

# 火炬树 (*Rhus typhina*) 叶挥发性成分及其 对两种叶螨选择行为的影响

李中新<sup>1</sup>, 李庆和<sup>2</sup>, 刘凤菊<sup>3</sup>, 孙绪良<sup>1,\*</sup>

(1. 山东农业大学植物保护学院, 泰安 271018; 2. 山东省汶上县植保站, 汶上 272501; 3. 山东省济宁市中区农业局, 济宁 272000)

**摘要:** 火炬树为我国于 1959 年引进的速生绿化观赏性植物, 其生长快, 长势旺盛, 抗病虫害和抗螨能力强, 但还未见到其抗螨性和抗螨机理的研究报道。测定了火炬树叶挥发性成分及其对二斑叶螨 *Tetranychus urticae* Koch 和山楂叶螨 *Tetranychus viennensis* Zacher 选择行为的影响, 利用固相微萃取 (Solid phase microextraction, SPME) 采集、GC-MS 测定火炬树叶挥发物, “Y” 型嗅觉仪分别测定挥发物对两种叶螨选择行为的影响。结果表明, 火炬树叶挥发性成分含量由高至低依次为 4,6-二特丁基-2-甲基苯酚、4-庚醇、3,7,11-三甲基-2,6,10-二十二烯-1-醇、丁基化羧基甲苯、 $\alpha$ -法呢烯、十八烯、4-甲基-1-丙烯-3-醇、水杨酸甲酯和苯甲酸乙酯等; 在两组气味源 (火炬树叶与苹果树叶、火炬树叶与空气) 中, 二斑叶螨对火炬树叶的选择率分别为 9.3% 和 28.9%, 山楂叶螨则分别为 5.6% 和 28%, 与对照差异显著, 但种间差异不显著。因此可以看出, 火炬树叶挥发物对叶螨的选择行为具有一定的影响。

**关键词:** 火炬树; 挥发物; 选择性; 山楂叶螨; 二斑叶螨

文章编号: 1000-0933(2009)02-0714-06 中图分类号: Q143, Q948, Q968.9, S433.1 文献标识码: A

## Volatile constituents in leaves of *Rhus typhina* and their influence on selective behavior of two species of mites

LI Zhong-Xin<sup>1</sup>, LI Qing-He<sup>2</sup>, LIU Feng-Ju<sup>3</sup>, SUN Xu-Gen<sup>1,\*</sup>

1 Plant Protection College of Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

2 Plant Protection Station of Wenshang County, Shandong Province, Wenshang 272501, China

3. Agricultural Bureau of Jining Central Zone, Shandong Province, Jining 272000, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 0714 ~ 0719.

**Abstract:** Staghorn sumac, *Rhus typhina*, an introduced tree species in China in 1959 as an ornamental plant and it has been growing very well with high resistance to pests including mites. For determining the substances of its resistance to two economically important mites, *Tetranychus urticae* Koch and *T. viennensis* Zacher, the volatiles in the *R. typhina* leaves were collected with solid phase microextraction (SPME) and their constituents were identified with GC-MS. The main compounds of foliar volatiles and the order of the content from high to low were as follows: phenol, 4,6-di(1,1-dimethyl ethyl)-2-meth, 4-heptanol, 2,6,10-dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-, butylated hydroxytoluene,  $\alpha$ -farnesene, 1-octadecene, 1-penten-3-ol, 4-methyl-, methyl salicylate and benzoic acid, ethyl ester. The influence of foliar volatiles on attraction to *T. urticae* Koch and *T. viennensis* Zacher was determined by Y-tube olfactometer. In two groups of foliar volatiles, i. e. Staghorn sumac vs. apple and Staghorn sumac vs. clear air, the attractive percentage of *T. urticae* to Staghorn sumac was 9.3% and 28.9% and that of *T. viennensis* was 5.6% and 28%, respectively. It was showed that the difference of the attractive percentage between Staghorn sumac leaves and controls was significant, while the difference

基金项目: 教育部博士点基金资助项目(20060434003)

收稿日期: 2007-09-10; 修订日期: 2008-03-19

致谢: 感谢中国林科院杨忠岐先生对论文写作的帮助。

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xgsun@sdau.edu.cn

between the two provided mites was insignificant. It was indicated from above results that the foliar volatiles of Staghorn sumac had certain roles on the attractive and selective behaviors of the two mites.

