

阳离子助剂 1227 和 C₈₋₁₀ 及有机硅助剂 Breakthru S240 对三种杀虫剂的增效作用

刘永强¹, 张贵森¹, 周超¹, 王伟¹, 胡延萍², 慕卫^{1,*}

(1. 山东农业大学植物保护学院, 山东泰安 271018; 2. 章丘植保站, 山东章丘 250200)

摘要: 为提升杀虫剂防效, 减少杀虫剂用量, 提高农产品安全, 本研究采用虫体浸渍法研究了阳离子助剂 1227 和 C₈₋₁₀ 及有机硅助剂 Breakthru S240 对高效氯氰菊酯、毒死蜱和溴虫腈在甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 幼虫和棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 幼虫上的增效作用, 并测定了 3 种助剂对清水物理性状的影响。结果表明: (1) 供试助剂在两试虫上对 3 种杀虫剂均有显著增效作用, 且增效比与助剂浓度存在显著相关关系。相同浓度下, 除 Breakthru S240 对毒死蜱在棉铃虫上增效作用高于 1227 外, 3 种助剂在两试虫上对 3 种杀虫剂增效作用均为 C₈₋₁₀ > 1227 > Breakthru S240。3 种助剂在甜菜夜蛾上对 3 种杀虫剂的最佳增效浓度均为 900 mg/L。3 种助剂在棉铃虫上对 3 种杀虫剂的最佳增效浓度分别为 900, 300 和 900 mg/L。(2) 3 种助剂对清水物理性状均有显著影响。相同浓度下, 供试助剂对清水表面张力的降低能力、对扩展直径和最大稳定持留量的增强能力均为 Breakthru S240 > 1227 > C₈₋₁₀。综上所述, 阳离子助剂 1227 和 C₈₋₁₀ 对 3 种杀虫剂在两试虫上的增效作用显著高于有机硅助剂 Breakthru S240, 但后者对于提高杀虫剂在叶表沉积量的能力高于前者, 研究结果为 3 种助剂在杀虫剂领域的应用提供了一定的依据。

关键词: 杀虫剂; 阳离子助剂; 有机硅助剂 Breakthru S240; 甜菜夜蛾; 棉铃虫; 增效作用; 增效比

中图分类号: Q965.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 0454-6296(2011)08-0902-08

Synergistic action of cationic adjuvants 1227 and C₈₋₁₀ and the silicone adjuvant Breakthru S240 to three insecticides

LIU Yong-Qiang¹, ZHANG Gui-Sen¹, ZHOU Chao¹, WANG Wei¹, HU Yan-Ping², MU Wei^{1,*} (1. College of Plant Protection, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China; 2. Plant Protection Station of Zhangqiu County, Zhangqiu, Shandong 250200, China)

Abstract: In order to increase the control effects, reduce the use of insecticides, enhance the safety of agricultural products, the synergism of two cationic adjuvants (1227 and C₈₋₁₀) and one silicone adjuvant (Breakthru S240) to three insecticides beta-cypermethrin, chlorpyrifos and chlorfenapyr against 3rd-instar larvae of the *Spodoptera exigua* (Hübner) and *Helicoverpa armigera* (Hübner) were studied by dipping method, and the influence of the three adjuvants on physical properties of water was determined. The results showed that: (1) all of the tested adjuvants showed significant synergism to those insecticides, and the synergism ratio was significantly correlated to the concentration of adjuvant. The synergism ability of tested adjuvants to those insecticides against *S. exigua* and *H. armigera* was C₈₋₁₀ > 1227 > Breakthru S240 under the same concentration, except that Breakthru S240 showed higher synergism ability to 1227 against *H. armigera*. The optimum synergistic concentration of tested adjuvants to those insecticides against *S. exigua* was 900 mg/L, while against *H. armigera* it changed into 900 mg/L (1227), 300 mg/L (C₈₋₁₀) and 900 mg/L (Breakthru S240), respectively. (2) All of the tested adjuvants showed significant influence on the physical properties of water. Reducing ability of surface tension, as well as the increasing ability of expanded diameter and the maximum retention of tested adjuvants to water were Breakthru S240 > 1227 > C₈₋₁₀ under the same concentration. In conclusion, the synergism of tested cationic adjuvants (1227 and C₈₋₁₀) to three insecticides against both *S. exigua* and *H. armigera* was significantly higher than that of silicone adjuvant (Breakthru S240), while the latter showed better ability to enhance insecticide deposition on plant leaves than the former. These results provide theoretical proofs for the application of the tested adjuvants.

