

添加 Silwet 408 对 3% 阿维菌素微乳剂药液表面张力和接触角及其对两种害虫作用效果的影响

庾琴, 张润祥, 封云涛, 刘中芳, 李光玉, 张鹏九, 范仁俊*

(山西省农业科学院 植物保护研究所, 农业有害生物综合治理山西省重点实验室, 太原 030032)

摘要:通过室内测定和田间防治试验,研究了在3%阿维菌素微乳剂中添加不同量的有机硅表面活性剂 Silwet 408 后,对药液的表面张力及在苹果叶片上接触角的影响,以及添加助剂后药剂对苹果红蜘蛛 *Panonychus ulmi* 和苹果绣线菊蚜 *Aphis citricola* 毒力及防效的变化。结果表明:Silwet 408 能有效降低3%阿维菌素微乳剂药液的表面张力及其在苹果叶片上的接触角,且在试验添加量(质量分数)3%~10%范围内,表面张力和接触角均随助剂添加量的增加而不断降低。生物测定结果表明:添加 Silwet 408 可显著提高3%阿维菌素微乳剂对苹果红蜘蛛的毒力及田间防效,但对苹果绣线菊蚜的毒力和田间防效则无明显影响。研究表明,在杀虫剂中添加增效助剂以提高药效时,除了需考察该助剂能否显著降低药液的表面张力及在靶标上的接触角外,害虫种类也是需考虑的因素之一。

关键词:阿维菌素;微乳剂;Silwet 408;表面张力;接触角;苹果红蜘蛛;苹果绣线菊蚜;毒力

中图分类号:S482.3;S482.91 文献标志码:A 文章编号:1008-7303(2015)06-0747-06

Effects of Silwet 408 on surface tension and contact angle of abamectin 3% microemulsion and its activity against two sucking pests on apple tree

Yu Qin, Zhang Runxiang, Feng Yuntao, Liu Zhongfang, Li Guangyu, Zhang Pengjiu, Fan Renjun*

(Institute of Plant Protection, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Shanxi Key Laboratory of Integrated Pest Management in Agriculture, Taiyuan 030032, China)

Abstract: The effects of Silwet 408 on surface tension and contact angle of abamectin 3% microemulsion (ME) on apple leaves, as well as that on toxicity of abamectin 3% ME against *Panonychus ulmi* and *Aphis citricola* were studied by indoor experiments and field trials. The results showed that adding Silwet 408 could reduce effectively the surface tension and static contact angle of abamectin 3% ME on apple leaves. Moreover, the surface tension and static contact angle decreased gradually as the content of Silwet 408 increased from 3% to 10%. The results of bioassay showed that adding Silwet 408 into abamectin 3% ME could enhance significantly the toxicity and control efficacy

收稿日期:2015-02-09; 录用日期:2015-08-30.

作者简介:庾琴,女,助理研究员,主要从事农药制剂研发与害虫防治研究,E-mail:yuqinninetwoone@163.com;* 范仁俊,通信作者(Author for correspondence),男,研究员,主要从事农药制剂研发及害虫防治研究,E-mail:rjfan@163.com

基金项目:山西省科技攻关项目(20110311024);国家公益性行业农业科研专项(200903033);山西省农科院科技自主创新能力提升工程(2015ZZCX-15).

to *P. ulmi*, but not to *A. citricola*. The results suggested that when adding adjuvant into pesticide for synergistic purpose, the pest species should also be considered besides the surface tension and contact angle.

