

· 研究论文 ·

甲氨基阿维菌素苯甲酸盐药液浓度、雾滴密度及施药液量对小菜蛾防治效果的影响

曹源¹, 邓维¹, 李永平², 李学锋¹, 郑明奇^{*1}, 袁会珠³

(1. 中国农业大学理学院, 北京 100193; 2. 全国农业技术推广服务中心, 北京 100125;
3. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要:采用室内生物测定与田间试验相结合方法,研究了甲氨基阿维菌素苯甲酸盐药液浓度、雾滴密度和施药液量对小菜蛾防治效果间的关系。结果表明:当甲氨基阿维菌素苯甲酸盐药液质量浓度从 80 mg/L 提高至 640 mg/L 时,其 LN_{50} 值(致死中密度)从 148 droplet/cm² 下降至 3 droplet/cm²;雾滴密度从 23 droplet/cm² 提高至 131 droplet/cm² 时,其 LC_{50} (致死中浓度)值则从 1.66×10^2 mg/L 下降至 78.93 mg/L。甲氨基阿维菌素苯甲酸盐在与地面呈 0° 倾角的载玻片正面和 90° 倾角的载玻片反面上沉积量最多,在 45° 倾角的反面和 90° 倾角的正面上沉积量最少;在甘蓝叶片上的沉积量与药液质量浓度和雾滴大小有关。田间药效试验结果表明:甲氨基阿维菌素苯甲酸盐药液质量浓度为 3 mg/L 时,施药液量为 330 L/hm² 的防治效果比施药液量分别为 525、750 和 975 L/hm² 的低,差异达显著水平 ($P < 0.05$),但后 3 种施药液量之间的防治效果差异不显著 ($P > 0.05$);当药液质量浓度为 4.2 mg/L 时,330、525、750 和 975 L/hm² 4 种施药液量间的防治效果差异均不显著 ($P > 0.05$)。因此,采用较小雾滴体积中径 ($VMD = 128.9 \mu\text{m}$) 和较高药液浓度 (4.2 mg/L) 喷雾时,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐不仅对小菜蛾表现出优良的防治效果,而且施药液量也显著降低。

关键词:甲氨基阿维菌素苯甲酸盐;药液浓度;雾滴密度;沉积量;小菜蛾;防治效果

DOI:10.3969/j.issn.1008-7303.2014.01.09

中图分类号:S482.3 文献标志码:A 文章编号:1008-7303(2014)01-0054-07

Effects of concentration, droplet density and spraying volume on efficacy of emamectin benzoate against *Plutella xylostella* L.

CAO Yuan¹, DENG Wei¹, LI Yongping², LI Xuefeng¹, ZHENG Mingqi^{*1},
YUAN Huizhu³

(1. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. The National Aaro-Tech Extension and Service Center, Beijing 100125, China; 3. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: The relationship between concentration, droplet density, spraying volume and the efficacy of emamectin benzoate against diamondback moth were studied by the technology of bioassay in

收稿日期:2013-12-04;修回日期:2013-12-26.

作者简介:曹源,男,硕士研究生,E-mail:caoyuan810@163.com; *郑明奇,通信作者(Author for correspondence),男,博士,副教授,主要从事农药抗性分子机理及农药使用技术研究,E-mail:mqzheng@cau.edu.cn

基金项目:公益性行业科研专项资助(200903033).

laboratory and field test. The results indicated that the LN_{50} (median lethal number of droplets per unit area) value dropped from 148 droplet/cm² to 3 droplet/cm² when the concentration of emamectin benzoate increased from 80 mg/L to 640 mg/L. The LC_{50} value of emamectin benzoate changed from 1.66×10^2 mg/L to 78.93 mg/L as the droplet density increased from 23 droplet/cm² to 131 droplet/cm². The maximum deposition of emamectin benzoate was observed on the front side of glass slides with 0° angle and the back side of glass slides with 90°, and the minimum was observed on the back side of glass slides with 45° angle and the front side of glass slides with 90° angle. The deposition of emamectin benzoate on cabbage leaves was affected by droplet size and concentration of emamectin benzoate. At concentration of 3 mg/L, the efficacy of emamectin benzoate in fields spraying with 330 L/hm² was lower than that of spraying with 525, 750 and 975 L/hm². However, the efficacies in fields spraying with 525, 750 and 975 L/hm² have no significant differences. At concentration of 4.2 mg/L, the efficacies of emamectin benzoate spraying with different volume were similar. Hence, emamectin benzoate exhibited excellent controlling efficacy to diamondback moth and the spraying volume decreased significantly under condition of spraying with smaller droplet size (VMD = 128.9 μm) and higher concentration (4.2 mg/L).