**Key Words:** *Rhus typhina*; volatile constituents; selective behavior; *Tetranychus viennensis*; *Tetranychus urticae*

火炬树(*Rhus typhina* L.), 又称鹿角漆树(Buck's horn 或 Staghorn sumac), 是我国 1959 年引进的绿化植物, 不仅具有绿化、观赏、封滩固沙作用, 而且还可以作为镶嵌木、薪材<sup>[1]</sup>, 提取栲胶<sup>[1]</sup>、食用色素<sup>[2]</sup>、抗氧化剂<sup>[3-6]</sup>和糖酰转移酶<sup>[7-9]</sup>的原料, 果实中的氨基酸和蛋白质等营养成分较高, 而重金属相对较低<sup>[10]</sup>。

火炬树对人类无毒或者取食后仅引起轻微消化不良, 为此, 又被称为“无毒漆果”, 在北美原产地, 还用于制作一种传统饮料“印第安柠檬汁”<sup>[3]</sup>。然而, 火炬树具有较强的抗虫性。火炬树叶乙醇提取物对蚜虫 *Metopolophium dirhodum* 的死亡率为 72%<sup>[11]</sup>, 还可以延长芥甲虫 *Phaeodon cochleariae* 幼虫和蛹的发育, 抑制脱皮等<sup>[12]</sup>; 对马铃薯叶甲 *Leptinotarsa decemlineata* 也有较高的拒食率<sup>[13]</sup>, 但火炬树的抗螨效果还缺乏必要的试验证据。在培养皿法测定中二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 和山楂叶螨 *Tetranychus viennensis* 强烈拒食火炬树叶, 且在限制性条件下叶螨生存和产卵被抑制。

植物挥发物是影响植食性昆虫取食定向的重要因素之一, 但火炬树挥发物对叶螨选择行为的影响尚无文献报道。Bestmann 等用气相色谱与质谱法(GC-MS)测定了火炬树叶水蒸馏精油中的挥发性成分。随着挥发物富集技术的发展, 固相微萃取法(Solid phase microextraction, SPME)因无需有机溶剂, 简单方便, 集采集、萃取、浓缩、进样于一体, 且具有分析速度快、灵敏度高、重现性好等优点而被广泛采用。试验中采用 SPME 采集火炬叶挥发物, GC-MS 测定其成分, “Y”型嗅觉仪分别测定火炬叶挥发物对二斑叶螨和山楂叶螨选择行为的影响, 以期对火炬树的抗螨性研究及综合开发利用提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料来源

火炬树叶采自山东农业大学校园 10 a 树龄的火炬树; 苹果叶采自山东农业大学园艺果树研究站的富士苹果树; 二斑叶螨采自山东省东营市胜大园林公司的茱萸花卉; 山楂叶螨采自山东省泰安市群星园艺场金帅苹果树。

### 1.2 叶螨的培养

为保证成螨发育的一致性, 采用培养皿法培养: 水洗后晾干的带柄苹果叶(叶柄用脱脂棉包裹, 滴加自来水保湿), 叶面向下放置于培养皿(Φ9 cm)内。两种叶螨的健康成螨, 分别接到叶片上, 盖上培养皿盖, 在温度 25~27 °C、光周期 L16:D8 的实验室培养。24 h 后移出成螨, 由卵发育后的成螨用于生物测定。

