

Study on Formulations and Field Trails of Abamection·Destruxin A 2%SC

Xingmin Wang¹, Zhenfang Shao^{2,3}, Shaikat Ali¹, Zeqing Wang^{2,3*}

¹College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou Guangdong

²Guangdong New Scene Biological Engineering CO. Ltd., Yangjiang Guangdong

³Guangdong Engineering Research Center of Micro Pesticides, Yangjiang Guangdong

Email: szf421128444@163.com, wangxmcn@scau.edu.cn, * gold-land@163.com

Received: Aug. 3rd, 2015; accepted: Aug. 17th, 2015; published: Aug. 24th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The preparation and field efficacy of abamection·destruxin A 2% SC were studied in this paper. According to the laboratory bioassay, there was an obvious synergism effect on *Plutella xylostella* (L.) mortality, by means of tests of virulence and surface active agents, the formulation of abamection·destruxin A 2% SC was determined. The results of experimental verification of the formulated product demonstrated that all indexes of abamection·destruxin A 2% SC confirmed to the quality technical standards. Field control efficacy of abamection·destruxin A 2% SC (9 g/hm² to 11 g/hm²) against *Plutella xylostella* (L.) in 14 days of application could reach to 75.84% - 93.40%, which was superior to the efficacy of abamection 1.8% EC (14(ai) g/hm²), and the efficacy could last for 14 days.

Keywords

Abamection, Destruxin A, Suspension Concentrate, *Plutella xylostella* (L.)

2%阿维·绿僵菌素悬浮剂的研制及田间药效

王兴民¹, 邵振芳^{2,3}, Shaikat Ali¹, 王泽清^{2,3*}

¹华南农业大学农学院, 广东 广州

²广东新景象生物工程有限公司, 广东 阳江

³广东省微生物农药工程技术研究中心, 广东 阳江

*通讯作者。

Email: szf421128444@163.com, wangxmcn@scau.edu.cn, *gold-land@163.com

收稿日期: 2015年8月3日; 录用日期: 2015年8月17日; 发布日期: 2015年8月24日

摘要

通过毒力试验、表面活性剂的筛选, 确定了2%阿维·绿僵菌素悬浮剂的配方, 并进行了质量稳定性和田间药效研究。质量稳定性实验结果表明了2%阿维·绿僵菌素悬浮剂的各项性能稳定。田间试验结果表明, 2%阿维·绿僵菌素悬浮剂以有效成分9-11 (ai) g/hm²防治甘蓝小菜蛾, 防效可达75.84%~93.40%, 明显优于1.8%阿维菌素乳油(14(ai) g/hm²)的同期防效, 持效期达14天。

关键词

绿僵菌素, 阿维菌素, 悬浮剂, 小菜蛾

1. 引言

绿僵菌素(destruxins)是金龟子绿僵菌(*Metarhizium anisopliae*)产生的一类环缩羧肽类毒素, 对等翅目、鞘翅目、双翅目、鳞翅目、直翅目等 20 多种害虫有毒杀和拒食作用[1]。小菜蛾[*Plutella xylostella*(L.)]属鳞翅目菜蛾科, 是世界性的为害十字花科蔬菜的重要害虫之一[2]。目前, 我国华南、华中、华北等大部分地区的小菜蛾对阿维菌素已产生明显抗药性, 尤其是在广东、云南、海南的部分菜区, 阿维菌素类药剂对小菜蛾已完全失效[3]。合理有效的进行复配是缓解害虫抗药性发展速度的有效措施。本文研究绿僵菌素与阿维菌素两者联合作用下对小菜蛾的生物活性, 并进行悬浮剂的研发, 旨在开发出能够有效防治小菜蛾的农药新产品, 以缓解小菜蛾对阿维菌素的抗药性。

2. 材料与方法

2.1. 试验材料

供试作物: 甘蓝(*B. oleracea*)盆栽苗。

供试昆虫: 小菜蛾[*Plutella xylostella*(L.)] 3 龄幼虫。

供试药剂: 原药: 供试阿维菌素原药(≥95%, 浙江升华拜克生物股份有限公司), 绿僵菌素: 参照胡琼波等方法[4], 用 HPLC 法测得其绿僵菌素 A 含量为 34%。

