环境昆虫学报 2025，47（5）：1660-1669
Journal of Environmental Entomology
http://hjkcxb.alljournals.net
doi:10.3969/j.issn.1674-0858.2025.05.30

杨沆鑫，江南子英，蒋露，陈志浩，李军，李超．马缨丹和南美蟛蜞菊精油对印度谷螟的杀虫活性[J]．环境昆虫学报，2025，47（5）：1660-1669. YANG Hang-Xin, JIANG Nan-Zi-Ying, JIANG Lu, CHEN Zhi-Hao, LI Jun, LI Chao. Insecticidal activity of *Lantana camara* and *Wedelia trilobata* essential oils against *Plodia interpunctella* [J]. *Journal of Environmental Entomology*, 2025, 47(5): 1660-1669.

马缨丹和南美蟛蜞菊精油对印度谷螟的杀虫活性

杨沆鑫[1,2*]，江南子英[1,2*]，蒋　露[3]，陈志浩[3]，李　军[2**]，李　超[1**]
（1.新疆农业大学农学院，农林有害生物监测与安全防控重点实验室，农业农村部西北荒漠绿洲农林外来入侵生物防控重点实验室，乌鲁木齐 830052；2.广东省科学院动物研究所，广东省动物保护与资源利用重点实验室，广东省野生动物保护与利用公共实验室，广州 510260；3.深圳市野生动植物保护管理处，广东深圳 518000）

摘要：本文通过研究两种外来入侵植物精油对仓储害虫印度谷螟的杀虫活性，提供“以草治虫”新方法并对两种入侵植物的实用性增加新用途。通过利用浸渍法、滤纸药膜法以及密闭容器熏蒸法测定了入侵植物马缨丹*Lantana camara*和南美蟛蜞菊*Wedelia trilobata*精油对印度谷螟*Plodia interpunctella*幼虫的杀虫和驱避作用及成虫的熏蒸作用。马缨丹精油杀虫效果高于南美蟛蜞菊精油，在浓度为30 μL/mL处理时间为96 h下两种精油杀虫效果最佳，马缨丹杀虫校正死亡率为89.13%，南美蟛蜞菊杀虫校正死亡率为74.64%。两种植物精油在浓度为80 μL/mL下驱避率较高，其中马缨丹精油在80 μL/mL浓度2 h处理下驱避率为73.330%，驱避等级为Ⅳ级。南美蟛蜞菊精油在80 μL/mL浓度2 h处理下驱避率为83.996%，驱避等级为Ⅴ级。两种植物精油熏蒸作用来看，马缨丹植物精油效果好于南美蟛蜞菊植物精油效果。在对成虫熏蒸处理下相同处理时间内，马缨丹精油的LC_{50}值均低于南美蟛蜞菊植物精油的LC_{50}。南美蟛蜞菊精油驱避率相比马缨丹精油驱避率较高，南美蟛蜞菊精油杀虫、熏蒸效果没有马缨丹精油杀虫、熏蒸效果强，表明两种入侵植物对防治印度谷螟有一定功效。

关键词：印度谷螟；植物精油；杀虫作用；驱避作用；熏蒸作用
中图分类号：Q968.1　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-0858（2025）05-1660-10

Insecticidal activity of *Lantana camara* and *Wedelia trilobata* essential oils against *Plodia interpunctella*

YANG Hang-Xin[1,2*], JIANG Nan-Zi-Ying[1,2*], JIANG Lu[3], CHEN Zhi-Hao[3], LI Jun[2**], LI Chao[1**] (1. Key Laboratory of the Pest Monitoring and Safety Control of Crops and Forests, College of Agronomy, Key Laboratory of Prevention and Control of Invasive Alien Species in Agriculture & Forestry of the North-western Desert Oasis (Co-construction by Ministry and Province), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China; 2. Guangdong Key Laboratory of Animal Conservation and Resource Utilization, Guangdong Public Laboratory of Wild Animal Conservation and Utilization, Institute of Zoology, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510260, China; 3. Shenzhen Wildlife Protection and Management Office, Shenzhen 518000, Guangdong Province, China)

Abstract: This study assessed the potential of essential oils from *Lantana camara* and *Wedelia trilobata* as botanical control agents against *Plodia interpunctella*, offering a novel pest management method and a

基金项目：新疆维吾尔自治区天山英才计划（2021282）；2023年乡村振兴战略专项—农业科技发展及资源环境保护管理项目（2023KJ355）；企业横向课题“种子与食品加工企业仓储害虫监测技术应用”；深圳市林业外来入侵生物普查与区域生态安全评估
*共同第一作者：杨沆鑫，男，硕士研究生，主要从事农业昆虫与害虫防治，E-mail：2369380742@qq.com；江南子英，男，硕士研究生，主要从事农业昆虫与害虫防治，E-mail：1583220736@qq.com
**共同通讯作者 Author for correspondence：李军，男，博士，研究员，主要从事入侵生物学研究，E-mail：junl@giabr.gd.cn；
李超，男，博士，副教授，主要从事外来入侵害虫种群监测预警与综合防治，E-mail：lichaoyw@163.com
收稿日期Received：2024-03-19；修回日期Revision received：2025-03-11；接受日期Accepted：2025-03-12

potential utilization pathway for these invasives. The insecticidal and repellent effects on larvae were assessed via the dipping and filter paper methods, respectively, while the fumigant effect on adults was tested using the sealed container method, all with the essential oils of *L. camara* and *W. trilobata*. The insecticidal effect of *Lantana camara* essential oil was more pronounced than that of *Wedelia trilobata*, with both oils exhibiting peak efficacy at the concentration of 30 uL/mL after 96-hour exposure period. The corrected mortality for *L. camara* and *Wedelia trilobata* was 89.13% and 74.64%, respectively. At a concentration of 80 uL/mL both plant essential oils showed relatively higher repellency.. However, *Wedelia trilobata* demonstrated superior performance, yielding the repellency of 83.996% (Grade V) after 2 hours, notably higher than the 73.330% (Grade IV) observed for *L. camara*. A finding corroborated by its lower LC_{50} value, *L. camara* essential oil exhibited a more potent fumigant effect than that of *W. trilobata*. In contrast, *W. trilobata* essential oil showed superior repellency; however, its efficacy in directly killing pests, whether by contact or fumigation, was consistently lower. The findings demonstrate that both invasive plants possess promising efficacy for controlling *Plodia interpunctella*, highlighting their potential as botanical control agents.

