

DOI:10.13718/j.cnki.zwyx.2024.06.005

鱼藤酮和除虫菊素与化学杀虫剂复配 对麦二叉蚜和荻草谷网蚜的室内毒力测定

毋正花, 徐肄昊, 苗菲, 闫恒旭,
欧行奇, 周锋, 徐莉, 刘润强

河南科技学院 资源与环境学院, 河南 新乡, 453003

摘要: 为高效防治麦二叉蚜和荻草谷网蚜, 本研究采用浸渍法测定了10种植物源杀虫剂和5种化学源杀虫剂对其的室内毒力, 结合共毒因子法和共毒系数法, 筛选了植物源中毒力较高的鱼藤酮、除虫菊素与5种化学杀虫剂的复配增效配方。单剂毒力测定结果显示, 植物源杀虫剂中鱼藤酮和除虫菊素均对麦二叉蚜和荻草谷网蚜表现出最高毒力, LC_{50} 值介于2.522和20.719 mg/L之间, 化学杀虫剂噻虫嗪、联苯菊酯、功夫菊酯、啉虫脒、氟啶虫酰胺对两种试虫的 LC_{50} 值介于0.404和148.732 mg/L之间。综合共毒因子法和共毒系数法的筛选结果, 发现共有3种配比方案对荻草谷网蚜具有明显的增效效果, 分别为鱼藤酮+噻虫嗪1:2、鱼藤酮+氟啶虫酰胺5:1、除虫菊素+噻虫嗪1:5。共毒因子法结果表明, 所有复配配方及其配比对麦二叉蚜均未表现出增效作用, 研究结果为防治麦二叉蚜和荻草谷网蚜的复配制剂开发或生产中抗性蚜虫的防治提供了理论依据。

关键词: 麦二叉蚜; 荻草谷网蚜; 杀虫剂复配;
共毒因子; 共毒系数

中图分类号: S435.122⁺.1; S436.661.1 文献标志码: A

文章编号: 2097-1354(2024)06-0042-11

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Determination of the Indoor Toxicity of Combined Mixtures of Rotenone or Pyrethrins with Chemical Insecticides to *Schizaphis graminum* and *Sitobion miscanchi*

收稿日期: 2024-10-13

基金项目: 河南省重大科技专项(221100110100); 河南省青年人才托举工程项目(2023HYTP003).

作者简介: 毋正花, 硕士, 主要从事害虫抗药性及其治理研究.

通信作者: 徐莉, 博士, 副教授; 刘润强, 博士, 教授.

WU Zhenghua, XU Yihao, MIAO Fei, YAN Hengxu,
OU Xingqi, ZHOU Feng, XU Li, LIU Runqiang

School of Resources and Environment, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang Henan 453003, China

Abstract: In order to effectively control *Schizaphis graminum* and *Sitobion miscanchi*, this study determined the toxicity of 10 botanical insecticides and 5 chemical insecticides by leaf-dip method, and screened synergistic mixtures containing rotenone or pyrethrins with chemical insecticides using co-toxicant factor and co-toxicity coefficient methods. The results showed that, among the botanical insecticides, rotenone and pyrethrins showed the highest toxicity to *S. graminum* and *S. miscanchi*, with LC_{50} values ranging from 2.522-20.719 mg/L. The LC_{50} values of chemical insecticides, including thiamethoxam, bifenthrin, cyhalothrin, acetamiprid, flonicamid to these aphids were ranging from 0.404-148.732 mg/L. A total of 3 mixtures including rotenone + thiamethoxam at 1 : 2, rotenone + flonicamid at 5 : 1, pyrethrin + thiamethoxam at 1 : 5, were screened out, which showed obvious synergistic effect on *S. miscanchi*. All the determined mixtures showed no synergistic effect on *S. graminum*. The results provided a theoretical basis for the development of insecticides mixtures for controlling *S. graminum* and *S. miscanchi*, and managing their resistance to pesticides.

Key words: *Schizaphis graminum*; *Sitobion miscanchi*; insecticide mixture; co-toxicant factor; co-toxicity coefficient

小麦是世界重要的粮食作物,在生长过程中常常受到多种病虫害的威胁,其中蚜虫是我国小麦主产区为害其生长和产量的重大农业害虫.我国常发的小麦蚜虫种类主要有荻草谷网蚜(*Sitobion miscanchi*)、麦二叉蚜(*Schizaphis graminum*)和禾谷缢管蚜(*Rhopalosiphum padi*)等^[1].它们会直接吸食小麦植株的汁液,导致小麦营养成分流失^[2],生长发育受阻,植株矮小、叶片发黄,严重时甚至造成整株小麦枯萎死亡^[3].它们分泌的蜜露会诱发煤污病,破坏小麦的光合作用,影响小麦的营养合成和积累,进而降低小麦的产量和品质^[4].小麦蚜虫还可通过取食传播黄矮病毒等小麦病毒病,进一步加重对小麦的危害^[5-6].

