

光肩星天牛对 4 种不同槭树科寄主植物的选择机制

张风娟^{1,2}, 金幼菊^{1*}, 陈华君¹, 武晓颖¹

(1. 北京林业大学生物与技术学院, 北京 100083; 2. 河北科技师范学院, 河北昌黎 066600)

摘要:用动态顶空采集法、TCT-GC-MS 分析鉴定了复叶槭、五角枫、华北五角枫、挪威槭等 4 种槭树科植物挥发物的种类和相对含量, 测定结果显示: 4 种植物的化学指纹图谱明显不同。“Y”型嗅觉行为测定结果表明, 不同植物的挥发物对光肩星天牛的引诱效果不同: 复叶槭对光肩星天牛的引诱效果最好, 其次为五角枫, 均达到了差异显著的程度, 华北五角枫对光肩星天牛有引诱作用, 但未达到显著程度, 挪威槭对光肩星天牛既无引诱作用又无驱避作用。数据分析发现, 五角枫、华北五角枫和挪威槭较复叶槭引诱作用差的原因可能与五角枫、华北五角枫中含有对光肩星天牛的驱避组分罗勒烯和反-2-己烯醇、挪威槭中含有对光肩星天牛的驱避组分(E)-1-戊烯-3-醇、反-2-己烯醇和 trans-香叶基丙酮有关; 在 4 种植物中醇类化合物、酮类和醛类化合物相对含量的排列顺序与植物的抗性顺序相同, 而烷烃类和酯类化合物含量的排列顺序与植物的抗性顺序相反; 复叶槭咬食程度轻的原因可能与其叶表面具有较少的表皮毛有关。

关键词:寄主植物; 寄主选择; 挥发物; 光肩星天牛; 行为反应

文章编号:1000-0933(2006)03-0870-08 **中图分类号:**Q948 **文献标识码:**A

The selectivity mechanism of *Anoplophora glabripennis* on four different species of maples

ZHANG Feng-Juan^{1,2}, JIN You-Ju^{1*}, CHEN Hua-Jun¹, WU Xiao-Ying¹ (1. College of Plant Sciences, Beijing Forest University, Beijing 100083, China; 2. Department of Life Science, Hebei Normal University of Science & Technology, Hebei Changli 066600, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 870 ~ 877.

Abstract: *Anoplophora glabripennis* (Motsch.) is a wood-boring beetle that is native to China. For a long time, it caused great losses to the economy and ecology of northwest China. Attractant are often used to control insects. The volatiles emitted from the host plant play an important role for insects in finding their target. To explore the mechanism of selectivity to different host plants, we investigated the response of *Anoplophora glabripennis* to four different host plants, which included *Acer negundo* L., *Acer mono* Maxim., *Acer truncatum* Bunge. and *Acer platanoides* L., and identified the compounds in the profiles of volatiles from these species.

A “Y”-tube olfactometer was used to test the role of volatiles from host plants in host selection by *Anoplophora glabripennis*. The olfactory responses of *Anoplophora glabripennis* to different plant odors showed preference for certain host plants: *Acer negundo*, *Acer mono* and *Acer truncatum*. The attraction of *Acer negundo* and *Acer mono* were significantly different ($p < 0.05$). The attraction of *Acer negundo* to the insect was stronger than to *Acer mono*. *Acer platanoides* neither attracted nor repelled the insect.

Compounds in the profiles of volatiles from the above four species were identified and quantified by GC-MS equipped with a CP-4020 TCT device. The constituents of volatiles and the relative concentrations were different in the four host species. The

基金项目: 国家科技攻关课题资助项目(2001BA509B0903; 2003AA249070)

收稿日期: 2005-06-19; **修订日期:** 2006-01-10

作者简介: 张风娟(1969~), 女, 河北唐山人, 副教授, 博士生, 主要从事化学生态学研究. E-mail: fengjuanzhang@sohu.com

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: youjujin@bjfu.edu.cn

Foundation item: The project was supported by the key Programm of the Plan of National Science and Technology Study(No. 2001BA509B0903); the Programm of 863(No. 2003AA249070)

Received date: 2005-06-19; **Accepted date:** 2006-01-10

Biography: ZHANG Feng-Juan, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in chemical ecology. E-mail: fengjuanzhang@sohu.com

amounts of ketones, alcohols and aldehydes in the four plants showed same order: *Acer negundo* < *Acer mono* < *Acer truncatum* < *Acer platanoides*. While that of alkanes and esters was quite different: *Acer negundo* > *Acer mono* > *Acer truncatum* > *Acer platanoides*. 1-Penten-3-ol, Ocimene and trans-Geranylacetone were repellent to *Anoplophora glabripennis*. 1-Penten-3-ol and trans-Geranylacetone were identified in *Acer platanoides*, and Ocimene was the most attractive to *Anoplophora glabripennis* among these species.

The extent of feeding damage caused by *Anoplophora glabripennis* differed among four species. The order was *Acer negundo* > *Acer mono* > *Acer truncatum* > *Acer platanoides*.

The epidermal hairs of the four host plants were examined. The results revealed that *Acer negundo* had few hairs, while the others had quite a lot of epidermal hairs, which may be one of the reasons that the damage on *Acer negundo* was less than that on *Acer mono*.

It was concluded that the relative concentrations of the compounds of the volatile compounds played an important role in preference of *Anoplophora glabripennis* for certain hosts. The extent of damage was related to the physical characteristics of the host plants.

