

# 水稻喷雾技术与水稻株型冠层关系研究综述

姬广梅<sup>1,2</sup> 朱德峰<sup>1\*</sup> 张义凯<sup>1</sup> 陈惠哲<sup>1</sup> 张玉屏<sup>1</sup> 向镜<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国水稻研究所, 杭州 310006; <sup>2</sup> 贵州水稻研究所, 贵阳 550009; \* 通讯作者: cnrice@qq.com)

**摘要:**低容量喷雾、航空喷雾、静电喷雾及精准喷雾等多种喷雾技术的融合和变革,是现代农业发展中水稻喷雾技术发展的必然趋势,而靶标特点、作物株型、作物生长时期是影响喷雾技术发展的关键问题。株型及冠层结构参数(叶面积指数、叶倾角、株高等)是影响水稻冠层雾滴行为的关键因素。因此,结合喷雾技术和株型及冠层结构参数研究雾滴传输及沉积是深入研究水稻冠层雾滴行为的出发点及重要方向。

**关键词:**水稻;喷雾技术;株型;冠层结构

**中图分类号:**S511.05 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-8082(2018)04-0027-04

喷雾就是人工造雾,简单的说就是用高压系统将液体以极细微的水粒喷射出来,这些微小的人造雾颗粒能长时间漂移、悬浮在空气中,从而形成白色的雾状,极像自然雾的效果,故曰喷雾。随着现代科技的发展,大到人工降雨改变小气候,小到皮肤保养,喷雾在人们生活的方方面面起着重要作用并被广泛应用。近年来,我国大部分地区病虫害发生较重,重大病虫害暴发强度大,次要病虫害上升为害加重,在可预见的将来,化学防治仍是防控病虫害最有效的措施<sup>[1-6]</sup>。我国农药生产技术处于国际先进水平,但农药有效利用率却很低<sup>[7]</sup>。许多地方至今仍沿用20世纪50年代的大容量淋雨式喷雾法,由于施药技术落后,致使农药喷洒不到位或不均匀,不能充分发挥药剂的作用,造成了大量农药的浪费和水土资源的污染<sup>[8-9]</sup>。因此,如何以最少的化学农药施用量,获得最佳的病虫害防治效果,最大程度保护农田生态环境,显得尤为迫切。

传统农药使用技术和使用配比均是采用“一刀切”的原则,很少从靶标植物角度考虑改进喷雾技术。作物农药施用有效利用率除与喷施机械、施药方法、药液组成有关外,与作物品种及株叶形态也密切相关。水稻是我国重要的粮食作物,稻谷产量占粮食总产量的近40%,我国有60%人口以稻米为主粮,因此,水稻对我国的口粮安全十分重要<sup>[10]</sup>。病虫害等生物灾害是影响我国水稻稳产、高产的重要因素之一,全国每年因水稻病虫害危害造成的产量损失大约400万t<sup>[11]</sup>。我国水稻种植区域广阔、品种类型多样、种植方式多种,不同稻区、季节类型和品种类型的株高、叶形、株型,及冠层叶片分布存在较大差异。不同生育时期病虫害在植株的发生部位不同,有主要发生在水稻冠层上部,如稻瘟病、

稻纵卷叶螟等;也有主要发生在植株下部,如螟虫、纹枯病等。因此,结合水稻冠层株叶形态,研究农药喷雾的雾滴行为是现代农业喷雾技术研究的一大热点。

## 1 主要的水稻喷雾技术及其存在问题

### 1.1 水稻喷雾技术

喷雾在人们生活生产中应用广泛,作用巨大,而针对不同用途的喷雾方法也不一。在农业方面,要达到理想的喷雾效果,采用合适的喷雾方法十分必要。近年来,航空超低量喷雾技术在大面积农场和森林地带防治面积越来越大;静电低量喷雾技术在果园防治病虫害中得到推广和应用。因此,多种喷雾技术的融合和变革,是现代农业发展中喷雾技术研究的必然趋势。

#### 1.1.1 低容量喷雾

低容量喷雾雾滴小,重量轻,多为飘移性沉降;且小雾滴吸附能力强,不发生弹跳溅落,可以避免药液的滚落和流失,药液的分散度也高<sup>[2]</sup>。低容量喷雾技术因省工、省药,提高病虫害防治效果等优点,在国内应用与推广起步较早,防治面积广泛。更新换代的机动弥雾机和改装手动喷雾器是国内农户最普遍使用的低容量喷雾器械<sup>[3-6]</sup>。

