

溴虫腈与吡螨灵对朱砂叶螨的联合作用

杨振国,谢道燕,达爱斯,倪 婧
(云南省农业科学院 蚕桑蜜蜂研究所,云南 蒙自 661101)

摘要:为明确溴虫腈与吡螨灵的联合杀螨活性,采用玻片浸渍法测定了溴虫腈与吡螨灵不同配比混剂对朱砂叶螨雌成螨的杀螨活性,并以共毒因子法和共毒系数法评价混剂的增效作用。结果表明,溴虫腈和吡螨灵对朱砂叶螨雌成螨处理后 24 h 的致死中质量浓度(LC₅₀)分别为 8.80、17.69 mg/L;溴虫腈与吡螨灵的质量比为 49:51、47:53、45:55 时增效最明显,对朱砂叶螨处理后 24 h 的共毒系数分别为 177.94、178.49、173.73,LC₅₀分别为 6.65、6.72、7.00 mg/L,其毒力分别是吡螨灵的 2.66 倍、2.63 倍、2.53 倍。因此,45%~49% 溴虫腈与 51%~55% 吡螨灵混合具有显著的增效作用。

关键词:朱砂叶螨;杀螨剂;溴虫腈;吡螨灵;联合作用;共毒系数;共毒因子
中图分类号:S482.5⁺2 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-3268(2015)03-0088-05

Joint Action of Chlorfenapyr and Pyridaben against *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval

YANG Zhenguo, XIE Daoyan, DA Aisi, NI Jing
(Institute of Sericulture & Apiculture, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Mengzi 661101, China)

Abstract: To investigate the joint acaricidal activities of chlorfenapyr and pyridaben, the acaricidal activities of mixtures containing different proportion of chlorfenapyr and pyridaben against *Tetranychus cinnabarinus* Boisduval were measured via slide dipping, and the synergism was investigated by means of co-toxicity factor and co-toxicity coefficients(CTC). The results indicated that the LC₅₀ values of chlorfenapyr and pyridaben against *T. cinnabarinus* female adults were 8.80 and 17.69 mg/L, respectively. The best synergistic effect was discovered in the ratio 49:51, 47:53 and 45:55 with the CTCs of 177.94, 178.49 and 173.73, respectively. The LC₅₀ values of the three mixtures were 6.65, 6.72 and 7.00 mg/L, respectively, and the toxicities were 2.66, 2.63 and 2.53 times the toxicity of pyridaben, respectively. Therefore, chlorfenapyr (45%—49%) mixed with pyridaben (51%—55%) showed strong synergism against *T. cinnabarinus* female adults.

Key words: *Tetranychus cinnabarinus*; acaricide; chlorfenapyr; pyridaben; joint action; co-toxicity coefficient; co-toxicity factor

朱砂叶螨(*Tetranychus cinnabarinus* Boisduval)是广泛分布于桑树、棉花、菜豆、月季等 100 多种植物上,危害严重而又难于防治的一种植食性害螨^[1]。其具有个体小、发育快和繁殖力强、世代周期短、活动范围小、近亲交配率高等基本生态对策,致使其受药机会多,抗性问题的比其他农作物害虫更

为突出^[2-3]。因此,开展高效杀螨剂研究对害螨的防治及抗药性治理具有重要的意义。

溴虫腈是一种前体杀螨剂,本身对昆虫无毒杀作用,其 N-乙氧基甲基基团通过过氧化作用而消去,从而显示活性。昆虫取食或接触溴虫腈后,溴虫腈在昆虫体内多功能氧化酶的作用下转变为具有杀

收稿日期:2014-09-03
基金项目:云南省农业科学院蚕桑蜜蜂研究所青年创新基金项目(QC2014003)
作者简介:杨振国(1986-),男,云南砚山人,研究实习员,硕士,主要从事植物病虫害防治及农药剂型加工研究。
E-mail:zhenguoyang@qq.com