目前,蚜虫防治主要以化学杀虫剂拌种或叶面喷施为主^[6-7],其中,新烟碱类杀虫剂由于兼具内吸作用和触杀作用^[8],既可以拌种也可以喷施,拟除虫菊酯、氨基甲酸酯、有机磷等杀虫剂主要以喷施为主.近年来,由于生产上用药种类较单一,施药频率高,导致蚜虫对常用杀虫剂产生了不同程度的抗药性,尤其对新烟碱类杀虫剂抗药性严重^[9-11].研究表明我国部分地区麦蚜已对新烟碱、有机磷和拟除虫菊酯类杀虫剂产生了中抗至极高水平抗性^[12].如韩晓莉等^[13]发现安徽蚌埠地区的麦长管蚜田间种群对吡虫啉产生了100倍以上的高水平抗性.张帅^[14]于2020年监测发现山东滕州和安徽宿州地区荻草谷网蚜种群对新烟碱类药剂吡虫啉产生了高水平抗性.山西临汾地区麦长管蚜种群对毒死蜱产生了中等水平抗性^[15].陕西泾阳、凤翔地区禾谷缢管蚜对高效氯氰菊酯产生了高水平抗性^[16].Gong等^[17]研究表明宁夏石嘴山、陕西杨凌地区的禾谷缢管蚜种群以及新乡地区麦长管蚜对高效氯氰菊酯产生了高水平抗性;陕西杨凌、江苏扬州地区禾谷缢管蚜、云南昆明地区的麦长管蚜均对联苯菊酯表现出了高水平抗性.

与传统的化学源杀虫剂相比较,植物源杀虫剂具有高效、低毒、绿色和不易产生抗药性等特点^[18],不会大量残留在农作物表面.杀虫剂复配是害虫抗药性治理的常见手段,复配型杀虫剂可有效克服农药靶标单一的缺点^[19].筛选植物源杀虫剂和化学源杀虫剂的增效配方,可以达

到增加防效、减少化学农药使用量的目的,从而实现农药“减施增效”^[20].

为筛选出对小麦蚜虫具有增效作用的复配药剂组合,并明确其不同配比下的联合作用效果,本研究在测定了鱼藤酮、除虫菊素等10种植物源杀虫剂与5种化学源杀虫剂(噻虫嗪、联苯菊酯、功夫菊酯、啶虫脒、氟啶虫酰胺)对荻草谷网蚜、麦二叉蚜毒力的基础上,采用共毒因子法进行定性筛选、共毒系数法进行定量分析,筛选出具有增效作用的配方组合,明确其最佳复配比例及联合毒力效果,旨在为田间小麦蚜虫的防治和抗性治理提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 供试药剂

1.1.1 试验药剂及来源

供试杀虫剂均为原药,包括10种植物源杀虫剂(鱼藤酮、除虫菊素、苦参碱、印楝素、白藜芦醇、蛇床子素、香芹酚、丁香酚、桉油精、香茅醛)和5种化学源杀虫剂(联苯菊酯、噻虫嗪、氟啶虫酰胺、啶虫脒、功夫菊酯),药剂的具体信息见表1.

表1 10种植物源杀虫剂和5种化学源杀虫剂的药剂信息

药剂名称	百分比/%	生产厂家
鱼藤酮	40	北京清源保生物科技有限公司
除虫菊素	50	北京清源保生物科技有限公司
苦参碱	5	北京清源保生物科技有限公司
印楝素	5	北京清源保生物科技有限公司
白藜芦醇	90	北京清源保生物科技有限公司
蛇床子素	99	上海阿拉丁生化科技股份有限公司
香芹酚	90	上海阿拉丁生化科技股份有限公司
丁香酚	99	上海阿拉丁生化科技股份有限公司
桉油精	99	百灵威科技有限公司
香茅醛	96	河南金田地股份有限公司
联苯菊酯	97	河南金田地股份有限公司
噻虫嗪	97	河南金田地股份有限公司
氟啶虫酰胺	97	河南金田地股份有限公司
啶虫脒	98	河南金田地股份有限公司
功夫菊酯	98.4	北京华戎生化有限公司

1.1.2 供试虫源

室内长期饲养的麦二叉蚜和荻草谷网蚜种群由河南科技学院百泉现代农业研究院提供,在温度22~25℃,相对湿度60%~70%,光暗比为14h:10h的养虫室中饲养,期间不接触杀虫剂.

1.2 试验方法

1.2.1 单剂毒力测定

室内毒力测定采用浸渍法.将供试药剂用丙酮配制成母液,再用0.1%的吐温-80将药剂等比稀释.在小麦上挑选大小一致的蚜虫为供试试虫,将带有蚜虫的小麦叶片在不同浓度的药剂里浸渍5~10s,取出在报纸上晾干,再转移到铺有2%琼脂的一次性塑料杯里,24h后检查结

果,以毛笔轻触虫体不动为死亡标准.每个处理3个重复,每个重复15头试虫,以0.1%的吐温-80作对照.

1.2.2 共毒因子法测定鱼藤酮和除虫菊素分别与化学杀虫剂复配的联合作用

10种植物源杀虫剂中,鱼藤酮和除虫菊素毒力最高,采用Mansour等^[21]的共毒因子法筛选鱼藤酮、除虫菊素和5种化学杀虫剂的增效配比.用0.1%的吐温-80分别将各单剂配制成各药剂的 LC_{50} 值,再按体积比1:5、1:2、1:1、2:1、5:1混合均匀,按照1.2.1方法处理,记录24h后的蚜虫死亡率.根据虫体的死亡率计算共毒因子,共毒因子大于20表示有增效作用,共毒因子小于-20表示拮抗作用,共毒因子介于-20和20之间表示相加作用.

$$\text{共毒因子}(\%) = \frac{\text{实际死亡率} - \text{理论死亡率}}{\text{理论死亡率}} \times 100\%$$

理论死亡率为两个单剂实际浓度代入各自回归方程求得的死亡率之和.

