

斑翅肩花蝽生物学特性、生境及食性选择

李立^{1,*}, 虞国跃², Tom J. MCAVOY³, Richard C. REARDON⁴,
吴云⁴, Scott M. SALOM³, 和景福⁵

(1. 中国林业科学研究院资源昆虫研究所, 昆明 650224; 2. 北京市农林科学院植物保护环境保护研究所, 北京 100097;

3. Department of Entomology Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, VA 24061, USA;

4. USDA Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team, Morgantown, WV 26505, USA;

5. 云南省怒江州林业局, 云南泸水 673100)

摘要: 斑翅肩花蝽 *Tetraphleps galchanoides* Ghauri 是铁杉球蚜 *Adelges tsugae* Annand (hemlock woolly adelgid) 的重要天敌昆虫。在云南省兰坪县天生桥林区通过实验室和林间的饲养观察与测定、林间线路调查等方法, 研究了斑翅肩花蝽的生物学特性、生境及食性选择, 并描述各虫态形态特征。斑翅肩花蝽在该林区一年发生 2 代, 无世代重叠, 寿命长。第 1 代(5 月下旬至 10 月下旬) 卵期 13.8 ± 1.6 d, 若虫期 97.6 ± 7.4 d, 成虫期 55.2 ± 4.7 d; 第 2 代(11 月中旬至翌年 4 月下旬) 卵期 11.3 ± 1.1 d, 若虫期 105.7 ± 8.5 d, 成虫期 60.4 ± 5.3 d。若虫共 5 龄, 以 5 龄若虫在云南铁杉 *Tsuga dumosa* 枝条树皮裂缝下或枯枝落叶层内越冬。雌雄成虫性比 8.5:1, 雌雄成虫飞行缓慢, 其飞行活动主要受到交尾、产卵、捕食铁杉球蚜补充营养的影响, 多在树冠下层活动。该林区的斑翅肩花蝽最适生境选择: 海拔为 2 851 ~ 2 980 m, 云南铁杉密度为 13.3 ~ 15.5 株/100 m、郁闭度为 0.61 ~ 0.70。以寄主铁杉球蚜及附近常见的冷杉球蚜 *Aphrastasia pectinatae* (Cholodkovsky)、华山松球蚜 *Pineus armandicola* Zhang 和落叶松球蚜 *Adelges laricis* Vall 为食物进行选择试验, 结果表明, 斑翅肩花蝽对这 4 种球蚜的选择性存在显著差异, 最喜好捕食铁杉球蚜, 可成为生物防治铁杉球蚜的主要天敌之一。

关键词: 斑翅肩花蝽; 铁杉球蚜; 生物学; 捕食; 生境; 食性选择; 生物防治

中图分类号: Q968.1 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2011)07-0800-09

The biological characteristics, habitat and food selection of *Tetraphleps galchanoides* (Hemiptera: Anthocoridae)

LI Li¹, YU Guo-Yue², Tom J. MCAVOY³, Richard C. REARDON⁴, WU Yun⁴, Scott M. SALOM³, HE Jing-Fu⁵ (1. Research Institute of Resource Insects, Chinese Academy of Forestry, Kunming 650224, China; 2. Institute of Plant and Environment Protection, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Science, Beijing 100097, China; 3. Department of Entomology, Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, VA 24061, USA; 4. USDA Forest Service, Forest Health Technology Enterprise Team, Morgantown, WV 26505, USA; 5. Nujiang Prefecture Forestry Administration, Lushui, Yunnan 673100, China)

Abstract: *Tetraphleps galchanoides* Ghauri is an important predator of the hemlock woolly adelgid (HWA), *Adelges tsugae* Annand, in China. Its biology, habitats and prey habit were studied through breeding observation in the laboratory and field investigation. It occurs 2 generations per year without generation overlapping in Tianshengqiao Forest Farm, Lanping County, Yunnan Province. The 1st generation occurs in late May to late October. Egg period lasts 13.8 ± 1.6 d, nymph period lasts 97.6 ± 7.4 d, and adult period lasts 55.2 ± 4.7 d. The 2nd generation occurs in mid November to late April of next year. Egg period lasts 11.3 ± 1.1 d, nymph period lasts 105.7 ± 8.5 d, and adult period lasts 60.4 ± 5.3 d. The nymphs have 5 instars. The 2nd-generation adults emerge from overwintered 5th instar nymphs under bark of hemlock branch or ground litter. The sex ratio of female to male is 8.5:1. Adults fly slowly usually at the lower canopy, and their flight was affected by mating, oviposition, and feeding. The optimum habitat for *T. galchanoides* is at the elevation range from 2 851 to 2 980 m, with forest

基金项目: 美国农业部林业局资助项目(09-IC-11420004-064)

作者简介: 李立, 男, 1966 年生, 云南景东人, 美国林业局研究林业外来有害物种合作伙伴, 主要从事森林昆虫及生态学研究

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: lili19661118@126.com

收稿日期 Received: 2010-12-20; 接受日期 Accepted: 2011-06-09

coverage of 0.61–0.70, and with hemlock density 13.3–15.5/100 m. Food choice test was conducted among HWA and other 3 adelgids, i. e., *Aphrastasia pectinatae* (Cholodkovsky), *Pineus armandicola* Zhang, and *Adelges laricis* Vall. The results showed that there was a significant difference in its preference between HWA and the other adelgids. HWA was the most preferred prey. *T. galchanoides* can be used as one of the major natural enemies for the biological control of HWA.

