

詹丽,李敬丹,付璇,等. 紫茉莉种子中对草地贪夜蛾的杀虫活性成分及杀虫机制[J]. 江苏农业学报, 2024, 40(1): 47-54.  
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2024.01.005

## 紫茉莉种子中对草地贪夜蛾的杀虫活性成分及杀虫机制

詹丽<sup>1</sup>, 李敬丹<sup>1</sup>, 付璇<sup>1</sup>, 梁宗锁<sup>2</sup>, 梁倩<sup>1</sup>

(1.西南林业大学林学院,云南 昆明 650224; 2.浙江理工大学绍兴生物医药研究院,浙江 绍兴 312000)

**摘要:** 为了研究紫茉莉种子中对草地贪夜蛾的杀虫活性成分,对紫茉莉种子石油醚萃取物进行硅胶柱层析分离和气相色谱-质谱法(GC-MS)分析,采用浸虫法测定各馏分及化学成分对草地贪夜蛾的杀虫活性。结果表明,采用硅胶柱层析法分离紫茉莉种子石油醚萃取物,共得到20个馏分,其中馏分2对草地贪夜蛾3龄幼虫的校正死亡率最高,第7d时为82.00%。经GC-MS分析,馏分2的主要化学成分为十三烷(9.59%)、亚油酸乙酯(51.14%)和油酸乙酯(34.26%)。这3种化学成分对草地贪夜蛾3龄幼虫处理后第7d,  $LC_{50}$  分别为15.06 mg/ml、5.70 mg/ml和18.42 mg/ml,亚油酸乙酯的杀虫活性最好。随亚油酸乙酯质量浓度的增加,乙酰胆碱酯酶(AChE)活性呈现先抑制后激活再抑制的趋势,羧酸酯酶(CarE)活性呈现先抑制后激活的趋势,  $Ca^{2+}$ - $Mg^{2+}$ -ATP酶活性呈现先激活后抑制的趋势。综上,紫茉莉种子石油醚萃取物中杀虫活性最好的化合物为亚油酸乙酯,可为新型植物源杀虫剂的开发利用提供理论依据。

**关键词:** 紫茉莉种子; 草地贪夜蛾; 杀虫活性; 亚油酸乙酯

**中图分类号:** S433.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2024)01-0047-08

## Insecticidal active ingredients and mechanism against *Spodoptera frugiperda* in *Mirabilis jalapa* seeds

ZHAN Li<sup>1</sup>, LI Jing-dan<sup>1</sup>, FU Xuan<sup>1</sup>, LIANG Zong-suo<sup>2</sup>, LIANG Qian<sup>1</sup>

(1.College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2.Shaoxing Academy of Biomedicine, Zhejiang Sci-Tech University, Sha-  
xing 312000, China)

**Abstract:** In order to study the insecticidal active components of *Mirabilis jalapa* seeds against *Spodoptera frugiperda*, the petroleum ether extracts from *Mirabilis jalapa* seeds were separated by silica gel column chromatography and analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The insecticidal activity of each fraction and chemical composition against *Spodoptera frugiperda* was determined by insect immersion method. The results showed that the petroleum ether extract was separated by silica gel column chromatography, and a total of 20 fractions were obtained. Fraction 2 displayed the highest corrected mortality rate for the 3rd instar larvae of *Spodoptera frugiperda*, reaching 82.00% on the 7th day. Ac-

cording to GC-MS analysis, the main chemical components of fraction 2 were tridecane (9.59%), ethyl linoleate (51.14%), and ethyl oleate (34.26%). On the 7th day, the  $LC_{50}$  values of the three chemical components against the 3rd instar larvae of *Spodoptera frugiperda* were 15.06 mg/ml, 5.70 mg/ml, and 18.42 mg/ml, respectively. Ethyl linoleate had the best insecticidal activity. With the increase of ethyl linoleate concentration, the activity of acetylcholinesterase (AChE) showed a trend of first inhi-

收稿日期:2023-10-24

基金项目:浙江省科技计划项目(2022C02023);国家自然科学基金  
青年基金项目(31201572);西南林业大学人才引进项目  
(111307)

作者简介:詹丽(1998-),女,贵州毕节人,硕士研究生,研究方向  
为植物多样性保护与利用。(E-mail) 2859202094@qq.  
com

通讯作者:梁倩,(E-mail) liangqian533@163.com

bition, then activation, and then inhibition, and the activity of carboxylesterase (*CarE*) revealed a trend of first inhibition and then activation, while the activity of  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$ -ATPase indicated a trend of first activation and then inhibition. In summary, ethyl linoleate was the compound with the best insecticidal activity in the petroleum ether extract of *Mirabilis jalapa* seeds, which could provide theoretical basis for the development and utilization of new plant insecticides.