### 1.3 火炬叶挥发物采集

火炬叶连同叶柄, 经自来水清洗叶面杂物, 自然阴干后放入 500 ml 的广口瓶, 用封口膜封口, 置于 45~50 °C 的水浴锅内加热。将固相微萃取针头(PA 型, 85 μm, 美国 Supelco 公司)穿透封口膜插入瓶内叶片上方, 然后小心地推出萃取头, 固定微萃取手柄。自萃取头推出后开始计时, 吸附 30 min, 将萃取头退回针头内, 立即到气相色谱-质谱联用仪(日本岛津公司 GC-MS-QP5050)上进样分析。

空白取样: 用同样大小的广口瓶采集试验环境中的空气, 采取上述方法进行样分析。

### 1.4 气相色谱-质谱测定(GC-MS)

GC-MS 分析条件: 色谱柱 DB-5MS, 30 m × 0.25 mm ID, 0.25 μm; 柱温 50 °C 保持 1 min, 以 15 °C·min<sup>-1</sup> 速率升到 200 °C, 保持 5 min, 然后以 10 °C·min<sup>-1</sup> 速率升到 280 °C, 保持 5 min; 进样口温度 280 °C; 载气为氦气(1.0 ml·min<sup>-1</sup>); 传输线温度 250 °C; 电离源为 EI 源(70 eV, 230 °C); 扫描模式为全扫描(30~550 amu); 样品解析时间 1 min。

挥发性物质的鉴定 利用 NIST02a 质谱库检索定性, 与文献数据比较后最终确定挥发性成分, 样品峰面

积扣除空气本底后面积归一法计算百分含量。

### 1.5 “Y”型嗅觉仪生物测定

“Y”型嗅觉仪主要由吹气泵、活性炭瓶(1000 ml)、气源瓶(1000 ml)、流量计、“Y”型管(适应臂长 10 cm; 两选择臂长均为 20 cm, 夹角 75°, 内径 3 cm)和导气管等组成<sup>[14]</sup>。测试时, 气流经活性炭过滤, 两股气流分别通过装有火炬叶和苹果叶(或空气)的广口瓶, 然后, 调节流速计, 使两边气流流速均为 3.0 L·min<sup>-1</sup>。将雌成螨单头接到“Y”型嗅觉仪出气口端的铁丝上, 观察其选择行为, 5 min 内穿过“Y”型管某一臂的纱网, 被记录为对气味源选择, 否则, 记录为不选择。每组处理测试 100 头, 每测试 10 头, 关闭气泵 10 min, 用无水酒精擦拭“Y”型铁丝。为避免实验装置不对称性造成的误差, 每测试 20 头叶螨交换一次进气管。所有测试均在空气洁净(无异味)、光线均匀、相对封闭的环境中进行。

采用数据处理系统(Data Processing System, DPS)分析软件对二斑叶螨和山楂叶螨的选择百分率进行数据统计和差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 挥发性成分测定

经 SPME 采集、GC-MS 测定的火炬叶挥发物总离子流色谱图(图 1)。通过 1.4 所述的鉴定方法得到 9 种火炬叶挥发物(表 1)。显然, 火炬叶的挥发性成分并不多, 主要为烯烃类(十八烯、 $\alpha$ -法呢烯), 烯醇类(4-甲基-1-丙烯-3-醇、3, 7, 11-三甲基-2, 6, 10-二十二三烯-1-醇)、酯类(苯甲酸乙酯、水杨酸甲酯)、烷基苯酚(4, 6-二特丁基-2-甲基苯酚)等。在相对含量方面, 含量较高的为苯酚(48.68%)和醇类(25.66%), 其次为甲苯(8.98%)、 $\alpha$ -法呢烯(8.67%)、十八烯(5.17%)和酯类(2.84%)。烷基苯酚为火炬树的毒性成分, 是引起皮肤瘙痒的刺激物。水杨酸甲酯、 $\alpha$ -法呢烯和醇类在绿叶植物中常见, 但是试验中只测定出少量的醇类, 而大量的烷醇和烯醇, 如(S)-1, 3-丁二醇、二十二醇、3, 3-二甲基-1, 3-己醇、3, 3-二甲基-2-丁醇、4-甲基-4-八烷醇、

