

高等农业院校教材
植物保护、农学专业用

植物化学保护

孔祥清 郭永霞 张红梅 主编

黑龙江教育出版社

高等农业院校教材
植物保护、农学专业用

植物化学保护

孔祥清 郭永霞 张红梅 主编

黑龙江教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

植物化学保护/孔祥清,郭永霞,张红梅主编. —哈尔滨:黑龙江教育出版社,2007.3

ISBN 978-7-5316-4769-0

I. 植... II. ①孔... ②郭... ③张... III. 植物保护—药剂防治 IV. S481

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 073246 号

植物化学保护

Zhiwu Huaxue Baohu

孔祥清 郭永霞 张红梅 主编

责任编辑 华 汉

封面设计 官 羽

责任校对 刘鸿博

出 版 黑龙江教育出版社(哈尔滨市南岗区花园街 158 号)

发 行 黑龙江教育出版社

印 刷 哈尔滨太平洋彩印有限公司

开 本 787×1092 1/16

印 张 21.75

字 数 450 千

出版日期 2007 年 3 月第 1 版 2007 年 3 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5316-4769-0/S·8

定 价 35.00 元

编写人员

主	编	孔祥清	黑龙江八一农垦大学
		郭永霞	黑龙江八一农垦大学
		张红梅	黑龙江八一农垦大学
副	主 编	李永刚	东北农业大学
		张艳华	吉林大学农学部
编 写 人 员		吴 颖	吉林大学农学部
		孙 强	黑龙江八一农垦大学
		金永玲	黑龙江八一农垦大学
		靳学慧	黑龙江八一农垦大学

编者简介

孔祥清,男(1963—),毕业于西北农林科技大学,副教授,硕士研究生导师,现工作在黑龙江八一农垦大学,从事植物化学保护的教学和科研工作。

郭永霞,女(1970—),毕业于黑龙江八一农垦大学,副教授,现工作在黑龙江八一农垦大学,从事植物化学保护的教学和科研工作。

张红梅,女(1969—),毕业于吉林大学,副教授,现工作在黑龙江八一农垦大学,从事生物技术科研及教学工作。

前 言

植物化学保护在理论与实践上近些年取得了飞跃的发展,而且随着教学改革的不深入,各院校对本课程提出了新的要求。为此,根据植物化学保护的发展需要,在全国高等农业院校教材《植物化学保护》第三版本的基础上,由黑龙江八一农垦大学、东北农业大学、吉林大学共同编写了此教材,供高等农业院校植物保护专业及农学专业本科生教学之用。

该教材编写的指导思想是将植物化学保护的理论和实践辩证地、有机地置于有害生物综合治理、农田有害生物持续治理及绿色植保之中,使教材内容更鲜明地面向经济建设主战场,为农业生产优质、高产、高效益服务,保证食品安全。教材编写内容的基本要求是将该课程的基本理论、基本知识和基本技术贯穿于整个教材之中;在体现教材内容的全面性、系统性的同时,在论述上更注重对学生具有启发性;保持该教材在同一学科及相邻学科具有广泛参考价值的同时,其篇幅和份量适合植保、农学专业本科生教学之用。

本书共分十三章。第一章绪论,讲述农药的发展历史、如何认识农药的一些弊病、农药化学的发展趋势和动向、中国农药行业现状及存在问题、国外农药现状、农药市场未来趋势等,由孔祥清编写。第二章植物化学保护的基本概念,讲述农药的定义与分类、农药的毒力与药效、农药对农作物的影响、农药的毒性及使用注意事项、农药科学使用基本原则,由孔祥清编写。第三章农药剂型和使用方法,讲述农药的分散与药剂性能的关系、农药助剂、农药主要剂型,由孔祥清编写。第四章杀虫剂,讲述杀虫剂的穿透与在昆虫体内的分布、杀虫剂的作用机制及各类杀虫剂、杀虫剂的科学使用,由孙强、郭永霞编写。第五章杀菌剂(附杀线虫剂),讲述植物病害化学防治原理、杀菌剂的应用、杀菌剂的种类、抗菌素和植物性杀菌剂、杀线虫剂,由张红梅编写。第六章除草剂,讲述除草剂的名称及分类、杂草对除草剂的吸收输导与作用机制、除草剂的选择性原理、除草剂的使用方法、常用除草剂类型及品种,由郭永霞编写。第七章杀鼠剂,讲述常用的杀鼠剂,由吴颖编写。第八章植物生长调节剂,由李永刚编写。第九章农业有害生物抗药性及综合治理,讲述害病、虫草的抗药性及其治理,由李永刚编写。第十章农药环境毒理,讲述农药的环境行为与残留毒性、农药对害虫群落的影响及对非靶标生物的毒性、化学防治与生物防治的协调、农药残留毒性的控制,由李永刚编写。第十一章生物源天然产物农药,讲述生物源天然产物农药的特点及研究开发途径,由张艳华