Key words: host plants; host selection; volatiles; *Anoplophora glabripennis*; olfactory response

光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky) 是一种林木蛀干害虫,它以杨树、柳树植物以及榆树 (*Ulmus pumila* L.)、华北五角枫 (*Acer truncatum* Bunge.)、复叶槭 (*Acer negundo* L.) 等植物的叶和嫩枝为食,然后侵入树干产卵。据报道已有 18 属的植物受到光肩星天牛的危害,给各国带来了严重的经济损失^[1~6]。利用植物性引诱剂引诱天牛从而达到消灭天牛是防治害虫的措施之一。研究表明,昆虫在寻找寄主的识别过程中,寄主植物释放的挥发性次生物质起着关键的通讯引导作用^[7~9],研究害虫在寻找寄主植物中所利用的化学信息物质及其感受机制,不仅能够揭示害虫与寄主植物之间的化学联系,而且可以为害虫的防治提供新的思路与技术途径,在利用天然生物活性物质防治害虫、抗虫育种、生物防治等方面都具有重要的科学意义。因此,本研究以光肩星天牛寄主植物复叶槭、五角枫 (*Acer mono* Maxim.)、华北五角枫及挪威槭 (*Acer platanoides* L.) 4 种槭树科植物为对象,依据光肩星天牛对不同寄主植物的行为反应和寄主植物的挥发性化学组分等特征数据,探求引起光肩星天牛对不同寄主植物的选择性差异的可能机理。

1 材料和方法

1.1 实验材料

5 年生的复叶槭、五角枫、华北五角枫、挪威槭和从河北廊坊地区捕捉到的光肩星天牛成虫。

1.2 挥发物的动态顶空采集

选取叶子健康并无缺损的枝条,并用 Reynolds 微波炉袋 (44.3 cm × 55.8 cm, 此袋在高温和高光强下挥发物释放量很低) 套上。在短时间内把袋内的空气抽出,然后把经过活性炭和 GDX-101 (60 ~ 80 目) 双重过滤的压缩空气冲入袋内。30 min 后开始采样,袋内的气体被装有吸附剂 Tenax-GR (200 mg, 60 ~ 80 目) 的石英玻璃管 ($L = 16$ cm, $\phi_i = 3.2$ mm) 所吸附。采样时间为 40 min,流速是 100 ml/min。每种材料重复 3 次。

1.3 挥发物的分析

用 TCT-GC-MS (Trace 2000 Voyager, Finnigan, ThermoQuest) 对挥发物进行定性和定量分析。此仪器配有 CP-4010 型热脱附装置 (Chrompack, The Netherlands), 分流/不分流进样器和毛细柱,载气 (氦气) 压力是 6 kPa。电子轰击源 (70 eV) 全程扫描,扫描速度 0.4 s,扫描范围 m/z 10-400。热脱附装置内的吸附剂 Tenax-GR 吸附的挥发物在 250 °C 被解吸,10 min 后被冷凝在 -120 °C 的冷阱中;然后迅速加热冷阱 (在 1 min 内升到 260 °C),使挥发物快速进入 GC,进行 GC-MS 分析。GC-MS 程序升温条件如下:初始温度 40 °C 保持 3 min,以 6 °C/min 的速度升到 270 °C 并保持 5 min,全程共需 46 min。通过 Xcalibur 1.2 版本应用软件检索 NIST98 谱图库和 GC 保留指数兼顾的方法对挥发物进行定性。

1.4 生物测定

采用“Y”型嗅觉仪对光肩星天牛进行趋性行为测定。生物测定装置和试验方法参照 Honda 和李继泉的方法^[10,11]。试验时,挑选性别相同、活力较强并且触角、附肢完好的光肩星天牛作为供试昆虫。每次试验从放虫口放入 5 头光肩星天牛后开始计时,观察天牛的行为反应并记录天牛进入引诱臂和对照臂球形陷阱的频次(天牛从适应臂每落入球形陷阱内一次计为 1 个频次)。每组观察 50 min。每测完 1 组后,引诱臂和对照臂互换,并更换新鲜植株。测定重复 3 次。

1.5 光肩星天牛的咬食实验

选取 4 种寄主植物中长势相同的枝条,用铁丝网将其套住,每个网中放入活性相同的雄性光肩星天牛 7 头,使光肩星天牛取食一个晚上。第 2 天 8:00 拿开天牛,观察被天牛取食枝叶的面积。

1.6 寄主植物表皮毛的观察

采用印迹法进行观察。用毛笔将火棉胶涂在叶片中部表皮上,数分钟后撕下火棉胶膜,置于载玻片上,光学显微镜下观察表皮毛的分布情况。

1.7 数据处理

挥发物定量采用峰面积归一化法表示各成分的相对百分含量。采用 *t* 检验分析光肩星天牛成虫对不同植物挥发物的嗅觉行为反应。

表 1 光肩星天牛对不同寄主植物的行为反应

植物名称 Species	第 1 组 Group1		第 2 组 Group2		第 3 组 Group3		平均值 Average	
	引诱臂	对照臂	引诱臂	对照臂	引诱臂	对照臂	引诱臂	对照臂
	Attracting arm	Control arm	Attracting arm	Control arm	Attracting arm	Control arm	Attracting arm	Control arm
复叶槭 <i>Acer nnegundo</i>	9	2	8	2	6	1	7.67	1.67
五角枫 <i>Acer mono</i>	6	1	9	2	4	0	6.33	1.00
华北五角枫 <i>Acer truncatum</i>	1	1	4	3	6	3	3.67	2.33
挪威槭 <i>Acer platanoides</i>	4	3	5	7	4	3	4.33	4.33