Key words: emamectin benzoate; concentration; droplet density; deposition; *Plutella xylostella*; efficacy

我国每年有数以亿吨的药液喷洒到农田中,其中喷雾是农药最主要的施用方式。由于没有简单可行的喷雾标准,农民仍然采用大雾滴、大容量的喷雾方式喷洒农药,也习惯于将喷湿、喷透作为喷雾的标准。这种喷雾方式及习惯,不仅使农药的有效利用率降低,造成大量农药浪费,而且严重污染环境。因此,制定简单、可靠的喷雾标准,对于指导农民科学、合理用药具有重要意义。

农药在靶标植物上的沉积量直接影响农药对靶标生物的防治效果。农药雾滴在靶标植物上的沉积与农药理化性质、靶标植物表面结构、靶标植物叶片倾角、雾滴大小和环境条件等因素有密切关系^[1]。杨希娃等^[2]对去离子水在棉花、小麦和水稻叶片上沉积的研究结果表明,植物种类和叶片倾角对沉积量的影响显著,沉积量随叶片倾角减小而增加。采用不同喷头喷施的吡虫啉在小麦冠层的沉积量有较大差异,其中采用雾滴体积中径(volume median diameter, VMD)最小的LU喷头施药,吡虫啉在小麦冠层上部的沉积量最大,而采用雾滴体积中径最大的IDK喷头,其平均沉积量最小^[3];在用氧乐果防治小麦蚜虫时,当施药液量为75和150 L/hm²、药液浓度分别为 1.2×10^3 、 1.6×10^3 、 2.0×10^3 、 2.4×10^3 、 3.2×10^3 和 4.0×10^3 mg/L时,氧乐果对麦蚜的防治效果差异不明显^[4];在用氯虫苯甲酰胺防治稻纵卷叶螟时,当雾滴体积中径为200 μm、雾滴密度为82.09个/cm²

时,施药液量从4.00 mg/m²减少至2.00 mg/m²,防治效果无显著降低^[5]。

小菜蛾 *Plutella xylostella* L. 属鳞翅目菜蛾科昆虫,是一种世界性农业害虫,主要为害甘蓝、花椰菜、芥菜等十字花科蔬菜,由于其发生世代多、繁殖速度快、世代重叠以及抗药性等原因,使其防治很困难^[6]。甲氨基阿维菌素苯甲酸盐具有杀虫活性高、用量少等特点,已被广泛用于小菜蛾等害虫的防治^[7]。本研究针对大容量喷雾带来的不利影响,对甲氨基阿维菌素苯甲酸盐雾滴密度、施药剂量和对甘蓝小菜蛾防治效果进行研究,旨在为科学、精准施药,减少农药有效成分和水的使用量,减轻环境污染等提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 主要仪器

ASP-1098 行走式自动喷雾装置,浙江大学农药与环境毒理研究所研制;不同型号扇形喷头(ST110-01 ~ ST110-04),德国 Lechler 公司;X-16 背负式手动喷雾器,浙江黄岩市喷雾器化工有限公司;Lambda-35 紫外分光光度计,Perkin Elmer 公司;雾滴密度卡,中国农业科学院植物保护研究所袁会珠老师提供;雾滴图像分析软件,USDA-ARS;雾滴收集装置,江苏省农业科学院植物保护研究所顾中言老师惠赠。

1.2 药剂与试剂

90% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐 (emamectin benzoate) 原药, 浙江钱江生物化学股份有限公司; 1% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油 (emamectin benzoate EC), 山东曹达化工有限公司生产; 85.5% 诱惑红, 上海燃料研究所; 其他试剂均为分析纯。

1.3 试虫

小菜蛾 *Plutella xylostella* L. 3 龄幼虫, 由中国农业科学院植物保护研究所芮昌辉老师惠赠, 在本实验室内 [温度 (26 ± 2) °C, 相对湿度 70% ~ 80%, 光照强度 100 ~ 400 lx, 光照时间 16 h/d] 饲养, 以新鲜甘蓝叶片喂养成虫。