编写。第十二章新农药的研究与开发,讲述化学合成与工艺研究、生物筛选与作用机理、农药安全评价,由靳学慧、金永玲编写。第十三章农药管理,讲述农药管理的相关重要法律法规、农药登记管理、农药合理使用准则,由张红梅编写。

由于编者的水平及时间有限,本书内容缺点及错误在所难免,恳请读者提出批评指正。

孔祥清
2007 年 3 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 植物化学保护的基本概念	(24)
第一节 农药的定义与分类	(24)
第二节 农药的毒力与药效	(27)
第三节 农药对农作物的影响	(30)
第四节 农药的毒性及使用注意事项	(36)
第五节 农药科学使用基本原则	(39)
第三章 农药剂型和使用方法	(45)
第一节 农药的分散与药剂性能的关系	(45)
第二节 农药助剂	(49)
第三节 农药主要剂型	(54)
第四节 农药的施用方法	(65)
第五节 飞机化学防治	(73)
第四章 杀虫型	(75)
第一节 杀虫剂的穿透与在昆虫体内的分布	(75)
第二节 杀虫剂的作用机制	(80)
第三节 有机磷杀虫剂	(88)
第四节 氨基甲酸酯类杀虫剂	(94)
第五节 拟除虫菊酯类杀虫剂	(98)
第六节 其他类型杀虫剂	(102)
第七节 杀螨剂	(107)
第八节 熏蒸杀虫剂	(109)
第九节 昆虫生长调节剂	(113)
第十节 杀虫剂的科学使用	(118)
第五章 杀菌剂(附杀线虫剂)	(122)
第一节 植物病害化学防治原理	(123)
第二节 杀菌剂的应用	(137)
第三节 杀菌剂的种类	(140)
第四节 抗菌素和植物性杀菌剂	(155)

第五节 杀线虫剂	(158)
第六章 除草剂	(163)
第一节 除草剂的名称及分类	(163)
第二节 杂草对除草剂的吸收传导与作用机制	(164)
第三节 除草剂的选择性原理	(178)
第四节 除草剂的使用方法	(181)
第五节 常用除草剂类型及品种	(187)
第七章 杀鼠剂	(235)
第一节 杀鼠剂的分类	(236)
第二节 常用的杀鼠剂	(238)
第八章 植物生长调节剂	(243)
第九章 农业有害生物抗药性及综合治理	(249)
第一节 害虫的抗药性	(249)
第二节 植物病原物抗药性	(256)
第三节 杂草对除草剂抗性的现状	(263)
第十章 农药环境毒理	(269)
第一节 农药的环境行为与残留毒性	(271)
第二节 农药对害虫群落的影响及对非靶标生物的毒性	(276)
第三节 化学防治与生物防治的协调	(283)
第四节 农药残留毒性的控制	(285)
第十一章 生物源天然产物农药	(289)
第一节 生物源天然产物农药的特点及研究开发途径	(289)
第二节 生物源天然产物农药	(290)
第十二章 新农药的研究与开发	(299)
第一节 化学合成与工艺研究	(299)
第二节 生物筛选与作用机理	(301)
第三节 农药安全评价	(304)
第十三章 农药管理	(306)
第一节 农药管理的相关重要法律法规	(306)
第二节 农药登记管理	(310)
第三节 农药合理使用准则	(335)

第一章 绪 论

各种植物(包括农作物、林木、果蔬、牧草、药材、花卉等)在生长发育和农产品贮藏过程中,均可遭受到各种有害生物的危害,造成农作物减产,降低农产品的品质,严重时甚至绝产和毁坏变质。植物化学保护是应用化学农药来防治植物及其产品上的有害生物(病、虫、草、鼠等),保护农林业生产的一门科学。自20世纪40年代有机化学农药开始大量生产并广泛使用以来,农药已成为植物化学保护的重要手段。

一、为什么需要农药

人类需要农药,首先是因为世界需要更多的粮食。世界人口已达到64亿,目前,世界人口每年约增长8 000万人,每年需增加谷物2 600万t。到2040年,世界人口预计将达到85亿,新增加的20多亿人口需要解决食品的问题。为此,人类必须将世界上现有农作物的产量再提高3倍,才能满足人口增长对粮食的需要。人口的增长使得食品不足和缺乏营养,成为当今全世界面临的最大问题。据联合国统计,目前尚有58%的人缺乏营养,在某些不发达国家,缺乏营养的人达79%。有位社会活动家曾说过“世界上关心食品的人比关心其他东西的人更多”。要大量增加粮食,需要有多种农业措施的配合,其中比较现实的措施之一就是尽可能减少由于病、虫、草害造成的产量损失。根据联合国粮农组织的调查,全世界每年被病虫害夺去的谷物量为预计收成量的20%~40%,经济损失达1 200亿美元,而在相当长的一个历史时期,农药是实现这一措施的物质基础。因此在可见的未来,农药仍然是解决人类生存问题不可缺少的物资要素。因此,21世纪仍然需要农药,尤其是“化学农药”。

