

3种植物次生物质对金银花蚜虫的活性测定及防效评价

孙盼盼, 李敏, 罗孟雄, 鞠龙泰, 吴雨蒙, 李佳*

(山东中医药大学药学院, 济南 250355)

摘要 为明确反式-2-己烯醛、牛至油和百里香油对金银花蚜虫的生物活性及橙皮精油、有机硅对这3种药剂杀蚜活性的增效作用,本研究以金银花蚜虫的优势种胡萝卜微管蚜为试虫,采用浸虫浸叶法和叶面喷雾法进行生物活性测定及防效评价。室内测定结果显示百里香油毒性最高,LC₅₀为1.793 mg/L,添加橙皮精油、有机硅对供试药剂杀蚜活性均有提高,其中反式-2-己烯醛、牛至油、百里香油与有机硅组合有明显增效作用,毒力系数为1.80、1.48、1.45。田间试验结果表明常规施药后百里香油校正防效最高,施药7 d后3种药剂防治效果均高于对照组;3种药剂减量20%添加有机硅处理施药1 d后防治效果提高约10%,施药4 d后防治效果均高于对照组,施药14 d后防治效果达98%。综上,百里香油对胡萝卜微管蚜的毒力和防治效果最高,3种药剂结合有机硅使用减量增效作用明显,具有进一步开发的潜力。

关键词 金银花; 胡萝卜微管蚜; 植物次生物质; 农药助剂

中图分类号: S 435.677 **文献标识码:** B **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2020310

Bioactivity and control efficacy of three plant secondary metabolites to aphids on honeysuckle

SUN Panpan, LI Min, LUO Mengxiong, JU Longtai, WU Yumeng, LI Jia*

(College of Pharmaceutical Science, Shandong University of Traditional Chinese Medicine, Jinan 250355, China)

Abstract The objective of this study was to clarify the bioactivity of *trans*-2-hexenal, oregano oil, thyme oil and the synergistic effect of orange peel essential oil and organosilicon on the bioactivity of these compounds to aphids on honeysuckle. The dominant species of the honeysuckle aphid *Semiaphis heraclei* was used as the test insect, and the bioactivity and the control effect were evaluated by the method of dipping and foliar spraying. The results showed that the toxicity of thyme oil was the highest, with LC₅₀ value of 1.793 mg/L. Mixing additives with pesticides could significantly increase toxicity to *S. heraclei*. Among them, *trans*-2-hexenal+OSi, oregano oil+OSi and thyme oil+OSi had obvious synergistic effect, with the coefficients of toxicity of 1.80, 1.48 and 1.45, respectively. Field test showed that the corrected control efficacy of thyme oil was the highest after conventional application, and the toxicities of the three insecticides were higher than that of the control group seven days after treatment. Under the condition of 20% reduction of three insecticides and adding organosilicon, the control efficacy increased by about 10% one day after treatment, which was higher than that of the control group four days after treatment, and reached to 98% 10 days after treatment. To sum up, thyme oil has the highest toxicity and control effect on *S. heraclei*. Application of three insecticides combined with organosilicon has obvious pesticide reduction and synergistic effect, which has potential for further development.

Key words *Lonicera japonica*; *Semiaphis heraclei*; plant secondary metabolites; pesticide additive

金银花 *Lonicera japonica* Thunb.^[1]是常用大宗药材之一,其优质高效栽培对中药产业发展尤为重要。蚜虫是影响金银花产量和质量的重要害虫,研究发现,胡萝卜微管蚜 *Semiaphis heraclei* 是为

收稿日期: 2020-06-16

修订日期: 2020-07-04

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1701503);山东省重大科技创新工程(2018CXGC0309)

* 通信作者 E-mail: ljyt17172@163.com

害山东金银花的主要害虫^[2]。种植户在防治害虫时对化学农药的不合理使用,如超过规定剂量、使用频率高和农药单一等,导致农药残留增大,造成土壤和水体污染。如何开发绿色、高效的靶向性农药成为当前研究的热点^[3]。植物次生物质来源广泛,作用方式多样且对非靶标生物毒性低,其杀虫活性成分可作为研制新农药的原材料^[4]。

