

4种药剂对沙棘绕实蝇成虫的触杀活性

李莎莎¹, 李臻^{2*}, 程态明¹, 苏智², 魏建荣^{**}

(1. 河北大学生命科学学院, 河北保定 071002; 2. 中国林业科学研究院沙漠林业实验中心, 内蒙古, 磴口 015200)

摘要: [目的] 沙棘绕实蝇在我国新疆和内蒙古地区对沙棘果实造成重大危害, 如何选取高效、易降解、低残留的农药种类成为当前沙棘绕实蝇成虫防控工作中的迫切课题。[方法] 野外采集沙棘绕实蝇蛹, 室内待其羽化后, 雌、雄分组放置于不同浓度梯度的4种农药条件下进行触杀实验。[结果] 通过 KT_{50} (median knockdown time) 的数据分析结果显示, 同种农药同种浓度时, 药物对雄性的触杀效果比雌性强, 其中苦参碱在浓度为 $0.005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 雄性 KT_{50} 值为 39.21 h, 小于雌性 KT_{50} 值 56.13 h, 但个别情况下出现对雌性触杀效果比雄性高的情况, 如苦参碱在浓度为 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 雄性 KT_{50} 值为 15.76 h, 大于雌性 KT_{50} 值 12.39 h。通过测定4种农药对沙棘绕实蝇成虫的致死中浓度 LC_{50} (median lethal dose), 得出触杀作用时间为 12 h 时, LC_{50} 分别为: 印楝素 $7.737 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、高效氯氟氰菊酯 $0.002 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、苦参碱 $0.042 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、阿维菌素 $0.008 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, 其触杀毒力次序为: 高效氯氟氰菊酯 > 阿维菌素 > 苦参碱 > 印楝素; 触杀作用时间为 24 h 时, LC_{50} 分别为: 印楝素 $6.963 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、高效氯氟氰菊酯 $0.001 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、苦参碱 $0.008 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、阿维菌素 $< 0.001 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, 其触杀毒力次序为: 阿维菌素 > 高效氯氟氰菊酯 > 苦参碱 > 印楝素; 触杀作用时间为 48 h 时, LC_{50} 分别为: 印楝素 $0.891 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、高效氯氟氰菊酯 $< 0.001 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、苦参碱 $0.002 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、阿维菌素 $< 0.001 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, 其触杀毒力次序为: 阿维菌素 = 高效氯氟氰菊酯 > 苦参碱 > 印楝素。[结论] 阿维菌素和高效氯氟氰菊酯对沙棘绕实蝇成虫的触杀效果较显著, 其次为苦参碱, 印楝素的触杀效果不显著。

关键词: 沙棘绕实蝇, 实蝇, 击倒中时, 致死中浓度

中图分类号: S763.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2018)06-0100-07

Contact Lethal Activity of Four Environmental Friendly Pesticides to *Rhagoletis batava obseuriosa* (Diptera: Tephritidae) Adults, A Serious Fruit Fly of Seabuckthorn

LI Sha-sha¹, LI Zhen², CHENG Tai-ming¹, SU Zhi², WEI Jian-rong¹

(1. College of Life Science, Hebei University, Baoding 071002, Hebei, China; 2. Desert Forestry Experimental Center, Chinese Academy of Forestry, Dengkou 015200, Inner Mongolia, China)

Abstract: [Objective] *Rhagoletis batava obseuriosa* (RBO) has caused serious damage to *Hippophae rhamnoides* fruit in Dengkou County, Inner Mongolia, China. This study aims at selecting high efficiency, low residue and easy degradable environmental friendly pesticides to prevent and control RBO. [Method] The pupae of RBO were collected at sea-buckthorn orchard in Dengkou County in April, 2017. After the emergence of adults in the laboratory, the female and male adults were separately bioassayed with different concentrations of four pesticides to evaluate the contact lethal effects of the four pesticides by dish tests. [Result] The results of KT_{50} (median knockdown time)

收稿日期: 2017-11-30 修回日期: 2018-03-22

基金项目: 中国林业科学研究院基本科研业务费专项资金(CAFYBB2017MB025)、国家自然科学基金项目(31370647)

