

# 茶叶挥发物对鞍形花蟹蛛觅食行为的影响\*

王国昌<sup>1</sup> 孙晓玲<sup>2</sup> 蔡晓明<sup>3</sup> 陈宗懋<sup>2\*\*</sup>

(1. 河南科技学院资源与环境学院 新乡 453003; 2. 中国农业科学院茶叶研究所 杭州 310008;  
3. 浙江省农业科学院 杭州 310021)

**摘要** 为了探明茶叶挥发物在鞍形花蟹蛛(*Xysticus ephippiatus* Simon)搜寻猎物——茶尺蠖(*Ectropis obliqua* Prout)过程中的作用,采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术研究了茶尺蠖取食对茶树叶片挥发物释放的影响,并通过蜘蛛行为观测平台研究了蟹蛛在不同味源侧(觅食斑块)的活动行为。结果表明:对照叶片没有释放出挥发物,经茶尺蠖幼虫取食后的叶片能释放31种挥发物,其中有12种绿叶挥发物、9种萜类及其衍生物、4种芳香族挥发物和6种未知化合物。行为观测表明,雌、雄蟹蛛进入处理味源侧(茶尺蠖取食后的茶树叶片)和对照味源侧(未损伤茶树叶片)的初次选择均不存在差别( $P>0.05$ ),雌蛛进入处理味源侧和对照味源侧的频次分别为 $3.37\pm 0.18$ 和 $3.43\pm 0.15$ ,二者无明显区别( $P>0.05$ );雄蛛进入两侧的频次分别为 $3.86\pm 0.21$ 和 $3.66\pm 0.20$ ,也无明显区别( $P>0.05$ );雌蛛在处理味源侧和对照味源侧的停留时间分别为( $922.57\pm 19.59$ )s和( $818.89\pm 29.63$ )s,有极显著差异( $P<0.01$ ),雄蛛在两侧的停留时间分别为( $937.97\pm 18.05$ )s和( $814.83\pm 18.97$ )s,也有极显著差异( $P<0.01$ ),表明雌蛛、雄蛛在处理侧的停留时间明显延长。这说明,猎物取食诱导改变了茶树叶片挥发物的释放,而鞍形花蟹蛛能感知挥发物的变化并由此调整在不同觅食斑块中的停留时间。另外,本文还讨论了挥发物在蟹蛛搜寻猎物过程中的生态学意义。

**关键词** 鞍形花蟹蛛 茶尺蠖 茶叶挥发物 固相微萃取 停留时间 觅食斑块

中图分类号: S436 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2012)05-0612-07

## Effects of tea plant volatiles on foraging behavior of *Xysticus ephippiatus* Simon

WANG Guo-Chang<sup>1</sup>, SUN Xiao-Ling<sup>2</sup>, CAI Xiao-Ming<sup>3</sup>, CHEN Zong-Mao<sup>2</sup>

(1. School of Resources and Environmental Science, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China;  
2. Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China; 3. Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China)

**Abstract** Although the attractiveness of emitted plant volatiles under attack by herbivores has been demonstrated in tritrophic systems, how these semi-chemicals affect foraging behaviors of crab spiders remains poorly understood. We therefore examined whether the saddle crab spider, *Xysticus ephippiatus* Simon, showed preferences to volatiles emitted from the most recent prey-consumed fields. Such fields consisted of two chambers or foraging patches — a control chamber of undamaged tea leaf and a stimulus chamber of *Ectropis obliqua*-damaged tea leaf. We collected and identified the volatiles emitted from different treated tea leaves by solid phase micro-extraction-GC-MS (SPME-GC-MS). The results showed that *E. obliqua*-damaged tea leaves released an average of about 31 volatiles. The main constituents of the volatiles were 12 green leaf volatiles [(Z)-3-hexenal, (E)-2-hexenal, (Z)-3-hexen-1-ol, (Z)-3-hexenyl acetate, 2-ethyl-1-hexenol, (Z)-3-hexenyl butyrate, (Z)-3-hexenyl iso-butyrate, (E)-2-hexenyl butyrate, (Z)-3-hexenyl 2-methyl butyrate, (Z)-3-hexenyl 3-methyl butyrate, (Z)-3-hexenyl hexanoate and (E)-2-hexenyl hexanoate], 9 terpenoids [(E)- $\beta$ -ocimene, (Z)-linalool oxide, linalool, nonanal, decanal, DMNT, 1-nitro-2-phenyl ethane, (E,E)- $\alpha$ -farnesene and (Z)-6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-one], 4 aromatic compounds [benzyl alcohol, phenylethyl alcohol, Indole and benzyl nitrile] and 6 unknown compounds. No volatiles were, however, detected from undamaged tea leaves. *X. ephippiatus* females and males were not preferential to undamaged leaves or *E. obliqua*-damaged leaves as first choice ( $\chi^2=0.26$ ,  $P=0.612$ ,  $n=35$  for female;  $\chi^2=0.71$ ,  $P=0.398$ ,

