

喷雾助剂对三唑磷在水稻叶片上沉积量的影响

石伶俐^{1, 2}, 陈福良¹, 郑斐能¹, 王 仪¹, 谢 明¹

(¹中国农业科学院植物保护研究所/农业部农药化学与应用重点开放实验室, 北京 100193; ²北京清源保生物科技有限公司, 北京 100026)

摘要: 【目的】研究在三唑磷喷雾液中添加不同润湿剂及其与增黏剂组合, 以及喷药 0、1、2、4、8 h 后人工模拟降雨对三唑磷在水稻叶片上沉积量的影响。【方法】利用残留分析的气相色谱检测方法测定三唑磷喷雾药液在水稻叶片上的沉积量。【结果】润湿剂中仅 6501 能提高三唑磷在水稻叶片上的沉积量; 润湿剂与增黏剂组合, 特别是增加增黏剂的用量, 可以显著提高药液在水稻叶片上的沉积量及耐雨水冲刷的能力, 最佳助剂组合是质量分数为 0.025% 的 6501 与 0.02% 聚丙烯酸钠, 其沉积量高达 $77.4 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 是对照处理的 8 倍多。【结论】添加合适的助剂在同等药效下可以减少用药量, 达到降低用药成本和减少环境污染的目的。

关键词: 三唑磷; 沉积量; 润湿剂; 增黏剂; 模拟降雨

The Influence of Triazophos Deposition on Rice Leaves by Adding Spray Adjuvants

SHI Ling-li, CHEN Fu-liang, ZHENG Fei-neng, WANG Yi, XIE Ming

(¹ Institute of Plant Protection, CAAS/Key Laboratory of Pesticide Chemistry & Application Technology, Ministry of Agriculture, Beijing 100193; ² Beijing Kingbo Biotech Co. Ltd., Beijing 100026)

Abstract: 【Object】 The influence of triazophos deposition on rice leaves were studied by adding wetting agents and thickener in the dilution of triazophos, as well as simulated rainfall after 0, 1, 2, 4, and 8 h of spraying. 【Method】 By means of pesticide residue analysis method, the deposition of triazophos on rice leaves was detected by GC. 【Result】 The results showed that the combination of the wetting agent and thickener could increase the deposition significantly and resist the erosion of rain. The best combination was 0.025% of adjuvant 6501 and 0.02% of adjuvant PAAS in dilution of triazophos. The deposition of the best combination is $77.4 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, and it is seven times higher than that of CK treatment. 【Conclusion】 The addition of an appropriate spray adjuvant may decrease the pesticide dosage in equal field control efficacy and can achieve the goal of reducing control cost and environmental pollution.

Key words: triazophos; deposition; wetting agent; thickener; simulated rainfall

0 引言

【研究意义】水稻是中国主要的粮食作物, 种植面积近 3 400 万 hm^2 。南方为中国水稻的主产区, 水稻病虫害危害严重季节降雨较多, 雨水冲刷常导致农药有效成分在水稻叶片上的沉积量降低。而中国因作物品种繁多、复种指数高等导致害虫猖獗, 杀虫剂的使用量占农药总用量 50% 以上。针对现有杀虫剂利用

率偏低的问题, 利用助剂来提高杀虫剂在水稻叶片上的沉积量及耐雨水冲刷能力的研究具有现实意义。【前人研究进展】农药施用后只有部分有效成分沉积在靶标上, 大部分都进入环境中, 不但浪费农药, 而且造成对环境的污染。Himel 等^[1]估计只有 5% 的农药有效成分沉积在靶标上, 而 Graham-Bryce^[2]估计超过 97% 的有效成分因为流失和飘移进入环境中。一般认为在常规大容量喷雾中, 农药的利用率仅为 20%~30% 左

收稿日期: 2009-04-14; 接受日期: 2009-08-19

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2004BA516A02, 2004BA520A13)

