植场和生产加工储存地取样进行分析，也有一些是使用引诱剂等进行监测调查。

第三节 我国植物检疫的新发展

一、植物检疫策略的改革

随着改革开放政策的深入贯彻，植物检疫也带来许多新情况、新问题。80 年代中期，原国家动植物检疫总所经过调查研究提出了“做好检疫工作，发挥把关作用，服务对外开放，方便进出往来”的指导思想。这 24 个字概括起来是两个方面的意思，一是把关，二是服务。在强调把关的基础上采取了一系列简化手续、方便货主的措施，并在深化检疫改革方面做了大量工作，改革了一系列不适应对外开放的检疫监管措施，千方百计地提高工作效率和服务质量，发挥检疫对发展外向型农业的促进作用。为此，原国家动植物检疫总所下放了部分检疫审批权，简化了检疫手续，加快了验放速度。许多口岸局“急货主之

所急、帮货主之所需”，主动为货主分忧解难，积极配合疏港，实行昼夜接受报检，避免了因检疫造成压船、压港、压货，为国家节约了大批资金，受到了有关部门和货主的好评。

到 90 年代，在把关服务的基础上，又进一步增加了“促进”的内容，就是检疫要促进国内经济和贸易的发展，这是对检疫工作作用的认识又提高了一个层次。所以，近十多年来，随着形势的发展，植物检疫的功能在发展、提高，由单纯的保护农牧业生产安全，发展到促进贸易的发展，促进优良种子、苗木的引进。

(一) 植物检疫积极促进农产品出口创汇

我国是个农业大国，农产品出口是创汇的重要途径。随着我国农业生产的发展和农业结构的调整，名优特农产品在国际贸易中的份额不断扩大。近年来，植物检疫部门与有关国家开展技术合作，促使我国哈密瓜、荔枝、稻草制品、梨等农产品打入日本、美国、加拿大、新西兰、澳大利亚等国市场，较为成功的有如下几个事例：

- 积极开展检疫技术合作，促使我国哈密瓜、荔枝、稻草制品进入日本市场 80 年代由于中日两国贸易不平衡。日方顺差，中方逆差，中日政府都表示要积极促进贸易平衡，扩大中国农产品出口是改变贸易不平衡的重要途径。但是，由于日本植物防疫法中规定禁止从中国进口诸多农产品，如瓜类等水果因瓜实蝇 *Bactrocera curvatae* (Coquillett)、稻草及其制品因稻茎线虫病 *Ditylenchus angustus* (Butler) Filipjev、荔枝等因橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (Hendel) 等病虫害，日本禁止从我国进口这些农产品。为了解决这个问题，中日植物检疫部门进行了多次会谈。从 1987 年开始，中日双方分别开展了对中国新疆哈密瓜、东北地区的稻草及其制品、广东荔枝的

检疫试验。经过多年的技术合作终于促使日本政府放宽了对中国农产品的进口限制。

(1) 荔枝为我国原产，中国产荔枝素以种类多、品质高著称于世，中日两国贸易部门久有开发中国鲜荔枝出口日本的意向。由于我国南方部分地区曾有橘小实蝇发生，日本早在 1950 年制定植物防疫法时即明文规定禁止从中国进口荔枝。为解决中国荔枝向日本出口问题，原农业部动植物检疫局于 1987 年 7 月与日本国际协力事业团商定，将新鲜荔枝处理列为两国科技合作项目。中日两国检疫专家在原广州动植物检疫局开展了鲜荔枝感染实蝇的杀虫实验研究。两年间经实蝇人工饲养、实蝇抗性测定、蒸热加冷贮杀虫和果实损伤等实验，提出了经 46.5℃ 处理 10 分钟后置于 2℃ 低温中贮存 40 小时杀虫的处理技术方法，该项技术杀虫效果达 100%，而且对荔枝色泽、口味、糖度等品质无明显影响，从而为促进日本政府解除检疫禁令提供了有力、可靠的科学依据。在此基础上，中日两国植物检疫机关举行了会谈，就荔枝检疫解禁的问题达成一致意见。1994 年 4 月，日本农林水产省发布对植物防疫法实行规则做部分修改的命令，正式解除了中国荔枝进口的禁令。1995 年和 1996 年荔枝季节，福建省华侨友谊供应公司和广州市粮油食品进出口公司，先后应用此项技术和蒸热杀虫处理试验用机处理，共出口日本鲜荔枝 2 吨。福建省漳州德兴发展有限公司，引进此项处理技术，在漳州建厂大量出口鲜荔枝，在 1998 年荔枝季节期间，向日本出口荔枝 140 吨，1999 年，大约向日本出口 200 吨。

(2) 1988 年中日两国植检机关合作开展关于中国稻草垫(榻榻米)杀菌处理技术开发试验，由于技术要求高，经过多年攻关，才达到了日方有关灭菌处理的要求。1996

年 2 月日本农林水产省宣布对中国产的稻草垫检疫解禁,于是中国稻草垫进入日本市场,逐步取代了韩国和台湾产的稻草垫。同时,日本饲养业由于缺乏饲料稻草,有关日本商社纷纷向中国提出进口饲料稻草的要求。日本检疫机关明确表示饲料稻草不能沿用稻草垫的灭菌处理方法。为此我国辽宁检验检疫局技术人员又开展了饲料稻草灭菌试验工作,使用 GA752 型真空蒸汽器,经过 86℃、持续 4 分钟以上的饱和蒸汽热处理可有效地杀灭稻草上的病菌。经过日方多次派专家来华确认,1999 年 8 月日本农林水产省发布关于对中国生产稻草的植物检疫细则。当年 10 月第一批中国饲料稻草出口日本,从而结束了中国稻草长期不能直接出口日本的历史。据统计,到 2000 年 5 月 31 日为止,已有 11 吨多经过检疫灭菌处理的饲料稻草及草绳制品销往日本,直接创汇约达 2 300 万美元。现大连地区有输日稻草经营企业 20 家,有 65 台清消设备,日产量 1 500 吨。日本检疫官也由原 2 名增至 3 名。中国稻草的顺利出口,也推动了原料加工、机器制造、外贸运输等一系列相关产业的发展。

(3) 1987 年中日双方植检部门达成了哈密瓜检疫技术合作协议,双方专家通过实蝇诱捕技术、指示植物及瓜田调查等工作,证实了新疆地区确无瓜实蝇的发生。1988 年 2 月日本农林水产省发布第 6 号省令,决定从 1988 年 3 月起,解除对中国新疆哈密瓜的进口检疫限制。当年 8 月首批哈密瓜东渡日本,受到日本消费者的欢迎。

2. 发挥植物检疫优势,发展鸭梨出口创汇 鸭梨是我国北方优良水果之一。近年来河北鸭梨种植面积不断扩大,现已达到 23 万公顷,年产量达 120 多万吨。由于近几年鸭梨产量的增加,鸭梨内在质量的下降,加之原来河北鸭梨的主要出口市场——港澳、东南亚出口利润降低,

出现了卖梨难的现象。梨农由原来“要致富，栽梨树”发展到“要想富，刨梨树”，河北鸭梨生产受到严重影响，梨农生产积极性受到严重挫伤。检验检疫部门认识到，为河北鸭梨开拓新的国际市场，实现“农业增产、农民增收、农村稳定”的目标是自己本职工作的一项重要课题。

在当今国际贸易中，我国农产品要走向国际市场，除了农产品本身的优势外，还需要检验检疫部门的技术和信誉作保证，以打破一些国家的进口限制。在这方面检验检疫部门充分利用自身优势，在河北鸭梨出口工作中发挥了重要作用。就河北鸭梨出口检疫问题加强与新西兰、澳大利亚、加拿大、美国等国检验、检疫机构的技术交流与合作。为了打破这些国家在植物检疫和安全卫生方面的技术壁垒，消除鸭梨出口障碍，自 1991 年以来检验检疫部门采取积极主动的工作方式，开展广泛的调查研究，摸清鸭梨病虫害分布及农药残留状况，对重点病虫害进行监测，建立全程防疫、检疫、检验体系，并与进口国官方检疫机构接触，交流检疫工作做法与经验，统一规范检疫行为，主动邀请国外检疫机构到河北鸭梨产地参观、访问，在产区积极宣传国家及进口国检疫的有关标准与规定，使鸭梨的种植、加工与国际惯例尽快接轨，组织果农按照检疫有关法律法规及规定生产鸭梨，使出口鸭梨达到进口国检疫要求。经过与果农、加工企业和经营部门的共同努力，1994 年 9 月我国检验检疫部门与加拿大农业和农业食品部植保局正式签署《中国鸭梨和香梨试运加拿大协议》。1994 年 9 月与美国农业部动植物健康检疫局签署《中华人民共和国对美国出口河北鸭梨植物卫生条件》，并于 1997 年 12 月正式装运鸭梨出口。1994 年 9 月与新西兰农渔部签署《具有经济意义的实蝇寄主植物对新西兰出口议定书》。经过 8 年的不懈努力，1999 年 7

月与澳大利亚正式签署《澳大利亚进口中华人民共和国鸭梨的协议》。以上 4 个协议的签署,为规范鸭梨生产加工,确保鸭梨顺利出口美、加等国,扩大河北鸭梨出口渠道,增强河北省出口农产品的国际竞争力起到了积极的促进和保障作用。1999 至 2000 年度实现对美国、加拿大、澳大利亚、新西兰出口鸭梨 326 批次,6 600 多吨,创汇 587 万美元,创汇价值比去年同期增长 126%。检验检疫不合格批次比去年同期下降 15.1%,把不合格产品堵在国门之内,挽回经济损失 145 万美元。同时,出口鸭梨贸易的增长,也提供了季节性加工就业 3 000 人以上。河北鸭梨已成为了一个经济效益和社会效益都较为可观的出口创汇农副产品。

(二) 扩大检疫保护面,开展多方位的检疫

当前,国际经济合作和科技交流日益频繁,贸易和运输方式呈多样化的趋势,这使得病虫害传播的渠道也越来越复杂。所以,除了需要对动植物及其产品实施检疫外,对其他传播媒介也应该给予充分注意。根据《中华人民共和国进出境动植物检疫法》的规定,我们发展了几项新的检疫内容。

1. 对来自疫区的交通运输工具,包括火车、船舶、飞机等,实施动植物检疫。这主要对食品舱及交通员工携带的应检物品实施检疫,并进行必要的消毒处理。

2. 对集装箱和木质包装材料实施检疫。这二类都属装运容器性质,本身又具木质材料部分。在实施检疫中发现的疫情是相当可观的,据 1993 年统计,各有关口岸动植物检疫局多次从集装箱中检出美国白蛾、双钩异翅长蠹、皮蠹类及非洲大蜗牛等危险性害虫。

3. 对装载农产品的船舶进行装运前的检疫,以保证出口的农产品避免带疫情船舶的污染。据天津检疫局反

映出境船舶害虫检出率达 18.5%。

二、重要检疫性有害生物的检疫对策和技术进展

近几年来，我国加强了对严加防范的检疫性有害生物的检疫政策和检验技术研究，如小麦矮腥黑穗病、玉米细菌性枯萎病、烟霜霉病、小麦印度腥黑穗病 *Tilletia indica* Mitra、橡胶南美疫病 *Microcyclops ulei* (P. Henn.) von Arx、地中海实蝇、稻水象甲 *Lissorhoptrus oryzophilus* Kuschel、谷斑皮蠹等。

(一) 地中海实蝇的检疫对策及其检疫技术进展

1. 地中海实蝇是我国重点防御的检疫性害虫 地中海实蝇是国际上十分重要的检疫性害虫。此虫为害柑橘、苹果、梨等水果，还为害番茄、茄子等蔬菜，寄主植物达 350 多种。此虫原产于非洲热带地区，现已传播到 40 多个国家和地区。水果是我国重要的经济作物之一，1994 年全国的果树种植面积达 726 万公顷，水果产量达 1.75 万吨，平均递增速度达 17.6%。因此，我国对防止地中海实蝇传入的检疫工作十分重视。

早在 1954 年对外贸易部公布的输出输入植物应施检疫种类与对象名单中，就把地中海实蝇作为 30 种植物检疫对象之一。农业部 1966 年至 1992 年 4 次发布的植物检疫对象名单中均列有地中海实蝇，我国植物检疫机关一直把地中海实蝇作为重点检疫的害虫。国务院和农业部都分别发布了严防地中海实蝇传入国内的文件。农业部还专门发布了通告，告示了我国防止地中海实蝇传入的检疫规定，以引起全社会重视，共同做好防御工作。

从 1993 年 8 月至 1999 年 7 月，北京、广州、天津等口岸从旅客携带和货运的水果和蔬菜中截获地中海实蝇 12 次。其中北京检验检疫局截获 6 次。这充分表明其潜

在的危险性。

2. 防止地中海实蝇传入的主要检疫措施 由于地中海实蝇危害重且寄主范围广, 对我国水果生产威胁大, 为防止此虫传入, 我国对此采取了较严格的检疫措施。一是禁止疫区国家生产的水果、蔬菜(仅限番茄、茄子、辣椒等)进口。二是来华旅客不得携带水果、蔬菜入境。三是实施进口水果检疫审批制度。四是加强地中海实蝇的监测工作。

3. 为了适应改革开放和国际贸易发展的形势, 及时调整检疫政策, 促进水果贸易的发展 世界贸易组织(WTO)新制订的关于“动植物检疫和卫生措施协议”(简称SPS), 对植物检疫工作提出了新的要求。SPS协议强调植物检疫对贸易的不利影响要降到最低限度。同时, 不少发生地中海实蝇的国家纷纷要求我国对其开放水果市场。其中一些经济发达国家把水果检疫问题列入与中国双边贸易或市场准入谈判的重要内容。为此, 我国植物检疫机关对水果的检疫问题也采取了相应的措施。

(1) 开展对水果、蔬菜的有害生物风险分析研究工作(简称PRA)。PRA是检疫政策的基础工作, 我国于1991年设立PRA专家组, 就PRA工作模式和程序, 有害生物危险性评估, PRA数据支持库等开展研究, 取得较大进展。同时, 根据对外贸易和检疫合作的需要, 应用PRA方法对美国、澳大利亚、新西兰、智利等地中海实蝇情况进行了分析研究, 包括地中海实蝇在这些国家的适生范围、评估引进这些国家水果时可能形成的潜在危险性(包括传入可能性、定殖的可能性和定殖后扩散的可能性)。根据风险评估的结果, 实行风险管理(包括评价、比较和确定降低风险的措施)。目前, PRA专家组已就水果检疫问题完成了近20个PRA报告, 对解决这些国家水果输入

我国的检疫决策提供了科学依据。

(2) 关于疫区范围的问题。过去,把发生地中海实蝇的整个国家作为疫区来对待,一律禁止该国水果进入我国。近年,联合国粮农组织(FAO)发表了《国际植物检疫措施标准》,其中关于《建立非疫区的要求》中,对非疫区的概念做了规定:“非疫区为经科学证据证明,不存在特定有害生物和在适当的地方这状况得到官方保持的地区。”为了与国际标准保持一致,根据地中海实蝇的特点,并参考了FAO关于非疫区概念,我国检疫专家提出了关于疫区范围的几项条件:a、地中海实蝇的生物学特性。地中海实蝇成虫飞翔可能达到的距离是一个基础范围,这里也要考虑到成虫的取食、存活及其生物学因素。b、地理环境条件是影响地中海实蝇传播蔓延的重要因素,发生地区的地形、地貌(如高山、沙漠、海洋等)都直接影响成虫的扩散能力。c、农业生态条件和寄主分布情况是影响传播蔓延的重要因素。还要考虑地中海实蝇发生地区气候条件,移民和外来人口(特别是来自地中海疫区)居住情况、交通运输和贸易往来等。另外,对定殖区域和新侵入区等问题,根据实际情况,确定有所区别的检疫措施。

根据上述新的检疫措施,经过检疫专家考察和论证,与某些国家就进口水果检疫问题分别达成了一些协议。如中美两国检疫部门签署了进口美国苹果、樱桃、葡萄的检疫议定书,中智两国检疫部门签署了进口智利部分地区的猕猴桃、苹果、葡萄的检疫议定书,还达成了进口澳大利亚亚塔斯马尼省苹果、进口新西兰苹果、猕猴桃的检疫协议等。这些检疫上新的措施不仅有效地保护了我国水果生产的安全,同时也有效地促进了水果贸易的发展。

(二) 小麦矮腥黑穗病的检疫对策及其检疫技术进展

我国小麦的种植面积和产量仅次于水稻，在粮食生产中占第二位，在国民经济中居有举足轻重的地位。小麦矮腥黑穗病是麦类作物上一种危害性大，根除十分困难的病害，一旦传入难以根除。由于小麦矮腥黑穗病危害的严重性，列为一类危险性有害生物。

1. 我国采取了一系列的严格检疫措施，严防此病传入

(1) 把小麦矮腥黑穗病定为禁止进口的植物检疫性有害生物，规定从国外进口粮食不得带有小麦矮腥黑穗病。

(2) 各口岸动植物检疫机关对进口粮食要实施严格检疫。对于来自有小麦矮腥黑穗病疫情国家的粮食，必须到锚地检疫。未经检疫不得靠港，经检疫后才能卸货。除了在卸货前在粮船表面实施检查外，在卸粮过程中要继续检查。通常根据卸货进度分层检查，每舱不得少于3次。在检查中，按品种、等级在各舱扦取的粮食样品，带回实验室进行检查鉴定。

(3) 禁止进口的检疫措施。由于小麦矮腥黑穗病的严重危害性以及难于处理和防治等诸多因素，根据我国进出境动植物检疫法第五条“国家禁止进境动植物疫情流行的国家和地区的有关动植物、动植物产品和其他检疫物”的规定，农业部采取了禁止从小麦矮腥黑穗病疫区进口小麦的措施。

禁止进口是植物检疫上较严格的措施，这对于防止小麦矮腥黑穗病的传入是十分有效的，但这种措施对于小麦贸易产生的影响是较大的，也易引起一些争议。有的国家认为我国禁止从小麦矮腥黑穗病疫区进口小麦的检疫措施是一种贸易的技术壁垒，这是一种误解。禁止

疫区进口是国际植物检疫中惯用的一种措施，我国采取这种措施完全是从保护我国农业生产安全出发的。当然，这种严格的检疫措施不是绝对不变的，随着形势和科学技术的发展以及我国实际需要，可能也会有某些变化。

2. 随着国际贸易的发展以及我国对外开放扩大和国内改革的深入，植物检疫的政策也在不断发展变化，并努力与国际惯例保持一致。我国植物检疫部门积极研究相关的国际组织的规定，采取措施与其相适应。如世界贸易组织（WTO）《关于动植物检疫和卫生措施协议》（SPS）中规定：“缔约方在确定适当的卫生和植物检疫所保护的水平时，必须考虑将对贸易的不利影响降低到最低限度。”FAO制订的《关于同国际贸易有关的植物检疫原则》的有关条款中明确要求“植物检疫措施应当与涉及的病虫害风险相一致，应当是可采取的限制性最小的措施以便使对人民、商品和运输的国际流动的影响减少到最低程度”。为了实施这些国际协议，使我国检疫措施对国际贸易的消极作用降低到最小，我国动植物检疫部门对小麦矮腥黑穗病在实行严格检疫的同时，也采取了一系列较为灵活和多样化的检疫措施。

一是应用有害生物风险分析方法（PRA）划分小麦矮腥黑穗病的非疫区。

二是允许小麦矮腥黑穗病疫区小麦加工的面粉输入。我国专家经研究证明，小麦经加工后，小麦矮腥黑穗病的病菌孢子绝大部分都集中到加工后的麦麸中去了。面粉主要是食用的，经过高温蒸煮后矮腥黑穗病孢子不可能再存活。另外，面粉不可能直接进入农田。

三是经有效灭菌处理的矮腥黑穗病疫区的小麦可以向我国出口。我国对小麦矮腥黑穗病所采取的检疫措施

主要是防止此病菌传入，而不是阻止国外小麦进口。所以，只要不带有小麦矮腥黑穗病的小麦或经灭菌处理的小麦都是允许进口的。这里关键是要有一个对商品小麦进行有效灭菌的处理方法，并有检测方法能证明灭菌处理的效果（即检测病菌孢子的死活程度）。

四是在科学的基础上，开放海南省接受矮腥黑穗病疫区小麦。我国专家根据不同地理气候条件的分析，认为我国冬小麦产区存在着不同程度发生矮腥黑穗病的可能性，只有海南省是矮腥黑穗病发生的低危险区，其气候条件也不适宜矮腥黑穗病萌发和侵染，而且海南省也不种植小麦，海南省发生矮腥黑穗病的可能性极小。在综合考虑和分析各方面的因素后，我国政府决定海南省作为特定地区可以接受矮腥黑穗病疫区的小麦，但严禁疫麦运往中国大陆其他省、市、自治区。为了做好海南省接受矮腥黑穗病疫区小麦的管理工作，我国有关部门规定，疫麦进口前必须向国家植物检疫机关报告，以便掌握疫区小麦的流向。疫区小麦只能在海南省内加工，面粉可供海南省内使用和出口，也可运往中国大陆。由于疫区小麦加工后的麸皮有大量的矮腥黑穗病病菌，所以麸皮严格限制在海南省内使用或者出口。海南植物检疫机关也对进口疫区小麦制订了一套严密的检疫监控制度，采取有效措施严防进口疫区小麦及其加工后的麸皮向中国大陆其他地区扩散。另外，还规定海南省有关港口在疫粮接卸期间，相邻泊位要避免有驶往大陆的运输工具同时作业。装卸矮腥黑穗病疫区的船只未经消毒，不得到大陆其他港口装运货物。

3. 小麦矮腥黑穗病检疫技术的进展 我国在小麦矮腥黑穗病的检验和鉴定技术上经过多年的研究和实践，总结出一套有效的检验方法和鉴定标准，包括六个程

序，即扦取代表样品，制取平均检验样品（500克），症状检查，洗涤检查，病原鉴定和结果评定。小麦矮腥黑穗病病原的鉴定主要依靠病菌孢子的形态（如孢子网脊高度、胶质鞘厚度、孢子大小等）和病菌孢子的萌发试验。但由于有些小麦矮腥黑穗病菌孢子（TCK）与网腥黑穗病病菌孢子（TCT）在形态上较为相似，有时还存在重叠性，有时还有变异，不易区别。这在国际上也是个技术难题。有些专家近年来开展了包括形态学上与近似种的区别、超微结构比较、生化技术以及细胞成分结构的比较、免疫及氨基酸结构及蛋白质组成等多项研究，但尚无可适用于常规检验的可行的检验鉴定方法。这个问题关系到小麦国际贸易，受到我国与一些小麦出口国的关注。为了解决进口美国小麦检疫中的问题，中美两国农业部决定设立小麦矮腥黑穗病菌鉴定技术合作研究项目。自1989年至1992年我国农业部动植物检疫总所与美国农业部农业研究局、农业市场局组织有关专家在美国农业部所属的外来病害和杂草研究所开展了“适用于进口小麦的矮腥黑穗病准确简便的鉴定方法的合作研究”。此项研究包括两个部分，即比较形态学研究和自发荧光显微学特性研究。