* 该数值表示在 50min 内光肩星天牛进入各臂的频次 The data in the table indicate the frequencies of *A. glabripennis* entering the attracting and control arm with in 50 minutes

2 结果与分析

2.1 光肩星天牛对不同寄主植物的嗅觉行为反应

天牛成虫对不同植物的挥发物的嗅觉行为反应如表 1 和图 1 所示。行为测定结果表明,光肩星天牛在寻找寄主植物的过程中嗅觉起主导作用。不同的植物对光肩星天牛的引诱程度不同:复叶槭对光肩星天牛的引诱效果最好,其次为五角枫,并且复叶槭和五角枫植株挥发物对光肩星天牛的引诱作用达到了差异显著的程度;华北五角枫植株的挥发物对光肩星天牛表现为引诱作用,但并未达到差异显著的程度;挪威槭植株的挥发物对光肩星天牛作用表现为既不引诱也不驱避。

2.2 不同寄主植物的挥发物组成

通过 TCT-GC-MS 分析,初步确定了光肩星天牛主($p < 0.05$)要寄主树种挥发性物质的化学组成包括酮类、醛类、醇类、酯类、脂肪酸类及单萜类等(见表 2)。分析数据显示,各种植物具有不同的化学指纹图谱:复叶槭释放的挥发物中以酯类、醛类和烷烃类为主,酯类包括(E)-乙酸-3-己烯酯、乙酸庚酯、乙酸乙酯、(E)-乙酸-4-己烯酯和乙酸戊酯等;五角枫释放的挥发物中以酯类和醛类为主,酯类化合物包括(E)-乙酸-3-己烯酯、丁酸-4-己烯酯等,醛类中以壬醛、(E)-2-癸烯醛、癸醛、2-己烯醛等为主;华北五角枫释放的挥发物中以酯类、萜烯类和醇类

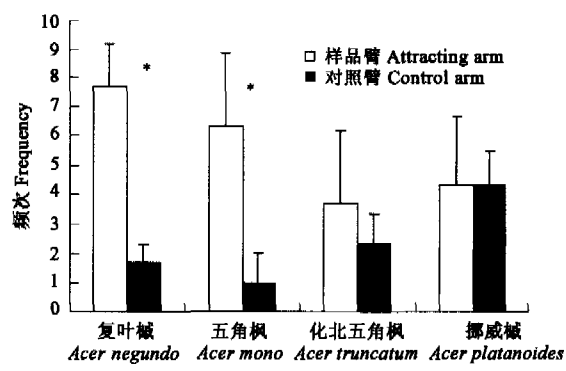


图 1 光肩星天牛对不同寄主的的行为反应

Fig.1 The behaviore response of *Anoplophora glabripennis* to the different host plants

* 代表光肩星天牛在引诱臂和对照臂中出现的频次间差异显著 ($p < 0.05$) Indicate that the difference is significant from the frequency of ALB entering the attracting arm and control arm ($p < 0.05$)

为主,酯类中主要以(E)-乙酸-3-己烯酯、乙酸乙酯为主,醇类包括反-3-己烯醇、乙基己醇、和反-2-癸烯醇等,萜烯类化合物包括 α -蒎烯、 β -蒎烯、罗勒烯、苌烯等;挪威槭释放的挥发物中以酯类为主,其次是醇类和醛类物质,而萜烯类物质所占的比例很小,酯类物质中以(E)-乙酸-3-己烯酯的释放量最高,醇类以反-2-己烯醇为主,醛类物质中2-甲基-4-丁烯醛、2-己烯醛、壬醛、癸醛等的释放量较高,萜烯类中 α -蒎烯、 β -蒎烯含量较高。4种植物中相同的挥发物共8种,分别为正己烷、乙酸乙酯、2-己烯醛、 α -蒎烯、 β -蒎烯、(E)-乙酸-3-己烯酯、壬醛和癸醛。