1.4 雾滴收集及雾滴密度测定

利用不同倾角的载玻片模拟具有不同倾角的甘蓝叶片, 通过测定甲氨基阿维菌素苯甲酸盐在不同倾角载玻片上的沉积量, 推测药剂在不同甘蓝叶片上的沉积分布。参照文献 [5] 方法, 采用图 1 的雾滴收集装置进行测定。将雾滴密度卡粘贴在载玻片正反两面上, 以不同方向 (与地面水平倾角分别为 0°、45° 和 90°) 插入载玻片插槽中, 并使载玻片插槽与甘蓝同高。采集雾滴后, 将雾滴密度卡于干燥处晾干, 待雾滴固定后, 用图像分析软件分析单位面积内的雾滴密度和雾滴覆盖率。

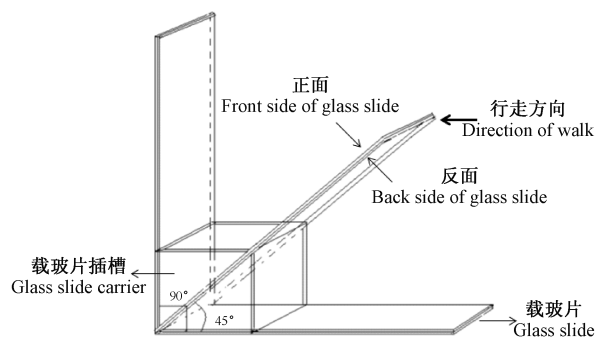


图 1 雾滴密度收集装置

Fig. 1 Device of droplet collection

1.5 诱惑红标准曲线的绘制

参照崔丽等 [8] 的方法, 准确称取 0.011 7 g 诱惑红, 用蒸馏水溶解并定容至 10 mL, 配制成质量浓度为 1 000 mg/L 的母液, 继而用蒸馏水稀释成 5.0 ~ 95.0 mg/L 的系列诱惑红水溶液。测定每个质量浓度下诱惑红水溶液在 $\lambda = 514$ nm 处的吸光度值 (A)。每个浓度重复 3 次。以诱惑红质量浓度 (ρ) 为横坐标, 吸光度值 (A) 为纵坐标绘制标准曲线。

1.6 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对小菜蛾致死中浓度 (LC₅₀) 和致死中密度 (LN₅₀) 测定

为了测定不同雾滴密度条件下甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对小菜蛾毒力的变化, 通过改变喷头行走速度来实现不同喷雾密度的目的; 此外, 该方法与田间实际防治时施药方式较接近。因此, 采用在不同喷雾速度条件下测定甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对小菜蛾的毒力。喷头行走速度分别为 60、80、100、110 和 120 cm/s 时, 雾滴密度分别为 23、40、55、68 和 131 droplet/cm², 喷雾压力为 0.4 MPa, 喷头距离试虫高度为 54 cm。

甲氨基阿维菌素苯甲酸盐原药用少量丙酮溶解, 用 0.5% 的吐温-80 水溶液分别稀释成 10、20、40、80、160、320 和 640 mg/L 系列浓度。挑选大小一致的小菜蛾 3 龄幼虫于培养皿中。每皿接入 10 头幼虫, 每个浓度设 4 次重复。将接有试虫的培养皿和放置雾滴密度卡的培养皿一同放入自动行走式喷雾台中进行喷雾。药剂处理后放入新鲜、无药的甘蓝叶片饲养, 48 h 后检查小菜蛾幼虫的死亡数。

1.7 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐沉积分布研究

参照崔丽等 [8] 的方法, 配药时在药液中添加与甲氨基阿维菌素苯甲酸盐同样质量浓度的诱惑红作为指示剂, 通过测定诱惑红的沉积量, 间接推测甲氨基阿维菌素本甲酸盐的沉积量。

试验于中国农业大学上庄实验站进行, 供试甘蓝为京丰 1 号, 定植后约 25 d 进行试验。试验药剂为 1% 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油, 设 3 mg/L (按有效成分 2.25 g/hm², 施药液量 750 L/hm² 计算) 和 4.2 mg/L (按有效成分 3.15 g/hm², 施药液量 750 L/hm² 计算) 2 个试验浓度, 每个浓度均用 4 种不同喷头 (ST110-01/02/03/04) 分别施药。以喷清水为空白对照。每种喷头处理和空白对照均重复 3 次, 每小区面积约 15 m²。喷药前进行作业行走速度的训练, 均以田间正常行走速度进行。