此项合作研究结束后，中美农业部主管部门于1992年在我国上海召开了小麦矮腥黑穗病合作研究的总结研讨会。中美双方对此项合作研究成果给予肯定，认为基本上统一了关于小麦矮腥黑穗病的检验方法和鉴定标准。双方表示有的方面还可以进行深入的研究。我国农业部动植物检疫总所的领导和美国农业部农业研究局的负责人共同签署了会议纪要。

4. 小麦矮腥黑穗病检验、鉴定标准 1994年农业部动植物检疫总所组织专家对小麦矮腥黑穗病的检验技

术进一步完善。根据我国多年的经验，同时也吸收了中美关于小麦矮腥黑穗病的研究成果，制订了新的《小麦矮腥黑穗病检验方法、鉴定标准》。这个新的方法比原方法更科学、也更规范，不但进一步肯定了网脊值是判断小麦矮腥黑穗病的最主要特征，同时，也充分应用了自发荧光在小麦矮腥黑穗病的鉴定中的特别作用。在难于用这两种方法判断时，又考虑应用孢子萌发生理这一基本鉴别方法。从测量手段上讲，统一制定了监视器测量判别标准。为了开展这一项新的检验技术，要求各口岸动植物检疫机关配备荧光显微镜、摄像机转换头和高清晰监视器等设备。这种新的小麦矮腥黑穗病检验技术解决了我国口岸检疫中遇到小麦矮腥黑穗病（TCK）与网腥黑穗病不好区别的难点。在与其他国家的技术交流中，这种检验技术得到国外专家的认同。有些国家还采用了我国的这种检验方法。

（三）有害生物风险分析及其进展

随着世界经济的不断发展，贸易与交往日益频繁，对植物检疫工作提出了更高的要求。如何减少卫生及动植物检疫对贸易所产生的消极影响，不断适应和促进贸易交往的发展，成为各国检疫工作者所关心的重要课题。国际间“期望制定一个有规律和有纪律的多边框架，指导动植物检疫措施的制定、采用和实施”。因此，增强国际间检疫协调成为植物检疫发展的方向。有害生物风险分析（Pest Risk Analysis，简称 PRA）是建立检疫程序依据的关键，因此受到各国及各区域植保组织的重视，近年来相继召开了一系列的专家碰商会来研讨 PRA 有关问题，期盼在全球范围内建立一个统一的 PRA 工作程序。各国也先后就 PRA 工作开展研究，全球的植物检疫进入了一个新的发展时期。我国的有害生物风险分析研究工作同样

是随着国际间贸易往来的日益发展对植物检疫不断提出新要求而发展的。

1. 有害生物风险分析(PRA)在我国的开展简况 同其它国家的PRA工作相比,我国的PRA起步并不晚。80年代初,我国植物检疫部门和植检科学家根据农产品贸易情况,高度重视了有害生物人为传播的危险性。1981年,农业部植物检疫实验所组织了植物病理学、昆虫学和杂草学领域的25位研究人员,立题“危险性病虫杂草的检疫重要性评价”开展研究,先后对引进植物及植物产品可能传带的昆虫、真菌、细菌、线虫、病毒、杂草6类有害生物进行检疫重要性程度的评价研究,根据不同类群的有害生物的特点,按照为害程度、受害作物的经济重要性、我国有无分布、传播和蔓延的可能性和防治难易程度进行综合评估。研究制定了评价指标和分析办法,以分值大小排列出各类有害生物在检疫工作中的重要性程度和位次,提出检疫对策。该项研究历时5年并取得成果,为制定和修改进境植物检疫危险性有害生物名录及有关检疫措施提供了科学依据。

随着计算机技术在生物科学领域的广泛应用,计算机系统的信息存储和快速分析计算能力为有害生物风险分析工作提供了有力手段。1984年,北京农业大学魏淑秋等建立了一个可用于农业气候分析的数据库系统——农业气候相似距库。该系统选择光、温、水等多种气候因素,采用聚类分析法,以欧氏距离为相似统计量,定量地表征不同地点间气候的相似程度,为气候比较提供了有力的研究工具。植检科学工作者利用该系统先后对美国白蛾 *Hyphantria cunea*、假高粱 *Sorghum halepense* (L.) Pers. 等危险性有害生物在我国可能适生的潜在危险性进行分析,获得很好的结果,为检疫的宏观预测提供了依据。

相继，我国学者研究引进了澳大利亚萨瑟斯特(Sutherst)和梅瓦尔德(Maywald)研制的用于生态气候评价的计算机模型——CLIMEX系统，该系统采用生态气候指标(Ecoclimatic Index，简称EI)定量地表征生物种群在不同时空的生长潜力。开发利用该系统的不同地区的气候数据库进行计算，研究有害生物原生存国和我国的EI值，配合相关的指标进行统计排序，求出可能的适生区。我们利用该系统分析地中海实蝇在美国的适生范围，预测引进该国水果时可能形成的潜在危险性，为美国水果输入我国的检疫决策提供了依据。以适生性研究为主的PRA工作还先后对谷斑皮蠹和甜菜锈病进行了专题研究，均获得了具有实际应用价值的结果。

进入90年代以来，我国的PRA工作步入了一个新的发展时期。1991年组建了PRA研究工作组，就PRA工作模式、有害生物危险性评估、PRA数据支持库等开展研究并取得较大进展。

2. 有害生物风险评价体系的确立 有害生物风险分析是涉及生物学、社会学、经济学的复杂系统工程，是对有害生物多层次、多方面管理的综合性预测体系。因此，要对外来有害生物的风险作出科学的评价，必须研究和分析影响有害生物危险性的各种相关因子以及这些相关因子的地位、作用和相互之间的关系，这就需要建立一个科学的评价指标体系。我们在吸收有关地区植保组织的经验后，结合自己的研究成果，同时经过我国植保植检界多位专家的参与修改，研究制定了初步评估程序。这个程序包括两个不同起点的程序，即：以某类(种)植物及产品输入风险为起点的评估程序和以有害生物危险性为起点的评估程序。

3. 有害生物风险分析评价指标量化研究 目前各

国在 PRA 的工作程序和内容上有不少问题尚未达成共识，特别是在评价指标的量化分析方法上存在不同看法。如美国把有害生物危险性分析分为两部分：定殖潜力及定殖后的结果。并在定殖潜力下设了 4 个指标：寄主上的有害生物、进境潜力、定殖潜力和扩散潜力。对定殖后的结果设了 3 个指标：经济损失、环境损失和可察觉的损失。通过专家对这 7 个指标打分（分高、中、低三档），则对这 7 个指标进行综合评价得出危险值。加拿大、新西兰及欧盟的评价步骤与美国有些差异，但是在定量分析上也主要是采用打分的办法，只是具体打分的原则各有不同。

我们在评价方法上做了一些研究，借鉴一些系统分析中应用的方法与思路，用于定量分析。首先分析影响有害生物危险性的各个相关因素，相关因素确定后，就要建立一个评价指标体系，再对其进行定量分析，提出有害生物的危险值。

4. PRA 数据库系统的研究概述 计算机在 PRA 中的应用，大大促进了 PRA 工作的发展。其中数据库的建立有着重要意义，它是 PRA 工作的基础条件，它为 PRA 研究提供了依据和支持，为此我们在 PRA 研究伊始就探讨对 PRA 所需的信息资源用计算机进行处理的问题，并采用 DBASE——关系型数据库技术，编入输入要求及输出要求。根据这一方法初步建立或正在拟建的数据库包括有害生物数据库、寄主数据库、检疫法规数据库、气象数据库、检疫文献数据库及代码数据库，为 PRA 提供了基础条件。

有害生物风险分析涉及的因素很多，不同类群的有害生物又各具特点，因此在评价中不仅要考虑到相关因子的影响，又要考虑有害生物本身的一些特点。在确立

其危险性程度时，还要考虑与不断发展的经贸关系与社会因素的密切相关性。所以，PRA 尚有许多课题需要研究解决。关于 PRA 的工作程序与方法，目前国际上还没有一个统一的通用模式，我们也正在深入研究和发展这一工作，希望有关植物检疫单位合作，为发展 PRA 科学共同做出贡献。

三、加强植物检疫的国际合作

(一) 国际间植物检疫合作的意义

首先，植物检疫是一项国际性的工作。当然，做好本国的检疫工作是重要的，但病虫害的传播是不受国界限制的，所以光靠一个国家做好检疫工作是不够的，需要其他国家的协作，需要国际间的协调和合作。其次，由于国家间的缔约，贸易合同和国际组织的制约，需要履行国际检疫义务。一般来说，输入国对进口植物都有检疫要求，输出国应按输入国的要求进行产地或出口前的检疫。

另外，国际检疫合作，能够互通有关检疫规定、疫情和相互学习先进技术，能使检疫工作更有针对性，工作主动和提高检疫技术水平。

总的来说国际间的检疫合作，有利于共同防御危险性病虫害在世界上的传播蔓延，能使检疫工作发挥更大效益。

(二) 国际检疫合作的主要形式

目前，世界上关于植物检疫的国际协作大致有三种类型：一个国家与另一个国家签订双边植物检疫协定；一个区域内的几个国家签订的区域性植物检疫协定或区域性的植保植检组织；世界性植保植检公约。

1. 两国间签订双边检疫协议条款 各国根据需要，

与毗邻国家或贸易往来较多的国家加强检疫合作，共同防止危险性病虫害的传入和传出。缔结了双边有关检疫协议，内容主要是缔结双方要互通情报（包括病虫害发生情况，新的检疫法规的措施、科研成果等），双方协商共同采取某些检疫措施，联合防治扑灭已发生的病虫害，组织专家互访，进行技术交流等。由于这种形式关系比较直接，方式灵活，所以，成为世界上最普遍的检疫合作形式。我国已与 20 多个国家签订了近百个植物检验协定和协议。

2. 国际区域性的合作 欧洲、亚洲、非洲、美洲的一些国家，为了加强国际协作，根据地理分布范围分别组成了一些区域性的植保植检组织，目前世界上已有 8 个这样的组织。这些组织，有的是自发组织起来的，有的是在联合国粮农组织倡议、赞助下组成的，联合国给予一定的技术和财力支持。区域性植保植检组织签订植物检疫公约，共同防止危险病虫害传入这一区域，并经常开讨论研究本区域内的植保植检工作问题。

1951 年欧洲及地中海沿岸国家成立植物保护组织，开始对相互之间有关的病虫控制问题进行合作，特别是对美国马铃薯甲虫做出了严格的规定。1954 年非洲撒哈拉大沙漠以南地区的一些国家，签订了一个“植物卫生协定”。1956 年东南亚及太平洋地区的一些国家在泰国曼谷开了一次植保植检会议，签订了“东南亚及太平洋地区植物保护公约”。此外，还有近东植物保护委员会、南美洲国际农业保护委员会、中美洲国际动植物保护组织、北美洲植物保护组织、加勒比地区植物保护委员会。在这些区域性国际植保植检组织中，工作开展较活跃的是欧洲及地中海区域植保组织，它的会员国已达 40 多个国家，在巴黎设有常驻机构。他们签订

了共同的植物检疫公约，有共同防止传入这个区域的病虫名单。从地理分布上来讲，与我国较邻近、关系较大的是东南亚太平洋区域植保委员会，后来改名为亚洲太平洋地区植保委员会（简称 APPPC）。我国昆虫专家黄可训、植病专家祝万里、狄原勃、沈崇尧先生先后担任了该组织的植保执行官员。参加的国家有泰国、孟加拉、澳大利亚等 25 个国家。这个组织的主要工作是帮助会员国搞一些植物保护和植物检疫项目，技术培训，情报交流活动，并出版了《通讯季刊》、《技术资料》和《传阅消息》等刊物。

3. 国际植物保护组织、动植物检疫卫生措施委员会

国际植物保护组织（简称 IPPC）。1951 年联合国粮农组织在罗马召开了一次国际会议，通过了一个《国际植物保护协定》。这个《协定》的主要宗旨是要求会员国尽快地在本国设立植物保护和植物检疫机构，对本国发生的病虫害进行调查研究，发布有关病虫害发生和传播的情报，开展防治工作，建立植物检疫制度，防止危险病虫的传播，特别是在国际间的传播。要求会员国之间相互通报有关病虫发生的情报，在病虫防治工作中开展合作等。到 1979 年为止，已有 79 个国家参加了这个公约组织。目前，已有 91 个国家和地区参加了该组织。世界贸易组织（WTO）设立了动植物检疫和卫生措施委员会和相应国际协议。这是乌拉圭回合谈判后产生的一个新的国际协议和国际组织。这主要是针对动植物检疫和卫生检疫。卫生检疫主要是指食品检疫，所以它的名称叫动植物检疫和卫生措施协议，我们简称为 SPS 协议。这个协议和组织实际上成立得很晚，但它的影响力超过 IPPC。它的能量大是因为它是属于 WTO 的组织，它产生的背景是现在关税已经较低、技术性的壁垒对贸易的影响

越来越大，所以 WTO 针对动植物检疫和食品检验制定了这个新的措施。SPS 协议的宗旨强调，为了保护人和动植物的安全，可以实施动植物检疫和卫生检验，但是不能影响国际贸易的进行。SPS 提出的很多观念是关贸总协定里面的原则应用到动植物检疫和食品检验，比如说，关贸总协定里的八大原则，其中有一个叫等同的原则，即国家与国家之间的贸易是等同的，不应该采取歧视的政策。SPS 协议中就把等同的原则应用到检疫中，采取检疫时，不能采取歧视的措施。SPS 也强调了要在科学基础上才能采取检疫措施。科学基础是什么呢？这里主要是强调了有害生物风险分析，简称为 PRA，即制定检疫政策或措施之前，一定要经过风险的分析。风险分析还没有一个统一的程序的模式，但是发达国家都在搞 PRA。现在一些国际组织也在不断地研究和协调，希望有一个国际上统一的国际标准，以便于解决检疫纠纷。SPS 委员会实际上是一个仲裁委员会，因为它成立时间不久，还没有很多时间和精力来处理检疫纠纷，但是随着它的不断完善，将要加强仲裁的功能。现在提到仲裁委员会的大概有 100 多项这方面的检疫纠纷，绝大部分是美国与其他国家产生的一些纠纷，主要是美国的农产品要打入其他国家市场，这些国家采取了一些检疫措施，导致美国的不满而引起的。

现在世界各国都在强调 SPS 检疫措施，双边检疫谈判时也常应用 SPS 来衡量对方检疫措施的合法性和科学性。国家检验检疫局成立后，加强了这方面的研究。1999 年第四季度在北京召开亚洲和欧洲 SPS 的研讨会，2000 年 9 月在荷兰海牙又举行了亚欧 SPS 研讨会（中国在亚洲牵头，欧洲的牵头国是荷兰）。

四、加强检疫管理

(一)口岸检疫与前伸后续检疫相结合

目前,各口岸的装卸、运输任务繁重,为了避免不必要的压港、压船、压车、压货情况,使口岸更加畅通,我们除了对重点应检物品(包括来自疫区的)必须在入境口岸检查外,对于非重点物品经批准,可以与海关同步进行转关、分流,由到达地的检疫机关实施检疫。

另外,有条件的,经与有关国家(地区)检疫部门协商,派检疫人员到出口国(地区)的产地,仓库等进行预检或监督。这样口岸检疫与前伸、后续检疫相结合,既保证了检疫效果,又提高了口岸通行速度。

(二)登记注册制度

对国内经营进出口植物及其产品的公司、加工厂(场)、仓库、种植园、实行登记注册制度,通过登记注册可以充分地了解这些单位进出口业务情况,有效地防止漏报漏检情况。同时实行报检员办法,使检疫部门与货主单位建立了联系制度。

(三)监督管理

对进口的植物产品的检疫监督,是进口检疫中一项有效措施。我们对有关加工厂进行检疫考核,合格的发给许可证。派检疫人员对其在加工、存放、运输以及废物(污水)处理、消毒的监督管理。

(四)植物检疫手册

为了使检疫工作实行规范化、标准化、程序化管理,目前,原国家动植物检疫局编制了植物检疫手册。检疫手册共分九章,包括引言,进境检疫,出境检疫,过境检疫,旅客检疫,邮寄物品检疫,运输工具检疫,检疫性病、虫、杂草检验,鉴定方法,检疫处理等。另外,已收集了

110多个国家的法规，组织编辑了进口国检疫要求实用手册(初稿已经完成)，以便供检疫人员和货主查用。

五、积极发展科学技术，努力提高检疫水平

科学技术是检疫发展的关键，也是落实检疫法规的基础。所以发展检疫科技工作，国家动植物检疫局把此摆在十分重要的地位。

(一) 积极支持和组织各口岸检疫局结合当地工作需要和特点开展科研活动。原农业部动植物检疫局1988年成立了动植物检疫成果评审委员会，1988年至1997年共召开了七届科技成果评审会，经评审已评出231项获奖，其中一等奖38项，二等奖80项，三等奖96项。另外，还获得国家奖7项和农业部奖20项。

(二) 为了重点突破检疫技术上的难点和薄弱环节，发展高、新技术在检疫上的应用，实现检疫现代化，国家检疫局从1991年着手制订植物检疫“八五”科研规划，1992年开始组织实施。“八五”科研规划共设立了48个研究课题，承担课题的主持单位22个，协作单位47个。

(三) 由于检疫是以外来病虫为主要对象的，为了及时掌握国外危险性病虫的疫情以及检测、处理和信息技术，为此，原国家动植物检疫局申请到了世界银行的贷款项目，派100多名检疫技术人员到国外学习先进的检疫技术，并引进数百万美元的较精密的先进的仪器，重点装备有关口岸动植物检疫局。

六、密切注意国际贸易中植物检疫的动态，加强对关贸总协定(GATT)的调研

从GATT东京回合谈判产生的技术壁垒措施协议(TBT)到乌拉圭回合谈判所形成的动植物检疫卫生措施

协议 (SPS)，可以看到 GATT 对植物检疫越来越重视。原国家动植物检疫局也多次参加在日内瓦召开的复关工作组会议。我们体会到，植物检疫在 GATT 中具有特殊的地位，组织研究了关贸总协定文件中有关条款和乌拉圭回合谈判后所签署的有关协议，特别对新签署的 SPS 协议进行了专门研讨，提出了一些对策。

(一) 检疫国际化的问题

根据 SPS 协议关于要求成员国参加相关的国际组织的要求，我国已是 APPPC 成员国，并派员担任了亚太地区植检常设委员会副主席，有关检疫官员和专家分别参加该组织的工作组，如有害生物名录工作组、植检检验程序工作组、边境检疫工作组等。

(二) SPS 强调应以国际标准、指南或建议为基础

我国在制订检疫法规、检验程序、技术标准时也十分注意参考有关国际组织的标准，但目前许多方面尚无统一的标准，我国采用签订双边协议和合作研究的方式来解决检疫上的不同观点和分歧。目前我国已与 20 多个国家签订了近 100 个政府间的检疫协定、备忘录或检疫条款，并以统一方法和标准与有关国家开展多项检疫科研合作，如中美小麦矮腥黑穗病试验，中日关于荔枝、塌塌米热处理试验，中希关于烟草霜霉病的试验等。

(三) 有害生物危险性评估 (PRA)

PRA 是检疫上一种科学的分析方法，是制订检疫政策和采取检疫措施的重要依据。我国于 1991 年组建了 PRA 专家组，该组工作的内容一是研究 PRA 的模式和步骤，正在建立一个有害生物危险性的评价指标体系，确定有害生物危险性的多种因素，并用定性与定量相结合的分析方法评价出每个有害生物的危险值。二是对地中海

(Burrill) Winslow et al.、甜菜锈病,以及棉花、麦类病虫杂草进行危险性分析。三是对其他国家在检疫上出现分歧时给予咨询。

第四节 21世纪的植物检疫大有作为

一、植物检疫面临的新情况和发展机遇

(一)植物检疫的任务有了新的变化

过去植物检疫主要是为了防止病虫害传入、传出,保护农、林、牧、渔业生产。现在除了保护生产安全外,还可以起到技术壁垒作用,保护国内市场免受外国农产品的冲击,保护国内农民的利益。另外,也比较强调植物检疫要为出口贸易起促进作用,还要考虑保护人体健康,保护自然环境,保护生物多样性等多重职能。

(二)植物检疫与国际经济贸易的关系日趋紧密

随着全球贸易自由化的发展,地区之间经济贸易的国际合作正在加强,涉及我国的,如1989年成立的亚太经合组织(APEC),要在2020年实现贸易投资自由化,1996年在泰国曼谷首次召开的亚欧首脑会议提出的贸易便利化行动计划等。这些地区国际合作中优先的领域是海关程序、认证、政府采购、知识产权等,植物检疫也是其中重要的内容。为了落实这些地区国际组织的有关规定,国家出入境检验检疫局与荷兰、泰国等有关国家合作开展了相关活动,如1999年春季在中国北京举办了中荷关于动植物检疫和卫生措施(简称SPS)研讨会。在此基础上,由中国、荷兰、泰国三个国家牵头,这两年分别在泰国曼谷、中国北京、荷兰的海牙举办了三次亚洲和欧洲关于动植物检疫和卫生措施研讨会。亚欧各国沟通了有关情况、交流了经验,针对贸易中存在的植物检疫问题进行

了探讨。为亚欧各国之间实现贸易投资自由化、贸易便利化行动计划创造了条件。

(三) 植物检疫在WTO关于农产品贸易谈判中的作用越来越突出

自从我国申请加入关贸总协定(GATT)以来,我国常驻日内瓦代表团和外经贸部多次收到一些缔约国提出的有关植物检疫的问题。这些国家多数是农业发达和农产品出口国,如美国、加拿大、新西兰、澳大利亚、智利、阿根廷、墨西哥等,这些国家想利用中国“复关”谈判这一契机,打开中国市场,达到把本国农产品输往中国的目的。自1995年7月召开的关贸总协定第十四次中国组会议以来,作为众多缔约国关注的动植物检疫问题列为工作组会议议题之一。在会议上,各缔约国就共同关心的问题作为一般性提问,如中国植物检疫法律的制订、实施情况、检疫原则、程序是否与国际标准相一致,有害生物风险管理、检疫性病虫的允许量和非疫区的概念以及检疫处理原则等。同时,各缔约国更关心各自与我国贸易中的检疫问题。如美国关注的是美西北部7个州TCK疫区小麦输华问题,由于地中海实蝇禁止从美国进口水果的问题,向中国出口烟叶检疫问题。加拿大关注向中国出口烟叶,马铃薯的检疫问题。澳大利亚要求中国解决向中国出口柑橘、苹果、葡萄等水果的检疫问题。欧盟关注关于马铃薯种薯、苹果树苗、植物带土及介质土等检疫问题。南美的阿根廷关注向我国出口水果的检疫处理标准、小麦中假高粱的允许量等问题。

(四) 检疫要按国际规章办事

1. 动植物检疫卫生措施协议(简称SPS) 这是1990年结束的乌拉圭回合谈判的产物之一,作为WTO关于检疫的文件。中心内容认为检疫是必要的,但必须对贸易

的影响降低到最小程度。提出透明度、共同原则、检疫国际标准化、风险分析与保护程度等。

发达国家把 SPS 作为国际检疫的标准，来衡量对方国家的检疫制度和措施是否是科学的、合理的。

2. 联合国粮农组织(FAO)出台了一系列新规定和标准 1995 年以来国际植物保护公约加强了植物检疫国际标准的制订工作，到目前为止国际粮农组织大会已通过的植物检疫国际标准共 10 项。如：与国际贸易有关的植检原则，外来生物防治物的输入和释放行为守则，有害生物风险分析准则(PRA)，建立有害生物非疫区的要求，植物检疫术语，监测指南，出口证书系统，一个地区疫情的确定，有害生物根除程序指南，建立无有害生物产地和无有害生物生产点的要求等。还有些国际标准尚在制订过程中。