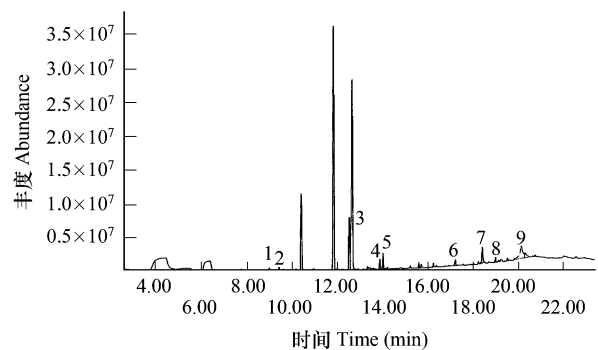


图 1 GC-MS 测定火炬树叶挥发物总离子流色谱

Fig. 1 Total ion current chromatogram of volatiles from *Rhus typhina* leaves by means of GC-MS

标有数字的峰为鉴定出的挥发物, 否则为空白样中等量出现的挥发物 Peak following number indicates that it was identified as volatile, otherwise it was as same as air volatile

表 1 火炬树叶挥发性成分

Table 1 Volatile compounds from *Rhus typhina* leaves

峰号 No. peak	保留时间 Retention time (min)	挥发性化合物 Volatile compounds	相对含量(%) Relative contents	分子量 Molecular weight	分子式 Molecular formula
1	8.985	苯甲酸乙酯 Benzoic acid, ethyl ester	1.35	150	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>
2	9.415	水杨酸甲酯 Methyl salicylate	1.49	152	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>
3	12.403	4,6-二特丁基-2-甲基苯酚 Phenol, 4,6-di(1,1-dimethyl ethyl)-2-meth	48.68	220	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O
4	13.852	$\alpha$ -法呢烯 alpha.-Farnesene	8.67	204	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>
5	14.002	丁基化羟基甲苯 Butylated hydroxytoluene	8.98	220	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O
6	16.001	十八烯 1-Octadecene	5.17	252	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub>
7	18.402	4-庚醇 4-Heptanol	10.86	116	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> O
8	18.989	4-甲基-1-丙烯-3-醇 1-Penten-3-ol, 4-methyl-	4.28	100	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O
9	20.201	3,7,11-三甲基-2,6,10-二十二三烯-1-醇 2,6,10-Dodecatrien-1-ol, 3,7,11-trimethyl-	10.52	222	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O

1-丁醇、2-甲基-3-丁烯-2-醇、2-庚烯-4-醇、3-甲基-1-丙烯-3-醇等在空白样与火炬叶中的含量一致,因此没有列为火炬挥发物,另外,在空白样中大量出现的2,4-二异氰酸-1-甲基苯、苯甲酮等在火炬叶中也几乎等量出现并被排除在火炬树挥发性成分之外。

## 2.2 挥发性成分对叶螨选择行为的影响

利用“Y”型嗅觉仪分别测定叶螨对两组气味源(火炬树叶与苹果叶、火炬树叶与空气)的选择率(图2)。在两组气源中,二斑叶螨对火炬叶的选择率分别为9.3%和28.9%,对苹果叶和空气的选择率分别为87.9%和64.5%;山楂叶螨对火炬叶的选择率分别为5.6%和28%,对苹果叶和空气的选择率分别为93.5%和66.8%,二项检验证明叶螨对火炬叶的选择率与相应的对照气源的选择率差异极显著( $P < 0.01$ ),显然,火炬叶挥发物影响叶螨的寄主选择。就两种叶螨而言,二斑叶螨对火炬叶的选择率略高于山楂叶螨,二项检验证明其差异不显著( $P > 0.05$ ),因此,火炬叶挥发物尽管对不同叶螨的取食选择略有影响,但种间差异并不显著。

