

● 傅泽田 祁力钧 王秀 著

农药喷施技术的优化



NONG YAO PEN SHI JI SHU DE YOU HUA NONG YAO PEN SHI JI SHU DE YOU HUA NONG YAO

农药喷施技术的优化

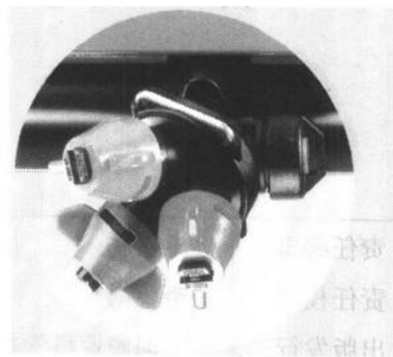
6792

3

中国农业科学技术出版社

农药喷施技术的优化

傅泽田 祁力钧 王 秀 著
中国农业科学技术出版社



图书在版编目 (CIP) 数据

农药喷施技术的优化/傅泽田等著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2002. 12
ISBN 7-80167-500-2

I. 农业…

II. ①傅… ②祁… ③王…

III. 农药施用

IV. S48

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 081400 号

责任编辑	李功伟
责任校对	李 刚
出版发行	中国农业科学技术出版社 邮编: 100081 电话: (010) 68919708; 68975144 传真: 62189014
经 销	新华书店北京发行所
印 刷	北京金鼎彩色印刷有限公司
开 本	260mm × 185mm 1/16 印张: 13.5
印 数	1 ~ 550 册 字数: 350 千字
版 次	2002 年 12 月第 1 版 2002 年 12 月第 1 次印刷
定 价	56.00 元

特别鸣谢：

国家教育部博士点研究基金会

国家农业部 948 项目办公室

提供研究和出版资助

前 言

人类在农业生产中同有害生物的斗争经历了长期的历史过程。我国植物保护的历史源头可以追溯到 2 000 多年以前，而使用农药的历史也有 1 800 多年。古代使用的农药主要是一些矿物粉剂或中草药泡制的水剂，用量很小。大量使用农药保护农作物是从上个世纪 40 年代 DDT 发明以后开始的。这种广谱性农药在当时被看成是保护农作物的万能钥匙而广泛使用，后来又不断开发和使用其他毒性更强的化学农药，逐渐使农业生态环境发生了变化，应用化学农药的负面影响逐渐地显现了出来。

化学农药原本是农业技术进步的产物，它的使用大大地提高了人类抵御自然病虫害灾害的能力，也显著提高了农作物的产量，为保证人类对农产品的基本需求发挥了重要的作用。使用化学农药的问题在于最初人们对它的负面影响认识不足，加之使用手段不够先进，效率不高，致使农药的用量过大，在长期的使用过程中对它形成了依赖。现代科学技术的发展使人类对农药在生产中的作用有了比较明确的认识，农药的使用也更趋于合理。20 世纪 70 年代以后，人们越来越重视化学农药使用造成的环境污染与生态破坏，以及留在作物中的残毒，开始减少对化学农药的依赖和注重喷施技术的改良。围绕这一问题科技人员从两方面展开工作，一是开发生物农药和新型高效低毒农药，并注重对有害生物天敌的保护；二是不断改进农药的施用技术，提高农药的利用率，从而降低农药的用量，本书的研究工作属于后者。

在此必须提及的是农业部科教司和教育部科教司对本研究的支持与帮助。是这两个部门对本研究的有力资助才保证了研究工作的启动与顺利完成。书中所汇集的全部成果都源于农业部“948”项目和教育部博士点基金项目资助的研究开发工作。

本书的研究工作，国内长期以来处于空白状态。即使现在也大大落后于国际先进水平，甚至在某些方面尚未提到植保工作的议事日程上来，而恰恰是在这些方面导致了资源严重浪费，污染程度加剧，人畜安全受到危害和农产品质量不断下降等问题。本书试图通过总结 5 年多来作者在上述方面的研究成果，填补这方面的空白，并对农药喷施过程的影响因素及它们之间的相互关系与作用规律进行探索与归纳。在大量试验的基础上，对各种影响因素在不同施药环境下对喷雾质量的作用强度做了量化研究，并通过数学建模对喷雾参数的值域做了优化设计，提出了适用于不同喷雾对象和在不同外界条件下的参数选择范围，为农药的合理使用在技术上提供了参考依据。

书中对国内外不同施药机型做了试验分析，研究了影响喷雾质量的各种因素，并探讨这些因素影响喷雾质量的规律性。通过统计建模，分析影响因素与喷雾质量指标的相关程度，确定不同影响因素相对于喷雾质量指标的权重，从而分离出影响喷雾质量的主要参数，以达到重点控制的目的。整个研究工作包括喷雾质量与影响因素分析、液体雾化方式与雾滴特征分析、喷头类型与雾型研究、雾滴分布均匀性试验、飘移性测试和喷雾参数优化与控制、不同高度麦茬环境微气候特征分析、不同高度麦茬对可产生不同雾滴单喷头喷洒药液的影响、在喷洒药液总量相同的情况下喷雾器喷杆运动速度对喷洒药液在麦茬行地面沉积的影响、喷杆在相同的高度时喷头雾滴大小对喷洒药液在麦茬地面和麦茬上沉积的规律、喷洒除草剂在不同的对水量时喷洒药液在地面和麦茬的沉积规律、不同高度麦茬情况下杂草对除草剂的剂

