

DOI:CNKI:61-1390/S.20111216.1150.028

网络出版时间:2011-12-16 11:50

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20111216.1150.028.html>

枣镰翅小卷蛾对枣树挥发物的行为反应

杨立军^a, 李新岗^b, 刘惠霞^a

(西北农林科技大学 a 植物保护学院, b 林学院, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] 【目的】研究木枣枝条和不同处理枣吊的挥发性组分和含量, 分析枣镰翅小卷蛾对不同处理枣吊的行为反应, 为生产上应用植物源引诱剂防治枣镰翅小卷蛾提供理论依据。【方法】利用固相微萃取技术(SPME)和GC-MS, 分析木枣枝条和不同处理枣吊的挥发物成分, 利用触角电位技术(EAG)和Y-嗅觉仪, 测定枣镰翅小卷蛾的电生理及行为反应。【结果】木枣枝条的挥发物成分有9种, 主要挥发性组分为萜类和酯类化合物; 木枣不同处理枣吊共有的挥发物成分有17种, 多为萜类、酯类和醇类化合物。健康枣吊、人工机械损伤枣吊和虫害枣吊相比, 三者在挥发性组分组成及比例上均存在差异, 并且在遭受虫害后, 木枣枣吊可释放出虫害诱导型挥发物乙酸-4-己烯-1-醇酯。枣镰翅小卷蛾成虫对木枣的触角电位(EAG)反应表明, 枣镰翅小卷蛾成虫对枝条有强烈的刺激反应, 且雌虫的反应值显著或极显著高于雄虫。行为测试结果显示, 当木枣枣吊受到机械损伤后, 其对枣镰翅小卷蛾的趋向选择产生了驱避行为, 而健康和虫害枣吊则具有明显的吸引作用。【结论】木枣不同部位释放的挥发物成分并不相同, 在健康和虫害枣吊所释放的挥发物成分中, 含有对枣镰翅小卷蛾起引诱作用的成分。

[关键词] 枣镰翅小卷蛾; 触角电位反应; 枣树挥发物; 行为反应

[中图分类号] S436.65; Q968.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2012)01-0071-08

Behavior response of adult *Ancylis sativa* Liu (Lepidoptera: Tortricidae) to the volatiles of *Ziziphus jujuba* Mill

YANG Li-jun^a, LI Xin-gang^b, LIU Hui-xia^a

(a College of Plant Protection, b College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: 【Objective】The volatile composition and content from *Ziziphus jujuba* Mill. cv. Muzao, and the behavioral response of adult *Ancylis sativa* to shoot with different treatments were studied in order to provide theoretical basis in biological control for the *A. sativa*. 【Method】Solid phase microextraction (SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC/MS) were used to analyze the volatile composition. Electroantennogram and behavioral responses of adult *A. sativa* were determined by electroantennogram recording technique and Y-tube olfactometer. 【Result】The volatile compounds of branch of *Z. jujuba* Mill. cv. Muzao were 9 compounds that it comprised mainly a range of terseness and esters. The volatile compounds of shoots of *Z. jujuba* Mill. cv. Muzao were 17 compounds, and consisted of a range of terseness and esters, secondly alcohol. The volatiles composition and ratio of healthy, artificial and infested damage shoots were detected different. 4-hexen-1-ol, acetate is an herbivore-induced plant volatile which is emitted rapidly after leaf damaged and may attract natural enemies. EAG response of *A. sativa* on *Z. jujuba* Mill. cv. Muzao showed that it had strong response in millivolts, and the absolute response in millivolts of

* [收稿日期] 2011-05-24

[基金项目] 农业部公益性行业专项(201103024); 长江学者和创新团队发展计划项目(IRT1035)

[作者简介] 杨立军(1980—), 男, 河南驻马店人, 博士, 主要从事昆虫化学生态研究。E-mail: boodchina@163.com

[通信作者] 李新岗(1963—), 男, 陕西富平人, 教授, 博士生导师, 主要从事虫害诱导的植物防御研究。

E-mail: xingangle@nwsuaf.edu.cn

the female antenna was in general substantially higher than the male. The results of olfactory experiment demonstrated that the artificial shoot showed significant repellency against moth of *A. sativa* while the shoots whatever healthy and infested damage showed attraction. 【Conclusion】 The volatile composition from *Z. jujuba* Mill. cv. Muzao with different parts were not the same, there were attraction compounds to adult *A. sativa* in the volatiles of healthy and infested damage shoots.

Key words: *Ancylis sativa* Liu; electroantennogram responses; volatiles of *Ziziphus jujuba* Mill; behavioral responses

在植食性昆虫对寄主植物的识别和定向过程中,寄主植物挥发物起着重要的通讯引导作用^[1-2],同时,寄主植物释放的挥发物也为植食性昆虫提供了识别和定位寄主的化学信息^[3-6]。然而,同一寄主植物的不同部位或器官受到损伤后,其挥发物的成分、比例也有一定差异,这些变化都将对植食性昆虫的行为产生影响^[7]。当寄主植物遭受机械损伤或被植食性昆虫危害后,会释放一系列复杂的挥发性物质,这些挥发性物质在调节植物、植食性昆虫及其天敌的相互作用中具有重要的作用^[7-11]。尤其是受到植食性昆虫取食危害后,寄主植物所释放的挥发物,无论在种类上还是在数量上均有别于健康植物所释放的挥发物,也不同于机械损伤诱导的植物挥发物^[12]。植物遭受伤害后释放的挥发物可吸引植食性昆虫的天敌,或对植食性昆虫具有趋避作用^[13]。

