

大斑芫菁浸提物及其主要成分对红火蚁的引诱作用

钟家美, 徐金柱, 凌斯全, 秦长生, 杨华, 田龙艳, 肖丽娜, 邱华龙*

(广东省林业科学研究院/广东省森林培育与保护利用重点实验室, 广东广州 510520.)

摘要: 红火蚁 *Solenopsis invicta* Buren 是一种重大的外来入侵有害生物, 以其强烈的攻击性、惊人的繁殖力和环境适应性, 对我国的人畜安全、农林生产、电力基础设施和生态环境等都造成了严重危害。昆虫源天然化合物因其种类多样性和功能独特性, 不仅是昆虫发挥化学防御和化学通讯等生态功能的物质基础, 也为开发新型天然药剂提供了宝贵资源。瓢虫、蜡象等昆虫产生的化学防御物质和体表碳氢化合物对红火蚁的生物活性已有广泛报道。

芫菁科 Meloidae 昆虫以其典型的化学防御行为著称, 虫体具有特殊气味, 遭受威胁时可反射性出血。芫菁产生的化学物质在自身的摄食和防御过程中起着关键作用, 如诱捕猎物、驱避和毒杀捕食者和竞争者。前期观察发现, 在使用大斑芫菁饲喂红火蚁的过程中, 出现反射性出血的个体诱集了更多红火蚁工蚁的取食。目前, 大斑芫菁提取液和挥发物的化学成分分析均有研究, 但关于这些化合物对红火蚁的生物活性尚未有文献报道。因此, 本研究拟测试大斑芫菁浸提物的主要成分, 并测试浸提物及其主要成分对红火蚁触角电生理活性和行为活性, 以期筛选到对红火蚁具有行为活性的化合物, 为开发新型药剂提供理论基础和物质资源。

经 GC-MS 分析, 大斑芫菁浸提物中共有 13 种化学成分 (图 1)。通过 NIST17 谱库和标准品比对等方法, 鉴定了其中 11 种化合物 (表 1), 其中含量较高的几种主要成分依次为 (E)-9-十八碳烯酸 ($49.76 \pm 1.04\%$), 单头含量达到 (1.66 ± 0.4) mg, 其次为油酸乙酯 ($9.23 \pm 4.24\%$) 和乙酸薄荷酯 ($8.09 \pm 0.21\%$), 单头含量分别为 (0.48 ± 0.12) mg 和 (0.19 ± 0.05) mg。斑蝥素相对含量为 ($0.83 \pm 0.03\%$), 单头含量仅为 (0.16 ± 0.05) mg。

GC-EAD 分析表明, 红火蚁工蚁、有翅雌蚁和有翅雄蚁均对乙酸薄荷酯、Isomenthyl acetate、斑蝥素、正十六酸、(E)-9-十八碳烯酸和油酸乙酯有明显的触角电位反应 (图 2)。其中, 红火蚁工蚁对 (E)-9-十八碳烯酸的反应最强 (0.112 ± 0.009) mV, 其次为油酸乙酯 (0.095 ± 0.012) mV 和乙酸薄荷酯 (0.078 ± 0.006) mV。红火蚁有翅雌蚁和有翅雄蚁对 (E)-9-十八碳烯酸的响应值分别为 (0.105 ± 0.008) mV 和 (0.102 ± 0.011) mV, 对油酸乙酯的响应值分别为 (0.088 ± 0.008) mV 和 (0.082 ± 0.007) mV。

行为轨迹分析表明, 大斑芫菁浸提物对红火蚁工蚁具有显著的引诱作用 ($t = 3.121, P = 0.042$)。有翅雌蚁对大斑芫菁浸提物处理区的平均停留时间显著地高于对照区 ($t = 2.334, P = 0.044$)。对于有效成分, (E)-9-十八碳烯酸对 3 种品级的红火蚁表现出显著的引诱作用 (工蚁: $t = 2.616, P = 0.028$; 有翅雌蚁: $t = 2.681, P = 0.025$; 有翅雄蚁: $t = 2.763, P = 0.022$)。油酸乙酯对工蚁和有翅雄蚁表现出显著的引诱活性 (工蚁: $t = 2.360, P = 0.043$; 有翅雄蚁: $t = 2.984, P = 0.017$; 图 3C), 但乙酸薄荷酯均表现出驱避作用 (工蚁: $t = -2.584, P = 0.030$; 有翅雄蚁: $t = -2.475, P = 0.035$)。斑蝥素仅对有翅雄蚁表现出驱避作用 ($t = -2.789, P = 0.021$)。轨迹图及热图结果与上述统计结果高度一致, 如油酸乙酯处理后, 工蚁的运动轨迹密集区域和高热区域均集中在处理区 (图 3B)。红火蚁在不同分析区的运动距离的统计分析结果与停留时间的结果高度类似 (图 3D)。