植物本身存在的次生物质对植食性昆虫的生长发育和繁殖等会产生毒杀或抑制等作用^[5],而昆虫取食后植物产生的挥发性物质对昆虫也有一定影响^[6]。近年来对植物次生物质在病虫害防治领域的研究广泛。Hori^[7]测定了 10 种植物精油对桃蚜的毒力,以百里香油毒力最高;Benellia 等^[8]发现牛至油对桃蚜具有杀虫活性,其 LC₅₀ 为 2.1 mL/L;Cheng 等^[9]报道,反式-2-己烯醛对松材线虫有显著的杀虫活性,对其产卵、生长发育和繁殖均有明显抑制作用。目前未见这 3 种植物次生物质防治胡萝卜微管蚜的相关研究。橙皮精油和有机硅常作为农药助剂,它们是否对 3 种植物次生物质杀蚜活性有增效作用也未见报道。

因此,本试验测定了反式-2-己烯醛、牛至油和百里香油对胡萝卜微管蚜的生物活性,选取橙皮精油、有机硅开展增效试验及田间防效评价,并比较 3 种植物次生物质与植物源农药 1.3%苦参碱水剂和化学农药 20%吡虫啉乳油防治胡萝卜微管蚜的效果差异,为研制新型植物源杀蚜剂提供基础。

1 材料与方法

1.1 供试药剂

反式-2-己烯醛(纯度≥98%),上海麦克林生化科技有限公司;牛至油(香芹酚 88.3%、百里香酚 2.5%)、百里香油(酚含量≥40%),吉安市国光香料厂;1.3%苦参碱水剂(AS),山西德威本草生物科技有限公司;20%吡虫啉乳油(EC),河北野田农用化学有限公司;橙皮精油(OPEO),安丘市金一诺生物技术有限公司;有机硅(OSi),河北石家庄正安农业科技有限公司;丙酮,天津市富宇精细化工有限公司;吐温-80,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 试验材料

供试金银花为山东平邑金银花基地三年生‘大毛花’,试验前未经任何农药处理;胡萝卜微管蚜采自平邑基地未经农药处理的‘大毛花’。

1.3 室内生物活性测定

采用浸虫浸叶法^[10]并加以修改。将反式-2-己烯醛、牛至油、百里香油经 2%丙酮和 0.1%吐温水制成母液,根据预试验确定的活性范围,用无菌水稀释成 5 个不同浓度的药液(表 1)。用毛笔挑取个体大小一致的无翅成蚜到无虫无害的新鲜‘大毛花’嫩梢上,用无菌水浸润的脱脂棉和保鲜膜包裹‘大毛花’嫩梢切口。将带蚜嫩梢浸入药液 5 s 后取出,用滤纸吸干多余药液,转移到铺有润湿滤纸的培养皿($d=9\text{ cm}$)中,封口膜密封并用昆虫针扎孔保证透气度。试虫(40 ± 5)头/皿,设置 2%丙酮为空白对照,1.3%苦参碱 AS 和 20%吡虫啉 EC 为药剂对照。若 2%丙酮对照的死亡率高于 20%,则需重做试验。所有处理置于温度(25 ± 1)℃、相对湿度(60 ± 5)%环境中,每个处理重复 3 次试验。24 h 后用毛笔轻触试虫腹部,无反应视为死亡。记录死亡虫数、存活虫数,计算各药剂 LC₅₀。以毒力最小的药剂为标准药剂计算毒力倍数。某药剂的毒力倍数为标准药剂的 LC₅₀ 与该药剂的 LC₅₀ 的比值。

表 1 5 种药剂浓度设计

Table 1 Concentration of five insecticides

药剂 Insecticide	浓度/mg·L ⁻¹ Concentration
反式-2-己烯醛 <i>trans</i> -2-hexenal	1,2,4,6,8
牛至油 <i>origanum oil</i>	1,1.5,2,3,5
百里香油 <i>thyme oil</i>	1,1.5,2,3,5
1.3%苦参碱水剂 <i>matrine</i> 1.3% AS	10,20,30,40,80
20%吡虫啉乳油 <i>imidacloprid</i> 20% EC	2,4,8,10,20

