

高效喷雾 技术研究及应用

G A O X I A O P E N W U
J I S H U Y A N J I U J I Y I N G Y O N G

吴春笃 张 波 王军锋
储金宁 陈志刚 著

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS

高效喷雾 技术研究及应用

G A O X I A O P E N W U
J I S H U Y A N J I U J I Y I N G Y O N G

吴春笃 张 波 王军锋
储金宁 陈志刚 著

 江苏大学出版社
JIANGSU UNIVERSITY PRESS
镇 江

图书在版编目(CIP)数据

高效喷雾技术研究及应用 / 吴春笃等著. —镇江:
江苏大学出版社, 2016. 9
ISBN 978-7-81130-852-5

I. ①高… II. ①吴… III. ①喷雾(农药) — 研究
IV. ①S48

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 113688 号

高效喷雾技术研究及应用

著 者/吴春笃 张 波 王军锋 储金宁 陈志刚

责任编辑/徐 婷

出版发行/江苏大学出版社

地 址/江苏省镇江市梦溪园巷 30 号(邮编: 212003)

电 话/0511-84446464(传真)

网 址/<http://press.ujs.edu.cn>

排 版/镇江文苑制版印刷有限责任公司

刷/虎彩印艺股份有限公司

经 销/江苏省新华书店

开 本/718 mm × 1 000 mm 1/16

印 张/17.75

字 数/284 千字

版 次/2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷

书 号/ISBN 978-7-81130-852-5

定 价/52.00 元

如有印装质量问题请与本社营销部联系(电话:0511-84440882)

前 言

我国农业施药作业方式比较落后,喷雾施药机械存在跑、冒、滴、漏的现象,而且农药浪费较严重,过量的农药喷洒会污染环境、影响农产品品质和作业人员安全健康,亟需变革传统喷雾施药技术和模式,创制新型喷雾施药技术和装备,适应新时代下产出高效、产品安全、资源节约、环境友好现代农业发展要求。

近年来,气候变化引起了全球的广泛关注,特别是夏季高温问题日益严重,高温酷暑增加了人体的不适感,影响正常的工作生活和人体健康,亟需开发一种节能、高效、环保的大空间局域环境降温系统,对于改善作业人员的工作环境、保护人群健康具有重要意义。

本书紧扣高效低污染喷雾施药和大空间局域环境降温的共性问题,以及不同用途情况下的个性问题,在关键技术及其理论研究的基础上,开发高效喷雾技术,并研制相应的喷雾装备,分别应用于农业病虫害防治、环境调节和卫生防疫,以达到农药施用的高效安全性与高温环境调节的高效节能性。

本书总结作者几十年相关领域研究成果,基于病虫害防治过程中的农药—喷施装置—靶标三者关系,从药液的混合、雾化、运输和附着的农药喷洒全过程入手,建立了较系统的高效低污染施药技术理论体系,包括农药在线自动混合理论和技术、低量喷头设计理论及方法、静电喷雾与荷电两相流理论、自动对靶喷雾技术、植株茎部施药技术,为高效低污染施药技术的发展提供了坚实的学术支撑;研制的高效低污染施药技术模式及装备,包括静电喷洒灭蝗车、杨树病虫害防治喷雾车、果园自动对靶喷雾机、自走式棉田多技术融合喷雾车等,解决制约病虫草害高效、低污染、安全防治的技术难题,提升了我国农用药械产品的技术水平,为我国资源节约型、环境友好型的可持续农业的建设提供必要的技术支撑和装备保障,技术装备在我国农业病虫害防治及西部蝗灾治理工作中发挥了重要作用。另外从高效低污染

喷雾施药技术研究和装备研制过程中,将相关的高效喷雾技术应用于环境质量调节和卫生防疫之中,针对建筑工地、公共场所、工厂企业环境的高温 and 易于传播疾病等问题,开发了细水雾降温调湿和环境消毒的关键技术及其相应装备,有效改善了环境质量,确保了作业者与大型活动参与者的卫生健康和安全,所开发的技术和研制的装备已在三峡工程、北京奥运会场馆和我国防治“非典”期间成功应用,并被上海世博会工程所采用。

