DOI:10.11721/cqnuj20250410

黄花蒿和艾的挥发油对金针瘤蚜杀虫活性*

詹　丽，陈晓露，李春燕，梁　倩
(西南林业大学 生物与食品工程学院，昆明 650224)

摘要:为考察黄花蒿(*Artemisia annua*)和艾(*Artemisia argyi*)的挥发油对黄花菜(*Hemerocallis citrina*)害虫金针瘤蚜(*Myzus hemerocallis*)的杀虫活性，首先采用水蒸气蒸馏法提取这 2 种植物的挥发油，再分别通过密闭熏蒸法、微量点滴法与滤纸扩散法测定它们对金针瘤蚜的熏蒸、触杀与驱避活性，最后用气相色谱-质谱法分析它们的主要化学成分。结果显示:1) 在 24 h 内，黄花蒿挥发油对金针瘤蚜没有熏蒸活性，艾挥发油对金针瘤蚜熏蒸活性的半数致死剂量(LD_{50})为 3.14 mg·L^{-1}。2) 在 24 h 内，黄花蒿挥发油对金针瘤蚜的触杀活性优于艾挥发油，它们对金针瘤蚜触杀活性的 LD_{50} 分别为 0.58 和 2.46 μg·头$^{-1}$。3) 当使用剂量为 2.83 μg·cm^{-2} 且处理时间为 2 h 时，黄花蒿挥发油对金针瘤蚜的驱避率高于避蚊胺(阳性对照)；当使用剂量为 0.59 μg·cm^{-2} 且处理时间为 2 h 时，艾挥发油对对金针瘤蚜的驱避率高于避蚊胺；当使用剂量为 0.12、0.59 μg·cm^{-2} 且处理时间为 4 h 时，黄花蒿和艾的挥发油对金针瘤蚜的驱避率均高于避蚊胺。4) 黄花蒿和艾的挥发油主要化学成分中相对含量最高的化合物分别为石竹烯氧化物(15.93%)和桉叶油醇(14.68%)。上述研究结果可为黄花菜病虫害防治、黄花蒿和艾资源的综合开发利用以及新型植物源杀虫剂的创制提供理论依据和参考资料。

关键词:黄花蒿；艾；挥发油；金针瘤蚜；杀虫活性
中图分类号:Q175　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1672-6693(2025)04-0119-10

黄花菜(*Hemerocallis citrina*)为阿福花科(Asphodelaceae)萱草属(*Hemerocallis*)多年生草本植物[1]，是中国传统药食两用蔬菜，食用部位为花蕾，具有极高的营养及经济价值。目前在中国已形成了甘肃庆阳、陕西大荔、湖南祁东和邵东、山西大同、河南淮阳等多个黄花菜主产区，黄花菜种植业已成为了这些地区的标志性产业[2-3]。

金针瘤蚜(*Myzus hemerocallis*)为蚜科(Aphididae)瘤蚜属(*Myzus*)昆虫，危害折叶萱草(*Hemerocallis plicata*)、矮萱草(*Hemerocallis nana*)、多花萱草(*Hemerocallis multiflora*)、西南萱草(*Hemerocallis forrestii*)等萱草属植物[4]，也是黄花菜种植过程中常见的多发性害虫。金针瘤蚜虫体为灰白色，每年出现数代，世代重复。在每年 5 月中下旬，金针瘤蚜开始群集生长在黄花菜叶背，至 6 月中下旬扩散到黄花菜薹顶部且大量繁殖、数量急剧增加；进入 7 月后它所造成的虫害最为严重[5]。金针瘤蚜通过吸取黄花菜的花蕾汁液而引起花蕾发育不良、花朵枯萎凋谢[6]，在虫害重度发生时黄花菜的实际落蕾率甚至高达 94.78%，对黄花菜产业构成了严重威胁[7]。

当前在黄花菜的田间管理中主要使用吡虫啉等化学药剂来治理金针瘤蚜等害虫[8]。然而，化学药剂长期超范围超剂量使用可能导致害虫耐药性增强，并对农田环境造成污染，同时农产品中的药剂残留也对人类健康造成严重危害。因此，寻求和开发天然、无公害的新型植物源农药已成为了相关研发人员的研究热点。

植物挥发油是植物在与昆虫的共同演化过程中产生的一类脂溶性、低分子量次生代谢产物；它能够溶解昆虫外表的角质层并破坏细胞膜结构，由此增强杀虫剂渗透昆虫以及穿透昆虫气孔的能力，促进昆虫对杀虫剂的吸收，加快杀虫剂在昆虫体内的运输[9]，表现出抗菌、抗炎、抗氧化、驱虫、杀虫等复杂多样的生物活性[10]。因此，植物挥发油具有成为新型植物源杀虫剂的潜力，而具有该类物质的植物也得到了研究者们的广泛关注。

* **收稿日期**:2024-07-18　**修回日期**:2025-04-10　**网络出版时间**:2025-05-22T11:06
资助项目:国家自然科学基金地区科学基金项目(No. 32460704)；云南省农业基础研究联合专项面上项目(No. 202401BD070001-105)；浙江省尖兵领雁研发攻关计划项目(No. 2022C02023)；云南省教育厅科学研究基金项目(No. 2024Y578)
第一作者简介:詹丽，女，研究方向为植物多样性保护与利用，E-mail:2859202094@qq.com；**通信作者简介**:梁倩，女，副教授，博士，E-mail:liangqian533@163.com
网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/50.1165.N.20250507.1635.024

黄花蒿(*Artemisia annua*)是一年生草本植物,生于路旁、荒地、山坡、林缘等处,适应性强,在中国有广泛分布。黄花蒿所含青蒿素是抗疟疾的主要成分[11],而黄花蒿挥发油则对双斑萤叶甲(*Monolepta hieroglyphic*)有熏蒸活性[12],对烟草甲(*Lasioderma serricorne*)、赤拟谷盗(*Tribolium castaneum*)和四纹豆象(*Callosobruchus maculatus*)有驱避活性[13-14],对红火蚁(*Solenopsis invicta*)有驱避、熏蒸和触杀活性[15],对反吐丽蝇(*Calliphora vomitoria*)和绿豆象(*Callosobruchus chinensis*)有熏蒸、触杀活性[16-17],对桑螟(*Glyphodes pyloalis*)有胃毒、熏蒸活性[18]。