3. 植检概念、名词新变化 如非疫区的概念发生了变化，原来指对没有发生过检疫性病虫的地区称为非疫区，但现在世界贸易组织(WTO)的动植物检疫和卫生措施协议中对非疫区的解释为，经主管当局认定无某种虫害发生的地区。在国际植物保护公约(IPPC)制定的国际标准对非疫区的概念是：科学证据表明某种特定的有害生物没有发生并且官方能适时保持此状况的地区。还出现了缓冲区、低流行区的概念。检疫允许量原为“不得带有有害生物”，现有了“基本无有害生物”的名词。还对传入、进入、定殖等概念作了区分。

4. 检疫、检验一体化 由于动物检疫和植物检疫的法规原则和检疫手段基本一致，越来越多的国家把动检和植检机构合并，设立统一检疫机构。目前，北美洲、中南美洲、澳洲等国家都实现了动植检统一管理，有的把林木检疫和水产检疫也纳入了动植检的范畴。最近，又出

现了食品检疫与动植检合并的情况。如澳大利亚把动植检与卫生检疫合并，加拿大把农业动植检与卫生部食品检验和渔业海洋水产品合并成立农业部食品检验总局。1998年国务院决定把我国动植物检疫、卫生检疫、食品检验、商品质量检验等机构合并成立国家出入境检验检疫局。

(五) 检疫出现社会化和私有化的问题

植物检疫属国家保护安全的性质，属政府管理职能，但现在有些经济发达国家，把部分检疫职能交给企业本身执行，检疫机关只管制订规章、标准等并对企业的检疫给予指导和监督。有些国家把检疫设施私有化，如植物检疫苗圃由私人企业承办经营。

二、抓住机遇进一步发展植物检疫工作

(一) 加强宣传力度，使社会各阶层、广大群众更加关注植物检疫工作，使各级党政领导更加支持植物检疫工作。

由于对外交往和贸易的发展，进出口动植物及其产品的种类和数量大量增加。随着我国农业、林业的发展，各省、市、自治区间种子、苗木的调运增加，为害植物病虫的传播机会也增加了。所以，加强植物检疫工作显得更加重要。我们必须从长远利益和全局利益着眼，切实做好这项工作。

植物检疫工作的意义就在于防患于未然。因此，根据国家检疫法规对未发现检疫对象的地方采取保护措施，严防传入。对已发生检疫对象的地方采取封锁、消灭措施，严禁感染检疫对象的植物及其产品运出疫区。防止检疫对象的传播蔓延是植物检疫机关的职责，也是全国人民都必须尽的义务。另外，植物检疫不仅与

农、林、牧、渔业生产部门直接相关，而且与交通、航空、工商、外贸、卫生、食品、邮政、旅游等部门也有直接关系。可以说植物检疫工作涉及千家万户，关系到各行各业。

进出境检验检疫机关与海关、边防、港监一样都是代表国家行使行政职权的单位，在工作中有密切的联系，这些单位之间的配合、协作更是做好植物检疫工作的重要条件。比如开展港口检疫、邮检、旅检都与海关密切相关。现场检查中有不少工作，是与海关一起进行的。

（二）加强植物检疫法规建设并与国际接轨

面向 21 世纪，进一步强化植物检疫工作，需要加快建立和健全检疫法制，与国际紧密接轨。参照国际植物保护公约，世界贸易组织等有关国际组织制订的国际准则和标准，要注重加强涉及卫生、健康、安全、环保等方面的法规建设，对新形势下出现的一些检疫问题，加强调查研究并逐步规范和形成相应的检疫规章，使植物检疫法规既符合本国需要，又适应国际发展趋势。

另外，为了适应国际贸易发展的要求，对植物检疫政策可做一定的调整。目前，国际贸易自由化、便利化与植物检疫禁止进口的措施矛盾较大，应按照世界贸易组织关于动植物检疫和卫生措施协议中，使检疫对贸易的影响减少到最小程度的原则来调整植物检疫政策。对疫区的概念、范围、有害生物风险分析（PRA）等与贸易较敏感的问题加强研究，制订对策。

（三）增强服务意识，加大支持外贸出口的力度

我国是个农业大国，农产品出口是创汇的重要途径。随着我国农业生产的发展和农业结构的调整，名优特农产品在国际贸易中的份额不断扩大。在当前农产品

贸易竞争十分激烈的情况下，一些国家为避免我国产品对其本国市场的影响，采取了一些针对性的技术壁垒性保护措施，其中以检疫为由限制或禁止我国农产品进口是最直接和最有效的武器之一。

近年来，我国检验检疫部门坚持既把关又服务的方针，充分发挥自身优势，打破国外技术壁垒，积极为我国农产品打入国际市场创造条件。

当前国际农产品市场对安全、卫生、环保要求越来越高（如我国出口日本的大米仅农药残留检测要求就达100多项），技术壁垒措施运用越来越普遍，特别是转基因农产品的出现，使农产品出口形势更为复杂。国家检验检疫局强调，检验检疫系统作为我国涉外行政执法部门，与外经贸关系密切，要坚定不移地为对外贸易服务，促进对外开放的发展，把促进外贸扩大出口作为工作的出发点和落脚点，按照中央经济工作会议精神，进一步增强服务意识，切实加大工作力度，千方百计为外贸发展多做工作。2000年4月国家检验检疫局颁发了关于促进外贸、扩大出口意见的文件，共有8条措施。其中第6条是帮助发展创汇农业促进农产品出口的，主要措施如下：一可发挥检验检疫人才、技术、信息和检测设备的优势，积极开展技术咨询和技术服务，通报出口农产品质量情况，介绍国际市场动态和对产品新要求。二在出口农产品的收购加工、贮存、保鲜、运输、销售等各个环节上，提供质量安全、卫生方面的控制技术服务。三为积极支持农业部门引进优良品种，支持品种改良，品种更新和新品种开发、推广等。四是扩大与有关国家磋商，开展农副产品市场准入谈判。目前重点解决国储棉、大蒜的出口检疫问题，推进优质农产品出口解禁工作，稳定现有禽产品、水产品出口俄罗斯、日本等国市场，稳定港澳鲜活冷冻市

场,使我国农副产品为更多的国家和地区所接受。同时,积极做好水产品、肉类、罐头等出口食品卫生注册企业的对外推荐及企业在国外注册等工作,为国内农产品加工企业争取更多更好的发展空间。

(四)加强科学的研究,不断提高植物检疫技术水平

1. 检疫技术难点 ①检验检疫性病虫是危险性大、技术难度大的(鉴定、处理、消灭)的工作;②绝大部分病虫害是国内未发生过的,标本、资料少,难于在国内开展试验;③数量较大处理较困难。

针对这些技术难点,近年来有关科技有新的发展,如TCK自发萤光显微技术、微机害虫多媒体鉴定系统、生物气候相似距、DNA探针特性鉴定等的研究。

2. 加强科技发展的措施,制订科技发展规划 “八五”和“九五”期间原国家动植物检疫局制订了两个五年科技发展规划。任务完成较好,切实解决了植物检疫技术中一些技术难点,对提高植物检疫技术水平起到了积极作用。

“八五”期间,国家动植物检疫局组织实施的植检科研课题,涵盖了植物检疫性有害生物的检验、鉴定技术和检疫处理技术、实验室管理暨实验室质量控制体系的建立与应用、单项检疫工作程序等动植物检疫的各个方面。由于承担课题单位技术人员的努力和领导的重视支持,大部分课题质量较高,其中部分完成较早的课题已获奖。

“九五”期间,国家动植物检疫局继续组织开展紧密为口岸动植物检疫业务建设服务、为检疫标准化提供技术基础、为检疫决策和措施提供科学依据、与国际先进技术靠拢的科技项目。“九五”期间科技发展目标是:推广行之有效的检疫科技成果,开展软科学研究,

引进高新应用技术，进一步提高对危险性有害生物的检验和处理技术水平，培养跨世纪植检科技优秀人才，提高检疫队伍整体素质。“九五”科技发展规划共47项，包括植物病害研究27项，植物害虫2项，有害杂草2项，植物检疫处理技术11项，软科学技术10项，高新技术7项。

目前，国家检验检疫局正在制订“十五”科技发展规划，对植物检疫科技发展提出了以下几项要求，一是建立起完善的动植物检验检疫技术法规体系。二是加强有害生物风险分析工作，建立和完善风险分析体系，依据风险分析实现对进出境动植物及其产品实行风险分级管理。三是进一步强化检疫措施的科学性，广泛收集国内外有害生物发生、危害、传播信息，建立有害生物数据库，建立我国防范外来有害生物的监测体系和紧急处理程序。四是引进和吸收国内外先进的检疫手段、检测方法、技术措施，制订具体的取样、检验、检测程序和监管措施，使出入境动植物检验检疫做到快速准确。五是加强检疫处理技术研究，保证出入境农产品的安全。

3. 抓好重点实验室建设 为了提高检疫技术水平，国家动植物检验检疫局将重点抓各口岸局实验室的管理，一是实行分级管理，确定各级实验室的任务、目标及应具备的条件。二是要求各级实验室建立质量保证体系，实行规范化管理。1996年，国家动植物检验检疫局利用世界银行贷款项目在10个口岸局设立了实蝇、腥黑穗检验等10个植检重点实验室。在实施中，这些单位的领导非常重视并给予全力支持。从仪器设备到技术力量都给予了充分的配备和扩充，积极做好其他局的送检任务。国家动植物检验检疫局还制定重点实验室建设标准，明确重点实验室的任务、目标、实验室应具备的条件，

以便口岸局按标准、有目的、高质量地完成组建工作。

总之，检疫面临的挑战是严峻的，但发展机遇同时存在。检疫政策要以软科学为基础，检疫技术要瞄准高新技术。希望今后植检的发展成为植物保护学的一个新的生长点。

第 7 章

21 世纪学科发展丛书

农药——作物卫士的武器

第一节 农药的概念和分类

一、农药的定义和概念

“农药”是“农用药剂”的简称。联合国粮农组织对农药定义为农业有害生物防除剂及植物生长调节剂。

农业上各种有害生物前文已有详述，植物保护学科就是保护农作物抵御有害生物侵害的学问，而农药正是用来杀灭或控制这些农业有害生物。如果说植物保护是作物卫士，农药就是作物卫士的武器，使用农药是植物保护多种措施之一。

农药多是化学品，在植物保护中施用农药又称化学保护。农药可以说是化学工业支援农业的一项内容。农业生产上见到的化学品除农药外还有化学肥料（简称“化肥”），汽车、拖拉机、其他农业机械的内燃机用燃料油（简称“燃油”），农业用塑料薄膜（简称“农膜”）等。

农作物上使用的能调节植物生长的物质属于农药范畴，其中包括化学合成的植物体内原有的激素化合物。

农药除用于农作物外，还可用于森林、居室及畜、禽厩舍等方面。我们可以认为这是农药扩大了使用范围，也可以把后者分别归于林药、卫生用药和兽药。

我们可以从几个侧面进一步认识与了解农药。

首先，农药是具有生物活性的一类物质。“生物活性”即用很小的剂量作用于某种生物体，就可以引起该种生物体很强烈的生理反应或病理反应。例如，一些杀虫剂对某种害虫的致死剂量只有每克体重 1 微克 ($1\mu\text{g/g}$) 或几微克或小于 1 微克。这样的剂量拿人体来比较，1 微克/克就等于 1 毫克/千克 (1mg/kg)。成人体重约 60 千克，如果某种药剂对人致死剂量为 1 毫克/千克，60 千克体重只要 60 毫克药剂。我们知道 1 毫升水质量为 1 克，即 1000 毫克，1 毫升水约有 25 滴，1 滴水约 40 毫克。那么，如果把对人致死剂量为 1 毫克/千克的药剂按点眼药水的办法滴在一个 60 千克体重的人眼睛里，只要一两滴或两三滴，就足以致人死地了。这里不是讲“杀人”，因为大家对人体都熟悉，对农业有害生物可能很不熟悉，拿人打比方来说明一下什么叫作农药对有害生物体的“生物活性”。当然，生物活性不只是表现为“杀死”，强烈的刺激作用、抑制作用都是生物体典型生理反应或病理反应。有不少植物激素类型的化合物如 2,4-滴，对某些植物当施用量低时，表现为刺激作用，如刺激果实膨大。施用量增加，表现为抑制作用，如叶片畸形、扭曲。施用量相当高时，则可杀死植物，如可用来防除一些双子叶杂草。在它以刺激作用或抑制作用的剂量施用时，属于植物生长调节剂范畴；以杀死杂草的剂量施用时，属于除草剂范畴。

其次，农药有一定副作用。对于医药来讲，俗话说“是药三分毒”，就是强调了其副作用。医药一般只讨论

对人体的副作用问题，而农药是施用到农业生态环境中去，副作用要复杂得多。农药对人的毒性是最重要的副作用之一。农药施用于农作物，如果伤害了农作物，叫作发生了“药害”，也是一种副作用。农药作用于农业有害生物体，有时会引起有害生物种群产生“抗药性”，使得药剂再按以往施用剂量“不灵”了，这个问题有人也归到农药副作用之列。近30年来，农药在农作物及在环境中的“残留”，以至于对环境造成污染，成为被人们非常重视的副作用。这种种副作用左右了农药发展的历程，也决定了具体一个农药品种的取舍或市场寿命。我们在下文中还要详加讨论。这里只强调两点，一是要认识到农药是有副作用的，农药好比是把“双刃剑”，有防除农业有害生物，保障农作物生产的积极一面，又有种种副作用的消极一面；二是不要夸大副作用，不要“因噎废食”，要了解到这些副作用是可以减轻、可以克服的，也要了解到农药的发展正是沿着药效越来越高、副作用越来越小的方向。那种因为副作用而否定农药，主张禁用农药的悲观论调是不科学的，也是不实事求是的。

第三，农药是一类农业生产资料。农药作为商品是为农业生产服务的，农药的使用是为了促进农业生产。在绝大多数情况下，施用农药要讲经济效益。这里就有一个投入与产出的农业经济问题。我们投入1元钱的农药，杀伤或控制了某种农业有害生物种群，到底能挽回多少农作物产量与质量的损失？理论上说，当然挽回的损失或者增加的收益要等于或大于1元，这种农药的投入才有必要，才有“经济效益”。一般情况下，农药的投入产出比很高，经济效益很显著，这也正是农药迅速发展几十年的最重要原因。

第四，农药学(pesticide science)是一门边缘科学。农

药作为化学品的制备，涉及化学合成 (chemical synthesis) 及其工艺，对于微生物农药的制备，一般涉及包括微生物合成 (microbial synthesis) 在内的微生物发酵工程。农药一般要加工为一定剂型的制剂，涉及到以物理化学原理为基础的农药加工 (pesticide processing)。农药的施用要靠药械，涉及机械制造学，施药时还要注意种种气象学的问题。农药保护的对象农作物及防治对象农业有害生物，涉及包括植物学、动物学微生物学等在内的生物学，还有生态学。农药对农业有害生物的毒力或药效，以及植物生长调节剂对农作物的作用都需要农药生物测定 (bio-assay of pesticides)。农药对农业有害生物的作用机制及对人、畜及其他有益生物的毒性，涉及到农药毒理学 (toxicology of pesticides)，以及生理学、生物化学等。农药施用到环境中，涉及到生态学与环境科学，而研究农药在环境中的迁移、代谢、归趋，属于农药环境毒理学 (environmental toxicology of pesticides) 范畴。检验农药或农药制剂的质量，或者检测农作物、农产品、土壤、大气、水体、各种动植物体中残余的农药，分别需要农药常量分析 (pesticide formulation analysis) 与农药残留分析 (pesticide residue analysis)。当然，农药的使用还涉及到作物栽培学、农业生态学、农业经济学、农业生产资料类的商品学等。因此，农药的生产、贮运、使用、管理涉及化工、商业、运输、农业、林业、卫生、食品、环保、公安等部门。

二、农药的不同来源

(一) 有机合成农药

农药品种的绝大部分是通过化学工业用有机合成工艺生产出来的有机化学品。由于有机化合物的多样性，有机合成的农药品种按化学结构看种类繁多，作用方式

也五花八门，而且新品种层出不穷。

(二)生物源农药

1. 植物源农药 其中历史久远且用量较大的主要有除虫菊和烟草。除虫菊是一种菊科植物，其干花磨成粉就可以直接用来杀虫或作为蚊香的原料。也可以从除虫菊干花中用有机溶剂抽提出来杀虫活性成分，如用煤油抽提，配成油剂可直接用于居室防治卫生害虫。这种煤油抽提物配上椰子油脂肪酸的钾皂作乳化剂，即配成除虫菊素的乳剂，可对水形成药液进行喷洒用于防治农业害虫。烟草中含有可以杀虫的烟碱，一般用废次烟叶或烟梗做原料，把它们粉碎了可直接用来杀虫。用水抽提的药液可喷洒杀虫，其中的游离烟碱挥发性大，而用酸抽提可能形成不挥发性的盐，如硫酸烟碱，再配成杀虫制剂。我国的植物源杀虫剂还有鱼藤、苦参、楝素等。植物源农药主要是杀虫剂，它们一般具有毒性较低、对植物无药害、有害生物不易产生抗药性、对环境友善等优点。但它们来源有限或栽植要占用耕地，很难大规模生产，品种也单一。植物源农药的研究另有一层深刻的意义，即研究其中的生物活性成分及作用机制，从中找到“仿生合成”的途径，开发出有关的有机合成农药品种。这方面已有了不少成功的实例。

2. 微生物源农药 一般可以通过微生物发酵工业大规模生产。如果所利用的是微生物代谢产物，可以认为那是微生物进行生物合成的化学物质，本质上与有机合成农药差不多，可以称之为“生物化学农药”。如阿维菌素是种高效的杀虫杀螨剂；井冈霉素是防治水稻纹枯病的杀菌剂。而用活体微生物做成制剂使用，如杀虫剂苏云金杆菌制剂，其施用在本质上是一种生物防治措施，得病死亡的虫体还会对其他健康昆虫有传染性，严格说

不属于化学防治范畴。但由于它的制剂与使用方法都与化学农药相近，也就算它是一种农药。微生物源农药一般具有对植物无药害、对环境友善等优点。

3. 转基因抗有害生物作物 近年生物工程技术用于作物育种，可以培育出抗有害生物作物。国内外都把这类作物纳入到农药管理范围。例如，将微生物杀虫剂苏云金杆菌产生对害虫有毒的蛋白质的基因转移到棉花、玉米等作物中，一旦该基因得到“表达”，作物体内就能生物合成出与苏云金杆菌一样的“毒蛋白”。苏云金杆菌制剂所能防治的害虫吃了这种转基因作物的叶片等部位，就会中毒。南北美洲大量种植的转基因抗虫玉米，可以成功防治玉米螟。美国等国种植的转基因抗虫棉花，可以成功防治棉铃虫。我国自己开发的转基因抗虫棉花，已有成万公顷种植面积，由于防治了棉铃虫，而节省化学农药施用量的 80%。当然，也有抗病的转基因作物。还有一种耐除草剂转基因作物，本身并不抵御有害生物，但因为该种作物能忍受某种除草剂，如草甘膦，而极大地方便了在作物生长期施用除草剂防除农田中的杂草。鉴于草甘膦是“灭生性”除草剂，对植物的绿色部分全能杀除，因此耐草甘膦的转基因玉米、棉花、大豆等作物，如在作物生长期田间施用草甘膦制剂，几乎可以防除任何种类的杂草，这种只保护作物的“选择性”十分理想。

(三)矿物源农药

有的种类是无机矿物原料经简单加工，有的种类是矿物油加工成乳剂。早期的农药有一些无机化合物品种，如砷制剂、氟制剂作为杀虫剂，后来因为毒性高、药效差、药害重而停产。现代使用的无机农药，主要有铜制剂与硫制剂。铜制剂如波尔多液、碱式硫酸铜悬浮剂等，硫

制剂如硫悬浮剂、石硫合剂等。它们是大吨位的杀菌剂。硫制剂也是杀螨剂。其他无机农药如磷化铝是熏蒸用杀虫剂，磷化锌是杀鼠剂。矿物油乳剂多用于果树休眠期杀虫(如介壳虫)、杀螨。

三、农药的不同作用对象

农药的分类是相对的，前述按不同来源就是一种，而按不同作用对象则是最重要、最常用的分类方法。

1. 杀虫剂 用于防治害虫。其中又可分为若干类，这里介绍一些较重要的类别。

(1) 有机磷杀虫剂 这是我国吨位最大、品种最多的一类杀虫剂。有机磷化合物中总有个磷原子，磷一般为5价，其中与一个2价的氧或硫原子键合外，还可以与三个基团键合。由于这三个基团的不同变化，可以形成千万个不同的化合物。严格说来，只有出现磷碳键，才是真正“有机磷化合物”。化学名称中出现“膦”字，说明存在磷碳键。而磷不与碳直接键合，只能称作含磷的有机化合物。但其化学性质、生物活性与有否磷碳键关系不大，故可以统称为有机磷化合物。这类杀虫剂特点如下：

品种多 各个品种之间性质也大有差异。如作用方式多样，一般具有触杀、胃毒作用，有的具内吸作用，实际上杀虫剂的内吸作用就是从有机磷化合物首先发现的，更多的具内渗作用，还有的具熏蒸作用。杀虫谱有的很宽，可称作“广谱性杀虫剂”，如对硫磷可防治上百种害虫，有的很窄，如灭蚜硫磷主要只用于防治蚜虫。持效期有的长，如甲拌磷用作种子处理防治棉蚜、棉叶螨，持效期可达一个半月，有的短，如敌敌畏防治蔬菜害虫一般持效期只有3天。因而有机磷杀虫剂可以适应多方面的不同需要。

毒力较强 属神经毒剂。一般药效较高，且随气温升高毒力加大，有的还可兼治害螨。

抗药性发展较慢 有的品种沿用几十年还可以有市场价值。结构中除磷与氧或硫键合外，其他三个基团如果彼此不相同，称做“三元不对称有机磷化合物”，这样的杀虫剂品种抗药性发展更慢。甲胺磷即属三元不对称，它沿用几十年，发展成为我国吨位最大的农药品种，原因之一就在这里。近年我国棉铃虫对多种杀虫剂品种产生抗药性，新近投产的丙溴磷本身“抗药风险”小，又能防治已对一些菊酯类品种及其他有机磷品种产生抗药性的棉铃虫，它也属三元不对称。

毒性有差异 早年投产的有机磷杀虫剂品种有的毒性很高，后来被逐渐淘汰。近些年主要开发低毒的有机磷杀虫剂品种。当前我国尚在生产一些高毒的有机磷杀虫剂品种，如甲胺磷、对硫磷、甲基对硫磷，属万吨级品种，还有久效磷、磷胺、甲拌磷、治螟磷等。而氧乐果、水胺硫磷等品种，经口毒性高，经皮毒性相对低一些，可以减轻农药施用时中毒的危险。这些高毒农药今后应逐渐予以淘汰。但对有机磷化合物中毒急救的研究较深入，有不少特效解毒药如“解磷定”可应用。