供试湿润分散剂: 亚甲基双萘磺酸钠(NNO), 亚甲基双甲基萘磺酸钠(MF), 木质素磺酸钠(CMN), 聚羧酸盐(MOTAS 500S), 烷基酚聚氧乙烯醚(OP-10), 高分子羧酸盐分散剂 GY-D04, 烷基酚聚氧乙烯醚甲醛缩合物硫酸盐(SOPA-270), 十二烷基苯磺酸钙(农乳 602), 木质素磺酸钙(木钙), 磷酸酯; 增稠剂: 硅酸镁铝, 黄原胶, 膨润土等; 消泡剂: 正辛醇、泡敌、硅酮类; 防冻剂: 乙二醇, 丙三醇, 氯化钠, 尿素等。去离子水。

供试实验仪器: 低温稳定性测试仪(SHDW-2, 淄博三合仪器有限公司), 人工气候箱(PYX-300Q-B, 广州韶关科力实验仪器有限公司), 超声波清洗机(H-66M, 无锡市美极超声波清洗机设备有限公司), 高速分散均质机(FJ-200 型, 金坛市天竟实验仪器厂), 精密 pH 计(PHS-3C, 上海精密科学仪器有限公司), 安捷伦高效液相色谱仪(1200 型, 安捷伦科技有限公司), 离心机(YXJ-2, 江苏金坛市环宇科学仪器厂), 电热恒温干燥箱(202-3A, 北京金志业仪器设备有限公司), 砂磨搅拌机(MXD-F, 天津市金飞达试验仪器设备有限公司), 激光粒度仪(Malvern Master Sizer2000, 江门市荣碳电子材料有限公司), 水浴锅(HWS, 上海一恒科

学仪器有限公司), NDJ 旋转式黏度计(NDJ-1, 上海精密仪器仪表有限公司), 天平(精确至 0.0001 g, FA2004, 上海双旭电子有限公司)。

2.2. 试验方法

2.2.1. 室内毒力实验

复配配方筛选: 比例法。试验采用比例法, 共设置 11 个配比药效, 1 个空白对照。将没有接触过任何药剂的甘蓝叶片分别浸入药液中 10 s, 取出晾干后将其放入干燥的培养皿中。每个培养皿中接入健康的小菜蛾幼虫(3 龄)20 头, 每个药剂设 5 个浓度, 每个浓度重复 4 次。将培养皿置于恒温箱中进行饲养(温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 75%, 光照周期为 L:D = 14:10)。72 h 后检查结果, 计算死亡率和校正死亡率, 用 spss 软件计算 LC_{50} 和毒力回归方程和共毒系数(C.T.C) [5]。药剂的配制方法参考杀虫剂毒力测定方法[6] [7]。

按照杀虫剂联合作用划分标准[8]确定增效作用的大小, 即增效作用: $\text{C.T.C} \geq 120$, 拮抗作用: $\text{C.T.C} \leq 80$, 相加作用: $80 < \text{C.T.C} < 120$ 。

最佳配比的确定: 将共毒系数表现为增效作用较好的配方确定为最佳配比。

2.2.2. 悬浮剂的加工

湿润分散剂的筛选: 利用“流点法” [9]来进行润湿分散剂种类的确定, 选择流点较低的润湿分散剂, 采用粘度曲线法来确定分散剂的适宜用量。将适宜用量色湿润分散剂与原药混合, 加入 2%黄胶原、5%乙二醇, 加工成 2%阿维·绿僵菌素半成品, 测定其悬浮率、粒径、分散性、黏度, 实验结果见表 5。

增稠剂的筛选: 将筛选出的湿润分散剂与不同含量的黄原胶、膨润土、硅酸镁铝等同基本配方加工成悬浮剂半成品。根据流动性、分散性和热贮稳定性的实验结果, 选择较佳的增稠剂并确定其较佳用量。

防冻剂的选择: 在悬浮剂半成品中加入几种常用的抗冻剂, 置于 $-2^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C}$ 的环境中贮藏 14 天, 观察其外观变化。