艾(*Artemisia argyi*)是多年生草本或半灌木植物,生长于荒地、路旁河边和山坡等地,分布范围广泛,除极端干燥的高寒地带以外,几乎遍布中国各地[19]。艾挥发油对中华按蚊(*Anopheles sinensis*)有熏蒸和驱避活性[20],对红火蚁和淡色库蚊(*Culex pipiens pallens*)有熏蒸活性[21-22],对朱砂叶螨[23]有熏蒸和触杀活性,对茶橙瘿螨(*Acaphylla theae*)有触杀和驱避活性[24],对小菜蛾(*Plutella xylostella*)[25]有胃毒活性。

目前关于黄花蒿和艾的挥发油对金针瘤蚜的生物活性研究甚为罕见,因此基于上述背景,本研究以黄花蒿和艾为原材料,考察了它们的挥发油对金针瘤蚜的熏蒸、触杀与驱避活性,以便为黄花菜病虫害防治、黄花蒿和艾资源的综合开发利用以及新型植物源杀虫剂的创制提供理论依据和参考资料。

1 材料与方法

1.1 材料来源与鉴定

分枝盛期的黄花蒿地上部分于2021年8月在云南省陇川县采集,成熟期艾地上部分于2021年9月在山东省临沂市采集,并通过了西南林业大学林学院杜凡教授的专业鉴定。供试金针瘤蚜从西南林业大学楸木园栽培的植物黄花菜植株上采集,并通过了西南林业大学生物多样性保护与利用学院钱昱含副教授的专业鉴定。

1.2 挥发油的提取

将黄花蒿或艾的样品剪碎,放入3 L圆底烧瓶中,加入适量蒸馏水,煮沸后用挥发油提取器提取5 h,收集油水混合物于-18 ℃冰箱内冷冻分离,得到挥发油,4 ℃保存备用。

1.3 挥发油的熏蒸活性测定

采用密闭熏蒸法[26]测定挥发油对金针瘤蚜熏蒸活性。首先将挥发油加入适量正己烷配制为一系列不同质量浓度梯度的挥发油溶液。然后用毛笔将无翅金针瘤蚜若虫刷入容积为25 mL的玻璃瓶中,每瓶放入10只。用固体胶将滤纸粘贴在瓶盖内,吸取10.0 μL一定质量浓度挥发油溶液(或作为对照的不含挥发油的正己烷)并均匀滴在滤纸上,待溶液挥发20 s后拧紧瓶盖,并在培养箱内培养。培养箱内温度为24~26 ℃,相对湿度为60%~70%,光周期设置为16 h光照∶8 h黑暗。在24 h后记录玻璃瓶中金针瘤蚜的死亡情况,并根据以下公式计算经挥发油溶液处理的金针瘤蚜死亡率(R_D)和校正死亡率(R_{AD}):

$$R_D=\frac{N}{N_t}\times 100\%,$$

$$R_{AD}=\frac{R_D-R_{DC}}{1-R_{DC}}\times 100\%,$$

其中:N、N_t分别为某一质量浓度挥发油溶液处理组中金针瘤蚜的死亡头数和总头数;R_{DC}为对照组金针瘤蚜死亡率,它的计算方法与R_D一致。最后根据R_{AD}计算挥发油的半数致死剂量(LD_{50},单位:mg·L^{-1}),以此衡量挥发油对金针瘤蚜熏蒸活性。各质量浓度挥发油溶液处理组重复上述试验5次。

1.4 挥发油的触杀活性测定

采用微量点滴法[27]测定挥发油对金针瘤蚜的触杀活性。首先参照1.3节配制挥发油溶液;再用微量进样器吸取0.50 μL一定质量浓度挥发油溶液(或作为对照的不含挥发油的正己烷)滴于金针瘤蚜的前胸背板上;然后将后者移至容积为25 mL的玻璃瓶内后盖紧瓶盖。各质量浓度挥发油溶液处理组含10只金针瘤蚜,且重复上述试验5次。本试验的培养条件和数据计算及处理方法同1.3节。

1.5 挥发油的驱避活性测定

采用滤纸扩散法[28]测定挥发油对金针瘤蚜的驱避活性。首先参照1.3节配制挥发油溶液,并以避蚊胺为阳性对照;然后将直径为90 mm的滤纸对称剪开,用固体胶将剪开后的滤纸分别粘贴在培养皿底部且不重合;用移液枪吸取300 μL的正己烷,均匀地滴在左边滤纸上作为阴性对照并做好标记,再分别吸取300 μL一定质量浓

度挥发油溶液（或避蚊胺）滴在右边滤纸上；待挥发油挥发 20 s 后，用毛笔将 10 只无翅金针瘤蚜刷在培养皿中央，再用保鲜膜包裹培养皿并用橡皮筋固定，然后用针在塑料薄膜上扎孔通气。各质量浓度挥发油溶液处理组重复上述试验 5 次。本试验的培养条件同 1.3 节。在培养历时 2、4 h 时分别记录左右两边滤纸上金针瘤蚜的分布情况，并根据以下公式计算出驱避率（R_R）：

$$R_R=\frac{N_A-N_B}{N_A+N_B}\times 100\%,$$

其中：N_A、N_B 分别表示滴加正己烷区域和滴加挥发油（或避蚊胺）区域内出现的金针瘤蚜头数。

1.6　挥发油的主要化学成分分析

首先，将已提取的 2 种植物挥发油分别用移液枪吸取 10.0 μL 放入样品瓶中，再分别加入 1.0 mL 正己烷，摇匀后即制成待测样品。然后，通过安捷伦 HP-7890B 型气相色谱-质谱（GC-MS）联用仪检测挥发油中的主要化学成分。

气相色谱条件如下：色谱柱为安捷伦 HP-5MS 型毛细管柱（长度：30 m，内径：0.25 mm，膜厚度：0.25 μm）；柱温设定为 50 ℃，进样口温度为 250 ℃，柱内载气为纯度不低于 99.999%的高纯度氦气，流速为 1 mL·min^{-1}；气相色谱升温程序条件为：首先从 50 ℃开始并持续 5 min，然后以 5 ℃·min^{-1} 的速率升至 250 ℃，最后在 250 ℃下持续 10 min；进样量为 1 μL；分流比为 50∶1。

质谱条件如下：电离方式为电子轰击离子源；电子能量为 70 eV；气质接口温度为 250 ℃；离子源温度为 230 ℃；四极杆温度为 150 ℃；采用 NIST 14.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。