光肩星天牛在借助化学感受器寻找寄主的过程中,植物的气味起着首要作用。光肩星天牛对寄主植物较高的选择性表明寄主植物的气味组成对其具有较强的引诱作用。以前的试验结果也表明,一定浓度的壬醛、癸醛、(E)-乙酸-3-己烯酯和反-2-己烯醇对天牛具有明显的引诱作用,且达到了显著的程度,罗勒烯、(E)-1-戊烯-3-醇和 trans-香叶基丙酮对天牛具有显著的驱避作用^①。在复叶槭的挥发物中有乙酸乙酯、2-己烯醛、 α -蒎烯、 β -蒎烯、(E)-乙酸-3-己烯酯、壬醛和癸醛,而没有罗勒烯、(E)-1-戊烯-3-醇和 trans-香叶基丙酮;在五角枫中具有乙酸乙酯、2-己烯醛、(E)-乙酸-3-己烯酯、壬醛、癸醛和罗勒烯,而无(E)-1-戊烯-3-醇和 trans-香叶基丙酮;在华北五角枫中具有乙酸乙酯、2-己烯醛、(E)-乙酸-3-己烯酯、壬醛、癸醛和罗勒烯,而无(E)-1-戊烯-3-醇和 trans-香叶基丙酮;在挪威槭中具有乙酸乙酯、2-己烯醛、(E)-乙酸-3-己烯酯、壬醛、癸醛、(E)-1-戊烯-3-醇和 trans-香叶基丙酮,而无罗勒烯。此外研究发现在感虫树种复叶槭中没有检测到醇类和酮类化合物,且醛类化合物的含量均低于五角枫、华北五角枫和挪威槭,而烷烃类、酯类化合物含量较高(见表2);五角枫中醇类、酮类和醛类化合物的含量也均小于华北五角枫和挪威槭,而大于复叶槭。即从数据分析发现4种槭树科植物中醇类和醛类化合物的含量的变化与植物的抗性顺序是一致的,可能正是这些不同的化学组分导致了不同寄主植物对光肩星天牛具有引诱效果。同时发现同一种化合物在不同植物中的浓度是不同的。研究发现在植食性昆虫对寄主植物的识别过程中,植物气味中的各成分浓度比例至关重要^[12-14],这也是复叶槭、五角枫、华北五角枫和挪威槭对天牛的引诱作用不同的原因之一。

表2 光肩星天牛寄主树种主要挥发性物质的化学组成的相对含量(%)

Table 2 Main chemical composites of volatiles from host trees of *Anoplophora glabripennis* adults (%)

化合物 Compounds	复叶槭 <i>Acer negund</i>	五角枫 <i>Acer mono</i>	华北五角枫 <i>Acer truncatum</i>	挪威槭 <i>Acer platanoides</i>
烷烃类化合物 Alkylations	7.41	2.02	1.06	0.33
2-甲基戊烷 Pentane, 2-Methyl-	0.13 $\pm$ 0.07	1.18 $\pm$ 0.01		
正己烷 Hexane	1.66 $\pm$ 1.63	0.33 $\pm$ 0.43	0.58 $\pm$ 0.32	0.12 $\pm$ 0.01
甲基环戊烷 Methylcyclopentane	0.05 $\pm$ 0.05			
2-硝基丁烷 2-Nitrobutane		0.02 $\pm$ 0.02		
庚烷 Heptane	0.20 $\pm$ 0.07			0.09 $\pm$ 0.05
甲基庚烷 2-Methylheptane				
1-硝基丁烷 1-Nitrobutane		0.05 $\pm$ 0.04		
2,4-二甲基己烷 Hexane, 2, 4-dimethyl-	0.69 $\pm$ 0.25		0.08 $\pm$ 0.07	0.02 $\pm$ 0.02
4-甲基-1-(1-甲基)-[3,10]环己烷	4.66 $\pm$ 0.61			
Bicyclo [3,10]hexane, 4-methyl-1-(1-methylethyl)-				
1,4-二甲基环己烷 1,4-Methylcyclohexane				0.02 $\pm$ 0.00
辛烷 Octane	0.08 $\pm$ 0.05			
癸烷 Decane				0.01 $\pm$ 0.00
2,6,7-三甲基癸烷 Decane 2,6,7-trimethyl-				
2-乙基-1,1-二甲基-3-甲基环己烷		0.40 $\pm$ 0.03	0.40 $\pm$ 0.02	0.06 $\pm$ 0.07
Cyclohexane, 2-ethyl-1,1-dimethyl-3-methylene-				
酯类化合物 Esters	79.26	72.1	62.08	57.87
乙酸乙酯 Ethyl acetate	2.24 $\pm$ 1.97	0.31 $\pm$ 0.19	3.26 $\pm$ 0.33	0.66 $\pm$ 0.26
丁酸乙酯 Hexenyl butyrate		0.06 $\pm$ 0.02		0.10 $\pm$ 0.10
(E)乙酸-4-己烯酯(E)4-Hexenyl acetate	0.21 $\pm$ 0.20			0.04 $\pm$ 0.01
乙酸戊酯 Acetic acid, pentyl ester	0.11 $\pm$ 0.06			
3-己烯酯 Methyl-3-hexenate				0.05 $\pm$ 0.05

① 李继泉,不同条件下复叶槭挥发物——星天牛趋性行为的影响及其机制的研究,北京林业大学博士研究生学位论文.2003,6.