1.4 2 种助剂与 5 种药剂混配对胡萝卜微管蚜的增效作用

橙皮精油、有机硅加入量(质量分数)为药液量的 0.3%,设置橙皮精油、有机硅对照,测定方法同 1.3。若橙皮精油、有机硅对照的死亡率高于 10%,则需重做试验。记录结果,计算毒力系数。毒力系数=LC₅₀(单剂)/LC₅₀(单剂+助剂),以毒力系数和 95%置信区间有无重叠来判断 2 种助剂对 5 种药剂有无增效作用^[11]。

1.5 盆栽喷雾试验

通过盆栽喷雾试验确定田间施药浓度,具体步骤如下:温室内种植的盆栽‘大毛花’长至 6~10 片叶时,每株接种胡萝卜微管蚜(20 ± 5)头,罩防虫网,24 h 后调查虫口数,数量不足者补齐,待虫口数稳定

后,用小型手持喷雾器进行施药。根据预试验结果和室内活性测定结果设计施药处理如下:反式-2-己烯醛 500 倍液、650 倍液(1.7、1.3 g/L),牛至油 650 倍液、850 倍液(1.4、1.1 g/L),百里香油 850 倍液、1 000 倍液(1.1、0.9 g/L);1.3%苦参碱 AS 和 20%吡虫啉 EC 按田间推荐剂量确定施药浓度,分别为 2.5、2 g/L。每处理 1 盆金银花,重复 3 次,以清水为对照,于施药后 3、7、10 d 记录存活蚜虫数量,通过虫口减退率计算校正防效。

虫口减退率=(施药前活虫数-施药后活虫数)/施药前活虫数×100%;

校正防效=(处理区虫口减退率-对照区虫口减退率)/(1-对照区虫口减退率)×100%。

1.6 田间防效评价

于 4 月 23 日蚜虫发生初期在山东平邑金银花基地施药,施药当天天气晴朗。以清水为空白对照,试验共 12 个处理,每处理重复 3 次,共 36 个小区,每小区面积 16 m²。1.3%苦参碱 AS 和 20%吡虫啉 EC 按商品田间推荐剂量喷雾施药,其余药剂根据盆栽喷雾试验结果确定田间施药浓度如下:

常规组:反式-2-己烯醛 1.7 g/L、牛至油 1.4 g/L、百里香油 1.1 g/L,用水量为 20 L/667 m²;1.3%苦参碱 AS 2.5 g/L、20%吡虫啉 EC 2 g/L,用水量为 30 L/667 m²,清水处理为空白对照。

添加 0.3%OSi 处理组:反式-2-己烯醛 1.3 g/L、牛至

油 1.1 g/L、百里香油 0.9 g/L,用水量为 20 L/667 m²;1.3%苦参碱 AS 2 g/L、20%吡虫啉 EC 1.6 g/L,田间用水量为 30 L/667 m²,清水处理为空白对照。

每小区选取 10 株金银花,采用五点取样法,在每株金银花东、南、西、北、中 5 个方位随机选取长 15 cm、长势一致的枝条,挂牌标记。试验区四周及小区间设置 1 m 保护行防止干扰。采用手动喷雾器施药,喷头偏植株下侧面,使叶片正反面被均匀喷湿但药液不滴落。施药后 0、1、4、7、10、14 d 记录存活蚜虫数量,计算校正防效,方法同上。

1.7 数据处理

应用 SPSS 21.0 软件求出药剂的 LC₅₀ 和 95%置信区间等。校正防效进行百分数转换后采用 Duncan 氏新复极差法进行田间药效的差异性分析。

2 结果与分析

2.1 室内生物活性测定

结果显示,百里香油对胡萝卜微管蚜的毒力最高,LC₅₀为 1.793 mg/L,毒力是 1.3%苦参碱 AS 的 12.88 倍,是 20%吡虫啉 EC 的 2.44 倍;反式-2-己烯醛、牛至油的毒力分别是 1.3%苦参碱 AS 的 6.98 倍、11.99 倍,是 20%吡虫啉 EC 的 1.32 倍、2.27 倍。5 种药剂对胡萝卜微管蚜的毒力大小为百里香油>牛至油>反式-2-己烯醛>20%吡虫啉 EC>1.3%苦参碱 AS(表 2)。