虫活性的化合物,其靶标是昆虫体细胞中的线粒体,阻断线粒体的氧化磷酸化作用^[4],使细胞合成因缺少能量而停止生命功能^[5]。哒螨灵是一种广谱、高效的线粒体电子传递抑制类杀螨剂,对各螨态均具有较强的防治效果,在害螨防治中发挥了重要的作用,其主要通过在辅酶 Q_0 位点上与复合物 I 键合来抑制线粒体的电子传递,阻止线粒体和复合物 I 的氧化作用^[6]。长期使用哒螨灵类杀螨剂,致使二斑叶螨、朱砂叶螨、柑橘全爪螨等害螨的抗药性迅速增加^[7-11]。另外,害螨若对一种线粒体电子传递抑制类杀螨剂产生抗药性,则对其他相同机制的杀螨剂具有明显的交互抗性^[12]。杀螨剂的复配或轮换使用是农业害螨抗药性治理的重要措施,选择不同作用机制的杀螨剂轮换使用可有效延缓抗药性产生,但是轮换过程中单剂使用时,不能有效杀死已产生抗药性的个体^[13]。从理论上讲,将不同作用机制的2种杀螨剂混合使用,当害螨对一种药剂产生抗性不能被杀死时,另一种药剂能够将其有效杀死,相对于轮换使用,混用更具有优势^[14-16]。何林等^[17]报道了哒螨灵与阿维菌素混用、轮用都能有效地延缓朱砂叶螨对二者的抗性进化。溴虫腈与哒螨灵虽均作用于线粒体,但两者作用于线粒体的位点及靶标酶不同。为探明两者混合使用能否增强对朱砂叶螨线粒体的作用进而增加药效,开展了溴虫腈与哒螨灵的联合杀螨活性研究,并以共毒系数法筛选最佳配比,以期获得具有明显增效的配方,为害螨防治以及延缓其抗药性提供新的药剂配方。

1 材料和方法

1.1 供试螨类

朱砂叶螨,采自云南省蒙自市桑园,在智能人工气候室内(26 ± 1)℃、RH 60%~80%、光周期 14L:10D 条件下,用蛭石盆栽菜豆苗饲养,扩繁后作为供试螨类。

1.2 供试药剂

98.8% 溴虫腈购自红太阳集团南京第一农药厂,96% 哒螨灵购自昆明农药厂。试验前,称取适量原药置于容量瓶内,用丙酮充分溶解,并定容为 10 g/L 的母液,将其放入 4℃ 冰箱内保存备用。毒力测定时,通过初筛试验,选定 5 个使害螨死亡率介于 16%~84% 的质量浓度(溴虫腈为 20、10、5、2.5、1.25 mg/L;哒螨灵为 50、25、12.5、6.25、3.125 mg/L)进行测定,用 0.1% 吐温-80 水溶液将母液稀释成既定质量浓度作为毒力测定的供试液,并以 0.1% 吐温-80 水溶液作对照。

1.3 杀螨活性测定

杀螨活性测定参照联合国粮农组织(FAO)推荐的玻片浸渍法^[18]。将朱砂叶螨雌成螨挑在贴有双面胶的玻片上,在温度(26 ± 1)℃、RH 60%~80% 的环境下放置 4 h,用双目解剖镜检查,剔除死亡和不活泼的个体,记录活螨数。将玻片粘有螨虫的一端浸入供试液中 5 s 后取出,用滤纸将螨体周围的药液吸尽。每种质量浓度和对照处理 120 头成螨,重复 3 次。处理后在同样条件下培养,24 h 后检查害螨死亡情况。用毛笔轻触螨体,其螯肢不动者为死亡。

1.4 联合杀螨活性最佳配比筛选方法

1.4.1 混剂增效配比的筛选 首先测定溴虫腈和哒螨灵的致死中质量浓度(LC_{50}),然后以各自的 LC_{50} 剂量为基准,将 2 种药液按体积比为 10:0、9:1、8:2、7:3、6:4、5:5、4:6、3:7、2:8、1:9、0:10 混合,配制出不同比例的混剂后,测定各混剂对朱砂叶螨处理后 24 h 的死亡率。用 SPSS 软件以 Duncan's 新复极差法检验比较各处理之间的效果差异,若某一配比混剂的死亡率在统计上显著大于 2 个单剂在 LC_{50} 时的死亡率,则表示该配比组合具有增效作用。另外,采用共毒因子法判断其增效程度,共毒因子显著大于 +20 为增效作用;显著小于 -20 为拮抗作用;介于 -20~+20 为相加作用。共毒因子的计算公式如下:

$$\text{共毒因子(CTF)} = \frac{\text{实际死亡率} - \text{预期死亡率}}{\text{预期死亡率}} \times 100。$$

