

· 研究论文 ·

5% 醚菊酯展膜油剂配制及其对稻飞虱的防治效果

冯超^{1,2}, 杨代斌¹, 袁会珠^{*1}

- (1. 农业部农药化学与应用重点开放实验室, 中国农业科学院 植物保护研究所, 北京 100193;
2. 农业部烟草类作物质量控制重点开放实验室, 中国农业科学院 烟草研究所, 山东 青岛 266101)

摘要:采用正交试验设计,通过对溶剂及表面活性剂的筛选和配伍,确定了5%醚菊酯展膜油剂的最优配方(各组份的量用质量分数表示)为:醚菊酯5.0%;溶剂月桂酸甲酯50.0%;OP-4、OP-10、2201和十二碳醇酯以质量比4:4:3:9复配,总质量分数为10.0%;大豆油35.0%。所配制的5.0%醚菊酯展膜油剂外观透明,经热贮(54℃±2℃)14d后无沉淀、结晶和分层现象,热分解率为0.10%;35℃时的表面张力为28.33 mN/m,滴施在水面时的油/水界面张力为0.11 mN/m;能够在水面快速铺展,滴加量1.28 μL时,铺展速度为9.29 cm/s,铺展面积达到1 882.74 cm²。使用时无需喷雾,只需将药剂瓶置于水田上方,药剂即从滴出孔自行滴下,迅速铺展于水田表面。田间施药7d对稻飞虱的校正防效达到78.5%。

关键词:醚菊酯;展膜油剂;正交试验;铺展速度;稻飞虱

DOI:10.3969/j.issn.1008-7303.2010.01.10

中图分类号:TQ450.699 文献标志码:A 文章编号:1008-7303(2010)01-0067-06

Preparation of 5% ethofenprox spreading oil and its control efficacy on rice planthopper

FENG Chao^{1,2}, YANG Dai-bin¹, YUAN Hui-zhu^{*1}

- (1. Key Laboratory of Pesticide Chemistry and Application, Institute of Plant Protection, Beijing 100193, China;
2. Key Laboratory of Tobacco Quality Controlling, Ministry of Agriculture, Tobacco Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Science, Qingdao 266101, Shandong Province, China)

Abstract: 5% ethofenprox spreading oil (SO) was developed by orthogonal experiment through the screening of the solvent and surfactant. The optimum solvent was 50.0% methyl laurate. The proportion of the mixture of surfactant, OP-4, OP-10, 2201 and dodecanol ester, was 4:4:3:9 (m/m), which was 10.0% weight in total of the formulation. The other component was soybean oil, which was 35.0% of the formulation. The formulation had been stored at (54℃±2℃) for 14-days without precipitation, crystallization and layer-separation. The decomposition rate was 0.10%. Surface tension was 28.33 mN/m and interfacial tension was 0.11 mN/m at 35℃. Spreading speed and area reached 9.29 cm/s and 1 882.74 cm² with 1.28 μL. This formulation could be directly dropped to paddy water without any dilution. The active ingredient dropped on paddy water surface and spreaded to whole water surface of the paddy field in a few minutes. The field application showed that after 7 d the corrected

收稿日期:2009-05-19;修回日期:2009-11-13.

作者简介:冯超(1983-),女,硕士研究生,E-mail:fengchao20511@163.com;*通讯作者(Author for correspondence):袁会珠(1967-),男,河北藁城人,研究员,博士,主要从事农药使用技术研究,电话:010-62815941,E-mail:hzyuan@gmail.com

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划(2006BAD08A03;2006BAD02A16).

control efficacy of 5% ethofenprox SO against rice planthoppers was 78.52%.