Key words: *Tetraphleps galchanoides*; *Adelges tsugae*; biology; predation; habitat; food selection; biological control

斑翅肩花蝽 *Tetraphleps galchanoides* Ghauri 属半翅目(Hemiptera) 花蝽科(Anthocoridae), 主要分布于印度东北部和我国西南部高海拔地区, 是一类很有利用前景的捕食性天敌, 能够有效地控制铁杉球蚜 *Adelges tsugae* Annand (hemlock woolly adelgid) 为害(McAvoy *et al.*, 2007; 李立等, 2009)。由于该虫生存在低温高湿环境, 具有飞行缓慢, 易于捕捉, 喜食球蚜, 繁殖速度快, 种群数量相对较多等特点, 因此适合于空间分布、数量变动、种间关系、行为功能、存活值、适合度等种群和行为生态学研究(Papaj and Lewis, 1993; Lattin, 1999; 谢寿安等, 2002)。

斑翅肩花蝽的模式标本采自印度锡金邦腊屯附近的针叶林上(Ghauri, 1972; Chacko, 1973); 中国最早记录的标本采自四川省理县、宝兴等地, 当时正在捕食球蚜(郑乐怡和卜文俊, 1990; 卜文俊和郑乐怡, 1991, 2001)。国内外对斑翅肩花蝽形体大小、发育起点温度、捕食作用等方面做过一些研究(Ghauri, 1972; 柯云玲和卜文俊, 2005; McAvoy *et al.*, 2007; 李立等, 2009), 但在云南西北部高海拔地区, 以云南铁杉 *Tsuga dumosa* 为主的针阔叶混交林内斑翅肩花蝽形态特征、生物学特性、生境状况、适合度、自然生存状态下的食性选择尚未见报道。为了探索斑翅肩花蝽的饲养繁殖及其对铁杉球蚜的控制作用, 作者于 2009–2010 年期间在中国林业科学研究院资源昆虫研究所生物技术实验室和云南省兰坪县天生桥林区对斑翅肩花蝽形态特征、生物学特性、生境及食性选择进行了研究, 现将结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 形态特征观察

在带有显微刻度的“泰克”双目解剖镜(XTL2012型, 北京泰克仪器制造厂)下观察野外采集和实验室饲养繁殖的斑翅肩花蝽卵、1–5龄若

虫、雌雄成虫形态特征, 并测量卵的长度和宽度、1–5龄若虫和雌雄成虫的长度, 各形态测量数值取平均值($\pm$ 标准误)。每个形态观察及测量虫数不少于 100 头。

1.2 生物学特性实验和观察

1.2.1 习性: (1) 实验室饲养观察: 2009 年 5 月下旬, 在云南省兰坪县天生桥林区($26^{\circ}27'40.8''$ N, $99^{\circ}18'19.2''$ E, 海拔 2 935 m) 采集有铁杉球蚜的云南铁杉枝条若干, 带回实验室, 通过镜检挑选有斑翅肩花蝽卵的小枝条, 放入 9 cm $\times$ 10 cm 塑料盒中, 置于控制温度(白天 $15 \pm 3^{\circ}\text{C}$, 夜晚 $10 \pm 1^{\circ}\text{C}$)、相对湿度 $75\% \pm 5\%$ 、光照周期 16L:8D 的人工气候箱(RXZ 型, 宁波江南制造厂)内饲养, 以扩大种群。待种群数量上升后, 挑选健康的初蜕皮的各龄若虫 1 头, 放入 2 cm $\times$ 6 cm 塑料培养皿中, 再放回人工气候箱内, 每头若虫用 30~40 头铁杉球蚜饲养, 每隔 24 h 观察 1 次, 重复 40 次。整个饲养期间观察卵孵化、若虫蜕皮、成虫羽化、捕食等习性, 记录各习性持续时间和各龄若虫的历期; (2) 林间释放观察: 10 月下旬, 在林间选择有铁杉球蚜中、轻度为害且长势正常的云南铁杉 1 株, 用 280 cm $\times$ 300 cm 尼龙纱网笼罩, 笼内释放在实验室羽化后的雌雄成虫各 60 头, 观察并记录成虫交尾、产卵、捕食等习性及各习性持续时间。

1.2.2 成虫性比和寿命测定: 2009 年 5 月下旬和 11 月中旬、2010 年 5 月中旬, 在林间捕捉羽化后的雌雄成虫, 统计雌雄成虫数量, 计算雌雄性比取平均值。在实验室人工气候(1.2.1 气候模式)条件下, 雌雄成虫各 1 头配对, 采用不补充任何营养、只补充水分、补充 10% 的蜂蜜水和补充 50 头铁杉球蚜 4 个处理, 每个处理重复 25 次。每隔 24 h 检查 1 次存活的虫数。

1.2.3 若虫爬行和雌雄成虫飞行速度测定: 林间自然变温条件下, 分别在 14.5°C , 17.6°C , 20.9°C 和 23.6°C 时, 将长度为 150 cm 有铁杉球蚜的枝条(去掉小枝)斜靠在云南铁杉树干上, 把 1 头若虫接

在枝条上,让其自由向上或向下爬行,测量爬行过的距离(cm)并记录所用时间(min),每个温度下重复20次,爬行速度用“爬行距离/所用时间”计算取平均值;在林间用200 cm × 250 cm 尼龙纱网笼罩雌雄成虫各1头,分别在16.3℃,18.4℃,21.8℃和24.2℃时,测量雌雄成虫从笼内的任何1个点飞行到另外1个点的直线距离(cm)并记录所用时间(min),每个温度下重复20次,飞行速度用“飞行距离/所用时间”计算取平均值。

1.3 年生活史观察

2009年2–12月,在天生桥林区居住点(山神庙)附近林地,选择每个枝条上有斑翅肩花蝽5龄越冬若虫2~4头的云南铁杉枝条20枝,用30 cm × 60 cm 尼龙纱网笼罩这些枝条,随时观察,发现越冬若虫蜕皮即记录开始羽化日期,此后在每个枝条上挑选成虫、卵、若虫各2头,每隔24 h 观察1次,每个虫态重复40次,观察并记录所有枝条上成虫羽化、产卵、卵孵化、若虫蜕皮的日期及各虫态历期,从而得出斑翅肩花蝽在野外自然条件下,从越冬虫态越冬后至翌年越冬前的全过程。