本书在著作过程中,得到了中国农业大学何雄奎教授,中国农业机械研究院杨学军研究员,农业部南京农机化研究所傅锡敏研究员、薛新宇研究员,苏州农业药械有限公司的汪建高级工程师,江苏大学农工院邱白晶教授,江苏同盛环保技术有限公司赵黎东总经理等的热情帮助和支持。同时感谢所指导的研究生李旭、孙宏祥、袁湘月、杨超珍、李羊林、周金木、屠欣丞等所做的工作。

由于作者水平有限,不当之处在所难免,敬请读者指正。

著者

2016 年 5 月

目 录

第1章 绪 论 / 1

- 1.1 引言 / 1
- 1.2 农业生产中施药的安全性问题 / 2
- 1.3 高温环境下施工和劳动保护问题 / 7
- 1.4 主要研究目标 / 9
- 1.5 研究的关键技术、技术路线及研究内容 / 10

第2章 农药在线自动混合理论和技术 / 13

- 2.1 双级射流混药装置的理论研究 / 13
- 2.2 单级射流混合装置实验研究 / 26
- 2.3 双级射流混药性能实验研究 / 36
- 2.4 在线自旋叶片式管道助混器 / 41

第3章 低量喷头设计理论及方法 / 43

- 3.1 圆锥雾喷头的设计 / 43
- 3.2 扇形雾喷头的设计 / 50
- 3.3 低量喷头 CAD / 73
- 3.4 低量喷头制造 / 88

第4章 静电喷雾与荷电两相流理论 / 90

- 4.1 静电辅助雾化过程及雾化特性 / 90
- 4.2 雾滴充电及充电电场 / 101
- 4.3 雾滴荷电特性的试验研究 / 106
- 4.4 荷电雾滴电荷衰减特性 / 116
- 4.5 输送过程的动力学模型 / 117

- 4.6 荷电雾滴的沉积特性 / 125
- 4.7 荷电雾滴沉积特性的试验研究 / 126
- 4.8 荷电气液两相湍流模型方程 / 130
- 4.9 静电喷雾电源及电极研制 / 134

第5章 自动对靶喷雾技术 / 137

- 5.1 目标检测技术及其特点 / 137
- 5.2 红外探测 / 138
- 5.3 对靶喷雾精度分析 / 142
- 5.4 红外光电探测系统的软硬件设计 / 149
- 5.5 对靶喷雾目标探测技术实验 / 167

第6章 植株茎部施药技术研究 / 176

- 6.1 茎部施药技术的系统分析 / 176
- 6.2 植株体内农药输运、积累和衰减的理论基础 / 180
- 6.3 茎部施药试验研究 / 184
- 6.4 植株茎部施药技术的特点 / 189

第7章 大空间局域环境中两相流动与传热过程模拟研究 / 190

- 7.1 细水雾环境调节两相流动与传热研究概况 / 190
- 7.2 大空间局域环境流动与传热模型的建立 / 191
- 7.3 数值模拟 / 193
- 7.4 分析与讨论 / 197
- 7.5 人体舒适度预报 / 199