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200803007)

作者简介: 刘永强, 男, 1985年生, 山东滨州人, 硕士研究生, 研究方向为农药毒理与应用技术, E-mail: lyq364467268@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, Tel.: 0538-8242611; E-mail: muwei@sdau.edu.cn

收稿日期 Received: 2010-09-26; 接受日期 Accepted: 2011-06-15

Key words: Insecticide; cationic adjuvant; silicone adjuvant Breakthru S240; *Spodoptera exigua*; *Helicoverpa armigera*; synergism; synergism ratio

通过使用无毒或低毒的增效助剂, 提高药剂防效是降低农药用量的有效途径之一。当前使用的增效助剂主要包括内增效剂和外增效剂, 内增效剂仅有几个酶抑制剂品种, 外增效剂多为阴离子型和非离子型渗透助剂。有机硅表面活性剂因具有良好的湿润性、粘附力、延展性和抗雨冲刷性等物理性状, 可用作外增效剂提高药剂防治效果, 目前在病害和草害防治中应用较多(周婉秋和李皓, 1999; 逢森等, 2005)。易降解、污染小、生态性能优良的季铵盐阳离子表面活性剂已广泛用于工业杀菌、防腐、采油、用作相转移催化化学材料和生物碱分离等领域(van Der Voort *et al.*, 1998; 付翼峰等, 2001; Achouri *et al.*, 2001; 王海峰等, 2003), 而将其作为杀虫剂或增效助剂与杀虫剂混配的研究仅见如下报道: 马国兰等(2007)研究表明阳离子 1831(十八烷基三甲基氯化铵)对蔬菜蚜虫具有较好防效; 陈召亮等(2007)研究表明阳离子助剂对阿维菌素在小菜蛾上具有增效作用。本研究以甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 和棉铃虫 *Helicoverpa armigera* 幼虫为供试昆虫, 在测定了 3 种助剂与 3 种常用化学药剂不同比例混用的增效作用的基础上, 比较了阳离子助剂 1227(十二烷基二甲基苄基氯化铵)和 C₈₋₁₀(双八、十烷基季铵盐)溶液与有机硅助剂 Breakthru S240(一种聚醚硅氧烷)溶液的物理性状, 为其进一步的开发应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试昆虫

供试棉铃虫 *H. armigera* 及甜菜夜蛾 *S. exigua* 均为本实验室室内继代饲养。饲养方法参照慕卫等(2002), 实验时选取虫体大小一致, 健康活泼的 3 龄幼虫。

1.2 供试药剂及助剂

高效氯氰菊酯原药(95%), 山东大成农药股份有限公司; 毒死蜱原药(97%), 美国陶氏益农公司; 溴虫腈原药(94.5%), 巴斯夫欧洲公司; 1227(45%)、C₈₋₁₀(46.5%), 山东省枣庄市中区泰和化工厂; 有机硅 Breakthru S240(100%), 力科新材(深圳)贸易有限公司。

将高效氯氰菊酯原药、毒死蜱原药加入适量非

离子乳化剂分别加工成 4.5% 和 40% 的乳油, 将溴虫腈原药加工成 10% 溴虫腈悬浮剂。使用时用去离子水稀释成 5 个梯度浓度, 在各浓度药液中加入供试助剂, 使其在药液中的含量分别为 11.11, 33.33, 100, 300 和 900 mg/L, 以相同用量的助剂加非离子乳化剂的去离子水溶液为对照。

1.3 虫体浸渍法施药

分别将甜菜夜蛾和棉铃虫 3 龄幼虫于稀释好的药液中浸渍 3 s, 取出晾干虫体表面的药液, 然后放入装有甘蓝圆叶片 2 片(直径 1.5 cm)的 24 孔板中, 每孔一头试虫。每处理 24 头试虫, 重复 3 次, 处理后 48 h 检查幼虫死虫数。计算校正死亡率, 求出 LC₅₀ 值, 计算助剂对药剂的增效作用。

1.4 3 种助剂表面张力的测定

用去离子水配制系列浓度的 3 种助剂, 用 JYW-200 表面张力仪测定。

表面张力降低倍数 = 清水的表面张力/助剂溶液表面张力。

1.5 3 种助剂扩展性能的测定

参照章晓花(2008)测定方法, 选择一块水平的试验台面, 控制相对湿度介于 35% ~ 70% 之间, 温度介于 22 ~ 26℃ 之间。取 10 μL 配好的不同助剂溶液滴于培养皿底部中央; 30 s 后, 用油性记号笔标记扩展区域, 量取两个十字交叉的扩展直径。如果扩展面积不规则, 则量取最长和最短的两个直径。做 3 次平行试验, 对 6 个直径进行平均, 计算平均扩展直径。扩展直径增加倍数 = 助剂溶液扩展直径/清水扩展直径。

