

农药有效利用率与喷雾技术优化

袁会珠, 杨代斌, 闫晓静, 张琳娜

(中国农业科学院植物保护研究所, 农业部作物有害生物综合治理综合性重点实验室, 北京 100193)

摘要 提高农药的有效利用率是植保工作者非常关心的问题。本文阐述了农药有效利用率的广义和狭义涵义,并分析了农药使用中存在的药剂浪费、有效利用率低的问题。根据喷雾技术中的“剂量传递”过程,分析了农药有效利用率的狭义涵义,在春季果园和作物苗期,常规喷雾法的农药有效利用率只有 20%~30%;在夏秋季果园和作物中后期,随着作物叶面积系数(LAI)的增加,农药的有效利用率可达到 50%~60%。论文分析了造成农药有效利用率低的原因,提出喷雾技术的优化措施:(1)大田喷雾时采用机动喷杆喷雾替代背负式手动常规喷雾,可以改善雾滴沉积分布的均匀性;(2)添加喷雾助剂可以提高药液在靶标表面的润湿性;(3)优化雾滴粒径,采用细雾滴替代粗雾滴可以提高雾滴的中靶率;(4)降低施药液量可以减少药液流失;(5)加装挡板可以减少雾滴飘失等。通过以上技术的优化,可以大幅度提高农药的有效利用率,达到减量增效的目的。

关键词 农药使用; 剂量传递; 有效利用率; 喷雾技术优化

中图分类号: S 481 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2011.05.002

Pesticide efficiency and the way to optimize the spray application

Yuan Huizhu, Yang Daibin, Yan Xiaojing, Zhang Linna

(Key Laboratory of Integrated Pest Management in Crops, Ministry of Agriculture, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100193, China)

Abstract How to improve the efficiencies of pesticides is most concerned in plant protection. The efficiency of pesticide in broad and narrow sense was defined in this paper. According to dose delivery process in foliar spray, for conventional spray, pesticide efficiencies were approximately 20%—30% in spring orchards and fields where seedlings grow, while the pesticide efficiencies amounted to 50%—60% in summer orchards and fields when the crops were at full-leaf stage. The authors figured out the reasons that led to low pesticide efficiencies. It was demonstrated that spray boom can better the uniformity of droplet deposition and lower the run-off of pesticide solutions comparing the manual spray, and spiking spray adjuvants can improve the wetability of droplets on targeted crop surface, and spraying small droplets can benefit the deposits of pesticides on targeted crop surface and reduce the drift of droplets. Consequently, those optimized spray techniques can significantly improve the pesticide efficiencies and efficacies while reduce the pesticide dosage at the same time.

Key words pesticide application; dose delivery; pesticide efficiency; optimization of spray application

病虫害害与农作物生产相生相伴,给农业生产带来了极大危害,化学农药的使用则是防治病虫害的重要方法,每年为农作物生产挽回 30% 的损失,诺贝尔奖获得者、著名小麦育种学家 Norman E Borlaug 评价到“没有化学农药,人类将面临饥饿的危险”^[1-2]。目前,有机农业在农业生产中的地位被夸大^[3-4],转基因抗病虫草作物的出现,也不可能完

全替代化学农药的使用^[4-5]。日本植物保护协会 1990—2006 年的研究表明,停止农药的使用,将损失果品 66%~90%,蔬菜 36%~100%,粮食 24%~36%^[3]。可预见的历史时期内,农药的使用仍将是防治病虫害最有效的手段之一^[1-5]。

随着现代绿色农药生物合理分子设计理论和新型作用靶标的发现,农药分子的生物活性迅速提高,

一些高效安全的农药得到应用,例如鱼尼丁受体杀虫剂氯虫苯甲酰胺。室内毒力测定结果表明,氯虫苯甲酰胺在用药量为 $0.5 \mu\text{g/g}$ 时可以杀死 100% 的甜菜夜蛾^[6],假设每 667 m^2 蔬菜田发生 2 000 头甜菜夜蛾,每头甜菜夜蛾幼虫体重 2 g,则每 667 m^2 只需要 2 mg 的氯虫苯甲酰胺有效成分就可以控制整块农田甜菜夜蛾的危害。而实际情况却是,田间用药量需要在 2 g 的条件下才能够有效控制害虫,喷洒到田间的氯虫苯甲酰胺实际上只有千分之一真正发挥了杀虫作用。以上计算显示,农药使用过程中的有效利用率非常之低,使用的农药绝大部分都不能有效地击中病虫害等有害生物,而是进入环境和农产品中。因此,不少农药学人士发出“喷洒农药是世界上效率最低的劳动”的感叹^[7-9]。