第8章 静电喷洒灭蝗车研制 / 203

- 8.1 技术需求分析 / 203
- 8.2 结构和技术参数 / 204
- 8.3 性能测试 / 206
- 8.4 现场试验 / 211

8.5 总结 / 225

第9章 杨树病虫害防治喷雾车开发 / 226

9.1 技术需求分析 / 226

9.2 结构和技术参数 / 226

9.3 性能测试 / 228

9.4 田间试验 / 230

9.5 总结 / 232

第10章 果园自动对靶喷雾机开发 / 233

10.1 技术需求分析 / 233

10.2 结构和技术参数 / 234

10.3 性能测试 / 235

10.4 田间试验 / 236

10.5 总结 / 243

第11章 自走式棉田多技术融合喷雾车开发 / 244

11.1 技术需求分析 / 244

11.2 结构和技术参数 / 245

11.3 性能测试 / 246

11.4 田间试验 / 247

11.5 总结 / 247

第12章 高效静电喷洒消毒机开发 / 248

12.1 技术需求分析 / 248

12.2 结构和技术参数 / 249

12.3 性能测试 / 251

12.4 现场试验 / 256

12.5 总结 / 260

第 13 章 细水雾环境调节装备开发 / 261

13.1 技术需求分析 / 261

13.2 结构和技术参数 / 262

13.3 性能测试 / 264

13.4 总结 / 265

第 14 章 技术总结及推广 / 266

14.1 基于多技术融合的低污染优化施药技术 / 266

14.2 技术装备推广及其应用效益 / 269

参考文献 / 272

绪 论

1.1 引言

众所周知,病虫害防治是农业生产高产、稳产的主要保障手段之一。长期以来,乃至在今后的很长时间内,农药喷洒仍将是最有效、最经济、应用最广的植物病虫害防治方法。然而,粗放型的农药施用方式、药械质量的低劣和必要的施药科学知识的缺乏,导致了大量的农药浪费和严重的环境污染,甚至引发生产作业人员农药中毒事件。相关研究表明,从施药器械喷洒出的农药只有 20%~30% 能沉积在作物叶片上,不足 1% 的药剂沉积在靶标害虫上,不足 0.03% 的药剂真正起到杀虫作用,绝大部分药液流失到地面或飘移于大气中,从而影响环境质量和食品安全。另有数据表明,全世界每年因使用化学农药中毒的人数超过 3 400 万,其中我国每年中毒人数超过 10 万(源自:“绿壤”开启绿色农药新空间.《中国企业报》,2008-06-26),而每年因农药引起的食物中毒发病率居化学性中毒之首(源自:农药残留检测用植物酯酶的筛选.《西北植物学报》,2008 年第 1 期)。据不完全统计,在生产性农药中毒的原因中,个人防护不良占 38%,喷药方法不当占 26%,配药方法不当占 12%，“人选不当”占 9%，喷雾器漏损占 8%，其他原因占 7%（源自：铜山县 1984—1999 年农药中毒情况的分析.《中华劳动卫生职业病杂志》，2001 年第 4 期）。可见,开发高效低污染施药技术与装备对农业安全生产的作用十分关键。

另外,高温中暑是一种不可忽视的常见职业病。职业性中暑是指在高温作业环境下,由于热平衡和(或)水盐代谢紊乱而引起的以中枢神经系统和(或)心血管障碍为主要表现的急性疾病(源自:该死的职业病.《医药经济

报》,2007-12-10)。近年来,全国各地职业性中暑事件时有报道,高温中暑导致死亡的事件也屡见不鲜。据报道,东莞市120急救呼救中心在2007年5—7三个月共接到118宗中暑急救求助,其中多数发生在建筑工地和工厂企业,共涉及106人,期间因中暑导致死亡或间接导致死亡的有3人(源自:“高温灾害”频发呼唤高温立法.《中华合作时报》,2008-08-01)。至此,由于“高温灾害”频发,国内高温作业立法的呼声日渐高涨。基于以上背景,我们在高效喷雾技术研究的基础上,研究了大空间局域环境细水雾降温调湿技术,并针对不同的用途开发了用于建筑施工现场(三峡工程等)、大型公共场所和群众集会场馆(北京奥运会、上海世博会等)及工矿企业降温调湿的细水雾环境调节装备,以改善局部高温作业及活动场所的环境温、湿度,降低中暑事件的发生概率,保障作业及活动参与人员的身体健康,并实现节能环保。

1.2 农业生产中施药的安全性问题

农药使用过程中,环境常会被农药所污染,由此给人类的安全、生态的平衡带来威胁。施药技术研究的主要目的之一就是寻找一种实用的高效低污染的施药技术,尽可能降低农药对环境的污染和对作业人员的危害。

