

doi:10.11937/bfyy.20164660

响应面法优化三种杀虫剂对菜青虫防效的最佳浓度

徐世才^{1,2}, 贺楠楠¹

(1. 延安大学 生命科学学院, 陕西 延安 716000; 2. 陕西省区域生物资源保育与利用工程技术研究中心, 陕西 延安 716000)

摘 要:以3种杀虫剂氯氟氰菊酯、毒死蜱和辛硫磷为供试药剂,以菜青虫为防治对象,采用响应面分析法研究了高效氯氟氰菊酯、毒死蜱和辛硫磷3种杀虫剂对菜青虫防效的最佳浓度配方,以期达到防治菜青虫的目的。结果表明:高效氯氟氰菊酯为 $0.0085\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,毒死蜱为 $0.69\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$,辛硫磷为 $1.07\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 是最佳浓度的配比方式。

关键词:杀虫剂;优化;响应面法

中图分类号:S 482.3⁺9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2017)13-0026-05

菜青虫属鳞翅目粉蝶科,为菜粉蝶(*Pieris rapae* Linnaeus)的幼虫,是结球白菜(*Brassica pekinensis*)、甘蓝(*Brassica oleracea*)、油菜(*Brassica campestris*)等十字花科蔬菜生长期间的主要害虫^[1]。其幼虫食叶,2龄前啃食叶肉,3龄后可蚕食整个叶片,造成蔬菜减产^[2]。菜青虫对常用的有机磷、拟除虫菊酯等多种药剂已产生较强的抗性^[3-4],增加杀虫剂浓度和使用量,不仅使农药残留直接危害到了健康^[5],而且不符合国际农药残留标准要求^[6]。故科学合理的将农药进行复配,可以延迟或避免害虫抗性的发展和产生,增加农药的使用时间,并且减少了农药对环境的释放量^[7-8]。

该试验通过单因素试验的结果采用中心组合(Box-Behnken, BBD)响应面试验设计,以满意度为指标,研究各因素对杀虫剂满意度的影响,并对

杀虫剂使用量进行优化,达到最大满意度,以期防治十字花科蔬菜害虫提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试菜青虫的幼虫和结球白菜均采集于甘泉县纪丰蔬菜基地,在实验室同步培养,菜青虫幼虫培养至2~3龄,试验前饥饿2 h^[9]。

供试杀虫剂:45%毒死蜱(乳油),美国陶氏益农公司;40%辛硫磷(乳油),山东东合生物科技有限公司;2.5%高效氯氟氰菊酯(乳油),河南省金亮精细化工有限公司。

供试仪器:QHX-800B5-II智能人工气候箱,上海新苗医疗器械制造有限公司;UPDR-I-20T优普超纯水机,成都超纯科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 供试材料的处理

将同步培养的结球白菜,置于人工气候箱中培养,光照强度为 $L:D=14:10$,温度为 $(25\pm 1)^{\circ}\text{C}$,相对湿度为60%~70%^[10],培养7 d。选取健康状况一致的3龄菜青虫100头放在白菜上,饲养1 d。将选用的3种药剂分别用蒸馏水将杀虫剂稀释成5个系列梯度浓度,每个浓度配制1 L

第一作者简介:徐世才(1973-),男,硕士,副教授,硕士生导师,研究方向为昆虫生态与综合防治。E-mail:shicaixu@163.com

基金项目:陕西省高水平大学建设专项资金生态学资助项目(2012SXTS03);延安市科学技术惠民资助项目(2014HIM-04);陕西省大学生创新创业训练计划资助项目(1552)。

收稿日期:2017-03-20

药液,并用清水作对照,共设 3 次重复。分别将各浓度的药液均匀喷洒到整株结球白菜上,48 h 后记录活虫数和死亡数,死亡标准以毛笔轻触不动为准。

1.2.2 单因素试验

将使用高效氯氟氰菊酯、毒死蜱、辛硫磷的试验编号为 A、B、C。试验过程中 100 头菜青虫为一组。A 组试验分为 5 组,浓度分别为 0.002 5、0.005 0、0.007 5、0.010 0、0.016 0 g · L⁻¹。编号为 A₁、A₂、A₃、A₄、A₅,光照 L : D=14 : 10,湿度 60%~70%,温度(25±1)℃,记录农药浓度对应的死亡量斜率,绘制曲线;B 组试验分为 5 组,浓度分别为 0.2、0.4、0.7、1.0、1.2 g · L⁻¹。编号为 B₁、B₂、B₃、B₄、B₅,培养条件同上,记录农药浓度对应的死亡量斜率,绘制曲线;C 组试验分为 5 组,浓度分别为 0.3、0.7、0.9、1.3、1.7 g · L⁻¹。编号为 C₁、C₂、C₃、C₄、C₅,培养条件同上,记录所加农药浓度对应的死亡量斜率,绘制曲线。

