

影响农药施药效果的因素分析^①

祁力钧^② 傅泽田

(中国农业大学管理工程学院)

摘 要 农药的合理使用不仅能增强在作物保护方面的施药效果,而且可以把农药对人类生存环境的直接和间接影响降低到最低限度。影响农药施药效果因素分析的结果表明:如果能够注重施药的适时性和合理的投放目标,针对不同的施药目标调整喷雾方案,根据害虫的生理习性和植物的病理特点选用适当的喷雾设施、确定各种喷雾参数,则可以大大地提高农药的作用效率。

关键词 农药;药效;影响因素;施药方法;施药机械

中图分类号 S 48

Analysis on Factors Affecting Efficiency of Pesticide Application

Qi Lijun Fu Zetian

(College of Management Engineering, CAU)

Abstract The reasonable application of pesticide appears not only in the strengthening of the crop protection, but also alarming people to reconsider the negative effect to the living environment. The efficiency of pesticide application can be improved if more consideration is given to where, when the active ingredients are most needed, and how the optimum droplet size is selected for a certain target, as well as the living habits and the physical feature of pests are well known. The selection of suitable sprayers is also very important to achieve a desirable efficiency.

Key words pesticide; efficiency of pesticide; affecting factors; methods of pesticide application; sprayers

农药的发明为人们同病虫害的斗争提供了一个有力的武器。多年来农药施用方法的演变,逐渐归结为液体药剂的喷洒,这是在实践中追求施药效果的结果。1个世纪前出现的大容量液体农药喷洒技术,一直被广泛接受为一种标准技术,但是由于受劳动力、水资源等条件的限制,迫切要求开发一种新的技术。风助技术在果园的发展大大减轻了人们用小型手持式喷雾器给果树喷药的劳动强度,而在沙漠缺水地带开发并推广的超低量喷雾防治蝗虫的技术更收到了令人满意的效果。如今面临的化学防治病虫害成本逐渐升级和对减轻环境污染的要求促使人们考虑用一种更合乎逻辑的方式使用化学药品,这包括对病虫种群生物习性的更好理解,以确定适合于目标的雾滴浓度、大小和沉积率。如果有了这些基本信息,雾滴密度、剂量和喷雾量就

收稿日期:1997-11-09

①国家自然科学基金资助项目

②祁力钧,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)213信箱,100083

可以确定,从而减少药物浪费,有效地使用较小的药量。

施药的目标 精确确定目标是提高药效的主要手段之一。施药一般以作物整体为目标,很少有人按作物的密度和害虫的分布状况来加以区别。实际监测发现,害虫在作物上的传播有一个中心区域,害虫的密度也是以该区域为中心呈梯度分布的。在这一区域经常施药,可减少害虫的蔓延,避免全面施药的浪费和造成污染。人们常把待处理的地块当作平面,这导致推荐的药的剂量与实际需要量之间出入很大。确定剂量时,应当考虑叶的表面积,而不是生长植物的地块的面积。目前这个问题很少引起人们的真正重视而调节施药量。

欲使农药更好地发挥作用,对于一个实际施药目标,既要考虑用药时间和部位,也要考虑喷出的药液到达目标的比例,以及适用于病虫害大发生时的剂型。对害虫定位可以避免喷洒农药的盲目性,因为即使对于害虫习惯驻留的作物,也可能在一些特定的点或面上害虫密度大于其他的地方。在棉花地里,喷药时不可避免地在叶子上面会多落一些药滴,但茎秆和小叶柄却是更为合适的目标,因为害虫往往是从那里爬向新的寄生地的。正确确定施药目标,需要具备病虫害生态学的知识,以便确定在哪一生长阶段施药最有效。可惜的是,在任何给定的时间内,处在对农药最敏感阶段的病虫害只占很小的比例。昆虫的生命周期有几个不同的阶段,杂草也与此相似,各个不同的生长阶段对农药的敏感性大不相同,并且也很难掌握喷药的时间,这样残留的害虫就成了再次繁衍的源泉。这一难题导致使用残效期长的化学农药。

多数常规喷雾装置喷洒出的雾滴都难以使药液真正到达目标而从叶间落下,从行间落到土壤上。撞击叶面的雾滴,受饱和度的限制,多余液体会滴漏到下层叶面上,再流入土壤。喷洒液的流失曾被认为能够使目标物表面得到完全湿润,但流失一旦开始,农药在叶面上的存留量比刚达到饱和时少得多;因此,叶面上的农药沉积与喷洒药剂的浓度成正比,而当喷洒量超过饱和值时就不再与其相关——这正是目前大量和超量使用农药的误区。农药在作物行间的流失称为内漂移^[1],这是药物流失的主要原因,但在雾滴直径比较小时,决定外漂移(由于侧风使雾滴脱离靶标)大小的风速却有助于雾滴的分布。在实际施药过程中,漂移使真正发挥作用的农药不到喷雾量的0.05%。Grahmm-Bryce 经试验发现,喷洒 dimethoate 来杀除豆类植物上的蚜虫时,其效率仅为0.02%,用林丹杀除可可树上的 Capsids 时,效率也只有0.03%^[2]。