作者简介: 石伶俐(1980—), 女, 江西峡江人, 工程师, 硕士, 研究方向生物农药分析工作。Tel: 13651255162。通信作者陈福良(1963—), 男, 福建仙游人, 副研究员, 博士, 研究方向农药剂型加工。Tel: 010-62815939; E-mail: flchen@ippcaas.cn

右。而农药的有效利用主要由农药剂型和相配合的施药器械 2 个因素起关键作用^[3]。而在中国目前生产规模较小的情况下，普遍使用的农药施药器械主要为手动喷雾器，因属于大容量常规喷雾，农药利用率低。近期全面更换喷雾器械还不太现实，而通过在农药制剂或喷雾药液中添加助剂来提高农药利用率是一条切实可行的途径。农药剂型加工和使用效果取决于助剂的种类和用量。助剂主要通过影响喷雾时的粒径、粒谱、粘度、表面张力等因素来影响农药在作物表面的沉积^[4]。有效沉积量取决于喷雾后沉积于叶片上的不溶性物质，制剂中耐雨水冲刷助剂的用量^[5]。为提高农药有效利用率，大部分喷雾施用的农药产品中都需要加入一种或几种助剂。Hall 等^[6]最初的研究表明乳油的沉积量受到 6 类助剂的影响。而喷雾助剂的添加也越来越普遍，在美国，超过 200 种农药标明至少需要添加一种喷雾助剂，有的甚至多达 6 种。Monsanto 公司仅为草甘膦开发了 Roundup Ultra、UltraMax 和 WeatherMax 等多种喷雾助剂产品^[5]。国外对喷雾助剂研究较多，不过大多数集中在除草剂的应用研究上，在杀虫、杀菌剂方面研究较少。国外零星报道了在杀虫剂中添加助剂能显著提高药效，降低有效成分的用量以及提高药液的耐雨水冲刷能力。Thomas^[7-8]报道了有机硅助剂能提高乐果的药效及其速效性，并在美国 5 个州的田间药效试验中发现添加 0.05% Dyne-Amic 助剂的 0.045 磅/英亩 Tracer 的药效与不添加助剂时 0.089 磅/英亩的药效相当。Kudsk^[9]测定了 3 种助剂用于噻吩磺隆 (thifensulfuron) 和苯磺隆 (tribenuron) 在白衣芥蓝上的耐雨水冲刷性能，发现只有植物油助剂能耐 3 mm·h⁻¹ 的雨水冲刷。Mulrooney 等^[10]研究发现 11 种助剂中仅 Bond 和 Agrimax-3 能提高联苯菊酯在棉花上的耐雨水冲刷能力。Holloway 等^[11]测定了 80 种植物叶面的接触角，发现其角度多在 92°~107°之间，提出针对不同靶标的生物特性的差异，可以使用不同种类的喷雾助剂及用量来改善农药的润湿性能、提高农药的耐雨水冲刷能力及田间药效。Monsanto 公司认为耐雨水冲刷喷雾助剂是未来助剂发展的主要方向^[5]。国内近年来也开展了这方面的研究，王庆海等^[12]研究了降雨及助剂对咪唑乙烟酸 (imazethapyr) 药效的影响，结果表明咪唑乙烟酸喷施后短时间内降雨，会降低其除草效果。罗正荣等^[13]研究施药后 30 min 降雨对百草枯 (paraquat) 的除草效果没有影响。武菊英等^[14]研究药后 6 h 降雨，烟嘧磺隆 (nicosulfuron) 药效不受影响。黄炳球等^[15]研究了表面活性剂

