

◆ 开发与分析 ◆

12%甲维·茚虫威悬乳剂的研制及 对甜菜夜蛾防效测定

张彦辉¹, 马超¹, 赵宜君¹, 张力卜¹, 段小莉¹, 杨洋¹, 霍金领¹, 杨建航¹, 王克鹏¹, 徐军^{1,2*}, 陈昶^{1,2*}

(1. 河北中保绿农作物科技有限公司, 北京 100193; 2. 中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100193)

摘要:为研制高效稳定的12%甲维·茚虫威悬乳剂,采用直接乳化法,对配方中的润湿分散剂、增稠剂、防冻剂进行筛选,确定最优配方。结果表明,筛选出的最佳配方为甲氨基阿维菌素苯甲酸盐2%、茚虫威10%、环己酮10%、溶剂油150# 15%、Agrilan 788 4%、Dispersogen LFS 2%、Ethylan NS-500LQ 1%、丙三醇4%、黄原胶0.2%、硅酸镁铝0.6%、有机硅消泡剂SAG 1572 0.2%,去离子水补足至100%。该配方制得的12%甲维·茚虫威悬乳剂储存稳定性、分散性良好,各项指标均符合检测要求。田间药效试验结果显示,该悬乳剂对甜菜夜蛾的防效较好,在有效成分用量为38 g/hm²时,对甜菜夜蛾药后7 d的防效为86.02%。

关键词:甲氨基阿维菌素苯甲酸盐;茚虫威;悬乳剂;配方;田间防效

中图分类号:TQ 450.6 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1671-5284.2025.05.004

Preparation of emamectin benzoate · indoxacarb 12% SE and its control efficiency on beet armyworm

ZHANG Yanhui¹, MA Chao¹, ZHAO Yijun¹, ZHANG Libo¹, DUAN Xiaoli¹, YANG Yang¹, HUO Jinling¹, YANG Jianhang¹, WANG Kepeng¹, XU Jun^{1,2*}, CHEN Chang^{1,2*}

(1. Hebei Zhongbao Green Agricultural Crop Technology Co., Ltd., Beijing 100193, China; 2. Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100193, China)

Abstract: To develop efficient and stable emamectin benzoate · indoxacarb 12% SE, the direct emulsification method was used for screening. Wetting dispersants, thickening agents, and antifreezes were evaluated to determine the optimal formulation. The results showed that the optimal formula was as follows: emamectin benzoate 2%, indoxacarb 10%, cyclohexanone 10%, solvent naphtha 150# 15%, Agrilan 788 4%, Dispersogen LFS 2%, Ethylan NS-500LQ 1%, glycerol 4%, xanthan gum 0.2%, magnesium aluminum silicate 0.6%, silicone defoamer SAG 1572 0.2%, and deionized added to 100%. The prepared emamectin benzoate · indoxacarb 12% SE exhibited good storage stability and dispersibility, and all indicators met the test requirements. The field efficacy trials demonstrated that at the active ingredient dosage of 38 g/hm², the emamectin benzoate · indoxacarb 12% SE showed high efficacy against beet armyworm, with the control effect of 86.02% on the 7th day after application.

Key words: emamectin benzoate; indoxacarb; SE; formula; field efficacy

甲氨基阿维菌素苯甲酸盐(emamectin benzoate)
通常简称甲维盐,其是在阿维菌素B1组分基础上修

饰合成的一种抗生素类杀虫剂^[1-2]。甲氨基阿维菌素
苯甲酸盐主要通过增强害虫受体γ-氨基丁酸

收稿日期:2025-02-10

基金项目:国家重点研发计划项目(2023YFD1700305)