消泡剂的筛选: 为了防治悬浮剂在加工和喷雾过程中产生过多的起泡, 降低生产效率和药效, 通常要在制剂加工过程中加入一定量的合适的消泡剂, 测定其起泡量。

按照比例称量适量的阿维菌素原药、绿僵菌素(自制)、湿润分散剂、增稠剂、防冻剂、消泡剂、去离子水, 将其加入混合釜中, 混合 30 min 后, 用湿式超微粉碎法于 20°C 砂磨 2 h, 然后将其料浆转入高速剪切釜, 高速剪切 10 min 后即得到悬浮剂产品。

按上述配方配得阿维·绿僵菌素悬浮剂样品 5 批, 进行复证试验, 检验产品的 pH、悬浮率、热贮稳定性、冷贮稳定性等技术指标。

有效成分含量的测定: 参照胡琼波法[10]测定产品中绿僵菌素 A 的含量; 参照李再兴等的方法[11]测定阿维菌素(A + B)的含量。

pH 值的测定: 按 GB/T 1601 农药 pH 值的测定方法测定。

悬浮率的测定: 按 GB/T 14825 农药悬浮率测定方法测定。

倾倒性测定: 按 HG/T2467.5-2003 方法测定。

湿筛试验测定: 按 GB/T16150 中的“湿筛法”测定。

持久泡沫量测定: 按 HG/T 2467.5-2003 中 4.11 进行。

低温稳定性测定: 按 GB/T 19137 中 2.2 进行。

热贮稳定性测定: 按 GB/T 19136 中 2.3 进行。

粒径的测定: 取一滴样品加入含有 10 mL 去离子水的试管中, 摇匀; 倒入激光粒度分布仪测量仪中, 超声搅拌 2 s, 测量, 取其平均值。

黏度的测定: 按 NY/T 1860.21-2010 中方法测定。

分散性的测定：在 100 mL 量筒中加入 98 g·342 mg/L 标准硬水和 2 g 悬浮剂样品，观察其入水完全分散情况，并观察其 1 h、24 h、72 h 的沉淀情况；同时记录瓶底沉淀物完全分散所需要的次数。

2.2.3. 田间药效试验

试验设在广东省佛山市西樵镇进行。试验地地势平坦、肥力均匀，管理较好，种植作物为甘蓝，喷药时甘蓝生长处于莲座期，小菜蛾虫口较大，虫龄以 2~3 龄为主。试验设 6 个处理：试验组 9、10、11 (ai) g/hm² (有效成分，下同)，1.8%阿维菌素乳油 10(ai) g/hm²，10%绿僵菌素稀释液以及清水对照(CK)，4 个重复，小区面积为 30 m²，随机区组排列。

施药时间为 2014 年 10 月 18 日，用(Super-Green)-16 型背负式喷雾器进行喷雾，每 667 m²喷药 45 L，均匀喷施在甘蓝植株叶表面及心叶内。

药效调查法采用定点定株调查的方法。施药前每小区按 5 点取样法并用标签标记甘蓝作为药前虫口基数，施药后 1 天、3 天、7 天、14 天调查标定甘蓝的存活虫数。计算虫口减退率和防治效果。用邓肯氏新复极差检验法 (DMRT)进行统计分析，比较各处理效果的差异水平。

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

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

3. 结果与分析

3.1. 药剂的复配筛选

如表 1 所示，根据杀虫剂联合作用划分标准，2、7、8 组表现为相加作用(80 < C.T.C < 120)，第 3、4、5、6、8、9 组均表现为增效作用(C.T.C ≥ 120)，其中以第 5 组样品增效效果最好，因此优先选择第 5 组配比作为本实验的产品配方。

3.2. 溶剂的筛选

表 2 结果表明，MOTAS 500S、NNO、农乳 602 的流点均在较低的范围內，是比较理想的湿润分散剂的选择。

Table 1. Co-toxicity of abamection with destruius against *Plutella xylostella* (L.)