APSA-80 对井冈霉素 (jinggangmycin) 的耐雨水冲刷能力。【本研究切入点】不同种类助剂具有不同的作用。润湿剂能降低药液表面张力、增加药液对植株叶面的接触，使其润湿或加速其润湿过程。增黏剂能增加药液的粘度，降低蒸发，并减少由于雨水冲刷、刮风等以及植株叶片相互碰撞和摩擦造成的药剂流失，增加药剂在作物叶片上的沉积和持留。采用润湿剂与增黏剂 2 类助剂组合来提高杀虫剂沉积量的研究还未见报道。笔者曾研究过 6 种润湿剂对三唑磷喷雾液表面张力及其在水稻叶片上的接触角、最大持留量的影响^[16]，并研究了在喷雾液中添加增黏剂对药液粘度、药液体积中径 (VMD) 的影响。【拟解决的关键问题】本研究从中筛选出润湿性能较好的润湿剂 JFC、6501、Silwet408 和增黏剂聚丙烯酸钠、黄原胶进行沉积量测定，以期找到最佳的喷雾助剂组合。

1 材料与方法

1.1 试验材料

20% (质量分数，下同) 三唑磷 (triazophos) 乳油 (以山东胜邦鲁南农药有限公司生产的 85% 原药在实验室配制，其配方为 13% 农乳 2201，1% 农乳 500#，二甲苯余量)；三唑磷标样 (纯度大于 99.9%，农业部药检所提供)；助剂种类：润湿剂 Silwet408 (图、表中以 A 表示，上海 GE 有机硅有限公司提供)、烷基醇酰胺 (6501，图、表中以 C 表示，河北邢台市蓝星助剂厂提供)、C₇₋₉ 烷醇聚氧乙烯醚 (JFC，图、表中以 D 表示，北京蓝中玛生物技术有限公司提供)，增黏剂聚丙烯酸钠 (PAAS，图、表中以 B 表示，北京希涛技术有限公司提供)、黄原胶 (图、表中以 E 表示，河北新河县生物化工厂提供)；二氯甲烷、丙酮 (分析纯)。

供试植物：水稻，品种为粳甬优-1，温室花钵中生长 60 d，株高约 20 cm。

1.2 试验仪器

RE121 型旋转蒸发仪 (瑞士 Buchi Company)；AA-200 型万分之一电子天平 (Denver Instrument Company)；龙灯牌 3WCD-2 型多功能微电机喷雾器 (江苏龙灯仪器厂)；Varian 3400 气相色谱仪，FPD 检测器，DB-17 毛细管柱，30 m×0.53 mm。

1.3 添加喷雾助剂试验设计与药液的配制

根据喷雾助剂理化性能的试验结果^[16]，在水稻叶片上润湿剂 Silwet408、6501、JFC 的最大持留量、临界胶束浓度 (cmc)、较低的接触角均在用量 0.05%

(质量分数,下同)左右;增黏剂 PAAS 在喷雾液中的用量为 0.04%,三唑磷药液粘度为 9.5 mPa·s。据此设计添加的润湿剂 Silwet408、6501、JFC 以及增黏剂黄原胶用量为 0.025%、0.05%、0.1%,增黏剂 PAAS

用量为 0.01%、0.02%、0.03%,喷雾助剂组合的试验设计见表 1。每个处理 3 次重复。将配制的 20%三唑磷乳油用自来水稀释成 1 000 倍液,按照助剂在喷雾药液中所占的用量加入喷雾药液中,充分搅拌直至助

表 1 喷雾助剂组合的沉积量测定试验设计

Table 1 Trail scheme for the deposition of adjuvant combinations

处理 Treatments	Silwet 408(%)			6501(%)			JFC(%)		
	0.025(1)	0.05(2)	0.1(3)	0.025(1)	0.05(2)	0.1(3)	0.025(1)	0.05(2)	0.1(3)
PAAS (%)	0.01(1)	√			√				
	0.02(2)	√	√	√	√	√	√	√	√
	0.03(3)		√		√				
黄原胶	0.025(1)		√		√			√	
Xanthan (%)	0.05(2)	√	√	√	√	√	√	√	√
	0.1(3)		√		√			√	

剂完全溶解。

1.4 施药方法及试样前处理

喷雾器喷头离水稻植株 30 cm 高度处喷雾,喷至药液即将要从水稻叶片上流下为止,即喷雾量达到流失点时停止喷雾。喷雾流量 130 ml·min⁻¹,电机转速 8 500~11 500 r/min。