一般无药害 且所含的磷对植物有一定肥效作用。仅个别作物对个别品种敏感。如高粱对敌敌畏、敌百虫敏感。

化学性质不稳定 有机磷杀虫剂大多属磷酸酯类，作为酯类易于在碱性介质中分解。使用时不可与碱性药物混配。配药、施药人员在操作后可以用带碱性的肥皂洗涤暴露的皮肤，以减轻药剂的经皮毒害。但也有例外，敌百虫在碱性介质中可以转化为毒性更高且具强烈熏蒸作用的敌敌畏。因此，如有敌百虫污染，不宜用肥皂，只

须用清水洗涤即可，因为敌百虫易溶于水。有机磷杀虫剂在环境中，在动、植物体内，一般易于降解而不污染、不累积。当然，一些高毒品种毒性的“消失”要有一个过程，要有一定的时间间隔。另外，个别品种在动、植物体内可通过氧化作用形成对昆虫毒力更强的化合物。

此外，有机磷杀虫剂品种一般合成工艺成熟，产品成本较低。

(2)菊酯类杀虫剂 菊酯类即拟除虫菊酯类，它们是从对除虫菊花中活性成分除虫菊素充分研究的基础上开发出来的，属于“仿生合成”，充分利用了大自然中存在的天然合理性。除虫菊素是羧酸酯类，药效高，毒性低，但对光照敏感，不能用于大田，只能用在居室防治卫生害虫或仓库防治贮粮害虫。人们用几十年剖析出除虫菊素的化学结构，并进行了人工合成，在此基础上改变化学结构，寻找合成成本较低，药效仍然很好甚至药效高得多的杀虫剂品种。早年投产的品种依然对光照敏感，如烯丙菊酯、苄呋菊酯。后来合成出对光照不敏感的品种，首先投产的是氯菊酯。以后又对化学结构有重大简化，大大降低了生产成本，如氟戊菊酯，甚至有的品种已不具酯的结构，而是醚的结构，似乎与天然除虫菊素相去甚远，如醚菊酯，但它的分子空间构型及对昆虫的作用机制说明其仍属于菊酯类。有的菊酯类品种有效成分有多种异构体，在化学合成工艺中只把生物活性最高的一种或一组异构体作为目的产物，以提高药效，提高产品利用率，降低合成成本，如溴氰菊酯的有效成分是8个异构体之一。菊酯类品种的共同特点如下：

高效 属神经毒剂。其药效之高是以往一些杀虫剂所不能相比的，且击倒力强，速效性好。有些对光照很稳定的品种，也有相当长的持效。

广谱 对很多种类害虫有效，因而可应用于许多方面，但同时可能对害虫的天敌造成伤害，值得注意。

低毒 大部分菊酯类品种低毒。少数组品种虽然毒性中等，但因为使用剂量或药液浓度较低，一般不会因施药操作造成生产性中毒。低毒扩大了药剂使用范围。可惜很多菊酯类品种对水生动物毒性高，限制了它们在水稻田中的应用。近年已出现了对水生动物较安全的菊酯类品种，如醚菊酯、乙氰菊酯。

低残留 菊酯类品种一般不污染作物，不污染环境，能够在环境中降解掉。但不少对光照稳定的菊酯类品种持效期较长，仍要注意适用的作物及收获前禁用期。近年欧洲对茶叶中氰戊菊酯残留量有严格的新规定，因此氰戊菊酯不能用于茶树，特别是茶叶用于出口的茶树。

无内吸，不杀螨 菊酯类品种一般无内吸作用，不能靠内吸作用防治刺吸口器害虫，因此对蚜虫等刺吸口器害虫要用均匀周到的喷雾以触杀作用防治。另外，一般也不杀螨，近年有几个品种对叶螨有一定兼治作用或抑制作用，如高效氯氟氰菊酯、甲氰菊酯。

易于诱发抗药性 天然除虫菊素并不易诱发害虫抗药性，而合成的菊酯类品种一般都易于诱发抗药性，且立体化学结构越单一的品种，越易于诱发抗药性。所以说抗药性问题是菊酯类品种使用中的一件大事，一定要避免连续使用一种菊酯类品种，甚至不要连续使用彼此有交互抗性的属于菊酯类的品种，而要注意轮用、换用其他类别的杀虫剂。实验证明菊酯类品种与其他类别杀虫剂品种混用或制成混剂一般有利于延缓抗药性。菊酯类品种最好用在“刀刃”上。如用于防治棉花棉铃虫，则在棉苗期防治蚜虫可以用有机磷杀虫剂，直到棉铃虫防治的关键时期再用菊酯类品种，且棉铃虫一个世代只使用一

次菊酯类品种。

(3) 氨基甲酸酯类杀虫剂 这类杀虫剂是在研究天然毒扁豆碱生物活性和化学结构的基础上发展起来的。大家知道,未烧熟的秋扁豆会引起人们食物中毒,这就是毒扁豆碱在作怪。毒扁豆碱具有氨基甲酸酯的基本结构,所以这类杀虫剂可以看作是仿生合成产品。对于含有取代苯基结构的氨基甲酸酯类杀虫剂品种,如速灭威、异丙威等,一般具有速效性好,持效性短,选择性强的特点,对叶蝉、飞虱、蓟马等防效好,对螨类和介壳虫无效,对害虫天敌安全,对高等动物、鱼类低毒,在生物体内和环境中易于降解,使用安全。含有萘环结构的氨基甲酸酯类杀虫剂甲萘威,杀虫谱广,毒性较低。而具有氨基甲酸肟酯结构的品种如灭多威、克百威、涕灭威等,杀虫谱广,对高等动物急性毒性高。克百威、涕灭威因毒性高,只有颗粒剂剂型,不可对水喷雾使用。它们持效期长,又具有内吸作用,要注意在作物上的收获前禁用期,以免污染农产品。对涕灭威还要注意不能污染地下水。对灭多威、克百威这样的高毒品种可通过化学结构改造降低毒性,但并不影响药效,出现了硫双威、丙硫克百威、丁硫克百威等品种。这类杀虫剂也是神经毒剂。

(4) 有机氯杀虫剂 发现与应用最早的一类人工有机合成杀虫剂,属神经毒剂。其中氯代苯类的六六六、滴滴涕曾在我国大吨位生产。它们原料易得,成本低廉,杀虫谱广,持效期长。它们化学性质稳定,水溶性低,脂溶性高,在环境中可长期滞留,因此易造成农、畜产品中残留量过高及对环境的污染。世界各国先后于 20 世纪 70 至 80 年代在农业上禁用滴滴涕、六六六及其他一些有机氯杀虫剂品种。目前保留滴滴涕一定生产量,主要用于非洲等地的热带地区防治疟蚊,否则会因疟疾病夺去成

千上万人的生命，权衡利弊，还得采用滴滴涕，直到有朝一日有更好的办法或有更安全、有效、经济的药剂为止。我国目前生产的滴滴涕全部用于出口。还生产有林丹（六六六的杀虫活性最高、残留问题最小的丙体异构体），主要用于防治沙漠蝗虫、小麦吸浆虫等害虫。硫丹（原料为环戊二烯的有机氯杀虫剂），主要用于防治棉铃虫等害虫。三氯杀虫酯，主要用于防治卫生害虫。品种数目很少。

(5) 沙蚕毒素类杀虫剂 沙蚕是一种海生环节动物，其尸体用作钓鱼饵料，苍蝇叮上会中毒致死。1934年日本学者分离出其中的活性物质，称沙蚕毒素，并于1962年确定沙蚕毒素的化学结构及完成全合成。由于沙蚕毒素化学性质不稳定，难于直接作为杀虫剂的有效成分。通过仿生合成，对沙蚕毒素化学结构进行改造，开发出化学性质稳定的杀螟丹等一系列品种。我国的沙蚕毒素类杀虫剂主要是杀虫双、杀虫单，属万吨级的大品种，其化学结构比杀螟丹简单，合成成本也低，在害虫体内与杀螟丹一样，都是转化为沙蚕毒素起作用。这类杀虫剂杀虫谱广，适用于多种作物，毒性低，且对水生动物毒性低，适用于水稻作物防治螟虫等害虫。对家蚕、蜜蜂毒性较高，使用时应予注意。我国一些蚕业发达地区已禁用杀虫单、杀虫双。作用方式多样，不同品种分别有触杀、胃毒、内吸、熏蒸、杀卵、拒食等作用。不易诱发害虫抗药性。虽亦属神经毒剂，与有机磷、氨基甲酸酯、菊酯类作用机制不同，无交互抗性。

(6) 昆虫几丁质合成抑制剂类 几丁质是昆虫骨骼中的主要成分，其合成被抑制，昆虫就不能正常蜕皮与化蛹，难于完成一个世代。这类品种作用机制特殊，只针对用几丁质作骨头的昆虫，而对高等动物无害，故高效、低

毒，且低残留、选择性强（如对昆虫天敌、蜜蜂、水生动物安全），又有一定杀虫谱。但因作用机制所限，杀虫作用较缓慢。早期开发的品种属苯甲酰脲类，如灭幼脲、除虫脲等。后来发现一些杂环化合物具有同样作用机制，如噻嗪酮（扑虱灵，对水稻叶蝉、飞虱有特效）。

此外，杀虫剂还有植物源、微生物源、拟保幼激素、拟蜕皮激素、拒食剂、不育剂、熏蒸剂各类，在这里不再一一介绍。

2. 杀螨剂 用于防治害螨。严格地说，只杀螨而不杀虫或者基本不杀虫的药剂才是典型的杀螨剂，而又杀虫又杀螨的药剂应该称作杀虫杀螨剂。如果一种杀虫剂在常规使用剂量下并不能有效防治害螨，只不过有一定程度的抑制作用，那么它不是个典型的杀虫杀螨剂。例如，有机锡农药“三唑锡”是杀螨剂，有机磷农药“水胺硫磷”是杀虫杀螨剂，菊酯类农药“高效氯氟氰菊酯”是对害螨有抑制作用的杀虫剂。

3. 杀菌剂 能够杀死植物病原微生物或抑制其生长发育，从而防治植物病害的农药。植物病害绝大多数由植物病原真菌引起，少数由植物病原细菌、植物病原病毒引起。因此，杀菌剂可分为杀真菌剂、杀细菌剂、杀病毒剂，在我国常通称为杀菌剂。

(1) 无机杀菌剂 硫黄制剂、石硫合剂、波尔多液都是沿用成百年的古老杀菌剂，但因为它们原料易得、成本低廉、药效稳定、一般不会诱发病原菌抗药性，迄今仍在广泛使用。无机硫制剂能防治多种作物白粉病以及其他一些病害，对某些害虫和害螨也有效。波尔多液可用于防治多种作物霜霉病以及其他一些病害。我国近些年已有硫黄悬浮剂、固体或晶体石硫合剂、碱式硫酸铜悬浮剂等药效更高而药害危险相对减轻的新制剂。我国还生

产、使用多硫化钡、氧化亚铜、氯化铜等品种。

(2) 有机硫杀菌剂 我国常见的是二硫代氨基甲酸盐类，即福美锌、福美双等品种的福美类及代森锌、代森锰锌等品种的代森类。一般具有杀菌谱广、药效较高、毒性低、药害危险性小等特点。

(3) 有机磷杀菌剂 这类的稻瘟净和异稻瘟净主要用于水稻防治稻瘟病，具保护作用和一定的治疗作用。还能兼治其他一些病害及叶蝉、飞虱等害虫。稻瘟净具内渗作用，异稻瘟净有内吸作用。该类的三乙膦酸铝经作物叶片或根部内吸后，具有向顶性与向基性双向内吸作用，更兼具保护与治疗作用，可用多种方法施药，防治多种作物霜霉病等病害。

(4) 杂环类杀菌剂 有效成分化学结构中含有杂环(杂环即在碳原子组成的环状结构中，个别碳原子由氮、氧或硫原子取代而形成)。如苯并咪唑类的多菌灵，已是我国吨位最大的有机合成杀菌剂，具有高效、广谱、兼具保护和内吸治疗作用，可喷雾防治水稻稻瘟病、麦类赤霉病、油菜菌核病等病害；种子处理防治麦类黑穗病、棉花苗期病害等；种薯浸药液防治甘薯黑斑病。三唑类的三唑酮具有高效、广谱、持效期长、内吸性强、兼具保护和治疗作用，能用于防治禾谷类等作物白粉病、锈病等病害。

(5) 取代苯类杀菌剂 有效成分结构中含有苯环。其中的硫菌灵、甲基硫菌灵虽无杂环结构，但在植物体内可代谢为多菌灵而发挥作用，故药剂特点、防治对象、药效情况与多菌灵相当。甲霜灵具有高效、持效期长、双向内吸作用，兼有保护和治疗作用，可防治一些作物的霜霉病、疫病及谷子白发病等病害。百菌清广谱、持效期长，但无内吸作用，对多种作物多种病害具有很强的预防保护作用。五氯硝基苯无内吸性，具保护作用，适用于土壤

处理或种子处理防治麦类黑穗病、棉苗病害等。

(6)农用抗生素 属微生物代谢产物。一般由微生物发酵工程生产，从其代谢产物中分离得到。一般具有化学性质较稳定，高效，具内吸治疗活性，防治对象有一定选择性，持效期较短，对植物、高等动物、环境均较安全等特点。其中的井冈霉素已发展成最大吨位的农用抗生素品种，主要用于防治水稻纹枯病。

4. 杀线虫剂 植物有一类病害是由线虫造成的。其实，人体肠道寄生的蛔虫就是一种线虫，只不过植物病原线虫的个体很小，它们对植物危害的症状很像病害。防治植物病原线虫的药剂即杀线虫剂。有不少具有杀线虫活性的化合物同时也具有杀虫、杀菌或除草的活性。如甲基异柳磷、涕灭威，既是杀虫剂，又是杀线虫剂，可防治花生根结线虫等植物病原线虫。

5. 杀鼠剂 用于防治鼠类等有害啮齿类动物。早期的杀鼠剂多是无机化合物如亚砷酸酐、磷化锌等以及植物性产品，如地中海沿岸国家采用红海葱。近代杀鼠剂多为抗凝血剂。害鼠通过毒饵摄食后，会中毒导致内出血而死。由于毒作用缓慢，害鼠不会产生拒食反应，可对毒饵反复摄食，并减少人、畜及其他非靶标动物误食毒饵的可能。

6. 除草剂 即防除杂草的药剂。杂草就是危害农作物的植物。其实，凡在不合适的时间、地点生长的植物都是杂草，如小麦地中长出的向日葵也应作为杂草除掉。早期的除草剂有一些无机化合物，因药效低、选择性差，目前已很少再用。有个别品种是生物源除草剂，如“鲁保一号”是用寄生在菟丝子上的一种炭疽病菌培养制成的一种微生物制剂，用以防除大豆菟丝子。绝大多数除草剂品种是有机合成产品，按化学结构可分为 20 多类，难

于一一介绍，举几例如下：

(1) 苯氧羧酸类除草剂 这类中的苯氧乙酸类是最早开发的有机合成除草剂类别，如2,4-滴类、2甲4氯等，可用于禾本科作物田防除双子叶杂草。

(2) 二苯醚类除草剂 我国使用量较大的有除草醚(该品种因慢性毒性问题，很快将被禁用)。这类药剂多对鱼、贝类低毒，适宜用于水稻田，多在水稻播后芽前或插秧后3~6天土壤处理施药，形成药土层。一年生杂草幼芽对药剂极为敏感，可触杀致死。该类一些新品种也可用于旱田在作物苗后进行茎叶喷雾处理。

(3) 酰胺类除草剂 其中有我国前些年常用的茎叶处理剂敌稗和近些年常用的土壤处理剂乙草胺、丁草胺等。因水稻体内有分解敌稗的酰胺酶，敌稗可用于水稻秧田，防除稗草而不伤害水稻。这类除草剂主要用于防除一年生禾本科杂草。

(4) 三氮苯类除草剂 我国用得较多的有莠去津、西玛津等，可用于玉米等几种作物及果园、林地防除一年生单、双子叶杂草。作用机制是抑制光合作用。这类药剂具有内吸作用，但在玉米体内可被降解而解毒，故该类一些品种适宜用于具有耐药性的玉米作物地。

(5) 磺酰脲类除草剂 这类除草剂是20世纪70年代末才出现的活性很高的类别，现已有数以十计的品种商品化。由于不同作物对不同品种耐药性的差异与不同杂草对不同品种敏感性的差异，这类除草剂各个品种适用于不同作物，如苄嘧磺隆适用于水稻，氯磺隆适用于麦类，氯嘧磺隆适用于大豆。该类中一些品种在土壤中残效期长，会影响到下茬敏感作物，应予以注意。

(6) 有机磷类除草剂 该类中最重要的品种是草甘膦。它杀草谱宽，属灭生性，对植物具双向内吸作用，故

能防除多年生深根性杂草。对作物的绿色部分有药害，而对褐色部分无害，特别适合用于果园、茶园、桑园、橡胶园和非耕地。前述将耐草甘膦基因转到大豆、玉米、棉花等作物体内，能使草甘膦更大有用武之地。

除草剂还有取代脲类、氨基甲酸酯类、硫代氨基甲酸酯类、二硝基苯胺类、杂环类、咪唑啉酮类、季铵盐类、脂肪酸类等以及微生物类。

7. 植物生长调节剂 具有天然植物激素生物活性的一类物质。植物激素是植物体内天然存在的一类化合物，其微量存在就可以调控植物的生长和发育，或促进或抑制。植物生长调节剂中个别品种可以从生物体中提取，绝大部分品种是化学合成或微生物发酵得到。其化学结构或者与植物激素相同或类似，或者完全不相干，只是有相似的生物活性。植物生长调节剂的作用如矮化及改造株型、控制休眠与萌发、控制抽薹开花、果树疏花疏果、化学杀雄、促使脱叶、插枝生根、促进坐果和果实发育、促进成熟、促进果实着色、提高农产品含糖量、增强作物抗逆性、用于农产品或切花的贮存保鲜等。

四、农药的不同作用方式

按杀虫剂、杀菌剂、除草剂三大类来叙述。

(一) 杀虫剂

1. 胃毒剂 药剂通过昆虫口器摄入体内，经过消化系统发挥作用使虫体中毒死亡。敌百虫是典型的胃毒剂，药液喷洒在甘蓝叶片上，菜青虫嚼食菜叶就把药剂吃进体内，可中毒死亡。用毒饵或毒谷，也能靠胃毒作用杀死害虫。胃毒作用主要防治咀嚼式口器害虫。

2. 触杀剂 药剂通过昆虫表皮摄入体内发挥作用使虫体中毒死亡。大多拟除虫菊酯类杀虫剂品种及很多

有机磷类、氨基甲酸酯类杀虫剂品种都具有很好的触杀作用，药剂有效成分可以穿透昆虫表皮到达发挥毒作用的神经系统部位。有的菊酯类药剂喷洒在棉花叶片上或居室内墙壁、玻璃上，田间的棉铃虫幼虫或居室的家蝇在有药剂的表面爬行，有效成分可以经足底接触、富集，最后进入体内达到致死效果。有一类杀虫剂如松脂合剂、机械油乳剂等属油皂制剂，只有触杀作用，或者腐蚀昆虫表皮使其脱水而死，或者油膜在虫体外表面覆盖封闭气门窒息而死。

3. 熏蒸剂 某些药剂如溴甲烷、氯化苦，原药呈液态，使用时挥发成有毒气体，另一些药剂如磷化铝，本身是固体，但可以吸潮分解出剧毒的磷化氢气体，这些有毒气体通过昆虫的气门进入昆虫体内发挥作用使虫体中毒死亡。有机磷杀虫剂敌敌畏熏蒸作用很强，可以在密闭的空间形成有效成分的一定浓度而杀死该空间内的害虫、害螨，如卫生害虫、仓库害虫。有时，敌敌畏也可在田间较郁闭的空间里发挥作用，如用来防治大豆食心虫、玉米螟、豇豆的豆荚螟等。

4. 内吸剂 药剂施用后通过植物的叶片或根、茎被植物吸收，进入植物体内后被输导到其他部位，如通过“蒸腾流”由下向上或向顶输导，使植物“带毒”，以药剂有效成分或其在植物体内代谢为更具生物活性的代谢物发挥作用，杀死某些昆虫。内吸剂主要防治刺吸式口器害虫，如氧乐果茎叶喷雾防治小麦蚜虫。甲拌磷也是典型的内吸杀虫剂，因剧毒严禁茎叶喷雾施用，可以用作种子处理，如处理棉籽可在一个月内使棉苗带毒，防治苗蚜和同样具有刺吸式口器的棉红蜘蛛。甲拌磷有效成分可在植物体内被氧化为生物活性更高的代谢物。实际上，内吸药剂处理种子防治苗期害虫的原理是我国农业昆虫

学家齐兆生（1911~1999年）于1949年在英国进修期间发现的。

有的杀虫剂虽能渗入植物体内，但不能在其中输导移动，只存在于局部位置，这种作用称为“内渗”。内渗作用在植保实践中也很有意义。如蚜虫、红蜘蛛多集中在叶背为害，严重时造成卷叶。它们经常在固定位置取食，不怎么爬行，胃毒剂无效，触杀剂必须施到卷叶中每个虫体上，操作很不方便。内渗剂可以均匀喷施到叶片正面，杀死在相应叶片反面的这些刺吸式口器害虫。对潜伏于叶肉中为害的潜叶性害虫如潜叶蝇幼虫，内渗剂也能发挥作用。对硫磷、甲基对硫磷都不具内吸作用，但有良好的内渗作用。

对于内吸、内渗剂来说，刺吸式口器害虫在吸食大量植物汁液时，就把植物体内一定浓度的药剂有效成分摄食进体内，并在体内浓缩、富集起来，直到达到致死剂量。内吸剂为刺吸式口器害虫的防治开辟了新途径。内吸剂茎叶喷雾不必细致周到，植株可通过内吸输导使杀虫成分布满全身。还可以通过涂茎、涂干的施药方法防治叶部害虫。能从根部内吸的杀虫剂可通过土壤处理和种子处理的施药方法保护植株地上部分或幼苗时期。所以，内吸作用使杀虫剂施药方法更加多样化。内吸与内渗作用也利于施药后药效不受降雨影响及保护刺吸式口器害虫的天敌昆虫。

杀虫剂以上各种作用是相对的。很多杀虫剂品种同时具有几种作用，或者其几种作用之间有强弱之分。针对某种防治对象在一定施药方法下，某种杀虫剂可以主要发挥一种作用，也可能发挥出几种作用的综合效果。

（二）杀菌剂

1. 保护剂 在病原菌侵染之前将杀菌剂喷施在植

物体表面，以后病原菌来了可保护植物不受侵染。较老的杀菌剂品种多以保护作用为主，如波尔多液、福美类和代森类等品种。对保护剂要求掌握好施药时机，太早了没用，最好在病菌快要侵染之前。如果病原菌已经侵入到植物体内，就没有什么药效了。对大田作物施用保护剂，最晚也要在田间刚发现“中心病株”之时施药，即在这些病株上的病原菌具有感染健株能力之前施药，以保护大多数植株。保护剂往往持效期较长，以在一段时间内起到保护作用。必要时可多次施药。