**Key words:** *Mirabilis jalapa* seeds; *Spodoptera frugiperda*; insecticidal activity; ethyl linoleate

草地贪夜蛾(*Spodoptera frugiperda* J.E.Smith)属鳞翅目(Lepidoptera)夜蛾科(Noctuidae)灰翅夜蛾属(*Spodoptera*)昆虫,主要寄主为玉米<sup>[1]</sup>,是一种重大农业害虫<sup>[2]</sup>。2019年,中国多个省份发生草地贪夜蛾入侵,对玉米和甘蔗危害面积超过 $5 \times 10^6 \text{ hm}^2$ <sup>[3]</sup>,给农业生产带来了巨大威胁。近年来,虱螨脲、除虫脲、乙基多杀菌素和溴氰虫酰胺等多种杀虫剂在防治草地贪夜蛾方面发挥了重要作用<sup>[4]</sup>。但是随着化学农药的使用,害虫的抗药性及环境问题日益突出,据报道草地贪夜蛾已对虱螨脲、氟胺氰菊酯和毒死蜱等41种传统及新型杀虫剂产生了不同程度的抗药性<sup>[5-6]</sup>。在尼日利亚的玉米田里,从玉米播种到收获期间,喷施11种不同剂量的药剂,玉米采收后,测定20 cm土层深度的土壤样品中农药残留,其中氯菊酯和毒死蜱等杀虫剂对土壤中的生物和其他非靶标物种会产生有害影响<sup>[7]</sup>。因此,筛选或研发高效、安全的植物源杀虫剂是保障农业绿色生产可持续发展的措施。植物源杀虫剂通过不同的作用机制影响害虫的消化、神经、内分泌和呼吸系统,分子水平上一般通过作用于昆虫细胞信号通路中的某些重要靶点,干扰神经系统的信号传递(如神经递质的合成、储存、释放、结合和再摄取等)或阻断生物代谢途径而发挥杀虫活性<sup>[8]</sup>。利用植物杀虫活性成分制成的杀虫剂,具有无污染、作用方式多样、易降解、低毒且不易产生耐药性等特点<sup>[9]</sup>,是未来害虫防治中很有潜力的化学农药替代品。

紫茉莉(*Mirabilis jalapa* L.)原产于南美,具有耐贫瘠、生长迅速、适应能力和繁殖能力强等生物特征,中国很多地区都有栽培<sup>[10]</sup>。研究发现10 mg/ml紫茉莉全草乙醇提取物对二斑叶螨(*Tetranychus urticae*)雌成螨24 h时触杀活性的校正死亡率为76.5%,第5 d对二斑叶螨卵的触杀活性的校正死亡率为33.7%<sup>[10]</sup>。紫茉莉叶与茎提取物对4龄尖音库蚊(*Culex pipiens*)幼虫触杀活性的 $\text{LC}_{50}$ 分别为6.84 mg/ml和3.98 mg/ml,对成虫熏蒸活性的 $\text{LC}_{50}$ 分别是0.14 mg/ml和0.27 mg/ml<sup>[11]</sup>。紫茉莉叶提

取物浓度为0.8 g/ml时与白僵菌(*Beauveria bassiana*)混合使用,会使甘蓝薄翅蛾(*Crocidolomia pavonana*)化蛹时间延长、蛹质量减轻、化蛹率降低及死亡率增加<sup>[12]</sup>。紫茉莉叶提取物质量浓度为0.8 g/ml时与绿僵菌(*Metarhizium anisopliae*)混配处理甜菜夜蛾(*Spodoptera exigua*)可破坏甜菜夜蛾的免疫系统,48 h甜菜夜蛾的死亡率达到76%<sup>[13]</sup>。但目前针对紫茉莉种子中对草地贪夜蛾的杀虫活性成分及杀虫机制的研究未见报道。

本试验基于前期紫茉莉种子各萃取物对草地贪夜蛾的触杀、胃毒和拒食活性筛选,发现石油醚萃取物的触杀活性最好<sup>[14]</sup>。因此以触杀活性为依据进行硅胶柱层析分离和GC-MS分析,明确其活性成分,并测定活性成分对草地贪夜蛾体内3种酶活性的影响,为紫茉莉植物资源的开发利用及新型植物源杀虫剂的研究提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

1.1.1 供试植物样品 紫茉莉种子于2020年9月购自云南省昆明市螺蛳湾中药材市场,种子阴干粉碎备用。

1.1.2 供试昆虫 草地贪夜蛾虫卵由河南省济源白云实业有限公司提供,在培养箱培养,温度 $24 \sim 26 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度70%~80%,光/暗周期16 h/8 h,初孵幼虫用新鲜玉米叶喂养,选取健康、生长发育状况相同的3龄幼虫作为试验幼虫。

1.1.3 试验试剂 供试试剂和酶试剂盒:石油醚、乙酸乙酯、甲醇和乙醇购自云南利妍科技有限公司;三氯甲烷从西南林业大学易制毒管理处领取;吐温80购自天津风船化学试剂科技有限公司;十三烷( $\geq 98\%$ )购自上海麦克林生化科技股份有限公司;亚油酸乙酯( $\geq 98\%$ )、油酸乙酯( $\geq 95\%$ )购自上海源叶生物科技有限公司;*AChE*试剂盒、*CarE*试剂盒和 $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$ -ATP酶试剂盒购自苏州格锐思生物科技有限公司。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 紫茉莉种子石油醚萃取物硅胶柱层析分离

用薄层色谱确定硅胶柱层析分离的洗脱体系为:石油醚、石油醚:三氯甲烷=50:1(体积比)、石油醚:三氯甲烷=1:1(体积比)、三氯甲烷、三氯甲烷:乙酸乙酯=1:1(体积比)、乙酸乙酯、乙酸乙酯:甲醇=20:1(体积比)、乙酸乙酯:甲醇=1:1(体积比)、甲醇。