表 2 5 种药剂对胡萝卜微管蚜的毒杀活性

Table 2 Toxicity of five insecticides to *Semiaphis heraclei*

药剂 Insecticide	斜率±标准误 Slope±SE	致死中浓度(95%置信限)/mg·L ⁻¹ LC ₅₀ (95%CL)	卡方值 Chi-square	自由度 df	P 值 P value	毒力倍数 Toxicity ratio
反式-2-己烯醛 <i>trans</i> -2-hexenal	2.19±0.315	3.307(2.676~4.056)	0.407	13	0.939	6.98
牛至油 <i>oregano oil</i>	2.70±0.421	1.926(1.625~2.254)	1.423	13	0.700	11.99
百里香油 <i>thyme oil</i>	2.66±0.416	1.793(1.499~2.097)	1.018	13	0.797	12.88
1.3%苦参碱 AS <i>matrine</i> 1.3% AS	1.75±0.322	23.099(17.225~29.348)	1.072	13	0.784	1.00
20%吡虫啉 EC <i>imidacloprid</i> 20% EC	1.94±0.292	4.368(3.284~5.469)	3.314	13	0.346	5.29

2.2 2 种助剂与 5 种药剂混配对胡萝卜微管蚜的增效作用

5 种药剂分别添加 OPEO、OSi 后对胡萝卜微管蚜的毒力增强,其中反式-2-己烯醛+OSi、牛至油+OSi、百里香油+OSi 和 20%吡虫啉 EC+OPEO 的 LC₅₀ 分别为 1.835、1.300、1.240、2.021 mg/L,其 95%置信区间与不添加助剂的处理无重叠,表明增效作用明显(表 2、表 3)。1.3%苦参碱 AS 分别添加 OPEO、OSi 后的 95%置信区间与不添加助剂

的处理均有重叠,表明两种助剂对其无明显增效作用。

2.3 盆栽喷雾试验

盆栽喷雾试验表明,当反式-2-己烯醛、牛至油、百里香油施药浓度为 1.7、1.4、1.1 g/L 时,药后 10 d 对胡萝卜微管蚜的防治效果仍大于 90%;而当反式-2-己烯醛、牛至油、百里香油施药浓度为 1.3、1.1、0.9 g/L 时,对胡萝卜微管蚜有较好控制作用,但防治效果略低(表 4)。

表 3 2 种助剂与 5 种药剂混配对胡萝卜微管蚜的增效作用

Table 3 Synergistic effect of two additives mixed with five insecticides on *Semiaphis heraclei*

药剂+助剂 Insecticide+ additive	斜率±标准误 Slope±SE	致死中浓度 (95%置信限)/mg·L ⁻¹ LC ₅₀ (95%CL)	卡方值 Chi-square	自由度 df	P 值 P value	毒力系数 Coefficient of toxicity
反式-2-己烯醛+OPEO <i>trans</i> -2-hexenal+OPEO	2.12±0.303	2.419(1.874~2.985)	1.860	13	0.602	1.37
反式-2-己烯醛+OSi <i>trans</i> -2-hexenal+OSi	2.26±0.312	1.835(1.358~2.290)	2.611	13	0.456	1.80
牛至油+OPEO oregano oil+OPEO	3.11±0.471	1.547(1.294~1.784)	1.151	13	0.765	1.24
牛至油+OSi oregano Oil+OSi	3.64±0.536	1.300(1.075~1.491)	0.706	13	0.872	1.48
百里香油+OPEO thyme oil+OPEO	3.34±0.493	1.475(1.239~1.692)	0.866	13	0.834	1.22
百里香油+OSi thyme oil+OSi	3.54±0.535	1.240(1.011~1.431)	0.270	13	0.966	1.45
1.3%苦参碱 AS+OPEO matrine 1.3% AS+OPEO	2.23±0.360	14.556(10.384~18.175)	2.389	13	0.496	1.59
1.3%苦参碱 AS+OSi matrine 1.3% AS+OSi	1.98±0.343	17.231(12.420~21.597)	0.791	13	0.617	1.34
20%吡虫啉 EC+OPEO imidacloprid 20% EC+OPEO	2.15±0.351	2.021(1.181~2.752)	2.860	13	0.414	2.16
20%吡虫啉 EC+OSi imidacloprid 20% EC+OSi	1.99±0.309	3.020(2.049~3.906)	3.960	13	0.266	1.45