1.7　数据分析

采用 Excel 2019 对实验数据进行整理，并以“平均值±标准误”形式表示。用 SPSS 23.0 软件就 2 种植物挥发油对金针瘤蚜的 24 h 杀虫活性差异进行统计分析，其中用 χ^2 检验考察熏蒸、触杀活性的差异，用单因素方差分析考察驱避活性的差异。当 $p<0.05$ 时，统计结果具有统计学意义。用 Origin 2021 软件绘图。

2　结果与分析

2.1　挥发油的熏蒸活性

表 1 显示：在 24 h 内，艾挥发油对金针瘤蚜的熏蒸活性较高（LD_{50} 为 3.14 mg·L^{-1}），而黄花蒿挥发油对金针瘤无熏蒸活性。

表 1　黄花蒿和艾的挥发油对金针瘤蚜的 24 h 熏蒸活性

Tab.1　The 24 hours fumigation toxicity of *A. annua* and *A. argyi* essential oils against *M. hemerocallis*

样品名称	LD_{50}/(mg·L^{-1})	95%置信区间/(mg·L^{-1})	斜率±标准误/(mg·L^{-1})	χ^2	p
黄花蒿挥发油	—	—	—	—	—
艾挥发油	3.14	0.43～171.86	0.25±0.03	7.59	0.11

2.2　挥发油的触杀活性

黄花蒿和艾挥发油在 24 h 内对金针瘤蚜均有一定的触杀活性，LD_{50} 分别为 0.58 和 2.46 μg·头$^{-1}$；黄花蒿挥发油与艾挥发油相比表现出更高的触杀活性（表 2）。

表 2　黄花蒿和艾挥发油对金针瘤蚜的 24 h 触杀活性

Tab.2　The 24 hours contact toxicity of *A. annua* and *A. argyi* essential oils against *M. hemerocallis*

样品名称	LD_{50}/(μg·头$^{-1}$)	95%置信区间/(μg·头$^{-1}$)	斜率±标准误差/(μg·头$^{-1}$)	χ^2	p
黄花蒿挥发油	0.58	0.23～11.18	0.39±0.04	62.90	<0.001
艾挥发油	2.46	0.27～248.77	0.59±0.05	39.22	<0.001

2.3　挥发油的驱避活性

由图 1a 可知：在使用剂量为 0.59 μg·cm^{-2}、处理时间为 2 h 时，艾挥发油对金针瘤蚜的驱避率最高

(38.00%),黄花蒿挥发油和避蚊胺的这一指标则均为20.00%;在使用剂量为2.83 μg·cm^{-2}、处理时间为2 h时,黄花蒿挥发油对金针瘤蚜的驱避率达到了52.00%,远高于避蚊胺对金针瘤蚜的驱避率(2.00%)。

由图1b可知:在使用剂量为0.12和0.59 μg·cm^{-2}、处理时间为4 h时,黄花蒿和艾挥发油对金针瘤蚜的驱避率均高于避蚊胺;在使用剂量为2.83 μg·cm^{-2}、处理时间为4 h时,黄花蒿挥发油和避蚊胺对金针瘤蚜的驱避率相同,均为10.00%。此外,在使用剂量为14.15和70.77 μg·cm^{-2}、处理时间为2 h或4 h时,黄花蒿和艾挥发油对金针瘤蚜的驱避率均低于避蚊胺(图1a、b)。

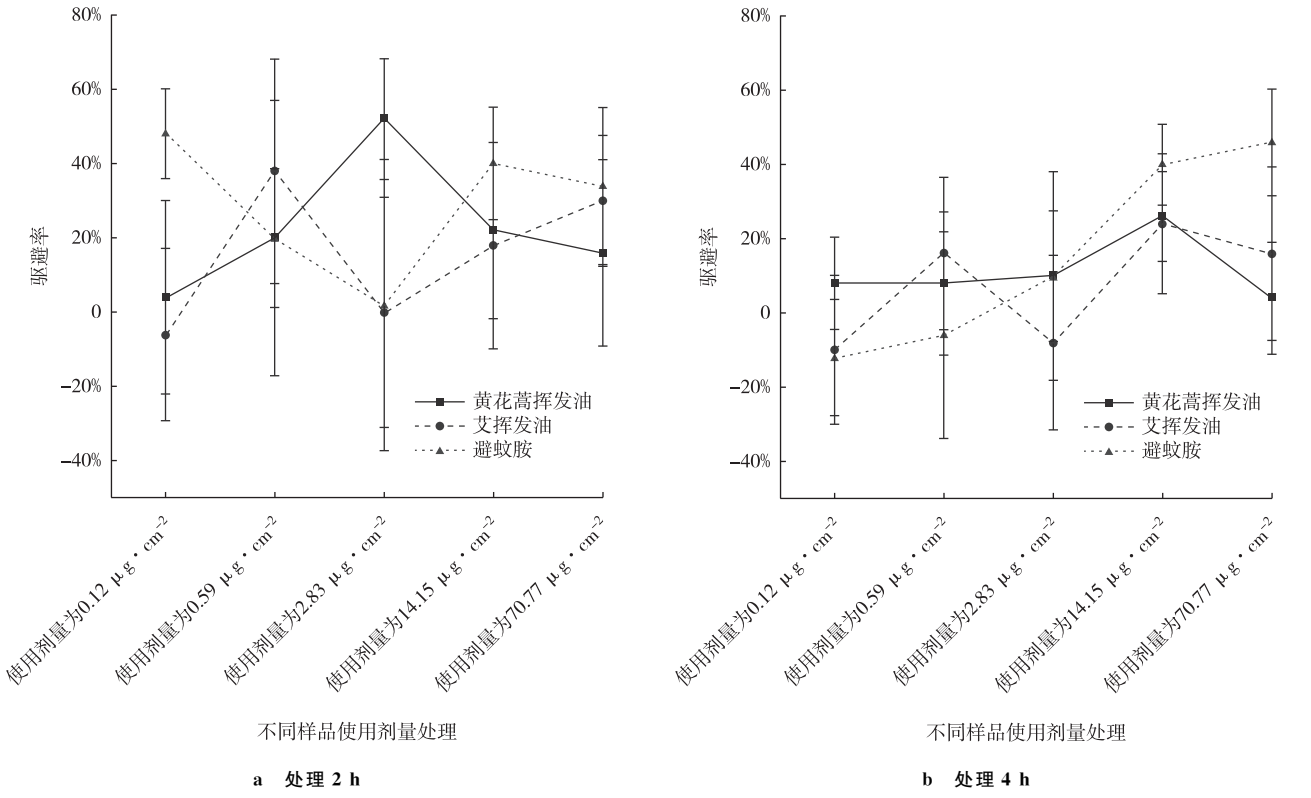

图1 黄花蒿和艾挥发油对金针瘤蚜的驱避活性

Fig. 1 The repellent activity of *A. annua* and *A. argyi* essential oils against *M. hemerocallis*