1.2.2 GC-MS 检测条件 气相色谱条件:色谱柱为 HP-5MS 毛细管柱(30 m×0.25 mm,0.25 μm);升温程序,100℃保持2 min,以4℃/min升至250℃,保持10 min;载气(He)流速1.2 ml/min,进样口温度250℃,柱前压100 kPa,进样量0.2 ml,分流比100:1。

质谱条件:电离方式(EI)离子源,电子能量70 eV,接口温度280℃,离子源温度230℃,四极杆温度150℃。电子倍增器电压1894 V。采用wiley7n.l标准谱库检索定性。通过面积归一化法计算各化合物的相对含量。

1.2.3 20个馏分及主要化合物对草地贪夜蛾的杀虫活性 参照宋洁蕾等<sup>[15]</sup>的方法,测定馏分及化合物的杀虫活性,略有改动。20个馏分样品用0.5%吐温80水溶液分别配成10.00 mg/ml的溶液。馏分2的主要化合物用0.5%吐温80水溶液配成不同浓度梯度的溶液。将草地贪夜蛾3龄幼虫分别在不同馏分及主要化合物的溶液中浸渍5 s,用毛笔挑出放入饲养盒,每盒1头,用新鲜玉米叶片饲养,每个处理幼虫10头,重复5次。第1 d、3 d、5 d、7 d观察草地贪夜蛾并记录死亡与存活数量。根据公式(1)和(2)计算死亡率以及校正死亡率。

$$\text{死亡率} = \frac{\text{死亡虫数}}{\text{处理总虫数}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{校正死亡率} = \frac{\text{处理组死亡率} - \text{对照死亡率}}{1 - \text{对照死亡率}} \times 100\% \quad (2)$$

### 1.2.4 酶活性的测定方法

1.2.4.1 供试幼虫处理及酶液制备 将亚油酸乙酯配制成10.00 mg/ml、5.00 mg/ml、2.50 mg/ml、1.25 mg/ml和0.63 mg/ml不同质量浓度的溶液,采用浸虫法处理草地贪夜蛾3龄幼虫,浸渍5 s,每个质量浓度处理10头,重复5次,0.5%吐温80水溶液处理作为对照。于处理后第7 d挑取草地贪

夜蛾幼虫,称取0.1 g,按酶试剂盒说明书制备待测样本。

1.2.4.2 AChE、CarE 和  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$ -ATP 酶活性的测定 具体操作分别参照 AChE、CarE 和  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$ -ATP 酶试剂盒说明书。根据公式(3)、(4)和(5)计算 AChE、CarE 和  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$ -ATP 酶活性。

$$\text{AChE 活性} [\text{nmol}/(\text{min} \cdot \text{g})] = \frac{\Delta A \times V \times V_2 \times 10^9}{\varepsilon \times d \times W \times V_1 \times T_1} = 191.2 \times \Delta A / W \quad (3)$$

$$\text{CarE 活性} [\Delta OD_{450}/(\text{min} \cdot \text{g})] = \frac{\Delta A \times V \times D}{1.0 \times W \times V_3 \times T_2} = \frac{8.33 \times \Delta A \times D}{W} \quad (4)$$

$$\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-ATP 酶活性} [\mu\text{mol}/(\text{h} \cdot \text{g})] = \frac{(\Delta A + 0.0164) \times V_4 \times V}{0.8474 \times W \times V_5 \times T_3} = \frac{12.04 \times (\Delta A + 0.0164)}{W} \quad (5)$$

式中:  $\Delta A$  为读取测定管与对照管的吸光值之差;  $V$  为加入提取液的体积(1 ml);  $V_1$ 、 $V_3$  和  $V_5$  为加入样本的体积,分别为0.06 ml、0.04 ml 和 0.20 ml;  $V_2$  和  $V_4$  为反应体系总体积,分别为0.78 ml 和 0.68 ml;  $\varepsilon$  为 TNB 摩尔消光系数 [ $13.6 \times 10^3 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$ ];  $d$  为比色皿光径(1 cm);  $W$  为样本质量(g);  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  为反应时间,分别为5 min、3 min 和 20 min;  $D$  为稀释倍数,若未稀释则数值为1。

## 1.3 数据分析

数据采用 Microsoft Excel 进行整理,用 SPSS 23.0 软件进行分析,计算草地贪夜蛾的半数致死浓度  $LC_{50}$ 、95%置信区间、卡方、酶活性的平均值和标准差,用 Origin 软件绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 紫茉莉种子 20 个馏分对草地贪夜蛾的杀虫活性

由表1可知,20个馏分用10.00 mg/ml质量浓度处理草地贪夜蛾后,馏分2第1 d、3 d、5 d 和 7 d 的校正死亡率(%)均显著高于其他馏分( $P < 0.05$ ),表明其具有较强的杀虫活性。

### 2.2 馏分2的GC-MS分析及化学成分的杀虫活性

2.2.1 馏分2的化学成分 由表2可知,紫茉莉种子馏分2的主要成分为十三烷(9.59%)、亚油酸乙酯(51.14%)和油酸乙酯(34.26%),总含量为94.99%。

表 1 紫茉莉种子 20 个馏分处理草地贪夜蛾的校正死亡率

Table 1 Corrected mortality rate of *Spodoptera frugiperda* treated with 20 fractions of *Mirabilis jalapa* seeds