1.4.2 混剂增效最佳配比的确定 参照王小艺等^[19]的方法,采用 SPSS 拟合某一单剂在混剂中的质量分数(x)与共毒因子(y)间的数学模型,一般其基本关系符合二次曲线方程, $y = Ax^2 + Bx + C$,求出方程中 y 的极值所对应的 x ,即可得该单剂在混剂中的理论最佳质量分数。然后采用共毒系数法评价理论最佳配比及相邻配比的增效作用,筛选出最佳增效配比。共毒系数大于 120 为增效作用,小于 80 为拮抗作用,介于 80~120 为相加作用^[20]。共毒系数的计算公式如下(其中 P 为单剂在混剂中的质量分数):

$$\text{毒力指数(TI)} = \frac{\text{标准药剂的 } LC_{50}}{\text{供试药剂的 } LC_{50}} \times 100$$

$$\text{实测混剂的毒力指数(ATI)} = \frac{\text{标准药剂的 } LC_{50}}{\text{混剂的 } LC_{50}} \times 100$$

$$\text{混剂的理论毒力指数(TTI)} = TI_A \times P_A + TI_B \times P_B$$

$$\text{混剂的共毒系数(CTC)} = \frac{\text{混剂 ATI}}{\text{混剂 TTI}} \times 100。$$

1.5 数据统计与分析

所有试验数据的统计与分析均采用 SPSS 17.0 软件进行,各处理间的显著性差异比较采用 Duncan's 新复极差法,毒力回归分析用 Finney 概率值分析法。

2 结果与分析

2.1 溴虫腈和吡蚜灵对朱砂叶螨的毒力

采用玻片浸渍法测定了溴虫腈和吡蚜灵对朱砂

叶螨雌成螨的室内毒力,结果见表 1,其处理后 24 h 的 LC₅₀分别为 8.80 mg/L 和 17.69 mg/L,90% 致死质量浓度 (LC₉₀) 分别为 20.47 mg/L 和 62.33 mg/L。表明两者均具有良好的杀螨活性。

表 1 溴虫腈和吡蚜灵对朱砂叶螨雌成螨处理后 24 h 的毒力

杀螨剂	毒力回归方程	LC ₅₀ (95% 置信限)/(mg/L)	LC ₉₀ (95% 置信限)/(mg/L)	χ^2	P
溴虫腈	$y = -3.30 + 3.49x$	8.80 (7.78 ~ 9.83)	20.47 (17.48 ~ 25.51)	1.55	0.46
吡蚜灵	$y = -2.92 + 2.34x$	17.69 (12.68 ~ 26.22)	62.33 (38.16 ~ 169.89)	7.88	0.05

2.2 联合杀螨活性增效配比的筛选

测定了以 2 种单剂 LC₅₀为基准的不同配比混剂对朱砂叶螨雌成螨处理后 24 h 的杀螨活性,并以共毒因子法判断各配比的增效情况,结果见表 2。将实际死亡率和预期死亡率比较可知,溴虫腈与吡蚜灵混合的多数配比均具有增效作用,其中 2~9 号配比的实际死亡率在 0.05 水平下显著大于预期死亡率,3、4、5 号配比的实际死亡率在 0.01

水平下显著大于预期死亡率,且与其他配比(2、6 号除外)的实际死亡率存在显著性差异,其实际死亡率分别为 73.00%、70.13%、72.71%。以共毒因子判断可知,3~6 号配比的共毒因子显著大于 +20,表现出明显的增效作用,特别是 5 号配比的增效最大,共毒因子为 77.78。因此,溴虫腈与吡蚜灵联合杀螨的增效配比介于 66.7:33.3~42.9:57.1。

表 2 溴虫腈与吡蚜灵不同配比混合对朱砂叶螨处理后 24 h 的杀螨活性

序号	体积比 (C:P)	终质量浓度/(mg/L)		质量比 (C:P)	预期死亡率/%	实际死亡率/%	共毒因子
		C	P				
1	10:0	9.0	0.0		51.2	61.74 ± 0.65c	20.59
2	9:1	8.1	1.8	81.8:18.2	45.8	63.88 ± 4.39bc*	39.47
3	8:2	7.2	3.6	66.7:33.3	43.2	73.00 ± 1.58a**	68.98
4	7:3	6.3	5.4	53.8:46.2	41.8	70.13 ± 2.23ab**	67.78
5	6:4	5.4	7.2	42.9:57.1	40.9	72.71 ± 2.04a**	77.78
6	5:5	4.5	9.0	33.3:66.7	40.0	67.68 ± 1.01bc*	69.19
7	4:6	3.6	10.8	25.0:75.0	39.5	57.89 ± 2.95de*	46.56
8	3:7	2.7	12.6	17.6:82.4	40.2	56.11 ± 0.97e*	39.57
9	2:8	1.8	14.4	11.1:88.9	39.4	55.57 ± 1.97e*	41.03
10	1:9	0.9	16.2	5.3:94.7	46.5	52.27 ± 3.28e	12.42
11	0:10	0	18.0		50.7	58.24 ± 0.36de	14.88