作者简介:张彦辉(1993—),女,张家口人,硕士,主要从事农药制剂加工和应用研究工作。E-mail: zhangyanhui1026@163.com

通信作者:徐军(1973—),男,副研究员,主要从事农药剂型研究。E-mail: junxu@ippcass.cn

共同通信作者:陈昶(1971—),男,研究员,主要从事农药应用研究。E-mail: xsfz@zhongbaony.com

(GABA),导致大量氯离子进入神经细胞,阻断神经信号正常传递,减少害虫运动量,导致不能取食而死亡^[1-2]。其对小菜蛾(*Plutella xylostella*)、甜菜夜蛾(*Spodoptera exigua*)及入侵性害虫草地贪夜蛾(*Spodoptera frugiperda*)等鳞翅目害虫具有良好的防控效果^[3-5]。

茚虫威(indoxacarb)是一种噁二嗪类杀虫剂,通过阻断钠离子通道,导致靶标害虫神经信号传导受阻、麻痹,停止取食而死亡^[6]。其对稻纵卷叶螟(*Cnaphalocrocis medinalis*)、甜菜夜蛾及红火蚁(*Solenopsis invicta* Buren)等重要农业害虫具有较好的防治效果^[7-9]。

悬乳剂(suspo-emulsion, SE)作为环境友好型农药剂型,通过表面活性剂体系将固态原药颗粒与液态油相原药共同分散于水介质中,形成稳定的多相分散体系^[10]。相较于传统剂型,悬乳剂兼具悬浮剂与水乳剂的优势,不仅显著降低了有机溶剂使用量,而且提升了有效成分的生物利用率^[11]。目前,已获得登记的甲氨基阿维菌素苯甲酸盐及茚虫威复配剂的剂型以悬浮剂为主,但由于甲氨基阿维菌素苯甲酸盐原药熔点较低,产品在生产、运输和贮存过程中极易出现聚结、分层和变色等异常现象,且目前尚无两者复配悬乳剂的技术文献报道。本研究通过系统筛选表面活性剂组合,优化制剂配方,成功研制出12%甲维·茚虫威悬乳剂,并对其稳定性、分散性等关键指标进行系统表征,通过田间药效试验验证该制剂对甜菜夜蛾种群的防控效果,为开发高效稳定的新型复配剂型提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

原药:90%茚虫威原药,山东京博农化科技股份有限公司;83.5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐原药,河北威远生物化工有限公司。表面活性剂:分散剂Agrilan 788(聚羧酸盐类)、乳化分散剂Ethylan NS-500LQ(嵌段共聚物),诺力昂化学品有限公司;分散剂LD-38(萘磺酸盐类),北京格林泰姆科技集团有限公司;分散剂Dispersogen LFS(磷酸酯类),科莱恩化工有限公司;分散剂Atlox 4913(高分子梳状共聚物)、Atlas G5000(EO-PO嵌段共聚物),英国禾大公司。增稠剂:黄原胶,山东萍聚生物科技有限公司;硅酸镁铝,苏中中材矿物材料公司。溶剂:环己酮、甲醇,国药集团;溶剂油150#,江苏华伦化工有限公司。防冻剂:丙三醇、乙二醇、尿素,国药集团。

其他材料:有机硅消泡剂SAG 1572,迈图高新材料公司;去离子水,自制。

1.2 主要仪器设备

高速均质乳化机(SRS500),上海新勒机电科技有限公司;微型立式砂磨机(DG125),沈阳东工电子科技有限公司;Agilent 1220高效液相色谱仪,北京京科瑞达科技有限公司;电子天平(YP10002型),上海双旭电子有限公司;激光粒度分布仪(HYL-2080),丹东市皓宇科技有限公司;精密pH计(PHS-3CW),上海方哇仪器有限公司;全量程界面张力测量仪(TX500C),美国CNG公司;接触角测量仪,北斗仪器仪表重庆有限公司;电热鼓风干燥箱,南京沃环科技实业有限公司;旋转黏度测定仪(A1017),得利特(北京)科技有限公司。