人类需要农药,特别是杀虫剂,还因为农药在控制某些人类疾病方面极为重要。有20多种严重威胁人类健康的疾病是由昆虫、蜱螨传播的。如非洲的昏睡病、河盲症、疟疾、流行性出血热、斑疹伤寒等。以疟疾为例,这种病引起的死亡人数从1939年600万人减少到1965年的250万人,现在不到50万人,这主要是使用杀虫剂杀灭疟蚊的结果。据世界卫生组织报道,1948—1970年间,由于使用了滴滴涕,人类免于死亡人数达5 000万之多,免除疫病患者达10亿之多。

正是基于上述两个原因,全世界对农药的需求仍呈与日俱增的态势。全世界的农药产量(以有效成分计)1950年为20万t,1960年为60万t,1970年为150万t,1975年为180万t,在1985年以后维持在200~250万t左右。

二、农药的发展历史

农药使用已具有悠久的历史。据研究,中国、希腊等国家早在公元前1200年就有杀虫剂的记载,只不过当时主要是使用植物性和矿物性农药。我国明朝万历年间《本草纲目》中,记述了矿物性的砒霜、石灰、植物性的百部、狼毒、苦参等用于防治害虫的情况。在10世纪之前,我国就开始用硫酸铜、硫酸亚铁防治害虫。烟草、除虫菊、雷公藤、苦树皮等植物性农

药在我国也有很长的应用时期,但多为零星使用,方法简单、用量少。

农药发展过程大致分为三个阶段:

第一阶段为天然产物及无机物利用时期(第一代农药)

早期人类把包括危害农作物的病、虫、草、鼠害在内的严重自然灾害视为天灾,但在长期的生产与生活过程中逐渐认识到一些天然物质具有防治农作物病虫害的性能。公元前 1200 年古代人用盐和草木灰除草,古希腊诗人荷马在其著作中曾提到用硫磺熏蒸可以防病治虫。公元前 1100 年罗马人使用藜芦防治虫害、鼠害。中国是使用药物防治病、虫、草害最早的国家,古籍中有许多这方面的记载,如《周礼》中记载渭莽草、蜃炭灰、大蛤蜊、牡菊、嘉草等可用于杀虫。当时主要以矿物性和植物性农药为主,如铜、汞制剂、烟草、鱼藤、豆科植物的根、菊科植物的花等。

最初人类只是根据直观经验和感受,利用这些天然产物来对少数有害生物进行零星的防治,在长达数千年的历史过程中并未形成农药商品化的概念。农药的商品化始于欧洲,其标志是三大杀虫植物(除虫菊、烟草、鱼藤)作为世界性商品在市场销售,实际上这三种植物的杀虫作用早已被确认,但作为杀虫剂产品在市场上销售却很晚。1690 年烟草提取液及烟草粉在欧洲作为商品杀虫剂;1828 年美国人将除虫菊花加工成防治卫生害虫的杀虫粉销售;1848 年奥克斯利(T. Oxley)开始商品化制造鱼藤根粉剂;1880 年后硫磺粉、石硫合剂在英国、德国广泛用来防治植物病害;1882 年法国密拉德脱发现了波尔多液可以用来防治霜霉病;1890 年开始制造砷酸钙;1894 年砷酸铅开始面世;1910 年硫酸烟碱商品化,但这个时期使用的农药主要用于防治果树、蔬菜、棉花等的病虫害。

第二阶段为有机合成时期(第二代农药)

自 1938 年瑞士科学家米勒博士发现滴滴涕的杀虫作用后,农药进入了新的时期。在第二次世界大战期间,滴滴涕在防治卫生害虫方面做出了突出的贡献,挽救了千百万人的生命,使人们看到了有机化合物作为农药的巨大潜力,因此 1945 年米勒获得诺贝尔化学奖。1943 年第一个有机磷农药品种特普(TEPP)商品化,以后人们又相继开发出了高效的六六六、西维因及有机硫杀菌剂。在第二次世界大战期间,德国的士拉德(Schrader)合成了一系列有机磷化合物,有机磷化合物对昆虫具有强烈的触杀作用,它的发现使有机磷化合物迅速成为农药中一大类重要化合物,有机磷化合物是当今品种最多、应用最广、药效较高的一类杀虫剂。1944 年 P. C. Marth 报道了 2,4-D 的除草活性后,2,4-D 及其以后的 2 甲 4 氯在美国大面积使用,因而出现了除草剂工业。1955 年发现了二嗪类化合物的除草活性,开发了西玛津玉米田除草剂,接着又开发出脲类、酰胺类、二苯醚类除草剂。

