



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

中国农药研究与应用全书
Books of Pesticide Research and Application in China

农药使用装备与 施药技术

Pesticide Application Machinery
and Technology

何雄奎 等编著



化学工业出版社

中国农药研究与应用全书
Books of Pesticide Research and Application in China



农药使用装备与 施药技术

Pesticide Application Machinery
and Technology

销售分类建议：农业/农药； 化工/农药



定价：150.00元



“十三五”国家重点出版物
出版规划项目

中国农药研究与应用全书

Books of Pesticide Research and Application in China

农药使用装备与 施药技术

Pesticide Application Machinery
and Technology

何雄奎 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统总结了我国农药使用装备与施药技术研究领域近年来所取得的新技术与新成果，特别是针对我国农业生产植保现状以及 21 世纪以来实施的农药减量计划，重点介绍了当前适合于不同作物的自动对靶喷雾技术与机具、精准变量施药技术与机具、循环喷雾技术与机具、防飘喷雾技术与机具、静电喷雾技术与机具、植保无人机低空低量航空施药技术与装备等新型高效减量现代化的、先进的施药技术与装备。

本书可供植保机械科研人员、高等学校师生阅读，也可供广大农业生产人员、农药生产制造商、农药使用者以及各级农业技术推广人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国农药研究与应用全书. 农药使用装备与施药技术/
何雄奎等编著. —北京: 化学工业出版社, 2019. 7

ISBN 978-7-122-34016-0

I. ①中… II. ①何… III. ①植保机具-研究-中国
②农药施用-研究-中国 IV. ①S48②S49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 040635 号

责任编辑: 刘 军 冉海滢 张 艳	文字编辑: 向 东	责任印制: 薛 维
责任校对: 边 涛	装帧设计: 王晓宇	

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 中煤 (北京) 印务有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 28 字数 683 千字 2019 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 150.00 元 版权所有 违者必究

《中国农药研究与应用全书》

编辑委员会

顾问：	罗锡文	华南农业大学，中国工程院院士
	李 玉	吉林农业大学，中国工程院院士
	吴孔明	中国农业科学院，中国工程院院士
	陈剑平	宁波大学，中国工程院院士
	朱有勇	云南农业大学，中国工程院院士
	康振生	西北农林科技大学，中国工程院院士
主任：	郑裕国	浙江工业大学，中国工程院院士
	宋宝安	贵州大学，中国工程院院士
	钱旭红	华东师范大学，中国工程院院士
委员：（按姓名汉语拼音排序）		
	陈 卓	贵州大学，教授
	董丰收	中国农业科学院植物保护研究所，研究员
	高希武	中国农业大学，教授
	何雄奎	中国农业大学，教授
	金林红	贵州大学，教授
	李 忠	华东理工大学，教授
	李钟华	中国农药工业协会，研究员
	林荣华	农业农村部农药检定所，研究员
	刘绍仁	农业农村部农药检定所，研究员
	欧晓明	湖南化工研究院，研究员
	钱旭红	华东师范大学，中国工程院院士
	任天瑞	上海师范大学，教授
	单炜力	农业农村部农药检定所，研究员
	邵旭升	华东理工大学，教授
	宋宝安	贵州大学，中国工程院院士
	魏启文	全国农业技术推广服务中心，研究员
	吴 剑	贵州大学，教授
	杨 松	贵州大学，教授
	叶贵标	农业农村部农药检定所，研究员
	郑永权	中国农业科学院植物保护研究所，研究员
	周国庆	化学工业出版社，编审
	周普国	农业农村部农药检定所，研究员
	周伟斌	化学工业出版社，编审

本书编著者名单

何雄奎 曾爱军 刘亚佳 宋坚利

序

农药作为不可或缺的农业生产资料和重要的化工产品组成部分，对于我国农业和大化工实现可持续的健康发展具有举足轻重的意义，在我国农业向现代化迈进的进程中，农药的作用不可替代。