到目前为止,最好的施药效率为6%^[3],这是在用药物控制蝗虫时达到的。当时的情况与普通的情况不同,喷药针对的害虫年龄都相同,并都集中在作物的外叶面上,且其飞行活动也提高了药滴的中靶率。这个例子说明,确定目标对提高施药效率十分重要。

害虫的密度 取样测定害虫密度对于评估害虫对作物的危害及确定在对农药的使用有严格限制的地区的施药量是非常必要的。随时测定害虫的密度以确定喷药次数和药量,并作为制定包括化学防治在内的综合防治计划的一个重要步骤,这有利于确定合适的喷药时间和精确的喷药目标。对一年生作物进行早期喷药时,剂量可适当减少,以防形成害虫的抗药性,还可保护天敌。

农药的剂量 如果能够及时采取措施,所需农药的剂量会大大减少,但在实际中通常总是等到能看见蛹时才喷药。实践证明,相对于第1蜕期的蛹,灭杀第5蜕期的蛹可能需要1000倍的药量,而这时损失已经很大了。当气象条件的变化已引起雾滴沉积率变化时,用低剂量多重(0.5~3.0 d)的施药方法一般会更有效。这样的连续施药不仅使农药分布较好,而且有更长的有效期,特别是不会在作物上产生化学残留。测量雾滴沉积率的高低对确定农药的剂量非

常重要。测定沉积率的一般方法是在平台上或纸上收集雾滴,但这样的目标与实际作物表面很不相同,从而导致估计很不准确。直接在实际目标上测估对估计小雾滴的沉积率尤为重要,特别是当害虫处在叶子中间时,大的雾滴一般只落在暴露的叶面上,而不同层次的有短绒毛的叶面上可收集到大量的小雾滴,收集率较高。最小剂量的确定是建立在对病虫害严重程度和雾滴在作物上的沉积率的估计的基础上的。

时间性 作为预防性的农药,是被反复喷洒,还是按固定农时喷洒而不管害虫是否发生和发生的程度,是2种不同的药防计划形式。后者对农户更方便,他们知道买多少农药,并根据需要订货;但如果要使施药及时而准确,就可减少施药的次数,也可以减少产生抗药性的压力。常规的害情估计可以靠害情预报来进行,这样就可以根据危害程度灵活施药。一天内喷药时间的掌握因防治对象不同而异。一般来说,防治虫害的喷药时间取决于气象条件和害虫的生活习性,病害的防治则主要取决于气象条件。例如杀虫剂不在白天而在傍晚喷洒,这时气象条件比较稳定,也是害虫群体最活跃的时期;相反,杀菌剂则应在早晨喷洒,因为露水有助于药滴的均匀分布。

雾滴的大小 如果选择的雾滴大小合适,可以最小的药量、最少的环境污染达到有效地控制病虫害的目的。如果实际的雾滴比需要的大,浪费的农药就会以雾滴直径3次方的速率增长,一个400 μm 的雾滴比一个40 μm 的雾滴大1000倍,而不是10倍。很明显,最优的雾滴大小会因不同的施药对象而变化,但总的来说,小于100 μm 的雾滴更易被害虫或叶面吸收。小的雾滴容易被叶面上的小物体如叶面的细毛在微观不平处留下来。这些小物体在局部的地方引起小旋流。例如当气流速度为2.2 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,用一个直径为3.2 mm的圆筒收集雾滴,发现不同直径雾滴的收集率如下:10 μm 为15%,20 μm 为52%,40 μm 为78%,100 μm 为92%^[4]。这样就可以选择足够小的雾滴使其随气流绕障碍物漂移,如植物茎秆产生的气流扰动可使小药滴对驻留在此处的害虫产生影响。蚊子可以吸收体积中径为11~20 μm 的雾滴,其他飞虫吸收的雾滴大小一般在10~50 μm 之间^[5]。当药液是以水为稀释剂并在干热的条件下喷洒时,必须强调漂移的问题,因为这种条件下雾滴的直径会因蒸发而迅速减小。虽然喷洒的是经过稀释的药液,但蒸发可能导致高农药含量的细小药滴漂移很远;所以为了保证适当大小的雾滴到达目标,药液里应含有一定量的抗挥发剂,使雾滴的大小不致于减小到某一极限值以下。如果有12%的雾滴是不挥发的,则蒸发可能使雾滴的直径减半,根据这个比例可计算出雾滴在飞行过程中直径的变化,这样在一定程度上漂移就得到了控制。