作者简介: 李莎莎(1991—), 女, 河南漯河人, 硕士研究生, 研究方向为森林昆虫综合管理, E-mail: LiShasha1591@163.com

* 李臻为共同第一作者

** 通讯作者: 魏建荣, E-mail: weijr@hbu.edu.cn

data analysis showed that the male's contact toxicity of four pesticides was a little higher than that of female. When the concentration of matrine was $0.005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, the male's KT_{50} value was 39.21 h, less than the female's KT_{50} value of 56.13 h, but there was some exceptions, for example, when the concentration of matrine was $0.05 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, the male's KT_{50} value (15.76 h) was higher than the female's KT_{50} value of 12.39 h. The results of LC_{50} (median lethal dose) analysis showed that the contact toxicity of four pesticides to RRO was different. When the adults were treated with 12 hours, LC_{50} of the four different pesticides were azadirachtin $7.737 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, lambda-cyhalothrin $0.002 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, matrine $0.042 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ and avermectins $0.008 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, respectively. The lethal effect of the four pesticides from high to low were lambda-cyhalothrin, avermectins, matrine and azadirachtin; when the adults were treated with 24 hours, LC_{50} of four pesticides were azadirachtin $6.963 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, lambda-cyhalothrin $0.001 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, matrine $0.008 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ and avermectins $0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, respectively. The lethal effects from high to low were avermectins, lambda-cyhalothrin, matrine and azadirachtin; when adults were treated with 48 hours: LC_{50} of four pesticides were azadirachtin $0.891 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, lambda-cyhalothrin $0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, matrine $0.002 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ and avermectins $0 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$, respectively. The lethal effects of the four pesticides from high to low were avermectins, lambda-cyhalothrin, matrine and azadirachtin. [**Conclusion**] Avermectins and lambda-cyhalothrin have high contact lethal effect to RBO adults, followed by matrine. Azadirachtin shows no effective contact lethal ability to RBO adults. More bioassay need to be carried to check their control effect on RBO in the field.

Keywords: *Rhagoletis batava obscuriosa*; fruit fly; median knockdown time; median lethal dose

沙棘绕实蝇 (*Rhagoletis batava obscuriosa* Kol.) 隶属双翅目 (Diptera) 实蝇科 (Tephritidae) 绕实蝇属 *Rhagoletis*。成虫产卵于沙棘青果的果皮下, 幼虫孵化后蛀食果肉, 致使受害沙棘果实只剩外面的果皮而干瘪, 导致受害果实丧失经济价值, 大发生时能够造成沙棘果减产 90% 以上, 是国家林业局发布的国内检疫害虫^[1-2]。沙棘绕实蝇于 1985 年首先在我国辽宁省建平县罗福沟乡沙棘林中发现, 后来在该县其他地方, 以及邻近的阜新县都有发生^[3-4]。另外, 在陕西的榆林、山西右玉等地及黑龙江北部地区也有沙棘绕实蝇发生^[5-6]。目前, 该实蝇在内蒙古西部地区巴彦淖尔盟的人工沙棘林^[1]和新疆阿勒泰地区的沙棘种植基地大规模发生, 造成巨大经济损失, 使当地沙棘产业的发展停滞。因此, 应尽快找到有效控制沙棘绕实蝇危害的方法。

由于幼虫营蛀果性生活, 并在地表土层中化蛹, 不太容易防治, 所以已有的化学防治措施主要是通过在地表和林间喷洒有机化学农药防治成虫^[4]。但是有机农药的不合理使用常导致大量天敌死亡, 生物多样性降低, 而且农药残留超标将给环境和人类健康带来一系列负面影响。近年来, 随着绿色食品的迅猛发展以及规范化防治措施的实施, 化学农药的研究已开始转向开发新型生物农药和可快速降解的专一性农药^[7-8]。国内外在防治实蝇方面已试验

过多种药剂, 如应用氰戊菊脂、高效氯氟氰菊酯、阿维菌素、印楝素、苦参碱、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐等防治瓜实蝇^[9-10], 阿维菌素、乙基多杀菌素、毒死蜱等控制柑桔大实蝇^[9], 溴氰菊酯、甲氨基阿维菌素苯甲酸盐、阿维菌素、高效氯氟氰菊酯防治桔小实蝇^[10], 但对绕实蝇属的昆虫还从未见有较为详细的农药防治研究。

基于低毒、低残留和易降解的原则, 本研究选取了印楝素、高效氯氟氰菊酯、苦参碱、阿维菌素这 4 种生物源或仿生药剂, 通过室内对沙棘绕实蝇成虫触杀活性的研究, 以期筛选出在林间具有较高实用价值的药剂种类。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

2017 年 5 月份沙棘绕实蝇羽化前, 于受害沙棘林地内收集越冬蛹, 带回室内。6 月份成虫羽化后, 雌雄分开进行人工饲养 (室温、自然光照、饲料为蔗糖: 酵母 = 3:1), 取 1 日龄的成虫作为供试虫源。

1.2 供试药剂

供试药剂共 4 种, 分别为: 99% 印楝素 (陕西帕尼尔生物科技有限公司), 5% 高效氯氟氰菊酯微乳剂 (山东申达作物科技有限公司), 0.5% 苦参碱水剂 (中国农科院植保所廊坊农药中试厂), 98% 阿维