1.4 生境调查

2009年5月下旬和11月中旬,调查斑翅肩花蝽生境。调查地点位于云南省兰坪县天生桥林区(26°27′01.6″N ~ 26°27′58.3″N, 99°18′13.5″E ~ 99°20′33.7″E),总面积约1 175 km²。林区有1条长约15 km 盘山公路,从北坡翻越山顶到东坡,其中北坡公路长8 km,东坡公路长7 km。从北坡的清水沟最低海拔2 712 m,到山顶的山神庙最高海拔3 066 m,再到东坡的拉马登沟海拔2 730 m。生境调查采用线路调查法:沿着林区公路两侧300 m 范围林内行走,调查沿线地点的海拔、行程、郁闭度、植被组成、云南铁杉的株数、铁杉球蚜发生株数、有斑翅肩花蝽数量等。计算每个地点云南铁杉密度和铁杉球蚜发生株率并进行分析。其中海拔和行程用全球卫星定位仪(GPS)测得;树冠郁闭度用估计方程获得(李崇贵和赵宪文,2005)。云南铁杉密度 = 云南铁杉株数 × 100 / 线路长度;铁杉球蚜发生株率(%) = 铁杉球蚜发生株数 / 云南铁杉株数 × 100。

1.5 斑翅肩花蝽对不同猎物的捕食选择性试验

2010年5月中旬,在天生桥林区斑翅肩花蝽生境中,采集斑翅肩花蝽若虫和成虫各20头,与此同时采集寄主铁杉球蚜及附近常见的冷杉球蚜 *Aphrastasia pectinatae* (Cholodkovsky)、华山松球蚜 *Pineus armandicola* Zhang 和落叶松球蚜 *Adelges*

laricis Vall 的3~4龄若虫各200头。在林间自然状态下,斑翅肩花蝽成虫或若虫1头与这4种球蚜每种球蚜各10头若虫混合,放入带有尼龙纱网透气口12 cm × 13 cm 塑料盒中,系上绳子,吊在云南铁杉树枝下饲养,24 h 后检查捕食量,重复20次。

1.6 数据统计与分析

实验数据用SPSS软件进行方差分析(ANOVA),平均值(±标准误)进行Tukey氏多重比较(Tukey's multiple comparison)测验,显著水平 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 形态特征

2.1.1 卵:初产出时浅黄色,渐变为黄褐色(图1:A)。卵上端略窄似瓶颈部,顶端具圆形卵盖,卵盖周边具白色透明胶状附属物(图1:B)。卵长 0.55 ± 0.03 mm,宽 0.21 ± 0.01 mm。

2.1.2 若虫:初孵若虫桔红色(图1:C),渐变为褐色。1龄若虫长 1.02 ± 0.15 mm;触角第1~4节基部为黑色,第4节基前部为黄色;喙4节,黄褐色。前胸背板浅黑色;前、中、后足基节黄色,胫节中部具两个黄色环。2龄若虫长 1.45 ± 0.16 mm;喙第1节具无色透明刚毛,第2~4节无刚毛。3龄若虫长 1.97 ± 0.18 mm;前胸背板黑色,具黑色刚毛;前、中、后足基节黄褐色,胫节中部除两个褐色环外均为黑色。4龄若虫长 2.69 ± 0.19 mm;触角4节均为黑色;喙第1和2节褐色,第3和4节黑色;腹部各节腹面两侧分别各具一白色霜点,并向侧缘扩展,侧缘黑色和白色霜点相间。5龄若虫长 3.72 ± 0.18 mm;前、中、后足基节为褐色,胫节中部具一黑色环;腹部各节侧缘黑色和白色霜点相间更为明显。

2.1.3 成虫:初羽化成虫为黄褐色,后渐变为黑褐色。雌虫体长 4.76 ± 0.17 mm(图1:D)。喙第1和2节黄色,第3和4节褐色。头背面、前胸背板前叶及侧接缘均为黄褐色。雄虫稍大于雌虫,体长 5.20 ± 0.19 mm,被褐色刚毛。腹部侧缘各节基半部浅黄色。

2.2 习性

2.2.1 若虫:(1) 孵化:卵一般在9:00–12:00 孵化,整个过程需要约1 h。初孵若虫滞留在卵块附近1~2 h后,逐渐扩散。实验室观察第1代卵520粒,平均孵化率为82.3%;(2) 蜕皮:若虫多在11:00–15:00 蜕皮,蜕皮时3对胸足紧攀附着物。

体腹向下或头部向上，腹部下垂。表皮先从胸部背中线裂开，头部、胸部先脱出，相继 3 对足、触角和喙的基部脱出，当触角和喙的端部以及腹部末端脱出后，在皮壳附近停留约 36 min 后，缓慢爬行离开。若虫有 5 个龄期，各龄若虫蜕皮过程相同。1 龄和 5 龄活动性弱、蜕皮时间长，2 龄和 4 龄若虫活动性强、蜕皮时间短。在实验室条件下，1，2，3，4 和 5 龄若虫历期分别为 7.1 ± 1.1 d， 13.4 ± 1.5 d， 18.7 ± 1.9 d， 25.6 ± 2.2 d 和 41.3 ± 3.7 d；(3) 捕食：初孵化的若虫取食皮壳后喜欢寻找空隙钻入。若虫群集捕食铁杉球蚜，极少观察到单个若虫捕食铁杉球蚜(图 1: E)。

2.2.2 成虫：(1) 羽化：实验室饲养的老熟 5 龄若虫腹部特别膨胀，静止不动，多在 13:00 – 16:00 羽化，前胸背板中央纵裂，露出成虫前胸背板一小部分，然后纵裂增大至头部，前胸背板大部分露出，3 对足、触角和喙伸出，前翅和后翅露出，3 对胸足