1.7.1 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐在不同倾角载玻片上沉积量测定 施药前于每个试验小区选取 5 个点, 预先放置雾滴收集装置, 按图 1 所示 3 个倾角 (0°、45° 和 90°) 收集雾滴。施药结束后, 将收集有雾滴的载玻片放入自封袋内; 测定前用蒸馏水洗涤载玻片上的诱惑红; 用紫外分光光度计测定洗涤液的 OD_{514nm} 值; 根据诱惑红质量浓度-吸光度值的标准曲线, 计算洗涤液中诱惑红的质量浓度 ($\mu\text{g/mL}$); 用数码相机和面积测定软件测定载玻片的有效面积 (cm²); 根据公式 (1) 计算药剂的沉积量

($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)。

沉积量 = (洗涤液中诱惑红的质量浓度 \times 洗涤体积) / 载玻片有效面积 (1)

1.7.2 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐在甘蓝叶片上沉积量测定 施药结束后,每小区选5株甘蓝,于每株甘蓝上选取不同空间的3片叶片进行雾滴沉积量测定。测定方法同1.7.1节。

1.8 田间药效试验

施药剂、小区设置以及施药方法同1.7节。施药前调查虫口基数,分别于施药后1d和7d调查防治效果;每小区定株调查10株甘蓝上小菜蛾活幼虫数。根据公式(2)和(3)计算防治效果。

虫口减退率/% = $100 \times (\text{施药前虫数} - \text{施药后虫数}) / \text{施药前虫数}$ (2)

防治效果/% = $100 \times (\text{处理区虫口减退率} - \text{空白对照区虫口减退率}) / (100 - \text{空白对照区虫口减退率})$ (3)

1.9 数据处理

利用SPSS12.0软件计算 LC_{50} 值、 LN_{50} 值及其95%置信限。

2 结果与分析

2.1 诱惑红标准曲线

结果表明,在5.0~95.0 mg/L范围内,在波长

514 nm下,诱惑红溶液的质量浓度(ρ)与吸光度值(A)具有很好的相关性,回归方程为 $A = 0.0605\rho - 0.0374$,相关系数 $r = 0.998$ 。

2.2 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐原药对小菜蛾致死中密度的确定

致死中密度(LN_{50} , median lethal number of droplets per unit area)是指致死50%试虫时单位面积上的雾滴个数,可通过雾滴大小和药液质量浓度计算得出,常用来衡量单个雾滴的作用范围。对于特定大小的雾滴,提高药液质量浓度, LN_{50} 值将显著降低;同样,对于特定药液质量浓度,随着雾滴变小,防治效果将显著提高^[4,9]。

由表1可知:当药液质量浓度从80 mg/L增加至640 mg/L时,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对小菜蛾的 LN_{50} 值从148 droplet/ cm^2 下降至3.00 droplet/ cm^2 。可见,药液浓度对甲氨基阿维菌素苯甲酸盐防治小菜蛾的 LN_{50} 值有显著影响,即在一定防治水平下,随着药液质量浓度的增加,施药液量迅速减少;但当药液质量浓度为80 mg/L时,雾滴密度从23 droplet/ cm^2 提高至131 droplet/ cm^2 时,小菜蛾的死亡率仅从35.7%增加至47.4%(数据未列出),即当药液质量浓度低于一定水平时,即使增加雾滴密度也不能提高其防治效果。

表1 不同药液质量浓度条件下甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对小菜蛾的 LN_{50} 值

Table 1 LN_{50} value of emamectin benzoate against diamondback moth at different concentrations

药液质量浓度 Concentration/(mg/L)	回归方程 Regression equation	R^2	LN_{50} (95% CL)/ (droplet/ cm^2)
80	$y = -1.60 + 0.73x$	0.88	148 (91.7 ~ 1.80 $\times 10^5$)
160	$y = -1.01 + 0.63x$	0.94	40.1 (14.5 ~ 64.1)
320	$y = -1.21 + 1.23x$	0.90	9.60 (2.50 ~ 16.8)
640	$y = -0.46 + 0.98x$	0.98	3.00 (3.10 $\times 10^{-2}$ ~ 8.90)

2.3 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐原药对小菜蛾致死中浓度的确定

由表2可知:药液雾滴密度对甲氨基阿维菌素苯甲酸盐防治小菜蛾的毒力有重要影响。当雾滴密度从23 droplet/ cm^2 提高至131 droplet/ cm^2 时, LC_{50} 值从 1.66×10^2 mg/L下降至78.9 mg/L。即随着雾滴密度提高, LC_{50} 值呈下降趋势。可见,确定合理的雾滴密度,既能保证甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对小菜蛾良好的防治效果,又能减少药剂使用剂量,从而减轻药液浪费和对环境的污染。