量反应规律等方面。

雾滴分布均匀性、飘移性和对目标的覆盖率是评价喷雾质量的主要指标。作者在提出喷雾质量指标概念的基础上,综合分析了自然因素和喷雾参数对喷雾质量的影响。

液体农药的喷雾是化学农药的主要施用方式,其中液体的雾化是喷雾技术的关键环节。作者从液体的雾化方式开始,探讨雾滴的不同形成方式对雾滴大小、雾滴分离初速度、空间雾型的影响,从而说明不同喷雾方式对喷雾目标和环境条件的适应性。运用理论分析和实证结合的方法,对典型喷头的雾化原理、雾滴运动和雾滴分离过程能量平衡做了深入的分析研究。

通过理论分析与田间实验得出了不同麦茬高度下风速与麦茬高度关系的理论模型,得出了摩擦速度与空气气动阻力的关系,研究了不同麦茬高度情况下空气的热稳定情况。通过对喷雾雾滴的形成与运动分析找出了影响除草剂喷洒的关键因子,研究获得了喷洒药液在麦茬行间地面的沉积规律,得出了不同形态杂草在麦茬行内的着药规律及杂草对除草剂剂量的反应模型,填补了这一研究领域的空白。

喷雾质量的高低,在很大程度上决定于喷头类型的选择和喷头本身的质量。扁扇类喷头、锥雾喷头和转子喷头等的工作原理、特点、雾型、流量-时间效应、分级和选择原则是作者研究工作的重点之一。

针对不同类型的喷雾目标(如平面目标、立体目标、垂直小目标等),作者设计了不同的试验模型和方法,用以测试雾滴分布均匀性和飘移潜势,并通过试验结果分析,探讨了喷雾质量指标与喷头类型、大小、压力、流量、喷头高度、安装角度和间隔以及环境因素,如风速、温度和湿度等喷雾参数之间的关系,确定了不同喷雾参数对喷雾飘移、雾滴分布均匀性的影响程度和作用方向。这一研究工作对采用不同喷雾方式时各种喷雾参数起作用规律的认识大大深化,为喷雾参数的优化提供了依据。作者还在非常困难的条件下,通过风洞实验室试验和田间试验相结合,对目前常用各类喷头和最新开发的低飘移喷头做了分析对比。

作者的研究工作中,另一个具有创新性的成果是在分析喷雾质量指标与其影响因素之间的相关关系的同时,通过统计分析方法确定了以喷雾质量指标为目标函数的方程中不同影响因素的权重,并根据不同喷雾作业(杀虫、杀菌、除草,胃杀、触杀或预防等)要求确定了喷雾质量指标的优先次序,选择主控参数,给出其取值范围。这对优化农药喷施质量具有重要意义。

作者的工作绝大多数都有明显的探索性,虽不乏创新,但距离形成完整系统的理论与技术体系还差距甚大,我们的目的是抛砖引玉,引起植保界的专家学者以及政府管理部门和植保器械生产厂家对喷施技术的重视,大家共同努力开辟这一重要的学科方向和技术门类。缩小我国在农药施用与控制方面与国际先进水平的差距,为推进我国农业科技进步和实现可持续发展做出力所能及的贡献。

目 录

第一章 植保技术的发展	(1)
1.1 植物保护在农业生产中的地位	(1)
1.2 植物保护技术的发展	(2)
1.3 21 世纪的 IPM 和农业生态可持续	(4)
第二章 国内外农药使用技术发展概况	(13)
2.1 农药使用技术发展趋势	(13)
2.2 我国农药使用技术中存在的问题	(16)
2.3 施药技术落后制约着农药的有效利用	(17)
2.4 施药效果对药械的要求	(26)
2.5 制约施药技术优化的因素	(29)
2.6 改进施药技术是提高药效降低药量的根本出路	(29)
第三章 液体农药的施用方法	(31)
3.1 喷雾装置的基本组成	(31)
3.2 喷雾器的种类和选择原则	(31)
3.3 拖拉机悬挂和牵引式喷雾机	(32)
3.4 飞机喷雾	(37)
第四章 喷雾质量影响因素	(44)
4.1 病虫害防治的综合目标	(44)
4.2 喷雾质量指标	(44)
4.3 喷雾质量影响因素	(45)
4.4 喷雾质量与影响因素之间的关系网络	(51)
4.5 新技术改善喷雾质量	(51)
4.6 施药方法与农药残留	(53)
4.7 优化农药应用技术的措施	(54)
第五章 液体雾化与雾滴运动	(57)
5.1 液体的雾化方式	(57)
5.2 雾滴分类和雾滴运动的影响因素	(59)
5.3 雾滴的运动	(62)
第六章 雾型分析	(74)
6.1 喷头的类型与特点	(74)
6.2 不同喷头雾型分析	(80)
6.3 喷孔流量的时间效应	(82)
6.4 喷头分级	(86)
6.5 喷头品牌及应用选择	(90)