1.6 浸渍法测定 3 种助剂溶液最大稳定持留量

参照袁会珠等(2000)测定方法, 剪取甘蓝叶片, 用天平称重(W_0 , g), 而后用镊子夹持垂直放入各处理溶液中 3 ~ 5 s, 迅速把叶片拉出水面, 垂直悬置, 待其不再有液滴流淌时称重(W_1 , g), 测定叶片面积, 重复 10 次, 计算平均数, 计算叶片上的助剂溶液最大稳定持留量 R_m (μL/cm²)。

最大稳定持留量 R_m (μL/cm²) = ($W_1 - W_0$) × 1 000/叶片面积(cm²)。

其中, W_1 : 浸渍后叶片重量; W_0 : 浸渍前叶片重量。

1.7 数据统计与分析

生物测定试验每次的对照死亡率在 10% 以下,

用 Abbott 公式校正各处理死亡率, 用 DPS v7.05 数据处理系统计算 LC_{50} 值、95% 置信限。3 种助剂对清水物理特性的影响采用 Duncan 氏新复极差检验差异显著性。

增效比 = 药剂的 LC_{50} / (助剂 + 药剂的 LC_{50})。

2 结果与分析

2.1 浸渍法测定阳离子助剂 1227 和 C_{8-10} 及有机硅助剂 Breakthru S240 对 3 种杀虫剂在甜菜夜蛾上的增效作用

由表 1 可知, C_{8-10} 和 1227 对高效氯氰菊酯在甜菜夜蛾上的增效作用均随助剂浓度的增加而增大, C_{8-10} 增效作用最好, 浓度在 900 mg/L 时增效比可达 2.4。有机硅助剂 Breakthru S240 仅在浓度为 900 mg/L 时, 对高效氯氰菊酯显示出了增效作用, 增效比为 1.95。3 种助剂浓度在 900 mg/L 对毒死蜱增效作用达到最大, 增效比在 1.6 左右, C_{8-10} 和 1227 对毒死蜱的增效作用随阳离子浓度的增加而增大, 有机硅助剂 Breakthru S240 仅在 900 mg/L 时对毒死蜱显示出了增效作用。3 种助剂以 C_{8-10} 对溴虫腈增效作用最好, 并随浓度增加而提高, 在 900 mg/L 时增效比可达 2.38。1227 浓度在 11.11 ~ 900 mg/L 之间, 对溴虫腈增效比均维持在 1.4 左右。有机硅助剂 Breakthru S240 仅在浓度为 900 mg/L 时, 对溴虫腈显示出了增效作用, 增效比为 1.65。

2.2 浸渍法测定阳离子助剂 1227 和 C_{8-10} 及有机硅助剂 Breakthru S240 对 3 种杀虫剂在棉铃虫上的增效作用

由表 2 可知, 3 种助剂对高效氯氰菊酯在棉铃虫上增效作用以 C_{8-10} 增效最大, 浓度在 900 mg/L 时增效比可达 1.83, 其次为 1227, 其增效作用均随助剂浓度的增加而增大。有机硅助剂 Breakthru S240 仅在浓度为 300 和 900 mg/L 时, 对高效氯氰菊酯显示出了增效作用, 增效比分别为 1.34 和 1.56。1227 对毒死蜱在棉铃虫上未显示出增效作用, 且 1227 浓度在 300 mg/L 时对毒死蜱防效有抑制作用。 C_{8-10} 对毒死蜱增效作用显示为先升高后降低, 在 100 mg/L 时对毒死蜱增效达到最高, 增效比为 1.87。有机硅 Breakthru S240 仅在浓度为 900 mg/L 时, 对毒死蜱显示出了增效作用, 增效比为 1.39。3 种助剂对溴虫腈在棉铃虫上增效作用以 C_{8-10} 增效最大, 浓度在 900 mg/L 时增效比可达 1.88, 其次为 1227, 增效作用均随助剂浓度的增加

而增大。有机硅助剂 Breakthru S240 仅在浓度为 900 mg/L 时, 对溴虫腈显示出了增效作用, 增效比为 1.45。

2.3 阳离子助剂 1227 和 C_{8-10} 及有机硅助剂 Breakthru S240 对清水物理性状的影响

由表 3 可知, 3 种助剂 1227, C_{8-10} 和有机硅助剂 Breakthru S240 表面张力均随浓度的增加而降低, 在浓度为 900 mg/L 时, C_{8-10} 和有机硅助剂 Breakthru S240 表面张力为 21.97 和 19.2 mN/m, 明显低于 1227 表面张力 32.1 mN/m, C_{8-10} 、有机硅助剂 Breakthru S240 和 1227 对表面张力降低倍数分别为 3.31, 3.79 和 2.27。3 种助剂的扩展直径均随浓度的增加而升高, 3 种助剂同一浓度扩展直径有机硅助剂 Breakthru S240 > C_{8-10} > 1227。3 种助剂浓度在 900 mg/L 时, 有机硅助剂 Breakthru S240 扩展直径接近 180 mm, 明显高于 C_{8-10} (100 mm) 和 1227 (80 mm), 扩展直径增加倍数分别为 2.76, 1.67 和 1.47。3 种助剂溶液在甘蓝叶片上的最大稳定持留量均随浓度的增加而升高, 3 种助剂同一浓度最大稳定持留量有机硅助剂 Breakthru S240 > C_{8-10} > 1227。3 种助剂浓度在 900 mg/L 时, 有机硅助剂 Breakthru S240, C_{8-10} 和 1227 最大稳定持留量分别为 5.6, 5.4 和 5 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, 比清水最大稳定持留量均增加近 3 倍。