我国的农药工业 60 多年来飞速地发展，我国现已成为世界农药使用与制造大国，农药创新能力大幅提高。近年来，特别是近十五年来，通过实施国家自然科学基金、公益性行业科研专项、“973”计划和国家科技支撑计划等数百个项目，我国新农药研究与创制取得了丰硕的成果，农药工业获得了长足的发展。“十二五”期间，针对我国农业生产过程中重大病虫害防治需要，先后创制出四氯虫酰胺、氯氟醚菊酯、噻唑锌、毒氟磷等 15 个具有自主知识产权的农药（小分子）品种，并已实现工业化生产。5 年累计销售收入 9.1 亿元，累计推广使用面积 7800 万亩。目前，我国农药科技创新平台已初具规模，农药创制体系形成并稳步发展，我国已经成为世界上第五个具有新农药创制能力的国家。

为加快我国农药行业创新，发展更高效、更环保和更安全的农药，保障粮食安全，进一步促进农药行业和学科之间的交叉融合与协调发展，提升行业原始创新能力，树立绿色农药在保障粮食丰产和作物健康发展中的权威性，加强正能量科普宣传，彰显农药对国民经济发展的贡献和作用，推动农药可持续发展，通过系统总结中国农药工业 60 多年来新农药研究、创制与应用的新技术、新成果、新方向和新思路，更好解读国务院通过的《农药管理条例（修订草案）》；围绕在全国全面推进实施农药使用量零增长行动方案，加快绿色农药创制，推进绿色防控、科学用药和统防统治，开发出贯彻国家意志和政策导向的农药科学应用技术，不断增加绿色安全农药的生产比例，推动行业的良性发展，真正让公众对农药施用放心，受化学工业出版社的委托，我们组织目前国内农药、植保领域的一线专家学者，编写了本套《中国农药研究与应用全书》（以下简称《全书》）。

《全书》分为八个分册，在强调历史性、阶段性、引领性、创新性，特别是在反映农药研究影响、水平与贡献的前提下，全面系统地介绍了近年来我国农药研究与应用领域，包括新农药创制、农药产业、农药加工、农药残留与分析、农药生态环境风险评估、农药科学使用、农药使用装备与施用、农药管理以及国际贸易等领域所取得的成果与方法，充分反映了当前国际、国内新农药创制与农药使用技术的最新进展。《全书》通过成功案例分析和经验总结，结合国际研究前沿分析对比，详细分析国家“十三五”农药领域的研究趋势和对策，针对解决重大病虫害问题和行业绿色发展需要，对中国农药替代技术和品种深入思考，提出合理化建议。

《全书》以独特的论述体系、编排方式和新颖丰富的内容，进一步开阔教师、学生和产业领域研究人员的视野，提高研究人员理性思考的水平和创新能力，助其高效率地设计与开发出具有自主知识产权的高活性、低残留、对环境友好的新农药品种，创新性地开展绿色、清洁、可持续发展的农药生产工艺，有利于高效率地发挥现有品种的特长，尽量避免和延缓抗性和交互抗性的产生，提高现有农药的应用效率，这将为我国新农药的创制与科学使用农药提供重要的参考价值。

《全书》在顺利入选“十三五”国家重点出版物出版规划项目的同时，获得了国家出版基金项目的重点资助。另外，《全书》还得到了中国工程院绿色农药发展战略咨询项目（2018-XY-32）及国家重点研发计划项目（2018YFD0200100）的支持，这些是对本书系的最大肯定与鼓励。

《全书》的编写得到了农业农村部农药检定所、全国农业技术推广服务中心、中国农药工业协会、中国农业科学院植物保护研究所、贵州大学、华东理工大学、华东师范大学、中国农业大学、上海师范大学、湖南化工研究院等单位的鼎力支持，这里表示衷心的感谢。