第七章 麦茬微气候特征对喷洒除草剂的影响	(94)
7.1 引言	(94)
7.2 气流在地面高度方向的分布特征	(95)
7.3 麦茬环境中气体的流动特性	(97)
第八章 雾滴分布均匀性	(105)
8.1 不同条件下喷雾分布试验研究	(105)
8.2 雾滴在垂直小目标上的分布	(110)
8.3 雾滴在立体目标上的分布	(115)
8.4 小结	(121)
第九章 喷雾飘移试验研究	(124)
9.1 综合参数对喷雾飘移的影响	(124)
9.2 风洞实验室喷雾飘移试验	(133)
9.3 不同类型喷头田间飘移试验比较	(138)
9.4 风帘辅助喷雾技术	(141)
9.5 小结	(144)
第十章 雾滴大小对除草剂地面分布的影响	(147)
10.1 引言	(147)
10.2 喷洒液滴的大小分类	(148)
10.3 喷洒液滴的形成分析	(150)
10.4 实验结果与讨论	(152)
第十一章 麦茬地不同喷量对喷洒除草剂效果的影响	(158)
11.1 引言	(160)
11.2 试验材料与方法	(161)
11.3 实验结果与讨论	(169)
11.4 结论	(170)
第十二章 不同形态杂草在麦茬田中的着药量分析	(170)
12.1 引言	(170)
12.2 除草剂的作用机制	(171)
12.3 除草剂在杂草表面上的沉积	(172)
12.4 杂草叶片的接触角	(173)
12.5 除草剂在杂草体内的吸收与传导	(174)
12.6 研究目标	(175)
12.7 实验材料与方法	(175)
12.8 实验结果与讨论	(176)
第十三章 喷雾参数优化	(183)
13.1 喷雾参数与飘移性的相关性	(183)
13.2 不同喷雾参数与雾滴分布均匀性的相关关系	(193)
13.3 喷雾参数控制	(199)
13.4 结论	(206)

第一章

植保技术的发展

农业生产为人类的基本生存提供了保障,而植物保护则是农业生产过程中一个非常重要的环节。在过去的一个世纪中,由于工业化进程的加速,一方面使全世界经济总量急剧膨胀,劳动生产率极大提高,而另一方面也导致了生态环境恶化,诸如酸雨、温室效应、降雨量不足、沙漠化、植被破坏、洪涝和有害生物泛滥等问题全程使人类的生存环境恶化,也使农业增产的空间变小(Pimentel, 1992)。另外,世界人口每年约增加 7 000 万左右,不考虑自然灾害和区域战乱等因素,这也是人类食物供给的一个巨大负担。所以,在世界范围内,食物供应保障还是一个远未解决的问题。

人类在长期的农业生产活动中总结和发明了各种各样的植物保护措施,特别是化学工业的发展,诞生了化学农药这个人类与有害生物抗争的有力武器。据联合国粮农组织调查,如果不使用农药,全球粮食总收成的一半左右将会被各种病、虫、草、鼠所吞噬(中国常驻联合国粮农机构代表处, 1998)。农药在防治人畜疫病,消灭鼠害、蚊蝇等方面也发挥了巨大的威力。但农药毕竟是一种有毒的物质,尤其是化学农药,如果使用不当,会造成环境污染、人畜中毒、天敌死亡和病虫抗药性增强等生态与环境安全问题。目前,使用化学农药仍是防治病虫害的主要手段。在植保领域内,除了重视开发生物农药和高效低毒化学农药以外,在相当长的时期内合理使用农药,提高农药的使用效率,降低农药的副作用是农药使用技术发展所面临的重要且非常现实的课题。

在 21 世纪,传统农业将向高科技农业方向发展,基因农业、精细农业、产业化将成为新世纪农业发展的方向。将在信息技术、生物技术、自动监控检测技术、自动化和农业机械化技术等一系列高新技术最新成就的基础上,用已有的和即将具备的一切先进技术手段,以最佳配方、最少消耗,来换取对自然资源的最大节约和对人类与社会的最大产出。植保学科将是新世纪农业中重要的科学基础与技术支撑体系,其自身将融入高新科技的系统,同时它也将向农业生产贡献具有自身特色的高新技术成果。

1.1 植物保护在农业生产中的地位

我国农业正处于由传统农业向现代农业转变过程中,人口多、底子薄、资源相对短缺。据预测,到 21 世纪中期,全国人口将达到 16 亿,按人均 400kg 粮食计算,粮食总需求将达到 6.4 亿 t,而目前我国的粮食总产量还不到 5 亿 t。我国现有人均耕地 0.08hm² (只相当于世界人均水平的 1/3),而且低产田占 1/3 左右。因而农业生产的任务是相当艰巨的(祝增荣等, 1998)。

随着农业科技进步的发展和我国进入 WTO,我国农业已相应地进入了发展高产、优质、高效益农业的新阶段。而在为实现“三高”农业所需要扫除的诸多障碍中,与病虫等有害生物的斗争是最复杂多变、艰巨而持久的任务之一。植物保护的功能是保护植物免受病虫害等

有害生物的危害, 保证食品供应和人类营养健康。有关研究表明, 在现有的科技成果中, 优良品种可以使农作物产量提高 8% ~ 12%, 增施化肥并改进施肥方法可提高农作物产量约 16%, 耕作方法和栽培技术的革新使农作物增产 4% ~ 8%, 而对农作物实施病虫草害综合防治技术可挽回产量损失 10% ~ 20% (农业部科技司等, 1994)。20 世纪 90 年代以来, 由于全球性气候异常和国内耕作制度改变等原因, 导致病虫草害在我国进入了一个新的发生高峰期, 棉铃虫、小麦条锈病、赤霉病、稻瘟病、稻飞虱、棉黄萎病等频繁大发生; 小麦吸浆虫、麦蚜、稻、麦纹枯病、稻螟、玉米大、小斑病、病毒病、大豆孢囊线虫病及农田鼠害等都有明显加重的趋势; 暴发性害虫草地螟、粘虫和蝗虫等在有些地区再度猖獗。这个期间, 全国年平均病虫草害发生面积扩大到 2.36 亿 hm^2 次, 比 80 年代增加 26% (林永范, 1997)。显然, 植物保护对挽回农作物产量损失, 改进品质, 减少环境污染和农产品中的有害物质残留, 提高经济效益、社会效益和生态效益, 实现农业可持续发展等方面有不可替代的作用。