续表 2

(E)乙酸-3-己烯酯(E)3-Hexen-1-ol, acetat-	54.81 ± 13.49	65.3 ± 0.5	58.37 ± 8.11	56.87 ± 12.98
乙酸-环-3-己烯酯 3-cyclohexenyl acetate				0.06 ± 0.01
乙酸庚酯 Acetic acid, hexyl ester	21.85 ± 26.95		0.31 ± 0.19	
丁酸-4-己烯酯 4-Hexenyl butyrate		5.46 ± 3.60		
(E)丁酸-3-己烯酯 trans-3-Hexenyl butyrate	0.04 ± 0.03		0.07 ± 0.06	
水杨酸甲酯 Methyl Salicylate -		0.15 ± 0.13	0.06 ± 0.08	0.06 ± 0.03
异丁酸-3-己烯酯		0.48 ± 0.13		
Isovaleric acid cis-3-hexenyl ester				
戊酸-3-己烯酯 3-Hexenyl pentanoate				0.01 ± 0.00
乙酸冰片酯 Bornyl acetate				0.01 ± 0.01
醛类化合物 Aldehydes	9.47	10.15	11.72	14.07
2-甲基-2-丙醛 2-Propanal, 2-methyl-				0.01 ± 0.01
2-甲基-2-丙烯醛 2-Propenal-2-methyl-		0.06 ± 0.01		0.02 ± 0.01
戊醛 Pentanal			0.03 ± 0.00	0.02 ± 0.01
(E)2-戊烯醛 E-2-Pentenal				0.01 ± 0.03
2-甲基-2-丁烯醛 2-Methyl-2-butenal				0.02 ± 0.01
3-甲基-戊醛 Pentanal, 3-methyl-	0.63 ± 0.31	0.51 ± 0.18	0.02 ± 0.00	
2-甲基-4-丁烯醛 4-Butenal, 2-methyl-				7.73 ± 0.74
2-己烯醛 2-Hexenal	0.09 ± 0.03	0.39 ± 0.49	0.56 ± 0.59	3.45 ± 1.58
庚醛 Heptanal		0.05 ± 0.01	0.35 ± 0.23	0.10 ± 0.00
(E,E)2,4-己烯醛 E,E-2,4-Hexenal				0.32 ± 0.15
苯甲醛 Benzaldehyde		0.34 ± 0.18	0.16 ± 0.13	0.01 ± 0.00
(E)-2-辛烯醛(E)-2-Octenal			0.05 ± 0.00	
(Z)-2-癸烯醛 2-Decenal		0.05 ± 0.03		
(E)-2-壬烯醛(E)-2-Nonenal		0.05 ± 0.00	0.24 ± 0.17	
壬醛 Nonanal	4.19 ± 3.44	4.72 ± 2.39	5.05 ± 1.00	1.02 ± 0.11
(E)-2-癸烯醛 E-2-Decenal		0.94 ± 0.68		
癸醛 Decanal	4.56 ± 3.80	0.22 ± 0.15	4.59 ± 0.12	1.13 ± 0.40
十一醛 Undecanal		2.83 ± 1.64	0.68 ± 0.46	0.04 ± 0.00
醇类化合物 Alcohols	0	8.46	11.82	21.68
1-丙醇 1-Propanol				0.03 ± 0.02
2-甲基-1-丙醇 1-Propanol, 2-methyl-				0.02 ± 0.01
(E)1-戊烯-3-醇(E)1-Penten-3-ol				0.12 ± 0.03
反-2-己烯醇 Z-2-Hexenol		8.17 ± 11.0	11.31 ± 2.63	20.46 ± 15.56
3-甲基戊醇 Pentanol, 3-methyl-			0.11 ± 0.15	
己醇 Hexanol				0.83 ± 0.73
乙基己醇 Ethylhexanol			0.18 ± 0.01	0.04 ± 0.04
trans-2-壬烯醇 trans-2-Nonenol				0.06 ± 0.05
trans-2-癸烯醇 trans-2-Decenol		0.30 ± 0.02	0.22 ± 0.17	0.13 ± 0.02
萜烯类化合物 Terpenoids	3.2	6.55	12.49	2.33
α -蒎烯 α -Pinene	1.11 ± 0.31	4.89 ± 4.72	9.67 ± 1.97	1.77 ± 0.01
莰烯 Camphene			0.20 ± 0.11	
β -蒎烯 β -Pinene	1.55 ± 0.97	0.25 ± 0.06	1.33 ± 0.60	0.47 ± 0.21
对薄荷-1,4(8)-二烯 ρ -Metha-1,4(8)-diene	0.16 ± 0.08			0.01 ± 0.01
3-萜烯 3-Carene			0.05 ± 0.01	0.09 ± 0.08
崖柏烯 Thujene		0.57 ± 0.49		
α -萜品烯 α -Terpinene	0.38 ± 0.28	0.06 ± 0.06		
苧烯 Limonene		0.63 ± 0.11	0.36 ± 0.31	
水芹烯 Phellandrene		0.19 ± 0.09	0.25 ± 0.05	
罗勒烯 Ocimene	0.04 ± 0.00	0.54 ± 0.28		
β -萜品烯 β -Terpinene		0.19 ± 0.13		
石竹烯 Caryophyllene		0.31 ± 0.02		
酮类化合物 Ketones	0	0.03	0.15	3.7
2,3-丁二酮 2,3-Butanone				0.05 ± 0.02
3-戊酮 3-Pentanone				0.11 ± 0.06
6-甲基-2-庚酮 2-Heptanone-6-methyl-		0.03 ± 0.18	0.06 ± 0.03	
5-乙基-2(5H)-呋喃酮 2(5H)-Furanone, 5-ethyl-				3.21 ± 0.36
苯乙酮 Acetophenone			0.09 ± 0.01	
异佛儿酮 Isophoron				0.02 ± 0.01
trans-香叶基丙酮 trans-Geranylacetone				0.32 ± 0.06
其他化合物 Others	0.05	0.54	0.38	0.03
烯丙基-甲基醚 Allyl methyl ether	0.05 ± 0.04			
己酸 Hexanoic acid			0.12 ± 0.10	
环己基异硫氰酸酯		0.54 ± 0.24	0.26 ± 0.19	0.03 ± 0.00
Cyclohexane, isothiocyanato-				