1.2.3 响应面试验设计

依照 Box-Behnken 设计法的原理,结合 3 种杀虫单剂(高效氯氟氰菊酯、毒死蜱、辛硫磷)各自的试验结果,采用 3 因素 3 水平的 Box-Behnken 响应面分析方法,对杀虫单剂的低、中、高 3 个试验水平分别以 1、0、-1 进行因素编码。试验水平与因素设计如表 1。

表 1 试验因素与水平				
Table 1	Experimental factors and levels			g • L ⁻¹
因素	编码	编码级 Code level		
Factor	Symbols	-1	0	1
高效氯氟氰菊酯	A	0.002 5	0.009 25	0.016 0
Lambda-cyhalothrin				
毒死蜱	B	0.2	0.7	1.2
Chlorpyrifos				
辛硫磷	C	0.3	1.0	1.7
Phoxim				

1.3 数据分析

使用满意度来评估农药配比的效果,满意度=经济效益值-农药残留值(为计算方便,将经济效益值和农药残留值进行赋值,赋值范围分别为 0~100,该值是根据实际的经济效益进行赋分,经济效益为 0 指的是不施用任何农药的情况下,经济效益每提高 1%增加 1 分;残留值为 0 指

的是检验合格的情况下农药残留最大值,残留值每超标合格时的最大农药残留值的 1%增加 1 分。)使用 SPSS 22.0、Design-Expert 8.0 软件统计分析试验数据。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果

2.1.1 高效氯氟氰菊酯对菜青虫的防效斜率

如图 1 所示,高效氯氟氰菊酯在 0.016 0 g · L⁻¹ 的情况下,死亡量斜率比较低,随着浓度的增加,斜率呈现先上升后下降的趋势,说明该农药在不同浓度下效果有差异。根据试验结果可知,杀虫剂浓度达到一定数值后,随着浓度的增加,害虫死亡增量减少,斜率最大时,为死亡增量最多。继续提高浓度,成本和农药残留值会增大,满意度会降。并不会提高效率。选择 0.002 5、0.009 25、0.016 0 g · L⁻¹ 作为浓度的 3 个水平。

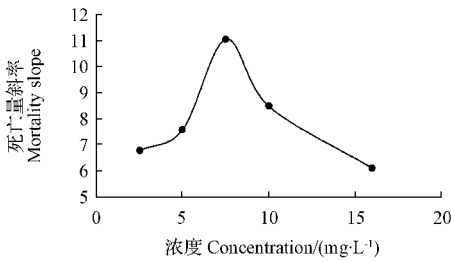


图 1 不同浓度高效氯氟氰菊酯对菜青虫的防效斜率曲线

Fig.1 Slope curves of different concentrations of lambda-cyhalothrin in control effect on *Pieris rapae*

2.1.2 毒死蜱对菜青虫的防效斜率

如图 2 所示,在 0.2 g · L⁻¹ 下,死亡量斜率最低,在 0.7 g · L⁻¹ 时,死亡量斜率最高,之后呈现下降趋势。持续增加浓度,达到峰值后不会增大死亡量斜率。选择 0.2、0.7、1.2 g · L⁻¹ 作为浓度的 3 个水平。

2.1.3 辛硫磷对菜青虫的防效斜率

如图 3 所示,在 1.7 g · L⁻¹ 下,死亡量斜率最低,在 0.9 g · L⁻¹ 下,害虫死亡量斜率最高,然后呈现下降趋势。选择 0.3、1.0、1.7 g · L⁻¹ 作为浓度的 3 个水平。

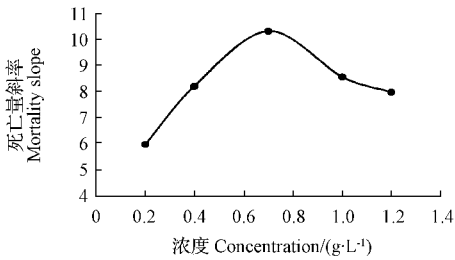


图 2 不同浓度毒死蜱对菜青虫的防效斜率曲线
Fig. 2 Slope curves of different concentrations of chlorpyrifos in control effect on *Pieris rapae*