1.2 植物保护技术的发展

1.2.1 生物防治

生物防治是有害生物综合治理的重要组成部分, 过去在利用天敌昆虫、有益真菌、细菌、病毒等防治作物病虫草取得了明显的成效。但生物防治的作用速度缓慢, 生防技术推广困难。现代生物技术的发展, 为生物防治发展提供了新的契机。

农作物有害生物综合防治实践证明, 利用抗性品种是防治病虫害一项经济、有效的措施。然而, 传统的抗病育种将抗源植物中的抗性基因转移到栽培品种中, 往往需要 6 ~ 8 年, 且常常不及病虫种型分化招致品种抗性丧失的速度快, 加之目前栽培品种的遗传基础日趋狭窄, 而生产上仍潜在病害突变的隐患 (Lewis, 1997)。以基因工程为核心的现代生物技术的长足发展, 打破了物种界限, 可以利用物种之间的杂种优势, 尤其是近年来抗病虫基因研究的重大突破, 为分子标记辅助抗有害生物育种和基因工程抗有害生物育种提供了诱人的前景。

1.2.2 现代信息技术在植物保护中的应用

智能化多媒体软件技术、数据库和网络技术、3S (遥感、地球信息、全球定位) 技术等, 为传统的病、虫、鼠害的预测预报提供了新的手段。这些技术的配套使用, 将导致全国乃至全球病虫区域性测报站间的病虫情报和有关信息, 自由、快速传递, 这样将大大提高病虫信息的时效性、准确性, 为作物病虫害防治提供及时可靠的决策依据和量化的病虫害系统管理决策体系。

1.2.3 新型高效农药的开发

传统的化学防治对农作物免受病、虫、草、鼠等有害生物危害, 满足人类的食物需求发挥了重要作用。但由于热衷追求“绝对防治”和“彻底消灭”, 促成了对环境的污染及产品农药残留, 加之某些农药品种的副作用当时未被发现或没引起足够的重视, 导致影响人、畜健康和引起中毒伤亡 (Pimentel, 1986)。鉴于化学农药的利弊, 今后新农药的开发在强调高活性、高防效的同时, 更注重安全性, 确保人类及非靶标生物的安全, 环境兼容性好。

随着对农作物主要病虫害鼠害的生物学、生态学特性及相关学科研究的深入,病虫害的动态规律将得以充分揭示。在此基础上,根据不同生态区域、不同作物、不同有害生物种类,开发针对性强、副作用小的新型农药,并按综合治理的观点,将可控的关键防治技术依时空简化、组装,兼容成简便、易行、高效的集成技术,并充分发挥生态调控作用,为农作物有害生物的可持续控制奠定基础。

1.2.4 植物保护将面向更高的目标

1975年,我国确定了“预防为主,综合防治”为植物保护工作的方针,在这一方针指导下,使植保工作者达成了有害生物防治整体化和综合性的共识,促进了植保规范的形成,推动了有害生物防治技术和方法的进步,为保障我国农作物持续增产做出了巨大贡献。但过去的植保是以满足人们对食物数量要求,即解决温饱问题,因而植保技术基本上是以保护农作物免受产量损失为宗旨,故而采取的植保技术多以消灭有害生物为主要目的。因此,以见效快、效果直接的化学农药作为最主要的防治措施。据统计,全球的农药销售额从1960~1995年,杀虫剂增加了26倍,杀菌剂增加了17倍,除草剂增加了74倍,其他种类的农药(如植物生长调节剂)增加了113倍,农药销售总额由1960年的8.5亿美元上升至1995年30.3亿美元,而粮食产量仅增加近3倍。根据国际劳动组织在其1994年“世界劳动报告”中估计,每年农药中毒人数达500万,死亡人数4万,其中绝大多数(99%)发生在发展中国家(郭予元,1999)。而这仅为农药急性中毒,还不包括慢性中毒。农药的大量使用和滥用,不但危及人类自身的健康和安全,也使农畜产品和环境污染,同时还易招至生态平衡的破坏。随着人类对生活质量的要求与安全意识的提高,减少农药用量,消除环境污染,保障人类安全的任务已迫在眉睫。因此,我国植物保护除深化“预防为主、综合防治”植保方针,应把植保的目标确立为:保护植物产前、产中、产后免遭病、虫、草、鼠等有害生物危害,保障农业实现持续稳定、快速发展。

1.2.5 21世纪我国植保科学发展前景

在实施可持续农业所需遵循的各个要素中,农作物有害生物的可持续控制是必不可少的环节之一,它与环境质量、资源利用、物种多样性和人类健康等指标都有密切关系。如果有有害生物可持续控制不能达标,就不可能有农业的可持续发展。但是,在当前我国农业基础较脆弱、农作物生物灾害此伏彼起地频繁发生而防治工作尚未摆脱被动以及不少防治措施尚不符合可持续控制指标要求的条件下,要实现有害生物可持续控制,任务是十分艰巨的。有害生物可持续控制是我国植物保护21世纪的长期奋斗目标,当前必须首先针对我国有害生物防治中存在的不符合可持续控制要求的主要问题,开展与有害生物成灾规律及控制技术有关的一系列基础性和技术性研究。利用有益生物的控害作用也是有害生物可持续控制的重要内容,多年来我国科学家为了克服自然界有益生物的发生滞后于有害生物因而自然控制效果不理想的缺点,采用引进特效种类人工扩大繁殖和适时释放等方法,大大提高了控制效果。但是仍有许多有益生物由于对环境适应范围太窄或对农药的反应比有害生物更敏感或对有害生物的控制作用太缓慢等原因,难以在有害生物可持续控制中发挥重要作用。这也需要我们用特殊的方法将有益生物改造成为高抗逆性、广适应性、高产性和高控害能力的新型种类,实行人为增强的有益生物自然控制。