紧攀附着物离蛻，成虫体先后蛻出的部位与若虫蛻皮时相似；(2) 交尾：在林间雄成虫性成熟，即 7 ~ 8 d 后寻找雌成虫交尾，常在 12:00 – 17:00 交尾，雄虫先追逐雌虫，待雌虫接受雄虫后，雄虫爬到雌虫背部，吊在枝条上进行交尾，持续约 20 min。雌雄虫只交配 1 ~ 2 次；(3) 产卵：雌虫在云南铁杉枝条或叶片上缓慢爬行，将卵产于针叶背面的叶内，仅顶端在叶表皮露出形成卵盖，其余部位埋在叶肉内(图 1: A, B)。每一片叶上散产 3 ~ 4 粒卵，极少产于针叶正面的叶内或枝条的树皮缝隙间，产于后者的卵大多数部位裸露在空气中，外部无覆盖物的保护，短期内丧失生命力而不能孵化。在林间雌虫平均产卵量为 51 粒；(4) 捕食：实验饲养的成虫羽化前停食 7 ~ 9 h，羽化后 12 – 15 h 开始捕食。林间饲养的成虫多在 10:00 – 18:00 捕食，并群集在同一枝条上捕食铁杉球蚜。

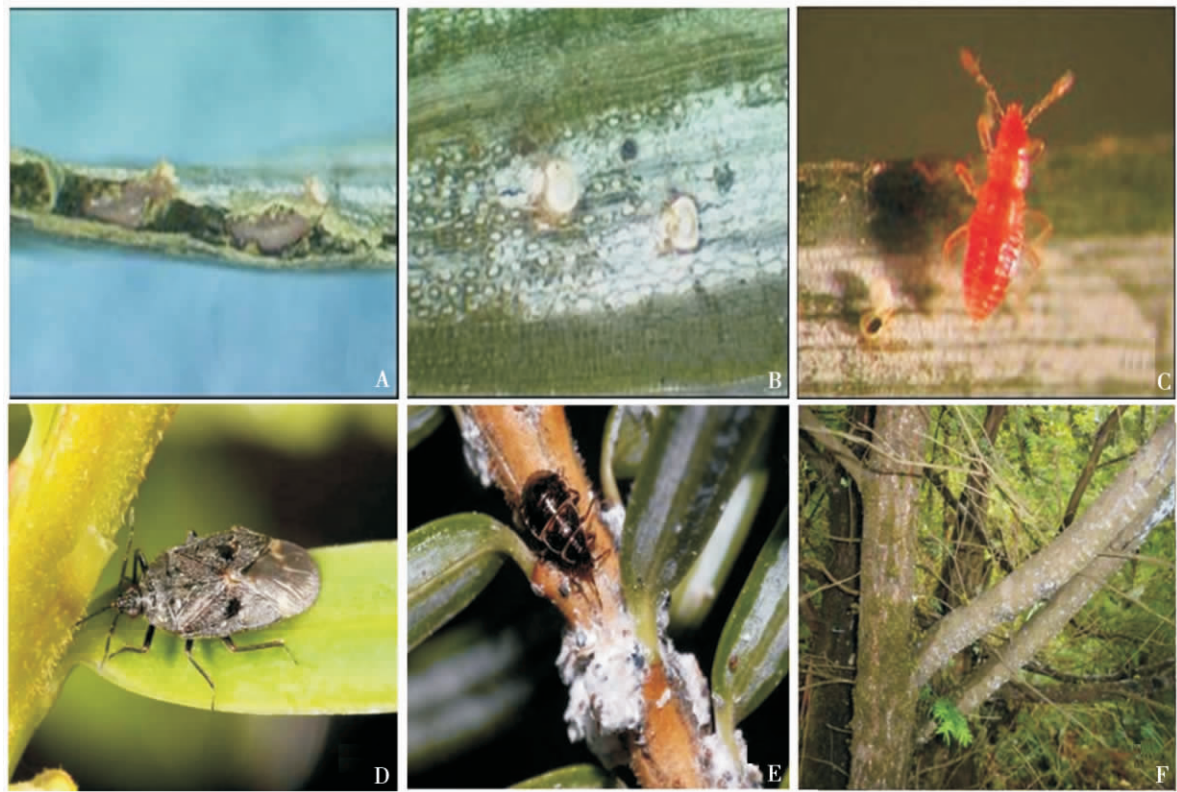


图 1 斑翅肩花蝽各虫态的形态、捕食行为及生境

Fig. 1 The morphology , predatory behavior and habitat of *Tetrableps galchanoides* at different developmental stages
A: 卵 Egg(针叶内 In hemlock needle) ; B: 卵盖 Egg operculum(针叶背面 On underside of hemlock needle) ; C: 初孵若虫 Newly hatched nymph; D: 雌成虫 Female adult; E: 若虫正在捕食铁杉球蚜 Nymph preying on hemlock woolly adelgids; F: 斑翅肩花蝽生境 Habitat of *Tetrableps galchanoides*.

2.3 成虫性比和寿命测定

由于林间雌雄成虫羽化的时间不同,雌雄性比调查结果也不同。2009 年 5 月下旬采集雌虫 99 头,雄虫 11 头,雌雄性比为 9:1; 2009 年 11 月中旬采集雌虫 52 头,雄虫 7 头,雌雄性比为 7.4:1; 2010 年 5 月中旬采集雌虫 112 头,雄虫 13 头,雌雄性比为 8.6:1。3 次调查结果雌雄性比平均值为 8.5:1,雌性的比例远大于雄性。

在实验室人工气候条件下,测定雌雄成虫羽化后的寿命: 补充 50 头铁杉球蚜后雌雄成虫寿命最长,雌虫为 46.3 ± 5.2 d,雄虫为 54.7 ± 6.1 d; 不给任何补充,雌雄成虫寿命最短,雌虫仅为 $13.2 \pm$

1.1 d,雄虫仅为 15.3 ± 1.5 d。雄成虫寿命比雌成虫长。方差分析结果表明,补充 50 头铁杉球蚜与补充 10% 蜂蜜水、只补充水分、不给任何补充的处理间存在显著性差异,补充铁杉球蚜营养能够显著延长寿命; 补充 10% 蜂蜜水、只补充水分和不给任何补充的处理间差异不显著,补充一般营养及水分对寿命的影响不大(表 1)。林间笼罩内释放在实验室羽化后的雌雄成虫,观察其不同习性,发现雌雄成虫捕食铁杉球蚜后寿命较长,雌雄成虫平均寿命可达到 50~60 d,与实验室条件下补充 50 头铁杉球蚜后雌雄成虫寿命相接近,验证了斑翅肩花蝽捕食铁杉球蚜获得营养补充后能够显著增加寿命。