1 农药的有效利用率

1.1 农药有效利用率的广义涵义

从广义上讲,农药有效利用率就是真正发挥病虫害防治作用的药剂占所使用农药总量的比值,见公式(1)。

$$\text{农药有效利用率(广义)} = \frac{\text{真正发挥病虫害防治作用的药剂剂量}}{\text{使用的农药总量}} \times 100\% \quad (1)$$

农药的使用过程实际上就是药剂的分散传递过程,针对农作物不同病虫害种类和发生特点,农药使用的分散途径可分为以下几类^[9]:(1)农药在空气中分散,然后沉积到靶标上,这包括固态农药在空气中的分散(喷粉法)、液态农药在空气中的分散(喷雾法)以及气溶胶形态农药在空气中的分散(熏烟法、烟雾法、粉尘法)等;(2)农药有效成分以分子形态在空气中自行扩散(熏蒸法);(3)农药直接包衣种子(包衣法);(4)农药直接注入植物内部(树干注射);(5)农药直接施入土壤(土壤消毒);(6)农药在灌溉水中分散,而后浇灌土壤(化学灌溉法)等。

在上述农药使用途径中,包衣法、树干注射法的药剂与生物体直接接触,农药有效利用率要高于其他用药途径。因此,从提高农药有效利用率的角度出发,我国应进一步加大种子包衣和树干注射技术的研究开发。

1.2 农药有效利用率的狭义涵义

农药使用的目标是病虫害等有害生物,但在现有的技术水平条件下,人们很难把被防治害虫或病原菌作为农药喷雾的靶标,一般把作物株冠层视为农药雾滴沉积的靶标。因此,本文重点讨论在农药喷雾技术条件下的农药有效利用率,称之为狭义涵义的农药有效利用率。

在一块农田中,喷洒后沉积在作物上的农药量相对于施药总量之比值,称为“农药有效利用率”(国际上也称为“沉积回收率”),这是衡量农药使用水平高低的基本参数^[2]。

$$\text{农药有效利用率(沉积回收率)} = \frac{\text{沉积在作物上的农药量}}{\text{施药总量}} \times 100\% \quad (2)$$

为研究分析农药沉积回收率(有效利用率),首先需要了解农药喷雾技术中的“剂量传递”过程(见图 1)^[7-9]。农药药液在从药液箱向作物叶片表面沉积的过程中,喷雾机具性能、操作条件、气象条件、株冠层结构、叶片表面特性等都对其有影响;在这个过程中,会发生药液滴漏、雾滴飘移、雾滴弹跳、雾滴聚并流失等现象,农药损失严重,只有一部分的农药能够沉积到农作物叶片表面,更少的药剂才能沉积到目标害虫或进入植物体内,真正到达有害生物作用靶标的药剂微乎其微。Mectcalf 估算,从施药器械喷洒出去的农药只有 25%~50% 能沉积到作物叶片上,不足 1% 的药剂沉积到靶标害虫上,只有 0.03% 的药剂能真正发挥杀虫作用^[11]。

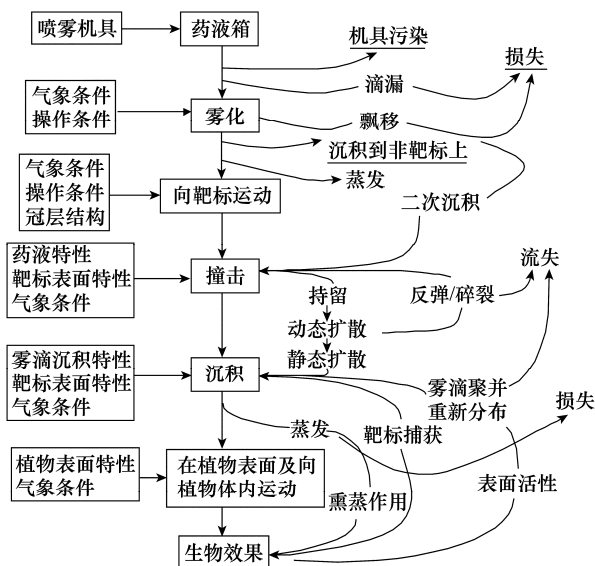


图 1 农药从药液箱向靶标生物的剂量传递过程示意图^[2,8-9]