黄土高原丘陵枣区地处陕、晋黄河峡谷一带,是我国最古老的红枣产区之一,也是我国栽培枣的起源地。木枣是该区的主栽品种,约占该区红枣面积的 70% 以上^[14]。枣镰翅小卷蛾(*Ancylis sativa* Liu)是枣树(*Ziziphus jujuba* Mill.)的主要害虫之一,又名枣粘虫。在陕、晋黄河峡谷一带,主要危害枣树,一年 3 代,以幼虫取食枣树的芽、叶、花及果实^[15-16]。近年来,该虫危害猖獗,造成了较大的经济损失。目前,生产上对枣镰翅小卷蛾主要是以化学防治为主,但因为农药残留导致枣果实品质下降。为此,本研究探讨了不同处理木枣枣吊挥发物的组成和含量,以及枣镰翅小卷蛾对不同处理枣树挥发物的行为反应,以期对枣镰翅小卷蛾的生物防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验成虫由 2009-05 采自山西临县枣镰翅小卷蛾的蛹羽化所得。将采回的蛹放于养虫杯(直径 5.0 cm,高 8.0 cm)中,置于人工气候箱内,饲养温度为 $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$,空气相对湿度 60%~70%,光周期为每

天 16 h 光照。每天 08:00—10:00 和 16:00—18:00 检查成虫羽化情况,羽化成虫用 10% 的蜂蜜水补充营养。当天羽化成虫用于交配,2 日龄的成虫用于 EAG 及趋向行为测试。

测试寄主植物为陕西省清涧县红枣试验站提供的 2 年生木枣苗。于 2007-11 带回分别种植于西北农林科技大学林学院试验样地中,常规水肥管理,并防治其他虫害,生长到 2009 年用于试验。

1.2 木枣挥发物的收集与分析

木枣挥发物的收集设置了 5 个处理:(1)枝条。2009-03,在株高 2 m、生长健壮的 4 年生木枣树上选择 15 cm 长的阳面枝条,用蒸馏水清洗、晾干后剪下,剪口用封口膜包好,放入 20 cm 的玻璃管中,用封口膜密封;(2)健康枣吊。2009-05,选择生长健壮的 4 年生植株,用蒸馏水清洗、晾干,待用;(3)机械损伤枣吊。选择生长健壮、无虫害的木枣,用手术剪将整株 1/2 的叶片减去 1/3,待用;(4)虫害枣吊。将饥饿 12 h 的 3 龄枣镰翅小卷蛾幼虫接在健康植株上,每株接虫 20 头,取食 12 h 后,待用;(5)对照。将 500 mL 广口瓶用封口膜密封,作为对照。对以上处理(2)~(4),均取枣吊 100 g,放入 500 mL 广口瓶中,用封口膜密封。所有处理均在室温下,用固相微萃取(SPME)装置(DVB/CAR/PDMS)的针头穿透封口膜,插入容器上方空白处,小心地推出纤维头,并固定固相微萃取装置的手柄,自萃取纤维头推出后开始计时,吸附 1 h,立即进行 GC-MS 分析,每个样品重复 3 次^[17]。

挥发物的鉴定利用美国 Thermo-Finnigan 公司的 TraceDSQ 气相色谱-质谱仪(GC-MS)(于西北农林科技大学测试中心)进行分析,色谱柱利用 SE-54 毛细管柱(30 m×0.25 mm ID,膜厚 0.25 μm),载气氦气;流速 1 mL/min,进样 1 μL ,分流比 50:1。起始温度 50 $^\circ\text{C}$,停留 3 min,以 10 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 升到 220 $^\circ\text{C}$ 。质谱条件:EI 离子源,电离能 70 eV。各成分通过与谱库(NIST2002 版)标准化合物的质谱图核对和定性,根据峰面积归一化法进行定量^[18-19]。

1.3 枣镰翅小卷蛾对木枣枝条的 EAG 反应

测试方法参见文献[20-23]。具体操作步骤为:取新羽化的雌、雄成虫,从基部剪下触角,去除其顶端一节,用 Spectrar360 导电胶将其粘在 PR (Gain10X)电极上,然后将电极与微操作台相连接,气味管与触角相距 1 cm。取 5 g 植物材料装入 10 cm 长的样品管中,样品管末端连接气体刺激控制装置。待基线稳定后给予刺激,每次刺激时间 0.1 s,刺激间隔时间为 30 s,以保证触角感受能够完全恢复。以植物气味源的气流刺激触角,观察放电信号,通过计算机记录信号并进行处理,取刺激开始后 3~4 s 的信号作为 EAG 反应信号。试验所用雌雄成虫为 1~2 d 龄,测试的雌雄触角各 8 根,每个植物味源平行刺激 5 次,以空白样品管为对照。将每一样品观测值的平均数减去前后 2 次对照测定值的平均值即得标准化值。试验所用触角电位仪由荷兰 Syntech 公司生产,测定所需软件也由该公司提供。