2. 治疗剂 在病原菌侵入植株以后施药，可以抑制病原菌生长发育甚至致死，可以缓解植株受害程度甚至恢复健康。有的内渗杀菌剂具有一定治疗作用，如代森铵。但典型治疗作用的杀菌剂是内吸剂，如三环唑、三唑酮、多菌灵等含氮杂环类化合物及井冈霉素等农用抗生素都具有很好的内吸治疗作用。而甲霜灵、三乙膦酸铝这样的内吸剂具有向顶性与向基性双向内吸作用，发挥治疗效果特别优越。

3. 铲除剂 杀菌剂直接接触病原菌并予以杀伤使它们不能侵染植物。铲除剂因作用强烈，有的不能用于生长期的植物，有的虽可用，但要注意施用剂量和药液浓度。铲除剂多用于处理休眠期的植物或未萌发的种子，或者处理植物或病原菌所在的环境，如土壤。石硫合剂药液浓度高时具有铲除作用，如萌芽前对桃树施药，可杀死枝干上的桃缩叶病菌。

(三)除草剂

1. 触杀剂 施药后杀死直接接触到药剂的杂草部位。触杀剂只能杀死杂草的地上部分，而对接触不到药剂的地下部分无效。因此，一般只能防除由种子萌发的杂草，施药时要均匀周到，而不能有效防除多年生杂草的

地下根、地下茎。百草枯是一种灭生性触杀剂，几乎任何植物的绿色部分接触到百草枯药剂都会很快受害干枯，但它不影响植物褐色的茎或树皮，它也不会内吸输导而影响到植物地下部分。百草枯接触土壤后会很快失效，所以在施药后不久即可在施药范围的土壤上另种植其他作物。

2. 内吸剂 药剂施用于植物或土壤，通过植物的根、茎、叶吸收，并在植物体内输导，最终杀死植物。莠去津是内吸剂，可以茎叶喷雾，也可以土壤处理。玉米等一些作物能对莠去津解毒，所以它可用于玉米地防除多种杂草。草甘膦有强烈内吸性，可向顶性、向基性双向输导，施用于植物后可杀死植物的地上部分，也可杀死植物的地下部分，故可以防除多年生宿根性杂草。草甘膦接触土壤会很快失效，故只能用作茎叶处理。

第二节 农药的昨天和今天

一、古代农药

农药的历史非常久远。古希腊诗人荷马约在公元前8世纪写成的《荷马史诗》，描述了此前几个世纪中亚和欧洲一带的传说和风俗，其中提到硫黄被用作为一种消毒剂。这是国外有文字记载的最早一种农药。

中国古籍中有不少利用植物或矿物杀虫的记载。成书于战国时代（公元前475年～前221年）的《周礼》，记述了用莽草（今称毒八角）、牡菊（一种野菊）、嘉草（今称襄荷）撒粉或熏烟驱虫。成书于秦（公元前221年～前206年）、汉（公元前206年～公元220年）时代的《神农本草经》记述了用芫花治虫。成书于北魏的《齐民要术》（533～544年）记述了用松针、艾蒿防治仓库害虫。宋代欧阳修

《洛阳牡丹记》(1031年)中提到用硫黄治花虫。明代宋应星《天工开物》(1637年)记载用亚砷酸酐拌种防治地下害虫和害鼠，这种方法沿用数百年，直到新中国成立前后。

西方的古代文字记载中也散见一些有关信息。如1649年南美居民会用鱼藤毒鱼，1690年法国用烟草水防治梨网蝽，1761年首次采用硫酸铜处理小麦种子以防治种传病害，约于1800年高加索人会用除虫菊花防治虱子，1845年普鲁士人已将磷化物用作官方的杀鼠药，1880年美国开始用石硫合剂防治桃白粉病等等。

以上这些古代的药物是人们依据生产实践中的直观经验，利用一些天然的植物性、动物性、矿物性产物，至多只做一点简单原始的加工处理，用来进行零散的、初步的农业有害生物防治。那时虽然还说不上“农药”的概念，但已能够充分说明人类早已利用“药物”作为武器与农业有害生物斗争了千百年。

二、近代农药

19世纪中叶的欧洲，出现除虫菊、鱼藤、烟草等植物性产品在市场销售，人类开始有了作为商品的农药。后来出现一些无机化合物作为农药的工业生产制造，人类开始有了农药化学工业产品。

先看看杀菌剂方面的情况。1882年发现波尔多液的杀菌作用具有里程碑的意义。

法国波尔多地区盛产葡萄，酿酒业早已闻名于世。葡萄园间道路两旁边的葡萄，为防止过路人，尤其是儿童对成熟的葡萄果穗“顺手牵羊”，用硫酸铜与石灰乳配成悬浊液喷在葡萄茎、叶、果穗上，留下白色或蓝白色沉淀，看起来“有毒”，可以吓一下“小偷”。当时曾从美国引进

葡萄品种种植，这些“外来户”易于感染霜霉病，严重影响生产。波尔多大学的生物学教授米亚尔代（P.M.A. Millardet，1838~1902年）在研究解决葡萄霜霉病的工作中观察发现路边喷了上述硫酸铜和石灰乳悬浊液的葡萄没有病或病得很轻，从而开发出这种后来被称作“波尔多液”的无机铜杀菌剂。波尔多液广谱，具有优良的杀菌活性和一定的持效期，不但挽救了波尔多地区的葡萄业，而且适用于多种作物。波尔多液得到大规模应用，同时又出现一些其他铜化合物杀菌剂。法国波尔多有一座米亚尔代教授纪念碑，教授的头胸塑像安放于高高的基座，围绕基座雕塑着健壮的葡萄藤。一位苗条的裸体少女塑像站在这硕果累累的葡萄藤上，使劲侧身伸直手臂，向可尊敬的教授胸前献上一挂葡萄果穗。人们将永远纪念他为人类所作的贡献。

1934年美国蒂斯德尔（W.H.Tisdel）研制成功二硫代氨基甲酸盐类（福美类）杀菌剂，很快在欧、美投产，市场上开始有了有机化学合成的杀菌剂。此后人工合成的杀菌剂不断涌现。包括有机硫、有机汞以及少量的有机砷、有机锡品种。1960年美国有利来路公司（Uniroyal Chemical）研制成功第一个具有典型内吸治疗作用的杀菌剂萎锈灵，此后出现一系列内吸杀菌剂新品种，杀菌剂不再限于只有保护作用。

从杀菌剂的发展可以看出几个阶段：古代直至1882年只有硫黄及几种无机硫化合物，可称作硫的时代。1882年至1934年，有了波尔多液及品种数量不多的一些无机铜化合物品种，可称作无机铜化合物的时代。1934年迄今，则属于有机合成杀菌剂时代，品种的种类与数量众多。

杀虫剂方面，1868年研制成功“巴黎绿”（亚砷酸铜

的复盐)，这是第一个化学工业生产的杀虫剂品种，可用于防治马铃薯甲虫。1878年另一种砷化合物“伦敦紫”开始用作杀虫剂。美国1889年开始应用砷酸铅，1906年开始应用砷酸钙。当时砷的一些无机化合物品种成为杀虫剂的主体，在欧、美规模化生产与应用。此外，一些无机氟化合物如氟化钠、氟硅酸钠也用作杀虫剂。

1939年瑞士化学家米勒(P. Müller, 1899~1965年)发现含氯有机化合物滴滴涕具有优异的杀虫活性，从此进入有机合成杀虫剂时代。1943年法国科学家发现六六六的杀虫作用。滴滴涕、六六六作为大吨位品种，与其他有机氯杀虫剂品种曾在二三十年间成为杀虫剂份额最大的一类。

德国化学家施拉德尔(G. Schrader, 1903~1990年)从1934年开始从事有机磷杀虫剂研究，开发出一系列后来得到商品化的品种，其中对硫磷在第二次世界大战以后很快发展成为大吨位的世界性品种。杀虫剂的内吸作用也是从有机磷化合物中发现的。

20世纪40年代中后期，瑞士嘉基(Geigy)公司即致力于氨基甲酸酯类杀虫剂的开发。该类第一个大吨位品种则是1956年美国联合碳化物公司(Union Carbide Co.)推出的甲萘威。

20世纪60年代，经过二十年有机合成农药的蓬勃发展，杀虫剂已形成有机氯、有机磷、氨基甲酸酯三个大类别，品种数以百计。

杀鼠剂方面，1941年发现了抗凝血剂，使其由急性型发展到慢性缓效型，更为安全适用。

除草剂与植物生长调节剂方面，1928年发现植物体内存在生长素，30年代至40年代人工合成了具有植物生长素作用的吲哚丁酸、萘乙酸等化合物。1942年发现

苯氧羧酸类的 2, 4- 滴具有植物生长调节活性, 1944 年发现它在高剂量下具有杀草活性, 从而开创了有机合成除草剂与植物生长调节剂的历史。

三、现代农药

总起来看, 现代农药应该是从 1939 年发现滴滴涕的杀虫活性开始, 以人工有机合成杀虫剂、杀菌剂、除草剂以及植物生长调节剂、杀鼠剂等各类农药的数以百计的品种为主要特征。

20 世纪 70 年代, 农药又进入一个新的发展阶段。当时检讨化学农药使用二三十年的情况, 认为除了对农业生产起到极大促进作用之外, 农药的副作用问题也凸显出来, 这点在后文中还要详述。世界各国一方面先后淘汰了毒性高的(如杀虫剂内吸磷、杀鼠剂氟乙酰胺)、有累积性毒性的(如杀虫剂滴滴涕、六六六)、有致癌、致畸、致突变等慢性毒性的(如致癌的杀虫剂杀虫脒、除草剂 2, 4, 5- 涕)、有严重残留问题或污染环境问题的(如滴滴涕、六六六、有机汞杀菌剂)等许多品种, 另一方面也出现了药效比以往高许多, 副作用相应减轻许多的很多新品种, 举例如下:

杀虫剂方面, 出现了拟除虫菊酯类与几丁质合成抑制剂类新类型的多个品种。

杀菌剂方面, 出现了一系列以含氮杂环为化学结构特征的内吸剂品种。

除草剂方面, 出现了以磺酰脲类为代表的作用机制各不相同的几类高效品种。

杀鼠剂方面, 出现了比以往抗凝血剂药效高得多, 且可防治对其产生了抗药性害鼠的第二代抗凝血剂。

植物生长调节剂方面, 出现了生物活性很高的品种,

如芸薹素内酯及三唑类的多效唑、烯效唑。

以上这许多高效品种进一步改变了植物化学保护的面貌，带来了剂型、使用技术等各方面的改进与革新，也显示出农药发展的广阔前景。

纵观农药的历史，可以清晰地看出，农药是朝着药效越来越高，副作用越来越小的总趋势发展的。

药效方面，早期的无机杀虫剂算作第一代农药，每公顷用药量按有效成分计大到几千克。早期的合成农药算作第二代，每公顷用药量为几百克。现代的药效很高的新农药品种则是第三代，每公顷用药量只有几十克、十几克，甚至十克以下。有人称这样高效的农药为“超高效农药”，也有人反对用“超高效”的提法，因为事物发展的客观规律不存在“顶峰”，肯定将会出现更加高效的农药品种。有一类能够调节昆虫生长的杀虫剂被称为第四代农药。还有一类能与昆虫生长调节剂产生拮抗作用的杀虫剂被称为第五代农药。其实，本来一、二、三代的划分就不严格，只是以药效差到一个数量级的间隔借以说明农药迅速发展的趋势。所谓第四代、第五代，实际上还是在第三代范畴里，也是属于药效高、毒性低、环境相容性相对较好的品种，只不过作用机制独特些而已。

四、我国的现代农药

20世纪30至40年代，我国已有鱼藤酮、硫酸烟碱、除虫菊粉（后者主要用来制作蚊香）等植物源杀虫剂和砷酸铅、砷酸钙、硫酸铜等矿物性农药品种生产。1945年成功合成滴滴涕并开始有少量生产，1951年生产出113吨供抗美援朝反细菌战之用。1951年华北农科所（现中国农科院）王君奎等人研制成功六六六，很快投产并迅速发展成为吨位最大的农药品种，直到1983年国务院决定停

产为止，累计生产原粉约 400 万吨。六六六的成功投产，标志着我国进入有机合成农药时代。农业化学家王君奎先生（1914 年～）作为六六六主要研制者之一，研究出的工艺所得原粉有效成分丙种异构体含量为 13%～14%，达到当时国际水平。王先生还在农药加工、分析、标准化、管理法规等方面做了许多开创性的工作。

20 世纪 50 年代前期，北京农业大学（现中国农业大学）有机化学和农业化学家胡秉方（1916～2000 年）等人研制成功我国第一个有机磷杀虫剂对硫磷。有赖于化学工业学家张立言（1916～1997 年）等人的努力，该品种顺利投产，并续而推动了我国整个有机磷农药工业的发展。

70 年代初，江苏省农药研究所农业化学家程煊生（1915 年～）等人率先研制出胺菊酯、氯菊酯等拟除虫菊酯类杀虫剂，我国开始建立起菊酯类农药工业。

1974 年沈阳化工研究院农业化学家张少铭（1908～1997 年）等人研制成功多菌灵，该内吸剂品种近年已发展成为我国吨位最大的有机合成杀菌剂。

在我国农药发展历史上值得提到的专家学者还有许多，试举几例：

著名农业化学家黄瑞纶（1903～1975 年）是我国农药科学的先驱者之一，也是我国植物源杀虫剂化学研究的奠基人。他毕生从事农业化学高等教育及农药科学、生产与防治应用的研究。1952 年，他主持建立了国外也罕见的我国第一个农用药剂学专业。他在我国最早注意农药对环境的影响，并率先开展了农药残留问题的研究。他早在 1956 年撰写的《杀虫药剂学》一书，是我国农药科学领域第一部影响较大的专著。

农药毒理学家张宗炳（1914～1988 年）、龚坤元

(1914~1993年)在昆虫抗药性研究方面颇有建树。

农业昆虫学家赵善欢(1914~2000年)做了许多植物源杀虫剂的研究。

农药化学家熊尧(1920~1987年)在开发氨基甲酸酯类杀虫剂方面做了开创性的工作。

农业化学家韩薰莱(1924年~)主持编写了国外都未见独立成卷的《中国农业百科全书·农药卷》(1993年)。

正是由于有以上专家学者为代表的全国农药行业千千万万人的努力,我国农药事业有了长足进步。

我国的农药工业是新中国成立以后才建立起来的。1949年只有几个小型农药厂,生产一点矿物源和植物源农药,年产量64吨。50年代,我国已能合成六六六等有机氯杀虫剂、敌百虫等有机磷杀虫剂、代森锌等有机硫杀菌剂、2,4-滴等激素型除草剂及植物生长调节剂。全国农药总产量1952年过千吨,1954年过万吨,1959年过10万吨。

进入90年代,我国已有了国产的菊酯类杀虫剂、内吸性杀菌剂、磺酰脲类除草剂等国际上较先进的多个农药品种,农药总产量按有效成分计连年超过20万吨,近年超过40万吨,多年间农药吨位在世界范围内仅次于美国居第二位。

1994年我国出口农药创汇首次突破1亿美元,大于当年进口农药总金额,而且此后连年“出超”。这一方面反映出我国农药品种和产量更适应了国内需要,自用有余,对“洋药”不依赖;另一方面也反映出我国农药一些品种的生产质量大有提高,达到国际先进水平。

我国农药工业的发展,适应了国内农业现代化的需要。农药品种及其吨位,适应了国内农业主要有害生物

防治的需要。我国作为第三世界中的大国，主要靠自己力量发展农药工业，半个世纪里解决了国内农业生产中有害生物防治的问题，这项成就在全球绝无仅有，值得我们骄傲。

当然，我们也要清醒地看到，我国农药事业从总体上说，与国际先进水平尚有较大差距，如品种数量、品种构成、剂型质量、包装水平、农药使用技术水平都相对滞后。我国从事农药研究、生产、使用、管理的人们为提高我国农药事业的水平，尚有很多工作要做，任重而道远。

第三节 农药的剂型和使用

一、农药的剂型

(一) 农药剂型的概念

农药合成工厂用有机化学合成工艺生产出来的有机农药产品称为“原药”。固体的原药称作“原粉”，液体的原药称作“原油”。限于化学工业当前的水平，原药一般不可能十分纯净，一方面因为化学反应往往会有副反应，产生副产物，还有未完全参加反应的原料、中间体，以及原料、中间体中的杂质，有时合成设备的磨损、反应中催化剂等物料的添加，都会成为原药中的杂质；另一方面，从成本考虑，合成的原料、中间体常常不够纯净，反应产物也不再提纯。原药中真正有毒力、有药效的主要成分称作“有效成分”。说某原药的纯度是多少，即指含有效成分为多少。当前国内外统计农药产量都是折成有效成分计，农药在农田中的施用量也都以有效成分计。

以往每公顷农田施用农药按有效成分要以千克计，后来的高效农药施用量以百克计，近年出现更高效的农药品种，每公顷施用量只要以十克计，甚至不到十克。把

这么一点点有效成分均匀撒施在农田里，如果直接施用原药简直是不可能的，何况茎叶施药时，作物叶片总面积可以是种植土地面积的三五倍，这么“大面积”叶片都应该均匀受药。这就要求有农药加工厂，把原药通过剂型加工，产品为具有一定理化性质的农药制剂，在施用时帮助农药有效成分能均匀分散开来。农药剂型是指含有一种或多种农药有效成分，添加有一种或多种填料、溶剂、其他辅助剂等而有一定组份，具有一定物态和一定质量规格要求，可适用于一定使用方法的各种农药物理状态，以利于农药的使用。同一种农药有效成分的同一种剂型，又可以制成不同用途、不同含量、不同助剂组份的具体产品，称为农药制剂。农药剂型数以十计，而农药制剂则数以千计。

农药在田间施用，应该施到目标物上，就像射箭、打枪要击中靶子一样。农药有效成分也应该尽量沉积于“靶标”，如农作物的茎、叶上或有害生物体上。农药剂型的另一大作用，就是帮助农药有效成分均匀沉积在靶标上。当然，具体施药操作还要靠药械。好的制剂，好的药械，应该能让农药有效成分在靶标上均匀分布，而且达到能有较好药效的沉积量，还要有一定的粘着性，避免因风吹雨淋而损失，让药剂在一段时间内保持效力。这段时间称作“持效期”。农药剂型还可以赋予农药有效成分各种特性，克服其缺陷，发挥其优势。如剧毒农药制成颗粒剂，避免了药粉或药雾的飘移中毒危险，有的还可以用器械施药，以保证用药安全。有人认为这是通过剂型加工，使高毒农药能低毒化地使用。有的剂型有“缓释”作用，延长了持效期，有的剂型对某些农药有效成分有保护作用，防止它如见光分解，有的制剂中添加有增效剂、安全剂、渗透剂等助剂，从而分别提高了药剂的效力、对作物

的安全性或对靶标的渗透性，有的制剂含两种或多种农药有效成分，这种制剂称“混合制剂”，简称“混剂”，如可以起兼治不同有害生物的作用等。

总之，农药剂型加工是农药施用所必须的，主要目的是帮助农药有效成分能分散开来并能在靶体上有一定沉积量。对农药剂型的要求应该是可以方便和安全地使用，有利于发挥药效，能克服农药有效成分品种的一些缺点或副作用，加工的成本也要尽量便宜些。

(二)农药剂型的种类

农药剂型是根据农药有效成分理化性质、药剂靶标的情况和施药的要求、药剂使用技术与药械的水平来决定的。我国目前大吨位的剂型种类很少，与农药发达国家相比还有较大差距。下面介绍几种剂型。

1. 乳油 基本组成是油溶性农药有效成分的原药、有机溶剂和乳化剂。原药和乳化剂溶解在有机溶剂里，乳油的外观即成为澄清透明的单相液体。由于农药有效成分或者不纯净的原药中含有的杂质往往带有颜色，乳油多为棕黄色至褐色。如果有效成分是无色的，那么原药越不纯净，其乳油的颜色就越深。

这里提到了“相”的概念。物质的“相”是指有相同组成，与其他物质以明显的界面分隔开来的一个体积范围。例如玻璃杯里倒上水，水与玻璃即有一种固—液界面，水面与空气则有一种气—液界面，水的中间没有任何界面。这里能看到水相、固相、气相三个“相”。不论玻璃杯是什么形状，水充满的部分形成的水相是一种液体的“单相”。如果只有半玻璃杯的水，我们再加进半玻璃杯的植物油，油比水轻，浮在水上面，静置稳定后，上层的油与下层的水有一个明显的液—液界面。这时的液相就不是“单相”，而是有两个相，水相与油相。我们说乳油是

“单相液体”，就是指一瓶乳油中只有一个液相，其中没有什么液—液界面，更不能有固体悬浮物或固体沉淀而形成固—液界面。

乳油的主要特性是倾入水中时能被乳化形成像牛奶一样的液体，称为“乳状液”或“乳浊液”，简称“乳液”。

乳液不是单相，而是由很细小的油珠分散在水里面。水是连续的，称连续相，油珠彼此被水隔开，称为不连续相或分散相。乳油形成乳液并能保持稳定，全赖乳化剂的作用。乳化剂是一种表面活性剂，它在乳液里集中存在于水相与油相彼此的界面上，一般认为是成单分子层排列。表面活性剂分子是两性的，一端是亲油基团，另一端是亲水基团。在油—水界面上的表面活性剂，亲油基团插入油相，亲水基团插入水相，不但使两相能“水乳交融”在一个体系中，而且两个油珠之间因朝外排列的表面活性剂亲水基团彼此的排斥作用，而促使整个两相体系保持稳定。好的乳液颜色呈很淡的乳白色，像鸡蛋清那样半透明，如在玻璃容器中从侧面看有点发蓝，有点荧光，这说明分散相的细度达到胶体范围。如果乳液呈很浓重的白色，说明分散相的油珠相当粗，不但会使乳液不稳定，而且会影响药效。

通过乳油剂型，可以把不溶于水而溶于有机溶剂的一种原药最终可用水配成所需有效成分浓度的药液加以使用。

配制乳油的药液是将计量好的乳油滴加或慢慢倾入计量好的水里，边加边搅拌，加完后再搅拌均匀即可。质量好的乳油不需要使劲搅拌，甚至还有“自发分散”性能，乳油滴到水里能自发乳化，像翻起了云一样，稍加搅拌就能分散均匀。质量较差的乳油配药液时得使劲搅拌。如果药液表面出现一层浮油，说明乳油的质量太差了，这样

的药液不能使用,否则很容易引起药害(伤害要保护的作物)。

乳油剂型的优点一是制剂配制较容易。二是比其他剂型一般说来药效较高。乳液中的表面活性剂能降低乳液的表面张力,一方面有利于喷雾器械喷施出的雾滴雾化良好,另一方面有利于药雾到达靶体后易于附着、润湿、展散。实际上乳液的雾滴在靶体上先是附着,接着展散,彼此连成片,最后形成一层药液薄膜覆盖。乳液中有效成分分散度较高,可以保证对靶体的覆盖较均匀。乳液中含有有机溶剂和乳化剂,这使药雾在靶体上最终形成一层油膜,耐雨水冲刷,有一定持效期,或者易于渗透侵入到植物体内或有害生物体内而发挥药效。施药后,作物表面没有可见的残余药物而影响外观。三是乳油剂型配制药液和施用药液都很方便。优良的乳油可以与水以任何比例混合,而且很容易配成均匀的稳定乳液,对水质的要求也不严格。