1.3 悬乳剂制备方法

采用直接乳化法进行加工。将茚虫威原药、助剂及水经高速剪切混合后转移至砂磨机,砂磨制得 $D_{90} \leq 5 \mu\text{m}$ 的茚虫威悬浮液。将甲氨基阿维菌素苯甲酸盐原药、溶剂和乳化剂混合均匀,制得含有甲氨基阿维菌素苯甲酸盐的油相。将油相置于均质机中进行剪切,按一定比例缓慢加入茚虫威悬浮液,补加消泡剂后继续剪切10 min,制得12%甲维·茚虫威悬乳剂。悬乳剂产品呈均匀稳定状态,具备优良的分散与乳化特性。

1.4 质量指标检测方法

外观、悬浮率、pH、乳液稳定性、倾倒性、持久起泡性、低温稳定性、热储稳定性分别依据NY/T 1860.3—2010、GB/T 14825—2023、GB/T 1601—2003、GB/T 1603—2001、GB/T 31737—2015、GB/T 28137—2011、GB/T 19137—2003、GB/T 19136—2021规定的方法测定。黏度、有效成分含量、表面张力、接触角、粒度分别采用旋转黏度计、高效液相色谱仪、表面张力仪、接触角测定仪、激光粒度仪测定。

1.5 田间药效试验

试验作物为甘蓝,品种为中甘21号。试验药剂:12%甲维·茚虫威悬乳剂(自制)、12%甲维·茚虫威悬浮剂(市售产品)、15%茚虫威悬浮剂(市售产品)、1.5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油(市售产品)。

试验地位于河北省廊坊市广阳区九州镇中国农业科学研究院科研基地,靶标害虫为2~3龄甜菜夜蛾幼虫。

试验共设置7个处理:12%甲维·茚虫威悬乳剂16、25、38 g/hm²(有效成分用量,下同);12%甲维·茚虫威悬浮剂25 g/hm²;15%茚虫威悬浮剂22 g/hm²;

1.5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油2.8 g/hm²；空白对照。采用随机区组设计,每处理5次重复。

施药后3 d、7 d分别进行数据采集。采用5点取样法定株观察甘蓝叶片上存活虫量,计算虫口减退率和防治效果。运用SPSS 17.0软件,采用邓肯氏新复极差法对不同处理的防效进行数据分析,确定处理间差异显著性。

虫口减退率/%=
$$\frac{\text{药前虫口基数}-\text{药后虫口基数}}{\text{药前虫口基数}} \times 100$$

防效/%=
$$\frac{\text{处理虫口减退率}-\text{对照虫口减退率}}{1-\text{对照虫口减退率}} \times 100$$

2 结果与分析

2.1 润湿分散剂和溶剂的筛选

根据悬乳剂的加工工艺,选用不同类型溶剂、分散润湿剂组合进行配方筛选,具体配方见表1。

通过观察10个配方的黏度、分散性、悬浮率、粒径、析水率等指标,确定最优配方,结果见表2。

表 1 12%甲维·茚虫威悬乳剂分散剂及溶剂筛选试验设计

编号	用量/%										
	甲维盐	茚虫威	环己酮	溶剂油150#	甲醇	LD-38	788	LFS	G5000	500LQ	4913
①	2	10	10		15		4	2		1	
②	2	10		15	15		4	2		1	
③	2	10	10	15		4			2	1	
④	2	10	10	15		4		2		1	
⑤	2	10	10	15		4			2		1
⑥	2	10	10	15		4		2			1
⑦	2	10	10	15			4		2	1	
⑧	2	10	10	15			4	2		1	
⑨	2	10	10	15			4		2		1
⑩	2	10	10	15			4	2			1

注:去离子水补足至100%。

表 2 12%甲维·茚虫威悬乳剂分散剂及溶剂筛选试验结果

编号	黏度/(Pa·s)	分散性	热储前粒径/μm		热储后粒径/μm		热储析水率/%
			D ₅₀	D ₉₀	D ₅₀	D ₉₀	
①	742	差	4.328	8.054	7.191	12.060	18.2
②	聚结	差	5.075	8.163	8.472	13.150	23.0
③	347	良	4.123	7.358	6.024	10.350	15.4
④	461	良	3.472	5.640	4.863	9.171	13.2
⑤	538	优	2.984	5.018	4.152	6.775	11.5
⑥	430	良	3.309	5.011	5.375	9.647	14.1
⑦	498	良	3.141	5.219	5.028	8.129	12.8
⑧	504	优	2.641	4.358	3.674	6.010	10.7
⑨	487	良	3.581	5.643	5.170	9.258	13.5
⑩	458	良	4.871	7.152	6.876	10.540	14.6