* 表中数据为平均值 ± 标准差 Data were mean ± SD

2.3 4种寄主植物被光肩星天牛的咬食程度

实验发现4种寄主植物被光肩星天牛咬食程度是不同的(表3),由表3可知复叶槭咬食最厉害,其次是五角枫和华北五角枫,挪威槭咬食最轻。

表3 4种植物被光肩星天牛的咬食程度比较

Table 3 Comparison of the damaged area of the four plants by *Anoplophora glabripennis*

植物种类 Species	咬食部位 Feeding sites		
	枝条咬伤程度(%)	叶柄咬伤程度(%)	叶咬伤程度(%)
	Percent of the damaged stem	Percent of the damaged petiole	Percent of the damaged leaves
复叶槭 <i>Acer negund</i>	80	80	30
五角枫 <i>Acer mono</i>	30	30	20
华北五角枫 <i>Acer truncatum</i>	20	20	20
挪威槭 <i>Acer platanoides</i>	—	—	15

— 没有损伤 Means no damage

2.4 4种寄主植物叶表皮毛的观察

观察发现4种寄主植物中腹面表皮毛均较少,没有什么太大的差别,而背面差异较大。在四种植物中复叶槭背面表皮毛最少,而五角枫、华北五角枫和挪威槭很多,几乎覆盖了叶的表面(如图2)。研究发现表皮毛的密度是影响昆虫取食面积的一个重要因素,一般抗虫树种较感虫树种表皮毛较多^[15]。

3 讨论

3.1 不同的寄主植物具有不同的挥发物组成。

GC-MS的测试结果表明4种寄主植物释放出的挥发物的种类以及每种化合物在每个寄主中的相对含量是不同的。在感虫树种复叶槭中没有检测到醇类和酮类化合物(表2)。醛类、醇类和酮类化合物的相对含量在4种植物中由小到大的排序均为:复叶槭<五角枫<华北五角枫<挪威槭,即4种槭树科植物中醇类、醛类和酮类化合物含量的大小顺序与植物的抗性顺序是一致的,而烷烃类和酯类化合物的相对含量在4种植物中的大小排序正好相反,即复叶槭>五角枫>华北五角枫>挪威槭。

3.2 不同寄主植物对光肩星天牛的引诱程度不同

复叶槭对光肩星天牛的引诱效果是最好的,其次为 *truncatum*; 4.挪威槭 Norway maple 五角枫,并且复叶槭和五角枫植株挥发物对光肩星天牛的引诱作用达到了差异显著的程度。这与李继泉等的试验结果是一致的^[16,17]。不同寄主植物中挥发物的种类和相对含量的不同导致不同树种对光肩星天牛具有不同的引诱效果。首先,五角枫、华北五角枫和挪威槭中均含有反-2-己烯醇,五角枫和华北五角枫中具有罗勒烯,仅挪威槭中具有香叶基丙酮和(E)1-戊烯-3-醇,而反-2-己烯醇、罗勒烯、香叶基丙酮和(E)1-戊烯-3-醇等已被前人证明对光肩星天牛具有显著的趋避作用,这可能是复叶槭较光肩星天牛引诱效果好的原因之一。此外,植物释放的各类挥发物的相对含量与光肩星天牛的趋性行为有关。在感虫树种复叶槭中没有检测到醇类和酮类化合物,醛类化合物的相对含量均低于其他3种植物,烷烃类和酯类化合物的相对含量均高于五角枫、华北五角枫和挪威槭,五角枫挥发出的醇类、醛类和酮类化合物的量较复叶槭多,而较华北五角枫和挪威槭少,也许正是这种差异致使五角枫对光肩星天牛的引诱效果较华北五角枫和挪威槭好,而较复叶槭差。李建光在测定光肩星天牛不同寄主树种旱柳、合作杨等的挥发物时,也指出不同寄主树种对光肩星天牛具有不同抗性的原因可能是由于这些树种中不同挥发物所占的比例不同所致^[16]。

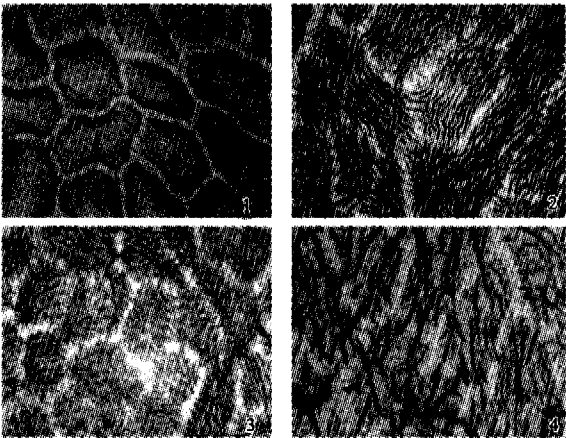


图2 4种槭树科植物叶表皮毛的观察

Fig.2 The leaf epiderm hairs of four different maples

1.复叶槭 *Acer negund*; 2.五角枫 *Acer mono*; 3.华北五角枫 *Acer*

truncatum; 4.挪威槭 Norway maple

3.3 植食性昆虫对寄主植物的寻找、识别和接受过程是一个复杂的过程。

光肩星天牛在寻找和发现寄主过程中嗅觉起着主要的作用,即光肩星天牛通过嗅觉感知植物释放的挥发性次生代谢物质,对寄主进行远程定位,然后通过触觉和味觉等综合作用最后对植物作出取舍决定。