Y 型管行为选择分析表明, (E)-9-十八碳烯酸和油酸乙酯均对红火蚁工蚁和有翅雌蚁具有显著引诱作用 ((E)-9-十八碳烯酸: 工蚁: $t = 3.965, P = 0.011$; 有翅雌蚁: $t = 3.209, P = 0.024$; 油酸乙酯: 工蚁: $t = 6.128, P = 0.002$; 有翅雌蚁: $t = 3.636, P = 0.015$), 油酸乙酯还对有翅雄蚁具有显著引诱作用 ($t = 2.568, P = 0.048$)。比较不同含量的引诱活性成分标准品与火腿肠对红火蚁的引诱力, 结果表明 1 mg (E)-9-十八碳烯酸和油酸乙酯对 3 种品级红火蚁的引诱性均低于对照 (1g 火腿肠)。10 mg 和 100 mg 油酸乙酯对工蚁的引诱性显著地高于对照 (10 mg: $t = 1.856, P = 0.048$; 100 mg: $t = 3.139, P = 0.026$; 图 4B)。100 mg 油酸乙酯和 (E)-9-十八碳烯酸对有翅雌蚁的引诱性也显著地高于对照 (油酸乙酯: $t = 2.033, P = 0.045$; (E)-9-十八碳烯酸: $t = 2.744, P = 0.041$; 图 4B)。但对有翅雄蚁的引诱性无显著性差异 (油酸乙酯: $t = 0.224, P = 0.867$; (E)-9-十

八碳烯酸: $t = 0.103$, $P = 0.922$; 图 4B)。

综上所述, 本研究筛选的(E)-9-十八碳烯酸和油酸乙酯对红火蚁表现出较强的引诱活性, 而乙酸薄荷酯具有较强驱避活性, 这些活性化合物有望开发成为红火蚁的行为调节剂应用于红火蚁的监测与防控。

关键词: 红火蚁; 化学防御; 行为调控; 生物入侵; 引诱驱避

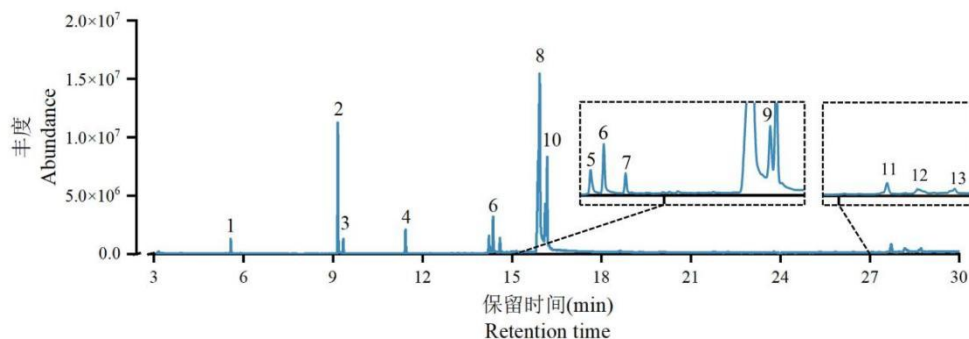


图 1 大斑芜菁浸提物 GC-MS 总离子流色谱图

Fig. 1 GC-MS total ion flow chromatogram of *Mylabris phalerata* extracts

表 1 大斑芜菁浸提物的化合物成分及含量

Table 1 Table of chemical compositions and contents of *Mylabris phalerata* extracts

编号 Number	保留时间/分 Retention time/min	化合物 Compounds	保留指数 Retention index	鉴定方式 Identification method	相对含量 $\pm$ 标准 误(%) Relative Percentage $\pm$ SE (%)	单头含量 $\pm$ 标准 误 (mg) Individual content $\pm$ SE (mg)
1	5.57	蒿酮 Artemisia ketone	965	NIST17 谱库	1.01 ± 0.11	-
2	9.16	乙酸薄荷酯 Menthyl acetate	1301	标准品	8.09 ± 0.21	0.19 ± 0.05
3	9.34	Isomenthyl acetate	1320	标准品	1.84 ± 0.05	0.07 ± 0.01
4	11.42	斑蝥素 Cantharidin	1562	NIST17 谱库	0.83 ± 0.03	0.16 ± 0.05
5	14.22	Z-11-十六碳烯酸 11-Hexadecenoic acid, Z-	1942	NIST17 谱库	1.79 ± 0.08	-
6	14.35	正十六酸 Palmitic acid	1961	标准品	2.71 ± 0.08	0.14 ± 0.03
7	14.59	十六酸乙酯 Ethyl palmitate	1995	NIST17 谱库	0.94 ± 0.03	-
8	15.93	(E)-9-十八碳烯酸 9-Octadecenoic acid, (E)-	2146	标准品	49.76 ± 1.04	1.66 ± 0.42
9	16.12	十八酸 Stearic acid	2164	NIST17 谱库	5.39 ± 1.90	-
10	16.18	油酸乙酯 Ethyl oleate	2171	标准品	9.23 ± 4.24	0.48 ± 0.11
11	27.71	二十九烷 Nonacosane	2900	标准品	1.67 ± 0.12	-
12	28.19	未鉴定 Not identified	2935	-	0.80 ± 0.50	-
13	28.71	未鉴定 Not identified	2973	-	0.77 ± 0.33	-