1.3 21 世纪的 IPM 和农业生态可持续

持续农业是一种因地制宜的动植物综合生产系统，它可以在一个相当长的时期内满足人类对食物和纤维的需要；提高和保护农业经济赖以维持的自然资源和环境质量；最充分地利用非再生资源 and 农场劳动力；提高农民和全社会的生活质量。它作为未来农业发展方向，旨在采取不会耗尽资源、损害环境的农业耕作方式，在提高农业生产力水平和农民纯收入水平的同时，减少农业生产对环境的影响，满足未来对食品和纤维的需求，保持农业自然资源的永续利用。因此，持续农业与环境保护、人类保健密不可分，与植物保护紧密相连。

1.3.1 病虫害综合防治策略

我国农林部采纳了联合国粮农组织等关于对农作物有害生物采用综合治理（Integrated Pest Management, IPM）策略的意见，在 1975 年召开的全国植物保护工作会议上确定“预防为主，综合防治”为我国植物保护工作方针，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规定了与国外 IPM 类似的定义。由于这个策略不主张以消灭有害生物为目标，而提倡充分利用各种自然控制因素和尽可能减少化学农药用量，将有害生物控制在经济损害水平以下，强调生态系统的良性循环和环境保护，因此是符合我国农业生产持久稳定发展要求的长期策略，其内含将随我国可持续农业的发展而逐步改进（郭予元，1998）。

1.3.2 农作物主要有害生物综防技术

我国自第六个五年计划（1981~1985）以来，一直把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，由农业部主持，组织国内 50 多个科研教学单位近 1 000 位科学家，分为农作物主要病虫草鼠害防治、生物防治和有害生物防治抗药性治理 3 个方面进行 IPM 协作攻关研究（郭予元，1998）。“六五”期间分别以每个主要病虫草鼠害为对象；“七五”期间发展为以每种作物主要病虫害、杂草和害鼠群体为对象，在研究综合度、系统性和实用性上有明显提高；而“八五”至“九五”期间的 IPM 研究是“七五”研究的进一步深化和逐步完善。经过 10 余年的努力，我国 IPM 研究已发展为按特定生态区围绕特定作物组建多病虫对象的综合防治体系，并在主要生态区 20 余万 hm^2 示范区开展 IPM 示范和在 700 多万 hm^2 次农田上进行单项关键技术的推广。与国外同类研究相比，我们不仅在研究深度、广度和规模上处于国际前列，而且研究中更着重于在实践中检验，从实践中提高，因而成效更大。

资料表明，我国已初步建成水稻、小麦、玉米、棉花等主要农作物病虫害的综防体系；摸清了一些重大病虫草鼠害的种群动态规律；研究并提出了一批具有多种效应和互补功能的关键防治技术；病虫抗药性监测和治理技术取得长足的进展；生物技术在植保领域显示了较好的应用前景与广阔前途。这些成就的取得，为农业的可持续发展奠定了坚实的基础。

尽管对有害生物的综合治理已取得了令人瞩目的进展，但由于灾害性生物所具备的长期性、适应性、反复性、动态性、变异性和突发性，给农林作物所造成的灾害和损失已成为制约高产稳产的严重障碍。特别是应用化学农药防治病虫害以后所造成的空气、水质、土壤的严重污染及相应产生的抗药性以及农药残留对人、畜造成的直接中毒和间接致病因素，更成

为可持续发展中的重要问题。

1.3.3 可持续农业对植保技术的要求

自 20 世纪 60 年代以来,世界农业发展思潮的高涨形成了各式各样的农业发展新观念新模式,而每一种模式对植保技术的应用都有一定的要求和规定,总体上可分为以下四种类型:一是完全不使用人为因素,而只是靠自然界中的自然因素进行病虫草调节的回归型农业,如现代自然农业、有机农业、无为农业、生物动力农业、素食农业等;二是不使用化学农药,但可使用生物防治制剂进行病虫草防治的替代型农业,如生物农业、生态农业、立体农业等;三是以发挥自然控制为主,但可适量使用化学农药的持续农业,如持续农业、低投入农业、低熵农业、生态经济农业、综合农业、精久农业;四是强调高投入、高产出,可大量使用化学农药以取得显著经济效益的集约型农业。

我国拥有 12 亿多人口,人均耕地只有 0.12hm^2 ,又是发展中国家,农业是制约我国经济发展的最主要问题,解决 12 亿人口吃饭问题至关重要。我们既不能效仿西方的回归型农业,也不适合高投入的集约型农业,而应是具有中国特色的持续型农业中的生态经济农业。

生态经济农业继承了生态农业的一些主张及观点,既要求维持农业生产系统一定的生态平衡,又不反对农药、化肥、工业能源、机械等适量适当的投入,从生态效益、经济效益、社会效益综合衡量农业生产。在生态经济农业发展模式下,植保技术的开发应用、组装搭配、优化管理,必须以生态经济理论为指导,符合生态经济农业生产模式,既不能完全拒绝使用化学农药,过分强调生态效益,也不能一味依赖化学农药,过分强调经济效益。中国农业由传统生产模式向现代化生产模式转化,由粗放型增大方式向集约型增长方式转变,必须走可持续发展的道路,兼顾生态、经济和社会效益。植保技术要适应这一新型农业生产模式,在防治病虫害确保农业稳产丰产的同时又不污染环境和农产品,维持农业生态系统的良性循环,势必要在宏观战略和微观技术管理体系上进行调整与之相匹配,在可持续农业中充分发挥应有的作用。