Key words: *Plodia interpunctella*; plant essential oil; insecticidal action; repellent action; fumigant action

印度谷螟 *Plodia interpunctella*（Hübner）属鳞翅目 Lepidoptera 斑螟亚科 Phycitinae，是食品加工厂、仓库和零售店等食品设施中储存产品的重要害虫（Gerken *et al.*，2022）。印度谷螟食性复杂能对多种农副产品造成质量损失（Ahme and Hashem，2012），其经济意义主要体现在储藏物质量的损失，间接经济损失包括治理成本、商品质量下降、客户投诉等（George，2019）。印度谷螟幼虫在蛀食仓储谷物的过程中还会进行吐丝，二次影响储藏物，能够损害超过50%的粮食（Kishanr and Thomasw，2008）。目前针对印度谷螟的防治方法主要采取磷化铝化学防治，其优点是杀虫效果高，操作方便，缺点是高毒农药操作不当可能造成施工人员中毒情况发生，因此必须严格按照操作要求使用（崔萍，2004）。在印度谷螟防治的过程中由于大量化学农药的使用，导致印度谷螟具有较强的抗药性（Hassan *et al.*，2019）。需探求既对环境友好又同时能够消杀印度谷螟的新方法。

植物精油是针对害虫防治新兴的手段，作为一种可能的替代合成植物保护的产品，精油作为天然产物，对环境友好，同时一些研究已经强调了它们对重要农业害虫的杀虫效果非常好（Menossi *et al.*，2021；Devrnja *et al.*，2022）。植物精油成分多样，因此发挥效果的主要物质众多，可有效防止害虫产生抗药性，有效物质又易被环境分解无残留。因获取量不高，植物精油提取过程中需要大量的植物原料，因此需要选择易种植、好获取、产量大的原材料植物。马缨丹 *Lantana camara* 和南美蟛蜞菊 *Wedelia trilobata* 被世界自然保护联盟 IUCN 列为世界上“100种最严重的入侵生物”之一（Gloria *et al.*，2014），破坏生态系统造成经济损失（林英等，2008）。南美蟛蜞菊由于其适应性强、繁殖速度快、且化感作用强烈，能够抑制其他物种的生长从而形成单优群落，导致作物减产（肖雨沙等，2021），但目前没有比较高效的防治方法。两种入侵植物具有材料获取容易、量大的特点，可以满足精油制备期间需要大量植物原材料的需求。因此，选取两种入侵物种作为精油原料，不仅可探求两种入侵植物的无害化处理方法，还能减轻印度谷螟带来的危害。

本试验通过研究两种外来入侵植物马缨丹和南美蟛蜞菊植物精油对印度谷螟幼虫的杀虫和驱避及成虫的熏蒸作用，探明其作用效果，为仓储害虫印度谷螟的防治提供“以草治虫”新方法，同时为两种外来入侵植物用途提供新途径。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试虫源

印度谷螟虫源：印度谷螟虫源为广东省科学院动物研究所生物入侵与生态安全实验室人工饲养，现已饲养6代。

饲养方法：饲养条件为温度27~29℃，相对湿度45%~55%，24 h人工气候箱光照周期为L∶D=0∶24中，使用人工饲料进行饲养，饲料配比采用麦麸（麦麸使用前放入高压灭菌锅中进行灭菌2 h）、干酵母、甘油和蜂蜜、维生素液，按重量称量，依次放入麦麸中搅拌混匀（郭文超等，2018），最后分装于密封袋中冰箱低温储藏待用。

1.1.2 植物精油来源

南美蟛蜞菊采摘于广东省科学院动物研究所第二门岗处（23.095994 N，113.289181 E），采集时间为11月–12月，采集部位为植物地上部分。

马缨丹精油购买于芳觉旗舰店，产地马达加斯加，采集地上叶部进行制备。

1.2 方法

1.2.1 南美蟛蜞菊植物精油制备

采用水蒸气蒸馏法（邓业成等，2014）提取：采集南美蟛蜞菊地上部分，室内自然风干后在45℃恒温鼓风干燥箱中烘至植物发脆，用中药粉碎机粉碎。称取植物干粉置于圆底烧瓶中，按质量体积比1∶3加入无菌水，用挥发油提取装置提取植物精油。提取结束后，用滴管吸出精油置于小瓶中，用无水硫酸镁进行脱水，将上层精油收集于棕色玻璃瓶中，置4℃冰箱保存备用。

1.2.2 精油对印度谷螟幼虫的杀虫作用

采用浸渍法测定两种植物次生代谢物质对印度谷螟幼虫的杀虫作用（王宏喜，2017）。用50%丙酮将马缨丹精油稀释到30、25、20、10、5、2.5 μL/mL；南美蟛蜞菊精油稀释30、25、20、10、5、2.5 μL/mL待用，用50%丙酮有机溶剂作为对照组。各取10 mL，放在培养皿中，选取健康的4龄幼虫，采用浸渍法（每个浓度5个重复，每个重复挑取健康4龄幼虫30头），将幼虫浸渍5 s后拿出，放在培养皿中，放置在人工气候箱内正常饲养（24 h黑暗；温度27~29℃；相对湿度45%~55%）。24 h、48 h、72 h、96 h记录幼虫死亡头数，以各时段印度谷螟的死亡率及校正死亡率作为评价指标。