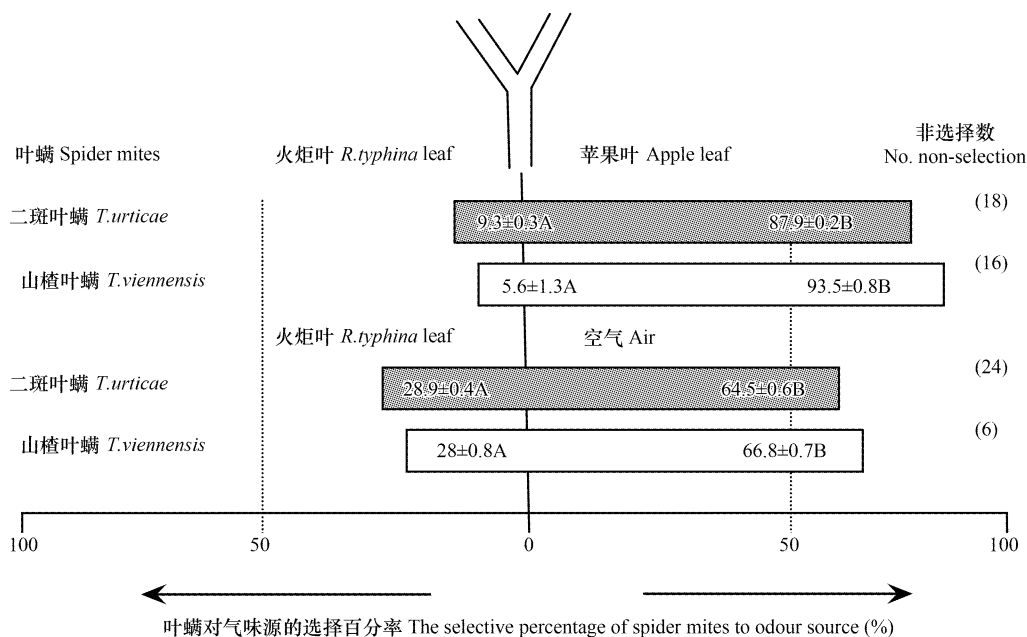


图2 “Y”型嗅觉仪测定二斑叶螨 *Tetranychus urticae* 和山楂叶螨 *T. viennensis* 对火炬叶的选择性

Fig. 2 Selectivity of *Tetranychus urticae* and *T. viennensis* to *Rhus typhina* leaves with the determination of Y-tube olfactometer

灰色框内的数字为二斑叶螨的选择百分率±标准误;白框内的数字为山楂叶螨的选择百分率±标准误;方框后括号内的数字为非选择数;数据后有相同字母表示差异不显著( $P > 0.05$ ),不同字母表示差异极显著( $P < 0.01$ ) The numbers in grey bars indicate the percentage ± SE of selection of *T. urticae*; the numbers in white bars indicate the percentage ± SE of selection of *T. viennensis*. The numbers in brackets behind each bar are the numbers of spider mites that do not make a choice; The same letters behind the numbers indicate the insignificant difference ( $P > 0.05$ ), different letters indicate the highly significant difference ( $P < 0.01$ )

## 3 讨论

植物挥发物是引导植食性昆虫寄主定向的重要信息化合物,而苹果树是山楂叶螨和二斑叶螨常见的寄主植物,其挥发性成分已经被证实<sup>[15]</sup>。苹果挥发物还可以刺激雌性苹果蠹蛾 *Cydia pomonella* 释放信息素、产卵和逆风定向<sup>[16]</sup>。试验中采用苹果叶作对照,不仅有利于区分寄主植物与非寄主植物挥发性成分间的差别,而且对推断挥发物的作用具有实际意义。