1.2.3 共毒系数法测定鱼藤酮和除虫菊素分别与化学杀虫剂复配的联合作用

以1.2.2中筛选出共毒因子大于20的配比作参考,再根据死亡率设置7个浓度梯度测定其对麦蚜的联合毒力,求出 LC_{50} 值及线性回归方程.参照Sun等^[22]提出的共毒系数法按照以下公式计算共毒系数(CTC),CTC大于等于120表示增效作用,小于等于80表示拮抗作用,CTC介于80和120之间表示相加作用.

相对毒力指数(TI) = (标准药剂 LC_{50} 值 / 供试药剂 LC_{50} 值) \times 100;

混剂实际毒力指数(ATI) = (标准药剂 LC_{50} 值 / 混剂 LC_{50} 值) \times 100;

混剂理论毒力指数(TTI) = A 药剂的 TI \times A 药剂在混剂中百分含量 + B 药剂的 TI \times B 药剂在混剂中的百分含量;

共毒系数(CTC) = (混剂实际毒性指数 ATI / 混剂理论毒性指数 TTI) \times 100;

1.3 数据处理

采用SPSS 26.0及Excel进行统计分析,计算得出毒力回归曲线、95%置信区间、 LC_{50} 值、共毒因子、共毒系数及相关参数.

2 结果与分析

2.1 单剂毒力测定

15种杀虫剂对麦二叉蚜的毒力测定结果(表2)表明,在10种植物源杀虫剂中效果最好的是除虫菊素和鱼藤酮, LC_{50} 值分别为2.522和8.105 mg/L,其毒力与化学杀虫剂啶虫脒(1.581 mg/L)和噻虫嗪(1.659 mg/L)相当.其余8种植物源杀虫剂毒力相对较低, LC_{50} 值为84.631~6 224.989 mg/L.在5种化学杀虫剂中,联苯菊酯的毒力最高, LC_{50} 值为0.404 mg/L,氟啶虫酰胺的毒力最小, LC_{50} 值为148.732 mg/L.各药剂毒力从大到小依次为:联苯菊酯、功夫菊酯、啶虫脒、噻虫嗪、除虫菊素、鱼藤酮、印楝素、氟啶虫酰胺、苦参碱、香芹酚、蛇床子素、桉油精、丁香酚、白藜芦醇、香茅醛.

表2 10种植物源杀虫剂和5种化学源杀虫剂对麦二叉蚜的毒力

供试药剂	毒力回归方程	LC ₅₀ 值/(mg·L ⁻¹)(95%置信限)	卡方值
除虫菊素	$y = -0.457 + 1.138x$	2.522(1.427-4.763)	0.376
鱼藤酮	$y = -1.427 + 1.570x$	8.105(5.250-12.670)	0.697
印楝素	$y = -2.663 + 1.381x$	84.631(55.859-142.519)	2.474
苦参碱	$y = -2.463 + 0.860x$	728.938(411.232-1 856.504)	0.228
香芹酚	$y = -8.691 + 2.519x$	2 818.872(1 931.190-3 606.416)	1.748
蛇床子素	$y = -8.709 + 2.520x$	2 858.829(1 750.433-3 592.989)	1.661
桉油精	$y = -5.300 + 1.436x$	4 894.242(3 156.217-10 851.946)	0.626
丁香酚	$y = -14.266 + 3.798x$	5 706.422(4 549.622-9 093.904)	0.511
白藜芦醇	$y = -7.283 + 1.958x$	5 231.610(3 892.328-8 940.062)	0.376
香茅醛	$y = -11.323 + 2.984x$	6 224.989(5 100.686-10 099.281)	0.491
联苯菊酯	$y = 0.540 + 1.372x$	0.404(0.260-0.565)	2.154
功夫菊酯	$y = 0.148 + 2.405x$	0.868(0.614-1.149)	2.240
啶虫脒	$y = -0.333 + 1.673x$	1.581(1.058-2.501)	1.717
噻虫嗪	$y = -0.192 + 0.873x$	1.659(0.058-3.951)	0.373
氟啶虫酰胺	$y = -2.016 + 0.928x$	148.732(84.596-266.828)	0.489

15种杀虫剂对荻草谷网蚜的LC₅₀介于0.887 mg/L和7 417.264 mg/L之间(表3),其中植物源杀虫剂中杀虫活性效果好的为除虫菊素和鱼藤酮,LC₅₀值分别为12.212 mg/L和20.719 mg/L,白藜芦醇的毒力最低,LC₅₀值为7 417.264 mg/L.5种化学杀虫剂中功夫菊酯的毒力最高,LC₅₀值为0.887 mg/L,氟啶虫酰胺毒力最低,LC₅₀值为11.954 mg/L,与除虫菊素的毒力相当.15种药剂对荻草谷网蚜的毒力从大到小依次为:功夫菊酯、联苯菊酯、啶虫脒、噻虫嗪、氟啶虫酰胺、除虫菊素、鱼藤酮、印楝素、苦参碱、香茅醛、香芹酚、桉油精、丁香酚、蛇床子素、白藜芦醇.