1.2.1 农药进入环境的途径

施药过程中以及施药后,农药进入环境的途径很多,但主要可归纳为两条:一条是施药时直接进入环境;另一条是经植株循环后进入环境。前者是造成污染的主要原因,是与施药方法和器械密切相关的,是人为可控的;后者则取决于植物和环境系统以及农药的特性,是使用者所不能控制的。安全使用农药的目的就是减少可控的污染,避免其对人体及生态系统的危害。

(1) 农药进入水和土壤

- ① 配置和搅拌药液时,将农药倒入或溅入水土中。
- ② 喷洒农药时,失靶的农药和目标物上流失的农药进入水土中。
- ③ 水面洒布颗粒剂和土壤施药直接使农药进入水土中。
- ④ 悬浮于空气中的农药颗粒和气体通过雨水或气体扩散进入水土中。

(2) 农药进入大气

① 在配置和搅拌药液时,农药不断挥发而以气体的形式进入大气中。

② 喷洒过程中,一方面,细小的微粒或雾滴被地面的漩涡或其他上升气体带入空气中;另一方面,雾滴在降落过程中随风漂移并伴随着蒸发和挥发,大雾滴变成小雾滴和气体,从而被带入空中。这是农药进入大气的主要途径之一。

③ 农药喷洒以后,植株表面的农药通过蒸发和挥发进入大气。

农药进入大气、水和土壤中后,将以一定的形式转移到其他地区,从而造成更大范围的环境污染。农药在环境中的迁移主要有三条途径:水的传带、大气传带和生物传带。

水的传带是指残留于水和土壤中的农药直接或被淋洗、冲刷而流入小沟、池塘、河流以至海洋。

大气传带是农药传播的最主要方式。农药以各种方式进入大气中,随大气的运动被带至各地,沉降或被雨雪带到地面。有些农药在沉降后又由于挥发再进入大气中循环。在大气传带中,风是最显著的因素。在施药地区周围下风处,大气中农药的含量常接近施药区的浓度。这一特点在生产中应予以高度重视。

生物传带是指施用农药后,进入生物体的农药通过生物链在生物间转移,或通过携带农药的生物的迁移而被带到别处。

农药进入环境造成了环境污染,引起对人类和生物的危害,在此,仅分析其对人体的危害性。

使用农药对人体的危害可分为两类,一是施药过程中施药人员直接受危害,二是漂移、流失的农药通过转移而间接危害其他社会成员。安全使用农药包括两方面的内容:① 采取必要的措施,使施药人员免受农药的污染和危害;② 使施药引起的农药流失或漂移及蒸发最小,最大限度地减少对环境的污染。施药过程中,施药者中毒的原因除农药因素外,很大程度上取决于施药方法和器械。而农药进入操作者体内的途径主要有:① 皮肤途径;② 呼吸途径;③ 由口或伤口处进入。

施药对操作者的危害是直接的、直观的,而流失于环境中的农药通过循环、扩散造成大范围的污染,从而危及其他社会成员的现象也不容忽视。这

种危害常是慢性的、积累的,长期之后便可能导致人体某些器官的病变和技能的丧失,最终引起“三致”现象(致突变、致畸和致癌)。

以上分析了农药使用过程中,农药进入环境并进行循环转移的途径,以及对人体的危害过程。就目前的水平而言,常规的施药方法和器械都可能导致环境的污染和对人体的危害。而本书所研究的植株茎部施药方法和所使用的机具则可有效地避免这一问题。

1.2.2 常规施药的安全卫生问题

农药在大气中的浓度可分为高浓度、中度浓度和本底浓度。高浓度是喷洒当地当时的情况;中度浓度是在喷洒当地周围的情况(或施药区在施药后一定时间内的情况);本底浓度是在一般不施药的地区的情况。表 1.2.1 和表 1.2.2 所示分别为高浓度和中度浓度的情况。由表可知,常规施药造成的大气污染是相当严重的。