菌素(河南皇川生物科技有限公司)。

1.3 室内毒力测定

每种供试药剂经质量换算后稀释成5个浓度梯度,每个浓度4次重复,并设清水对照。每个重复测试20头沙棘绕实蝇成虫(雌、雄分别试验,各20头)。在预先准备好的培养皿(直径:8.5 cm)底部铺设一层滤纸,并放入0.5 g成虫饲料(蔗糖:酵母粉=3:1)。用移液枪按照预实验确定的量,取500 μL 的药剂滴于滤纸上,使药剂在滤纸上刚好完全润湿,而又不会过于湿润而出现液滴影响成虫的正常活动。每种药剂每个浓度的培养皿内放入实蝇雌成虫20头或雄成虫20头,观察记录成虫接触药剂后的行为反应,记录12 h、24 h、48 h时实蝇的死亡情况,并根据预实验每种药剂的致死效果,记录死亡1~5头、6~10头、11~15头、16~20头每个阶段中沙棘绕实蝇的死亡数与对应的死亡时间,计算药剂的毒力拟合方程、 KT_{50} 、 LC_{50} 及其95%置信限等。

1.4 数据处理

采用SPSS 21数据处理软件和EXCEL 2003对试验结果进行统计分析。击倒中时 KT_{50} (median knockdown time)参照李海龙^[11]计算方法,根据农药浓度、供试虫数的致死时间与致死量数据,得出击倒中时回归方程及 KT_{50} ,同时根据 KT_{50} 值拟合得出触杀趋势函数。根据4种农药的浓度、沙棘绕实蝇在死亡1~5头、6~10头、11~15头、16~20头每个阶段的死亡数与对应的死亡时间和分别在12 h、24 h、48 h时的死亡数据等拟合计算出毒力趋势函数、致死中浓度 LC_{50} (median lethal dose)等。分析前原始数据采用对数变换(Log_{10})进行数据转换。采

用单因素ANOVA方差分析Tukey方法与独立样本T检验方法进行差异显著性计算。

2 结果

2.1 沙棘绕实蝇成虫对4种农药的触杀行为反应

沙棘绕实蝇成虫接触印楝素和阿维菌素后,并无明显特殊行为反应,正常趴附在培养皿内,爬动、拨动前后足或翅膀,偶有跳跃,表现正常;接触高效氯氟氰菊酯后比较活跃,爬动、弹跳,不停的拨动前后足、摩擦翅膀,之后身体开始出现颤抖,逐渐开始倒下,偶有倒下再奋力翻起来跳动,或者就用翅膀挣扎着旋转,翻不过身的会慌乱的拨动足,然后慢慢变得安静,多数都趴着不再乱动,紧紧附着在滤纸上;接触苦参碱后异常兴奋,不停地到处爬动、弹跳,拨动前后足、摩擦翅膀,弹跳中有的会躺倒落下,然后扇动翅膀,拨动足,挣扎着翻身,之后继续活跃地爬行、弹跳,但很快其爬行变得颤颤巍巍,已不能正常行动,逐渐开始倒下,不停地抖动足,有的还用翅膀在滤纸上旋转。

2.2 对沙棘绕实蝇成虫的击倒中时 KT_{50} (median knockdown time)毒力测定

根据农药在不同浓度下,沙棘绕实蝇在死亡1~5头、6~10头、11~15头、16~20头每个阶段的死亡数与对应的死亡时间,得出4种药剂的击倒中时回归方程及 KT_{50} ,再根据雌雄的 KT_{50} 值拟合得出触杀趋势函数。

数据分析 KT_{50} 结果显示,同种农药同种浓度时,药物对雄性的触杀效果比雌性稍高,但偶有个别情况出现雌性触杀效果比雄性高的情况(表1)。

表1 4种农药作用下沙棘绕实蝇雌雄成虫的击倒中时 KT_{50}

Table 1 KT_{50} (median knockdown time) of *Rhagoletis batava obseuriosa* adults by four pesticides

浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)	印楝素 Azadirachtin		高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin		苦参碱 Matrine		阿维菌素 Avermectins	
	$KT_{50}/\text{h} \pm \text{SE}$		$KT_{50}/\text{h} \pm \text{SE}$		$KT_{50}/\text{h} \pm \text{SE}$		$KT_{50}/\text{h} \pm \text{SE}$	
	雄性 Male	雌性 Female	雄性 Male	雌性 Female	雄性 Male	雌性 Female	雄性 Male	雌性 Female
5	33.61 \pm 5.62	42.50 \pm 9.02	0.12 \pm 0.03	0.14 \pm 0.02	0.11 \pm 0.03	0.11 \pm 0.02	4.33 \pm 1.49	5.97 \pm 1.75
0.5	53.76 \pm 1.32	57.94 \pm 6.07	0.22 \pm 0.07	0.18 \pm 0.02	2.77 \pm 0.94	1.66 \pm 0.23	2.13 \pm 0.81	3.14 \pm 1.09
0.05	49.81 \pm 6.78	62.89 \pm 11.76	0.57 \pm 0.05	0.45 \pm 0.07	15.76 \pm 2.25	12.39 \pm 0.39	5.70 \pm 1.87	7.70 \pm 2.14
0.005	54.53 \pm 6.69	64.32 \pm 7.77	7.81 \pm 1.84	13.25 \pm 3.29	39.21 \pm 4.59	56.13 \pm 11.20	7.33 \pm 0.61	10.73 \pm 2.53
0.0005	53.21 \pm 4.04	65.86 \pm 5.88	38.92 \pm 6.14	38.80 \pm 6.92	54.09 \pm 2.94	53.98 \pm 5.40	32.24 \pm 1.82	35.88 \pm 1.24
清水	68.22 \pm 6.40	60.07 \pm 6.31	49.88 \pm 2.41	58.57 \pm 4.52	55.43 \pm 1.31	58.24 \pm 4.98	52.10 \pm 3.70	49.71 \pm 5.89