馏分	第 1 d 校正 死亡率 (%)	第 3 d 校正 死亡率 (%)	第 5 d 校正 死亡率 (%)	第 7 d 校正 死亡率 (%)
1	10.00±0c	12.00±2.00c	14.00±2.40c	18.00±2.00c
2	74.00±2.45a	80.00±0a	82.00±2.00a	82.00±2.00a
3	16.00±2.45c	20.00±0c	26.00±2.45c	26.00±2.45c
4	0±0d	0±0d	4.00±2.45d	8.00±2.00d
5	2.00±2.00d	6.00±2.45d	6.00±2.45d	6.00±2.45d
6	20.00±0c	26.00±2.45c	32.00±2.00c	32.00±2.00c
7	24.00±2.45c	30.00±0b	32.00±2.00c	34.00±2.45c
8	34.00±2.45b	42.00±2.00b	42.00±2.00b	42.00±2.00b
9	0±0d	10.00±0c	20.00±0c	20.00±0c
10	8.00±2.00d	20.00±0c	28.00±2.00c	30.00±3.16c
11	28.00±2.00c	34.00±4.00c	42.00±2.00b	44.00±2.45b
12	10.00±0c	24.00±2.45c	30.00±0c	34.00±2.45c
13	10.00±0c	18.00±2.00c	24.00±2.45c	26.00±4.00c
14	0±0d	10.00±0c	16.00±2.45c	20.00±0c
15	0±0d	4.00±2.45d	16.00±2.45c	16.00±2.45c
16	8.00±2.00d	30.00±0c	36.00±2.45c	36.00±2.45c
17	8.00±2.00d	16.00±4.00c	16.00±4.00c	18.00±4.90c
18	18.00±2.00c	34.00±8.12c	34.00±8.12c	36.00±7.48c
19	2.00±2.00d	10.00±0c	10.00±0c	14.00±2.45c
20	8.00±2.00d	16.00±2.45b	20.00±0c	22.00±2.00c

同一列数据后不同小写字母表示差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。

2.2.2 馏分 2 的主要化学成分对草地贪夜蛾的杀虫活性 由表 3 可知,亚油酸乙酯在第 1 d、3 d、5 d、7 d 的半致死质量浓度 ( $LC_{50}$ ) 均最小,杀虫效果最好。其次为十三烷和油酸乙酯。综合比较,亚油酸乙酯杀虫效果最明显。

表 2 馏分 2 的主要化学成分

Table 2 Main chemical components of fraction 2

序号	保留时间 (min)	化合物	含量 (%)
1	6.702	十三烷	9.59
2	30.977	亚油酸乙酯	51.14
3	31.089	油酸乙酯	34.26

## 2.3 亚油酸乙酯对草地贪夜蛾 *AChE*、*CarE* 和 $Ca^{2+}$ - $Mg^{2+}$ -ATP 酶活性的影响

2.3.1 亚油酸乙酯对 *AChE* 活性的影响 由图 1 可知,不同质量浓度亚油酸乙酯处理草地贪夜蛾 5 s

后,饲养到第 7 d,与对照相比,*AChE* 活性呈现先抑制后激活再抑制的趋势。与对照相比,0.63 mg/ml 和 1.25 mg/ml 亚油酸乙酯处理,草地贪夜蛾 *AChE* 活性显著降低 ( $P < 0.05$ )。0.63 mg/ml 亚油酸乙酯处理,草地贪夜蛾 *AChE* 活性是对照的 0.79 倍,1.25 mg/ml 亚油酸乙酯处理,草地贪夜蛾 *AChE* 活性是对照的 0.91 倍。与对照相比,2.50 mg/ml 亚油酸乙酯处理,草地贪夜蛾 *AChE* 活性显著提高 ( $P < 0.05$ ),活性是对照的 1.18 倍。与对照相比,5.00 mg/ml 和 10.00 mg/ml 亚油酸乙酯处理,*AChE* 活性显著降低 ( $P < 0.05$ )。5.00 mg/ml 亚油酸乙酯处理,草地贪夜蛾 *AChE* 活性是对照的 0.96 倍。10.00 mg/ml 亚油酸乙酯处理,草地贪夜蛾 *AChE* 活性是对照的 0.69 倍。

2.3.2 亚油酸乙酯对 *CarE* 活性影响 由图 2 可知,不同质量浓度亚油酸乙酯处理草地贪夜蛾 5 s 后,饲养到第 7 d,与对照相比,*CarE* 活性呈现先抑制后激活的趋势。与对照相比,0.63 mg/ml 亚油酸乙酯处理,草地贪夜蛾 *CarE* 活性显著降低 ( $P < 0.05$ ),是对照的 0.64 倍。1.25 mg/ml、2.50 mg/ml 和 10.00 mg/ml 亚油酸乙酯处理,草地贪夜蛾 *CarE* 活性显著提高 ( $P < 0.05$ )。1.25 mg/ml 亚油酸乙酯处理,草地贪夜蛾 *CarE* 活性是对照的 1.31; 2.50 mg/ml 亚油酸乙酯处理,草地贪夜蛾 *CarE* 活性是对照的 1.50 倍; 5.00 mg/ml 亚油酸乙酯处理,草地贪夜蛾 *CarE* 活性是对照的 1.80 倍; 10.00 mg/ml 亚油酸乙酯处理,草地贪夜蛾 *CarE* 活性是对照的 1.26 倍。