Keywords: abamectin; microemulsion; Silwet 408; surface tension; contact angle; *Panonychus ulmi*; *Aphis citricola*; toxicity

提高农药有效利用率是农药应用研究的重要部分,其关键是提高药液的润湿性,增加药液在靶标上的润湿或沉积^[1]。一般情况下,药液在靶标上的润湿性能由农药的性质和靶标的表面性质共同决定,通常用表面张力、接触角等参数衡量^[2],通过添加助剂降低药液的表面张力和接触角来提高药液在靶标上的润湿性,是目前改善农药性质常用的方法之一^[3-5]。

阿维菌素是重要的生物源农药,随着其大量应用,已出现害虫抗性增加、药效降低等问题^[6-9]。目前有关阿维菌素原药提取、剂型研制、防治对象及防治措施等已有大量研究报道^[10-11],关于在阿维菌素制剂中添加功能性助剂以提高其防效及在靶标作物上的沉积量等方面也已有报道^[12],但添加功能性助剂显著改变制剂性质及在靶标作物上的附着性能后,能否有效提高其对害虫的防治效果,目前尚未见相关报道。笔者通过在阿维菌素微乳剂中添加有机硅表面活性剂 Silwet 408,研究了其对制剂表面张力及在靶标作物上接触角的影响,以及添加助剂对阿维菌素微乳剂对苹果红蜘蛛和苹果绣线菊蚜的室内毒力和田间防效的影响,以期阿维菌素及其他农药制剂的高效利用和研发提供参考。

1 材料与方 法

1.1 药剂及主要仪器

3%阿维菌素微乳剂(ME,山西科锋农药科技有限公司);有机硅表面活性剂 Silwet 408 [诺农(北京)国际生物技术有限公司,纯度 $\geq 99.6\%$]。

OCA20 光学视频接触角测量仪(德国德菲仪器有限公司);万分之一电子天平(艾德姆衡器有限公司);LX-52 三缸柱塞泵喷雾机(浙江欧森机械有限公司)。

1.2 供试昆虫及作物

苹果红蜘蛛 *Panonychus ulmi* 和苹果绣线菊蚜 *Aphis citricola*;红富士苹果的成熟叶片及幼嫩叶片。昆虫与植物试材均采自山西省运城市万荣王亚农业科技示范园红富士苹果园中。

1.3 试验方法

1.3.1 药液表面张力及在苹果叶片上接触角的测

定 在 3%阿维菌素微乳剂中分别添加质量分数(下同)为 3%、5%、7%和 10%的 Silwet 408,用自来水逐步稀释成 2 000、3 000、4 000 和 6 000 倍药液,在光学视频接触角测量仪上采用悬滴法^[13]测定表面张力,采用坐滴法^[14]测定药液在叶片上 60 s 时的静态接触角。各处理重复 10 次,结果取平均值。以自来水为空白对照。

1.3.2 室内毒力测定 在预试验基础上,将 3%阿维菌素微乳剂和其中添加了 3%~10% Silwet 408 的药剂分别用自来水稀释成 5~7 个系列浓度,以添加相同量 Silwet 408 但不含阿维菌素的微乳剂作为空白对照。

采用浸叶法^[15]测定供试药液对苹果绣线菊蚜的毒力。采摘带有苹果绣线菊蚜的嫩梢,于室内常温下,将嫩梢或嫩叶连同试虫一起浸入供试药液中 5 s,取出后吸去多余药液。挑选个体一致的无翅健康成蚜放入培养皿中,以嫩叶饲养,12 h 后检查死虫数,计算死亡率和 LC_{50} 值。每处理重复 4 次,每重复 30 头试虫。

采用玻片浸渍法^[16]测定药液对苹果红蜘蛛的毒力。2 h 后在双目解剖镜下检查有无死亡和异常者,剔除死亡和异常者;24 h 后分别在双目解剖镜下检查死虫数,计算死亡率和 LC_{50} 值。每处理重复 4 次,每重复 30 头试虫。

1.3.3 田间防效试验 在 3%阿维菌素微乳剂中分别添加质量分数为 5%和 7%的 Silwet 408,并用自来水稀释至 3 000 倍,施药量为 4 L/株。于苹果树上红蜘蛛和绣线菊蚜分布均匀、虫口密集且数量不断增加时,选择两种试虫发生严重的果园各 1 个,试验区域面积不小于 $1/3 \text{ hm}^2$ 。每 10 株苹果树为 1 个处理,于施药前随机选择其中 4 株调查苹果绣线菊蚜和苹果红蜘蛛的虫口基数,每处理苹果绣线菊蚜基数不少于 500 头,苹果红蜘蛛基数不少于 200 头。分别于施药后 1、3 和 7 d 调查虫口数。以每株苹果树喷施 4 L 清水为空白对照,试验重复 3 次。根据公式(1)和(2)计算防治效果。