第三阶段为新型农药发展时期(第三代农药)

由于长期使用同类农药,使许多害虫对某些老品种杀虫剂产生了抗药性,农药的使用也对环境造成严重污染,造成极为普遍关注的公害问题。

1962 年美国卡而逊女士发表了《寂静的春天》一书,虽然书中对化学农药的污染问题进行了过分的渲染,但在书中揭示的农药迁移、转化对生态系统的影响、对人类可能产生的威胁,使人们对环境污染中农药的影响有了新的认识,开始了一系列新的思索。因此,上世纪 70 年代左右,美国、日本、英国等国家先后对一些农药禁用或限制使用,甚至有些人主张禁止使用一切农药。同时,人们也清楚的看到:人口增长的严峻形势对农业生产所带来的巨大压力,人口增长要求增加食物,在增加食物的生产中农药又扮演着重要角色,农药向何处发展?

较长时间以来,农药的研究和生产主要注意了两方面:一是农药的效果即农药在防治有害生物,保护农业生产和人类免受有害生物侵袭方面的效果,经过几十年的努力,这方面的效果是显著的;二是经济利润。农药施用产生的经济效益也是不用怀疑的。然而它对人类、环境、对有益生物所带来的威胁,总有一天会将农药的益处化为乌有。为克服农药的缺点,农药的开发必须要考虑对人类和环境的安全性,因此,新型农药的开发,除了农药的效果之外,更应该注意:(1)易分解,不易在环境中富集;(2)对人体不构成危害,使生产者、使用者和消费者都感到安全;(3)对作物及有用生物具有选择性,同时具有高度的亲和性;对病虫害高效,对目标有定向性;(4)单位面积中用药量少,以减轻对环境的影响和改善其经济性;(5)使用对环境无污染、毒理学上安全的载体和稀释剂。因此,上世纪 70 年代前后出现的一些激素类和菊酯类仿生农药,人们称这些农药为第三代的无公害农药。

三、如何认识农药的一些弊端

1. 导致人畜急性中毒问题

农药导致人、畜急性中毒是公众要求取消农药的一个理由。的确,我国当前使用的农药品种,虽然绝大多数是中等毒或低毒品种,但仍有少部分高毒品种(这些高毒品种无疑将逐步被淘汰),每年都发生数起农药中毒事件。但究其实质,乃是我国农药的生产、销售、使用人员没有按有关规定,科学合理的生产、保管、使用所致。

据世界卫生组织统计,全世界每年约有 250 ~ 300 万农药中毒者,其中大多数为有机磷农药中毒。我国每年农药急性中毒者约 1 万人,致死 5 000 ~ 7 000 人,其中 85% 以上为杀虫剂中毒,但其危害程度与医药中毒不能相提并论。在我国现有 180 万,全球有 823 万聋哑儿童中,60% 以上是由于用药不合理所致(在每年住院治疗的 5 000 万病人中,至少有 250 万人有药物不良反应。其中,50 万人呈现严重不良反应,致死者约 19.2 万人,是农药致死人数的 27 倍之多)。

国外也有类似的报道,据 1998 年美国统计,在突发性中毒死亡事故中与农药有关的仅占 0.2%,其中药物中毒是农药中毒的 350 倍。因此,对待化学农药也应同医药一样做出理性抉择。

其实,在西方发达国家,农药造成急性中毒事件是极少的。例如英国,1974—1985 年间,没有发生因农药中毒的死亡事件,使用农药急性中毒的风险,在发达国家,可以肯定比割草机、轻便拆叠躺椅还小。甚至有资料表明,在英国,1988 年全国各地花园中由于花盆破碎造成的伤亡事故比杀虫剂引起的中毒事故大 8 倍多。

2. 农药的残毒问题

使用农药防治病、虫、草害后,一个时期内没有分解而残存于收获物、土壤、水源、大气中的那部分农药及其有毒衍生物,即是农药残留。农药残留对人类的毒害,尤其是慢性毒性引起的毒害即为农药残毒。农药残毒问题一是农药本身属性所致。比如早期使用的有机氯杀虫剂滴滴涕及六六六,由于化学性质比较稳定,在环境中降解缓慢,又由于其脂溶性强,易于在生物体内积累和富集,因此残留问题突出。现在全世界绝大多数地区基本上停止了滴滴涕和六六六的生产和使用。二是由于使用不当,没有认真执行《农药安全使用标准》。目前正式登记的农药,如果科学用药,严格执行《农药安全使用标准》,则残留不会超标,残毒的风险极小。然而,现在人们对农药残留、残毒问题的认识陷入了一个误区:认为只要使用农药