印楝素、高效氯氟氰菊酯、苦参碱、阿维菌素4种农药之间触杀效果差异性显著($F = 11.094$, $DF =$

3, 36, $P < 0.05$),其中印楝素触杀效果最差;高效氯氟氰菊酯与印楝素、阿维菌素差异性显著($F =$

15.240, $DF=2, 27, P<0.05$), 与苦参碱差异性不显著 ($t = -1.363, DF=18, P=0.190$); 苦参碱与印楝素差异性显著 ($t = 2.794, DF=18, P<0.05$), 与高效氯氟氰菊酯、阿维菌素差异性均不显著 ($F = 2.061, DF=2, 27, P=0.147$); 阿维菌素与印楝素、高效氯氟氰菊酯差异性显著 ($F = 15.240, DF=2, 27, P<0.05$), 与苦参碱差异性不显著 ($t = -0.287, DF=18, P=0.777$)。

印楝素的 KT_{50} 数据显示, 5 个浓度梯度相比触杀效果差异性不显著 ($F = 3.990, DF=4, 9, P=0.081$), 5 个浓度梯度与清水对照相比差异也不明显 ($F = 3.347, DF=5, 11, P=0.087$), 但是印楝素在浓度为 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时出现了雄性用时降低的现象, 这可能与这一时期选用虫体的生命质量有关。

高效氯氟氰菊酯的 KT_{50} 数据显示, 5 个浓度梯度和清水对照的触杀效果差异性显著 ($F = 41.440, DF=5, 11, P<0.05$), 其中, $0.0005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度时与清水对照差异性不显著 ($t = -4.143, DF=2, P=0.054$), 说明在浓度为 $0.0005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时与其他浓度相比触杀效果明显降低。5 和 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度时触杀效果差异性不显著 ($t = -4.000, DF=2, P=0.057$)。5 和 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度时触杀雌性的 KT_{50} 值相对于雄性稍快速些, 但用时差异不大。0.5、0.05、 $0.0005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度时, 农药触杀雄性的 KT_{50} 值均大于雌性, 但雌雄间差异不显著 ($t = 0.057, DF=4, P=0.957$)。

苦参碱的 KT_{50} 数据显示, 5 个浓度梯度和清水对照的触杀效果差异性显著 ($F = 32.101, DF=5, 11, P<0.05$), 其中 $0.005, 0.0005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度时与清水对照差异性不显著 ($F = 0.864, DF=2, 5, P=0.505$)。在 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 及以上浓度时, 雌性的 KT_{50} 值均较小于雄性的 KT_{50} 值, 说明这 3 个浓度梯度触杀雌性较快; 在 $0.005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 及以下浓度时, 雄性与雌性的 KT_{50} 值相对增大, 说明这两个浓度梯度触杀效果不明显。

阿维菌素的 KT_{50} 数据显示, 5 个浓度梯度和清水对照的触杀效果差异性显著 ($F = 64.061, DF=5, 11, P<0.05$), 其中 $0.0005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度与清水对照差异性显著 ($t = -8.050, DF=2, P<0.05$), 该浓度及以上均有明显触杀效果。其中 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时的 KT_{50} 值与 0.05 和 $0.005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度相比触杀效果差异性显著 ($t = -4.817, DF=4, P<0.05$)。但 5 和 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度时触杀效果差异

性不显著 ($t = 2.679, DF=2, P=0.116$), $5, 0.05$ 和 $0.005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度间的触杀效果差异性不显著 ($F = 2.784, DF=2, 5, P=0.207$), 0.005 和 $0.0005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 浓度时的 KT_{50} 数值与高效氯氟氰菊酯的 KT_{50} 数值接近, 即浓度为 0.005 和 $0.0005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时阿维菌素和高效氯氟氰菊酯的触杀效果类似 ($t = -0.235, DF=6, P=0.822$), 但在 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 及以上浓度时, 高效氯氟氰菊酯的半数击倒时间比阿维菌素更显著快速 ($t = 9.097, DF=10, P<0.05$)。阿维菌素在 5 个浓度梯度下雄性实蝇的 KT_{50} 数据均比雌性小, 说明对雄性触杀效果比雌性稍好, 但不显著 ($t = -0.492, DF=8, P=0.636$)。