3 讨论

增效助剂主要通过影响药液物理性状、改变害虫代谢解毒酶活性、减小药剂表皮穿透速率、降低害虫靶标部位敏感性来提升防效 (高聪芬等, 1996)。陈召亮等 (2007) 认为阳离子助剂对杀虫剂物理性状的影响并非为其产生增效作用的原因, 本研究有机硅助剂 Breakthru S240 助剂在 11.11 ~ 300 mg/L 时未显示出明显增效作用也间接证明了这点。董泽华等 (1997) 研究表明阳离子表面活性剂杀菌机制主要通过正离子头基吸附在负电荷的细菌菌体表面, 改变其细胞壁的通透性来完成的, 此外, 其吸附到细菌体表面后, 有利于疏水基与亲水基分别深入菌体细胞的类脂层与蛋白层, 导致酶失去活性和蛋白质变性。因此, 阳离子助剂对杀虫剂的增效机制可能为通过正离子头基吸附在负电荷的虫体表面, 使昆虫细胞膜中蛋白质变性从而改变通透性, 导致更多的药剂进入虫体, 提高杀虫效果, 同时进入虫体的阳离子助剂也可能影响害虫体内酶

表 1 阳离子助剂 1227 和 C₈₋₁₀ 及有机硅助剂 Breakthru S240 对 3 种杀虫剂在甜菜夜蛾上的增效作用
 Table 1 Synergistic action of cationic adjuvants 1227 and C₈₋₁₀ and the silicone adjuvant Breakthru S240 to three insecticides against *Spodoptera exigua* with dipping method

药剂 Insecticides	助剂 Adjuvants	助剂浓度 (mg/L) Concentration of adjuvant	斜率 ± SE Slope ± SE	LC ₅₀ (mg/L) (95% CL)	增效比 Synergism ratio		
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	1227	0	1.5701 ± 0.0530	456.34(426.91 - 487.80)	-		
		11.11	1.6346 ± 0.0516	337.69(317.77 - 358.86)	1.35		
		33.33	1.6154 ± 0.0186	327.00(319.81 - 334.36)	1.40		
		100	1.6712 ± 0.0751	302.30(276.92 - 330.01)	1.51		
		300	1.6091 ± 0.0519	271.25(254.32 - 289.32)	1.68		
		900	1.6407 ± 0.0824	231.82(208.55 - 257.68)	1.97		
		11.11	1.5467 ± 0.0351	313.09(299.59 - 327.19)	1.46		
		33.33	1.5509 ± 0.0381	256.85(244.35 - 270.00)	1.78		
		100	1.6710 ± 0.0751	302.28(276.90 - 329.98)	1.51		
	有机硅助剂 Breakthru S240 Silicone Breakthru S240	300	1.4273 ± 0.0264	225.47(216.76 - 234.52)	2.02		
		900	1.5556 ± 0.0181	189.94(184.95 - 195.07)	2.40		
		11.11	1.3608 ± 0.0361	451.82(329.59 - 619.31)	1.01		
		33.33	1.5283 ± 0.0440	414.85(377.68 - 455.69)	1.10		
		100	1.4294 ± 0.0885	374.05(305.00 - 458.70)	1.22		
		300	1.9074 ± 0.1247	390.03(353.75 - 430.03)	1.17		
		900	1.8383 ± 0.0684	234.02(166.97 - 328.04)	1.95		
		毒死蜱 Chlorpyrifos	1227	0	1.9277 ± 0.1183	412.69(366.29 - 464.97)	-
				11.11	1.9853 ± 0.1283	371.98(327.19 - 422.91)	1.11
33.33	1.7234 ± 0.1370			298.94(252.30 - 354.20)	1.38		
100	2.0965 ± 0.2658			273.02(206.11 - 361.63)	1.51		
300	1.8757 ± 0.1606			268.24(221.54 - 324.79)	1.54		
900	2.0805 ± 0.2302			260.09(202.41 - 334.20)	1.59		
11.11	1.6808 ± 0.0584			340.04(316.82 - 364.96)	1.21		
33.33	1.8586 ± 0.0444			289.02(274.46 - 304.36)	1.43		
100	1.5911 ± 0.0611			338.68(313.17 - 366.27)	1.22		
有机硅助剂 Breakthru S240 Silicone Breakthru S240	300		1.8854 ± 0.1238	267.57(231.01 - 309.90)	1.54		
	900		1.8363 ± 0.1097	251.25(218.96 - 288.29)	1.64		
	11.11		1.7884 ± 0.0774	396.82(352.07 - 447.26)	1.04		
	33.33		2.0523 ± 0.0910	389.33(292.80 - 517.69)	1.06		
	100		1.9029 ± 0.1502	404.60(333.17 - 491.34)	1.02		
	300		1.9723 ± 0.2210	375.17(260.38 - 540.57)	1.10		
	900		1.9627 ± 0.0928	257.93(158.17 - 420.60)	1.60		
	1227		0	1.6053 ± 0.0850	24.88(22.42 - 27.62)	-	
			11.11	1.8514 ± 0.0973	20.19(18.25 - 22.33)	1.23	
33.33		1.8840 ± 0.1051	18.63(16.73 - 20.74)	1.34			
100		1.8095 ± 0.0450	18.72(17.84 - 19.64)	1.33			
300		1.8456 ± 0.0465	17.28(16.45 - 18.14)	1.44			