2.4 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐沉积分布规律

2.4.1 在载玻片上的沉积量 由表3可知:在采用相同喷头喷雾条件下,雾滴在不同倾角载玻片上的沉积量不同,从大到小依次为 0° 正面 = 90° 反面 > 45° 正面 > 45° 反面 = 90° 正面。药剂在 0° 正面和 90° 反面上沉积量最大,这可能与 0° 正面载玻片上雾滴流失量少,且无其他倾角载玻片遮挡有关;虽然 90° 倾角较 45° 倾角容易导致药液流失,但 90° 反面遮挡较小,而 45° 正面有一定遮挡,这可能是导致 90° 反面较 45° 正面载玻片上沉积量高的原因。随着喷头的雾滴体积中径的增大,雾滴在同一倾角的

表 2 不同雾滴密度条件下甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对小菜蛾的 LC_{50} 值Table 2 LC_{50} value of emamectin benzoate against diamondback moth at different droplet density

雾滴密度 Density of droplet/(droplet/cm ²)	回归方程 Regression equation	R^2	LC_{50} (95% CL)/(mg/L)
23	$y = -2.09 + 1.31x$	0.96	$1.66 \times 10^2 (1.37 \times 10^2 \sim 2.04 \times 10^2)$
40	$y = -2.98 + 1.39x$	0.98	$1.42 \times 10^2 (1.17 \times 10^2 \sim 1.73 \times 10^2)$
55	$y = -3.73 + 1.77x$	0.93	$1.29 \times 10^2 (79.1 \sim 2.20 \times 10^2)$
68	$y = -3.44 + 1.73x$	0.95	99.2 (69.6 ~ 1.40 × 10 ²)
131	$y = -3.07 + 1.62x$	0.96	78.9 (57.0 ~ 1.10 × 10 ²)

表 3 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐在不同倾角载玻片上的沉积量

Table 3 Deposition of emamectin benzoate on glass slides with different angle

喷头型号 Nozzle type	药液沉积量 Deposition/($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)				
	0°正面 0° front side	45°正面 45° front side	45°反面 45° back side	90°反面 90° back side	90°正面 90° front side
ST110-01	0.87 ± 0.08 a	0.62 ± 0.03 b	0.45 ± 0.02 c	0.86 ± 0.04 a	0.46 ± 0.03 cd
ST110-02	2.01 ± 0.08 a	0.72 ± 0.14 b	0.58 ± 0.02 bc	1.79 ± 0.08 a	0.46 ± 0.03 bd
ST110-03	2.01 ± 0.13 a	0.83 ± 0.16 b	0.52 ± 0.06 bc	1.79 ± 0.12 a	0.47 ± 0.01 b
ST110-04	2.00 ± 0.06 a	0.88 ± 0.05 b	0.67 ± 0.02 b	1.94 ± 0.20 a	0.54 ± 0.002 b

注:同行数据后字母不同表示两者间差异显著($P < 0.05$)。

Note: The value of deposition with different letters in the same row are significantly different at $P < 0.05$ level.

载玻片上的沉积量增加,但当雾滴体积中径增加至一定值时,雾滴在玻璃片上的沉积量增加趋势变缓甚至降低。

2.4.2 在甘蓝叶片上的沉积量 由表 4 可以看出:在田间条件下,当药液质量浓度为 3 mg/L、施药液量从 330 L/hm² 增加至 525 L/hm² 时,药剂在甘蓝叶片上的沉积量差异显著($P < 0.05$)。进一步提高药液浓度或施药量,结果均无显著差异($P > 0.05$)。当药液浓度为 4.2 mg/L 时,4 种施药液量条件下,药剂在甘蓝叶片上的沉积量无显著差异。因此,用甲氨基阿维菌素苯甲酸盐防治甘蓝小菜蛾时,施药液量过高,并不能提高药剂在甘蓝叶片上的沉积量,反而会导致大量药剂流失和浪费。

表 4 不同施药液量条件下甲氨基阿维菌素苯甲酸盐在甘蓝叶片上的沉积量

Table 4 Deposition of emamectin benzoate on cabbage leaves treated with different spray volume

喷头型号 Nozzle type	施药液量 Spraying volume/(L/hm ²)	药液沉积量 Deposition/(ng/cm ²)	
		3.0 mg/L	4.2 mg/L
ST110-01	330	120.08 ± 7.41 a	144.83 ± 12.03 a
ST110-02	525	150.27 ± 15.66 b	166.56 ± 9.55 a
ST110-03	750	154.53 ± 16.39 b	173.69 ± 7.76 a
ST110-04	975	162.78 ± 12.12 b	176.08 ± 13.23 a

注:同列数据后字母不同表示两者间差异显著($P < 0.05$)。

Note: The value of deposition with different letters in the same column are significantly different at $P < 0.05$ level.