在对麦二叉蚜和荻草谷网蚜的毒力测定中,植物源杀虫剂除虫菊素和鱼藤酮均表现出最高的毒力,其毒力与常用的5种化学杀虫剂相当,采用共毒因子法和共毒系数法进一步测定这两种植物源杀虫剂分别与5种化学杀虫剂复配以及除虫菊素和鱼藤酮复配后的增效比例.

表3 10种植物源杀虫剂和5种化学源杀虫剂荻草谷网蚜的毒力

供试药剂	毒力回归方程	LC ₅₀ 值/(mg·L ⁻¹)(95%置信限)	卡方值
除虫菊素	$y = -1.902 + 1.750x$	12.212(9.138-15.828)	4.487
鱼藤酮	$y = -3.572 + 2.714x$	20.719(16.456-25.359)	2.209
印楝素	$y = -3.273 + 1.128x$	799.405(498.036-1 681.445)	1.770
苦参碱	$y = -7.345 + 2.195x$	2 219.297(1 674.119-2 844.418)	2.927
香茅醛	$y = -26.961 + 7.799x$	2 864.682(2 481.364-3 186.256)	0.563
香芹酚	$y = -21.259 + 5.757x$	4 927.721(4 093.865-5 650.345)	2.460
桉油精	$y = -27.452 + 7.411x$	5 062.124(4 581.127-6 643.030)	2.875
丁香酚	$y = -10.212 + 2.737x$	5 392.742(4 505.167-7 112.564)	5.711
蛇床子素	$y = -27.654 + 7.301x$	6 131.692(5 414.357-7 543.145)	1.029
白藜芦醇	$y = -27.689 + 7.154x$	7 417.264(6 073.167-14 797.488)	0.523
功夫菊酯	$y = 0.117 + 2.242x$	0.887(0.645-1.206)	1.844
联苯菊酯	$y = -0.323 + 2.541x$	1.340(0.963-1.753)	2.434
啶虫脒	$y = -1.100 + 1.909x$	3.770(2.671-5.273)	0.226
噻虫嗪	$y = -1.317 + 1.891x$	4.968(3.594-6.635)	3.685
氟啶虫酰胺	$y = -2.118 + 1.966x$	11.954(8.810-16.691)	1.411

2.2 共毒因子法定性筛选

采用共毒因子法测定鱼藤酮和除虫菊素分别与 5 种化学杀虫剂按不同比例复配后对麦二叉蚜的联合效果,以及二者复配后的共毒因子(表 4)。在设定的 11 种复配组合 55 个配比中,未出现具有明显增效作用的复配组合。而联合作用表现为相加作用的复配组合及比例有 9 组,分别为鱼藤酮+联苯菊酯 1:5、2:1、5:1,鱼藤酮+啶虫脒 1:2,鱼藤酮+氟啶虫酰胺 5:1,除虫菊素+联苯菊酯 1:5、1:1、5:1,除虫菊素+啶虫脒 1:2,其余复配组合均表现为拮抗。基于此结果,未进行共毒系数法的进一步测定。

表 4 各复配组合对麦二叉蚜的共毒因子

复配组合 (A+B)	配比	查自 LC-P 线死亡率/%		预期 死亡率/%	实际 死亡率/%	共毒因子
		A	B			
鱼藤酮+联苯菊酯	1:5	11.01	45.67	56.68	53.85	-5.00
	1:2	22.71	40.45	63.16	25.64	-59.40
	1:1	31.81	33.93	65.74	43.59	-33.69
	2:1	39.10	25.63	64.73	58.97	-8.89
	5:1	45.05	14.27	59.32	66.67	12.38
鱼藤酮+噻虫嗪	1:5	11.01	47.23	58.24	30.77	-47.17
	1:2	22.71	43.89	66.60	30.77	-53.80
	1:1	31.81	39.64	71.45	30.77	-56.94
	2:1	39.10	33.85	72.95	38.46	-47.28
	5:1	45.05	24.85	69.90	25.64	-63.32
鱼藤酮+功夫菊酯	1:5	11.01	42.45	53.46	24.00	-55.11
	1:2	22.71	33.60	56.31	40.00	-28.96
	1:1	31.81	23.47	55.28	24.00	-56.58
	2:1	39.10	12.56	51.66	12.00	-76.77
	5:1	45.05	3.08	48.13	4.00	-91.69
鱼藤酮+啶虫脒	1:5	11.01	44.73	55.74	24.00	-56.94
	1:2	22.71	38.41	61.12	60.00	-1.83
	1:1	31.81	30.74	62.55	32.00	-48.84
	2:1	39.10	21.24	60.34	20.00	-66.85
	5:1	45.05	9.65	54.70	24.00	-56.12
鱼藤酮+氟啶虫酰胺	1:5	11.01	47.07	58.08	41.38	-28.75
	1:2	22.71	43.51	66.22	34.48	-47.93
	1:1	31.81	38.99	70.80	44.83	-36.68
	2:1	39.10	32.89	71.99	34.48	-52.10
	5:1	45.05	23.51	68.56	55.17	-19.53
除虫菊素+联苯菊酯	1:5	18.79	45.67	64.46	61.54	-4.53
	1:2	29.36	40.45	69.81	53.85	-22.87
	1:1	36.61	33.93	70.54	74.36	5.41
	2:1	42.05	25.63	67.68	51.28	-24.23
	5:1	46.42	14.27	60.69	64.10	5.62
除虫菊素+噻虫嗪	1:5	18.79	47.23	66.02	15.38	-76.70
	1:2	29.36	43.89	73.25	15.38	-79.00
	1:1	36.61	39.64	76.25	17.95	-76.46
	2:1	42.05	33.85	75.90	20.51	-72.97
	5:1	46.42	24.85	71.27	20.51	-71.22
除虫菊素+功夫菊酯	1:5	18.79	42.45	61.24	78.57	28.30
	1:2	29.36	33.60	62.96	39.29	-37.60
	1:1	36.61	23.47	60.08	17.86	-70.28
	2:1	42.05	12.56	54.61	42.86	-21.52
	5:1	46.42	3.08	49.50	32.14	-35.06