虫口减退率/% = $[(\text{虫口基数} - \text{施药后虫口数}) / \text{虫口基数}] \times 100$ (1)

$$\frac{\text{防治效果}/\% = \frac{\text{处理区虫口减退率} - \text{空白对照区虫口减退率}}{1 - \text{空白对照区虫口减退率}} \times 100}{(2)}$$

2 结果与分析

2.1 添加不同量 Silwet 408 对阿维菌素微乳剂药液表面张力的影响

结果见表 1。在质量分数 3% ~ 10% 范围内,随着 Silwet 408 添加量的增加,3% 阿维菌素微乳

剂药液的表面张力不断减小;同时随着药液稀释倍数增大,其表面张力逐渐增大。当药液稀释至 2 000 ~ 3 000 倍时,添加 3% ~ 10% Silwet 408 后其表面张力显著低于未添加助剂的药液,且 5% ~ 10% 助剂添加量之间差异不显著;当稀释至 4 000 ~ 6 000 倍时,则不同 Silwet 408 添加量之间差异显著。表明添加 Silwet 408 可显著降低阿维菌素微乳剂的表面张力,可能有利于促进药液在靶标上的润湿^[1]。

表 1 添加不同量 Silwet 408 后 3% 阿维菌素微乳剂药液表面张力变化情况

Table 1 Effects of Silwet 408 on surface tension of abamectin 3% ME

处理 Treatments	Silwet 408 添加量 Content of Silwet 408/%	表面张力 Surface tension/(mN/m)			
		稀释 2 000 倍 Dilution multiple 2 000	稀释 3 000 倍 Dilution multiple 3 000	稀释 4 000 倍 Dilution multiple 4 000	稀释 6 000 倍 Dilution multiple 6 000
3% 阿维菌素 微乳剂 abamectin 3% ME	0	32.57 d	34.30 d	42.17 e	43.83 e
	3	30.11 c	31.54 c	35.84 d	37.45 d
	5	26.53 ab	26.94 ab	31.13 c	33.41 c
	7	26.60 ab	26.74 ab	30.23 b	32.75 b
	10	26.05 a	26.06 a	26.76 a	28.33 a
对照(自来水) CK(Water)		72.81			

注:同列数据后不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

Note: Values with different small letters in the same column are significantly different at $P < 0.05$ level.

2.2 添加不同量 Silwet 408 对阿维菌素微乳剂药液在苹果嫩叶片上静态接触角的影响

结果见表 2。当 Silwet 408 添加量在 3% ~ 10% 范围内时,3% 阿维菌素微乳剂药液在苹果嫩叶近轴面的 60 s 静态接触角随助剂添加量的增加而显著减小,其中除添加 3% Silwet 408、4 000 倍稀释液外,其余各处理的静态接触角均显著小于空白对

照。药液稀释 2 000 ~ 4 000 倍时,除添加 3% Silwet 408、4 000 倍稀释液外,其余各处理在苹果嫩叶远轴面的静态接触角也均随助剂添加量的增加而显著减小;当稀释至 6 000 倍时,可能是由于受药液表面张力增大和嫩叶远轴面表皮上大量绒毛的影响,导致所测静态接触角变化幅度较大,变化规律不再明显。

表 2 添加不同量 Silwet 408 后 3% 阿维菌素微乳剂药液在苹果嫩叶片上的 60 s 静态接触角

Table 2 Effects of Silwet 408 on static contact angle of abamectin 3% ME on apple tender leaves at 60 s