表 1 斑翅肩花蝽雌雄虫在不同营养条件下的寿命

Table 1 The longevity of *Tetraphleps galchanoides* under different nutritional condition

处理 Treatment	雌虫寿命 Female longevity (d)	雄虫寿命 Male longevity (d)
补充 50 头铁杉球蚜 Supplying 50 individuals of <i>Adelges tsugae</i>	$46.3 \pm 5.2(24)$ a	$54.7 \pm 6.1(24)$ a
补充 10% 蜂蜜水 Supplying 10% honey solution	$19.5 \pm 2.8(20)$ b	$22.1 \pm 3.4(20)$ b
只补充水分 Only supplying water	$16.4 \pm 1.7(21)$ b	$18.6 \pm 2.3(21)$ b
不补充 Supplying nothing	$13.2 \pm 1.1(22)$ b	$15.3 \pm 1.5(22)$ b
ANOVA 分析结果	$df=3, 87, F=17.526,$	$df=3, 87, F=19.432,$
ANOVA result	$P<0.001$	$P<0.001$

表中数据为平均值 $\pm$ 标准误,同列数据后有不同字母表示经 Tukey 氏多重比较后差异显著 ($P>0.05$); 圆括号内的数字表示样本数; 表 4 同。Values (mean $\pm$ SE) followed by different letters within a column are significantly different by Tukey's multiple comparison test at $P<0.05$. Sample number is in the parentheses. The same for Table 4.

2.4 若虫爬行和成虫飞行速度

一般情况下,若虫会沿着铁杉球蚜所寄生的枝条向上爬行。当若虫沿着枝条向下爬行时,敲击和震动枝条,若虫能很快感知到,并且改变爬行方向,向上或斜向上爬行。在林间自然状态下,斑翅肩花蝽若虫爬行能力较强,随着温度的升高,活动能力明显增强,14.5℃时的爬行速度仅为 16.3 cm/min,在 23.6℃ 时速度达到 64.7 cm/min,提高近 4 倍(图 2)。可见温度是影响其爬行速度的决定性因素。

在林间笼罩条件下,测定斑翅肩花蝽雌雄成虫的飞行速度。结果表明,飞行能力亦随着温度的升高而增强,16.3℃时雌雄成虫飞行速度分别为 14.3 cm/min 和 43.6 cm/min; 在 24.2℃ 时,雌雄成虫飞行速度分别为 29.3 cm/min 和 87.5 cm/min,提高了约 2 倍。雄成虫飞行能力比雌成虫强,约是雌虫的 3 倍。雌雄成虫平均飞行速度为 41.3 cm/min (图 3),飞行缓慢,不会连续飞行,时常停滞后再

飞行,其飞行活动主要受到交尾、产卵、捕食铁杉球蚜补充营养的影响,林间多在树冠下层飞行活动。

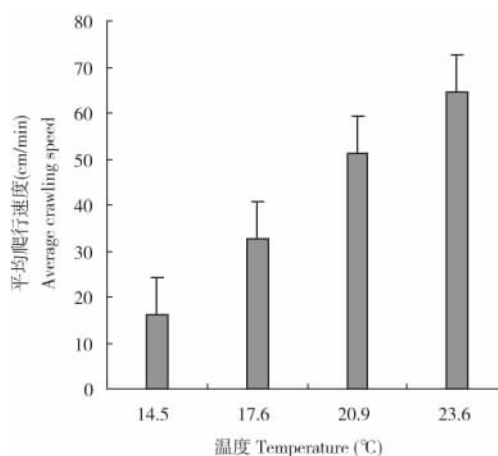


图 2 斑翅肩花蝽若虫爬行速度与温度的关系

Fig. 2 The crawling speed of *Tetraphleps galchanoides* nymph at different temperatures

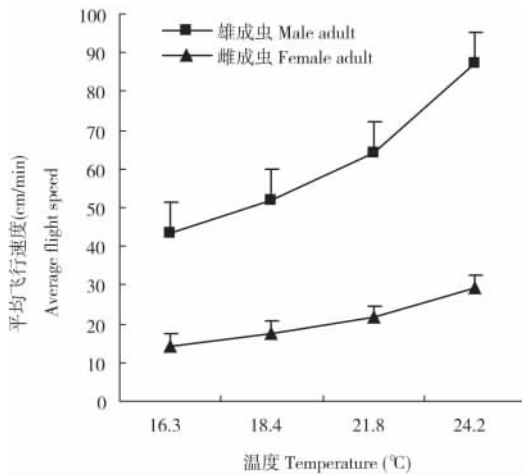


图3 斑翅肩花蝽雌雄成虫飞行速度与温度的关系

Fig. 3 The flight speed of *Tetraphleps galchanoides* adult at different temperatures

2.5 野外年生活史

斑翅肩花蝽在云南省兰坪县天生桥林区一年发生2代,无世代重叠。翌年2月下旬5龄若虫在枝条树皮裂缝下或枯枝落叶层内越冬,4月下旬蜕皮羽化,5月中下旬为成虫羽化高峰期,通常6月中旬羽化结束,但若遇到春季多雨天冷,则可推迟到6月下旬,第2代成虫期 60.4 ± 5.3 d。第2代成虫5月下旬开始产卵至7月下旬结束,第1代卵6月中旬孵化,卵期 13.8 ± 1.6 d,7月上中旬为卵孵化高峰期。第1代若虫10月下旬蜕皮羽化,若虫期 97.6 ± 7.4 d。第1代成虫10月下旬出现,11月中下旬为高峰期,12月上旬数量减少,中旬后很少见到成虫,成虫期 55.2 ± 4.7 d。第1代成虫11月中旬开始产卵至12月下旬结束,第2代卵11月下旬孵化,卵期 11.3 ± 1.1 d,12月上中旬为孵化高峰。第2代若虫翌年4月下旬蜕皮羽化,若虫期 105.7 ± 8.5 d(表2)。