根据沙棘绕实蝇成虫对 4 种农药的反应以及击倒中时 KT_{50} , 药剂浓度为 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 及以上时, 高效氯氟氰菊酯、苦参碱和阿维菌素的触杀效果显著, 其中, 药剂浓度为 $5, 0.5 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 高效氯氟氰菊酯和苦参碱的击倒中时大概在 2 h 内, 比阿维菌素的击倒速度快。阿维菌素在浓度为 $0.005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 及以上时击倒中时在 4 至 10 h 内, 高效氯氟氰菊酯在浓度为 $0.05 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 及以上时的击倒中时都在 0.6 h 内。高效氯氟氰菊酯和阿维菌素在浓度为 $0.005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 及以上时击倒时间都较短, 当浓度为 $0.0005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 阿维菌素的击倒时间比高效氯氟氰菊酯稍快。

根据沙棘绕实蝇雌雄成虫在 4 种药剂下的 KT_{50} 值拟合得出药剂的触杀趋势函数 (图 1)。

根据印楝素的 KT_{50} 值拟合得到对数曲线模型, 雄性对数拟合方程为: $y = 11.579 \ln(x) + 37.898, R^2 = 0.7022$; 雌性对数拟合方程为: $y = 14.47 \ln(x) + 44.848, R^2 = 0.9311$ 。雌雄方程中 R^2 值接近 1, 说明方程拟合良好, $a > 1$, 随着 x 的增大, 曲线趋向于与 x 轴平行, 说明随着浓度的降低, 作用将不再显著, 方程中 44.848 明显大于 37.898, 说明雌性的 Y 值大于雄性的 Y 值, 印楝素对雄性的触杀效果较好。

根据高效氯氟氰菊酯的 KT_{50} 值拟合得到指数曲线模型, 雄性方程为: $y = 0.0142e^{1.5182x}, R^2 = 0.9448$; 雌性方程为: $y = 0.0139e^{1.5479x}, R^2 = 0.8996$, 雌雄方程中 R^2 值接近 1, 方程拟合良好。根据函数增长趋势以及高效氯氟氰菊酯的 KT_{50} 数据可知, 高效氯氟氰菊酯在浓度为 $0.005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 及以上时对雌、雄性均有明显触杀效果, 对雄性的触杀效果更好。