叶片部位 Sites of leaf	Silwet 408 添加量 Content of Silwet 408/%	静态接触角 Static contact angle/(°)			
		稀释 2 000 倍 Dilution multiple 2 000	稀释 3 000 倍 Dilution multiple 3 000	稀释 4 000 倍 Dilution multiple 4 000	稀释 6 000 倍 Dilution multiple 6 000
叶片近轴面 Face of blade	0	53.58 e	59.42 e	59.90 d	65.00 e
	3	37.48 d	57.97 d	61.00 d	60.13 d
	5	35.56 c	50.63 c	51.00 c	56.00 c
	7	34.23 b	47.59 b	44.36 b	52.07 b
	10	21.22 a	39.29 a	42.98 a	48.74 a
叶片远轴面 Blade back	0	29.61 d	50.21 e	45.91 c	72.69 c
	3	28.54 c	45.73 d	49.21 d	71.88 c
	5	28.25 c	43.44 c	43.47 b	75.35 d
	7	27.09 b	36.16 b	37.99 a	70.25 b
	10	13.39 a	26.70 a	36.83 a	51.15 a

注:同列数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Values with different letters in the same column are significantly different at $P < 0.05$.

2.3 添加不同量 Silwet 408 对阿维菌素微乳剂药液在苹果成熟叶片上静态接触角的影响

添加 Silwet 408 可显著改变 3% 阿维菌素微乳剂药液在苹果成熟叶片近轴面的静态接触角。其中,稀释 2 000 ~ 4 000 倍时,添加 Silwet 408 后阿维菌素微乳剂药液在成熟叶片近轴面的静态接触角在 17.68 ~ 55.16 ° 之间,均显著低于未添加 Silwet 408 时的静态接触角(39.03 ~ 64.25 °)(表 3)。与嫩叶相比,药液在成熟叶片上的静态接触角更小,说明药液更易润湿成熟叶片;同时,与苹果嫩叶上的变化规

律相同,随着药液稀释倍数增加,其静态接触角呈增大趋势。

研究表明,添加 Silwet 408 后,3% 阿维菌素微乳剂药液在苹果叶片不同位置及不同发育期叶片上的静态接触角均存在一定差异,这可能与不同状态叶片表皮上蜡质层、粗糙度、绒毛分布及密度等不同有关,这些因素可能会使叶片的表面能及其分量发生变化,使叶片的亲水、疏水性与添加 Silwet 408 的阿维菌素微乳剂的性质不匹配,从而影响药液对叶面的润湿程度^[1]。

表 3 添加不同量 Silwet 408 后 3% 阿维菌素微乳剂药液在苹果成熟叶片近轴面的 60 s 静态接触角
Table 3 Effects of Silwet 408 on static contact angle of abamectin 3% ME on apple mature leaves at 60 s

Silwet 408 添加量 Content of Silwet 408/%	静态接触角 Static contact angle/(°)			
	稀释 2 000 倍 Dilution multiple 2 000	稀释 3 000 倍 Dilution multiple 3 000	稀释 4 000 倍 Dilution multiple 4 000	稀释 6 000 倍 Dilution multiple 6 000
0	39.03 d	58.45 c	62.11 d	64.25 d
3	20.50 b	51.02 b	54.29 c	55.16 c
5	25.30 c	51.01 b	54.03 c	54.15 c
7	17.68 a	27.99 a	43.04 b	45.09 b
10	20.67 b	27.97 a	28.53 a	39.94 a

注:同列数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Values with different letters in the same column are significantly different at $P < 0.05$.

2.4 添加不同量 Silwet 408 后阿维菌素微乳剂对供试两种害虫的毒力

从表 4 中数据可看出:添加 Silwet 408 可明显提高阿维菌素微乳剂对苹果红蜘蛛的毒力,且随助剂添加量的增加,药剂 LC_{50} 值降低;但添加 Silwet

408 对阿维菌素微乳剂对苹果绣线菊蚜的毒力并无明显影响。说明 Silwet 408 虽能降低药液的表面张力及在靶标叶面的接触角,促进药液在叶片上的润湿性,但并不一定能提高其对害虫的毒力。

表 4 添加不同量 Silwet 408 后 3% 阿维菌素微乳剂对苹果绣线菊蚜和苹果红蜘蛛的毒力
Table 4 Toxicity of abamectin 3% ME added with Silwet 408 against *A. citricola* and *P. ulmi*