表 1. 阿维菌素与绿僵菌素联合作用对小菜蛾幼虫的生物活性

组别	重量比	线性方程 Y=	LC ₅₀ (mg/L)	95%置信区间	R ²	CTC
1	A:B = 10:0	-3.88162 + 1.93965x	100.27450	85.04892~119.23779	0.985	-
2	A:B = 9:1	-4.20387 + 2.15088x	90.05021	77.31191~105.23379	0.995	113.0925
3	A:B = 8:2	-3.84048 + 2.03292x	77.47208	65.95201~90.93043	0.990	133.5386
4	A:B = 7:3	-3.77677 + 2.03712x	71.44502	60.73588~83.75618	0.994	147.1375
5	A:B = 6:4	-3.57272 + 1.96947x	65.16989	54.97951~76.68101	0.989	163.9472
6	A:B = 5:5	-3.47190 + 1.81370x	82.08615	68.90096~97.98836	0.989	132.3285
7	A:B = 4:6	-3.46206 + 1.75631x	93.58604	78.30605~112.77718	0.998	118.0335
8	A:B = 3:7	-3.59215 + 1.78071x	104.05457	87.23984~125.75782	0.999	107.9872
9	A:B = 2:8	-3.46819 + 1.78050x	88.68864	74.31855~106.40280	0.996	128.9175
10	A:B = 1:9	-3.56236 + 1.88240x	78.06483	65.79783~92.57220	0.990	149.0747
11	A:B = 0:10	-4.86074 + 2.34402x	118.48883	102.68997~137.26201	0.996	-

注：A：阿维菌素，B：绿僵菌素。

在悬浮剂的研制过程中,通常采用黏度曲线法来确定分散剂的最佳用量。由图 1 可以看出,随着分散剂用量的增加,悬浮剂的黏度迅速降低;黏度降至最低点后,随着分散剂用量的增加,悬浮剂的黏度亦有所增加。结合流点法和黏度曲线法测定结果,MOTAS 500S、NNO、农乳 602 的适宜用量均为 2%~3%。

将 MOTAS 500S、NNO、农乳 602 以不同的含量与 1.2%阿维菌素、0.8%绿僵菌素、0.2%黄胶原、5%乙二醇混合筛选,测定湿润分散剂对悬浮剂的物理稳定性影响。从表 3 可以看出,湿润分散剂含量不同,平均粒径和分散性区别不大,但黏度和悬浮率略有不同;使用单一湿润分散剂,悬浮剂的悬浮率均不是很理想,采用 1.75%MOTAS 500S + 0.75%NNO 作为湿润分散剂,实验产品的各项物理性能均达到比较理想的状态。

结果表明(见表 4),以 0.2%黄胶原作为增稠剂,产品的流动性、分散性以及热贮稳定性均达到比较稳定的效果,产品性能要优于以羧甲基纤维素或黄胶原作为增效剂的实验品。

由表 5 可知,5%乙二醇和丙三醇均能防止制剂在低温的环境下产生沉淀,考虑到成本,选择 5%乙二醇作为防冻剂。

从表 6 可以看出,配方以 0.2%硅酮类作为消泡剂,消泡效果最好。

3.3. 产品质量验证试验

通过室内毒力和助剂筛选实验,综合实验结果,确定该制剂较佳的配方为:绿僵菌素 0.8%,阿维菌

Table 2. The flow points of wetting dispersants

表 2. 润湿分散剂的流点

润湿分散剂	流点/(mL/g)	润湿分散剂	流点/(mL/g)
MF	3.71 ± 0.03	MOTAS 500S	3.37 ± 0.03
农乳 602	3.40 ± 0.03	GY-D04	4.07 ± 0.03
CMN	3.88 ± 0.03	NNO	3.49 ± 0.03
OP-10	4.23 ± 0.03	木钙	3.67 ± 0.03
磷酸酯	4.26 ± 0.03	SOPA-270	3.97 ± 0.03