就必然有农药残留,农药残留必然危害人类健康。其实,人类摄入有毒物质、摄入农药残留是极平常的事,只要摄入量不超标,就应视为风险很小。判断一种物质是否有毒,是否对健康产生不利影响,必须和剂量相联系。比如番茄碱,其致死中量为 42mg/kg 体重。番茄碱在马铃薯中尤其是马铃薯绿色组织中含量甚高,芽内可达 0.04% 。按此推算, 6825g 马铃薯(其中绿色组织占 50%)所含茄碱的量即为一个 65kg 体重的人的致死中量,但没有一个国家禁吃马铃薯;又如咖啡因,其致死中量为 200mg/kg 体重,比我们目前使用的大多数农药更毒,但没有一个国家禁止喝咖啡;再如人们大量摄入的蔬菜,据分析,平均重量的 5% 是有毒物质,一些调味品,如芥末、黑胡椒都含有毒物质。此外,医药制剂,无论是人工合成的“西药”还是中药都含有毒物质,但公众并不排斥医药。此外,公众还有一个认识上的错误,即认为“凡是天然的、生物的,都是安全的;凡是人工合成的、外加的,都是有害的”。其实,任何生物活性(包括中毒、毒性反应)物质的基础都是特定的化学物质,不在乎它是天然的还是人工合成的。

3. 农药致癌问题

目前生产和使用的农药品种在人类现有知识的基础上进行了安全风险评价,包括致癌风险评价。如果怀疑是致癌物,将不允许进行农药产品登记,该农药品种不会商品化,即使过去已经登记过的产品,如果后来怀疑有致癌作用也会取消登记。例如杀虫杀螨剂杀虫脒就是后来有动物试验证明会引致皮肤癌而取消登记,禁止生产和使用。此外,即使怀疑是致癌物,也同样有一个剂量问题。因此,不能一提农药就和致癌相联系。P. Klassen 说得好,“人们饮用一杯咖啡摄入的致癌物质要比人们一天中吃下的全部农药残留物中摄入的致癌物质多得多”。世界著名的生物化学家 B. Ames 博士 1988 年曾指出,“如果你以 0.001mg/kg 含量为标准,事实上超级市场上每件食品都含致癌物”。据报道,饮食引起癌症的死亡比例占 35% ,烟草引起癌症的死亡比例占 30% ,化学品引起癌症的死亡比例还不到 1% ,而农药又仅占化学品极小的比例。关于农药致癌问题, Daniels 提醒公众注意这样一个有趣的事实:自 20 世纪初以来,农药的使用大量增加,但人类预期的寿命却继续延长。长期以来,人们都认为滴滴涕会致癌,但经过 20 多年的系统研究,滴滴涕仅能使小鼠肝脏形成小瘤,而这些小瘤不再侵染邻近组织,也不会转移。因此,滴滴涕不是小鼠的致癌物。进一步的研究及文献调查表明,滴滴涕不是人类的致癌物,也不是实验动物如猴、仓鼠、小鼠的致癌物。

4. 农药污染问题

“国以民为本,民以食为天,食以安为先。”近年来,有关化学农药对生态环境,特别是对食品的污染引起了国际社会的强烈关注。构成食品污染的污染源和污染物很多,如由于农用化学品的使用造成的农药、兽药污染和氮素积累;食品加工、储存保鲜使用的防腐剂、添加剂;工业废弃物、汽车尾气、家庭装修等也会直接或间接造成对食品的污染。此外,食品本身也常含有毒素或过敏原,如马铃薯中的番茄碱、扁豆中的溶血素、向日葵中的 ZS 清蛋白等。

至于农药污染环境的问题,首先应强调的是,农药不是主要的环境污染源。汽车排出的废气对环境的污染及对人类的危害远大于农药,但很少有人提议取缔汽车,而是提议如何加强管理、如何改进燃烧等。同样,早期的有机氯农药由于性质稳定,单位面积使用量较大的,确对环境压力很大,而近 20 年来开发的农药在环境中都易于降解,而且由于高效乃至超高

效农药用量很少(少至 $15\text{g}/\text{hm}^2$ 以下),因而对环境并无多大压力。当然,农药对环境的污染,除农药本身的物理化学属性外,加工剂型及使用技术是决定性因素,如果滥用农药,那无疑会对环境造成污染。

著名毒理学家 J. R. Coats 教授曾就公众对农药认识的片面性作了深入浅出的分析,他认为:主要是公众对农药不熟悉造成的,“人们不愿接受为了灭菌而对食品进行辐射,或为了提高产奶量而使用牛促生长激素,因为这些技术是许多人不熟悉的,但给汽车式割草机加汽油时吸入的蒸气对健康的危害可能比前面两项技术大得多,但因为人们熟悉汽油,对它的用途很清楚。许多农药所面临的就是这样一种局面,人们对于怎样使用农药以及用途是什么相对地缺乏了解”。他甚至指出,“尽管统计数字显示原子能设施比骑自行车更安全,但公众很难理解原子能设施是安全的”。

四、农药是否可以完全被取代

如果管理不科学,使用不合理,农药确实会产生种种副作用。无论如何,农药总是人体生存不希望的外源物。如果其他防治方法能代替化学防治,能不使用农药,当然更好。问题是:在可以预计的将来,农药可以完全被取代吗?