\* 国家自然科学基金项目(30771449)、浙江省重大科技专项(2007C12G3020014)、浙江省科技计划项目(2009C32052)和河南科技学院博士启动基金项目(2011009)资助

\*\* 通讯作者: 陈宗懋(1933—), 男, 研究员, 院士, 主要从事昆虫化学生态学和农药残留方面的研究。E-mail: zmchen2006@163.com  
王国昌(1977—), 男, 博士, 讲师, 研究方向为农业昆虫学与害虫防治、昆虫化学生态学。E-mail: wgchslbh@163.com

收稿日期: 2011-10-20 接受日期: 2011-12-28

$n=35$  for male). The frequencies of the females moving into different odor sources were similar (mean=3.37±0.18 for *E. obliqua*-damaged leaves and mean=3.43±0.15 for undamaged leaves). Also the frequencies of the males moving into different odor sources were similar (mean=3.86±0.21 for *E. obliqua*-damaged leaves and mean=3.66±0.20 for undamaged leaves). The residence time of females and males in foraging patches with *E. obliqua*-damaged leaves was significantly longer than that in foraging patches of undamaged leaves. The results suggested that tea leaves damaged by *E. obliqua* emitted more volatiles than undamaged leaves and *X. ephippiatus* exploited these indirect cues to make patch residence time decisions. The ecological importance of volatiles on foraging behaviors of crab spiders was discussed also in the paper.

**Key words** *Xysticus ephippiatus* Simon, *Ectropis obliqua* Prout, Tea leaf volatile, Solid phase micro-extraction, Residence time, Foraging patch

(Received Oct. 20, 2011; accepted Dec. 28, 2011)

捕食者搜寻猎物的效率对其适合度至关重要, 捕食效率往往由捕食者选择的觅食斑块(foraging patches)所决定, 觅食斑块的质量又对捕食者的停留时间起着决定作用; 反过来, 停留时间也可以反映觅食斑块对捕食者的适合度<sup>[1]</sup>。研究发现脊椎动物能凭借猎物自身释放的化学信息找到猎物<sup>[2-3]</sup>, 最近的研究表明鸟类甚至可以通过虫伤诱导植物挥发物的变化定位猎物, 如受叶峰危害后桦树(*Betula* spp.)对柳莺的吸引力更强<sup>[4]</sup>; 经过对曲枝桦(*Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*)—秋白尺蛾(*Epirrita autumnata*)—食虫鸟 3 级营养关系的进一步研究, 发现 3 种萜类挥发物在食虫鸟类搜寻猎物的过程中起着重要作用<sup>[5]</sup>。最近 20 年对挥发物通讯功能的研究取得了巨大的成就, 其中包括学习和经历对捕食者的影响<sup>[6]</sup>, 害虫产卵对卵寄生性天敌的吸引<sup>[7]</sup>, 多种害虫同时侵害植物时对天敌昆虫定位寄主的影响<sup>[8]</sup>, 挥发物对病原线虫的吸引作用<sup>[9]</sup>等, 这些研究结果表明从高等动物到低等线虫都可以利用植物挥发物定位寄主或猎物。

蜘蛛是一类田间控害作用极强的肉食性动物, 很多研究表明蜘蛛捕食依赖于高度敏感的视力和振动感知能力, 但是近些年研究人员越来越关注化学信息在蜘蛛捕食猎物中的作用。并且这些化学信息可以归结为 3 大类, 一是来自猎物本身, 如猎物的气味对食蚁蜘蛛(*Habrocestum pulex*)有显著的引诱作用<sup>[10]</sup>; 二是来自猎物的排泄物或遗留物, 如狼蛛(*Hogna helluo*)更喜欢在其猎物活动过的场所觅食<sup>[11]</sup>; 三是来自猎物的食料, 如蟹蛛(*Thomisus spectabilis*)利用花的气味选择捕食蜜蜂的场所<sup>[12]</sup>, 吸血蜘蛛(*Evarcha culicivora*)更喜欢在有体味的场所等候疟蚊<sup>[13]</sup>。然而, 有关植物挥发物对蜘蛛觅食行为的影响还缺乏研究, 国内仅有赵冬香等<sup>[14]</sup>做过这方面研究。

鞍形花蟹蛛(*Xysticus ephippiatus* Simon)属于节肢动物门(Arthropoda)蛛形纲(Arachnida)蜘蛛目(Araneae)蟹蛛科(Thomisidae)花蟹蛛属, 是茶园常见

的一种捕食性蜘蛛<sup>[15]</sup>, 对茶尺蠖幼虫(*Ectropis obliqua* Prout)具有较强的捕食功能<sup>[16]</sup>, 但是对该蜘蛛搜寻猎物的行为还缺乏了解。本文以茶树叶片-茶尺蠖幼虫-鞍形花蟹蛛为研究对象, 利用固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术比较分析了未损伤茶树叶片和虫伤叶片在挥发物释放方面的差异, 采用蜘蛛行为观测平台首次研究了茶树叶片挥发物在鞍形花蟹蛛选择觅食斑块过程中的作用。以探明茶树的化学信息在蜘蛛捕食猎物中的作用。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试昆虫