1.4 枣镰翅小卷蛾对不同处理木枣枣吊的行为反应

2009-05,利用 Y-型嗅觉仪,在暗室内测定枣镰翅小卷蛾对不同处理木枣枣吊的行为反应。测试于每天 18:00—23:00 进行,暗室温度控制在 22~25 °C,相对湿度为 65%。Y-型嗅觉仪参考文献[24-26]的方法,并稍作改进。Y-型嗅觉仪基管长 30 cm,两臂长 25 cm,内径 5 cm,两臂夹角 90°,两臂各连 1 个味源瓶,分别盛味源物或 CK,两臂分别通过 Teflon 管与味源瓶相连,味源瓶之前通过 Teflon 连接装有蒸馏水的特氏多孔滤瓶(多孔滤瓶用前经活性炭过滤净化),以增加空气相对湿度。从嗅觉仪基部抽气,调节两臂流速,每臂的气流流量通过 LZB24 型玻璃转子流量计控制在 240 mL/min。抽气 5 min,使气味充满管道以保证测试结果。每次测试后,用体积分数 95%乙醇擦洗 Y 型管的内壁,吹干后调换两臂与味源瓶联接的位置,以消除误差。生测时,以大气采样仪的出气口作为气流源,在 Y 型管前上方 50 cm 处放 30 W 的红光灯提供光源。

测试材料分别是木枣健康枣吊、机械损伤枣吊和虫害枣吊,各取 300 g,设 6 个处理,分别是:空白 VS 健康、空白 VS 机械损伤、空白 VS 虫害诱导、健康 VS 机械损伤、健康 VS 虫害诱导、机械损伤 VS 虫害诱导。测试时,将 1~2 d 龄的枣镰翅小卷蛾成虫引入 Y 型嗅觉仪的直管内,观察记录 5 min 内枣镰翅小卷蛾对两臂气味源的选择性反应。当枣镰翅小卷蛾爬至超过某臂的 1/2 处并持续 1 min 以上

者,记录枣镰翅小卷蛾对该臂挥发物做出的选择;如果枣镰翅小卷蛾引入 5 min 后没有做出选择的,则记为无反应。每测试 10 头,将 2 气味源交换位置。每次只引入 1 头成虫,每头只用于 1 次测试。每个处理测试昆虫 60 头。

1.5 数据处理

试验数据采用 SPSS16.0 软件进行分析,用 Duncan 新复极差法进行方差分析。对于挥发物的分析,采用 3 次重复的平均值,相对含量的计算采用面积归一法。趋性选择的差异显著性分析采用 χ^2 检验。

2 结果与分析

2.1 木枣的挥发物成分分析

2.1.1 木枣枝条挥发物 木枣枝条的 GC-MS 分析结果如图 1 所示,各挥发物成分的定量分析结果见表 1。表 1 显示,木枣枝条的挥发物成分共有 9 种,占总成分的 74.53%,其中萜类化合物 8 种,酯类化合物 1 种。主要挥发物成分是异喇叭烯(Isole-dene),相对含量为 43.35%,表明木枣枝条的挥发物成分以萜类成分为主。

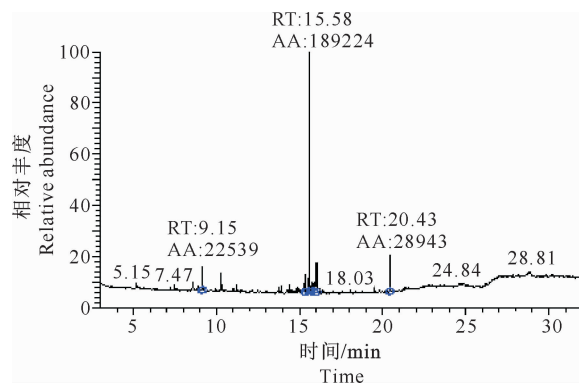


图 1 木枣枝条挥发物成分的总离子流图

Fig. 1 TIC-trace of volatiles composition of sticks from *Z. jujuba* Mill. cv. Muzao

2.1.2 木枣枣吊挥发物 由图 2 和表 2 可知,不同处理枣吊挥发物成分的数量和含量变化明显。机械损伤枣吊释放的挥发物成分最多,共检测到 23 种,占总成分的 93.62%;其次是虫害枣吊释放的挥发物成分,共检测到 22 种,占总成分的 90.59%;健康枣吊释放的挥发物成分最少,共检测到 17 种,占总成分的 89.13%。(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯、1,1-二甲基-3-亚甲基-2-乙烯基-环己烷和 α -法呢烯是木枣枣吊挥发物的主要组成成分。乙酸-4-己烯-1-醇酯是枣镰翅小卷蛾取食诱导释放的特异性化合物,可能是一种防御型物质,推测其具有引诱天敌的

作用。

表 1 木枣枝条挥发物成分分析

Table 1 Volatiles composition of sticks from *Z. jujuba* Mill. cv. Muzao

编号 No	化合物 Chemical	时间/min Time	相对含量/% Relative content
1	罗勒烯(Z) Ocimene(Z)	9.15	5.40
2	2-甲基-2-菠烯 2-Methyl-2-bornene	10.27	4.67
3	α -萜澄茄烯 α -Cubebene	14.41	1.58
4	石竹烯 Caryophyllene	14.84	1.27
5	(-)-异喇叭烯 (-)-Isoledene	15.36	3.04
6	可巴烯 Copaene	15.49	2.62
7	异喇叭烯 Isoledene	15.58	43.35
8	马兜铃烯 Aristolene	15.77	6.10
9	邻苯二甲酸二丁酯 Dibutyl phthalate	20.43	6.50