应该说,任何一种防治方法都不是十全十美的,都在一定的时空条件下发挥一定作用,同时也就存在一些问题。

1. 农业防治 利用农业耕作、栽培技术,培育抗病虫品种,合理作物布局、轮作倒茬,科学施肥、灌水等农事措施来防治农作物病、虫、草害,称作农业防治。农业防治对环境安全,对环境生态影响较小,而且在某些方面的确有显著防治效果。利用深翻土地,可以明显地减少杂草危害;科学施肥、灌水对水稻纹枯病、稻瘟病等有明显控制作用等等。但数千年的农业史告诉我们,单靠农业措施解决不了农业生产上主要有害生物的防治问题,农业措施只有和其他措施(包括使用农药)配合,才能更好地发挥作用。

2. 物理防治 应用光、电、微波、超声波、辐射、机械等物理措施来控制农业有害生物,称作物理防治。如利用黑光灯诱杀成虫,各地都有不少报道。但单靠黑光灯并不能解决一种害虫的防治问题,更不用说同时解决多种害虫的问题,例如用黑光灯可以诱杀棉铃虫成虫,减少棉田卵量,但黑光灯不能诱杀棉蚜和棉红蜘蛛等。况且,物理防治同样存在对非靶标生物的安全问题,存在破坏生态平衡的问题。

3. 生物防治 严格地讲,所谓生物防治,应是利用有益的活体生物本身(如捕食性或寄生性昆虫、螨类及其他动物、线虫、病原菌、病毒及其他微生物)来防治农业有害生物的方法。某些害虫,如柑橘吹绵介壳虫,完全可以通过释放天敌(澳洲瓢虫)加以控制;又如释放赤眼蜂,对玉米螟等都有显著的防治效果。但生物防治仍然存在许多局限性,并非所有的病、虫、草害都可以依赖生物防治达到完全控制的目的。生物防治受环境条件如温度、湿度、地形等的制约;很多寄生性或捕食性天敌还难以大规模工业化生产,使用成本较高等。需要指出的是,目前很多人所说的生物防治,包括使用生物农药范畴,包括生物体的代谢产物或释放的毒素。这些代谢产物或毒素也是化学物质,就本质而言,和化学农药没有大的区别,同样存在残留、急性毒性、对非靶标生物的影响及产生抗药性等。因为这些问题的产生是化合物本身的属性所致,和该化合物是人工合成的还是天然的或生物合成的无关。

4. 基因工程防治 这里所说的基因工程防治,即将害物的致死基因导入农作物中,培育

成抗虫作物、抗病作物。目前大面积应用的主要有转 Bt 基因棉花(抗虫棉)和转 Bt 基因玉米。基因工程防治的优点,以抗虫棉为例,可以减少化学农药的使用,对靶标害虫的防效较高,特别是钻蛀性害虫,抗虫棉能持续表达杀虫蛋白,与其他防治措施兼容性好,和化学农药无交互抗性,对人、畜及非靶标生物,对环境很安全。但基因工程防治也存在许多问题,例如,同一种作物常同时受到多种病虫害为害,很难找到适合所有这些病虫害的基因,并成功地在该作物中表达;由于转基因作物会持续表达杀虫蛋白,因而对害虫的选择压持久,抗药性发展可能比较快。