## 2.3.3 亚油酸乙酯对 $Ca^{2+}$ - $Mg^{2+}$ -ATP 酶活性影响

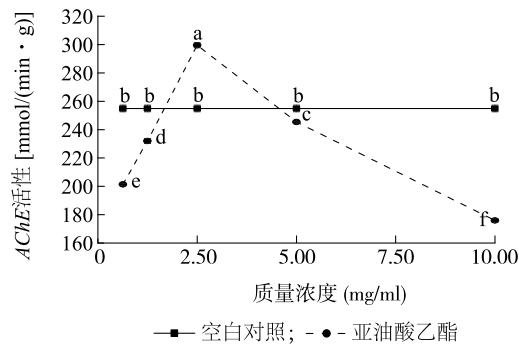
由图 3 可知,不同质量浓度亚油酸乙酯处理草地贪夜蛾 5 s 后,饲养到第 7 d,与对照相比, $Ca^{2+}$ - $Mg^{2+}$ -ATP 酶活性呈现先激活后抑制的趋势。0.63 mg/ml 亚油酸乙酯处理, $Ca^{2+}$ - $Mg^{2+}$ -ATP 酶活性与对照相比无显著差异 ( $P > 0.05$ )。与对照相比,1.25 mg/ml 和 2.50 mg/ml 亚油酸乙酯处理, $Ca^{2+}$ - $Mg^{2+}$ -ATP 酶活性显著提高 ( $P < 0.05$ )。1.25 mg/ml 亚油酸乙酯处理,草地贪夜蛾  $Ca^{2+}$ - $Mg^{2+}$ -ATP 酶活性是对照的 2.03 倍; 2.50 mg/ml 亚油酸乙酯处理,草地贪夜蛾  $Ca^{2+}$ - $Mg^{2+}$ -ATP 酶活性是对照的 1.49 倍。与对照相比,10.00 mg/ml 亚油酸乙酯处理, $Ca^{2+}$ - $Mg^{2+}$ -ATP 酶活性显著降低 ( $P < 0.05$ ),活性是对照的 0.65 倍。



表 3 馏分 2 的化学成分对草地贪夜蛾的杀虫活性

Table 3 Insecticidal activity of the chemical components of fraction 2 against *Spodoptera frugiperda*

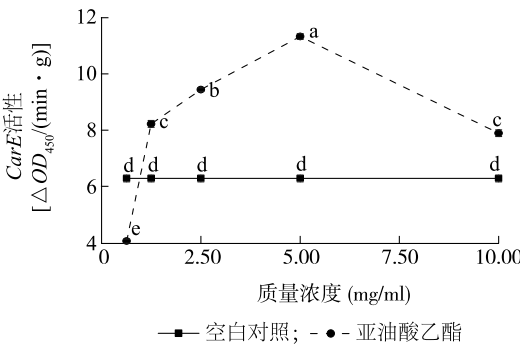
化学成分	处理时长 (d)	半致死质量浓度 (mg/ml)	95%置信区间 (mg/ml)	斜率±标准差	卡平方 ( $\chi^2$ )	P 值
十三烷	1	17.05	10.78~95.23	3.40±0.36	17.01	0
	3	16.36	7.35~12 814.13	1.53±0.17	19.07	0
	5	15.10	6.87~1 699.18	1.17±0.15	12.15	0.01
	7	15.06	6.58~8 928.34	1.10±0.15	12.32	0.01
亚油酸乙酯	1	8.62	6.37~11.97	4.24±0.34	10.60	0.01
	3	7.26	1.73~15 859.43	2.34±0.18	46.27	0
	5	6.23	1.74~95.99	2.08±0.17	36.99	0
	7	5.70	2.50~16.84	2.07±0.17	24.06	0
油酸乙酯	1	27.79	20.72~43.38	1.70±0.22	2.40	0.49
	3	19.87	15.31~28.77	1.53±0.18	3.05	0.38
	5	18.54	14.07~27.50	1.37±0.17	4.99	0.17
	7	18.42	13.76~28.21	1.28±0.16	3.41	0.33
除虫菊酯	1	0.16	0.13~0.22	1.86±0.23	1.39	0.71
	3	0.07	0.02~2.82	1.31±0.12	23.55	0
	5	0.03	0.01~0.12	1.62±0.13	20.79	0
	7	0.02	0~31.49	2.18±0.17	43.92	0



图中不同小写字母表示差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。

图1 亚油酸乙酯对草地贪夜蛾 AChE 活性的影响

Fig.1 The effect of ethyl linoleate on the activity of AChE of *Spodoptera frugiperda*



图中不同小写字母表示差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。

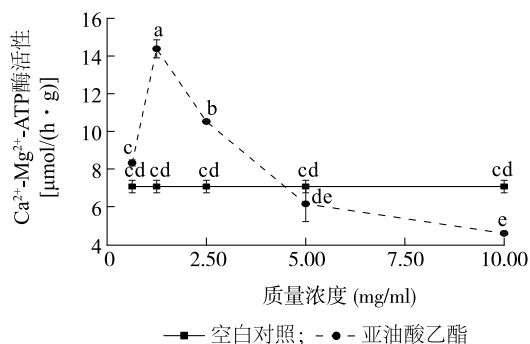
图2 亚油酸乙酯对草地贪夜蛾 CarE 活性的影响

Fig.2 The effect of ethyl linoleate on the activity of CarE of *Spodoptera frugiperda*