茶尺蠖幼虫: 本试验使用的茶尺蠖幼虫为杭州种群, 在室内饲养多代(由中国农业科学院殷坤山研究员提供), 室内饲料为新鲜的“龙井 43”茶树叶片。

鞍形花蟹蛛: 用盘拍法采自浙江省湖州市长兴县英特茶场的有机茶园。把田间采集的鞍形花蟹蛛放置在透明塑料培养瓶中饲养(直径×高=80 mm×90 mm), 每瓶仅放入 1 头蜘蛛和 1 片新鲜茶树叶片(叶柄裹有湿棉球以长时间保持叶片的新鲜度)。试验开始前放入 10 头茶尺蠖 2 龄幼虫供其取食 1 d, 再饥饿 5 d 用于行为选择试验。然后每周 2 次、每次放入 6 头 3 日龄(1 龄末—2 龄初)的茶尺蠖幼虫供蜘蛛取食。

以上 2 种供试虫均在 RXZ 智能型人工气候箱中培养, 温度为(25±1)℃, 相对湿度为 75%±5%, 光照: 黑暗时间为 14 h : 10 h。

### 1.2 供试味源

供试植物: 供试茶树叶片采摘自“龙井 43”茶苗, 茶苗盆栽于大棚, 温度为 15~28℃, 湿度和光照均为自然条件, 在采集叶片之前 7 d 把茶苗移放在温度为(25±1)℃、相对湿度为 50%~80%、光照: 黑暗时间为 14 h : 10 h 的温室内培养。摘取芽下第 3 片嫩叶, 用蘸水脱脂棉包裹叶柄, 装进培养瓶后放置在人工气候培养箱中, 24 h 后用于试验。

虫害处理叶片: 在培养瓶中放入叶片的同时放

入 6 头茶尺蠖的 3 日龄幼虫, 危害 24 h 后供试验用。

对照叶片: 用采摘 24 h 后的叶片作为对照。

### 1.3 茶树叶片挥发物的收集与鉴定

固相微萃取(solid phase micro extraction, SPME): 手动固相微萃取装置(Supelco 公司, 美国), 固相微萃取头为 100  $\mu\text{m}$  Polydimethylsiloxane(聚二甲基硅氧烷, PDMS-DVB, Supelco 公司, 美国)。使用前在气相色谱(Agilent 7890A, )进样口(250  $^{\circ}\text{C}$ )老化 2 h。

挥发物收集: 待测样品为 1.2 节的对照(未损伤叶片)和茶尺蠖幼虫危害后的叶片。把准备好的茶树叶片立即放入到体积为 45 mL 玻璃瓶中, 用被 PET 塑料膜包裹的 Teflon 垫片作为密封材料, 随即旋紧瓶盖。迅速将 SPME 通过 Teflon 垫片中心直径为 2 mm 的小圆孔进入到玻璃瓶中, 然后推出萃取头, 距离样品约 2 cm, 在(25 $\pm$ 1)  $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 50%~80%条件下顶空萃取, 10 min 后立即取出, 把 SPME 萃取头插入 GC 进样口(200  $^{\circ}\text{C}$ ), 热洗脱 2 min 后进行 GC-MS 分析。重复 3 次。

GC/MS 分析条件: 气相色谱质谱联用仪(GC/MS, 型号为 GCMS-QP2010, 日本岛津公司), 所用色谱柱为 DB-5(长 60 m, 内径 0.25 mm, 厚 0.25  $\mu\text{m}$ )。柱温起始温度为 45  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 2 min; 5  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  升至 160  $^{\circ}\text{C}$ ; 然后 20  $^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  升至 260  $^{\circ}\text{C}$ , 保持 8 min。载气为氦气(99.999%), 流速 1.0 mL $\cdot\text{min}^{-1}$ , 不分流进样。质谱采用 EI 电离方式, 70 eV 轰击电压, 扫描频率为 2 次 $\cdot\text{s}^{-1}$ , 检测器温度为 250  $^{\circ}\text{C}$ 。检索谱库为 NIST27 和 NIST147。通过比对标准样品的质谱图、保留时间、考瓦斯指数<sup>[17]</sup>等方法对挥发物进行鉴定。

### 1.4 蜘蛛行为观察方法

试验用观察器皿为用塑料泡沫板自制的“哑铃”形观测平台(如图 1 所示), 观测平台深 4 cm, 两侧为圆形容器, 直径为 12 cm, 中间通道长 7 cm, 观测平台的边缘和底部用滤纸铺垫。观察平台放置在 110 cm $\times$ 105 cm $\times$ 65 cm 的观测箱中, 观测箱顶部悬挂两盏 25 W 的日光灯, 试验期间的湿度为 50%~80%。把处理叶片和对照叶片分别放入两侧圆形容器中, 作为不同觅食斑块。将供试蜘蛛在-16  $^{\circ}\text{C}$  的冰箱中放置 90 s,