续表

复配组合 (A+B)	配比	查自 LC-P 线死亡率/%		预期 死亡率/%	实际 死亡率/%	共毒因子
		A	B			
除虫菊素+啶虫脒	1:5	18.79	44.73	63.52	17.86	-71.89
	1:2	29.36	38.41	67.77	57.14	-15.68
	1:1	36.61	30.74	67.35	25.00	-62.88
	2:1	42.05	21.24	63.29	28.57	-54.86
	5:1	46.42	9.65	56.07	10.71	-80.89
除虫菊素+氟啶虫酰胺	1:5	18.79	47.07	65.86	27.59	-58.11
	1:2	29.36	43.51	72.87	27.59	-62.14
	1:1	36.61	38.99	75.60	48.28	-36.14
	2:1	42.05	32.89	74.94	37.93	-49.38
	5:1	46.42	23.51	69.93	44.83	-35.90
鱼藤酮+除虫菊素	1:5	11.01	46.42	57.43	17.86	-68.91
	1:2	22.71	42.05	64.76	21.43	-66.91
	1:1	31.81	36.61	68.42	28.57	-58.24
	2:1	39.10	29.36	68.46	32.14	-53.05
	5:1	45.05	18.79	63.84	25.00	-60.84

在对荻草谷网蚜的共毒因子法测定结果中(表5),表现为增效作用的组合有18个,分别为:鱼藤酮+联苯菊酯1:2、1:1、2:1、5:1,鱼藤酮+噻虫嗪1:5、1:2、1:1、2:1、5:1,鱼藤酮+功夫菊酯1:1、2:1、5:1,除虫菊素+联苯菊酯1:2、1:1、2:1、5:1,鱼藤酮+氟啶虫酰胺5:1,除虫菊素+噻虫嗪1:5;表现为相加作用的组合有20个,其余17种组合均表现为拮抗作用.在18个增效作用的复配组合中,鱼藤酮+联苯菊酯、鱼藤酮+噻虫嗪、鱼藤酮+功夫菊酯、除虫菊素+联苯菊酯的多个配比均表现为增效作用.为了进一步测定各复配组合对荻草谷网蚜的增效比例,采用共毒系数法进一步验证6个组合中共毒因子最大的配比的增效作用.

表5 各复配组合对荻草谷网蚜的共毒因子

复配组合 (A+B)	配比	查自 LC-P 线死亡率/%		预期死 亡率	实际死 亡率/%	共毒因子
		A	B			
鱼藤酮+联苯菊酯	1:5	1.78	42.01	43.79	42.86	-2.13
	1:2	9.79	32.77	42.56	59.52	39.85
	1:1	20.73	22.22	42.95	66.67	55.22
	2:1	31.65	11.26	42.91	71.43	66.46
	5:1	41.51	2.41	43.92	71.43	62.63
鱼藤酮+噻虫嗪	1:5	1.78	44.02	45.80	64.29	40.36
	1:2	9.79	36.96	46.75	92.86	98.62
	1:1	20.73	28.47	49.20	80.95	64.54
	2:1	31.65	18.35	50.00	69.05	38.10
	5:1	41.51	7.08	48.59	88.10	81.30
鱼藤酮+功夫菊酯	1:5	1.78	42.95	44.73	36.00	-19.52
	1:2	9.79	34.66	44.45	32.00	-28.01
	1:1	20.73	25.09	45.82	60.00	30.95
	2:1	31.65	14.25	45.90	64.00	39.43
	5:1	41.51	4.05	45.56	56.00	22.91
鱼藤酮+啶虫脒	1:5	1.78	44.09	45.87	40.00	-12.80
	1:2	9.79	36.85	46.64	48.00	2.92
	1:1	20.73	28.38	49.11	28.00	-42.99
	2:1	31.65	18.14	49.79	48.00	-3.60
	5:1	41.51	6.88	48.39	56.00	15.73