2.5 不同施药液量对雾滴密度与雾滴覆盖率的影响

由表 5 和图 2 可知:随着喷头雾滴体积中径的增大,施药液量不断增加,雾滴密度和覆盖率均有不同程度增加。当施药液量从 330 L/hm² 增加至 525 L/hm² 时,雾滴密度无显著差异($P > 0.05$),但雾滴覆盖率却从 0.94% 提高至 4.27%,差异达显著水平($P < 0.05$);当施药液量增加至 750 L/hm² 时,雾滴密度和雾滴覆盖率均显著提高;而施药液量进一步增加至 975 L/hm² 时,虽然雾滴密度显著提高($P < 0.05$),但雾滴覆盖率较前者差异不显著($P > 0.05$)。

2.6 施药液量和药液浓度对小菜蛾田间防治效果的影响

研究结果(表 5)表明:当药液质量浓度为 3.0 mg/L 时,施药液量从 330 L/hm² 增加至 525 L/hm² 时,可显著提高甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对甘蓝小菜蛾的防治效果,但继续增加施药液量或药液浓度不但均不能提高防治效果,反而导致大量药液的浪费。当药液质量浓度提高至 4.2 mg/L 时,4 种施药液量条件下,药剂对甘蓝小菜蛾的田间防治效果无明显差异。

图 2 是采用不同喷头喷雾后,雾滴密度卡上显示的雾滴密度和雾滴覆盖率的效果图。这些图像不仅可以作为间接评价甲氨基阿维菌素苯甲酸盐的喷雾质量,也可以作为农民确定施药液量的参考标准。

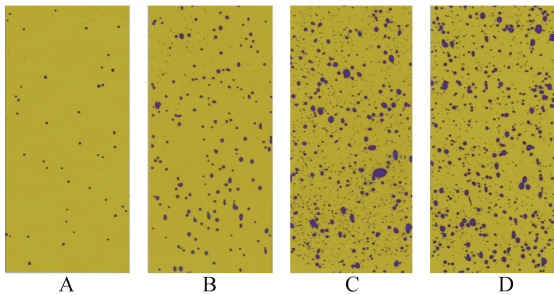
表 5 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐施药液量和药液浓度对甘蓝小菜蛾田间防治效果的影响
Table 5 Effects of spraying volume and concentration on the efficacy in fields against diamondback moth of emamectin benzoate

喷头型号 Nozzle type	雾滴 体积中径 VMD/ μm	施药液量 Spraying volume/ (L/hm^2)	雾滴密度 Droplet density/ (droplet/ cm^2)	雾滴覆盖率 Coverage ratio of droplet/%	防治效果 Efficacy/%			
					1 d		7 d	
					3.0 mg/L	4.2 mg/L	3.0 mg/L	4.2 mg/L
ST110-01	113.3	330	19.90 \pm 3.52 c	0.94 \pm 0.16 c	63.63 \pm 11.41 a	87.64 \pm 1.54 a	74.92 \pm 4.04 a	89.76 \pm 3.87 a
ST110-02	128.9	525	21.20 \pm 0.10 c	4.27 \pm 0.08 b	85.86 \pm 4.36 b	89.73 \pm 1.94 a	86.09 \pm 3.99 b	92.85 \pm 1.87 a
ST110-03	145.0	750	31.27 \pm 1.07 b	10.48 \pm 1.37 a	88.08 \pm 2.13 b	91.44 \pm 3.22 a	91.41 \pm 2.86 b	93.15 \pm 2.37 a
ST110-04	152.4	975	64.03 \pm 1.01 a	12.64 \pm 0.48 a	88.15 \pm 1.74 b	91.37 \pm 2.00 a	91.69 \pm 2.52 b	96.51 \pm 0.06 a

注:同列中雾滴密度、雾滴覆盖率或田间防治效果后字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: The value of droplet density, coverage ratio of droplet or efficacy in fields with different letters within the same column are significantly different at $P < 0.05$ significant level.