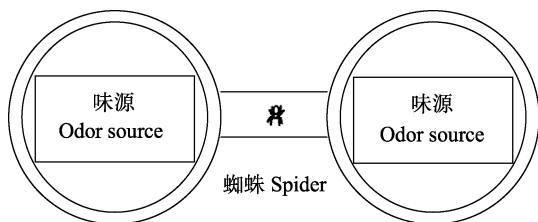


图 1 蜘蛛行为观测平台

Fig. 1 Diagram of the spider foraging behavior arena

使之处于昏迷状态, 然后迅速取出引入到“哑铃”形观测平台的过道中央位置, 用玻璃板封盖观察平台的上方, 使之处于完全封闭状态。等蜘蛛苏醒后开始计时观察 30 min(3 min 内没有苏醒的放弃), 记录蜘蛛首次选择进入的味源侧以及进入不同味源侧的次数和停留时间。所有试验均在 08:00~20:00 进行。

每次试验仅接入 1 头蜘蛛, 每个处理雌、雄蛛各记录 35 头。每次观测完成后, 更换试验用叶片、滤纸和玻璃板, 同时调换味源摆放的位置, 以消除方向和蜘蛛活动痕迹对试验的影响。为了排除茶尺蠖幼虫排泄物和虫丝等对蜘蛛行为反应的影响, 用蘸有纯净水的脱脂棉球轻轻擦拭虫害处理叶片和对照叶片。

### 1.5 统计方法

用 SAS 统计软件(SAS for Windows 6.12, SAS Institute Inc. USA, 1996)处理试验所得数据。蜘蛛对味源的首次选择使用连续性矫正卡平方检验(Continuity Adj. Chi-square tests); 两种味源停留时间之间的比较用配对设计的 Wilcoxon 符号秩检验(Wilcoxon signed-rank test); 蜘蛛进入两种味源的频次用成对 t 检验法(paired t-tests)。

## 2 结果与分析

### 2.1 茶树叶片的挥发物组分

经分析表明对于采摘 24 h 后的茶树叶片, 在未损伤的情况下采用 SPME-GC-MS 技术没有检测到挥发物, 可能是释放量过低, 或者受限于仪器的敏感度(图 2a)。

茶树叶片经茶尺蠖幼虫危害 24 h 后, 用 SPME-GC-MS 共收集和检测到 31 种挥发物(图 2b, 表 1)。其中, 绿叶挥发物有(Z)-3-hexenal、(E)-2-hexenal、(Z)-3-hexen-1-ol、(Z)-3-hexenyl acetate、2-ethyl-1-hexenol、(Z)-3-hexenyl butyrate、(Z)-3-hexenyl iso-butyrate、(E)-2-hexenyl butyrate、(Z)-3-hexenyl 2-methyl butyrate、(Z)-3-hexenyl 3-methyl butyrate、(Z)-3-hexenyl hexanoate、(E)-2-hexenyl hexanoate 共 12 种, 占收集挥发物种类的 38.7%; 收集到的萜类及其衍生物共有 9 种, 分别是(E)- $\beta$ -ocimene、(Z)-linalool oxide、linalool、nonanal、decanal、DMNT、1-nitro-2-phenylethane、(E,E)- $\alpha$ -farnesene、(Z)-6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-one, 占挥发物总量的 29.0%; 芳香族挥发物有 benzyl alcohol、phenylethyl alcohol、indole 和 benzyl nitrile 4 种, 占挥发物总量的 12.9%; 此外还有 6 种挥发物有待鉴定。