2.6 斑翅肩花蝽的生境

斑翅肩花蝽生活在森林茂密、植被完好的生境中,即以云南铁杉为主的针阔叶混交林。生境内主要植株数与总植株数的百分比分别为:云南铁杉占75%,怒江冷杉 *Abies nukiangensis* 占10%,华山松 *Pinus armandi* 占5%,丽江云杉 *Picea likiangensis* 和怒江落叶松 *Larix speciosa* 占4%,云南松 *Pinus yunnanensis* 占3%,怒江槭 *Acer chienii*、川滇高山栎 *Quercus aquifolioides* 和水青冈 *Fagus longipetiolata* 占2%,兰坪箭竹 *Fargesia nujiangensis*、怒江杜鹃 *Rhododendron saluenense* 和玉龙蕨 *Sorolepidium glaviale* 等占1%。铁杉球蚜主要发生在阴坡或半阴

坡(李立和卢文华,2008),因此调查在阴坡(北坡)和半阴坡(东坡)上进行,调查云南铁杉250株,铁杉球蚜发生180株,有72%的云南铁杉上有铁杉球蚜的寄生,有斑翅肩花蝽数量405头,铁杉球蚜发生量大,斑翅肩花蝽数量就多(表3)。斑翅肩花蝽数量分布在两个坡向之间无明显差别。

对5个地点斑翅肩花蝽生境的调查结果表明(表3):尖嘴坪铁杉球蚜发生株率87.8%、斑翅肩花蝽发生量159头,三道湾铁杉球蚜发生株率91.9%、斑翅肩花蝽发生量172头,这两个地点铁杉球蚜发生株率和斑翅肩花蝽发生量最高,其他3个地点铁杉球蚜发生株率和斑翅肩花蝽发生量较低,因此尖嘴坪和三道湾是铁杉球蚜和斑翅肩花蝽最适生境。从表3可以看出,有铁杉球蚜发生的植株才有斑翅肩花蝽,铁杉球蚜和斑翅肩花蝽生境(图1:F)相同,其分布范围为海拔2800~3020 m,最适范围为2851~2980 m。斑翅肩花蝽多分布于云南铁杉密度为13.3~15.5株/100 m、郁闭度为0.61~0.70的林地,云南铁杉密度10.0株/100 m以下、郁闭度大于0.7或小于0.6的林地分布很少。

2.7 斑翅肩花蝽对不同猎物的捕食选择性

在天生桥林区,5月中旬是斑翅肩花蝽寄主铁杉球蚜及附近常见的冷杉球蚜、华山松球蚜和落叶松球蚜的若虫期,采集这4种球蚜3~4龄若虫作为供试混合猎物,进行捕食选择性的数量测定。方差分析结果表明,斑翅肩花蝽若虫与成虫对4种球蚜选择性存在显著差异,最喜好食铁杉球蚜,对冷杉球蚜、华山松球蚜和落叶松球蚜的嗜食性则差异不显著(表4)。斑翅肩花蝽在自然生存状态下的食性比较专一,主要以捕食铁杉球蚜获得营养完成发育。

3 讨论

森林害虫铁杉球蚜从亚洲入侵北美后主要危害加拿大铁杉 *Tsuga canadensis* 和卡罗林纳铁杉 *Tsuga caroliniana* 的叶片、球果和枝条树皮。由于缺乏天敌昆虫和抗虫性,以及为了环境保护而不使用化学防治,被害的铁杉可在短期内整株死亡,严重地威胁当地森林健康与生态安全(McClure, 1989, 1991; Havill and Montgomery, 2008)。因此,引进天敌昆虫生物防治铁杉球蚜被寄予厚望。但是至今为止,在生物防治铁杉球蚜研究中,还未有大面积成功应用的天敌,应用于实践的天敌昆虫也仅

表 2 2009 年云南兰坪天生桥林区斑翅肩花蚜的年生活史
Table 2 The life history of *Tetrableps galchanoides* in 2009 (Tianshengqiao, Lanping County, Yunnan Province)

代数/虫态 Generation/Stage	1-4 月		5 月		6 月		7 月		8 月		9 月		10 月		11 月		12 月	
	January-April		May		June		July		August		September		October		November		December	
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
越冬若虫	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	L
Overwintering nymphs	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
第 2 代成虫	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
The 2nd-generation adult																		
第 1 代卵	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
The 1st-generation egg																		
第 1 代若虫	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
The 1st-generation nymph																		
第 1 代成虫																		
The 1st-generation adult																		
第 2 代卵																		
The 2nd-generation egg																		
第 2 代若虫																		
The 2nd-generation nymph																		

●：卵 Egg；-：若虫 Nymph；+：成虫 Adult；(-)：越冬若虫 Overwintering nymph. F：上旬 The first ten days of a month；M：中旬 The middle ten days of a month；L：下旬 The last ten days of a month.