注:表中 C 和 P 分别表示溴虫腈和吡蚜灵,两者的质量浓度分别为 9.0、18.0 mg/L,下同;实际死亡率为校正死亡率 ± 标准误;同列后不同小写字母表示在 P<0.05 水平存在显著差异 (Duncan 氏新复极差检验);* 和 ** 分别表示实际死亡率与预期死亡率在 P<0.05 和 P<0.01 水平存在显著差异 (独立样本 T 检验)。

采用 SPSS 软件拟合混剂的共毒因子 (y) 与混剂中溴虫腈的质量分数 (x) 之间的数学模型: $y = -0.03x^2 + 2.96x + 0.94$ ($F = 29.05, P = 0.00, R = 0.95, df1 = 2, df2 = 6$), 拟合曲线见图 1。对方程用求极值的方法确定共毒因子的最大值,当 $x = 49.33$ 时, $y_{\max} = 73.95$ 。因此,理论上当溴虫腈在混剂中的质量分数为 49.33% 时,复配剂增效最大。此时,溴虫腈和吡蚜灵的质量比为 49.33:50.67 ≈ 49:51。

2.3 联合杀螨活性最佳配比筛选

明确溴虫腈与吡蚜灵的理论最佳增效配比为 49:51 后,测定了理论最佳配比及相邻配比 53:47、51:49、47:53、45:55 对朱砂叶螨的室内毒力,以吡蚜灵为标准药剂计算共毒系数,评价各配比的增效程度,筛选出最佳配比,结果见表 3。

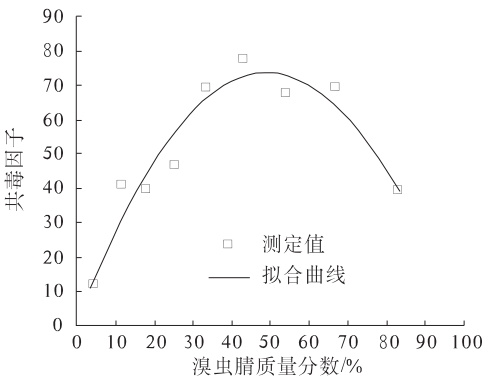


图 1 溴虫腈与吡蚜灵混剂共毒因子与溴虫腈质量分数的关系

据表 3 可知,溴虫腈与吡蚜灵以 53:47、51:49、49:51、47:53、45:55 混合对朱砂叶螨处理后 24 h 的

表 3 溴虫腈与哒螨灵不同配比混合对朱砂叶螨处理后 24 h 的毒力

质量比(C: P)	毒力回归方程	LC ₅₀ (95% 置信限)	LC ₉₀ (95% 置信限)	χ^2	P	CTC	RT1	RT2
		/(mg/L)	/(mg/L)					
53: 47	$y = -2.03 + 2.29x$	7.72 (6.76 ~ 8.77)	28.04 (23.07 ~ 36.00)	1.57	0.67	149.24	2.29	1.14
51: 49	$y = -2.04 + 2.30x$	7.69 (6.73 ~ 8.73)	27.71 (22.86 ~ 35.41)	0.17	0.98	151.82	2.30	1.14
49: 51	$y = -1.97 + 2.40x$	6.65 (5.82 ~ 7.55)	22.77 (18.95 ~ 28.79)	2.55	0.47	177.94	2.66	1.32
47: 53	$y = -2.02 + 2.44x$	6.72 (5.90 ~ 7.60)	22.48 (18.74 ~ 28.37)	4.66	0.20	178.49	2.63	1.31
45: 55	$y = -2.14 + 2.54x$	7.00 (6.16 ~ 7.91)	22.40 (18.80 ~ 27.94)	7.46	0.06	173.73	2.53	1.26