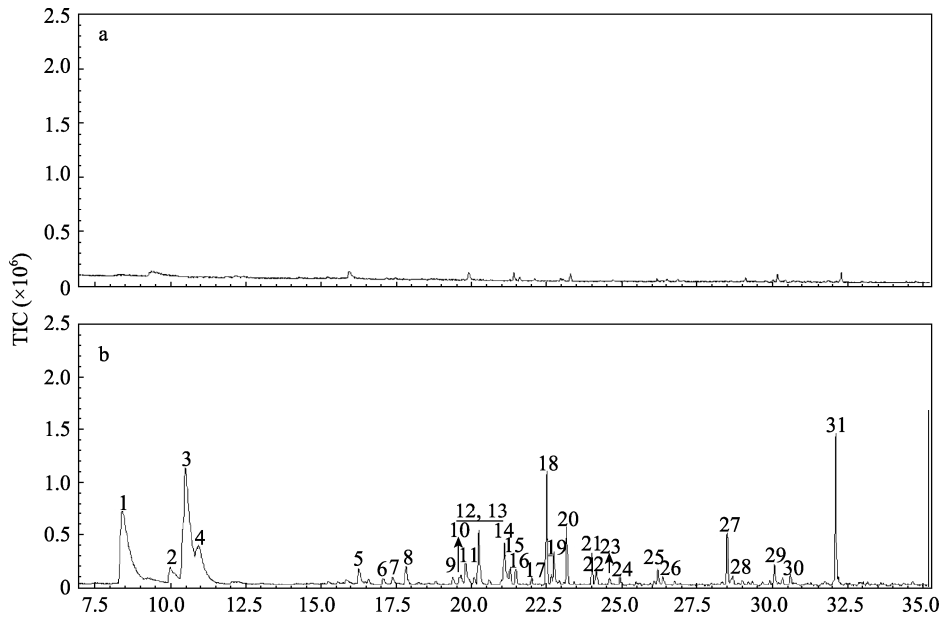


图 2 未损伤茶树叶片(a)和茶尺蠖幼虫取食 24 h 后茶树叶片(b)的挥发物总离子流色谱图  
 Fig. 2 Total ion current chromatogram of the volatile from undamaged tea leaf (a) and leaf after 24 h feeding by larval of *E. obliqua* (b)  
 图中的序号为挥发物序号, 名称见表 1。The serial numbers are No. of volatiles, whose name is listed in the table 1.

表 1 茶尺蠖幼虫危害 24 h 后茶树叶片挥发物的组分、鉴定方法和标准品来源  
 Table 1 Chemical compounds from tea leaf after 24 h feeding by larval of *E. obliqua*

编号 No.	化合物名称 Name of volatile	鉴定方法 Identical way	生产商 Manufacturer
1	顺-3-己烯醛 (Z)-3-hexenal	AS	Roth
2	反-2-己烯醛 (E)-2-hexenal	AS	Fluka
3	顺-3-己烯醇 (Z)-3-hexen-1-ol	AS	Fluka
4	未知化合物-1 Unknown-1	—	—
5	顺-3-己烯醋酸酯 (Z)-3-hexenyl acetate	AS	Roth
6	辛醇 2-ethyl-1-hexenol	KI	—
7	苯甲醇 Benzyl alcohol	AS	Acros
8	反-β-罗勒烯 (E)-β-ocimene	AS	Fluka
9	顺式芳樟醇氧化物 (Z)-linalool oxide	NIST	—
10	芳樟醇 Linalool	AS	Acros
11	壬醛 Nonanal	NIST	—
12	苯乙醇 Phenylethyl alcohol	AS	Acros
13	(E)-4,8-二甲基-1,3,7-壬三烯 DMNT	AS	As a gift from Taro Maeda
14	苯乙腈 Benzyl nitrile	AS	Acros
15	异丁酸叶醇酯 (Z)-3-hexenyl iso-butyrate	AS	Fluka
16	未知化合物-2 Unknown-2	—	—
17	未知化合物-3 Unknown-3	—	—
18	顺-3-己烯基丁酯 (Z)-3-hexenyl butyrate	AS	Roth
19	反-2-己烯基丁酯 (E)-2-hexenyl butyrate	AS	Sigma-Aldrich
20	癸醛 Decanal	NIST	—
21	2-甲基己酸丁酯 (Z)-3-hexenyl 2-methyl butyrate	AS	Sigma-Aldrich
22	3-甲基己酸丁酯 (Z)-3-hexenyl 3-methyl butyrate	AS	Sigma-Aldrich
23	未知化合物-4 Unknown-4	—	—
24	未知化合物-5 Unknown-5	—	—
25	吲哚 Indole	AS	Sigma-Aldrich
26	1-(苯基)-2-硝基乙烷 1-nitro-2-phenylethane	KI	—
27	顺-3-己烯己酸酯 (Z)-3-hexenyl hexanoate	AS	Sigma-Aldrich
28	反-2-己烯己酸酯 (E)-2-hexenyl hexanoate	AS	Sigma-Aldrich
29	未知化合物-6 Unknown-6	—	—
30	(Z)-6,10-dimethyl-5,9-undecadien-2-one	KI	—
31	(反,反)α-法尼烯 (E,E)-α-farnesene	AS	Pherotech®

“AS”指通过比较标准化学品的质谱图和保留时间对挥发物进行鉴定, “KI”指通过对比考瓦斯指数鉴定物质<sup>[17]</sup>, “NIST”指通过谱库检索鉴定挥发物, “Unknown”表示未知化合物。 “AS” determined through comparison of retention times and mass spectra with those of authentic standards; “KI” determined through comparison of Kovats Indices and mass spectra (KI) on DB-5; “NIST” determined through comparison of mass spectra with the library of NIST; “Unknown” means no confirming identities.