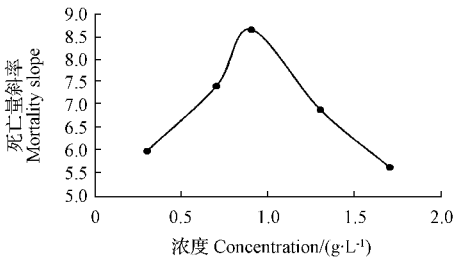


图 3 不同浓度辛硫磷对菜青虫的防效斜率曲线
Fig. 3 Slope curves of different concentrations of phoxim in control effect on *Pieris rapae*

2.2 响应面试验设计及结果分析

2.2.1 响应面分析结果

响应面结果表明,农药的满意度评价介于 90.77%~98.86%(表 2)。

表 2 响应曲面试验结果

Table 2 Response surface test results				
编号 Number	因素 Factor A B C			满意度 Satisfaction
1	0	0	0	97.30
2	0	0	0	98.76
3	-1	1	0	93.35
4	0	1	1	94.50
5	1	0	1	91.38
6	0	-1	-1	94.40
7	1	1	0	91.85
8	-1	0	1	94.95
9	-1	-1	0	93.63
10	0	1	-1	90.77
11	0	-1	1	90.97
12	0	0	0	95.95
13	1	0	-1	92.21
14	0	0	0	96.01
15	0	0	0	98.86
16	-1	0	-1	90.91
17	1	-1	0	94.12

2.2.2 多元二次响应面回归模型的建立与分析

从表 3 可以看出,模型里 $P<0.01$,这种情况说明所有响应值对该模型是极显著的,所以具有统计学意义。失拟项并不显著,这说明此模型失拟的概率非常低,模型拟合度高。从表 3 可以看到,此模型对应的回归项 P 值 0.006 5 小于 0.01,达到了极显著水平,说明该模型是科学有效的。模型的变异系数(CV)为 1.27%,说明了这个模型相关度比较好,变异性较小,具有统计学意义,进一步说明方程的可信度和拟合度都很高。

表 3

方差分析结果

Table 3

Variance analysis results

项目 Item	平方和 Sum of squares	自由度 Degrees of freedom	均方 Mean square	F 值 F-value	P 值 P-value	显著性 Statistical significance
模型 Model	100.50	9	11.17	7.79	0.006 5	**
A	1.34	1	1.34	0.94	0.364 9	
B	0.88	1	0.88	0.61	0.459 5	
C	1.54	1	1.54	1.07	0.334 4	
AB	0.99	1	0.99	0.69	0.433 3	
AC	5.93	1	5.93	4.14	0.081 4	
BC	12.82	1	12.82	8.94	0.020 2	*
A ²	20.71	1	20.71	14.46	0.006 7	**
B ²	15.53	1	15.53	10.84	0.013 3	*
C ²	32.90	1	32.90	20.96	0.002 0	**
残差 Residual error	10.03	7	1.43			
失拟项 Lack of fit	2.01	3	0.67	0.33	0.803 1	
纯误差 Pure error	8.02	4	2.01			
总差 Gross difference	110.53	16				

注: ** $P<0.01$,为极显著水平; * $P<0.05$,为显著水平。

Note: ** $P<0.01$, extremely significant level; * $P<0.05$, significant level.

B平方项达到了显著水平,A、C平方项达到了极显著水平。使用 Design-Expert 软件进行二次响应面回归分析得出关于满意度的模型(编码方程): $Y = 97.38 - 0.41A - 0.33B + 0.44C - 0.50AB - 1.22AC + 1.79BC - 2.22A^2 - 1.92B^2 - 2.80C^2$ 。图 4 为高效氯氟氰菊酯、毒死蜱、辛硫磷选取固定浓度时,其它 2 种杀虫剂及交互作用

对杀虫剂满意度评价的响应曲面及等高线。椭圆形的等高线表示交互作用显著,圆形的反之。

图 4 结合 P 值可知,模型的一次项 A、B、C 不显著;交互项 BC 显著;二次项 A^2 、 C^2 极显著, B^2 显著;3 种杀虫剂的影响关系为:辛硫磷>毒死蜱>高效氯氟氰菊酯,次结果表明 3 种杀虫剂对满意度评价的影响不是简单的线性关系。