害虫种类 Pests species	Silwet 408 添加量 Content of Silwet 408/%	回归方程 Regression equation	R^2	LC_{50} (95% CL)/ (mg/L)
苹果绣线菊蚜 <i>A. citricola</i>	0	$y = 2.47x - 0.17$	0.95	12.52(5.45 ~ 19.59)
	3	$y = 1.33x + 5.23$	0.99	12.45(8.44 ~ 16.46)
	5	$y = 2.73x - 0.75$	0.93	12.64(9.35 ~ 15.93)
	7	$y = 2.31x + 0.09$	0.93	12.91(10.08 ~ 15.74)
	10	$y = 2.37x + 0.01$	0.93	12.85(8.88 ~ 16.82)
苹果红蜘蛛 <i>P. ulmi</i>	0	$y = 1.17x + 4.20$	0.95	0.49(0.23 ~ 0.75)
	3	$y = 1.33x + 5.23$	0.99	0.07(0.04 ~ 0.10)
	5	$y = 1.13x + 5.25$	0.96	0.06(0.04 ~ 0.08)
	7	$y = 0.98x + 5.55$	0.95	0.03(0.01 ~ 0.05)
	10	$y = 0.94x + 5.45$	0.98	0.03(0.01 ~ 0.05)

2.5 添加不同量 Silwet 408 后阿维菌素微乳剂对供试两种害虫的田间防效

综合表面张力、接触角及室内毒力测定结果,选择 Silwet 408 添加量分别为 5% 和 7% 的阿维菌素微乳剂药液进行了田间防效试验。结果(表 5)与室内毒力试验结果规律基本一致:添加 Silwet 408 对提高阿维菌素微乳剂对苹果红蜘蛛田间防治效果作用显著,而对苹果绣线菊蚜防效的影响则不明显,再次证明 Silwet 408 虽可有效降低阿维菌素微乳剂的表面张力和接触角,但却未必一定能提高其对不同害虫的防效。

表 5 添加不同量 Silwet 408 后 3% 阿维菌素微乳剂对苹果绣线菊蚜及苹果红蜘蛛的田间防治效果

Table 5 Control efficacy of abamectin 3% ME added with Silwet 408 against *A. citricola* and *P. ulmi*

害虫种类 Pests species	Silwet 408 添加量 Content of Silwet 408/%	防治效果 Efficacy/%		
		1 d	3 d	7 d
苹果绣线菊蚜 <i>A. citricola</i>	0	86.77 a	96.97 a	94.97 a
	5	87.78 a	94.79 a	94.12 a
	7	85.59 a	94.99 a	92.26 a
苹果红蜘蛛 <i>P. ulmi</i>	0	82.33 b	84.19 b	84.88 b
	5	93.42 a	96.27 a	96.40 a
	7	95.08 a	96.43 a	96.14 a

注:同列数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Values with different letters in the same column are significantly different at $P < 0.05$.

3 结论与讨论

本研究表明,3% 阿维菌素微乳剂中添加 Silwet 408 可显著降低药液表面张力及其在苹果叶片上的接触角,且表面张力和接触角的变化与助剂添加量和叶片的状态相关。因此在实际生产中,应根据害虫为害的部位及叶片状态等,有针对性地选择适宜的表面活性剂及其添加量。

添加一定量的 Silwet 408 可显著降低阿维菌素微乳剂药液的表面张力及其在苹果不同叶片上的接触角,从而提高药液在叶片上的润湿性,但其变化规律与对害虫的毒力和防效变化趋势是否一致还需进一步研究验证。在本试验中,药剂在叶片表面润湿性的增强,并不表明一定会增强其对叶片上靶标害虫的防效。阿维菌素微乳剂中添加 Silwet 408 后,其对靶标植物润湿性的增强与对苹果红蜘蛛的毒力和田间防效提高之间具有明显的相关性,而与对苹果绣线菊蚜的毒力和田间防效的相关性则不强。这可为阿维菌素制剂的研发及田间不同害虫的高效防