雾滴的密度 所需雾滴的密度取决于害虫密度、流动性(迁移率)、药液中有效成分的性质及其在目标上的再分布。雾滴大小确定后,不同的雾滴密度决定了农药的使用量。Johnstone算出了在一定面积上当雾滴密度一定时雾滴大小与所需药液量之间的关系(见表1)。用体积

表1 以1滴 $\cdot\text{mm}^{-2}$ 的雾滴密度喷洒时1 hm^2 面积上最小喷雾量与雾滴直径的关系

雾滴直径/ μm	20	40	60	80	100	200	400
所需的最小喷雾量/L	0.042	0.335	1.131	2.682	5.238	41.905	335.103

中径为30 μm 的药滴控制舌蝇所需要的剂量约为30 $\mu\text{L}\cdot\text{hm}^{-2}$,而用250 μm 的雾滴喷洒除草剂则需要6~20 $\text{L}\cdot\text{hm}^{-2}$,除非喷洒的雾滴数增加或雾滴的分布因旋流而改善,否则增加药剂量并不一定能达到提高雾滴密度的目的。例如用手持转子式喷雾器对棉花喷药,雾滴大小控制在80~100 μm ,喷量增加1倍,对害虫的控制效果的改善并不明显,除非把雾滴适当地集中在

一个较窄的幅宽上。10%的浓度,5 L·hm⁻²的用量,0.9 m 的幅宽比用同样剂量 25%的浓度,2 L·hm⁻²的用量和 4.5 m 的幅宽更有效^[7],原因是大幅宽降低了雾滴密度并使雾滴很难在目标上均匀分布,特别是对于一些长势很好的棉行,用高密度小雾滴药效会更好。

喷雾的浓度 一个雾滴以不同直径要达到 LD₅₀,剂量范围在 1~1 000 ng·只⁻¹(“只”为害虫的计数单位)所需喷雾浓度不同^[4]。大多数用剂量小于 100 ng·只⁻¹的合适的杀虫剂就可使昆虫致死,但实际上,当单位面积上收集的雾滴不止 1 个,尤其是用超低量喷雾时这样高的浓度是不合适的。当目标暴露在植物的顶部时,例如小麦叶子上的芽虫,用很低的剂量就可取得很好的控制效果,特别是当允许适量的蚜虫残留以保护天敌时。毋庸置疑,小雾滴可使用药剂剂量减少,但当要求雾滴沉积在叶子上并减少漂移时,小于 50 μm 的雾滴就必须在植物叶冠中间喷施。

喷头 目前常用的喷头按作用原理来分有压力式和离心式 2 种。

压力式喷头适用于大容量的喷雾,所产生的雾滴有较大的初速度,抗漂移性能明显优于转子式喷头。压力式喷头的缺点是雾滴粒谱较广,雾滴大小很难控制,从而难以达到精量喷雾的要求。目前使用较广的压力式喷头有各种角度的扁扇喷头、空心喷头和双流喷头等。

转子式喷头的优点是雾滴粒谱范围较窄。这种喷头形成雾滴的方式有 3 种:1)以单个药滴离开转盘;2)先以线型药液离开后再断裂成雾滴;3)先形成液膜再破裂成雾滴。第 3 种形成方式与压力式喷头的雾滴形成原理相似,其雾滴的型谱较宽。为了充分发挥转子式喷头形成的雾滴大小一致的特点,使用时应适当控制药液的供给量使其以第 1 种方式形成雾滴。转子式喷头的另一个优点是极易从同一喷头得到大小不同的雾滴,其雾滴的大小取决于其转速。由于药液的喷量,雾滴的大小、密度和在作物上的分布很大程度上都取决于喷头,所以喷头的选择是保证喷雾质量的重要因素。

喷雾器 现在有各种不同形式的喷雾装置,这里主要讨论手持式(背负式)和牵引(悬挂)式喷雾器。选择喷雾器受到许多因素的限制,例如防治对象、配备的劳动力、要求防治的面积、防治区域的特点、机具使用的难易程度、要求的作业速度和所能提供的动力(压力)等。