Key words: ethofenprox; spreading oil; orthogonal experiment; spreading speed; rice planthopper

醚菊酯(ethofenprox)是一种分子中不含酯结构的醚类似除虫菊酯类杀虫剂,属神经毒剂,具有触杀和胃毒作用,无内吸传导作用,对哺乳动物和鱼的毒性极低^[1]。可有效防治白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horvath)、褐飞虱 *Nilaparvata lugens* (Stål)、灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén)、黑尾叶蝉 *Nephotettix cincticeps* (Uhler)、稻象甲 *Echinocnemus squameus* Billberg 等害虫。随着稻飞虱 rice planthopper 对吡虫啉抗性的出现,醚菊酯将成为替代甲胺磷等高毒有机磷杀虫剂的理想农药品种之一^[2-3],具有广阔的市场应用前景。

目前,我国在水稻田病虫害化学防治技术中,普遍采用常规大容量喷雾技术,施药液量超过 750 L/hm²,甚至采用毒土法、水唧筒法^[4]等,劳动强度大,费工费时。生产中急需开发较为省力的施药技术。展膜油剂是与水田的省力化施药技术相匹配的剂型之一,属于水面铺展制剂范畴。目前国内研制的水面铺展制剂在配方选择上大体分为两类:一是以固体物质作载体,加入展开剂或崩解剂制成颗粒剂,在上面涂覆憎水剂;二是以有机溶剂作载体溶解原药,常用有机溶剂有二甲苯、二甲基甲酰胺(DMF)、四氯甲烷等。但由此产生的问题是:当以固体物质作载体时,随着水溶性载体的溶解,若有效成分也为水溶性,则会因浓度差而扩散,导致有效成分全部溶解于水体中,若要保证防治效果则必须使水体达到一定的有效浓度,这样不仅浪费还会对水生生物、人、畜等造成极大的危害;若有效成分为水难溶性,则很难保证搭载于固体载体上的有效成分能均匀分布于水中;且颗粒剂易因在运输和贮运时受到摩擦和挤压而呈粉末状,影响药效发挥。若以一般有机溶剂作溶剂体系,也会因溶剂的毒性而污染环境;同时,伴随溶剂的挥发,制剂中的活性组分会因其水难溶性而结晶聚集成固体微粒状析出,很难保持其在水中的有效浓度均匀度。

选择生物有机溶剂则可弥补上述不足。该类溶剂多为生物酯类,一般是动植物体内的提取物或经人工合成得到,无毒、无污染。美国 FDA(Food and Drug Administration)及 FEMA(Federal Emergency Management Agency)法规中规定,在食品工业中允许使用这类天然生物酯类物质。笔者选用生物有机

溶剂,研制出了一种能有效防治稻飞虱的展膜油剂。

1 材料与方 法

1.1 药剂及试剂

96%醚菊酯(ethofenprox)原药(山西绿海农药科技有限公司)。溶剂:农溶复合酯、豆油酸甲酯、棕榈油酸甲酯、动物油酸甲酯、月桂酸甲酯和椰油脂肪酸甲酯(北京市庆盛达化工技术有限公司),生物柴油(浙江东江能源科技公司)。表面活性剂:烷基酚聚氧乙烯四醚(OP-4)、烷基酚聚氧乙烯十醚(OP-10)、十二烷基苯磺酸钙(农乳 500#)、三苯乙基苯酚聚氧乙烯-聚氧丙稀嵌段聚合物(1601)、农乳 2201(均为河北邢台蓝星化工厂产品),苯乙烯基苯酚聚氧乙烯(16)醚(农乳 601#,江苏钟山化工厂),司班 80(南京金陵化工厂),silwet(408、618、625)(GE 东芝有机硅有限公司),成膜助剂十二碳醇酯(大庆天源化工有限公司)。其他试剂:大豆油(超市购买,口福牌,三级)。

1.2 主要仪器

电磁搅拌器(上海南汇电讯器材厂);PHS-3D pH 计(上海启威电子有限公司);TX500C 全量程界面张力测量仪(美国 CNG 公司);Waters 600E 2487 型高效液相色谱仪(美国 waters 公司)。

1.3 展膜油剂的配方筛选及优化

参照邹维忠的方法^[5],在室温下测定了供试原药在 7 种生物有机溶剂中的溶解度。将月桂酸甲酯与表面活性剂按 19:1(质量比)的比例混合均匀,取 50 μL 滴于水面,测定其在水面的铺展时间和铺展半径,计算铺展速度及面积^[6]。选取铺展速度和铺展面积综合评价较好的表面活性剂用正交法^[7-8]进行配方优化。采用 L₉(3⁴)正交试验,将月桂酸甲酯和原药按 10:1(质量比)的比例混合配成母液,按表 2 处理加入各因素,以母液补足,测定各评价指标(滴入量 1.28 μL)。为便于配方在实际生产中推广,选取价廉易得到的大豆油作为填充体。