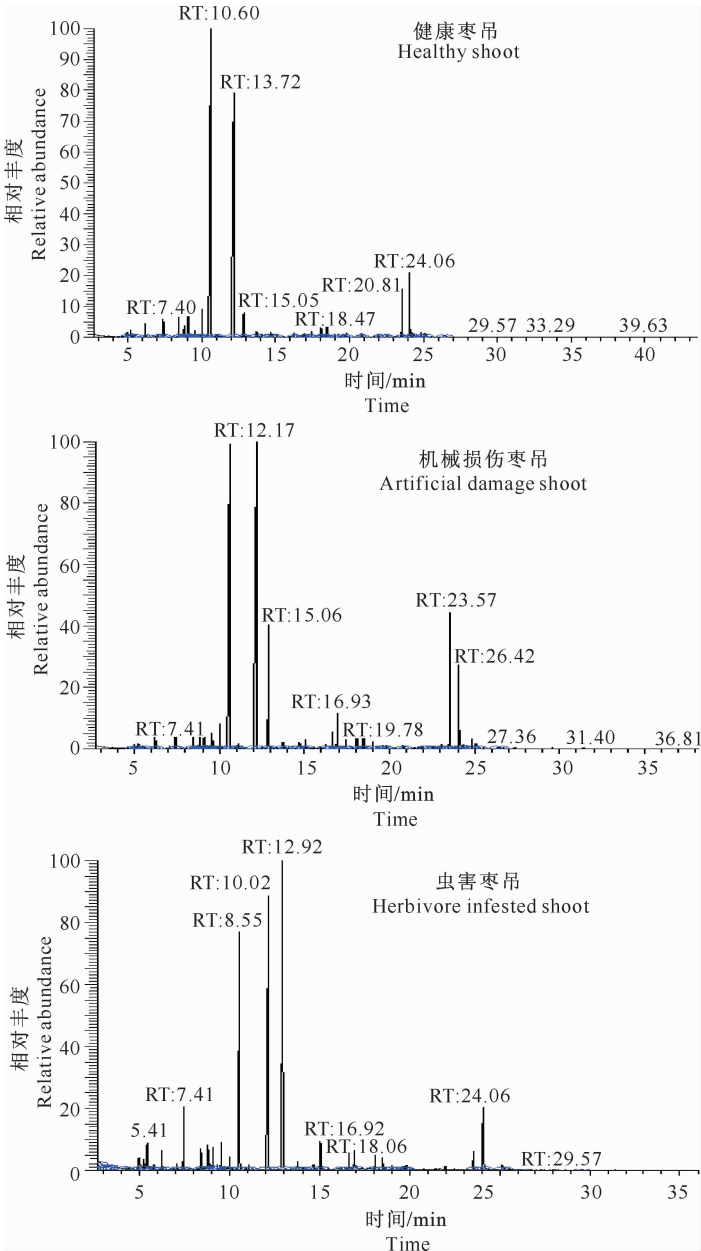


图 2 不同处理木枣枣吊挥发物成分的总离子流图

Fig. 2 TIC-trace of volatiles composition of shoots from *Z. jujuba* Mill. cv. Muzao with different treatment

与健康枣吊和机械损伤枣吊释放的挥发物相比,虫害枣吊释放的大部分挥发物成分的相对含量明显降低。相对含量下降最多的成分是(Z)-3,7-二

甲基-1,3,6-辛三烯,其次是 1,1-二甲基-3-亚甲基-2-乙烯基-环己烷。而 α -水芹烯、桉树醇和(Z)-3-己烯-1-醇等的相对含量在虫害后呈明显升高趋势。

表 2 不同处理木枣枣吊挥发物成分的比较

Table 2 Volatiles composition of shoots from *Z. jujuba* Mill. cv. Muzao with different treatment

编号 No	时间/min Time	化合物 Chemical	相对含量/% Relative content		
			健康枣吊 Healthy shoot	机械损伤枣吊 Artificial damage shoot	虫害枣吊 Infested shoot
1	6. 21	炭烯 Camphene	0. 77	0. 52	0. 95
2	7. 05	(1s)-6,6-二甲基-2-亚甲基二环[3,1,1]庚烷 (1s)-6,6-dimethyl-2-methylene-bicyclo[3,1,1]heptane	0. 15	—	0. 26
3	7. 41	α -水芹烯 α -phellandrene	0. 96	0. 62	2. 92
4	8. 44	α -蒎烯 α -pinene	0. 98	0. 54	0. 88
5	9. 09	D-柠檬烯 D-limonene	1. 05	—	—
6	9. 10	1-甲基-5-(1-甲基乙烯基)-环己烯 1-methyl-5-(1-methylethenyl)-cyclohexene	—	0. 62	0. 96
7	9. 55	桉树醇 Eucalyptol	0. 55	0. 93	1. 73
8	9. 81	(2-十二烷烯-1-基丁)二酸酐 (2-dodecen-1-yl)succinic anhydride	—	0. 15	—
9	10. 2	3,6,6-三甲基双环[3,1,1]庚-2-烯 3,6,6-trimethyl-bicyclo[3,1,1]hept-2-ene	—	1. 03	0. 55
10	10. 55	(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-辛三烯 (Z)-3,7-dimethyl-1,3,6-octatriene	39. 97	28. 88	19. 29
11	12. 14	1,1-二甲基-3-亚甲基-2-乙烯基-环己烷 1,1-dimethyl-3-methylene-2-ethenyl-cyclohexane	35. 54	35. 40	27. 03
12	12. 88	(Z)-3-己烯-1-醇酯 (Z)-3-Hexen-1-ol,acetate	—	7. 18	1. 62
13	12. 92	乙酸-4-己烯-1-醇酯 4-hexen-1-ol,acetate	—	—	23. 85
14	14. 08	(Z,E)-2,6-二甲基-2,4,6-辛三烯 (Z,E)-2,6-dimethyl-2,4,6-octatraene	0. 25	0. 23	0. 15
15	15. 06	(Z)-3-hexen-1-ol (Z)-3-己烯-1-醇	0. 12	0. 50	1. 80
16	16. 22	E,E-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯 (E,E)-2,6-dimethyl-1,3,5,7-octatetraene	0. 34	0. 27	0. 20
17	16. 63	(Z)-丁酸-3-己烯酯 (Z)-butanoic acid-3-hexenyl ester	—	0. 90	0. 95
18	16. 92	戊酸叶醇酯 Cis-3-hexenyl,n-valerate	—	2. 02	1. 47
19	16. 99	乙酸 Acetic acid	0. 21	0. 14	—
20	17. 41	6,6-二甲基-二环[3,1,1]庚-2-烯-2-甲醇 6,6-dimethyl-bicyclo[3,1,1]hept-2-ene-2-ethanol	—	0. 48	—
21	19. 0	3,7-二甲基-1,6-辛二烯-3-醇 3,7-dimethyl-1,6-octadien-3-ol	0. 12	0. 35	0. 21
22	19. 63	3,6-二甲氧基-9-(2-苯乙炔基)-苕-9-醇 Fluoren-9-ol,3,6-dimethoxy-9-(2-phenylethynyl)-	0. 19	0. 17	0. 20
23	20. 81	苯甲酸乙酯 Benzoic acid,methyl ester	—	0. 23	0. 32
24	23. 53	α -法呢烯 α -farnesene	3. 09	7. 76	1. 02
25	24. 06	甲氧基苯基肟 Oxime-methoxy-phenyl	4. 55	4. 57	4. 04
26	24. 28	水杨酸甲酯 Methyl-salicylate	0. 29	0. 13	0. 19