手持式(背负式)喷雾器 在作业地块小和山区以及起伏不平的地面,需要采用小型、轻便的人力喷雾机具。背负式压力喷雾器有机动和手动之分,目前我国以手动为主。手动喷雾器结构简单、操作方便,其工作能力一般为 10~20 h·hm⁻²,其纯工作时间不到总时间消耗的 40%,幅宽一般为 1 m,喷洒量为 100~400 L·hm⁻²。因喷雾压力由人力提供而难以保证所要求的压力和稳定性,使喷雾质量难以保证。为保证喷雾质量,机动喷雾机是大田作业所不可缺少的。使用机动背负式喷雾器应注意的问题是喷雾器本身的制造质量和与之配套的喷嘴的性能及其种类的选择。手持转子式喷雾器,当喷头转子的转速为 12.5~100.0 r·s⁻¹时,流量为 0.125~4.000 mL·s⁻¹。由于喷量相对于压力式喷头很小,所以称为超低量喷雾(油剂)或低量喷雾(水剂)。用这种喷雾器给棉花喷施杀虫剂在非洲应用很广。单个农户可用它来喷洒极小量的农药(40~60 mL·hm⁻²),这样,对一些特定的害虫种群就能用相对常规喷雾法少的化学药品达到控制目的。喷药时操作者以 1 m·s⁻¹的速度行走,喷幅 20 m,喷 1 hm² 只用 10 min。为了有选择性地杀死害虫,使害虫飞入喷出的药雾中,可在药液里加引诱剂。

牵引(悬挂)式喷雾器 地块的面积和植保的紧迫性是选用牵引(悬挂)式喷雾器的重要原因之一。大型农场自然会选择这种喷雾器。喷药作业时间性很强,时机掌握不好造成的用药量

加大和作物损失的情况经常发生。机动喷雾器不同规格型号的选择,涉及到喷药的幅宽、所能提供的压力范围,以及对不同行走速度的适应能力。牵引(悬挂)式喷雾器的生产率与其药箱的容积大小有关,现在西方国家用的大型喷雾器药箱容量超过 600 L,生产率达到 $5.5 \text{ hm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ 。与其配套的主要是压力式喷头;转子式喷头因受风力、风向等的影响较大,拖拉机在田间行走又受到作物种植方式和地块形状的限制不便于随风调整而应用较少。另外,转子式喷头喷洒高浓度的农药,机动、多喷头的喷雾方式易造成药害。近年来在欧洲也有由拖拉机带动的转子式喷头的田间试验,但实际应用并不广泛。

影响农药使用效果的诸多因素互相影响,互相牵制;除了目前还未完成的技术外,现有技术中也有着许多问题。例如:喷药时间是否合适会影响施药量的大小;不同的目标要求雾滴的大小不同,而雾滴的大小又与雾滴的密度有关;药液的浓度与害虫的生长期相关,同时也是影响环境的重要因素;压力式喷雾器的雾滴大小难以控制,超低量喷雾(或低量喷雾)虽然单位面积上的用药量较小,但要合理地使用,则要求控制漂移以减小非目标区域内农药的损失。因此,要提高施药效率,最大限度地发挥所喷农药的效用,减少农药的散失,并在观念上对现代植保有新的认识。害虫并不一定要全部杀死,能够控制在一定水平以下,维护天敌的生存环境是目前病虫害综合防治中的新思路。如何减轻病虫害的抗药性,在不影响粮食产量的前提下,使目前的用药量由增长到下降是今后施药技术研究的一个重要方向。

过多地使用农药和因施药方法不当造成的病、虫抗药性增强,天敌减少和环境污染等问题,促使人们对化学药品的应用重新思考。简单的喷药方法显然已不能满足保护作物的需要,对施药方法的重新认识和对其中各种影响因素的深刻理解是合理使用农药的基础。只有做到这一步,才谈得上施药方法的改进和施药器械的改型。

参 考 文 献

- 1 Mattews G A. New spraying techniques for field crops. *World Crops*, 1976, 28: 106~110
- 2 Grahmm-Brryce L J. The future of pesticide technology: opportunities for research. In: *Proceedings of 8th British Insecticide and Fungicide Conference*, 1975. 901~914
- 3 Uttley N L. The pressure facing the agrochemical industry and the effect of these on design of new delivery system. In: *ANPP-BCPC 2nd International Symposium on Pesticide Application Techniques*, 1993. 57~65
- 4 Johnstone D R. Physical and chemical requirements for ultra-low volume application. *British Crop Protection Council Monograph*, 1974, 11: 73~79
- 5 Landers A J. Direct injection system on crop sprayers. *The Agricultural Engineer*, 1992, 47(2): 9~12
- 6 Polles G G, Vinon S B. Effect of droplet size on persistence of UIV malathion and comparison of toxicity of UIV and EC malathion to tobacco budworm larvae. *J of Entomology*, 1969, 62: 89~94
- 7 Tayloy D B, Mcrrit C R. Some physical aspects of the performance of experimental equipment for controlled droplet application with herbicides. In: *Proceedings 8th British Insecticide and Fungicide Conference*, 1975. 161~170