综合考虑 2.5 和 2.6 节的试验结果,在利用甲氨基阿维菌素苯甲酸盐防治甘蓝上的小菜蛾时,当药液质量浓度为 3 mg/L 时,若雾滴沉积效果达到图 2B 标准,即认为喷雾质量可以满足小菜蛾防治需要;若雾滴沉积效果达到图 2C 或图 2D 标准,则认为虽然可以达到防治效果,但会造成药液浪费,需要调整施药液量。当药液质量浓度为 4.2 mg/L 时,如果雾滴沉积效果达到图 2A 标准,即认为喷雾质量可以满足防治需要;如果雾滴沉积效果达到图 2B~2D 标准,则认为虽然可以达到效果,但会造成药液浪费,需要调整施药液量。



A. ST110-01; B. ST110-02; C. ST110-03; D. ST110-04

图 2 不同施药液量条件下雾滴密度和覆盖率对比卡
Fig. 2 Comparison on the density and coverage ratio of the droplet under different spraying volumes

3 讨论

化学农药防治农作物病虫害等有害生物时,除了药剂本身性质外,药液浓度、施药液量、雾滴密度等因素均与防治效果密切相关^[4,8]。当药液质量浓度过低时,为保证防治效果则需加大施药液量,因而

会造成药液流失;而浓度过高,会使单个雾滴中药剂含量超过害虫的致死剂量,造成农药浪费。因此,在田间喷雾时,应结合施药技术确定最佳农药质量浓度,以便在保证较好防治效果的前提下降低施药液量。本研究结果表明,当甲氨基阿维菌素苯甲酸盐质量浓度为 80 mg/L 时,增加施药液量并不能明显提高小菜蛾的死亡率;而当药剂质量浓度高于 160 mg/L 时,增加施药液量则小菜蛾死亡率增加明显。Merritt 等^[10]发现,在抑制小萝卜和野豌豆的鲜重方面,施用低施药液量、高浓度量的草甘膦要比施用高施药液量、低浓度的药效好。杨希娃等^[3]研究表明,吡虫啉小雾滴喷雾时对麦蚜药后 1 d 的防治效果高于大雾滴喷雾。

农药必须在防治靶标上形成一定的雾滴密度,才能发挥较好的防治效果。雾滴密度对于药剂的防治效果影响明显^[8]。本研究表明,当雾滴密度从 23 droplet/ cm^2 提高至 131 droplet/ cm^2 时,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐原药对小菜蛾的 LC_{50} 值从 1.66×10^2 mg/L 下降至 78.93 mg/L。因此,在病虫害的田间实际防治中,确定合理的雾滴密度,既能保证甲氨基阿维菌素苯甲酸盐对小菜蛾具有良好的防治效果,又能减轻药液浪费及其对环境的污染。

了解在靶标植物上的沉积规律,对指导科学施药有重要作用。本研究表明,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐在甘蓝叶片上的沉积量与雾滴大小和药液浓度关系密切。田间推荐剂量下,当施药液量高于 525 L/hm^2 时,药剂在甘蓝叶片上的沉积量并未随施药液量的增加而提高。这可能是由于施药液量大的喷头所喷出的雾滴体积中径也大,而大雾滴易发生弹跳而减少沉积;当施药液量超过靶标植物表面上药液流失点后,反而会导致大量药液从叶片上流

失。另外,甲氨基阿维菌素苯甲酸盐在具有不同倾角的载玻片上沉积量的差异显著,这可能与不同倾角载玻片对雾滴滞留效应不同有关。袁会珠等^[11]报道,小麦叶片倾角对液体最大持留量和流失点有显著影响,叶面倾角小,沉积在叶面上的液体发生滚动和流淌作用小,药液在叶面上最大持留量大。朱金文等^[1]研究也表明,毒死蜱乳油在水稻叶片上的沉积量随水稻叶片倾角变小而相应减少。庾琴等^[12]研究发现,当施药液量从 2 kg/株增加至 4 kg/株时,阿维菌素在苹果叶片上的沉积量并无显著增加,而流失到地面的药剂则从 2.98 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 增加至 6.10 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。本研究推荐了采用甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油在 2 种不同浓度下防治甘蓝上的小菜蛾时的喷雾标准,对于科学合理使用该乳油防治小菜蛾具有较好的指导作用。

致谢: 中国农业大学理学院何雄奎教授、宋坚利老师为雾滴剂测定、雾滴图像分析和叶面积测定提供帮助;中国农业科学院植物保护研究所芮昌辉研究员提供了小菜蛾试虫;江苏省农业科学院植物保护研究所顾中言研究员提供了雾滴收集装置。在此一并致谢!