1.3.4 植物生态保护战略

植物生态保护是以植物及其生态系统为研究对象,视“有害”生物为这一生态系统中的组成成分,以生态经济理论为指导,依据现代生态科学、系统科学和生物科学研究成果,采用现代先进的科学技术,并与传统农艺措施精华结合起来,通过构建和改善植物生态系统,使植物生态系统中的群落结构持续稳定,增强其自身的调节能力,从而保障植物的正常生长和对“有害”生物侵袭的抗性,减少生物灾害和人为灾害的发生,这样一种植保战略框架和策略思想。它要求领导决策管理、科技研究开发、技术推广、技术应用、农户等各个层次都要把视野从“害物”扩大到整个农业生态系统,寓所有植保技术措施的使用于改善植物生态系统中,寓治标于治本之中,寓经济效益于综合效益之中,寓农田生态系统于大农业生态系统之中,寓植保于生态环境保护之中,不仅使农业生态系统内部处于良好状态,还要使其外部环境处于良好状况,从而为农业可持续发展提供保证。

1.3.4.1 生态调控植物保护体系

植物生态保护技术体系必须充分发挥各种植保措施的优势,在原有植保技术体系上作适当的调整或优化组合,以减少技术应用环节的失误导致的负效应,尤其对生态环境的不良影

响。因此,要在把传统农艺措施的精华与现代科技相结合、进一步在发展 IPM 的基础上,树立生态调控的思想,开发生态调控技术,形成以农业防治为基础、抗性品种为核心、生物防治为先锋、必要的化学防治为辅助的植物生态保护技术体系。

在自然生态系统中,生物与生物相互作用而形成一个整体,致使大部分害虫被调节在一个较低的密度水平上;在人为栽培的农田生态系统中,由于单一品种,易使病虫害暴发成灾;为了迅速使其密度下降到一定的水平,必须采用人为控制的方法(万方浩, 1986; 程家安, 1995)。因此,生态调控必须充分发挥自然因素的生态调控作用,持续地维持作物与其他生物间的良好生态关系,提高作物本身的抗逆性和自然天敌的控害作用;它既不是(也不可能)将所有害物消灭掉,但也不是只依靠自然的调节听之任之,而是要调动一切可能的力量,开发一切可能的生态调控措施,稳定人工农业生态系统的各种生态关系,确保农业生产的持续稳定。此外,它在必要时也不排除适量地人为消灭一部分害物以帮助作物度过“难关”。构建良好的农业生态系统要从宏观区划、布局、间作、套作、轮作和微观引进天敌、生物防治、抗性品种培育利用等具体植保措施两个层面考虑实施,把所有的工作都看作是对农业生态系统的调控,而不在于防治某种具体的病虫害。

1.3.4.2 合理使用化学防治

世界的人口在不断增长,从 1965 年 32 亿到 2000 年已达 60 亿,估计到 2020 年可达 85 亿。要靠有限的土地养活越来越多的人口,这就必须要尽力提高单位面积的产量。

然而,在当今世界,不同地区的产量差异很大。在落后地区,1 公顷的土地仅能生产 1 吨粮食,而在发达地区可达 3 吨,甚至更多的粮食。这显著的差异,对作物保护的实施情况则十分关键。据 Cerke 在 1994 年统计,在农作物中,如果不实施作物保护,其产量仅为 30%,经农作物保护后,作物损失 42%,内草害 13.2%、虫害 15.6%、病害 13.3%。而经作物保护后可增产 28%,其中除草后挽回 16.4%,除虫增产 7.1%,灭病增产 4.2%。由此可见,作物保护在农业生产中的重要性。而用农药则为作物保护中最为关键的手段之一。

近年来,世界农药市场出现了迅速的发展,每年的农药总用量逐步上升。近几年来,世界每年农药使用总量 300 万 t (纯药),品种 14 000 个,常用 40 个左右;在中国,约 26 万 t (100%),其中水稻、棉花作物的用量就分别占农田总用量的 30%~40% (杨永岗, 1997; 朴永范, 1997)。由于农药的使用能使粮食的损失减少 15% 左右,并且对蔬菜、水果和其它经济作物的保护有不可替代的作用,所以农药工业的发展非常迅速。全世界农药的销售金额迅速增长,1960 年,8.5 亿美元,1990 年达到 218.5 亿美元 (黄士忠, 1990), 1996 年超过 1 000 亿美元 (吴雅丽, 1997)。

但是随着农药使用量的不断增加,大量的化学毒品进入环境后孕育着巨大的危险。农药残留量的增加使病虫害的抗药性不断增长,迫使农药用量愈来愈大,由之而造成的环境污染也愈来愈严重 (Uttley, 1993)。

我国是一个粮食生产大国,同时也是一个农药的生产和消费大国。我国农药使用的一个重要特点是地区间、不同作物间的施药量差异很大。北方干旱地区,以小麦为主要农作物的地区,施药量小于南方水稻产区。蔬菜、水果的用药量明显高于其它农作物。例如有些地区的果园每公顷用药量达到了 30~75 kg,远远高于欧洲最高用药量的荷兰 (19 kg) (Jansmat, 1994)。中国是一个发展中国家,解决人民的基本生活问题仍然是政府面临的一个重要问题。农药投入是保持农业持续高产的一个重要方面。但是近年来农药高投入带来的副作用已逐渐