死亡率（%）=（死亡虫数/供试总虫数）×100

校正死亡率（%）=[（处理组死亡率–对照组死亡率）/（1–对照组死亡率）]×100

1.2.3 精油对印度谷螟幼虫的驱避作用

采用滤纸药膜法测定马缨丹和南美蟛蜞菊对印度谷螟幼虫的驱避作用（Tapondjou *et al.*，2002）。将直径为9 cm的圆形滤纸对等裁成两半，用移液枪吸取500 μL精油丙酮稀释液（根据预试验设定为5个含量：40、20、10、5、2.5 μL/mL）滴到其中一半滤纸上，另一半用等量50%丙酮作为对照，自然晾干，用固体胶将滤纸黏贴在培养皿的底部，将30头印度谷螟4龄幼虫放置在培养皿中间，放置在人工气候箱内正常饲养（24 h黑暗；温度27~29℃；相对湿度45%~55%），2 h后观察处理和对照滤纸上印度谷螟的虫数，记录观察数据，观察后用毛笔将印度谷螟拨动到培养皿中央，同批幼虫每间隔2 h以后观察1次，每个精油的处理重复5次，按照公式计算印度谷螟幼虫的驱避率及植物的驱避活性。

幼虫驱避率（%）=（对照部分虫数–处理部分虫数）/总虫数×100

驱避活性按照驱避率大小划分为6个等级，分别为0级（无驱避率）、I级（驱避率0.1%～20%）、II级（驱避率20.1%~40%）、Ⅲ级（驱避率40.1%~60%）、IV级（驱避率60.1%~80%）、V级（驱避率80.1%~100%）（Jilani *et al.*，1983）。

1.2.4 精油对印度谷螟成虫的熏蒸作用

采用密闭容器熏蒸法：取250 mL具塞三角瓶1个，在瓶中放人30头羽化2~3 d的成虫（袁海滨等，2017）。将大头针穿过4 cm × 1 cm的长方形滤纸条，使滤纸片固定在大头针有针帽的一端，大头针针尖一端插人橡胶瓶塞的下端固定。在滤纸片上滴加一定量的精油，并立即盖上瓶塞，使滤纸片悬挂于三角瓶的中央，滤纸条不与三角瓶内壁接触。每种精油设置5个剂量处理，每处理重复3次，以不滴加精油为对照。试虫放置于（30 ± 1）℃，RH （75 ± 5）%、24 h黑暗的恒温培养箱内，处理后48 h检查记录试虫的死亡数。

死亡率（%）=（死亡虫数/供试总虫数）×100

校正死亡率（%）=[（处理组死亡率–对照组死亡率）/（1–对照组死亡率）]×100

1.3 数据分析

根据试验的设计方法和统计分析原理，利用Excel和SPSS 26统计分析软件对所得的结果进行统计分析。用Probit机率值分析法对数据进行回归分析求出LC_{50}，采用单因素Duncan氏新复极差法检验法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 两种植物精油对印度谷螟幼虫杀虫效果

不同浓度南美蟛蜞菊精油对印度谷螟幼虫杀虫效果不同，相同浓度下杀虫效果随着时间增加而增加。相同处理时间下，植物精油的浓度越高杀虫效果越好。南美蟛蜞菊精油效果最好的是浓度为30 μL/mL，处理96 h校正死亡率为74.64%，死亡率为80%。效果最不明显是浓度为2.5 μL/mL处理时间为24 h下校正死亡率仅为4.58%。在南美蟛蜞菊精油相同处理时间不同浓度下，高浓度比低浓度杀虫效果显著，在2.5 μL/mL和5 μL/mL不同浓度在48 h至96 h期间无显著性差异（表1）。

表1 不同浓度南美蟛蜞菊精油对印度谷螟幼虫杀虫效果

Table 1 Insecticidal effects of *Wedelia trilobata* essential oil at different concentrations against *Plodia interpunctella* larvae

浓度（μL/mL）Concentration	24 h死亡率 24 h mortality rate	24 h校正死亡率 24 h corrected mortality rate	48 h死亡率 48 h mortality rate	48 h校正死亡率 48 h corrected mortality rate	72 h死亡率 72 h mortality rate	72 h校正死亡率 72 h corrected mortality rate	96 h死亡率 96 h mortality rate	96 h校正死亡率 96 h corrected mortality rate
30	27.78 ± 1.11 a	25.27 ± 1.17 A	31.11 ± 1.11 a	26.10 ± 2.59 A	56.67 ± 1.93 a	50.55 ± 2.74 A	80.00 ± 0.00 a	74.64 ± 0.36 A
25	21.11 ± 1.11 b	18.41 ± 1.14 B	27.78 ± 1.11 b	22.57 ± 2.02 AB	41.11 ± 1.11 b	32.76 ± 1.96 B	65.56 ± 2.94 b	56.42 ± 3.29 B
20	16.67 ± 0.00 c	13.75 ± 0.00 C	24.44 ± 1.11 c	19.00 ± 0.86 BC	30.00 ± 1.93 c	20.21 ± 2.45 C	54.44 ± 2.22 c	42.16 ± 3.68 C
10	13.33 ± 0.00 d	10.34 ± 0.00 D	18.89 ± 1.11 d	13.10 ± 1.00 CD	25.56 ± 1.11 cd	15.15 ± 0.19 CD	42.22 ± 1.11 d	26.68 ± 2.45 D
5	12.22 ± 1.11 d	9.20 ± 1.14 D	16.67 ± 0.00 d	10.67 ± 1.85 DE	21.11 ± 2.22 de	10.16 ± 1.37 DE	37.78 ± 1.11 de	21.15 ± 0.31 DE
2.5	7.78 ± 1.11 e	4.58 ± 1.17 E	12.22 ± 1.11 e	5.84 ± 3.06 E	17.78 ± 1.11 e	6.34 ± 1.23 E	34.44 ± 1.11 e	16.84 ± 2.25 E
CK	3.33 ± 0.00		6.67 ± 1.93		12.22 ± 1.11		17.11 ± 1.11	