由表1、表2可以看出:配方①、②、③选用不同溶剂搭配,以环己酮(10%)＋溶剂油150#(15%)搭配使用时,样品黏度最低;根据不同润湿分散剂组合配方的指标测定结果,确定最佳的分散剂种类及用量为Agrilan 788(4%)＋Dispersogen LFS(2%)＋Ethylan NS-500LQ(1%),此时,样品粒径变化最小,各项指标最优。

2.2 增稠剂及加入量的筛选

为保持产品体系稳定,在配方中添加适当的增稠剂必不可少。试验选用常见增稠剂,通过测定样

品黏度、分散性、热储稳定性确定最佳增稠剂类型及用量,结果见表3。

当单独使用黄原胶或硅酸镁铝时,所制制剂的黏度相对较低,稳定性较差,所以选择以黄原胶和硅酸镁铝复配使用。通过考察样品悬浮性能,确定12%甲维·茚虫威悬乳剂配方增稠剂为黄原胶(0.2%)＋硅酸镁铝(0.6%)。

2.3 防冻剂的筛选

为提升悬乳剂在低温环境下的流变特性,确保制剂在低温储存条件下的适用性,本研究选取丙三

醇、乙二醇及尿素等3种常规防冻剂进行低温保护性能比较。

设定防冻剂添加量为4% ,考察不同防冻剂种类对体系稳定性 ,热储、低温耐受性以及低温储存后黏度特性的影响 ,筛选出最优防冻剂种类 ,试验结果见表4。

筛选结果显示 ,以尿素为防冻剂 ,制剂体系黏度最大 ,流动性较差 ;以乙二醇为防冻剂 ,热储后粒径出现明显波动。相比之下 ,以丙三醇为防冻剂 ,制剂粒径稳定性优于前两者 ,黏度适中。最终确定以丙三醇为该悬乳剂体系的防冻剂 ,添加量为4%时 ,制剂理化性质最佳。

表 3 增稠剂的种类和用量对悬乳剂性能的影响

增稠剂	用量/%	分散性	黏度/(Pa·s)	热储稳定性
黄原胶	0.1	良	389	流动性良好 析水率20%
	0.2	良	427	流动性良好 析水率13%
	0.3	良	783	流动性差 析水率8%
硅酸镁铝	0.4	优	247	流动性良好 析水率30%
	0.6	优	281	流动性良好 析水率24%
	0.8	优	304	流动性良好 析水率20%
黄原胶+硅酸镁铝	0.1+0.8	良	465	流动性良好 析水率10%
	0.2+0.6	优	523	流动性良好 析水率5%
	0.2+0.8	不合格	769	流动性差 析水率3%

表 4 防冻剂的筛选结果

防冻剂	用量/%	粒径D ₅₀ /μm		热储稳定性	低温稳定性	冷储后黏度/ (Pa·s)
		热储前	热储后			
丙三醇	4	4.276	5.769	析水率4%	合格	527
乙二醇	4	4.796	8.235	析水率10%	合格	574
尿素	4	5.359	9.284	流动性差	合格	704

2.4 配方的筛选结果

通过上述试验 ,得到合格的12%甲维·茚虫威悬乳剂配方 :甲氨基阿维菌素苯甲酸盐2%、茚虫威10%、环己酮10%、溶剂油150# 15%、Agrilan 788 4%、Dispersogen LFS 2%、Ethylan NS-500LQ 1%、丙三醇4%、黄原胶0.2%、硅酸镁铝0.6%、有机硅消泡剂SAG 1572 0.2% ,去离子水补足至100%。