#### 1.1.2 航空喷雾

航空喷雾是在运载平台(飞行器)上挂接喷雾装备

收稿日期:2018-01-21

**基金项目:**国家自然科学基金(31471416);贵州省农业领域科技重点项目(黔科合成转字[2015]5021号);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项基金资助项目(2014RG004-3)

进行的空中作业,是一种高效、先进的施药技术,能及时防治大面积暴发性有害生物灾害,在丘陵山区、平原、水田和旱田等地区的农业病虫害防治,以及灭蝗、林木害虫防治等作业中发挥着不可替代的作用<sup>[12]</sup>。现代航空喷雾技术经历了由常规容量向低容量和超低容量的转变,主要特点有喷雾量大、药量少、雾滴小、不受地形影响、作业速度快和成本低等。充分利用航空喷雾技术防治病虫害,省药、均匀度好、成本低、防治效果好,能有效减少农药对人畜的侵害,降低污染,保护环境<sup>[9]</sup>。因此,航空喷雾近些年在农业生产中被广泛的推广和应用,而关于如何控制航空喷雾雾滴飘移也是现代喷雾技术研究的一大热点问题<sup>[13-15]</sup>。

### 1.1.3 静电喷雾

静电喷雾是利用静电高压使农药雾滴带电,并在喷头和目标间形成静电场,具有雾化均匀、飘失减少、粘附牢固、提高农药使用效果、减轻环境污染等优点,不仅提高了靶标命中率、减少农药施用量,而且降低了雾滴的大小、提高雾滴的覆盖率,能更有效地沉积在叶片的表面和背部,现已成为国内喷雾技术发展的一大趋势<sup>[16-18]</sup>。

### 1.1.4 精准喷雾

精准施药技术的核心是获取农田小区域内病虫害的差异性,采取高效喷雾技术和变量施药技术,按需施药<sup>[19-20]</sup>。它主要由信息获取系统、喷雾系统和控制系统三部分组成。信息获取方式有基于实时传感器的方式和基于地理信息技术的信息获取方式两种;喷雾技术是精准施药技术的关键环节,有低容量喷雾技术、静电喷雾技术、仿形喷雾技术等多种喷雾技术;控制系统主要作用是精确、实时管理采集过程和执行过程,是精准施药技术的核心环节<sup>[21]</sup>。精准喷雾使施药作业的智能、可控、精准施药量、准确对靶等技术要求成为可能,解决了化学防治推广应用中的“瓶颈问题”,提高了施药技术水平,在实现抗灾、减损、增效、减少环境污染等目标中发挥重要作用<sup>[22-23]</sup>。

## 1.2 存在的问题

### 1.2.1 靶标特点

不同靶标植物生物学特性不同(株型、株高、叶表面等),形成的冠层也不一样,现有的喷雾技术及喷雾器械没有考虑靶标植物的特殊性,一套喷雾技术施用所有靶标植物,喷雾效果层次不齐,降低了喷雾有效率。

### 1.2.2 作物株型

随着现在育种研究的不断创新,同一作物不同品种间株型差异很大。水稻具有上垂直下披散、上披散下垂直、紧凑型、披散型等多种株型类型。随着理想株型的提出,水稻株型越来越趋于矮秆,上3叶垂直坚挺,下面叶片较为披散。对于不同类型水稻,籼稻品种一般株高较高,叶片宽大,除上3叶较挺直外,多数叶片披散,单株各分蘖较紧凑,通透性差;粳稻及籼粳稻品种株高较低,叶片狭长挺直,单株各分蘖松散,通透性好。然而,从作物株型角度,研究作物冠层雾滴传输与沉积的机理机制鲜有报道。

### 1.2.3 作物生长时期

作物不同生长时期外形特征差别巨大。以水稻为例,水稻移栽后经历分蘖期、拔节期、抽穗期、扬花期、齐穗期等多个生长时期,株高不断增高,分蘖数增加,特别是籼稻品种叶片从分蘖期直挺到逐渐披散,叶表面特性也不断变化,蜡质层增加。这就要求生产上喷雾时,应考虑作物生长时期,调整喷雾参数。然而,现代喷雾技术对此研究较少。