火炬树叶水蒸馏精油中被测定出单萜烯、倍半萜烯及其氧化物、脂肪酸、从庚烷到三十烷烃以及大量的醛和酚酸等70种挥发性成分<sup>[11]</sup>,但利用SPME-GC-MS法没有测定出醛和酚酸。醛类物质不容易被气相色谱测定,而醛与N,N-二甲基肼反应生成的挥发性N,N-二甲基腙可以使GC-MS分析更容易<sup>[17]</sup>,此外,气相色谱测

定烷基酚酸也要首先进行硅醚化处理<sup>[18]</sup>。

试验中测定出苯酚(48.68%)、甲苯(8.98%)、醇(10.86%)、烯类(13.84%)、烯醇类(14.8%)和少量的酯类(2.84%)，其中，醇类物质是绿叶植物常见的挥发性成分；酯类成分在苹果中居多(50%)，还有醇类、醛酮类和 $\alpha$ -法呢烯<sup>[15]</sup>；长链烷基酚是漆树科植物特有的成分，例如3-十五烷基酚、3-(8-十五烯)酚、3-(8,11-十五二烯)酚和3-(8,11,14-十五三烯)酚存在腰果 *Anacardium occidentale* 中<sup>[19]</sup>，饱和或不饱和的十三烷基酚在银杏 *Ginkgo biloba* 中被发现<sup>[20]</sup>，Bestmann 等也首次报道于火炬树中<sup>[11]</sup>。

“Y”型嗅觉仪测定了火炬叶挥发物对叶螨选择行为的综合作用，并证明挥发物影响叶螨对火炬树的选择，但挥发性单体成分对叶螨的寄主选择效果尚缺乏试验证据，因此，还不能阐明单体挥发性成分与叶螨选择行为的关系。酚类物质对叶螨的抗性关系已经在草莓和棉花中得以证实<sup>[21,22]</sup>。水杨酸甲酯也并非引诱捕食螨的主要因素<sup>[23]</sup>，况且山楂叶螨取食的山楂树也散发这种物质<sup>[24]</sup>，不散发水杨酸甲酯的黄瓜也被二斑叶螨取食<sup>[25]</sup>，苹果挥发物丁基己酸酯还对苹果蠹蛾具有吸引效果<sup>[26]</sup>。 $\alpha$ -法呢烯和酯类在山楂叶螨喜食的苹果、梨、桃等植物上被证实<sup>[24]</sup>，但叶螨拒食的银杏也具有 $\alpha$ -法呢烯挥发物<sup>[27]</sup>，试验证明(*E,E*)- $\alpha$ -法呢烯对苹果蠹蛾幼虫具有引诱作用<sup>[28]</sup>，但其吸引或拒食作用与浓度有关<sup>[29]</sup>。尽管醇类物质是绿叶植物常见的挥发性成分，但 Bestmann 等在对火炬叶挥发性成分鉴定后，测定了 TLC 分馏成分对蚜虫 *Metopolophium dirhodum* 的触杀性，证明了火炬叶精油中的醇类和羧酸具有 72% 的死亡率，而具有毒性和皮肤刺激效应的烷基酚的死亡率仅 53%。另外，植物成分间具有加成性和增效性，把火炬树挥发物中对蚜虫 *M. dirhodum* 具有触杀作用的醇类和羧酸单独试验并不能达到与混合物同样的效果，而把这些成分再混合又可以恢复到原来的抗性水平<sup>[11]</sup>。因此，火炬树挥发物单体成分以及它们的不同配比组合物与叶螨的抗性关系都需要进一步研究。