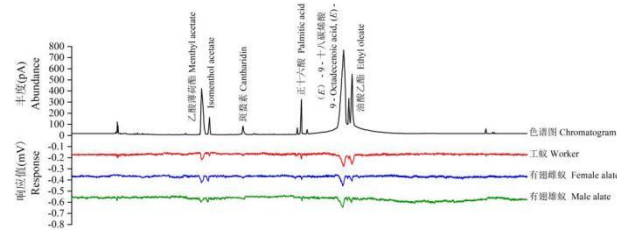


图 2 红火蚁不同品级大斑芜菁浸提物的 GC-EAD 反应

Fig. 2 GC-EAD responses of three castes *Solenopsis invicta* (workers, female and male alates) to *Mylabris phalerata* extracts

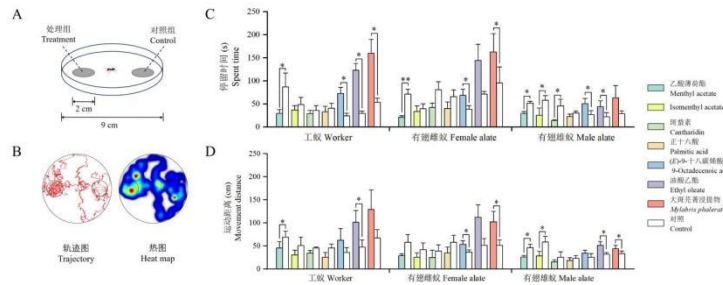


图 3 红火蚁对大斑芜菁浸提物及其六种成分的行为反应

Fig. 3 Behavioral responses of *Solenopsis invicta* to *Mylabris phalerata* extracts and six major components

*A 为运动轨迹测定装置; B 为 Ethovision XT 11.5 软件生成的工蚁对大斑芜菁浸提物行为反应的轨迹图和热图; C 和 D 分别为的两个分析区内停留时间和运动距离对比。图中数据为平均值 $\pm$ 标准误; 星号表示对红火蚁在处理组区域和对照组区域的停留时间或运动距离差异显著 (t 检验, *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$)。A is the trajectory measurement device; B is the trajectory and thermogram of the behavioral response of *Solenopsis invicta* worker ants to *Mylabris phalerata* extracts generated by Ethovision XT 11.5 software; C and D are the comparisons of spent time and movement distance within the two analyzed regions, respectively. The data are mean $\pm$ (SE). Asterisks indicate significant differences in spent time or movement distance for *S. invicta* in the treatment and control group (t -test, *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$).

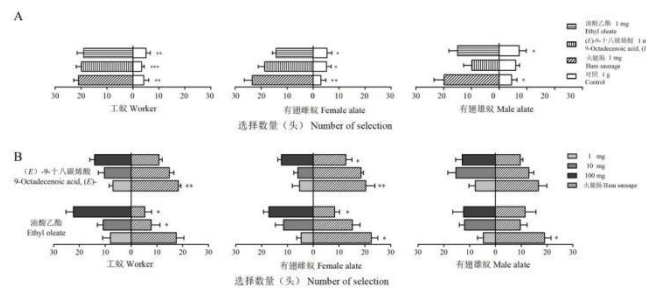


图 4 两种化合物和火腿肠对红火蚁的引诱活性相对强弱比较

Fig. 4 Comparison of the relative attractive activities of two compounds and ham sausage on *Solenopsis invicta*

*图 A 为两种化合物和供试火腿肠对红火蚁的引诱性测试, 图 B 为两种化合物和火腿肠对红火蚁的引诱活性相对强弱比较。图中数据为平均值 $\pm$ 标准误; 星号表示对红火蚁选择处理组和对照组的数量差异显著 (t 检验, *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$; ***: $P < 0.001$)。Figure A shows the Comparison of the attractive activity of two compounds and ham sausage on *Solenopsis invicta*, while Figure B shows the comparison of the relative attractive activity of two compounds and ham sausage on *S. invicta*. The data are mean $\pm$ (SE). Asterisks indicate significant differences in the number of *S. invicta* selected for treatment and control groups (t -test, *: $P < 0.05$; **: $P < 0.01$; ***: $P < 0.001$).