本实验发现复叶槭和五角枫对光肩星天牛的引诱效果均达到了显著的程度,但天牛对二者的咬食程度不同,主要原因之一为两种植物的物理特性不同,如复叶槭植物叶表皮毛较少,而五角枫的表皮毛很多。许多研究表明,树木在组织形态上的对害虫的防卫作用有时甚至大于化学因素,如表皮毛、蜡质、树皮等都可以构成害虫难于取食和刻槽产卵,这些形态结构的轻微变化都有可能改变植食性昆虫的适口度,从而影响昆虫的行为和生长发育。此外植物中的水分含量和化学成分等多因素与昆虫的取食有关。植物体内较高含量的水分可阻止幼虫的侵入^[18-20]。单宁和酚类化合物是树木体内有效的化学防御物质,与昆虫的抗虫性密切相关^[21-24]。植食性昆虫依靠植物获得营养成分,寄主植物对植食性昆虫的营养效应主要决定于取食部位所含成分的性质和份量^[25,26],杨雪彦等认为当树木中还原糖、蛋白质、氨基酸含量高和不饱和脂肪酸中亚麻酸相对比例高时,树木抗虫性差。纤维素、木质素和灰分含量高时,不利于天牛的取食^[27]。高含量的单萜类化合物可提高植物的抗虫性,降低昆虫的咬食和产卵^[28]。本实验研究发现五角枫中单萜类化合物含量较复叶槭高,这也可能是五角枫较复叶槭咬食程度轻的原因之一,但同时发现挪威槭中单萜含量也较低,但天牛的咬食危害是最轻的,具体原因还有待进一步研究。总之,光肩星天牛对寄主植物造成的危害是多因素综合作用的结果,昆虫对寄主的选择过程既与植物的物种特性有关^[29-32],又受环境因素的影响,因此我们应综合各种因素对植物的抗虫性进行进一步研究。

References:

- [1] Morewood W D, Hoover K, Neiner P R, et al. Host tree resistance against the polyphagous wood-boring beetle *Anoplophora glabripennis*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2004, 110: 79 ~ 86.
- [2] Keena M A. *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) fecundity and longevity under laboratory conditions: Comparison of populations from New York and Illinois on *Acer saccharum*. *Environ. Entomol.*, 2002, 31: 490 ~ 498.
- [3] Smith M T, Bancroft J. Age-specific fecundity of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) on three tree species infected in the United States. *J. Econ. Entomol.*, 2002, 94: 116 ~ 122.
- [4] Nowak D J, Pasek J E, Sequeira R A, Crane D E, and Mastro V C. Potential effect of *Anoplophora glabripennis* (Coleoptera: Cerambycidae) on urban trees in the United States. *J. Econ. Entomol.*, 2001, 94: 116 ~ 122.
- [5] Haack R A. Research on *Anoplophora glabripennis* in the United States. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutz*, 2003, 55: 68 ~ 70.
- [6] Luo Y, Wen J, and Xu Z. Current situation of research and control on popular longhorned beetle, especially for *Anoplophora glabripennis* in China. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutz*, 2003, 55: 66 ~ 67.
- [7] Kessler A and Baldwin I T. Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. *Science*, 2001, 291: 2141 ~ 2144.
- [8] Zhu J, Cosse A A, Obrycki J J, Boo K S, and Baker T C. Olfactory reactions of the twelve-spotted lady beetle, *Coleomegilla maculata* and the green lacewing, *Chrysoperla carnea* to semiochemicals released from their prey and host plants: Electroantennogram and behavioral responses. *J. Chem. Ecol.*, 1999, 25: 1163 ~ 1177.
- [9] Frédéric F, Georges L and Eric H. Olfactory responses to aphid and host plant volatile releases: (E)- β -Farnesene an effective kairomone for the predator *Adalia bipunctata*. *J Chem Ecol.*, 2004, 30 (4): 741 ~ 755.
- [10] Honda T, Kainoh Y, Honda H. The persistence of a learned response in the egg-larval parasitoid *Ascogaster reticulatus* Watanabe (Hymenoptera: Braconidae). *Entomol. Sci.*, 1999, 2 (3): 335 ~ 340.
- [11] Li J Q, Fan H, Jin Y J. Behavior response of *Anoplophora glabripennis* to the mechanical-wounded and herbivore-fed ashleaf maples. *Journal Beijing Forestry University*, 2003, 25 (5): 42 ~ 46.
- [12] Visser J H, and Yan Y S. Electroantennogram responses of the grain aphids *Sitobion avenae* (F.) and *Metopolophium dirhodum* (Alk.) (Homoptera: Aphididae) to plant odour components. *J. Appl. Ent.*, 1995, 119: 539 ~ 542.
- [13] Visser J H. Host odour perception in phytophagous insects. *Ann. Rev. Entomol.*, 1986, 31: 121 ~ 144.
- [14] Schneider D. Plant recognition by insects: a challenge for neuro-ethological research. *Insect-Plant Relationships*, edited by Labeyrie V, Fabres G. and Lachaise D, 1986. 117 ~ 124.