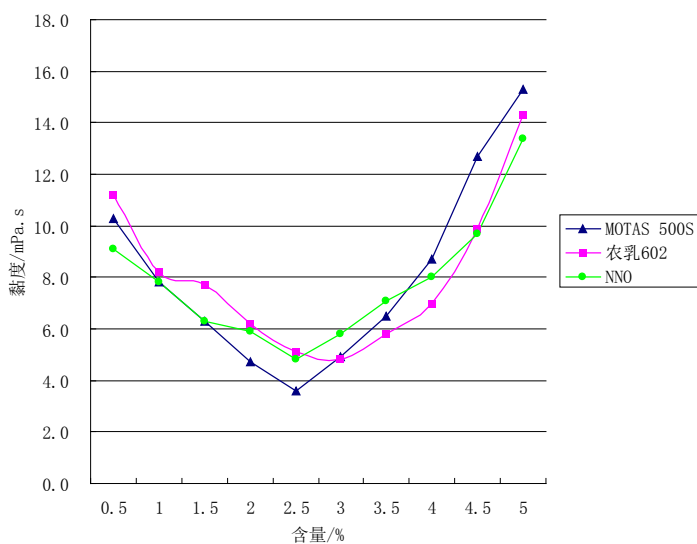


Figure 1. The effects on viscosity of SC with different wetting dispersant dosages

图 1. 湿润分散剂用量对产品悬浮剂黏度的影响

素 1.2%，NNO 0.75%，MOTAS 500S 1.75%，黄原胶 0.2%，乙二醇 5.0%，硅酮类 0.2%，水补足 100%。依据该配方配制 5 个样品，测定其稳定性，实验结果见表 7。产品的各项技术指标均符合悬浮剂的质量技术标准，是一个合格的配方。

3.4. 田间药效试验

如表 8 所示，2%阿维菌素·绿僵菌素悬浮剂以 9、10、11(ai) g/hm² 的剂量喷施甘蓝后，1、3、7、14

Table 3. The screening results of wetting dispersants

表 3. 筛选湿润分散剂体系实验结果

组别	绿僵菌素含量/%	阿维菌素含量/%	MOTAS 500S 含量/%	农乳 602 含量/%	NNO 含量/%	黄胶原含量/%	乙二醇含量/%	水含量/%	平均粒径/ μm	黏度/mPa.s	悬浮率/%	分散性(次数)
1	0.8	1.2	2	0	0	0.2	5	~100	1.97	481	84	3
2	0.8	1.2	0	2	0	0.2	5	~100	2.07	495	87	3
3	0.8	1.2	0	0	2	0.2	5	~100	2.11	503	90	3
4	0.8	1.2	2.5	0	0	0.2	5	~100	1.66	281	96	3
5	0.8	1.2	0	2.5	0	0.2	5	~100	1.78	291	91	3
6	0.8	1.2	0	0	2.5	0.2	5	~100	1.72	296	94	3
7	0.8	1.2	3	0	0	0.2	5	~100	1.91	352	92	3
8	0.8	1.2	0	3	0	0.2	5	~100	1.91	368	90	3
9	0.8	1.2	0	0	3	0.2	5	~100	1.99	373	87	3
10	0.8	1.2	1.25	0	1.25	0.2	5	~100	1.71	288	95	3
11	0.8	1.2	1.5	0	1	0.2	5	~100	1.59	241	98	3
12	0.8	1.2	0.1	0	0.15	0.2	5	~100	1.66	275	97	3
13	0.8	1.2	1.75	0	0.75	0.2	5	~100	1.48	226	99	3

Table 4. The screening results of thickeners

表 4. 筛选增稠剂体系实验结果

组别	膨润土(%)	黄原胶(%)	硅酸镁铝(%)	流动性	分散性	热贮稳定性
1	0.3	0	0	差	差	差
2	0	0.3	0	差	差	差
3	0	0	0.3	差	差	差
4	0.2	0	0	差	良	良
5	0	0.2	0	优	优	优
6	0	0	0.2	优	良	良
7	0.4	0	0	差	良	差
8	0	0.4	0	良	差	差
9	0	0	0.4	差	良	差
10	0.15	0	0	良	良	差
11	0	0.15	0	良	良	良
12	0	0	0.15	差	良	差

Table 5. The screening results of antifreeze experiments

表 5. 防冻剂的筛选结果

组别	乙二醇(%)	丙三醇(%)	尿素(%)	氯化钠(%)	(0±2)℃ 14 d
1	5	/	/	/	不分层, 不结冻
2	/	5	/	/	不分层, 不结冻
3	/	/	5	/	有沉淀
4	/	/	/	5	分层