2.5 12%甲维·茚虫威悬乳剂质量控制指标检测结果

按照筛选出的最佳配方进行配制和研磨 ,制得12%甲维·茚虫威悬乳剂 ,并对各项指标进行检测 ,检测结果见表5。制剂各质量指标均符合要求。

2.6 表面张力和接触角测定结果

室温下将制剂配制成0.1%水溶液进行表面张力测定 ;以甘蓝叶片为固体面 ,将制剂配制成0.1%水溶液在室温下测定接触角。结果见表6。

12%甲维·茚虫威悬乳剂的表面张力和接触角与对照药剂相比均更小 ,表明其具有更优异的润湿能力和展着性能 ,能够促进药剂在靶标表面形成均匀、稳定的覆盖。研究表明 ,这种较低的表面张力和

接触角特性可有效增强药液在叶片表面的润湿铺展能力 ,显著减少液滴弹跳现象 ,提高药液沉积率 ;同时 ,优化的界面特性还有助于活性成分的持续释放和高效吸收 ,从而进一步提升药效表现^[12]。

表 5 12%甲维·茚虫威悬乳剂质量控制指标检测结果

	项目	指标要求	检测结果
质量分数 %	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	2.0±0.3	2.1
	茚虫威(以S体计)	10.0±1.0	10.6
质量分数 %	甲氨基阿维菌素	1.8±0.3	2.0
α(B ₁₀ /B ₁₅)		≥20.0	22.6
悬浮率 %	甲氨基阿维菌素苯甲酸盐	≥90	95.4
	茚虫威	≥90	96.2
pH		4.0~7.0	6.2
分散稳定性		合格	合格
倾倒性 %	倾倒后残余物	≤5.0	3.2
	洗涤后残余物	≤0.5	0.3
持久起泡性(1 min后) ,mL		≤25	10.8
低温稳定性 [(0±2)℃ ,7 d]		合格	合格
热储稳定性 [(54±2)℃ ,14 d]		合格	合格

表 6 表面张力和接触角测定结果

药剂	表面张力/ (mN/m)	接触角/°
12%甲维·茚虫威悬乳剂	32.48 ± 0.03	66.23 ± 0.03
12%甲维·茚虫威悬浮剂	37.15 ± 0.03	75.46 ± 0.03
15%茚虫威悬浮剂	49.30 ± 0.03	87.15 ± 0.03
1.5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油	38.21 ± 0.03	72.36 ± 0.03

2.7 田间药效试验结果

田间药效试验结果见表 7。施药 3 d 后 ,12%甲

表 7 12%甲维·茚虫威悬乳剂对甜菜夜蛾的防治效果

试验药剂	有效成分用量/(g/hm ²)	防效/%	
		药后 3 d	药后 7 d
12%甲维·茚虫威悬乳剂	16	63.89 ± 0.84cD	73.51 ± 1.75dD
	25	68.56 ± 0.35bB	79.29 ± 0.50bB
	38	74.30 ± 0.24aA	86.02 ± 0.38aA
12%甲维·茚虫威悬浮剂	25	66.07 ± 1.40cC	77.30 ± 0.56cC
15%茚虫威悬浮剂	22	65.71 ± 1.44cC	76.54 ± 0.47cC
1.5%甲氨基阿维菌素苯甲酸盐乳油	2.8	61.13 ± 1.15cD	71.36 ± 0.71dD

注 :同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著 ,不同大写字母表示在 0.01 水平差异显著。

施药 7 d 后 ,12%甲维·茚虫威悬乳剂 16、25、38 g/hm²处理对甜菜夜蛾的防效均有提升 ,防效为 73.51%~86.02%。其中 ,12%甲维·茚虫威悬乳剂中、高剂量处理对甜菜夜蛾的防效显著高于 12%甲维·茚虫威悬浮剂及 2 个单剂产品的防效。