待药液自然干后,剪取水稻叶片,用分析天平称重;试样用 60 ml 二氯甲烷,分 3 次浸提,将提取液旋转浓缩至干,然后用丙酮定容至 5 ml,待测。

1.5 沉积量测定

气相色谱条件:气体流速 N₂: 30 ml·min⁻¹, H₂: 140 ml·min⁻¹, Air1: 80 ml·min⁻¹, Air2: 170 ml·min⁻¹。柱温:初温 150℃,保持 2 min,每分钟升温 10℃,终温 250℃,保持 6 min。三唑磷保留时间约为 15.5 min。采用外标法测定。

三唑磷在水稻叶片上的沉积量 D 按下式计算。

$$D=(A_{\text{样}} \times C_{\text{标}} \times V_{\text{样}})/(A_{\text{标}} \times m_{\text{样}})$$

式中:

D——三唑磷在水稻叶片上单位质量的沉积量 (μg·g⁻¹);

A_样——试样溶液中三唑磷峰面积的平均值;

A_标——标样溶液中三唑磷峰面积的平均值;

C_标——三唑磷标样纯度 (μg·ml⁻¹);

m_样——试样水稻叶片质量 (g);

V_样——试样测定时的定容体积 (ml)。

1.6 模拟降雨试验

选取沉积量测定中沉积量较高的和有代表性的助

剂组合进行耐雨水冲刷试验。在药液喷雾后 0、1、2、4、8 h 后模拟降雨,降雨程度相当于 26 mm 的降雨量,待叶片上水珠干后取样,其它程序同沉积量的测定。

2 结果与分析

2.1 添加润湿剂 Silwet408、6501、JFC 对沉积量的影响

喷雾液中添加润湿剂 Silwet408、6501、JFC 后三唑磷在水稻叶片上的沉积量测定结果见图 1。从中可见,添加润湿剂 Silwet408、JFC 后均使三唑磷在水稻叶片上的沉积量降低,只有 0.05% 6501 与对照相比沉

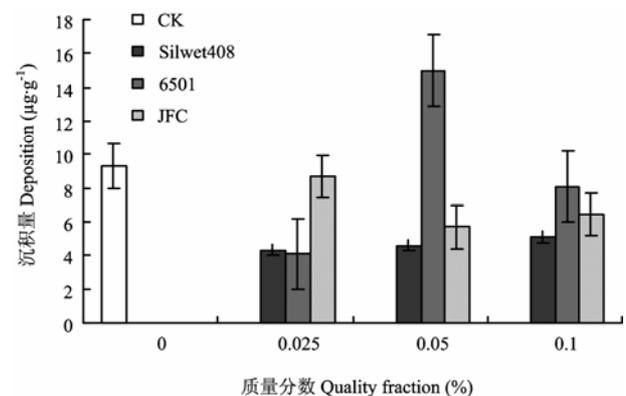


图 1 添加润湿剂 Silwet408、6501、JFC 在水稻叶片上的三唑磷沉积量

Fig. 1 The deposition on rice leaves when adding Silwet408, 6501, JFC in dilution of triazophos

积量有所提高。三唑磷沉积量大小为 6501>JFC>Silwet408。

2.2 添加增黏剂 PAAS 与 Silwet408、6501、JFC 组合对沉积量的影响

测定结果见表 2。表明 PAAS 的加入使三唑磷的沉积量得到显著提高。在添加 PAAS 与润湿剂 Silwet408、6501、JFC 的组合中, 6501 与 PAAS 的组合显著地提高了三唑磷在水稻叶片上的沉积量, 最佳的助剂组合为 C1+B2 (0.025% 6501+0.02% PAAS), 其沉积量高达 77.4 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 是对照处理 (9.34 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) 的 8 倍以上, 与其它的处理组合差异极显著, 其它的几个组合也比对照提高 4 倍左右, 差异也达到极显著, 但处理间差异不显著; JFC 与 PAAS 的组合中, 除了 D1+B2 组合与对照相比沉积量提高 4 倍左右以外, 其它组合与对照相比差异显著, 但提高的幅度不大; Silwet408 与 PAAS 的多数组合与对照比较差异不显著。表明提高药液在水稻叶片上的沉积量方面 6501、JFC 优于 Silwet408。这是由于 Silwet408 的润湿性能过强, 反而使药液易于流失所致。