理论上讲,药液表面张力的降低有利于其在靶标上的润湿^[1],而对靶标来讲,其表面性质通常用固体表面自由能及其分量来表征。苹果红蜘蛛和苹果绣线菊蚜分属不同纲,体表结构差异较大^[17-18],两者的表面自由能及其分量可能相差也较大。从室内毒力和田间防效试验结果看,可能苹果叶片、苹果红蜘蛛的表面自由能及其分量与添加 Silwet 408 后的阿维菌素微乳剂药液相匹配,而苹果绣线菊蚜则与之不太匹配,此外,可能还与两种害虫表面微观结构的差异有关^[19],具体尚待进一步研究确定。

治提供参考和依据。

在试验过程中,曾通过显微镜观察到添加 Silwet 408 后药液渗入苹果红蜘蛛体表的时间比未添加 Silwet 408 的对照药液快,而添加 Silwet 408 与否对药液渗入苹果绣线菊蚜体表的时间则影响不大,这可能与所添加助剂的性质和两种害虫的体表结构及性质的匹配性有关。因而,开展制剂性质与靶标害虫体表性质或微观结构关系的进一步研究,将有可能为农药制剂的高效研发提供新的思路或途径。

参考文献(Reference):

- [1] 庄占兴,路福绥,刘月,等. 表面活性剂在农药中的应用研究进展[J]. 农药, 2008, 47(7):469-475.
Zhuang Zhanxing, Lu Fusui, Liu Yue, et al. The progress of surfactant application research in the pesticide [J]. *Agrochemicals*, 2008, 47(7):469-475. (in Chinese)
- [2] 周璐. 几种农药用表面活性剂溶液在不同靶标上的润湿性和动态行为研究[D]. 北京:中国农业大学,2007.
Zhou Lu. Study on wettability and dynamic behavior of several