注：表中数据为平均数±标准误。同列数据后不同小写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在同一时间不同浓度$P<0.05$水平差异显著。同列数据后不同大写字母表示经Duncan氏新复极差法检验在相同时间不同浓度下在$P<0.05$水平差异显著，下同。Note: Data in the table were presented as mean ± standard error. Different lowercase letters in the same column of data indicated significant differences in $P<0.05$ levels among different concentrations at the same time, as tested by Duncan′s new complex range method. Different uppercase letters in the same column of data indicated significant differences at the $P<0.05$ level at the same time and among different concentrations, as tested by Duncan′s new complex range method. .The same conventions apply to the following tables.

随时间的增加，马缨丹精油杀虫效果也随着增强，在同浓度下，96 h与其他处理时间差异显著，在相同时间下，浓度30 μL/mL时与其他浓度有明显差异。马缨丹精在30 μL/mL处理时间为96 h下校正死亡率为89.13%，死亡率为92.22%。在2.5 μL/mL处理时间为24 h下校正死亡率为5.76%，死亡率为8.89%。2种植物精油相同浓度相同处理时间杀虫效果对比下，马缨丹精油杀虫效果更好，在相同浓度下处理时间为96 h下校正死亡率为89.13%，大于南美蟛蜞菊植物精油杀虫效果74.64%（表2）。

表2 不同浓度马缨丹精油对印度谷螟幼虫杀虫效果

Table 2 Insecticidal effects of *Lantana camara* essential oil at different concentrations against *Plodia interpunctella* larvae

浓度（μL/mL）Concentration	24 h死亡率 24 h mortality rate	24 h校正死亡率 24 h corrected mortality rate	48 h死亡率 48 h mortality rate	48 h校正死亡率 48 h corrected mortality rate	72 h死亡率 72 h mortality rate	72 h校正死亡率 72 h corrected mortality rate	96 h死亡率 96 h mortality rate	96 h校正死亡率 96 h corrected mortality rate
30	40.00 ± 0.00 a	38.14 ± 0.00 A	51.11 ± 3.33 a	47.40 ± 3.80 A	74.44 ± 1.11 a	70.80 ± 1.60 A	92.22 ± 1.11 a	89.13 ± 1.32 A
25	32.22 ± 1.11 b	29.88 ± 1.14 B	41.11 ± 1.11 b	36.88 ± 0.66 B	60.00 ± 1.925 b	54.34 ± 2.69 B	78.89 ± 1.11 b	73.16 ± 1.84 B
20	24.44 ± 2.22 c	21.20 ± 1.86 C	26.67 ± 3.84 c	27.97 ± 2.08 C	51.11 ± 2.22 c	46.14 ± 0.00 C	67.78 ± 1.11 c	59.13 ± 0.88 C
10	18.89 ± 1.93 d	16.05 ± 1.17 D	23.33 ± 1.93 c	19.29 ± 3.37 D	41.11 ± 4.01 d	36.14 ± 1.49 D	55.56 ± 2.94 d	43.64 ± 3.61 D
5	14.44 ± 1.11 e	11.44 ± 1.13 E	18.89 ± 2.94 cd	13.10 ± 2.40 D	30.00 ± 3.33 d	20.31 ± 2.76 E	45.56 ± 2.94 e	32.43 ± 3.80 E
2.5	8.89 ± 1.11 f	5.76 ± 1.15 F	12.22 ± 1.11 d	4.75 ± 1.08 E	21.11 ± 2.94 e	10.13 ± 2.61 F	34.44 ± 1.11 f	16.91 ± 0.28 F
CK	3.33 ± 0.00		6.67 ± 1.93		12.22 ± 1.11		17.11 ± 1.11	

在两种植物精油杀虫毒力回归方程中可观察到不同时间下的南美蟛蜞菊植物精油的LC_{50}均高于马缨丹植物精油的LC_{50}，在时间为24 h处理下，南美蟛蜞菊精油LC_{50}为369.735 μL/mL，马缨丹精油的LC_{50}为83.515 μL/mL。南美蟛蜞菊植物精油LC_{50}是马缨丹植物精油LC_{50}的4倍。在96 h处理下2种植物精油LC_{50}最小，南美蟛蜞菊精油LC_{50}为9.596 μL/mL，马缨丹植物精油LC_{50}为6.062 μL/mL，表明马缨丹植物精油对印度谷螟幼虫杀虫的毒力强度要强于南美蟛蜞菊植物精油的毒性（表3）。

表3 马缨丹、南美蟛蜞菊两种植物精油杀虫毒力回归方程及LC_{50}

Table 3 Regression equations of insecticidal toxicity and LC_{50} of the essential oils of two plants, *Lantana camara* and *Wedelia trilobata*

精油名称 Essential oil name	处理时间（h）Expoesd time	毒力回归方程 Virulence regression equation	斜率 ± 标准误 Slope ± SE	LC_{50}（μL/mL）	卡方值（df=28） χ^2
马缨丹 *Lantana camara*	24	y=0.921x−1.771	0.921 ± 0.133	83.515	6.171
	48	y=0.951x−1.608	0.951 ± 0.125	49.178	14.06
	72	y=1.115x−1.284	1.115 ± 0.115	14.171	13.517
	96	y=1.320x−1.033	1.320 ± 0.116	6.062	19.960
南美蟛蜞菊 *Wedelia trilobata*	24	y=0.662x−1.699	0.662 ± 0.179	369.735	2.786
	48	y=0.586x−1.411	0.586 ± 0.163	254.779	3.467
	72	y=0.865x−1.399	0.865 ± 0.153	41.426	11.005
	96	y=0.970x−0.952	0.970 ± 0.144	9.596	13.389