显示出来了。

(1) 农药在食物和环境中残留毒性的积累效应日益成为严重问题。当农药使用量过大,超过了环境的自然消解能力,就会形成毒素的积累。而不同来源的食品带来的有害物质在人体中的沉积,导致了人类各种疾病的发生。据 1998 年 4 月 10 日中央电视台焦点访谈节目报道,对我国几个主要苹果产区苹果农药含量的抽检,无一低于国家标准。近年来出口果品因农药含量超标被退回的情况屡有发生,已严重影响水果的出口贸易。

(2) 经调查发现,造成地下水和地表水污染的主要原因是化学农药,其次是化肥 (Pimentel, 1994)。

(3) 大量使用农药,害虫的天敌或其它益虫迅速减少,从客观上造成了每年农药使用量增加的要求或作物减产。

(4) 农药直接人畜中毒事件不断发生。

这种以有毒化合物杀灭有害生物的治疗方法一直是本世纪中叶以来有害生物治理的主要策略。安全问题和对生态系统的无情破坏不断产生,与此同时,新的有效、安全、经济的替代方法也不断地出现,人类为此花了大量人力、财力和物力,其主要趋势倾向于用现代化学和分子生物学研制、生产低毒或无毒的、有生物学基础的产品取代传统的杀虫剂,但这些方法其本质上仍为治疗性的。尽管强化了各种防治措施,农作物受节肢动物、病害和杂草等有害生物的为害造成的损失仍从 1965 年的 34.9% 上升到 1988 ~ 1990 年的 42.1% (Oerke et al, 1994)。

1.3.4.3 提高农药的使用效率,保护生物环境

化学农药本不属于自然生态系统的任一组分,而是人为强加进去的,理论和实际均证明对农业生产的持续性有不良的影响 (祝增荣, 1998)。

农药对环境的不良影响是早已引起人们重视的问题, Rachel Carson (卡森, 1962) 的《Silent Spring (寂静的春天)》的发表给人类敲响了警钟,有机氯 DDT、666 等农药的残毒问题已引起人们的高度重视。农药使用也带来农业生产力的下降,中国耕地本来就紧缺,受包括农药在内的污染面积却已近 0.2 亿 hm^2 , 每年因此损失粮食 100 亿 kg 以上。

近年来欧盟国家对环境质量的要求越来越高,并且进一步法规化:饮用水中农药最大允许浓度为一种农药 0.1×10^{-9} , 总农药浓度不得超过 0.5×10^{-9} , 不管其毒性如何;露天水源的禁药区不断扩大,农药包装容器必须回收。丹麦国会 1986 年决定将农药用量消减 25%, 1997 年再减 25%, 同时限制用药次数,大大缩短农药注册的有效期:高毒、一般毒性为 4 年,低毒的也仅 8 年。欧盟其他国家也已明确提出在 2000 年将本国农药使用总量比 1990 年减少 50%, 而且有的国家目前就已达到此目标。

荷兰—国家试验场从 1979 年开始的综合和常规耕作对比试验表明,运用生态系统知识密集型的替代措施可以降低外部化能源的投入。有机肥、秸秆还田替代化肥,通过天敌助长、对杂草有竞争性、对病虫有持久抗性的品种、减少化肥使用,以及在详细的种群取样和决策阈值的基础上谨慎用药,解决了病、虫、草问题,15 年间农药用量减少了 90% 以上。荷兰农业部已下令推广该示范农场的综合农作技术,以减少环境污染和为农业的长期发展创造坚实的基础。示范农场的马铃薯、豌豆、胡萝卜、洋葱、甜菜和冬小麦的产量,在某些程度上是低于常规农场,但它由于降低了农药、化肥的投入成本而得到补偿,因此其短期净利润与常规农场相当。相反,常规耕作法的环境、社会和经济后果太不理想,需迅速转变成即

使在短期经济收益处在边际状态的综合耕作法 (Lewis et al., 1997)。

也许有人会以为,在发达国家因为人均耕地、粮食拥有量远远高于发展中国家多倍的情况下,减少农药用量、不增产关系不到国家粮食安全,而在像中国这样面临养活 16 亿人口的严峻挑战下,减少农药用量意味着减产,风险太大,这样担心是不必要的。以印度尼西亚为例,20 世纪 80 年代中期水稻褐飞虱连年暴发成灾,经国际专家组考察认为是由于滥用杀虫剂杀伤褐飞虱的天敌,以及某些杀虫剂对褐飞虱的刺激产卵作用而致,建议印尼减少用药,走大规模培训农民、搞综合治理之路,于是通过颁布总统令的形式自 1986 年开始禁止 56 种农药的进口,并取消政府对多种农药的补贴,仅几年之后,褐飞虱就再也不成其问题,而该国的单位面积稻谷产量仍保持在稳定水平(祝增荣,1998)。

另一方面,目前我国农田喷洒的农药仅有 20% 到达靶标,若通过研究将其提高到 40%,即可减少 20% 的总使用量。只要努力实现这一目标并不太难。

为了加强对农药生产、经营和使用的监督管理,保证农药质量,保护农业、林业生产和生态环境,维护人畜安全,1997 年 5 月国务院发布《农药管理条例》。目前,在严格执行此条例的基础上,有识之士必须以中华民族的长远利益为己任,不因部门和个人的局部利益所约束,不为化学防治的短期效益所迷惑,采取各种可能措施,减少中国的农药使用总量,促进我国农业的持续稳定发展。