2.4 挥发油的主要化学成分

黄花蒿挥发油的主要化学成分如表3所示,其中相对含量大于5.00%的化合物有蒿酮(10.43%)、樟脑(6.49%)和石竹烯氧化物(15.93%)。

艾挥发油的主要化学成分如表4所示,其中相对含量大于5.00%的化合物有桉叶油醇(14.68%)、水合桉烯(5.70%)、顺式-1-甲基-4-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-醇(6.58%)、D(+)-樟脑(5.24%)、内冰片(8.41%)、(R)-4-甲基-1-(1-甲基乙基)-3-环己烯-1-醇(5.91%)、石竹烯氧化物(5.86%)和十氢二甲基甲乙烯基萘酚(7.84%)。

3 讨论

目前文献报道植物挥发油的提取方法有超临界二氧化碳萃取法和水蒸气蒸馏法[29]。超临界二氧化碳萃取法具有耗能低、高效、无溶剂污染、萃取得率高等优点,但所需工艺技术要求高、相关设备等耗资较大,因而在推广方面有一定的局限性。水蒸气蒸馏法则是最传统、应用最广泛的一种方法,它具有设备简单、操作容易、提取成本低等一系列优点。经过综合比较,本研究采用水蒸气蒸馏法提取黄花蒿和艾的挥发油。

植物挥发油是一种天然无公害、无污染、不易产生抗药性、杀虫范围广且易获得的绿色安全的熏蒸剂[30],它具有较好的挥发性,对害虫具有驱避或熏杀活性,且部分成分还具有引诱、毒杀和种群抑制活性,在害虫防治中有着巨大的发展潜力,可成为化学杀虫剂的替代品[31]。已有文献报道黄花蒿挥发油对赤拟谷盗成虫和幼虫触杀活性的LD_{50}分别为37.32和70.34 μg·头$^{-1}$[32];黄花蒿甲醇和石油醚提取物的挥发油层对赤拟谷盗成虫触杀活性的LD_{50}分别为1.87和0.43 mg·头$^{-1}$,对幼虫触杀活性的LD_{50}分别为1.24和0.60 mg·头$^{-1}$[33];黄花蒿

精油对血红扇头蜱(*Rhipicephalus sanguineus*)半数驱避剂量为 60.68 μg·cm^{-2}[34]。相比之下,本研究得到的黄花蒿挥发油对金针瘤蚜的触杀活性(LD_{50} 为 0.58 μg·头$^{-1}$)和驱避活性(使用剂量为 2.83 μg·cm^2 时驱避率为 52.00%)优于上述文献报道的黄花蒿挥发油对赤拟谷盗成虫和幼虫的触杀活性以及对血红扇头蜱的驱避活性。同样地,已有文献报道艾挥发油对中华按蚊熏蒸活性的 LD_{50} 为 40.23 μg·mL^{-1}[20],而本研究中艾挥发油对金针瘤蚜的熏蒸活性(LD_{50} 为 3.14 mg·L^{-1})也优于前者。此外,艾挥发油对赤拟谷盗的触杀活性(LD_{50} 为 3.09 μg·头$^{-1}$)[35]也不及本研究中艾挥发油对金针瘤蚜的触杀活性(LD_{50} 为 2.46 μg·头$^{-1}$)。

表 3　黄花蒿挥发油的主要化学成分

Tab.3　The main chemical constituents of the essential oil from *A. annua*

序号	保留时间/min	化合物名称	相对含量
1	11.94	桉油精	1.71%
2	13.03	蒿酮	10.43%
3	13.76	3,3,6-三甲基庚-1,5-二烯-4-醇	1.79%
4	14.62	2-甲基-2-己醇	1.94%
5	15.66	樟脑	6.49%
6	22.37	α-古巴烯	2.73%
7	23.51	石竹烯	3.24%
8	25.20	β-瑟林烯	4.20%
9	26.80	2-(4a,8-二甲基-1,2,3,4,4a,5,6,7-八氢萘-2-基)-丙-2-烯-1-醇	1.69%
10	27.41	斯巴醇	2.11%
11	27.56	石竹烯氧化物	15.93%
12	28.14	3,4-二甲基-3-环己烯-1-甲醛	2.28%
13	28.27	雪松醇	1.39%
14	28.46	(Z)-1,3,3-三甲基-2-(3-甲基-2-亚甲基-3-丁烯亚基)-环己醇	1.22%
15	28.68	(1R,4R,5S)-1,8-二甲基-4-(丙-1-烯-2-基)螺[4.5]癸-7-烯	1.43%
16	28.75	10,10-二甲基-2,6-二亚甲基双环[7.2.0]十一烷-5β-醇	2.53%
17	29.06	2-((4aS,8R,8aR)-4a,8-二甲基-3,4,4a,5,6,7,8,8a-八氢萘-2-基)丙-2-醇	1.21%
18	29.14	(4aR,8aS)-4-甲基-1-亚甲基-7-(丙-2-亚基)十氢萘	1.13%
19	29.52	异香橙烯环氧化物	2.18%
20	29.85	(1R,7S,E)-7-异丙基-4,10-二甲基环十二碳-5-烯醇	1.96%