2.2 两种植物精油对印度谷螟幼虫驱避作用

马缨丹精油在80 μL/mL浓度下2 h处理中驱避率最高，为73.330%，驱避等级为Ⅳ级。在10 μL/mL浓度下12 h处理中驱避率最低，为5.066%，驱避等级为Ⅰ级。驱避率随着时间的增加逐渐降低。在南美蟛蜞菊植物精油驱避作用中，可观察到在浓度为80 μL/mL处理时间为2 h下，南美蟛蜞菊植物精油驱避率最高，为83.996%，驱避等级为Ⅴ级。在浓度为10 μL/mL处理时间为12 h下驱避率最低为0%，驱避等级为0级。南美蟛蜞菊植物精油驱避效果比马缨丹精油驱避效果明显。两种植物精油在高浓度处理2 h观察下驱避率最强，随着浓度降低与时间增加，驱避率降低（表4，表5）。导致这种现象发生可能是精油有效物质挥发造成的，同时另一方面不同个体对植物精油有效驱避物质适应性在增强。

表4 马缨丹植物精油驱避率（%）

Table 4 Repellency rate (%) of *Lantana camara* essential oil

处理时间（h）Concentration processing time	不同浓度下驱避率与驱避等级（μL/mL）Repellency rates and repellency grades at different concentrations				
	80	60	40	20	10
2	73.330 ± 4.716 aA（Ⅳ）	66.662 ± 4.712 aA（Ⅳ）	47.996 ± 9.890 aB（Ⅲ）	23.996 ± 3.648 aC（Ⅱ）	13.066 ± 7.002 aD（Ⅰ）
4	71.996 ± 5.580 aA（Ⅳ）	61.330 ± 5.576 abB（Ⅳ）	39.996 ± 9.427 aC（Ⅱ）	19.998 ± 4.712 abD（Ⅰ）	13.066 ± 7.001 aD（Ⅰ）
6	70.662 ± 3.653 abA（Ⅳ）	57.330 ± 5.961 bcB（Ⅲ）	35.996 ± 11.157 abC（Ⅱ）	18.664 ± 5.577 abD（Ⅰ）	13.066 ± 7.001 aD（Ⅰ）
8	69.330 ± 5.961 abcA（Ⅳ）	54.664 ± 5.580 cB（Ⅲ）	33.330 ± 10.539 bC（Ⅱ）	15.998 ± 3.653 bcC（Ⅰ）	10.532 ± 7.693 abC（Ⅰ）
10	65.328 ± 2.978 bcA（Ⅳ）	47.994 ± 2.982 dB（Ⅲ）	33.330 ± 10.539 bC（Ⅱ）	15.332 ± 3.653 bcD（Ⅰ）	7.732 ± 5.666 bcE（Ⅰ）
12	63.996 ± 3.647 cA（Ⅳ）	47.994 ± 2.982 dB（Ⅲ）	15.998 ± 3.653 cC（Ⅰ）	13.198 ± 4.953 cD（Ⅰ）	5.066 ± 5.508 cE（Ⅰ）

表5 南美蟛蜞菊植物精油驱避率（%）

Table 5 Repellency rate (%) of *Wedelia trilobata* essential oil

处理时间（h）Concentration processing time	不同浓度下驱避率与驱避等级（μL/mL）Repellency rates and repellency grades at different concentrations				
	80	60	40	20	10
2	83.996 ± 3.647 aA（Ⅴ）	71.996 ± 5.580 aB（Ⅳ）	63.998 ± 4.110 aB（Ⅳ）	41.330 ± 8.691 aC（Ⅲ）	13.064 ± 8.437 aD（Ⅰ）
4	81.332 ± 2.978 abA（Ⅴ）	71.996 ± 5.580 aA（Ⅳ）	57.330 ± 8.827 aB（Ⅲ）	33.330 ± 4.716 bC（Ⅱ）	9.066 ± 7.725 aD（Ⅰ）
6	77.332 ± 3.653 bcA（Ⅳ）	69.328 ± 3.653 aA（Ⅳ）	54.662 ± 5.955 aB（Ⅲ）	27.996 ± 5.576 bcC（Ⅱ）	7.866 ± 8.722 aD（Ⅰ）
8	74.664 ± 2.982 cdA（Ⅳ）	63.996 ± 2.978 abB（Ⅳ）	53.328 ± 5.548 abC（Ⅲ）	23.998 ± 5.960 cD（Ⅱ）	2.400 ± 3.286 bE（Ⅰ）
10	71.996 ± 2.982 dA（Ⅳ）	61.330 ± 5.575 bB（Ⅳ）	47.996 ± 4.576 bC（Ⅲ）	19.998 ± 4.712 cD（Ⅰ）	1.200 ± 2.683 bE（Ⅰ）
12	71.996 ± 2.982 dA（Ⅳ）	59.996 ± 6.665 bB（Ⅲ）	42.664 ± 4.716 bC（Ⅲ）	19.998 ± 4.712 cD（Ⅰ）	0 bE（0）