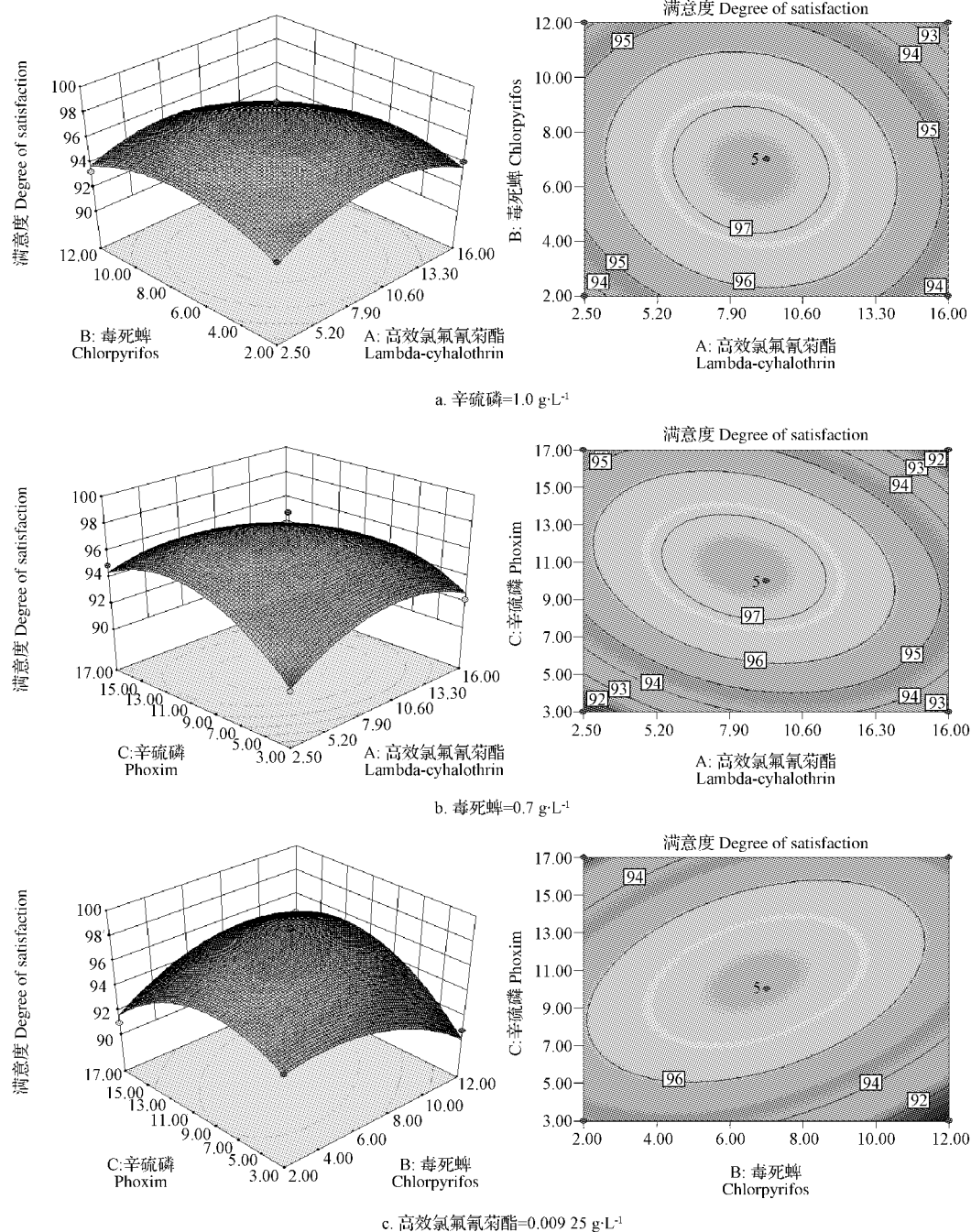


图 4 试验因素及其交互作用对满意度影响的响应曲面及等高线图

Fig. 4 Response surfaces and contour charts of influence of test factors and their interactions on satisfaction

综上,采用最高满意度的配比为高效氯氟氰菊酯 $0.008\ 47\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、毒死蜱 $0.687\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、辛硫磷 $1.067\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,此时满意度为 97.425。