续表 1 Table 1 continued

药剂 Insecticides	助剂 Adjuvants	助剂浓度(mg/L) Concentration of adjuvant	斜率 ± SE Slope ± SE	LC ₅₀ (mg/L) (95% CL)	增效比 Synergism ratio
溴虫脲 Chlorfenapyr	C ₈₋₁₀	900	1.7401 ± 0.0650	17.04(15.84 – 18.32)	1.46
		11.11	1.7084 ± 0.0668	20.86(19.35 – 22.49)	1.19
		33.33	1.8157 ± 0.0691	17.44(16.20 – 18.78)	1.43
		100	1.5353 ± 0.0593	13.24(12.21 – 14.35)	1.88
		300	3.8523 ± 0.6895	12.44(10.06 – 15.39)	2.00
		900	1.5926 ± 0.1240	10.47(8.75 – 12.53)	2.38
	有机硅助剂 Breakthru S240 Silicone Breakthru S240	11.11	1.6542 ± 0.1434	23.92(22.60 – 25.32)	1.04
		33.33	1.6734 ± 0.1097	23.25(17.87 – 30.25)	1.07
		100	1.7957 ± 0.1367	24.63(18.16 – 33.40)	1.01
		300	1.7394 ± 0.1188	21.45(18.07 – 25.46)	1.16
		900	1.8900 ± 0.0882	15.08(10.33 – 22.01)	1.65

用 Abbott 公式校正各处理死亡率, 用 DPS v7.05 数据处理系统计算 LC₅₀ 值、95% 置信限; 表 2 同。In all experiments, mortality was adjusted by Abbott's formula, LC₅₀ and 95% CL were determined by DPS v7.05. The same for Table 2.

表 2 阳离子助剂 1227 和 C₈₋₁₀ 及有机硅助剂 Breakthru S240 对 3 种杀虫剂在棉铃虫上的增效作用
Table 2 Synergistic action of cationic adjuvants 1227 and C₈₋₁₀ and the silicone adjuvant Breakthru S240 to three insecticides against *Helicoverpa armigera* with dipping method

药剂 Insecticides	助剂 Adjuvants	助剂浓度(mg/L) Concentration of adjuvant	斜率 ± SE Slope ± SE	LC ₅₀ (mg/L) (95% CL)	增效比 Synergism ratio	
高效氯氰菊酯 Beta-cypermethrin	1227	0	1.6912 ± 0.0700	22.14(20.49 – 23.93)	0.00	
		11.11	1.8769 ± 0.1469	15.27(13.02 – 17.91)	1.45	
		33.33	2.3241 ± 0.2780	15.58(12.24 – 19.84)	1.42	
		100	2.2858 ± 0.1499	12.43(10.74 – 14.38)	1.78	
		300	2.3190 ± 0.2471	14.30(11.44 – 17.86)	1.55	
		900	1.9496 ± 0.0526	12.32(11.60 – 13.09)	1.66	
		11.11	1.7473 ± 0.2013	15.23(12.04 – 19.26)	1.45	
		33.33	2.1001 ± 0.3769	14.14(9.70 – 20.61)	1.57	
		C ₈₋₁₀	100	2.0378 ± 0.0999	12.23(10.96 – 13.65)	1.81
			300	2.2705 ± 0.1930	12.08(9.97 – 14.63)	1.83
			900	2.1719 ± 0.2611	12.19(9.31 – 15.97)	1.82
			11.11	1.5838 ± 0.0261	20.69(20.30 – 21.09)	1.07
	33.33		2.0885 ± 0.7559	20.31(13.37 – 30.85)	1.09	
	100		2.5134 ± 0.0722	19.59(18.96 – 20.24)	1.13	
	300		2.0087 ± 0.2192	16.52(14.63 – 18.65)	1.34	
	900		2.5134 ± 0.3777	14.19(11.89 – 16.93)	1.56	
	1227		0	2.0270 ± 0.0340	228.08(220.84 – 235.55)	0.00
			11.11	2.1099 ± 0.9640	226.11(207.07 – 246.91)	1.01
			33.33	1.7084 ± 0.0944	244.58(219.94 – 271.99)	0.93
			100	1.4274 ± 0.0533	240(223.38 – 257.85)	0.95
		300	1.7243 ± 0.0566	300.45(281.63 – 320.53)	0.76	
		900	1.6591 ± 0.0745	216.37(198.38 – 235.98)	1.05	