表 2 添加 PAAS 与 Silwet408、6501、JFC 组合在水稻叶片上的三唑磷沉积量 ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

Table 2 The deposition on rice leaves when adding PAAS with Silwet408, 6501, JFC in dilution of triazophos ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

处理 Treatments	Silwet408(A)	6501(C)	JFC(D)
CK	9.34±1.33a AB	9.34±1.33a A	9.34±1.33a A
2+B1	10.3±3.86a AB	45.9±3.72b B	23.2±1.03c C
2+B3	6.58±2.97a A	42.1±0.70b B	20.9±1.94c C
1+B2	22.6±2.32b C	77.4±3.29c C	45.2±0.24d D
2+B2	19.8±5.08b BC	44.0±9.25b B	14.5±1.47b B
3+B2	11.9±3.37a ABC	38.0±20.5b AB	14.7±1.87b B

abc 差异显著, ABC 差异极显著

abc is variance significance, ABC is very variance significance

2.3 添加黄原胶与 Silwet408、6501、JFC 组合对沉积量的影响

测定结果见表 3, 黄原胶的加入使三唑磷的沉积量得到显著提高。在黄原胶与 Silwet408、6501、JFC 的组合中, A2+E2、C1+E2、D1+E2、D2+E1、D2+E2、D2+E3 等组合的沉积量均显著或极显著地高于对照, 其余低于或与对照差异不显著, 特别是 A2+E1 (0.05% Silwet408+0.025% 黄原胶) 组合的沉积量仅为对照的一半。黄原胶与 Silwet408 组合与 2.2 的试验结果一致,

验证了润湿性能优异的助剂, 其沉积效果反而不理想的结论; JFC 与 6501 组合与 2.2 的试验结果不一致, 这可能是增黏剂性质不同, 与不同润湿剂组合产生不同沉积效果所致, 其机理有待于进一步研究。

表 3 添加黄原胶与 Silwet408、6501、JFC 组合在水稻叶片上的三唑磷沉积量 ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

Table 3 The deposition on rice leaves when adding xanthan gum with Silwet408, 6501, JFC in dilution of triazophos ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

处理 Treatments	Silwet408(A)	6501(C)	JFC(D)
CK	9.34±1.33 ab AB	9.34±1.33 ab A	9.34±1.33a A
2+E1	4.43±0.08 a A	15.1±2.32 b A	25.8±3.16b AB
2+E3	11.6±3.77 bc AB	10.0±3.39ab A	25.9±4.63 b AB
1+E2	13.1±4.54 bc AB	25.3±3.61c B	25.0±8.07b AB
2+E2	17.5±1.54 c B	9.49±0.71ab A	33.0±11.5 b B
3+E2	11.8±2.77 bc AB	15.0±2.08 b A	9.79±2.80a A

abc 差异显著, ABC 差异极显著

abc is variance significance, ABC is very variance significance

2.4 喷药后模拟降雨对不同助剂组合下三唑磷沉积量的影响

喷药后不同时间降雨的沉积量测定结果见图 2。从中可以看出, 降雨对沉积量的影响非常显著, 对照模拟降雨后的沉积量约为无雨时的 20%, 表明降雨对药液在叶片上的沉积量影响非常大。但喷药后 1 和 2 h 降雨对沉积量的影响彼此间差异不显著, 喷药后 4、8 h 降雨沉积量反而普遍低于 1、2 h, 原因有待于进一步研究。