## 2.2 茶尺蠖诱导茶树叶片挥发物对鞍形花蟹蛛捕食的影响

茶尺蠖诱导的茶树叶片挥发物没有影响到鞍形

花蟹蛛对觅食斑块的最初选择行为(雌蛛:  $n=35$ ,  $\chi^2 = 0.26$ ,  $P = 0.612$ ; 雄蛛:  $n=35$ ,  $\chi^2 = 0.71$ ,  $P = 0.398$ ) (图 3a)。

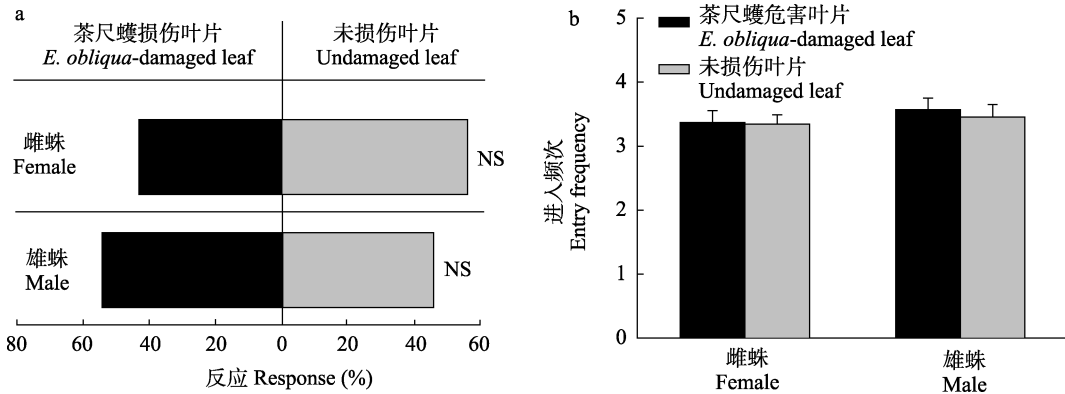


图 3 鞍形花蟹蛛对不同斑块的最初选择(a)及进入不同斑块的频次(b)

Fig. 3 Initial choice to foraging patches (a) and frequency in moving into different patches (b) for *X. ephippiatus*  
NS 代表无显著差异 NS indicates the difference is not significant.

如图 3b 所示, 鞍形花蟹雌蛛进入虫害叶片和未损伤叶片斑块的频次分别为  $3.37 \pm 0.18$  和  $3.43 \pm 0.15$ , 二者之间无显著差异( $n = 35$ ,  $t = 0.23$ ,  $P = 0.822$ )。鞍形花蟹蛛雄蛛进入两侧的频次分别为  $3.86 \pm 0.21$  和  $3.66 \pm 0.20$ , 也无显著差异( $n = 35$ ,  $t = 0.75$ ,  $P = 0.457$ )。以上结果表明鞍形花蟹蛛在寻找捕食场所时不依赖虫害诱导挥发物。

鞍形花蟹蛛进入到不同味源斑块后, 停留时间有明显变化(图 4)。雌蛛在虫害味源侧的停留时间为

( $922.57 \pm 19.59$ ) s, 而在对照侧的停留时间为( $818.89 \pm 29.63$ ) s, 二者间差异极显著( $Z = 2.653$ ,  $P = 0.008$ )。雄蛛在两侧停留时间分别为( $937.97 \pm 18.05$ ) s 和( $814.83 \pm 18.97$ ) s, 二者间差异极显著( $Z = 3.407$ ,  $P = 0.001$ )。

## 3 讨论与结论

茶树叶片挥发物的分析表明, 未损伤茶树叶片没有检测到挥发物, 说明没有损伤时茶树叶片释放的挥发物量极低, 与此类似, 未受损伤的菜豆也没有检测到挥发物<sup>[18]</sup>。先前有报道认为离体茶树叶片能释放微量的绿叶挥发物(*Z*)-3-hexenal 和 (*Z*)-3-hexenol<sup>[19]</sup>, 与本次试验结果有差异, 其主要原因在于试验中茶树叶片准备方法上有所不同, 本试验所用叶片经过放置 24 h 才用于收集挥发物, 因采摘时造成叶柄机械损伤而诱导释放的挥发物已消失; 与此相反, 如果在茶树叶片刚采摘后就开始收集挥发物, 必然会存在一部分由机械损伤诱导的微量挥发物。

茶树在受到茶尺蠖危害后与机械损伤相比诱导的茶树叶挥发物明显增多, 绿叶挥发物在茶尺蠖诱导茶树叶片释放的挥发物中占主导地位; 此外, 茶尺蠖还能诱导茶树叶片释放萜类和芳香族挥发物。茶尺蠖危害诱导产生的挥发物在组分上多样性和复杂性主要是: 第一, 咀嚼式口器害虫取食时能造成大量细胞的破损, 直接导致绿叶挥发物的合成和释放<sup>[20]</sup>; 第二, 茶尺蠖幼虫在取食过程虫分泌的唾液含有诱导子, 能诱导茶树叶片合成和释放新的挥发物。这一现象已经得到证实, 部分昆虫的诱导子也已被分离和鉴定, 如  $\beta$ -glucosidase<sup>[21]</sup>和 N-(17-