2 农药有效利用率的问题

2.1 广义农药有效利用率存在的问题

我国每年的农药用量超过 130 万 t 制剂,但农药使用利用率很低,每年都有大量农药并没有真正发挥其防治病虫害的效果,而由于滥用、乱用浪费掉。以下原因是造成农药有效利用率低的重要原因。

2.1.1 农药使用技术单一

如前所述,农药使用过程中的分散途径多种多样,可以根据农作物病虫害的种类和危害特点研究设计多样的农药使用技术,例如采用种子包衣、水面漂浮、茎叶涂抹、树干包扎、温室大棚烟雾、化学灌溉等技术^[9]。我国农药使用技术相对比较单一,普遍采用常规大容量喷雾法,一定程度上影响了农药的有效利用率。

2.1.2 滥用、乱用农药

目前,由于我国农药使用者知识欠缺,滥用、乱用农药现象普遍。例如不能“对症下药”,虽然农户使用了农药,可没有任何防治效果的情况屡见不鲜,此种情况下,使用的农药并没有真正发挥效果,农药有效利用率趋于零。对于那些用错了农药导致作物药害的事故,使用的农药不但没有发挥效果,还造成了损失,此时的农药有效利用率就为负数了。

在我国农业生产中,不能正确掌握用药时机、或者不能正确选择农药的事例比比皆是,这些因素是导致我国农药有效利用率低的重要原因。

2.1.3 缺少计量器具

农药与化肥同为重要的生产资料,但是与化肥相比,农药的使用剂量很小。自从有机合成农药成为农药的基本来源以后,农药的有效成分使用剂量即降低到 10 g/667 m² 以下,需要在使用时认真计量。但由于普遍缺少计量器具,再因为不少用户出于担心,唯恐农药用量太少不能保证防治效果,因而往往随意加大用药量。不必要的加大用药量,是造成我国农药有效利用率低的又一重要原因^[2]。

2.1.4 不恰当的农药混配混用造成农药浪费

合理的混合和混配是农药使用方法之一。但是,盲目的混配制剂却会造成农药的浪费,因为很多农药混配制剂的必要性和实用性缺乏严谨的毒理学研究依据。例如氟虫腈是 γ -氨基丁酸受体(GA-

BA)诱导电流抑制剂(GABA 拮抗剂),而阿维菌素则是 GABA 受体氯离子通道激活剂(GABA 激动剂),两者虽然都作用于 GABA,但作用机理相反,此两种杀虫剂混配在一起,就会产生拮抗作用,影响农药的利用率。

因此,提高农药有效利用率,首先还是要做到农药科学知识的普及,做到科学合理用药。

2.2 狭义农药有效利用率存在的问题

喷雾法是目前国内外农药使用最重要的方法,关于喷雾过程中的农药有效利用率(沉积回收率)国内开展了大量的研究工作,发现我国在农药使用中普遍存在农药有效利用率低的问题。

2.2.1 农药流失严重、有效利用率低

农药在从药液箱向作用靶体传递的过程中,有效利用率很低。在温室内采用大容量喷雾方式(施药液量 2 300 L/hm²)喷洒氯菊酯乳油时,只有 20% 的药剂沉积在植物叶片上^[12];比利时的科学试验结果表明,采用风送喷雾机在梨园和苹果园喷洒杀菌剂,29%~39% 的药剂流失到土壤中,23%~45% 的药剂飘失到非靶体区域;在春季果园喷雾,只有 30% 左右的药剂沉积分布在苹果树的树叶上,秋季果树生长茂盛条件下喷雾,沉积分布树叶上的药剂可达到 60% 左右^[13]。黄瓜苗期喷雾,流失到地面的药剂剂量占到 61.3%^[14];在秋季果园树叶茂密的条件下采用担架式喷雾机喷雾,流失到地面的药液量为 35.2%^[15]。考虑到农作物不同生长期的叶面积系数的差异,一般认为在春季果园或者大田作物苗期,只有 20%~30% 左右的农药能沉积分布到作物冠层区域内,即此时的农药有效利用率只有 20%~30%;夏秋季果园或者大田作物中后期,树叶茂密或者作物封行后,叶面积系数显著增大,此时喷雾流失到地面的农药量显著减少,一般认为此时的农药有效利用率在 50%~60%。