3 讨论

对紫茉莉种子石油醚萃取物进行柱层析分离共得到 20 个馏分,其中馏分 2 的触杀活性最好,第 1 d、3 d、5 d 和 7 d 草地贪夜蛾校正死亡率分别为 74.00%、80.00%、82.00%和 82.00%,与其他馏分差异显著 ( $P < 0.05$ )。经 GC-MS 分析,馏分 2 的主

要化学成分为十三烷 (9.59%)、亚油酸乙酯 (51.14%) 和油酸乙酯 (34.26%)。亚油酸乙酯触杀活性最好,第 1 d、3 d、5 d 和 7 d 的  $LC_{50}$  分别为 8.62 mg/ml、7.26 mg/ml、6.23 mg/ml 和 5.70 mg/ml。文献报道万寿菊 (*Tagetes erecta*)、曼陀罗 (*Dathura metel*) 和鸭嘴花 (*Adathoda vassica*) 乙酸乙酯粗提物对草地贪夜蛾 3 龄幼虫第 1 d 的  $LC_{50}$  分别



图中不同小写字母表示差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。

图3 亚油酸乙酯对草地贪夜蛾  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$ -ATP 酶活性的影响

Fig.3 The effect of ethyl linoleate on the activity of  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$ -ATPase of *Spodoptera frugiperda*

为 246.4 mg/ml、420.8 mg/ml 和 1 253.1 mg/ml, 第 3 d 的  $\text{LC}_{50}$  分别为 186.7 mg/ml、295.5 mg/ml 和 1 118.2 mg/ml<sup>[16]</sup>。毛脉树胡椒 (*Piper hispidinervum*) 挥发油对草地贪夜蛾 3 龄幼虫 96 h 的  $\text{LD}_{50}$  为每头 277.91  $\mu\text{g}$ <sup>[17]</sup> (文献中的点滴量为 1  $\mu\text{l}$ )。姜 (*Zingiber officinale*) 根茎正己烷提取物及分离得到的 10-姜烯酚和 8-姜烯酚 24 h 时对草地贪夜蛾 2 龄幼虫的  $\text{LD}_{50}$  分别为每头 18.98  $\mu\text{g}$ 、8.55  $\mu\text{g}$  和 7.68  $\mu\text{g}$ <sup>[18]</sup> (文献中的点滴量为 1  $\mu\text{l}$ )。紫茉莉种子石油醚萃取物第 7 d 对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的  $\text{LC}_{50}$  为 6.07 mg/ml<sup>[14]</sup>。麻风树 (*Jatropha curcas*) 种子油经柱层析分离, 富含佛波酯的馏分对草地贪夜蛾 24 h 的  $\text{LC}_{50}$  为 0.83 mg/ml<sup>[19]</sup>。可以看出, 亚油酸乙酯对草地贪夜蛾 3 龄幼虫的触杀活性要优于万寿菊、曼陀罗、鸭嘴花乙酸乙酯粗提物以及毛脉树胡椒挥发油、姜根茎正己烷提取物、10-姜烯酚、紫茉莉种子石油醚萃取物, 但是不及 8-姜烯酚和麻风树种子油柱层析富含佛波酯馏分的活性。

亚油酸乙酯对其他害虫也具有杀虫活性及引诱活性。飞燕草 (*Consolida ajacis*) 甲醇、乙醇、正丁醇、乙酸乙酯和石油醚萃取物对小菜蛾均具有触杀活性, 乙酸乙酯萃取物触杀活性最强, 经 GC-MS 分析, 4 个主要成分中亚油酸乙酯对小菜蛾的触杀活性最好, 72 h 的  $\text{LC}_{50}$  为 0.26 mg/ml<sup>[20]</sup>。梔子 (*Gardenia jasminoides*) 挥发油对烟粉虱 (*Bemisia tabaci*) 和二斑叶螨 (*Trialetrodes vaporariorum*) 若虫具有杀虫活性。经过 GC-MS 分析, 其中 5 种主要化合物中, 亚油酸乙酯对烟粉虱若虫的触杀活性最好, 对二斑叶螨若

虫的触杀活性仅次于杀虫活性最好的角鲨烯<sup>[21]</sup>。加拿大一枝黄花 (*Solidago canadensis*) 地上部分石油醚萃取物对方形环棱螺 (*Bellamya quadrata*) 24 h 和 48 h 的  $\text{LC}_{50}$  均优于乙酸乙酯和正丁醇萃取物, 分别为 1.10 mg/ml 和 0.23 mg/ml, 石油醚萃取物经 GC-MS 分析, 亚油酸乙酯含量最高 (12.18%), 认为可能是亚油酸乙酯对方形环棱螺具有杀虫活性<sup>[22]</sup>。香菜 (*Coriandrum sativum*) 等 8 种植物乙醇粗提物对黑肩绿盲蝽 (*Cyrtorhinus lividipennis*) 雌虫引诱率最高, 达 46.67%, 经 GC-MS 分析, 亚油酸乙酯含量最高, 为 13.52%, 认为亚油酸乙酯可能对黑肩绿盲蝽具有引诱活性<sup>[23]</sup>。