1.4 展膜油剂理化性能测定

参照 GB/T1600-93 方法测定试样 pH 值;采用 TX500C 全量程界面张力测量仪测定表面张力及界面张力,预置温度设定 35 °C,测定表面张力时使用内径为 6.2 mm 的离心管,将待测液用 5 mL 注射器注满润湿过的离心管,慢慢将孔塞插入离心管,防止

气泡进入管内。注入一个气泡后,将带硅橡胶垫的孔塞帽一直插到孔塞底部封住导向孔,排除多余液体,转速为4 000 r/min。测定界面张力使用内径为2 mm的离心管,将自来水用5 mL注射器注满润湿过的离心管,注入一滴待测溶液。将细管插入细管右套,防止气泡进入管内,转速为5 000 r/min。热贮稳定性试验参照凌世海^[9]油悬浮剂的方法在(54±2)℃下贮存14 d后进行。

1.5 采用 HPLC 分析醚菊酯含量

色谱条件: Hypersil C₁₈ 色谱柱(200 mm × 4.6 mm, 5 μm); 柱温 30 ℃; 流动相为甲醇-水 = 90:10(体积比); 流速 1 mL/min; 进样量 20 μL; 保留时间 7.5 ~ 7.8 min; 检测波长 225 nm; 定量方法峰面积外标法。

准确称取醚菊酯标准品 10.00 mg, 用甲醇溶解并定容至 100 mL, 制成 100 mg/L 的标准母液, 再将其分别用甲醇稀释成 0.5, 1.0, 2.0, 5.0, 10, 20 mg/L 的标准溶液。以标准溶液质量浓度为横坐标, 峰面积为纵坐标, 得到对应的关系曲线。采用在样品中加标的方法来进行回收率实验。

1.6 数据统计分析

上述实验均设 2 次重复, 数据采用 DPS 软件进行统计检验。

1.7 防治稻飞虱田间药效试验

1.7.1 供试稻田 连梗 2 号品种的直播稻田, 水稻处于抽穗期, 田间水层深度约为 6 cm。

1.7.2 田间药效试验 试验地点在江苏省盐城市建湖县农业科学研究所试验田。将 5% 醚菊酯展膜油剂装入 50 mL 离心管, 管底扎一直径 1 mm 的施药孔, 将离心管置于小区中心位置的水田上方, 小区面积 10 m × 10 m, 于每小区中心处施药, 用药量(有效成分) 150 g/hm²。采用 GB 15794—1995 稻飞虱田间调查方法——盘拍法进行调查, 以施药点为中心记作 1, 向 4 个方向每隔 1 m 设 1 个取样点, 每个方向 4 个取样点, 每点 2 丛。每个处理调查时间一致, 于处理前调查虫口基数, 药后 3、7 d 分别进行药效调查。分别按(1)、(2)式计算虫口减退率和防治效果。

$$\text{虫口减退率}/\% = [(\text{施药前虫口基数} - \text{施药后残留虫量}) / \text{施药前虫口基数}] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{防治效果}/\% = [(\text{处理区虫口减退率} - \text{对照区虫口减退率}) / (100 - \text{对照区虫口减退率})] \times 100 \quad (2)$$

2 结果与分析

2.1 溶剂体系确定

对 7 种生物有机溶剂的筛选结果表明, 农溶复合酯、豆油酸甲酯、棕榈油酸甲酯、动物油酸甲酯和生物柴油对原药的溶解性差, 月桂酸甲酯和椰油脂肪酸甲酯有较好的溶解性, 分别为 267.75 g/L 和 325.33 g/L, 达到实验所需溶解度。将用月桂酸甲酯和椰油脂肪酸甲酯作溶剂的样品放入 0 ℃ 冰箱 4 h 后, 无沉淀(结晶)或分层现象, 考虑到月桂酸甲酯较椰油脂肪酸甲酯易得, 故选月桂酸甲酯作溶剂。