表 4 5 种药剂防治胡萝卜微管蚜的盆栽试验¹⁾

Table 4 Control efficacy of five insecticides against *Semiaphis heraclei* in potted experiment

药剂 Insecticide	浓度/g·L ⁻¹ Concentration	虫口基数/头 Number of insects	虫口减退率/% Reduction rate of insects		
			药后 3 d	药后 7 d	药后 10 d
			3 days after treatment	7 days after treatment	10 days after treatment
反式-2-己烯醛 <i>trans</i> -2-hexenal	1.7	71.00±0.58	(80.25±0.03)ab	(91.55±0.00)a	(91.58±0.02)ab
	1.3	65.00±2.52	(69.02±0.06)c	(73.93±0.03)d	(81.00±0.07)c
牛至油 oregano oil	1.4	69.00±2.00	(79.74±0.01)ab	(89.93±0.02)ab	(91.40±0.04)ab
	1.1	69.00±1.00	(65.30±0.03)c	(78.17±0.05)d	(85.42±0.03)bc
百里香油 thyme oil	1.1	71.00±1.53	(84.38±0.03)a	(91.53±0.00)a	(93.04±0.02)a
1.3%苦参碱 AS matrine 1.3% AS	2.5	70.00±1.53	(80.03±0.02)ab	(84.44±0.04)c	(88.62±0.02)ab
20%吡虫啉 EC imidacloprid 20% EC	2.0	69.00±1.00	(82.71±0.04)ab	(91.42±0.04)a	(92.81±0.02)a
清水 Water	—	65.00±1.53	(-4.63±0.00)d	(-9.3±0.07)e	(-18.59±0.05)d

药剂 Insecticide	校正防效/% Corrected control efficacy		
	药后 3 d	药后 7 d	药后 10 d
	3 days after treatment	7 days after treatment	10 days after treatment
反式-2-己烯醛 <i>trans</i> -2-hexenal	(81.13±0.03)ab	(92.26±0.00)a	(92.92±0.02)ab
	(70.38±0.06)c	(76.15±0.03)c	(83.83±0.07)c
牛至油 oregano oil	(80.64±0.01)ab	(90.77±0.02)ab	(92.72±0.04)ab
	(66.84±0.03)c	(80.01±0.05)c	(87.62±0.03)bc
百里香油 thyme oil	(85.07±0.03)a	(92.24±0.00)a	(94.17±0.02)a
	(78.70±0.03)b	(86.36±0.02)b	(89.80±0.03)ab
1.3%苦参碱 AS matrine 1.3% AS	(80.91±0.02)ab	(85.75±0.04)b	(90.44±0.01)ab
20%吡虫啉 EC imidacloprid 20% EC	(83.47±0.04)ab	(92.14±0.04)a	(93.91±0.02)a
清水 Water	—	—	—

1) 表中数据为平均值±标准误。同列数据后不同字母表示经 Duncan 氏新复极差法在 0.05 水平差异显著。
Data are mean±SE. Different letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level by Duncan's new multiple range test.