宋宝安，钱旭红
2019年2月

前言

近十多年来,随着我国经济的高速发展、农药减量计划的实施,我国现代植保机械与高效施药技术发展迅速。2015年,我国植保机械社会保有量突破1.3亿台,其中手动背负式喷雾器(3WS-16型)保有量达到1.5亿台,背负式机动弥雾喷粉机(3W-18型)400万台,大型喷杆喷雾机(药箱250L以上,包括自走式高地隙)100万台,电动手持(与背负)喷雾器80万台,小型植保无人机(药箱容积5~20L)12000多架。全国拥有各类植保机械生产企业350余家,主要生产六大类50余种产品;植保机械总销售额达150亿元,其中出口达35亿元,出口创汇超5亿元以上的生产厂家10余家。同年,全国各种农作物病虫草鼠害防治面积突破70亿亩次(1亩=666.7m²,全书同),其中机械化防治面积达38%,挽回粮食作物损失1亿万吨,挽回棉花损失250万吨,挽回油料作物损失300万吨。果树病虫草害防治面积突破60亿亩次,应用风送喷雾技术、自动对靶喷雾技术与循环喷雾技术,防治面积达到52.36亿亩次,挽回果业损失1600万吨。2016年,我国各地蔬菜病虫草害防治面积达到6.2亿亩次,应用低容量与超低量喷雾技术、常温烟雾技术、电动喷雾技术与静电喷雾技术,防治面积达到10.5亿亩次,挽回损失6800万吨。

尽管我们在植保机械与施药技术研发应用中取得了惊人的成绩,但目前我国农药施药机械与施药技术水平还落后于发达国家,农药利用率不足40%,农药残留超标等报道经常见诸电视与报端,这与我国高速发展的经济与广大民众日益增长的对美好生活的需求不相适应。在我国目前农业仍以小农户分散经营为主的国情下实现大面积、全面积地应用高效植保机械与施药技术施药,继而达到农作物高产高效、环境友好、农产品质量优质、施药人员人身安全,的确是前所未有的挑战。

针对我国植保机械与施药技术这一现状,在国家相关部委的支持下,尤其是我国自2015年开始实施农药减量计划以来,我们开展了大量的农药高效减量施药装备与技术的研究与应用示范工作。2000年至今,在山东、河北、新疆、北京等地进行了大量的“果园自动对靶高效施药技术”的示范;2006年以来,在江苏、宁夏、湖南、湖北、江西、东北等地进行了“水稻自走式风送低量喷杆喷雾机均匀施药”技术验证;2008年至今,在河北、北京、山东、新疆、云南等地实施了“循环喷雾技术与机具示范”;2010年至今,又在华东地区、河北与河南、湖南与湖北、江西与广西,以及东北等地开展了“植保无人机低空低量航空施药技术”示范与推广应用,取得了非常良好的成效。

本书较为系统地总结了“十五”至今中国药械与施药技术研究领域的主要研究工作与应用推广工作,既详述分析了当前植保机械与施药技术的基础理论,也从农药减量的角度论述

了高效施药技术与机具的研究热点、发展趋势与应用现实问题，探讨了解决的途径，并在我国几乎所有省区市进行了大量的试验示范与推广。

在本书的编写过程中，全国农业技术服务推广中心王凤乐、郭永旺给予了大力帮助，本实验室研究生蔡超、陈舒舒、迟明梅、雷晓辉、刘巧、李烜、李永娜、李丽、马晟、马宁、齐鹏、陶蕾、姚渠、周继中、王双双、于聪伟等为本书的编写做出了贡献，在此特致真诚的感谢！由于时间紧迫，不足之处在所难免，敬请各位专家、同行批评指正，望广大读者阅后，提出宝贵意见。

最后感谢国家出版基金委员会、科技部、农业农村部、国家自然科学基金委员会、国家外国专家局与北京市的科研项目及专项的资助；感谢本研究团队和所有合作研究者的辛勤劳动及同行的帮助。