2.2 枣镰翅小卷蛾对木枣枝条的 EAG 反应

由图 3 可以看出,越冬代枣镰翅小卷蛾对木枣枝条挥发物的 EAG 反应很强,表明其成虫对木枣枝条刺激很敏感;雌蛾的 EAG 反应极显著高于雄蛾($P<0.001$),且雌虫的电位反应值高于雄虫约 1.2 mV。由图 3 也可知,第 1 代枣镰翅小卷蛾对木枣枣吊挥发物的 EAG 反应也很强,且雌蛾的 EAG 反应值显著高于雄蛾($P<0.05$),说明雌虫对木枣挥发物的敏感程度显著高于雄虫。由此可知,枣镰翅小卷蛾在寄主选择定位过程中,雌虫处于主导地位。

2.3 枣镰翅小卷蛾对不同处理木枣枣吊的行为反应

由图 4 可以看出,枣镰翅小卷蛾对健康枣吊和虫害枣吊都有显著的趋向选择,而对机械损伤枣吊表现为负趋向反应。与空白对照相比,枣镰翅小卷蛾对虫害和健康枣吊的选择性明显较高,且差异显著;而对机械损伤枣吊的选择低于空白,且差异不显著。与健康枣吊相比,枣镰翅小卷蛾对虫害处理枣吊的趋向较高,但二者差异并不显著。以上结果显示,枣吊机械损伤后,所释放出的挥发物对枣镰翅小卷蛾产生了驱避作用,而枣吊受到虫害后,使枣镰翅

小卷蛾的趋向选择性增强。

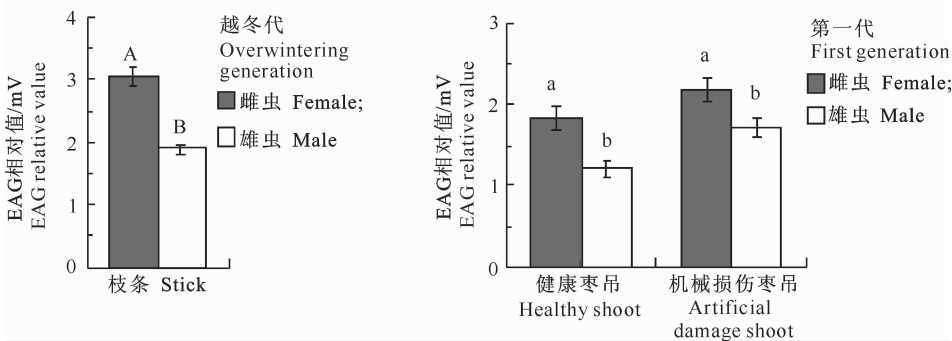


图 3 越冬代和第 1 代枣镰翅小卷蛾对枣树枝条和枣吊的 EAG 反应

柱上的大小写字母为枣镰翅小卷蛾雌、雄虫对寄主挥发物反应的触角电位相对值之间的 Duncan 新复极差比较结果,不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)

Fig. 3 EAG response of *A. sativa* on sticks and shoots from *Z. jujuba* Mill. cv. Muzao
Capital letters and small letters above bars show Duncan's comparison results of *A. sativa* females and males to host volatiles respectively; the different letters mean significant difference ($P<0.05$)