2.2 表面活性剂的选择

结果见表 1。可见: silwet 408 铺展速度最快, 其次是农乳 2201 和 OP-4; 农乳 2201 铺展面积最大, 达到 2172.55 cm², 其次是 OP-10。研究表明, OP-4、OP-10、农乳 2201 和 silwet 408 综合评价指标好。但 silwet 408 在加入月桂酸甲酯放置一段时间后变混浊。因此选取 OP-4、OP-10、农乳 2201 进行优化调整。

表 1 表面活性剂对溶剂铺展性能影响

Table 1 The effect of different surfactant on the spreading performance

表面活性剂 Surfactant	铺展速度 Spreading speed /(cm/s)	铺展面积 Spreading size /cm ²	评价 Evaluation
OP-4	6.96 b	1534.58 c	+++
OP-10	5.37 c	1811.60 b	+++
农乳 500	5.93 bc	1670.54 bc	++
农乳 601	3.44 d	1745.51 bc	+
1601	5.35 c	1712.35 bc	++
Span-80	5.48 c	1581.78 c	++
农乳 2201	6.56 b	2172.55 a	++++
Silwet 408	10.65 a	1644.68 bc	+++
Silwet 618	2.87 d	698.49 d	--
Silwet 625	6.96 b	1534.58 c	--

注: 同一列平均值后的不同小写字母表示平均值在 $P=0.05$ 水平差异显著性。+ 和 - 表示铺展性能, “++++” 表示铺展性最好, “--” 表示铺展性最差。

Note: Data followed by different small letters were statistically different at $P=0.05$. + and - indicated the spreading performance, “++++” means the best spreading performance, and “--” the worst spreading performance.

2.3 正交法优化配方

结果见表 2。可见, 配方 9 综合评价指标较好, 而在各评价指标中铺展面积是展膜油剂的主要衡量指标, 故对铺展面积进行了单因素方差分析。OP-4 在质量分数为 2% ~ 5% 范围内随加入量的增加铺展面积呈下降趋势, 因此将其质量分数降为 1% ~ 2% 为宜; OP-10 在质量分数为 1.5% ~ 3% 范围内铺展面积随加入量增加而增大, 故将其质量分数调节在

2%~4%;大豆油在质量分数为30%~35%时对铺展面积影响不大,调整为30%~37.5%。由表中各因素铺展面积的极差分析可见,OP-10对铺展面积

的影响最大,2201最小。考虑到展膜油剂的成膜性问题,配方中添加了十二碳醇酯,并以其作为一个影响因素,进行细调正交试验,结果见表3。

表2 表面活性剂和填充体不同配比对铺展性能的影响

Table 2 The effect of different content of surfactant and filler on the spreading performance

配方 Formula	因素 Factors				评价指标 Dependent variable			综合评价 Evaluation
	A OP-4/%	B OP-10/%	C 2201/%	D 豆油 Soybean oil/%	铺展速度 Spreading speed /(cm/s)	铺展面积 Spreading area /cm ²	界面张力 Interfacial tension /(mN/m)	
1	2	1.5	1	30	6.92 de	1 745.11 b	0.071 d	- + -
2	2	2	1.5	35	7.86 bc	1 972.27 a	0.050 g	- + +
3	2	3	2	40	7.92 b	1 995.58 a	0.106 b	+ + -
4	3	1.5	1.5	40	6.97 cde	1 547.62 c	0.116 a	- - -
3	2	2	30	6.51 e	1 969.61 a	0.065 f	- + +	
6	3	3	1	35	8.29 ab	2 013.59 a	0.051 g	+ + +
7	5	1.5	2	35	8.21 ab	1 978.42 b	0.087 c	+ + -
8	5	2	1	40	7.48 bcd	1 621.30 c	0.068 e	- - -
9	5	3	1.5	30	8.88 a	1 957.20 a	0.057 g	+ + +
Level I	1 904.32 a	1 687.05 c	1 793.33 b	1 890.64 a				
Level II	1 843.61 ab	1 854.39 b	1 825.70 b					
Level III	1 782.31 b	1 988.79 a	1 911.21 a					
R	122.02	301.74	117.87	196.60				

注:同一列平均值后的不同小写字母表示在 $P=0.05$ 水平的差异显著性。+和-表示评价级别,铺展速度和铺展面积差异显著性为“a或b”记“+”,否则记“-”;界面张力差异显著性为“f或g”记“+”,否则记“-”。

Note: Data followed by different small letters were statistically different at $P=0.05$. “+” and “-” represent evaluation grades. The significance differences of spreading speed and spreading area are “a or b” is represented as “+”, otherwise it is represented “-”. The significance differences of interfacial tension are “f or g” is represented as “+”, otherwise it is represented “-”.