续表

复配组合 (A+B)	配比	查自 LC-P 线死亡率/%		预期死亡率	实际死亡率/%	共毒因子
		A	B			
鱼藤酮+氟啶虫酰胺	1:5	1.78	43.85	45.63	7.69	-83.14
	1:2	9.79	36.58	46.37	3.85	-91.71
	1:1	20.73	27.72	48.45	34.62	-28.55
	2:1	31.65	17.43	49.08	57.69	17.55
	5:1	41.51	6.42	47.93	61.54	28.39
除虫菊素+联苯菊酯	1:5	8.66	42.01	50.67	57.14	12.77
	1:2	20.18	32.77	52.95	80.95	52.88
	1:1	29.93	22.22	52.15	80.95	55.23
	2:1	37.89	11.26	49.15	59.52	21.11
	5:1	44.49	2.41	46.90	80.95	72.61
除虫菊素+噻虫嗪	1:5	8.66	44.02	52.68	78.57	49.15
	1:2	20.18	36.96	57.14	66.67	16.67
	1:1	29.93	28.47	58.40	64.29	10.08
	2:1	37.89	18.35	56.24	45.24	-19.56
	5:1	44.49	7.08	51.57	38.10	-26.13
除虫菊素+功夫菊酯	1:5	8.66	42.95	51.61	36.00	-30.25
	1:2	20.18	34.66	54.84	64.00	16.70
	1:1	29.93	25.09	55.02	36.00	-34.57
	2:1	37.89	14.25	52.14	56.00	7.40
	5:1	44.49	4.05	48.54	48.00	-1.11
除虫菊素+啶虫脒	1:5	8.66	44.09	52.75	16.00	-69.67
	1:2	20.18	36.85	57.03	12.00	-78.96
	1:1	29.93	28.38	58.31	28.00	-51.98
	2:1	37.89	18.14	56.03	8.00	-85.72
	5:1	44.49	6.88	51.37	48.00	-6.56
除虫菊素+氟啶虫酰胺	1:5	8.66	43.85	52.51	11.54	-78.03
	1:2	20.18	36.58	56.76	30.77	-45.79
	1:1	29.93	27.72	57.65	61.54	6.74
	2:1	37.89	17.43	55.32	38.46	-30.47
	5:1	44.49	6.42	50.91	11.54	-77.34
鱼藤酮+除虫菊素	1:5	1.78	44.49	46.27	39.29	-15.09
	1:2	9.79	37.89	47.68	46.43	-2.62
	1:1	20.73	29.93	50.66	42.86	-15.40
	2:1	31.65	20.18	51.83	42.86	-17.31
	5:1	41.51	8.66	50.17	32.14	-35.93

2.3 共毒系数法定量筛选

在共毒因子法筛选的基础上,选取复配配方中共毒因子值最高的配比进行共毒系数法定量.结果表明,在6个不同复配组合中,有3个复配组合配比对荻草谷网蚜(鱼藤酮+噻虫嗪1:2、鱼藤酮+氟啶虫酰胺5:1、除虫菊素+噻虫嗪1:5)的共毒系数大于120,显示具有增效作用,除虫菊素+联苯菊酯5:1仅有相加作用,鱼藤酮+联苯菊酯2:1、鱼藤酮+功夫菊酯2:1具有拮抗作用(表6).

表6 各复配组合不同配比对荻草谷网蚜的共毒系数

复配组合	配比	毒力回归方程	LC ₅₀ /(mg·L ⁻¹) (95%置信限)	实际毒力指数	理论毒力指数	CTC
鱼藤酮+联苯菊酯	2:1	$y = -1.439 + 1.532x$	8.693(5.975~12.164)	238.341	582.065	40.948
鱼藤酮+噻虫嗪	1:2	$y = -0.508 + 0.808x$	4.254(2.391~12.172)	487.047	311.366	156.423
鱼藤酮+功夫菊酯	2:1	$y = -1.377 + 1.399x$	9.648(5.893~15.552)	214.749	845.284	25.406
鱼藤酮+氟啶虫酰胺	5:1	$y = -2.021 + 1.797x$	13.320(8.634~19.640)	155.548	112.220	138.609
除虫菊素+联苯菊酯	5:1	$y = -0.692 + 1.033x$	4.678(2.582~9.683)	261.052	235.224	110.980
除虫菊素+噻虫嗪	1:5	$y = -0.556 + 1.167x$	2.996(1.904~5.380)	407.610	221.511	184.013

3 结论与讨论

蚜虫是小麦生产中最主要的一类害虫, 常年造成小麦减产 10% 以上, 大发生年份可导致小麦减产超过 30%^[23]. 据 2022 年全国农业有害生物抗药性监测评估结果, 荻草谷网蚜种群对吡虫啉、氟啶虫胺胍、啶虫脒、高效氯氟菊酯等药剂表现为敏感至中等抗性水平, 对抗蚜威表现为敏感至高水平抗性, 禾谷缢管蚜对高效氯氟菊酯表现为敏感至高水平抗性, 与 2021 年相比, 多个地区的蚜虫种群抗性水平快速上升^[24]. 2024 年预计小麦蚜虫在河南、山东、河北等黄淮海麦区小麦穗期偏重发生^[25]. 研究小麦蚜虫高效防控方案对于小麦高产稳产至关重要. 筛选具有增效作用的药剂复配组合是当前高效防控抗性小麦蚜虫的有效手段. 本研究从 10 种植物源杀虫剂中筛选出 2 种毒力较高的单剂鱼藤酮和除虫菊素, 通过与 5 种化学源杀虫剂进行复配, 从中筛选出 3 种复配组合及其配比对荻草谷网蚜表现出明显的增效作用, 研究结果为麦蚜的田间防控提供了高效的药剂组合.