2.3 两种植物精油对印度谷螟成虫熏蒸作用

在两种植物精油熏蒸毒力回归方程中可观察到不同时间下的南美蟛蜞菊植物精油的LC_{50}均高于马缨丹植物精油的LC_{50}（表6，表7），在时间为12 h处理下，南美蟛蜞菊精油LC_{50}最大，是马缨丹精油熏蒸LC_{50}的大于15倍。在84 h处理下，两种植物精油LC_{50}最小，南美蟛蜞菊精油熏蒸印度谷螟成虫LC_{50}为0.71 μL/mL，马缨丹植物精油熏蒸印度谷螟成虫LC_{50}为0.617 μL/mL，南美蟛蜞菊精油LC_{50}为马缨丹精油LC_{50}的一倍多。说明南美蟛蜞菊植物精油熏蒸效果没有马缨丹植物精油熏蒸效果强，马缨丹植物精油对印度谷螟成虫的毒性更强。

表6 南美蟛蜞菊植物精油对印度谷螟成虫熏蒸毒力回归方程及LC_{50}

Table 6 Regression equation of fumigation toxicity and LC_{50} of *Wedelia trilobata* essential oil against the adults of *Plodia interpunctella*

处理时间（h） Expoesd time	毒力回归方程 Virulence regression equation	LC_{50}（μL/mL）	LC_{50}（95%置信限度） 95% confidence limit	χ^2
12	y=0.853x−2.017	231.592	41.198~311.624	6.367
24	y=1.681x−1.881	13.165	10.141~20.897	3.103
36	y=2.006x−1.651	6.651	5.770~7.916	5.080
48	y=3.060x−1.606	3.349	2.962~3.715	6.141
60	y=3.474x−1.424	2.570	2.225~2.872	6.529
72	y=3.813x−0.986	1.814	1.395~2.123	5.504
84	y=2.000x+0.297	0.710	0.042~1.394	21.151

表7 马缨丹植物精油对印度谷螟成虫熏蒸毒力回归方程及LC_{50}

Table 7 Regression equation of fumigation toxicity and LC_{50} of *Lantana camara* essential oil against the adults of *Plodia interpunctella*

处理时间（h） Expoesd time	毒力回归方程 Virulence regression equation	LC_{50}（μL/mL）	LC_{50}（95%置信限度） 95% confidence limit	χ^2
12	y=1.676x−1.961	14.788	11.104~24.93	8.837
24	y=1.819x−1.581	7.400	6.293~9.212	4.250
36	y=1.824x−1.156	4.301	3.621~5.007	6.877
48	y=2.708x−1.156	2.672	2.234~3.05	15.172
60	y=2.429x−0.567	1.711	1.180~2.134	15.342
72	y=2.331x−0.022	1.022	0.436~1.5	5.065
84	y=2.535x+0.532	0.617	0.018~1.218	5.693

3 结论与讨论

植物精油作为植物重要的次生代谢物质有着非常好的应用前景，植物精油对环境友好，与传统化学农药相比对人畜危害较小，同时不同方面有着多种用途。马缨丹花序能引诱中华微刺盲蝽*Campylomma chinensis* Schuh成虫，故将马缨丹用作诱杀剂（吴伟坚等，2005）；田耀加等（2010）发现马缨丹乳油对黄曲条跳甲*Phyloter stroiata*成虫有拒食活性；有研究表明牛粪、蚯蚓粪与马缨丹进行堆肥对种子生长发育更好，可以当做一种很好的生物肥料（Hussain *et al.*，2021）。也有科研人员对南美蟛蜞菊的其他用途进行研究，邓业成等研究表明南美蟛蜞菊精油对绿豆象*Callosobruchus chinensis*熏蒸毒力高（邓业成等，2014）；有研究证明南美蟛蜞菊对重金属污染的植物有修复功效（Pham *et al.*，2023）；更有研究表明南美蟛蜞菊有作为商业抗老剂的潜力（孙见凡等，2013）；南美蟛蜞菊对多种农作物都有化感作

用（欧少云，2011；许华等，2011；朱慧等，2012）。随着人们对植物精油用途的探索，很多科研人员将植物精油用于防治仓储害虫方面，并有显著的效果。张海燕等（2005）发现黄樟油、互叶白千层油和山苍子油对玉米象*Sitophilus Zeamais*的种群具有明显抑制作用。郑素慧等（2016）在研究中发现几种精油对印度谷螟羽化率具有抑制作用；熊李波（2018）的研究表明精油最佳比混合作用对印度谷螟的防治效果最优；胡恒志等（2022）报导薰衣草精油对印度谷螟幼虫的杀虫和驱避作用在高浓度时显著高于罗勒精油。正因植物精油的杀虫活性，国外已开发出系列植物精油农药应用于温室作物病虫害和动物体表寄生虫的防治（Isman，2000）。

本研究发现，两种外来入侵植物马缨丹和南美蟛蜞菊对印度谷螟幼虫的杀虫、驱避及成虫熏蒸有一定杀虫作用，在24、48、72、96 h时，经过马缨丹和南美蟛蜞菊两种植物精油对印度谷螟的杀虫处理，印度谷螟幼虫杀虫校正死亡率与两种植物精油处理的时间与浓度成正比，浓度和处理时间是影响杀虫死亡率的两种主要因素。在处理时间为96 h时马缨丹精油LC_{50}最小为6.062 μL/mL，南美蟛蜞菊精油LC_{50}最小为9.596 μL/mL，马缨丹植物精油的杀虫毒力强于南美蟛蜞菊精油毒力。在2、4、6、8、10、12 h下的驱避处理中，南美蟛蜞菊的驱避效果更好，但在浓度为10 μL/mL下，12 h的南美蟛蜞菊植物精油驱避率为0，导致这种原因可能是印度谷螟幼虫对南美蟛蜞菊精油的适应性变强，幼虫对南美蟛蜞菊精油不敏感。两种植物精油熏蒸作用来看，马缨丹植物精油效果仍好于南美蟛蜞菊植物精油效果，在熏蒸处理中，时间相同的情况下，马缨丹精油的LC_{50}值均低于南美蟛蜞菊植物精油的LC_{50}的值，表明马缨丹精油熏蒸毒力强于南美蟛蜞菊植物精油的熏蒸毒力。南美蟛蜞菊精油与马缨丹精油相比，杀虫效果和熏蒸作用不强，但驱避效果较强，有效成分残留时间较短。两种植物精油的熏蒸效果对比来看，马缨丹的熏蒸两种植物精油对印度谷螟幼虫的驱避、杀虫及熏蒸作用受精油自身浓度与处理时间影响，相同浓度下随着时间的增加杀虫效果增强，表明印度谷螟幼虫自身对精油有一定的抵抗能力，但在时间增加的情况下最后抵抗能力失效致死。本研究结果表明两种植物精油有着良好的应用前景。马缨丹和南美蟛蜞菊是中国外来入侵生物在我国内有广泛的适生区（刘勇涛等，2013；唐自豪，2021），使这两种入侵植物制成植物精油等相关农药产品成本较低并有利控制两种入侵植物的危害，做到“以草治虫”，起到一举两得的效果。本研究结果虽表明两种植物精油具有一定的实际应用价值，但还需进行针对性的深入研究，植物精油是多种化学物质的混合物，其中多种物质发挥作用，后续可以考虑多种入侵植物精油主要成分对印度谷螟的影响，进一步深入分析植物精油主要成分有哪些，其中又有那些可以起到杀虫作用的物质，以及研究植物精油有效物质不同浓度配比的效果，筛选最高效杀虫配比，进而应用于生产实际当中。