乳油剂型的主要缺点是使用相当比例的有机溶剂,如苯、甲苯、二甲苯(俗称“三苯”)等。有机溶剂本身无生物活性,却是环境污染源。另外,成本并不太低的乳化剂用量也较大。乳油往往易燃,甚至易爆,对于贮存、运输多有不便。乳油剂型使毒性较高的农药有效成分或原药中的杂质对人体更危险,尤其是直接接触乳油制剂的时候,当然对药液与药雾也要小心。农药有效成分或原药中的杂质有药害危险时,乳油剂型会助长这种趋势,特别是理化性能不良的乳油制剂更易引起药害。乳油制剂中的有机溶剂还会腐蚀喷雾器械中的橡胶或不耐油的塑料部件,如塑料管、密封垫圈等。近年国际上主要从乳油剂型中的有机溶剂是环境污染源考虑,认为这是乳油剂型的致命缺陷,应予逐步淘汰。

我国当前成百万吨农药制剂中，一多半吨位是乳油剂型。原因在于我国农药有效成分吨位构成中约一半为有机磷品种，它们一般成本较低，脂溶性好，适合配成乳油。我国近一二十年来已有乳化剂工业基础，石油化工也保障了有机溶剂的供应，各种国产脂溶性原药几乎都可以完全采用国产乳化剂和有机溶剂配制，乳油配制的技术也是成熟的，甚至可以把进口的原药用国产乳化剂、有机溶剂，用自己的技术配成质量不亚于进口的乳油制剂而被外商认可。从我国乳油吨位说，我国农药在施用的同时，每年向农田喷洒几十万吨有害无效的有机溶剂，不但是很大的浪费，也严重污染环境，肯定不合理。当然，我国乳油剂型吨位的减少将是一个缓慢的过程，但这个趋势是肯定的。笔者在这里以乳油剂型为例，讨论一般农药剂型的一些问题，并强调乳油是我国当前最常见、最重要的剂型，还指出它的缺憾及必然走下坡路的趋势。

2. 可湿性粉剂 基本组成是原药、润湿剂、分散剂和填料。所用原药多是既不易溶于水、也不易溶于一般配制乳油所用的那些有机溶剂，故难于配成乳油或水剂。可湿性粉剂要研磨得很细，所含各成分也要混合得很均匀。对于熔点较高、性质较脆的固体原药，可以直接或与填料及其他成分一起粉碎、磨细、混匀。对于液体原药，要用吸附性很强又易于粉碎的填料吸附后，再进一步磨细与混匀。还有个别可湿性粉剂制剂是把原药溶于一种易挥发的有机溶剂中，喷洒在已粉碎的填料上，再进一步磨细与混匀，同时在加工过程中将这种有机溶剂挥发干净。可湿性粉剂所用填料应该亲水性好、吸附性强、易于粉碎得很细、对农药有效成分的稳定性无不良影响，如天然的硅藻土和人工制造的白炭黑，它们的基本化学成

分都是二氧化硅,它们又可以起分散剂的作用(有的填料须另加分散剂)。另外,还要控制含水量,使制剂松散,不絮结成团成块。可湿性粉剂外观为白色、灰白色或其他颜色的很细粉末。

可湿性粉剂的特点一是可被水润湿,放一点在水面上可以自行润湿、分散,而不会长时间漂在水面上,二是可在水中悬浮形成“悬浮液”,或称“悬浊液”,简称“悬液”。悬浊液是固体颗粒悬浮在液体中形成的不均相体系,水是连续相,固体颗粒是不连续相。质量好的可湿性粉剂有效成分含量较高(25%~90%),药粉在水面上完全润湿时间较短(1~2分钟),“悬浮率”较高(50%~70%甚至更高)。悬浮率是指可湿性粉剂试样配成悬浊药液后,其中有效成分在一段时间内能稳定悬浮在水中的百分率,这要在一定条件下用实验测定。悬浮率高,表示悬浊液体系稳定,其中的固体颗粒不易沉降下来,药液施用后有效成分能均匀沉积在靶标上。悬浮率太差,配好的药液中固体颗粒很快沉降,喷雾器施药开始喷清水,不能保证药效,后来喷泥浆,可能堵喷头,还可能因有效成分或其他成分浓度过高酿成药害。要保证润湿性能与悬浮性能,就要选择适宜的润湿剂(也是一类表面活性剂)及适宜的用量,同时制剂的研磨细度要达到要求,粉粒直径大部分在5微米以下。

可湿性粉剂与乳油相比,加工中不用溶剂和乳化剂,成本较低,使用后不易产生药害,对施药人员皮肤、眼睛的刺激轻得多。作为固体制剂,易于包装、运输、贮存,施药时易于计量。

其缺点如与乳油比较,贮存时要注意不能受潮、受压结块,配药时要注意不要吸入粉尘,药液要认真搅拌或振荡均匀。对于质量较差的制剂,可以先用少量水在搅拌

下配成泥浆状，再加到足量水中配成使用药液。施药时一边喷雾一边摇振喷雾器，或者一罐喷雾药液分几次间歇操作，中间停喷几次用来充分摇振喷雾器。如果药液中固体颗粒沉降得堵塞喷雾器喷头，说明制剂质量不合格。悬浊药液对喷雾器的泵或喷头有一定磨损作用，施药后对作物表面会留下可见残余物。在相同有效成分施用剂量下，可湿性粉剂的药效不如乳油。

农药品种中绝大多数有效成分不溶于水，其中又有相当数量有效成分不易溶于一般有机溶剂，因此可湿性粉剂的品种和数量相当大。我国大多数杀菌剂和除草剂品种的剂型是可湿性粉剂。

我国以往可湿性粉剂质量较差，近一二十年由于润湿剂生产水平提高，粉碎、研磨、混合工艺的化工机械水平提高，不但可以加工质量好、悬浮率高的可湿性粉剂，且其中有效成分含量也大为提高，如代森锌、代森锰锌、多菌灵等品种的可湿性粉剂，有效成分含量可高达80%。我国当前有与可湿性粉剂剂型配套的润湿剂专业生产厂、填料供应厂、化工机械厂。我国农药制剂吨位中可湿性粉剂所占份额，估计会大体保持稳定。

3. 粉剂 粉剂由原药与填料（如粘土）粉碎混合而成，外观为白色、灰白色或其他颜色粉状固体，但粉粒细度比可湿性粉剂粗多了。一般质量要求为98%通过320目筛，筛孔直径大致为10~12微米，其中直径小于10微米的粉粒约占50%。粉剂中的有效成分一要混合均匀，二要在制剂中稳定性较好，三要细度较高，不允许粉剂中粗粒部分就是有效成分。

粉剂大多数直接施用，因而有效成分含量较低。具体含量多少与使用方法及药械有关。粉剂使用方便，不用对水，加工成本低，施药工效高。为了防止粉剂中有效

成分随时间延长而有分解，粉剂应随买随用，当年用完，不要久贮。粉剂另一个缺点是施药时粉尘易于飘移，故有风天气不能施药。飘移既是浪费，影响药效，又污染环境，还可能引起邻作药害。粉剂因对靶标的粘附性差，有时难以达到发挥药效所需要的沉积量，大部分粉粒还容易“脱靶”，污染环境，药效也低于乳油和可湿性粉剂，填料还会在作物上留下可见残余物。国内外的粉剂吨位比几十年前都有大幅度降低，当前吨位很小，被认为是有严重缺陷的剂型。但是，粉剂却适合水源不方便或喷药液提高湿度影响药效，以及施药环境较郁闭的无风环境，如山区森林施药和在温室大棚中防治蔬菜病虫害。

4. 颗粒剂 简称粒剂。由原药、载体(如砂子、粘土、玉米芯等)与助剂制成的颗粒。粒剂的粒径一般为250微米至600微米范围。粒剂的制备方法有三种。如用大小一致的砂子，外面包一层原药，再外面包一层助剂固定好，称“包衣法”。用多孔的颗粒如砖粒，将液体原药或原药的有机溶剂溶液喷洒到颗粒上，让有效成分浸渗到颗粒中去，再将溶液挥发掉，这叫“浸渍法”。将原药与粉状载体湿法混合均匀，挤压成条，再切割成一定大小，挥发掉水分，为“捏合法”。后两种方法因为药剂大部分在颗粒内部，而不止是在颗粒表面，施用后药剂能从颗粒中慢慢释放出来而具有缓释作用，从而有较长的持效期。

粒剂的有效成分含量一般较低，供直接施用。粒剂多用作土壤处理，施药设备简单，但药效受土壤条件限制，有的药剂被土壤团粒吸附而降低药效，有的药剂要有水分存在下才能发挥药效，当土壤墒情不好时药效差。粒剂的加工成本一般也高于粉剂或可湿性粉剂。

5. 悬浮剂 制剂中含有固体原药、润湿剂、分散剂、防冻剂和水等。它属不均相制剂，水为连续相，含有有效

成分的固体颗粒为分散相。悬浮剂的加工经常用湿磨法，在浆状的工作液体中将固体原药或其他固体成分研磨到很细的程度，固体颗粒一般要小于5微米，甚至绝大部分粒子小于3微米，达到胶体范围，让制剂中的固体颗粒很好地悬浮在水中，当然还有润湿剂、分散剂、相对密度调节剂等助剂在起作用，以保证这种不均相制剂的稳定性。悬浮剂也要便于倾倒，所以国外也称作“可流动剂”。

对于不易溶于有机溶剂的原药来说，不能配成乳油，悬浮剂是一种较好的剂型选择。悬浮剂不用有机溶剂，施用时对水喷雾又不会有粉尘飘移与污染。配成的药液是悬浮液，固体粒子很细，分散度高，药效高于可湿性粉剂而接近于乳油，药液也不会堵塞喷雾器的喷头。所以它具有乳油与可湿性粉剂这两类重要剂型的优点，而避免了它们各自的缺点。

悬浮剂的主要问题是制剂稳定性。质量好的悬浮剂应该在出厂后一两年内都保持“可流动性”，可以配出良好的悬浮液。如果制剂表层析出清水，下层流动性差，但只要配出的药液理化性能良好，该制剂也算质量合格。如何解决悬浮剂在两年贮存期内制剂的稳定性，国内外仍在努力。因此，悬浮剂不要久贮，配药时多加搅拌。另外，悬浮剂与可湿性粉剂一样，施药后会在作物茎叶上留下可见残余物。

6. 水剂 原药或有效成分的盐可溶于水，且有效成分在水中稳定，即可配成水剂。制剂中一般应加有润湿剂等助剂，以改善药液的理化性状而保证药效。我国主要用于水稻的大吨位杀虫剂杀虫双，曾以水剂为主要剂型。水剂加工简易，成本低，制剂中不含有机溶剂。但如不加助剂，往往会影响药效。

7. 可溶性粉剂 水溶性原药加水溶性填料及少量助剂组成，制剂为粉状，对水形成水溶液，一般不含水不溶性杂质。但允许含有与水亲合性很好且细度较高的少量水不溶性填料，如白炭黑。白炭黑就是二氧化硅的一种形式，又称硅胶。它虽不溶于水，但极易被水润湿，可较稳定地悬浮在水中。它的“比表面积”极大，1克白炭黑有上百平方米的表面积，在制剂中可以吸附农药有效成分及其他物质，使制剂松散，不絮结成团，在药液中有助于制剂各组成成分的分散。对药液稍加搅拌，白炭黑就能很好地悬浮在药液中，由于细度高，也无堵塞喷头之虑。可溶性粉剂中有效成分含量一般较高。制剂中不用有机溶剂，助剂也用得不多，包装、贮运较方便。药效一般高于可湿性粉剂，与乳油接近。

可溶性粉剂与水剂只适合可溶性原药，适用范围窄。可溶性粉剂作为固体制剂，比水剂更合理。前述杀虫双水剂要改造为可溶性粉剂，先要得到固体原药，其“双钠盐”要改变成“单钠盐”，称作杀虫单。杀虫单原粉可加工为杀虫单可溶性粉剂。为了避免制剂吸潮结块，有的厂家用铝塑薄膜包装，每小包剂量正好供1亩地之用。

8. 微乳剂 不含或只含少量有机溶剂，而以水为介质。由于表面活性剂的作用，使不溶于水的原药高度分散在水介质中，不是溶解，而是形成“胶束”。它们实质上仍是油分散在水中的乳液，只不过分散度高，分散相达0.1至0.01微米的大小范围，肉眼看认为是澄清透明的单相液体，对水配成的药液更如清水一样。

微乳剂加工基本不用有机溶剂，贮运安全，使用后减免了有机溶剂对环境的污染。又由于有效成分在药液中高度分散，渗透性好，药效好。微乳剂适用于很多不溶于水的原药，属农药液态制剂的一种较好剂型。

我国的微乳剂剂型研制与生产近年刚开始，现已有氯戊菊酯、氯氰菊酯等品种的微乳剂。

9. 烟剂 由原药、助燃剂(如木锯末)、氧化剂(如硝酸钾)、阻燃剂(如氯化铵)等成分组成，可以是粉状，也可以是锭状或片状，用火点燃后能发烟，但不会产生明火，直至燃完。烟是固体微粒分散在气体中，微粒很小，达到胶体范围，形成“气溶胶”。烟剂的施用一般不需药械，如在蔬菜的温室大棚中施用杀虫剂或杀菌剂的烟剂片剂，可以预先计算好大棚中的空间大小与该用的药量，将烟片一片片依次间隔地在地面上放好，从最里面点起，一片开始发烟后再点第二片，点完离门最近的最后一片出门，关严大门。烟可以在大棚中扩散到任何角落，最后均匀沉积在靶标的各个侧面，如叶片的正面与反面。烟剂适用于郁闭的空间，如温室、大棚、仓库、森林。无风及无地面上升气流的天气也可以用于大田作物。

烟剂所用原药的有效成分必须在短时间高温下不致分解，或分解很少才行。敌敌畏烟剂用来杀虫，百菌清烟剂用来防治病害。杀菌剂的烟剂在温室大棚中使用比用喷雾法优越，不但沉积均匀周到，可充分发挥保护剂的作用，而且施药不用水，不会提高空气湿度，有利于保证药效，因为植物病害的发生发展与空气湿度高低关系很大。

烟剂在加工、贮运中要注意安全。加工技术不高或配方不合理，可能会发生自燃或爆炸。贮运不当如遇明火，会发烟烧掉，如烟剂密集成堆，甚至会燃烧起火。

10. 油剂 由原药与有机溶剂及少量助剂组成，使用时不再对水，一般是直接使用。它可以用航空或地面药械进行弥雾或超低量喷雾。所用原药一般应为高效、低毒品种，以保证药效及保障施药人员的安全。所用溶

剂应为低挥发性。油剂在我国主要受施药机械的限制，品种不多，如敌百虫油剂、敌敌畏油剂几种。今后随着航空施药与地面节水型施药机具的发展，油剂的品种和吨位会随之增加。

11. 干悬浮剂 粉状、片状或块状固体制剂，对水形成悬浊液。粉状的干悬浮剂表面上看类似可湿性粉剂，实际上加工方式不同。如干悬浮剂的一种加工方法是用热熔原药与熔融的水溶性分散剂混熔，有效成分在其中均匀分散，冷却固化后再粉碎。这与原药、填料、润湿剂粉碎、混合的可湿性粉剂加工完全不同。干悬浮剂对水时的自发分散性能与有效成分在药液中的分散度都大为优于可湿性粉剂，药效与乳油相近。

干悬浮剂剂型最早由我国创制。20世纪50年代末期，我国因有机溶剂供应不足，大吨位生产乳油剂型有困难，前面已提到的王君奎等人利用纸浆废液等助剂配制“乳粉”（即现称的干悬浮剂）获得成功。制剂组份中不含有有机溶剂，曾投产滴滴涕乳粉，而除草醚乳粉一直生产至今，后来还有代森锰锌乳粉等制剂。可以说我国对干悬浮剂的研制多年来处于国际领先水平。

12. 水分散粒剂 由原药、填料、润湿剂、分散剂等成分组成的一种颗粒剂，对水后崩解，自发分散，形成良好的悬浊液。该制剂无粉尘，流动性好，便于倾倒与称量，制剂贮存稳定性好，包装及贮运方便，配制药液简易，一般分散度较高能保证药效。该剂型兼具颗粒剂与悬浮剂的优点，是农药剂型中较理想的。我国已对多个农药品种在研制水分散粒剂，但尚很少投产。进口的农药品种中该剂型也还不多。

13. 其他剂型 除以上所介绍之外，还有很多其他剂型，如微胶囊剂、气雾剂、片剂、种衣剂、粉粒剂、大粒

剂、油悬浮剂、悬乳剂等，都在我国有生产。今后肯定还会不断出现适应新有效成分、新药械、新使用方法的新剂型品种。

二、农药的使用

不同剂型的农药，要采用不同的施药方法，下面介绍一些施用方法。而农药使用技术问题，后文再讨论。

1. 喷雾 农药乳油、水剂、微乳剂等液体剂型，悬浮剂等非单相剂型，可湿性粉剂、可溶性粉剂、干悬浮剂、水分散粒剂等固体剂型，一般对水配成药液喷雾使用。当然，这些剂型配出的药液从物理化学角度看各不相同。水剂、可溶性粉剂的药液是有效成分的水溶液。微乳剂的药液是有效成分的胶体溶液。乳油的药液一般是乳液，个别乳油品种如果有效成分水溶性较大，药液中有效成分浓度又较低，则也可能配成有效成分的真溶液。可湿性粉剂、悬浮剂、干悬浮剂、水分散粒剂的药液是悬浊液。

喷雾药液的理化性状良好很重要，不能析出油状物，也不能含有粗大的固体粒子，否则影响药效。前者可能造成药害，后者可能堵塞喷头。喷雾要借助于药械，包括手动的喷雾器和机动的喷雾机。优良的喷雾器械所喷出的药雾较细，大小均匀一致，喷出的药雾形状也根据需要而各种各样。

喷雾操作时，药械的喷头不要离靶体如作物茎叶太近，因为药液刚喷出喷头时一般先成为液膜，再分散为雾滴，离得太近则药雾尚未形成，且药液的速度也大，都不利于药液沉积在靶体上。

喷雾操作时，要注意药液中有效成分浓度与单位面积的喷雾液量，以符合单位面积施用某农药有效成分一定剂量的要求。有的作物如果树，树龄不同茎叶相对地

面的覆盖率相差极大，施药则按一定药液浓度，单位面积施药液量可以根据作物大小而变动。

喷雾操作时，还要注意有害生物对作物的为害部位。如蚜虫、红蜘蛛多在叶背面为害，施用触杀性杀虫、杀螨剂要重点针对叶片背面。对于保护性杀菌剂，作物茎叶喷雾要注意均匀周到。而对于内吸性药剂，无论杀虫、杀菌还是除草，如作茎叶喷雾，不必均匀周到，甚至可少施药液量，只要作物茎叶上有一定量的药雾沉积就能保证药效，不必形成覆盖完全的药膜。但对于只有向顶性内吸剂，要注意保护作物的中、下部位。

此外，施药人员配药、施药前后要做好安全防护工作，要能熟练操作施药器械，并会维护保养与简单维修。喷雾操作要选择无风或风力不大的天气，以免药雾严重飘移。不要在烈日曝晒的高温天气下施药，此时药雾中有机溶剂或水分挥发快，不利于有效成分对靶标的沉积，也增加了飘移与施药人员中毒的危险。

2. 弥雾 油剂施用方法为弥雾。弥雾法不用水，但要用弥雾机。弥雾的雾滴很细，易于附着在靶标上，药量省，施药效率高，药效也高。所谓超低量（超低容量）喷雾，实际上就是药量很省的一种弥雾技术。弥雾施药比喷雾更易受风的影响，不能在有风天气操作。弥雾法特别适合山区成林施药，那里难于找到水源，面积大，林木高，林内有郁闭防风条件，药雾可以在林内扩散到林木上层。弥雾法也适合温室大棚、仓库这样的环境。大田施药用弥雾法，对大面积须短时间内普遍施一次药的场合有意义。当然，弥雾法的药械与动力成本较高，专用制剂也不会便宜，所用药剂还有一定限制，如毒性高的药剂不适用，所以应用范围较窄。

3. 喷粉 即用手动喷粉器或机动喷粉机将农药粉

剂从药械中吹送出去，再慢慢沉积下来，在靶标上表面落下一层药粉。喷粉飘移严重，大田作业应在无风或微风条件下进行，而且届时不能有地面上升气流，故最好在无风的清晨或傍晚施药。粉剂对靶标附着力差，风吹雨淋会把药粉弄掉，所以也不能在下雨前或刮风前施药。单位面积施用相同有效成分剂量，喷粉施药的药效一般不如喷雾。另外，作物苗期茎叶对地面覆盖度太小，喷粉施药会使很大部分药剂达不到靶标。国内外近二十年来粉剂吨位大幅度下降，喷粉施药已不很重要了。

但是，喷粉施药方便，工效高，不用水，一般不易发生药害，仍有其意义。近十年来我国温室大棚面积逐年扩大，为了降低温室内空气的湿度，灌溉有的采用土面以下的滴灌，以免对防治作物病害不利。如果施用杀菌剂采用喷雾法，提高空气湿度，药效难于保证，此时施用粉剂特别适合。且温室内环境郁闭，粉剂不会飘移他处，节省了药剂，提高了沉积量。如用5%百菌清粉剂防治温室黄瓜霜霉病。当然，喷粉法也适用于缺少水源且郁闭的山林里施药。

4. 撒粒 即用颗粒剂直接撒施。适合土壤处理、水田施药及对一些作物心叶施药。撒粒可用定型的器械，可用简易的工具，对于低毒的粒剂也可徒手撒施。对于不会引起药害的粒剂，有的可以在播种时或施肥时使用播种机或施肥机同时施药。

水田撒粒，如果是在作物生长期，施药人员可站在田埂上向两边撒施，所用粒剂多为水崩解型，所含有效成分在水中扩散，最后相当均匀地分布在整個水田里。如有效成分是内吸杀虫剂，作物通过田水吸收它；如有效成分是内吸除草剂，则杂草通过田水吸收它。

心叶施药针对玉米、高粱、甘蔗等禾本科作物及菠萝

等作物。如用杀虫粒剂防治玉米螟特别适合。

撒粒时因颗粒有一定大小、一定重量,不受风力影响而飘移、污染。某些毒性很高的农药品种如克百威、涕灭威等,主要剂型即是粒剂,因为它们喷雾或喷粉使用都很不安全。

5. 熏蒸 常温下为气体或通过化学反应产生气体的药剂施用,药剂以气体形态发挥作用。

熏蒸要在密闭空间中进行,如仓库、车厢、船舱、集装箱中,露天堆放的货物或小型果树可用塑料薄膜覆盖后进行熏蒸。粮仓中熏蒸,可杀死粮食中的豆象、麦蛾、谷盗等贮粮害虫。棉库中熏蒸,可杀死在其中越冬的红铃虫。敌敌畏熏蒸,可在居室中防治卫生害虫,也可在郁闭的田间条件下防治某些害虫,如豆荚螟。土壤施药后覆土并用塑料薄膜覆盖,某些熏蒸剂可以杀死土栖的几乎一切害虫、害螨、有害线虫、有害真菌等。熏蒸操作一般费时费事。不少熏蒸剂毒性较高,不但熏蒸操作时要注意安全,熏蒸后也要注意对环境的污染及对被熏蒸材料的残留毒性,还要避免伤害有益生物及对作物造成的药害,如影响种子的发芽率。