河南省小麦蚜虫的防治适期一般有 3 次: 首次为 10 月上中旬小麦播种前用吡虫啉、噻虫胺等药剂进行种子包衣; 第 2 次用药在小麦返青期至拔节期用吡虫啉等新烟碱类药剂、高效氯氟菊酯等拟除虫菊酯类药剂以及吡蚜酮等进行喷雾; 第 3 次用药一般于拔节孕穗期, 结合“一喷三防”, 使用新烟碱、拟除虫菊酯、有机磷类等杀虫剂进行茎叶喷雾^[26]. 本研究测定了生产上蚜虫防治常用的化学杀虫剂噻虫嗪、联苯菊酯、功夫菊酯、啶虫脒、氟啶虫酰胺对荻草谷网蚜和麦二叉蚜的触杀毒力, 发现拟除虫菊酯类杀虫剂联苯菊酯和功夫菊酯毒力最高, 氟啶虫酰胺毒力最低. 同时, 需要注意试虫易对拟除虫菊酯类杀虫剂产生抗药性, 生产上仍然要用不同种类的药剂与拟除虫菊酯类杀虫剂交替使用.

在我国已登记用于防治蚜虫的植物源杀虫剂有苦参碱、除虫菊素、印楝素、鱼藤酮、烟碱、桉油精等. 本研究测定了以上植物源杀虫剂以及其他 5 种已被报道具有杀虫活性的植物源成分对小麦蚜虫的毒力, 发现鱼藤酮和除虫菊素对麦蚜毒力最高, 其 LC_{50} 值与化学杀虫剂相当. Xu 等^[27]测定了 10 种植物源杀虫剂对禾谷缢管蚜的毒力, 也发现鱼藤酮和除虫菊素表现出最高的毒力. 朱英等^[28]测定了烟碱、鱼藤酮、除虫菊素、桉树脑和苦参碱等 5 种植物源杀虫剂对石榴蚜虫毒力, 发现其杀虫效果从大到小依次是除虫菊素、鱼藤酮、烟碱、苦参碱、桉树脑. 刘佳美等^[29]测定了苦参碱、藜芦碱、印楝素对棉蚜的毒力, 结果表明苦参碱对棉蚜毒力高于其他两种. 李可可^[30]测定了 9 种植物源药剂对石榴蚜虫的室内毒力, 结果表明烟碱对石榴蚜虫的毒力最高, 其次是除虫菊素和鱼藤酮, 其他依次为苦参碱、桉树脑、甲维·氟酰胺、阿维菌素、印楝树乳油和茶皂素. 以上结果均表明, 在所有植物源杀虫剂中, 鱼藤酮和除虫菊素对多种蚜虫均表现出较高的毒力, 更适合用于蚜虫的田间防治和抗药性治理.

药剂的复配能够克服或延缓有害生物抗药性的产生, 扩大防治谱, 达到一药多治, 减少施药次数, 发挥增效作用, 延长农药品种的使用年限, 降低防治成本. 同时, 在化学农药“减施增效”背景下, 筛选鱼藤酮、除虫菊素剂与常用化学源杀虫剂的复配增效配方, 可以减少化学农药用量, 增强防治效果. 当前, 药剂复配方法众多, 包括 Bliss 法、Finney 法、共毒系数法、共毒因子法等, 其中共毒系数法是农业农村部农药检定所规定混剂配方筛选的方法, 但是此法工作量大, 配比的变化会影响共毒系数的变化, 存在一定的局限性. 生产上常用共毒因子法初步筛选, 再用共毒系数法进一步验证增效作用. 常静等^[31]用共毒因子法和共毒系数法分别确定了最佳药

剂配伍和最佳复配比例,筛选出吡虫啉与氰戊菊酯复配比例为2:3时,对马铃薯桃蚜的增效作用最显著.本研究发现以鱼藤酮和除虫菊素为主要药剂,分别与其他5种不同化学杀虫剂进行复配,发现鱼藤酮+噻虫嗪1:2、鱼藤酮+氟啶虫酰胺5:1、除虫菊素+噻虫嗪1:5对荻草谷网蚜表现出明显的增效作用,表明噻虫嗪与鱼藤酮、除虫菊素复配更易出现增效组合. Xu等^[27]在对禾谷缢管蚜的复配配方筛选中,也发现相似结果,共毒因子法测定结果发现,噻虫嗪与鱼藤酮、除虫菊素复配的所有比例几乎均表现出增效作用.复配制剂的田间应用效果还需要进一步研究.