Table 6. The screening results of defoaming agents

表 6. 消泡剂的筛选结果

组别	正辛醇(%)	泡敌(%)	硅酮类(%)	起泡量(mL)
1	0.2	/	/	28
2	/	0.2	/	20
3	/	/	0.2	10
4	/	/	0.1	23

Table 7. The results of verifying the quality technical standards

表 7. 产品质量技术指标测定结果

序号	绿僵菌素质量分数 (%)	阿维菌素质量分数(%)	pH 值	悬浮率%	倾倒性		湿筛试验(75 μm)/%	持久起泡性(1 min/mL)	低温稳定性	热贮稳定性
					倾倒性残余物%	洗涤性残余物%				
1	0.83	1.28	7.2	99.2	3.2	0.2	98	15	合格	合格
2	0.85	1.25	7.1	99.5	3.5	0.3	98	12	合格	合格
3	0.83	1.27	7.2	98.8	3.4	0.3	98	17	合格	合格
4	0.84	1.24	7.1	98.8	3.2	0.2	99	19	合格	合格
5	0.85	1.23	7.3	99.1	3.4	0.2	98	13	合格	合格

Table 8. The results of field control efficacy of abamectin-destruxin A 2% SC against *Plutella xylostella*

表 8. 2%阿维菌素·绿僵菌素对小菜蛾的田间试验效果

药剂处理	虫口基数平均值(头)	施药后 1 天		施药后 3 天		施药后 7 天		施药后 14 天	
		残虫数平均值(头)	防效 (%)	残虫数平均值(头)	防效 (%)	残虫数平均值(头)	防效 (%)	残虫数平均值(头)	防效 (%)
1	29.00	12.75	54.42cC	5.50	75.84cC	10.75	70.62cC	16.00	55.14cC
2	32.25	9.00	70.48bB	3.00	85.75bB	7.25	85.18bB	11.75	73.86bB
3	30.25	6.00	78.55aA	0.50	93.40aA	5.00	91.25aA	8.25	82.85aA
4	30.50	17.50	41.00dD	10.50	60.61dD	14.75	59.34dD	22.25	37.38dD
5	29.25	22.00	23.16eE	10.50	59.14dD	21.50	34.21eE	27.50	17.50eE
6 (CK)	29.25	28.75		27.75		31.50		32.25	

注: 处理 1、2、3 分别代表 2%阿维菌素·绿僵菌素 SC 9、10、11(ai) g/hm², 4 代表 1%绿僵菌素稀释液 15 (ai) g/hm², 5 代表 1.8%阿维菌素 EC 14(ai) g/hm², 6 为清水对照(CK)。

天对小菜蛾的防治效果明显优于对照药剂的同期防治效果。其中以 11(ai) g/hm² 的剂量施用后, 防效非常突出, 施药 1 天后防效接近 80%, 药后第 3 天, 防效可达 93.40%, 药后 14 天防效依然保持在 80% 以上。该药剂表现出良好的速效性和持效性。田间调查结果表明, 该药剂对作物生长无不良影响, 对天敌昆虫安全。

4. 结语

Amiri [12]等(1999)发现绿僵菌素对小菜蛾具有触杀和胃毒的作用, 但绿僵菌素与商品杀虫剂对小菜蛾的联合毒力少有报导, 目前仅有绿僵菌素与爪哇棒孢霉 SP053 菌株混用对小菜蛾表现出增效作用的报道[13]。由于长期以来主要依赖化学杀虫剂对小菜蛾进行防治, 小菜蛾现已成为抗性最严重和最难防治的害虫之一[14] [15]。小菜蛾对阿维菌素的抗性是逐年升高的, 而且近年来增加明显部分地区已达到高抗水平[16]。因此, 开发阿维菌素·绿僵菌素复配杀虫剂一方面可以缓解小菜蛾对阿维菌素日益升高的抗性, 另一方法可以降低用药成本。本文通过共毒系数法对绿僵菌素与阿维菌素进行配比筛选, 结果表明阿维菌素: 绿僵菌素 = 2:3 (质量比)时, 对小菜蛾的增效效果最好的。