同时, 从图中也可以看出, 添加助剂组合的各时段模拟降雨后三唑磷的沉积量均高于对照, 添加 C1+B2 组合的三唑磷药液在喷药后模拟降雨的沉积量显著高于其它助剂组合, 与无雨时的沉积量测定结果一致。表明添加助剂可提高耐雨水冲刷能力。方差分析结果表明, 0.025% 6501+0.02% PAAS 组合处理间差异极显著, 而其它的处理间差异不显著。

添加 C2+B1 组合的沉积量则明显低于 C1+B2 组合, 无雨时的两者沉积量相差 1.7 倍, 而在喷药后 0、1、2、4 及 8 h 模拟降雨, 其两者沉积量相差倍数为 3.0、3.7、4.6、2.8、1.8 倍, 在喷药后 2 h 模拟降雨相差倍数最高, 达 4.6 倍, 在喷药后 8 h 模拟降雨则和无雨时的相差倍数接近。表明增黏剂在模拟降雨后对药液的沉积起主要作用, 增黏剂用量增加 1 倍 (从 0.1% 增加到 0.2%), 药液在叶片上的沉积量提高 1.8 倍以

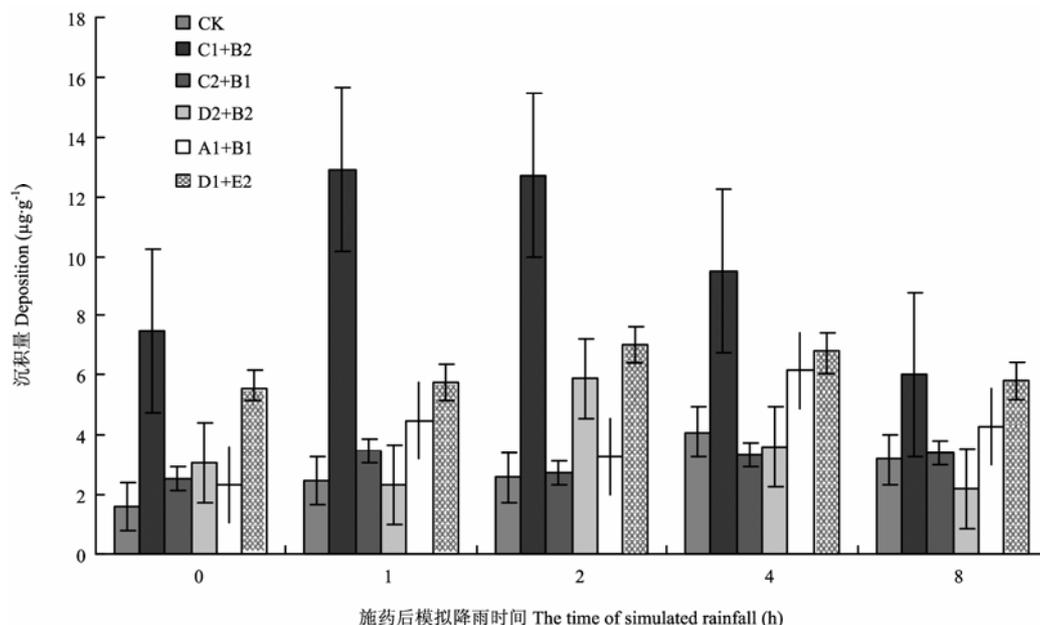


图2 喷药后不同时间降雨对不同助剂组合下三唑磷沉积量的影响

Fig. 2 Effect of simulated rainfall on triazophos deposition on rice leaves when adding adjuvant combinations in dilution of triazophos

上,对在喷药后即降雨者影响尤其大,喷药后1~2 h降雨,添加助剂组合其沉积量提高3.0倍以上。在喷药后8 h降雨,则对两者沉积量的相差倍数影响很小,但对沉积量的绝对值影响较大。

3 讨论

由于试验的水稻处于幼苗期,叶片细小,需要量较大(残留量测定,需要较多的水稻叶片,才能测定出三唑磷沉积量),且为便于有机溶剂浸提,把叶片剪成小段,故难于测定叶片面积,而以单位叶片质量代替单位叶面积。处于相同生育期的水稻叶片,单位叶面积与叶片质量应成正相关。