在本研究中,GC-MS 分析结果显示黄花蒿挥发油中相对含量最高的化合物为石竹烯氧化物。Li 等人[36]报道了草地风毛菊(*Saussurea amara*)和腺梗豨莶(*Sigesbeckia pubescens*)的挥发油主要成分均为石竹烯氧化物,相对含量分别为 12.4%和 39.6%;当使用剂量为 15.73 nL·cm^{-2} 且处理时间为 4 h 时,草地风毛菊和腺梗豨莶的挥发油和主要成分石竹烯氧化物对赤拟谷盗驱避率分别为 80%、64%和 100%;而当使用剂量调整为 12.63 nL·cm^{-2} 且处理时间为 4 h 时,它们对嗜卷书虱(*Liposcelis bostrychophila*)驱避率分别为 48%、76%和 100%。同样地,Kim 等人[37]报道牛至(*Origanum vulgare*)挥发油和主要成分香芹酚(相对含量为 67.2%)、次要成分石竹烯氧化物(相对含量为 0.37%)对赤拟谷盗熏蒸活性的 LD_{50} 分别为 55.00、114.0 和 0.18 μg·mL^{-1},在使用剂量为 0.03 mg·cm^{-2} 时它们对赤拟谷盗驱避率分别为 98%、98%和 100%。由上述数据可见,草地风毛菊和腺梗豨莶挥发油对赤拟谷盗和嗜卷书虱的驱避活性均弱于主要成分石竹烯氧化物,牛至挥发油对赤拟谷盗的熏蒸和驱避活性弱于主要成分石竹烯氧化物。因此可以推测上述 3 种植物挥发油中的其他成分对石竹烯氧化物的熏蒸和驱避活性产生了拮抗作用,或者这些成分的存在使得石竹烯氧化物相对含量降低,从而导致这 3 种植物挥发油对有关害虫的熏蒸和驱避活性在整体上被削弱。与上述文献结果不同的是,鼠尾草属(*Salvia*)植物 *Salvia*

ballotiflora 的挥发油主要成分也为石竹烯氧化物(相对含量为15.97%),该挥发油和主要成分石竹烯氧化物对草地贪夜蛾(*Spodoptera frugiperda*)胃毒活性的 LD_{50} 分别为128.8和146.5 μg·mL^{-1}[38];野艾蒿(*Artemisia lavandulaefolia*)挥发油和主要成分石竹烯氧化物对小菜蛾熏蒸活性的 LD_{50} 分别为0.113和1.06 mg·mL^{-1}[39];短梗八角(*Illicium pachyphyllum*)果实挥发油和主要成分竹烯氧化物(相对含量为9.32%)对玉米象(*Sitophilus zeamais*)触杀活性的 LD_{50} 分别为17.33和34.09 μg·头$^{-1}$,对该害虫熏蒸活性的 LD_{50} 分别为11.49和17.02 mg·L^{-1}[40]。由此可见,上述3种植物挥发油中的其他成分增强了石竹烯氧化物对害虫的杀虫活性,当然也有可能是这3种植物挥发油中含有更具杀虫活性的成分,但还未被发现。

表4 艾挥发油的主要化学成分

Tab.4 The main chemical constituents of the essential oil from *A. argyi*

序号	保留时间/min	化合物名称	相对含量
1	10.92	(E)-2,5,5-三甲基-3,6-庚二烯-2-醇	1.86%
2	11.93	桉叶油醇	14.68%
3	13.01	蒿酮	1.07%
4	13.17	水合桉烯	5.70%
5	13.76	3,3,6-三甲基-1,5-庚二烯-4-醇	3.71%
6	15.54	顺式-1-甲基-4-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-醇	6.58%
7	15.66	D(+)-樟脑	5.24%
8	16.28	顺式菊花醇	1.96%
9	16.36	内冰片	8.41%
10	16.72	(R)-4-甲基-1-(1-甲基乙基)-3-环己烯-1-醇	5.91%
11	17.13	α-萜品醇	3.77%
12	17.64	反式-3-甲基-6-(1-甲基乙基)-2-环己烯-1-醇	2.88%
13	17.97	顺式-2-甲基-5-(1-甲基乙烯基)-2-环己烯-1-醇	1.88%
14	23.51	石竹烯	3.88%
15	25.06	β-古巴烯	1.06%
16	27.40	桉油烯醇	1.52%
17	27.54	石竹烯氧化物	5.86%
18	29.17	十氢二甲基甲乙烯基萘酚	7.84%

艾挥发油中的主要成分为桉叶油醇。文献报道在24 h内丝裂亚菊(*Ajania nematoloba*)和光苞亚菊(*Ajania nitida*)的挥发油及主要成分桉叶油醇对马铃薯腐烂茎线虫(*Ditylenchus destructor*)触杀活性的 LD_{50} 分别为1.50、1.23和0.49 mg·mL^{-1}[41]。艾挥发油及主要成分桉叶油醇(相对含量为22.03%)对烟草甲熏蒸毒性的 LD_{50} 分别为8.04和5.18 mg·L^{-1}[42]。蒙古蒿(*Artemisia mongolica*)挥发油及主要成分桉叶油醇(相对含量为39.88%)对烟草甲触杀活性的 LD_{50} 分别为22.32和15.58 μg·头$^{-1}$,熏蒸毒性的 LD_{50} 分别为6.08和5.47 mg·L^{-1}[43]。从以上数据可见,上述4种植物挥发油对马铃薯腐烂茎线虫的触杀活性、对烟草甲的触杀及熏蒸毒性均不及主要成分桉叶油醇,说明这4种植物挥发油的其他成分对桉叶油醇的杀虫活性起到拮抗作用,或者说明这些成分的存在降低了桉叶油醇的相对含量,从而在整体上削弱了挥发油的杀虫活性。Zhang等人[42]还报道了艾挥发油及主要成分桉叶油醇对烟草甲触杀虫活性的 LD_{50} 分别为6.42和15.58 μg·头$^{-1}$;草果(*Amomum tsaoko*)挥发油及主要成分桉叶油醇(相对含量为23.87%)对赤拟谷盗触杀活性的 LD_{50} 分别为16.52和18.83 μg·头$^{-1}$,对烟草甲触杀活性的 LD_{50} 分别为6.14和15.58 μg·头$^{-1}$[44]。此外,桉叶油醇与α-松油醇对赤拟谷盗触杀活性的 LD_{50} 分别为22.69和27.47 μg·头$^{-1}$,将两者分别按9∶1、8∶2、7∶3、6∶4、

5∶5、4∶6、3∶7、2∶8 及 1∶9 的质量比进行混配，混配物对赤拟谷盗触杀活性的 LD_{50} 依次为 24.52、30.69、29.07、29.19、28.94、20.30、27.58、28.12 和 36.68 μg·头$^{-1}$，其中只有 4∶6 的配比增强了对赤拟谷盗触杀活性，其他配比均表现为拮抗作用[45]。由此可见，艾和草果的挥发油对烟草甲和赤拟谷盗的触杀活性均优于主要成分桉叶油醇，说明 2 种植物挥发油中的其他成分对桉叶油醇的杀虫活性起到协同作用，或者其中有更强杀虫活性的成分还没有被发现。