2.2.2 农药沉积分布不均匀、有效利用率低

很多情况下的农田喷雾要求全田施药,理论上农药应该在全田达到一定的分布均匀性,即农药沉积覆盖的均匀性越高越好,但是实际上很难做到喷雾均匀。我国很多地区在喷洒农药时,多采用手动喷雾器“Z”字形摆动喷雾,实际上这种摆动喷雾的雾滴沉积分布的变异系数(CV)高达 48.6%^[19],农药沉积分布不均,影响了农药药效的发挥。

表 1 农药在作物株冠层的沉积回收率(有效利用率)

作物	生长时期/LAI	喷雾方法	地面流失率/%	飘失率 ¹⁾ /%	有效利用率 ²⁾ /%	参考文献
小麦	拔节期	常规喷雾	57	—	33	[16]
小麦	LAI=2.7	常规喷雾	27	—	63	[17]
	LAI=4.3	常规喷雾	12	—	78	[17]
苹果	开花前	果园风送喷雾机	39	23	38	[13]
苹果	开花后	果园风送喷雾机	29	23	48	[13]
黄瓜	苗期	常规手动喷雾法	61.3	—	34.1	[14]
桃树	开花后	常规大容量喷雾法	35.3	—	54.7	[15]
水稻	分蘖期	常规喷雾法	—	—	20.24	[18]
		机动弥雾法	—	—	46.45	[18]
	孕穗期	常规喷雾法	—	—	34.25	[18]
		机动弥雾法	—	—	56.91	[18]
茶园	幼龄茶园	常规喷雾法	31.41	—	58.59	[2]

1) 在有些试验中没有雾滴飘失率的数据,本文作者在计算时按照 10%估算。
2) 有效利用率(即药液沉积回收率)=100%—地面流失率—雾滴飘失率。

2.2.3 造成农药有效利用率低的原因

2.2.3.1 落后的农药使用手段

我国最常用的农药喷洒工具是工农—16 类型的背负式手动喷雾器(包括引进的国外同类型产品),在我国约占 90%,而在发达国家这种喷雾器早在 20 世纪 50 年代初即已基本淘汰。这种施药方法属于大水量粗雾喷洒,农田施药液量为 30~100 L/667 m²,很多地方在农药喷雾时甚至去掉喷头,药液流失现象尤为突出。这种严重情况是大水量粗雾喷洒器械本身技术性能方面的先天性缺陷所决定的。仅此一项,粗估农药总体损失量至少高达 50%以上,损失掉的农药均进入环境或与人体接触,在剂量达到一定程度时即可能引发相应的负面作用。

2.2.3.2 错误的施药方法

我国各地农村多年来一直在采用一些“土办法”喷施农药。这些办法似乎既省钱又方便,故颇受欢迎,并不胫而走,流传甚广。例如很多地区流行“喷雨法”、“水枪法”、“毒土法”等^[10],这些粗放的农药使用方法农药流失严重,浪费极大,有效利用率极低。农民为此浪费很多农药并引起人员中毒和环境风险。

2.2.3.3 缺少田间喷雾标准

农药田间喷雾是一项技术性要求很高的农事作业,就像在公路上开汽车,需要遵守一定的规则,要做到“红灯停、绿灯行”。可是我国普遍缺少田间喷雾技术标准,用户多是把购买的农药配制后随意在田间喷雾,多以把作物叶片喷到发生药液滴滴为止,造成大量农药流失。实际上,当农药雾滴在作物叶片上超过“流失点”后,即发生流失后,农药在叶片上

的最终稳定持留量只是“流失点”(POR)的 1/2 到 1/3^[20],而大量的研究结果表明,农药雾滴在作物叶片上只需要一定的沉积密度即可达到理想的防治效果^[21],并不需要采取淋洗式喷雾,把作物叶片“喷湿喷透”。