续表 2 Table 2 continued

药剂 Insecticides	助剂 Adjuvants	助剂浓度 (mg/L) Concentration of adjuvant	斜率 ± SE Slope ± SE	LC ₅₀ (mg/L) (95% CL)	增效比 Synergism ratio
毒死蜱 Chlorpyrifos	C ₈₋₁₀	11.11	2.0644 ± 0.1619	207.88(178.52 - 242.07)	1.10
		33.33	1.6591 ± 0.0745	216.37(198.38 - 235.98)	1.05
		100	1.9515 ± 0.2774	121.87(87.44 - 169.85)	1.87
		300	1.6909 ± 0.1180	135.69(116.20 - 158.46)	1.68
		900	1.6406 ± 0.0979	156.89(138.46 - 177.78)	1.45
	有机硅助剂 Breakthru S240 Silicone Breakthru S240	11.11	2.0885 ± 0.7559	211.19(139.04 - 320.77)	1.08
		33.33	2.0885 ± 0.3175	230.38(191.64 - 276.93)	0.99
		100	2.5134 ± 0.0722	203.64(197.10 - 210.40)	1.12
		300	1.1589 ± 0.2192	193.29(156.41 - 238.87)	1.18
		900	3.2221 ± 1.3697	164.09(101.78 - 264.54)	1.39
		0	1.9856 ± 0.0800	73.13(67.66 - 79.04)	0.00
		11.11	1.9465 ± 0.1078	69.71(62.61 - 77.10)	1.05
		33.33	1.8566 ± 0.0851	63.98(58.46 - 70.03)	1.14
		100	1.8015 ± 0.1392	53.86(45.89 - 63.21)	1.36
溴虫腈 Chlorfenapyr	1227	300	1.7410 ± 0.1524	51.50(42.83 - 61.92)	1.42
		900	1.6823 ± 0.1393	47.71(39.85 - 57.10)	1.53
		11.11	1.7671 ± 0.0628	62.18(54.20 - 71.33)	1.18
		33.33	1.8147 ± 0.0476	63.79(60.58 - 67.17)	1.15
		100	1.6464 ± 0.0626	49.84(45.96 - 54.05)	1.47
	C ₈₋₁₀	300	1.9994 ± 0.2509	41.12(30.72 - 55.03)	1.78
		900	1.8082 ± 0.0793	38.83(34.97 - 43.11)	1.88
		11.11	2.4076 ± 0.9516	67.71(39.12 - 117.19)	1.08
		33.33	1.6989 ± 0.0926	74.62(68.76 - 80.99)	0.98
		100	1.6989 ± 0.3981	83.10(56.28 - 122.58)	0.88
		300	6.1888 ± 1.2537	65.29(49.73 - 85.72)	1.12
		900	2.5134 ± 0.0722	50.43(48.81 - 52.11)	1.45

的活性, 总之深入的作用机制还需进一步探讨。有机硅助剂 Breakthru S240 在 11.11 ~ 300 mg/L 时未显示出明显增效作用, 在 900 mg/L 时增效作用较明显, 而阳离子表面活性剂在 33.33 mg/L 已显示出明显增效作用, 故有机硅对杀虫剂的增效机制可能与阳离子表面活性剂增效机制不同, 其增效机制还需进一步探讨。

阳离子表面活性剂 C₈₋₁₀, 1227 和有机硅助剂 Breakthru S240 在 900 mg/L 时均可使清水表面张力降至 35 mN/m 以下, 低于叶面湿润临界压力(约 25 mN/m), 促进药液经气孔渗透而进入表皮, 从而增强药液的抗雨水冲刷能力。同时, 3 种助剂 900 mg/L 时可显著增加清水的扩展直径, 可使药液在