## 2 水稻株型与水稻喷雾的关系

作物株型是指作物的几何形态特征与空间分布状态及其与群体光能利用直接相关的生理生态机能性状,株型的具体指标一般包括叶型、茎型、穗型和根型等,其中叶型、茎型和穗型是影响冠层结构的主要因素,也是影响水稻喷雾效果的重要因素<sup>[24]</sup>。水稻叶型包括叶形和叶表面特性两部分。近年来,有关水稻叶表面特性对沉积效果的影响研究较多,取得了较好的成果。宋坚利等<sup>[25]</sup>针对农药雾滴难以在水稻叶片上沉积滞留的问题,以叶片显微结构为基础研究了药液在水稻叶片的主要沉积部位。朱金文等<sup>[26]</sup>从病虫害的防治效果方面入手研究了叶片倾角、雾滴大小与施药液量在水稻植株沉积的影响。徐广春等<sup>[27]</sup>研究水稻叶片的表面特性和有机硅助剂 silwet-408 溶液的单个雾滴在 30°、45°和 60°3 个倾角水稻叶片正、反面的行为,认为水稻叶面为低能叶面,只有 silwet-408 溶液的表面张力小于稻叶的临界表面张力且溶液中的 silwet-408 浓度达到临界胶束浓度才能使雾滴很好的粘附在不同倾角的稻叶上并润湿展布。已有研究表明,叶表面特性对冠层雾滴沉积与分布有重大的影响。但是,水稻不同类型不同时期甚至不同种植区域之间株型差异很大,全面考虑叶型、茎型和穗型等对水稻喷雾影响的研究鲜见,制约了水稻病虫害防治的农药高效喷雾技术研究和发

### 3 水稻冠层结构与水稻喷雾的关系

水稻冠层是水稻与外界环境发生相互作用的主要场所,水稻的许多生化物理过程,包括光合、呼吸、蒸腾和降水截获等都发生在冠层。冠层结构参数是反映水稻生长状况及冠层形态变化的重要指标。作物冠层结构参数涉及叶面积指数、冠层叶倾角、株高等多方面性状。

#### 3.1 叶面积指数

叶片是作物进行光合作用的器官,其形状、大小和数量及其空间散布性状直接关系到群体中光环境的优劣和光能利用率的高低。Watson 确立的叶面积指数(LAI)是描述群体受光结构的最基础参数,“叶面积的差异能最强烈的影响到生长量”。叶面积指数模式是作物生长模拟的子模式<sup>[28]</sup>。LAI 随生育期而改变。在营养生长期,水稻的 LAI 逐渐增大,约在孕穗期至抽穗期达最高值。在生殖生长后期,随着叶片成熟、衰老, LAI 逐渐减小。茂密封闭的冠层结构,叶面积系数大,农药雾滴与叶片表面接触的机会较多,农药流失的几率降低,农药有效利用率高;但如果植物的冠层结构稀疏开放,叶面积系数小,药液就容易发生流失<sup>[29]</sup>。水稻田间喷雾时,应充分考虑叶面积指数差异确定喷施的农药剂量。

#### 3.2 叶倾角

在生态学研究称植物元素的倾角分布和它们的面积指数为群丛的几何结构参数。叶子向上半面某一点上的法线方向与 Z 轴(Z 轴垂直于水平面指向天空)的夹角,称为叶子在该点的叶倾角<sup>[30]</sup>。叶倾角是表征作物冠层几何结构的参数。作物群体的受光面积与群体叶倾角有直接关系,而群体最适叶面积指数在很大程度上也受叶倾角的影响。叶片倾角对药液沉积的影响主要是不同的叶片倾角与雾滴的撞击概率不同。叶片倾角小,雾滴与叶片的撞击概率低。水稻的叶片倾角小,甚至接近于直立,且水稻的叶片不易被润湿,药液雾滴容易从叶片表面上滚落,大雾滴沉积效果更差<sup>[31]</sup>。

#### 3.3 株高

株高是作物株型育种中的重要问题,株高因作物不同而异,随着生产条件的改善,对株高的要求也不同。如果植株过矮,前期生长速度慢,叶片容易密积重叠,立体空间分布低,空间利用率就低,叶面积指数也不容易提高。因此,稻麦品种适当增加株高,对于降低叶片密集程度,保持中、下层叶片受光和后期谷粒充实都是有益的。植株较高不仅可降低叶面积密度,有利于

CO<sub>2</sub> 扩散,而且有利于提高最适叶面积指数和群体光合效率。然而,秆高与耐肥抗倒性存在密切的关系,秆过高不仅不利于抗倒伏,而且不利于下部叶片受光,也不利于增加单位面积穗数。