参考文献:

- [1] 郁振兴. 利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞轨迹 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2011.
- [2] 原万玲. 吡虫啉缓释颗粒剂在小麦蚜虫防治中的剂量分布规律研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [3] 谢纳. 麦长管蚜重要基因的筛选及其 RNA 干扰效果的研究 [D]. 郑州: 河南农业大学, 2014.
- [4] 周海波, 程登发, 陈巨莲. 小麦蚜虫田间调查及监测技术 [J]. 应用昆虫学报, 2014, 51(3): 853-858.
- [5] 李丹丹. 介体/非介体麦蚜对植物病毒响应的转录组学分析 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [6] 张文斌. 小麦黄矮病防治关键技术及其新型病毒抑制剂的研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2009.
- [7] 祁全梅, 李秋荣. 蚜虫对新烟碱类杀虫剂的抗药性研究进展 [J]. 青海农林科技, 2020(1): 58-62.
- [8] 匡建宇. 新烟碱类杀虫剂对十斑大瓢虫的室内毒力及亚致死效应 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2023.
- [9] 魏岑, 黄绍宁, 范贤林, 等. 麦长管蚜的抗药性研究 [J]. 昆虫学报, 1988, 31(2): 148-156.
- [10] 洪波, 关晓庆, 迟永伟, 等. 宁夏地区麦蚜对几种杀虫剂的敏感性测定 [J]. 宁夏农学院学报, 2004, 25(3): 17-20.
- [11] LUY, GAOX. Multiple Mechanisms Responsible for Differential Susceptibilities of *Sitobion avenae* (Fabricius) and *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) to Pirimicarb [J]. Bulletin of Entomological Research, 2009, 99(6): 611-617.
- [12] 王超, 李新安, 刘恩良, 等. 我国麦蚜抗药性及研究现状 [J]. 环境昆虫学报, 2022, 44(3): 626-635.
- [13] 韩晓莉, 高占林, 党志红, 等. 不同地区麦长管蚜对氯代烟酰胺类杀虫剂的敏感性 [J]. 华北农学报, 2007, 22(5): 157-160.
- [14] 张帅. 2020 年全国农业有害生物抗药性监测结果及科学用药建议 [J]. 中国植保导刊, 2021, 41(2): 71-78.
- [15] 武银玉, 曹亚萍, 赵飞, 等. 临汾麦区麦长管蚜对常用杀虫剂的抗药性风险 [J]. 山西农业科学, 2019, 47(6): 1061-1064.
- [16] 黄彦娜. 陕西关中地区禾谷缢管蚜抗药性监测及共生菌检测 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.
- [17] GONG P, LI X, GAO H, et al. Field Evolved Resistance to Pyrethroids, Neonicotinoids, Organophosphates and Macrolides in *Rhopalosiphum padi* (Linnaeus) and *Sitobion avenae* (Fabricius) from China [J]. Chemosphere, 2021, 269: 128747.
- [18] 朱永兴, 王艳红, 尹军良, 等. 生姜杀虫活性成分在植物源杀虫剂中的研究现状 [J]. 应用生态学报, 2023, 34(3): 825-834.
- [19] 张懿熙, 刘泽文. 杀虫剂的选择性与害虫抗药性 [J]. 中国科学基金, 2020, 34(4): 511-518.
- [20] 刘明月. 新型增效剂对氟啶虫酰胺防治烟粉虱减量增效作用研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2020.
- [21] MANSOURN A, ELDEFRAWIM E, TOPPOZADA A, et al. Toxicological Studies on the Egyptian Cotton Leaf Worm, *Prodenia litura*. VI. Potentiation and Antagonism of Organophosphorus and Carbamate Insecticides [J]. Journal of Economic Entomology, 1966, 59(2): 307-311.
- [22] 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.

- [23] 陈巨莲. 小麦蚜虫及其防治 [M]. 北京: 金盾出版社, 2014.
- [24] 任宗杰, 郭永旺, 秦萌, 等. 2022 年全国农业有害生物抗药性监测评估与治理对策 [J]. 中国植保导刊, 2023, 43(3): 62-71.
- [25] 刘杰, 曾娟, 黄冲, 等. 2024 年全国农作物重大病虫害发生趋势预报 [J]. 中国植保导刊, 2024, 44(1): 37-40.
- [26] 刘凯, 郭志刚, 郭振营, 等. 河南省小麦病虫草害用药现状调查及管理建议 [J]. 农药科学与管理, 2024, 45(7): 10-13.
- [27] XU L, WU Z H, LI J K, et al. The Low-Lethal Concentrations of Rotenone and Pyrethrins Suppress the Population Growth of *Rhopalosiphum padi* [J]. Scientific Reports, 2024, 14(1): 16570.
- [28] 朱英, 骆绪美. 5 种不同浓度植物源农药对石榴蚜虫杀虫效果研究 [J]. 安徽农业科学, 2020, 48(19): 141-143.
- [29] 刘佳美, 刘冰, 王佩玲, 等. 植物源杀虫剂对棉蚜毒力及多异瓢虫的安全性评价 [J]. 新疆农业科学, 2021, 58(11): 2069-2076.
- [30] 李可可. 蚌埠地区石榴蚜虫植物源杀虫剂的筛选及田间防治效果研究 [D]. 合肥: 安徽农业大学, 2020.
- [31] 常静, 张薇, 李海平, 等. 吡虫啉与三种拟除虫菊酯杀虫剂对马铃薯桃蚜的联合毒力 [J]. 植物保护, 2016, 42(6): 225-228.

责任编辑 王新娟