2.4 田间防效评价

表 5 结果显示,常规处理施药后 1 d 百里香油防治效果最高,校正防效达 70.67%,说明其速效性好,施药 1、14 d 防治效果显著高于不加助剂的常规处理($P<0.05$);反式-2-己烯醛和牛至油速效性较差,施药后 7 d 防治蚜虫效果高于不加助剂的常规处

理,施药 10~14 d 防治效果开始下降。3 种减量 20%后添加有机硅处理,施药 1 d 后防治效果提高约 10%,施药 4~14 d 后防治蚜虫效果逐渐提高且均显著高于其他处理($P<0.05$),施药 14 d 后防治效果仍高达 98%,表明添加有机硅提高了植物次生物质防治蚜虫的速效性和持效性。

表 5 5 种药剂添加有机硅对胡萝卜微管蚜的田间防治效果

Table 5 Control efficacy of five insecticides added with organosilicon against *Semiaphis heraclei*

药剂 Insecticide	浓度/ g·L ⁻¹ Concen- tration	虫口基数/头 Number of insects	校正防效/% Corrected control efficacy				
			药后 1 d 1 day after treatment	药后 4 d 4 days after treatment	药后 7 d 7 days after treatment	药后 10 d 10 days after treatment	药后 14 d 14 days after treatment
反式-2-己烯醛 <i>trans</i> -2-hexenal	1.7	295.33±120.03	(57.81±2.26)f	(81.72±1.04)g	(92.01±1.24)ef	(93.91±0.86)cd	(88.57±0.81)d
反式-2-己烯醛+OSi <i>trans</i> -2-hexenal+OSi	1.3	200.00±27.00	(67.18±1.87)cd	(91.19±1.37)c	(98.02±0.35)a	(98.21±0.43)ab	(99.02±0.35)ab
牛至油 oregano oil	1.4	271.67±122.15	(57.54±0.97)f	(82.35±1.02)fg	(91.20±0.38)f	(93.73±0.57)d	(87.45±1.41)de
牛至油+OSi oregano oil+OSi	1.1	204.00±28.00	(63.41±1.59)e	(93.70±0.16)b	(95.68±0.34)b	(98.09±0.13)b	(98.18±0.38)b
百里香油 thyme oil	1.1	275.00±31.22	(70.67±1.32)b	(86.50±0.81)e	(93.22±0.72)d	(94.88±0.52)c	(90.54±0.15)c
百里香油+OSi thyme oil+OSi	0.9	252.00±17.00	(80.28±0.58)a	(95.57±0.71)a	(98.65±0.29)a	(99.17±0.56)a	(99.75±0.15)a
1.3%苦参碱 AS matrine 1.3 % AS	2.5	204.67±23.18	(63.98±4.01)de	(82.79±0.09)fg	(88.17±0.79)g	(88.80±1.09)f	(84.08±0.67)f
1.3%苦参碱 AS+OSi matrine 1.3 % AS+OSi	2.0	326.00±13.00	(67.42±1.05)c	(89.71±0.22)d	(92.18±0.38)def	(92.35±0.30)e	(87.35±0.70)de
20%吡虫啉 EC imidacloprid 20% EC	2.0	390.33±49.08	(65.35±0.90)cde	(83.52±0.83)f	(92.53±0.25)de	(94.20±0.35)cd	(88.40±0.65)d
20%吡虫啉 EC+OSi imidacloprid 20% EC+OSi	1.6	248.67±7.09	(71.23±1.10)b	(85.34±0.43)e	(94.33±0.44)c	(94.86±0.31)c	(86.44±0.26)e
清水 Water	—	402.33±168.36	—	—	—	—	—
清水+OSi Water+OSi	—	240.00±13.00	—	—	—	—	—

3 讨论

植物叶片表面有蜡质,水溶性农药很难被叶片吸收。蚜虫体壁存在护蜡层和蜡层,渗透性弱的农药也很难通过蚜虫表皮进入害虫体内发挥作用,在实际应用中防治效果不理想^[12-13]。本研究选取的3种植物次生物质为油状液体,分子小、渗透力强,易透过叶片蜡质且易破坏蚜虫体壁,作用方式多样。室内测定结果显示,反式-2-己烯醛、牛至油和百里香油对胡萝卜微管蚜的毒力要远高于植物农药1.3%苦参碱 AS,稍高于化学农药20%吡虫啉 EC。但这3种植物次生物质对胡萝卜微管蚜的作用机理还需进一步探索。