叶片上达到最大的覆盖和附着。且 3 种助剂在 900 mg/L 时均可明显提高清水在甘蓝叶片表面的最大持留量。昆虫通过躯体附属器官的接触或取食过程, 能间接捕获喷洒在间接靶标如植物叶片上的杀虫剂。因此, 3 种助剂对水溶液物理性状的影响, 可提高植物叶片上的杀虫剂沉积量, 能间接提高杀虫效果。3 种助剂通过提高沉积量对杀虫剂的间接增效作用, 需通过田间试验进行验证。

袁会珠和齐淑华(1998)研究表明降低水的表面张力, 可以提高药液在水稻叶片的最大稳定持留量却会降低在棉花、黄瓜叶片上的最大稳定持留量, 因此, 需根据作物种类, 对最大持留量与表面张力降低程度的相互关系进行系统研究, 为 3 种助

表 3 阳离子助剂 1227 和 C₈₋₁₀ 及有机硅助剂 Breakthru S240 对清水物理性状的影响Table 3 Effects of cationic adjuvants 1227 and C₈₋₁₀ and the silicone adjuvant Breakthru S240 on physical properties of water

助剂 Adjuvants	助剂浓度 Concentration of adjuvant (mg/L)	表面张力 Surface tension (mN/m)	表面张力 降低倍数 Decreasing rate of surface tension compared to water	扩展直径 Expanded diameter (mm)	扩展直径 增加倍数 Increasing rate of expanded diameter compared to water	最大持留量 Maximum retention amount ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	最大持留量 增加倍数 Increasing rate of maximum retention compared to water
清水 Water	0	72.75 \pm 0.026 a	1	64.23 \pm 0.85 m	1	1.85 \pm 0.01 i	1
1227	11.11	64.19 \pm 0.026 c	1.13	64.01 \pm 1.00 m	1	2.77 \pm 0.31 h	1.5
	33.33	60.07 \pm 0.052 e	1.21	65.80 \pm 0.63 l	1.02	3.56 \pm 0.24 g	1.92
	100	48.14 \pm 0.036 h	1.51	86.80 \pm 0.68 j	1.35	4.49 \pm 0.44 e	2.43
	300	36.58 \pm 0.017 j	1.99	92.00 \pm 0.50 i	1.43	4.52 \pm 0.40 e	2.45
	900	32.10 \pm 0.044 l	2.27	94.60 \pm 0.82 h	1.47	5.02 \pm 0.15 d	2.72
C ₈₋₁₀	11.11	62.36 \pm 0.035 d	1.17	103.83 \pm 0.51 g	1.27	2.96 \pm 0.45 h	1.6
	33.33	55.02 \pm 0.020 g	1.32	81.60 \pm 0.36 k	1.4	3.86 \pm 0.32 f	2.09
	100	36.38 \pm 0.036 k	2	104.20 \pm 0.71 g	1.53	4.57 \pm 0.31 e	2.47
	300	25.98 \pm 0.026 m	2.8	104.60 \pm 0.47 g	1.63	5.07 \pm 0.24 cd	2.74
	900	21.97 \pm 0.010 o	3.31	107.20 \pm 0.88 f	1.67	5.34 \pm 0.25 ab	2.89
有机硅助剂 Breakthru S240 Silicone	11.11	66.14 \pm 0.017 b	1.1	115.00 \pm 0.86 d	1.71	3.58 \pm 0.12 g	1.94
	33.33	56.44 \pm 0.030 f	1.29	110.00 \pm 0.69 e	1.79	3.98 \pm 0.37 f	2.15
	100	37.63 \pm 0.036 i	1.93	117.60 \pm 0.55 c	1.83	5.16 \pm 0.24 bcd	2.79
	300	25.88 \pm 0.020 n	2.81	129.67 \pm 0.92 b	2.02	5.32 \pm 0.33 abc	2.88
	900	19.20 \pm 0.035 p	3.79	177.33 \pm 0.87 a	2.76	5.51 \pm 0.26 a	2.98

经 Duncan 氏新复极差检验, 同列数据后不同字母表示处理之间差异显著 ($P < 0.05$)。The data in the same column followed by different letters are significantly different at the 0.05 level by Duncan's test.

剂的实际应用提供进一步的理论支撑。

两种阳离子助剂和有机硅助剂 Breakthru S240 不仅对高效氯氰菊酯、毒死蜱、溴虫腈在甜菜夜蛾和棉铃虫上具有直接增效作用, 且具有提高间接作用靶标植物叶片上杀虫剂沉积量的间接增效作用, 具有作为助剂提升杀虫剂防效的实际应用潜力。

参考文献 (References)