参考文献（References）

Ahmed SS, Hashem MY. Susceptibility of different life stages of Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hübner) and almond moth *Ephestia cautella* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae) to modified atmospheres enriched with carbon dioxide [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2012, 51: 49–55.

Deng YC, Li RY, Yang LL, *et al*. The insecticidal activity and chemical composition of Solidago and Canada [J]. *Journal of Guangxi Normal University* (Natural Science Edition), 2014, 32 (2): 122–129. [邓业成, 李瑞钰, 杨林林, 等. 加拿大一枝黄花和南美蟛蜞菊精油的杀虫活性及化学成分 [J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2014, 32 (2): 122–129]

Devrnja N, Milutinović M, Savić J. When scent becomes a weapon–plant essential oils as potent bioinsecticides [J]. *Sustainability*, 2022, 14 (11): 6847–6847.

George NM, Sanower W. *Habrobracon hebetor* and pteromalus cerealellae as tools in post–harvest integrated pest management [J]. *Insects*, 2019, 10 (4): 85–85.

Gerken AR, Dryer D, Abts SR, *et al*. Behavioral response of unmated female *Plodia interpunctella* Hübner (Lepidoptera: Pyralidae) to synthetic sex pheromone lure [J]. *Environmental Entomology*, 2022, 51 (6): 1200–1209.

Guo WC, Ding XH, Han S, *et al*. Artificial feed for *Plodia interpunctella* and its preparation method: CN104905064B [P]. Xinjiang Uygur Autonomous Region, 2018–01–30. [郭文超, 丁新华, 韩盛, 等. 印度谷螟人工饲料及其制备方法: CN104905064B [P]. 新疆维吾尔自治区, 2018–01–30]

Hassan RS, Mahmoud EA, Sileem TM, *et al*. Evaluation of fast neutron irradiation as a new control method against the Indian meal borer, *Plodia interpunctella* (Hübner) [J]. *Journal of Radiation Research*

and Applied Sciences, 2019, 12 (1): 24–30.

Hu HZ, Niu P, Liu J, *et al*. Bioactivities of the essential oils of lavender and basil against the larvae of *Plodia interpunctella* [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2022, 30 (6): 190–197. [胡恒志, 牛平, 刘娟, 等. 两种植物精油对印度谷螟的熏蒸活性研究 [J]. 粮油食品科技, 2022, 30 (6): 190–197]

Hussain N, Tabassum A, Abbasi T, *et al*. A comparative study of the Fertilizer–Cum–Pesticide effect of vermicomposts derived from cowdung and the toxic weed *Lantana* [J]. *Agriculture*, 2021, 11 (12): 1263–1263.

Isman MB. Plant essential oils for pest and disease management [J]. *Crop Protection*, 2000, 19: 603–608.

IUCN, 2000. 100 of the world′s worst invasive alien species, a selection from the global invasive species database. ISSG.

Jilani G, Su HCF. Laboratory studies on several plant materials as insect repellants for protection of cereal grains [J]. *Journal of Economic Entomology*, 1983, 76 (1): 154–157.

Kishanr S, Thomasw P. Responses of adult *Plodia interpunctella* (Hübner) (Lepidoptera: Pyralidae) to light and combinations of attractants and light [J]. *Journal of Insect Behavior*, 2008, 21 (5): 422–439.

Liu YT, Dai ZC, Xue Y, *et al*. Prediction of suitable area of an alien invasive species (*Wedelia trilobata*) in China [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2013, 40 (14): 174–178. [刘勇涛, 戴志聪, 薛永来, 等. 外来入侵植物南美蟛蜞菊在中国的适生区预测 [J]. 广东农业科学, 2013, 40 (14): 174–178]

Menossi M, Ollier RP, Casalongue CA, *et al*. Essential oilloaded bio–nanomaterials for sustainable agricultural applications [J]. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2021, 96: 2109–2122.

Ou SY. The lnfluence of Ethanol extracts from *Wedelia trilobata* (L.) *A.S. Hitche* hairy roots on seed germination [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29 (24): 58–61. [欧少云. 南美蟛蜞菊毛状根乙醇提取液对种子萌发的影响 [J]. 中国农学通报, 2013, 29 (24): 58–61]

Pham DT, Huynh QC, Lieu R, *et al*. Controlled–Release *Wedelia trilobata* L. flower extract loaded fibroin microparticles as potential anti–aging preparations for cosmetic trade commercialization [J]. *Clinical Cosmetic and Investigational Dermatology*, 2023, 16: 1109–1121.