表 3 云南兰坪天生桥林区斑翅肩花蚜生境调查表
Table 3 Investigation for the habitat of *Tetrableps galchanoides* in Tianshengqiao, Lanping County, Yunnan Province

地点 Location	日期 Date	海拔 (m) Elevation	行程 (m) Travel distance	郁闭度 Canopy density	云南铁杉株数		云南铁杉密度 (株/100 m)		铁杉球蚜发生株数	铁杉球蚜发生株率 (%)	斑翅肩花蚜数 (头)	
					Number of <i>Tsuga dumosa</i> plants	Number of <i>Tsuga dumosa</i>	plants /100 m	plants with HWA	Rate of host plants with HWA	Number of inhabiting <i>T. galchanoides</i> bugs	Number of inhabiting <i>T. galchanoides</i> bugs	Number of inhabiting <i>T. galchanoides</i> bugs
清水沟 Qingshuigou	2009-05-29	2 722 - 2 755	150	0.51	7		4.7	0	0	0	0	0
		2 810 - 2 849	180	0.72	16		8.9	7	43.8	21	21	21
	2009-05-30	2 855 - 2 896	210	0.64	29		13.8	25	86.2	44	44	44
		2 890 - 2 925	220	0.70	34		15.5	30	88.2	62	62	62
尖嘴坪 Jianzuiping	2009-05-31	2 928 - 2 980	260	0.63	36		13.9	32	88.9	53	53	53
		2 990 - 3 019	240	0.56	15		6.3	5	33.3	18	18	18
	2009-11-17	3 032 - 3 053	100	0.42	3		3.0	0	0	0	0	0
		3 037 - 3 015	120	0.45	4		3.3	0	0	0	0	0
山神庙 Shanshenmiao	2009-11-18	3 020 - 2 998	110	0.59	10		9.1	4	40.0	13	13	13
		2 978 - 2 937	190	0.65	27		14.2	26	96.3	70	70	70
	2009-11-19	2 930 - 2 893	170	0.67	25		14.7	23	92.0	55	55	55
		2 887 - 2 851	180	0.61	24		13.3	21	87.5	47	47	47
三道湾 Sandaowan	2009-11-19	2 834 - 2 800	160	0.74	15		9.4	7	46.7	16	16	16
		2 767 - 2 738	130	0.48	5		3.9	0	0	0	0	0

HWA：铁杉球蚜 *Adelges tsugae* Annand (hemlock woolly adelgid).

表 4 斑翅肩花蝽在 4 种不同猎物条件下捕食选择性

Table 4 Preying capacity of *Tetraphleps galchanoides* for four preys under choice condition

猎物 Preys	斑翅肩花蝽若虫(n) Number of <i>T. galchanoides</i> nymphs	斑翅肩花蝽成虫(n) Number of <i>T. galchanoides</i> adults
铁杉球蚜若虫 Nymphs of <i>Adelges tsugae</i>	4.7 ± 1.0(19) a	5.2 ± 1.3(19) a
冷杉球蚜若虫 Nymphs of <i>Aphrastasia pectinatae</i>	0.9 ± 0.3(15) b	1.6 ± 0.7(15) b
华山松球蚜若虫 Nymphs of <i>Pineus armandicola</i>	1.2 ± 0.4(13) b	2.2 ± 0.5(13) b
落叶松球蚜若虫 Nymphs of <i>Adelges laricis</i>	0.8 ± 0.2(12) b	1.9 ± 0.1(12) b
ANOVA 分析结果	df=3 46 , F=7.681 ,	df=3 46 , F=8.524 ,
ANOVA result	P<0.001	P<0.001

有伪郭公虫 *Laricobius nigrinus* Fender(Zilahi-Balogh *et al.* , 2002 , 2003)、弧结毛瓢虫 *Scymnus (Neopullus) camptodromus* Yu *et Liu* 和波结毛瓢虫 *Scymnus (Neopullus) sinuanodulus* Yu *et Yao* (虞国跃等 , 1997; Yu *et al.* , 2000) 。这 3 种天敌昆虫在林间释放后, 能够自然扩繁增殖, 在一定程度上控制了铁杉球蚜发生为害。从目前的研究结果看, 斑翅肩花蝽是铁杉球蚜的一个优良天敌, 表现在其雌雄性比高, 产卵量大及孵化率高, 林间虫口数量多, 食性较专一, 捕食铁杉球蚜的能力强; 雌雄成虫寿命长, 若虫和成虫群集捕食等优点。

天敌昆虫的爬行和飞行特点对捕杀害虫获得营养补充有着重要影响。在不同温度条件下, 测定了斑翅肩花蝽爬行和飞行速度, 结果表明, 爬行和飞行速度与温度呈正相关, 随着温度的升高爬行和飞行速度加快, 捕食铁杉球蚜获得营养补充能力增强。在斑翅肩花蝽爬行和飞行速度测定实验中, 如果枝条的树皮较光滑、尼龙纱网笼罩内光照较好, 爬行和飞行捕食铁杉球蚜的速度可能会有所提高。由于受条件的限制, 每个实验不是同时、同步进行, 影响的因子是多方面, 除受温度影响外, 还受湿度、风力及自身习性、行为等特性的影响, 这些因子对该虫的爬行、飞行能力强弱和捕食铁杉球蚜获得营养补充有多大影响, 以及如何影响尚待进一步研究。

斑翅肩花蝽的生境调查在云南兰坪以云南铁杉为主的针阔叶混交林内进行, 林分由 97% 的针叶林、2% 的阔叶林和 1% 的林下植被组成, 该林分内云南铁杉上有大量铁杉球蚜的发生, 斑翅肩花蝽数量较多, 其个体比所记录的四川宝兴的斑翅肩花蝽的个体(McAvoy *et al.* , 2007) 稍大些, 而且斑翅肩花蝽最适生境就是铁杉球蚜的最适生境。但在不同地点、不同百分比的针叶林、阔叶林及林下植被组

成林分中, 调查斑翅肩花蝽的生境与以上调查结果是否相同还需进一步调查。本文重点调查了斑翅肩花蝽生境的地理因子(海拔)、林分因子(郁闭度、密度) 适合度, 对于生境中比较重要的气候因子(温度、湿度) 适合度有待再调查。

目前仅对斑翅肩花蝽的基本生物学特性和行为学习性、生境及食性选择进行了初步研究, 今后还需要深入开展研究的内容有: (1) 种群生命表与生存分析; (2) 人工饲养繁殖及饲料效果的评价; (3) 空间分布与环境因子的关系; (4) 林间释放及生物防治技术。

参 考 文 献 (References)

Bu WJ , Zheng LY , 1991. A report on the genus *Tetraphleps* from China (Hemiptera: Anthocoridae) . *Acta Entomologica Sinica* , 34(2) : 198 – 203. [卜文俊, 郑乐怡, 1991. 中国肩花蝽属记述(半翅目: 花蝽科) . 昆虫学报, 34(2) : 198 – 203]