苦参碱的 KT_{50} 值拟合得到指数曲线模型, 雄性为: $y = 0.0683e^{1.5084x}, R^2 = 0.8745$; 雌性为: $y =$

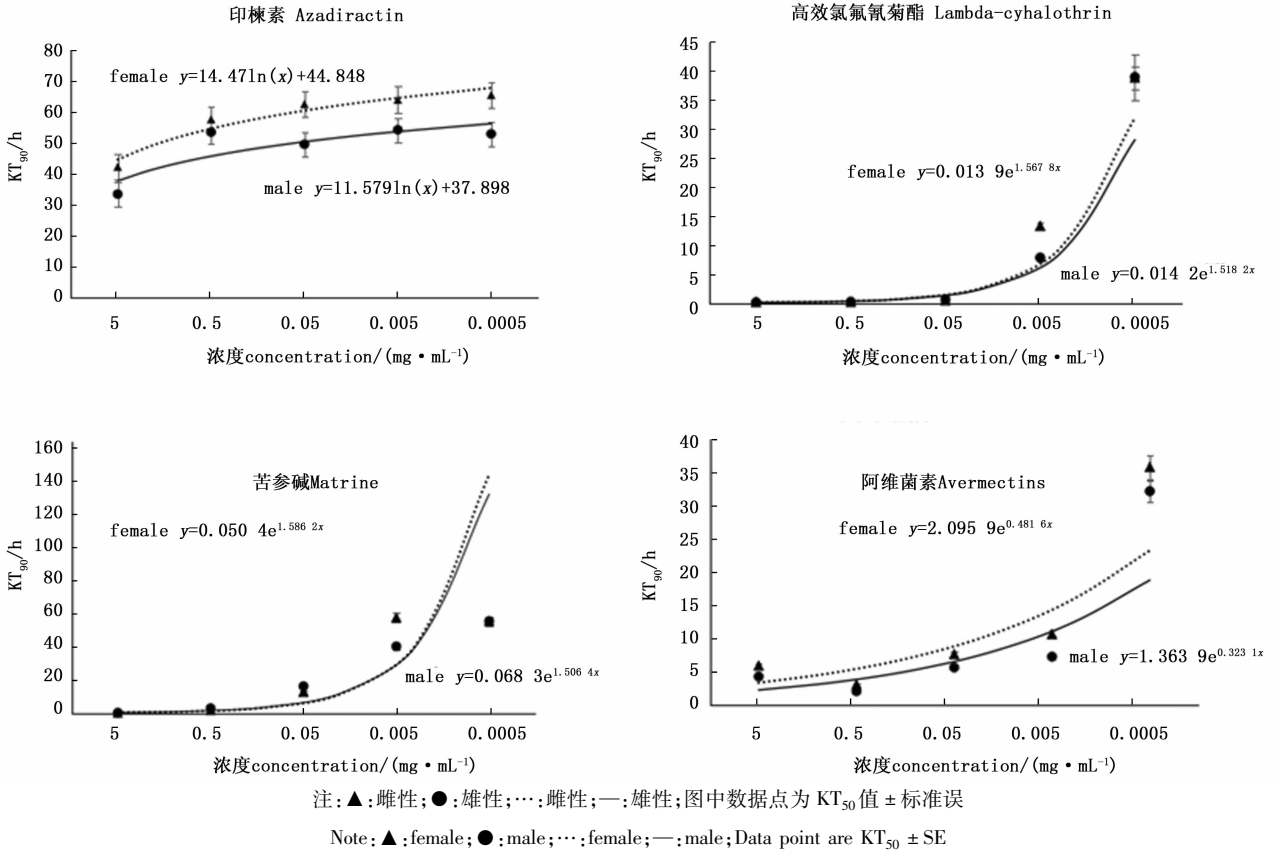


图1 4种农药 KT_{50} 趋势分析

Fig. 1 Trend analysis of KT_{50} (median knockdown time) of four pesticides

$0.050 4 e^{1.586 2x}$, $R^2 = 0.905 3$,雌雄方程中 R^2 值接近1,方程拟合良好。根据指数函数的增长趋势及其 KT_{50} 数据,苦参碱的药效趋势与高效氯氟氰菊酯类似,且苦参碱触杀雄性的效果较好。

阿维菌素的 KT_{50} 值拟合得到指数曲线模型,雄性为: $y = 1.363 9 e^{0.525 1 x}$, $R^2 = 0.688 5$;雌性为: $y = 2.095 9 e^{0.481 6 x}$, $R^2 = 0.714 3$ 。根据指数函数的增长趋势及其 KT_{50} 数据,说明阿维菌素的药效趋势与高效氯氟氰菊酯、苦参碱类似,在浓度为 $0.005 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 及以上时对雌性雄性均有明显触杀效果,对雄性的效果比雌性稍好。

上述结果中,高效氯氟氰菊酯、苦参碱、阿维菌素的 KT_{50} 呈指数增长趋势,说明这三种药剂触杀效

果显著;而印楝素呈对数增长趋势,说明印楝素在浓度低时效果不明显。

2.3 对沙棘绕实蝇成虫的致死中浓度 LC_{50} (median lethal dose) 测定

触杀作用时间为12 h时(表2),4种农药的致死中浓度 LC_{50} 分别为:印楝素 $7.737 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、高效氯氟氰菊酯 $0.002 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、苦参碱 $0.042 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、阿维菌素 $0.008 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。其中,高效氯氟氰菊酯的 LC_{50} 最小,印楝素较大,与高效氯氟氰菊酯、苦参碱、阿维菌素的 LC_{50} 有明显差异 ($F = 96.049, DF = 1, 6, P < 0.05$)。其触杀毒力次序为:印楝素 < 苦参碱 < 阿维菌素 < 高效氯氟氰菊酯。

表2 4种农药对沙棘绕实蝇成虫作用12 h的 LC_{50} 毒力测定

Table 2 LC_{50} (median lethal dose) of four pesticides to *Rhagoletis batava obscuriosa* adults during 12 hours bioassay

供试药剂 Pesticides	毒力趋势函数 Trend function of toxic effect	$LC_{50}/(\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1})$		R^2
		致死中浓度 Median lethal dose	95% 置信区间 95% Confidence interval	
印楝素 Azadirachtin	$y = 0.437 5x^2 - 3.312 5x + 5.85$	7.737	5.621 ~ 20.306	0.917 2
高效氯氟氰菊酯 Lambda-cyhalothrin	$y = -1.589 3x^2 + 5.810 7x + 15.575$	0.002	0.001 ~ 0.004	0.981 6
苦参碱 Matrine	$y = 72.003 e^{-0.838x}$	0.042	0.02 ~ 0.088	0.925 2
阿维菌素 Avermectins	$y = -1.482 1x^2 + 6.417 9x + 9$	0.008	0.003 ~ 0.017	0.959 5

触杀作用时间为24 h时(表3),4种农药的致死中浓度 LC_{50} 分别为:印楝素 $6.963\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、高效氯氟氰菊酯 $0.001\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、苦参碱 $0.008\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、阿维菌素 $<0.001\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。高效氯氟氰菊酯与阿维菌素、苦参碱的 LC_{50} 值均较小,差异不显著($F=0.551, DF=2,3, P=0.593$);而印楝素相对另外3种农药的 LC_{50} 数值差异较大($F=36.44, DF=1,6, P<0.05$),触杀效果不显著。其触杀毒力次序

为:印楝素 $<$ 苦参碱 $<$ 高效氯氟氰菊酯 $<$ 阿维菌素。

触杀作用时间为48 h时(表4),4种农药的致死中浓度 LC_{50} 分别为:印楝素 $0.891\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、高效氯氟氰菊酯 $<0.001\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、苦参碱 $0.002\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、阿维菌素 $<0.001\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 。触杀毒力次序为:印楝素 $<$ 苦参碱 $<$ 阿维菌素 $=$ 高效氯氟氰菊酯。