2.2.3 响应面验证试验

为了验证此响应面试验结果的真实性,从实际情况出发,将实际情况与预测值最优浓度相结合,条件确定为:高效氯氟氰菊酯浓度 $0.008\ 5\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、毒死蜱浓度 $0.69\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、辛硫磷浓度 $1.07\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,得到的实际值为 96.50,这与理论结果 97.42 接近。所以采用响应面法筛选的条件可靠。

3 结论与讨论

该研究采用了响应面法优化了 3 种常用杀虫剂的配比,配比比例为高效氯氟氰菊酯 $0.008\ 5\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、毒死蜱 $0.69\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、辛硫磷 $1.07\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,在这个条件下,杀虫剂满意度达到 96.50。这与孙冬等^[11]、束兆林等^[12]、侯毅等^[13]在单剂对菜青虫试验的结论有差异,这可能是由于该试验采用的方法不仅考虑杀虫剂对菜青虫的防效,还包括农药残留值、经济效益值和满意度指标的综合因素。

该研究以常用的 3 种杀虫剂为试验材料,探讨了与经济效益和农药残留的关系,希望能为农药的使用提供技术指导,但是在实际操作过程中,不同地区菜青虫对杀虫剂的抗药性有所区别,还有待进一步探讨。

参考文献

- [1] 周国,任勇攀,赵京岚,等. 三种生物制剂在有机蔬菜菜青虫防治中的应用及安全性研究[J]. 北方园艺,2016(20):117-121.
- [2] 郭兆将,康师,吴青君,等. 小菜蛾饲养技术与规范[J]. 应用昆虫学报,2015,52(2):492-497.
- [3] 殷劭鑫,张春妮,张雅林,等. 陕西小菜蛾对 9 种杀虫剂的抗药性监测[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2016,44(1):102-110.
- [4] 张丛,张海珠,常静,等. 四种拟除虫菊酯类杀虫剂对枸杞蚜虫的毒力及对三磷酸腺苷酶和谷胱甘肽 S 转移酶活性的影响[J]. 农药学报,2015(2):235-240.
- [5] 李世广,窦婷婷,付小伶,等. 菜青虫感染金龟子绿僵菌后体内几种保护酶活性的变化[J]. 植物保护,2016(3):133-136.
- [6] 宋稳成,单炜力,叶纪明,等. 国际食品法典农药残留限量标准研究[J]. 世界农业,2010(12):5-7.
- [7] 杨敏丽,李建涛,剡根姣,等. 牛心朴子总生物碱与化学农药复配剂对小菜蛾的联合毒力作用[J]. 农药学报,2009(3):304-311.
- [8] 刘双清,张亚,廖晓兰,等. 我国植物源农药的研究现状与应用前景[J]. 湖南农业科学,2016(2):115-119.
- [9] 米凤玉,王永模,ELTAYEB E M,等. 3 种新型复配剂对菜青虫的增效作用及生理生化机制[J]. 农药,2011(9):682-685.
- [10] 龙丽萍,凌炎,唐文伟. 三种植物性杀虫剂对菜青虫的毒效[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版),2006(4):402-405.
- [11] 孙冬,王继青. 2.5%高效氯氟氰菊酯水乳剂防治甘蓝菜青虫田间药效试验[J]. 长江蔬菜,2010(4):63-64.
- [12] 束兆林,赵来成,缪康,等. 25%甲维·毒死蜱水乳剂防治菜青虫田间药效试验[J]. 农药,2010(3):216-217.
- [13] 侯毅,靳然,郝赤,等. 高效氯氟氰菊酯与辛硫磷混配对菜青虫的增效作用测定[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2007(4):431-432.

Optimization for Optimal Concentration of Three Insecticides for Preventing *Pieris rapae* Based on Response Surface Method

XU Shicai^{1,2}, HE Nannan¹

(1. College of Life Science, Yan'an University, Yan'an, Shaanxi 716000; 2. Shaanxi Engineering & Technological Research Center for Conservation & Utilization of Regional Biological Resources, Yan'an, Shaanxi 716000)

Abstract: Three kinds of insecticides were used as test agents, *Pieris rapae* was used as control object, the optimum concentration formula of lambda-cyhalothrin, chlorpyrifos and phoxim for controlling *Pieris rapae* was studied by using the response surface methodology. The results showed that the optimal concentration of lambda-cyhalothrin was $0.008\ 5\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; the optimal concentration of chlorpyrifos was $0.69\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; and the optimal concentration of phoxim was $1.07\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Keywords: insecticide; optimize; response surface methodology