农药助剂^[14]具有良好的润湿、延展及渗透性能,能够提高药液在靶标上的沉积量,使药液在靶标上铺展面大、易被吸收,并且可以直接破坏靶标害虫体壁的蜡层,提高药剂的杀虫活性,达到减量增效的效果^[15]。已有报道,橙皮精油中主要成分*d*-柠檬烯对吡虫啉防治枸杞蚜虫增效显著^[16];添加有机硅显著提高了氯虫苯甲酰胺防治稻纵卷叶螟的效果^[17]。这两种助剂均可通过降低药液表面张力,增加药液

在叶片上的最大持留量和沉积量,发挥增效作用。本研究有机硅对3种植物次生物质具有明显增效作用,其增效机理是否同以往报道一致还需深入研究。

反式-2-己烯醛、牛至油、百里香油、1.3%苦参碱 AS、20%吡虫啉 EC 和有机硅价格分别为2.0、0.6、0.4、0.12、0.1元/mL和0.05元/mL。蚜虫发生初期使用3种植物次生物质与有机硅混配防治可减少用药量约20%,施药14 d后防治效果达98%;与1.3%苦参碱 AS和20%吡虫啉 EC相比用水量减少约33.33%,投入成本相差不大。后期可继续挖掘牛至油、百里香油中起杀蚜作用的活性成分,将其与具有高杀蚜活性的植物源药剂进行复配,并结合田间影响药效因素进行制剂研发,从而更高效、绿色、低成本地防治蚜虫。

参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.

[2] 孙莹, 薛明, 张晓, 等. 金银花蚜虫的发生与防治技术研究[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(21): 3676-3680.

(下转 296 页)