因此,在很长一个历史时期,传统农药的用量和现在相比,虽然会逐步减少,但其他防治技术不可能完全取代使用化学农药。

五、农药化学的发展趋势和动向

1. 无机农药快速向有机合成农药发展

上世纪初的农药是以无机农药为主流的品种结构。在杀虫剂方面主要是砷酸盐类、氟化物类为代表;在杀菌剂方面主要是波尔多液及其他铜制剂、石硫合剂及其他硫磺制剂为代表;早年的除草剂也是大量使用硫酸、氯酸盐类等无机化合物。但是无机农药有许多不足之处和弊病。以无机杀虫剂为例,对害虫只有胃毒作用,对危害严重的蚜虫、红蜘蛛及其他非咀嚼式口器的害虫都无效,因此严重限制了无机杀虫剂的应用范围。杀虫威力也很小,每公顷用药量一般都在 7 500g 上下。除此之外虽然还有一些植物性农药如除虫菊、鱼藤、烟草等,也不能满足农业病虫害防治的多方面需要。对于已经侵入作物体内为害的病原菌,无机杀菌剂也无能为力,在 20 世纪上半页合成有机农药发展很快。毒理学家们发现,与无机农药相比,有机合成农药具有许多突出优点:(1)具有亲脂性,使药剂能够渗透生物体的表皮,因此毒力能够得到较充分的发挥,最突出的一点就是使杀虫剂能够具有接触杀虫作用,从而极大地扩展了杀虫剂的作用范围;(2)扩大了农药的剂型品种,不仅可以加工为粉剂、可湿性粉剂等固态剂型,还可以加工成为油剂、乳油、油雾剂、烟剂、颗粒剂、微胶囊剂以及其他多种剂型,从而丰富了农药的施药方法和使用技术,进一步提高了农药的威力;(3)有机合成农药大多在环境中会发生多种方式的降解,不会长时间停留在环境中(虽然也有少数长残留性农药如某些有机氯杀虫剂);而砷、铜、汞、氟等无机物则不会在环境中消失;(4)由于有机化合物对生物体壁和膜的渗透能力,有机合成农药还为药剂的内吸输导作用和内渗作用创造了条件,内吸作用使农药的威力得到了更大的发挥和提高。

2. 新农药创制

新农药创制工作标志着现代科学中大规模、跨学科的集体科研活动专业跨度大(涉及生物学、农学、毒理学、环保等),投资大(国外平均 6 000 万美元),周期长(8—10 年),风险大(命中率为 1/2000),因此开展新农药的创制工作是一个十分艰巨的任务。当今农药的开发途径有以下几种:

(1)将认定有活性的基团进行组合、修饰,这是一种传统的合成方法,相对而言几率最低;

(2)根据目前已知的靶标(如酶等)结构,定向设计新化合物,如针对抑制乙酰乳酸合酶(ALS)的除草剂、针对抑制乙酰胆碱受体的杀虫剂、针对抑制几丁质的杀虫剂、针对干扰昆虫和植物激素的杀虫剂和除草剂;

(3)由生物活性物质或有效结构化合物经结构改造开发新化合物,这种方法成功率相对较高,如默克公司由阿维菌素改造的 1400 个化合物中已有 2 个商品化,又如由吡咯霉素开发出 AC303630。

3. 元素有机农药

有机磷化学在化学农药中占有重要位置,少量有机磷化合物对动物有较强烈的神经反应,这是由于抑制了动物体内的胆碱脂酶的活性,人们学会利用昆虫和人体中其他酶系的差异设计出新的高效、低毒有机磷杀虫剂,获得很大成功。近年来有机磷化学又在杀菌剂、除草剂和植物生长调节剂中获得实用,例如 Monstanto 公司开发的草甘膦已为该公司赚了几十亿美元,许多有机氟新结构的出现引人注目,由于氟元素和氟基团导入分子后使其电子效应加强,在有机体内的脂溶性和渗透性大大增强、生物活性往往有很大改进。例如氟酰胺是优良的杀鼠剂,氟氯氰菊酯是一种新杀螨剂。

4. 超高效农药

研制施用量为 $7.5 \sim 75\text{g}/\text{hm}^2$ 的农药,这样一方面降低了农药对环境和生态的影响,另一方面也大大降低化工原料的消耗。目前一些超高效农药的用药量已降低到每公顷不到 15g,仅为 40 年代以前许多农药用量的 $1/500$ 左右。这种现象在杀虫、杀菌、除草剂中都存在,近年来开发成功的超高效农药有杀菌剂三唑酮、杀虫剂溴氰菊酯和除草剂绿磺隆、噻吩磺隆等。对于此类超高效农药,田间使用技术问题比较突出,因为必须保证农药喷洒的高度均匀性;不均匀的田间喷洒,很容易造成害虫的田间选择压力而诱使害虫产生抗药性。因此国际上有些著名学者认为过分强调高效和超高效农药并非明智之举,认为应在农药的使用策略和提高农药的使用技术水平方面给予更大的重视;因为许多研究工作已经证明,科学使用策略和使用技术已经能把这些农药的实际使用量降低到了与高效和超高效农药相似的水平,而投资却比开发此类高效农药低得多。

5. 内吸作用和内吸输导性农药的出现

自从有机磷杀虫剂中开发成功八甲磷、内吸磷等高效内吸性杀虫剂以来,利用内吸作用防治害虫对植保工作者产生了极大的吸引力。上世纪 60 年代杀菌剂中开发出多菌灵、苯菌灵等高效内吸性杀菌剂,之后陆续开发出许多新型内吸性农药。但是在杀菌剂方面,在实际使用过程中逐渐发现内吸性杀菌剂比较容易诱发病菌产生抗药性,因此,内吸性杀菌剂同保护性杀菌剂配合使用的复方杀菌剂受到了重视。内吸输导性农药也带来了一些新的农药使用技术,如树干注射、种子包衣、树干包扎或涂抹等,特别是对于具有向基性内吸输导作用的草甘膦,开发出了使用工效极高、用药量极少的顶叶抹药法。