何雄奎
2019年3月

目录

第 1 章 绪论	001
1.1 引言	001
1.2 植保机械与施药技术的功用与特点	002
1.2.1 植保机械的功用与特点	002
1.2.2 施药技术的特点	003
1.3 中国植保机械与施药技术的发展现状及问题	003
1.4 我国常用的典型植保机械的发展历程	005
1.4.1 压缩式喷雾器	005
1.4.2 背负式手动喷雾器	006
1.4.3 背负式机动喷雾喷粉机	006
1.4.4 担架式喷雾机	006
1.4.5 喷杆喷雾机	007
1.4.6 果园喷雾机	007
1.4.7 低空低量航空施药机具及植保无人机	008
1.4.8 其他机型	009
1.5 施药技术	009
1.5.1 超低容量手动喷雾技术	010
1.5.2 节约水量的高效喷雾技术——小喷片施药技术	010
1.5.3 手动吹雾技术	010
1.5.4 静电喷雾技术	010
1.6 前景展望	010
1.7 国外植保机械与施药技术的发展趋势	011
1.8 思路对策	013
1.8.1 加强植保机械生产、流通和使用上的管理	013
1.8.2 加强植保机械的引进和研制开发，尽快实现植保机械的更新换代	013
1.8.3 加强施药技术和方法的研究与推广	014
1.8.4 广泛开展施药技术培训和植保机械使用指导	014
参考文献	015
第 2 章 植保机械的主要类型及特点	016
2.1 手动植保机械	017
2.1.1 手动喷雾器	017

2.1.2 手动喷粉器	021
2.2 机动植保机械	023
2.2.1 背负式喷雾喷粉机	023
2.2.2 担架式喷雾机	026
2.2.3 喷杆式喷雾机	029
2.2.4 果园喷雾机	032
参考文献	032

第 3 章 植保机械的主要工作部件 034

3.1 液泵	034
3.1.1 柱塞泵	034
3.1.2 活塞泵	035
3.1.3 隔膜泵	035
3.1.4 滚子泵	036
3.1.5 泵的保养	036
3.2 风机	037
3.2.1 离心风机	038
3.2.2 轴流风机	038
3.3 喷头	038
3.3.1 液力喷头	038
3.3.2 气力喷头	040
3.3.3 离心喷头	040
3.3.4 喷粉喷头	041
3.4 搅拌装置	041
3.5 喷头的选用	042
3.5.1 大田农作物带状/行上喷雾喷头的选用	042
3.5.2 空间灌木作物农药喷雾喷头的选用	044
3.5.3 防飘喷头的选用	044
3.6 控制装置	046
参考文献	047

第 4 章 农药雾滴雾化与喷雾方法 049

4.1 农药雾滴雾化	049
4.1.1 液力雾化	050
4.1.2 离心雾化	051
4.1.3 气力雾化	052
4.2 喷雾方法	052
4.2.1 大容量喷雾	052
4.2.2 低容量喷雾	053

4.2.3 超低容量喷雾	053
4.3 雾化的基本原理	054
4.4 喷头的特性曲线和参数	054
4.5 喷头喷雾的横向分布	055
4.5.1 单个喷头喷雾的横向分布	055
4.5.2 多个喷头排列喷雾的横向分布	056
4.5.3 大面积植保作业时横向分布沉积的误差	056
参考文献	058