表 1.2.1 在大气中高浓度的农药 ppm

杀虫药剂	处理/地点	在大气中浓度	
		范围	平均
对硫酸	配制及混合	0 ~ 5 530	
	装筒	0 ~ 2 430	530
	果园喷雾(加州)	40 ~ 290	130
	果园喷雾(佛罗里达州)	360	360
	果园喷雾	2 000 ~ 15 000	
谷硫酸	果园喷雾	50 ~ 2 550	670
	果园装筒	260 ~ 6 200	2 770
马拉硫酸	苹果园,菜田	410 ~ 760	590
	蚊子防治	70 ~ 90	
西维因	苹果园	180 ~ 810	600
异狄氏剂	菜田,飞机喷洒	20 ~ 90	50
六六六	森林,地面喷洒	2 600 ~ 12 500	
	森林,飞机喷洒	540 ~ 4 100	
	食堂(气体挥发)	40 ~ 780	

续表

杀虫药剂	处理/地点	在大气中浓度	
		范围	平均
DDT	森林,地面喷洒	2 600 ~ 4 600	
	森林,飞机喷洒	1 900 ~ 171 000	
氯丹	公寓、食堂等	800 ~ 920	440
二农	更衣室	260 ~ 10 200	2 680
甲氧 DDT	厨房、室内,牛羊喷洒	500 ~ 4 500	7 680
内吸磷	温室	4 220 ~ 19 600	9 150

此外,长期使用农药,流失的农药积累于水土之中的浓度可高达数个 ppm。尽管有机磷农药在水和土壤中的残留期较短,不足以引起持久性的污染,但在施药当时或稍后一段时间内,流失的农药进入土壤和水中,对生物和人均可造成巨大的危害。

表 1.2.2 在大气中中度浓度的农药

杀虫药剂	处理状况	浓度/($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)
谷硫酸,西维因	离施药地点 300 ~ 600 m	500 000
对硫酸,马拉硫酸	离施药地点 300 ~ 600 m	500 000
DDT	离施药地点 300 ~ 600 m	0.1 ~ 0.2
氯丹	离施药地点 300 ~ 600 m	0.1 ~ 6
毒杀芬	离施药地点 300 ~ 600 m	1.2 ~ 15
艾氏剂	离施药地点 300 ~ 600 m	0.1 ~ 4
DDT	施药附近一农田	0.3 ~ 8 500
氯丹	施药附近一农田	1 ~ 31
马拉硫酸	施药前	0.2
	施药期	8 ~ 22
	施药后	0.2 ~ 2.3
DDT 烟雾	施药期	100 ~ 8 000
	施药后	2 ~ 11
马拉硫酸	施药期	1 ~ 30
	施药后	<0.1 ~ 1

续表

杀虫药剂	处理状况	浓度/($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)
DDT	三周连续施药	230 ~ 300
马拉硫酸	三周连续施药	6 ~ 25
DDT + 马拉硫酸	三周连续施药	3 ~ 430

总之,常规的施药方法使得农药大量进入环境,会给人类及各种生物带来巨大的危害。

表 1.2.3 是美国加利福尼亚州卫生部 1973 年收到的与农药有关的职业病的报告。由表中数据可知,在 15 种专业操作中,地面施药工、混药工(装药工)、田间工作者以及苗圃(温室)工作者得职业病的人数最多,这是常规施药所不可避免的。

表 1.2.3 从事农药相关职业人员职业病患者人数

职业	系统	皮肤	眼/皮肤	眼	合计
地面施药工	187	103	13	121	424
混药工	121	19	3	22	165
田间工作者	45	94	0	18	157
苗圃(温室)工作者	18	71	1	22	112
熏蒸工作者	52	13	1	5	71
园丁	14	16	2	34	66
配置工厂工作者	41	15	2	5	63
堆栈、装卡车工作者	33	8	1	9	51
消防者	41	0	0	1	42
杂酚油使用者	1	24	2	9	51
飘移工作者	10	5	0	11	26
房屋的害虫防治工作者	11	5	0	8	24
清洗工和修理工	10	6	1	5	22
砌石工	16	3	0	1	20
飞机喷洒工作者	10	0	1	3	14
其他工作者	55	70	6	50	181
合计	665	452	33	324	1 474