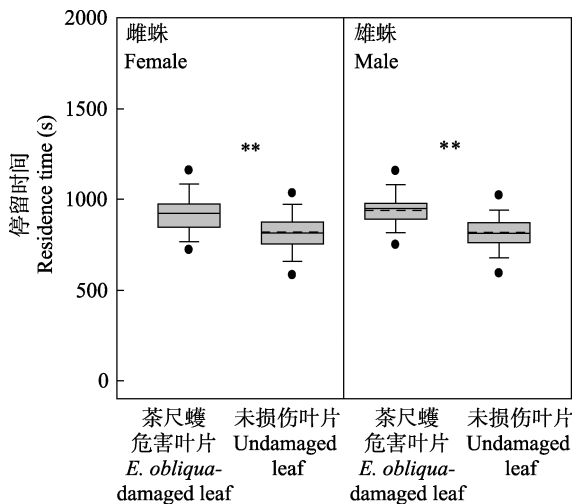


图 4 鞍形花蟹蛛在不同味源斑块中停留时间的比较  
Fig. 4 Comparison of residence time of *X. ephippiatus* between different foraging patches

“盒形”表示的范围是 25%~75%, 其中实线为中位数, 虚线为平均值。“盒须”代表 5%~95%的范围, 黑色圆点代表异常值。“\*\*\*”表示有极显著差异。Boxes show the range of 25%~75%, in which solid line and dash line show median and mean. Whiskers of the boxes show the range of 5%~95%. Dots indicate outliers. “\*\*\*” denotes significant differences at 0.01 level.

hydroxylinolenoyl)-L-glutamine<sup>[22]</sup>。试验所收集到的部分挥发物已经被证明是天敌搜寻猎物或寄主的重要化学信息, 如红足侧沟茧蜂(*Microplitis croceipes*)对(Z)-3-hexenyl acetate、(Z)-3-hexenyl butyrate、(Z)-3-hexen-1-ol 等多种绿叶挥发物都有行为偏好<sup>[23]</sup>; (Z)-3-hexen-1-ol 在离斑潜蝇茧蜂(*Opius dissitus*)定位寄主的过程中起着至关重要的作用<sup>[24]</sup>; 不论在室内还是在田间, (Z)-3-hexenyl acetate 都对卵寄生蜂(*Anaphes iole*)有吸引作用<sup>[25]</sup>; linalool、(E)- $\beta$ -ocimene、DMNT、(E,E)- $\alpha$ -farnesene 等萜烯类也有吸引天敌的作用<sup>[26-27]</sup>。

对鞍形花蟹蛛的行为选择研究表明, 其雌蛛和雄蛛对不同觅食斑块的首次选择及进入的总次数并没有显著差异; 而与对照侧相比, 蟹蛛在虫害处理叶片侧的停留时间明显延长, 表明挥发物中包含着猎物的信息, 并且这种化学信息能被蟹蛛感知。关于植物挥发物对蜘蛛的吸引作用已有报道, 如丁香酚(eugenol)在田间能吸引 *Thomisus daradioides* 和 *T. blandus* 两种蟹蛛, 丁香酚是植物花朵气味的常见组分, 而这两种蟹蛛把花朵作为其捕食场所, 因此推断它们把丁香酚和觅食斑块联系在一起, 并从中获益<sup>[28]</sup>。另外, Yu 等<sup>[29]</sup>发现 nonanal、(Z)-3-hexenyl acetate、MeSA 等挥发物对草间小黑蛛(*Erigonidium graminicolum*)有显著的引诱作用。根据田间观察, 鞍形花蟹蛛主要在茶树的中下层活动, 与大部分蟹蛛一样属于“守猎型”捕食者(sit-and-wait predator), 寻找合适的觅食斑块至关重要, 直接影响到捕食效率和自身适合度; 在茶丛中枝叶繁茂, 不利于视觉信息的搜集和判断, 相比之下, 蟹蛛可以更容易地获得嗅觉信息; 而茶树叶片受害后释放的挥发物包含着猎物的数量、种类等信息, 因此, 依赖挥发物寻找觅食斑块能提高蟹蛛的捕食效率。由此可见, 鞍形花蟹蛛能通过对茶树叶片挥发物的感知来判断斑块中有没有猎物的存在, 然后决定在斑块中的停留时间, 从而增加与猎物相遇的几率。