第 5 章 农药雾滴的沉积与飘失 059

5.1 雾滴的运行	059
5.1.1 雾滴运行的分析	059
5.1.2 雾滴运行速度	060
5.1.3 雾滴的飘失	061
5.2 雾滴在作物冠层中的穿透特性	065
5.2.1 雾滴速度对穿透性的影响	065
5.2.2 雾滴运行方向对穿透性的影响	065
5.2.3 喷杆高度对穿透性的影响	065
5.2.4 喷雾机行驶速度对穿透性的影响	066
5.2.5 作物密度对穿透性的影响	066
5.2.6 雾滴大小对穿透性的影响	067
5.2.7 喷头喷射方向对雾滴沉降的影响	068
5.3 农药雾滴在喷雾靶标上的沉积	069
5.4 农药的施用剂量与喷施部位	073
5.5 农药雾滴沉积飘移特性研究	075
5.5.1 现状	075
5.5.2 农药飘移	076
5.5.3 国内外的防飘移技术研究进展	078
5.6 农药沉积特性的影响因素	079
5.7 农药药效的影响因素	080
5.7.1 农药的物理化学特性、施药次数与时效	080
5.7.2 环境因素	081
5.7.3 施药技术	082
5.8 标准扇形雾喷头与防飘喷头的雾滴粒径	083
5.8.1 雾滴测量方法	083
5.8.2 测量仪器及材料	084
5.8.3 雾滴粒径大小及雾滴粒径分布(R_{SF})	084
5.8.4 雾滴谱图结果	085
5.9 标准扇形雾喷头与防飘喷头的雾化特性	088

5.9.1	研究方法	088
5.9.2	仪器与材料	089
5.9.3	雾化过程	089
5.9.4	雾化特征与沉积模型	090
5.10	标准扇形雾喷头与防飘喷头的沉积特性	098
5.10.1	研究方法	098
5.10.2	仪器及材料	099
5.10.3	沉积过程	099
5.10.4	沉积特征	100
5.11	不同施药技术对草甘膦的药效与防效	101
5.11.1	材料与方法	101
5.11.2	草甘膦的药效与防效	104
	参考文献	111

第 6 章 喷杆喷雾机 114

6.1	喷杆喷雾机的分类	114
6.2	喷杆喷雾机的结构和工作原理	115
6.3	常用喷杆喷雾机的类型	118
6.3.1	悬挂式喷杆喷雾机	119
6.3.2	风幕式喷杆喷雾机	119
6.3.3	高地隙自走式喷杆喷雾机	120
6.3.4	吊杆喷雾机	121
6.4	喷杆喷雾机的使用	121
6.4.1	机具准备	121
6.4.2	喷雾作业	121
6.5	自走式精准变量喷杆喷雾机的研究应用	123
6.5.1	国内外精准变量施药技术发展概况	123
6.5.2	自走式喷杆喷雾机设计	124
6.5.3	自走式喷杆喷雾机精准变量系统设计与研究	130
6.5.4	自走式喷杆喷雾机精准变量性能分析	137
6.5.5	自走式精准变量喷杆喷雾机田间作业性能测试	140
	参考文献	144

第 7 章 果园喷雾机 146

7.1	概述	146
7.2	果园风送喷雾机结构	146
7.3	果园风送喷雾机的主要类型	150
7.4	果园风送喷雾机风量的选择与计算	154
7.4.1	置换原则	154

7.4.2 末速度原则	154
7.5 果园风送喷雾机的应用	155
7.5.1 果园风送喷雾机标定	155
7.5.2 施药后技术规范	158
参考文献	158

第 8 章 设施农业施药设备与施药技术 161

8.1 设施农业施药技术的要求及限制	161
8.2 保护地常用施药技术及施药设备	162
8.2.1 喷雾技术	162
8.2.2 喷粉技术	162
8.2.3 烟雾技术	162
8.2.4 土壤处理技术	162
8.3 典型保护地施药设备及使用	163
8.3.1 常温烟雾机	165
8.3.2 热烟雾机	166
8.4 常温烟雾机在日常温室中的应用研究	168
8.4.1 常温烟雾机的发展	168
8.4.2 常温烟雾雾滴沉积特点的相关研究	169
8.4.3 温室流场的 CFD 模拟	169
8.4.4 温室流场测试	170
8.4.5 常温烟雾机温室雾滴沉积试验研究	170
参考文献	173