在三唑磷药液中仅添加润湿剂时其沉积量大小与最大持留量的测定^[16]结果一致(理化性能测定显示润湿性能为Silwet408>JFC>6501,最大持留量为6501>JFC>Silwet408^[16])。这其中的原因可能是Silwet408润湿性能太强,反而使药液易于流失,降低了有效成分的沉积量,这与Holloway等^[11]研究发现使用Silwet 77时有效成分的沉积量低于其它助剂的结果一致。

增黏剂与润湿剂组合可以显著提高药液在水稻叶片上的沉积量,这是由于所选的助剂组合其润湿剂润湿性不及Silwet408,不至于润湿性太强而造成药液流失,而增黏剂的增黏效果突出,两者结合有效提高了

药液在水稻叶片的粘着和铺展,不但提高了药液对靶标的润湿作用,而且增加了对靶标的沉积效果,从而提高了杀虫剂在靶标上的沉积量。但不是所有的润湿剂与增黏剂组合均可提高三唑磷的沉积量,这可能是添加的助剂种类与有效成分的配伍不合适所致。Howell^[17]研究了5种杀菌剂助剂对10种杀虫剂在控制棉铃虫、飞虱上没有明显效果。因此,喷雾助剂的使用需要科学试验作为依据,否则不但不能提高农药利用率,反而可能降低农药的沉积量。

降雨对农药的沉积量影响非常大,虽然添加助剂可以提高药液在水稻叶片上的沉积量,但与无雨时相比,沉积量的降低还是非常显著的。增黏剂用量增加,耐雨水冲刷能力明显增强,说明粘着作用可以提高药液耐雨水冲刷能力。模拟降雨试验结果为不宜在雨天喷药提供了科学依据,如果必须在雨天喷药,建议在喷雾液中适当添加一些增黏剂提高药液的耐雨水冲刷能力。

三唑磷为具有一定渗透作用的有机磷类杀虫剂,在常规乳油制剂中仅添加了具有乳化作用的常规乳化剂,不具备良好的润湿性能,而水稻叶片表面难于润湿,故有效成分沉积量低。而添加合适的喷雾助剂,特别是具有一定润湿性和增黏作用的助剂组合能显著提高三唑磷药液在水稻叶片上的沉积量,减少用药量,

提高其耐雨水冲刷能力, 同时减少稻田生态环境中的农药流失, 达到降低农药污染的目的。

4 结论

4.1 在三唑磷喷雾药液中, 仅添加润湿剂不能有效提高三唑磷在水稻叶片上的沉积量;

4.2 助剂 6501 与聚丙烯酸钠组合可以大幅度提高三唑磷在水稻叶片表面上的沉积量, 其 0.025% 6501 与 0.02% 聚丙烯酸钠的组合其沉积量高达 $77.4 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, 是对照处理的 8 倍多;

4.3 模拟降雨试验结果表明, 降雨对农药有效成分沉积量的影响非常显著, 对照模拟降雨后的沉积量约为无雨时的 20%。添加 0.025% 6501 与 0.02% 聚丙烯酸钠的组合在降雨后其沉积量显著高于其它的处理, 说明该助剂组合能够耐雨水冲刷。