表3 4种农药对沙棘绕实蝇成虫作用24 h的 LC_{50} 毒力测定

Table 3 LC_{50} (median lethal dose) of four pesticides to *Rhagoletis batava obseuriosa* adults during 24 hours bioassay

供试药剂 Pesticides	毒力趋势函数 Trend function of toxic effect	$LC_{50}/(\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1})$		R^2
		致死中浓度 Median lethal dose	95%置信区间 95% Confidence interval	
印楝素 Azadirachtin	$y = 0.732 1x^2 - 5.517 9x + 11.375$	6.963	4.444 ~ 19.084	0.951 5
高效氯氟氰菊酯 Lllambda-cyhalothrin	$y = -1.571 4x^2 + 6.228 6x + 14.9$	0.001	0.000 ~ 0.002	0.986 8
苦参碱 Matrine	$y = -0.848 2x^2 + 0.251 8x + 21.575$	0.008	0.004 ~ 0.017	0.91
阿维菌素 Avermectins	$y = -1.464 3x^2 + 6.635 7x + 10.975$	<0.001	0.004 ~ 0.017	0.965 7

表4 4种农药对沙棘绕实蝇成虫作用48 h的 LC_{50} (median lethal dose) 毒力测定

Table 4 LC_{50} (median lethal dose) of four pesticides to *Rhagoletis batava obseuriosa* adults during 48 hours bioassay

供试药剂 Pesticides	毒力趋势函数 Trend function of toxic effect	$LC_{50}/(\text{mg}\cdot\text{mL}^{-1})$		R^2
		致死中浓度 Median lethal dose	95%置信区间 95% Confidence interval	
印楝素 Azadirachtin	$y = 0.419 6x^2 - 3.555 4x + 14.75$	0.891	5.669 ~ 25.121	0.729 1
高效氯氟氰菊酯 Lllambda-cyhalothrin	$y = -1.214 3x^2 + 5.085 7x + 15.65$	<0.001	0.000 ~ 0.001	0.968 3
苦参碱 Matrine	$y = -1.017 9x^2 + 2.532 1x + 18.95$	0.002	0.001 ~ 0.004	0.869 3
阿维菌素 Avermectins	$y = -0.741 1x^2 + 3.308 9x + 16.825$	<0.001	0.000 ~ 0.001	0.915

综上,阿维菌素、高效氯氟氰菊酯、苦参碱在12 h、24 h的致死中浓度与印楝素的差异均较大,说明前3种药剂对成虫具有明显触杀效果。当12 h时,高效氯氟氰菊酯的效果最好,但随着时间增加,24 h时阿维菌素的效果显著,48 h时阿维菌素和高效氯氟氰菊酯的效果基本一致。

3 讨论

印楝素是广谱、高效、低毒、易降解的杀虫剂,对几乎所有植物害虫都具有驱杀效果,并且对人畜和周围环境无污染^[12]。其对昆虫的作用机理主要是直接或间接破坏昆虫口器的化学感应器官,或者对中肠消化酶作用使得食物的营养转换不足,使昆虫拒食、忌避,幼虫不能正常脱皮和化蛹而导致害虫死亡^[13-14]。高效氯氟氰菊酯是一种新型的菊酯类杀虫剂,以触杀和胃毒作用为主,作用方式主要是抑制昆虫神经轴突部位的传导,杀虫谱广,药效迅速,喷洒后耐雨水冲刷,但长期使用易对其产生抗性,虽对哺乳动物毒性比较低,但是其对鱼类、家蚕和蜜蜂有

很高的毒性^[15]。苦参碱是一种植物源农药^[16],能在自然界迅速分解,最终产物为二氧化碳和水,不易导致有害物产生抗药性,能长期使用,害虫一旦触及,就会麻痹神经中枢,继而使虫体蛋白质凝固,堵死虫体气孔,使害虫窒息而死。阿维菌素是从土壤微生物中分离的天然产物,杀虫谱广^[17-18],因不引起昆虫迅速脱水,所以它的致死作用较慢,对天敌有一定杀伤性。4种农药的击倒中时 KT_{50} 与致死中浓度 LC_{50} 毒力触杀测定结果表明,阿维菌素、高效氯氟氰菊酯对沙棘绕实蝇成虫的致死效果比较显著,次之是苦参碱,最后是印楝素。

本研究开展了对沙棘绕实蝇成虫的室内触杀实验,还需要进一步在野外进行药效实验。此外,本研究只是从触杀角度来分析这4种农药的效果,将来还应该进一步从胃毒、熏蒸、对昆虫的生长调节等方面开展试验^[19],以便得出更加科学、可靠的结果,为指导沙棘绕实蝇防治工作提供依据。另外,若对农药进行复配,是否会提高杀虫活性也有待进一步研究。