#### References:

- [ 1 ] Ma S T, Liu G Q, Li W H, *et al.* Main techniques of cultivation and development of *Rhus typhina*. Shanxi Forest Science and Technology, 2003, (2):35—37.
- [ 2 ] Ren D F, Liu X C, Guang G Z, *et al.* Study on the technique of natural edible pigment extracted from *Rhus typhina* fruit. Forest Science and Technology, 2001, 6:12—14.
- [ 3 ] Li Y, Bao H Y. Study on stability of grease and antioxidation. China Foods Industry, 1997, 4 (2):18—22.
- [ 4 ] Hu Y F. Study of the staghorn sumac's ear antioxidative effect on lard. Food Science, 2004, 25 (3):63—67.
- [ 5 ] Meng J, Hu B L, Zhang J S. Study on the radical scavenging effects of *Rhus typhina* L. leaves. Food Science, 2002, 23 (8):258—260.
- [ 6 ] Zhao A Y. Studies on antioxidant of *Rhus typhina* Linn and synergistic effect with Vc. Journal of Qingdao University(E&T), 2004, 19 (2):30—31.
- [ 7 ] Fr hlich B, Niemetz R, Gross G G. Gallotannin biosynthesis: two new galloyltransferases from *Rhus typhina* leaves preferentially acylating hexa- and heptagalloylglucoses. Planta, 2002, 216 (1):168—172.
- [ 8 ] Denzel K, Schilling G, Gross G G. Biosynthesis of gallotannins. Enzymatic conversion of 1,6-digalloylglucose to 1,2,6-trigalloylglucose. Planta, 1988, 176 (1):189—195.
- [ 9 ] Denzel K, Gross G G. Biosynthesis of gallotannins Enzymatic 'disproportionation' of 1,6-digalloylglucose to 1,2,6-trigalloylglucose and 6-galloylglucose by an acyltransferase from leaves of *Rhus typhina* L. Planta, 1991, 184 (2):278—296.
- [ 10 ] Liu J C, Zheng G F. Determination of components in *Rhus typhina* fruit. Shandong Forestry Science and Technology, 1999, 123 (4):13—14.
- [ 11 ] Bestmann H J, Classen B, Kobold U, *et al.* Steam volatile constituents from leaves of *Rhus typhina*. Phytochemistry, 1988, 27 (1):95—90.
- [ 12 ] Klingauf F, Stein U, Bestmann H J. Herbal insecticides VI. Effects of an ethanolic leaf extract of Buck's horn (*Rhus typhina* L.) on different pest insects. Journal of Applied Entomology (Germany F R), 1988, 105 (1):41—47.
- [ 13 ] Klingauf F, Weil B. Antifeedant activity of plant extracts against the Colorado potato beetle. Gesunde Pflanzen, 1988, 40 (6):219—224.
- [ 14 ] Sun X G, Yin S Y, Li B. Studies on the interrelationship among *Oligonychus ununguis* host plants and *Amblyseius finlandicus* II. The effects of volatile on the correlation of host plants-Oligonychus ununguis-Amblyseius finlandicus. Scientia Silvae Sinicae, 2002, 38 (2):73—77.
- [ 15 ] Wu J H, Hu X S, Zhou S, *et al.* Application of solid phase microextraction and GC/MS to rapid determination of flavour volatiles of apple. Beverage Industry, 2003, 6 (3):39—41.
- [ 16 ] Yan F, Bengtsson M, Witzgall P. Behavioral response of female codling moths, *Cydia pomonella*, to apple volatiles. Journal of Chemical Ecology,

1999, 25 (6):1343—1351.