6. 光学活性农药

当今世界上使用的农药中有 22% 是纯光学体,其他 78% 中有 5% 有一定的光学活性,近年来急速发展的菊酯类杀虫剂的光学活性对生物活性的重要意义已为人们逐步接受,这种认识正逐步扩展到杀菌剂和除草剂中,这也是现代农药发展的趋势之一,光学活性农药之所以越来越被重视有下述理由:(1)能立体专一地和作用部位吻合,因此高效;(2)生产厂家节省化工原料;(3)由于用量少,对环境保护有益;光学活性体往往仅占有所有光学异构体的一小部分,其他异构体往往无效,例如溴氰菊酯中的 $1R,3R, -S$ 体具有很高活性,但仅占有光学体的 12.5%。

7. 农药研制向定向合成发展

过去的农药合成大多采取筛选法从大量化合物中筛选出满意的产品,投资很高,工作量很大,有效化合物的开发周期较长。70年代以后利用计算机软件所提供的化学和生物学信息以及化合物的结构活性定量相关性(QSAR)理论,根据生物靶标表面易损点部位的分子结构即可先设计出可以知配的先导化合物分子,再在此基础上合成一系列相关化合物,从中选出有效的新化合物。

8. 生物源农药

生物源农药是指一切从生物体分离提取出来直接用作农药,或经过人工模拟合成后再使用的有效物质。它们在本质上仍然属于化学物质,如井冈霉素、阿维菌素除虫菊素、鱼藤酮、烟碱等,它们都有明确的化学结构和化学分子式,而并非生物体,因此不宜把这类物质称为“生物农药”。为避免概念上的混淆,称为“生物源农药”比较确切。例如多种植物性农药、生物性农药、昆虫生长调节剂等。在某种意义上说,自然界是创制新农药的最好设计师,很多有名的杀虫剂起始于植物中有效成分的出现,微生物的代谢物往往具有杀菌和杀虫活性,天然农药化学进展很快,已发现了许多有活性的物质,例如,闹羊花素、Azadirachtin、Hydantocidin。

生物体是极其丰富的农药有效成分来源,每一种生物体内往往都含有作用强度和作用方式不同的多种生物活性物质,因此必须把相关的有效物质分析清楚,才能制定产品的规格和标准。有效成分和分析方法未经明确的生物源农药,直接使用时必然会发生种种问题。

“转基因作物”最近也已纳入世界农药产量统计之中,从科学的角度来说,这只是一种生物工程产物,不属于农药范畴。因为用户所买到的是转入了能产生杀虫或杀菌物质的基因作物品种,或具有抗除草剂药害的基因作物品种,而并非农药。

所谓“生物农药”,是指能够代替农药来防治病虫害的生物或生物制剂,如赤眼蜂、Bt制剂、微孢子虫制剂等。应注意的是,这类“生物农药”包括赤眼蜂这种活体生物在内,并不是对人和环境无害的。早已查明赤眼蜂是危险的立克次体病的传媒昆虫,Bt菌的某些品系也会产生对人体和环境很危险的毒素,并且也已出现了害虫抗Bt制剂的问题,抗药性问题并不是化学农药独有的问题。所以不宜笼统地把“生物农药”一概定性为无公害、无抗药性,以免对公众和管理部门产生误导。

生物源农药之所以重新受到重视,重要原因是这些年来化学合成农药受到来自环境保护方面和农业生态平衡方面的批评,认为天然农药不会产生环境污染和生态平衡方面的问题。另一方面是生物源农药的资源广阔,可以为化学合成农药的母体提供丰富的信息和有效物质的样板。“生物源”包括植物、各种藻类、真菌、放线菌、微生物、以及其他各种生物体。已经从中找到大量有效物质,但是要把这些有效物质开发成为可商品化的农药,难度很大。至今成功的实例仍寥寥无几,较突出的是拟除虫菊素、印楝素已能进行人工模拟合成。除虫菊素是最成功的一例,所开发出来的大量拟除虫菊酯类新农药在农药市场中的影响之大已超过了有机磷化合物。另外,吡虫啉也是成功一例。井冈霉素、阿维菌素等目前还只能停留在分离提取利用的水平上,模拟合成非常困难,也许是不可能的。对生物源农药直接分离提取利用也是一种实际可行的方式,但提取物中往往含有多种组份,它们的性质、效力、作用方式会有一定的差别,仍有待于进一步探索开发。