冠层结构对药液在植株上的沉积有很重要的影响。徐德进等<sup>[32-33]</sup>研究了喷雾器械、施液量及喷雾方式对农药雾滴在水稻群体内沉积分布的影响,方法是通过农药雾滴采集装置和水敏纸收集农药雾滴。从以往的研究可知,水稻冠层结构差异对药液沉积有重要影响,进而影响喷雾效果,结合水稻冠层结构研究雾滴在冠层的传输与沉积是当代水稻喷雾技术研究的重要方向。

### 4 小结

国内外对喷雾器械、喷雾方式、雾滴本身特性和外部环境等因素对雾滴沉积的影响做了大量工作,喷雾技术、喷头特性、喷雾方式、雾滴大小、雾滴速度、接触角、表面张力、药液粘度等对雾滴沉积影响很大。针对靶标植物特性对雾滴沉积影响的研究,主要是植物表面结构的显微分析。

农药使用的目标是害虫、病菌、杂草或作物,这些生物靶标在农药喷撒中并不是被动的接收者,而是具有主动选择捕获性的生命体。小麦、水稻叶片在农药喷雾中有“叶尖优势现象”,飞翔中的粘虫对细雾滴捕获能力是大雾滴的 23~40 倍,同样的药液在有些植物上的接触角明显大,而有些植物上的接触角就小。目前,我国农药使用技术中没有考虑生物靶标的“特殊性”,不论植株高低,不论病虫害种类,一种空心圆锥雾喷头包打天下;同一表面特性的药液,既用于叶片润湿性较好的棉花,又用于叶片很难湿润的水稻,造成药液流失严重,违背了“生物最佳粒径原理”和“靶标适应性原则”<sup>[34]</sup>。

因此,结合水稻冠层株叶形态,研究农药喷雾的雾滴行为,分析水稻冠层对农药喷雾的截留以及雾滴在冠层的沉积,对提高农药的有效利用率、降低农药在非靶标环境中的投放量、提高农产品的质量具有重要意义;同时为喷雾技术参数的优化,以不同水稻层面为重点雾滴沉积层的喷雾器设计提供理论依据。

#### 参考文献

- [1] 章建森. 我国农药平均用量比世界高 2.5 至 5 倍[J]. 农药市场信息, 2011(7): 7.
- [2] 孙炳林,李世华. 低容量喷雾技术的理论依据及其在植保上的应