悬浮剂是现代农药中十分重要的农药剂型之一, 也是联合国粮农组织(FAO)推荐的 4 中环保型剂型之一, 但与国外产品相比, 我国农药悬浮剂容易出现分层、絮凝、结块等现象, 其中一个重要的原因是仅重视有效成分含量, 却忽视悬浮剂稳定性研究的环节。本文采用流点法和粘度曲线法对湿润分散体系进行筛选不仅节约了实验时间和成本, 产品经热贮和冷贮实验证实, 其稳定性较好。但想要开发高质量的悬浮剂, 深入研究影响悬浮剂的不同因子将今后重点的研究方向。

本文通过田间试验验证了 2%阿维·绿僵菌素悬浮剂在实际农业生产中的应用效果。试验结果表明 2%阿维菌素·绿僵菌素悬浮剂以 9~11(ai) g/hm² 进行喷雾, 防治效果较好, 对作物生长无不良影响。但为了验证产品的安全性, 今后仍需要进一步进行制剂对环境生物的影响以及残留研究。

基金项目

科技部对发展中国家科技援助项目(KY201402014), 阳东县科技计划项目(2014-008), 广东省高等学校科技创新重点项目(CXZD1135), 广州市科技计划项目(201300000107)。

参考文献 (References)

- [1] 胡琼波, 任顺祥 (2004) 绿僵菌素的研究进展. *中国生物防治*, **4**, 234-242.
- [2] 商鸿生, 王凤葵, 张敬泽 (2003) 绿叶菜类蔬菜病虫害诊断与防治原色图谱. 金盾出版社, 北京, 132.
- [3] 梁延坡, 吴青君, 张友军, 等 (2010) 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. *热带生物学报*, **3**, 228-232.
- [4] Hu, Q.-B., Ren, S.-X., An, X.-C., et al. (2007) Insecticidal activity influence of destruxins on the pathogenicity of *Paecilomyces javanicus* against *Spodoptera litura*. *Journal of Applied Entomology*, **131**, 262-268. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1439-0418.2007.01159.x>
- [5] 陈年春, 主编 (1998) 农药生物测定技术. 北京农业大学出版社, 北京, 112-115.
- [6] 李进步, 方丽平, 薛建平 (2009) 半夏乙醇提取物对小菜蛾幼虫生物活性的研究. *中国农学通报*, **5**, 223-227.
- [7] 张宗炳 (1998) 杀虫药剂的毒力测定——原理方法应用. 北京科学出版社, 北京, 1-87.
- [8] 黄国洋 (2000) 农药试验技术与评价方法. 中国农业出版社, 北京, 155-156.
- [9] 刘明 (1987) 流悬剂及其加工技术. *中国化工信息*, **5**, 6-13.
- [10] 胡琼波, 任顺祥, 刘树艳 (2007) 绿僵菌素的分离制备及其对蛴螬的毒力. *昆虫学报*, **5**, 461-466.
- [11] 李再兴, 宋存义, 杨景亮, 等 (2007) 高效液相色谱法测定阿维菌素. *环境科学与管理*, **2**, 184-187.
- [12] Amiri, B., Ibrohim, L. and Butt, T.M. (1999) Antifeedant properties of destruxins and their potential use with the en-

tomogenous fungus *Metarhizium anisopliae* for improved control of crucifer pests. *Biocontrol Science and Technology*, **9**, 487-498. <http://dx.doi.org/10.1080/09583159929451>

- [13] 尹飞, 胡琼波, 钟国华, 等 (2010) 绿僵菌素对爪哇棒孢霉 SP053 菌株的影响及混用对小菜蛾的毒力. *昆虫学报*, **1**, 61-67.
- [14] 杨眉, 邵凌云, 于凤泉, 等 (2011) 4 种杀虫剂防治小菜蛾田间药效试验. *现代农业科技*, **11**, 162, 164.
- [15] 李进步, 方丽平, 薛建平 (2009) 半夏乙醇提取物对小菜蛾幼虫生物活性的研究. *中国农学通报*, **5**, 223-227.
- [16] 孙礼兵, 柳峰, 刘限, 等 (2011) 小菜蛾对阿维菌素抗药性的研究进展. *北方园艺*, **16**, 205-207.