6. 熏烟 即施用烟剂。熏烟与熏蒸一样要求一定密闭的空间,但熏蒸中农药有效成分以气态的单分子直接发挥作用,熏烟中农药有效成分形成固体烟粒飘浮在空气中形成气溶胶,最终烟粒沉积在固体表面,靠烟粒中的有效成分发挥作用。熏烟适用于仓库、温室大棚、林木等环境。烟的通透性好,烟粒的沉积不分方向,如在温室大棚内熏烟,烟粒不但沉积在作物茎叶的各个方向上,且墙面、顶面、地面都会均匀沉积一层烟粒。

7. 毒饵和毒谷 用胃毒剂与有害动物喜食的饵料拌和成毒饵。毒饵可在田间撒施毒杀地下害虫,以保护

作物，特别是幼苗。如用切碎鲜草拌和敌百虫作毒饵以防治地老虎。如用作物种子作饵料与杀虫剂可配成毒谷，防治蝼蛄、金针虫等地下害虫。当高毒杀虫剂如甲拌磷、对硫磷作种子处理，播下的种子也具有毒谷的作用。用麦麸、米糠、豆饼等作饵料与杀鼠剂配成毒饵，可用来诱杀害鼠。毒饵法还可用来防治家蝇、蜚蠊等卫生害虫。毒饵法药效一般较好，相当于食物诱致与胃毒剂相配合，但配药、施药较费事。

8. 种苗处理 对种子施药称作种子处理，对秧苗施药称作秧苗处理，合称种苗处理。

种子处理可达到集中施药，药剂利用率高，减少了药剂的浪费和对环境的污染。也正因为药剂集中在种子周围，又值种子萌发这对药剂敏感的生理阶段，一定要注意不要发生药害。种子处理一般分干法、湿法两类。干法即用粉剂干拌，可借助于拌种器械。湿法可用药液浸种或用药液喷施到种子堆上，再拌和均匀。湿拌后一般要堆闷一段时间，称为“闷种”。其作用一是让药剂扩散，使种子受药均匀，二是让药液中有效成分通过熏蒸、渗透、内吸等方式进入到种皮中去，可杀死已侵入到种皮的病原真菌，也有利于让这部分有效成分在播种期与苗期继续发挥作用。

近些年在我国发展很快的种衣剂是专为种子处理的制剂，最常见的种衣剂是悬浮剂，其中含有成膜剂。用种衣剂处理种子后，药剂可牢固粘附在种子上而不会脱落。种衣剂中不但可以含有杀虫剂、杀菌剂、植物生长调节剂，还可以含有化学肥料。种衣剂可以针对种传病害、土传病害、土壤害虫、土栖线虫，也可以针对作物苗期的病虫害。我国不少地区开展“种子工程”，将推广良种与种衣剂技术相结合，农户在种子站买到的良种都是事先

用种衣剂包覆好的，良种及其种衣剂都适合当地的需求。

秧苗处理如水稻秧苗栽插前用三环唑药液浸根，以防治苗稻瘟病。甘薯秧苗栽植前用杀菌剂药液浸秧防病。果树或林木的幼树移栽或插条扦插时，同样可以进行药剂处理，包括粉剂干处理、药液喷雾湿处理或用药液浸渍，以杀虫、防病或用植物生长调节剂促进发根成活。

9. 土壤处理 药剂施于土壤，以解决种传、土传、土栖有害生物问题，还可以利用药剂的内吸作用，解决作物苗期的病虫草害问题。土壤处理一般用药量较大，可与耕作或播种的农事操作相结合进行。具体方法可分撒施、条施、株施三种。

撒施即对一定面积土壤均匀施药，可用粉剂、粒剂撒施，也可用液剂喷施，施药后可将载药表土翻耕到耕作层中，也可在载药表土上再覆上一层土。毒土法施药实际上是一种土壤撒施处理，方法是将药剂与地边或土路面上的细土或其他细土拌和均匀后撒施。对绿肥作物施药，然后结合“压绿肥”，同时把药剂翻压到耕作层中，也相当于土壤撒施处理。

条施包括在种子条播时将粒剂等制剂施到播种沟中，然后覆土，或者在作物生长期行间或行边沟施药剂，可以施于制剂，也可以施药液，施后覆土。

株施即针对一株或一丛作物施药，可在株侧土壤开洞施药，也可在植株基部土壤浇灌药液。处理营养钵土，相当于株施。

10. 涂抹 药剂涂抹在植株上，有几种情况。一是将药剂涂抹在树干上，以杀灭在树干上栖息、蛰伏或直接为害的有害生物。如有些害虫、害螨以一定虫态在树皮缝隙中越冬或栖息，可将杀虫剂或杀螨剂喷涂在树干上。

苹果树腐烂病经常是剪除病枝或刮治病疤后，在伤口部位涂抹适当的杀菌剂。二是在树干一定部位涂抹一圈有一定持效的触杀型杀虫制剂，利用某些种类害虫要通过树干由栖息于树干基部土壤上行到枝叶为害或枝叶上如老熟幼虫要下行到树干基部土壤中化蛹等习性，在害虫爬行的半路上设置药带毒杀。三是利用药剂的内吸作用，对植株局部涂抹施药，药剂内吸输导到叶片毒杀刺吸口器害虫。如玉米、棉花用内吸杀虫剂涂茎杀蚜。

11. 飞机施药 适用的剂型很多，如粉剂、粒剂等干制剂，油剂和以水为介质的高浓度溶液、乳液、悬液等液剂，还可以施毒饵。当然，飞机施药要注意天气条件与对药剂的要求，以免药剂飘移污染或飘浮在空中而沉积不到地面靶标上。飞机施药适用于地势较平坦、同种或同类作物连片种植，或者是林木、草原，或者是蝗虫等害虫孳生、栖息的荒滩、沙滩等地，或者是水面、沼泽等地域如防治蚊虫等。

飞机施药效率很高，单位时间内施药面积其他方法无可比拟。但需有飞机这个高成本的条件，还要有适于飞机起落又离作业区不远的机场、熟练的驾驶员及配套的地勤人员。因此，单位面积的施药成本不会很低。我国飞机施药总面积尚不很大，但这方面发展很快，应用的作物种类或防治的有害生物种类不断增加。施药技术也在提高。如导航技术已由地面人工打旗发展到无线电导航，现在已可用人造卫星遥感导航。可用于施药的国产农用飞机已有轻型飞机、旋翼型飞机和无人驾驶飞机等。我国很多地区从 50 年代到近年都曾用飞机施药治蝗。北京地区多年组织飞机施药防治麦蚜。海南省也曾用飞机喷施硫悬浮剂防治橡胶树白粉病。可以预见，这一施药技术还将较快普及与发展。

农药的施用方法按分类来说还可以举出一些，但重要性不如前面那些。农药在发展，施用方法也随之发展，传统方法将会不断改进、提高，也会不断出现新施药方法及与之相适应的新剂型、新药械。

第四节 农药在农业生产上的积极作用

一、控制农业有害生物

世界农业在 20 世纪下半叶有长足进步。1949 年至 1988 年世界粮食单产由每公顷 1 000 千克提高到 2 499 千克，平均年增长 39 千克，这在人类历史上是空前的。该时期科技对农业高速发展的贡献率约为 73%。贡献中育种技术占 3 成，水利、灌溉占 2 成，化肥、农药占到 5 成。化学农药控制农业有害生物的成绩功不可没。

在 1995 年，有人估计全球每年农药投资为 260 亿美元，使用 250 万吨农药，可挽回的作物损失价值为 800 亿~1 000 亿美元。换言之，每投资 1 美元农药可获得 3~4 美元的产出。美国 1991 年估计，每年的植物化学保护投资约 50 亿美元，可挽回约 200 亿美元的损失，即每投资 1 美元农药可获得 4 美元回报。

我国近年农药使用量每年约 30 万~40 万吨，可挽回的作物损失价值约 600 亿元，挽回的实物损失可供 1 亿居民吃穿之用。在 80 年代有人估计，我国农药投资的回报率大约为 1:4~5。

当前，世界人口突破 60 亿大关，且每年递增 7 000 万，但全球耕地增长的潜力很有限。人口与粮食供应的矛盾将是 21 世纪全人类面临的最严峻挑战之一。这个矛盾在我国更为突出。半个世纪以来，我国的耕地维持在 1 亿公顷左右，变动不大，占全球耕地约 7%。我国大陆人

口逐年增加，动态地占全球人口约 22%。但我们基本上自力更生，靠这 7% 的耕地养活 22% 的人口，成就令世人瞩目。我国 1995 年大陆人口 12 亿，现在每年还以 1 500 万之数递增，估计 2030 年我国人口将达到 16 亿的峰值。而耕地面积在同期很难有显著增加，甚至会因为城镇经济建设、铁路公路修建、退耕还湖还林还草、土壤沙化的威胁等因素而有缩小的趋势。为了解决 21 世纪我国 16 亿人口生存与温饱的问题，必须不断提高农作物单位面积产量，必须尽可能多地从农业有害生物方面挽回农作物产量与质量的损失。或者说，在实施农业可持续发展的工作中，农作物有害生物的可持续控制是必不可少的重要环节。其中化学防治占有举足轻重的地位。化学防治与农业防治、生物防治、物理防治等其他植保措施相比，具有以下优势：

适应面广 其他单项植保措施一般只针对一种或一部分农业有害生物，而对许多种类的农业有害生物无能为力。化学防治几乎可以针对绝大部分种类的农业有害生物。例如抗病育种一般只针对一种病害，而抗病品种推广后，还要靠化学防治解决其他病害，以及虫害、草害等矛盾。何况抗病育种往往要费时十年八年才能成功，成功后又面临抗病性退化或病原菌变异等问题。

操作简易 化学防治的实施一般操作非常简便，群众易于掌握。其他植保措施有的费时费事，有的（如检疫）需要训练有素的专业人员。

规模巨大 化学防治可借助于现代化学工业和微生物发酵工程生产出成千上万吨农药来应用，可以说规模要多大有多大。其他植保措施如抗病育种，要通过种质一代代“扩繁”，又如需要活体培养的昆虫天敌微生物，先得饲养昆虫活体，规模受到极大限制。

作用快速 化学农药施用后一般几天之内甚至一两天内即见明显效果。个别农药品种如击倒力强的杀虫剂可以几个小时见效，而其他植保措施则见效不那么快。如应用活体微生物杀虫剂作为生物防治，必须经过感染、发病的过程，从施药到害虫种群不再危害作物要经过一段时间间隔，在这段时间里害虫种群还会对作物造成一定损失。

效果显著 化学防治实施后，一般都能达到农业有害生物种群不再危害的程度。有的药剂施用一次，即可解决农作物一个生长季的某些种类有害生物问题。如水稻田所谓“一次性除草剂”施用一次，水稻一个生长季中各类杂草均不再危害。杀螨剂四螨嗪只用一次，可以控制一个生长季的苹果红蜘蛛。效果显著的另一层意思即化学防治的经济效益较显著。

可以应急 当某种有害生物暴发成灾之时，化学防治往往是惟一可选择的有效植保措施，如对蝗灾的控制。

笔者在这里并非有意抬高化学防治的地位，而是强调既不能因为化学防治有严重副作用而宣扬“农药万恶”，也不能因为其有突出优点而强调“农药万能”。应该把化学防治放在综合防治系统之中，给予足够的重视，放在适当的位置，充分发挥各种植保措施的作用，相互配合，各尽其长。针对某一种有害生物应该采取什么措施，则要具体分析，不能一概首选化学防治，也不能一律排斥化学防治。前述美国 1991 年估计化学防治挽回 200 亿美元的损失，美国 1995 年有人估计其他植保措施加起来一共挽回的损失也大致为 200 亿美元。

二、调节农作物的生长发育

植物生长调节剂可以用很低的剂量对植物的生长、

发育起重要作用。如果使用得当，有的可以大幅度提高农作物产量，如芸薹素内酯对多种作物提高产量已有定论，又如萘乙酸、吲哚乙酸等品种，可以大幅度提高插条生根率、成活率，有的可以改善农产品质量，如乙烯利可以对一些采收后的水果催熟、脱涩，有的可以有助于提高农业机械化程度，如矮壮素使小麦矮化、粗壮、不倒伏，在保障产量不受损失的同时，也利于机械收割，又如脱叶剂、干枯剂品种，可使成熟的棉花叶片脱落或马铃薯地上部分干枯，利于机械收获棉花或马铃薯块茎，还有的可以提高作物的抗逆性，如耐旱性提高，甚至抗病毒病免疫能力提高等。总之，植物生长调节剂的作用多种多样，应用好它们将会对农业生产有非常积极的意义，经济效益也将十分可观。

但是，植物生长调节剂的使用技术要求很高，品种的选择与剂量的掌握很严格，还要注意用药时期与施药部位，稍有不慎就可能因药害造成损失。另外，植物生长调节剂要与农作物栽培管理措施相配合，例如，必须保证水、肥、温度的条件，才有可能施用植物生长调节剂获得大幅度增产的效果。

三、如何发挥农药的积极作用

针对一种农业有害生物，如果要用化学防治，则有以下工作要做：选用适宜的农药品种，选用适宜的剂型、制剂及药械，以最佳施药方法和剂量，在最佳施药时机（即该种有害生物生活史中最薄弱环节，或者说该种有害生物对该药剂最敏感的生育期），针对优选的靶标部位进行施药处理。其中涉及到药剂、药械、作物、有害生物、药效以及可能存在的施药副作用等很多知识与技术。化学防治的实施者首先应该掌握有关的基础知识，再针对每个

具体问题了解其特殊性。因此，仅有好的药剂、好的药械还不够，必须要有科学先进的农药使用技术。

有人估计，传统的施药技术用于防治农业有害生物，击中作物茎叶靶标的农药有效成分比例只有两三成，而农药有效成分到达有害生物体内该有效成分发挥毒效的作用点所占的比例微乎其微。这样的效率太低了。脱靶率高，不但是很大的浪费，还会造成农药对农作物、土壤、环境的严重污染。

这里不可能详细讨论农药使用技术的种种问题，只强调一点：农药使用技术的核心内容之一就是提高农药施用对靶标的命中率。也只有如此，才能最大限度地发挥农药的积极作用，最大限度地抑制其消极作用。

下面举两个例子说明如何发挥农药的作用：

前文述及用杀虫颗粒剂灌心叶防治玉米螟的使用技术是由我国农业昆虫学家邱式邦（1911年～）研究提出的。玉米螟产卵在玉米叶片上，打苞抽雄之前，初龄幼虫绝大部分集中在玉米心叶中叶片缝隙内。玉米抽雄后，一部分玉米螟先藏在叶鞘内，再经过叶鞘钻蛀到茎秆里继续为害。当用有一定持效期、具有缓释作用的杀虫颗粒剂施入到玉米心叶期的喇叭口内时，颗粒剂可随着玉米的生长不断向底部滚落，不但粒剂总在玉米螟幼虫生活位置附近，而且粒剂滚落过程中可在心叶内侧留下一层药膜。玉米抽雄后，原在心叶内的粒剂大部分滞留在叶鞘内，可以杀伤在叶鞘里为害或向茎秆钻蛀的玉米螟幼虫。因此，如果在玉米螟孵化高峰时用杀虫粒剂灌心叶，则药剂可以从它们孵化到蛀茎的相当长时间内一直发挥毒杀作用。当然，这样使用的粒剂不能遇水崩解，粒径也不能太小，以免粘附在叶片上。这项施药技术药效好、药剂省、操作简易、对环境几乎没有污染。该技术建

立在对农药、剂型、有害生物、农作物各因素充分了解的基础之上。

原联邦德国赫司特公司(Hoechst AG)在非洲用硫丹油剂飞机喷雾灭蝗，选用适宜的溶剂、助剂和喷雾器械，调节到每个药液雾滴所含有效成分剂量，相当于所要防治的蝗群中平均每头蝗虫的致死中量。这样，平均1头蝗虫捕获1滴药雾，致死一半，平均1头蝗虫捕获2滴以上药雾，则将遭到全歼。蝗虫的致死中量事先通过生物测定得知。该项技术还可以用于已起飞的蝗群。预测到蝗群起飞的时间、高度、范围，在气象条件允许时，飞机喷施的药雾可以在一定空域滞留一段时间，蝗群届时恰好穿飞于该药雾云中间，利用蝗虫身体突起部位具有主动捕获药剂雾滴的生物学特性，而达到优良的药效。这项施药技术建立在对农药、剂型、药械、有害生物各因素深入研究基础之上。

这两个例子可以说明提高农药使用技术水平、充分发挥农药积极作用大有文章可作。

第五节 农药的副作用及其避免

副作用对于农药“如影相随”。完全没有副作用的农药简直不可能存在。我们不但需要药效高、副作用小的有效成分，而且要通过剂型加工、施药器械、使用技术等措施进一步发挥农药的效能，抑制其消极面。对待农药的副作用，要正确认识，认真应付，尽量避免。

下面，讨论农药副作用的一些主要方面。

一、毒性

农药对有益生物体的毒作用称作“毒性”。其中最重

要的是对人的毒性。有益生物体还包括畜、禽、鱼、蜜蜂、家蚕、有害生物的天敌生物、土壤中有益微生物群落等。

(一) 对人的毒性

分为急性毒性与慢性毒性。急性毒性是指一次性或短时间内大量摄入药剂，引起急性病理反应。摄入途径有经口、经皮肤与经呼吸道。慢性毒性是指低于急性中毒剂量的药剂长期被人体摄入而引起慢性病理反应，这主要是因为农药污染了饮食，通过消化道进入人体。慢性毒性中致畸、致癌、致突变的“三致”毒性最值得引起重视。

要避免农药对人的毒害，必须采取以下措施：

禁用或限用有严重毒性问题的农药品种。实际上，凡是试验证明慢性毒性严重的农药品种，国内外都是采取断然措施，停止生产，停止使用。我国先后停产如敌枯双（致畸）、杀虫脒（致癌）等一系列品种。急性毒性严重的剧毒农药品种，如内吸磷、氟乙酰胺等，我国也早已禁用。今后，还会分期分批禁用一些有严重毒性问题的农药品种。而对于有一定毒性问题但尚在使用的农药品种，则采取限用办法。如氧乐果毒性较高，不允许用于蔬菜作物。

操作人员在贮运、使用农药时，一定注意一般不要让药剂接触皮肤，特别是有破损的皮肤，不要吸入药粉、药雾，更不要让药剂进入眼睛内。有关农药的操作后，要换掉被药剂污染的衣物，仔细洗手、洗脸，最好洗头、洗澡。老、幼、病、弱及“三期”（经期、孕期、哺乳期）的妇女不要进行农药操作。健康人进行农药操作连续时间也不可过久。

农药存放必须稳妥，有专人保管。避免农药污染粮食、水源。避免误食刚施过药或被农药严重污染的瓜、

果、饮食。禁止进入刚施过药的地块。

经常接触农药的人群，要了解农药中毒症状，学会简单的急救处理措施。

研制农药新品种，低毒是首要条件之一。也要注意原药中的杂质及农药制剂中助剂等添加物的毒性问题。

(二)农药对养殖动物的毒性

1. 家畜、家禽 畜、禽属温血动物，对农药的反应与人类有类似之处。畜、禽急性中毒一因进入了施药区，二因误食了被农药严重污染的饲料，三因用不恰当的药剂或施药方法防治体外寄生虫，四因对畜禽厩舍进行卫生害虫防治用药不当或畜禽回避不够。对这些情况应加强管理。

2. 鱼 农药对鱼及其他水生养殖动物如虾、蟹等的毒性另有规律。有的农药品种对哺乳动物低毒，却对鱼高毒，如鱼藤酮。要保护好鱼塘水不被农药污染。施药时药剂不要飘移到养鱼区，也不要在河边、塘边清洗施过药的机械或把用剩的药液、药械清洗的残液倒入鱼塘。

3. 蜜蜂 蜜蜂是膜翅目昆虫，不少杀虫剂品种对蜜蜂有毒。应避免在蜜蜂活动的时间里施药，也要避开蜜源植物的花期施药。对蜂箱施药防治蜂螨，只允许使用已批准的药剂。

4. 家蚕 家蚕是鳞翅目昆虫，对很多杀虫剂品种敏感。凡对家蚕有毒的农药不要用在桑树上，或者严格遵照桑叶采收前禁用期的规定。如敌敌畏可用于桑树，但要有3天以上的安全间隔期。

二、药害

农药具有生物活性，如果对农作物生长发育产生不良影响，造成了植物体受害或最终农产品产量、质量的损

失，就是药害。药害一般分为3类。

急性药害 如作物叶片上产生药害斑，或叶尖、叶缘焦枯等肉眼可见的植物体伤害。急性药害是因为某种作物对某种药剂敏感，或施药量过大，或农药制剂理化性状不良，或温度、湿度等气象因子不利等。施药时一定注意不要伤害作物，必要时先做小面积或单株作物的药害试验，确保安全后再大面积施药。万一发生药害，可加强栽培管理，尽量让作物能恢复正常生长发育，减少损失。

慢性药害 药剂影响了作物的生长发育，或降低了产量，或降低了农产品质量，如破坏了农产品原有风味等。慢性药害肉眼看不出来，一般要与未受药害的健康作物对照才能发现。一旦确认有慢性药害，应采取改换农药品种或改变剂量、使用方法、施药时期、施药部位等措施予以克服。

残留药害 有的除草剂品种在土壤中残效期很长，可以使下茬敏感作物发生药害。还有的除草剂品种在同一种作物地连续使用，土壤中该除草剂残留量可累积到使这种作物产生药害的程度。如胺苯磺隆用于油菜田除草，有时会对后茬水稻有药害。因此，应降低使用剂量，或与其他除草剂混用。有的地区甚至对某些长残效除草剂采取禁用措施。

三、抗药性

一种药剂对农业有害生物的一个种群反复多次甚至多年防治使用后，该种群可能产生出一个品系，具有可以忍受原来能够杀死种群中大部分个体的该种农药剂量的能力。这种能力就是抗药性。由此可见，抗药性是有害生物种群的特征，抗药性一般要在反复用药的条件下才能显现出来，抗药性是可以遗传的。1989年，有人统计全球

已查明的抗药性昆虫和螨类共有 504 种。同时，许多种植植物病原微生物对杀菌剂产生了抗药性。有些杂草种类对除草剂也有抗药性。抗药性成为农药使用中不可忽视的副作用，限制了农药的发展。例如，易于诱发有害生物抗药性的农药品种使用价值会越来越低，商业寿命大为缩短。

当有害生物对一种农药产生了抗药性，会对另一种从未接触过的农药也表现出抗药性，这种现象称作交互抗性。交互抗性存在的主要原因在于不同农药品种具有相同或相似的作用机制。当有害生物同时对多种农药具有抗药性，称作多抗性。交互抗性与多抗性使抗药性问题更为复杂与严重。

治理抗药性可以采取以下措施：

提倡综合防治，不依赖化学防治；

开发和选用抗药风险低的农药品种；

不要连续使用单一药剂，换用、轮用、混用不同作用机制的其他药剂；

提高农药使用技术，在有害生物对药剂最敏感的生育期用药，采取提高药效的种种措施，避免不必要的乱用、滥用；

使用有利于抗性治理的增效剂及其他助剂，充分利用具有负交互抗性的药剂品种。负交互抗性即有害生物对某种农药产生抗药性后，会对另一种从未接触过的农药更为敏感。多菌灵与乙霉威之间存在负交互抗性，它们之间的轮用或混用对抗性治理特别有意义。