注:相对毒力 1(RT1) = 哒螨灵的 LC₅₀/混剂的 LC₅₀,相对毒力 2(RT2) = 溴虫腈的 LC₅₀/混剂的 LC₅₀。

共毒系数均大于 120,表现出明显的增效作用,其中 49: 51、47: 53 和 45: 55 增效最明显,对朱砂叶螨处理后 24 h 的共毒系数分别为 177.94、178.49、173.73,LC₅₀ 分别为 6.65、6.72、7.00 mg/L,LC₉₀ 分别为 22.77、22.48、22.40 mg/L,其毒力分别是哒螨灵毒力的 2.66 倍、2.63 倍、2.53 倍,同时也较溴虫腈的毒力增加 1 倍以上。因此,45% ~ 49% 溴虫腈与 51% ~ 55% 哒螨灵混合具有显著的增效作用。

3 结论与讨论

将不同作用机制的杀螨剂混合或轮换使用是延缓害螨抗药性及抗药性治理的重要手段,具有增效作用的复配剂不仅能够降低用药量,也能增强防治效果,更可以延缓害螨抗药性的产生^[3, 21]。在二元复配最佳配方的筛选研究中,陈立等^[22]、邓新平等^[23]提出了用共毒系数(Y)和某一单剂在混剂中的质量分数的反正弦值($X = \arcsin P$)进行数学模型拟合,计算混剂的最佳配比;或者利用均匀设计获取复配剂的最佳配方^[24]。但是采用以上方法初筛时需计算每一个配比的共毒系数,工作量大,特别是在使用 FAO 推荐的玻片浸渍法测定每个配比的毒力时,工作量较大。王小艺等^[19]提出以校正毒力比(Y)与单剂的质量分数(X)进行数学模型拟合,初筛时只需测定个别配比的实际死亡率,即可获得校正毒力比,方法简单,工作量小。本研究对其适当改进,以共毒因子(Y)与单剂的质量分数(X)拟合数学模型,同样可以简单获取复配剂的增效配比范围,同时,共毒因子是实际死亡率和预期死亡率差值与预期死亡率的比值,充分考虑了每一个配比的实际增效情况。通过该数学模型获得溴虫腈和哒螨灵的理论最佳质量比为 49.33: 50.67 ≈ 49: 51 后,采用共毒系数法评价与该配比相近的配比的增效作用,目标更明确,可以减少工作量,同时避免漏筛最佳的增效配比。室内毒力测定结果表明,配比 49: 51、47: 53 和 45: 55 均具有显著的增效作用,其对朱砂叶螨处理后 24 h 的共毒系数分别为 177.94、178.49、173.73,LC₅₀ 分别为 6.65、6.72、7.00 mg/L,三者毒

力分别是哒螨灵毒力的 2.66 倍、2.63 倍、2.53 倍,其毒力都比较相近。因此,溴虫腈与哒螨灵混合增效作用配比应该是两者在一定范围内混合均可获得较好的增效作用,而不是单一的配比,即 45% ~ 49% 溴虫腈与 51% ~ 55% 哒螨灵混合具有显著的增效作用。

综上所述,溴虫腈与哒螨灵联合杀螨具有明显的增效作用,将 45% ~ 49% 溴虫腈与 51% ~ 55% 哒螨灵混合,增效后的毒力是哒螨灵毒力的 2.5 倍以上,具有开发应用的潜力。该结果可为溴虫腈与哒螨灵混合使用防治害螨及二者复配剂的开发应用提供理论依据。

参考文献:

[1] Gerson U, Aronowitz A. Spider mite webbing. Part IV: The effect of acaricides on spinning by the carmine spider mite *Tetranychus cinnabarinus* (Boisduval) [J]. Pesticide Science, 1981, 12(2): 211-214.

[2] Dağlı F, Tunç İ. Dicotyl resistance in *Tetranychus cinnabarinus* resistance and stability of resistance in populations from Antalya, Turkey [J]. Pest Management Science, 2001, 57: 609-614.

[3] He L, Zhao Z M, Deng X P, et al. Resistance risk assessment: Realized heritability of resistance to methrin, abamectin, pyridaben and their mixtures in the spider mite, *Tetranychus cinnabarinus* [J]. International Journal of Pest Management, 2003, 49(4): 271-274.

[4] Van Leeuwen T, Stillatus V, Tirry L. Genetic analysis and cross-resistance spectrum of a laboratory-selected chlorfenapyr resistant strain of two-spotted spider mite (Acari: Tetranychidae) [J]. Experimental & Applied Acarology, 2004, 32(4): 249-261.