- [15] Wei H R, Li F L. Some relationship between leaf structure and resistance to insects of elms. Journal Beijing Forestry University, 1995, 4(1): 17 ~ 26.
- [16] Li J G, Jin Y J, Luo Y Q, et al. Comparative analysis of volatile compounds from different host plants of *Anoplophora glabripennis* (Motsch.). Journal of Beijing Forestry University, 2002, 24(1): 165 ~ 169.
- [17] Li J Q, Fan H, Jin Y J, et al. Emission mechanism of volatile compounds from ashleaf maple feeding-damaged by *Anoplophora glabripennis* (Motsch.). Journal of Beijing Forestry University, 2002, 24(5 6): 170 ~ 174.
- [18] Hanks L M. Water relations of host trees and resistance to the phloem-boring beetle *Phoracantha semipunctata* F. (Coleoptera: Cerambycidae). Oecologia, 1999, 119: 400 ~ 407.
- [19] Hanks L M, Paine T D & Millar J G. Mechanisms of resistance in *Eucalyptus* against larvae of the eucalyptus longhorned borer (Coleoptera: Cerambycidae). Environmental Entomology, 1991, 20: 1583 ~ 1588.
- [20] Hanks L M, Paine T D, Millar J G & Hom J L. Variation among *Eucalyptus* species in resistance to eucalyptus longhorned borer in Southern California. Entomologia Experimentalis et Applicata, 1995 74: 185 ~ 194.
- [21] Hirotaka T, Shuichiro M. On the polyphenolic of them to the resistance to chestnut gall wasp. Japan Soc Hort Sci, 1996, 35: 89 ~ 97.
- [22] Auger M, Bastien C, Geri C. Edibility of different clones of Scots pine for *Diprion pini* L., (Hym., Diprionidae). III. Prospects for the genetic improvement of Scots pine. Journal of Applied Entomology, 1991, 111(3): 270 ~ 277.
- [23] Eom T, Son D, Lee S. Resistance to pine gall-midge and phenolic acid content in pine needles. Journal of the Korean Wood Science and Technology, 1998, 26(3): 33 ~ 40.
- [24] Hulme M A. Resistance by translocated Sitkaspruce to damage by *Pissodes strobi* (Coleoptera: Curculionidae) related to tree phenology. J Econ Entomol, 1995, 88: 1525 ~ 1530.
- [25] Van den Boom C E M, van Beek T A and Dicke M. Differences among plant species in acceptance by the spider mite *Tetranychus urticae* Koch. Journal of Applied Entomology, 2003, 127: 177 ~ 183.
- [26] Li D G, Hou Y L, Shen Z R. Influence of host plant species on the development and reproduction of hawthorn spider mite *Tetranychus viennensis* Zacher. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(7): 1562 ~ 1568.
- [27] Yang X Y, Zhou J X, Yan X H. The relation between the harmfulness of longicorn and morphological characteristics and dissection structures of tress. Journal of Northwest Forestry University, 1992, 7(3): 34 ~ 43.
- [28] Nerg A M, Heijari J, Noldt U, Viitanen H, et al. Significance of wood terpenoids in the resistance of Scots pine provenances against the old house borer, *Hylotrupes bajulus*, and brown-rot fungus, *Coniophora puteana*. Journal of Chemical Ecology, 2004, 30(1): 125 ~ 141.
- [29] Hensley D L, Wiest S C, Long C E, et al. Evaluation of ten landscape trees for the Midwest. Journal of Environmental Horticulture, 1991, 9: 149 ~ 155.
- [30] Kuser J E, Robinson G & Polanin N. Four-year evaluation of five cultivars of *Pyrus calleryana*. Journal of Arboriculture, 2001, 27: 88 ~ 91.
- [31] Wen J B, Ye G, Li Z Y, et al. Relationship between bark thickness of poplars and damage caused by *Anoplophora glabripennis* (Motschulsky). Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 1998, 13(2): 136 ~ 140.
- [32] Li H P, Wang Z G, Yang M S, et al. The relation between tannin and phenol constituents and resistance to *Anoplophora glabripennis* of various poplar tree species. Journal of Agricultural University of HeBei, 2003, 26(1): 36 ~ 39.

参考文献:

- [11] 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.北京林业大学学报, 2003, 25(5): 42 ~ 46.
- [15] 卫海荣,李凤兰.榆树的形态结构特征与抗虫性的关系.北京林业大学学报, 1995, 4(1): 17 ~ 26.
- [16] 李建光,金幼菊,骆有庆,等.光肩星天牛不同寄主树种挥发性物质的比较分析.北京林业大学学报, 2002, 24(1): 165 ~ 169.
- [17] 李继泉,樊慧,金幼菊,等.光肩星天牛取食后复叶槭挥发物的释放机制.北京林业大学学报, 2002, 24(5 6): 170 ~ 174.
- [26] 李定旭,侯月利,沈佐锐.不同寄主植物对山楂叶螨生长发育和繁殖的影响.生态学报, 2005, 25(7): 1562 ~ 1568.
- [27] 杨雪彦,周嘉熹,燕新华.杨树形态特征、组织结构与天牛危害的关系.西北林学院学报, 1992, 7(3): 34 ~ 43.
- [31] 温俊宝,叶刚,李镇宇,等.杨树受光肩星天牛危害程度与树皮厚度的关系.河北林果研究, 1998, 13(2): 136 ~ 140.
- [32] 李会平,王志刚,杨敏生,等.杨树单宁与酚类物质种类及含量与光肩星天牛危害之间关系的研究.河北农业大学学报, 2003, 26(1): 36 ~ 39.