2.2.3.4 农药药液理化性质差

农药雾滴在作物叶片沉积持留的过程,是取代作物叶片表面的气/固界面变为液/固界面的过程,由于药液的表面张力使雾滴收缩,农药雾滴就不能很好地在作物叶片沉积分布。扫描电镜、接触角测定等方法观察到,植物表面具有的非光滑形态与表面润湿能力的强弱有极大的关系,凸包形非光滑单元体的植物表面憎水性强。农药雾滴与叶片表面撞击时,会发生弹跳(bouncing)现象。高速显微摄影显示,即使小雾滴在以 0.57 m/s 的低速度下撞击豌豆叶片时也会发生 2~6 次弹跳^[22]。添加表面活性剂,会减少液滴弹跳次数,增加沉积量。特别是对难润湿的植物叶片,就需要农药药液有较低的表面张力。农户购买的农药制剂,其用水稀释后药液的表面张力通常很大,例如 48%灭草松水剂的表面张力高达 69.8 mN/m^[23],这样的药液在植物叶片表面不能形成很好的沉积分布,容易发生雾滴“滚落”,导致农药流失。

3 喷雾技术的优化

为提高农药喷雾过程中的有效利用率,国内外开展了大量的研究工作,试验结果证实通过喷雾技术的优化可以显著提高农药在作物冠层的沉积分布,减少农药的流失。

3.1 喷杆喷雾替代手动摆动喷雾,提高农药的沉积分布均匀性

中国农业科学院植物保护研究所的大田试验结果表明,喷杆喷雾与手动摆动喷雾相比,可以把农药在田间的沉积分布变异系数降低到 27%,使农药在田间的分布均匀性得到极大改善^[24-26]。对于温室大棚蔬菜病虫草害防治,比利时科学家的研究结果表明:采用竖杆喷雾的方式,农药在番茄株冠层的沉积量显著大于传统喷枪的效果^[27-28],在采用喷杆喷雾技术时,要仔细研究选择合适的喷头型号和喷雾压力,要根据作物冠层特点确定喷雾角度,这样可以把农药雾滴在作物叶片背面的沉积分布量提高 3.0~4.9 倍^[29]。中国农业科学院在河南玉米田后期喷雾试验结果证实,在玉米后期株高 2 m 左右的条件下,采用竖杆喷雾的方式,可以使农药在玉米穗部有更高的沉积量。

3.2 添加喷雾助剂、提高农药有效利用率

研究表明,农药药液的表面张力、药液与靶标的接触角等因子与其在靶标上的沉积量和防治效果密切相关^[23,30-31]。用药液的表面张力与其在作物叶片上的接触角计算其黏附功。图 2 显示了药液的黏附功与其在作物靶标上沉积量的关系。说明通过调整药液的表面张力以及在叶片上的接触角,就可以使其在作物叶片上形成最佳沉积,提高农药有效利用率,减轻环境污染。

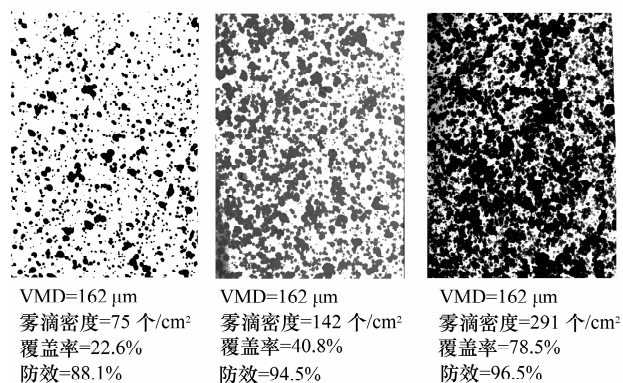


图 2 吡虫啉浓度为 600 mg/L 条件下,雾滴密度、覆盖度与防治麦蚜的关系^[34]

由于目前农药制剂中表面活性剂的添加只是从农药制剂符合理化性状检测要求的角度考虑,从农药沉积分布来看,相当数量农药制剂中表面活性剂的添加显得不足。一般来说,在药液配制时添加表

面活性剂是可以提高农药有效利用率的,但也要具体情况具体分析。

大量试验结果表明,根据作物叶片的特征选择合适的喷雾助剂可以显著提高药剂在作物叶片上的沉积量,例如在 20%三唑磷乳油的稀释药液中添加烷基醇酰胺(6501)可以把药剂在水稻叶片上的沉积量提高 8 倍^[30];在 25%氟磺胺草醚水剂 1 250 倍药液中添加 4%的 C₇₋₉ 烷醇聚氧乙烯醚(JFC),可以把防除反枝苋的效果从 72.6%提高 96.3%^[23];