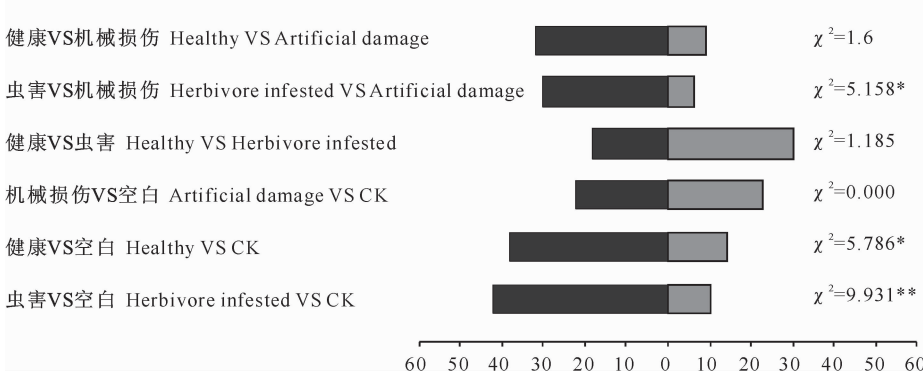


图 4 枣镰翅小卷蛾对不同处理木枣枣吊的趋向选择

Fig. 4 Selection of *A. sativa* on *Z. jujuba* Mill. cv. Muzao with different treatment

3 讨论

本研究采用固相微萃取 (SPME) 和 GC-MS, 分析研究了木枣枝条 (发芽前) 和枣吊的挥发物成分。结果表明, 两者在挥发物成分组成上相差很大, 枝条的挥发物成分以萜类化合物为主, 而枣吊的挥发物成分以绿叶性挥发物, 即醇和酯类为主, 说明植物不同时期和部位所释放的挥发物成分是不同的。有研究发现, 植物种类、年龄、生理状态、空间分布、季节、温度、湿度、光照, 以及生物胁迫 (昆虫、病害等) 都可影响植物挥发物的组成^[27], 即使是同一物种不同品系的植物, 或同一植物的不同部位, 其植物挥发物的组成也有差异^[28]。

本研究结果表明, 当木枣枣吊受到虫害诱导、机械损伤后, 其挥发物成分及相对含量与健康枣吊显著不同。机械损伤或害虫诱导后, 植物会释放出不同于正常状态下的挥发物种类和数量, 以吸引植食

性昆虫的天敌 (称间接防御), 驱避或毒害植食性昆虫的进一步危害 (称直接防御)^[7,10,12,29]。本研究发现, 机械损伤枣吊对枣镰翅小卷蛾有驱避作用, 但虫害枣吊则对枣镰翅小卷蛾有引诱作用。枣吊遭受虫害后, 大部分挥发性成分的相对含量下降, 而 α -水芹烯、桉树醇和 (Z)-3-己烯-1-醇等的相对含量却明显提高, 并且释放出健康枣吊和机械损伤枣吊不具有的挥发成分乙酸-4-己烯-1-醇酯, 这些成分是否与枣树的防御反应相关, 尚有待进一步研究。另外, (2-十二烷烯-1-基丁) 二酸酐和 6,6-二甲基-二环[3,1,1]庚-2-烯-2-甲醇只存在于机械损伤枣吊的挥发物成分中, 虽相对含量较少, 但该物质是否是驱避成分, 还需进一步的行为测定来证实。

昆虫雌雄两性常常对植物挥发物的反应存在差异^[22,30-31]。在 EAG 测试中, 本研究发现越冬代枣镰翅小卷蛾对木枣枝条挥发物的刺激反应比较明显, 且雌蛾的反应极显著高于雄蛾, 说明木枣枝条挥发

物成分中含有对枣镰翅小卷蛾的引诱成分。生物学观察发现,在枣树发芽前,越冬代枣镰翅小卷蛾开始羽化,雌蛾首先趋向枣树树冠外围,并通过性信息素吸引雄蛾前来交配,最后选择枝条产卵^[15-16]。所以,在越冬代枣镰翅小卷蛾的 EAG 测试中,雌蛾的反应极显著高于雄蛾,符合其生物学和行为学规律,但 9 种组分中哪些组分是引诱剂,还需要进一步的研究判定。另外,第 1 代枣镰翅小卷蛾对枣吊的 EAG 反应与越冬代的结果一致,说明木枣枣吊挥发物成分中也含有对枣镰翅小卷蛾的引诱成分,但两者在挥发物成分组成上差异很大,关于挥发物成分的差异对枣镰翅小卷蛾引诱的影响,还需进行深入研究。

Y-型嗅觉仪趋向结果表明,枣镰翅小卷蛾对 3 种处理(虫害诱导、人工机械损伤和健康)枣吊的趋向反应是不同的,其中健康和虫害枣吊对枣镰翅小卷蛾均有引诱作用。相关研究表明,虫害诱导的植物挥发物,昆虫在较远距离就能探测得到,其不仅仅代表了食物源的存在,还预示着植物防御已被克服,寄主植物更为感虫^[8,11,13,32]。如马铃薯被甲虫幼虫危害后,马铃薯释放的挥发物对甲虫有强烈的吸引作用^[33]。也有研究证明,在遭受人工机械损伤后,植物释放的挥发物对昆虫有驱避作用^[7]。本研究发现,人工机械损伤枣吊对枣镰翅小卷蛾有驱避作用,枣吊在遭到人工损伤后,(2-十二烷烯-1-基丁)二酸酐和 6,6-二甲基-二环^[3,1,1]庚-2-烯-2-甲醇被释放出来,而这 2 种化合物在健康和虫害枣吊挥发物成分中并未发现,说明昆虫取食时抑制了该物质的释放,推测这 2 种物质可能对昆虫具有驱避作用。而且在遭受人工机械损伤后,(Z)-3-己烯-1-醇酯、戊酸叶醇酯和 α -法呢烯的相对含量均有显著升高,这也可能是其对枣镰翅小卷蛾产生驱避反应的主要原因,但这些推测尚有待进一步证实。相关研究表明,通过机械刻伤木质部及损伤叶片,随着处理时间的增加,复叶槭对光肩星天牛的引诱作用逐渐减弱,驱避作用逐渐增强^[34]。这些研究结果与本试验结果基本一致,但至于活性成分,尚有待于进一步研究确定。