这里还要提到一种类似抗药性的现象，即有害生物再猖獗。某种有害生物用药剂防治，种群数量暂时有所下降，但一段时间后又大量发生，严重程度甚至超过了施药以前，这种现象就是典型的再猖獗。

再增猖獗的主要原因是药剂在防治有害生物的同时,伤害了该种有害生物的天敌。例如,广谱性杀虫剂防治蚜虫,杀伤了蚜虫的天敌,一段时间后蚜虫又大发生。对硫磷防治水稻螟虫,可兼治黑尾叶蝉,但因杀伤其天敌捕食性螨类,而诱发黑尾叶蝉大发生。有时,施药防治一种有害生物,却刺激另一种有害生物发育或繁殖。如波尔多液防治柑橘病害,却缩短了柑橘叶螨卵期及幼龄若螨历期,诱发其大发生。

避免有害生物再增猖獗,一要提倡综合防治,特别是要与生物防治协调,要充分发挥天敌控制有害生物的作用;二要在施药之时充分考虑到农田生态系统中的各种因素,注意药剂对其中各种有害生物、无害生物、有益生物的影响,尽力维护良性的生态平衡。

四、残留和环境污染

农药施用发挥药效后,药剂残存在农作物上及土壤、大气、水体等自然环境及在其中生存的动物、植物、微生物等生物体内。如果药剂中有毒的有效成分及其有毒的代谢物、降解物能够在短时间内消解为无毒无害的简单化合物,如自然界中大量存在的二氧化碳和水,那么这种药剂的“环境相容性”较好。而如果农药毒物长时间滞留在农作物上或环境中,必然造成严重污染。

农药残留在农产品中的剂量应该控制在不致危害人体健康的限度。我国对一些农药品种在一些作物上的使用,规定了一定剂型、一定施药方法下的常用药量、最高用量、每季作物最多使用次数、最后一次施药距收获的天数(安全间隔期)。按照这些规定,农产品中农药残留量就不会超过国家规定的允许限度,食用这样的农产品决不会引起慢性中毒,从而保障人们的食品安全与身体健

康。

对畜、禽饲料与养鱼的饵料，同样要限制其中的农药残留量，以保证肉、蛋、奶等动物性食品中农药残留量不超过国家的有关规定。

农药对环境的影响，最早由美国海洋生物学家卡森（Rachel Carson, 1907~1964年）在她著的一本书《寂静的春天》（1962年）里提出来。她用夸张的手法描述了农药对生态环境带来的危害。她的观点震惊了全世界。

农药绝大多数属于环境中的“外来物质”，而不是天然就存在的。这些毒物施用后如果不能很快在环境中通过非生物或生物因子的作用消解为无毒无害的简单化合物，就必然在环境中滞留、扩散、迁移。一旦进入非靶标生物体内，就会通过“食物链”逐级传递，同时毒物在食物链中一级级生物体内浓缩富集，达到一定剂量就会使食物链中较高一级的生物体中毒。人处于食物链的顶端，即处于最危险的位置。

全世界曾大量生产的滴滴涕杀虫剂，脂溶性强，又非常稳定，多年使用后，到处都有滴滴涕的残留。水中的滴滴涕先是转移到浮游生物体内，再通过食物链进入鱼、鸟、兽体内，并逐级富集。地球两极地区从未用过滴滴涕，但北极的海豹、南极的企鹅体内均能检出滴滴涕。而滴滴涕对生物体的毒作用是肯定的，如有的野生鸟类因此卵壳过薄而影响繁殖。

环境污染不仅降低人类赖以生存的环境质量，而且会干扰整个地球生物圈内非生物因子与生物因子所构成的良性生态平衡，影响巨大而深远。

要减轻农药对环境的污染，一要提倡综合防治，尽量少用化学农药；二要研制与使用与环境相容性好的药剂；三要提高使用技术，增加药剂对靶标的命中率，减少散落

到环境中的部分。

医药、兽药、农药是三大类药剂。前两类一般是针对人体或其他生物体个体来使用，而农药一般是施用到农业生态环境中去，情况要复杂得多。对施药者及其他有益生物体，要注意避免中毒；对被保护的农作物，要注意避免药害；对防治对象农业有害生物，要注意减缓抗药性；对生态环境，要注意避免农药过量残留及对环境的严重污染。

第六节 农药的明天

一、农药的发展方向

农业可持续发展及农业有害生物可持续控制要求农药继续发展，发挥其突出的作用。当然，21世纪的新农药品种必将有一些新的特点。

半个世纪以来，人们对农药发展方向的认识已由“高效、低毒”，进步到“高效、低毒、低残留”。现在，还必须加上“环境相容性好”。

受到良好保护的环境是人类与地球上一切其他生物赖以生存的基本条件。新世纪将是环境保护倍受重视的时代。开发农药新品种将以环境相容性好为首要条件之一，而有污染环境问题的农药老品种将会被逐步淘汰。所谓环境相容性好的农药品种，不但是有效成分及其代谢物、降解物环境相容性好，原药中不含有污染环境的杂质，而且在合成原药过程中，不使用环境不相容的原料、中间体、溶剂、催化剂，不产生任何环境不相容的副反应产品，那么，也就解决了农药生产过程中的有害“三废”问题。

此外，新世纪的农药品种还应该是：

药效越来越高,效益也越来越丰厚,而农药用量却越来越低。

副作用越来越小。

品种类型与特点趋向多样化。例如,杀虫剂三大类(有机磷、氨基甲酸酯、菊酯)都是神经毒剂,过于单调。作用机制应该多样化,这是药效的要求,也是抗药治理的基础。其他如品种的化学结构、广谱与选择性、速效与持效等,也应多样化。

生物农药与仿生化学农药将会稳步发展。生物农药与化学农药一样有副作用,都要朝高效、低副作用的方向发展,而决不是用生物农药取代化学农药。但是,对生物源农药研究之后,开发仿生化学农药,则综合了生物农药与化学农药各自的优势,必将大有前途。

农药类别将会根据需要不断调整。例如,随着农业生产水平的提高和农业劳动力的转移,我国除草剂在农药总吨位中的份额将会逐步上升。又如随着人们生活水平的提高,对提高农产品质量有直接作用的一些植物生长调节剂将受到重视。

笔者不可能描述出未来农药的全貌,以上只是根据目前的科技水平及研发动态归纳出的一些发展趋势。

二、农药剂型的发展方向

农药剂型的发展,要有利于更充分地发挥有效成分的药效作用,抑制其副作用,制剂本身不应含有对环境有污染或有毒性、药害等副作用的其他成分,还要求易于包装贮运及与药械配合达到施用简便。

农药剂型方面,含大量有机溶剂且对水使用的液剂向水基液剂发展;液态剂型向固态剂型发展;粉状固态剂型向粒状固态剂型发展。

农药制剂组份中，增效剂、渗透剂、安全剂等具有提高药效或能抑制农药副作用的助剂种类会越来越多，效能会越来越高。

农药剂型也将不断出现新类别，制剂品种的数量会继续增加。呈现既有骨干种类解决重大农业有害生物防治问题，又有种类的多样化，以适应生产中形形色色的具体需要。

三、农药使用技术的发展方向

农药使用技术是解决农药使用过程中药剂运动规律问题，同样要服务于最大限度提高药效，提高施药效率，降低施药成本，同时降低农药的副作用。

施药器械应向多样化方向发展，与各种剂型相匹配，拥有适应不同农业生产水平需要，针对用于不同作物、不同生育期及防治不同有害生物的要求，多种多样的大、中、小型机动、手动系列产品。总的的趋势是施药效率高，单位面积施药量低。药械还应配有喷量监控装置、单位面积喷量自动显示装置等。

农药使用技术要与剂型、药械配套，尽量提高农药有效利用率，提高药剂在靶标上的沉积比例，减少“脱靶”的比例。

针对某种有害生物的防治，要在充分研究有害生物、其为害的作物、施药环境、药剂、剂型、药械各因子特点的基础之上，确定具体的使用技术。正如本章第四节之三中所举实例那样，新世纪的每项农药使用技术，都应该充分考虑到发挥药效，抑制农药副作用，效益显著，符合有害生物可持续控制要求，建立在科学合理的基础之上。

第8章



21世纪的植物保护学

第一节 可持续农业与综合防治策略的协调性

一、可持续农业与有害生物的可持续控制

为了保证世界各国在经济发展的同时保护和改善人类赖以生存的生态环境质量，联合国在 1987 年召开的环境与发展大会上提出了“可持续发展”，在 1992 年第二次更大规模的环境与发展大会上通过了大会宣言，并颁布了《21 世纪议程》，进一步提出“促进可持续的农业和农村发展”的要求。我国政府在第二次大会上签署了“大会宣言”，积极支持其提出的各项要求和承担有关义务。1994 年我国国务院批准颁布了《中国 21 世纪议程》。中国共产党中央已将可持续发展定为我国 21 世纪的重大国策之一，并把可持续农业列为我国 21 世纪农业的奋斗目标。

在实施可持续农业所需完成的各项指标中，农作物有害生物的可持续控制是必不可少的环节，它与环境、资源、人口、物种多样性等指标都有密切关系。如果有害生

物可持续控制不能达标，农业就无法实现可持续发展。

二、21世纪有害生物可持续控制综合防治策略的发展

从第一章有关有害生物综合防治策略及关键防治技术的介绍中可看出，这个策略与有害生物可持续控制策略的目的是一致的，但后一策略要求更高，是前一策略在21世纪的进一步发展。在过去20多年里，我国在农作物主要病虫草鼠害综合防治技术研究方面已进展到以作物为主体，按不同生态区组建多种有害生物复合群体的综合防治技术体系的阶段，并且在大面积示范区和技术覆盖区有效地控制了各种重大有害生物的猖獗为害，取得了巨大的经济、社会和生态效益。专家们评价认为我国IPM策略的研究和应用已达到国际先进水平。但是我们还没有做到有害生物的可持续控制，特别是90年代以来气候出现异常的频率增高，水、旱灾害、高温、冷害等不利于农业生产的恶劣气候时有发生，加上我们在调整耕作栽培制度和作物布局时往往不注意对有害生物种群动态的影响，以及植物保护法规、管理制度还不够完善等人为原因，造成原有重大农作物病虫害仍在此伏彼起地频繁大发生，并不断出现新的病虫灾害。虽然经过努力这些病虫灾害都基本得到了控制，仍反映出在病虫害防治上我们还没有完全摆脱被动，农业生产中还有不少措施不符合可持续发展的要求。在这种条件下，要实现有害生物可持续控制，任务是很艰巨的。

第二节 综合防治策略发展的新阶段

一、有害生物可持续控制策略的生态学基础

(一) 生态系和生物群落 生物离开非生物环境是不能生存的。植物利用太阳能把无机盐、水分和二氧化碳变为有机物,供植食性动物取食,而肉食动物则取食植食动物来维持生命。另一方面,微生物分解生物的排泄物和尸体,把有机物变为无机物,再被植物利用,这就是自然界的能量循环。生物和环境条件相互作用的结果,使所有适合生物生存的地方都建立起特有的动植物类群。在一定的自然区域内,所有生物(包括动物、植物、微生物)和它们的非生物环境构成相互作用的物质和能量体系,叫做生态系。生态系中有生命的部分是生物群落。环境影响生物群落的存在和发展,而生物群落有适应环境的能力,并与环境进行能量交换。一个生物群落的各个种群之间相互联系,相互制约,在一定环境条件下,各生物种群密度之间彼此保持着相对稳定的比例关系,也就是相对平衡。随着环境条件发生变化,旧的平衡被打破,形成新的平衡。生物群落就是在平衡——打破平衡——达到新的平衡的无穷过程中发展和演化的。

(二) 农业生态系 人类进行农业生产,使原有的生物群落和非生物环境发生很大变化,从生态系中派生出独特的农业生态系。在这个体系中植物群落变为组成简单得多、生长情况完全不同的农作物和农田杂草,土壤变为栽培土壤,经过耕作、灌溉、施肥、施药等措施,大大改变了原来的化学和物理环境。在这种条件下,生物多样性变得贫乏,物种之间相互制约的作用被削弱,整个体系

变得脆弱而不稳定，有害生物对作物的危害变成了突出问题，特别在适宜有害生物发生的气候条件和栽培环境及不合理使用化学农药的情况下，常造成有害生物猖獗发生。显然，现代人绝不会答应通过放弃农业使农业生态系恢复到原有的自然生态系，以求得生态系的稳定。我们植物保护工作者的重要任务是想方设法使脆弱的农业生态变得相对稳定，避免有害生物频繁成灾，结合采用各种有效手段使有害生物种群长期维持在经济损害水平以下。

二、有害生物综合防治策略的第三阶段——有害生物可持续控制

(一) 综合防治策略发展的前两个阶段 我国有害生物综合防治策略的发展已经历了两个阶段，第一阶段是“六五”期间以单个病虫草鼠害为对象的综合防治策略，第二个阶段是从“七五”到“九五”的以作物为主体的多病虫复合群体的综合防治策略。由于第二阶段以作物发育关键时期同时发生的有害生物为对象，制定多对象复合种群的科学防治指标，培育对几个对象有复合抗性(多抗性)的作物品种，化学防治要兼治几种对象等，研究难度加大了，但是策略和关键技术更符合实际需要。经过第二阶段 15 年的研究与实践，已为在我国实施综合防治策略第三阶段打下了稳固的基础。

(二) 与可持续控制目标一致的综合防治策略第三阶段 第三阶段的总体目标是建成以生态区为单位的多作物重要有害生物的优化调控体系。要求在每个农业生态区中使主要有害生物都保持相对稳定的低密度，使几种主要作物的综合受害损失降低到经济允许水平以下。为了实现这个目标，在措施上必须充分发挥人为增强的自

然控制因子对有害生物的抑制作用，同时广泛利用其它各种非化学防治的控制手段（如生物农药、系统获得抗性、辐射不育技术、化学、物理诱杀/驱除技术等），逐步减少对化学农药的依赖（有些意见认为可持续控制策略应该不使用化学农药，这是行不通的。理由见第一章合理用药部分）。这个目标和有害生物可持续控制策略的要求是完全一致的，是我国 21 世纪植物保护工作的奋斗目标。

第三节 当前我国植物保护工作中 急需加强研究的重要问题

1. 弄清有害生物成灾的原因 过去我们多偏重于从微观角度研究各种有害生物的发生规律，较少采用宏观与微观结合的方法深入研究它们的成灾机制，所以对 90 年代以来一系列重要有害生物（如东亚飞蝗、水稻稻瘟病、褐飞虱、小麦条锈病、麦蚜、玉米病毒病、棉铃虫、棉花黄萎病、农田鼠害、斑潜蝇等）相继大发生缺乏预见性，造成防治上的被动。今后必须加强有害生物成灾原因的研究。只有弄清了原因，才能制定对策，使这些生物灾害得到可持续控制。

2. 怎样防止或缓解因有害生物的致害性发生变异而使作物丧失抗性 过去我们在有害生物变异的监测和及时用新培育的抗性作物品种替换已丧失抗性的品种方面做了大量工作，对于减轻生物灾害损失起了重要作用。但是为了使生物灾害得到可持续控制，今后应从有害生物致害性变异的原因入手加强研究，在此基础上探索采用生态调控等措施防止或缓解其致害性变异的途径。

3. 调整耕作栽培制度和作物布局应符合有害生物可持续控制的要求，以免引发生物灾害 实行合理的耕作栽培制度和作物布局是有害生物可持续控制的关键措施之一。这是一个牵涉生物群落演替的复杂大系统，应该开展广泛、系统的调查研究，通过分析对比，找出优化的有利于控制生物灾害的方案，通过试点逐步推广。在这项工作中，生产领导者起着决策作用。

4. 生物安全性问题 近年来，随着现代生物技术，特别是基因工程技术产业化的发展，基因工程产品的安全性已引起世界各国的普遍关注，其中，转基因抗性作物是重点之一。生物安全性研究的目的是研究分析生物技术工作给人类健康和生态环境可能带来的潜在危险，确定其安全等级，制定防范措施，防止潜在危害，使生物技术在保障人类健康和生态环境安全的同时，得到可持续发展。目前转基因抗性作物已进入我国农业生产，其中转Bt基因抗虫棉的种植面积发展较快，转Bt基因抗虫玉米、转Bt基因抗虫水稻等也已研制成功。因此，加强这些基因工程产品的安全性研究急需进行。

推荐书目

1. 王伟琪、朱鑫泉主编,《中国农业科技研究进展(第一分册)》,北京农业大学出版社,1991。
2. 中国农业科学院编著,《农业基础科学发展战略》,中国农业科技出版社,1993。
3. 农业部科学技术司编,《1979~1988农业重大科技成果选编》,黑龙江科学技术出版社,1989。
4. 郭予元,《中国植物保护研究进展》,中国科学技术出版社,1996。
5. 包建中、古德祥主编,《中国生物防治》,山西科学技术出版社,1998。
6. 北京农业大学(主编),《昆虫学通论》(上、下册),农业出版社,1981。
7. 彩万志,《中国昆虫节日文化》,中国农业出版社,1998。
8. 郭郛、陈永林、卢宝廉,《中国飞蝗生物学》,山东科学技术出版社,1991。
9. 郭予元(主编),《棉铃虫的研究》,中国农业出版社,1998。
10. 华南农学院(主编),《农业昆虫学》(上、下册),农业出版社,1981。
11. 黄可训、吴维均、杨集昆,《农业昆虫学基础》,高等教育出版社,1961。
12. 胡革(主编),《资源昆虫及其利用》,中国农业出版社,1996。

13. 蒋书楠(主编),《城市昆虫学》,重庆出版社,1992。
14. 刘淦芝,《中国近代害虫防治史》,昆虫分类学报副刊,1983。
15. 孟昭连,《中国虫文化》,天津人民出版社,1993。
16. 王思明、周尧,《中国近代昆虫学史》,陕西科学技术出版社,1995。
17. 文礼章,《食用昆虫学原理与应用》,湖南科学技术出版社,1998。
18. 杨冠煌(主编),《中国昆虫资源利用和产业化》,中国农业出版社,1988。
19. 中国农业百科全书总编辑委员会昆虫卷编辑委员会,《中国农业百科全书·昆虫卷》,农业出版社,1990。
20. 周尧,《中国早期昆虫学研究史》(初稿),科学出版社,1957。
21. 周尧,《中国昆虫学史》,昆虫分类学报社,1980。
22. 邹树文,《中国昆虫学史》,科学出版社,1981。
23. 国家科学技术委员会编,《中国农业科学技术政策背景资料》,中国农业出版社,1997。
24. 中国农业科学院植物保护研究所主编,《中国农作物病虫害》(第二版),中国农业出版社,1995。
25. 中国农业百科全书总编辑委员会植物病理学卷编辑委员会,《中国农业百科丛书·植物病理学卷》,农业出版社,1996。
26. 方中达主编,《中国农业植物病害》,中国农业出版社,1996。
27. 北京农业大学主编,《农业植物病理学》,农业出版社,1984。
28. 南京农学院主编,《普通植物病理学》,农业出版社,1979。
29. 霍尔顿(C.S. Holton)等编,俞大绂等译,《植物病理

- 学问题和进展》,科学出版社,1963。
30. 弗赖伊(W.E. Fry)著,黄亦成、张斌成译,《植物病害管理原理》,科学出版社,1988。
 31. 扬(R.A. Young)主编,陈延熙译,《植物病害的发生和防治》,农业出版社,1981。
 32. 李扬汉等,《中国杂草志》,中国农业出版社,1998。
 33. 苏少泉、宋顺祖,《中国农田杂草化学防治》,中国农业出版社,1996。
 34. 苏少泉,《除草剂概论》,科学出版社,1989。
 35. 李孙荣,《杂草及其防治》,北京农业大学出版社,1991。
 36. 张殿京、马德慧等,《中国农垦农田杂草及防除》,农业出版社,1987。
 37. 曾昭慧等,《植物医生手册》,化学工业出版社,1994。
 38. 卢浩泉等,《鼠类的分类预测与防治》,农业出版社,1988。
 39. 邓址,《啮齿动物的生态与防治》,北京师范大学出版社,1989。
 40. 朱恩林,《我国农区鼠害发生与防治进展》,农技推广,1991(3)。
 41. 朱恩林,《90年代农区鼠害面临的挑战与治理对策·农业科学技术研究进展(农业科学分册)》,科学技术出版社,1993。
 42. 徐进、朱恩林、易齐,《家庭储粮防霉防虫灭鼠技术》,金盾出版社,1993。
 43. 赵桂芝、施大钊,《中国鼠害防治》,中国农业出版社,1994。
 44. 朱恩林,《农区鼠害发生趋势与防治对策》,植保技术与推广,1994(2)。

45. 王祖望、张知彬,《鼠害治理的理论与实践》,北京科学出版社,1996。
46. 路纪行、吕国强等,《河南啮齿动物志》,河南科学出版社,1997。
47. 张知彬、王祖望,《农业重要鼠害的生态学及控制对策》,海洋出版社,1998。
48. 朱盛侃、陈安国,《小家鼠生态特性与预测》,科学出版社,1999。
49. 朱恩林,《农村鼠害防治手册(农技员丛书)》,中国农业出版社,2000。
50. 黄翠云、姚文国主编,《植物检疫》,中国农业出版社,1983。
51. 浙江农业大学汇编,《植物检疫》,上海科学技术出版社,1978。
52. 姚文国编著,《浅谈动植物检疫》,法律出版社,1988。
53. 王春林编著,《植物检疫理论与实践》,中国农业出版社,2000。
54. 王重高主编,《进出境动植物检疫法学》,中国政法大学出版社,1997。
55. 姚文国主编,《国际多边贸易规则与中国动植物检疫》,法律出版社,1997。
56. 梁广勤、姚文国主编,《地中海实蝇》,中国农业出版社,1998。
57. 梁广勤主编,《实蝇及其防除》,中国农业出版社,1993。
58. 赵养昌、李鸿兴编著,《植物检疫害虫鉴定手册》,科学出版社,1974。
59. 张则恭、郭琼霞编著,《杂草种子鉴定图说》,中国农业出版社 1995。
60. 中国植保学会植检分会主编,《植物检疫害虫彩色图谱》,科学出版社,1993。

61. 徐国淦主编,《有害生物熏蒸及其他处理实用技术》,中国农业出版社,1988。
62. 黄瑞纶,《杀虫药剂学》,财政经济出版社,1956。
63. 张宗炳,《昆虫毒理学》(第二版),科学出版社,1965。
64. 中国农业科学院植物保护研究所等,《农药分析》(第三版),化学工业出版社,1988。
65. 中国农业百科全书总编辑委员会农药卷编辑委员会,《中国农业百科全书·农药卷》,中国农业出版社,1993。
66. 陈万义等主编,《新农药研究与开发》,化学工业出版社,1996。
67. 刘步林主编,《农药剂型加工技术》(第二版),化学工业出版社,1998。
68. 陈万义主编,《农药生产与合成》,化学工业出版社,2000。
69. 吴文君主编,《农药学原理》,中国农业出版社,2000。