3.3 优化雾滴粒径、提高农药雾滴的中靶率

大量试验研究表明,降低雾滴粒径,可以显著提高农药的剂量传递效率,这是因为细雾喷洒,农药雾滴在植物叶片可以有更好的沉积分布,农药雾滴粒径减小一半,同样体积的药液所形成的雾滴数目将增加到 8 倍;根据大量的试验结果,Matthews 总结出喷洒杀菌剂,适宜采用的雾滴粒径在 50~150 μm,而喷洒除草剂时,则适宜采用 250 μm 的雾滴粒径^[21]。用 48%毒死蜱乳油稀释液对水稻喷雾,当采用雾滴体积中径(VMD)149.5 μm 的细雾滴喷雾处理时,毒死蜱在叶片倾角 90°、60°、30°和 0°的水稻叶片上的沉积量分别是粗雾滴喷雾(VMD 为 233.7 μm)的 1.5、2.1、3.3 倍和 5.5 倍^[32];细雾滴在吊飞黏虫成虫上的沉积量是粗雾滴的 1.49 倍^[33]。

3.4 降低施药液量、提高农药有效利用率

人们习惯于大容量喷雾,原因之一是操作人员能够看到药液从作物叶片发生了流失。这是因为大容量喷雾,雾滴在作物叶片累计沉积聚并,导致流失发生。实际上,田间喷雾时可以降低施药液量,在作物叶片形成一定的雾滴沉积分布密度就可以有效地控制病虫害的危害。当采用 70%吡虫啉水分散粒剂防治小麦蚜虫时,雾滴在穗部达到 142 粒/cm² 就能达到非常好的防治效果^[34](图 2);用 40%氧乐果乳油防治小麦蚜虫时,穗部雾滴密度 132 粒/cm² 和 280 粒/cm² 的防治效果差异不显著^[35],以上试验结果说明降低施药液量在理论上是可行的。水稻田采用手动喷雾常规喷雾法,施药液量为 750 L/hm²,药液在水稻植株上的沉积回收率只有 20.24%(分蘖期)和 34.25%(孕穗期);但改用机动弥雾法施药,施药液量将为 450 L/hm²,药液在水稻植株上的沉积回收率则增加为 46.45%(分蘖期)和 56.91%(孕穗期)^[18,36]。美国学者 Giles 在温

室栽培的菊花上喷洒杀虫剂时,把施药液量从常规大容量2 300 L/hm²降低到低容量 46 L/hm²,农药有效利用率提高了 3 倍^[12]。采用 41%草甘膦水剂防治空心莲子草,施药液量超过 3 825 L/hm² 时,草甘膦药液的流失明显增多,当把施药液量降低到 339 L/hm² 时,与常规大容量喷雾相比,草甘膦药液在空心莲子草上的沉积量提高了 1.54 倍^[37]。大量研究结果表明,降低施药液量,将显著提高农药的有效利用率。

3.5 建立喷雾风速标准,加装挡板,减少农药雾滴飘失

风速影响着农药雾滴的运动扩散,过大的风速会造成雾滴飘移,不仅浪费农药,还造成环境污染,因此,需要根据风速状况来进行田间喷雾作业的决策^[2,9]。研究发现,一定的风速更有利于提高雾滴的沉积效率,因此建议在轻风条件下喷雾作业,1~4 m/s 的风速有利于雾滴在生物靶标上的沉积^[9]。当风速大于 4 m/s 时,要严格禁止喷雾作业。

表 2 不同风速条件对田间喷雾的影响			
名称	风速/m·s ⁻¹	可见征象	喷雾作业
无风	<0.5	静,烟直上	不适合
软风	0.5~1.0	烟能表示风向	不适合
轻风	1.1~2.0	人面感觉有风,树叶有微响	适合喷雾
微风	2.1~4.0	树叶和小枝摇动不息	不适合除草剂,适合杀菌剂和杀虫剂
和风	>4.0	能吹起地面灰尘和纸张,树枝摇动	禁止喷雾

采用细雾喷洒方法存在细小雾滴的飘失风险,克服雾滴飘失的方法多种多样,中国农业大学的研究表明,在大田喷杆喷雾机的喷杆上加装挡板,改变了喷头周围的流场,使气流的水平速度减小,减少了雾滴飘失的潜能并胁迫雾滴向靶标运动,药液在小麦冠层的沉积回收率增加了 20.3%^[38]。不仅降低了雾滴飘失的风险,农药有效利用率还提高了 20.3%。