广藿香酮 (*Pogostone*) 对斜纹夜蛾 (*Spodoptera litura*) 幼虫体内的 *AChE* 活性变化表现为随着处理质量浓度的增高呈现先抑制后激活再抑制的趋势<sup>[24]</sup>。敌敌畏、甲氰菊酯和氯氰菊酯对中华蜜蜂 (*Apis cerana*) 体内的 *AChE* 活性呈现先抑制后激活再抑制的趋势<sup>[25]</sup>。本试验不同质量浓度亚油酸乙酯处理草地贪夜蛾后, 第 7 d 时, *AChE* 活性的变化也表现为先抑制后激活再抑制的趋势。造成这种趋势的原因可能是亚油酸乙酯与草地贪夜蛾体内 *AChE* 结合, 使 *AChE* 磷酸基化, *AChE* 活性被抑制<sup>[26]</sup>。

随质量浓度的提高, 广藿香酮对斜纹夜蛾幼虫中肠 *CarE* 的活性变化表现为先抑制后激活的作用<sup>[24]</sup>, 甲维盐对草地贪夜蛾体内 *CarE* 活性表现为先抑制后激活作用<sup>[27]</sup>, 异菌脲对意大利蜜蜂 (*Apis mellifera*) 体内 *CarE* 活性表现为先抑制后激活作用<sup>[28]</sup>。本试验不同质量浓度亚油酸乙酯处理草地贪夜蛾后, 第 7 d, 其体内 *CarE* 活性随着亚油酸乙酯质量浓度的升高表现为先抑制后激活作用。低质量浓度亚油酸乙酯处理草地贪夜蛾时, 由于供试害虫中毒后体内正常的代谢受到影响, 间接影响了羧酸酯酶的活性<sup>[29]</sup>, 后又呈现激活趋势, 可能是由于外源性有毒物质刺激了昆虫体内的应激免疫, 从而诱导 *CarE* 活性的增加, 加速了对外源性物质的解毒代谢<sup>[30]</sup>。

随质量浓度的提高, 瑞香狼毒 (*Stellera chamaejasme*) 根石油醚提取物对桃蚜 (*Myzus persicae*) 体内  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$ -ATP 酶活性表现为先激活后抑制趋势<sup>[31]</sup>, 丁香酚对枸杞蚜虫 (*Aphis* sp.) 和枸杞木虱 (*Paratrioza sinica*) 成虫  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$ -ATP 酶活性呈现

低剂量激活高剂量抑制趋势。香茅 (*Cymbopogon citratus*) 油对枸杞木虱成虫  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$ -ATP 酶活性呈现低剂量激活高剂量抑制作用。本试验不同质量浓度亚油酸乙酯处理草地贪夜蛾后,第 7 d,其体内  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$ -ATP 酶活性随着亚油酸乙酯质量浓度的升高表现为先激活后抑制的趋势。关于低质量浓度处理下  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$ -ATP 酶活性被激活,可能与昆虫中毒初期表现过度兴奋的症状有关<sup>[32]</sup>。高质量浓度处理下  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$ -ATP 酶活性被抑制,可能因为  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  离子的跨膜平衡受到破坏,影响离子通道的开放或关闭,发生电位异常,害虫神经系统功能紊乱<sup>[33]</sup>。

## 4 结 论

本研究采用硅胶柱层析法分离紫茉莉种子石油醚萃取物,共得 20 个馏分,杀虫试验测试结果表明,馏分 2 对草地贪夜蛾的杀虫活性最好,经 GC-MS 分析,主要化学成分为十三烷 (9.59%)、亚油酸乙酯 (51.14%) 和油酸乙酯 (34.26%)。处理后第 7 d,这 3 种主要化学成分对草地贪夜蛾的  $\text{LC}_{50}$  分别为 15.06 mg/ml、5.70 mg/ml 和 18.42 mg/ml,亚油酸乙酯的杀虫活性最高。随亚油酸乙酯质量浓度的增加,草地贪夜蛾 3 龄幼虫体内 *AChE* 活性呈现先抑制后激活再抑制的趋势,*CarE* 活性呈现先抑制后激活的趋势, $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$ -ATP 酶活性呈现先激活后抑制的趋势。