3 结论

本研究通过系统优化助剂组合 ,最终确定了 12%甲维·茚虫威悬乳剂的最佳配方。经检测 ,该配方各项理化指标均符合国家标准要求 ,制剂物理稳定性良好。田间药效试验结果表明 :有效成分用量为 25 g/hm²时 ,施药后 3 d 和 7 d ,12%甲维·茚虫威悬乳剂对甜菜夜蛾的防效分别为 68.56%和 79.29% ;当用量提升至 38 g/hm²时 ,防效分别达到 74.30%和 86.02% ,显著优于常规对照药剂。甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和茚虫威 2 种药剂复配制备成悬乳剂 ,为两者开发新的剂型提供了思路 ,且减缓了抗药性的发展。

参考文献

[1] 王圣印,周仙红,张安盛,等. 甲氨基阿维菌素苯甲酸盐研究进展[J]. 江西农业学报, 2012, 24(12): 123-126.
[2] 金钟,周娟,马欢,等. QuEChERS-HPLC-MS/MS检测豇豆中甲氨基阿维菌素苯甲酸盐和灭蝇胺残留[J]. 现代农药, 2025, 24(1): 61-65.

维·茚虫威悬乳剂 16、25、38 g/hm²处理对甜菜夜蛾的防效为 63.89%~74.30% ,随着用量的增加其防效逐渐提高。其中 ,12%甲维·茚虫威悬乳剂中、高剂量处理对甜菜夜蛾的防效显著高于 12%甲维·茚虫威悬浮剂和 2 个单剂产品的防效。相关文献报道 ,复配剂的防效要好于相同有效成分单剂的防效^[13]。这一现象可能与复配剂中有效成分的协同增效作用密切相关。同时 ,多靶标作用模式可有效延缓靶标生物对单一药剂抗性的发展 ,降低抗药性风险。

[3] 蒋明,袁红银,王学平,等. 花椰菜小菜蛾和菜青虫的田间防治试验[J]. 中国植保导刊, 2023, 43(10): 81-82; 85.
[4] 蒲小明,王爱臣,林壁润,等. 5%甲维盐水分散粒剂防治鳞翅目害虫田间效果[J]. 广东农业科学, 2021, 48(4): 106-110.
[5] 赵建伟,赵金凤,邱良妙,等. 6 种杀虫剂对草地贪夜蛾的防效及对螟黄赤眼蜂的安全性[J]. 福建农业学报, 2023, 38(8): 960-965.
[6] 班华卓,张大永. 新颖高效手性杀虫剂茚虫威的研究进展[J]. 农药, 2018, 57(12): 864-869.
[7] 田辉元,刘林芳,姚友胜,等. 水稻分蘖期药剂处理对稻纵卷叶螟的防效[J]. 湖北植保, 2023(6): 32-34.
[8] 周利琳,熊凯凡,王攀,等. 不同地区甜菜夜蛾的抗药性及田间防效[J]. 中国蔬菜, 2023(7): 84-91.
[9] 马泽松,蔡雄涛,肖雄杰,等. 4 种茚虫威饵剂对潮州地区红火蚁的田间防治效果[J]. 现代农药, 2023, 22(4): 78-82; 88.
[10] 王旭,刘君良,李树柏,等. 20%四氟醚唑·醚菌酯悬乳剂的研制及药效研究[J]. 现代农药, 2018, 17(1): 26-28; 39.
[11] 闫欣欣,沈娜,刘俊志,等. 22%丙硫菌唑·寡聚酸碘悬乳剂的研制及其对小麦白粉病的防治效果[J]. 农药, 2023, 62(4): 252-255; 262.
[12] 张晨辉,马悦,杜凤沛. 表面活性剂调控农药药液对靶润湿沉积研究进展[J]. 农药学报, 2019, 21(增刊1): 883-894.
[13] 马兴莹,杨龙,王凯涛,等. 苏云金芽孢杆菌 G033A 与不同药剂联合施用对苹果蠹蛾的防治效果 [J/OL]. 中国生物防治学报. [2025-09-05]. <https://doi.org/10.16409/j.cnki.2095-039x.2025.05.004>.

(编辑:顾林玲)