在对上述 4 种农药药效测定的基础上,本实验室通过将农药与沙棘绕实蝇引诱剂复配,应用可控释放技术开发“诱杀”型药剂新剂型。通过对药剂的微胶囊化,不仅能够调节药剂的释放速率,尽可能的使释放时间延长,增加诱剂和农药的持效期,还可以减少施药次数和频率,降低施药量,提高农药的利用率。而且微囊化后的药剂由于表面物理性能的改变,降低了接触毒性、吸入毒性和对农作物的药害,提高了农药尤其是生物源农药的稳定性。另外,药剂的微囊或微球化,更方便进一步加工、贮存和运输^[20-21],最终实现对沙棘绕实蝇成虫的定点诱杀,达到减少污染、节省人力物力的目的。

4 结 论

高效氯氟氰菊酯、苦参碱、阿维菌素的 KT_{50} 呈指数增长趋势,说明这 3 种药剂触杀效果显著;而印楝素 KT_{50} 增长较缓,说明浓度低时效果不明显。阿维菌素、高效氯氟氰菊酯、苦参碱在 12 h、24 h 的致死中浓度与印楝素的差异均较大,说明前 3 种药剂对成虫具有明显触杀效果。当 12 h 时,高效氯氟氰菊酯的效果最好,随着时间增加,24 h 时阿维菌素的效果显著,48 h 时阿维菌素和高效氯氟氰菊酯的效果基本一致。高效氯氟氰菊酯、苦参碱和阿维菌素这 3 种农药对沙棘绕实蝇有明显触杀效果。

参 考 文 献:

- [1] 魏建荣, 苏 智, 刘明虎, 等. 沙棘果实的重要检疫害虫—沙棘绕实蝇的发生与危害[J]. 内蒙古林业科技, 2012, 38(4): 55-57.
- [2] 武福亨, 赵玉珍. 前苏联沙棘病虫害的研究与防治[J]. 国际沙棘研究与开发, 2004, 2(4): 44-48.
- [3] 葛葆蔚, 李桂和, 张玉伟, 等. 沙棘果实蝇的初步研究[J]. 辽宁林业科技, 1988(3): 45-46.
- [4] 葛葆蔚. 沙棘果实蝇防治技术的研究[J]. 中国森林病虫害, 1991(2): 24-25.
- [5] 陈孝达, 党心德, 李 锋. 陕西省沙棘昆虫区系的特点及分析[J]. 沙棘, 2001, 14(2): 23-26.
- [6] 刘金江. 黑龙江省沙棘主要病虫害及综合防治[J]. 沙棘, 2005, 18(4): 11-12.
- [7] Siskos E P, Konstantopoulou M A, Mazomenos B E, et al. Insecticidal activity of *Citrus aurantium* fruit, leaf, and shoot extracts against adult olive fruit flies (Diptera: Tephritidae)[J]. Journal of Economic Entomology, 2007, 100(4): 1215-1220.
- [8] 胡茜青, 吴如健, 韦晓霞, 等. 植物源农药对橘小实蝇的毒杀及引诱作用研究[J]. 生物安全学报, 2008, 17(1): 14-16.
- [9] 冉 峰. 6 种药剂对柑桔大实蝇成虫的田间防效[J]. 中国南方果树, 2014, 43(4): 41-42.
- [10] 兰亦全, 王小明. 10 种杀虫剂对桔小实蝇幼虫的毒力及 2 种药剂复配的联合作用[J]. 中国南方果树, 2014, 43(1): 46-47.
- [11] 李海龙, 张桂林, 党荣理, 等. 应用 SPSS 软件进行杀虫剂的 KT_{50} 分析[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2011, 22(2): 155-157.
- [12] 陈小军, 杨益众, 张志祥, 等. 印楝素及印楝杀虫剂的安全性评价研究进展[J]. 生态环境学报, 2010, 19(6): 1478-1484.
- [13] 徐汉虹. 杀虫植物与植物性杀虫剂[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [14] 赵善欢. 植物化学保护[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [15] 龚 勇, 张 伟, 李晓鹏, 等. 高效氯氟氰菊酯在田间环境中的消解行为研究[J]. 中国科学, 2013, 43(2): 226-233.
- [16] 张 兴, 马志卿, 冯俊涛, 等. 植物源农药研究进展[J]. 中国生物防治学报, 2015, 31(5): 685-698.
- [17] 贺红武, 刘钊杰. 国外农药开发的现状与发展趋势[J]. 湖北化工, 1999(6): 1-3.
- [18] 游锡火. 阿维菌素类药物的药理作用及毒理作用[J]. 吉林农业, 2000(5): 35.
- [19] 余金咏, 吉志新, 温晓蕾, 等. 13 种农药对美国白蛾三龄幼虫触杀作用研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(9): 289-293.
- [20] 刘步林. 农药剂型加工技术(第二版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998: 2, 301-342, 628-631, 653-654.
- [21] 高德霖. 微胶囊技术在农药剂型中的应用[J]. 现代化工, 2000, 20(2): 10-14.

(责任编辑: 崔 贝)