4 结束语

随着对环境保护和农产品质量安全的重视,要求尽可能地降低农药投放量,但农药投放量的减少不是以牺牲防治效果为代价,而是建立在提高农药有效利用率的基础上^[1-5,40]。

农药作为现代农业生产的重要生产资料,其利

用效率非常令人关注。随着现代科技的发展,越来越多的绿色高效农药被用来防治农作物病虫草害,但由于我国农药科学使用知识普及不足以及农药使用技术落后,我国的农药有效利用率非常低,农药流失严重,不仅浪费了大量农药,影响了防治效果,还容易造成环境污染,不能满足我国政府提出的“公共植保、绿色植保”的理念,因此,改善优化喷雾技术便显得尤为迫切。随着我国各地土地流转和专业化统防统治政策的出台,大田农作物采用机动喷杆喷雾技术替代背负手动喷雾,不仅可以改善农药雾滴的沉积分布均匀性,还显著提高了作业效率,减轻了劳动强度。根据作物叶片的亲水疏水特性,研究分析不同农作物的被润湿程度并进行分类,研究不同类型农作物叶片与农药药液行为的相关性,在田间对农药药液的理化特性进行优化,可以大幅度提高农药在植物叶片上的沉积回收率,提高农药的药效,减少农药流失。我国在农药喷雾过程中没有标准,习惯于大雾滴、大容量喷雾,直到把作物叶片喷到“湿透”才放心,实际上农药雾滴只需要在植物叶片有一定的沉积分布密度即可,研究制定不同农药在作物叶片上的沉积分布密度标准,对于指导田间喷雾非常重要。随着各地对农药喷雾技术研究和推广工作的重视,逐步采用喷杆喷雾技术,并研究建立田间喷雾的雾滴密度标准,就可以显著提高农药的有效利用率,减少农药流失,降低农药的负面影响。

参考文献

[1] Ware G W, Whitacre D W. The pesticide book[M]. US: Meister Media, 2004:1-3.

[2] 屠豫钦. 农药使用技术标准化,中国标准出版社[M]. 北京:中国标准出版社, 2001:160-189.

[3] 张一宾,张烽,吴贤英. 世界农药新进展(二)[M]. 北京:化学工业出版社,2010:7-8.

[4] Gianessi L. The potential for organic agriculture to feed the world is being oversold [J]. Outlooks on Pest Management, 2009,20(1): 4-5.

[5] Akes A. Is this the end of chemical plant protection [J]. Pesticide Science, 1998, 52:404-407.

[6] 董卫莉. 基于鱼尼丁受体杀虫剂的设计、合成与生物活性研究[D]. 天津:南开大学,2009.

[7] Juster F, Sanchez S, Ibanez R, et al. Measurement of spray deposition and efficiency of pesticide application in citrus orchard