参考文献 (Reference):

[1] 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.
ZHU Jinwen, WU Huiming, SUN Lifeng, *et al.* Influence of leaf incline angle, droplet size and spray volume on deposition of chlorpyrifos on rice plants[J]. *Acta Phytophy Sin*, 2004, 31(3): 259-263. (in Chinese).

[2] 杨希娃, 代美灵, 宋坚利, 等. 雾滴大小、叶片表面特性与倾角对农药沉积量的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(3): 70-73.
YANG Xiwa, DAI Meiling, SONG Jianli, *et al.* Effect of droplet size, leaf characteristics and angle on pesticide deposition [J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(3): 70-73. (in Chinese).

[3] 杨希娃, 周继中, 何雄奎, 等. 喷头类型对药液沉积和麦蚜防治的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 46-50.
YANG Xiwa, ZHOU Jizhong, HE Xiongkui, *et al.* Influences of nozzle types on pesticide deposition and insecticidal effect to wheat aphids[J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(7): 46-50. (in Chinese)

[4] 袁会珠, 陈万权, 杨代斌, 等. 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.
YUAN Huizhu, CHEN Wanquan, YANG Daibin, *et al.*

Relationship between the efficacy of wheat aphids control and the omethoate concentration, droplets density[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2000, 2(1): 58-62. (in Chinese)

[5] 徐德进, 顾中言, 徐广春, 等. 雾滴密度及大小对氯虫苯甲酰胺防治稻纵卷叶螟效果的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(4): 666-674.
XU Dejin, GU Zhongyan, XU Guangchun, *et al.* Effects of droplet density and droplet size on control efficiency of chlorantraniliprole against *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(4): 666-674. (in Chinese)

[6] 冯夏, 李振宇, 吴青君, 等. 小菜蛾抗性治理及可持续防控技术研究及示范[J]. 应用昆虫学报, 2011, 48(2): 247-253.
FENG Xia, LI Zhenyu, WU Qingjun, *et al.* Research progress of the resistance management and sustainable control of diamondback moth (*Plutella xylostella*) in China [J]. *Chin J Appl-Entomol*, 2011, 48(2): 247-253. (in Chinese)

[7] 周利娟, 黄继光, 徐汉虹. 珠三角地区小菜蛾田间种群的抗药性测定[J]. 华南农业大学学报, 2011, 32(1): 45-48.
ZHOU Lijuan, HUANG Jiguang, XU Hanhong. Insecticide resistance of *Plutella xylostella* from fields of Pearl River Delta [J]. *J South China Agric Univ*, 2011, 32(1): 45-48. (in Chinese)

[8] 崔丽, 王金凤, 秦维彩, 等. 机动弥雾法施用 70% 吡虫啉水分散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.
CUI Li, WANG Jinfeng, QIN Weicai, *et al.* Relationship between droplet density and field efficacy when applying imidacloprid 700WG against wheat aphids with knapsack mist-blower[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2010, 12(3): 313-318. (in Chinese)

[9] MUNTALI D C, WYATT I J. Factors affecting the biological efficiency of small pesticide droplets against *Tetranychus urticae* eggs[J]. *Pestic Sci*, 1986, 17(2): 155-164.

[10] MERRITT C R, EDWARDS R V. Developments in the use of glyphosate for the control of volunteer potatoes [J]. *The Associate of Appl Biol*, 1993, 35: 175-178.

[11] 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.
YUAN Huizhu, QI Shuhua, YANG Daibin. Study on the point of run-off and the maximum retention of spray liquid on crop leaves[J]. *Chin J Pestic Sci*, 2000, 2(4): 66-71. (in Chinese)

[12] 庾琴, 封云涛, 张润祥, 等. 喷雾压力与施药量对农药在苹果叶片沉积量的影响[J]. 农药, 2012, 51(11): 844-845.
YU Qin, FENG Yuntao, ZHANG Runxiang, *et al.* Influence of pressure and spray volume on deposition of pesticides on apple leaves [J]. *Agrochemicals*, 2012, 51(11): 844-845. (in Chinese)

(责任编辑: 曲来娥)