挥发油具有杀虫活性通常是因为其中所含的单萜类和倍半萜类化合物具有亲脂性和挥发性，可以迅速渗透到昆虫体内并干扰它们的生理功能[46]。石竹烯氧化物是倍半萜化合物，对小菜蛾体内的羧酸酯酶和谷胱甘肽-S-转移酶有抑制作用，对乙酰胆碱酯酶（AChE）无影响；桉叶油素是单萜类化合物，可抑制昆虫 AChE 活性进而导致昆虫死亡率上升，其中具体机理为 AChE 催化神经递质乙酰胆碱（ACh）水解，而 AchE 活性被抑制后神经突触中 ACh 过多积累，由此导致虫体神经元受到过度刺激，肌肉快速抽搐、痉挛，最终引起虫体死亡[39]。

总之，本研究分别采用密闭熏蒸法、微量点滴法和滤纸扩散法评估了黄花蒿和艾的挥发油对金针瘤蚜的熏蒸、触杀和驱避活性，结果显示：艾挥发油对金针瘤蚜具有较好的熏蒸效果，黄花蒿挥发油对金针瘤无熏蒸活性；黄花蒿挥发油对金针瘤蚜的触杀活性优于艾挥发油；在一定使用剂量和处理时间条件下，2 种植物挥发油对金针瘤蚜的驱避效果优于或等同于避蚊胺。此外，GC-MS 分析结果显示，黄花蒿和艾的挥发油中主要成分中相对含量最高的化合物分别为石竹烯氧化物和桉叶油醇。然而，这 2 种植物挥发油的杀虫活性成分和具体杀虫机制还有待深入研究。

参考文献：

[1] 贾民隆，曹冬梅，李森，等. 黄花菜种质资源的研究进展[J]. 北方园艺，2024(10)：119-125.
JIA M L，CAO D M，LI S，et al. Research progress on germplasm resources of *Hemerocallis citrina* Baroni[J]. Northern Horticulture，2024(10)：119-125.

[2] 刘佩冶，李可昕，张超凡，等. 黄花菜生物活性成分及功能研究进展[J]. 食品与发酵工业，2022，48(12)：330-336.
LIU P Y，LI K X，ZHANG C F，et al. Research progress on bioactive components and functions of daylily[J]. Food and Fermentation Industries，2022，48(12)：330-336.

[3] 吕虹瑞，武珍珍，洪沙沙，等. 基于超高效液相色谱-串联质谱技术的黄花菜不同器官萜类代谢物差异分析[J]. 食品与发酵工业，2024，50(12)：299-307.
LÜ H R，WU Z Z，HONG S S，et al. Differences analysis of terpenoid metabolites in different organs of *Hemerocallis citrina* based on ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Food and Fermentation Industries，2024，50(12)：299-307.

[4] 冯博. 萱草属植物抗蚜筛选及与之相关的可溶性糖和类黄酮分析[D]. 长春：吉林农业大学，2013.
FENG B. Screening of anti aphid of the genus of *Hemerocallis* and related soluble sugar and flavonoid analysis[D]. Changchun：Jilin Agricultural University，2013.

[5] 何莉，张天伦，贾国瑞，等. 黄花菜蚜虫的生物防治技术[J]. 北方园艺，2007(10)：197-198.
HE L，ZHANG T L，JIA G R，et al. Biological control techniques of day lily aphids[J]. Northern Horticulture，2007(10)：197-198.

[6] 高钰，黄卫红，帅娜娜，等. 黄花菜多发性虫害对落蕾的影响[J]. 中国农业文摘-农业工程，2021，33(1)：88-91.
GAO Y，HUANG W H，SHUAI N N，et al. Effects of multiple insect pests of day lily on bud falling[J]. Agricultural Science and Engineering in China，2021，33(1)：88-91.

[7] 肖晨晨，王文涛，刘亚亚，等. 金针瘤蚜的田间发生动态及不同药剂的防治效果[J]. 山西农业科学，2024，52(5)：136-142.
XIAO C C，WANG W T，LIU Y Y，et al. Field occurrence dynamics of *Myzus hemerocallis* Takahashi and the efficacy of different pesticides for its control[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences，2024，52(5)：136-142.

[8] 于丽，杨金娟，周兴隆，等. 宁夏黄花菜主要病虫害现状及用药建议[J]. 农药科学与管理，2021，42(7)：14-17.
YU L，YANG J J，ZHOU X L，et al. Present situation of pest occurrence on daylily and suggestions on pesticide application in Ningxia[J]. Pesticide Science and Administration，2021，42(7)：14-17.

[9] 马卫宾. 植物精油对淡色库蚊的生物活性及天然蚊虫防控剂研发[D]. 杨凌：西北农林科技大学，2014.
MA W B. Studies on bioactivities of essential oils against *Culex pipiens* pallens and the development of natural mosquito control agents[D]. Yangling：Northwest A & F University，2014.

[10] 吴涛起.植物精油对草地贪夜蛾杀虫活性及行为影响的研究[D].杭州:浙江农林大学,2024.
WU T Q. Study on the effect of plant essential oil on insecticidal activity and behavior of *Spodoptera frugiperda*[D]. Hangzhou:Zhejiang A & F University,2024.

[11] 吕鹏飞.黄花蒿提取物青蒿琥酯对运动性心肌损伤大鼠心肌铁代谢和铁死亡相关蛋白表达的调控作用[J].分子植物育种,2024,22(21):7222-7229.
LÜ P F. Regulatory effects of artesunate on myocardial iron metabolism and ferroptosis-related protein expression in EIMI rats[J]. Molecular Plant Breeding,2024,22(21):7222-7229.

[12] 袁海滨,杨洁,陈骧,等.黄花蒿精油对双斑萤叶甲的熏蒸活性及体内几种酶活力的影响[J].吉林农业大学学报,2013,35(1):30-35.
YUAN H B,YANG J,CHEN X,et al. Fumigation activity and several enzymes activities of essential oil from *Artemisia annua* L. against *Monolepta hieroglyphica* (motschulsky)[J]. Journal of Jilin Agricultural University,2013,35(1):30-35.