- [J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1990(3): 187-196.
- [8] 袁会珠, 杨代斌. 农药的剂量传递[M]//10000个科学难题. 北京: 科学出版社, 2009: 335-338.
- [9] 袁会珠. 农药使用技术指南[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [10] 屠豫钦, 袁会珠, 齐淑华. 我国农药的有效利用率与农药的负面影响[J]. 世界农药, 2003(6): 1-4.
- [11] Metcalf P L. Changing role of insecticide in crop protection[J]. Annual Review of Entomology, 1980, 25(1): 219-256.
- [12] Giles D K. Foliar and nontarget deposition from conventional and reduced-volume pesticide application in greenhouse[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40: 2510-2516.
- [13] Vercruyssen F, Steurbaut W, Drieghe S, et al. Off target ground deposits from spraying a semi-dwarf orchard[J]. Crop Protection, 1999, 18(9): 565-570.
- [14] 袁会珠, 齐淑华, 金梅. 不同喷头对保护地黄瓜喷雾农药有效沉积率比较[J]. 植物保护, 1999, 25(1): 22-24.
- [15] 袁会珠, 王忠群, 孙瑞红, 等. 喷洒部件及喷洒方式对担架式喷雾机在桃园喷雾中的雾滴沉积分布的影响[J]. 植物保护, 2010, 36(1): 106-109.
- [16] Robinson T H, Garnet R P. The influence of electrostatic charging, drop size, and volume of application on the deposition of propiconazole and its resultant control of cereal disease[C]//BCPC: Proceeding of BCPC Brighton Crop Protection Conference. UK: 1984: 1057-1063.
- [17] Glydenkærne S, Seche B, Nordbo E. Ground deposit of pesticides in relation to the cereal canopy density[J]. Pesticide Science, 1999, 55(12): 1210-1216.
- [18] 徐德进, 顾中言, 徐广春, 等. 药液表面张力与喷雾方法对雾滴在水稻植株上沉积的影响[J]. 中国水稻科学, 2011, 25(2): 213-218.
- [19] 袁会珠, 何雄奎. 手动喷雾器摆动喷施除草剂药剂分布均匀性探讨[J]. 植物保护, 1998, 24(3): 41-42.
- [20] 袁会珠, 齐淑华, 杨代斌. 药液在作物叶片的流失点和最大稳定持留量研究[J]. 农药学学报, 2000, 2(4): 66-71.
- [21] Matthews G, Thomas N. Working towards more efficient application of pesticide[J]. Pest Management Science, 2000, 56(11): 974-976.
- [22] Wettanabe T, Yamaguchi I. Studies on wetting phenomena on plant leaf surface 3: a retention model for droplets on solid surface[J]. Pesticide Science, 1991, 34(3): 2793-2798.
- [23] 卢向阳, 徐筠, 陈莉. 几种除草剂药液表面张力、叶面接触角与药效的相关性研究[J]. 农药学学报, 2002, 14(3): 67-71.
- [24] 王金凤, 张琳娜, 袁会珠, 等. 自走式喷杆喷雾技术雾滴在棉田中后期的沉积分布[C]//成卓敏. 中国植物保护学会 2009 学术年会“粮食安全与植保科技创新”. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009: 721-725.
- [25] 王金凤, 张琳娜, 袁会珠, 等. 大豆田后期采用自走式喷杆喷雾技术时的雾滴的沉积分布[C]//成卓敏. 中国植物保护学会 2009 学术年会“粮食安全与植保科技创新”. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009: 97-100.
- [26] 张琳娜, 王金凤, 叶玉涛, 等. 高杆喷雾技术中雾滴在玉米植株上沉积分布的衰减现象的初步观察[C]//吴孔明. 中国植物保护学会 2010 学术年会“公共植保与绿色防控”. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010: 627-630.
- [27] Nuytens D, Windey S, Snock B. Optimisation of a vertical spray boom for greenhouse spray application[J]. Biosystems Engineering, 2004, 68(4): 417-423.
- [28] Braekman P, Foque D, Messens W. Effects of spray application technique on spray deposition in greenhouse strawberries and tomatoes[J]. Pest Management Science, 2010, 66(2): 203-212.
- [29] Foque D, Nuytens D. Effects of nozzle type and spray angle on spray deposition in ivy pot plants[J]. Pest Management Science, 2011, 67(2): 199-208.
- [30] 石伶俐, 陈福良, 郑斐能, 等. 喷雾助剂对三唑磷在水稻叶片上沉积量的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(12): 4228-4233.
- [31] Ebert T A, Taylor R A, Downer R A, et al. Deposit structure and efficacy of pesticide application. 1: interactions between deposit size toxicant concentration and deposit number[J]. Pesticide Science, 1999, 55(8): 783-792.
- [32] 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.
- [33] 袁会珠, 屠豫钦, 李运藩. 农药雾滴在吊飞昆虫不同部位的沉积分布初探[J]. 植物保护学报, 1997, 24(4): 367-370.
- [34] 崔丽, 王金凤, 秦维彩, 等. 机动弥雾法施用 70%吡虫啉水分散粒剂防治小麦蚜虫的雾滴沉积密度与防效的关系[J]. 农药学学报, 2010, 12(3): 313-318.
- [35] 袁会珠, 陈万权, 杨代斌. 药液浓度、雾滴密度与氧乐果防治麦蚜的关系研究[J]. 农药学学报, 2000, 2(1): 58-62.
- [36] 许小龙, 徐广春, 徐德进, 等. 植物表面特性与农药雾滴行为关系的研究进展[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(1): 214-218.
- [37] 朱金文, 吴慧明, 朱国念. 雾滴大小与施药液量对草甘膦在空心莲子草叶片沉积的影响[J]. 农药学学报, 2004, 6(1): 63-66.
- [38] 张京, 李伟, 宋坚利. 挡板导流式喷雾机的防飘性能试验[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 140-142.