- Achouri MEI, Infante MR, Izquierdo F, Kertit S, Gouttaya HM, Neiri B, 2001. Synthesis of some cationic gemini surfactants and their inhibitive effect on iron corrosion in hydrochloric acid medium. *Corrosion Science*, (43): 19-35.
- Chen ZL, Han ZR, Ma C, Zhai RH, Mu W, 2007. Synergism of six cationic adjuvants to avermectin. *Acta Entomologica Sinica*, 50 (8): 801-806. [陈召亮, 韩志任, 马超, 翟如环, 慕卫, 2007. 六种阳离子助剂对阿维菌素的增效作用. 昆虫学报, 50 (8): 801-806]
- Dong ZH, Liu J, Liu HF, Fan HX, Xu LM, 1997. Synthesis and properties of bactericides used against sulfated reducing bacteria. *China Surfactant Detergent & Cosmetics*, (6): 7-8. [董泽华, 刘靖, 刘宏芳, 范汉香, 许立铭, 1997. 防治硫酸盐还原菌的杀菌剂的合成与性能. 日用化学工业, (6): 7-8]
- Fu JF, Xu BC, Zhu CG, 2001. The properties and applications of dimeric surfactants. *China Surfactant Detergent & Cosmetics*, 31 (5): 41-42. [付翼峰, 徐宝财, 朱承根, 2001. 二聚表面活性剂的性质及其应用. 日用化学工业, 31(5): 41-42]
- Gao CF, Zhang X, Feng JT, 1996. A review on the synergism of insecticide. *Acta Universitatis Agriculturae Boreali-occidentalis*, 24 (1): 88-91. [高聪芬, 张兴, 冯俊涛, 1996. 杀虫剂增效作用研究进展. 西北农业大学学报, 24(1): 88-91]
- Ma GL, Bai LY, Zhou XM, 2007. Field effect on octadecyl trimethyl ammonium chloride to control cabbage aphids. *Modern Agrochemicals*, 6 (3): 48-49. [马国兰, 柏连阳, 周小毛, 2007. 绿清灵防治蔬菜蚜虫田间药效试验. 现代农药, 6(3): 48-49]
- Mu W, Wu KM, Zhang YJ, Guo YY, Zhang WJ, 2002. Studies on rearing technique of *Spodoptera exigua* (Hübner) on artificial diet. *Cotton Science*, 14(5): 287-290. [慕卫, 吴孔明, 张永军, 郭予元, 张文吉, 2002. 甜菜夜蛾的人工饲养技术. 棉花学报, 14 (5): 287-290]
- Pang S, Yuan HZ, Li YP, Li P, Huang XY, Zhang HX, 2005. Study on the wetting property of surfactant Silwet408 on vegetable leaf

- surface. *Pesticide Science and Administration*, 26(7): 22 - 25. [逢森, 袁会珠, 李永平, 李鹏, 黄雄英, 张红星, 2005. 表面活性剂 Silwet408 提高药液在蔬菜叶片上的湿润性能的研究. *农药科学与管理*, 26(7): 22 - 25]
- Van Der Voort P, Mathieu M, Mees F, Vansant EF, 1998. Synthesis of high-quality MCM-48 and MCM-41 by means of the Gemini surfactant method. *Journal of Physical Chemistry B*, 102(44): 8847 - 8851.
- Wang HF, Yang Y, Zhang GY, Wu XL, 2003. Applied prospects of new type of Gemini surfactant in tertiary oil recovery. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 10(6): 59 - 61. [王海峰, 杨勇, 张国印, 伍晓林, 2003. 新型 Gemini 表面活性剂在三次采油中的应用前景. *油气地质与采收率*, 10(6): 59 - 61]
- Yuan HZ, Qi SH, 1998. Maximum deposition of adjuvant solution on plant leaf. *Acta Phytocologica Sinica*, 25(1): 95 - 96. [袁会珠, 齐淑华, 1998. 植物叶片对药液的最大承载能力初探. *植物保护学报*, 25(1): 95 - 96]
- Yuan HZ, Qi SH, Yang DB, 2000. Study on the point of run-off and maximum retention of spray liquid on cropleaves. *Chinese Journal of Pesticide Science*, 2(4): 66 - 71. [袁会珠, 齐淑华, 杨代斌, 2000. 药液在作物叶片的流失点和最大稳定持留量研究. *农药学报*, 2(4): 66 - 71]
- Zhang XH, 2008. Study on synergism of Silwet silicone adjuvant to pesticides. *China Agricultural Technology Extension*, 24(12): 36 - 38. [章晓花, 2008. 添加 Silwet 有机硅助剂对农药增效作用的研究. *中国农技推广*, 24(12): 36 - 38]
- Zhou WQ, Li H, 1999. The application of surfactant in pesticide. *Journal of Shenyang Normal University (Natural Science)*, (1): 42 - 46. [周婉秋, 李皓, 1999. 表面活性剂在农药中的应用. *沈阳师范学院学报(自然科学版)*, (1): 42 - 46]

(责任编辑: 赵利辉)