[13] LIU H,GUO S S,LU L,et al. Essential oil from *Artemisia annua* aerial parts:composition and repellent activity against two storage pests[J]. Natural Product Research,2021,35(5):822-825.

[14] TRIPATHI A K,PRAJAPATI V,AGGARWAL K K,et al. Repellency and toxicity of oil from *Artemisia annua* to certain stored-product beetles[J]. Journal of Economic Entomology,2000,93(1):43-47.

[15] ZHANG N,TANG L,HU W,et al. Insecticidal,fumigant,and repellent activities of sweet wormwood oil and its individual components against red imported fire ant workers (Hymenoptera:Formicidae) open access[J]. Journal of Insect Science,2014,14(1):241.

[16] BEDINI S,FLAMINI G,COSCI F,et al. *Artemisia* spp. essential oils against the disease-carrying blowfly *Calliphora vomitoria*[J]. Parasites & Vectors,2017,10(1):80.

[17] 袁海滨,尚利娜,赵炟煞,等.蒿属4种植物精油对绿豆象的杀虫活性测定[J].吉林农业大学学报,2007,29(6):612-615.
YUAN H B,SHANG L N,ZHAO D X,et al. Insecticidal activity of extracts from four species of *Artemisia* against *Callosobruchus chinensis*[J]. Journal of Jilin Agricultural University,2007,29(6):612-615.

[18] OFTADEH M,SENDI J J,EBADOLLAHI A. Toxicity and deleterious effects of *Artemisia annua* essential oil extracts on mulberry pyralid (*Glyphodes pyloalis*)[J]. Pesticide Biochemistry and Physiology,2020,170:104702.

[19] 中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志(第七十六卷,第一分册)[M].北京:科学出版社,1991:87.
Editorial Committee of Flora of China,Chinese Academy of Sciences. Flora of China (Vol. 76,Part 1)[M]. Beijing:Science Press,1991:87.

[20] LUO D Y,YAN Z T,CHE L R,et al. Repellency and insecticidal activity of seven Mugwort (*Artemisia argyi*) essential oils against the malaria vector *Anopheles sinensis*[J]. Scientific Reports,2022,12(1):5337-5347.

[21] TANG L,SUN Y Y,ZHANG Q P,et al. Fumigant activity of eight plant essential oils against workers of red imported fire ant,*Solenopsis invicta*[J]. Sociobiology,2013,60(1):35-40.

[22] 付臣臣,万涛,江志利,等.41种植物精油对淡色库蚊的熏蒸活性[J].昆虫学报,2013,56(7):779-785.
FU C C,WAN T,JIANG Z L,et al. Fumigation activity of 41 essential oils against *Culex pipiens* pallens (Diptera:Culicidae)[J]. Acta Entomologica Sinica,2013,56(7):779-785.

[23] 马新耀,刘耀华,程作慧,等.艾蒿精油对朱砂叶螨的生物活性及几种保护酶活性的影响[J].中国生物防治学报,2017,33(2):289-296.
MA X Y,LIU Y H,CHENG Z H,et al. Bioactivity effects of *Artemisia argyi* essential oil on survival and protective enzyme activities of *Tetranychus cinnabarinus* (Acari:Tetranychidae)[J]. Chinese Journal of Biological Control,2017,33(2):289-296.

[24] 李红莉,崔宏春,黄海涛,等.11种植物精油对茶橙瘿螨的触杀和驱避作用研究[J].植物保护,2019,45(5):247-251.
LI H L,CUI H C,HUANG H T,et al. Contact and repellent activity of 11 kinds of plant essential oils against *Acaphylla theae*[J]. Plant Protection,2019,45(5):247-251.

[25] 王晶,张莹,周春相,等.野艾蒿精油化学分离各组分对小菜蛾的杀虫活性[J].吉林农业大学学报,2018,40(6):675-680.
WANG J,ZHANG Y,ZHOU C X,et al. Insecticidal activity of different components from *Artemisia* lavandulaefolia essential oil against *Plutella xylostella*[J]. Journal of Jilin Agricultural University,2018,40(6):675-680.

[26] SAHAF B Z,MOHARRAMIPOUR S,MESHKATALSADAT M H. Chemical constituents and fumigant toxicity of essential oil from *Carum copticum* against two stored product beetles[J]. Insect Science,2007,14(3):213-218.

[27] WANG Y,YOU C X,YANG K,et al. Bioactivity of essential oil of *Zingiber purpureum* rhizomes and its main compounds against two stored product insects[J]. Journal of Economic Entomology,2015,108(3):925-932.

[28] 李敬丹，杨悦玲，李春燕，等. 土荆芥挥发油对玉米象和赤拟谷盗的熏蒸、触杀与驱避活性[J]. 中国粮油学报，2021，36(9)：172-178.
LI J D，YANG Y L，LI C Y，et al. Fumigant and contact toxicity repellent activities of essential oil extracts from *Dysphania ambrosioides* against *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association，2021，36(9)：172-178.

[29] 江晓波. 黄花蒿挥发油的提取和抑菌活性研究[D]. 雅安：四川农业大学，2014.
JIANG X B. The extraction process optimization and antibacterial activity of volatile oil from *Artemisia annua* L.[D]. Ya'an：Sichuan Agricultural University，2014.

[30] 杨二妹，贾浩，周晨霞，等. 5 种植物精油对玉米象的杀虫活性研究[J]. 中国粮油学报，2021，36(8)：66-73.
YANG E M，JIA H，ZHOU C X，et al. Study on the insecticidal activity of five plant essential oils on *Sitophilus zeamais*[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association，2021，36(8)：66-73.

[31] 赵娜娜，路伟，古丽米热·艾买提，等. 8 种植物精油对嗜卷书虱的杀虫活性及香青兰精油的 GC-MS 成分分析[J]. 中国生物防治学报，2020，36(2)：300-306.
ZHAO N N，LU W，GVLMIRA AMAT，et al. Insecticidal activity of 8 essential oils and analysis of chemical composition of *Dracocephalum moldavica* by GC-MS[J]. Chinese Journal of Biological Control，2020，36(2)：300-306.

[32] 程昉，邵亚洲，杨盈盈，等. 黄花蒿挥发油对赤拟谷盗成虫和幼虫的生物活性研究[J]. 中国粮油学报，2020，35(11)：119-124.
CHENG F，SHAO Y Z，YANG Y Y，et al. Biological activity of *Artemisia annua* essential oil against adults and larvae of *Tribolium castaneum*[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association，2020，35(11)：119-124.