表3 细调正交试验结果

Table 3 The fine-tune orthogonal experimental design

配方 Formula	因素 Factors				评价指标 Dependent variable			综合评价 Evaluation
	A OP-4/%	B OP-10/%	C 十二碳醇酯 Dodecanol ester/%	D 豆油 Soybean oil /%	铺展速度 Spreading speed /(cm/s)	铺展面积 Spreading area /(cm ²)	界面张力 Interfacial tension /(mN/m)	
1	1	2	1	30	9.02 a	1207.68 d	0.299 a	+ - -
2	1	3	2	35	8.91 a	1271.62 c	0.202 c	+ - -
3	1	4	4.5	37.5	8.52 a	1320.84 c	0.238 b	+ - -
4	1.5	2	2	37.5	8.52 a	1477.86 b	0.189 cd	+ + -
5	1.5	3	4.5	30	9.14 a	1761.46 a	0.200 c	+ + -
6	1.5	4	1	35	8.32 a	1779.32 a	0.176 d	+ + -
7	2	2	4.5	35	8.01 a	1882.74 a	0.089 f	+ + +
8	2	3	1	37.5	9.29 a	1809.59 a	0.102 ef	+ + -
9	2	4	2	30	9.05 a	1521.97 b	0.116 e	+ + -

注:同一列平均值后的不同小写字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著性。+和-表示评价级别,铺展速度和铺展面积差异显著性为“a或b”记“+”,否则记“-”;界面张力差异显著性为“f或g”记“+”,否则记“-”。

Note: Data followed by different small letters were statistically different at $P=0.05$. “+” and “-” represent evaluation grades. The significance differences of spreading speed and spreading area are “a or b” is represented as “+”, otherwise it is represented “-”; The significance differences of interfacial tension are “f or g” is represented as “+”, otherwise it is represented “-”.

由表2和表3中数据可知,界面张力越小,铺展面积越大,但界面张力和铺展速度间的关系却不明显,这是由于油水界面张力首先经过动态界面张力而最终达到平衡界面张力(即界面张力)的结

果^[10-11],而铺展面积和平衡界面张力所反映的都是最终的状态。

由表3可见,配方7综合评价较好。在配方7中各项含量不变的基础上加入2201,加入量及铺展

性能见表4。可见,当2201加入量为1.5%时铺展速度最快,为9.15 cm/s,且铺展面积最大,为1 912.54 cm²。由此确定制剂的最佳配方为5% 醚菊酯、50% 月桂酸甲酯、2.0% OP-4、2.0% OP-10、1.5% 2201、4.5% 成膜助剂和35.0% 大豆油(百分数均为质量分数)。

表4 2201含量对铺展性能的影响

Table 4 The effect of different contents of 2201 on the spreading performance

配方 Formula	2201 含量 Contents of 2201/%	铺展速度 Spreading speed/ (cm/s)	铺展面积 Spreading area/cm ²
1	1.0	8.21	1 803.33
2	1.5	9.15	1 912.54
3	2.0	8.97	1 878.21

2.4 醚菊酯分析标准曲线及回收率

在0.5~20 mg/L之间,醚菊酯质量浓度与峰面积之间呈良好的线性关系,一元线性回归方程为 $Y = 60.356x + 1.1092$, $R^2 = 0.9999$ 。醚菊酯标样的高效液相色谱图见图1。

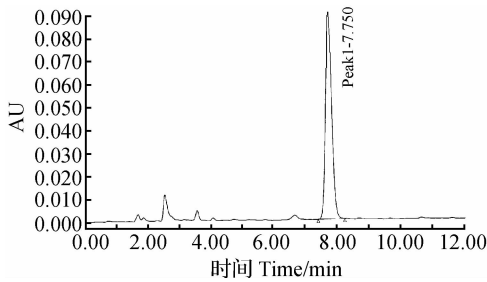


图1 醚菊酯标样 HPLC 图

Fig. 1 HPLC of ethofenprox standard sample

经测定,醚菊酯的添加回收率在98.51%~99.61%之间,平均为99.06%,相对标准偏差(RSD)介于6.9%~11.3%之间(表5)。表明此分析方法的准确度是可信的。