## 参考文献

- [1] Morse D H, Fritz R S. Experimental and observational studies of patch choice at different scales by the crab spider *Misumena vatia*[J]. *Ecology*, 1982, 63(1): 172-182
- [2] Dittman A H, Brown G S, Foote C J. The role of chemoreception in salmon-egg predation by coastrange (*Cottus aleuticus*) and slimy (*C. cognatus*) sculpins in Iliamna Lake, Alaska[J]. *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie*, 1998, 76(3): 405-413
- [3] Nevitt G A. Olfactory foraging by Antarctic procellariiform seabirds: Life at high Reynolds Numbers[J]. *Biological Bulletin*, 2000, 198(2): 245-253
- [4] Mäntylä E, Klemola T, Haukioja E. Attraction of willow warblers to sawfly-damaged mountain birches: Novel function of inducible plant defences?[J]. *Ecology Letters*, 2004, 7(10): 915-918
- [5] Mäntylä E, Alessio G A, Blande J D, et al. From plants to birds: Higher avian predation rates in trees responding to insect herbivory[J]. *PLoS One*, 2008, 3(7): e2832
- [6] Nomikou M, Meng R X, Schraag R, et al. How predatory mites find plants with whitefly prey[J]. *Experimental and Applied Acarology*, 2005, 36(4): 263-275
- [7] Colazza S, McElfresh J S, Millar J G. Identification of volatile synomones, induced by *Nezara viridula* feeding and oviposition on bean spp., that attract the egg parasitoid *Trissolcus basalidis*[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2004, 30(5): 945-964
- [8] Rasmann S, Turlings T C J. Simultaneous feeding by above-ground and belowground herbivores attenuates plant-mediated attraction of their respective natural enemies[J]. *Ecology Letters*, 2007, 10(10): 926-936
- [9] Hiltbold I, Turlings T C J. Belowground chemical signaling in maize: When simplicity rhymes with efficiency[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2008, 34(5): 628-635
- [10] Clark R J, Jackson R R, Cutler B. Chemical cues from ants influence predatory behavior in *Habrocestum pulex*, an ant-eating jumping spider (Araneae, Salticidae)[J]. *Journal of Arachnology*, 2000, 28(3): 309-318
- [11] Persons M H, Rypstra A L. Preference for chemical cues associated with recent prey in the wolf spider *Hogna helluo* (Araneae: Lycosidae)[J]. *Ethology*, 2000, 106(1): 27-35
- [12] Heiling A M, Cheng K, Herberstein M E. Exploitation of floral signals by crab spiders (*Thomisus spectabilis*, Thomisidae)[J]. *Behavioral Ecology*, 2004, 15(2): 321-326
- [13] Cross F R, Jackson R R. Olfaction-based anthropophily in a mosquito-specialist predator[J]. *Biology Letters*, 2011, 7(4): 510-512
- [14] 赵冬香, 陈宗懋, 程家安. 茶树-假眼小绿叶蝉-白斑猎蛛间化学通讯物的分离与活性鉴定[J]. *茶叶科学*, 2002, 22(2): 109-114
- [15] 陈伯刚. 蜘蛛对茶园害虫控制作用的研究[J]. *蛛形学报*, 2003, 12(2): 125-127
- [16] 王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 等. 不同温度下鞍形花蟹蛛亚成蛛对茶尺蠖 3 日龄幼虫的捕食功能[J]. *茶叶科学*, 2010, 30(3): 157-165
- [17] Mithöfer A, Wanner G, Boland W. Effects of feeding *Spodoptera littoralis* on lima bean leaves II. Continuous mechanical wounding resembling insect feeding is sufficient to elicit herbivory-related volatile emission[J]. *Plant Physiology*, 2005, 137(3): 1160-1168
- [18] Adams R T. Identification of essential oil components by gas chromatography/quadrupole mass spectroscopy[M]. USA: Allured

- Publishing Corporation, 2004
- [19] 蔡晓明. 三种茶树害虫诱导茶树挥发物的释放规律[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009
- [20] Paré P W, Tumlinson J H. De Novo biosynthesis of volatiles induced by insect herbivory in cotton plants[J]. *Plant Physiology*, 1997, 114(4): 1161–1167
- [21] Mattiacci L, Dicke M, Posthumus M A.  $\beta$ -Glucosidase: An elicitor of herbivore-induced plant odor that attracts host-searching parasitic wasps[J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1995, 92(6): 2036–2040
- [22] Turlings T C J, Alborn H T, Loughrin J H, et al. Volicitin, an elicitor of maize volatiles in oral secretion of *Spodoptera exigua*: isolation and bioactivity[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2000, 26(1): 189–202
- [23] Whitman D W, Eller F J. Orientation of *Microplitis croceipes* (Hymenoptera: Braconidae) to green leaf volatiles: Dose-response curves[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 1992, 18(10): 1743–1753
- [24] Wei J N, Wang L Z, Zhu J W, et al. Plants attract parasitic wasps to defend themselves against insect pests by releasing hexenol[J]. *PLoS One*, 2007, 2(9): e852
- [25] Williams L III, Rodriguez-Saona C, Castle S C, et al. EAG-active herbivore-induced plant volatiles modify behavioral responses and host attack by an egg parasitoid[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2008, 34(9): 1190–1201
- [26] Kappers I F, Aharoni A, van Herpen T W J M, et al. Genetic engineering of terpenoid metabolism attracts bodyguards to *Arabidopsis*[J]. *Science*, 2005, 309(5743): 2070–2072
- [27] de Boer J G, Hordijk C A, Posthumus M A, et al. Prey and non-prey arthropods sharing a host plant: effects on induced volatile emission and predator attraction[J]. *Journal of Chemical Ecology*, 2008, 34(3): 281–290
- [28] Krell F T, Krämer F. Chemical attraction of crab spiders (Araneae, Thomisidae) to a flower fragrance component[J]. *Journal of Arachnology*, 1998, 26(1): 117–119
- [29] Yu H L, Zhang Y J, Wu K M, et al. Field-testing of synthetic herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects[J]. *Environmental Entomology*, 2008, 37(6): 1410–1415