[参考文献]

- [1] 杜家纬. 植物-昆虫间的化学通讯及其行为控制 [J]. 植物生理学报, 2001, 27(3): 193-200.
Du J W. Plant-insect chemical communication and its behavior control [J]. Acta Phytophysiological Sinica, 2001, 27(3): 193-200. (in Chinese)
- [2] Bruce T J A, Wadhams L J, Woodcock C M. Insect host location: a volatile situation [J]. Trend Plant Sci, 2005, 10: 269-274.
- [3] Halitschke R, Stenberg J A, Kessler D, et al. Shared signals' alarm calls' from plants increase apparency to herbivores and their enemies in nature [J]. Ecology Letters, 2008, 11(1): 24-34.
- [4] 曹凤勤, 刘万学, 万方浩, 等. 寄主挥发物、叶色在 B 型烟粉虱寄主选择中的作用 [J]. 昆虫知识, 2008, 45(3): 431-436.
Cao F Q, Liu W X, Wan F H, et al. Behavior selection of *Bemisia tabaci* B-biotype to different host plants and colors [J]. Entomological Knowledge, 2008, 45(3): 431-436. (in Chinese)
- [5] 程 彬, 付晓霞, 韩 启. 虫害诱导的家榆挥发物对榆紫叶甲寄主选择行为的影响 [J]. 林业科学, 2010, 46(10): 76-82.
Cheng B, Fu X X, Han Q. Effects of herbivore-induced *Ulmus pumila* volatiles on the host selection process of *Ambrostoma quadrimpressum* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(10): 76-82. (in Chinese)
- [6] 项颖颖, 孙绪良, 王秀丽. 槐小卷蛾的寄主选择行为 [J]. 林业科学, 2010, 46(11): 184-188.
Xiang Y Y, Sun X G, Wang X L. Host-selection behavior of *Cydia trasiacis* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2010, 46(11): 184-188. (in Chinese)
- [7] 娄永根, 程家安. 虫害诱导的植物挥发物: 基本特征、生态学功能及释放机制 [J]. 生态学报, 2000, 20(6): 1088-1106.
Lou Y G, Cheng J A. Herbivore-induced plant volatiles: Primary characteristics, ecological functions and its release mechanism [J]. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(6): 1088-1106. (in Chinese)
- [8] 刘 芳, 娄永根, 程家安. 虫害诱导的植物挥发物: 植物与植食性昆虫及其天敌相互作用的进化产物 [J]. 昆虫知识, 2003, 40(6): 481-486.
Liu F, Lou Y G, Cheng J A. Herbivory insect induced plant volatiles: Evolutionary products of plant-herbivore-natural enemy interactions [J]. Entomological Knowledge, 2003, 40(6): 481-486. (in Chinese)
- [9] Kost C, Hell M. Herbivore-induced plant volatiles induce an indirect defence in neighbouring plants [J]. Journal of Ecology, 2006, 94: 619-628.
- [10] Kost C, Hell M. The defensive role of volatile emission and extrafloral nectar secretion for Lima Bean in nature [J]. Journal of Chemical Ecology, 2008, 34: 2-13.
- [11] 李新岗, 刘惠霞, 黄 建. 虫害诱导植物防御的分子机理研究进展 [J]. 应用生态学报, 2008, 19(4): 893-900.
Li X G, Liu H X, Huang J. Molecular mechanisms of insect pests-induced plant defense [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(4): 893-900. (in Chinese)
- [12] Takabayashi J, Dicke M, Posthumus M A. Volatile herbivore induced terpenoids in plant-mite interactions: Variation caused by biotic and abiotic factors [J]. Journal of Chemical Ecology, 1994, 20(6): 1329-1354.
- [13] Tentelier C, Fauvergue X. Herbivore-induced plant volatiles as cues for habitat assessment by a foraging parasitoid [J]. Journal of Animal Ecology, 2007, 76(1): 1-8.
- [14] 高文海, 李新岗, 王长柱. 木枣优良株系的选择研究 [J]. 果树