1.3 高温环境下施工和劳动保护问题

高温作业是指工作地点有生产性热源,其温度等于或高于本地区夏季室外通风设计计算温度(北京地区为 30°C ,上海地区为 32°C) 2°C 或 2°C 以上的作业(含夏季通风室外计算温度 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 地区的露天作业,不含矿山井下作业)。长期在高温环境下作业,会对工人的健康产生很多不利影响,诱发中暑等疾病。

高温环境会导致混凝土的水泥水合速率与湿度蒸发速率增加,使水泥混凝土的施工产生多方面的问题,严重影响混凝土的施工质量。

1.3.1 高温环境对人体的影响

(1) 体温调节障碍

在高温环境中,人体出汗量不仅受环境温度的影响,而且受劳动强度、环境湿度、环境风速等因素的影响。高温环境中人体只能通过汗蒸发来散热,如果此时湿度也较高,则散热困难,人体产生闷热;若此时伴有高气流(有风),则利于散热。高温加上强烈的太阳辐射,很容易发生中暑,主要表现为头晕、头痛、眼花、耳鸣、心悸、恶心、四肢无力、注意力不集中,重者可出现皮肤干燥无汗、体温升高、痉挛等。

(2) 水盐代谢紊乱

在常温下,正常人每天进水 $2\sim 2.5\text{ L}$ 。在炎热季节,正常人每天出汗 1 L ;而在高温下从事体力劳动,工人的排汗量会大大增加,每天平均出汗 $3\sim 8\text{ L}$ 。由于汗的主要成分是水,同时含有一定量的无机盐和维生素,所以大量出汗不仅会对人体的水盐代谢产生明显影响,还会对微量元素和维生素平衡产生一定影响。当丧失的水分达到体重的 $5\%\sim 8\%$,且未能及时得到补充时,就可能出现无力、口渴、尿少、脉搏增快、体温升高、水盐平衡失调等症状,工作效率降低。

(3) 循环系统负荷增加

在高温条件下,由于人体大量出汗,血液浓缩,同时高温使血管扩张,末梢血液循环增加,加上劳动的需要,肌肉血液量也增加。这些因素都可使工

人心跳过速,而脉搏血液输出量减少,加重心脏负担,血压也有所改变。

(4) 消化系统疾病多发

工人在高温条件下劳动时,可能出现消化液(唾液、胃液、胰液、胆汁等)分泌减少,使胃肠消化过程所必需的游离盐酸、蛋白酶、酯酶、淀粉酶、胆汁酸的分泌量减少,胃肠消化机能相应减退。同时,大量排汗以及氧化物的损失,使血液中形成胃酸所必需的氯离子储备减少,也会导致胃液酸度降低,这样就会出现食欲减退、消化不良以及其他胃肠疾病。

(5) 神经系统兴奋度降低

在高温和热辐射作用下,人体大脑皮层调节中枢的兴奋度增加,由于负诱导,中枢神经系统运动功能受抑制,因而肌肉的工作能力,动作的准确性、协调性,反应速度及注意力均降低,容易发生工伤事故。

(6) 肾脏负担加重

高温可加重肾脏负担,还可降低机体对化学物质毒性作用的耐受度,使毒物对机体的毒性更加明显。高温也可以使机体的免疫力降低,抑制抗体的形成,使人的抗病能力下降。

1.3.2 高温环境对施工质量的影响

(1) 操作时间短

由于混凝土温度升高,凝结较快,施工操作时间变短。这不仅增加了摊铺、压实及成形的难度,而且容易因捣固不良,使得混凝土中存在过多的空气气泡。

(2) 可用性降低

在高温下拌和混凝土,如果采用与平时相同的水量,则坍落度必定降低。因此,若为保证混凝土的施工质量,不增加单位用水量,则必定造成混凝土水泥的可用性降低。

(3) 强度降低

较高的含水量、较高的混凝土温度,将导致混凝土后续强度增长受到抑制。若为保证可用性,水灰比增加,则将导致混凝土初凝及凝固过程中混凝土强度降低。