- 用[J]. 安徽农学通报, 1997, 3(3): 34-36.
- [3] 傅泽田, 祁力钧. 国内外农药使用状况及解决农药超量使用问题的途径[J]. 农业工程学报, 1998, 14(2): 7-12.
- [4] 邓敏, 邢子辉, 李卫. 我国施药技术和施药机械的现状 & 问题[J]. 农机化研究, 2014(5): 235-238.
- [5] 马伟伟, 张晓辉. 论我国施药技术发展现状与趋势[C] // 山东农业机械学会, 山东农业工程学会学术研讨会论文集, 2012: 41-47.
- [6] 戴奋奋. 简论我国施药技术发展趋势[J]. 植物保护, 2004(4): 5-8.
- [7] 洪晓燕, 张天栋. 影响农药利用率的相关因素分析及改进措施[J]. 中国森林病虫, 2010, 29(5): 41-43.
- [8] 顾中言. 影响杀虫剂药效的因素与科学使用杀虫剂的原理和方法 II. 植物类型与杀虫剂药滞留量 [J]. 江苏农业科学, 2005(4): 46-50.
- [9] Huang Y, Hoffmann W C. Development of a spray system for an unmanned aerial vehicle platform [J]. *Appl Eng Agric*, 2009, 25(6): 803-809.
- [10] 陈惠哲, 朱德峰, 杨仕华 等. 我国南方稻区水稻产量差异及增产潜力[J]. 中国稻米, 2004, 10(4): 9-10.
- [11] 黄秀兰, 李建丰, 张华, 等. 水稻主要病虫害危害损失和专业化防治效果初步研究[J]. 广东农业科学, 2011(20): 68-70.
- [12] 钱万红, 王忠灿, 吴光华. 消毒杀虫灭鼠技术[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008.
- [13] 龚艳, 傅锡敏. 现代农业中的航空施药技术 [J]. 农业装备技术, 2008, 34(6): 26-29.
- [14] 薛新宇, 梁建, 傅锡敏. 我国航空植保技术的发展前景[J]. 中国农机化, 2008(5): 72-74.
- [15] 张东彦, 兰玉彬, 陈立平, 等. 中国农业航空施药技术研究进展与展望[J]. 农业机械学报, 2014, 45(10): 53-59.
- [16] 燕明德, 贾卫东, 张斌, 等. 国内外静电喷雾施药技术及机具研究 [L]. 农业机械, 2008(24): 53-54.
- [17] 张丽丽. 静电喷雾的理论分析与应用研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2011.
- [18] 郑加强, 徐幼林. 静电喷雾防治病虫害综述和展望[J]. 世界林业研究, 1994(3): 31-35.
- [19] 汪懋华. “精确农业”发展与工程技术创新[J]. 农业工程学报, 1999, 15(1): 1-8.
- [20] Blackmore S. Precision farming: an introduction [J]. *Outlook Agric*, 1994, 23(4): 275-280.
- [21] 傅泽田, 祁力钧, 王俊红. 精准施药技术研究进展与对策[J]. 农业机械学报, 2007, 38(1): 189-192.
- [22] 翟长远, 朱瑞祥, 张佐经, 等. 精准施药技术现状分析[J]. 农机化研究, 2010(5): 9-12.
- [23] 杨学军, 严荷荣, 徐赛章, 等. 植保机械的研究现状及发展趋势 [J]. 农业机械学报, 2002, 33(6): 129-131.
- [24] 陈友订. 水稻株型育种[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005.
- [25] 宋坚利, 王波, 曾爱军, 等. 雾滴在水稻叶片上的沉积部位分析与显微试验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(4): 54-58.
- [26] 朱金文, 吴慧明, 孙立峰, 等. 叶片倾角、雾滴大小与施药液量对毒死蜱在水稻植株沉积的影响 [J]. 植物保护学报, 2004, 31(3): 259-263.
- [27] 徐广春, 顾中言, 徐德进, 等. 稻叶表面特性及雾滴在倾角稻叶上的沉积行为[J]. 中国农业科学, 2014, 47(21): 4 280-4 290.
- [28] 刘凤丽. 控制灌溉对水稻冠层结构和干物质增长影响研究 [D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [29] Maczuga S A, Mierzejewski K J. Droplet size and density effects of bacillus thuringiensis kurstaki on gypsy moth [J]. *J Econ Entomol*, 1995, 88(5): 1 376-1 379.
- [30] 田永超, 朱艳, 曹卫星. 水稻不同叶位层物理结构与冠层反射光谱的定量研究[J]. 中国水稻科学, 2005 19(2): 137-141.
- [31] Hewitt A J, Meganasa T. Droplet distribution densities of a pyrethroid insecticide within grass and maize canopies for the control of *Spodoptera exempta* larvae[J]. *Crop Prot*, 1993, 12(1): 59-62.
- [32] 徐德进, 顾中言, 徐广春, 等. 喷雾方式对农药雾滴在水稻群体内沉积分布的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(1): 69-79.
- [33] 徐德进, 顾中言, 徐广春, 等. 喷雾器及施液量对水稻冠层农药雾滴沉积特性的影响 [J]. 中国农业科学, 2013, 46 (20): 4 284 - 4 292.
- [34] 钱玉琴. 国内外农业施药技术研究进展 [J]. 福建农机, 2006(3): 26-29.

## Review on the Relationship between Rice Spray Technology and Rice Type

Ji Guangmei<sup>1,2</sup>, ZHU Defeng<sup>1\*</sup>, ZHANG Yikai<sup>1</sup>, CHEN Huizhe<sup>1</sup>, ZHANG Yuping<sup>1</sup>, XIANG Jing<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China; <sup>2</sup> Guizhou Rice Research Institute, Guiyang 550009, China; \*Corresponding author: cnrice@qq.com)

**Abstract:** Low volume spray, air spray, electrostatic spray and precise spray are main rice spray technology. However, the mix and change of spray technology is the necessity of developing modern agriculture spray technology research trend. Among them, the target characteristics, plant type of crops and crop growth period become the key problems affecting the development of spray technology. Plant type and canopy structure parameters (leaf area index, leaf angle, plant) are key factors affecting the conduct of rice canopy droplets. Therefore, combines the technique of spray droplets transfer with plant type and canopy structure parameters to research transport and deposition is the starting point and important direction of further study of rice canopy droplets behavior.

**Key words:** rice; spray technology; plant type; canopy structure