2.5 质量技术指标

根据上述优选配方配制的制剂,在25℃时pH

表5 醚菊酯质量分析方法的回收率及精密度(n=6)
Table 5 Recovery and precisions of ethofenprox (n=6)

样品 Sample	已知量 Content/mg	加入量 Added/mg	平均回收率 Mean recovery/%	RSD/%
醚菊酯 ethofenprox	23.25	3.45	98.51	8.4
	13.27	3.05	99.21	11.3
	7.56	2.55	99.61	6.9

值为5.35,显酸性;35℃时表面张力为28.33 mN/m,平衡界面张力为0.11 mN/m。经高效液相色谱测定,醚菊酯质量分数为4.92%。经过常温和热贮14 d后,醚菊酯分解率分别为0.06%和0.10%。样品经热贮后,外观透明,无沉淀、结晶和分层现象,流动性和铺展性均无变化,在滴加量1.28 μL时,铺展速度为9.29 cm/s,铺展面积为1 882.74 cm²。

2.6 对稻飞虱的防治效果

施药时5% 醚菊酯展膜油剂从滴出孔自行滴下,在水面自然分散,迅速覆盖整个稻田水面并长时间漂浮于水面,在表面张力作用下沿植株爬覆并聚集于植株根基部(图2)。从表6结果可见,施药后3 d,防治效果为52.09%,施药后7 d防治效果为78.52%。分析不同调查点的防治效果,发现该药剂在施药点滴下后能够铺展于整个稻田水面,且分布均匀,各调查点7d后的防治效果均在60%以上。

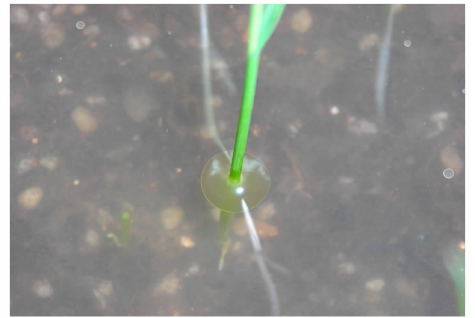


图2 5% 醚菊酯展膜油剂聚集植株周围

Fig. 2 5% ethofenprox SO around plant

表6 5% 醚菊酯展膜油剂对稻飞虱的防治效果

Table 6 The control effect of 5% ethofenprox SO against rice planthopper

试验药剂 Compound	调查点 Sampling site	药后3d Third day		药后7d Seventh day	
		虫口减退率 Death rate/%	防治效果 Control effect/%	虫口减退率 Death rate/%	防治效果 Control effect/%
对照 CK		-32.58	—	-35.96	—
5% 醚菊酯 Ethofenprox SO	1	38.20	53.39	83.15	87.61
	2	32.58	49.15	77.53	83.47
	3	26.79	44.78	71.91	79.34
	4	41.01	55.51	49.44	62.81
	5	43.82	57.63	71.91	79.34
平均 Average		36.48	52.09	70.79	78.52

3 讨论

展膜油剂为水田省力化使用剂型之一,目前在我国已商品化的品种甚少,究其原因多是选用有毒的矿物质有机溶剂溶解原药,施药后溶剂在水面易挥发,使有效成分结晶或分散不均匀,防治效果降低,故选择不易挥发、环保的溶剂成为展膜油剂发展的前提^[12-15]。研究表明,醚菊酯在月桂酸甲酯中的溶解度达到防治稻飞虱所需量,且该溶剂不易挥发、对环境无污染。因此在剂型加工过程中可考虑采用生物酯类有机溶剂替代有毒的矿物质有机溶剂。

迄今,在联合国粮农组织和世界卫生组织颁布的农药制剂标准中尚无农药展膜油剂产品的技术标准,文献中也未见其配制方法的相关报道。研究中参照乳油、悬浮剂、油剂等剂型的质量控制指标和检测方法,及CIPAC方法对配制的5%醚菊酯展膜油剂各项指标进行了测定。在实际应用中,药剂的铺展速度和铺展面积是影响药效能否充分发挥的重要因素,故实验中选取铺展速度和铺展面积为评价指标,采用 $L_9(3^4)$ 正交试验法确定各组份用量,得到较优配方。

致谢:在试验过程中,江苏克胜集团和江苏建湖县农业科学研究所的徐宝玉、张守成、徐加健和刘学进同志给予了很大帮助,特此感谢。

参考文献:

[1] BAI Mei (白玫). 醚菊酯的毒性、作用机制及代谢[J]. *Pesticides* (农药), 1989, 28(4): 37.