Sun JF, Wu Y, Wu PF, *et al*. Allelopathic effect of alcohol extracts from different tissues of *Wedelia trilobata* L [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2013, 40 (23): 74–78. [孙见凡, 吴易, 吴鹏飞, 等. 入侵植物南美蟛蜞菊不同组织部位浸提物的化感作用研究 [J]. 广东农业科学, 2013, 40 (23): 74–78]

Tang ZH.To predicted the potential geographical distribution of *Lantana* in China based on the Maxent niche model [J]. *Shanxi Agricultural Economy*, 2021, 9: 121–123. [唐自豪. 基于Maxent生态位模型预测马缨丹在中国的潜在地理分布 [J]. 山西农经, 2021, 9: 121–123]

Tapondjou LA, Adler C, Bouda H, *et al*. Efficacy of powder and essential oil from *Chenopodium ambrosioides* leaves as post–harvest grain protectants against six–stored product beetles [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2002, 38 (4): 395–402.

Tian YJ, Zhang MX, Zeng L, *et al*. Feeding–deterrent activity of *Lantana camara* EC and its mixtures against *Phyllotreta striolata* [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29 (5): 973–977. [田耀加, 张茂新, 曾玲, 等. 马缨丹乳油及其混剂对黄曲条跳甲的拒食活性 [J]. 生态学杂志, 2010, 29 (5): 973–977]

Wang HX. Toxic effect of Mongolian almond leaf boiled ointment on diamondback moth larvae [J]. *Inner Mongolia Forestry Investigation and Desig*n, 2017, 40 (5): 74–75. [王宏喜. 蒙古扁桃叶水煮膏对小菜蛾幼虫的毒杀作用 [J]. 内蒙古林业调查设计, 2017, 40 (5): 74–75]

Wu HX, Fang P, Zhang WH, *et al*. Chemical composition and its antibacterial activity of volatile oil from the flowers of *Wedelia trilobata* [J]. *Forest Pest and Disease*, 2018, 37 (1): 6–10, 38. [伍慧雄, 方萍, 张伟豪, 等. 南美蟛蜞菊花挥发油化学成分分析及其抗细菌活性 [J]. 中国森林病虫, 2018, 37 (1): 6–10, 38]

Wu WJ, Gao ZZ, Yu JY, *et al*. Roles of olfaction and vision in orientation behavior of adult *Campylomma chinensis* Schuh (Hemiptera: Miridae) toward *Lantana* plants (Verbanaceae) [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 7: 1322–1325. [吴伟坚, 高泽正, 余金咏, 等. 嗅觉和视觉在中华微刺盲蝽对马缨丹定向行为中的作用 [J]. 应用生态学报, 2005, 7: 1322–1325]

Xiong LB. The Prevention and Control Effect of Cumin, Pepper and Mustard Seed Mixed Essential Oils on Storage of *Codonopsis pilosula* and Indian Meal Borer and its Partial Mechanism [D]. Gansu Agricultural University, 2018: 25. [熊李波. 孜然、花椒、芥子混合精油对仓储党参扩展青霉和印度谷螟的防控效果及部分机理 [D]. 甘肃农业大学, 2018: 25]

Xu H, Wei YK, Jiang MJ, *et al*. Responses of two herbaceous plants to allelochemicals stress in *Wedelia trilobata* [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27 (28): 158–162. [许华, 魏宇昆, 蒋梦娇, 等. 2种草本植物对三裂叶蟛蜞菊化感物质胁迫的响应 [J]. 中国农学通报, 2011, 27 (28): 158–162]

Yu HB, Li YS, Zhao XY, *et al*. Fumigant activity and repellent efect of three kinds of essential oil against *Callosobruchus chinensis* (Linnaeus) adults [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2017, 39 (1): 28–31. [袁海滨, 李玉双, 赵欣阳, 等. 3种植物精油对绿豆象成虫的熏蒸及驱避活性 [J]. 吉林农业大学学报, 2017, 39 (1): 28–31]

Zhang HY, Deng YX, Wang JJ. Population inhibition and repellent activity of 9 kinds of essential oils againstmaize weevil *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) [J]. *Journal of Plant Protection*, 2005, 32 (4): 435–436. [张海燕, 邓永学, 王进军. 9种植物精油对玉米象成虫驱避和种群抑制作用 [J]. 植物保护学报, 2005, 32 (4): 435–436]

Zheng HQ,Wei N,Wang LF, *et al*.Effects of *Lantana camara* leaf extract on the activity of *Superoxide dismutase* and accumulation of H_2O_2 in water hyacinth lea [J]. *Journal of Plant Physiology and*

Molecular Biology, 2006, 32 (2): 189−194. [郑慧琼, 魏宁, 王六发, 等. 马缨丹叶提取液对水葫芦叶片中超氧物歧化酶活性和过氧化氢积累的影响(英文) [J]. 植物生理与分子生物学学报, 2006, 2: 189−194]

Zheng SH, Han S, Xu B, *et al*. Research on the control effect of several control methods on *Plodia interpunctella* [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2016, 53 (5): 888−892. [郑素慧, 韩盛, 徐斌, 等. 几种防治方法对印度谷螟防治效果研究 [J]. 新疆农业科学, 2016, 53 (5): 888−892]

Zhu H, Wu ST. Impacts of *Wedelia trilobata* invasion on plant biodiversity and inhibitory effects of its root extract on test plants [J]. *Acta Agriculturae Boreali−occidentalis Sinica*, 2012, 21 (8): 38−44. [朱慧, 吴双桃. 三裂蟛蜞菊入侵对植物多样性的影响及其根提取物的抑草效应 [J]. 西北农业学报, 2012, 21 (8): 38−44]