参考文献

- [1] 强胜. 我国杂草学研究现状及其发展策略[J]. 植物保护, 2010, 36(4):1-5.
- [2] 于文莹, 马婧, 杨系玲, 等. 茎点霉属菌株 Hf-01 作为防治双子叶杂草的微生物剂初探[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2018, 146(3):5-13.
- [3] 袁善奎, 王以燕, 师丽红, 等. 我国生物源农药标准制定现状及展望[J]. 中国生物防治学报, 2018, 34(1):1-7.
- [4] GRIMONT F, GRIMONT P A D. The genus *Serratia* [M]. New York:Springer, 2006: 221-248.
- [5] 傅慧静. 松墨天牛肠道细菌多样性和黏质沙雷氏菌木质素降解特性的研究[D]. 福州:福建农林大学, 2017.
- [6] 牛洪涛, 肖李俊杰, 王娜, 等. 黏质沙雷氏菌 S-JS1 与 5 种杀虫剂对灰飞虱的联合作用及该菌对灰飞虱相关酶活性的影响[J]. 农药学学报, 2018, 20(2):185-191.
- [7] 傅仁杰, 祁雪连, 丰凯, 等. 一株分离自黑翅土白蚁的黏质沙雷氏菌的鉴定及特性[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(1):80-86.
- [8] 李鹏鹏. 黏质沙雷氏菌 FS14 全基因组测序分析及其 VI 型分泌系统翻译后调控蛋白和免疫蛋白的晶体结构[D]. 南京:南京农业大学, 2015.
- [9] 白腾飞, 刘月芹. 沙雷氏菌抗生性次级代谢产物合成机制[J]. 微生物学杂志, 2017, 37(4):121-125.
- [10] GUTIÉRREZ-ROMÁN M I, HOLGUÍN-MELÉNDEZ F, DUNN M F, et al. Antifungal activity of *Serratia marcescens* CFFSUR-B2 purified chitinolytic enzymes and prodigiosin against *Mycosphaerella fijiensis*, causal agent of black sigatoka in banana (*Musa* spp.) [J]. BioControl, 2015, 60(4): 565-572.
- [11] YANG Juan, WANG Wei, YANG Peng, et al. Isolation and identification of *Serratia marcescens* Ha1 and herbicidal activity of Ha1 ‘pesta’ granular formulation [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2015, 14(7): 1348-1355.
- [12] 卢青青. 灵菌红素与太湖土著藻毒素降解菌协同控藻作用研究[D]. 南京:东南大学, 2016.
- [13] 刘伯雅, 魏东芝, 鲁思然, 等. 灵菌红素对有害藻类的除藻活性研究[J]. 中国环境科学, 2010, 30(4):477-482.
- [14] LAKSO J U, STARR M P. Comparative injuriousness to plants of *Erwinia* spp. and other enterobacteria from plants and animals [J]. Journal of Applied Microbiology, 1970, 33(4):16.
- [15] 李超峰. 苏云金芽孢杆菌杀虫活性的增效机制研究进展[J]. 生物技术进展, 2018, 43(1):14-20.
- [16] 马金凤, 刘雪儿, 杨成德, 等. 青海省高寒草地青藏苔草根围土壤细菌拮抗功能评价及鉴定[J]. 草原与草坪, 2019, 39(1): 69-74.
- [17] 张学武. 试论微生物制剂在果树害虫防治中的应用与未来发展前景[J]. 现代园艺, 2018(1):117-118.
- (责任编辑: 杨明丽)
- ~~~~~
- (上接 281 页)
- [3] WANG K Y, LIU T X, JIANG X Y, et al. Cross-resistance of *Aphis gossypii* to selected insecticides on cotton and cucumber [J]. Phytoparasitica, 2001, 29(5): 393-399.
- [4] 邓鸿飞, 桑晓清, 周利娟. 植物源次生代谢物质的杀虫作用机制[J]. 世界农药, 2011, 33(3): 17-21.
- [5] 陈澄宇, 康志娇, 史雪岩, 等. 昆虫对植物次生物质的代谢适应机制及其对昆虫抗药性的意义[J]. 昆虫学报, 2015, 58(10): 1126-1139.
- [6] UL HASSAN M N, ZAINAL Z, ISMAIL I. Green leaf volatiles: biosynthesis, biological functions and their applications in biotechnology [J]. Plant Biotechnology Journal, 2015, 13(6): 727-739.
- [7] HORI M. Antifeeding, settling inhibitory and toxic activities of labiate essential oils against the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) [J]. Applied Entomology and Zoology, 1999, 34(1): 113-118.
- [8] BENELLIA G, PAVELA R, PETRELLI R, et al. *Origanum syriacum* subsp. *syriacum*: From an ingredient of Lebanese ‘manoushe’ to a source of effective and eco-friendly botanical insecticides [J]. Industrial Crops and Products, 2019, 134: 26-32.
- [9] CHENG Le, XU Shuangyu, XU chunmei, et al. Effects of trans-2-hexenal on reproduction, growth and behaviour and efficacy against the pinewood nematode, *Bursaphelenchus xylophilus* [J]. Pest Management Science, 2017, 73(5): 888-895.
- [10] 刘丙涛, 何军, 刘润强, 等. 植物精油杀蚜活性的筛选[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(3): 163-168.
- [11] WHEELER M W, PARK R M, BAILER A J. Comparing median lethal concentration values using confidence interval overlap or ratio tests [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2006, 25(5): 1441-1444.
- [12] 童涛, 方云霞, 张晓勤, 等. 植物表皮蜡质特性及相关基因研究进展[J]. 杭州师范大学学报(自然科学版), 2019, 18(6): 610-618.
- [13] WANG Xiuping, XIE Haicui, WANG Zhenying, et al. Graphene oxide as a multifunctional synergist of insecticides against Lepidopteran insect [J]. Environmental Science: Nano, 2019, 6(1): 75-84.
- [14] 张春华, 张宗俭, 刘宁, 等. 农药喷雾助剂的作用及植物油类喷雾助剂的研究进展[J]. 农药科学与管理, 2012, 33(11): 16-18.
- [15] 李世奎, 李博文, 郑鑫, 等. 3 种增效剂与 3 种烟碱类杀虫剂混配对棉蚜的增效作用[J]. 新疆农业科学, 2019, 56(1): 32-37.
- [16] 王芳, 刘畅, 何嘉, 等. 植物精油 d-柠檬烯对吡虫啉增效作用及其机制[J]. 中国植保导刊, 2019, 39(11): 23-25.
- [17] 徐广春, 徐德进, 徐鹿, 等. 有机硅助剂对氯虫苯甲酰胺防治稻纵卷叶螟的增效作用研究[J]. 农药学学报, 2020, 22(2): 285-292.
- (责任编辑: 杨明丽)