1.3.5 以生态学为基础的有害生物治理

在人类与有害生物较量的历史长河中,生物防治和有害生物综合治理是不断总结经验教训而采取的两个重要法宝。

1.3.5.1 生物防治

生物防治在有害生物的治理中有悠久的历史,并且因可避免使用化学药剂带来的问题而日益受到重视。

随着高新技术的不断发展,生物技术也突飞猛进,特别在植保领域显示了较好的应用价值。但在目前及今后一段时期内,生物技术的发展及应用还有很多工作要做。如 BT 转基因抗虫棉的培育,还存在转化基因单一、害虫易对其产生抗性、抗虫范围较窄及抗虫强度差等问题。如培育多基因抗虫棉,培育广谱性抗虫棉等也还有大量工作要做。预计到 2010 年这些问题可望得到初步解决,大面积种植各种抗病虫的优质高产作物将成为普通的生产技术。

许多人认为,生物技术可以为基本上解决有害生物问题提供安全、有效的工具。化学、生物化学、行为、神经生理、分子遗传学和基因工程的技术进步已经产生了一系列比常规农药低毒、对人体和环境安全的一系列生物合理产品和材料。这些产品包括对有害生物有较强抗性的遗传工程植物(Bt 抗虫棉、抗虫稻、蔬菜等)、对农药(除草剂、杀虫剂)有较强耐性的植物和天敌,以及剂型和输导方法复杂的生物农药、信息化合物等等。

早年的农学家面临严重的有害生物问题,他们通过试错法应用各种有效措施,其成功的原因大多是能维持该地区的生态平衡和有害生物与其天敌间的自然平衡,这些措施以及当今各种生物学技术相结合构成了能发展有利、安全和持久(长期、自我维持)的有害生物治理的最具逻辑性的途径,这种途径称为以生态学为基础的有害生物治理,这主要依赖于有关有害生物及其所在生态系统的生物学知识的投入,其次才是物理的、化学的和生物学(生物防治生物及其制剂、抗性品种、窄谱农药)的补充。

早期的 IPM 倡导者构想了一个治理有害节肢动物、杂草和病原物的综合途径的框架, IPM 致力于用有害生物的自然死亡因子、害虫——捕食者(拟寄生者)关系、遗传抗性和栽培措施等的生态学原理来管理有害生物。但正如上所述, IPM 在实际应用时往往被简单化为有害生物监测(甚至还做不到这一点)和杀虫剂的精确使用。IPM 原有框架概念已远离了现在这种新的信息密集型的管理策略。探索这种以生态学为基础的、与持续农业相适应的有害生物持续治理已成为目前国际上研究的方向(Ciba Foundation, 1993; 戈峰等, 1997)。

据报道, 在农田生态系统天敌对害虫的控制作用在 50% 以上, 天敌和抗性的综合控害作用超过 80% (Pimentel, et al, 1992)。近年来, 在 FAO 亚洲国家间水稻有害生物综合防治项目的带动下, 通过减少农药使用, 充分发挥稻田自然生物因素控制的作用, 实现了对原频繁暴发成灾的褐飞虱的持续治理 (Gallagher et al, 1994)。这一成功表明农作物系统害虫种类增多和频繁暴发的基本原因是削弱了自然生物控制作用, 也改变了传统的以增加外部投入(尤其是农药)来防治害虫为害的观念, 从而开始探索通过促进作物系统内在的自然生物控制作用的持续控制害虫的途径。

1.3.5.2 有害生物的持续治理

在近年国家组织的攀登计划, 攻关计划, 国家及各省国际合作研究的基础上, 进一步对迁飞性昆虫及其天敌迁入、迁出的背景性天气、寄主作物等栖息地类型、变化的诱导作用, 暴发性种群动态的过程、格局及其机制, 潜在性害虫与常发性害虫地位相互转换的内禀和外源因子, 居留性昆虫、天敌的地理种群间基因流动, 进行调查研究, 从而寻找将潜在害虫保持低种群水平, 将常发性害虫降低至低种群水平的生态学途径。

1.3.5.3 多营养阶层相互关系研究

植物能释放不利害虫取食的毒素或其他化合物, 植物抗虫性学说直接指引了抗性品种的培育并对害虫的治理做出了杰出的贡献。近 10 年的研究也发现, 植物在防御害虫侵害方面表现的作用是很主动和复杂的, 其防御反应已适应于特定、互作的多营养阶层的状况, 例如植物受害虫取食后释放挥发性化合物, 招引这种害虫的捕食者和寄生者来攻击害虫, 而且这样挥发物的释放只在被害虫取食时才释放, 使得天敌能区分出何种株植物正在被害。某些野生性种质资源比栽培品种释放这类挥发性化合物高 10 倍, 了解到这些重要防御机制后, 可以育种方法将这种特性转存在栽培品种中, 在选育其他特性时也可避免无意识的丢失。

目前, 全株组成性表达 Bt 毒素的多种农作物已经商品化, 这等于给植物整株从内到外都喷上毒素, 因而害虫是处在非常高的选择压之下, 极易产生抗性, 这已有例子。虽然有包括害虫/天敌庇护所、限制这种品种的种植面积等办法来延续抗性的产生, 但仍应将主要精力投在培育与自然系统相和谐的、特异性组织表达的, 以及由为害诱导的化学防御等特征上。

1.3.5.4 有害生物综合治理 (IPM)

在所有寻求替代单一化学防治措施中, IPM 概念作为一项综合性的有害生物治理途径是最引入注目的。IPM 历史悠久, 定义繁多, 内涵纷杂。最早是 Bartlett (1956) 的“综合防治 (integrated pest control)”, Stern 等 (1959) 作了进一步阐述, 综合生物防治与其他互补的防治措施, 随后该术语扩展到包括所有生物的、栽培的和其他人为措施的协调使用。Flint & van den Bosch (1981) 详细讨论了这种概念及其应用的潜在利益, 并评价了一个牢固地建立在包括干扰产生的经济、环境和社会后果的生态系统知识基础之上的、综合性的长期有害生物治