[5] Van Leeuwen T, Van Pottelberge S, Tirry L. Biochemical analysis of a chlorfenapyr-selected resistant strain of *Tetranychus urticae* Koch [J]. Pest Management Science, 2006, 62(5): 425-433.

[6] Dekeyser M A. Acaricide mode of action [J]. Pest Management Science, 2005, 61(2): 103-110.

[7] Niu J Z, Liu G Y, Dou W, et al. Susceptibility and ac-

- tivity of glutathione S-transferases in nine field populations of *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) to pyridaben and azocyclotin [J]. Florida Entomologist, 2011, 94(2): 321-329.
- [8] 何林, 赵志模, 邓新平, 等. 朱砂叶螨对三种杀螨剂的抗性选育与抗性风险评估[J]. 昆虫学报, 2002, 45(5): 688-692.
- [9] 孟和生, 王开运, 姜兴印, 等. 桔全爪螨对哒螨灵抗性的选育及其生化机理[J]. 农药学报, 2000, 12(3): 30-34.
- [10] 赵卫东, 王开运, 姜兴印, 等. 二斑叶螨对阿维菌素、哒螨灵和甲氰菊酯的抗性选育及其解毒酶活力变化[J]. 昆虫学报, 2003, 46(6): 788-792.
- [11] Kim Y J, Park H M, Cho J R, *et al.* Multiple resistance and biochemical mechanisms of pyridaben resistance in *Tetranychus urticae* (Acari: Tetranychidae) [J]. Journal of Economic Entomology, 2006, 99(3): 954-958.
- [12] Van Pottelberge S, Van Leeuwen T, Nauen R, *et al.* Resistance mechanisms to mitochondrial electron transport inhibitors in a field-collected strain of *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) [J]. Bulletin of Entomological Research, 2009, 99(1): 23-31.
- [13] Shi X Q, Xiong M H, Jiang W H, *et al.* Efficacy of endosulfan and fipronil and joint toxic action of endosulfan mixtures against *Leptinotarsa decemlineata* (Say) [J]. Journal of Pest Science, 2012, 85(4): 519-526.
- [14] Ahmad M, Saleem M A, Sayyed A H. Efficacy of insecticide mixtures against pyrethroid-and organophosphate-resistant populations of *Spodoptera litura* (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Pest Management Science, 2009, 65(3): 266-274.
- [15] Martin T, Ochou O G, Vaissayre M, *et al.* Organophosphorus insecticides synergize pyrethroids in the resistant strain of cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) from West Africa [J]. Journal of Economic Entomology, 2003, 96(2): 468-474.
- [16] Attique M N R, Khaliq A, Sayyed A H. Could resistance to insecticides in *Plutella xylostella* (Lep., Plutellidae) be overcome by insecticide mixtures? [J]. Journal of Applied Entomology, 2006, 130(2): 122-127.
- [17] 何林, 赵志模, 邓新平, 等. 朱砂叶螨对 3 种杀螨剂的抗性选育及抗性治理研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(4): 403-408.
- [18] Busvine J R. Recommended methods for measurement of pest resistance to pesticides [J]. FAO Plant Production and Protection Paper, 1980, 21: 49-54.
- [19] 王小艺, 王跃龙, 欧晓明. 农药混剂配比研究的一种实用寻优方法初探[J]. 农药学报, 2005, 7(1): 40-44.
- [20] Sun Y P, Johnson E R. Analysis of joint action of insecticides against house flies [J]. Journal of Economic Entomology, 1960, 53(5): 887-892.
- [21] 何林, 赵志模, 邓新平, 等. 甲氰菊酯与阿维菌素单用、轮用和混用对朱砂叶螨抗性进化的影响[J]. 蛛形学报, 2002, 11(1): 54-57.
- [22] 陈立, 徐汉虹, 李云宇, 等. 农药复配最佳增效配方筛选方法的探讨[J]. 植物保护学报, 2000, 27(4): 349-354.
- [23] 邓新平, 张伟, 张卫, 等. 数学模型在二元复配杀螨剂最优配比筛选中的应用[J]. 蛛形学报, 2005, 14(1): 28-32.
- [24] 陈立, 徐汉虹, 赵善欢. 应用均匀设计获取复配农药最佳增效配方[J]. 华南农业大学学报, 2000, 21(3): 33-35.