- 学报,2009,26(4):481-486.
- Gao W H, Li X G, Wang C Z. Superior clones selected from Muzao cultivar (*Ziziphus jujube*) [J]. Journal of Fruit Science, 2009, 26(4): 481-486. (in Chinese)
- [15] 李连昌, 董海富, 阎兆强, 等. 枣粘虫成虫性引诱的初步研究 [J]. 山西农业大学学报, 1983(1): 63-73.
- Li L C, Dong H F, Yan Z Q, et al. Studies sex-attractive on *Ancylis sativa* [J]. Journal of Shanxi Agricultural University, 1983(1): 63-73. (in Chinese)
- [16] 李连昌, 李利贞, 段宏昱. 枣粘虫越冬规律与冬季防治效果 [J]. 山西农业科学, 1989(10): 7-9.
- Li L C, Li L Z, Duan H Y. The control effect and overwinter behavioural on *Ancylis sativa* [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 1989(10): 7-9. (in Chinese)
- [17] 王明林, 乔鲁芹, 张 莉. 固相微萃取-气相色谱/质谱测定植物叶片中的挥发性物质 [J]. 色谱, 2006, 24(6): 343-346.
- Wang M L, Qiao L Q, Zhang L. Analysis of volatile constituents from leaves of plants by gas chromatography/mass spectrometry with solid-phase microextraction [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2006, 24(6): 343-346. (in Chinese)
- [18] 李新岗, 刘惠霞, 刘拉平. 影响松果梢斑螟寄主选择的植物挥发物成分研究 [J]. 林业科学, 2006, 42(6): 71-78.
- Li X G, Liu H X, Liu L P. Study on host-plant volatiles affecting the host selection of *Dioryctria pryeri* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2006, 42(6): 71-78. (in Chinese)
- [19] 李新岗, 刘惠霞, 刘拉平. 油松球果对外源茉莉酸甲酯和虫害诱导的生化反应 [J]. 林业科学, 2007, 43(3): 66-72.
- Li X G, Liu H X, Liu L P. Response of chinese pine cones to induction of exogenous methyl jasmonate and gravitarmata margarotana larvae [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2007, 43(3): 66-72. (in Chinese)
- [20] 范伟民, 盛承发, 苏建伟. 棉铃虫成虫对性信息素的电生理和行为反应研究 [J]. 昆虫学报, 2003, 46(2): 138-143.
- Fan W M, Sheng C F, Su J W. Electrophysiological and behavioral reponses of both sexes of the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hünber) to sex pheromones [J]. Acta Entomologica Sinica, 2003, 46(2): 138-143. (in Chinese)
- [21] 严福顺, 阎云花, 张 瑛, 等. 两种蚜茧蜂及其寄主蚜虫对大豆植株挥发性次生物质的触角电位反应 [J]. 昆虫学报, 2005, 48(4): 509-513.
- Yan F S, Yan Y H, Zhang Y, et al. Electroantennogram responses of two parasitoid wasps and their host aphids to volatiles from soybean plants [J]. Acta Entomologica Sinica, 2005, 48(4): 509-513. (in Chinese)
- [22] 严善春, 杨 慧, 高璐璐, 等. 兴安落叶松鞘蛾对寄主挥发物的反应 [J]. 林业科学, 2009, 45(5): 94-101.
- Yan S C, Yang H, Gao L L, et al. Responses of *Coleophora obducta* to larch volatile compositions [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(5): 94-101. (in Chinese)
- [23] 杨立军, 李新岗. 松果梢斑螟对油松球果挥发物的触角电位反应 [J]. 林业科学, 2011, 47(1): 172-176.
- Yang L J, Li X G. Electroantennogram responses of *Dioryctria pryeri* moths to cone volatiles of *Pinus tabulaeformis* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(1): 172-176. (in Chinese)
- [24] Du Y J, Poppy G M, Powell W. Relative importance of semiochemicals from first and second trophic levels in host foraging behavior of *Aphidias ervi* [J]. Journal of Chemical Ecology, 1996, 22(9): 1591-1605.
- [25] Honda K, Omura H, Hayashi N. Identification of floral volatiles from *Ligustrum japonicum* that simulate flower visiting by cabbage butterfly [J]. Journal of Chemical Ecology, 1998, 24(12): 167-180.
- [26] 张 娜, 郭建英, 万方浩, 等. 甜菜夜蛾对不同寄主植物的产卵和取食选择 [J]. 昆虫学报, 2009, 52(11): 1229-1235.
- Zhang N, Guo J Y, Wan F H, et al. Oviposition and feeding preferences of *Spodoptera exigua* (Hübner) (Lepidoptera: Noctuidae) to different host plants [J]. Acta Entomologica Sinica, 2009, 52(11): 1229-1235. (in Chinese)
- [27] 杜永均, 严福顺. 植物挥发性次生物质在植食性昆虫、寄主植物和昆虫天敌关系中的作用机制 [J]. 昆虫学报, 1994, 37(2): 233-250.
- Du Y J, Yan F S. The role of plant volatiles in tritrophic interactions among phytophagous insects, their host plants and natural enemies [J]. Acta Entomologica Sinica, 1994, 37(2): 233-250. (in Chinese)
- [28] Dimitrios Z, Wyllie S G. The effect of mechanical wounding on the composition of essential oil from *Ocimum minimum* L [J]. Molecules, 2001, 6: 79-86.
- [29] Arimura G, Kost C, Boland W. Herbivore-induced, indirect plant defences [J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2005, 1734: 91-111.
- [30] Douglas M L, James A K, Ronald G R. Electroantennogram response of alfalfa seed chalcid, *Bruchophagus roddi* (Hymenoptera: Eurytomidae) to host-and nonhost-plant volatiles [J]. Journal of Chemical Ecology, 1992, 18(3): 333-352.
- [31] Hernandez M M, Sanz I, Adelantado M. Electroantennogram activity from antennae of *Ceralitis capitata* (Wied.) to fresh orange airborne volatiles [J]. Journal of Chemical Ecology, 1996, 22(9): 1607-1619.
- [32] Karban R, Baldwin I T, Baxter K J. Communication between plants: Induced resistance in wild tobacco plants following clipping of neighboring sagebrush [J]. Oecologia, 2000, 125(1): 66-71.
- [33] Caroline J B, Dicke M, Visser J H, Maarten A P. Attraction of colorado potato beetle to herbivore-damaged plants during herbivory and after its termination [J]. Journal of Chemical Ecology, 1997, 23(4): 1003-1023.
- [34] 李继泉, 樊 慧, 金幼菊. 光肩星天牛对损伤后复叶槭植株的行为反应 [J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(5): 42-46.
- Li J Q, Fan H, Jin Y J. Behavior response of *Anoplophora glabripennis* to the mechanical-wounded and herbivore-fed a shleaf maples [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2003, 25(5): 42-46. (in Chinese)