Bu WJ , Zheng LY , 2001. Fauna Sinica. Insecta Vol. 24 (Hemiptera: Lasiochilidae , Lyctocoridae , Anthocoridae) . Science Press , Beijing. 267 pp. [卜文俊, 郑乐怡, 2001. 中国动物志. 昆虫纲. 第二十四卷(半翅目: 毛唇花蝽科, 细角花蝽科, 花蝽科) . 北京: 科学出版社. 267 页]

Chacko J , 1973. Observations on some natural enemies of *Pineus* sp. (Hemiptera: Adelgidae) at Shillong (Meghalaya) , India , with special reference to *Tetraphleps raoi* Ghauri (Hemiptera: Anthocoridae) . Commonwealth Institute of Biological Control , Tech. Bull. , No. 16. 41 – 46.

Ghauri MSK , 1972. The identity of *Orius tantillus* (Motschulsky) and notes on other oriental Anthocoridae (Hemiptera , Heteroptera) . *J. Nat. Hist.* , 6: 409 – 421.

Havill NP , Montgomery ME , 2008. The role of arboreta in studying the evolution of host resistance to the hemlock woolly adelgid. *Arnoldia* , 65(3) : 2 – 9.

Ke YL , Bu WJ , 2005. A morphological study on female copulatory tubes of the genus *Tetraphleps* Fieber (Hemiptera: Heteroptera: Anthocoridae) from China. *Acta Entomologica Sinica* , 48(3) : 391 – 395. [柯云玲, 卜文俊, 2005. 中国肩花蝽属雌性交配管的形态

- 研究(半翅目:异翅亚目:花蝽科). *昆虫学报*, 48(3): 391 – 395]
- Lattin JD, 1999. Bionomics of the Anthoridae. *Ann. Rev. Entomol.*, 44: 207 – 213.
- Li CG, Zhao XW, 2005. Determining the optimum sample plots for establishing canopy density estimating equation in monitoring area. *Journal of Beijing Forestry University*, 27(6): 24 – 28. [李崇贵, 赵宪文, 2005. 确定监测区域建立森林郁闭度估测方程最优样地的研究. *北京林业大学学报*, 27(6): 24 – 28]
- Li L, Lu WH, 2008. Relationships of infestation of hemlock woolly adelgids, *Adelges tsugae*, with environmental factors in Lijiang Prefecture, Yunnan Province. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(1): 83 – 87. [李立, 卢文华, 2008. 云南丽江地区铁杉球蚜发生与环境因子的关系. *昆虫知识*, 45(1): 83 – 87]
- Li L, Montgomery ME, Yu GY, 2009. Functional responses of *Tetranychus galchanoides* preying on different stages of hemlock woolly adelgid. *Chinese Bulletin of Entomology*, 46(1): 72 – 76. [李立, Montgomery ME, 虞国跃, 2009. 斑翅肩花蝽对铁杉球蚜的捕食作用. *昆虫知识*, 46(1): 72 – 76]
- McAvoy TJ, Zilahi-Balogh GMG, Salom SM, Kok LT, Zhang GL, 2007. Development and feeding of *Tetranychus galchanoides*, a predator of the hemlock woolly adelgid. *BioControl*, 52: 339 – 350.
- McClure MS, 1989. Evidence of a polymorphic life cycle in the hemlock woolly adelgid, *Adelges tsugae* (Homoptera: Adelgidae). *Ann. Entomol. Soc. Am.*, 82(1): 50 – 54.
- McClure MS, 1991. Density-dependent feedback and population cycles in *Adelges tsugae* (Homoptera: Adelgidae) on *Tsuga canadensis*. *Environ. Entomol.*, 20(1): 258 – 264.
- Papaj DR, Lewis AC, 1993. *Insect Learning: Ecological and Evolutionary Perspectives*. Chapman and Hall, New York. 308 – 342.
- Xie SA, Lu SJ, Yuan F, Zhao HY, 2002. Review the past and look forward to the future of insect ecology in China. *Journal of Northwest Forestry University*, 17(1): 51 – 54. [谢寿安, 吕淑杰, 袁锋, 赵惠燕, 2002. 我国昆虫生态学的研究与展望. *西北林学院学报*, 17(1): 51 – 54]
- Yu GY, Montgomery ME, Yao DF, 2000. Lady beetles (Coleoptera: Coccinellidae) from Chinese hemlocks infested with the hemlock woolly adelgid, *Adelges tsugae* Annand (Homoptera: Adelgidae). *Coleopt. Bull.*, 54(2): 154 – 199.
- Yu GY, Yao DF, Liu HP, 1997. The Coccinellidae collected from *Tsuga* with *Adelges tsuga* Annand (Homoptera: Adelgidae). *Scientia Silvae Sinicae*, 33(5): 432 – 440. [虞国跃, 姚德富, 刘后平, 1997. 铁杉上的瓢虫种类研究(鞘翅目:瓢虫科). *林业科学*, 33(5): 432 – 440]
- Zheng LY, Bu WJ, 1990. A list of Anthoridae from China. *Contrib. Tianjin Nat. Hist. Mus.*, 7: 23 – 27. [郑乐怡, 卜文俊, 1990. 中国花蝽科昆虫名录. *天津自然博物馆论文集*, 7: 23 – 27]
- Zilahi-Balogh GMG, Kok LT, Salom SM, 2002. Host specificity of *Laricobius nigrinus* Fender (Coleoptera: Derodontidae), a potential biological control agent of the hemlock woolly adelgid, *Adelges tsugae* Annand (Homoptera: Adelgidae). *BioControl*, 24: 192 – 198.
- Zilahi-Balogh GMG, Salom SM, Kok LT, 2003. Development and reproductive biology of *Laricobius nigrinus*, a potential biological control agent of *Adelges tsugae*. *BioControl*, 48: 293 – 306.

(责任编辑: 赵利辉)