References

- [1] Himel C M, Loats H, Bailey G W. Pesticide Sources to the Soil and Principles of Spray Physics, in: *Pesticide in the Soil Environment: Process, Impact, and Modeling*. Cheng H H, ed., Soil Science society of America Book Series, America Winconsin, 1990: 7-50.
- [2] Graham-Bryce I J. A consideration of the effectiveness and disadvantages of current methods and of the scope for improvement. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 1977, 281: 163-179.
- [3] Burges H D. *Formulation of Microbial Biopesticides*. Kluwer Academic publishers, 1998: 11, 21.
- [4] Sundaram A. Droplet and Deposit Patterns of One Pseudoplastic and Three Newtonian Spray Mixtures Following Spray Application under Laboratory Conditions. in: *Pesticide Formulation and Application Systems*, Vol. 8, ASTM STP 980, Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1988, 225-241.
- [5] Duncan Allision. *Adjuvants and Additives in Crop Protection*. PJB Publications Ltd, 2003: 36-37.
- [6] Hall K J, Western N M, Holloway P J, Stock D. Effects of adjuvant oil emulsions on foliar retention and spray quality. *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference Weeds*, 1997: 549-554.
- [7] Thomas J M. Effect of dimethoate efficacy on thrips and plant bugs in cotton. in: mcmullan eds. *Fifth ISAA Memphis US*. Aug 1998: 342-346.
- [8] Thomas J M. Enhancement of insecticide efficacy by novel adjuvants. in: mcmullan eds. *Fifth ISAA Memphis US*. 1998: 347-351.
- [9] Kudsk P. The effect of adjuvants on the rainfastness of thifensulfuron and tribenuron. *Adjuvants for Agrichemicals*, 2003: 441-445.
- [10] Mulrooney J E, Elmore C D. Rainfastness of bifenthrin on cotton leaves with selected adjuvants. *Journal of Environmental Quality*, 2000, 29(6): 1863-1866.
- [11] Holloway P J, Ellis M C B, Webb D A, Western N M, Tuck C R, Hayes A L, Miller P C H. Effects of some agricultural tank-mix adjuvants on the deposition efficiency of aqueous sprays on foliage. *Crop Protection*, 2000, 19: 27-37.
- [12] 王庆海, 武菊英, 江国镗. 降雨及助剂对咪唑乙烟酸药效的影响. *农药学报*, 2003, 5(3): 55-58.
Wang Q H, Wu J Y, Jiang G K. Effects of rainfall and adjuvants on phytotoxicity of imazethapyr. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2003, 5(3): 55-58. (in Chinese)
- [13] 罗正荣, 付强, 谢志兵. 模拟降雨对百草枯除草效果的影响. *果树科学*, 1995, 12(2): 104-106.
Luo Z R, Fu Q, Xie Z B. Influence on control weed of paraquat to simulate rainfall. *Journal of Fruit Science*, 1995, 12(2): 104-106. (in Chinese)
- [14] 武菊英, Mathiassen S, Kudsk P. 杂草种类、叶龄及药后降水时间对烟嘧磺隆药效的影响. *农药学报*, 2003, 5(1): 77-81.
Wu J Y, Mathiassen S, Kudsk P. The influence of weed species, leaf stage and rainfastness on the performance of nicosulfuron. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2003, 5(1): 77-81. (in Chinese)
- [15] 黄炳球, 胡美英, 黄端平, 侯任环, 翁群芳. 表面活性剂 APSA-80 对井冈霉素的增效作用研究. *植物病理学报*, 1999, 29(2): 169-173.
Huang B Q, Hu M Y, Huang D P, Hou R H, Weng Q F. Studies on synergistic action of surfactant apsa-80 on jinggangmycin. *Acta Phytopathologica Sinica*, 1999, 29(2): 169-173. (in Chinese)
- [16] 石伶俐, 陈福良, 郑斐能, 谢明, 万方浩. 助剂提高杀虫剂在水稻叶片上附着率的初步研究//农药与环境安全国际会议论文集. 北京: 中国农业大学出版社, 2005: 426-431.
Shi L L, Chen F L, Zheng F N, Xie M, Wan F H. Study on the improvement of pesticide disposition on rice leaves by adjuvants. // *Proceedings of International Symposium on Pesticide and Environmental Safety*. Beijing: China Agricultural University Press, 2005: 426-431. (in Chinese)
- [17] Howell M S. Effects of spray adjuvants on insecticides application, efficacy, rainfastness, penetration of the plant canopy and residual activity[D]. Mississippi: Mississippi State University, 2002.

(责任编辑 毕京翠, 李莉)