第 9 章 航空施药装备与施药技术 175

9.1 航空施药飞机的类型与性能	175
9.1.1 有人驾驶农林喷雾飞机	176
9.1.2 无人驾驶农林喷雾飞机	179
9.2 施药设备	182
9.2.1 有人驾驶飞机施药设备	182
9.2.2 无人驾驶飞机施药系统	187
9.3 影响飞机施药质量的因素	189
9.3.1 航空喷雾中飞机翼尖的涡流	189
9.3.2 气象因素的影响	190
9.3.3 作业参数的影响	190
9.4 航空施药的导航	193
9.5 基于 CFD 的多旋翼植保无人机喷雾及流场模拟	193
9.5.1 我国农用植保无人机喷雾效果研究与发展	193
9.5.2 六旋翼植保无人机的空气流场模拟	194

9.5.3 六旋翼植保无人机喷雾的数值模拟	198
9.5.4 六旋翼植保无人机喷雾作业的数值模拟	205
9.5.5 结论	215
9.6 多旋翼植保无人机农药雾滴沉积飘失特性研究	217
9.6.1 多旋翼植保无人机农药雾滴沉积飘失特性研究内容	217
9.6.2 水稻田间生产条件	217
9.6.3 水稻冠层雾滴沉积分布、穿透性	217
9.6.4 水稻田雾滴沉积飘失	219
9.6.5 水稻农药残留	220
9.6.6 结果分析	221
参考文献	226

第10章 自动对靶喷雾技术 229

10.1 概述	229
10.2 靶标探测技术	229
10.2.1 基于地理信息的靶标探测技术	229
10.2.2 基于红外光电的靶标探测技术	230
10.2.3 基于超声波传感器的靶标探测技术	232
10.2.4 基于机器视觉的靶标探测技术	233
10.2.5 基于 LIDAR 的靶标探测技术	235
10.3 红外自动对靶喷雾机	236
10.4 基于视觉技术的自动对靶变量喷雾技术	239
10.4.1 基本组成	239
10.4.2 基本原理	240
10.4.3 图像处理模块	240
10.4.4 对靶变量精准度验证	241
参考文献	242

第11章 精准变量施药技术 244

11.1 概述	244
11.1.1 精准施药技术的定义	244
11.1.2 精准施药的意义	245
11.2 精准施药技术的原理	246
11.2.1 注入式变量施药系统	246
11.2.2 压力式变量施药技术	248
11.2.3 速度调节变量施药技术	248
11.2.4 基于 PWM 变量施药技术	248
11.2.5 变量喷头	249
11.2.6 基于地理信息系统的变量施药系统	250

11.2.7 基于实时传感器技术的变量施药系统	250
11.3 变量控制系统	253
11.3.1 信息采集处理系统	253
11.3.2 自动控制系统	255
11.4 精准施药技术实施原则	256
11.4.1 操作实用性原则	256
11.4.2 渐进阶段性原则	257
11.4.3 整体协调性原则	257
11.5 果园风送喷雾机变风量技术	258
11.5.1 风量调节控制方式	258
11.5.2 果园风送变量喷雾系统	260
参考文献	261

第12章 循环喷雾技术 264

12.1 概述	264
12.2 循环喷雾技术的原理	264
12.3 循环喷雾技术的特点	264
12.4 循环喷雾机的类型	265
12.5 循环喷雾机的组成	266
12.5.1 雾滴拦截装置	267
12.5.2 药液回收装置	269
12.5.3 风送辅助喷雾系统	270
12.6 “Π”型循环喷雾机防飘性能研究	272
12.6.1 测试方法	272
12.6.2 布点方式	273
12.6.3 飘失量测定	273
12.6.4 “Π”型循环喷雾机与果园风送喷雾机药液飘失情况比较	274
参考文献	275

第13章 防飘喷雾技术 277

13.1 概述	277
13.1.1 农药的飘失	277
13.1.2 减少农药飘失的途径	278
13.2 防飘喷头	279
13.2.1 雾化原理	279
13.2.2 分类	279
13.3 辅助气流喷雾技术	280
13.3.1 风送式喷雾机的结构组成	281
13.3.2 辅助气流喷雾技术的特点	282