[33] DEB M，KUMAR D. Bioactivity and efficacy of essential oils extracted from *Artemisia annua* against *Tribolium casteneum* (Herbst. 1797) (Coleoptera：Tenebrionidae)：an eco-friendly approach[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety，2020，189：109988.

[34] 王彦龙. 蒿属植物精油对血红扇头蜱的毒杀及驱避作用研究[D]. 阿拉尔：塔里木大学，2024.
WANG Y L. Study on the poisoning and repellent effects of *Artemisia* essential oil on *Rhipicephalus sanguineus*[D]. Ala'er：Tarim University，2024.

[35] GUO S S，WANG Y，PANG X，et al. Seven herbs against the stored product insect：toxicity evidence and the active sesquiterpenes from *Atractylodes lancea*[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety，2019，169：807-813.

[36] LI Z H，WANG Y，SUN J S，et al. Repellent activities of essential oils rich in sesquiterpenoids from *Saussurea amara* (L.) DC. and *Sigesbeckia pubescens* Makino against two stored-product insects[J]. Environmental Science and Pollution Research International，2019，26(35)：36048-36054.

[37] KIM S I，YOON J S，JUNG J W，et al. Toxicity and repellency of *Origanum* essential oil and its components against *Tribolium castaneum* (Coleoptera：Tenebrionidae) adults[J]. Journal of Asia-Pacific Entomology，2010，13(4)：369-373.

[38] CÁRDENAS-ORTEGA N C，GONZÁLEZ-CHÁVEZ M M，FIGUEROA-BRITO R，et al. Composition of the essential oil of *Salvia ballotiflora* (Lamiaceae) and its insecticidal activity[J]. Molecules，2015，20(5)：8048-8059.

[39] HUANG X，HUANG Y L，YANG C Y，et al. Isolation and insecticidal activity of essential oil from *Artemisia* lavandulaefolia DC. against *Plutella xylostella*[J]. Toxins，2021，13(12)：842.

[40] LIU P，LIU X C，DONG H W，et al. Chemical composition and insecticidal activity of the essential oil of *Illicium pachyphyllum* fruits against two grain storage insects[J]. Molecules，2012，17(12)：14870-14881.

[41] 解子仪，逯佩玉，宁安琪，等. 两种亚菊属植物挥发油及其主要成分对马铃薯腐烂茎线虫的触杀活性[J]. 中国生物防治学报，2022，38(3)：549-554.
XIE Z Y，LU P Y，NING A Q，et al. Contact toxicity of two essential oils extracted from *Ajania* against *Ditylenchus destructor*[J]. Chinese Journal of Biological Control，2022，38(3)：549-554.

[42] ZHANG W J，YOU C X，YANG K，et al. Bioactivity of essential oil of *Artemisia argyi* Lévl. et Van. and its main compounds against *Lasioderma serricorne*[J]. Journal of Oleo Science，2014，63(8)：829-837.

[43] YOU C X，GUO S S，ZHANG W J，et al. Identification of repellent and insecticidal constituents from *Artemisia mongolica* essential oil against *Lasioderma serricorne*[J]. Journal of Chemistry，2015，2015(1)：549057.

[44] WANG Y，YOU C X，WANG C F，et al. Chemical constituents and insecticidal activities of the essential oil from *Amomum tsaoko* against two stored-product insects[J]. Journal of Oleo Science，2014，63(10)：1019-1026.

[45] 刘倩影，张佳琪，刘琛，等. 桉叶油醇和 α-松油醇复配对赤拟谷盗的抗虫作用机制研究[J]. 中国粮油学报，2025，40(2)：1-8.
LIU Q Y，ZHANG J Q，LIU C，et al. Insecticidal mechanism of eucalyptol and α-terpineol complex against *Tribolium*

castaneum[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2025, 40(2): 1-8.

[46] ALBOUCHI F, GHAZOUANI N, SOUISSI R, et al. Aphidicidal activities of *Melaleuca styphelioides* Sm. essential oils on three *Citrus aphids*: *Aphis gossypii* Glover; *Aphis spiraecola* Patch and *Myzus persicae* (Sulzer)[J]. South African Journal of Botany, 2018, 117: 149-154.

The Insecticidal Activity of Essential Oils from *Artemisia annua* and *Artemisia argyi* against *Myzus hemerocallis*

ZHAN Li, CHEN Xiaolu, LI Chunyan, LIANG Qian

(College of Biology and Food Engineering, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: To investigate the insecticidal activity of the essential oils from *Artemisia annua* and *Artemisia argyi* against *Myzus hemerocallis*, a pest of *Hemerocallis citrina*, the essential oils of these two plants were first extracted by steam distillation. Their fumigation, contact, and repellent activities against *M. Hemerocallis* were then determined by sealed fumigation, micro-droplet, and filter paper diffusion methods, respectively. Finally, the main chemical components of the essential oils were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that: 1) Within 24 h, the essential oil of *A. annua* exhibited no fumigation activity against *M. hemerocallis*, while the median lethal dose (LD50) of *A. argyi* essential oil for fumigation activity was 3.14 mg·L^{-1}. 2) Within 24 h, the contact activity of *A. annua* essential oil against *M. Hemerocallis* was superior to that of *A. argyi*, with LD_{50} values of 0.58 and 2.46 μg per adult, respectively. 3) At a dosage of 2.83 μg·cm^{-2} and an exposure time of 2 h, the repellency rate of *A. annua* essential oil against *M. Hemerocallis* was higher than that of DEET (positive control). At a dosage of 0.59 μg·cm^{-2} and an exposure time of 2 h, the repellency rate of *A. argyi* essential oil was higher than that of DEET. At dosages of 0.12 and 0.59 μg·cm^{-2} with an exposure time of 4 h, the repellency rates of both *A. annua* and *A. argyi* essential oils were higher than that of DEET. 4) The main chemical components of the essential oils from *A. annua* and *A. argyi* were caryophyllene oxide (15.93%) and eucalyptol (14.68%), respectively, which had the highest relative contents. These findings provide a theoretical basis and reference for the control of *M. Hemerocallis*, the comprehensive utilization of *A. annua* and *A. argyi* resources, and the development of novel botanical insecticides.

Keywords: *Artemisia annua*; *Artemisia argyi*; essential oils; *Myzus hemerocallis*; insecticidal activity

(责任编辑 方 兴)