[2] SHU Zhao-lin (束兆林), FANG Ji-chao (方继朝), MIAO Kang (缪康), et al. 醚菊酯对水稻褐飞虱的控制效果及对稻田蜘蛛的安全性研究[J]. *Jiangsu Agric Sci* (江苏农业科学), 2007(6): 81-83.

[3] LIN Kang-mei (林抗美), HE Yu-xian (何玉仙). 醚菊酯防治稻飞虱药效试验[J]. *Pesticides* (农药), 1993, 32(6): 55.

[4] TU Yu-qin (屠豫钦). *Plant Chemical Protection and Pesticide Application Process* (植物化学保护与农药应用工艺) [M]. Beijing (北京): Jindun Publishing House (金盾出版社), 2008:

75-83.

[5] SHAO Wei-zhong (邵维忠). Emulsifiable Concentrate (乳油) [M]//Liu Bu-lin (刘步林). *Pesticide Formulation Processing Series* (农药剂型加工技术). Beijing (北京): Chemical Industry Press (化学工业出版社), 1998: 364.

[6] FENG Chao (冯超). Formulation of 5% ethofenprox spreading oil and application technology in paddy field (5% 醚菊酯展膜油剂配制及使用技术研究) [D]. Beijing (北京): Chinese Academy of Agriculture Science (中国农业科学院), 2009: 10-13.

[7] LIU Feng (刘峰), WANG Hui-li (王会利), HE Mao-hua (何茂华), et al. 利用正交试验设计优选氟·莠水悬浮剂配方[J]. *Chin J Pestic Sci* (农药学报), 2003, 5(1): 88-92.

[8] TAN Cheng-xia (谭成侠), SHEN De-long (沈德隆). 粉·福(粉锈宁+福美双)悬浮剂配方的开发研究[J]. *Pesticides* (农药), 1998, 37(5): 12-15.

[9] LING Shi-hai (凌世海), WEN Jia-jun (温家钧). Oil Miscible Flowable Concentrate (油悬浮剂) [M]//Liu Bu-lin (刘步林). *Pesticide Formulation Processing Series* (农药剂型加工技术). Beijing (北京): Chemical Industry Press (化学工业出版社), 1998: 353.

[10] YAN Xiao-ci (颜肖慈). *Interface Chemistry* (界面化学) [M]. Beijing (北京): Chemical Industry Press (化学工业出版社), 2005: 21-33.

[11] ZHAO Yu (赵宇). Synthesis and interfacial properties of pure alkylbenzenesulfonates (系列烷基苯磺酸盐纯化合物的合成及界面性质研究) [D]. Dalian (大连): Dalian Technology University (大连理工大学), 2006.

[12] CAI Wei-min (蔡伟民), FAN Xiao-lin (范小林), ZHU Qi-sheng (朱启升). A liquid pesticide floating on water surface. (一种水面自动展开的漂浮性液态农药制剂): CN 1153594A [P]. 1997-07-09.

[13] FAN Xiao-lin (范小林), GONG Zi-fang (龚子方), FAN Wen-feng (范文峰). Preparation method for medicine of spreading on water surface (一种用于防治血吸虫的水面自扩散型药物制剂及其制备方法): CN 1717990A [P]. 2006-01-11

[14] ZHU Qi-sheng (朱启升), FAN Xiao-lin (范小林). A pesticide formulation of perish planthopper (一种扑虱农药制剂): CN 1317236A [P]. 2001-10-17.

[15] ZHU Qi-sheng (朱启升), FAN Xiao-lin (范小林). A pesticide formulation of imidacloprid (一种吡虫啉农药制剂): CN 1318296A [P]. 2001-10-24.

(责任编辑:金淑惠)