## 参考文献:

- [1] 郭井菲,张永军,王振营. 中国应对草地贪夜蛾入侵研究的主要进展[J]. 植物保护,2022,48(4):79-87.
- [2] 姜玉英,刘 杰,谢茂昌,等. 2019 年我国草地贪夜蛾扩散为害规律观测[J]. 植物保护,2019,45(6):10-19.
- [3] 王 磊,陈科伟,陆永跃. 我国草地贪夜蛾入侵扩张动态与发生趋势预测[J]. 环境昆虫学报,2019,41(4):683-694.
- [4] 崔 丽,芮昌辉,李永平,等. 国外草地贪夜蛾化学防治技术的研究与应用[J]. 植物保护,2019,45(4):7-13.
- [5] 吴 超,张 磊,廖重宇,等. 草地贪夜蛾对化学农药和 Bt 作物的抗性机制及其治理技术研究进展[J]. 植物保护学报,2019,46(3):503-513.
- [6] 吴益东,沈慧雯,张 正,等. 草地贪夜蛾抗性概况及其治理对策[J]. 应用昆虫学报,2019,56(4):599-604.
- [7] TOGOLA A, MESEKA S, MENKIR A, et al. Measurement of pesticide residues from chemical control of the invasive *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera:Noctuidae) in a maize experimental field in Mokwa, Nigeria[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2018,15(5):849-860.
- [8] 董小琦,康兆勇,刘胜男,等. 新型植物源天然产物杀虫剂研究进展[J]. 农药学报,2023,25(5):969-989.
- [9] 张亚妮. 植物源杀虫剂川楝素环境安全性评价[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [10] 赵赫南. 紫茉莉提取物对二斑叶螨的生物活性研究[D]. 沈阳:沈阳大学,2018.
- [11] 曹晓莉,雷桂兰,高 洁,等. 三种植物提取物对蚊的毒杀效果比较[J]. 湖北农业科学,2014,53(15):3546-3547.
- [12] SIRAJUDDIN N T, ANGGRAENI T. The effect of leaf biopesticide (*Mirabilis jalapa*) and entomopathogenic fungi (*Beauveria bassiana*) combinations to some physiological characters and histology of *Crocidolomia pavonana* (Lepidoptera:Pyralidae) larvae[J]. American Institute of Physics Conference Proceedings,2014,1589(1):308-311.
- [13] SURYANI A I, ANGGRAENI T. The effect of leaf biopesticide *Mirabilis jalapa* and fungi *Metarhizium anisopliae* to immune response and mortality of *Spodoptera exigua* instar IV[J]. American Institute of Physics Conference Proceedings,2014,1589(1):312-315.
- [14] 李敬丹,付 璇,孙嘉洛,等. 紫茉莉种子对草地贪夜蛾的生物活性[J]. 江苏农业科学,2022,50(8):5-10.
- [15] 宋洁蕾,李艳丽,李亚红,等. 不同杀虫剂对草地贪夜蛾的室内毒杀效果及毒力测定[J]. 南方农业学报,2019,50(7):1489-1495.
- [16] HENAGAMAGE A P, RANAWEERA M N, PERIES C M, et al. Repellent, antifeedant and toxic effects of plants-extracts against *Spodoptera frugiperda* larvae (fall armyworm) [J]. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology,2023,48:102636.
- [17] LIMA R K, CARDOSO M G, MORAES J C, et al. Atividade inseticida do óleo essencial de pimento longa (*Piper hispidinervum* C. DC.) sobre lagarta-do-cartucho do milho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Acta Amazon,2009,39(2):377-382.
- [18] KEOSAENG K, SONGOEN W, YOOBOON T, et al. Insecticidal activity of isolated gingerols and shogaols from *Zingiber officinale* roscoe rhizomes against *Spodoptera* spp. (Lepidoptera: Noctuidae) [J]. Natural Product Research,2023,37(4):669-674.
- [19] DEVAPPA R K, ANGULO-ESCALANTE M A, Makkar H P S, et al. Potential of using phorbol esters as an insecticide against *Spodoptera frugiperda* [J]. Industrial Crops and Products,2012,38:50-53.
- [20] PENG J, CHEN Z H, CHEN X Q, et al. Insecticidal potential of a *Consolida ajacis* extract and its major compound (ethyl linoleate) against the diamondback moth, *Plutella xylostella* [J]. Pesticide Biochemistry and Physiology,2023,195:105557.
- [21] WAGAN T A, CAI W L, HUA H X. Repellency, toxicity, and anti-oviposition of essential oil of *Gardenia jasminoides* and its four major chemical components against whiteflies and mites[J]. Scien-

- tific Reports, 2018, 8: 9375-9387.
- [22] 胡超宇. 加拿大一枝黄花的灭螺作用及其化学组分研究[D]. 江西师范大学, 2017.
- [23] 刘思仪. 黑肩绿盲蝽植物源引诱剂研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [24] 张嘉慧. 广藿香酮对斜纹夜蛾的生物活性及对解毒酶的影响[D]. 广州: 华南农业大学, 2016.
- [25] 欧阳菠. 杀虫剂对中华蜜蜂解毒酶酶活及解毒基因表达的影响[D]. 成都: 四川农业大学, 2020.
- [26] 陈垠彤. 三种植物源杀虫剂对粘虫的室内生物测定及田间药效试验[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [27] 蒋兴川, 沈怵丹, 孙劲超, 等. 氯虫苯甲酰胺和甲维盐对草地贪夜蛾幼虫的毒力及解毒酶活性的影响[J]. 环境昆虫学报, 2019, 41(5): 961-967.
- [28] 段辛乐, 熊曼琼, 刘文斌, 等. 苜蓿花期三种杀菌剂对意大利蜜蜂保护酶和解毒酶的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(11): 74-82.
- [29] 袁林. 黄荆提取物对小菜蛾和菜青虫生物活性及作用方式的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2004.
- [30] 胡榕. 无患子皂苷对甜菜夜蛾生物活性的研究及其化学成分分析[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2022.
- [31] 高玉莲. 瑞香狼毒根提取物对几种作物及桃蚜的毒力及相关酶活性的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2022.
- [32] 陈新华. 几种精油对枸杞蚜、枸杞木虱的毒力及酶活性影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- [33] 史晓玲. 三种苦参生物碱对豌豆蚜神经生理生化指标的比较[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2018.

(责任编辑: 成纾寒)