- [17] Masada Y. Analysis of essential oils by gas chromatography and mass spectrometry. New York: Academic Press, 1976.
- [18] Yang L Q, Wu X Y, Yang K D, *et al.* Advance on the analytic methods for ginkgolic acids. *Chin. J. Pharm. Anal.*, 2003, 23 (3):241—244.
- [19] Tyman J H P, Tychopoulos V, Chan P. Long-chain phenols XXV. Quantitative analysis of natural cashew nut-shell liquid (*Anacardium occidentale*) by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography*, 1984, 303:137—150.
- [20] Jggy H, Koch E. Chemistry and biology of alkylphenols from *Ginkgo biloba* L. *Pharmazie*, 1997, 52 (10):735.
- [21] Luczynski J. Strawberry foliar phenolics and their relationship to development of the two spotted mite. *J. Econ. Entomol.*, 1990, 83:557—563.
- [22] Wu Y Q, Liu Q X, Gao Z R, *et al.* A study on resistance mechanism in cotton cultivar to *Tetranychus cinnabarinus*. *Scientia Agricultura Sinica*, 1996, 29 (3):1—7.
- [23] Boer J G, Dicke M. Experience with methyl salicylate affects behavioural responses of a predatory mite to blends of herbivore-induced plant volatiles. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2004, 110:181—189.
- [24] Sun X G, Qiao L Q. The effect on the selectivity of *Tetranychus viennensis* for different host plants by volatiles from plant. *Scientia Silvae Sinicae*, 2004, 110: 181—189.
- [25] van Den Boom C E M, van Beek T A, Dicke M. Differences among plant species in acceptance by the spider mite *Tetranychus urticae* Koch. *Journal of Applied Entomology*, 2003, 127 (3): 177—183.
- [26] Hem A, Dom S. A female-specific attractant for the codling moth, *Cydia pomonella*, from apple fruit volatiles. *Naturwissenschaften*, 2004, 91:77—80.
- [27] van Den Boom C E M, van Beek T A, Posthumus M A, *et al.* Qualitative and quantitative variation among volatile profiles induced by *Tetranychus urticae* feeding on plants from various families. *J. of Chemical Ecology*, 2004, 30 (1):69—89.
- [28] Peter J L, Jewel A B, Connie L S, *et al.* Apple fruit infested with codling moth are more attractive to neonate codling moth larvae and possess increased amounts of (*E,E*)- $\alpha$ -farnesene. *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26 (7):1685—1699.
- [29] Hem A, Dom S. Sexual dimorphism in *Cydia pomonella* in response to  $\alpha$ -farnesene. *Entomol Exp Appl*, 1999, 92:63—72.

#### 参考文献:

- [1] 马松涛,刘广全,李文华,等.火炬树主要栽培技术及开发利用. *陕西林业科技*, 2003, (2):35~37.
- [2] 任敦峰,刘兴成,郭光智,等.火炬树果实提取天然食用色素技术研究. *林业科技通讯*, 2001, 6:12~14.
- [3] 李炎,包惠燕.油脂稳定性与抗氧化方法的研究. *中国食品工业*, 1997, 4 (2):18~22.
- [4] 胡迎芬.火炬树果穗抗氧化物质的提取及其协同效应的研究. *食品科学*, 2004, 25 (3):63~67.
- [5] 孟洁,胡博路,张建生.火炬树树叶清除自由基作用的研究. *食品科学*, 2002, 23 (8):258~260.
- [6] 赵爱云.火炬树叶的抗氧化性及其与Vc协同作用的研究. *青岛大学学报(工程技术版)*, 2004, 19 (2):30~31.
- [10] 柳吉春,郑国福.火炬树果实内含成分测定. *山东林业科技*, 1999, 123 (4):13~14.
- [14] 孙绪良,尹淑艳,李波.针叶小爪螨-寄主植物-芬兰钝绥螨相互关系的研究 I:针叶小爪螨对寄主植物和芬兰钝绥螨对猎物的嗅觉反应. *林业科学*, 2002, 38 (2):73~77.
- [15] 吴继红,胡小松,周珊,等.固相微萃取和气-质联用技术在快速测定苹果挥发性成分中的应用. *饮料工业*, 2003, 6(3):39~41.
- [18] 仰榴青,吴向阳,杨克迪,等.银杏酚酸分析方法研究进展. *药物分析杂志*, 2003, 23 (3):241~244.
- [22] 武予清,刘芹轩,高宗仁,等.棉花品种的抗螨机制研究. *中国农业科学*, 1996, 29 (3):1~7.
- [24] 孙绪良,乔鲁芹.山楂叶螨对不同寄主植物的选择性与挥发物质的关系. *林业科学*, 2004, 40 (3):193~197.