- pesticides used on different targets of surfactants [D]. Beijing: China Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- [3] 石伟山. 三种助剂对高效氯氟菊酯防治三种害虫的增效作用 [D]. 扬州:扬州大学, 2009.
- Shi Weishan. Synergistic effects of three kinds of additives for the prevention and treatment of three kinds of pests [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2009. (in Chinese)
- [4] 王振, 高越, 李光玉, 等. 高效氟氯菊酯水乳剂配方及其润湿性能研究 [J]. 中国农学通报, 2012, 28(27): 250-254.
- Wang Zhen, Gao Yue, Li Guangyu, *et al.* Study of formula and wet-spreading of beta-cyfluthrin EW [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2012, 28(27): 250-254. (in Chinese)
- [5] 张龙, 李佳佳, 刘天晴. 水基型氯氟菊酯微乳剂的稳定性及润湿展布性研究 [J]. 中国农学通报, 2011, 27(30): 227-232.
- Zhang Long, Li Jiajia, LIU Tianqing. Study of stability and wet-spreading of water-based cypermethrin microemulsion [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2011, 27(30): 227-232. (in Chinese)
- [6] 仇贵生, 张怀江, 闫文涛, 等. 阿维菌素对苹果绣线菊蚜的防治作用及对果园天敌的影响 [J]. 环境昆虫学报, 2008, 30(2): 141-146.
- Qiu Guisheng, Zhang Huaijiang, Yan Wentao, *et al.* Effectiveness of abamectin on *Aphis citricola* and its impact on the predators in orchard [J]. *J Environ Entomol*, 2008, 30(2): 141-146. (in Chinese)
- [7] 李静, 范腾飞, 冯建国, 等. 阿维菌素微囊悬浮剂的制备及释放行为研究 [J]. 现代农药, 2013, 12(1): 20-25.
- Li Jing, Fan Tengfei, Feng Jianguo, *et al.* Preparation and sustained-release behavior of abamectin CS [J]. *Mod Agro*, 2013, 12(1): 20-25. (in Chinese)
- [8] 何林, 谭仕禄, 曹小芳, 等. 朱砂叶螨的抗性选育及其解毒酶活性研究 [J]. 农药学学报, 2003, 5(4): 23-29.
- He Lin, Tan Shilu, Cao Xiaofang, *et al.* Study on resistance selection and activity of detoxification enzyme in *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) [J]. *Chin J Pestic Sci*, 2003, 5(4): 23-29. (in Chinese)
- [9] 姚晶. 烟粉虱对多杀菌素和阿维菌素的抗性监测及生化机理研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2013.
- Yao Jing. Tabaci to spinosad and avermectin resistance monitoring and biochemical mechanism research [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [10] 刘开林, 何林, 王进军, 等. 害虫及害螨对阿维菌素抗性研究进展 [J]. 昆虫知识, 2007, 44(2): 194-200.
- Liu Kailin, He Lin, Wang Jinjun, *et al.* Advances in the research on the pest resistance to avermectins [J]. *Chin Bull Entomol*, 2007, 44(2): 194-200. (in Chinese)
- [11] 梁延坡, 吴青君, 张友军, 等. 小菜蛾对阿维菌素的抗性风险评估及交互抗性的室内测定 [J]. 热带生物杂志, 2010, 1(3): 228-232.
- Liang Yanpo, Wu Qingjun, Zhang Youjun, *et al.* Resistance risk assessment and cross-resistance of *Plutella xylostella* to abamectin [J]. *J South Tropic Organ China Univ*, 2010, 1(3): 228-232. (in Chinese)
- [12] 陈福良, 尹明明, 尹丽辉, 等. 含有机硅助剂的阿维菌素微乳剂的研制 [J]. 农药学学报, 2009, 11(4): 480-486.
- Chen Fuliang, Yin Mingming, Yin Lihui, *et al.* Preparation of abamectin microemulsion using organosilicon coformulant [J]. *Chin J Pestic Sci*, 2009, 11(4): 480-486. (in Chinese)
- [13] 罗敏, 司徒振明. 液体界面张力的测定方法——悬滴法 [J]. 材料工程, 1989(2): 23-26.
- Luo Min, Situ Zhenming. Method for measuring liquid interfacial tension—method of hanging-drop [J]. *J Mater Eng*, 1989(2): 23-26. (in Chinese)
- [14] 吴家文. 用视频光学接触角测量仪研究润湿性变化 [J]. 断块油气田, 2011, 18(2): 220-222.
- Wu Jiawen. Study on wettability change with optical contact angle measuring device [J]. *Fault-Block Oil Gas Field*, 2011, 18(2): 220-222. (in Chinese)
- [15] 徐淑, 董易之, 陈炳旭, 等. 烯啶虫胺对柑橘绣线菊蚜的室内杀虫活性及田间应用效果 [J]. 农药, 2011, 50(7): 526-528.
- Xu Shu, Dong Yizhi, Chen Bingxu, *et al.* Laboratory activities and field application of nitenpyram against *Aphis citricola* [J]. *Agrochemicals*, 2011, 50(7): 526-528. (in Chinese)
- [16] 裴晖, 欧晓明, 王永江, 等. 新化合物 HNPC-A3066 的杀螨活性及田间防治效果研究 [J]. 农药学学报, 2009, 11(2): 208-212.
- Pei Hui, Ou Xiaoming, Wang Yongjiang, *et al.* Bioactivity and field control efficacy of novel compound HNPC-A3066 against the mites [J]. *Chin J Pestic Sci*, 2009, 11(2): 208-212. (in Chinese)
- [17] 洪晓月, 王荫长, 尤子平. 朱砂叶螨表皮结构和蜕皮过程 [J]. 南京农业大学学报, 1994, 17(4): 42-48.
- Hong Xiaoyue, Wang Yinchang, You Ziping. Cuticle structure and moulting process of *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) [J]. *J Nanjing Agric Univ*, 1994, 17(4): 42-48. (in Chinese)
- [18] 王荫长, 陈长琨, 韩召军. 昆虫生理生化学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1994: 9-12.
- Wang Yinchang, Chen Changkun, Han Zhaojun. *Physiology and Biochemistry of Insect* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1994: 9-12. (in Chinese)
- [19] Wenzel R N. Surface roughness and contact angle [J]. *J Phys Chem*, 1949, 53(9): 1466-1467.

(责任编辑: 唐静)